

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazması hüququnda*

**Yb İLƏ AŞQARLANMIŞ GaS MONOKRİSTALININ ELEKTROFİZİKİ VƏ  
OPTİK XASSƏLƏRİNƏ QAMMA ŞÜALANMANIN TƏSİRİ**

İxtisas: 2225.01 – “Radiasiya materialşünaslığı”

Elm sahəsi: Fizika

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş

**DİSSERTASIYA**

İddiaçı: \_\_\_\_\_

**Aydan Şahin qızı Xalıqzadə**

Elmi rəhbərlər: \_\_\_\_\_ **F.- r. e. d., prof. Rəhim Səlim oğlu Mədətov**

\_\_\_\_\_ **F.-r. e. n., dos. Teymur Bəhmən oğlu Tağıyev**

**BAKİ– 2022**

## M Ü N D Ə R İ C A T

<b>GİRİŞ .....</b>	<b>4</b>
<b>FƏSİL I. A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> TIPLİ LAYLI YARIMKEÇİRİCİLƏRİN ELEKTROFİZİKİ XASSƏLƏRİ VƏ RADİASIYA EFFEKTLƏRİNƏ DAİR ƏDƏBİYYAT İCMALI .....</b>	<b>15</b>
1.1. A <sup>III</sup> B <sup>VI</sup> tipli laylı yarımkeçiricilərin quruluşu və elektrofiziki xassələri .....	15
1.2. Aşqarsız A <sup>III</sup> B <sup>VI</sup> tipli laylı yarımkeçiricilərin elektrofiziki, fotoelektrik və optik xassələri .....	21
1.3. Aşqarlı A <sup>III</sup> B <sup>VI</sup> tipli laylı yarımkeçiricilərin monokristalının elektrofiziki, fotoelektrik və optik xassələri .....	31
1.4. A <sup>III</sup> B <sup>VI</sup> tipli laylı yarımkeçiricilərin xassələrinə ionlaşdırıcı şüaların və zərrəciklərin təsiri .....	39
<b>FƏSİL II. LAYLI QURULUŞLU GaS(Yb) MONOKRİSTALLARININ ALINMASI, ŞÜALANMA METODU VƏ FİZİKİ XASSƏLƏRİN ÖLÇÜLMƏ ÜSULLARI .....</b>	<b>43</b>
2.1. GaS və GaS(Yb) birləşməsinin sintezi və monokristallarının yetişdirilmə texnologiyası .....	43
2.2. GaS(Yb) monokristalının rentgen struktur analizi .....	50
2.3. GaS(Yb) monokristalının ionlaşdırıcı şüalarla şüalandırma üsulları: qamma şüalanma .....	54
2.4. GaS(Yb) monokristalının elektrofiziki və fotoelektrik xassələrinin tədqiqat üsulu .....	56
2.5. GaS(Yb) monokristalının optik xassələrinin tədqiqat üsulu .....	61
<b>FƏSİL III. GaS(Yb) MONOKRİSTALININ ELEKTRİK XASSƏLƏRİ VƏ ONLARA QAMMA ŞÜALARININ TƏSİRİ .....</b>	<b>62</b>
3.1. GaS və GaS(Yb) monokristallarının volt-ampere xarakteristikaları (VAX) .....	63
3.2. Qamma şüalanmanın laylı GaS (Yb) monokristalının volt –ampere xarakteristikasına təsiri.....	69
3.3. Yb –atomu ilə aşqarlanmış GaS(Yb) monokristalının elektrik xassələri .....	74

3.4 Qamma-kvantlarla şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalının elektrik xassələri .....	78
3.5. GaS(Yb) monokristalının anizotropiyasına aşqar və radiasiya defektlərinin təsiri .....	87
3.6. Termik dəmləmənin şüalandırılmış GaS və GaS(Yb) kristallarının elektrik keçiriciliyinə təsiri .....	92
<b>FƏSİL IV. GaS(Yb) MONOKRİSTALININ OPTİK VƏ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ VƏ ONLARA QAMMA ŞÜALARININ TƏSİRİ .....</b>	<b>99</b>
4.1. GaS və GaS(Yb) monokristallarının udulma spektrlərinə qamma şüalanmanın təsiri .....	100
4.2. GaS və GaS(Yb) monokristallarının fotoluminessensiya xassələrinin tədqiqi	103
4.3. GaS və GaS(Yb) monokristallarında fotocərəyanın spektral paylanması xüsusiyyətləri .....	105
4.4. GaS və GaS(Yb) monokristallarında fotocərəyanın spektral paylanmasına qamma-kvantların təsiri .....	112
4.5. Qamma-kvantlarla şüalanmış GaS(Yb) kristallarında fotocərəyanın spektral paylanmasına elektrik sahə intensivliyinin təsiri .....	118
4.6. GaS(Yb) kristalında termik dəmləmənin fotocərəyanın spektral paylanmasına təsiri .....	128
<b>NƏTİCƏLƏR .....</b>	<b>134</b>
<b>DİSSERTASIYANIN NƏTİCƏLƏRİNİN DƏRC OLUNMUŞ MƏNBƏLƏRİ .....</b>	<b>137</b>
<b>İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI .....</b>	<b>140</b>
<b>QISALTMALARIN SİYAHISI VƏ ŞƏRTİ İŞARƏLƏR.....</b>	<b>156</b>

## GİRİŞ

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Son illərdə nanoelektronikanın, kosmik texnikanın, o cümlədən informasiya texnologiyasının sürətli inkişafı çox funksiyalı, xüsusilə radiasiyaya davamlı elektron cihaz və sistemlərin hazırlanması tələbini əsas məsələ kimi ortaya qoymaqladadır. Məhz buna görə də radiasiya materialşünaslığının əsas məsələlərindən biri mikroelektronikada, fotoelektronikada, informasiya texnologiyasında yeni xassəli yarımkeçirici materialların alınması, fiziki xassələrinin tədqiqi və onların məqsədyönlü idarə edilmə üsullarının işlənilməsindən ibarətdir. Müxtəlif növ şüalanmaların ( elektron seli, rentgen, qamma şüaları və s.) və aşqarlamanın (nadir torpaq elementləri ilə) təsiri nəticəsində yarımkeçiricilərin fiziki xassələri kəskin dəyişir.

Müxtəlif növ ionlaşdırıcı şüaların təsirinə dayanıqlı, görünən və yaxın infraqırmızı spektr oblastında işləyə bilən yeni növ fotoqəbuledicilərin işlənməsi müasir elmin əsas məsələlərindəndir. Radiasiyaya dayanıqlı fotoqəbuledicilərin hazırlanması öz növbəsində istifadə olunan materialların artan radiasiya xarakteristikalarına əsaslanır. Son dövrlər radiasiyaya davamlı materialların öyrənilməsi nüvə energetikasının inkişafı ilə əlaqədardır. Beləki həmin materiallar bu şəraitdə güclü qamma, rentgen və ultrabənövşəyi şüalanmaya məruz qalırlar. Materialların xassələrinin bərpa olunma imkanlarını və başqa problemlərini aydınlaşdırmaq üçün radiasiya defektlərinin xassələrini və təbiətini aydın başa düşmək lazımdır. Bununla əlaqədar olaraq yarımkeçirici materiallarda baş verən fiziki xassələrə ionlaşdırıcı şüalanmanın təsirinin öyrənilməsi böyük maraq kəsb edir.

Bərk cisim elektronikasısı üçün perspektivli olan mürəkkəb yarımkeçiricilər qismən nizamsız quruluşa malik defektli kristallardır. Bu tip kristallarda mövcud olan həm məxsusi, həm də müəyyən üsullarla yaradılan defektlərin tədqiqi elmi və praktiki əhəmiyyətə malikdir.

Müasir dövrdə tədqiqatçıların diqqətini cəlb edən perspektivli materiallardan biri laylı quruluşa malik  $A^3B^6$  mürəkkəb birləşməli yarımkeçiricilərdir.  $A^3B^6$  birləşməli laylı yarımkeçiricilərdə quruluş defektlərinin çox olmasına baxmayaraq onların

tədqiqinə marağın böyük olması, həmin materialların görünən, infraqırmızı, ultrabənövşəyi habelə rentgen və qamma şüalanmaya qarşı yüksək həssaslığı ilə bağlıdır. Laylı  $A^3B^6$  birləşmələrinə aid olan GaS monokristalı qismən nizamsız quruluşa malik yarımkəçiricilərdir. GaS monokristalı güclü anizotropiyaya malikdir. Quruluş xüsusiyyəti laylı yarımkəçiricilərdə atomlar arasında kovalent rabitə, laylar arasında isə Van-der-Vaals qüvvələrinin mövcud olması ilə bağlıdır. Bu xüsusiyyət isə, onlarda aşqar atomlarının müxtəlif fəzalarda (lay daxilində və ya laylar arası oblastda) paylanmasına səbəb olur. Qeyd olunan faktlar işlərdə araşdırılsa da, alınan nəticələr aşqar atomlarının paylanma mexanizmini izah edən modelin təklif olunmasına imkan vermir.

Laylı kristalların digər maraqlı xassələrindən biri də, yüksək miqdarda məxsusi defektlərin (kation və anion vakansiyaları, Frenkel defektləri), xüsusən kation vakansiyalarının mövcud olması ( $10^{17}$ - $10^{18}$  sm<sup>-3</sup>) nəticəsində kristallik "c"-oxu istiqamətində sərbəst yükdaşıyıcıların yürüklüyünün və diffuziya yolunun kiçik olmasıdır. Bu səbəbdən onlarda p-tip keçiricilik formalaşır və yüksəkəomlu kristallar isə, qismən kompensasiya olunmuş olurlar. İşlərdə, aşqar atomlarının (NTE) konsentrasiyasının laylı kristalların fotoelektrik xassələrinə təsiri geniş temperatur intervalında araşdırılsa da, alınan nəticələrdə defektlərin təbiəti nəzərə alınmadığından keçiriciliyin məqsədyönlü idarə olunması üçün vahid mexanizm verilməmişdir. Digər işlərdə isə defektlərin konsentrasiyasını idarə etmək məqsədi ilə ionlaşdırıcı şüalardan ( $\gamma$ -şüalarından) istifadə olunmasının daha məqsədə uyğun olduğu göstərilir. Ancaq radiasiya defektlərin miqdarı kristalın alınma üsulundan asılı olduğundan, vahid mexanizm haqqında fikir yürütmək mümkün olmur.

Belə kristalların fəzaca nizamsızlıq dərəcəsini, onların ayrı-ayrı fiziki xassələrini və parametrlərini nadir torpaq elementləri daxil etməklə tənzimlənməsinin mümkün olduğu aşkar edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, daxil edilən aşqar atomunun kristallik quruluşundan, fiziki-kimyəvi xassələrindən asılı olaraq alınmış birləşmənin tətbiq imkanları dəyişə bilər. Aparılmış tədqiqatlar da həmin materialların elektrik keçiriciliyinə, fotocərəyana və lüminessensiya xassələrinə nadir torpaq elementləri atomlarının təsiri geniş öyrənilsə də, onlara ionlaşdırıcı şüaların təsiri kifayət qədər

öyrənilməmişdir.  $A^3B^6$  yarımkeçirici materialların xassələrini nəzərə almaqla, nadir torpaq elementləri olan itterbi atomlarının daxil edilməsi, yüksək enerjili qamma-şüalanmanın təsiri zamanı yaranan defektlərin maddənin elektrofiziki xassələrinin, yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının, elektrik keçiriciliyinin və yaşama müddətinin geniş intervalda idarə edilməsinə imkan yaradır. Bu isə yarımkeçirici materialların xassələrinin idarə edilməsi və onların əsasında radiasiyaya davamlı cihazların yaradılması üçün yeni imkanlar yaradır və praktiki cəhətdən böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Yarımkeçiricilərin kimyəvi quruluşunu, fiziki xassələrini dəyişdirmək üçün istifadə olunan metodlardan biri də onlara müxtəlif dozalı ionlaşdırıcı şüalanmalar ilə təsir göstərməkdir. Məlumdur ki, müxtəlif növ radiasiya şüalanmasının bərk cisimlərə təsiri mürəkkəb fiziki proses olub, bu prosesin nəticələri şüalanmanın növündən, dozasından, şüalanan materialdan və şüalanma şəraitindən asılıdır.

Ədəbiyyatdan məlum olduğu kimi, kiçik dozalı şüalanmalar sistemin fiziki xassələrinə əsaslı şəkildə təsir göstərərək onun praktiki tətbiq imkanlarını genişləndirə bilər. Qamma şüaların nüfuz etmə qabiliyyəti proton və elektronlarla şüalanmaya nisbətən böyük olduğundan bu şüaların təsiri daha əlverişli metod hesab edilir. Çünki, qamma şüalar yalnız sistemin səthində deyil, həm də həcmində müxtəlif növ defektlər və dəyişikliklər yaratmaq təsirinə malikdirlər.

#### **Dissertasiya işinin məqsədi:**

$\gamma$ -kvantlarla şüalandırılmış aşqarlı GaS(Yb) monokristallarında struktur-aşqar-radiasiya defektlərinin qarşılıqlı təsir mexanizminin xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi və bu xüsusiyyətlərin kristalın radiasiyaya davamlılığına təsirinin öyrənilməsidir.

**Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər yerinə yetirilmişdir:**

- GaS və Yb ilə aşqarlanmış GaS monokristallarının alınması;
- GaS(Yb) kristalının volt amper xarakteristikasının 110-300K temperatur intervalında araşdırılması və cərəyanın keçmə mexanizminin müəyyən edilməsi;

- qamma-kvantların GaS(Yb) kristalının volt-amper xarakteristikasına və cərəyanın keçmə mexanizminə təsirinin öyrənilməsi;
- GaS kristalının elektrik keçiriciliyinə Yb-atomunun təsirinin 110-300 K temperatur intervalında araşdırılması və lokal energetik parametrlərin təyini;
- qamma-kvantların GaS(Yb) kristalının elektrik keçiriciliyinə təsirinin 110-300 K temperatur intervalında araşdırılması və lokal energetik səviyyələrin təyini;
- GaS(Yb) kristalında aşqar Yb atomunun fotocərəyana təsirinin 110-300K temperatur intervalında araşdırılması və cərəyanın keçmə mexanizminin müəyyən edilməsi;
- qamma-kvantların GaS(Yb) kristalının fotocərəyana təsirinin 110-300K temperatur intervalında araşdırılması və lokal energetik səviyyələrin təyini;

#### **Tədqiqat obyektı və metodları:**

Tədqiqat obyektı olaraq GaS və GaS(Yb) monokristalları seçilmişdir. Tədqiqat prosesində bu birləşmələrin qamma-kvantlarla şüalanma üsulu, onların quruluş defektləri ilə radiasiya defektlərinin qarşılıqlı təsirinin öyrənilməsi, qamma-kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS(Yb) laylı monokristallarının elektrik, fotoelektrik, optik xassələrinə  $\gamma$ -kvantların təsiri metodlarından istifadə edilmişdir.

#### **Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:**

- GaS(Yb) laylı monokristalının elektrik xassələrinə ionlaşdırıcı  $\gamma$ -şüalanmanın təsir mexanizminin xüsusiyyətlərinin araşdırılması
- GaS(Yb) laylı monokristalının fotoelektrik xassələrinin şüalanma dozəsindən asılılığının dəyişmə xüsusiyyətlərinin tədqiq edilməsi
- GaS(Yb) laylı monokristalının lüminessensiya və udulma spektrlərinə  $\gamma$ -şüalanmanın təsirinin müəyyənləşdirilməsi
- $\gamma$ -kvantlarla şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalının elektrik və fotoelektrik xassələrinə termik dəmləmənin təsirinin xüsusiyyətləri

#### **Elmi yeniliyi:**

- GaS(Yb) kristalında cərəyanın keçmə mexanizminə elektrik sahəsinin,  $\gamma$ -kvantların təsir mexanizmi müəyyən edilmiş və göstərilmişdir ki, GaS kristalına 0.1at%

miqdarda aşqar Yb atomunun daxil edilməsi, elektrik sahəsinin  $E > 10^5$  V/sm qiymətlərində lokal səviyyənin termik ionlaşmasına səbəb olur.

- GaS monokristalının elektrik keçiriciliyinə Yb-atomunun təsir mexanizmi müəyyən edilmiş və göstərilmişdir ki, GaS kristalına 0.1at% miqdarda aşqar Yb atomunun daxil edilməsi, kristalın keçiriciliyini azaldır.

- GaS(Yb) kristalında  $\gamma$ - kvantların təsiri ilə defekt yaranma mexanizmi müəyyən edilmiş və göstərilmişdir ki, şüalanma dozasının  $D < 50$  krad qiymətlərində struktur defektlərin nizamlanma prosesi baş verir.

- GaS(Yb) kristalını  $D > 50$  krad dozalı  $\gamma$ - kvantlarla şüalandırılması keçiriciliyin artması, mürəkkəb komplekslərin ( $[V_S Yb_i]$ ;  $[V_{Ga} Yb_i]$ ) dissosiasiyası nəticəsində baş verir.

- $D \leq 50$  krad dozalarda  $\gamma$ - kvantlarla şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalda spektrin 380-1800 nm oblastında fotokeçiriciliyin artması,  $D > 50$  krad  $\gamma$ - kvantlarla şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalda isə fotokeçiriciliyin azalması müəyyən edilmişdir.

- Aşkar olunmuş qanunauyğunluqlar əsasında laylı GaS və GaS(Yb) monokristallarının xarici təsirlərə qarşı dayanıqlığının artırılmasına aid tövsiyələr təklif olunur.

**Praktiki əhəmiyyəti.** İşdə alınan nəticələr göstərir ki, nadir torpaq elementləri daxil etməklə və 1.33MeV enerjili qamma kvantları ilə şüalandırılmış qallium kükürd laylı monokristalları əsasında fotoqəbuledicilər, günəş fotoelementləri hazırlamaq mümkündür.

**İşin aprobasiyası.** Dissertasiyanın əsas nəticələri "International Youth forum Integration Processes of the World Science in the 21<sup>st</sup> Century" (Ganja Azerbaijan, 2016), "Третьего междисциплинарного молодежного научного форума с международным участием "Новые материалы", (Москва, Russia, 2017), "Radiation processes and their applications" international conference dedicated to the 70th Anniversary of Academician M.K. Karimov (Baku, Azerbaijan, 2018), Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 95-cü ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı (Gəncə, Azərbaycan, 2018), LXVIII International Conference «Nucleus 2018» Fundamental Problems of Nuclear Physics,

Atomic Power Engineering and Nuclear Technologies .Dedicated to the Centennial of Voronezh State University and to the 80th anniversary of the birth of k. A. Gridnev (Voronezh, Russia, 2018), VIII INTERNATIONAL CONFERENCE Semipalatinsk Test Site: Legacy and Prospects for Scientific and Technical Potential Development, (Г. Курчатова, Republic of Kazakhstan, 2018), XVI Курчатова междисциплинарная молодежная научная школа, (Москва, Россия, 2018), "Четвёртый междисциплинарного молодежного научного форума с международным участием "Новые материалы" (Москва, Russia, 2018), Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-cı ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı, (Gəncə, Azərbaycan, 2019), XXI International Youth Scientific (Kazan, Russia, 2019), III Международный Научный Форум «Ядерная наука и технологии» (Almaty, Republic of Kazakhstan-2021), VII Beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransı Fevral məruzələri 2022:Aviakosmik məsələlərin həllində gənclərin yaradıcı potensialı, (Bakı, Azərbaycan, 2022) konfrans və simpoziumlarında məruzə edilmişdir.

**Nəşrlər.** Tədqiqat işinin nəticələri xarici, respublika elmi jurnallarında və konfrans materiallarında çap olunmuş 20 ( 7 məqalə, 13 tezis) elmi əsərlərdə öz əksini tapmışdır.

Dissertasiya işi 2019-2022-ci illərdə AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

#### **Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatlar:**

Dissertasiya işi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri İnstitutunun "Yarımkəçiricilərin radiasiya fizikası" laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

#### **Dissertasiyanın struktur bölmələrinin ayrılıqda həcmi qeyd olunmaqla dissertasiyanın işarə ilə ümumi həcmi.**

Dissertasiya işi titullu vərəqi - 1 səhifə, mündəricat – 2 səhifə (2232 işarə), giriş – 11 səhifə (19974 işarə), 1-ci fəsil 28 səhifə (53896 işarə), 2-ci fəsil 20 səhifə (22110 işarə), 3-cü fəsil 37 səhifə (51164 işarə), 4-cü fəsil 34 səhifə (38740 işarə), əsas nəticələr – 3 səhifə (3750 işarə), 146 adda istinad olunmuş ədəbiyyat siyahısı – 16 səhifə (25473 işarə) və qısaldılmış adlar və şərti işarələr - 2 səhifə ( 744 işarə) olmaqla ümumilikdə 157

səhifədən, o cümlədən, 100 səhifə ancaq mətn (182580 işarə), 55 şəkil və 1 cədvəldən ibarətdir. Dissertasiyada mövcud olan ümumi işarələrin həcmi - 223363.

**Girişdə** tədqiqat mövzusunun və tətbiq edilən işləmə üsulunun aktuallığı əsaslandırılmış, elmi yenilik, praktiki əhəmiyyətliliyi göstərilmiş, işin məqsədi, strukturu, məzmunu barədə məlumat verilmiş, müdafiyyə çıxarılacaq əsas müddəalar və işin aprobeşiyası göstərilmişdir.

**Birinci fəsildə**  $A^{III}B^{VI}$  tip yarımqeçiricilər qrupuna daxil olan maddələrin kristal quruluşu, elektrik, fotoelektrik xassələri və bu xassələrə qamma şüaların təsir mexanizmi haqqında ədəbiyyat məlumatlarının araşdırılması göstərilmiş, onların üstün və çatışmayan xüsusiyyətləri təqdim olunmuşdur. Göstərilmişdir ki,  $A^{III}B^{VI}$  tip yarımqeçiricilər qrupuna daxil olan materiallar yarımqeçiricilər texnikasında, optoelektron cihazların hazırlanmasında yüksək elmi və praktiki maraq doğurur.

Aparılmış tədqiqatlar zamanı əldə olunmuş nəticələr bizə qadağan olunmuş zonada mövcud olan aşqar səviyyələr barəsində geniş məlumatlar verir. Əldə edilmiş mühim məlumatlar qabaqcadan yarımqeçiricilərin tətbiq olunma sərhədlərini müəyyən etməyə və kristalda defektlərin tipini söyləmək imkanı yaradır.

$A^{III}B^{VI}$  tipli (GaS, GaSe, GaTe, InSe və InS) yarımqeçirici birləşmələrinin kristallaşdığı və kristalların yetişdirilmə şəraitdən asılı olmayaraq  $p$ - tip keçiriciliyə malik olduğu müəyyən edilmişdir. Bu tipli laylı birləşmələri digər yarımqeçirici birləşmələrdən fərqləndirən əsas xüsusiyyət onların güclü anizotrop xassəsinə malik olmasıdır. Elmi ədəbiyyatda GaS kristalının elektrik, fotoelektrik və optik xassələrinə dair çoxsaylı tədqiqatların olmasına baxmayaraq, bu xassələrə ionlaşdırıcı şüaların təsirinə aid az sayda işlərə rast gəlmək mümkündür. Onlarda alınmış nəticələr deməyə əsas verir ki,  $\gamma$ -kvantlarla və elektronlarla şüalandırılma zamanı kristalların fəzaca qeyri-bircinslilik dərəcəsinin azalması müşahidə olunur. Bu işlərin müqayisəli təhlili deməyə əsas verir ki,  $\gamma$ -şüalanmanın dozasından asılı olaraq fotoqeçiriciliyin bir neçə tərtib artmasına nail olmaq üçün yüklü donorların konsentrasiyasının azaldılması şərtidir.  $A^{III}B^{VI}$  kristallarının spektrin ultrabənövşəyi oblastda fotoqeçiriciliyə malik olması ilə əlaqələndirilir.  $A^{III}B^{VI}$  tip birləşmələrdə yüngül deşiklərin valent zonasının alt hissəsində mövcud olmasının əsas səbəbi onların ultrabənövşəyi oblastda yüksək

fotokeçiriciliyə malik olması ilə əlaqələndirilir.  $A^{III}B^{VI}$  tip yarımkəçiricilər qrupuna daxil olan birləşmələrin xarici təsir şəraitində elektrofiziki xüsusiyyətlərinin öyrənilməsinə dair müxtəlif modellərin mövcudluğuna baxmayaraq, bu birləşmələrin praktiki tətbiq imkanlarının araşdırılması ilə bağlı, xüsusilə də keçirici strukturların işlənilməsinə aid elmi məlumatlar demək olar ki, yox dərəcəsindədir.

Fəslin sonunda araşdırılmış ədəbiyyatlardakı məlumatların təhlili nəticəsində radiasiya effektlərinin yarımkəçirici cihazlarda öyrənilməsinin elmi və praktiki əhəmiyyətinin vacibliyi nəzərə alınaraq dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş işlər əsaslandırılmışdır.

**İkinci fəsil**də təcrübi işin aparılması üsulları, tədqiq olunan  $A^{III}B^{VI}$  qrup birləşmələrindən olan laylı quruluşlu GaS və GaS(Yb) monokristallarının sintezi və Bridgman-Stokbarqer üsulu ilə alınma texnologiyası verilmiş, həmçinin qurğunun sxemi göstərilmişdir. Aparılmış rentgen struktur analizinin nəticələri əsasında alınmış GaS və GaS(Yb) monokristallarının quruluşu, monokristallığının mükəmməlliyi müəyyən edilmişdir. Alınmış nümunələrin VAX, elektrik, fotoelektrik parametrlərinin ölçmə metodları, həmçinin istifadə olunan ölçmə qurğularının sxemi və onlar haqqında məlumat verilmişdir.

Tədqiqat üçün seçilmiş nümunələrin xarakteristikalarını azot temperaturda vakuum şəraitində ölçmək üçün istifadə edilən kriostatın, eyni zamanda fotocərəyanın ölçülməsinin sxematik təsvirləri göstərilmişdir. Sxem tədqiq edilən nümunədən ( $R_n$ ), TEC-9 markalı gərginlik mənbəyindən, nümunəyə ardıcıl qoşulmuş müqavimətdən ( $R_y < R_n$ ), gərginliyi ölçmək üçün B7-27A markalı voltmetrdən və cərəyan şiddətini ölçmək üçün iki ampermetrdən ibarətdir. Kiçik cərəyanı ( $10^{-15}A - 10^{-7}A$ ) ölçmək üçün B7-30 markalı universal voltmetr-elektrometrdən, nisbətən böyük cərəyanı ( $10^{-9}A - 10^{-3}A$ ) ölçmək üçün isə Ф-136 markalı mikrovolt-nanoampermetrdən istifadə edilmişdir. Nümunənin üzərinə müəyyən dalğa uzunluqlu monoxromatik işıq salmaq üçün qidalanma mənbəyi və lampadan ibarət olan CF-4 spektrofotometrindən (spektral dalğa oblastı 200-2000 nm), işıq mənbəyi kimi gücü 20 Vt olan lampadan istifadə edilmişdir.

Fəsildə qamma şüalanmanın təsirindən sonra kristallarda defektlərin yaranma mexanizmlərini öyrənmək məqsədi ilə məlumatlar verilmiş və müvafiq hesablamaları aparmaq üçün uyğun olan düsturlar göstərilmişdir.

Şüalanmadan sonra laylı GaS(Yb) kristallarında çıxan defektlərin tablama prosesi temperaturun  $100^{\circ}\text{C}$  qiymətində və fərqli zaman intervalında ( $15\div 60$  dəq.) aparılması təsvir olunmuşdur. Dəmləmə prosesi üçün optimal qiymət təcrübə alınmış nəticəyə əsasən seçilmişdir.

İşdə Origin 9.1 proqramından istifadə etməklə VAX asılılığının, elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığının, müxtəlif temperaturlarda fotocərəyanın dalğa uzunluğundan asılılığının qrafikləri qurulmuşdur.

**III fəsildə** GaS və GaS(Yb) monokristallarının elektrik xassələri, eləcə də qamma şüalanmanın onların elektrik xassələrinə təsiri tədqiq edilmişdir. Tədqiq edilən nümunələrin müxtəlif temperaturlarda, müxtəlif elektrik sahələrində  $\gamma$ -şüaların təsirindən sonra elektrik xassələri öyrənilmişdir. GaS və GaS(Yb) monokristallarının müxtəlif temperaturlarda volt-amper xarakteristikası, eləcə də elektrik keçiriciliyinin şüalanmadan əvvəl və sonra, qaranlıqda və işığın təsiri altında temperaturdan asılılığı tədqiq olunmuşdur.

GaS və GaS(Yb) monokristallarının elektrik xassələri, onların qadağan olunmuş zonasında mövcud olan lokal səviyyələrin parametrləri, məsələn, lokal səviyyələrin qadağan olunmuş zonada energetik yeri, lokal səviyyələrdəki yükdaşıyıcıların aktivləşmə enerjilərinin qiyməti və s. haqqında məlumatlar VAX-ın, eləcə də elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığının tədqiqi əsasında verilmişdir. GaS və GaS(Yb) monokristallarının VAX və elektrik xassələrinə qamma şüalanmanın təsirini öyrənmək üçün ilkin nümunənin VAX və elektrik xassələri tədqiq edildikdən sonra nümunə  $290\text{ K}$  temperaturda  $^{60}\text{Co}$  izotop mənbəyinin şüalandırdığı  $\gamma$ -şüalarla şüalandırılmışdır.

Müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan GaS monokristalını itterbi ionları ilə aşqarladığında Yb- atomunun ion radiusu ilə komponent atomlarının ion radiusu arasındakı fərq nisbətən kiçik olduğundan aşqar atomunun həm laylar daxilində (Ga atomunu əvəz edər və ya düyünlər arasında) , həm də laylar arasы fəzada yerləşə bilər. Bunun nəticəsində, birincisi vakansiya tipli quruluş defektlərinin miqdarı azalır, belə

ki, anion atomları itterbi elektronlarını qəbul edərək deşiklərin konsentrasiyasını azaldır, ikincisi Yb- atomları vakansiyaları tutur, müxtəlif laylarda yerləşərək, qonşu laylar arasında Van-der-Valls rabitələri ilə müqayisədə daha güclü kovalent rabitə yaradırlar. Bu isə quruluş defektlərinin yaxşılaşmasına gətirir ki, bunun nəticəsində elektrik keçiriciliyi azalır.

**Dissertasiya işinin IV fəslində** GaS monokristalını Yb ilə aşqarladıqdan və şüalanmadan sonra yaranan aşqar-radiasiya defektlərini idarə etmək üçün fotoelektrik xassələrinin tədqiqi aparılmışdır. Fotoelektrik xassələri otaq və  $T=110\text{K}$  temperaturlarında şüalanmadan əvvəl və sonra ( $D=20\text{krad}$ ,  $50\text{krad}$ ,  $100\text{krad}$  və  $200\text{krad}$ ) dozalarında laylı GaS və GaS(Yb) monokristallarında tədqiq edilmişdir. Fotoelektrik xassələrinə əsasən qamma kvantlarla şüalanmadan sonra yaranan radiasiya defektlərinin təbiəti öyrənilmişdir, sonra isə fotoelektrik xassələrinə termik dəmlənmənin təsir mexanizmi göstərilmişdir.

$D=50\text{krad}$  qamma kvantları ilə şüalandırılmış və  $473\text{K}$  temperaturda 15, 30 və 60 dəqiqə müddətlərində termik dəmlənmiş GaS(Yb) kristalının fotocərəyanın spektral paylanması göstərilmişdir. Termik dəmləmə prosesindən sonra şüalanma zamanı yaranan defektlərin konsentrasiyasının dəyişdiyi müəyyənləşdirilmişdir. Həmin hadisələrin müqayisəli təhlili əldə edilən təcrübi nəticələrin əsasında bu hadisələrin laylı GaS(Yb) monokristallarında proseslərinin fiziki mexanizmini izah edən modelin təklif olunmasına imkan vermişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, laylı GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın spektral paylanma spektrində, fotocərəyanın maksimal qiymətinə uyğun dalğa uzunluğunda cərəyanın qiyməti ( $I_{f, \lambda_{\max}}$ )  $T=300\text{K}$  temperaturda elektrik sahə intensivliyindən asılı olaraq qismən azalır,  $T=110\text{K}$  temperaturunda isə, fotocərəyanın qiyməti eksponensial qanunla artır. GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın – ( $I_{f, \lambda_{\max}}$ ) –sahə intensivliyindən asılı olaraq dəyişməsi, aşqarlanma zamanı yaranan donor tipli dayaz səviyyənin termoionlaşması ilə bağlıdır. Qamma-kvantlarla şüalandırılmış laylı GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın spektral paylanma spektrində uzundalğa sərhəddinə uyğun dalğa tezliyi  $T=300\text{K}$  temperaturda sahə intensivliyinin  $8,7 \cdot 10^2\text{ V/sm}$  qiymətində  $\sim 50\text{ krad}$  şüalanma dozasında yaranan defektlərin aşqar atomları ilə

qarşılıqlı təsiri nəticəsində spektrin aşağı tezlik oblastına tərəf sürüşür.  $D > 50$  krad şüalanma dozalarında isə yüksək tezlik oblastı tərəfə sürüşür .

Fəslin sonunda  $D=50$ krad qamma kvantlarla şüalandırılmış p-GaS(Yb) laylı monokristallarında alınan fotocərəyanın nisbi qiymətinin termik dəmləmə müddətindən asılılığı tədqiq edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, şüalanmadan sonra termik dəmlənmə nəticəsində yaranan defektlər elektro-aktiv defekt adlanan daha dayanıqlı defektlərə çevrilir və bu defektlər laylı kristalların fotoelektrik xassələrini məqsədə uyğun şəkildə idarə etməyə imkan yaradır.

Sonda elmi-tədqiqat işinin əsas nəticələri, dissertasiyanın nəticələrinin dərc olunduğu mənbələr və istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı verilmişdir.

## I FƏSİL

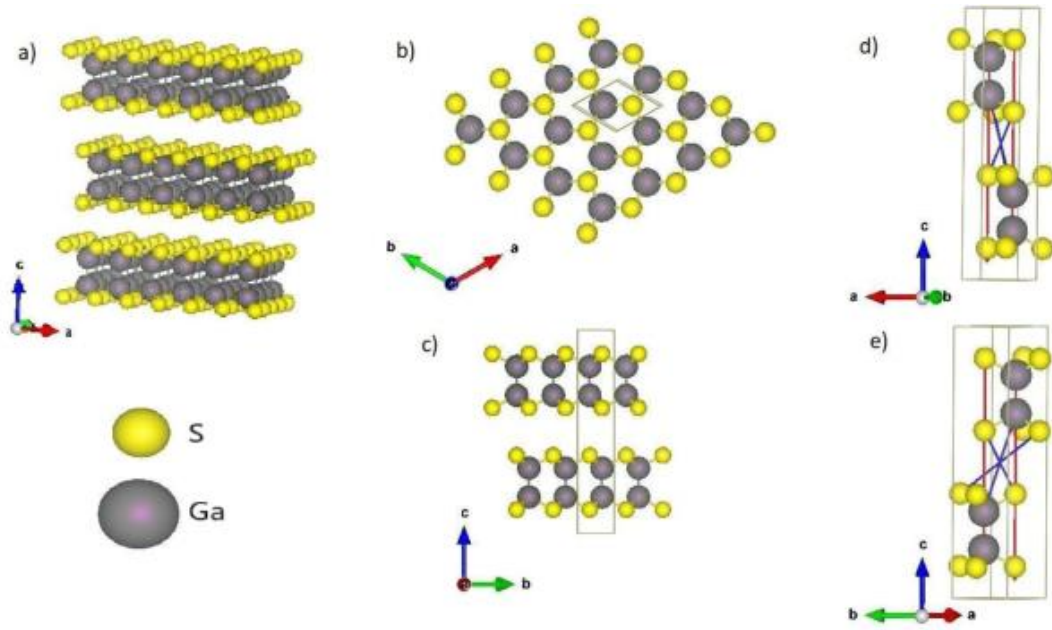
### **A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> TIPLİ LAYLI YARIMKEÇİRİCİLƏRİN ELEKTROFİZİKİ XASSƏLƏRİ VƏ RADİASIYA EFFEKTLƏRİNƏ DAİR ƏDƏBİYYAT İCMALI**

#### **1.1. A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> tipli laylı yarımkeçiricilərin quruluşu və elektrofiziki xassələri**

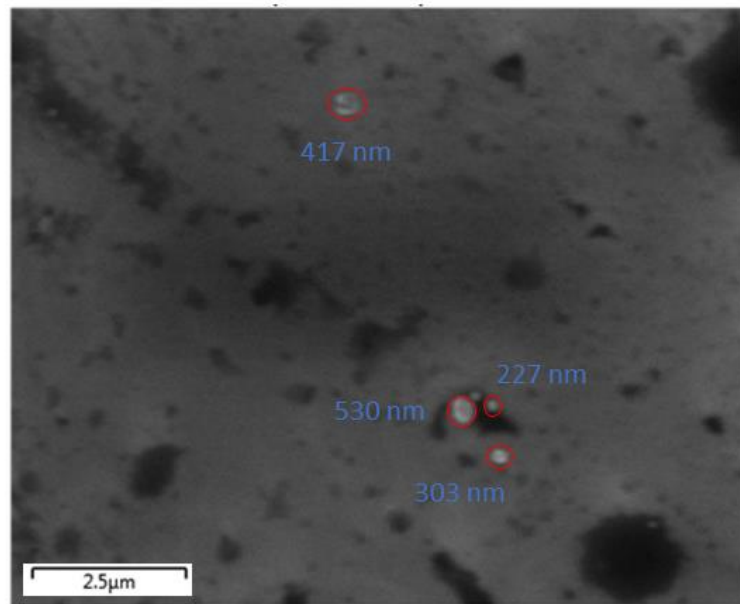
Elmi ədəbiyyatdan məlum olduğu kimi, laylı kristallarda həcmi kristallardan fərqli olaraq atomlar arasında kimyəvi rabitənin ion- kovalent növləri olduğu halda laylar arasında qeyri-kimyəvi rabitə olan molekulyar Van-der-Vaals rabitəsi təsir edir.

A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> tip birləşmələr özlərini kimyəvi rabitə və quruluş xüsusiyyətləri ilə xarakterizə olunan yarımkeçiricilər kimi göstərir. Bununla əlaqədar olaraq həmin yarımkeçiricilərdə bir sıra fiziki xassələr [1, s.54], [12, s.41-56] müşahidə olunur- anizotropiya, yüksək fotohəssaslıq, radiasiyaya davamlıq, lüminessensiya və s. A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> tipli laylı birləşmələr yüksək anizotrop xassələrinə görə xüsusilə fərqlənirlər. A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> tip yarımkeçiricilərdə (GaS, GaSe, InSe, GaTe) güclü anizotrop luq xassəsinin yaranmasının səbəbi odur ki, layların atomları arasındakı qarşılıqlı təsir qüvvəsi layın daxilindəki atomların qarşılıqlı təsir qüvvəsindən əhəmiyyətli dərəcədə zəifdir. GaS monokristalında əsasən layların arasında qarşılıqlı təsiri Kulon qüvvələrinin kiçik əlavəsi ilə Van-der-Vaals qüvvəsi yaradır, layın daxilində isə rabitə qüvvəsi, əsasən, ion-kovalent tiplidir. Layların arasında son dərəcə zəif qarşılıqlı təsirə görə, bu kristalları təsadüfi istiqamətdə kəsmək çox çətin olsa da, layların boyunca “c” - oxuna perpendikulyar istiqamətdə təbəqələri bir-birindən ayırmaq çox asandır. [144, s.3178-3179], [146, s.1] GaS-də laylar atomların “c” - oxu boyunca S-Ga-Ga-S ardıcılığı ilə yerləşən dörd təbəqədən ibarətdir və elementar özəkdə iki lay vardır.

Laylı yarımkeçiricilər arasında GaS monokristalı və onun yuxarıda göstərilən anoloqları laylı quruluşa malik olub, tədqiqatçılar tərəfindən geniş maraq kəsb edir. GaS monokristalları ayrılıqda yetişdirilmə şərtindən asılı olaraq n- və ya p- tip yarımkeçirici şəklində əldə oluna bilinir.



Şək.1.1.1. Laylı GaS monokristalının quruluş təsviri [85, s. 3]



Şək.1.1.2. GaS monokristalının elektron-mikroskopik şəkli

[12, s.36-41], [131,s.3-5] , [111, s.327-330] Sarı rəngli olan GaS laylı monokristalı otaq temperaturunda (300K) 2.5 eV qadağan olunmuş zonaya malikdir. GaS monokristalı istiyə və işığa qarşı həssas olub ərimə temperaturu isə 1238K-dir. GaS monokristalının hər bir layı 'c' optik oxu boyunca S-Ga-Ga-S ardıcılığı ilə heksoqonal yığılmış sıx pakətdən ibarətdir. Şəkil 1.1.1.-də laylı GaS monokristalının kristallik quruluşu, şəkil 1.1.2.-də isə elektron mikroskop vasitəsilə çəkilmiş təsviri verilmişdir.

GaS monokristalı tipik laylı yarımkəçiricidir və onun bir çox optik və elektrofiziki xassələrini izah etmək üçün zona quruluşunu nəzərdən keçirək.

[6,s.14-15] laylı yarımkəçiricilərin zona quruluşunun sadə modeli təklif olunmuşdur. Bu modelə görə bir atomlu laylar arasında qarşılıqlı təsir Van-der- Vaals təsiri hesab olunur. GaS monokristalında hər bir lay dörd bir atomlu mini laydan ibarət olub, onlar arasında güclü qarşılıqlı təsir mövcuddur. Fiziki-kimyəvi və struktur tədqiqatlarının olduqca geniş təsviri [37, s.103-108], [100, s. 2-12] işlərində verilmişdir.

[80, s.95] işində güclü rabitənin yarıempirik metodu çərçivəsində Bassonin və Paraviçin tərəfindən alınmışdır. Yaxşı məlumdur ki, güclü rabitə metodu zona keçiriciliyinin təsvir etmək üçün kifayət etmir. Ona görə də Baasoni-Paraviçin metodu icazə verilmiş sərbəst zonanın enerjisinə cavab verən enerji oblastında real görünür. Şlyuterin işində [136, s.313] GaS-in zona quruluşu lokal empirik psevdopotensial metodu çərçivəsində hesablanmışdır, hansı ki almaz tipli zona quruluşlarının öyrənilməsində böyük müvəffəqiyyətlə tətbiq olunur.

Almazabənzər kristalların zona quruluşu kifayət dərəcədə orbit rabitə metodu ilə təsvir edilir [97, s.4487, s.4497]. Bu metodda orbital əlaqələri qonşu atomların  $sp^3$  valent hibridlərindən əmələ gəlir ki, elementar özəkdəki orbitlərin tam sayı valent zonanın tam sayına uyğun gəlir. Belə ki, orbit əlaqələri  $sp^3$  gallium hibridindən və  $p^3$  kükürd hibridindən yaranır. Bu metod çox sadədir və fotoemissiya spektrlərinin ölçülməsi ilə təyin olunan valent zonasının yuxarı hallarının sıxlığının yaxşı təsvir edir.

GaS laylı quruluşa malik olub, hər lay ikiölçülü keçiricidir. Bu laylarda hər bir atom bir-biri ilə kovalent rabitədir. Belə ki, hər bir kation atomu üç anion atomu ilə

tetraedrik və bir kation atomu ilə əhatə olunur. Tipik yarımkeçiricilərdə olduğu kimi, bu birləşmələrdə kation cütləri artıq elektronlar kompensasiya edir.  $Ga^{-1}$  rabitə quruluşu tetraedrikdir və  $sp^3$  hibridləşmiş orbitindən ibarətdir. Amma  $s^{+1}$  isə  $p^3$  ilə triqonaldır və  $s^2$  təbəqəaltı doludur. GaS və onun analogları olan ( InSe, GaTe, GaSe, ZnSe) yarımkeçiricilik s və p orbitlərinin kationla dolması ilə şərtlənir [21, s.115, s.118-119].

GaS laylı kristalında üç tip rabitə mövcuddur. Ga-Ga, S-S, Ga-S . Qonşu paketlər sərhəddində yerləşən S-S atomları arasındakı məsafə  $3.09 \cdot 10^{-4}$  mkm-dir. Belə ki, S-S arasındakı rabitə zəif Van-der-Vaals laylar daxilində isə kovalent xarakterlidir. Ga-Ga arasındakı məsafə  $\sim 2.46 \cdot 10^{-4}$  mkm olub paket daxilində bir-birinin üzərində yerləşir və paketdə iki nüvəli yüklü ion şəkilində  $Ga_2^{4+}$  ( $In^{4+}$ ) iştirak edir. Bu ionların elektronlarının cütləşməsi dəyişir ki, bu da yarımkeçiricilik şərtinin ödənilməsinə gətirir. Ga-Ga kovalent rabitəyə malikdir, ancaq Ga-S ( $2.37 \cdot 10^{-4}$  mkm) isə qarışıq kovalent xarakter daşıyır. Laylar arasında zəif əlaqənin olmasını nəzərə alaraq GaS və GaSe –də udulmanı analiz edərək Fişer ilk dəfə olaraq [90, s.317-319] iki sadə təklifə əsaslanaraq energetik zona quruluşunu təklif etmişdir. Birinci təklif ona əsaslanır ki,  $E_g$  enerjisi ilə dalğa vektoru k arasındakı asılılıq sərbəst elektronlar üçün

$$E(k) = \hbar^2 k^2 / 2m_0 \quad (1.1.1)$$

Maillik ancaq Brilliyen zonasının ətrafında baş verir. Belə ki, səthin sabit enerjisi zonanın sərhəddində perpendikulyar olacaqdır. İkinci təklif GaS və GaSe birləşmələrinin quruluş xüsusiyyətləri ilə əlaqədardır. Hər iki maddə laylı quruluşda kristallaşır və hər bir layın daxilində atomların yerləşməsi bu və ya digər birləşmələr üçün eynidir. Nəticə etibarlı ilə gözləmək olar ki, onların zona quruluşu da bir-birinə uyğundur. Laylar arasında əlaqə Van-der-Vaals təbiətli olub [90, s.333], çox kiçik ion rabitəsinə malikdir. Bu isə ona gətirir ki, müxtəlif laylarda elektronun dalğa funksiyası praktiki olaraq örtülmür. GaS və GaSe birləşmələrinin elektron xassələrini ikiölçülü modelin köməyi ilə izah etmək olar. Fişer tərəfindən təklif olunan iki fikir əsasında energetik zona quruluşu qurulmuşdur. Bu halda ikiölçülü k-fəzasında birinci Brilliyen zonası altıbucaqlıdır. Valent zonası iki yarım zonadan ibarət olub, maksimumu Brilliyen zonasının  $\Gamma$ -nöqtəsindədir. Bu nöqtədə hər bir yarımzona cırlaşmışdır.

Keçirici zona mürəkkəb xarakterə malikdir, bu halda ən aşağı zona sərhəddində iki minimum vardır ki, bu da  $k=0$ -da sürətlə artır.  $k=0$  nöqtəsində keçirici zonanın heç bir yarımzonası minimuma malik deyil. Bunun əsasında udulmanın fundamental sərhəddi çəp keçidlərlə şərtlənməlidir. GaS kimi laylı kristallarda elektron-deşik cütü bu və ya digər lay daxilində yaranaraq üçölçülü kristallar üçün qonşu laylarda yerləşən deşiklər hesabına eksiton yaradar. Bu eninə eksitonlar GaS-in udulma sərhəddində kəskin piklər yaradırlar.

[80, s.95, s.128], [102, s.583-588] işində GaS və GaSe birləşmələrinin zona quruluşu və optik xassələri tədqiq edilmişdir. Zona quruluşu həmin birləşmələrin əsas xassələri ilə əlaqələndirilir və optik həyəcanlanmış spektrlərinin bir sıra xüsusiyyətləri ilə izah edilir. Müəlliflər göstərirlər ki, GaS kristalında udulma sərhəddi  $\Gamma^+$  və  $P^+$  halları arasındakı çəp keçidlərə, GaSe-də isə  $\Gamma^+$  və  $\Gamma^+$  halları arasındakı düz keçidlərə uyğundur.

$GaS_xSe_{1-x}$  bərk məhlul monokristallarından hazırlanmış qalın nümunələrdə optik udulma tədqiq edilmişdir [82, s.707, s.709]. Göstərilmişdir ki, həmin nümunələrdə  $0 \times 1$  aralığında energetik keçidlər çəp keçidlidir. Bu nəticələr [80, s.95] işi ilə bir-birini inkar edir. Belə ki, işdə göstərilir ki, GaSe –də düz keçidlər GaS-də isə çəp keçidlər baş verir. Ancaq müəlliflər təsdiq edirlər ki, bu nəticələr təsadüfi alınmış bığcıqlarda müşahidə olunur, hansı ki təkrar alınmaq mümkün olmamışdır.

GaS və GaSe-nin zona quruluşu habelə [104, s.1313-1314, s.1321-1322] işində də hesablanmışdır. Bu işdə müəlliflər GaS və GaSe-nin anizotrop luq xassəsinə istinad edərək  $\sigma$  və  $\pi$  zonalarını təsnif etmişlər. Onlar düşünürlər ki,  $\sigma$  zonası enerji cəhətdən  $\pi$  zonasından aşağıda yerləşir. Bu modelə görə GaS və GaSe –nin yarımkeçiricilik təbiəti  $\pi$  zonasının quruluşundan asılıdır. GaS və GaSe-nin zona quruluşu  $\pi$  zonası üçün güclü rabitə, optik udulma, əks etdirmə əmsalı və maqnit optik udulma məlumatları əsasında qurulmuşdur. Bu məlumatlara əsasən GaSe üçün zona keçiriciliyi  $\Gamma$  nöqtəsində kiçik effektiv kütləli elektronlardan ibarət üçölçülü xarakterə malikdir. Hansı ki,  $m_e(\Gamma_3) = 0.15m_0$

Bu zaman valent zonası isə ikiölçülü xarakter daşıyır və orada elektronların effektiv kütləsi sərbəst elektronların kütləsindən böyükdür, yəni  $M=2m$ . Qeyd etmək

lazımdır ki, belə ikiölçülü energetik zonanın olması GaS və GaSe kristallarının zona quruluşunun maraqlı xüsusiyyətlərə malik olduğunu göstərir.

Metallik nadir torpaq elementi ilə GaS monokristalının qarşılıqlı təsiri, həmin komponentlərin maddədə həll olma oblastının təyini və GaS-Ln, GaS-LnS, GaS-Ln<sub>2</sub>S<sub>3</sub> hal diaqramlarının qurulması [56, s.76] işində verilmişdir. Hal diaqramı əsasında Ln, LnS, Ln<sub>2</sub>S<sub>3</sub> lantanoidlərinin həll olmasının maksimal qiyməti təyin edilmiş, bunlar əsasında kristallar yetişdirilmiş, GaS monokristalının fotoelektrik və optik xassələri tədqiq edilmişdir. Nəticələr əsasında müəyyən edilmişdir ki, NTE komponentinin ion halından asılı olaraq GaS monokristalının qadağan olunmuş zonasında müxtəlif enerjili səviyyələr yaranır. Təmiz və NTE ilə aşqarlanmış GaS monokristalının elektrik xassələrinin tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, aşqarlanmış nümunələrdə anizotropiyanın qiyməti kiçilir. Bunun əsasında GaS kristalının quruluşunda NTE harada yerləşməsi müəyyən edilmişdir [57, s.276]. Böyük ehtimalla NTE həmin kristalda laylararası fəzada yerləşdiyi göstərilmişdir.

Kristallik quruluşa malik GaS kristalı hidrogen fraksiyaları ( $H_{m/4} = 0:1 \{0:4\}$ ) olan Ar və H<sub>2</sub> qaz qarışıqları ilə radio-tezlik reaktiv maqneton püskürtmə metodu ilə silicon şüşə altlığı üzərində alınmışdır. Alınmış GaS nazik təbəqənin quruluş və optik xassələri geniş tədqiq edilmişdir [130, s.4780, 4783]. Rentgen difraksiya ölçmələri əsasında müəyyən edilmişdir ki, 500 °C temperaturda Ar ( $H_{m/4}=0$ ) qazı istifadə etdikdə GaS nazik təbəqəsi amorf quruluşa,  $H_{m/4}=0$  istifadə etdikdə isə c oxu istiqamətində kristallik quruluşa malikdir. GaS nazik təbəqəsinin XRD spektrləri əsasında müəyyənləşdirilmişdir ki, GaS nazik təbəqəsi altıbucaqlı heksoqonal quruluşa malikdir. Həmçinin  $H_{m/4}=0$ -də yetişdirilən GaS nazik təbəqəsi c oxu istiqamətində alt təbəqə müstəvisində yönəlmişdir. GaS nazik təbəqəsində kristallikliyi artırmaq üçün səth diffuziya enerjisi reaktiv hidrogen qazının iştirakı ilə azaldılır. Aşağı temperaturda göstərilmişdir ki, şüşə üzərində GaS nazik təbəqəsinin alınması üçün hidrogen qaz qarışığından istifadə edilməsi effektiv üsuldandır.  $H_{m/4}=0$  radio-tezlik uçurdulma yolu ilə alınmış GaS nazik təbəqəsinin qadağan olunmuş zonasının enerjisi düz keçid üçün  $E=3.0\text{eV}$  müəyyən edilmişdir. Görünən oblastda optik kvant çökəkliklərinə malik

yarımkrystallik GaS nazik təbəqəsi yüksək keyfiyyətli tətbiqlər üçün bir sıra yüksək keyfiyyətlərə malikdir.

## **1.2. Aşqarsız A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> tipli laylı yarımkeçiricilərin elektrofiziki, fotoelektrik və optik xassələri**

Laylı quruluşa malik kristallar mükəmməl ayrılı bilən laylara malik olub, laylara perpendikulyar və paralel istiqamətdə anizotropik xüsusiyyətləri ilə xarakterizə olunurlar. GaSe ilə müqayisədə GaS monokristalının elektrik xassələri az tədqiq edilmişdir.

[35, s.68-70] işində GaSe-nin anizotropik elektrik xassələri tədqiq edilmişdir. GaSe-nin laylı strukturunun elektrik xassələrinə təsiri işdə tədqiq edilmişdir. Keçiricilik və Hall effekti laylar istiqamətində dörd kontakt metodu ilə tədqiq edilmişdir. c oxuna paralel və perpendikulyar istiqamətdə yürüklüyün ölçülməsi 80-500K temperatur intervalında 10kE maqnit sahəsində  $10^{-7}$ - $10^{-3}$  A cərəyan rejimində aparılmışdır. Ölçmələr aktivləşmə enerjisi 0.30eV-dan 0.045eV-a qədər dəyişən p-tip keçiriciliyə malik nümunələrdə aparılmışdır. Laylar istiqamətində ölçülmüş  $\mu \sim T^2$  yürüklük bütün temperatur intervalında homopolyar optik fononlardan səpilmə nəzəriyyəsi ilə uzlaşır. Yüksək temperatur intervalında  $\mu \sim T^n$ -dir, hardaki  $n \geq 2$ .  $T=300K$ -də  $\mu_{||}$ ,  $\mu_{\perp} \sim T$  və  $4\text{sm/Vsan}$ , yüksək temperaturlarda isə  $\mu_{||} \sim e^{E/kT}$ , hardaki  $E=0.03 \div 0.06\text{eV}$ .

Elektron keçiriciliyinin və Şrark effektinin tədqiqi göstərdi ki, qallium kükürd monokristal laylı quruluşa malik olub, bu yarımkeçirici zona keçiriciliyinə yaxın sahədə izotropik elektron halına, valent zonada isə bir qədər anizotropiyaya malikdir [65, s.154]. Üstəlik elektronun effektiv kütləsi c oxuna perpendikulyar istiqamətdə paralel istiqamətə nisbətən böyükdür ( $m_{\perp}=0.8m_0$ ,  $m_{||}=0.2m_0$ ). GaSe-də elektron və deşiklərin effektiv kütləsi anizotrop olmasına baxmayaraq elektron halı üçölçülü olub, effektiv kütlənin anizotropiyası müşahidə olunmur ( $m_{\perp}/m_{||}=1.0$ ). Bu məlumatları kimyəvi potensial əsasında hesablanmış zona quruluşunun qiymətləri də təsdiq edir. Göstərilmişdir ki, hər iki zonada yükdaşıyıcıların effektiv kütləsinin nisbəti vahid

tərtibindədir. Meylilik c oxu istiqamətində atom dalğa funksiyasının üst-üstə düşməsini azaldan laylar arasındakı potensial çəpərin yaranması ilə əlaqədardır.

[79, s.101, s.111] işində göstərilir ki, keçiriciliyin anizotropiyası temperaturun aktivliyindən asılı olmayıb, nümunənin qalınlığının kvadratı ilə düz mütənasibdir. Anizotropiyanın temperatur və qalınlıqdan asılılığının tədqiqi əsasında belə nəticəyə gəlinmişdir ki, anizotropiyanın qiyməti həcm və səth keçiriciliyi ilə əlaqədardır. Bu model əsasında müəlliflər hər hansı hipotetik səth qalınlığı daxil etməklə anizotropiyanın qalınlıqdan asılılığını izah etmişlər. Müasir dövrə qədər keçiriciliyin anizotropiyasının qiyməti həm eksperimental, həm də nəzəri hesablanmış qiymətlərlə əksilik təşkil edir ki, bu da eksperimental nəticələrin doğruluğunu izah edə bilən vahid fikir söyləməyə imkan vermir.

Bir çox alimlər [76, s.225] işində ətraflı şəkildə qallium selen monokristalının elektrik xassələrini tədqiq etmişlər. Göstərilmişdir ki, aşağı temperaturdan başlayaraq elektrik keçiriciliyi temperaturun artması ilə eksponensial artır və 400K temperaturda doyma halına keçir. Müəlliflərin fikrinə görə bu maksimum akseptor mərkəzlərinin tam ionlaşması ilə şərtlənir.

Temperaturun artması ilə elektrik keçiriciliyinin sonrakı azalması konsentrasiyanın sabit qalması nəticəsində ( $N_a - N_d = \text{const}$ ) dəşiklərin yürüklüyünün azalması ilə izah edilir. Elektrik keçiriciliyinin meylliliyindən təyin edilmiş qadağan olunmuş zonanın eni və akseptor mərkəzinin dərinliyi, Holl ölçmələrindən alınmış qiymətlərlə uyğunluq təşkil edir. Dəşiklərin yürüklüyünün ölçülməsindən belə nəticəyə gəlinmişdir ki, 200K temperatura qədər cərəyan daşıyıcıları ionlaşmış aşqarlardan səpilmə ilə, 200K temperaturdan yuxarı temperaturlarda isə optik fononlardan səpilmə ilə əlaqədardır. İşdə habelə yükdaşıyıcıların konsentrasiyası üçün effektiv kütlənin və termoelektrik hərəkət qüvvəsinin qiymətləri verilir. Uzun zaman müddətində laylı materiallara ikiölçülü bərk cisim kimi baxılırdı. Belə ki, onlarda elektron halına əsasən ikiölçülü zona quruluşu əsasında təsvir edilirdi, harda ki laylar arasındakı qarşılıqlı təsir nəzərə alınmırdı. Bunun nəzərə alınmamasının əsasında laylar arasında zəif mexaniki əlaqənin olması dururdu. Bu modelin əsasında [92, s.743, s.747, s.752] müəlliflər yürüklüyün temperaturdan asılılığını izah etdilər.

$$\mu = \mu_0(T/300)^{-n} \quad (1.1.2)$$

hardakı n GaSe üçün 2.1-ə bərabərdir.

İkiölçülü yaxınlaşmada nəzəri nəticələri eksperimental məlumatlarla müqayisə edərək müəlliflər belə nəticəyə gəlmişlər ki, dəşiklər əsasən qeyri-polyar optik fononlarla qarşılıqlı təsirdə olurlar. GaSe-də ikiölçülü yaxınlaşmada zona quruluşunun hesablanmasına baxmayaraq yürüklüyün güclü temperatur asılılığı tamamilə aydın deyildir. Ancaq valent zonanın və güclü deformasiya potensialının gradientinin qeyri-parabolik laylara paralel və perpendikulyar istiqamətdə rabitənin müxtəlifliyi ilə şərtlənir ki, bu da qeyri-polyar optik fononlardan güclü səpilməyə gətirib çıxarır [26, s.328-329]. Deformasiya potensialının güclü qradientə malik olması qeyri-polyar optik fononlardan səpilmənin akustik fononlardan səpilməyə nisbətən üstün rol oynaması ilə şərtlənir. İnfraqırmızı əks etdirmə məlumatlarına görə belə fononların enerjisi 0.04eV təşkil edir. Ona görə də laylara perpendikulyar istiqamətdə GaSe təbəqəsində elementar özəkdə dörd atomun hərəkətinə baxılır.

n və p-tip GaS monokristallarında Holl ölçmələri (80-600)K temperatur intervalında (maqnit sahəsi layların səthinə perpendikulyar istiqamətdə) həm qaranlıqda, həm də işıqın təsiri ilə tədqiq edilmişdir [110, s.29]. Nümunənin qaranlıq müqaviməti yüksək olduğundan aşağı temperaturlarda foto-Holl effekti, 300K-dən yüksək temperaturlarda isə qaranlıqda tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, elektron və deşiklərin Holl yürüklüyü bir-birindən az fərqlənirlər və otaq temperaturunda aşağıdakı ifadə ilə verilə bilər.

$$\mu_e = 16(T/T_0)^{-2.4} \text{ sm}^2/\text{V san} \quad (1.1.3)$$

$$\mu_d = 12(T/T_0)^{-2.4} \text{ sm}^2/\text{V san} \quad (T_0=300\text{K}) \quad (1.1.4)$$

15-50mkm dalğa intervalında polyarlaşmış şüalarla işıqlandırılmış bir sıra nümunələrdə udulma və əksətdirmə tədqiq edilmişdir. Alınmış nəticələr yarımkeçirici laylı quruluşlarda Fivaz və Muzera səpilmə nəzəriyyəsi əsasında izah olunur və fononun enerjisi 0.05eV-dan kiçik olur.

n və p-tip GaS monokristallarının termoelektrik hərəkət qüvvəsinin ölçülməsi [109, s.36] işində verilmişdir. N-tip GaS monokristalının termoelektrik hərəkət qüvvəsi (e.h.q) otaq temperaturundan 500K temperatúra qədər, p-tip GaS nümunələrinin

müqaviməti böyük olduğundan ancaq 550K temperaturda ölçülmüşdür. Elektronun yürüklüyünün temperaturdan asılılığı tapılmışdır. Ölçmə nəticələrinin təhlilindən otaq temperaturunda effektiv hal sıxlığı üçün  $N=10^{21}\text{sm}^{-3}$  qiyməti hesablanmışdır.  $N_c$ -nin tapılmış qiymətindən istifadə edərək müəlliflər Fişer [90, s.317-318] və Fivaz [91, s.833] modellərinin GaS-in zona quruluşunun hesablanmasına tətbiqini analiz etmişlər. Fişer modelindən istifadə edərək elektronun effektiv kütləsi üçün  $m_e^*=0.01m_0$ , Fivaz modelinə görə isə  $m_e^*=0.5m_0$  almışlar. Belə ki, elektronun effektiv kütləsinin ağır olmasını Holl effektinin ölçülməsindən alınan nəticələr də təsdiq edir. Odur ki, Fivaz modeli GaS monokristalında baş verən hadisələri izah etməyə uyğun gəlir.

[116, s.73-74, s.78] işində n və p-tip GaS monokristallarında qaranlıq keçiriciliyin temperaturdan asılılığından istifadə edərək bu tip kristallarda zona quruluşunu qurmağa cəhd etmişlər. n-tip materiallarda qadağan olunmuş zona iki donor (0.85eV və 0.57eV) və bir akseptor (0.65eV) səviyyədən ibarət olub, donor səviyyələri kükürdün və yodun vakansiyaları, akseptor səviyyələri isə natrium atomları tərəfindən yaranır. Natrium ionları və qallium vakansiyaları akseptor səviyyələri, kükürdün vakansiyası isə n-tip GaS-də ki kimi donor səviyyələri yaradır. n və p-tip GaS üçün akseptor və donorların konsentrasiyası habelə  $N_{D_i}-N_A$  və  $N_{A_i}-N_D$  təyin edilmişdir.

Ərintidən bərkimə üsulu ilə alınmış GaS monokristalının fotokeçiriciliyi tədqiq edilmişdir. Tədqiqat işində həm fotokeçiriciliyə həm də yükdaşıyıcıların yaşama müddətinə, işığın intensivliyinin və gərginliyin təsiri araşdırılmışdır. Eyni zamanda nümunənin volt amper xarakteristikası və udulma spektrləri onun qalınlığından asılı olaraq tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, fotocərəyan əyriləri praktiki olaraq dəyişmə gərginliyindən asılı deyil. GaS monokristalı üçün qadağan olunmuş zonanın eni  $E=2.5\text{eV}$  müəyyən edilmişdir [93, s.5].

GaS monokristalını c oxuna paralel istiqamətdə işıqlandırmaqla 80-333K temperatur və 400-700nm dalğa oblastında optik buraxma və əks etmə xüsusiyyətlərinin spektral asılılığı tədqiq edilmişdir. Optik udma spektrləri GaS monokristalında həm çəpinə, həm də düzünə keçidlərin baş verdiyini göstərir. Müəyyən edilmişdir ki [106, s.241, s.247], GaS monokristalında 85K temperaturunda

düzünə keçid  $E=2.557\text{eV}$ , 300K-də isə  $E=2.463\text{ eV}$ -a bərabərdir. Çəp keçidlərinin enerjisi isə 85K-də  $E=2.856\text{eV}$ , 300K-də isə  $E=2.78\text{ eV}$ -a bərabərdir.

InSe tozunun rentgen difraksiya nəticələri əsasında müəyyən edilmişdir ki [143, s.1308-1309], InSe heksoqonal quruluşa malikdir. Rentgen difraksiya və elektron mikroskopu vasitəsi ilə InSe laylarının (002) istiqamətində nanostruktur xarakterə malik olduğu müəyyən edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, istilik işlənmə quruluşun ölçüsünü artırır. Qaranlıq elektrik keçiriciliyi nümunənin qalınlığının artması ilə artır. Hansı ki, təbəqənin qalınlığı artdıqca kristallitlərin ölçüsündə artır. InSe nazik təbəqənin elektrik keçiriciliyinin 293-473K temperatur intervalında dəyişir. Termoelektrik xassələri əsasında müəyyən edilmişdir ki, InSe nazik təbəqəsi n-tip keçiriciliyə malikdir. InSe nazik təbəqəsinin VAX-dan görünür ki, kiçik gərginliklərdə keçiricilik omik xarakterə malik olub, yüksək gərginliklərdə isə keçiricilik həcmi yüklərlə məhdudlaşır və qadağan olunmuş zonada yerləşən tələlərin eksponensial paylanması ilə əlaqədardır.

Heksoqonal quruluşa malik GaTe monokristalının elektrik və optik xassələri tədqiq edilmişdir[138, s.46, s.50]. GaTe monokristalının görünən işıq oblastında udulma əmsalı  $10^4\text{ sm}^{-1}$  və çəp keçidlərin enerjisi isə  $1.44\text{eV}$  olduğu müəyyən edilmişdir. Çəp və düzünə keçidlərin arasındakı fərqin  $0.2\text{eV}$  bərabər olduğu göstərilmişdir. Xüsusi ilə Z-nöqtəsində düz keçidin baş verməsi üçün fotonlara ehtiyac olmadığından optik udmanın gücləndiyi göstərilmişdir. GaTe monokristalının dielektrik sabiti böyük qiymətə malik olduğundan kondensator istehsalı üçün yararlı materialdır. Optik və elektrik xassələrinin tədqiqindən belə nəticəyə gəlinmişdir ki, GaTe monokristalından ultrabənövşəyi detektorlar və fotovaltaik uducuların istehsalında geniş istifadə edilə bilər.

$\text{In}_x\text{Se}_{x-1}$  ( $x=0.4,0.5,0.6$ ) nazik təbəqələri otaq temperaturunda şüşə üzərində uçurdulma üsulu ilə yaradılmışdır[89, s.4087-4088, s.4090]. In-ın miqdarından asılı olaraq nazik InSe nazik təbəqəsinin quruluş və elektrik xassələri araşdırılmışdır. Rentgen difraksiyanın təhlili nəticəsində göstərilmişdir ki, InSe nazik təbəqəsi polikristal quruluşa malik olduğu halda,  $\text{In}_x\text{Se}_{x-1}$  ( $x=0.4,0.5,0.6$ ) nazik təbəqələri amorf quruluşa malikdir. Alınmış nümunələrin elektron güc mikroskopu

(EGM) vasitəsilə fotoşəkilləri çəkilmişdir. InSe təbəqəsinin elektrik keçiriciliyi 100-400K temperatur intervalında x-in müxtəlif qiymətlərində tədqiq edilmişdir. Nəticələrdən müəyyən edilmişdir ki, yüksək temperaturlarda yürüklüyün mexanizmi  $\sigma \sim 1/T$ , yuxarı temperaturlarda isə  $\sigma \sim 1/T^{1/4}$  qanunu ilə baş verir. Aşağı temperatur  $T < 250K$  elektrik keçiriciliyinin aktivləşmə enerjisi zəif dəyişir ki, bunun sıçrayışın zəif olması ilə izah edilir. 250-400K temperatur intervalında keçiricilik həm In-in konsentrasiyasının, həm də temperaturun artması ilə artır. Se-nin matrisada In atomlarını əvəz etməsi nəticəsində elektrik keçiriciliyinin artmasına və aktivləşmə enerjisinin azalmasına səbəb olur. Yuxarıda göstərilən parametrlərin dəyişməsi  $In_x Se_{x-1}$  nazik təbəqəsində baş verən faza çevrilmələri ilə izah olunur. InSe nazik təbəqəsi ion absorpsiya üsulu ilə nazik şüşə təbəqə üzərində alınmış zərrəciklərin paylanması elektron skanedici (SEM) mikroskopu vasitəsi ilə öyrənilmişdir. Təbəqələrin təbiətə amorf olan kubik quruluşa malik olduğu müəyyən edilmişdir. InSe nazik təbəqəsinin qadağan olunmuş zonasının eni 2.3eV olub, yüksək müqavimətə (10 Om) malik olduğu müəyyən edilmişdir 10.Om. InSe nazik təbəqələri amorf və kubik quruluşa malik, eyni zamanda qadağan olunmuş zonanın eni 2.3eV olduğu üçün günəş batareyaları kimi istifadə oluna bilər.

Qrafitdən istifadə edərək GaTe laylı monokristalının yetişdirilməsi üçün yeni metod işlənmişdir [112, s. 1, s.7, s.8]. Kristalın yetişdirilməsi və xarakterizə edilməsi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, yüksək sürətlə yetişdirmədə yüksək keyfiyyətli GaTe kristalı alınır. Ərintidən GaTe monokristal nümunələri mexaniki üsulla ayrılmış və onların rentgen difraksiya, skanedici elektron mikroskopiyası, x- şüalarla dispersiya, atom güc mikroskopu, x- şüalarla fotoelektron spektroskopiyası, xətti matris metodu, müqavimət Van-der-Pauw metodu, Holl effektiv üsullarından istifadə edərək geniş tədqiq edilmişdir. Holl effekti və müqavimət ölçmələri nəticəsində kristal daxilində yüksək anizotrop luq yaradan yaradan kristallik defektlər müəyyən edilmişdir ki, alınmış GaTe-un müqavimətinin kiçik olması ilə yanaşı onda radiasiya detektorlarının hazırlanmasında geniş istifadə oluna bilər. Yarım izolyasiya kristallarının saflığı, kompensasiya mexanizmi, yükdaşıyıcıların yürüklüyü, habelə nəticələrin təkrarlanması müəyyənləşdirmək üçün ətraflı tədqiqatlar aparılmışdır.

Tədqiqatlar nəticəsində müəyyənləşdirilmişdir ki, GaTe monokristalları əsasında yüksək keyfiyyətli və ucuz başa gələn radiasiya detektorları hazırlamaq mümkündür.

GaS monokristalının qeyri-xətti optikada geniş istifadə olunması [88, s.101, s.104, s.105] işində göstərilir. Dəqiq stexiometriya və yüksək keyfiyyətli GaS monokristalı şaquli istiqamətdə əritməklə alınmışdır. Kristalın elementar tərkibi elektron zond mikronalizindən, faza tərkibindən istifadə edərək analiz edilmişdir. Qəfəs parametrləri rentgen toz difraksiyasından, ayrılma müstəvisinin morfolojiyasından və Raman səpilməsindən [77, s.2-9], [95, s.147-151] istifadə edərək öyrənilmişdir ki, GaS laylı quruluşa malik olmasına baxmayaraq kristal yüksək mikro və nano sərtliyə və plastik deformasiya qabiliyyətinə malikdir. Bu isə onların optik elementlər üçün istifadəsini təmin edir.

GaS monokristalının spektroskopik ellipsometriya ölçmələri otaq temperaturunda 1.2-6.2eV enerji intervalında tədqiq edilmişdir. [101, s.43, s.45] işində optik sabitlərin həqiqi və xəyali hissələri müəyyən edilmişdir. Dielektrik sabitinin həqiqi və xəyali hissələrinin ikinci törəməsinin aşağıdakı enerjiləri 3.95, 4.22, 4.75 və 5.50eV təyin edilmişdir. Bu zaman GaS laylı monokristalının nəzəri hesablanmış aralıq qiymətlərinə uyğundur.

GaS monokristalının c oxuna perpendikulyar və paralel istiqamətdə elektrik keçiriciliyi tədqiq edilmişdir [133, s.3199]. Müəlliflər c oxuna paralel və perpendikulyar istiqamətdə keçiriciliyin tezlikdən asılılığını müşahidə etmişlər. B effekt n-tip GaS monokristalında müşahidə edilməmişdir. P-tip GaS-də elektrik keçiriciliyinin tezlikdən asılılığının müşahidə olunmasını müəlliflər sıçrayışlı keçiriciliklə izah etmişlər. [19, s.997] işində yüksək müqavimətli GaS monokristalının ( $\rho=10^{10}$  Om·sm) “c” oxu istiqamətində statik volt-ampere xarakteristikasının (VAX) temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bu kristallarda cərəyanın keçmə mexanizmi tədqiq edilən temperatur intervalında temperaturla təyin olunur. Belə ki, yüksək temperaturlarda ( $T>200$ K) GaS monokristalının VAX-sı fəza yükləri ilə məhdudlaşan cərəyan nəzəriyyəsi ilə izah olunur. Aşağı temperaturlarda ( $77<T<200$ K) isə makro qeyribircinsli yarımkəçiricilər üçün işlənmiş ikiçəpərli model əsasında izah edilir. Tələlərin parametrlərinin aşağıdakı qiymətləri alınmışdır:

$N_f=7,5 \cdot 10^{19} \text{sm}^{-3}$ ,  $N=1,6 \cdot 10^{10} \text{Om}^{-1} \text{v}^{-1} \text{c}^{-1}$ ,  $N_v=3 \cdot 10^{17} \text{sm}^{-3}$ ,  $p=10^{-8} \text{sm}^2/\text{V}$  san. Aşağı temperaturda əyrinin meyilliyindən aktivləşmə enerjisi uyğun olaraq, 0,05 və 0,56 eV təyin edilmişdir.

[15, s.1429-1431] işinin müəllifləri yüksək müqavimətli GaS monokristalının 120-300K temperatur intervalında VAX-nı tədqiq etmiş Fermi səviyyəsindən yuxarıda yerləşmiş tələlərin konsentrasiyasını və onların yerləşmə dərinliyini təyin etmişlər.  $T=300\text{K}$ -də uyğun olaraq,  $5 \cdot 10^{17} \text{sm}^{-3}$  və 0,4 eV təyin edilmişdir.  $\lg \sigma \sim 10^3/T$  asılılığından səviyyələrin aktivləşmə enerjiləri 0,02 və 0,5 eV hesablanmışdır.

Bridgman-Stokbarqer metodu ilə yetişdirilmiş GaS monokristalının Hall effekti [128, s.339-340] işində tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, kristalın elektrik xassələri kükürdün vakansiyası ilə bağlı olub, konsentrasiyası  $2,3 \cdot 10^{16} \text{sm}^{-3}$  və 0,12 eV enerjili donor mərkəzləri ilə əlaqədardır. Aşağı temperaturlarda ( $T < 350\text{K}$ ) ilə keçiricilik aktivləşmə enerjisi 0,15 eV olan donor mərkəzi ilə şərtlənir.

[60, s.1748-1751] işində göstərilmişdir ki, YbS birləşməsi GaS-də 0,18 at% qədər həll olur. Həmin işin müəllifləri monokristalının fotokeçiriciliyinin spektral paylanması edərək, müəyyən etmişlər ki, YbS GaS-də fətohəssaslığı təmiz GaS ilə müqayisədə iki tərtib artırır və spektral fətohəssaslıq oblastını genişləndirir. Fətohəssaslığın spektral paylanma əyrisindən valent zonasının sərhəddində yuxarıda enerjiləri 0,54; 0,78; və 0,94 eV olan səviyyələr müəyyən edilmişdir.

Qallium sulfid monokristallarındakı tələ mərkəzləri 10-230 K temperatur aralığında termoluminesansiya ölçmələri ilə araşdırılmışdır. Aşkar edilmiş üç tələ mərkəzinin aktivləşmə enerjisini (52, 200 və 304 meV) qiymətləndirmək üçün əyrilərin uyğunluğu üsuldən istifadə edilmişdir. İstilik dərəcələrinin asılılığı və piklərin tələ bölgüsü, müvafiq olaraq müxtəlif istilik dərəcələrinə və müxtəlif işıqlandırma temperaturlarına əsaslanan təcrübi üsullardan istifadə edilməklə tədqiq edilmişdir. Yüksək temperatur pikinin anormal istilik dərəcəsi asılılığı 0,2 ilə 1,0 K / s arasındakı müxtəlif istilik dərəcələri ilə termoluminesansiya ölçmələri əsasında tapılmışdı. Bu qanunauyğunluq yarı lokallaşdırılmış keçid modeli əsasında izah edilmişdi. Normal istilik dərəcəsinin aşağı istilik piki üçün qurulmasına baxmayaraq, termoluminesansiya əyrisinin intensivliyi azalır və alınmış pik temperaturun artması ilə daha da artır [87, s.1, s.8].

Termoluminesansiya prosesində 91 və 146 K temperaturalar intervalında üst-üstə düşən iki pikdən və 175 K-də zəif üçüncü pikdən ibarət işıqlanma əyriləri göstərilir. Qapalı tələ vəziyyətlərinin istilik aktivləşdirmə enerjilərinin əyriləri uyğun metoddan istifadə edərək müəyyən edilmişdir. Təhlil nəticəsində üç tutma mərkəzinin aktivləşmə enerjisi uyğun olaraq 52, 200 və 304 meV müəyyən olunmuşdur. Aşkar edilmiş piklərin istilik dərəcəsinə asılılığı da öyrənilmişdir. Yüksək temperaturlu termoluminesans B pikinin aşağı temperaturlu A piki üçün normal qanunauyğunluqla müəyyən edilsədə B piki üçün anormal istilik dərəcəsi qanuna uyğunluğu müşahidə olunmuşdur.

Bu qanunauyğunluq müqayisəli şüalanmış və şüalanmamış keçidləri nəzərdə tutan qismən lokallaşdırılmış keçidlər modelindən istifadə etməklə izah edilə bilər. Əksinə, A pikinin termoluminesansiya intensivliyi temperaturun artması ilə azalır. Bundan başqa, bir kvazi fasiləsiz tələ paylaması artan işıqlanma temperaturu ilə müvafiq olaraq 10-30, 10-50 və 30-70 K arasında 52-dən 90 meV-ə (zirvəsi A), 200-dən 268 meV-ə (zirvəsi B) və 304 ilə 469 meV (zirvəsi C) arasında artan aktivləşmə enerjisinin müəyyən edilməsindən alınmışdır. A, B və C pikləri ilə əlaqəli olan 36, 39 və 166 meV dərinliklər üçün tələlərin sıxlığında nizamlılığın dəyişməsi müəyyən edilmişdi.

[86, s.1298, s.1301-1302] işin müəllifləri Ga metal və kükürd tozunun istilik buxarlanmasından istifadə edərək üç müxtəlif temperatur zonalarında sintez edilmiş GaS nanostrukturlarının mikrostruktur və fotoluminissens xüsusiyyətlərini araşdırılmışdır. Skanedici elektron mikroskopunda, altlığın temperaturunun artması ilə səth morfologiyasında üç mərhələli dəyişiklik aşkar edilmişdi. Fotoluminissensiya 550C temperatur aralığında GaS nanosturukturlarının zəif, geniş, qırmızı emissiya qrupuna malik olduğunu göstərdi. 650C temperaturda alınan nəticələrə isə GaS nanostrukturlarının güclü qırmızı bir emissiya malik olduğunu təsdiqlədi. 700C temperatur zonasında aşkar edilən tələ bənzər GaS nanostrukturları güclü narıncı emissiya olduğunu göstərdi. Emissiyalar S, Ga vakansiyaları, yığılma defektləri və səthi vəziyyətlərlə əlaqəli lokallaşdırılmış vəziyyətlərə görə ola bilər.

GaS nanostrukturlarının morfologiyası temperaturdan və altlıqdan qaynağa (Ga metallar və S tozları) olan məsafədən çox asılıdır. Bu, nanostrukturların səth-həcmə nisbəti altlığın temperaturunun azaldığını göstərir. GaS nanostrukturlarının spektrində

təxminən 715 nm mərkəzində zəif, geniş, qırmızı bir emissiya zonası mövcuddur. Klasterə bənzər GaS nanostrukturlarından təxminən 440 nm-də daha güclü bir qırmızı emissiya zonası müşahidə olunmuşdur. Gücləndirilmiş emissiya kristalın keyfiyyətinə görə nəzərə alınır. Zərrəciklərə bənzər və klasterə bənzər nanostrukturardan fərqli olaraq 700 °C temperaturda böyüdülmüş telə bənzər GaS nanostrukturuları ~620 nm mərkəzində güclü bir emissiya qrupu nümayiş etdirir. Bu tullantıların mənşəyi əsasən S vakansiyaları, yığılma defektləri və səthi vəziyyətlər kimi struktur defektləri ilə əlaqəli ola bilər. Yuxarıda göstərilən struktur defektəri kimi dərin akseptor mərkəzlərin dəlikləri olan keçirici zonanın minimumundan elektronların radiasiya rekombinasiyası, GaS nanostrukturalarında fotoluminissensiyanın yayılmasını təmin edə bilər.

Elektronika perspektiv olan 2 ölçülü materialların arasında qrafen ən yaxşı öyrənilmiş şəffaf keçiricidir. Burada, 2D  $\beta$ -GaS təbəqəsində H-nin adsorbsiyası yolu ilə yeni bir şəffaf keçirici material araşdırmaq üçün sıxlıq funksional nəzəriyyəsi istifadə edilmişdir. Bu adsorbsiya H ətrafındakı yerli quruluşlarda həndəsi dəyişikliklərə səbəb olur. Hesablanmış elektron quruluşlar H adsorbsiyası zamanı 2D  $\beta$ -GaS materialının metal xüsusiyyətlərini və 0.67 eV əhəmiyyətli Burstein-Moss sürüşməsi ilə 2.72 eV böyük bir optik zona boşluğunu göstərir [144, s.3177, s.3184]. Bu işdən əldə edilən məlumatlar yeni 2D GaS şəffaf keçiricilərin dizaynı və inkişafı üçün faydalı olardı.

Sn və As ilə aşqarlanmış InSe-də aşqar səviyyələri fotoluminesans və Hall effekti ölçmələri ilə araşdırılmışdır. Sn aşqarlı n tipli nümunədə yükdaşıyıcı köçürməsi keçirmə zonasının altındakı 0.06 eV-lik donor səviyyəsi tərəfindən idarə olunur. Qeyd edək ki, bu donor səviyyəsi 1.27 eV emissiya zonasının radiativ rekombinasiyası ilə əlaqədardır. As-lə aşqarlanmış p-tipli nümunədə yükdaşıyıcı köçürməsində valent zonanın yuxarısında 0,64 eV enerji səviyyəsində yerləşən dərin akseptor səviyyəsi üstünlük təşkil edir. Fotoluminesans ölçmələrinin nəticələrindən məlum olmuşdur ki, dərin akseptor səviyyələrin yaranmasına səbəb As atomlarının laylardaxilində yaratdığı defekt və ya defekt kompleksləri ilə əlaqəlidir [137, s.2301, s.2303]. Sn aşqarlanmış n-InSe kristalında yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının temperaturdan asılılıq əyrisindən görünür ki, keçirici zonanın aşağısında 0,06 eV-da donor

səviyyəsinin olduğu görünür. Bu donor səviyyəsinin yaranmasına 1.27 eV emissiya zonasının radiativ rekombinasiyası ilə əlaqəlidir.

Amorf şüşə altlıqları üzərində, indium sulfid (In<sub>2</sub>S<sub>3</sub>) nazik təbəqələri çox istiqamətli və sadə ardıcıl ion təbəqəsinin adsorbsiya üsulundan istifadə etməklə uğurla alınmışdır. Bu təbəqələr struktur, optik və elektrik ölçmə texnikası ilə xarakterizə olunur. Zərrəciklərin vahid paylanması skanedici elektron mikroskopun (SEM) fotosəkilindən aydın şəkildə görünür. Təbəqələrin təbiətə amorf olan kubik quruluşunda olduğu bildirilir. In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> nazik təbəqələrinin 2,3 eV olduğu təxmin edilir. Təbəqələr yüksək 10<sup>5</sup> sm müqavimətə malikdirlər [127, s.15, s.17]. Məqalədə In<sub>2</sub>S<sub>3</sub> təbəqəsinin adsorbsiya metodundan istifadə edərək sulu bir mühitdə kation və anion mənbəyi kimi indium xlorid və natrium sulfiddən istifadə oluna biləcəyini və 2.3eV yüksək elektrik müqaviməti olduğu aşkar edilmişdi. Ona görə də hazırda alınan təbəqələr günəş batareyalarında birbaşa geniş tətbiq olunur.

### **1.3. Aşqarlı A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> tipli laylı yarımkeçiricilərin monokristalının elektrofiziki, fotoelektrik və optik xassələri**

Yarımkeçiricilərin tətbiq imkanlarını genişləndirmək üçün istifadə olunan üsullardan biri də yarımkeçiriciyə eyni və ya müxtəlif təbiətli aşqarların vurulması üsuludur. Nəzərə alsaq ki, maddəyə daxil edilən aşqarın fiziki-kimyəvi xassələri, ion radiusu, həmçinin kristallik quruluşu həmin birləşmənin praktiki-tətbiq imkanlarına əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərdiyindən, bu baxım dan nadir torpaq elementlərini (NTE) praktiki və elmi tərəfdən daha perspektivli maddələr hesab etmək olar [24,s.107], [25,s.221], [52,s.117], [53, s.106], [61, s.542], [72, s.723-727], [96, s.759-763].

Ədəbiyyatda göstərildiyi kimi, NTE tamamlanmamış 4f-səviyyəsi 5s- və 5p- təbəqələri olan üçvalentli element hesab olunurlar. Lakin qeyd etmək lazımdır ki, ətrafdakı atomların yaratdığı elektrik sahəsi 4f- elektronlarını həyəcanlandıraraq onun valentliyini dəyişə bilər. Bu da deməyə əsas verir ki, daxil olduğu kristal qəfəsin ölçülərindən, qəfəsə daxil olan elektronlardan asılı olaraq NTE fərqli xassələrə malikdirlər və maqnit və optik xassələrinə daha çox 4f- təbəqəsindəki cütləşməmiş

elektronlar təsir göstərir. Belə ki, bu elektronların spin və orbital momentləri maqnetizmin mənbəyini təşkil edir [14,s.37-38], [52, s.154]. Qeyd edək ki, kristal atomlarının yaratdığı elektrik sahəsinin təsiri ilə 4f elektronlarının parçalanmış səviyyələrdən mərkəzdaxili keçidi nəticəsində şüalanma yaranır. Bunu da qeyd etmək lazımdır ki, mərkəzdaxili keçid nəticəsində baş verən şüalanmanın intensivliyi və dalğa uzunluğu lantanoid aşqarının fəza simmetriyasından və aşqarın elektron konfigurasiyasından asılı olub, yarımkeçirici matrisanın növündən asılı deyildir [83, s.2434].

NTE-nin laylararası interkalyasiya etməsi laylar arasında zəif Van-der-Vaals rabitəsinin təsiri ilə əlaqələndirilir və bu baxımdan laylı monokristalların elektrofiziki və optik xassələrinə təsir göstərməsi və onların dəyişməsi çox saylı strukturların yaranmasına səbəb olmuşdur. GaS laylı monokristal geniş zolaqlı olduğundan spektrin görünən və ultrabənövşəyi oblastlarında fotohəssas yarımkeçirici hesab olunur [32, s.445-449] və müxtəlif aşqar atomlarından istifadə etməklə onun tətbiq imkanlarını genişləndirmək olar [27, s.233-260]. Aşqar atomları kimi istifadə olunan Yb aşqarı GaS laylı monokristalının fotohəssaslığını artırır Er və Yb ionları isə kristalın fotoluminesensiya spektrinə təsir göstərir. Buna görə də NTE-nin elektrofiziki və optik xassələrinə təsiri onlar əsasında çoxsaylı strukturların, həmçinin elektron cihazlarının yaranmasına gətirib çıxarmışdır.

Nadir torpaq elementi ilə GaS monokristalının qarşılıqlı təsir, həmin komponentlərin maddədə həll olunma oblastının təyin və GaS-Ln, GaS-LnS, GaS-Ln<sub>2</sub>S<sub>3</sub> hal diaqramlarının qurulması [55, s.198] işində verilmişdir. Hal diaqramı əsasında Ln, LnS, Ln<sub>2</sub>S<sub>3</sub> lantanoidlərin həll olunmasının maksimal qiyməti təyin edilmiş, bunlar əsasında kristallar yetişdirilmiş, GaS monokristalının fotoelektrik və optik xassələri tədqiq edilmişdir. Nəticələr əsasında müəyyən edilmişdir ki, NTE komponentinin ion halından asılı olaraq GaS monokristalının qadağan olunmuş zonasında müxtəlif enerjili səviyyələr yaranır. Təmiz və NTE ilə aşqarlanmış GaS kristalının elektrik xassələrinin tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, aşqarlanmış nümunələrdə anizotropiyanın qiyməti azalır. Bunun əsasında GaS monokristalının

quruluşunda NTE harada yerləşməsi müəyyən edilmişdir [57. s.254]. Böyük ehtimalla NTE həmin kristalda laylararası fəzada yerləşdiyi göstərilmişdir.

Təmiz və Cu ilə aşqarlanmış laylı qallium monosulfid monokristalının və Ni-GaS<Cu>-Tn və GaS<Cu>-ZnO strukturlarının fotokeçiriciliyi araşdırılmışdır [84, s.3195, s.3200]. Müəyyən edilmişdir ki, həm GaS, həm də GaS(Cu) monokristalında  $E < 10$  V/sm sahə oblastında VAX xəttidir.  $E > 10$  V/sm oblastında isə kvadratik qanunla dəyişir və Mott nəzəriyyəsi ilə izah edilmişdir. GaS monokristalı üçün fotocərəyan temperatur asılılığı tədqiq edilmişdir. Səth halının aktivləşmə enerjisi 0.10eV, 0.40eV. GaS<Cu> üçün 0.017eV və 0.400eV müəyyən edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, Cu GaS monokristalında akseptor səviyyəsi yaradaraq valent zonasından yuxarıda 0.44eV və 0.52eV məsafədə yerləşir. Müəyyən edilmişdir ki, ZnO-GaS<Cu> heteroqəçidində 250-700nm dalğa uzunluğunda fotohəssaslığın artması müşahidə olunur.

Tm-lə aşqarlanmış GaS monokristalının lüminesensiya spektrləri Tm-nin konsentrasiyadan asılılığı [75, s.635, s.638] işində tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, aşqarlanmış monokristalında cərəyanın keçmə mexanizmi ikiqat injeksiya ilə əlaqədardır. Göstərilmişdir ki, GaS <Tm> monokristalında tutma faktorunun  $\theta$  (T) temperaturdan asılılığından təyin edilmiş səviyyələrin aktivləşmə enerjisi elektrik keçiriciliyinin  $\sigma(T)$  temperaturdan asılılığından təyin edilmiş qiymətə uyğundur.

Hidrogenləşdirilmiş InSe monokristalının elektrik və anizotropiya xassələri tədqiq edilmişdir. Hidrogenləşdirmədən isə InSe monokristalında layların elektrik keçiriciliyini, yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artırmaq və yürüklüyünü azaltmaq üçün istifadə edilmişdir [143, s.1308, s.1310]. InSe monokristalını H aşqarladıqda anizotropiyanın azalması laylararası keçiriciliyin müəyyən qədər artması ilə izah edilmişdir.

Cd-la aşqarlanmış GaSe nazik təbəqəsinin (44.9% Ga, 49.74% Se və 5.36%) struktur və optik xassələri rentgen difraksiya üsulu ilə tədqiq edilmişdir [113, s.769, s.772]. Aparılmış analiz nəticəsində kristalın qadağan olunmuş zonasının eni (1.22eV), sındırma əmsalı (2.25) və dielektrik sabiti (5.07) təyin edilmişdir və müəyyən edilmişdir ki, Cd-la aşqarlama qeyd olunan bütün parametrlərin azalmasına səbəb olur.

[135, s.451, s.459] işdə təmiz və Te ilə aşqarlanmış İnSe nümunələrinin laylar boyunca və c oxu istiqamətində elektrik keçiriciliyi, anizotropiyası, Holl effekti 80-400K temperatur intervalında araşdırılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, aşqarlanmış nümunələrdə relaksasiya arasında yerləşməsi ilə əlaqədardır. n-InSe monokristalında anizotropiyanın yüksək olması və onun 250K-dən aşağı temperaturlarda aktivləşmə enerjisinin böyük olması Te aşqarlarının miqdarından asılıdır. Təmiz kristallar üçün anizotropiyanın qiyməti temperaturdan asılı olub ~2-yə bərabərdir. Yüksək temperaturlarda aşqarlama yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını artırır və anizotropiyanı azaldır.

[81, s.106, s.111] işində aşqarlanmamış və Ag-la aşqarlanmış İnSe monokristalının quruluşu geniş tədqiq edilmişdir. Tədqiq olunan nümunələr Bragg-Stokbager metodu ilə alınmışdır. İnSe və İnSe(Ag) monokristallarının quruluşu və qəfəs parametrləri rentgen difraktometri, skanedici elektron mikroskopiyası və rentgen dispersiya metodu ilə tədqiq edilmişdir. Aşqar edilmişdir ki, İnSe və İnSe (Ag) monokristalları heksoqonal quruluşa malik olub, qəfəs sabitləri İnSe üçün  $a=4.002\text{Å}^0$ ,  $c=17.160\text{Å}^0$ , İnSe (Ag) üçün isə  $a=4.169\text{Å}^0$ ,  $c=17.003\text{Å}^0$  təyin edilmişdir. Skanedici elektron mikroskopun nəticələrindən İnSe üçün kristallitlərin ölçüləri 40-150, İnSe(Ag) üçün 75-120 nm hesablanmışdır. Ag aşqarları XRD pik intensivliyinin əhəmiyyətli dərəcədə artmasına səbəb olmuşdur. Nəticələrin əsasında İnSe-nin İn=57.12%, Se=38.08% və O=4.81% ibarət olduğu müəyyən edilmişdir. Absorbsiya ölçmələri İnSe və İnSe (Ag) kristallarında temperaturun 10K addımın ilə 10-320K temperatur intervalında aparılmışdır.  $n=1$  üçün birinci eksiton enerjiləri uyğun olaraq İnSe-də 1.328eV, 1.260eV, İnSe(Ag)-də isə 1.340eV və 1.282eV hesablanmışdır. Təmiz İnSe kristalında eksitona uyğun enerji Ag ilə aşqarlanmış İnSe kristalında eksitona uyğun enerjiden böyükdür. Gümüş aşqarı İnSe-nin udulma spektrində enerji baxımdan yeni görünüşə səbəb olur. İnSe-də eksiton (pikin) maksimumunu artırır. Ag aşqarı ilə aşqarlanmış İnSe monokristalında eksitonun maksimumun artması kristaldakı ilkin aşqarlarla kompensasiyası ilə əlaqədardır.

Er ilə aşqarlanmış GaSe monokristallarının elektrik xassələri, lüminessensiyası, Holl effekti, dərin səviyyəli keçici spektroskopiya və Er ilə əlaqəli fotolüminessensiya

üsullərindən istifadə edərək [142, s.1563, s.1567] işində öyrənilmişdir. Holl ölçmələri əsasında müəyyən edilmişdir ki, 0.2%, 0.5% və 1% Er ilə aşqarlanmış p-GaS monokristalının konsentrasiyası otaq temperaturunda  $1,53 \cdot 10^{17}$ - $6,3 \cdot 10^{17} \text{sm}^{-3}$  və dəşiklərin yürüklüyü isə 22-34  $\text{sm}^2/\text{Vsan}$  arasında dəyişir. Konsentrasiyanın temperaturdan asılılığından valent zonasından yuxarıda yerləşən 0,065eV və 0,158eV iki səviyyə təyin edilmişdir. Dərin səviyyəli keçici spektroskopiya və Er ilə aşqarlanmış GaSe monokristalının lüminesensiyasının temperaturdan asılılığı əsasında müəyyən edilmişdir ki, akseptor səviyyələrinin enerjisi istilik sönmə mexanizmi ilə əlaqədardır. Bu səviyyələr iki Ga atomunun bir Er atomu ilə əvəzlənməsi ilə əlaqədardır.

Bridcmen üsulu ilə alınmış təmiz və 0,1%, 0,5% və 1,8% bor ilə aşqarlanmış İnSe monokristalının quruluş və elektrik xassələri XRD, Raman və Volt-Ampere ölçmələrindən istifadə etməklə tədqiq edilmişdir [99, s.1, s.10]. XRD spektrlərinin araşdırılması nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, 0.1%, 0.5%, 1.8% borla aşqarlanmış İnSe monokristalının quruluşu  $D_{6h}^1$  fəza qrupuna adi olub, qəfəs parametrləri  $a=4.05 \text{Å}$ ,  $c=16.640 \text{Å}$  və  $z=4$  olan altıbucaqlı kristal qəfəsinə aiddir. XRD metodu ilə tədqiq edilmiş nümunələrdə spektrin ən böyüyü (004) müstəvisində müşahidə olunur. Borun konsentrasiyası artdıqca XRD-dən alınmış maksimumların yerləri və (004) əsas difraksiya maksimumlarının qiyməti borun konsentrasiyasının artması ilə artır. 0.1%, 0.5% və 1.8% borla aşqarlanmış İnSe monokristallarının Raman spektrləri beş əsas fonon pikindən ibarətdir. Raman spektrləri İnSe monokristallarında 400-450 $\text{sm}^{-1}$  aralığında olan fonon zolaqlarını göstərir. Borun konsentrasiyasının artması ilə spektrlərin mövqeləri dəyişməklə onların intensivliyi azalır. Təmiz və bor ilə aşqarlanmış İnSe monokristalının elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığında keçiriciliyin quyruq hissəsində və lokallaşmış hissədə üç fərqli mexanizm müşahidə edilir. Borun konsentrasiyası artdıqca aktivləşmə enerjisi artdığı halda, elektrik keçiriciliyinin artmadığı müşahidə olunur. Br ilə aşqarlanmış və aşqarlanmamış kristallarda keçiricilikdə üç xətti hissə müşahidə edilir. Təmiz, 0.5% və 1.8% bor ilə aşqarlanmış İnSe monokristalının keçiriciliyi 250-77K temperatur aralığında Mott qanunundan kənara çıxmalar müşahidə olunur.

Daşıyıcı kimi yoddan istifadə edilərək təmiz və Zn ilə aşqarlanmış GaS monokristalının fotoluminessensiya və optik udulma xassələri tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki [139, s. 2818, s.2820], Zn qallium vakasiyasını tutaraq dərin səviyyə yaradır və lüminessensiya mərkəzi rolunu oynayan yod qallium kompleksi rolunu oynayır. Zn miqdarı artdıqca 97K temperatur da 2.47eV-a uyğun göy lüminessensiya müşahidə edilir. Aşqarlanmamış kristallarda Ga-nın vakansiyaları üstünlük təşkil etdiyindən 2.17eV səviyyə tədricən zəifləyir və müşahidə olunmur. GaS-də Zn və O cüt mərkəzlərinə əsasən Zn və yod komplekslərinin səbəbindən 2.47eV enerjili səviyyələr müşahidə olunur. Müəyyən edilmişdir ki, Zn GaS üçün yaxşı lüminessensiya yaradır və onun konsentrasiyası ilə idarə oluna bilər.

Daşıyıcı maddə olaraq Br-dan istifadə edərək GaS monokristal kimi kimyəvi buxar keçidi üsulu ilə yetişdirilmişdir [98, s.1, s.5]. Alınmış nümunələrin optik xassələri 15-300K aralığında udulmanın və piezoəksitdirmə ölçmələrindən istifadə edilməklə xarakterizə olunmuşdur. Optik ölçmələrdən GaS-in qadağan olunmuş zonasının eninin 2.53eV olduğu müəyyən edilmişdir. GaS-in piezoəksitdirmə ölçmələri 2 ilə 5 arasında aparılmışdır. Aşağı temperaturda GaS-in PzR spektrləri müvafiq olaraq 3.4eV və 4.5eV ətrafında yerləşən üç eksiton (A,B,C) olduğu müəyyən edilmişdir. A,B,C eksiton seriyaları üçün astana enerjisi və Rudberq sabitləri hesablanmışdır. Zonalar arası keçidlərin başlama keçidləri təyin edilmişdir.

Aşqarlanmamış və Re elementi ilə aşqarlanmış GaS monokristalının fotokeçiriciliyinin spektral paylanması ilə əlaqədar verilmiş tədqiqat işində göstərilmişdir ki, spektral paylanma əyriləri 0.33-0.55mkm dalğa oblastını əhatə edir və 0.433 mkm dalğa uzunluğunda maksimum müşahidə olunur. Qeyd edək ki, ilkin və aşqarlanmış GaS monokristallarının fotokeçiriciliyinin spektral paylanma əyrilərində müşahidə edilən piklər aşqarlanmamış nümunələrdə müşahidə olunur. Müşahidə edilən piklərin intensivliyi müvafiq olaraq Re-nin faizlə miqdarı artdıqca artır. Əlavə olaraq qeyd edək ki, təmiz nümunələrin fotohəssaslığı aşqarlanmış nümunələrin fotohəssaslığı aşqarlanmış nümunələrin fotohəssaslığından bir neçə tərtib kiçikdir. Keçid elementi hesab olunan Re ilə aşqarlanmış GaS monokristalında yaranan rekombinasiya mərkəzi təmiz GaS monokristalından fərqli olaraq GaS(Re)

monokristalında geniş temperatur intervalında fotokeçiriciliyin intensiv infraqırmızı faktı ilə təsdiq olunur. GaS(Re) monokristalında qadağan olunmuş zonada iki tip rekombinasiya mərkəzinin – həssas r mərkəzi və sürətli s rekombinasiya mərkəzinin varlığı fotokeçiriciliyin infraqırmızı sönmə effektinin müşahidə edilməsi ilə əlaqələndirilir. Fotokeçiriciliyin infraqırmızı sönməsi spektrinin uzundalğalı sərhəddinə və maksimumuna görə r-kerombinasiya mərkəzinin yerləşmə dərinliyi uyğun olaraq 0,52 eV və 1,01 eVmüəyyən edilmişdir. Elektrik keçiriciliyin temperatur asılılığından təyin edilmiş ( $E_v+0,54\text{eV}$ ) aktivləşmə enerjisi ilə 0.52eV enerjili uyğun olması, həm fotokeçiriciliyin infraqırmızı sönməsində həm də elektrik keçiriciliyində eyni donor səviyyənin iştirak etdiyin göstərir [58, s.775-778].

[66, s.85, s.87], [70, s.47-67] işlərində Er və Yb ion ilə aşqarlanmış GaS monokristalının 77-420 K temperatur intervalında və  $2,2 \cdot 10^3 \div 5 \cdot 10^3$  V/sm elektrik sahəsində VAX-sı, elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı, fotokeçiriciliyin spektral paylanması və fotocərəyanın temperatur asılılığı tədqiq edilmişdir. Tədqiqat nəticəsində elektrik keçiriciliyinin, fotokeçiriciliyin mexanizmləri və qadağan olunmuş zonada lokal səviyyələrin energetik vəziyyətləri öyrənilmişdir. Aparılmış VAX nəticələrinə əsasən deyə bilərik ki, GaS:Yb, Er kristallarında güclü elektrik sahə oblastında cərəyanın keçmə mexanizmi iki diskret səviyyəyə uyğun fəza yükləri ilə məhdudlaşan cərəyanla şərtlənir. Müvafiq olaraq tələlərin parametrləri  $E_t=0,32$  eV,  $N_t=5,8 \cdot 10^{18}$  sm<sup>-3</sup>,  $\theta=7,1 \cdot 10^{-8}$  təyin edilmişdir. Eləcədə, fotocərəyanın spektral paylanması əsasında müəyyən edilmişdir ki, GaS monokristalını Er, Yb nadir torpaq elementləri (NTE) ilə aşqarladıqda fotokeçiriciliyin temperaturdan asılılığı, ayrı-ayrı aşqarlanmış monokristallarda öz xüsusiyyətlərinə görə bir-birində fərqlənir. Yəni, məxsusi fotokeçiricilik GaS kristalını tək-tək NTE ilə aşqarladıqda temperaturun artması ilə artır, lakin fotocərəyan qadağan olunmuş zonada yeni sürətli rekombinasiya mərkəzlərinin yaranması ilə əlaqədar olaraq GaS:Yb, Er kristallarında temperaturun artması ilə əvvəlcə müəyyən temperatura qədər artır, sonra isə azalması müşahidə edilir. Nəticədə, həmin mərkəzlər temperaturun müəyyən qiymətində aktivləşir və fotocərəyanın sönməsinə gətirib çıxarır.

GaSe monokristalını Er (2 mol. %) aşqarladıqda kristalın qəfəs sabiti 1,59 nm-dən 1,61 nm-ə qədər artması müəyyən edilmişdir. Eyni anda, optik udulmanın spektrlərinin tədqiqindən energetik en düz keçidlər üçün 1,79 eV (GaSe:Er) və 1,93 eV, çəp keçidlər üçün isə 1,62 eV (GaSe:Er) 1,86 eV (GaSe) olduğu müəyyən edilir [115, s.1645].

Bridcmen üsulu ilə alınmış və  $10^{-5}$ - $10^{-1}$  at%-li Dy ilə aşqarlanmış GaSe və İnSe monokristallarının fotoluminessensiya xassələri tədqiq edilmişdir [18, s.143-147]. Təmiz və aşqarlanmış İnSe kristalı ЛГН-2085 tipli fasiləsiz He-Ne lazeri ilə  $\lambda=6398\text{Å}$ -dalğa uzunluğuna malik şüalanma ilə, GaSe monokristalı isə ЛГН-21 tipli lazerlə  $\lambda=3371\text{Å}$ -dalğa uzunluğuna malik şüalanma ilə, həyəcanlandırılmışdır və 77K temperaturunda fotoluminessensiyası tədqiq edilmişdir. Tədqiq olunan temperaturda aşqarlanmamış İnSe monokristalında  $\lambda=9000-12400\text{Å}$  dalğa uzunluğu aralığında fotoluminessensiyanın maksimal intensivliyi  $\lambda=9380\text{Å}$ -ə uyğundur. İnSe monokristalının fotoluminessensiya spektrində  $\lambda=9380\text{Å}$ -ə uyğun maksimum intensivliyi daxil edilən aşqarın miqdarından asılı olaraq qeyri-monoton xarakterə malikdir.  $N_{\text{Dy}} < 10^{-5}\text{at\%}$  ilə aşqarlanmış İnSe monokristalının fotoluminessensiya intensivliyinin qiyməti aşqarlanmamış İnSe monokristalının intensivliyi ilə müqayisədə azalır.  $10^{-5} < N_{\text{Dy}} < 5 \cdot 10^{-3}$  at% aralığında  $N_{\text{Dy}}$ -nin artması ilə intensivlik əvvəlcə artır ( $5 \cdot 10^{-3}$  at%-nə qədər) sonra isə ( $5 \cdot 10^{-3} < N_{\text{Dy}} < 10^{-1}$ ) azalır.

Aşqarlanmamış GaSe monokristalında fotoluminessensiya spektrində  $\lambda=5900\text{Å}$ ,  $\lambda=6000\text{Å}$ ,  $\lambda=6100\text{Å}$  dalğa uzunluğunda üç maksimum müşahidə olunur. Daxil edilən aşqarın kiçik konsentrasiyalarında ( $N_{\text{Dy}} = 10^{-4}-10^{-3}\text{at\%}$ ) fotoluminessensiyanın paylanma spektrində  $\lambda=6000\text{Å}$  dalğa uzunluğunda maksimum və  $\lambda=10000-10500\text{Å}$ ,  $\lambda=8000-9000\text{Å}$  dalğa uzunluğunda iki dar zolaq müşahidə olunur. Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, GaSe və İnSe-ni disprozi ilə aşqarladıqda fotoluminessensiya spektrində böyük dəyişikliklər baş verir.  $A^3B^6$  laylı İnSe və GaSe monokristallarını Dy ilə aşqarladıqda, aşqarlanmanın miqdarının artması ilə laylararası əlaqə qüvvəsinin, habelə fəza qeyri-bircinslik dərəcəsi artır.

#### 1.4. GaS monokristalının xassələrinə ionlaşdırıcı şüaların və zərrəciklərin təsiri

Ədəbiyyatdan məlumdur ki, ionlaşdırıcı şüaların təsiri ilə bərk cisimlərin, xüsusilə yarımkeçirici kristalların (elektrik, fotoelektrik, optik və s.) xassələrini dəyişməsinə baxmayaraq, bu sahədə ionlaşdırıcı şüaların təsirləri ilə bağlı xüsusi nəzəriyyə formalaşmayıb.

Bu istiqamətdə aparılmış tədqiqatlar deməyə əsas verir ki, bərk cisimlərin o cümlədən laylı monokristalların xassələrinə radiasiya defektlərin təsiri praktiki cəhətdən əhəmiyyətli və əksinə qeyri-münasib ola bilər. Qeyd edək ki, müxtəlif növ ionlaşdırıcı şüaların təsiri nəticəsində yaranan radiasiya defektləri, onların konsentrasiyası, digər kinetik parametrləri maddənin növü ilə yanaşı şüalanmanın təbiətindən (hansı zərrəciklərdən təşkil olunmasından) və şüalanma dozasından asılıdır [20, s.128].

Əlavə olaraq, radiasiya şüalarının effektiv təsirinin kristalın makroquruluşundan, yəni onların həcmi və ya laylı kristal olmasından asılı olduğunu da deyə bilərik. Sürətli elektronların təsiri ilə laylı kristallarda yaranmış radiasiya defektləri kristalın elektrik keçiriciliyində əsaslı dəyişiklərə gətirib çıxarır.

[39, s.141], [91, s.833, s.836] işlərində göstərilmişdir ki, radiasiyaya daha davamlı olan  $A^3B^6$  tip laylı kristallar elementar zərrəciklər və sərt elektromaqnit şüalanması üçün detektorlar hazırlanmasında perspektivli materiallar hesab olunur. Bu növ kristallarda çoxsaylı defektlərin yaranmasına baxmayaraq onlar fotohəssaslığına görə perspektikli yarımkeçiricilər sayılırlar. Məlumdur ki, laylı kristalların fiziki xassələri onların quruluşu, o cümlədən müxtəlif təyinatlı defektlərin paylanması və konsentrasiyası ilə xarakterizə olunur. Laylı kristallarda- GaS, GaSe, InSe kristallarında zərcirvari rabitə yaratmaqla tamamlanmamış elektron təbəqələri stabilləşir. Həmçinin [23, s.74] işində göstərilmişdir ki, əlavə elektronlar kation cütləri vasitəsi ilə kompensasiya olunmaqla yarımkeçirici zonaların strukturu formalaşır.

Müxtəlif dozalı qamma şüalanmasının GaS kristalının elektrik xassələrinə təsirinin tədqiq edildiyi [41, s.78, s.82] işində GaSe kristalında olduğu kimi GaS monokristalında da əsas yükdaşıyıcılar dəşiklər olduğu göstərilmişdir. Elektrik xassələri və aşırma effekti daxil olmaqla yarımkeçiricidə baş verən bütün elektron

proseslərinə yalnız injeksiya olunan qeyri-əsas yükdaşıyıcılar təsir göstərir. Buna görə də elektronların tutulma səviyyələrini, injeksiya cərəyanlarını və onlara radiasiyanın təsirlərini öyrənmək üçün həcmi yüklər tərəfindən cərəyanların məhdudlaşdırılması metodundan istifadə olunması daha məqsədə uyğundur.

[40, s.373-375] işin müəllifləri tərəfindən  $A^{III}B^{VI}$  tip laylı quruluşlu yarımkeçiricilərin fotoelektrik xassələrinə elektron şüalanmasının təsirinə baxılmış və alınmış nəticələrin analizi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, GaS, GaSe və GaTe nümunələrində doza asılılıqlarının oxşar və radiasiya defektləri ilə əmələ gəlmiş asta və sürətli rekombinasiya mərkəzləri ilə şərtlənməsi göstərilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bura  $A^{III}B^{VI}$  tip laylı quruluşlu yarımkeçiricilərdə akseptor tipli sadə defektlərin Ga atomunun vakansiyaları və düyünlər arasında yerləşən ikinci atomun komponentləri, həmçinin bura ikinci komponentin atomları və neytral halda olan bivakansiyalar (məsələn  $V_{Ga}$  və  $V_S$ ) daxildir. Əsas cərəyan daşıyıcılar üçün yapışma mərkəzlərinin energetik vəziyyəti ( $E=0,13-0,45$  eV), onların konsentrasiyası ( $N_a=10^{14}-10^{15} \text{sm}^{-3}$ ) müəyyən edilmiş və ftohəssas mərkəzlərin konsentrasiyasının artmasının şüalanma dozasının artması ilə paralel baş verdiyi göstərilmişdir.

Elektron şüalanmadan sonra elektron və deşiklər üçün asta rekombinasiya mərkəzlərinin tutulma en kəsiyi müvafiq olaraq  $S_{nr}=3 \cdot 10^{-14} \text{sm}^2$  və  $S_{pr}=4 \cdot 10^{-20} \text{sm}^2$  müəyyən olunmuşdur.

GaS monokristalı neytronlarla müxtəlif dozalarla şüalandırılmışdır [129, s.6651, s.6656]. Neytron şüalanması ilə yaranan defektlər udulma zolağı  $\sim 1.2-3.2 \text{eV}$  aralığında dəyişir. Onların enerjiləri şüalanma dozasından asılı olmayıb, ancaq intensivliyi dozanın qiymətindən asılıdır. Qadağan olunmuş zonada yerləşən zolaqlar Qaus formasına malikdirlər. Termik dəmləmə iki temperaturda 500K və 720K temperaturda aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, udulma zolağına uyğun zolaqlar qallium-vakansiya qallium komplekslərindən ibarətdir, hansı ki, donör və akseptor vakansiyaları arasındakı məsafə udulma zolaqlarının intensivliyini və enerjisini habelə dəmləmə temperaturunu təyin edir. Tədqiq olunan GaS-də optik udma mərkəzlərinin analizi, udma zonalarının enerjiləri və eninin şüalanma dozasından asılı olmadığını,

intensivliklərinin doza ilə mütənasib olduğu müəyyən edilmişdir. Dozanın  $4 \cdot 10^{17} \text{ n/sm}^2$  qiymətinə qədər dozalarda nümunələrdə heç bir doyma müşahidə edilmir.

[48,s.80-83]-ci işin müəllifləri tərəfindən yüksək müqavimətli (otaq temperaturunda xüsusi müqaviməti  $10^9\text{-}10^{10} \text{ Om}\cdot\text{sm}$ ),  $d=30\div 50$  mkm qalınlıqlı GaS monokristalını “c”- oxuna perpendikulyar istiqamətdə  $\gamma$ -kvantları ilə 30-800 krad dozalarda şüalandırıdıqdan sonra 120-350 K temperatur intervalında volt-amper xarakteristikası (VAX) tədqiq olunmuşdur. Şüalanma mənbəyi olaraq enerjisi 1,33 MeV və şüalanma selinin sıxlığı  $1,4 \cdot 10^{11}$  kvant/san $\cdot\text{sm}^2$  olan  $^{60}\text{Co}$  izotop mənbəyindən istifadə edilmişdir. İşdə 120-300 K temperatur intervalında tutma faktorunun qiymətləri hesablanmış və temperaturun artması ilə bu qiymət  $1,3 \cdot 10^{-6}$ -dan  $10^{-4}$ -ə kimi artması müəyyən edilmişdir. Tədqiqatın gedişində VAX-a görə Debay uzunluğu hesablanmış ( $X_{\text{Deb}}= 2,8 \cdot 10^{-3}$ ), GaS monokristalında cərəyanın keçmə mexanizmi həcmi yüklərlə məhdudlaşan cərəyan hesabına baş verdiyi izah olunmuşdur.

GaSe, InSe, GaTe monokristalları əsasında spektrin 0,45+1,1 mkm oblastında işləyən radiasiyaya davamlı fotoqəbuledicilərin konstruksiyası və alınması texnologiyasının işlənilib hazırlanmasına həsr olunmuş [22, s.36], [23, s.87] işlərdə indium selen monokristalı əsasında yüksək fotoelektrik parametrlərə malik spektrin 0,6-5-1,1mkm oblastında işləyən termoelektrik soyuduculu radiasiyaya davamlı fotodiodun yaradılmasının fiziki əsaslarının işlənməsi verilmişdir. İşdə həmçinin alınmış fotodiodların müxtəlif növ nüfuzedici şüalanmaya qarşı davamlılığını öyrənilmiş və göstərilmişdir ki, qallium selen, indium selen və qallium tellur monokristallarında müxtəlif növ aşqarların diffuziyası düynülərə və vakansiya mexanizmi vasitəsilə baş verir. Tədqiqat nəticəsində yüksək enerjili şüalarla şüalandırılmış GaSe, InSe, GaTe monokristallarında akseptor tipli defektlər yarandığı, laylararası oblastda yüksək müqavimətli qat əmələ gəldiyi, laylararası enerji çəpərinin qiyməti böyüdüyü müəyyən edilmişdir. İşdə şüalanma nəticəsində yaranan dayaz və dərin akseptor səviyyələrinin enerjisi, defektlərin termik aktivləşmə enerjisi və temperatura davamlılığını müəyyən edilmişdir. Elektron və qamma şüalarının intensivliyini təyin etmək üçün  $\text{GaS}_{0,25}\text{Se}_{0,75}$  bərk məhlulu əsasında detektorlar hazırlanmış və müxtəlif növ ionlaşdırıcı şüaların

təsiri zamanı GaSe, InSe, GaTe monokristalları əsasında hazırlanmış fotoqəbuledicilərin fətohəssaslığının dəyişməsi əsasən fətohəssas elementlərin əsas yükdaşıyıcılarının yaşama müddətinin dəyişməsi ilə əlaqədar olduğu göstərilmişdir.

[12, s.64-82] işində GaSe monokristallarının perspektivli materiallar kimi elementar zərrəciklərin və sərt elektromaqnit şüalanmasının yarımkeçirici detektorlarının yaradılmasında istifadəsinin marağı əsaslandırılmış və qeyd olunmuşdur ki, güclü defektliliyə malik olmalarına baxmayaraq, onlar görünən, ultrabənövşəyi, rentgen şüalarına və qamma-şüalanmalarına qarşı yüksək fətohəssaslığa malikdir.

[36, s.1324, s.1326] işində 1.25MeV enerjili elektronlarla şüalandırılmış InSe və GaSe laylı yarımkeçiricilər əsasında hazırlanmış strukturun elektrik və fotoelektrik xarakteristikaları tədqiq edilmişdir. Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində müəlliflər belə qənaətə gəlmişlər ki, yüksək enerjili ( $E=1.25\text{MeV}$ ) elektronlarla şüalanma zamanı laylar arasında sadə nöqtəvi defektlər əmələ gəlir. Dozanın kiçik qiymətlərində tədqiq edilən homo və heterostrukturun elektrik və fotoelektrik parametrləri yaxşılaşır. Şüalanmanın yüksək dozalarında isə homo və heterostrukturlarda qısa qapanma cərəyanının və fətohəssaslığın düşməsi müşahidə edilir. Hər iki strukturda əsas parametrlərin dəyişməsinin dinamikası uyğunluq təşkil edir. Alınmış nəticələr əsasında p-n-InSe və p-GaSe-n-InSe laylı strukturları əsasında radiasiyaya davamlı fotoçeviricilər hazırlamaq təklifi sürülmüşdür.

## II FƏSİL

### LAYLI QURULUŞLU GaS VƏ GaS(Yb) MONOKRİSTALLARININ ALINMASI, QAMMA KVANTLARLA ŞÜALANDIRMA METODU VƏ FİZİKİ XASSƏLƏRİN ÖLÇÜLMƏ ÜSULLARI

Bu fəsildə  $A^3B^6$  tip birləşmələrindən olan laylı GaS və GaS(Yb) monokristallarının sintez olunması və Bridgmen-Stokbarqer üsulu ilə alınma texnologiyası, təcrübə işin aparılması üsulları, istifadə olunan qurğuların təsviri geniş şəkildə verilmişdir. Bu üsul ilə əldə olunmuş GaS və GaS(Yb) kristallarının quruluşunu, monokristallılığını, mükəmməllik dərəcəsini müəyyən etmək üçün aparılmış rentgen-struktur analizinin nəticələri verilmişdir.

Fundamental elmlərdə tədqiqat zamanı əldə edilən elmi nəticələrin qrafik formasında verilməsi üçün istifadə edilən çoxfunksiyalı qrafik proqramlarından biri Origin 9.1 proqramıdır [140]. İşdə Origin 9.1 proqramından istifadə etməklə VAX, elektrikkeçiriliyinin temperaturdan, fotocərəyanın dalğa uzunluğundan asılılığının qrafikləri qurulmuşdur.

#### **2.1. GaS(Yb) birləşməsinin sintezi və monokristallarının yetişdirilmə texnologiyası**

$A^{III}B^{VI}$  birləşməli yarımkeçiricilərin ən sadə və geniş yayılmış alınma metodlarından biri stexiometrik nisbətdə götürülmüş ilkin komponent ərintilərdən almaq üsuludur [52, s.52]. Bu metodla nadir torpaq elementi (Yb) ilə aşqarlanmış GaS monokristalı sintez edilmişdir.  $A^{III}B^{VI}$  yarımkeçiricilər qrupuna daxil olan laylı GaS və GaS(Yb) monokristallarının alınması zamanı əlavə fazaların yaranmaması üçün xüsusi texnologiyanın işlənilməsi hazırlanması məqsədə uyğundur. İlkin maddə kimi B-4 markalı (99,999%) qallium və B-4 (99,999%) kükürd götürülmüşdür. Yb aşqarı maddəyə sintezdən əvvəl qatılmışdır.

Monokristalların yetişdirilməsinin ən çox yayılmış və sadə metodlardan biri Bridgmen metodudur. Bridgmen metodunun mahiyyəti ondan ibarətdir ki, ya maddə

ilə birlikdə peçə daxil olur və ya əksinə ampula hərəkətsiz qalaraq, peç hərəkət etdirilir. Kristalı yetişdirdiyimiz halda ampula hərəkətsiz qalaraq, peç aşağıdan yuxarıya doğru hərəkət etdirilir.

Qallium kükürd monokristalı  $\beta$ -modifikasiya malik olub, qəfəs parametrləri  $a=3.585\text{\AA}$ ,  $c=15.500\text{\AA}$  [52, s.136] GaS laylı yarımkeçirici kristal olduğundan, heç bir xüsusi işləmə tələb etmədən ondan olduqca nazik təbəqə almağa imkan verir. Odur ki, müxtəlif qalınlıqlı nümunələrin elektrik və fotoelektrik xassələrini öyrənmək mümkündür. Nümunələrin qalınlığı 10mkm-dən 200mkm-ə qədər mikroskopun köməyi ilə təyin edilir. GaS monokristalı laylı heksoqonal quruluşda kristallaşır. Hər bir lay dörd layaltından ibarət olub, atomlar arasında əlaqə əsasən kovalent olmaqla aşağıdakı qaydada düzülür S-Ga-Ga-S. Qonşu laylar arasındakı əlaqə isə Van-der-Vaals tiplidir. Van-der-Vaals əlaqəsi zəif olduğundan kristal güzgü səthli təbəqələrə asanlıqla ayrılırlar. Belə lövhələrin səthi yüksək keyfiyyətə malik olduğundan onun səthində heç bir əlavə cilalanmaya ehtiyac qalmır. GaS monokristalı 0.7-18 mkm dalğa uzunluğu olarkən şəffafdır. Bu şəffaflıq oblastında udulma əmsalı  $1\text{sm}^{-1}$  –dən böyük olmur. Alınmış monokristallardan müxtəlif ölçülü nümunələr hazırlamaq olur.

Sintez prosesi zamanı və həmçinin, monokristalın alınması prosesində kvars ampulalardan istifadə edilir. Ampulalar ilkin olaraq (doldurulmadan əvvəl) qatı turşuların  $\text{HNO}_3:\text{HF}=1:1$  qarışığında aşındırılmış, distillə və deionizə edilmiş suda yuyulmuş və sonda vakuumda qurudulmuşdur. Ampulaların ölçüləri sintez zamanı kükürd buxarlarını kondensləşdirmək üçün boş həcmə yaranması üçün uyğun olaraq seçilmişdir. Yüklənmənin çəkisi isə 30-40 qram olmuşdur. Hazır edilən komponentlər analitik tərəzidə çəkilərək ampulaya doldurulmuşdur. Doldurulmuş ampulalar  $(3-5)\cdot 10^{-6}$  mm. civə st. təzyiqə qədər sorulmuş və ağzı əridilib bağlanmışdır. Sintez prosesi zamanı homogen tərkibə malik bircins xəlitənin alınması üçün öz üfüqi oxuna nəzərən 5-7 dövr/dəq bucaq sürəti ilə fırlanan ikizonalı sobadan istifadə edilmişdir və xəlitə sintez zamanı qarışdırılmışdır.

Ampulanın partlamasının qarşısını almaq üçün sintez zamanı xəlitənin qızdırılması ərimə temperaturundan  $15-20^\circ\text{C}$  çox olan temperaturlara qədər 100

dərəcə/saat sürəti ilə artırılmış və yaranan kükürd buxarları mayeləşdirilərək yenidən reaksiya zonasına qaytarılmışdır.

Sintez prosesində xəlitə davamlı olaraq birləşmələrin alınma temperaturunda 1-2saat qarışdırmaqla saxlanılır. Soyudulma söndürülmüş soba rejimində ~100 dərəcə/saati keçməyən sürətlə aparılmışdır. Temperaturu ölçmək üçün xromel-alyumel)-termocütündən istifadə edilmişdir. EHQ-si ölçmək üçün isə B7-21-in rəqəmli voltmetrindən istifadə edilmişdir.

Məlumdur ki, yarımkeçirici materialların enerji zona quruluşunun öyrənilməsinin mükəmməlliyi müvafiq olaraq aparılan fiziki xassələrin uğurlu tədqiqatı ilə əlaqədardır. Monokristalların alınması zamanı spesifik xüsusiyyətlərə malik olan bir neçə üsuldən istifadə olunur. Buna əsasən tədqiqat işimizdə  $A^{III}B^{VI}$  birləşməli laylı yarımkeçiricilər qrupuna aid olan GaS monokristalını yetişdirilməsi zamanı Bridgman-Stokbarqer üsulundan istifadə olunmuşdur. Qeyd etmək lazımdır ki, Bridgman-Stokbarqerin ərintidən istiqamətləndirilmiş kristallaşdırma üsulu yuxarıda qeyd etdiyimiz qrup birləşmələrinin və onların bərk məhlullarının iriölçülü monokristallarının yetişdirilməsi üçün əsas üsul hesab olunur. Bridgman-Stokbarqer üsulunun üstün cəhətlərindən biri iriölçülü bircins monokristalların yetişdirilməsinin mümkünlüyü və xüsusilə də texniki tərtibatının sadəliyidir. Metodun çatışmayan cəhəti bu üsulla polimorf birləşmələrin aşağı temperatur modifikasiyalarının monokristallarının alınmasının qeyri-mümkün olmasıdır.

Bridgman-Stokbarqer metodunun ərintidən rüşeym yaratmaq üçün kristallaşdırma prosesi kristallaşdırma üsulunun mahiyyətinə əsasən temperatur qradientində aparılır. Elektrik sobasını qidalandıran cərəyan mənbəyi vasitəsilə kristalın böyüməsi üçün lazımı temperatur təhciz edilir. Borunun orta hissəsində 12-15 sm boyunca temperaturun bərabər paylanması üçün yuxarı hissədə qızdırıcının sarğıları müvafiq formada yerləşdirilir. Ardınca qızdırıcının sarğıları elə yerləşdirilir ki, kristallaşma cəbhəsində temperatur qradienti GaS monokristal üçün 10-20 K/sm təşkil etmək mümkün olsun.

Temperatur qradientində hərəkət edən iti uclu kvars ampulada ilkin maddə yerləşdirilir və ya ampula sabit saxlanılaraq qızdırıcı hərəkət etdirilir. Bizim işdə

yuxarıda göstərilən birinci variant tətbiq olunmuşdur. Temperatur zonası ampulanın oxuna paralel yerləşdirilir və müvafiq qurğuda ərinti-kristal sərhəddi temperatur zonası boyunca hərəkət etdirilir. Təcrübənin başlanğıcında içərisində sintez olunmuş material olan ampula nazik məftildən asılmış və məftilin digər ucu reduktorun valına sarınmışdır. Öncəliklə ampula maddənin ərimə temperaturuna qədər qızdırılır, daha sonra ərimə temperaturunda 1,5-2,0 saat saxlanıldıqdan sonra ampula zona daxilində temperatur qradientinin içərisindən keçməklə hərəkət mexanizminə qoşulur və bununla da kristallaşma prosesi başlayır. İlkin kristallaşma əsasən ərimə temperaturundan kiçik temperatur zonasına daxil olan hissədə başlayır və bu zaman müxtəlif orientasiyası olan bir neçə kristal yetişir. Bu halın qarşısının almaq üçün kapilyar və ya konusvari ucluqlu ampulalardan istifadə etmək olar.

Bridcmen-Stokbarqerin istiqamətləndirilmiş kristallaşdırma metodu ilə monokristalların yetişdirilməsi zamanı meydana çıxan əsas çətinliklərdən biri ampula boyunca lazımı temperatur qradientinin yaradılması ilə bağlıdır. Bircins monokristalların alınması zamanı vacib hesab olunan şərtlərdən biri də temperaturun yüksək dəqiqliklə saxlanmasıdır. Temperaturun rəqsləri nəticəsində kristalların alınmasında meydana çıxan rəqslərin kristalın alınma sürəti müqayisə oluna bilən və ya ondan artıq olması ilə əlaqədar olaraq, kristalların alınma sürəti kiçik olduqda temperaturun rəqslərinin mümkün hüdudu da buna uyğun olaraq qısa olur.  $A^{III}B^{VI}$  tip birləşmələr və onlar əsasında olan bərk məhlulların yavaş sürətlə kiçik qradient zonasında soyudulması zamanı onların ərimə nöqtəsindən aşağı temperaturlara qədər soyuması halı, yəni ifrat soyuma baş verə bilər. Kristallaşma zamanı bu tip ərintilərdən kiçik ölçülü və orientasiyalı kristalların yaranması halı baş verə bilər. Adətən böyük temperatur qradientlərindən istifadə zamanı kristallaşmanın ərimə nöqtəsi yaxınlığında və yetişməyə nəzarət olunan şəraitdə baş verdiyi müşahidə edilir. Bu halda yaranan termik gərginliklər yetişdirilən kristallada müxtəlif defektlərin yaranmasına səbəb olduğu üçün hədsiz böyük qradientlər arzuolunmaz hesab olunur. Buna görə də aparılan təcrübələr zamanı hər bir qrup maddələr üçün təcrübi yolla optimal temperatur qradientləri, onların alınma sürəti və həmçinin dəmləmə

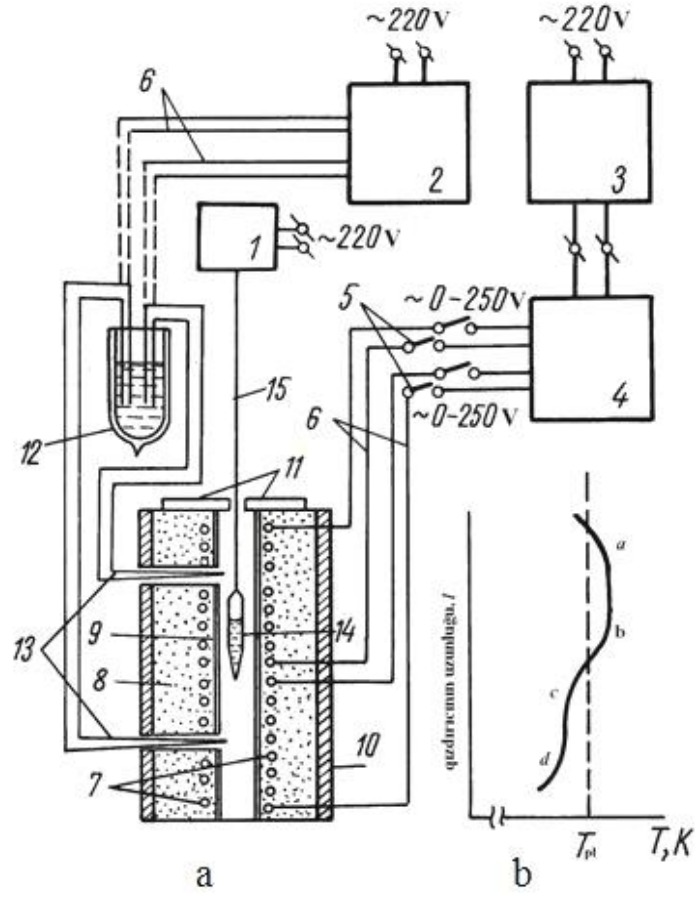
temperaturları müəyyən edilir. Alınmış monokristallar  $10 \times 0.5 \times 0.2 \text{ mm}^3$  tərtibində ölçülərə malik olmuşdur.

Monokristalların yetişdirilməsi prosesini həyata keçirmək üçün ilkin olaraq qurğuda sintez olunmuş maddə uyğun ampulada yerləşdirildikdən sonra ampula vakuumlaşdırılmış ( $10^{-2} \text{ Pa}$ ) və dərəcələnməmiş sobaya daxil edilmişdir. Elektrik sobasının dərəcələnməsi zamanı lazımı temperatura qədər qızdırılmış sobaya hərəkət mexanizminin köməyi ilə platin-platinorodium termocütü yerləşdirilir və  $0,2-0,3 \text{ sm/dəq}$  sürəti ilə soba boyu hərəkət etdirilir. Sobada temperaturun payalanma qrafikinə qurulması üçün termocütün siqnalı etalon maddələrlə dərəcələnməmiş H307/1 və ya bu tip digər iki koordinatlı özüyazan cihaza birləşdirilir. Şək.2.1-də göstərilmiş sobada temperaturun paylanması qrafiki bu yolla tərtib olunur. Şək.2.1-ə əsasən deyə bilərik ki, əyrinin *ab* hissəsi sobada temperaturun bərabər paylandığı oblastdır. Əyridəki *ab* hissənin temperaturu  $T_1$  temperaturuna uyğundur və burada yetişdirilən konqruent xarakterli birləşmələr üçün  $T_1 = T_{\text{or}} + (20 \div 30) \text{ }^\circ\text{C}$  müəyyən edilir.

Şəkil 2.1-dəki əyrinin *bc* hissəsi ərintinin kristallaşma zonasına uyğun gəlir və bu zona boyu temperatur qradienti  $\Delta T = (10 \div 17) \text{ }^\circ\text{C/sm}$  götürülür. Əyrinin *cd* hissəsi artıq yetişmiş kristalın dəmlənməsinə müvafiqdir və həmin hissədə temperatur ikinci soba ilə tənzimlənərək aşağı temperaturlarda faza keçidi olmayan kristallar üçün adətən  $T_2$  temperaturuna  $T_2 = (0,5-0,8) \cdot T_{\text{or}} \text{ }^\circ\text{C}$  bərabər olur. Göstərilən temperatur hər bir maddə üçün başqa hallara uyğun olaraq fərqi qaydada seçilir.

Ampula sobada hərəkət sürəti yetişdiriləcək, təmizlik dərəcəsini, monokristalın xüsusiyyətlərini və s. nəzərə almaqla  $0,2-2,0 \text{ mm/saat}$  təşkil edir. Daha böyük diametrlili ( $d=25-30 \text{ mm}$ ) ampulalar üçün kiçik hərəkət sürəti seçmək kristallaşma frontunun (çəbhəsinin) ayrılığını azaltmaq baxımından daha məqsədə uyğundur.

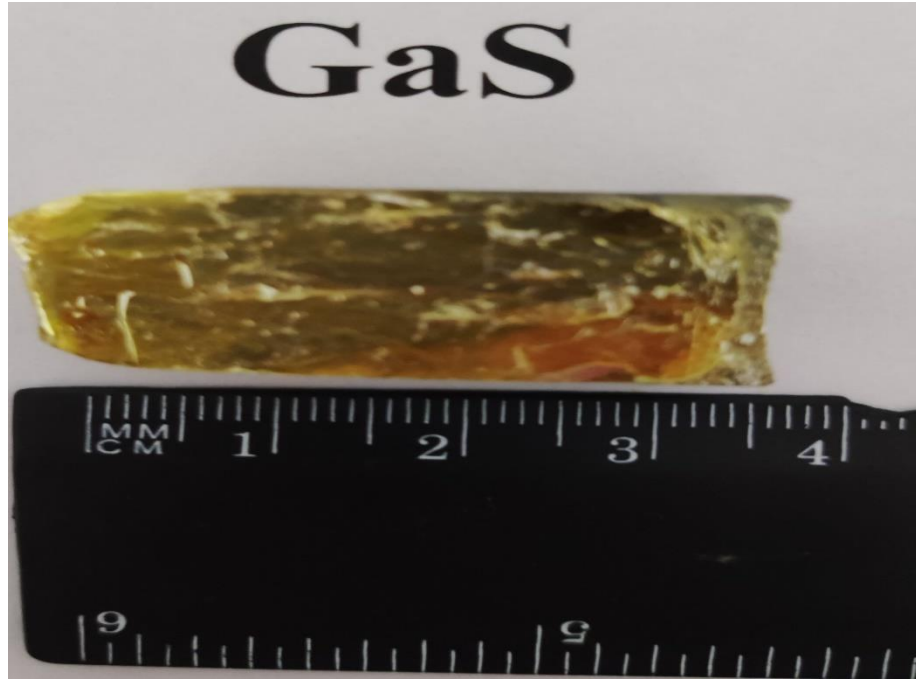
Bridgman-Stokbarqer metodu ilə yetişdirilmiş GaS monokristalının yetişdirilmə qurğusunun prinsipial sxemi şəkil 2.1.-də göstərilmişdir.



**Şek.2.1.1-de** Bridgmen-Stokbarqer metodu ile GaS monokristalların yetişdirilmesi için istifadə edilen qurğunun sxemi (a) və sobada temperaturunun paylanması qrafiki (b) göstərilmişdir.

1–reduktor; 2–özüyazan elektron qurğu; 3–gərginlik stabilizatoru; 4–temperatur tənzimləyicisi; 5–açar; 6–birləşdirici naqillər; 7–qızdırıcı; 8–tecridedici azbest; 9–keramik boru; 10–xarici izolyasiya; 11–keramika qapaq; 12–yağ dūarı; 13–termocüt; 14–maddə ilə dolu ampul; 15–metallik məftil.

Bridgman-Stokbarger metodu ilə yetişdirilmiş GaS monokristalının təsviri Şək.2.2.-də göstərilmişdir.



**Şək.2.1.2. Bridgman-Stokbarger metodu ilə yetişdirilmiş GaS monokristalı.**

## 2. 2. GaS monokristallarının rentgen sturuktur analizi

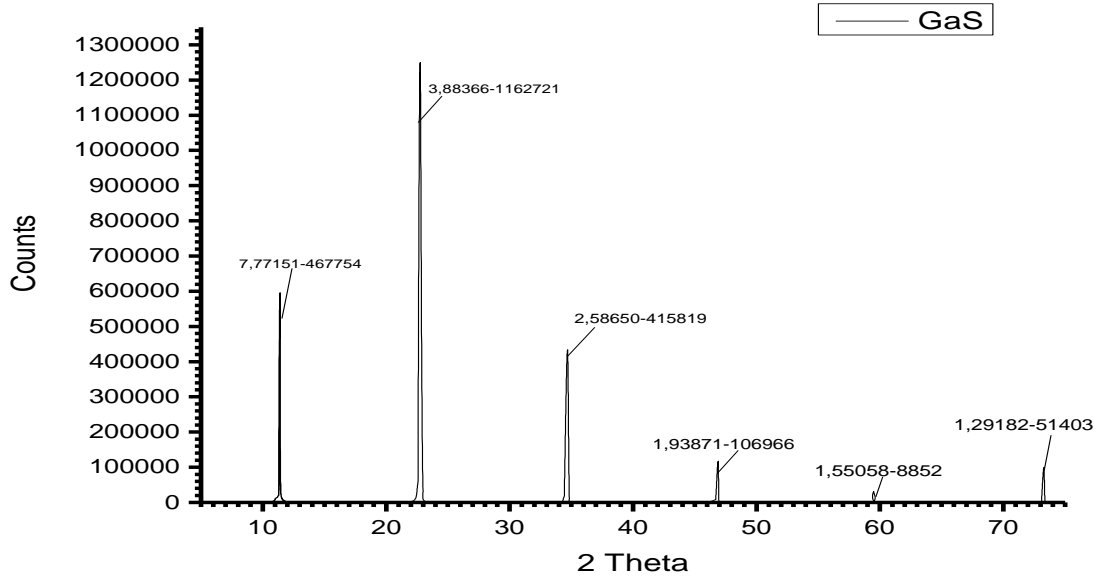
Məlumdur ki, GaS monokristalının təmizliyinin və mükəmməlliyinin əsas göstəricilərindən biri onun rəngi və şəffaflığıdır. Şəffaflığın bərabər paylanması bircinsliyin əsas göstəricisidir. Aşqarların daxil edilməsi, habelə başqa defektlərin olması həm kristallik rəngini, həm də şəffaflığını dəyişdirir. Kristalın rənginin qeyri-bircinsliyi aşqarların və başqa defektlərin qeyri-bərbər paylandığını göstərir. Alınmış kristalların mükəmməlliyi rentgenoqrafik analiz metodu ilə müəyyən edilmişdir. GaS monokristalı aşqarlayıcı aşqarların konsentrasiyasından asılı olmayaraq p-tip keçiriciliyə malikdir

Tədqiq olunan GaS monokristalının mükəməllik dərəcəsini, quruluşunu, monokristallığını və kimyəvi tərkibini rentgen-faza analizi üsulundan istifadə etməklə müəyyən etmək olar. Bunun üçün nümunənin (001) səthindən rentgen difraktoqrammaları çəkilmişdir. Tədqiqat işləri ən müasir Alman texnologiyası ilə hazırlanmış D2 tipli ovuntu difraktometrində aparılmış və buna görə sintez olunmuş nümunələrdən dənələrinin ölçüsü mümkün qədər çox kiçik olaraq hazırlanmışdır. Hazırlanmış nümunə difraktometrin qaniometrində yerləşdirilərək və  $10 < 2\theta < 80$  difraksiya bucağı aralığında nümunənin rentgen-difraksiya spektri çəkilmişdir. Qeyd edək ki, eksperimental hesablamalar rentgen quruluş analizinin ən vacib formulası  $n\lambda = 2d\sin\theta$  əsasında aparılmışdır.

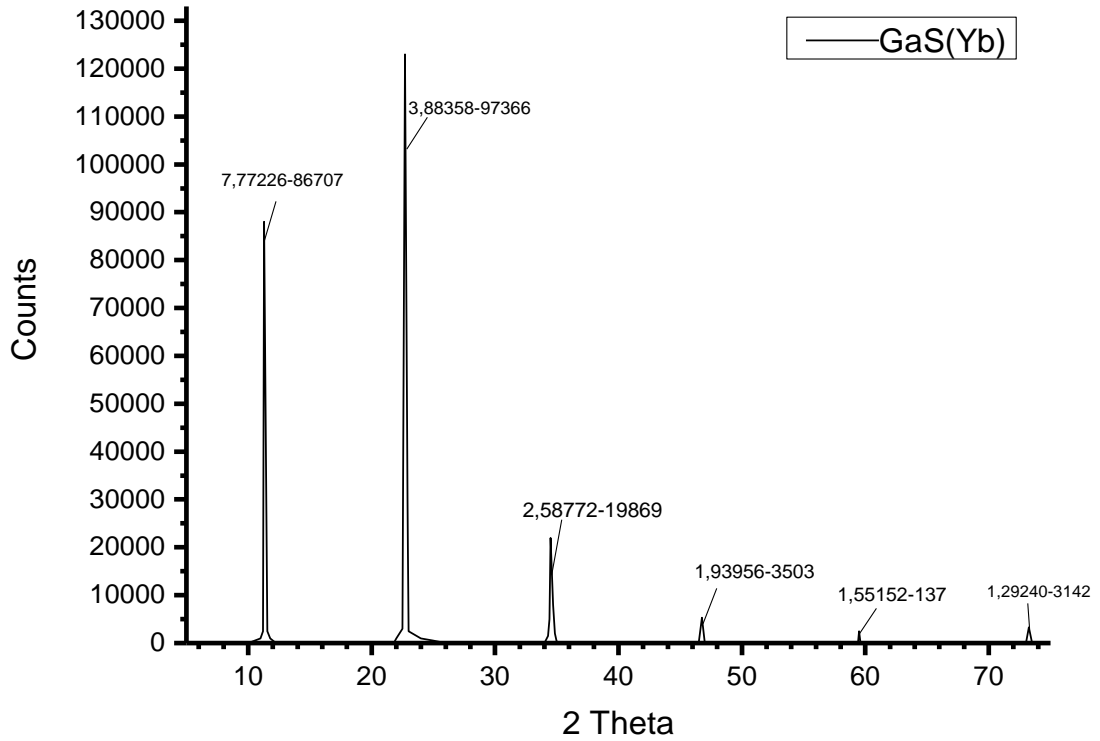
Difraktoqrammalardan aparılan hesablama nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, GaS monokristalının  $a$  və  $c$  qəfəs parametrlərinin ədəbiyyat nəticələrinə ( $a=3,755\text{\AA}$ ,  $c=23,92\text{\AA}$ ) uyğundur və alınmış reflekslərin intensivliyi isə yetişdirilmiş kristalların yüksək mükəmməllik dərəcəsinə malik olduğunu göstərmişdir.

GaS və GaS(Yb) monokristallarının qəfəs parametrlərini təyin etmək üçün rentgen struktur analizlərini aparılmışdır. Şəkil 2.3.1., 2.3.2., 2.3.3. və 2.3.4. ilkin, aşqarlanmış, termik dəmlənmiş və müxtəlif dozalarda şüalanmış GaS və GaS:Yb monokritallarının difraktoqramları göstərilmişdir. İlkin kristalların yüksək monokristallıq dərəcəsinə malik olduğu müəyyən edilmişdir. Nümunələri aşağı dozalarda şüalandırdıqda monokristallıq dərəcəsi artır. Şüalanmanın yuxarı dozalarında monokristallıq dərəcəsi azalır. Şüalanmanın yuxarı dozalarında yalnız

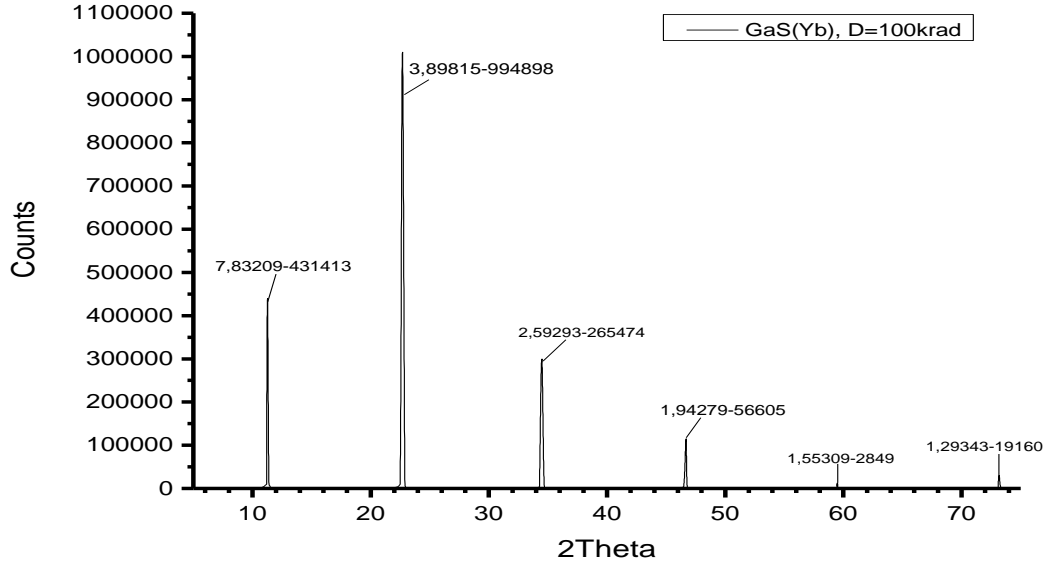
kiçik faizli aşqar (Yb) atomlarının vurulması zamanı monokristallıq dərəcəsi qismən artır. Aşağı dozalarda aşqarlanmış GaS monokristallarında monokristallıq dərəcəsi demək olar ki, dəyişmir, yuxarı dozalarda isə monokristallıq dərəcəsi azalır. Şüalanmadan sonra termik dəmlənmiş (1 saat 100 °C) GaS(Yb) monokristalında monokristallıq dərəcəsinin artması müşahidə olunur. Beləliklə, rentgen faza analizindən alınan nəticələr onu deməyə əsas verir ki, həqiqətən şüalanma zamanı kristalda defektlər yaransa da strukturunda dəyişiklik müşahidə olunmur, həmçinin, qəfəs parametrləri və sinqoniyası dəyişmir. Bu da tədqiq etdiyimiz monokristalların yüksək mükəmməllik dərəcəsinə malik olduğunu göstərir.



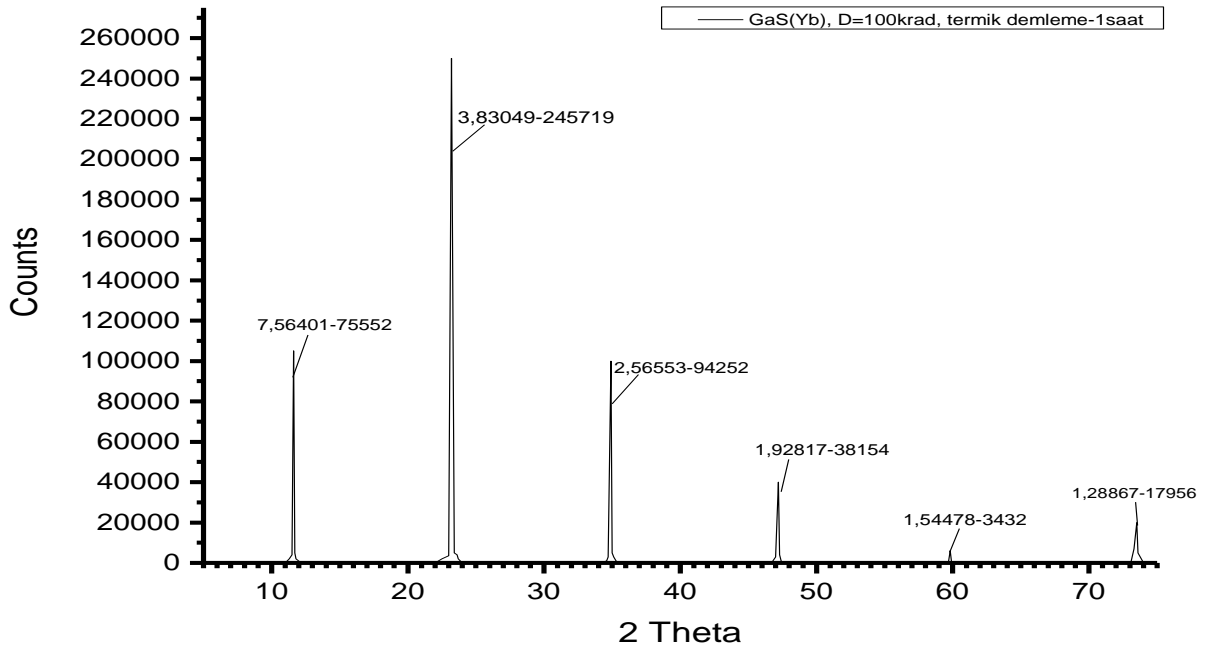
**Şəkil.2.2.1. GaS monokristalının səthindən çəkilmiş difraktoqramı**



**Şəkil.2.2.2. GaS(Yb) monokristalının səthindən çəkilmiş difraktoqramı**



**Şəkil.2.2.3. Şüalanmış GaS(Yb) (D=140krad) monokristalının səthindən çəkilmiş difraktoqramı**



**Şəkil.2.2.4. Şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS(Yb) (D=100krad) monokristalının səthindən çəkilmiş difraktoqramı**

### 2.3. GaS(Yb) monokristallarının ionlaşdırıcı şüalarla şüalandırma üsulları: qamma şüalanma

Məlumdur ki, yarımkəçirici materiallarda radiasiyanın təsiri ilə bir sıra nizamsızlıq meydana çıxır. Bu baxımdan  $\gamma$ - şüalar, sürətli elektronlar və neytronlar tərəfindən radiasiya defektlərin yaranması xüsusi maraq kəsb edir. Kristalları elektron sürətləndiricisindən və enerjisi 1,33 MeV olan  $\gamma$ - şüalarla şüalandırıldıqda ağır zərrəciklərdən fərqli olaraq, vakansiyalar və ya Frenkel defektləri adlanan sadə defektlər yaranır [30, s.115]. Şüalanma nəticəsində hər iki proses zamanı ( birinci və ikinci proses) meydana çıxan sadə defektlərin yaranma mexanizmləri, onların kristalın digər çatışmazlıqları ilə, qarışıqlarla və miqrasiyalarla qarşılıqlı təsiri elmi və praktiki baxımdan böyük maraq kəsb edir. Ağır zərrəciklərlə şüalandırılmış maddələrdə yaranan oblastlarda sadə defektlər özünə mənsub xüsusiyyətlərini bir-biri ilə daha güclü qarşılıqlı təsir nəticəsində itirə bilirlər.

Elmi ədəbiyyatdan məlumdur ki [29, s.52], istənilən atomu öz yerindən sürüşdürmək üçün tələb olunan astana enerjisi adlanan enerji ağır yüklü zərrəciklər tərəfindən atoma verilən enerjiden kiçik olduğu halda atom yerindən sürüşməyib öz tarazlıq vəziyyəti ətrafında kristalda rəqsi hərəkət edəcəkdir.

Beyerlayn tərəfindən müəyyən edilmiş düstura əsasən astana enerjisini təyin etmək olar

$$E_d = 2(Q_c + E_{i \rightarrow k}) + U \quad (2.3.1)$$

düsturuna əsasında hesablanı bilər. Burada  $Q_c$ -sublimasiya enerjisi,  $E_{i \rightarrow k}$ - elektronlar üçün bir konfigurasiyadan digərinə keçid enerjisi,  $U$ - düyüнден qopmuş atomu düyünlər arasına keçirmək üçün lazım olan enerjidir.

Məlumdur ki, kinetik enerjisi  $E$  və impulsu  $\vec{p}_e$  olan elektronun sükunətdə olan atomla toqquşmasından sonra onun atoma verdiyi kinetik enerjinin maksimal qiyməti

$$E_{A \max} = \frac{561}{A} \cdot \frac{E}{mc^2} \left( \frac{E}{mc^2} + 2 \right) \quad (2.3.2)$$

düsturu ilə hesablanır [29, s.52]. Burada  $m$ - elektronun kütləsi,  $A$ - atomun kütlə ədədidir.

Atomun aldığı kinetik enerji isə səpilmə bucağından asılı olaraq

$$E_A = E_{A_{\max}} \cdot \cos^2 \theta_A \quad (2.3.3)$$

düsturu ilə təyin olunur. Burada  $\theta_A$ - bucağı elektronun toqquşmadan əvvəl və sonra hərəkət istiqaməti arasında yerləşən bucaqdır. Düşən elektronların atom nüvələrindən səpilməsinin kəsiyini müəyyən etməklə yerindən sürüşdürülmüş atomların sayını hesablamaq mümkündür. Atom tərəfindən udulan enerjinin funksiyası differensial kəsik ilə ifadə olunur [29, s.52]:

$$d\sigma(E_A) = \pi \left( \frac{Ze^2}{mc^2} \right)^2 \left[ \frac{1-\beta^2}{\beta^4} \right] \left[ 1 - \frac{\beta^2 E_A}{E_{A_{\max}}} + \pi\alpha\beta \left\{ \left( \frac{E_A}{E_{A_{\max}}} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{E_A}{E_{A_{\max}}} \right\} \right] \left( \frac{E_{A_{\max}}}{E^2} \right) dE_A \quad (2.3.4)$$

Göstərilmiş düsturda  $\alpha = \frac{Z}{137}$ ,  $\beta = \frac{v}{c}$ ,  $Z$ -atomun nüvəsinin yüküdür. Yuxarıdakı ifadəni  $E_A$  və  $E_{A_{\max}}$  intervalında inteqrallamaqla, birinci vəziyyətdə yerini dəyişmiş atomların yaranmasının tam kəsiyini aşağıdakı kimi müəyyən etmək olar:

$$\begin{aligned} \sigma_d = \pi \left( \frac{Ze^2}{mc^2} \right)^2 \left[ \frac{1-\beta^2}{\beta^4} \right] & \left[ \left( \frac{E_{A_{\max}}}{E_d} - 1 \right) - \beta^2 \ln \left( \frac{E_{A_{\max}}}{E_d} \right) + \right. \\ & \left. + \pi\alpha\beta \left\{ 2 \left[ \left( \frac{E_{A_{\max}}}{E_d} \right)^{\frac{1}{2}} - 1 \right] - \ln \left( \frac{E_{A_{\max}}}{E_d} \right) \right\} \right] \end{aligned} \quad (2.3.5)$$

Qeyd edək ki, astana enerjisini izotrop qəbul etməklə elektronlarla bombardman nəticəsində yerindən sürüşdürülmüş atomların sayını aşağıdakı düsturla müəyyən etmək olar:

$$N_d = v\Phi n(E_0) \quad (2.3.6)$$

Burada  $v$ -yerdəyişmə edən atomların kaskad xüsusiyyətini nəzərə alan kəmiyyət,  $\Phi$ -elektronların inteqral selidir.

Atomların yerindən sürüşməsi kaskadlı ola bilər. Belə ki, böyük enerjili zərrəciklərin atomla toqquşması zamanı onun atoma verdiyi enerji mümkün qədər böyük olarsa, digər atomlar da öz yerindən qəfəsin düyünündən qopmuş atom

dayanana qədər sürüşdürülə bilər. Atomun aldığı enerji  $2E_d > E_A > E_d <$  intervalında olduqda,  $v=1$  götürmək olar. Başlanğıc enerjisi  $E_0$  olan və bir elektron tərəfindən ilkin sürüşdürülən atomların orta sayı  $n(E_0)$

$$n(E_0) = N \int_0^{x_0} d\sigma [E(x)] dx \quad (2.3.7)$$

düsturu ilə tapmaq olar. Yuxarıda göstərilmiş düsturda  $-1 \text{ sm}^3$  həcmdəki atomların sayı  $N$ , elektronun effektiv qaçış məsafəsi isə  $x_0$ -la ifadə olunur.

$\gamma$ - kvantlarla şüalandırılmış yarımkeçiricilərdə  $\gamma$ -şüaların nüfuzetmə qabiliyyətinin böyük olması hesabına bütün həcmi boyu kristalda defektlər yarana bilər. Ona görə də, nöqtəvi defektlərin yaradılması üçün  $\gamma$ - şüalandırma daha münasib hesab edilir.

$\gamma$  –kvantların atomun nüvəsi ilə qarşılıqlı təsirinin ən kəsiyi onun daxili təbəqələrdəki elektronlarla qarşılıqlı təsirinin ən kəsiyi ilə müqayisədə diqqətə çarpmayacaq qədər kiçik olduğundan kristal atomları ilə  $\gamma$  –kvantların toqquşması zamanı əsasən atomların elektron altsistemi qarşılıqlı təsirdə olurlar. Məlumdur ki,  $\gamma$ -kvantlarla maddənin qarşılıqlı təsiri fotoeffekt hadisəsi, kompton effekti və elektron - pozitron cütünün yaranması kimi üç əsas proseslə nəticələnir [29, s.52]. Bu qarşılıqlı təsir zamanı  $\gamma$ –kvantın enerjisinin hamısı elektronun qoparılmasına sərf olunursa bu fotoeffekt prosesi sayılır və bu zaman qopan elektronun kinetik enerjisi

$$E_e = h\nu - E_r \quad (2.3.8)$$

olur [30, s.115]. Burada  $E_e$ -elektronun kinetik enerjisi,  $E_r$ elektronun atomda rabitə enerjisidir. Rabitə enerjisi K-təbəqəsində yerləşən elektronların enerjisindən kiçik olan halda  $\gamma$  –kvantların udulma əmsalını ( $\tau$ )

$$\tau \approx NZ^3 (h\nu)^{-3,5} \cdot 10^{-33} \text{ sm}^{-1} \quad (2.3.9)$$

düsturla hesablamaq olar. Burada,  $N-1 \text{ sm}^3$ -də olan atomların sayı,  $Z$ - atomun nüvəsinin yüküdür.

Böyük enerjiyə malik  $\gamma$  –kvantların maddənin elektronlarından kompton səpilməsi zamanı elektronlar kinetik enerjisi

$$E = h\nu - h\nu' \quad (2.3.10)$$

təpmə enerjisinə malik olurlar. [29, s.52]. Burada  $h\nu$  - qamma kvantın elektronla qarşılıqlı təsirindən öncəki enerjisi,  $h\nu'$  - səpilən qamma kvantın enerjisidir. Səpilən kvantın  $h\nu'$  - enerjisi  $\alpha$  - səpilmə bucağından asılı olur.

$$h\nu' = \frac{h\nu}{1 + (1 - \cos \alpha) \frac{h\nu}{mc^2}} \quad (2.3.11)$$

Şüalanma mənbəyi kimi enerjisi 1,17 və 1,33 MeV olan  $\gamma$  -kvantlar şüalandıran  $^{60}\text{Co}$  izotopundan istifadə olunmuşdur. Qeyd olunan enerjiyə malik olan qamma kvantları maddələrdən keçərkən əsasən az sayda kompton və foto elektronlar yaranırlar. Fotoeffekt və ya kompton effekti zamanı müəyyən kinetik enerji əldə etmiş elektronların maddənin atomları toqquşması zamanı onları yerindən sürüşdürməsi nəticəsində defektlərin yaranmasına səbəb olurlar. Belə ki, maddə daxilində onu sürətli elektronlarla şüalandırmaya ekvivalent edən sürətli elektronlar yaranırlar.

$\gamma$  -şüalanmanın təsiri ilə ilkin sadə defektlərin yaranmasının  $\sigma_\gamma$  kəsiyi fotoelektronların yaranma kəsiyindən, kompton elektronlarının yaranma kəsiyindən ( $\sigma_{\gamma k}$  və  $\sigma_{\gamma f}$ ), həmçinin, sürətləndirilmiş elektronların təsiri nəticəsində defektlərin yaranma kəsiyindən ( $\sigma_e$ ) asılı olur. Qeyd etmək lazımdır ki,  $\sigma_\gamma$  kəsiyi elektronun  $E_e$  enerjisi ilə düz, vahid uzunluğda elektronun yolunun enerji itkisinin qiyməti ilə əks mütənasibdir və aşağıdakı düsturla təyin olunur.

$$\sigma_\gamma = (\sigma_{\gamma k} + \sigma_{\gamma f}) \sigma_e \frac{E_e}{-dE/dx} N_{at} \quad (2.3.12)$$

Burada  $N_{at}$  - şüalanmaya məruz qalan maddənin atomlarının konsentrasiyasıdır.

Qeyd edək ki, qamma kvantların və sürətli elektron dəstələrinin təsiri ilə elektronların həyəcanlanması nəticəsində yaranma mexanizmi müxtəlif cür olan bəzi radiasiya defektləri əmələ gələ bilər. Bu hal həm elektron həyəcanlanmaların müxtəlif formalarda olması, həm də kristallarda olan quruluş defektlərinin müxtəlif elektron həyəcanlanmaları ilə qarşılıqlı təsirdə olaraq, müəyyən sayda əlavə quruluş defektləri yarada bilməsi ilə əlaqədardır [11, s.152-155], [12, s.17-21], [31, s.113].

Bundan əlavə yaranan radiasiya defektləri yarımkeçirici kristallarda tarazlıq halındakı cərəyan daşıyıcılarının konsentrasiyasının dəyişməsinə səbəb olur. Bu əsasən iki yolla, ya defektlərin ionlaşması və cərəyan daşıyıcılarının ya defekt səviyyələri tərəfindən tutulması yolu ilə baş verir. Cərəyan daşıyıcılarının defekt səviyyələri tərəfindən tutulması halında yükdaşıyıcıların konsentrasiyası azalır, defektlərin ionlaşması zamanı isə yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artır.

Radiasiya şüaları ilə bağlı tədqiqatların aparılması zamanı əsas qamma mənbəyi kimi MPX- $\gamma$ -25M tipli  $1,65 \cdot 10^4$  Kuri maksimal şüalanma aktivlikli qamma-izotop şüalandırıcıları və yarımparçalanma periodu 5.3 il şüalandırıcı aktivliyi 5, 104 Kuri və 319 Kuri aktivlikli  $^{60}\text{Co}$  əsaslı su müdafiəli K-25 qurğularından istifadə olunur. Tədqiqat zamanı qamma-kvantlarla şüalanma biomüdafiə təmin edən xüsusi beton kameralardan şüalanma mənbəyindən məsafədən idarə olunur.

#### **2.4. GaS və GaS(Yb) monokristallarının VAX, elektrikkeçiriciliyinin və fotocərəyanın temperaturdan asılılığının ölçmə metodikası**

Cərəyanın keçmə mexanizmi və tələlərin (konsentrasiyası, yerləşmə dərinliyi, tutma en kəsiyi) parametrləri haqqında məlumat almaq üçün geniş temperatur intervalında təmiz, habelə Yb ilə aşqarlanmış GaS monokristalının VAX tədqiq edilmişdir. Ölçülən nümunə yerlə birləşdirilən kriostatın içərisində yerləşdirilir.  $2 \cdot 10^{-3}$  Pa vakuuma qədər sorulmuş maye azot temperaturunda nümunələrin elektrofiziki parametrləri ölçülmüşdür. Bu məqsəd üçün şəkil 2.4.1-də göstərilmiş qurğudan istifadə edilmişdir. Sxem TEC-9 markalı gərginlik mənbəyindən, tədqiq edilən nümunədən ( $R_N$ ), nümunəyə ardıcıl qoşulmuş müqavimətdən ( $R_y < R_N$ ), gərginliyi ölçmək üçün B7-27A markalı voltmetrdən və cərəyan şiddətini ölçmək üçün iki ampermetrdən istifadə edilmişdir. Universal B7-30 markalı universal voltmetr-elektrometrdən kiçik cərəyan şiddətlərini ( $10^{-15}\text{A} - 10^{-8}\text{A}$ ) ölçmək üçün,  $\Phi$ -136 markalı mikrovolt-nanoampermetrdən isə nisbətən böyük cərəyan şiddətlərini ( $10^{-9}\text{A}-10^{-3}\text{A}$ ) ölçmək üçün isə istifadə edilmişdir. Ölçmədən sonra aşağıda göstərilmiş düstur əsasında elektrikkeçiriciliyinin ( $\sigma$ ) qiyməti təyin olunmuşdur:

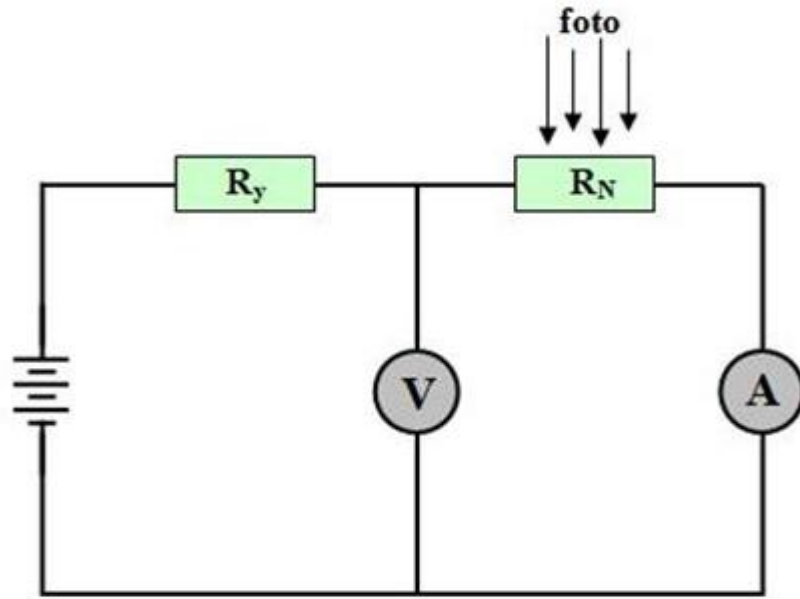
$$\sigma = \frac{I}{U_{\sigma}} \cdot \frac{L}{S} \quad (2.13)$$

Burada L - kontaktlar arasındakı məsafə (sm), S- nümunənin en kəsiyinin sahəsi (sm<sup>2</sup>), U<sub>σ</sub>- kontaktlar arasında gərginlik düşgüsü (V), I- nümunədən axan cərəyan şiddətidir (mA).

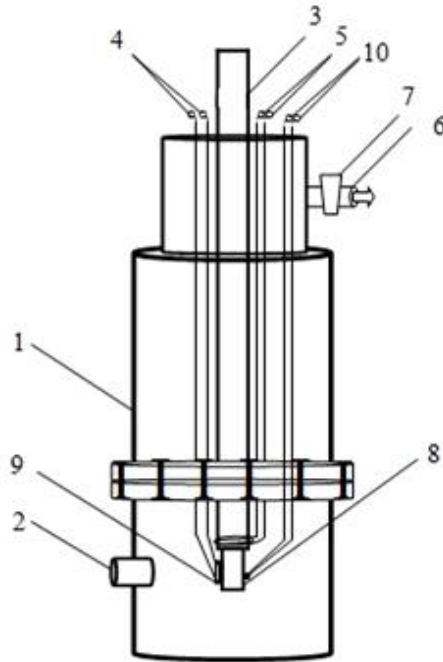
İşdə fotocərəyanı ölçmək üçün lampa və mənbədən(şüalanma) ibarət olan CΦ - 4 markalı spektrofotometrindən (200-2000 nm spektral dalğa oblastına malik), nümunənin səthinə müəyyən dalğa uzunluğuna malik monoxromatik işıq salmaq üçün olaraq gücü 20 Vt olan lampa işıq mənbəyindən istifadə olunmuşdur.

Tərtib edilmiş sxem əsasında yığılan dövrdə öncə vermiş gərginlikdə qaranlıqda cərəyan şiddətinin qiyməti ölçülür, ardınca işığın təsiri altında həmin gərginlikdə cərəyan şiddətinin qiyməti ölçülür. Bu zaman işıqlandırma nəticəsində cərəyana olunan əlavə (fotocərəyan) qaranlıq cərəyanının fonunda ölçülür. Fotocərəyanın qiymətini müəyyən etmək üçün işıqlanma halında ölçülmüş cərəyan şiddətinin qiymətindən qaranlıqda ölçülmüş cərəyan şiddətinin qiyməti çıxılır.

Şəkil 2.4.2-də tədqiq edilən nümunənin 300K temperaturda vakuum şəraitində fotoelektrik xarakteristikalarını ölçmək üçün istifadə edilən kriostatın sxematik təsviri göstərilmişdir: 1- gövdə, 2- nümunəni işıqlandırmaq üçün pəncərə, 3- maye azot tökmək üçün boru, 4-nümunəni cərəyan mənbəyinə qoşmaq üçün hissə, 5- termocütə qoşmaq üçün hissə, 6-nümunə yerləşən hissədə vakuum almaq üçün boru, 7- kran, 8-nümunəni saxlamaq üçün dayaq, 9- nümunə, 10- elektrik qızdırıcısına qoşmaq üçün ÇIXIŞ.



**Şəkil. 2.4.1. Fotocərəyanı ölçmək üçün istifadə edilən sxem.**



**Şəkil.2.4.2. Azot temperaturunda vakuum şəraitində fotocərəyanı ölçmək üçün istifadə edilən kriostat.**

## **2.5. GaS(Yb) monokristalının optik xassələrinin tədqiqat üsulu**

Təmiz və Yb ilə aşqarlanmış GaS monokristallarının lüminessensiya xassələri otaq temperaturunda Petkim Elmer LS-55 lüminessensiya spektrometrində çəkilmişdir. Nümunəni həyəcanlandırmaq üçün 50Hz tezlikli pulsasiya rejimində işləyən 150Vt gücə malik ksenon lampadan istifadə edilmişdir. Nümunə işıq filtlərinin köməyi ilə fərdi komputerlə yerinə yetirilmişdir. Təmiz və aşqarlanmış GaS monokristallarının  $T=300K$  temperaturda  $\lambda=450-650nm$  dalğa uzunluğunda spektrləri çəkilmişdir.

Tədqiq olunan nümunələrin optik spektrləri ultrabənövşəyi və görünən oblastda Varian firmasına məxsus Cray 50 Scan spektrometrində  $\lambda=200-800nm$  dalğa uzunluğu oblastında alınmışdır.

### III FƏSİL

#### **GaS(Yb) MONOKRİSTALININ ELEKTRİK XASSƏLƏRİ VƏ ONLARA QAMMA ŞÜALARININ TƏSİRİ**

Elmi ədəbiyyatlarda [13,s.362-365], [16,s.16-26], [17,s.56-62], [19,s.993-998] GaS(Yb) monokristalının müəyyən fiziki xassələri, onların volt-ampere xarakteristikaları (VAX) və elektrik xassələri tədqiq edilsə də, onların elektrik və fotoelektrik xassələrinə ionlaşdırıcı şüaların təsiri tədqiq edilməmişdir. Volt-ampere xarakteristikasının, eləcə də elektrik keçiriciliyinin temperaturdan, elektrik sahəsinin intensivliyindən asılılığının tədqiqi yarımkeçirici materialların elektrik xassələri, onların qadağan olunmuş zonasında mövcud olan lokal səviyyələrin parametrlərinin, məsələn, lokal səviyyələrin konsentrasiyası, qadağan olunmuş zonada onların energetik yeri, cərəyanın daşınmasında iştirak edən sərbəst yükdaşıyıcıların tutulma ehtimalının sahəsi və s. haqqında məlumat almağa imkan verir. Bu səbəbdən Yb atomunun (0,1 at.%) GaS monokristalında cərəyanın keçmə mexanizminə təsiri geniş temperatur (110-300 K) və elektrik sahələrində ( $10^{-10^4}$  V/sm) tədqiq edilmişdir.

Bridgman üsulu ilə alınan GaS və GaS(Yb) laylı monokristallarının elektrik keçiriciliyi mexanizminin təbiətini aydınlaşdırmaq və qamma şüaların təsiri nəticəsində yaranan radiasiya defektlərinin keçiricilik mexanizminə təsirinin qanunauyğunluğunu öyrənmək məqsədilə p-tip keçiriciliyə malik nümunələr tədqiq edilmişdir.

Yarımkeçirici materialların volt-ampere xarakteristikasının forması bir çox amillərdən, xüsusilə qadağan olunmuş zonada lokal səviyyələrin paylanması, temperaturdan və s. asılıdır və bu səbəbdən kristalların VAX-sı bəzən çox mürəkkəb quruluşa malik olur. Tədqiq olunan işdə GaS(Yb) laylı birləşməsinin müxtəlif temperatur və müxtəlif elektrik sahələrində həm ilkin halda (şüalamadan əvvəl), həm də  $\gamma$ -şüaların təsirindən sonra elektrik xassələri öyrənilmişdir [50,s.90-96], [126,s.1-5], [134, s.11-17].

Geniş qadağan olunmuş zonaya malik yarımkeçiricilərdə onların qadağan olunmuş zonasının enerji spektrini, elektron proseslərinin xüsusiyyətlərini, sərbəst yükdaşıyıcılar ilə lokal səviyyələrin qarşılıqlı təsirini, eyni zamanda bu qarşılıqlı təsirlə bağlı olan effektlərin xüsusiyyətlərini, baş vermə mexanizmini aydınlaşdırmaq üçün istifadə olunan tədqiqat metodlarından biri VAX-ın tədqiqidir [12,s.260], [37,s.103-108],[48,s.80-83]. Zəif elektrik sahəsində yarımkeçirici materialların elektrik xarakteristikalarının öyrənilməsi həmin yarımkeçiricilər əsasında müxtəlif yarımkeçirici cihazların: diodların, fotoqəbuledicilərin, rezistorların, işıq mənbələrinin hazırlanmasında geniş əhəmiyyət kəsb edir.

Dissertasiyanın bu fəslində GaS və GaS(Yb) monokristallarında  $110 \leq T \leq 300$  K temperatur intervalında yüklərin daşınma hadisələri kompleks (elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı, VAX) şəkildə tədqiq edilmişdir. Eyni zamanda həmin hadisələrə  $\gamma$ -şüaların təsiri öyrənilmişdir.

### **3.1. GaS və GaS(Yb) monokristallarının volt-amper xarakteristikaları**

Bərk cisimlərdə injeksiya hadisələrinin nəzəri və eksperimental tədqiqi [37,s.103-108], [121,s.19-26],[122,s.497-499] işlərdə geniş tədqiq olunmuşdur. Bu tədqiqatların əsas xüsusiyyətləri ondan ibarətdir ki, injeksiya cərəyanlarını birbaşa ölçməklə qadağan olunmuş zonada yerləşən tələlərin energetik vəziyyətini, konsentrasiyasını və lokal səviyyələrdə yükdaşıyıcıların tutma en kəsiyi haqqında geniş məlumatlar almaq olur.

İkiqat loqarifmik miqyasda qurulmuş VAX adətən 3- hissədən ibarət olub koordinat müstəvisində “üçbucaq” yaradır. Om qanunu gərginliyin elə  $U_x$  qiymətinə qədər doğrudur ki, injeksiya olunan sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası  $n$ , tarazlıqda olan yükdaşıyıcıların  $n_0$  konsentrasiyasına bərabər olsun. Yəni:

$$U_x = \frac{en_0L^2}{\theta\varepsilon} \quad (3.1.1)$$

[37, s.103-108] işində mürəkkəb olmayan fenomenoloji analiz əsasında izolyatorlar üçün VAX-ın aşağıdakı ifadəsi alınmışdır.

$$j = \frac{9}{8} \theta \varepsilon \mu \frac{U^2}{L^3} \quad (3.1.2)$$

Bu “tələli” kvadratik qanun adlanır.

$$\Theta = \frac{n}{n_t} = \frac{N_v}{gN_t} \quad (3.1.3)$$

$\Theta$ - tutma faktoru,  $\varepsilon$ -dielektrik nüfuzluluğu,  $n$ -sərbəst elektronların konsentrasiyası,  $n_t$  –tutulmuş elektronların konsentrasiyası,  $N_v$  –valent zonasının hal sıxlığı,  $E_t$  –tələlərin dərinliyi,  $N_t$  –tələlərin konsentrasiyası,  $L$  –nümunənin qalınlığı,  $\mu$  –yükdaşıyıcıların yürüklüyü,  $e$ -yapışma səviyyələrinin spin cırlaşma əmsalındır.

[37, s.103-108] işində göstərilmişdir ki,  $j \sim U^2$  kvadratik hissədən, istilik tarazlıq halında sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını, tələlərin parametrlərini hesablamaq olar. VAX-ın formasına və aşağıda verilmiş formulalara əsasən tələlərin paylanma xarakteri haqqında fikir söyləmək, eyni zamanda onların yerləşmə dərinliyini (enerjisini), konsentrasiyasını hesablamaq olar.

$$N_t = 1.1 \cdot 10^6 \kappa \frac{U_m}{L^2} \quad (3.1.4)$$

$$E_c - E_t = kT \ln \frac{\theta g N_t}{N_v} \quad (3.1.5)$$

$\kappa$  -nisbi statistik dielektrik nüfuzluğu,  $E_c$  –keçirici zonanın dibinə uyğun gələn enerji.

Tədqiq olunan aşqarlanmamış GaS və nadir torpaq elementi (NTE) ilə aşqarlanmış GaS(Yb) 0.1at% monokristalları Bridgmen metodu ilə alınmış p-tip keçiriciliyə malikdir. Kontaktlar indium vasitəsilə səthə perpendikulyar istiqamətdə (“c” oxuna paralel) vurulmuşdur. Nümunələrin VAX-sı qaranlıqda sabit cərəyan rejimində aparılmışdır.

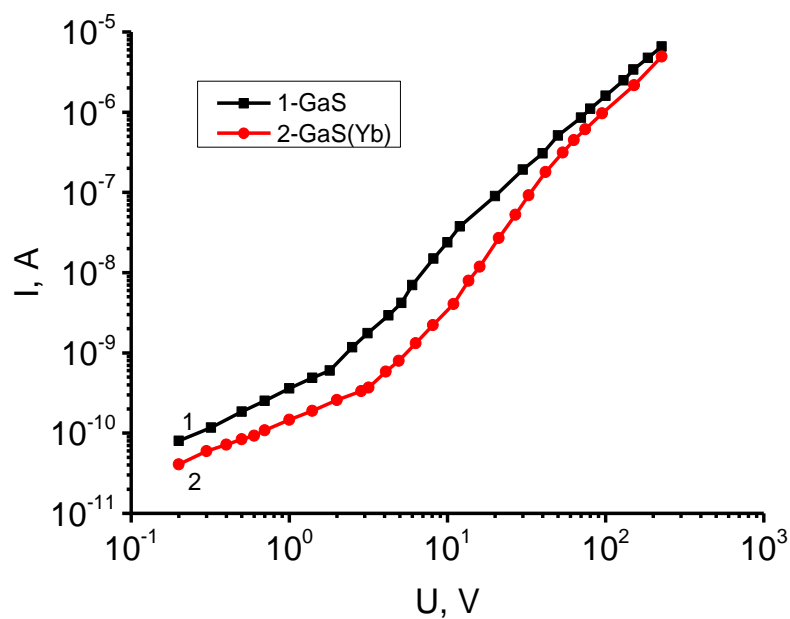
Şəkil 3.1.1-də təmiz GaS (əyri-1) və GaS(Yb) 0.1at% (əyri-2) monokristalının VAX-sı  $T=300$  K temperaturunda göstərilmişdir. Şəkil 3.1.1-dən göründüyü kimi, hər iki halda kristalın VAX-sı üstlü funksiya qanununa tabe olur. Cərəyanın kristala

tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı üç- hissədən:  $U = 0.3V - 2V$  intervalında Om qanununa,  $U = 2-10V$ -a kimi kvadratik və  $10 \leq U \leq 60V$  oblastında cərəyanın kəskin artma oblastına ( $n > 2.5$ ),  $U = 60V$ -dan yuxarı qiymətlərində isə tələsiz kvadratik oblasta keçir. Şəkil 3.1.1-də göstərilən əyriyə mütənasibliyi təhlili göstərir ki, GaS monokristalını Yb atomu ilə aşqarladıqda cərəyanın azalması, omik oblastın yüksək gərginlik oblastına tərəf sürüşməsi baş verir və eyni zamanda tələsiz kvadratik oblastda keçid gərginliyi yüksək gərginlik oblastına doğru sürüşür.

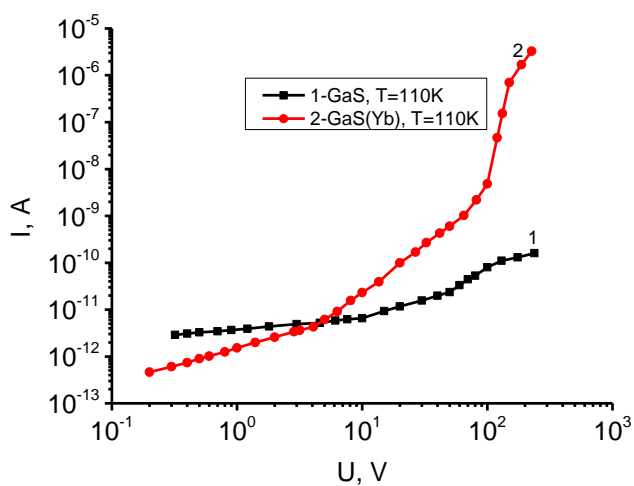
Şəkil 3.1.2-də  $T = 110 K$ -də GaS və GaS(Yb) kristalının volt-ampere xarakteristikası göstərilmişdir. Qrafikdə 1-ci əyri təmiz GaS monokristalının aşağı temperaturda VAX-nı göstərir. Əyridən görünür ki, nümunəyə tətbiq edilən gərginliyin artması ilə cərəyanın qismən artması və kiçik gərginlik oblastında kvadratik hissə, daha yüksək gərginliklərdə isə cərəyanın doyma qiymətinə yaxınlaşması müşahidə olunur. Yb aşqar atomunun daxil edilməsi (əyri-2)  $T = 110 K$  temperaturunda kiçik gərginlik oblastında qaranlıq cərəyanın qiyməti gərginliyin qiymətinin artması ilə artır, gərginliyin müəyyən qiymətindən ( $\sim 6V$ ) sonra cərəyanın kvadratik oblasta keçməsi baş verir. Buna səbəb isə aşağı temperaturlarda elektroddan injeksiya olunan yükdaşıyıcıların tələləri tam doldura bilmədiyini və keçiriciliyin dayaz səviyələrin ionlaşması hesabına baş verdiyini göstərir. Gərginliyin sonrakı artımı ilə cərəyanın qiymətində kəskin artma müşahidə olunur.

Alınmış nəticələrin təhlili göstərir ki, Yb atomu GaS kristalının qadağan olunmuş zonasında donor tipli energetik səviyyə yaradır və onun cərəyanın keçmə mexanizminə təsirini müəyyən etmək üçün fəza yükləri ilə məhdudlaşan injeksiya cərəyanı modelindən istifadə edək [37, s.103-108], [132, s.461]. Bu model əsasında GaS(Yb) kristalın qadağan olunmuş zonasında yerləşən lokal səviyyələrindəki yükdaşıyıcıların konsentrasiyaları, Fermi səviyyəsinin vəziyyəti və VAX-ın formasını müəyyən edən tutma əmsalı haqqında məlumatlar əldə edək.

Bu modelə əsasən, kiçik gərginlik oblastında kristaldan keçən cərəyan termik ionlaşma nəticəsində yaranan sərbəst yükdaşıyıcıların hesabına yaranır və onun konsentrasiyası injeksiya olunan yükdaşıyıcıların konsentrasiyasına uyğun gəldiyindən cərəyanın qiyməti belə hesablanır:



**Şəkil 3.1.1. GaS və GaS(Yb) monokristallarının otaq temperaturunda volt-amper xarakteristikası**



**Şəkil 3.1.2. GaS və GaS(Yb) monokristallarının T=110 K temperaturunda volt-amper xarakteristikası**

$$j = en_0\mu \frac{U}{l} \quad (3.1.6)$$

Tətbiq olunan gərginliyin  $U > 6V$  qiymətlərində omik hissədən kvadratik hissəyə keçidə uyğun cərəyanın qiyməti belə olar:

$$J = \theta \epsilon \epsilon_0 \mu \frac{U^2}{L^3} \quad (3.1.7)$$

$\epsilon_0$  –elektrik sabitidir.

Gərginliyin sonrakı artımında VAX-da kvadratik oblastdan sonra cərəyanın kəskin artma oblastı müşahidə olunur.

$$J = \epsilon \epsilon_0 \frac{U^2}{L^3} \quad (3.1.8)$$

(3.1.8) formulundan görünür ki, cərəyanın qiyməti gərginliyin eyni bir qiymətində nümunənin qalınlığının üçüncü dərəcəsi ilə tərs mütənasibdir. Yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını və yürüklüyünü hesablamaq üçün aparılan qiymətləndirmədə aşağıdakı düsturlardan istifadə edilmişdir:

$$P_0 = \frac{\epsilon \epsilon_0 U_1}{eL^2} \quad (3.1.9)$$

$$\mu = \frac{jL^3}{\theta \epsilon_0 U_1^2} \quad (3.1.10)$$

$$P_1 = \frac{U_1 dh \epsilon \epsilon_0}{eL^2} \quad (3.1.11)$$

Hesablama zamanı alınmış nəticələr cədvəl 1-də verilmişdir. Cədvəldən görüldüyü kimi itterbi ilə aşqarlanmış GaS monokristalında sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası, tutma faktoru və səviyyələrin konsentrasiyası azalır.

$A^3B^6$  birləşmələr qrupuna aid olan GaS laylı monokristalları müəyyən təbiətli defekt mərkəzləri olan qismən nizamsız quruluşa malik defektli kristallardır. Belə kristallara vurulan müxtəlif təbiətli kənar element atomları, xüsusi ilə nadir torpaq

element aşqarları konsentrasiyanın müəyyən qiymətində defekt mərkəzlərinin bir qismini kompensasiya edərək kristalın qəfəs quruluşunda bir sıra dəyişikliklər əmələ gətirirlər. Cədvəl 1-dən görüldüyü kimi aşqarlama yükdaşıyıcıların parametrlərini dəyişir. Belə ki tarazlıq yükdaşıyıcıların konsentrasiyası azalır ki, bu da Fermi kvazi səviyyəsinin dəyişməsi ilə əlaqədardır. GaS(Yb) monokristalında cərəyanın qiymətinin azalması və kvadratik oblasta keçid gərginliyinin böyük gərginliklər oblastına sürüşməsi onu göstərir ki, cərəyanın keçmə mexanizmində əsas rol tələli səviyyələr oynayır, hansı ki, onların konsentrasiyası artır və onların dolma səviyyəsi azalır.

Şəkil 3.1.1-də müşahidə olunan VAX-sı bərk cisimlərdə cərəyanın inyeksiya nəzəriyyəsi əsasında izah edilmiş [37, s.103-108], [132,s.350-361] və müəyyən edilmişdir ki, aşqarlı GaS(Yb) yarımkeçirici kristallarda  $I \sim U^n$ - asılılığı həcmi yüklər oblastı ilə məhdudlaşan cərəyan nəzəriyyəsinə uyğun gəlir [132, s.361]. Bu nəzəriyyə əsasında şəkil 3.1.1-dən hər iki hal üçün omik hissədən kvadratik hissəyə keçid gərginliyinin qiyməti əsasında GaS və GaS(Yb) kristallarında sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyaları təyin edilmiş və uyğun olaraq  $p_0 \sim 2,8 \cdot 10^{10} \text{ sm}^{-3}$  və  $4,7 \cdot 10^7 \text{ sm}^{-3}$  olmuşdur. Alınmış nəticələr əsasında müəyyən edilmişdir ki, temperaturun artması ilə sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artır. Bu isə, aşağı gərginliklərdə kontaktdan injeksiya edən elektronların hesabına Fermi səviyyəsinin tarazlıq vəziyyətinə nəzərən sürüşməsi ilə bağlı ola bilər. Nümunənin elektrik tutumunun  $U=0$  giriş gərginliyində və tələlərin tam dolu hala keçid halında ölçülmüş qiyməti ( $C=5 \cdot 10^{-10} \text{ F}$ ; E7-20 – immitans ölçü cihazı) əsasında tələlərin konsentrasiyası hesablanmış və GaS kristalı üçün  $N_t = CU_{td} / q \cdot V = 3,68 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-3}$  və GaS(Yb) üçün isə  $N_t = 3,45 \cdot 10^{17} \text{ cm}^{-3}$  (V-nümunənin həcmi) olmuşdur. Fermi səviyyəsinin tarazlıq halından sürüşməsi hər iki kristal üçün  $\Delta E_t \approx 0,02 \text{ eV}$  təşkil edir [50,s.90-96].

Beləliklə, GaS monokristalına Yb atomunun daxil edilməsi nəticəsində elektrik sahəsinin kiçik qiymətlərində cərəyanın keçmə mexanizmi injeksiya nəzəriyyəsi əsasında izah edilmiş [37, s.103-108],[132,s.350-361] və müəyyən edilmişdir ki, aşqarlanmış GaS(Yb) kristalında da  $I \sim U^n$ - asılılığı həcmi yüklər oblastı ilə məhdudlaşan cərəyan nəzəriyyəsinə uyğun gəlir və cərəyan monopolyar injeksiya ilə məhdudlaşır, yüksək elektrik sahələrində isə lokal səviyyələrin ionlaşması nəticəsində

kəskin artır. Bu işə, bizə laylı GaS monokristalının elektrik xassəsini məqsədyönlü idarə etməyə imkan verir.

### **3.2 Qamma şüalanmanın laylı GaS (Yb) monokristalının volt–amper xarakteristikasına təsiri**

Məlumdur ki, A<sup>III</sup>B<sup>VI</sup> qrup birləşmələrinə daxil olan GaS kristalları da defektli quruluşa malikdir və onların konsentrasiyası  $\sim 10^{17}$  cm<sup>-3</sup> təşkil edir. Defektlərin nizamlanma prosesinə ionlaşdırıcı şüaların təsiri [46,s.140-143], [47,s.78-82], [123,s.2205-2209] işlərdə öyrənilmiş və müəyyən edilmişdir ki,  $\gamma$ -kvantlarla şüalanma nəticəsində yaranan donor tipli defektlər struktur defektlərin qismən nizamlanmasına səbəb olur. Aşqarlı və aşqarsız GaS kristallarında VAX-ın təhlili göstərdi ki, struktur defektlərin konsentrasiyası qismən aşqar (Yb) atomu ilə idarə oluna bilər. İndi işə,  $\gamma$ -kvantların aşqar-defekt qarşılıqlı təsirinə baxaq. [48,s.80-83], [49,s.1-4] işlərdə göstərilir ki, müxtəlif tip şüalanmanın təsiri bir çox bərk cisimlərin fiziki xassələrini kəskin dəyişdirir. Müəyyən edilmişdir ki, yarımqeçirici materialların şüalandırılması zamanı yaranan radiasiya defektləri, onların struktur defektləri və aşqar atomları ilə qarşılıqlı təsiri materialın xassələrinin idarə edilməsində əsas rol oynayır. Yarımqeçirici materialları şüalandırıqda onların radiasiyaya davamlılığını müəyyən edən əsas faktorlardan biri kristallik qəfəs quruluşudur. Bununla əlaqədar olaraq son dövrlərdə laylı yarımqeçiricilərin fiziki xassələrinin dəyişməsində radiasiya şüalanmasının öyrənilməsinə geniş əhəmiyyət verilir.

Laylı kristallarda cərəyanın keçmə mexanizminə aşqar-defekt qarşılıqlı təsirinin məqsədyönlü idarə edilmə mexanizmini vermək məqsədi ilə GaS(Yb) kristalında VAX- na  $\gamma$ - kvantların təsiri 110-300K temperatur və  $10^0$ -  $10^4$  V/sm intervalında tədqiq edilmişdir.

Şəkil 3.2.1-də GaS və GaS(Yb) monokristallarının otaq temperaturunda müxtəlif dozalarda volt-amper xarakteristikası göstərilmiş və qrafiklərin müqayisəsi məqsədi ilə şüalanmadan əvvəlki nəticələr 1 və 2- ci əyriləri də verilmişdir.

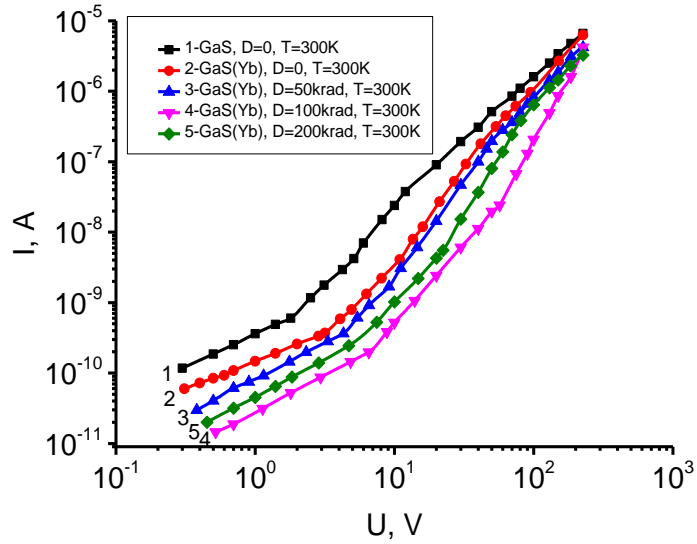
Şəkil 3.2.1-dən görünür ki,  $\gamma$ -kvantlarla şüalanma nəticəsində GaS(Yb) kristalının VAX-sı şüalanmadan əvvəlki qanunauyğunluqla baş verir, ancaq omik,

kvadratik ( $J-U^2$ ), cərəyanın kəskin artma ( $J-U^3$ ) və nəhayət tələsiz  $U \geq 60V$  oblastalara uyğun gərginliyin qiymətinin yüksək gərginlik oblastına tərəf sürüşməsi müşahidə olunur.

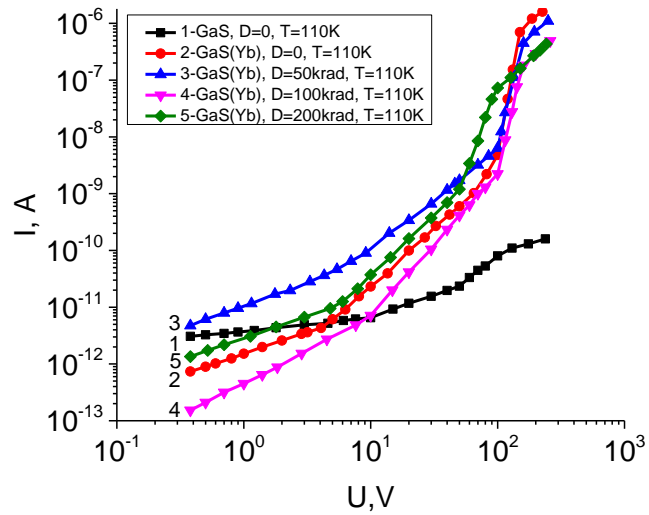
GaS(Yb) kristalını  $D=50$ krad doza ilə şüalandırdıqda (əyri-3) nümunədən keçən cərəyanın qiyməti şüalandırılmamış nümunəyə nisbətən azalır, ancaq əyrinin xarakteri dəyişmir. Bu zaman omik oblastdan kvadratik oblasta keçid gərginliyinin qiyməti artır.  $U_k$ - keçid gərginliyinin qiyməti və [73,s.993-998] işdə verilən formula əsasında sərbəst yükdaşıyıcıların və tələlərin konsentrasiyaları hesablanmış və uyğun olaraq və  $p=3.61 \cdot 10^7 \text{sm}^{-3}$  və  $N_t = 3.38 \cdot 10^{17} \text{sm}^{-3}$  olmuşdur. Parametrlərin müqayisəsi göstərir ki, 50 krad dozada şüalandırılmış GaS(Yb) kristalında cərəyanın azalması sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının azalması ilə bağlıdır.

Əyri 4-dən görünür ki, GaS(Yb) monokristalını  $D=100$ krad doza ilə şüalandırdıqda nümunədən keçən cərəyanın qiyməti yenidən azalır və gərginliyin sonrakı artımında ( $U \geq 100V$ ) tələsiz kvadratik oblast müşahidə olunmur. Cərəyanın belə dəyişməsi keçiricilikdə iştirak edən yükdaşıyıcıları özündə toplayan dərin səviyyələrin yaranması ilə əlaqədar ola bilər. GaS(Yb) kristalını  $D=200$ krad doza ilə şüalandırdıqda bütün gərginlik oblastında ( $U=8 \cdot 10^{-1} \div 10^2$ ) cərəyanın qiyməti artır və  $U \geq 60V$ -dan sonra tələsiz kvadratik oblast müşahidə olunur.

Şəkil 3.2.2-də müxtəlif dozalarda qamma-kvantlarla şüalandırılmış GaS(Yb) kristalının  $T=110K$ -də VAX-sı verilmişdir. Şəkil 3.2.1 ilə Şəkil 3.2.2-in müqayisəsindən görünür ki, qamma-kvantlarla şüalanmadan sonra  $I \sim f(U)$  asılılığının xarakteri dəyişmir, ancaq cərəyanın qiyməti şüalanma dozasından asılı olaraq dəyişir. [50,s.90-96], [126,s.1-5] –işindən məlumdur ki, aşqar kimi Yb atomunun daxil edilməsi nəticəsində cərəyanın qiyməti azalır (şəkil 3.2.2, əyri-2), ancaq  $D=50$  krad şüalanma dozasında cərəyanın qiyməti, şüalanmadan əvvəlki qiymətinə nəzərən artır (şəkil 3.2.2, əyri-3).



**Şəkil 3.2.1. GaS və GaS(Yb) monokristallarının otaq temperaturunda müxtəlif dozalarda volt-ampere xarakteristikası**



**Şəkil 3.2.2. GaS və GaS(Yb) monokristallarının T=110K-da müxtəlif dozalarda volt-ampere xarakteristikası**

Bu fakt onu göstərir ki, şüalanma dozasının seçilən qiymətində yaranan radiasiya defektləri akseptor təbiətlidir. Şəkil 3.2.2, əyri-3-dən görünür ki, şüalanmadan sonra, cərəyanın qiyməti nümunəyə tətbiq edilən gərginliyin qiymətinin artması ilə artır və  $U=8\text{ V}$  -dan sonra cərəyanın qiyməti ilkin cərəyanı üstələyir və  $I\sim U^2$  qanununa tabe olur.  $U=100\text{ V}$  qiymətində isə kəskin artma oblasti müşahidə olunur və [124,s.278-281]-işində göstərildiyi kimi, lokal səviyyənin ionlaşması ilə bağlı ola bilər.  $U>195\text{ V}$  qiymətindən sonra isə, lokal səviyyələrin injeksiya olunan yükdaşıyıcılarla dolması nəticəsində, yenidən omik oblast müşahidə olunur. Alınan nəticələr Frenkel effekti ilə izah olunur [2,s.69], [68,s.45].

Şəkil 3.2.2, əyri 4-5 -dən görünür ki, GaS(Yb) kristalında, şüalanma dozasının artması ilə yaranan radiasiya defektlərinin təbiətindən və konsentrasiyasından asılı olaraq cərəyanın keçmə mexanizmi dəyişir. Belə ki, 100 krad dozada (əyri-4) şüalanmadan sonra cərəyanın qiyməti (2-ci əyriyə nəzərən) kəskin azalır və omik oblastdan kvadratik oblasta keçid gərginliyi artır ( $U=10\text{ V}$ ) və  $U=100\text{ V}$  -dan sonra isə, cərəyanın kəskin artması müşahidə olunur. Şüalanma dozasının 200 krad (əyri-5) qiymətində isə cərəyanın omik hissəsində müşahidə olunan qiyməti əyri-4-ün qiymətinə nəzərən artır və  $U=5\text{V}$ -dan sonra isə 1-ci əyriyə nisbətən  $U$ -nun qiymətindən asılı olaraq artır. Bu zaman omik hissədən kvadratik hissəyə və kvadratik hissədən cərəyanın kəskin artma oblastına uyğun gərginliyin qiyməti azalır və bütünlüklə  $I\sim f(U)$  asılılıqlı əyrisi kiçik gərginlik oblastına tərəf sürüşür. Alınan nəticə göstərir ki, GaS(Yb) kristalının  $D > 200$  krad dozalarında  $\gamma$ -kvantlarla şüalanması zamanı yenidən akseptor tipli defektlər üstünlük təşkil etdiyindən cərəyanın qiyməti tətbiq edilən gərginlik oblastında artır. VAX-ın araşdırılması və kristalın parametrlərinin hesablanması zamanı yarımkeçirici materiallarda injeksiya nəzəriyyəsindən [37, s.103-108],[132,s.361] istifadə olunmuş və hesablama nəticəsində alınan qiymətlər cədvəl 1-də göstərilmişdir.

**GaS və GaS(Yb) monokristalının şüalanmadan əvvəl və sonra hesablanmış parametrləri. Burada  $p_0$ -yükdaşıyıcıların konsentrasiyası,  $\epsilon$ -tutma faktoru,  $\kappa$ -statistik dielektrik nüfuzluğu,  $N_t$ -təhlələrin konsentrasiyası.**

	$p_0$ (sm <sup>-3</sup> )	$\epsilon$	$\kappa$ (sm)	$N_t$ (sm <sup>-3</sup> )
GaS	$2.8 \cdot 10^{10}$	$1.6 \cdot 10^{-1}$	$0.96 \cdot 10^{-2}$	$3.681 \cdot 10^{16}$
GaS(Yb), D=0	$4.76 \cdot 10^7$	$1.05 \cdot 10^{-1}$	$0.46 \cdot 10^{-2}$	$3.457 \cdot 10^{17}$
GaS(Yb), D=50krad	$3.61 \cdot 10^7$	$1.78 \cdot 10^{-1}$	$0.41 \cdot 10^{-2}$	$3.386 \cdot 10^{17}$
GaS(Yb), D=100krad	$1.43 \cdot 10^7$	$1.57 \cdot 10^{-2}$	$0.31 \cdot 10^{-2}$	$1.587 \cdot 10^{16}$
GaS(Yb), D=200krad	$6.157 \cdot 10^7$	$9 \cdot 10^{-2}$	$0.73 \cdot 10^{-2}$	$6.703 \cdot 10^{15}$

Alınan təcrübi nəticələrin təhlili göstərir ki, p-GaS laylı monokristalına Yb (0.1at%) aşqar atomunun daxil edilməsi kristalda ilkin akseptor tipli defektləri qismən kompensasiya etməsi nəticəsində məxsusi yükdaşıyıcıların konsentrasiyası azalır və Yb-aşqar atomunun donor tipli energetik səviyyə yaratdığını göstərir. Qamma kvantlarla şüalanma zamanı Ga və S qəfəsaltlarında defekt yaranma prosesi baş verir və bu  $dn/dD$  –defekt yaranma sürəti komponentin rabitə enerjisindən və şüalanma dozasından asılıdır [145,s.73-80]. Bu səbəbdən Ga və S qəfəsaltlarında yaranan radiasiya defektlərinin konsentrasiyası bir-birindən fərqli olur. Ona görə də şüalanmanın aşağı dozalarında GaS kristallarında əsasən donor tipli defektlər üstün olduğundan məxsusi yükdaşıyıcıların konsentrasiyası azalır, yüksək şüalanma dozalarında isə, əksinə, artır [50,s.90-96],[126,s.1-5],[134,s.11-17],[108,s.60-64],[118,s.162],[69,s.292]. Aşqar Yb atomunun daxil edilməsi ilə şəkil 3.1-dən görüldüyü kimi kristalın keçiriciliyi azalır və bu akseptor tipli səviyyənin qismən kompensasiyası ilə bağlıdır. Qeyd olunan mülahizələr və aldığımız təcrübi faktlar

əsasında demək olar ki, GaS(Yb) kristalında qamma-kvantların təsiri ilə defekt yaranma prosesi laylı GaS [15,s.1429-1431] və GaSe [71,s.559-562], [114,s.156] kristallarında müşahidə olunan mexanizmə uyğun olaraq gedir. Qamma-kvantların atomun elektron təbəqəsinin həyəcanlandırması nəticəsində ionlaşma prosesi baş verir. İonlaşma nəticəsində yaranan kompton elektron, qəfəsin düyünlərində yerləşən ionu qəfəs aralığına sürüşdürür və nəticədə vakansiya-düyünlərarası atom cütü yaranır. Vakansiya-düyünlərarası atomun qarşılıqlı təsiri rabitə enerjisindən asılıdır. Enerjinin bu qiymətindən asılı olaraq yaranan cütlərin anihilizasiyası və ya kompleks yaranma baş verir. Bu mülahizələr əsasında, [117, s.63] şüalandırılmış GaS(Yb) kristallarında VAX-ın təhlili zamanı alınan nəticələr əsasında aşağıdakıları demək olar:

- $D < 50$  krad şüalanma dozalarında omik oblastda cərəyanın artması düyünlərarası aşqar Yb ionunun  $V_{Ga}$  ilə anihilizasiyası, yüksək elektrik sahələrdə cərəyanın kəskin artması isə lokal səviyyələrin termoionlaşması hesabına baş verir;
- $D > 100$  krad şüalanma dozalarında  $[V_{Ga} I_{Yb}]$  kompleksinin dissosiasiyası nəticəsində sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması müşahidə olunur (şüalanmadan əvvəlki konsentrasiyaya nəzərən), kristalın VAX- sını kiçik gərginlik oblastına tərəf sürüşür.

### **3.3 Yb –atomu ilə aşqarlanmış GaS monokristalının elektrik keçiriciliyi**

[67,s.84-87], [78,s.5]–işlərdən məlumdur ki, laylı kristallarda struktur defektlərin konsentrasiyasının  $\sim 10^{17} \text{ sm}^{-3}$  olması, kristalın fəza quruluşunda qeyri-bircinslilik və keçiricilikdə anizotropik xassələr yaradır. Kristalın qeyd olunan xüsusiyyətlərini məqsədyönlü idarə etmək məqsədi ilə aşqarlama və radiasiya texnologiyası metodlarından istifadə olunur. GaS(Yb) kristalının VAX-ın araşdırılması zamanı müəyyən olundu ki, Yb- aşqar atomunun daxil edilməsi və ionlaşdırıcı qamma-şüalarının təsiri ilə defektlərin paylanması idarə etməklə cərəyanın elektrik sahəsindən asılılıq mexanizmini idarə etmək mümkündür. Bu faktları nəzərə alaraq aşqarlı GaS(Yb) kristalında yaradılan aşqar və radiasiya defektlərinin elektrik keçiriciliyinə birgə təsirinin öyrənilməsi laylı kristallarda cərəyanın keçmə

mexanizmin modelini qurmağa imkan verə bilər. Bu məqsədlə GaS(Yb) kristalında elektrik keçiriciliyinə qamma-kvantların təsiri araşdırılmışdır.

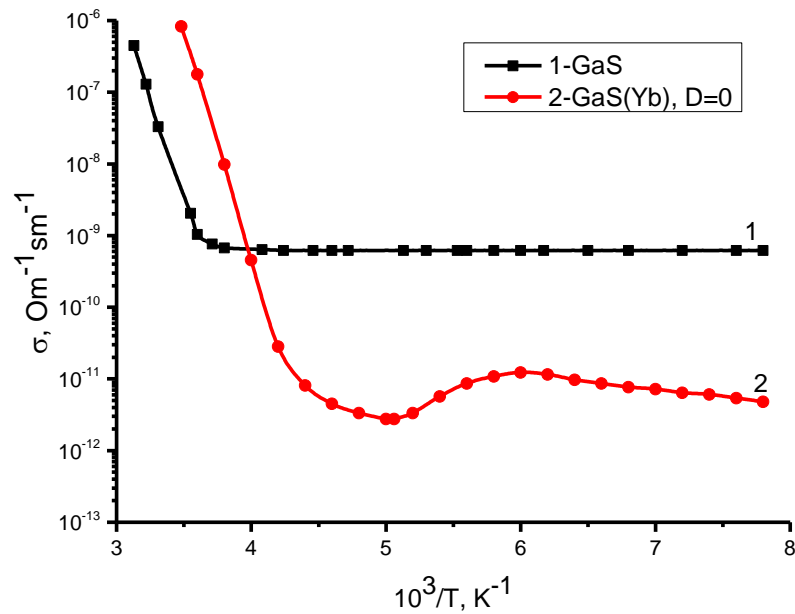
Şəkil 3.3.1-də təmiz və nadir torpaq elementi Yb ilə aşqarlanmış GaS laylı monokristalının elektrik keçiriciliyinin (E|| C halı üçün) geniş temperatur intervalında ( $T=125-300K$ ) tədqiqi göstərilmişdir. Şəkil 3.3.1-də 1-ci əyridən görünür ki, təmiz GaS monokristalının elektrik keçiriciliyi  $T=125-230K$  temperatur intervalında temperaturdan demək olar ki, asılı olmur, ancaq ( $T>230K$ ) yüksək temperaturda temperaturdan asılı olaraq artır. Yüksək temperatur oblastında elektrik keçiriciliyinin temperatur əyrisinin meylliyindən keçiriciliyin aktivləşmə enerjisinin qiyməti  $\sim 1.12eV$  hesablanmışdır (şəkil 3.3.1, əyri 1). Yb ilə aşqarlanmış GaS laylı monokristalının elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı (şəkil 3.3.1, əyri 2) göstərilmişdir. Aşağı temperaturda ( $T<180K$ ) əyrinin meylliyindən energetik səviyyənin [4, s.179-181] aktivləşmə enerjisi  $\sim 0.098eV$  təyin edilmişdir.  $\sigma(10^3/T)$  asılılığının  $T<100\div 300K$  temperaturunda dəyişməsi göstərir ki, aşqarlanmış GaS laylı monokristalında cərəyan daşıyıcılarının konsentrasiyası aşağı temperatur oblastında ( $125\div 230K$ ) azalır,  $T=235\div 300K$  temperatur oblastında isə artır.  $\sigma(10^3/T)$  asılılığının yuxarı temperaturda ( $T>235K$ ) belə artmasını keçiriciliyin sıçrayışla baş verməsi ilə izah etmək olar, bu isə, yüksək defektli kristallarda müşahidə edilir.

Şəkil 3.3.1-dən 1 və 2- əyriyələrinin müqayisəsi göstərir ki, GaS monokristalına aşqar Yb atomunun daxil edilməsi onun elektrik keçiriciliyinin  $125-300 K$  temperatur intervalında azalır və donor tipli energetik səviyyənin yarandığı faktını sübut edir. Əyri-2-dən görünür ki, Yb-atomunun yaratdığı aşqar səviyyəsinin konsentrasiyası ilkin kristalda müşahidə olunan lokal səviyyənin konsentrasiyasından kiçik olduğundan, termik ionlaşma  $125-180 K$  intervalında tam müşahidə olunmur. Temperaturun sonrakı artması ilə keçiricilik azalır və  $250 K$ -dən sonra kəskin artma baş verir. Qrafikdən görünür ki, təmiz və Yb ilə aşqarlanmış GaS monokristalında uyğun olaraq qadağan olunmuş zonada ionlaşma enerjisi  $1.12eV$  və  $1.14 eV$  olan dərin səviyyələr mövcuddur.

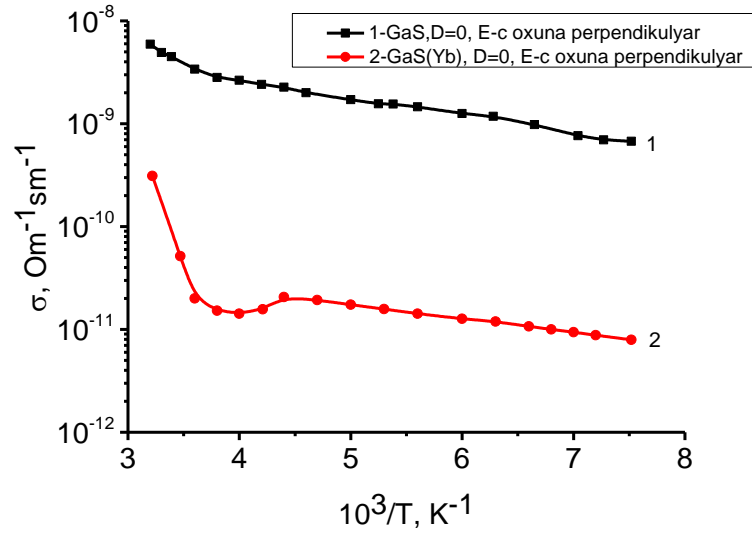
Göründüyü kimi GaS(Yb) monokristalında  $T>200K$  temperaturdan yuxarı temperaturlarda keçiriciliyin artması, kristalda akseptor tipli səviyyələrin artması ilə

əlaqədardır. Fərz etmək olar ki, Yb aşqar atomları GaS laylı kristalında iki səviyyə-aktivləşmə enerjisi 1.14eV olan akseptor və aktivləşmə enerjisi ~0.098eV olan donor səviyyə yaradır ki, onların konsentrasiyası bir-birindən kəskin fərqlənir.

Şəkil 3.3.2-də GaS və GaS(Yb) kristallarında elektrik sahə intensivliyinin c-optik oxa perpendikulyar istiqamətdə yönəldiyi hal üçün elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı verilmişdir. Şəkil 3.3.2-dən görünür ki,  $E \perp c$  halı üçün GaS kristalında keçiriciliyin temperatur asılılığı (əyri-1) 125-220K temperatur intervalında temperaturun artması ilə artır.



**Şəkil 3.3.1. GaS və GaS(Yb) monokristallarının elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı ( $E \parallel c$  halı üçün)**



**Şəkil 3.3.2. GaS və GaS(Yb) monokristallarının elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı (E I. c halı üçün)**

Əyrinin düzxətli hissəsindən energetik səviyyənin aktivləşmə enerjisi hesablanmış  $\Delta E_1 \sim 0.028$  eV olmuşdur. Yb atomu ilə aşqarlandıqdan sonra, E||c halda olduğu kimi, keçiricilik ilkin qiymətə nəzərən 125-220K temperatur intervalında azalır. Temperaturun 220K –dən yüksək qiymətlərində isə, yenidən “termik sönmə” müşahidə edilir, ancaq sönmənin amplitudu azalır. 125-220 K temperatur intervalından təyin olunmuş aktivləşmə enerjisi  $\Delta E_2 \sim 0,02$  eV olur. Alınan nəticə göstərir ki, kristallik oxa nəzərən hər iki istiqamətdə keçiriciliyin artması aşqar atomunun layda və laylar arasında yerləşə biləcəyini təsdiq edir.

Şəkil 3.3.1 və 3.3.2–də 1 və 2- əyrilərinin müqayisəsi göstərir ki, GaS monokristalına aşqar Yb atomunun daxil edilməsi onun elektrik keçiriciliyinin 125-300 K temperatur intervalında azaldır və donor tipli energetik səviyyənin yarandığı faktını sübut edir. Əyri-1-dən görünür ki, təmiz GaS monokristalının elektrik keçiriciliyi  $T=125-300K$  temperatur intervalında temperaturdan asılı olaraq artır və yüksək və aşağı temperatur oblastlarında elektrik keçiriciliyinin temperatur əyrisinin meyliliyindən keçiriciliyin aktivləşmə enerjisinin qiyməti uyğun olaraq  $\sim 0.26eV$  və  $0.028eV$  hesablanmışdır ( şəkil 3.3.2, əyri 1).

Beləliklə, alınan təcrübi nəticələr əsasında GaS kristalına Yb aşqar atomunun daxil edilməsi səbəbindən elektrik keçiriciliyində müşahidə olunan xüsusiyyətlər belə izah edilə bilər:

Yb- aşqar atomunun daxil edilməsi GaS kristalının qadağan olunmuş zonasında iki kompensasiyaedici - akseptor və donor tipli səviyyə yaradır və onların elektronların vermə-tutma xüsusiyyətləri temperaturdan asılıdır. Şəkil 3.3.1-dən görünür ki, 125-180K intervalında aktivləşmə enerjisi  $\sim 0,098$  eV səviyyədə baş verən termik ionlaşma nəticəsində cərəyanın qiyməti artır. Temperaturun  $\sim 180$  K qiymətində isə ikinci tələ tərəfindən termik elektronların tutulması nəticəsində cərəyanın qiyməti azalır və temperaturun artması ilə daha da sürətlənir. Temperaturun  $\sim 200$  K qiymətində isə, tələ tam dolur, cərəyanın “termik sönməsi” baş verir və temperaturun sonrakı artması ilə aktivləşmə enerjisi  $\sim 1,14$  eV akseptor tipli dərin səviyyənin ionlaşması nəticəsində cərəyanın qiymətinin yenidən artması müşahidə olunur. Deməli, Yb aşqar atomunun daxil edilməsi GaS kristalının qadağan olunmuş zonasında-iki: akseptor və donor tipli səviyyələr yaradır və onlar 125-300 K temperatur intervalında cərəyanın keçmə mexanizmini müəyyən edir.

### **3.4. Qamma-kvantlarla şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalının elektrik keçiriciliyi**

GaS(Yb) kristalında aşqar atomlarının, struktur və radiasiya defektlərinin kristalın elektrik keçiriciliyinə təsiri şəkil 3.4.1-də verilmişdir ( $E_{lc}$  –halı üçün). Qrafikdə 1 və 2-ci əyriyə kristalın şüalanmadan əvvəlki halına uyğundur və sonrakı əyriyələrlə müqayisə məqsədi ilə verilmişdir.

Qrafikdən görünür ki, GaS(Yb) kristalını müxtəlif dozalarda qamma kvantlarla şüalandırıqda, kristalın qadağan olunmuş zonasında yaranan müxtəlif təbiətli radiasiya defektləri 125-300K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyinin idarə edilməsində mühüm rol oynayır.

Şəkil 3.4.1, əyri 3-dən görünür ki, 20 krad dozada qamma kvantlarla şüalanmadan sonra 220-300K temperatur oblastında GaS(Yb) kristalında keçiriciliyin qismən azalması, “termik sönmə” temperaturunun aşağı temperatur oblastına tərəf

sürüşməsi və aşağı temperatur oblastında (125÷200K) artması müşahidə olunur. Qrafikdən görüldüyü kimi aşqarlanmış nümunələrdə şüalanmadan əvvəl və sonrakı (əyri 2,3) ayrılarda müxtəlif meyilli iki düzxətli hissə müşahidə olunur ki, bu da Yb – aşqar səviyyəsi ilə radiasiya defektlərinin qarşılıqlı təsiri ilə əlaqəlidir. Bu isə onu göstərir ki, GaS(Yb) monokristallarını qamma-kvantları ilə [3,s.19], [43,s.703-704], [69,s.292], [42,s.117] , [108, s.60-64], [118, s.162] , [125, s.196] şüalandırdıqda Yb-nin iştirakı ilə əlavə səviyyələr yaranır və aktivləşmə enerjisi~1.14 eV olan akseptor tipli səviyyə yaranır. Ancaq qeyd etmək lazımdır ki, şüalanmış GaS(Yb) monokristalında (D=20krad) elektrik keçiricilik əyrisinin 200-300K temperatur intervalında gedişi şüalanmamış nümunəyə görə fərqlənir. Belə ki, 200-300K temperatur intervalında da şüalanmış nümunələrdə keçiriciliyin sönməsi müşahidə olunur və dozanın sonrakı artması ilə sönmənin dərinliyi azalır, sönmə zolağının eni daralır və “sönmə temperaturu” yüksək temperatur oblastına doğru sürüşür [4, s.179-180].

GaS(Yb) kristalını 50 krad dozada (əyri 4) qamma kvantlarla şüalandırdıqdan sonra, kristalın elektrik keçiriciliyi (şəkil 3.4.1, əyri 3-ə) nəzərə 125-250 K temperatur intervalında artır, 250-300 K intervalında azalır. İlkin və 20 krad dozada şüalanmış kristallarda müşahidə olunan “termik sönmə” temperaturu yüksək temperatur oblastına doğru sürüşür və ~250K olur.

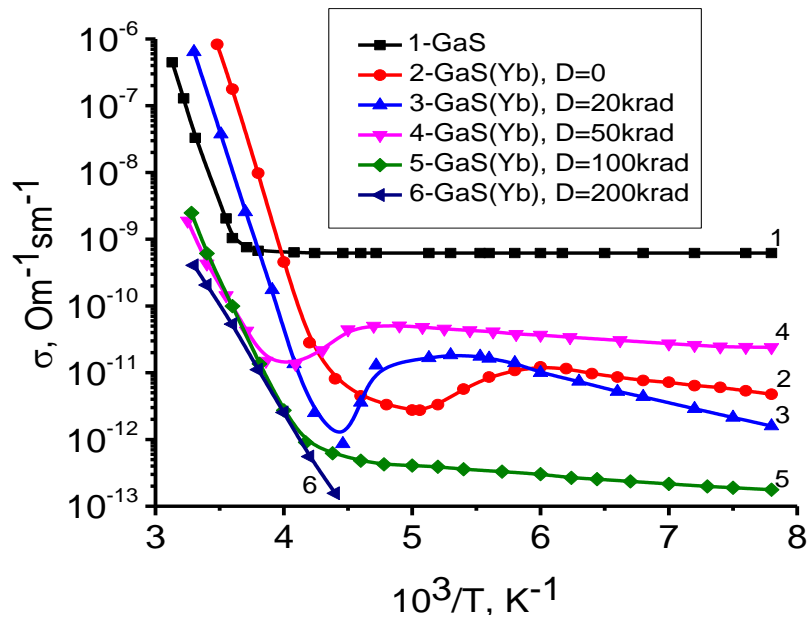
Müəyyən edilmişdir ki, GaS(Yb) 0.1at% laylı monokristalını D=20krad, 50krad doza ilə şüalandırdıqda aşqar keçiriciliyin aktivləşmə enerjisi şüalanma dozasının artması ilə uyğun olaraq 1.14eV-dan 0.80eV-a qədər azalır.

Şüalanma dozasının D= 100 krad (əyri 5) qiymətində isə 125-300 K temperatur intervalında elektrik keçiricilinin 1-4 əyriyə nəzərə azalması və “termik sönmənin” aşqarlanmaması müşahidə olunur. 5-əyrinin düzxətli hissəsindən yaranan radiasiya defektinin energetik səviyyəsi təyin olunmuş və ~0,82 eV bərabərdir.

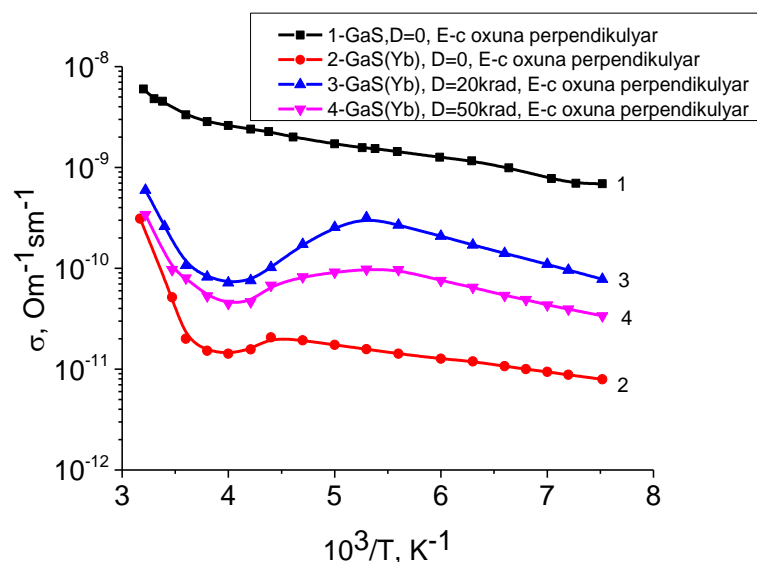
Şüalanma dozasının D= 200 krad qiymətində isə (əyri 6) 125-230K temperatur intervalında cərəyanın qiyməti qeyri-müəyyən olur və 230-300K temperatur intervalında isə, temperaturun artması ilə cərəyan xətti qanunla artır. Buna səbəb D= 200 krad və daha yüksək dozalarda şüalanma zamanı yaranan donör tipli dərin

energetik səviyyələrin akseptor tipli səviyyələri tam kompensasiya etməsi ola bilər. Əyrinin xətti hissəsindən təyin olunmuş aktivləşmə enerjisinin qiyməti ~0,78 eV olmuşdur [4, s.180].

Tədqiq olunan GaS monokristalını itterbi ilə aşqarladıqda Yb- atomunun ion radiusu ilə komponent atomlarının ion radiusları fərqli olduğundan aşqar atomunun həm laylar daxilində (Ga atomunu əvəz edər və ya düyünlər arasında), həm də laylar arasındakı fəzədə yerləşmə ehtimalı var. Bunun nəticəsində, birincisi vakansiya tipli quruluş defektlərinin miqdarı azalır, belə ki, anion atomları itterbi elektronlarını qəbul edərək dəşiklərin konsentrasiyasını azaldır, ikincisi Yb- atomları vakansiyaları tutub, müxtəlif laylarda yerləşərək, qonşu laylar arasında Van-der-Valls rabitələri ilə müqayisədə daha güclü kovalent rabitə yaradırlar. Bu isə quruluş defektlərinin yaxşılaşmasına gətirir ki, nəticədə elektrik keçiriciliyi azalır [4, s.180].



**Şəkil 3.4.1. Qamma-kvantlarla şüalandırılmış GaS və GaS(Yb) monokristallarının müxtəlif dozalarda elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı (E || c halı üçün)**



**Şəkil 3.4.2. Qamma-kvantlarla şüalandırılmış GaS və GaS(Yb) monokristallarının müxtəlif dozalarda (20 və 50 krad) elektrik keçiriciliyinin qaranlıqda temperaturdan asılılığı (E ⊥ c halı üçün)**

T>200K temperatur intervalında GaS laylı monokristalının elektrik keçiriciliyinin artması, Yb- atomlarının iştirakı ilə dərin səviyyələrin yaranması ilə əlaqədardır. Kristalın kiçik dozalarla şüalandırıldıqda (D=20krad) kristalın elektrik keçiriciliyi aşağı temperatur oblastında (T=125÷200K) artır, T=200-250K temperatur oblastında isə kəskin azalır (şəkil 3.4.1, əyri-3).  $\sigma(10^3/T)$  asılılığında müşahidə olunan xüsusiyyət 1.14eV enerjili akseptor səviyyənin və 0.13eV enerjili donör səviyyənin olması ilə əlaqədar olub, ilkin defektlərin və aşqarların iştirakı ilə yaranan uyğun səviyyələrlə əlaqədardır. T=200-250K temperatur intervalında qaranlıq cərəyanın sönmə dərinliyinin azalması və dozanın artması ilə yüksək temperatur oblastına doğru sürüşməsidir. Bu isə aşqar atomlarının və kation vakansiyalarının iştirakı ilə komplekslərin disosiasiyası nəticəsində donör mərkəzlərinin konsentrasiyasının azalması ilə əlaqədardır[4, s.181].

Şəkil 3.4.2–də təmiz və nadir torpaq elementi Yb ilə aşqarlanmış GaS laylı monokristalının elektrik keçiriciliyinin, qamma şüalanmadan əvvəl və sonra T=125 - 300K temperatur intervalında tədqiqi zamanı alınan nəticələr göstərilmişdir (E ⊥ c halı). Qrafikdən 1 və 2- əyriələrinin müqayisəsi göstərir ki, GaS monokristalına aşqar Yb

atomunun daxil edilməsi onun elektrik keçiriciliyini 125-300 K temperatur intervalında azaldır.

Əyri-1-dən görünür ki, təmiz GaS monokristalının elektrik keçiriciliyi  $T=125-300\text{K}$  temperatur intervalında temperaturdan asılı olaraq artır. Yüksək və aşağı temperatur oblastlarında elektrik keçiriciliyinin temperatur əyrisinin meyliliyindən səviyyənin aktivləşmə enerjisinin qiyməti uyğun olaraq  $\sim 0.26\text{eV}$  və  $0.028\text{eV}$  hesablanmışdır (şəkil 3.4.2, əyri-1).

GaS(Yb) kristalını müxtəlif dozalarda qamma kvantlarla şüalandırdıqda (əyri-2), kristalın qadağan olunmuş zonasında müxtəlif kristallik istiqamətlərdə yaranan müxtəlif təbiətli radiasiya defektləri 125-300K temperatur oblastında elektrik keçiriciliyinin dəyişməsinə səbəb olur.

Şəkil 3.4.2, əyri-3-dən görünür ki, kristalı kiçik dozalarla şüalandırdıqda ( $D=20\text{krad}$ ) şüalanmadan sonra 125÷300K temperatur oblastında GaS(Yb) kristalında keçiriciliyin artması və “termik sönmə”-si (210÷270K) müşahidə olunur.

Qrafikdən göründüyü kimi GaS(Yb) kristalında şüalanmadan əvvəl və sonra (əyri-2,3) müxtəlif aktivləşmə enerjili iki düzxətli hissə müşahidə olunur. Bunu Yb – aşqar səviyyəsinin radiasiya defektlərinin qarşılıqlı təsiri ilə əlaqələndirmək olar.

Belə ki,  $\sigma(10^3/T)$  asılılığında müşahidə olunan xüsusiyyət GaS(Yb) monokristallarını qamma-kvantları ilə şüalandırdıqda Yb-nin iştirakı ilə əlavə akseptor tipli səviyyələr yaranır və bu səviyyə üçün aktivləşmə enerjisi uyğun olaraq  $\sim 0.5\text{eV}$  və  $0.02\text{eV}$  hesablanmışdır.

GaS(Yb) monokristalını 50 krad dozalı qamma kvantlarla şüalandırdıqdan sonra 125-300 K temperatur intervalında kristalın elektrik keçiriciliyinin azaldığı (şəkil 3.4.2, əyri-4) müşahidə olunur.

İlkin və 20 krad dozada şüalanmış kristallarda müşahidə olunduğu kimi, 50krad doza ilə şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalında da  $T=220-260\text{K}$  temperatur oblastında “termik sönmə” müşahidə olunur. Ancaq ilkin və 20krad qamma kvantları ilə şüalanmış nümunələrdən fərqli olaraq  $D=50$  krad doza ilə şüalanmadan sonra nümunədə qaranlıq cərəyanın sönmə dərinliyinin azalması müşahidə olunur.

Qrafikdən müəyyən edilmişdir ki, GaS(Yb) 0.1at% laylı monokristalının  $D=20\text{krad}$ ,  $50\text{krad}$  ilə şüalandırıldıqda aşqar keçiriciliyin aktivləşmə enerjisi şüalanma dozasının artması ilə uyğun olaraq  $0.052\text{eV}$ -dan  $0.05\text{eV}$ -a qədər azalır.

Tədqiq olunan GaS monokristalını itterbi ionları ilə aşqarladıqda Yb- atomunun ion radiusu ilə komponent atomlarının ion radiusları fərqli olduğundan aşqar atomu həm laylar daxilində (Ga atomunu əvəz edər və ya düyünlər arasında), həm də laylar arasına fəzada yerləşmə ehtimalı var. Bunun nəticəsində, birincisi vakansiya tipli quruluş defektlərinin miqdarı azalır, belə ki, anion atomları itterbi elektronlarını qəbul edərək dəşiklərin konsentrasiyasını azaldır, ikincisi Yb- atomları vakansiyaları tutub, müxtəlif laylarda yerləşərək, qonşu laylar arasında Van-der-Valls rabitələri ilə müqayisədə daha güclü kovalent rabitə yaradırlar. Bu isə quruluş defektlərinin nizamlanmasına gətirir ki, bunun nəticəsində elektrik keçiriciliyi azalır.

Şəkil 3.4.3.-də Yb ilə aşqarlanmış GaS monokristalının müxtəlif şüalanma dozalarında qaranlıqda (əyri 1,2,3) və işıqda (əyri 4,5,6)  $\lg I \sim f\left(\frac{10^3}{T}\right)$  asılılığı göstərilmişdir. Yb-atomu ilə aşqarlanmış GaS kristallarında radiasiya qüsurlarının və Yb-atomunun rolunu və radiasiya defektləri ilə qarşılıqlı təsirini aydınlaşdırmaq üçün  $\lambda=445\text{nm}$  dalğa uzunluğunda işıqlandırmanın ( $h\nu = 2.7\text{ eV}$ ) kristalda cərəyanın qiymətinə təsiri öyrənilmişdir. Qrafikdən görüldüyü kimi,  $\lg I \sim f\left(\frac{10^3}{T}\right)$  asılılığında isə  $125\text{-}300\text{K}$  temperatur intervalında işığın təsiri altında cərəyan qaranlıqdakı cərəyandan böyük olur.

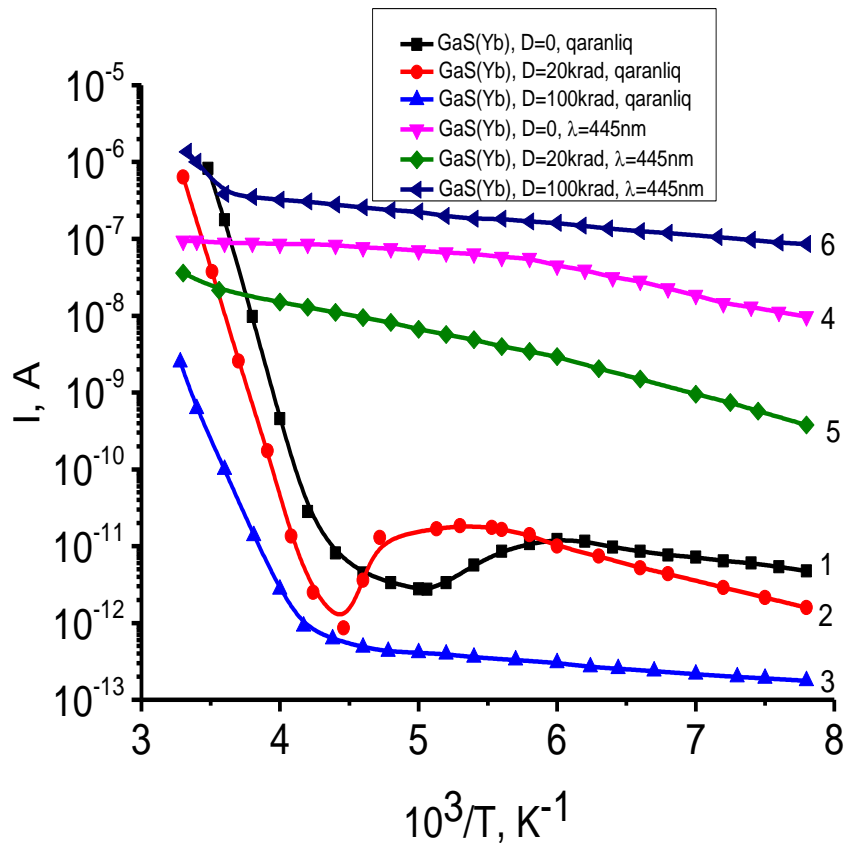
Şüalandırılmamış kristalda ( $D=0$ )  $\lg I \sim f\left(\frac{10^3}{T}\right)$  asılılığında (şəkil 3.4.3) işığın təsiri altında (əyri 4)  $T=125\text{-}170\text{K}$  temperatur intervalında cərəyanın qiyməti temperaturdan asılı olaraq artır, ( $170\text{-}300\text{K}$ ) temperatur oblastında isə cərəyanın qiyməti demək olar ki sabit qalır, işığa qarşı həssas olmur. Buna səbəb nümunəni monoxromatik işıqla işıqlandıqda, səviyyələr doldurulur, nəticədə cərəyanın temperaturdan asılılığı zəifləyir.

$D=20\text{krad}$  qamma kvantları ilə şüalandırılmış nümunəni işıqla işıqlandırdıqda (şəkil 3.4.3, əyri 5) cərəyanın qiyməti qaranlıq cərəyanın qiymətindən böyük, ancaq

işıqla şüalandırılmış ilkin kristalda cərəyanın qiymətindən kiçik olduğu müşahidə edilir.  $\lg I \sim f\left(\frac{10^3}{T}\right)$  asılılığında cərəyanın qiyməti (125÷300K) temperatur intervalında temperaturdan asılı olaraq artır və praktiki olaraq işığa həssas olur.

D=20krad şüalandırılmış nümunədə işığın təsiri altında cərəyan şiddətinin qiymətinin temperaturun müəyyən qiymətindən sonra ilkin kristalın cərəyan şiddətinin qiymətindən kiçik olmasının səbəbini aşağıdakı kimi izah etmək olar.

Şüalanma nəticəsində GaS(Yb) monokristalının qadağan olunmuş zonasında elə lokal səviyyələr yaranır ki, temperaturun və işığın təsiri ilə bu səviyyələr tarazlıq yükdaşıyıcılarının konsentrasiyasını azaldırlar. Fermi səviyyəsi ilə keçirici zona arasında (Fermi səviyyəsinə yaxın yerləşən) elə lokal səviyyə (buna I səviyyə deyək) var ki, işığın təsiri ilə elektronlar valent zondan bu zonaya keçirlər. Bu zondan elektronların termik ionlaşma yolu ilə keçirici zonaya keçmə ehtimalı çox azdır.



**Şəkil 3.4.3. Qamma-kvantlarla şüalandırılmış GaS və GaS(Yb) monokristallarında elektrik cərəyanının temperatur asılılığına monoxramatik işıqlanmanın təsiri**

Bu zaman Fermi səviyyəsindən aşağıda, valent zonaya yaxın elə lokal səviyyə var ki, (bu səviyyəyə II səviyyə deyək) dəşiklər bu səviyyə tərəfindən tutulurlar. II səviyyə tərəfindən tutulmuş dəşiklər keçirici zonada olan sərbəst tarazlıq elektronlarını rekombinasiya edirlər və nəticədə elektronların ilkin haldakı konsentrasiyasını azaldırlar.

Şəkil 3.4.3, əyri-6-da  $D=100$ krad qamma kvantları ilə şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalını işıqla işıqlandırdıqda cərəyanın temperaturdan asılılığı göstərilmişdir.

Əyri 6-dan göründüyü kimi,  $I \sim \frac{10^3}{T}$  asılılığında cərəyanın qiyməti (125÷300K) temperatur intervalında temperaturdan asılı olaraq artır və işığa qarşı həssasdır. Onu qeyd etmək lazımdır ki,  $D=100$ krad doza ilə şüalandırılmış nümunələrdə cərəyanın qiyməti ilkin və  $D=20$ krad qamma kvantları ilə şüalandırılmış nümunə ilə müqayisədə artmışdır.

Şəkil 3.4.4-da GaS(Yb) kristalında elektrik keçiriciliyin şüalanma dozasından asılılığı müxtəlif temperaturlarda verilmişdir. Şəkil 3.4.4, əyri 1-dən görünür ki, şüalanmanın aşağı dozalarında keçiricilik dəyişir, şüalanma dozasının  $D=20$  krad qiymətindən sonra kəskin düşmə və  $D=100$  krad qiymətində isə demək olar ki, çox az dəyişmə müşahidə olunur.

Şəkil 3.4.4 əyri-2-də isə, yəni  $T=110$  K temperaturunda keçiriciliyin şüalanma dozasından asılılığı xarakter etibarı ilə dəyişir. Qrafikdən görünür ki, aşağı şüalanma dozalarında keçiricilik 20 krad dozaya qədər azalır, sonrakı şüalanmada keçiriciliyin artması müşahidə olunur. Şüalanma dozasının  $D=50$  krad qiymətindən sonra kəskin eksponensial azalma müşahidə olunur.

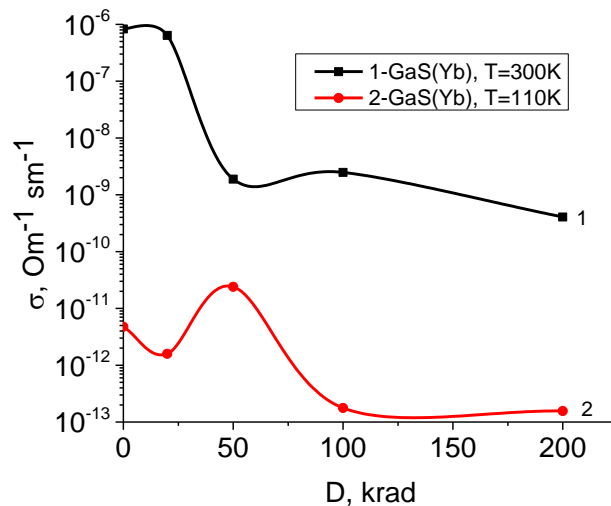
Şəkil 3.4.4 1 və 2- əyriyərdən alınan nəticələrin müqayisəsi göstərir ki, şüalanma dozasının 1-20 krad intervalında hər iki qəfəsaltında defekt yaranma prosesi baş verir və yaranan defektlərin konsentrasiyası struktur defektlərin konsentrasiyasından az olduğundan keçiricilik dəyişir.  $T=300$  K temperaturda 20-50 krad doza intervalında keçiriciliyin kəskin düşməsi Yb-aşqar atomunun Ga- vakansiyasını doldurmaqla, akseptor tipli defekt səviyyəsinin qismən kompensasiyası getdiyindən keçiricilik azalır.  $T=110$  K temperaturda isə Yb atomları qismən düynülərəarası oblastda

yerləşməsi nəticəsində dayaz energetik akseptor tipli səviyyə yaratdığından keçiricilik artır və şüalanma dozasının sonrakı artımında isə defekt yaranma mexanizmi stabilləşdiyindən keçiricilik cüzi dəyişir.

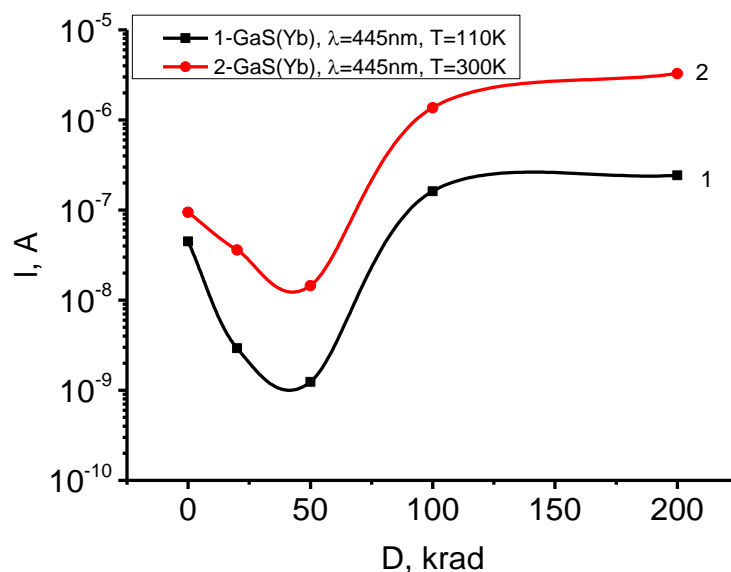
Şüalanma nəticəsində yaranan defektlərin dolub-boşalma səviyyəsini yoxlamaq məqsədi ilə  $\lambda_{\text{mak}}=445$  nm dalğa uzunluqlu işıqla işıqlandırma zamanı elektrik keçiriciliyinin şüalanma dozasından asılılığı müxtəlif temperaturlarda tədqiq edilmişdir.

Şəkil 3.4.5-də GaS(Yb) kristalında keçiriciliyin  $T=300\text{K}$  və  $T=110\text{K}$  temperaturlarında şüalanma dozasından asılılığı verilmişdir. Şəkil 3.4.5-dən görünür ki, hər iki temperaturda şüalanma dozasının 1-50 krad dozalarında keçiricilik eksponensial azalır və şüalanmanın sonrakı artımı zamanı kəskin artma və  $D=100$  krad-dan sonra isə doyma halı müşahidə olunur.

Alınan təcrübi nəticələr göstərir ki, şüalanma nəticəsində kation və anion qəfəsaltaqlarında yaranan defektlərin akseptor-donor qarşılıqlı təsiri nəticəsində işıqlanma zamanı dayaz və dərin səviyyələrin dolması hesabına keçiricilik minimumdan keçərək artır. Şüalanma dozasının  $D=100$  krad qiymətindən sonra isə, yaranan defektlərin kompleks yaratma mexanizmi baş verdiyindən lokal səviyyələr tam dolur və keçiriciliyə təsir etmir.



**Şəkil 3.4.4. GaS(Yb) kristallarında elektrik keçiriciliyin müxtəlif temperaturlarda ( $T=110\text{K}$ ,  $300\text{K}$ ) şüalanma dozasından asılılığı**



**Şəkil 3.4.5.**  $\lambda=445$  nm dalğa uzunluqlu işıqla işıqlandırılmış GaS(Yb) kristalında keçiriciliyin  $T=300$  K və  $T=110$  K temperaturlarında şüalanma dozasından asılılığı

### 3.5. GaS(Yb) monokristalının anizotropiyasına aşqar və radiasiya defektlərinin təsiri

Laylı kristalların həcmi kristallardan fərqli xüsusiyyətlərindən biri də onun laylı quruluşa malik olmasıdır. Bu səbəbdən GaS kristalının keçiriciliyində yüksək anizotropiya yaranır [78, s.11]. Aşqar atomunun daxil edilməsi isə, laylı kristallarda anizotropiyanın azalmasına səbəb olur. Buna səbəb isə aşqarın laylararası oblastda və lay daxilində yerləşməsi olur. Aşqar atomlarının laylı kristal daxilində paylanmasını idarə etmək məqsədi ilə aşqarlı GaS(Yb) kristalının anizotropik xassəsi tədqiq edilmişdir.

[67,s.84-87], [78,s.10]- işlərdə qeyd olunur ki, laylı kristallar, o cümlədən GaS monokristalı güclü anizotropiya xassəsinə malikdir. Laylı kristallarda anizotropiyanın yaranmasına səbəb lay daxilində atomların kristallik istiqamətlərdə müxtəlif qarşılıqlı təsirə və kristalın laylı quruluşa malik olmasıdır. Bu isə kristalın fiziki xassələrinin dəyişməsinə səbəb olur. Tədqiqat obyektı, laylı GaS monokristalı da həmin

xüsusiyyətləri özündə cəmləşdirdiyindən, aşqar atom və radiasiya defektlərinin keçiriciliyin anizo-tropiyasına təsirinin öyrənilməsi elmi və praktiki cəhətdən maraqlıdır.

Şəkil 3.5.1-də təmiz (əyri-1) və nadir torpaq elementi itterbi ilə aşqarlanmış GaS monokristalının ilkin (əyri-2) və şüalanmanın təsirindən sonra (əyri-3,4) elektrik keçiriciliyinin anizotropiyasının temperaturdan ( $T=125-300K$ ) asılılığı verilmişdir. Qrafikdə 1-ci əyridən görünür ki, aşqarsız GaS kristalında temperaturun artması ilə 125- 270 K intervalında  $\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$  nisbəti dəyişmir, temperaturun sonrakı artması ilə kəskin azalır.  $A^3B^6$  tipli kristallarda laylararası potensial çəpərin varlığı,  $\sigma_{\parallel}$ - istiqamətdə keçiriciliyin  $\sigma_{\perp}$  - istiqamətə nəzərən aşağı olmasını göstərən faktdır (şəkil 3.5.1, əyri-1).  $\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$ - nisbətinin 270-300 K intervalında azalması  $\sigma_{\perp}$  -istiqamətində keçiriciliyin yüksək olması nəticəsində baş verir. Aşağı temperatur oblastında 125-270 K intervalında  $\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$ - nisbətinin sabit qalması isə, dayaz energetik səviyyələrin termik ionlaşması nəticəsində baş verir.

GaS(Yb) (şəkil 3.5.1, əyri-2) monokristalın anizotropiyasının temperaturdan asılılığından görünür ki, anizotropiyanın maksimum qiymətinin müşahidə olunduğu temperatur oblastı (190-210K) aşağı temperatur tərəfə sürüşür. 125-160K temperatur intervalında anizotropiyanın qiymətinin temperaturdan asılı olaraq azalması müşahidə olunur. Temperaturun sonrakı (160-210K) tempartur oblastında artımında anizotropiyanın qiyməti artır və 200K-də maksimum qiyməti alır. 210-300K temperatur intervalında isə temperaturun artması ilə anizotropiya kəskin şəkildə azalır. GaS kristalına aşqar Yb atomunun daxil edilməsi nəticəsində  $\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$ - nisbətinin maksimal qiymətinə uyğun temperatur (əyri-1) 260 K –dən 230 K qədər aşağı temperatur oblastına tərəf sürüşür (əyri-2). Temperaturun sonrakı azalması zamanı isə  $\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$ - nisbəti zəif dəyişir. Alınan keçiriciliyin nisbi dəyişməsini şəkil 3.4.1 və 3.4.2-lə müqayisəsi nəticəsində demək olar ki, aşqarlanma zamanı Yb atomunun kation vakansiyasında oturması keçiriciliyin paralel istiqamətində yönəlmiş  $\sigma_{\parallel}$  – komponentinin qiymətinin azalmasına səbəb olur və nəticədə  $V_{Yb}$  –energetik səviyyəsinə uyğun 260 K temperaturda  $\sigma_{\parallel}/\sigma_{\perp}$ - nın maksimal qiyməti müşahidə olunur.

$D_\gamma = 20$  krad doza ilə şüalandırılmış  $\text{GaS}\langle\text{Yb}\rangle 0,1\text{at \%}$  monokristalında (əyri-3) 125-230 K temperatur intervalında anizotropiyanın şüalanmamış aşqarlı kristala nəzərən (əyri-1) azalması və yenidən 230-300K temperatur oblastında isə anizotropiyanın yenidən artımı müşahidə olunur.

Qrafikdən görüldüyü kimi, nümunəni şüalandırdıqdan sonra anizotropiyanın maksimum qiymətinin müşahidə olunduğu temperatur oblastı (190-210K) yuxarı temperatur tərəfə sürüşür. Temperaturun sonrakı artımı ilə 210-300K temperatur oblastında anizotropiyanın qiyməti yenidən azalır. Şəkil 3.5.1-dən görüldüyü kimi,  $\text{GaS}(\text{Yb})$  monokristalını  $D_\gamma = 50$  krad doza ilə şüalandırdıqda (əyri-4) 125-200K temperatur intervalında anizotropiyanın qiyməti (əyri 1,2 və 3) ilə müqayisədə artır. (Əyri 4)-dən görüldüyü kimi, 125-220K temperatur oblastında anizotropiyanın temperaturun artması ilə azalması müşahidə olunur və temperaturun sonrakı artımı ilə 220-230K temperatur oblastında anizotropiyanın kəskin artması müşahidə edilir və 230K-də maksimum qiymət alır. Temperaturun sonrakı artımı ilə anizotropiya yenidən azalır.

Yb ilə aşqarlanmış və qamma şüalanmanın təsirinə məruz qalmış  $\text{GaS}$  monokristalının anizotropiyasının temperatur asılılığından əldə edilmiş nəticələri aydınlaşdırmaq üçün 2D (ikiölçülü) [103, s.36-49], [105, s.16802-16818] defekt modeli tətbiq olunmuşdur. İkiölçülü defekt modelinə əsasən layların birləşdiyi yerdə onlara perpendikulyar istiqamətdə yığılmış defektlər potensial çəpər yaradırlar. 10-dan böyük elastiklik əmsalı qalium kükürdə aiddir. Bu şərait  $\text{GaS}$  monokristalının bazis səthində laylar arasında çox miqdarda defektlərin əmələ gəlməsinə səbəb olur. yaranan defektlər yükdaşıyıcılar üçün laylara perpendikulyar istiqamətdə potensial çəpər əmələ gətirirlər.

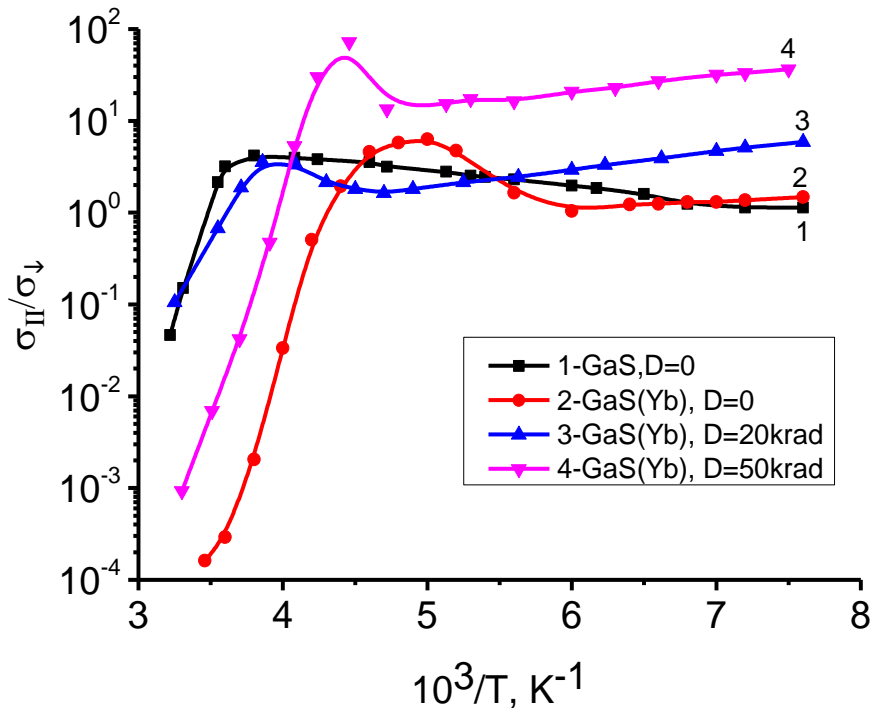
Yaranan potensial çəpərin forması defektlərin yüklənmə dərəcəsi ilə təyin olunur. Nisbətən zəif sahələrdə laylara  $\perp$  istiqamətdə elektrik keçiriciliyi aşağıdakı düstur vasitəsilə tapılır.

$$\sigma_{\perp} = \sigma_{\parallel} \frac{U}{(kT)^2} \exp\left[-\frac{U}{kT} + A \frac{U^3}{(kT)^3}\right] \quad (3.5.1.)$$

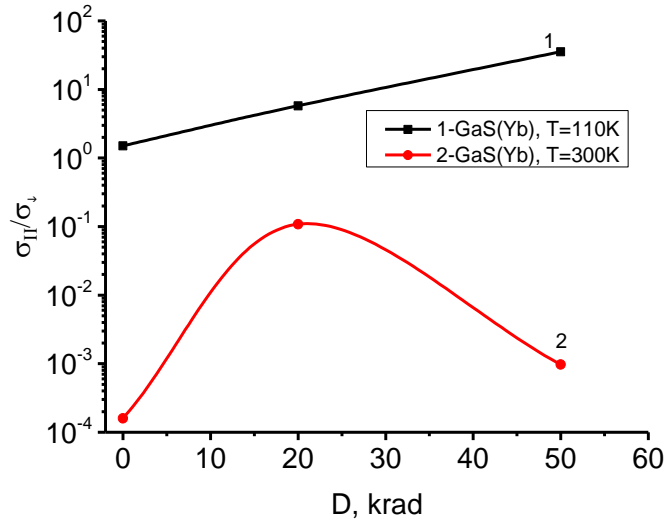
$$A=h/24d^2um^* \quad (3.5.2)$$

$\sigma_{II}$  -potensial çəpərin olmadığı halda nümunənin elektrik keçiriciliyi, U- çəpərin hündürlüyü, k-Bolsman sabiti, d- çəpərin eni. GaS(Yb) monokristalı üçün alınmış nəticələri (əyri-1) ilə müqayisə edək.

Eksperimentdən alınmış nəticələri (1) ilə müqayisədən demək olar ki, aşağı temperaturlarda ( $T < 200K$ ) yükdaşıyıcıların potensial çəpərdən keçməsi tunel xarakteri daşıyır və bu səbəbdən temperaturdan zəif asılı olur. Temperaturun 220-300 K aralığında tunel və aktivasiya mexanizminin uyğunluğu yükdaşıyıcılar üçün potensial çəpəri aradan götürür və A-nın qiymətindən asılı olaraq  $\sigma_{II}/\sigma_{\perp} = f(T)$  əyrisində müxtəlif növ xassələr aşkar edilir.



**Şəkil 3.5.1. GaS və GaS(Yb) monokristallarında elektrik keçiriciliyinin şüalanmadan əvvəl və sonra anizotropiyasının temperaturdan asılılığı**



**Şəkil 3.5.2. GaS(Yb) monokristalında elektrik keçiriciliyinin müxtəlif temperaturlarda anizotropiyasının şüalanma dozəsindən asılılığı.**

Alınmış təcrübi nəticələr əsasında  $\sigma_{II}/\sigma_{\perp} \sim f(D)$  asılılığı müxtəlif temperaturlarda qurulmuşdur. Qrafiklərin müqayisəsindən görürük ki, aşağı temperaturlarda şüalanma zamanı yaranmış dayaz səviyyələrin termik ionlaşması nəticəsində  $\sigma_{II}/\sigma_{\perp} \sim f(D)$  asılılığı mütənasib artır,  $T = 300 \text{ K}$  isə eksponensial xarakter daşıyır və dərin səviyyələrin donor- akseptor qarşılıqlı təsiri nəticəsində isə eksponensial asılılıq müşahidə edilir. Əldə edilən təcrübi nəticələrə görə GaS(Yb) monokristalının elektrik keçiriciliyinin anizotropiyasının qiymətinin yüksək olması və onların temperatur aktivasiya asılılığı potensial çəpərlə bağlı olub, laylar arasında defektlərin yığılması ilə əlaqədar olması nəticəsinə gəlmək olar.

Beləliklə, Yb atomu ilə aşqarlanmış GaS-monokristalının elektrik xassələrinin geniş elektrik sahə, temperatur və şüalanma doza intervallarında tədqiqi zamanı müəyyən edilmişdir:

- Yb atomunun (0,1 at%) laylı GaS monokristalına daxil edilməsi zamanı  $V_{Ga}$  – nin qismən doldurulması baş verir və nəticədə kristalın elektrik keçiriciliyi, aşqarlanma zamanı yaranan donor tipli defektlərin akseptor tipli struktur defektlərini kompensasiya etməsi səbəbindən azalır.

- GaS monokristalında şüalanma zamanı yaranan kompton elektronlarının atomlarla qarşılıqlı təsiri zamanı sadə Frenkel defektləri yaranır.  $D < 50$  krad şüalanma dozalarında anion qəfəsaltında  $V_S > V_{Ga}$  – kation qəfəsaltından çox olduğundan keçiricilik azalır, yüksək dozalarda isə,  $V_S < V_{Ga}$  olduğundan kristalın keçiriciliyi artır.
- GaS(Yb) kristalında isə  $D < 50$  krad dozalarında radiasiya defektlərinin stimullaşdırıcı diffuziyası nəticəsində aşqar Yb atomunun kation vakansiyasında tutulması və  $[V_{Ga} Yb_i]$ -kompleksinin yaranması nəticəsində kristalın keçiriciliyi azalır,  $D > 50$  krad dozalarda  $V_{Ga}$  –nin və  $[V_{Ga} Yb_i]$  –nin dissosiasiyası nəticəsində keçiricilik artır.

### **3.6. Termik dəmləmənin şüalandırılmış GaS və GaS(Yb) kristallarının elektrik keçiriciliyinə təsiri**

Yarımkəçirici maddələrdə ionlaşdırıcı və yüklü zərrəciklərin təsiri nəticəsində yaranan defektlərin təbiəti və xüsusiyyətləri haqqında məlumatlar [29,s.164], [63,s.143], [64,s.137], [33,s.252], [51,s.665]- işlərdə geniş verilmiş və göstərilmişdir ki, bu tipli defektlər mütəhərrik defektlərdir və onlar miqrasiya xüsusiyyətinə malikdirlər. Belə defektlərin miqrasiya sürəti defektin sükunət enerjisindən və materialın təbiətindən asılıdır. Onları elektroaktiv vəziyyətə gətirmək üçün termik dəmləmə üsulundan istifadə edilir [51,s.346], [64,s.45].

Təqdim edilən işdə GaS və GaS(Yb) monokristalları qamma-kvantlarla müxtəlif dozalarda şüalandırılmış və onların keçiriciliyi tədqiq edilmişdir. Həmin defektlərin dayanıqlı olmasını aydınlaşdırmaq məqsədi ilə, müxtəlif dozalarda şüalandırılmış kristallar termik dəmləməyə məruz qalmışlar. Termik dəmlənmə prosesi, havası  $10^{-4}$  mm.c.st. qədər sorulmuş vakuum qurğusunda  $100^\circ$  S temperaturda 15dəq, 30dəq və 1 saat müddətlərində aparılmışdır. Dəmlənmə temperaturunun sabit saxlanmasına III4500 potensiometri ilə nəzarət olunmuşdur.

Bu prosesin öyrənilməsi defektlərin dəmlənməsinin aktivləşmə enerjisi və onlar arasında kinetik reaksiyalar haqqında məlumat almaq olar. Şüalanma nəticəsində yaranmış defektlər rekombinasiya və ya yerdəyişmə yığılmalarla tutulması hesabına

aradan qalxır. Rekombinasiya prosesinin baş verməsi üçün kristalda iki tip defekt olmalı və onların qarşılıqlı bir-birini yox etmək qabiliyyətinə malik olmalarıdır. Dəmləmə zamanı belə prosesə misal olaraq düyünlərarası atomları və vakansiyaları misal göstərmək olar. Əgər kristalda verilmiş temperaturda bir tip defekt varsa, məsələn, vakansiya və onların kompleksi onda defektlər ancaq dislokasiyalarda, aşqarlarda tutulması ilə aradan qalxır. Belə ki, yarımkəçiriciləri yüksək enerjili şüalarla şüalandırıldıqda yaranan defektlər mürəkkəb xarakter daşıyır ki, dəmləmə prosesi də mürəkkəbdir. Yəni, nöqtəvi defektlərlə yanaşı onların kompleksləri, həm də nizamsız oblastlar yaranır. Məlumdur ki, dəmlənmə konsentrasiyadan, radiasiya defektlərinin fəza paylanmasından, şüalanma şəraitindən, enerjisindən və hissəciyin tipindən asılıdır.

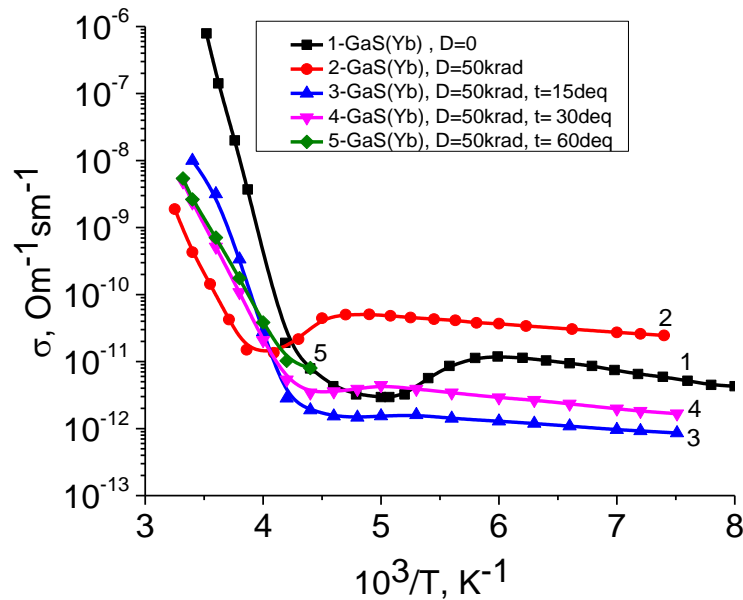
Şəkil 3.6.1.- də qamma-kvantlarla şüalandırılmış və  $T=100^{\circ}\text{C}$  temperaturunda, müxtəlif  $t$ - zaman müddətlərdə (15dəq, 30 dəq və 60 dəq) dəmlənmiş GaS(Yb) kristalında (50 krad) keçiriciliyin temperaturdan asılılığı göstərilmişdir. Qrafikdə 1- və 2-ci əyriyə Yb ilə aşqarlanmış GaS(Yb) ilkin və  $D=50\text{krad}$  qamma kvantları ilə şüalandırılmış kristallar haqqında məlumatlar əvvəlki bölmələrdə verilmişdir.

Qrafikdə verilən əyri-3-dən görünür ki, 50 krad dozada  $t=15\text{dəqiqə}$  termik dəmlənmədən sonra  $T=125\div 240\text{K}$  temperatur oblastında GaS(Yb) kristalında elektrik keçiriciliyin azalması müşahidə olunur. Əyri-2 ilə müqayisəsindən görünür ki,  $D=50\text{krad}$  doza ilə şüalandırılmış nümunənin elektrik keçiriciliyindən fərqli olaraq,  $t=15\text{dəq}$  termik dəmləndən sonra elektrik keçiriciliyi  $T=125-240\text{K}$  temperatur intervalında azalır və temperaturdan asılı olaraq zəif artır. Müqayisə əsasında demək olar ki, 50 krad dozada şüalandırılma zamanı yaranan dayaz Frenkel defektlərin  $T=100\text{C}$  temperaturunda 15 dəq müddətində dəmləndikdə yox olur və aktivləşmə enerjisinin  $\sim 0.017\text{eV}$  –dur. Temperaturun sonrakı artımı ilə  $T=240-300\text{K}$  temperatur intervalında temperaturdan asılı olaraq artır. Yüksək temperatur oblastında elektrik keçiriciliyinin temperatur əyrisinin meyliliyindən keçiriciliyin aktivləşmə enerjisinin qiyməti  $\sim 0.73\text{eV}$  hesablanmışdır. Şəkil 3.6.1-də əyri-3-dən görünür ki, şüalandırılmamış (əyri 1) və 50krad qamma kvantları ilə şüalanmış GaS(Yb)

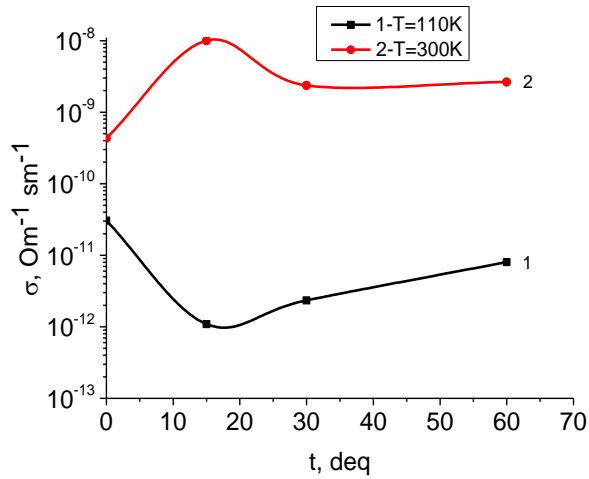
monokristalında (əyri-2) müşahidə olunan termik sönmə dərinliyi,  $t=15$ dəq termik dəmlənmədən sonra GaS(Yb) monokristalında müşahidə olunmur.

$\sigma(10^3/T)$  asılılığının  $T<125\div 300$ K temperaturunda dəyişməsi göstərir ki, GaS(Yb) laylı monokristalında  $t=15$ dəq termik dəmlənmədən sonra kristalda aşağı temperatur oblastında ( $125\div 240$ K) donor tipli səviyyələri yaranır və cərəyan daşıyıcılarının konsentrasiyası azalır,  $T>240$ K temperatur oblastında isə artır.  $\sigma(1/T)$  asılılığının yuxarı temperaturda ( $T>240$ K) artmasını kristalda akseptor tipli səviyyələrin artması ilə əlaqədardır və yüksək defektli kristallarda keçiriciliyin sıçrayışla baş verməsi ilə izah etmək olar.

Şəkil 3.6.1-də əyri-4-də  $D=50$ krad doza ilə şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalında  $t=30$ dəq termik dəmlənmədən sonra  $T=125\div 240$ K temperatur intervalında kristalın elektrik keçiriciliyi əyri-3-ə nəzərən artması,  $240-300$  K intervalında isə azalması müşahidə olunur. Həmçinin  $t=15$ dəq termik dəmlənmədən əvvəl (əyri-1 və 2) müşahidə olunan termik sönmənin  $t=30$ dəq termik dəmlənmədən sonra ( $T=220-240$ K) temperatur oblastında yenidən cüzi şəkildə aşkarlanması müşahidə olunur.



**Şəkil 3.6.1. Qamma-kvantlarla şüalandırılmış və  $T=100^0$  C temperaturunda , müxtəlif  $t$ - zaman müddətlərdə (15dəq, 30 dəq və 60 dəq) termik dəmlənmiş GaS(Yb) kristalında (50 krad) keçiriciliyin temperaturdan asılılığı**



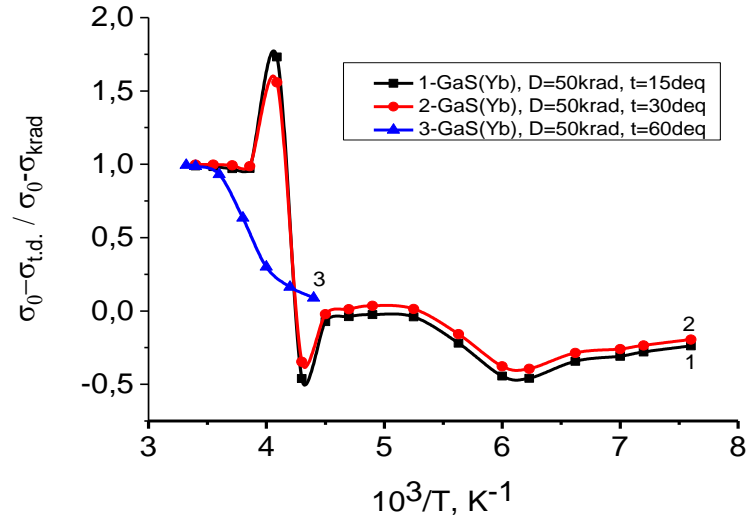
**Şəkil 3.6.2. D=50 krad doza ilə şüalandırılmış və T=100<sup>0</sup> C temperaturunda, müxtəlif t- zaman müddətlərdə (15dəq, 30 dəq və 60 dəq) dəmlənmiş GaS(Yb) kristalının elektrik keçiriciliyin dəmləmə müddətindən asılılığı.**

GaS(Yb) t=30dəq termik dəmlənmədən sonra aşqar və məxsusi keçiriciliyin aktivləşmə enerjisi uyğun olaraq 0.018 eV və 0.44 eV hesablanmışdır.

D=50krad doza ilə şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalında t=60dəq termik dəmlənmədən sonra (əyri-5) T=125÷240K temperatur intervalında cərəyanın qiyməti qeyri-müəyyən olur. Buna səbəb t=60dəq termik dəmlənmədən sonra yaranan donor tipli dərin energetik səviyyələrin akseptor tipli səviyyələri tam kompensasiya etməsi ola bilər. 240-300 K temperatur intervalında isə, temperaturun artması ilə cərəyan xətti qanunla artır və aktivləşmə enerjisinin qiyməti 0.42 eV hesablanmışdır.

Şəkil 3.6.3; 3.6.4 və 3.6.5-də GaS(Yb) kristalında keçiriciliyin anizotropiyasına termik dəmləmənin təsiri göstərilmişdir [  $(\sigma_o - \sigma_{ot}) / (\sigma_o - \sigma_{krad}) \sim f(t)$  ].

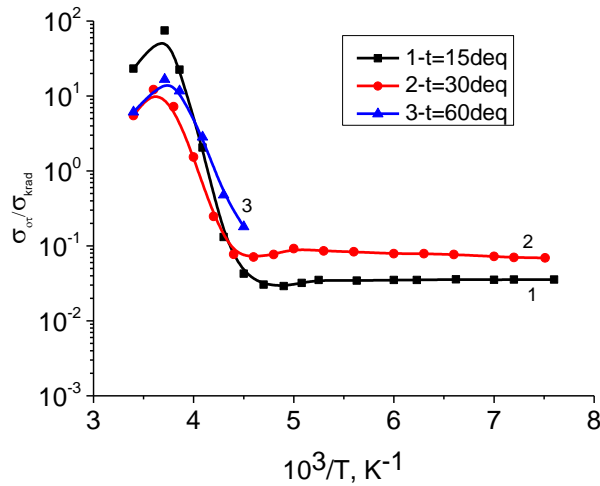
Şəkil 3.6.3-dən görünür ki,  $(\sigma_o - \sigma_{ot}) / (\sigma_o - \sigma_{krad})$  nisbəti dəmləmə müddətindən asılılığı 4- mərhələdən ibarətdir. 1- ci mərhələdə defektlərin nizamlanması gedir; 2-ci mərhələdə defektlərin rekombinasiyası getdiyindən keçiricilik artır, 3-cü mərhələdə mürəkkəb defektlərin  $[V_{Ga} Yb_i]$  kompleksinin dissosiasiya getdiyindən keçiricilik azalır və 4-cü mərhələdə isə defektlərin stabilləşməsi baş verdiyindən keçiricilik zəif dəyişir.



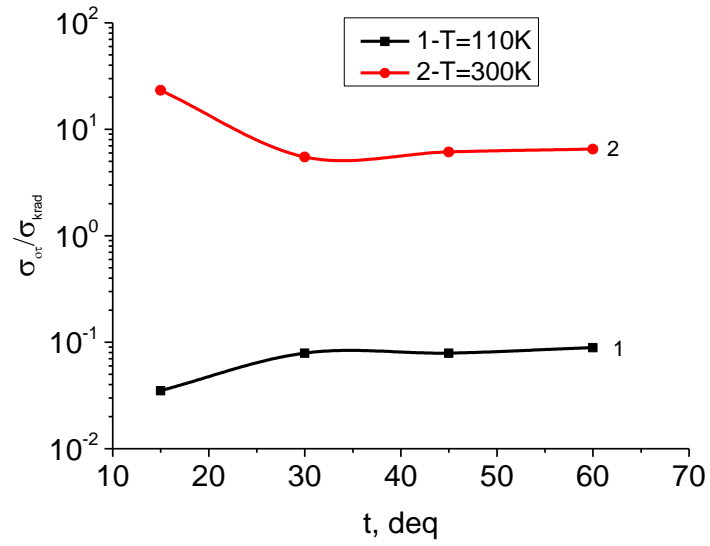
**Şəkil 3.6.3. Müxtəlif zamanlarda (15dəq,30dəq,60dəq) termik dəmlənmiş GaS(Yb) monokristalını D=50krad üçün  $(\sigma_0/\sigma_{t,d})/(\sigma_0/\sigma_{krad})$  nisbətinin temperaturdan asılılığı**

$\sigma_0$ - GaS(Yb)- D=0,  $\sigma_{krad}$  -GaS(Yb)- D=50krad

$\sigma_{t,d}$ - GaS(Yb), D=50 krad, müxtəlif zamanlarda termik dəmlənmə



**Şəkil 3.6.4. Müxtəlif zamanlarda (15dəq, 30dəq, 60dəq) termik dəmlənmiş GaS(Yb) monokristalını D=50krad üçün  $(\sigma_0)/(\sigma_{krad})$  nisbətinin temperaturdan asılılığı:  $\sigma_0$  -GaS(Yb)- D=0;  $\sigma_{krad}$ -GaS(Yb)- D=50krad**



**Şəkil 3.6.5. T=110K və 300K-də termik dəmlənmiş GaS(Yb) monokristalını D=50krad üçün  $(\sigma_0)/(\sigma_{krad})$  nisbətinin termik dəmlənmə müddətindən asılılığı**  
 $\sigma_0$  -GaS(Yb)- D=0;  
 $\sigma_{krad}$ -GaS(Yb)- D=50krad

Alınmış nəticələrdən görünür ki, elektrik keçiriciliyin qiymətinin bərpa olunması mürəkkəb xarakter daşıyır, belə ki, asılılıq ionlaşdırıcı şüalarla təsir zamanı yaranan defektlərin təbiətindən və xarakterindən asılı olaraq dəmləmə müddəti dəyişir. Müəyyən oldu ki, GaS(Yb) kristalında şüalanmadan öncə  $V_{Ga}$  -un qismən doldurulması baş verir. Şüalanma zamanı isə defektlərin nizamlanması,  $V_S$  və komplekslərin yaranması müşahidə olunur. Yüksək şüalanma dozalarında isə mürəkkəb defektlərin dissosiasiyası baş verir. Termik dəmlənmə zamanı isə defektlərin sükunət enerjisindən asılı olaraq dəmlənmə prosesi müxtəlif mərhələlərdə baş verir. Bunu onunla izah etmək olar ki, dəmləmənin ilkin mərhələsində ( $t=15$ dəqiqə) donor tipli radiasiya defektlərinin miqdarı, akseptor tipli defektlərin konsentrasiyasından çoxdur. Bu mərhələdə dəmləmə prosesində defektlərin yenidən qruplaşması baş verir. Dəmləmənin sonrakı müddətində ( $15$ dəq $<t<60$ dəq) yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artır, ancaq nümunənin ilkin parametrləri bərpa olunmur ki, bu da defektlərin yenidən yığılması prosesində mürəkkəb komplekslərin yaranması ilə əlaqədardır [ $V_S$  və  $V_{Ga}$ ].

## IV FƏSİL

### **GaS(Yb) MONOKRİSTALININ OPTİK VƏ FOTOELEKTRİK XASSƏLƏRİ VƏ ONLARA QAMMA ŞÜALARININ TƏSİRİ**

$A^3B^6$  birləşməli yarımkeçiricilərin tədqiqinin ilk vaxtlarından həmin birləşmələr əsasında müxtəlif spektral oblastlarında işləyə bilən fotoelektrik cihazlarının yaradılması ideası meydana çıxmışdır. Ancaq həmin materiallarda müxtəlif tipli defektlərin konsentrasiyası yüksək olduğundan ( $\sim 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ ) onlar əsasında işlənən cihazların parametrlərini və xarakteristikalarını idarə etməyə imkan vermir. Bu faktları nəzərə alaraq GaS laylı monokristalında defektlərin konsentrasiyasını idarə etmək məqsədi ilə aşqarlama üsulundan istifadə olunmuşdur. Yarımkeçirici kristalda bioqrafik defektlərlə aşqar defektlər arasındakı qarşılıqlı təsiri öyrənmədən kristalın fiziki xassələrini idarə etmənin mexanizminin aydınlaşdırılmasının mümkün olmadığı qənaətinə gəlirik.

$A^3B^6$  birləşməli laylı kristalların fotoelektrik xassələrinin öyrənilməsi, onlarda yükdaşıyıcıların generasiyası, rekombinasiyası və s. haqqında ətraflı məlumat almağa imkan verir. Bu məlumatlardan istifadə edərək, həmin materialların optoelektronikada və mikroelektronikada tətbiq sahələrini müəyyənləşdirmək, eləcə də onlar əsasında müxtəlif təyinatlı fotoqəbuledicilər, fotoçevirici qurğular yaratmaq olar. Xüsusi ilə GaSe, GaS, InSe kristalları əsasında rentgen və qamma şüalarını qeyd edən ssintilyatorlu detektorların hazırlanmasında istifadə etmək olar. Əksər hallarda bu cihazların hazırlanma texnologiyasına uyğun olaraq termik işləmə mərhələlərindən istifadə olunur ki, bu da məxsusi və aşqar defektlərin yenidən yığılmasına gətirib çıxarır. Məxsusi və aşqar defektlər isə öz növbəsində ilkin materialların xassələrinin dəyişməsinə gətirib çıxarır. Ona görə də müxtəlif xarici faktorların GaS və onun aşqarlı GaS(Yb) monokristallarının fotoelektrik xassələrinə təsirinin öyrənilməsi praktiki və elmi cəhətdən böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Təqdim edilən fəsildə GaS və GaS(Yb) monokristallarının fotoelektrik xassələrinin xüsusiyyətlərini və onlara elektrik sahəsinin və qamma –kvantların təsirinin tədqiq edilməsidir.

II-fəsil §2.1-də qeyd olunmuş texnologiya əsasında GaS monokristalı yetişdirilmiş və onun yetişdirilməsi zamanı 0,1 a.t.% olan Yb aşqar atomu daxil edilmişdir. İşdə qeyd olunduğu kimi alınmış monokristal yüksəkəmlüdür və onun xüsusi müqaviməti  $\sim 10^9$  Om sm –dir. Alınmış monokristaldan həndəsi ölçüləri  $10 \times 0.5 \times 0.2$  mm<sup>3</sup> olan düzbucaqlı formasında nümunələr hazırlanmış və spektrin 0,35-1.0 mkm oblastında müxtəlif temperaturlarda və elektrik sahələrində fotocərəyanın spektral paylanması öyrənilmişdir. Alınmış nəticələr [58,s.775-778], [75,s.635-638], [40,s.373-375], [44,s.124-126], [16,s.16-26], [74,s.25-30] -işlərdə alınmış nəticələrlə müqayisə edilmişdir.

#### **4.1. GaS və GaS(Yb) monokristallarının udulma spektrlərinə qamma şüalanmanın təsiri**

Tədqiq olunan nümunələrin optik spektrləri ultrabənövşəyi və görünən oblastda Varian firmasına məxsus Cray 50 Scan spektrometrində  $\lambda=200-800$ nm dalğa uzunluğu oblastında alınmışdır.

GaS və GaS(Yb) laylı monokristallarının udulma əmsalının qiymətləri hesablanmış və onun müxtəlif dozalarda enerjiden asılılığına baxılmışdır.

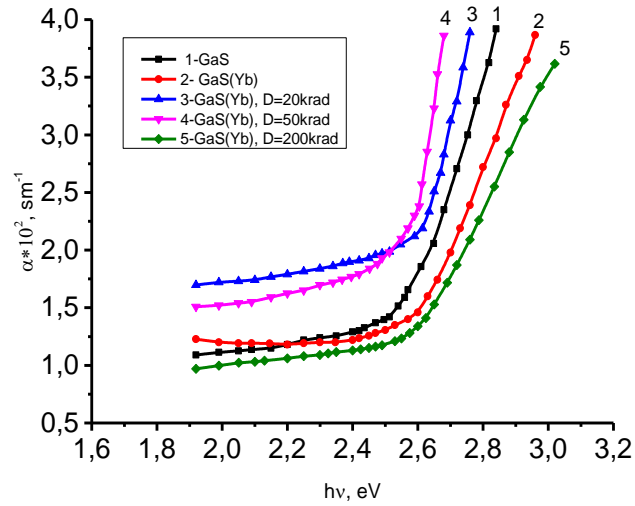
Şəkil 4.1.1-də təmiz və Yb ilə aşqarlanmış GaS monokristalının udulma əmsalına  $\gamma$ -şüalanmanın təsiri verilmişdir. Şüalanmadan əvvəl təmiz GaS monokristalının udulma əmsalı enerjinin artması ilə artır (1.8eV-3 eV). Qrafikdən udulma əmsalının kəskin artma hissəsinin enerji oxu ilə kəsişməsindən nümunənin qadağan olunmuş zonasının eni təyin edilmiş və 2.5eV olmuşdur.

Nümunəni Yb ilə aşqarladıqda udulma əmsalının qiyməti 2.25eV-3eV intervalında azalır, enerjinin 2.5eV-dan kiçik qiymətlərində isə artır. Qadağan olunmuş zonanın eni isə dəyişmir. Udulma əmsalının qiyməti ədəbiyyatlardan alınmış nəticələrə uyğundur.  $D=20$ , 50krad qamma kvantlarla şüalanmadan sonra spektrin məxsusi

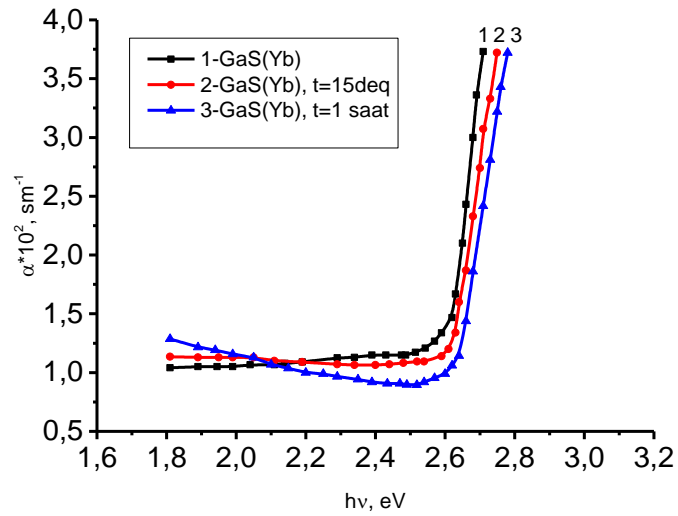
udulma oblastında udulma əmsalı artır.  $D=200\text{krad}$  doza ilə şüalandırıldıqda isə tədqiq olunan enerji oblastında udulma əmsalının qiyməti azalır.

Şəkil 4.1.2-də  $D=50\text{krad}$  doza ilə şüalandırılmış  $\text{GaS(Yb)}$  laylı monokristalının  $T=373\text{K}$  temperaturda müxtəlif zamanlarda dəmləmədən sonra udulma əmsalının enerjiden asılılığı verilmişdir. Qrafikdən görüldüyü kimi, dəmləmə müddəti artdıqca udulma əmsalı  $2.25\text{eV}-2.8\text{eV}$  oblastında azalır. Enerjinin  $E < 2.25\text{eV}$  qiymətindən sonra udulma əmsalının qiyməti yenidən artır. Alınmış nəticələr fotocərəyanın spektral paylanması əyriyələri ilə tan uyğunluq təşkil edir.

Yarımkəçiricilərdə işığın udulması sərbəst və ya atomla əlaqəli elektronun energetik halının – qəfəs atomlarının rəqsi hərəkət enerjisinin dəyişməsi ilə baş verir.



**Şəkil 4.1.1. GaS və GaS(Yb) monokristallarının otaq temperaturunda udulma əmsalının müxtəlif şüalanma dozalarında enerjidən asılılığı**  
**1-GaS, 2-GaS(Yb), 3- GaS(Yb), D=20krad, 4- GaS(Yb), D=50krad, 5- GaS(Yb), D=200krad**

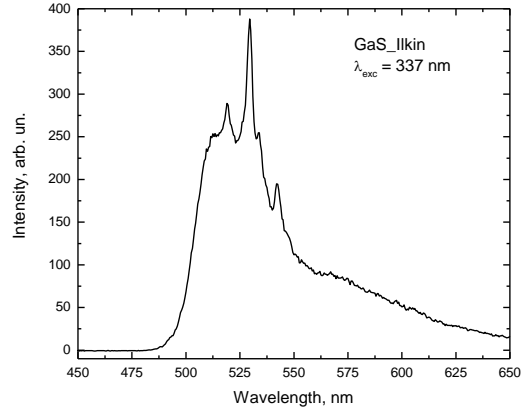


**Şəkil 4.1.2. D=50krad doza ilə şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalının T=373K temperaturda müxtəlif zamanlarda dəmlənmədən sonra udulma əmsalının enerjidən asılılığı**  
**1-GaS(Yb), 2-GaS(Yb), t=15dəq, 3-GaS(Yb) , t=1saat**

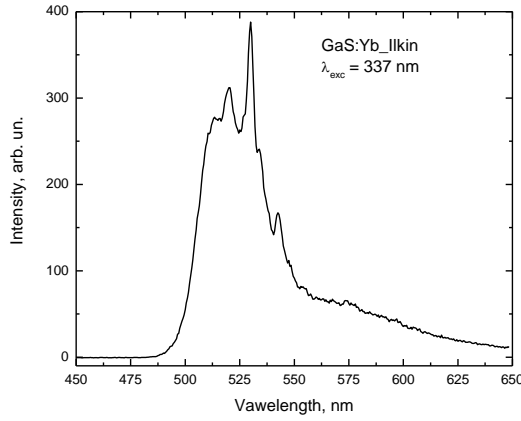
## 4.2. GaS və GaS(Yb) monokristallarının fotolüminessensiya xassələrinin tədqiqi

Son dövrlərdə nadir torpaq elementləri ilə aşqarlanmış GaS monokristallarının lüminessensiya xassələrinin tədqiqi böyük marağa səbəb olmuşdur. Bu onunla əlaqədardır ki, yarımkəçiricilər də nadir torpaq ionları ilə enerjinin effektiv ötürülməsi zona optik və aşqar mərkəzlərinin zərbə ilə həyəcanlanması ilə əlaqədardır ki, bu da qadağan olunmuş zonasının eni 2.53eV olan qallium kükürdün yüksək optik və lüminessent xassələrə malik olmasıdır. Ona görə də bu materiallar luminafor, şəffaf kontaktların tətbiqində geniş istifadə olunur.

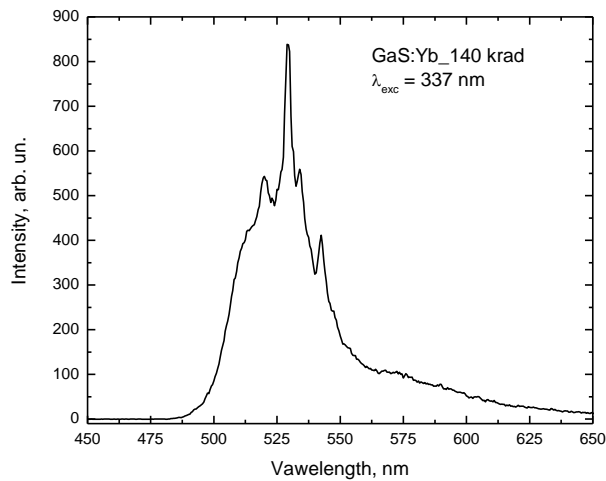
Təmiz və Yb ilə aşqarlanmış GaS monokristallarının lüminessensiya xassələri otaq temperaturunda Petkim Elmer LS-55 lüminessensiya spektrometrində çəkilmişdir. Nümunəni həyəcanlandırmaq üçün 50Hz tezlikli pulsasiya rejimində işləyən 150Vt gücə malik ksenon lampadan istifadə edilmişdir. Nümunə işıq filtrlərinin köməyi ilə fərdi komputerlə yerinə yetirilmişdir. Təmiz və aşqarlanmış GaS monokristallarının  $T=300K$  temperaturda  $\lambda=450-650nm$  dalğa uzunluğunda spektrləri çəkilmişdir. Çəkilmiş spektrlər şəkildə 4.3 və 4.4-də göstərilmişdir. Təmiz kristalda dalğa uzunluğu 512.5nm, 522.5nm, 527.5nm və 547.5nm olan maksimumlar müşahidə olunur. Yb aşqarları daxil etdikdə lüminessensiyanın intensivliyi artır, ancaq zolaqların maksimumlarının yeri dəyişmir [120, s.42-43]. Məlumdur ki,  $T=300K$  -də lüminessensiya spektrləri rolunu düyünlərarası kükürd atomları oynayır. Bu zaman şüalanma sərbəst elektronların dəşiklərlə rekombinasiyası  $S_i$  akseptorlarının  $Yb_{Ga}$  donor mərkəzləri tətəfindən tutulması ilə baş verir. Yb ilə aşqarlanmış GaS monokristalının 140krad doza ilə şüalandırıldıqda lüminissensiyanın intensivliyi artır, ancaq fotolüminissensiyanın spektri təmiz kristalların spektri üçün xarakterikdir.



**Şəkil 4.2.1. T=300K-da GaS monokristalının fotolüminessensiya spektri**



**Şəkil 4.2.2. T=300K-da GaS(Yb) monokristalının fotolüminessensiya spektri**



**Şəkil 4.2.3. T=300K-da D=140krad qamma kvantlarla şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalının fotolüminessensiya spektri**

Şüalanmış monokristallarda fotoluminissensiyanın intensivliyinin artması, bir tərəfdən asta rekombinasiya mərkəzlərinin artması ilə, hansı ki, tərkibə Ga vakansiyalar daxildir, digər tərəfdən mərkəzlərin konsentrasiyasının azalması ilə, qəfəs defektləri ilə bağlı olan şüalanmasız rekombinasiya ilə əlaqədardır. GaS(Yb) monokristallarında müşahidə olunan lümunissensiya zolaqları  $\text{Yb}^{+3}$  ionunda mərkəzlər daxili keçidlər nəticəsində baş verir. GaS monokristalının Yb ilə aşqarladıqda itterbi qallium atomlarını əvəz edərək,  $^2\text{F}_{5/2}$ - $^2\text{F}_{7/2}$  halları arasında  $\text{Yb}^{+3}$  ionlarının keçidləri ilə baş verir.

#### **4.3. GaS və GaS(Yb) monokristallarında fotocərəyanın spektral paylanması xüsusiyyətləri**

Alınmış GaS və GaS(Yb) monokristallarında yaranan lokal səviyyələrin kristalın fotokeçiriciliyinə təsirini aydınlaşdırmaq üçün  $\lambda=350\div 700\text{nm}$  dalğa uzunluğu oblastında otaq temperaturunda fotocərəyanın spektral paylanması tədqiq edilmişdir. Şəkil 4.3.1-də  $T=300\text{K}$  temperaturunda GaS və GaS(Yb) monokristallarında ( $U=50\text{V}$ ) fotocərəyanın spektral paylanması göstərilmişdir.

Qrafikə əsasən aşqarlanmamış GaS monokristalında (şəkil 4.3.1, əyri-1) məxsusi udulma sərhəddi yaxınlığında ( $\lambda=480\text{nm}$ ) maksimum müşahidə olunur. GaS monokristalını Yb ilə aşqarladıqda kristalda (əyri-2) fotocərəyan təmiz GaS monokristalına nəzərən artır, fotocərəyanın maksimum qiyməti ( $\lambda=476\text{nm}$ ) isə demək olar ki, təmiz GaS monokristalında müşahidə olunan dalğa oblastına çox yaxındır. Həmçinin, ftohəssaslığı təmiz nümunənin ftohəssaslığına nisbətən artması müşahidə olunur.

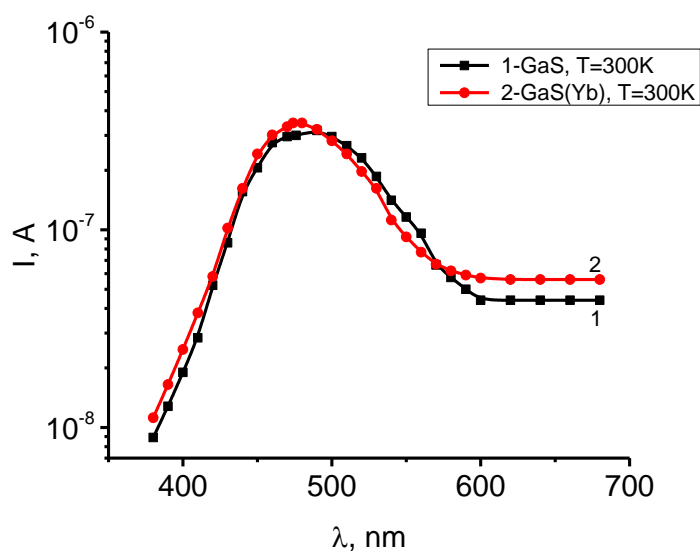
Şəkil 4.3.1-dan görünür ki, fotocərəyanın spektral paylanmasında uzun dalğa sərhəddi Yb –aşqar atomunun daxil edilməsi ilə 660 nm-dən 700 nm-ə sürüşür. Yəni, Yb- aşqar atomunun GaS kristalının qadağan olunmuş zonasında yaratdığı energetik səviyyəsinin ionlaşması ilə bağlıdır. GaS(Yb) kristalında (şəkil 4.3.1, əyri-2) fotocərəyanın maksimal qiyməti dalğa uzunluğunun  $\lambda_{\text{max}} = 475\text{ nm}$  qiymətinə uyğun gəlir. [7, s.42-45] –işdə alınmış nəticələr əsasında kristalın qadağan olunmuş zonasının eni hesablanmış ( $\lambda_{1/2}$ -ə görə) və  $\sim \Delta E_{\lambda_{1/2}} = 2,3\text{ eV}$  olmuşdur. Şəkildən göründüyü kimi,

Yb –aşqar atomunun daxil edilməsi GaS monokristalında maksimal cərəyana uyğun dalğa uzunluğunu dəyişdirmir və həmin dalğa uzunluğuna uyğun fotocərəyanın qiyməti zəif dəyişir [119,s.61-62], [107,s.182].

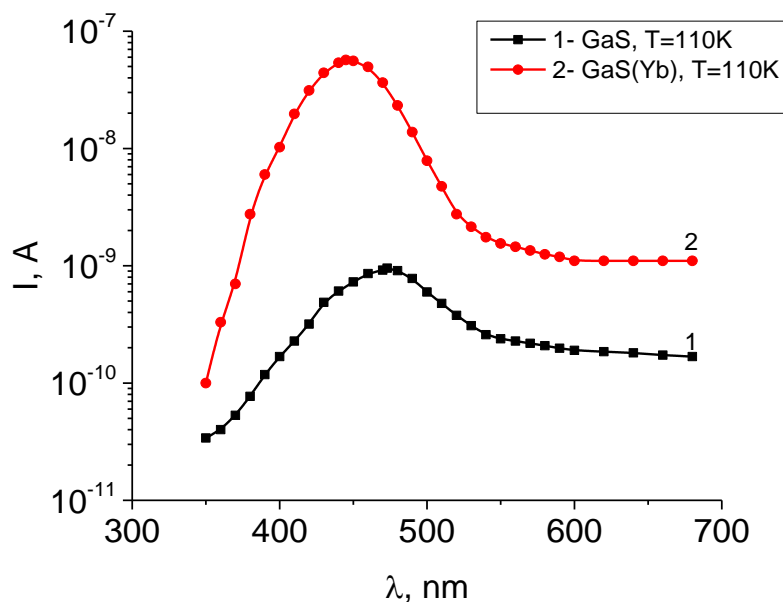
Şəkil 4.3.2-də  $T=110K$  temperaturda təmiz və nadir torpaq elementi olan itterbium ilə aşqarlanmış GaS monokristallarının fotocərəyanın spektral paylanması göstərilmişdir. Fotokeçiriciliyin Byub nəzəriyyəsinə [28,s.289], [59,s.396] uyğun olaraq kristalın temperaturunun azalması nəticəsində spektrdə fotocərəyanın maksimumu kiçik dalğa uzunluğu oblastına tərəf sürüşür. Qrafikdən görünür ki, GaS monokristalında (şəkil 4.3.2, əyri 1) məxsusi udulma sərhəddi yaxınlığında ( $\lambda =472nm$ ) maksimum müşahidə olunur.

GaS monokristalını Yb ilə aşqarladıqda (əyri-2) fotocərəyanın qiyməti artır, fotocərəyanın maksimumu ( $\lambda =476nm$ ) isə demək olar ki təmiz GaS monokristalında müşahidə olunan dalğa oblastına çox yaxındır. Eynilə də GaS(Yb) monokristalının aşqar oblastında isə fotocərəyanın artması müşahidə olunur. GaS monokristalını Yb ilə aşqarladıqda fotocərəyanın qiymətinin artması qallium vakansiyalarının qismən kompensasiyası hesabınadır.

Şəkil 4.3.1 və 4.3.2 –də verilən qrafiklərin müqayisəsindən demək olar ki, Yb-atomunun GaS monokristalına daxil edilməsi kristalın spektral xarakteristikasının uzun dalğa oblastına tərəf sürüşməsinə və aşağı temperatur oblastında fotocərəyanın artmasına səbəb olur. [28,s.289], [38,s.30], [59,s.311] –işdə qeyd olunan mülahizələrə görə kristala tətbiq edilən sabit və bircinsli elektrik sahəsi yükdaşıyıcıların daşınma mexanizminə təsir göstərir və bu səbəbdən işığın udulma spektri dəyişir və  $h\nu < E_g$  oblastında udulma əmsalı tətbiq edilən elektrik sahəsinin intensivliyindən asılı olur. Bu isə, elektron keçidlərinin sahə intensivliyindən asılı olaraq dəyişməsinə səbəb olur. Tədqiq olunan laylı quruluşlu GaS [67,s.84-86], [78,s.11] və onun aşqarlı birləşməsi GaS(Yb) [7,s.42-45] yüksək anizotrop luq xassəsinə malikdir və qismən qeyri-bircinsli yarımkeçiricidir. Ona görə də, xarici sahənin laylı kristalın fiziki xassələrinə təsirini öyrənən zaman lokal tutma mərkəzlərinin və qeyri-bircinsliyin təsirini nəzərə almaq lazımdır. Bu məqsədlə müxtəlif elektrik sahə intensivliklərində GaS və GaS(Yb) kristallarında fotocərəyanın spektral paylanması tədqiq edilmişdir.



**Şəkil 4.3.1. GaS və GaS(Yb) 0,1 at% monokristallarının otaq temperaturunda ( $U=50V$ ) fotocərəyanının spektral paylanması**

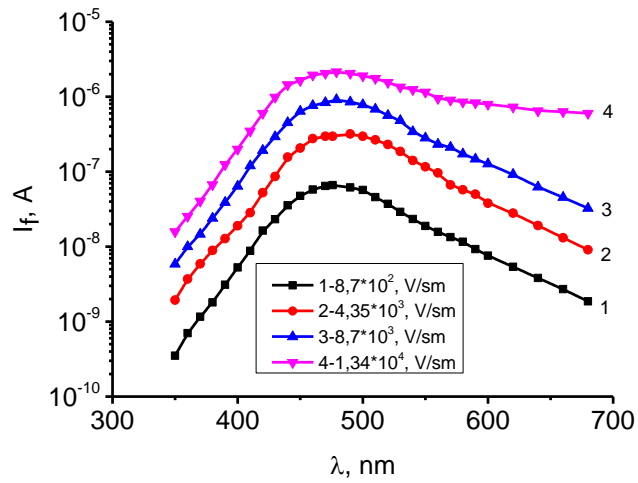


**Şəkil 4.3.2. GaS və GaS(Yb) 0,1 at% monokristallarının  $T=110K$  temperaturunda ( $U=50V$ ) fotocərəyanının spektral paylanması**

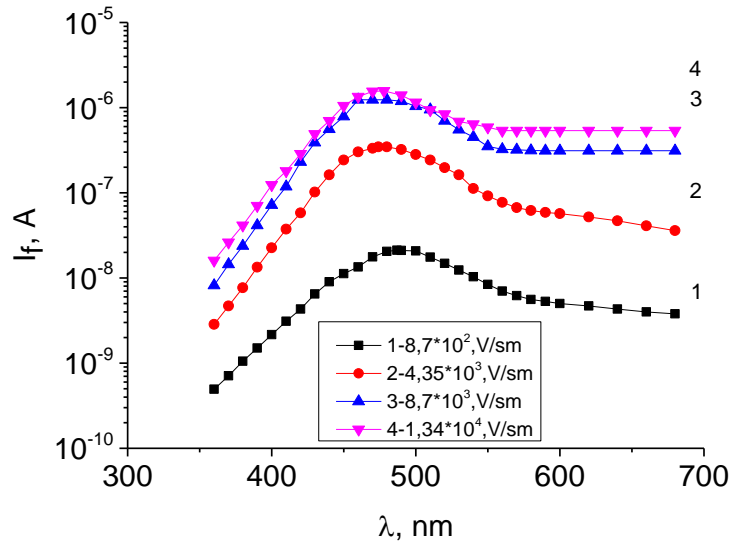
Şəkil 4.3.3-də GaS monokristalının müxtəlif elektrik sahə intensivliyində fotocərəyanın spektral paylanması göstərilmişdir ( $T=300$  K). Şəkil 4.3.3-dən görünür ki, kristala tətbiq edilən sahənin intensivliyi  $8,7 \cdot 10^2$  V/sm –dən (əyri-1)  $1,3 \cdot 10^4$  V/sm (əyri-4) qədər dəyişdiyi zaman spektrin uzundalğa oblastında fotocərəyanın kəskin dəyişməsi müşahidə olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, şəkil 4.3.3-də verilən fotocərəyanın  $lgI_f$ –qiyməti – qaranlıq cərəyanın kompensasiyasından alınmışdır. Şəkil 4.3.3-dən görünür ki, sahənin  $8,7 \cdot 10^2$  V/sm,  $4,3 \cdot 10^3$  və  $8,7 \cdot 10^3$  V/sm qiymətlərində spektrin 500-700 nm oblastında fotocərəyan eksponensial qanunla artır. Sahə intensivliyinin  $1,34 \cdot 10^4$  V/sm qiymətində isə tələnin sahənin təsiri ilə ionlaşması nəticəsində fotocərəyan kəskin artır.

Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, spektrdə fotocərəyanın maksimal qiymətinə uyğun dalğa uzunluğunun sürüşməsi baş vermir, ancaq fotocərəyanın eksponensial artması müşahidə olunur. Müşahidə olunan fakt göstərir ki, fotocərəyanın spektral dəyişməsi lokal energetik səviyyələrin boşalması ilə bağlıdır. Bu mərkəzin, monoxromatik işığın təsiri nəticəsində boşalması ilə baş verir və tələnin boşalma sürətinin elektrik sahəsinin intensivliyindən asılı olduğu müəyyən edilir. Sahənin yüksək qiymətlərində (əyri-4) spektrin uzundalğa oblastında fotocərəyanın daha sürətlə artmasına səbəb elektro-ionizasiya ola bilər.

Şəkil 4.3.4-də GaS(Yb) monokristalının  $T=300$  K temperaturda müxtəlif elektrik sahə intensivliklərində fotocərəyanın spektral paylanması verilmişdir. Qrafikdən görünür ki, GaS kristalına Yb aşqar atomunun daxil edilməsi fotocərəyanın spektral paylanmasına təsir göstərir. Spektrin aşqar oblastında sahə intensivliyinin  $E=8,7 \cdot 10^2$  V/sm qiymətində fotocərəyanın qiyməti GaS kristalına nəzərən (şəkil 4.3.3, əyri-1) artır və buna səbəb uzundalğa oblastında Yb aşqar atomunun yaratdığı tələnin tam boşalmasıdır. Sahə intensivliyinin  $4,3 \cdot 10^3$  V/sm qiymətində də  $\lambda_{\text{mak}}=500$  nm-ə uyğun fotocərəyanın qiyməti kəskin artır (əyri-2) və 500-700 nm oblastında fotocərəyanın doyması müşahidə olunur. Sahə intensivliyinin  $8,7 \cdot 10^3$  V/sm qiymətində fotocərəyanın qiymətinin yenidən artması müşahidə olunur. Elektrik sahə intensivliyinin  $1,34 \cdot 10^4$  V/sm qiymətində fotocərəyanın artması və spektrin 500-700 nm oblastında fotocərəyanın doyma halı müşahidə olunur.



**Şəkil 4.3.3. GaS monokristalında  $T=300$  K temperaturda müxtəlif elektrik sahə intensivliklərində fotocərəyanın spektral paylanması**

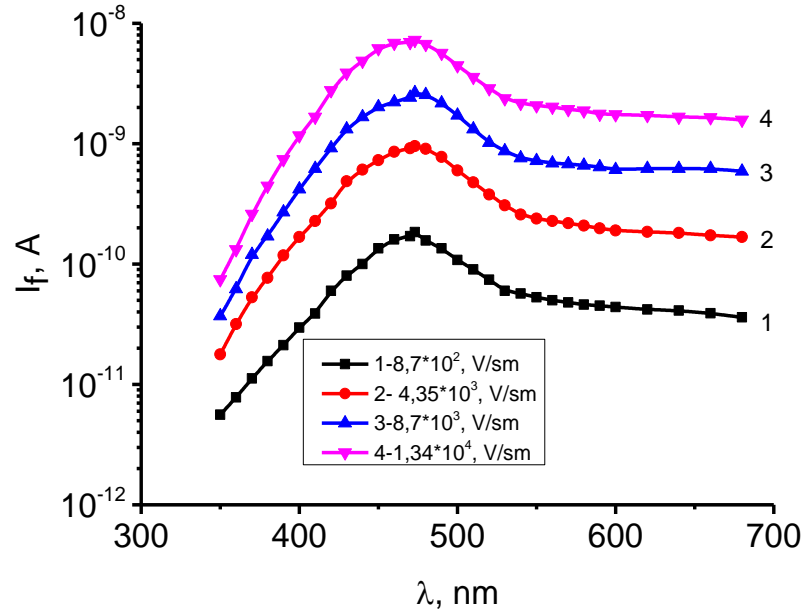


**Şəkil 4.3.4. GaS(Yb) monokristalında  $T=300$  K temperaturda müxtəlif elektrik sahə intensivliklərində fotocərəyanın spektral paylanması**

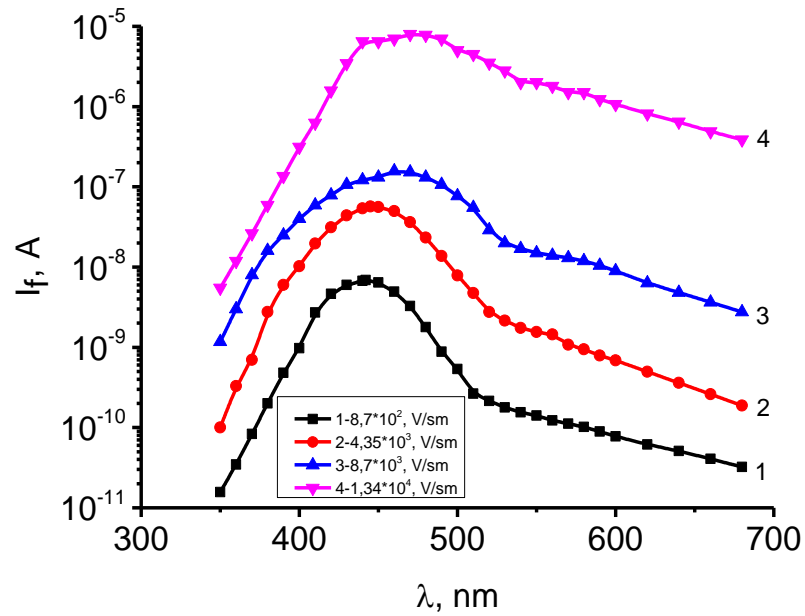
Şəkil 4.3.5-da GaS monokristalının  $T=110$  K temperaturda müxtəlif elektrik sahə intensivliklərində fotokeçiriciliyin spektral paylanması göstərilmişdir.

[28,s.289], [54,s.11-15], [65,s.127]- işlərdən məlumdur ki, yarımkəçirici materiallarda temperaturun azalması ilə qadağan olunmuş zonanın eninin artması hesabına spektral xarakteristika qısa dalğa oblasta tərəfə sürüşür. Bu qanuna uyğun olaraq GaS kristalında fotocərəyanın spektral paylanması  $T=110$ K temperaturunda spektrin qısadalğa oblastı tərəfə sürüşür və  $\lambda_{\text{mak}} = 450$  nm uyğun enerji düz keçidlərə,  $\lambda_{1/2} = 620$  nm –isə çəp keçidlərə uyğundur. Nümunəyə tətbiq olunan gərginliyə uyğun sahənin intensivliyi  $8 \cdot 10^2$  V/sm-dən  $4.7 \cdot 10^3$  V/sm qədər artdığı zaman fotocərəyanın spektral paylanmasının paylanma xarakteri saxlanılır, ancaq fotocərəyanın ədədi qiyməti dəyişir. Sahə intensivliyinin sonrakı artımı zamanı ( $1.3 \cdot 10^4$  V/sm) demək olar ki, ancaq fotocərəyanın ədədi qiyməti artır, paylanmanın xarakteri isə dəyişmişdir. Bu isə bizə deməyə əsas verir ki, GaS kristalında sahə intensivliyinin artması və fotoyükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması nəticəsində spektrin məxsusi oblastında keçiricilik artır.

Şəkil 4.3.6-də GaS(Yb) monokristallarının  $T=110$ K temperaturunda müxtəlif sahələrdə ( $D=0$ ) fotocərəyanın spektral paylanması göstərilmişdir. Qrafikdən görünür ki, Yb aşqarının daxil edilməsi GaS(Yb) kristalında (əyri-1) fotocərəyanın paylanma spektrində  $\lambda_{\text{mak}} = 450$  nm ,  $\lambda_{1/2} = 570$  nm uyğun gəlir. Bu onu göstərir ki, sahə intensivliyinin  $8,7 \cdot 10^2$  V/sm qiymətində GaS(Yb) kristalında, ancaq uzundalğa sərhəddi qısa dalğa oblastı tərəfə sürüşür. Sahə intensivliyinin  $4,3 \cdot 10^3$  V/sm və  $8,7 \cdot 10^3$  V/sm qiymətlərində isə qısa və uzundalğa oblastlarında fotocərəyanın ədədi qiyməti artır və əyrinin forması sabit qalır.



**Şəkil 4.3.5. GaS monokristallarının  $T=110\text{K}$  temperaturunda müxtəlif elektrik sahə intensivliklərində ( $D=0$ ) fotocərəyanın spektral paylanması**



**Şəkil 4.3.6. GaS(Yb) monokristallarının  $T=110\text{K}$  temperaturunda müxtəlif elektrik sahə intensivliklərində ( $D=0$ ) fotocərəyanın spektral paylanması**

Bu isə, Yb atomunun daxil edilməsi nəticəsində GaS monokristalının qadağan olunmuş zonasında yeni tutma mərkəzinin yaranmasını göstərir. Bu nəticə III-fəsildə  $\sigma \sim f(1/T)$  asılılığında da alınmışdır. Göstərilmişdir ki, müxtəlif intensivlikli monoxrematik işıq şüaları ilə işıqlandırma zamanı kristalın keçiriciliyi artır və kristala tətbiq edilən elektrik sahəsinin intensivliyindən asılı olur. Qeyd olunan fakt aşqarlanma zamanı struktur və aşqar atomlarının qarşılıqlı təsiri ilə yaranan lokal mərkəzlərin monoxrematik işıq təsiri ilə dolub-boşalması ilə baş verir və tələnin boşalma sürətinin elektrik sahəsinin intensivliyindən asılı olduğu müəyyən edilir. Sahə intensivliyinin  $1,3 \cdot 10^4$  V/sm qiymətində isə fotocərəyanın maksimumuna və aşqar oblastına uyğun fotocərəyanın qiyməti kəskin artır. Bu isə, energetik səviyyənin ionlaşması ilə əlaqədar ola bilər. GaS(Yb) kristalının VAX-nın öyrənilməsi zamanı da, sahə intensivliyinin yüksək qiymətlərində ( $10^4$  V/sm) Frenkel effektinə görə [33,s.219], [68,s.45] lokal səviyyənin ionlaşması müşahidə olunmuşdur .

#### **4.4. GaS və GaS(Yb) monokristallarında fotocərəyanın spektral paylanmasına qamma-kvantların təsiri (T=300 K)**

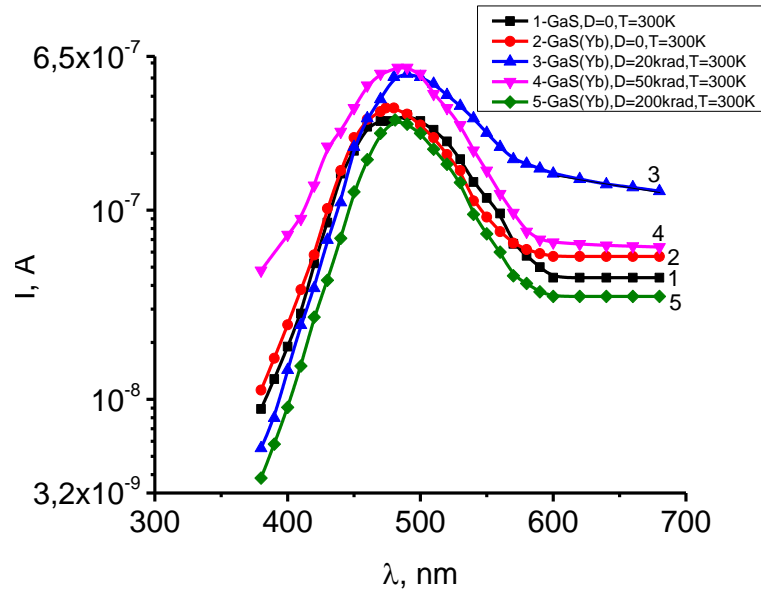
[8,s.30-33], [44,s.124-125], [40,s.373-375], [49,s.1-4]- işlərdən məlumdur ki, ionlaşdırıcı şüaların təsiri nəticəsində bərk cisimlərdə, o cümlədən yarımkeçirici kristallarda yaranan defektlər onların mexaniki, elektrik, fotoelektrik və optik xassələrini dəyişdirir. Buna səbəb isə materiallarda yaranan müxtəlif təbiətli nöqtəvi defektlərdir. Nöqtəvi defektlərin kristalın struktur və aşqar atomları ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan mürəkkəb və sadə defektlər qeyri-stabil olduğundan zaman keçdikcə kristalın xassələri bərpa olunur. Bu isə, kristalların xassələrinin idarə olunmasına imkan verir. Bu məqsədə çatmaq üçün, öncə kristalda radiasiya defektlərinin yaranma mexanizminin müəyyən olunmasıdır. [30,s.115], [34,s.178], [64,s.5]-işlərdə verilən məlumatlara görə defekt yaranma mexanizmi şüalanmanın növündən, materialın xassəsindən və şüalanma temperaturundan asılıdır. Bu faktı və III –fəsildə qeyd olunan nəticələri nəzərə alaraq aşqarlı GaS(Yb) monokristalında qamma-kvantların təsiri ilə defekt yaranma prosesini və onun kristalın fotoelektrik xassəsinə təsirini öyrənək.

Şəkil 4.4.1-də GaS və GaS(Yb) 0,1 at% monokristalının otaq temperaturunda (  $U=50V$  ) müxtəlif şüalanma dozalarında fotocərəyanın spektral paylanması  $T=300 K$  temperaturunda verilmişdir. Qrafikdə təmiz GaS və aşqarlı GaS(Yb) monokristallarının fotocərəyanın spektral paylanması müxtəlif şüalanma dozalarında və elektrik sahə intensivliyinin  $8,7 \cdot 10^2 V/cm$  qiymətində təsvir edilir (əyri-1 və 2). Bu haqda əvvəlki paragrafda ətraflı məlumat verilmişdir. Şəkil 4.4.1-də əyri 3-dən görünür ki, GaS(Yb) monokristalını  $D=20krad$  doza ilə şüalandırdıqda nümunənin ftohəssaslığı artır və spektr aşqar oblastına doğru sürüşür (əyri-3).

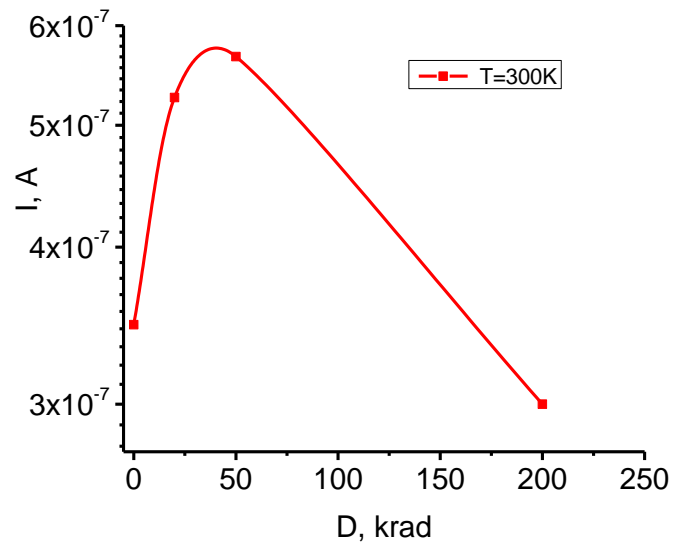
Dozanın sonrakı artımında isə  $D=50 krad$  fotocərəyanın məxsusi dalğa oblastında artması, aşqar oblastında isə azalması müşahidə olunur. GaS(Yb) 0.1at% monokristalını  $D=50krad$  doza ilə şüalandırdıqda ( əyri-4) udulma oblastında ftohəssaslıq ( $\lambda=400nm$ ) artır,  $\lambda>520nm$  qiymətində isə ftohəssaslıq azalır,  $\lambda>600nm$  oblastında GaS(Yb) nümunəsinin fotocərəyanın qiymətindən kiçik qiymətlər alır. Bu isə şüalanma zamanı yaranan radiasiya defektlərinin akseptor xarakterli olduğunu və qallium vakansiyalarının artmasını göstərir.

$D=200krad$  qamma kvantları ilə şüalandırdıqdan sonra GaS(Yb) laylı monokristalının fotocərəyanın spektral paylanma əyrisinin xarakteri dəyişmişdir, fundamental udulma oblastında , həm də aşqar oblastında fotocərəyanın qiymətinin azalması müşahidə olunur. Fotokeçiriciliyin qiymətləri ilkin GaS monokristalının qiymətlərinə yaxındır. Bu nəticə bizə təmiz GaS laylı monokristalını aşqarladıqdan və  $D=20krad$  və  $D=50krad$  şüalanmadan sonra artan qallium vakansiyalarının konsentrasiyasında azalma olduğunu göstərir[10,s.36-38], [43,s.703-704].

Şüalanma dozasının  $D=200krad$  qiymətində isə dalğa uzunluğunun bütün spektr oblastında fotocərəyanın qiyməti azalır. Bu isə, yüksək şüalanma dozalarında yaranan radiasiya defektlərinin fotoyükdaşıyıcılar üçün rekombinasiya mərkəzi rolu oynaması ilə bağlıdır.



**Şəkil 4.4.1. GaS və GaS(Yb) 0,1 at% monokristallarının otaq temperaturunda ( $U=50V$ ) müxtəlif şüalanma dozalarında fotocərəyanın spektral paylanması**



**Şəkil 4.4.2. Qamma kvantlarla şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalında fotocərəyanın şüalanma dozasından asılılığı**

Şəkil 4.4.2-də qamma-kvantlarla şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalının fotocərəyanının şüalanma dozasından asılılığı göstərilmişdir. Qrafikdən görünür ki,  $D < 50$  krad şüalanma dozalarında GaS(Yb) kristallarında fotocərəyanının eksponensial artması kristalın qadağan olunmuş zonasında rekombinasiya mərkəzinin konsentrasiyasının azalması ilə bağlıdır və [38,s.30]-işdə göstəriləyi kimi, fotoyükdaşıyıcıların yaşama müddətinin artması nəticəsində baş verir.  $D > 50$  krad dozalarında isə fotoyükdaşıyıcıların yaşama müddətinin azalması nəticəsində fotocərəyan eksponensial qanunla azalır.

Beləliklə, müxtəlif dozalarda şüalandırılmış GaS(Yb) kristalında fotocərəyanının  $T=300$  K temperaturda spektral paylanması göstərir ki, aşqar atomlarının və radiasiya defektlərinin qarşılıqlı təsiri nəticəsində defektlərin paylanması şüalanma dozasından asılıdır. Nəzərə alsaq ki, S- atomunun rabitə enerjisi Ga- atomunun rabitə enerjisindən ( $E_S < E_{Ga}$ ) kiçik olduğundan [145,s.76], defekt yaranma kükürd qəfəsaltında baş verir və  $V_S$  –vakansiyaları donör təbiətli olduğundan, onlar akseptor tipli struktur defektlərini qismən kompensasiya edir və nəticədə fotocərəyan artır. Yüksək şüalanma dozalarında fotocərəyanın azalması isə, şüalanma zamanı yaranan konsentrasiyanın komplekslərin dissosiasiyası nəticəsində  $V_{Ga}$  –təbiətli defektlərin artması səbəb olur.

Şəkil 4.4.3-də GaS və GaS(Yb) 0,1 at % monokristallarının  $T=110$ K temperaturda fotocərəyanının spektral paylanması şüalanmadan əvvəl (əyri-1,2) və sonra (əyri-3,4,5) verilmişdir. Qrafikdə verilən ayrılərdən görünür ki, GaS (əyri-1) və GaS(Yb) (əyri-2) monokristallarında maksimum  $\lambda=475$ nm dalğa uzunluğunda müşahidə olunur. Şüalanmadan əvvəl GaS(Yb) kristalında dalğa uzunluğunun  $\lambda=475$ nm qiymətinə uyğun fotocərəyan (əyri-2) GaS–də müşahidə olunan fotocərəyanın qiymətindən (əyri-1) yüksək olması aşqarlanma zamanı yaranan lokal səviyyələrin olması ilə bağlıdır. Şüalanmadan sonra ( $D=20$  krad) GaS(Yb) monokristalının həssaslığı azalır və maksimum kiçik dalğa oblastına tərəf sürüşür.

Aşqar oblastında həm ilkin, həm də şüalanmış nümunələrdə fotocərəyanın dəyişməsi qısa dalğa oblastına nəzərən çox kiçikdir. Bu isə, yəqin ki, eyni təbiətli dayaz səviyyənin konsentrasiyasının şüalanma dozasından asılı olaraq dəyişməsi ilə bağlıdır. Şüalanma dozanın sonrakı artımında, yəni  $D=200$ krad qiymətində GaS(Yb)

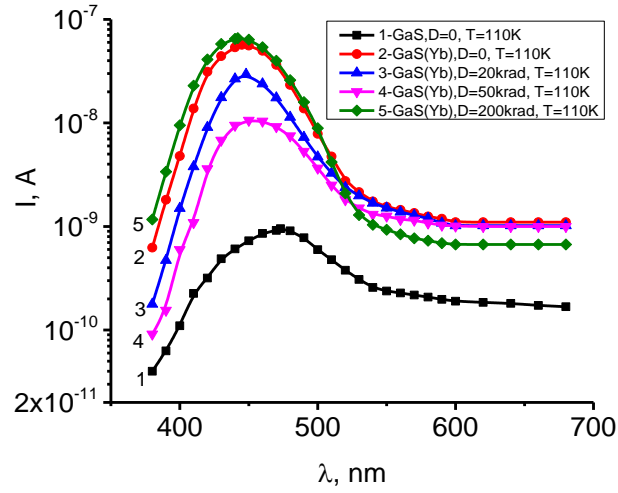
monokristalında  $\lambda=475\text{nm}$  dalğa uzunluğunda fotocərəyanın qiymətinin kəskin artması müşahidə edilir. Fotocərəyanın müşahidə olunan qiyməti Yb atomu ilə aşqarlanmış GaS kristalında (əyri-2) qeyd olunan fotocərəyanın qiymətinə yaxın olur. GaS(Yb) kristalında  $D=200\text{krad}$  şüalanma dozasında müşahidə olunan bu xüsusiyyət göstərir ki, qamma kvantlarla şüalanma zamanı energetik səviyyələri biri-birinə yaxın olan dayaz lokal səviyyələr toplusu yaranır. Defektlər toplusu müxtəlif təbiətli olduğundan və onların şüalanma dozalarının müxtəlif qiymətlərində təzahür etdiyindən fotocərəyanın qiymətinin dəyişməsi müşahidə olunur.

Şəkil 4.4.4-dən görüldüyü kimi, GaS(Yb) spektral paylanmanın  $\lambda_{\text{max}}=475\text{ nm}$  dalğa uzunluğuna uyğun qiymətinin şüalanma dozasından asılılığı eksponensial qanunauyğunluğa tabe olur. Belə ki, şüalanma dozasının aşağı qiymətlərində fotocərəyan eksponensial azalır, yüksək dozalarda isə artır. Bu fakt isə şüalanma zamanı yaranan defektlərin müxtəlif təbiətli olduğunu göstərir. [126, s.1-5] işdə qeyd olunan faktı nəzərə alaraq demək olar ki, kation və anion qəfəsaltlarında defektlərin yaranma ehtimalı şüalanma dozasından asılıdır və hər iki qəfəsaltında yaranan vakansiyaların aşqar atomu ilə qarşılıqlı təsiri müxtəlif xarakterə malikdir.

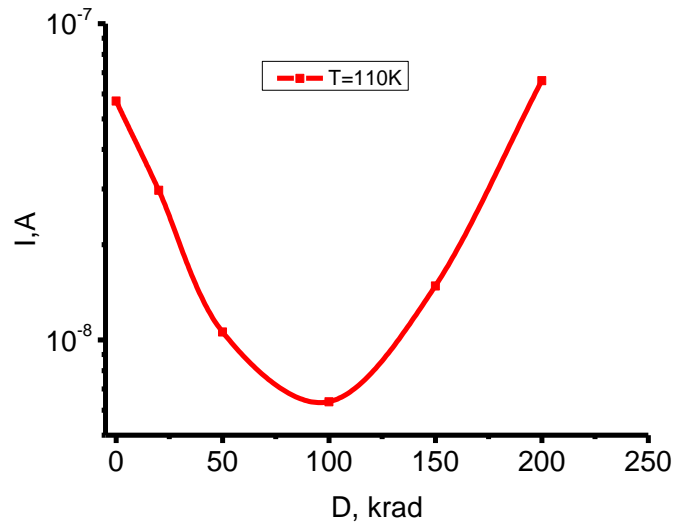
Şəkil 4.4.4 –də verilən əyrinin şüalanma dozasının 20-75 krad intervalında eksponensial düşməsi S- qəfəsaltında yaranan defektlər fotoyükdaşıyıcılar üçün rekombinasiya mərkəzi rolunu oynadığından fotocərəyan azalır.

Şüalanma dozasının 75-200 krad intervalında fotocərəyanın artması isə Ga-qəfəsaltında yaranan defektlərlə bağlıdır.

Düynülərəarası oblastda olan Yb aşqar atomlarının  $V_{\text{Ga}}$  –vakansiyaları tərəfindən tutulması nəticəsində struktur defektlərin konsentrasiyasının azalması fotocərəyanın qiymətinin artmasına səbəb olur.



**Şəkil 4.4.3. GaS və GaS<Yb> 0,1 at% monokristalının T=110K temperatur intervalında ( U=50V ) müxtəlif şüalanma dozalarında fotocərəyanın spektral paylanması**



**Şəkil 4.4.4. GaS(Yb) kristallarında fotocərəyanın  $\lambda_{\max}=475$  nm dalğa uzunluğuna uyğun qiymətinin şüalanma dozasından asılılığı (T=110 K).**

#### **4.5. Qamma-kvantlarla şüalanmış GaS(Yb) kristallarında fotocərəynin spektral paylanmasına elektrik sahə intensivliyinin təsiri (T=110 K)**

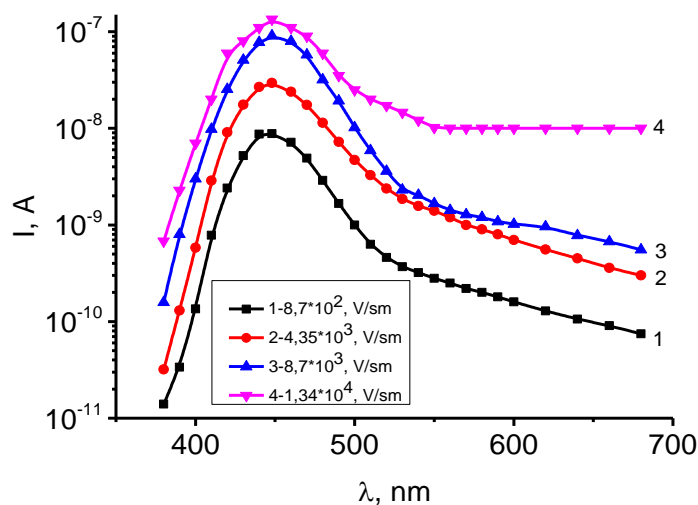
[37,s.103-108], [9,s.105-108], [132,s.375] – işlərdə göstərilir ki, yarımkəçirici materiallarda cərəyanın keçmə mexanizmi kristala tətbiq olunan elektrik sahəsinin intensivliyindən asılıdır. III fəsildə göstərilədiyi kimi cərəyanın qiyməti zəif elektrik sahələrinin qiymətindən asılı olmur. Yüksək elektrik sahələrində ( $10^4$ -  $10^5$  V/sm) isə, termo-sahə effektinə əsasən cərəyanın qiyməti kəskin artır. Nəzərə alsaq ki, cərəyanın qiyməti kristalın qadağan olunmuş zonasında yerləşən tutma mərkəzlərinin konsentrasiyasından və elektrik sahəsinin qiymətindən asılıdır, onda fotocərəyanın qeyd olunan parametrlərdən asılılığının öyrənilməsi cərəyanın keçmə mexanizminin öyrənilməsinə imkan verə bilər. Bu məqsədlə qamma-kvantlarla şüalandırılmış GaS(Yb) kristallarında fotocərəyanın spektral paylanmasına elektrik sahə intensivliyinin təsiri öyrənilmişdir.

Şəkil 4.5.1-də  $D=20$ krad doza ilə şüalandırılmış GaS(Yb) kristalında  $T=110$ K temperaturunda müxtəlif sahə intensivliklərində fotocərəyanın spektral paylanması göstərilmişdir. Qrafikdən görünür ki, sahə intensivliyinin  $8,7 \cdot 10^2$  –dən  $1,34 \cdot 10^4$  V/sm -ə qədər artması spektrin aşqar oblastında fotocərəyanın kəskin dəyişməsinə səbəb olur.

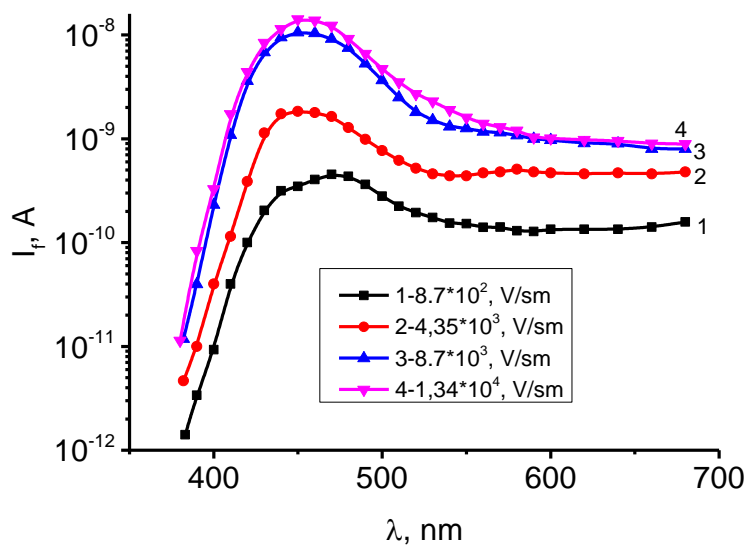
Şüalanma dozasının  $D=50$ krad qiymətində isə, elektrik sahə intensivliyinin verilmiş qiymətlərində fotocərəyanın qiymətinin artması, ancaq aşağı sahələrdə müşahidə olunur (şəkil 4.5.2, əyri-1-3).

Şəkil 4.5.3-də  $D=100$ krad dozada şüalandırılmış GaS(Yb) kristalında yuxarıda qeyd edilən sahə intensivliklərində fotocərəyanın spektral paylanması  $T=110$  K temperaturunda göstərilmişdir.

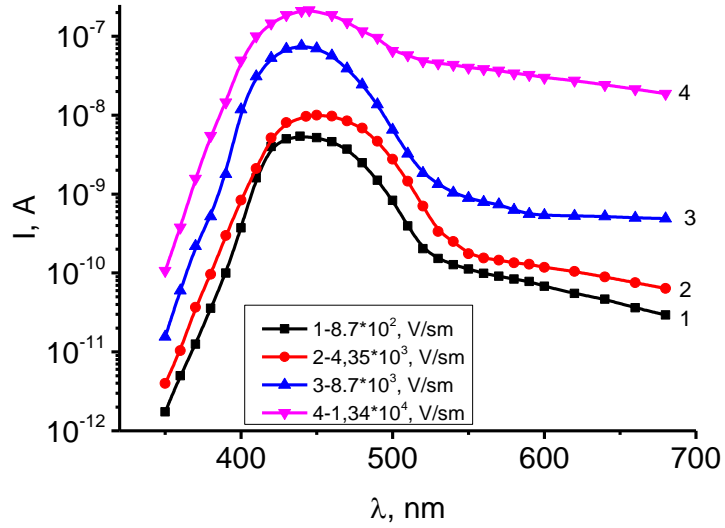
Şəkil 4.5.3-dən görünür ki, şüalanma dozasının artması nəticəsində struktur defektlərin radiasiya defektləri ilə qarşılıqlı təsiri fotocərəyanın paylanma xarakterini dəyişir, yəni 1-3 əyriyinə uyğun fotocərəyanın qiyməti azalır və  $D=20$  krad dozaya uyğun fotocərəyanın (şəkil 4.5.1) paylanmasına yaxınlaşır. Şüalanma dozasının



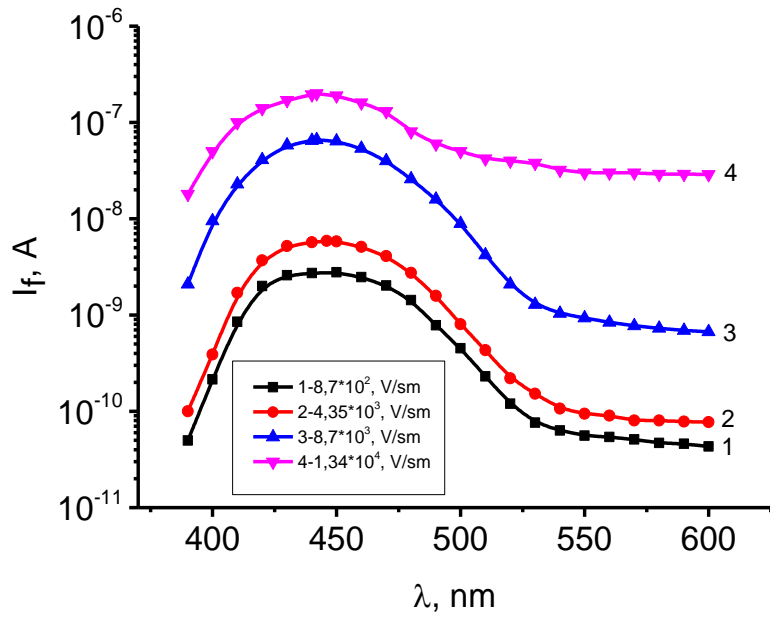
**Şəkil 4.5.1. GaS(Yb) monokristallarının T=110K temperaturunda müxtəlif sahə intensivliklərində (D=20krad) fotocərəyanın spektral paylanması**



**Şəkil 4.5.2. GaS(Yb) monokristallarının T=110K temperaturunda müxtəlif sahə intensivliklərində (D=50krad) fotocərəyanın spektral paylanması**



**Şəkil 4.5.3. GaS(Yb) monokristallarının  $T=110\text{K}$  temperaturunda müxtəlif sahə intensivliklərində ( $D=100\text{krad}$ ) fotocərəyanın spektral paylanması**



**Şəkil 4.5.4. GaS(Yb) monokristallarının  $T=110\text{K}$  temperaturunda müxtəlif sahə intensivliklərində ( $D=200\text{krad}$ ) fotocərəyanın spektral paylanması**

sonrakı artımı zamanı ( $D=200$ krad) fotocərəyanın spektral paylanması spektrin həm qısdalğa, həm də uzundalğa oblastında dəyişməsi müşahidə olunur (şəkil 4.5.4).

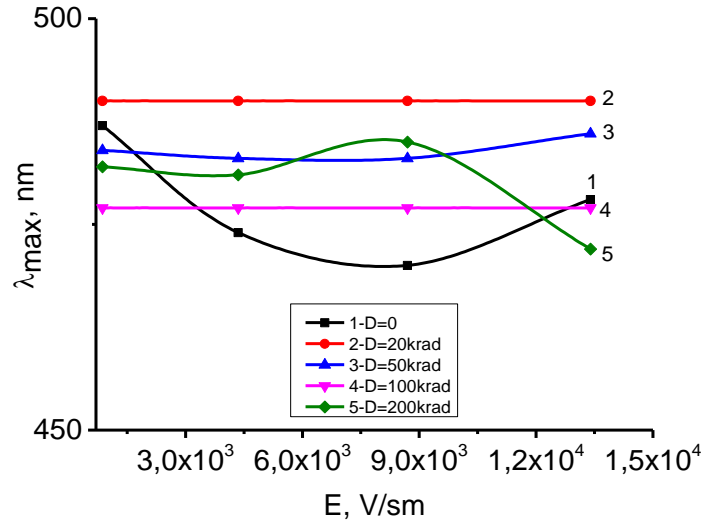
Şəkil 4.5.4-dan görünür ki, 1 və 2-əyriyə uyğun fotocərəyanın qiyməti zəif dəyişir, yüksək sahələrə uyğun fotocərəyanın qiyməti məxsusi və aşqar udulma zolaqlarında güclü artır (3 və 4 əyri).

Şəkil 4.5.5 və Şəkil 4.5.6 –də GaS(Yb) monokristalının otaq və azot temperaturlarında müxtəlif şüalanma dozalarında fotocərəyanın maksimum qiymətinə uyğun dalğa uzunluğunun sahə intensivliyindən asılılıqları verilmişdir.

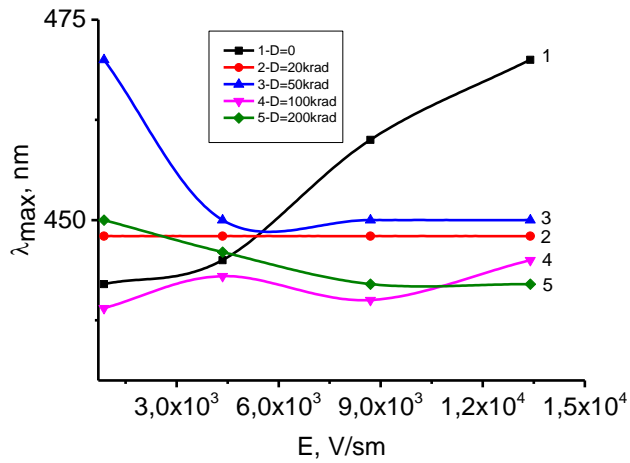
Şəkil 4.5.5-dən görünür ki,  $T=300$  K temperaturunda şüalanmadan əvvəl  $\lambda_{\max}$ - uyğun fotocərəyanın qiyməti elektrik sahə intensivliyinin artması ilə azalır və  $E=8.7 \cdot 10^3$  V/sm qiymətindən sonrakı artımında yenidən artır. GaS(Yb) kristalını  $D=20$  krad dozada şüalandırdıqdan sonra  $\lambda_{\max}$ - uyğun fotocərəyanın qiyməti artır və elektrik sahə intensivliyindən asılı olmur. Şüalanma dozasının sonrakı artımlarında ( $D=50$ ;  $100$  krad) fotocərəyanın qiyməti şüalanma dozasından asılı olaraq azalsa da, elektrik sahə intensivliklərindən asılı olmur.  $D=200$  krad dozada şüalandırdıqdan sonra  $\lambda_{\max}$ - uyğun qiyməti sahənin  $4 \cdot 10^3$  V/sm qiymətinə qədər intensivliyindən asılı olmur.

Şəkil 4.5.6-da isə  $T=110$  K temperaturunda  $\lambda_{\max}$ - uyğun fotocərəyanın qiymətinin elektrik sahə intensivliklərindən asılılığından görünür ki, şüalanmadan əvvəl (əyri-1) fotocərəyanın qiyməti, şəkil 4.5.5-dən fərqli olaraq (əyri-1), elektrik sahə intensivliyindən asılı olaraq artır.  $D=20$  krad dozada şüalandırdıqda fotocərəyanın qiyməti artır və sahə intensivliyindən asılı olmur.

$D=50$ krad şüalanma dozasında fotocərəyan ən yüksək qiymət alır və sahə intensivliyinin artması ilə eksponensial azalır. Sahə intensivliyinin  $6 \cdot 10^3$  V/sm qiymətindən sonra asılılıq doyma halına uyğun olur. Şüalanma dozasının  $100$  və  $200$  krad qiymətlərində fotocərəyan azalır və sahə intensivliyindən asılılığı zəif xarakter daşıyır.



**Şəkil 4.5.5. GaS(Yb) monokristalının spektral xarakteristikasının T=300 K temperaturunda müxtəlif dozalarda fotocərəyanın maksimumuna uyğun dalğa uzunluğunun sahə intensivliyindən asılılığı**

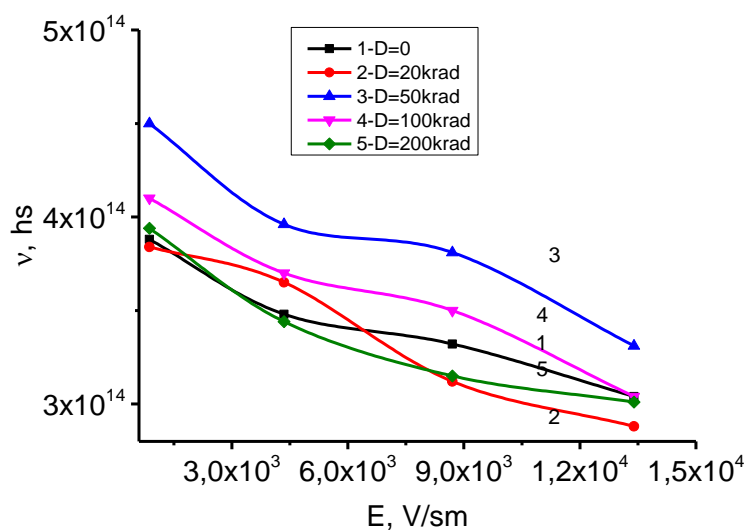


**Şəkil 4.5.6. GaS(Yb) monokristalının spektral xarakteristikasında T=110 K temperaturunda müxtəlif elektrik sahə intensivliklərində fotocərəyanın maksimumuna uyğun dalğa uzunluğunun şüalanma dozasından asılılığı**

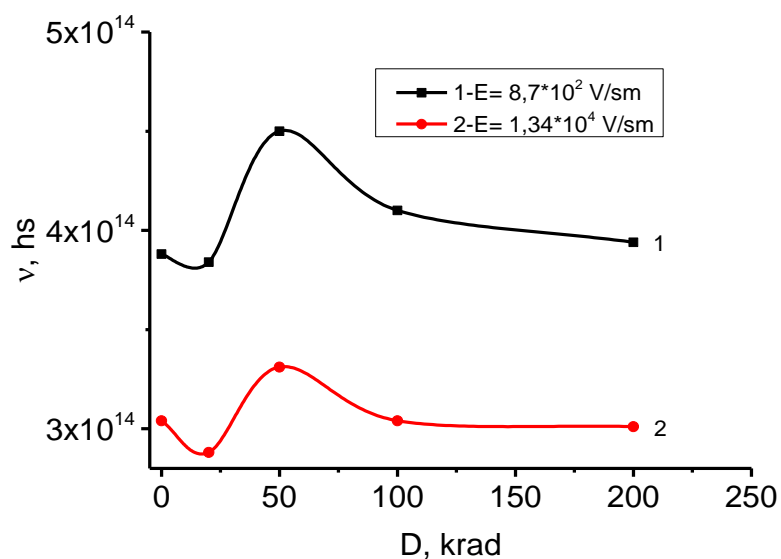
Şəkil 4.5.7 və Şəkil 4.5.8 –də  $T=300$  K temperaturunda fotoeffektin qırmızı sərhəddinin müxtəlif elektrik sahə intensivliyinin qiymətindən və şüalanma dozasından asılılıqları verilmişdir.

Şəkil 4.5.7-dən görünür ki, müxtəlif dozalarda şüalanmış GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın paylanma spektrindən təyin edilmiş qırmızı sərhəddə uyğun dalğa uzunluğu sahə intensivliyinin qiymətindən asılı olaraq uzundalğa oblasta tərəf sürüşür. Şəkil 4.5.8-də isə elektrik sahə intensivliyinin müxtəlif qiymətlərində qırmızı sərhəddə uyğun dalğa uzunluğunun şüalanma dozasından asılılığı verilmişdir.

Şəkil 4.5.8-dən görünür ki,  $T=300$  K temperaturda GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın spektral paylanmasından təyin edilmiş qırmızı sərhəddə uyğun kvantın enerjisinin dozadan asılılıq ayrılıqları eyni xarakterə malikdirlər. Şüalanma dozasının 20 krad qiymətində elektrik sahə intensivliyinin  $8,7 \cdot 10^2$  V/sm və  $1,34 \cdot 10^4$  V/sm qiymətlərində spektrin qırmızı sərhəddinə uyğun enerjinin qiyməti minimumdan, 50 krad şüalanma dozasında isə maksimumdan keçir. Qrafikdən göründüyü kimi, sahə intensivliyinin  $8,7 \cdot 10^2$  V/sm qiymətində enerjinin qiyməti daha yüksək olur.



**Şəkil 4.5.7. GaS(Yb) monokristalının otaq temperaturunda (T=300 K) müxtəlif dozalarda qırmızı sərhəddin sahə intensivliyindən asılılığı**

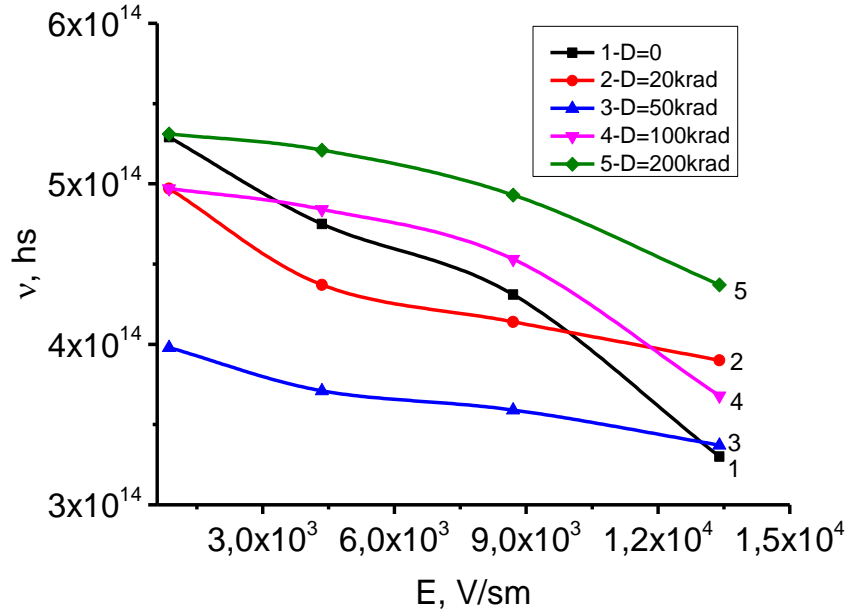


**Şəkil 4.5.8. GaS(Yb) monokristalının otaq temperaturunda (T=300 K) müxtəlif sahə intensivliyində qırmızı sərhəddə uyğun enerjinin dozadan asılılığı**

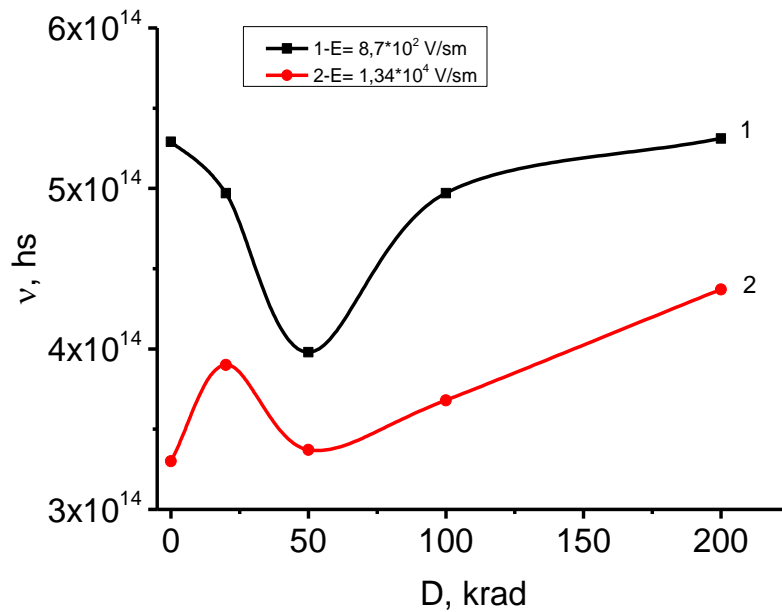
Şəkil 4.5.9-də GaS(Yb) monokristalının  $T=110\text{K}$  temperaturunda müxtəlif dozalarda qırmızı sərhəddin sahə intensivliyindən asılılığı verilmişdir. Qrafikdən görünür ki, elektrik sahə intensivliyi artdıqca şüalanma dozasının 20 və 50 krad qiymətlərində spektrin qırmızı sərhəddi kiçik tezliklərə, yüksək şüalanmanın 100 və 200 krad qiymətlərində isə yüksək tezlik oblastına tərəf sürüşür.

Şəkil 4.5.10-də GaS(Yb) monokristalının  $T=110\text{K}$  temperaturunda müxtəlif sahə intensivliyində qırmızı sərhəddin dozadan asılılığı verilmişdir. Qrafikdən görünür ki, sahə intensivliyinin qiymətindən asılı olaraq müxtəlif şüalanma dozalarında yaranan radiasiya defektlərinin fotocərəyanın paylanma spektrinə göstərdiyi təsir müxtəlif xarakterə malikdir.

Sahə intensivliyinin  $8,7 \cdot 10^2 \text{ V/sm}$  qiymətində  $\sim 50$  krad şüalanma dozasında (əyri-1) yaranan defektlərin aşqar atomları ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində spektrin qırmızı sərhədə uyğun tezliyi aşağı tezlik oblastına tərəf sürüşür.  $D > 50$  krad dozalarında isə yüksək tezlik oblastına tərəfə sürüşür .



**Şəkil 4.5.9. GaS(Yb) monokristalının T=110K temperaturunda müxtəlif dozalarda qırmızı sərhəddin sahə intensivliyindən asılılığı**



**Şəkil 4.5.10. GaS(Yb) monokristalının T=110K temperaturunda müxtəlif sahə intensivliyində qırmızı sərhəddin intensivliyinin dozadan asılılığı**

Beləliklə, elektrik sahə intensivliklərinin, temperatur və şüalanma dozalarının GaS(Yb) kristallarında fotocərəyanın spektral paylanmasına təsiri öyrənilmiş və aşağıda qeyd olunan xüsusiyyətlər müəyyən edilmişdir:

- Laylı GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın spektral paylanma spektrində, fotocərəyanın maksimal qiymətinə uyğun dalğa uzunluğunda cərəyanın qiyməti ( $I_{f, \lambda_{\max}}$ )  $T=300$  K temperaturda elektrik sahə intensivliyindən asılı olaraq qismən azalır,  $T=110$  K temperaturunda isə, fotocərəyanın qiyməti eksponensial qanunla artır. GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın ( $I_{f, \lambda_{\max}}$ ) sahə intensivliyindən asılı olaraq dəyişməsi, aşqarlanma zamanı yaranan donor tipli dayaz səviyyənin termoionlaşması ilə bağlıdır.
- Qamma-kvantlarla şüalandırılmış laylı GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın spektral paylanma spektrində, fotocərəyanın maksimal qiymətinə uyğun dalğa uzunluğunda cərəyanın qiyməti ( $I_{f, \lambda_{\max}}$ )  $T=300$  K temperaturda elektrik sahə intensivliyindən asılı deyil,  $T=110$  K temperaturunda isə, 50 krad dozada şüalandırılmış nümunələrdə fotocərəyanın qiyməti ( $I_{f, \lambda_{\max}}$ ) eksponensial qanunla azalır, 20krad; 100krad və 200 krad şüalanma dozalarında isə zəif asılıdır.
- Laylı GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın spektral paylanma spektrində uzundalğa sərhəddinə uyğun dalğa uzunluğu  $T=300$  K və  $T=110$  K temperaturlarında sahə intensivliyinin artması ilə eksponensial qanunla aşağı dalğa uzunluğu oblastına tərəf sürüşür
- Qamma-kvantlarla şüalandırılmış laylı GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın spektral paylanma spektrində uzundalğa sərhəddinə uyğun dalğa tezliyi  $T=300$  K temperaturda sahə intensivliyinin  $8,7 \cdot 10^2$  V/sm qiymətində  $\sim 50$  krad şüalanma dozasında yaranan defektlərin aşqar atomları ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində spektrin aşağı tezlik oblastına tərəf sürüşür.  $D > 50$  krad şüalanma dozalarında isə yüksək tezlik obastı tərəfə sürüşür.

#### **4.6. GaS(Yb) kristalında termik dəmləmənin fotocərəyanın spektral paylanmasına təsiri**

[48,s.80-83], [45,s.110-111], [94,s.5234] – işlərdən məlumdur ki, kristalların ionlaşdırıcı şüalarla və zərrəciklərlə şüalanması zamanı müxtəlif tipli radiasiya defektləri yaranır. Onların təbiətindən, konsentrasiyasından və energetik vəziyyətindən asılı olaraq yarımkeçirici maddələrin elektrik, fotoelektrik və optik xassələrinin dəyişməsinə səbəb olur. Qeyd olunan təsirlərdən istifadə etməklə bərk cisimlərin, o cümlədən yarımkeçirici kristalların xassələrini məqsədyönlü idarə etmə üsulları işlənmişdir. Belə üsullardan biri də radiasiya defektlərinin termik dəmlənməsidir. [48,s.80-83],[64,s.5]- göstərilirdiyi kimi, qamma-kvantlarla, elektronlarla və neytronlarla yarımkeçirici monokristalda yaradılan radiasiya defektlərini elektroaktiv hala keçirmək məqsədi ilə müxtəlif rejimlərdə termik dəmləmə aparılmışdır. Alınmış nəticələr əsasında bircinsli yarımkeçiricilər üçün model təklif edilmişdir. Bu model, struktur quruluşuna, anizotropik xassələrinə, defektlərin laydaxilində və laylararası oblastlarda paylanma xüsusiyyətlərinə görə bircinsli yarımkeçiricilərdən fərqlənən laylı kristallar üçün ödənilir. Qeyd olunan faktları nəzərə almaqla GaS(Yb) kristalında yaradılan radiasiya defektlərinin müxtəlif texnoloji rejimlərdə aparılan dəmlənmə prosesinin fotocərəyanın spektral paylanmasına təsiri öyrənilmişdir. Termik dəmləmə prosesi havası sorulmuş ampulada 373K temperaturda  $t=15$  və 60 dəqiqə müddətində aparılmışdır.

Şəkil 4.6.1-də GaS və GaS(Yb) 0,1 at% monokristalının otaq temperaturda ( $D=50\text{krad}$ ,  $U=50\text{V}$ ) müxtəlif zamanlarda termik dəmləmədən sonra fotocərəyanın spektral paylanması göstərilmişdir.

Şəkil 4.6.1-də qamma kvantlarla şüalandırılmış ( $D=50\text{krad}$ ) GaS(Yb) laylı monokristalının şüalandırılmamış,  $D=50$  krad doza ilə şüalanmadan sonra və 373K temperaturda 15 və 60 dəqiqə müddətində termik dəmlənmiş nümunələrin otaq temperaturunda fotocərəyanın spektral paylanmasının izotermləri göstərilmişdir. Təmiz və nadir torpaq elementi olan itterbium ilə aşqarlanmış GaS monokristallarının şüalanmadan əvvəl fotocərəyanının spektral paylanması göstərilmişdir. Qrafikdən

görünür ki, təmiz GaS monokristalında (əyri-1) məxsusi udulma sərhəddi yaxınlığında ( $\lambda=480\text{nm}$ ) maksimum müşahidə olunur.

GaS monokristalını Yb ilə aşqarladıqda nümunədə (əyri-2) fotocərəyan GaS monokristalına əsasən artır, fotocərəyanın maksimumu ( $\lambda =476\text{nm}$ ) isə demək olar ki təmiz GaS monokristalında müşahidə olunan dalğa oblastına çox yaxındır. Aşqar oblastında isə fotocərəyanın nisbətən artması müşahidə olunur.

Şəkil 4.6.1-dən görünür ki, şüalanma dozası  $D=50\text{krad}$  olan qamma kvantları ilə şüalandırıldıqdan sonra (əyri-3) şüalanmadan əvvəl (əyri-2) spektral paylanmasına nəzərən ftohəssaslıq spektrin məxsusi oblastında kəskin artır. Bu isə onu göstərir ki, şüalanma zamanı yaranan radiasiya defektləri akseptor xarakterlidir və yaranan defektlərlə kristal qəfəsdə olan ilkin defektlərin kompensasiyası nəticəsində fotocərəyanın qiyməti artır. Lakin, şüalanma dozası  $D=50\text{krad}$  olan qamma kvantları ilə şüalandırılmış nümunəni 15 dəqiqə termik dəmləmədən sonra (əyri-4) termik dəmləmədən əvvəl (əyri-3) spektral paylanmasına nəzərən ftohəssaslıq spektrin məxsusi oblastında kəskin azalır. Şüalandırılmış nümunənin  $t=15$  dəqiqə termik dəmlənməsindən sonra spektrin  $\lambda_{\text{max}} = 505 \text{ nm}$  dalğa uzunluğuna uyğun fotocərəyanın qiyməti azalır və uzundalğalı oblasta tərəf sürüşür, 550-700 nm dalğa oblastında isə fotocərəyan artır.

Nümunəni  $t=15$  dəqiqə termik dəmlənmədən sonra fotocərəyanın qiyməti demək olar ki, şüalanmadan əvvəlki GaS(Yb) nümunəsinin qiymətinə yaxındır. Dəmləmə müddəti  $t=60$  dəqiqə olduqda isə, nümunələrdə fotocərəyanın qiymətində yenidən azalma müşahidə edilir. Bu azalma spektrin uzundalğa oblastında da müşahidə olunur.

Müəyyən edilmişdir ki, şüalandırılmış nümunənin  $t=15$  dəqiqə termik dəmlənməsindən sonra  $\lambda_{\text{max}} = 505 \text{ nm}$ -ə uyğun ftohəssaslığı şüalanmadan əvvəlki (ilkin) ftohəssaslıqla yaxın olur. Spektrin 500-700 nm oblastında isə  $t=15$  dəqiqə müddətində dəmlənmədən sonra ftohəssaslıq  $t=1$  saat müddətində dəmlənmədən sonra müşahidə olunan ftohəssaslığa nəzərən daha yüksəkdir. Bu isə struktur və radiasiya defektlərinin təbiətə fərqli olduğunu göstərir .

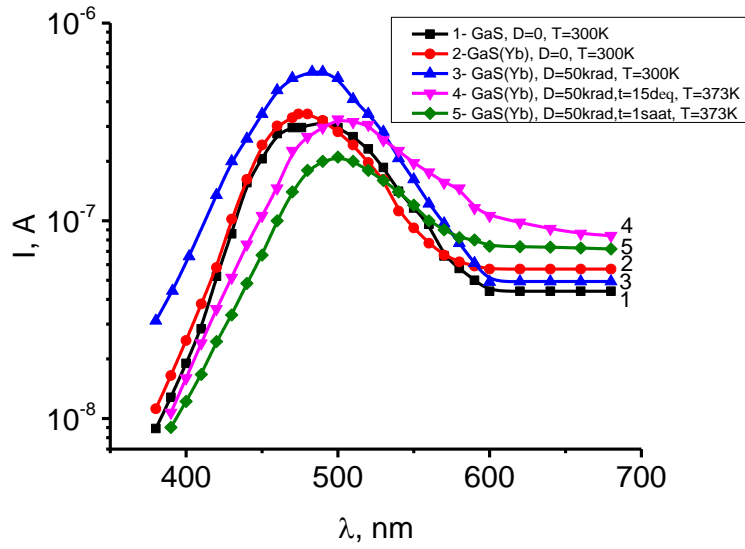
Şəkil 4.6.2-da  $T=110\text{K}$  temperatur intervalında təmiz və nadir torpaq elementi olan itterbium ilə aşqarlanmış GaS monokristallarının şüalanmadan əvvəl

fotocərəyanının spektral paylanması göstərilmişdir. Qrafikdən görünür ki, GaS monokristalında (əyri-1) məxsusi udulma sərhəddi yaxınlığında ( $\lambda=472$  nm) maksimum müşahidə olunur. GaS monokristalını Yb ilə aşqarladıqda (əyri-2) fotocərəyanın qiyməti artır. Eynilə də GaS(Yb) monokristalının aşqar oblastında isə fotocərəyanın artması müşahidə olunur. D=50 krad doza ilə şüalanmadan sonra GaS(Yb) monokristalının həssaslığı azalır və maksimum müşahidə olunduğu dalğa uzunluğu isə kiçik dalğa oblastına tərəf sürüşür(əyri-3).

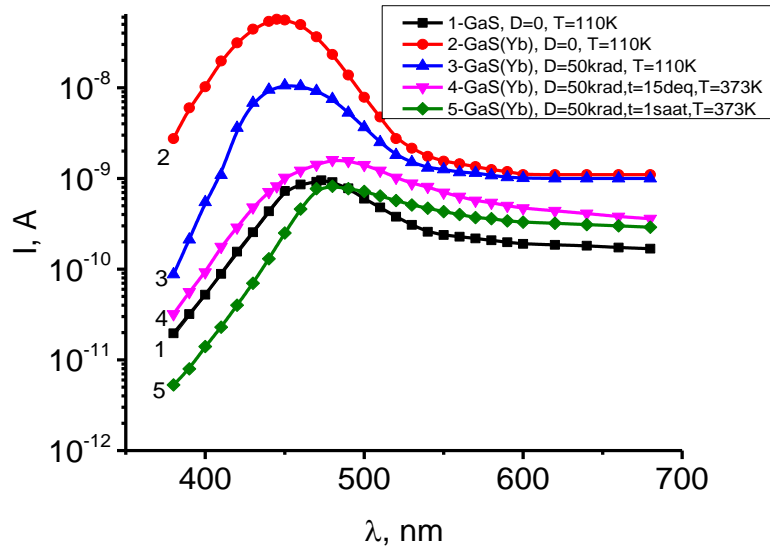
Şəkil 4.6.2-dən görünür ki, şüalanma dozası D=50krad olan qamma kvantları ilə şüalandırıldıqdan sonra (əyri-3) şüalanmadan əvvəl (əyri-2) spektral paylanmasına nəzərən ftohəssaslıq spektrin məxsusi oblastında kəskin azalır. Bu isə onu göstərir ki, şüalanma zamanı yaranan radiasiya defektləri donor xarakterlidir və yaranan defektlərlə kristal qəfəsdə olan ilkin defektlərin kompensasiyası nəticəsində fotocərəyanın qiyməti azalır. Lakin, şüalanma dozası D=50krad olan qamma kvantları ilə şüalandırılmış nümunəni 15 dəqiqə termik dəmləmədən sonra (əyri-4) termik dəmləmədən əvvəl (əyri-3) spektral paylanmasına nəzərən ftohəssaslıq spektrin məxsusi oblastında kəskin azalır.

Şüalandırılmış nümunəni t=15 dəqiqə termik dəmlənməsindən sonra (əyri-4) spektrin  $\lambda_{\max} = 500$  nm dalğa uzunluğuna uyğun fotocərəyanın qiyməti azalır və uzundalğalı oblasta tərəf sürüşür, 550-700 nm dalğa oblastında isə fotocərəyanın qiymətində dəyişiklik müşahidə edilmir. Dəmləmə müddəti t=60 dəqiqə olduqda isə (əyri-5), nümunələrdə fotocərəyanın qiymətində yenidən azalma müşahidə edilir. Nümunəni t=60 dəqiqə termik dəmlənmədən sonra fotocərəyanın qiyməti demək olar ki, şüalanmamış GaS nümunəsinin qiymətinə yaxınlaşır.

Tədqiq olunan nümunənin həm nadir torpaq elementi Yb ilə aşqarladıqda, həm də  $\gamma$ -kvantları ilə şüalandırıldıqda ftohəssaslığın, eyni zamanda qadağan olunmuş zonanın eninin dəyişməsi bu tip yarımkeçiricilərdə dəşiklərin sürətli - s, asta-r rekombinasiya və t-yapışma mərkəzlərinin mövcud olması ilə əlaqədardır. Qəbul etmək olar ki, ftohəssaslığın artması dozanın artması nəticəsində yükdaşıyıcılar selinin asta - r və sürətli - s rekombinasiya mərkəzləri arasında yenidən paylanması hesabına baş verir.



**Şəkil 4.6.1. GaS və GaS(Yb) monokristalının otaq temperaturda (  $D=50\text{krad}$ ,  $U=50\text{V}$  ) müxtəlif zamanlarda (  $t=15$  dəq, 1 saat) termik dəmləmədən sonra fotocərəyanın spektral paylanması**



**Şəkil 4.6.2. GaS və GaS(Yb) 0,1 at% monokristalının  $T=110\text{K}$  (  $D=50\text{krad}$ ,  $U=50\text{V}$  ) müxtəlif zamanlarda (  $t=15$  dəq, 1 saat) termik dəmləmədən sonra fotocərəyanın spektral paylanması**

Kation vakansiyaları ( $V_{Ga}$ ) r-mərkəzləri rolunu, müxtəlif struktur defektlər isə S-mərkəzləri rolunu [114, s.195] oynayır. Fermi səviyyəsi ilə s və r - mərkəzləri arasındakı məsafənin dəyişməsi dozanın artması ilə həssaslığın artmasıyla bağlı olub, bu da onların yükdaşıyıcılarla dolmasına təsir edir və bunun nəticəsi olaraq həmin mərkəzlərdə rekombinasiya selinin dəyişməsinə səbəb olur.

Fərz edək ki, t-mərkəzinin vəziyyəti keçirici zona ilə bağlı olduğundan keçirici zonaya nəzərən öz vəziyyətini dəyişdirməyib. Bu halda t-mərkəzlərinin energetik vəziyyətinin valent zonasına görə dəyişməsi həssaslığın artması ilə bağlıdır. t-mərkəzi elektronlar üçün həm yapışma, həm də rekombinasiya rolunu oynaya bilər. Valent zonasındakı dəşiklərlə rekombinasiya sürəti t-mərkəzləri tərəfindən tutulmuş elektronların istilik həyəcanlaşma nəticəsində keçirici zonaya keçmə sürətindən kiçik olarsa, onda t-mərkəzi tələ rolunu oynayır.

$$n_0 \nu_s n N_c e^{-E/kT} > n_t \nu_s p_0 \quad (4.6.1)$$

Burada v-zonalarda sərbəst yükdaşıyıcıların sürəti, s-keçirici zonadan t-mərkəzləri tərəfindən tutulan deşiyin en kəsiyi, n-t mərkəzləri tərəfindən tutulmuş elektronların konsentrasiyası, p-valent zonada deşiklərin konsentrasiyası.  $N_c$ -keçirici zonanın dibində elektronun hal sıxlığıdır. Kiçik enerjili birləşmələr üçün keçirici zonaya həyəcanlandırılmış elektronların yapışma mərkəzləri tərəfindən tutulması olduqca zəifdir. [5, s.40] Bu elektronlar r və s mərkəzlərində olan qeyri - taraz deşiklər tərəfindən rekombinasiya olunur. Bu səbəbdən r və s mərkəzlərinin elektronlarla dolması maksimum olacaqdır. Bu zaman valent zonasında olan deşiklərin yaşama müddəti isə minimum qiymət olacaqdır.

$$\tau_p = 1/\nu_s p n_e \quad (4.6.2)$$

Fotohəssaslıq isə deşiklərin yürüklüyü və onların valent zonasında yaşama müddəti ilə mütənasibdir.

$$\Delta\sigma \sim \mu\tau \quad (4.6.3)$$

E şüalanma dozasının artması ilə artdığından, bunun nəticəsində yapışma mərkəzinin effektivliyi artır ki, bu da t mərkəzlərinin elektronlarla dolmasını artırır və keçirici zonada onların konsentrasiyasını azalmasına səbəb olur. Həmçinin

rekombinasiya mərkəzlərində konsentrasiyasını azaldığından deşiklərin yaşama müddəti və ftohəssaslıq artır.

## NƏTİCƏLƏR

1. GaS(Yb) monokristalında aşqar atomunun kristalın elektron xassələrinə təsirini müəyyən etmək məqsədi ilə elektrik keçiriciliyi və stasionar fotocərəyan 110-300 K temperatur intervalında müxtəlif elektrik sahə intensivliklərində tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, GaS kristalına Yb donor aşqarı (0.1 at. %-qədər ) daxil edildikdə aktivləşmə enerjisi 0,098 eV və 1.14eV olan lokal səviyyələrin yaranması nəticəsində xüsusi keçiricilik  $\sigma = 10^{-6}-10^{-7} \text{ Om}^{-1} \text{ sm}^{-1}$  azalır, integral fotocərəyan isə  $\sigma_f / \sigma_q = (2-5) 10^3$  dəfə artır ( $L=10^4 \text{ Lk}$ ).
2. GaS(Yb) monokristalının elektrik və fotoelektrik xassələri 110-300 K intervalında tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, Yb aşqarının daxil edilməsi nəticəsində struktur defektlərin ( $V_{\text{Ga}}$ ) qismən kompensasiyası baş verdiyindən GaS kristalının elektrik keçiriciliyi azalır. Aşqarlama zamanı akseptor və donor tipli iki yüklü lokal mərkəzin yaranması səbəbindən kation vakansiyasının -  $V_{\text{Yb}}$  və Yb-Ga əvəz etməsi ( $\text{Yb}_{\text{Ga}}$ ) öz-özünə kompensasiya hadisəsinin baş verməsinə şərait yaradır. Bunun nəticəsində kristalın xüsusi müqaviməti artır və fotocərəyanın temperatur asılılığında termik fəallaşma və sönmə hadisələri müşahidə edilir.
3. İtterbium atomu (Yb) ilə aşqarlanmış laylı quruluşa malik GaS kristalın udma oblastında fotocərəyanı aşqar atomunun təbiətindən asılı olmayıb, yalnız aşqar atomlarının radiasiya defektləri ilə qarşılıqlı təsirin təbiətindən və şüalanma dozasından asılıdır. Müəyyən edilmişdir ki, şüalanma dozalarının kiçik qiymətlərində ( $D < 100 \text{ krad}$ ) ilkin defektlərin qismən kompensasiyası nəticəsində sərbəst yüklərin konsentrasiyası azalır, yüksək dozalarda isə lokal komplekslərin dissosiasiyası səbəbindən kation vakansiyalarının və düyünlərarası aşqar atomlarının artması nəticəsində yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artır. Təklif olunan model aşqarlı laylı kristalların elektrik və fotoelektrik xassələrini məqsədyönlü idarə etməyə və kristalın  $\gamma$ -kvantlara davamlılığını idarə etməyə imkan verir.

4. Laylı GaS(Yb) kristalında aşqar atomlarının və radiasiya defektlərinin laylararası oblastda yerləşməsi kristalların anizotrop luq xüsusiyyətini zəiflədir, laydaxilində yerləşməsi isə gücləndirir. Yüksək elektrik sahələrində cərəyanın keçmə mexanizmi aşqar atomunun təbiətindən asılı olmayaraq Frenkel modelinə tabe olur.
5. GaS(Yb) laylı monokristallarında radiasiya defektlərinin yaranma və dəmlənmə prosesləri, həmçinin qamma-kvantlara qarşı davamlılıq mexanizmləri geniş temperatur, işıqlanma və elektrik sahə intensivliklərində tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, kristalın kation və anion qəfəs altlarında yaranan radiasiya defektlərinin struktur və aşqar defektləri ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində baş verən radiasiya-stimullaşdırıcı proseslər laylı kristalların elektrik, optik və fotoelektrik xassələrinin məqsədyönlü idarə edilməsinə və onlar əsasında effektiv fotoqəbuledicilərin və fotoçeviricilərin hazırlanmasına imkan verir.
6.  $\gamma$ -kvantlarla şüalandırılmış aşqarlı GaS(Yb) monokristallarında spektrin udulma zolağında 110 və 300 K temperaturlarında elektrik sahəsinin müxtəlif qiymətlərində fotocərəyanın kəmiyyətə dəyişməsi və termik sönməsi müşahidə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, laydaxilində yerləşən Yb aşqar atomunun ilkin struktur defektləri qismən kompensasiya etməsi nəticəsində fotocərəyan udulma zolağında artır. Aşqar oblastında isə, elektrik sahəsinin təsiri nəticəsində elektroaktiv defekt səviyyələrinin dolub-boşalması hesabına spektrin aşqar oblastında fotocərəyanın qiyməti dəyişir. Aşqar fotocərəyan ilə elektrik sahə intensivliyi arasında korelyasiya müəyyən edilir.
7.  $\gamma$ - kvantlarla şüalandırılmış aşqarlı GaS(Yb) kristallarının fotocərəyanı 110-300K temperatur intervalında müxtəlif elektrik sahə intensivliklərində tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, Yb atomu ilə aşqarlanmış GaS monokristalında fotocərəyanın temperatur, aktivləşmə və termik sönmə hadisələrinin baş vermə səbəbi  $\gamma$  –kvantlarla şüalanma nəticəsində yaranan sadə defektlərin struktur və aşqar defektləri ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində r-asta və s-sürətli rekombinasiya mərkəzlərinin, dərin tutma səviyyəsinin

konsetrasiyalarının nisbi dəyişməsidir və təklif edilən mexanizm fotocərəyanın çoxkanallı rekombinasiya modeli əsasında izah edilə bilər.

**DİSSERTASIYANIN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ AŞAĞIDAKI NƏŞRLƏRDƏ  
DƏRC OLUNMUŞDUR:**

1. Xalıqzadə, A.Ş. GaS, GaS<Yb>(0.1 at.%) monokristallarının elektrik xassələrinə qamma şüalanmanın təsiri // İntegrasiya prosesləri dünyəvi elmlərin 21<sup>st</sup> əsri, -Ganja, Azərbaycan: -10-14 October, -2016. -p. 19-20.
2. Мадатов, Р.С. Тагиев Т.Б., Халыгзаде А.Ш., Влияние  $\gamma$  - облучение на электрические, фотоэлектрические свойства нелегированных и легированных редкоземельных элемен-тами Yb монокристаллов GaS // Третьего междисципли-нарного молодежного научного форума с международным участием «Новые материалы», Москва, Russia: -21-24 ноябрь, -2017. - с.122-123
3. Rahim Madatov, The features of current transmission in layered GaS(Yb) single crystals upon irradiation with  $\gamma$ -quanta/ Rahim Madatov, Teymur Tagiev, Aydan Khaligzadeh , // International Journal in Physical and Applied Sciences ,May, -2018. Volume 5 Issue05, ISSN: 2394-5710
4. Мадатов, Р.С. Особенности механизма дефекообразования в слоистых монокристаллах GaS(Yb) при облучении малыми дозами  $\gamma$ - квантов/ Мадатов, Р.С. Тагиев, Т.Б. Халыгзаде, А.Ш. // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri Fizika-Texnika və Riyaziyyat Elmləri Seriyası Fizika və Astronomiya, - 2018. XXXVIII cild , № 5, - s. 90-96
5. Xalıqzadə, A.Ş. Yb ilə aşqarlanmış və  $\gamma$ -şüaları ilə şüalandırılmış GaS monokristalının fotoelektrik xassələrində baş verən proseslər // Gənc Alimlərin Əsərləri, - 2018. №1, - s. 37-41.
6. Mədətov R. S., Tağıyev T. B., Xalıqzadə A. Ş. , Qamma kvantları ilə şüalandırılmış GaS<Yb> 0,1at% monokristalının elektrik keçiriciliyinin anizotropiyası // Radiation processes and their applications international conference dedicated to the 70th Anniversary of Academician M.K. Karimov, -Baku, Azerbaijan: -13-14 November, -2018. - s. 42-45.
7. Таğıyев,Т.В. Халıqzadə,А.Ş. Qamma- kvantlarla şüalandırılmış GaS və GaS<Yb> 0,1at% monokristallarının fotoelektrik xassələri // Ümummilli lider Heydər Əliyevin

- anadan olmasının 95-cü ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı, -Gəncə, Azerbaijan: -04-05 may, -2018. -s.36-38.
8. Madatov, R.S. Tagiyev, T.B. Khaligzadeh, A.Sh. Electronic processes occurring in GaS<Yb> 0,1at% monocrystal with irradiated high-energy rays // LXVIII International Conference «Nucleus 2018» Fundamental Problems of Nuclear Physics, Atomic Power Engineering and Nuclear Technologies .Dedicated to the Centennial of Voronezh State University and to the 80th anniversary of the birth of k. A. Gridnev, - Voronezh, Russia: -2–6 July, -2018. -p.196.
  9. Madatov, R. S. Tagiev, T. B. Khaligzadeh, A. Sh. Electrophysical properties of GaS and GaS <Yb> 0.1 % monocrystals with irradiated gamma rays // -г. Курчатов,, Republic of Kazakhstan, -11-13 September, -2018. -p.162
  10. Мадатов, Р.С. Тагиев, Т.Б. Халыгзаде, А.Ш. Электрические и фотоэлектрические свойства легированных ув монокристаллов GaS облученных  $\gamma$ -квантами // Четвёртый междисциплинарного молодежного научного форума с международным участием «Новые материалы», -Москва, Russia: -27-30 ноября, -2018. -с.703-704
  11. Халыгзаде, А.Ш. Электрические и фотоэлектрические свойства GaS и GaS:Yb облученного  $\gamma$ - квантами // XVI Курчатовская междисциплинарная молодежная научная школа, -Москва, Russia: -6-9 ноября, -2018. -с.292,
  12. Madatov Rahim, Features of electrical and photoelectric properties of GaS(Yb) monocrystals/ Madatov Rahim, Tagiev Teymur, Khaligzadeh Aydan, [et al.] // A Journal of Physical Sciences , -2019. -vol. 74, Issue 9, - p.1-5.
  13. Тағйев, Т.В. Халықзаде, А.Ş. Nadir torpaq elementləri (Yb,Sm) ilə aşqarlanmış GaS monokristalının elektrik keçiriciliyinin xüsusiyyətləri // Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-cı ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı, -Gəncə, Azerbaijan: -03-04 may, -2019. -s.6-7.
  14. Khaligzadeh, A.Sh. Features of photoelectric of GaS monocrystal with doped rare earth elements (Yb, Sm) // XXI International Youth Scientific School, -Kazan: -23-28 September, -2019. -s. 182.

15. Khaligzadeh, A.Sh. The effect of  $\gamma$ -irradiation on the electrophysical properties of GaS monocrystal doped with Yb and Sm // Journal of Radiation Researches, -2019. -vol.6, №2, -s.60-64
16. Мадатов, Р.С. Тагиев, Т.Б. Халыгзаде А.Ш., Особенности дефекто образования монокристаллах GaS<Sm> при облучении малыми дозами гамма-квантов// Шестой междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии», -Москва, Russia: -23-27 ноября, -2020. -с.292,
17. Madatov, R.S. Photoluminescence of undoped and Yb-doped GaS single crystals irradiated with  $\gamma$ -quanta/ R.S.Madatov, T.B.Tagiev, A.Sh.Khaligzadeh, // Problems of atomic science and technology, -2021. -vol.135, №5, -p.42-43
18. Мадатов, Р.С. Тагиев, Т.Б. Халыгзаде, А.Ш. Изменение электрических свойств GaS(Yb) при облучении гамма квантами // III Международный Научный Форум «Ядерная наука и технологии» посвященный 30-ти летию независимости республики казахстан, -Almaty, Republic of Kazakhstan: -20-24 September, - 2021. -p.117
19. Madatov, R.S. The effect of  $\gamma$ -irradiation on the volt-ampere characteristics (VAC) of GaS monocrystal doped with Yb / Madatov, R. S. Tagiev, T. B. Khaligzadeh, A. Sh. // Journal of Radiation Researches, -2021. -vol.8, № 2, -s.60-64
20. Mədətov, R. S. Tağıyev, T. B. Xalıqzadə, A. Ş. Yb ilə aşqarlanmış GaS monokristalının elektrofiziki xassələrinə  $\gamma$ -şüalanmanın təsiri// VII Beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransı Fevral məruzələri 2022: Aviakosmik məsələlərin həllində gənclərin yaradıcı potensialı, -Bakı, Azərbaycan: -2-4 fevral, -2022. -s.179-181

## İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Abdullayev, H. B. Yarımkeçirici çeviricilər, Dərslik / Abdullayev H. B., İsgəndərzadə Z.Ə. -Bakı: Elm, -1974. - s.297.
2. Eyvazov, E.Ə. Yarımkeçiricilər fizikasına giriş, Dərslik / Eyvazov, E.Ə., Fərəcov V.C., Qurbanov S.Ş.// -Bakı:Çınar Çap, -2007. -s.392 .
3. Xalıqzadə, A.Ş. GaS , GaS<Yb>(0.1 at.%) monokristallarının elektrik xassələrinə qamma şüalanmanın təsiri / Xalıqzadə A.Ş // İntegration processes of the world science in the 21st century, Ganja,Azerbaijan, 10-14 October,-2016. - p.19-20.
4. Xalıqzadə, A.Ş. Yb ilə aşqarlanmış GaS monokristalının elektrofiziki xassələrinə  $\gamma$ -şüalanmanın təsiri / Xalıqzadə A.Ş, Tağıyev T.B., Mədətov R.S. // VII Beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransı Fevral məruzələri 2022: Aviakosmik məsələlərin həllində gənclərin yaradıcı potensialı, -Bakı, Azərbaycan: -2-4 fevral, -2022. -s.179-181.
5. Xalıqzadə, A.Ş. Yb ilə aşqarlanmış və  $\gamma$ -şüaları ilə şüalandırılmış GaS monokristalının fotoelektrik xassələrində baş verən proseslər / Xalıqzadə A.Ş // Gənc Alimlərin Əsərləri, - 2018. №1, - s. 37- 41.
6. Kazımzadə, A.H.Yarımkeçirici opto və fotoelektronika / Kazımzadə A.H., Salmanov V.M., Salmanova A.A., Həsənova L.H.//- Bakı Universiteti” nəşriyyatı, - 2013. -s.256.
7. Mədətov, R. S. Qamma kvantları ilə şüalandırılmış GaS<Yb> 0,1at% monokristalının elektrik keçiriciliyinin anizotropiyası / Mədətov R. S., Tağıyev T. B., Xalıqzadə A. Ş. // Radiation processes and their applications international conference dedicated to the 70th Anniversary of Academician M.K. Karimov, -Baku, Azerbaijan, November 13-14, -2018. -vol.5, №2, -s.42-45.
8. Mədətov, R. S. Protonlarla Şüalanmış GaS kristalında struktur çevrilməsi / Mədətov R. S., Əhmədov F. İ., Cahangirov M. M., [et al.] //AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASININ XƏBƏRLƏRİ, Fizika-texnika və riyaziyyat elmləri seriyası, fizika və astronomiya, -Bakı, -2015. №2. -s.30-34.

9. Тағыев,Т.В. Nadir torpaq elementi (Er) ilə aşqarlanmış GaS monokristalının elektrik, fotoelektrik və lümnensensiya xassələrinə qamma - şüalanmanın təsiri // Journal of Radiation Researches, -Baku, -2018. -vol.5, №2, -s.105-108 .
10. Тағыев, Т.В. Qamma- kvantlarla şüalandırılmış GaS və GaS<Yb> 0,1at% monokristallarının fotoelektrik xassələri / Тағыев Т.В., Xalıqzadə А.Ş.// Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 95-cü ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı, Gəncə, 04-05 may -2018. -s.36-38.
11. Абасова, А. З. Рекомбинационные процессы в радиационно облученных фоточувствительных структурах на основе селенида галлия / Абасова А. З., Заитов Ф. А., Любченко А. В., Султанмуратов С. // Физика и Техника Полупроводников, -1989. -т.23, №1, - с.152-155.
12. Абасова, А.З. Радиационно-стимулированные процессы в халькогенидных структурах / Абасова А.З., Мадатов Р.С., Стафеев В.И.// - Баку.:ЭЛМ, -2010. - с.352.
13. Абдинов, А.Ш. Влияние температуры и легирования редкоземельными элементами на электрофизические свойства кристаллов GaSe / Абдинов А.Ш., Бабаева Р. Ф., Рагимова Н. А., Рзаев Р. М., Амирова С. И., // Неорганические материалы, -2014. -т.50, №4, - с.362-366.
14. Абдинов, А.Ш. вопросы об электрофизических свойствах монокристаллов n-InSe/ Абдинов А.Ш., Бабаева Р.Ф., Рзаев Р.М., Рагимова Н.А., Амирова С.И. // ФТП, -2016. -т.50, В.1, -с.35-38.
15. Абдинов, А.Ш. Инжекция электронов и электронные уровни в высокоомных монокристаллах сульфида галлия / Абдинов А.Ш., Гасанов Я.Г., Мехтиев И.М. Кязым-заде А.Г. // ФТП, -1975. -т. 9, №7, -с.1429-1431.
16. Абдинов, А.Ш. К вопросу об особенностях собственной фотопроводимости кристаллов моноселенида галлия / Абдинов А.Ш., Рзаев Р.М., Бабаева Р.Ф., Рагимова Н.А., Амирова С.И. // Azerbaijan Journal of Qafqaz University-Physics, -2013. -vol.1, № 1, -p.16-27.
17. Абдинов, А.Ш. Особенности статических вих, легированных редкоземельными элементами монокристаллов селенида галлия / Абдинов

А.Ш., Бабаева Р.Ф., Рзаев Р.М., Багирова А.Т., Аллахвердиев Ш.А. // Докл. АН АН, -2006. -т. LXV, №5-6, - с.55-62.

18. Абдинов, А.Ш. Фотолюминесценция легированных диспрозием монокристаллов селенида индия и галлия / Абдинов А.Ш., Мехтиев Н.М., Бабаева Р.Ф., Рзаев Р.М., Исмаилов Р.М. // АМЕА xəbərləri fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, -2003. -vol.1 №5, - с.143-147.

19. Абдинов, А.Ш. ВАХ слоистых соединений  $A^{III}B^{IV}$  / Абдинов А.Ш. Гасанов Я.Г., Мамедов Ф.И. // ФТП, -1982. -т. 16, №6, - с.993-998

20. Абдуллаев, Г.А. Взаимодействие лазерного излучения лупроводниками  $A^3B^6$  / Абдуллаев Г.А., Салаев Е.Ю., Салманов В.М. // -Элм, Баку, -1979. -с.296.

21. Абрикосов, Н. Х. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе / Абрикосов Н. Х., Банкина В. Ф., Порецкая Л. В. // - Москва: Наука, -1975. - с.220.

22. Аскеров К. А. Радиационно-стойкие фотоприемники на основе слоистых полупроводников GaSe, InSe, GaTe // Автореферат диссертации доктора физ-мат наук, -Баку, -2000. – с.37.

23. Аскеров, К.А. Дефектообразование и диффузионные процессы в некоторых слоистых полупроводниках / Аскеров К.А., Исаев Ф.К., Амиров Д.Г. // -Баку: Азерб. Гос. Издательство, -1991. - с.125.

24. Атакишиев, С.М. Физические свойства полупроводников  $A^{III} B^{VI}$  / Атакишиев С.М., Ахундов Г.А., Алиев М.Г. // -Баку.: Элм, -1967 . -с.365.

25. Беленький, Г.Л. Тепловое расширение слоистых кристаллов. Модель Лифшица / Беленький Г.Л., Сулейманов Р.А., Абдуллаев Н.А., Штейншройбер В.Я. // Физика твердого Тела, -1984. -т. 26, №12, - с.3560-3566.

26. Беленький, Г.Л. Нани Р.Х. и др. Краевая люминесценция кристаллов GaSe и GaS обусловленная примесями / Беленький Г.Л., Дильбазов Т.Г., Нани Р.Х. и др // УФЖ, -1976. -т. 21, №2, - с.328-329.

27. Беленький, Г.Л., Электронные и колебательные спектры слоистых полупроводников группы  $A^3B^6$  / Беленький Г.Л., Стопочинский В.Н. // УФН, -1983. 140, №1, - с.233-260.

28. Бьюб Р., Фотопроводимость твердых тел // М:Мир,-1962. - с.558.
29. Вавилов, В.С. Действие излучений на полупроводники / Вавилов В.С., Кекелидзе Н.П., Смирнов Л.С.// -М.: Наука, -1988. -с.190.
30. Вавилов, В.С.,Радиационные эффекты в полупроводниках / Вавилов В.С., Ухин Н.А. // -М.: Атомиздат, -1969. - с. 311
31. Ван-Бюрен. Дефекты в кристаллах/ Ван-Бюрен // -М. Физматгиз, -1962. - с. 270.
32. Гнатенко, Ю.П. Излучение свободных и связанных экситонов в слоистых кристаллах селенида галлия / Гнатенко Ю.П., Ковалюк З.Д., Скубенко П.А., Жирко Ю. И. // УФН. -1983. -т. 25, №2, - с.445-449.
33. Джафаров Т.Д. Радиационно-стимулированная диффузия в полупроводниках / Джафаров Т.Д. // - М.: Энергоатомиздат, -1991. - с.288 .
34. Емцев, В.В.Примеси и точечные дефекты в полупроводниках/ Емцев В.В., Машовец Т.В. // -М.: Радио и связь, -1981. -с.248.
35. Исмаилов, Ф.И.Анизотропия электрических свойств селенида галлия / Исмаилов Ф.И., Ахундов Г. А. // Изв. АН СССР. Сер. Физ.-техн. И мат.н. -1971. № 4, - с.68-71 .
36. Ковалюк, З.Д. Электрические и фотоэлектрические характеристика на основе слоистых полупроводников InSe и GaSe при облучение электронами с энергией 12,5МеВ/ овалюк З.Д., Политанская О.А., Сидор О.Н., Маслюк В.Т. // Физика и Техника полупроводников, -2008. -т.42,в.11,- с.1321-1326
37. Ламперт М., Марк П. Инжекционные токи в твердых телах/ Ламперт М., Марк П. // -М.Мир, -1973. - с.416
38. Лашкарев, В.Е. Неравновесные процессы в полупроводниках / Лашкарев В.Е., Любченко А.В., Шейнкман М.К.// -“Киев. Науково Думка”, -1981. -с.264
39. Лейман, К. Взаимодействие излучения с твердым телом и образование элементарных дефектов / Лейман, К. // -М.: Атомиздат, -1979. -с.296.
40. Мадатов Р.С., Аббасова А.З., Тагиев Т.Б., Шекили Ш.П. Влияние электронного облучения на фотоэлектрические свойства в слоистых

полупроводниках  $A^3B^6$ / Мадатов Р.С., Аббасова А.З., Тагиев Т.Б., Шекили Ш.П.  
// Международная Конференция “Fizika-2005”, -Баку.: элм, -2005. - с.373-375

41. Мадатов, Р.С. Инжекционный ток в облученных слоистых монокристаллах сульфида галлия / Мадатов Р.С., Наджафов А.Р., Шекили Ш.П., Тагиев Т.Б. // АМЕА Хəбərləri, -2005. -vol.5, -p.78-82.

42. Мадатов, Р.С. Изменение электрических свойств GaS(Yb) при облучении гамма квантами / Мадатов Р.С., Тагиев Т.Б., Халыгзаде А.Ш.// III Международный Научный Форум «Ядерная наука и технологии» посвященный 30-ти летию независимости республики казахстан, Almaty, Republic of Kazakhstan, 20-24September,- 2021. -p.117

43. Мадатов, Р.С. Электрические и фотоэлектрические свойства легированных ув монокристаллов GaS облученных  $\gamma$ -квантами/ Мадатов Р.С., Тагиев Т.Б., Халыгзаде А.Ш. // Четвёртый междисциплинарного молодежного научного форума с международным участием «Новые материалы», Москве, 27-30 ноября, -2018. - с.703-704.

44. Мадатов, Р. С. Влияние протонного облучения на фотоэлектрические свойства в слоистых полупроводниках сульфида галлия/ Мадатов Р. С., Тагиев Т. Б., Джахангиров М. М., Ахмедов Ф. И., Фараджова У. Ф. // Третий междисциплинарный молодежный научный форум с международным участием «Новые материалы», -Москва, 21-24 ноября, -2017. – с.124-126.

45. Мадатов, Р. С. Структурные и фотоэлектрические свойства монокристаллов GaS, имплантированных ионами водорода/ Мадатов Р. С., Комаров Ф. Ф., Мустафаев Ю. М., Ахмедов Ф. И., Джахангиров М. М., Гарибли А. А.// 10-я международная конференция ЯДЕРНАЯ И РАДИАЦИОННАЯ ФИЗИКА, -Курчатов, Республика Казахстан, 8-11 сентября, -2015. – с.110-111.

46. Мадатов, Р.С. Влияние гамма излучения на электропроводность слоистого GaS/ Мадатов Р.С., Наджафов А.И., Шекили Ш.П., Тагиев Т.Б., Мобили М. // Неорг. матер., -2008. -т.44, в.2, - с.140-143

47. Мадатов, Р.С. Инжекционный ток в облученных слоистых GaS / Мадатов Р.С., Наджафов А.И., Шекили Ш.П., Тагиев Т.Б. // Изв. НАН Азерб., -2005. -т.25, в.12, - с.78-82
48. Мадатов, Р.С. Исследование вольт-амперных характеристик сульфида галлия, облученного гамма квантами / Мадатов Р.С., Шекили Ш.П., Мобили А.Р., // Международная Конференция “Fizika-2005”, -Баку.: элм, -2005. -с.80-83.
49. Мадатов, Р.С. Влияние  $\gamma$ -излучения на электропроводность слоистого GaS / Мадатов Р.С., Наджафов А.И., Тагиев Т.Б., Мобили А.Р. // Известия РАН, Неорганические материалы, -2008. -vol.44, №2, -с.1-4.
50. Мадатов, Р.С. Особенности механизма дефектообразования в слоистых монокристаллах GaS(Yb) при облучении малыми дозами  $\gamma$ - квантов/ Мадатов Р.С., Тагиев Т.Б., Халыгзаде А.Ш. // “Fizika” № 5, XXXVIII cild «Elm» 1-2018. - с.90-96.
51. Машовец Т.В. Френкеля пара / Машовец Т.В. // Физическая энциклопедия /М.: Большая Российская энциклопедия, -1998. - с.760.
52. Медведева З.С. Халькогениды элементов III Б подгруппы периодической системы/ Медведева З.С. // -М Наука, -1968. - с.216 .
53. Мустафаева, С.Н. Физика низких температур/ Мустафаева С.Н., Асадов М.М., Исмаилов А.А.. // -2010. -vol.36, №4, - с. 394.
54. Мушинский, В.П. Фотоэлектрические и люминесцентные свойства халькогенидов галлия и индия / Мушинский В.П., Караман М.И. // - Кишинев: Штиинца, -1975. - с.79.
55. Наджафов, А.Н. Политипизм и полиморфизм в кристаллах и в их двойных аналогах/ Наджафов А.Н. //Дис. док.-ра хим. наук., -2009. - с.454
56. Наджафов, А.Н. Физико-химические исследования систем с участием РЗЭ монохалькогенидов галлия/ Наджафов А.Н.// Дис. канд. хим. наук., -1982. - с.170
57. Наджафов, Н.А. Политипизм и полиморфизм в кристаллах  $A^3B^3C_2^6$  и в их двойных аналогах/ Наджафов Н.А. // Диссерт. на соиск. уч. степ. докт. хим. наук, -Баку, -2008. -с.457.

58. Пашаев, А.М. Фотоэлектрическая и люминесцентная спектроскопия локальных уровней в монокристаллах GaS: Re / Пашаев А.М., Абушов С.А., Тагиев О.Б., Ибрагимов З.А. Фараджева У.Ф., // Международная Конференция “Fizika-2005”, -Баку.: элм, -2005. -с.775-779.
59. Рывкин С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках / Рывкин С.М.// - Москва, Гос. Изд. Физ. Мат. Лит., -1963. -с.496.
60. Рустамов, П.Г. Исследование взаимодействие в GaS-YbS/ Рустамов П.Г., Алиев О.М., Курбанов Т.Х. и др // Изв. АН СССР. Неорганические материалы, -1977. -т.13, № 10, - с.1748-1751.
61. Савицкий, П.И. Stabilizing effect of germanium on electrical characteristics of indium monoselenide / Савицкий П.И. , Ковалюк З.Д., Минтянский И.В. // Неорганические материалы, -1997. -т.33, № 9, - с.1062-1066.
62. Савицкий, И. В. Анизотропия затропроводности в моноселениде индия/ Савицкий И. В., Ковалюк З. Д., Минтянский В. В. // Неорганические материалы, -1996. -т.32, №4, - с.405-409
63. Смирнов, И.А.Электронная теплопроводность металлах и полупроводниках / Смирнов И.А., Тамарченко В.И. // -М.: Наука, -1977. – с.150.
64. Смирнов, Л.С. Физические процессы в облученных поупроводниках / Смирнов Л.С. // -М.: Наука, -1977. – с.150
65. Соболев, В.В. Зоны и экситоны халькогенида галлия, индия и таллия / Соболев В.В.// Кишинев.: Шитиница, -1982. - с.272.
66. Тагиев, Б.Г. Электрические и фотоэлектрические свойства монокристаллов GaS: Er, Yb / Тагиев Б.Г. , Тагиево.Б. , Абушов С.А. , Эйюбов Г.Ю. // Fizika, -2007. -с.XIII, №4, -с.85-88.
67. Тагиев ,Б.Г. Об анизотропии слоистых полупроводников GaSe и GaTe/ Тагиев Б.Г., Гаджиев А.Р., Мадатов Р.С., Тагиев Т. Б. // Ж.Физика АН Азербайджана, -1997. -т.3, №3,-с.84-87.
68. Фистуль, П.В. Введение в физику полупроводников/ Фистуль П.В. // - Высшая школа. Москва, -1975. - с.296.

69. Халыгзаде, А.Ш. Электрические и фотоэлектрические свойства GaS и GaS:Yb облученного  $\gamma$ - квантами // XVI Курчатовская междисциплинарная молодежная научная школа, Москва, 6-9 ноября -2018. - с.292
70. Эйюбов, Г. Ю. Электрические и люминесцентные свойства монокристаллов GaS, активированных редкоземельными (Er, Yb, Tm) элементами/ Эйюбов Г. Ю. // диссерт., на соискание научной степени доктора философии по физике, -Баку, -2012. - с.172.
71. Abdinov, A. Sh. Temperature dependence of carrier mobility in undoped and gadolinium-doped p-GaSe crystals/ Abdinov A. Sh. , Babaeva R. F. , Rzaev R. M. , Amirova S. I. // Inorganic Materials, -2012. -vol.48, - p.559-562.
72. Abdinov, A. Sh. Electrical conductivity of undoped and rare-earth-doped high-resistivity GaSe crystals / Abdinov A. Sh. , Allakhverdiev Sh. A. , Babaeva R. F. , Rzaev R. M. // Inorganic Materials, -2009. -vol.45, - p.723-727.
73. Abdinov, A.Sh. VAC of high-resistance single crystals of layered compounds  $A^3B^6$  / Abdinov A.Sh., Hasanov Y.G., Mamedov F.I. // FTP, -1982. -vol.6, № 16, - p.993-998.
74. Abdinov , A.Sh. Anomalies of the induced impurity photoconductivity in gallium monoselenide crystals / Abdinov A.Sh., Rzayev R.M., Gasanov Ya.G., Amirova S.I., Ragimova N.A., Babayeva R.F. // Azerbaijan journal of Physics, -2012. vol.XVIII, № 1, - p.25-30 .
75. Aidaev, F. Sh. Spectral-luminescent and electrical properties of thulium-activated gallium sulfide monocrystals / Aidaev F. Sh. // Journal of Applied Spectroscopy, -2002. -vol.69, №4, - p.635-638
76. Akhundov, G. Electroluminescence of GaSe single crystals excited by square pulses / Akhundov G., Aksyanov I., Bagirov A. // Phys. Stat. Sol., -1966. -vol.17, №2, - p.225-227
77. Alencar, R. S. Raman spectroscopy polarization dependence analysis in two-dimensional gallium sulfide / Alencar, R. S., Longuinhas, Rabelo, R. Miranda, C. H. Viana, B. C. Souza Filho, A. G. Cançado, L. G. Jorio, A. and Ribeiro-Soares J. // Physical Review B, -2020. -vol.102, -p.165307-1-10.

78. Al-Orainy R.H. Growth, Characterization and Electrical Anisotropy in Layered Chalcogenide Gallium Monosulphide Single Crystals, Growth, Characterization and Electrical Anisotropy / Al-Orainy R.H. // JKAU: Sci., -2010. -vol.22, №2, - p.3-12.
79. Augelli, V. Resistivity anisotropy in p-type GaSe / Augelli V., Manfredotti C., Murri R. et.al. // II Nuovo Cimento B, -1978. -vol.47, №1, - p.101-103.
80. Bassani, F. Band structure and optical properties graphite and of the layer compounds GaS and GaSe / Bassani F., Parravicini G. Pastori. // II Nuovo Cimento B, -1967. -vol.50, №1, - p.95-128.
81. Bekir Gürbulak Structural characterizations and optical properties of InSe and InSe:Ag semiconductors grown by Bridgman/Stockbarger technique / Bekir Gürbulak , Mehmet Şata, Seydi Dogan, Songul Duman, Afsoun Ashkhasi , E. Fahri Keskenler // Physica E: Low-dimensional Systems and Nanostructures , - 2014. -vol. 64, - p.106-111.
82. Belenki, G. Edge luminescence and light absorption in  $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$  solid solutions at low temperatures / Belenki G., Nani., Salaev E., Suleimanov R. // Phys. Stat.Sol. (a), -1975. -vol.31, №2, - p.707-711.
83. Blasi, C.De. Electrical properties of indium selenide single crystals / Blasi C. De., Micocci G., Rizzo A., Tepore A.// Phys.Rev.B.Condens. Matter, -1983. -vol.27, №4, - p.2429-2434.
84. Caraman, M.Photoelectrical properties of layered GaS single crystals and related structures / Caraman M., Chiriceno V., Leontie L., Rusu I.I. // Material Research Bullutin, -2008. -vol.43, -p.3195-3201.
85. Cezariusz Jastrzebski . Raman scattering studies on very thin layers of gallium sulfide (GaS) as a function of sample thickness and temperature / Cezariusz Jastrzebski , Katarzyna Olkowska, Daniel J Jastrzebski, Michał Wierzbicki, Wojciech Gebicki and Slawomir Podsiadlo, // J J. Phys.: Condens. Matter, - 2019. -vol.31, №7, -p.1-17.
86. Changhyun Jin, Effects of substrate temperature on the evolution of GaS nanostructures and their photoluminescence properties / Changhyun Jin, Hyunsu Kim, Sunghom Park and Chongmi Lee // Journal of Korean Physical Society , -2012. -vol.61, №8, -p.1298-1302.

87. Delice, S. Thermoluminescence in gallium sulfide crystals: an unusual heating rate dependence/ Delice,S., Bulur, E., Gasanly, N.M.// Philosophical magazine, -2015. -vol.95, №9, -p.998-1006.
88. Elena Borisenkoa. Mechanical characteristics of gallium sulfide crystals measured using microand nanoindentation / Elena Borisenkoa, Dmitrii Borisenkoa , Igor Bdikinb , Anna Timoninaa , Budhendra Singhb , Nikolai Kolesnikova // Materials Science & Engineering A, -2019. -vol.757 - p.101–106.
89. Falah I. Mustafa. Effect of indium concentration on the electrical properties of InSe alloy/ Falah I. Mustafa, Shikha Gupta, Goyal N., Tripathi S.K. // Physica B: Condensed Matter, - 2010. -vol.405, Issue 19, - p.4087-4091.
90. Fischer, G. Speculation of the band structure of the layer compounds GaS and GaSe / Fischer G. // Helv.Phys.Soc. Acta., -1963.-vol.36, №3, - p.317-333.
91. Fivaz, R. Electron-phonon interaction in semiconducting layer structures / Fivaz R., Mooser E. // Phys. Rev., -1964. -vol.136, № 3A, - p.833-836.
92. Fivaz R. Mobility of charge carriers in semiconducting layer structures/ Fivaz R., Mooser E. // Phys. Rev., -1967. -vol.163, № 3, - p.743-755.
93. Gamal, G.A. Photoelectric studies of gallium monosulfide single crystals / Gamal G.A., Azad M.I. // Journal of Physics and Chemistry of Solids, -2005. -vol. 66, - p.5-10.
94. Garibov, A. A. Structural and Optical Properties of GaS Single Crystals Irradiated by Hydrogen/ Garibov A. A., Madatov R. S., Mustafayev Y. M., Ahmadov F. İ., Ahmadov Q, Jahangirov M. M. // Journal of Electronic Materials, -2015. -vol.44, №10, -p. 3375-3379
95. Gasanly, N.M. , Temperature dependence of the first-order Raman scattering in GaS layered crystals / N.M. Gasanly,A.Aydınlı, H.Özkan,C.Kocabaş // Solid State Communication, -2000. -vol.116, -p.147-151.
96. Guler, I. Characteristic features of thermoluminescence in neodymium-doped gallium sulfide / Guler, I, Isik, M., Ahmedova, F., Guseinov, A., Gasanly N. // The journal of Biological and Chemical Luminescence, -2018. -vol.33, -p.759-763.

97. Harrison, W.A. Bond-orbital model and the properties of tetrahedrally coordinated solids / Harrison W.A. // *Phys.Rev.B*, -1973. -vol.8, №10, - p.4487-4498.
98. Ho, C . H.Optical properties of the interband transitions of layered gallium sulfide / Ho C . H., Lin S. L. // *Journal of Applied Physics*, -2006. -vol.100, 083508-1-6
99. Hüseyin Ertapa . Structural and electrical properties of boron doped InSe single crystals/ Hüseyin Ertapa , Mevlut Karabulut, // *Materials Research Express*, -2018. -vol.6, №3, -p 1-24.
100. Hui Chen, Intrinsic defects in gallium sulfide monolayer: a first-principles study/ Hui Chen, Yan Li, Le Huang and Jingbo Li // *RSC Advances*, -2015.-vol.5, -p.50883-50889.
101. Isik, M. Interband transitions in gallium sulfide layered single crystals by ellipsometry measurements / Isik M. , Gasanly N.M. , R. Turan // *Physica B*, -2013. -vol.408, -p.43-450.
102. Isik, M.,Optical properties of GaS crystals: Combined study of temperature-dependent band gap energy and oscillator parameters / Isik, M., Tugay, E., Gasanly, N // *Indian Journal of Pure and Applied Physics*, -2017. -vol.55, -p.583-588.
103. Joonki, Suh Point Defects in Two-Dimensional Layered Semiconductors: Physics and Its Applications / Joonki Suh, Junqiao Wu // *Materials Science and Engineering*, -2015, -p.1-116.
104. Kamimura, H.Band structures and optical properties of semiconducting layer compounds GaS and GaSe / Kamimura H., Nakao K. // *J.Phys. Soc.Jpn.*, -1968. -vol.24, №26, -p.1313-1325.
105. Kai Xu. Synthesis, properties and applications of 2D layered MIIIXVI (M = Ga, In; X = S, Se, Te) materials / Kai Xu, Lei Yin, Yun Huang, Tofik Ahmed Shifa, Junwei Chu, Feng Wang, Ruiqing Cheng, Zhenxing Wang and Jun He // *Nanoscale*, -2016. -vol.8, -p.16802-16818

106. Kepinska, M. Temperature Dependence of Optical Parameters of Gallium Sulphide / Kepinska M., Nowak M., Szalajko M. // Journal of Wide Bandgap Materials, -2001. -vol.8, №.3-4, -p.241-249.
107. Khaligzadeh A.Sh., Features of photoelectric of GaS monocrystal with doped rare earth elements (Yb, Sm) // XXI International Youth Scientific School, Kazan , 23-28 September 2019. - s.182.
108. Khaligzadeh, A.Sh. The effect of  $\gamma$ -irradiation on the electrophysical properties of GaS monocrystal doped with Yb and Sm / Khaligzadeh A.Sh. // Journal of Radiation Researches, -2019. -vol.6, №2, -s.60-64.
109. Kipperman, A. Thermoelectric-power measurements on gallium sulphide single crystals / Kipperman A., Sliepenbeek T. // II Nuovo Cimento B, -1969. - vol.63, №1, -p.36-40.
110. Kipperman, A. Hall effects measurements on gallium-sulfide single crystals / Kipperman A., Vermis C. // II Nuovo Cimento B, -1969. -vol.63, №1, - p.29-35.
111. Kokh, K. A. Growth of GaSe and GaS single crystals/ K. A. Kokh, Yu. M. Andreev, V. A. Svetlichnyi, G. V. Lanskii, A.E. Kokh // Crystal research and technology, -2011. -vol.46, -p.327-330.
112. Krishna C. Mandal. Characterization of Gallium Telluride Crystals Grown from Graphite Crucible/ Krishna C. Mandal, Timothy Hayes , Peter G. Muzykov, Ramesh Krishna, Sandip Das , Tangali S. Sudarshan and Shuguo Ma, //Hard X-Ray, Gamma-Ray, and Neutron Detector Physics XII, -2010. -vol.7805, - p.1-10.
113. Qasrawi, A. F. Structural, compositional and optical properties of gallium selenide thin films doped with cadmium/ Qasrawi A. F., Saleh A.A. // Cryst. Res. Technol., -2008. -vol.43, №7, - p.769 – 772.
114. Lashkarev V. Ye. Nonequilibrium Processes in Semiconductors/ Lashkarev V. Ye., Lyubchenko A. V., and M. K. Sheynkman // - Naukova Dumka, Kiyev, -1981. – p.264.

115. Lee, W-S. Optical properties of GaSe: Er<sup>3+</sup> single crystals / Lee W-S., Kim N.-O., Kim B.-I. // J. Mat. Science Lett., -1996. -vol. 15, -p.1644-1645.
116. Lieth, R. A model for n-type and p-type gallium sulphide / Lieth R., Van der Maesen F. // Phys. Stat. Sol.(a), -1972. -vol.10, №1, -p.73-81.
117. Madatov, R. S. The effect of  $\gamma$ -irradiation on the volt-ampere characteristics (VAC) of GaS monocrystal doped with Yb / Madatov R. S., Tagiev T. B., Khaliqzadeh A. Sh. // Journal of Radiation Researches, -2021. -vol.8, №2, -s.60-64.
118. Madatov, R. S. Electrophysical properties of GaS and GaS <Yb> 0.1 % monocrystals with irradiated gamma rays / Madatov R. S., Tagiev T. B., Khaliqzadeh A. Sh. // Курчатов,, Republic of Kazakhstan, 11-13 September, -2018. -p.162.
119. Madatov, R. S. Features of photoelectric and electrical conductivity of GaS monocrystal with doped rare earth elements ( Yb, Sm) / Madatov R. S., Tagiev T. B., Khaliqzadeh A. Sh. // International Conference «Nuclear and radiation physics», г. Курчатов,, Republic of Kazakhstan, 24-27 June, -2019. - s.61-62.
120. Madatov, R. S. Photoluminescence of undoped and Yb-doped GaS single crystals irradiated with  $\gamma$ -quanta / Madatov R. S., Tagiev T. B., Khaliqzadeh A. Sh. // Problems of atomic science and technology, -2021. -vol.135, №5, -p.42-43.
121. Madatov, R.S. Characteristics of the effect of radiation defects on the current-carrying mechanism in the p-CuTlS single crystal / Madatov R.S., Mamishova R.M., Bakishova K.Z., Faradjova U.F., Baylarov G.B. // Journal of Radiation Researches, -2020. -vol.7, №2, -p.19-27.
122. Madatov, R.S. The mechanism of a current passing in TlInSe monocrystals in strong fields / Madatov R.S., Nadzhafov A.I., Tagiev T.B., Gazanfarov M.R. // Surface Engineering and Applied Electrochemistry, 2011. -vol.46, №5, -p.497-500.
123. Madatov, R.S. Effect of ionizing irradiation on the mechanism of a current passing in TlInSe single crystals / Madatov R.S., Nadzhafov A.I., Tagiev T.B., Gazanfarov M.R., M. A. Mekhrabova // Physics of the Solid State. -2011. -vol.53, №11, -p.2205-2209.

124. Madatov, R.S. Injection currents in lamellar crystals of gallium telluride / Madatov R.S., Tagiyev T.B., Gabulov I.A., Abbasova T.M. // *Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics*, -2003. -vol.6, №3, - p.278-281.
125. Madatov, R.S. Electronic processes occurring in GaS<Yb> 0,1at% monocrystal with irradiated high-energy rays / Madatov R.S., Tagiyev T.B., Khaliqzadeh A.Sh. // LXVIII International Conference «Nucleus 2018» Fundamental Problems of Nuclear Physics, Atomic Power Engineering and Nuclear Technologies .Dedicated to the Centennial of Voronezh State University and to the 80th anniversary of the birth of k. A. Gridnev , Voronezh, Russia, 2 – 6 July, -2018.- p.196.
126. Madatov Rahim . Features of electrical and photoelectric properties of GaS(Yb) monocrystals / Madatov Rahim, Najafov Arzu, Alakbarov Aydin, Tagiev Teymur, Khaliqzadeh Aydan // *A Journal of Physical Sciences*, -2019. -vol.74, Issue 9, -p.1-5.
127. Mane, R.S., Studies on structural, optical and electrical properties of indium sulfide thin films/ Mane, R.S., Lokhande, C.D// *Materials Chemistry and Physics* // -2002. -vol.78, №1, -p.15-17.
128. Manfredotti, C. Hall effect in n-type GaS / Manfredotti C., Murri R., Rizzo A., Vasanelli L. // *Sol.Stat.Commun.*, -1976. -vol.19, №4, -p.339-342.
129. Manjo'n ,F. . J. Neutron irradiation defects in gallium sulfide: Optical absorption measurements/ Manjo'n F. . J., Segura A., and Mun V. ~ // *J. Appl. Phys.*, -1997. -vol. 81, №10, -p.6651-6656.
130. Masanori Ohyama. Growth, Optical and Structural Characterization of Layered GaS films Prepared By Reactive RF Sputtering Method / Masanori Ohyama, Hiroshi Ito and Takeuchi // *Japanese Journal of Applied Physics*, -2005. -vol. 44, №7A, -p. 4780-4783.
131. Masaru Nakamura. Growth and characterization of a gallium monosulfide (GaS) single crystal using the Bridgman method/Masaru Nakamura, Hiroaki Nakamura, Kiyashi Shimamura, Naoki Ohashi// *Journal of Crystal Growth*, -2021. -vol.573, -p.126303.1-7.

132. Milnes, A. G. Deep impurities in semiconductors, / Milnes, A. G.// - Moscow: peace, -1977. -p.562.
133. Patil, S. Tredgold R. Hopping conduction in gallium sulfide single crystals / Patil S. // J. Physics C:Sol. St.Phys., 1971. -vol.4, №.18, -p.3199-3204.
134. Rahim Madatov. The features of current transmission in layered GaS(Yb) single crystals upon irradiation with  $\gamma$ -quanta / Rahim Madatov, Teymur Tagiev, Aydan Khaliqzadeh // International Journal in Physical and Applied Sciences, -2018. - vol.3, №5, -p.11-17 .
135. Savitskiy, P. I Annealing Effect on Conductivity Anisotropy in Indium Selenide Single Crystals / Savitskiy P. I., Mintyanskiy I. V., and Kovalw Z. D. // Physics status solids, (a), -1996. -vol.155, №.2, -p.451-460.
136. Schlüter, Ph. The electronic structure of GaSe / Schlüter Ph. // II Nuovo Cimento B, -1973. -vol.13, №2, -p.313-363.
137. Shigetomi, S. Electrical and optical properties of n- and p- InSe with Sn and As / Shigetomi, S., Ikari T. // Journal of Applied Physics // -2003. -vol.93, №4, - p.2301-2303.
138. Shurooq Sabah Abed Al- Abbasa. Tunable optical and electronic properties of gallium telluride monolayer for photovoltaic absorbers and ultraviolet detectors / Shurooq Sabah Abed Al- Abbasa , Musa Kadhim Muhsinb , Hamad Rahman Jappora // Chemical Physics Letters , -2018. -vol.713, -p.46-51.
139. Tomoyoshi Aono. Near-blue photoluminescence of Zn-doped GaS single crystals / Tomoyoshi Aono, Kunio Kase, Akira Kinoshita // J. Appt. Phys, -1993. - vol.74, №.4, -p.2818-2820.
140. [www.originlab.com/index.aspx?go=Company/NewsAndEvents/PressRoom&pid=1720](http://www.originlab.com/index.aspx?go=Company/NewsAndEvents/PressRoom&pid=1720).
141. Yael Gutiérrez, Exploring the Thickness-Dependence of the Properties of Layered Gallium Sulfide / Yael Gutiérrez, Maria M. Giangregorio, Stefano Dicorato, Fabio Palumbo and Maria Losurdo // Women in Analytical Chemistry, - 2021, -vol.6, -p. 1-8.

142. Yu-Kuei Hsu. Electrical properties of GaSe doped with Er / Yu-Kuei Hsu, Chen-Shiung Chang, Wen-Chang Huang // JOURNAL OF APPLIED PHYSICS, - 2004. -vol.96, №.3, -p.1563-1567.
143. Zaslonskiy, A. V. Electrical Properties of Hydrogenated InSe Crystals / Zaslonskiy A. V., Kaminskii V. M., Kovalyuk Z. D., Mintyanskiy I. V., and Tovarnitskiy M. V. // Inorganic Materials, -2006. -vol. 42, №. 12, -p.1308–1310.
144. Zhangxian Chen, Geometrical structures and electronic and transport properties of a novel two-dimensional B-GaS transparent conductor / Zhangxian Chen, Liang Huang, Yongjie Xi, Ran Li, Wanchao Li, Guoqin Xu and Hansong Cheng // Nano research//, -2015. -vol.8, №.10, -p.3177-3185.
145. Zieth, R.M. Model for n-type Gallium Sulphide / Zieth R.M. and Van der Maesson F.A. // Physics State Solid (a) , - 1972. -vol.10, - p.73-81.
146. Zoloymi, V., Band structure and optical transitions in atomic layers of hexagonal gallium chalcogenides/ Zoloymi, V., Drummond N.D., Falko V.I. // Physical review B // -2013. -vol.87, -p.195403-1-6.

## QISALTMALARIN SİYAHISI VƏ ŞƏRTİ İŞARƏLƏR

VAX	- volt- amper xarakteristikası
EHQ	-elektrik hərəkət qüvvəsi
NTE	- nadir torpaq elementləri
XRD	- Rentgen difraksiyası
SEM	- Skanedici elektron mikroskopu
$\Theta$	- tutma faktoru
$\epsilon$	- dielektrik nüfuzluluğu
$n$	- sərbəst elektronların konsentrasiyası
$n_t$	- tutulmuş elektronların konsentrasiyası
$N_v$	- valent zonasının hal sıxlığı
$E_t$	- tələlərin dərinliyi
$N_t$	- tələlərin konsentrasiyası
$\gamma$	- nisbi statistik dielektrik nüfuzluğu
$\alpha$	- qəfəs sabiti
$\lambda$	- dalğa uzunluğu
$N(n,p)$	- yükdaşıyıcıların konsentrasiyası
$\mu$	- yükdaşıyıcıların yürüklüyü
$\text{Å}$	- anqstrem
$\sigma$	- elektrik keçiriciliyi
$L$	- nümunənin qalınlığı
$U_\sigma$	- kontaklar arasındakı gərginlik düşgüsü
$T$	- mütləq temperatur
$e$	- elektronun yükü
$E_g$	- qadağan olunmuş zolağın eni
$D_\gamma$	- qamma şüalanmanın dozası
$I_f$	- fotocərəyan
$m^*$	- effektiv kütlə

$T$  - mütləq temperatur  
 $t$  - yaşama müddəti  
 $\rho$  - xüsusi müqavimət