

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI**

*Əlyazma hüququnda*

**QAMMA KVANTLARLA ŞÜALANDIRILMIŞ LAYLI GaS VƏ GaS:Yb  
MONOKRİSTALLARINDA SƏTH PROSESLƏRİ**

İxtisas: 2225.01 – “Radiasiya materialşünaslığı”

Elm Sahəsi: Fizika

Fəlsəfə doktoru

elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş

**D İ S S E R T A S İ Y A**

İddiaçı: \_\_\_\_\_ **Fərqan Qabil oğlu Əsədov**

Elmi rəhbərlər: \_\_\_\_\_ **k.e.d., dos. Arzu İslam oğlu Nəcəfov**

\_\_\_\_\_ **f.e.d., dos. Nüşabə Nübarək qızı Hacıyeva**

**Bakı – 2021**

## Mündəricat

	Səh.
<b>GİRİŞ</b> .....	<b>4</b>
<b>I FƏSİL. LAYLI YARIMKEÇİRİCİLƏRDƏ SƏTH EFFEKTİLƏRİNƏ DAİR (GaS, GaSe, InS, GaTe) ƏDƏBİYYAT İCMALI</b> .....	<b>18</b>
1.1. Laylı yarımkeçiricilərin quruluşu və fiziki xassələri.....	18
1.2. $A^{III}B^{VI}$ monokristallarının optik xassələri.....	26
1.3. $A^{III}B^{VI}$ monokristallarının elektrik xassələri.....	29
1.4. $A^{III}B^{VI}$ laylı yarımkeçiricilərin monokristallarında radiasiya effektləri.....	38
1.5. GaS və GaS:Yb monokristallarında səth effektinin öyrənilməsinə dair materialın əsaslandırılması.....	44
<b>II FƏSİL. GaS VƏ GaS:Yb MONOKRİSTALLARININ ALINMASI VƏ TƏDQIQAT METODLARI</b> .....	<b>48</b>
2.1. GaS və GaS:Yb monokristallarının yetişdirilməsi.....	48
2.2. GaS kristallarının qamma-kvantlarla şüalanma üsulu.....	53
2.3. Furiye- İQ və Furiye-Raman spektroskopiya metodları.....	54
2.4. Rentgen struktur analiz metodu. GaS və GaS:Yb kristallarının struktur analizi.....	56
2.5. Elektrik keçiriciliyinin ölçmə metodu.....	58
2.6. Termoluminessensiya metodu ilə parametrlərin təyini üsulları.....	66
2.7. Fotokeçiriciliyin ölçülmə metoduşş.....	68
2.8. Parametrlərin təyininin xətası.....	69
<b>III FƏSİL. GaS və GaS:Yb LAYLI KRİSTALLARINDA SƏTH DEFEKTLƏRİNİN RADİASIYA DEFEKTLƏRİ İLƏ QARŞILIQLI TƏSİRİNİN TƏDQIQI</b> .....	<b>72</b>
3.1. GaS laylı kristalında məxsusi fotokeçiriliyə xarici təsirlərin xüsusiyyətləri.....	72
3.2. Qamma kvantlarla şüalanmış GaS və GaS:Yb kristallarının udulma oblastında fotokeçiriciliyin araşdırılması.....	83

3.3. Qamma kvantlarla şüalandırılmış GaS və GaS:Yb kristallarında termik dəmləmənin udulma zolağında fotohəssaslığa təsiri.....	95
3.4. Əvvəlcədən termik dəmlənmiş və qamma kvantlarla şüalandırılmış GaS və GaS:Yb kristallarında udulma zolağında fotokeçiriciliyin araşdırılması.....	101
3.5. GaS və GaS:Yb laylı monokristallarında termolüminessensiya xassələrinə qamma-kvantların təsiri.....	106
<b>IV Fəsil. QAMMA KVANTLARLA ŞÜALANMIŞ VƏ TERMİK DƏMLƏNMİŞ LAYLI GaS və GaS:Yb MONOKRISTALLARININ SƏTHİNİN SPEKTROSKOPIK VƏ MIKROSKOPIK METODLARLA TƏDQIQI.....</b>	<b>115</b>
4.1. Qamma kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səthinin Furiye-İQ spektroskopiyaya metodu ilə tədqiqi.....	116
4.2. Qamma kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səthinin Furiye- Raman spektroskopiyaya metodu ilə tədqiqi.....	121
4.3. Qamma kvantlarla şüalanma və termik dəmləmənin GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səthinə təsirinin İQ-əksolunma spektrləri vasitəsilə öyrənilməsi. Optik xassələr.....	128
4.4. Qamma kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səth relyefinin AQM-mikroskopiyaya metodu ilə tədqiqi.....	137
<b>NƏTİCƏ.....</b>	<b>145</b>
<b>DİSSERTASIYANIN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ AŞAĞIDAKI NƏŞRLƏRDƏ DƏRC OLUNMUŞDUR.....</b>	<b>147</b>
<b>İSTİFADƏ EDİLMİŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI .....</b>	<b>151</b>
<b>İXTİSARLARIN VƏ ŞƏRTİ İŞARƏLƏRİN SİYAHISI.....</b>	<b>168</b>

## Giriş

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi:** Radiasiya materialşünaslığının qarşısında qoyulan problemlərdən biri də materialların radiasiya şüalarına qarşı davamlılığının artırılması və xassələrinin məqsədyönlü idarə edilmə üsullarının işlənməsidir. Bu məqsədlə müxtəlif texnoloji üsullardan istifadə edilməsinə baxmayaraq, materialların xassələrinin idarə edilmə üsulunun işlənməsi üçün texnoloji üsulların vahid elmi əsası yaradılmamışdır.

Mikroelektronikada, fotoelektronikada və optoelektronikada Si, GaAs və s. materiallarından geniş istifadə edilir və onların radiasiya şüalarına qarşı davamlılığının artırılması məqsədilə Li və C kimi yüksək yürüklüyə malik atomlardan aşqar kimi istifadə edilir. Ancaq aşqar atomların konsentrasiyası maddədə onun həllolma dərəcəsindən asılı olduğundan defektlərin konsentrasiyası qismən kompensasiya edilir. Bu isə materialların davamlılığını geniş şüalanma intervalında idarə etməyə imkan vermir. Ona görə də, materialların xassələrinin idarə edilməsinin yeni üsullarının işlənməsi zərurəti yaranır. Hazırda cihazqayırma sənayesində istifadə edilən üsullardan biri də radiasiya-texnologiyasıdır. Bu üsul yüksək effektivliyə malik fotoqəbuledicilərin, günəş elementlərinin və kvant çuxurlarının hazırlanmasında tətbiq edilir. Radiasiya ilə aşqarlama üsulundan yarımkeçirici materialların modifikasiya edilməsində, xüsusən Si və GaAs yarımkeçirici materiallarının xassələrinin məqsədyönlü idarə edilməsi prosesində də geniş istifadə edilir. Tətbiq edilən radiasiya aşqarlama modeli qeyd olunan materialların emalı üçün əlverişli olsa da, laylı və zəncirvari quruluşa malik defektli yarımkeçiricilər üçün müəyyən çətinliklər yaradır. Belə ki, laylı yarımkeçiricilərin səthyanı oblastunda yaranan quruluş defektləri həcmi defektlərə nisbətən daha mürəkkəb xarakterə malikdirlər. Səth defektlərinin absorbsiya, desorbsiya xüsusiyyətləri xarici amillərdən, xüsusən ionlaşdırıcı şüalardan, temperaturdan və elektrik sahəsindən asılı olduğundan onların səth keçiriciliyinə birgə təsirini öyrənilməsi praktiki və elmi cəhətdən əhəmiyyət kəsb edir. Məlumdur ki, yarımkeçirici materiallar əsasında hazırlanan fotoqəbuledicilərin, günəş elementlərinin və fotorezistorların həssaslığının

spektrin görünən və ultrabənövşəyi oblastında idarə edilməsi optoelektron sistemlərinin yaradılmasında xüsusi əhəmiyyətə malikdir. Ancaq materialların səthyanı oblastında mövcud olan defektlərin rekombinasiya mərkəzi rolunu oynaması yükdaşıyıcıların rekombinasiya sürətini artırır. Yükdaşıyıcıların səth rekombinasiya sürətinin qiyməti isə yarımkeçirici materialın quruluşundan, defektlərin qarşılıqlı təsirindən və xarici amillərdən (radiasiya şüalarından, temperaturdan, elektromaqnit sahəsindən) asılı olduğundan laylı və zəncirvari quruluşa malik kristallarda səth effektlərinin idarə edilmə üsulunun işlənilməsi yeni xüsusiyyətli fotocihazların hazırlanmasına imkan verə bilər.

Bu məqsədlə  $A^{III}B^{VI}$  birləşmələrinin nümayəndəsi olan GaS monokristalı tədqiqat obyektı olaraq seçilmişdir. GaS monokristalında komponent elementlərinin lay daxilində yerləşməsi S-Ga-Ga-S qaydasına tabe olur; laylar arasında isə zəif Van-der-Vaals əlaqəsi mövcuddur. Bu səbəbdən laylı kristallar, o cümlədən GaS monokristallarında atomlararası rabitə anizotropik xüsusiyyətə malikdir. GaS monokristallarının elektrik, fotoelektrik və optik xassələrinin [25, s.20-22] geniş tədqiq olunmasına baxmayaraq onlarda cərəyanın keçmə mexanizminə səth defektlərinin və radiasiya defektlərinin, eyni zamanda onların birgə təsirinin xüsusiyyətləri tədqiq edilməmişdir. [10, s.137-139]-işindən məlumdur ki, laylı kristallarda səthyanı oblastda rabitəsi qırılan atomlar olmadığından, bu kristallar xarici təsirlərə qarşı yüksək davamlığa malikdir. Bu səbəbdən laylı kristallarda səthyanı oblastda atomların nizamlı düzülüşü müəyyən edilmiş və səthinin mexaniki və kimyəvi emala ehtiyacı olmadığı göstərilmişdir. Ancaq laylı kristallar əsasında hazırlanan heterostrukturların [15, s.101-117], Şotki diodlarının VAX-nın təhlili göstərir ki, diod əmsalının yüksək olması ( $n \approx 2,5-4$ ) real kristallarda səth defektlərinin konsentrasiyasının yüksək olması ilə əlaqədardır. Bu isə həmin strukturlar əsasında hazırlanan fotoqəbuledicilərin həssaslığının spektrin ultrabənövşəyi və görünən oblastlarda aşağı olmasına səbəb olur. [62, s.2432-2433]-işində göstərilirdiyi kimi, yarımkeçirici materiallar əsasında hazırlanan fotoqəbuledicilərin udulma zolağında fəthəssaslığı, materialın alınma texnologiyasından, səthin emalından və morfologiyasından asılıdır. Qeyd olunan

xüsusiyyətləri nəzərə almaqla materialların səthyanı oblastında baş verən proseslər qismən nəzərə alınmaqla laylı monokristallarda (InSe, GaSe) öyrənilsə də, GaS və onun aşqarlanmış GaS:Yb monokristallarında öyrənilməmişdir. GaS monokristalları geniş qadağan olunmuş zonaya (2,53eV, T=300K) malik olub, spektrin görünən oblastında yüksək fətohəssaslığa malikdir (0,4÷0,7 mkm) [60, s.11-17]. Aşqar atomlarının (Er,Yb) daxil edilməsi ilə onun spektral həssaslıq oblastını idarə etmək mümkündür[13, s.10-15]. Digər laylı kristallarda olduğu kimi, GaS kristallarında da defektlərin konsentrasiyası  $\sim 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ -ə bərabərdir.

Defektlərin konsentrasiyasını tənzimləməklə (temperatur, ionlaşdırıcı şüalar, elektrik sahəsi, aşqarlama və s.) kristalların fotoelektrik, elektrik və optik xassələrinin modifikasiya edilməsi haqqında müəyyən təkliflər olsa da, baş verən proseslərin elmi əsasları tam verilməmişdir. Göstərilmişdir ki, GaS monokristalında qamma-kvantların təsiri ilə yaranan sadə defektlər, struktur və aşqar defektləri ilə qarşılıqlı təsire girərək neytral komplekslər yaradır. Kation atomlarının iştirakı ilə yaranan belə komplekslər şüalanmanın aşağı dozalarında kristalların keçiriciliyini azaldır, yüksək şüalanma dozalarında isə artırır [21, s.101-129]. Şüalanma zamanı yaranan defektlər kristalın həcmi boyunca bərabər paylandığından onların kristalın səthində baş verən proseslərə təsiri nəzərə alınmır. Bu isə, məsələn, kristalın qısa dalğa oblastında fətohəssaslığının azalma səbəblərini müəyyən etməyə imkan vermir. Odur ki, laylı kristalların səthyanı oblastında baş verən prosesləri idarə etmək üçün defektlərin təbiətini, onların aşqar atomları və digər təsirlərdən yaranan defektlərlə qarşılıqlı təsirini, eyni zamanda xarici təsirlərin rolunu nəzərə almaq lazımdır. Qeyd olunan proseslərin baş verməsinin fiziki mexanizminin yaradılması laylı kristallar əsasında yeni xüsusiyyətli diod strukturlarının yaradılmasına kömək edə bilər.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri:** Laylı GaS və GaS:Yb monokristallarının səthyanı oblastında qamma-kvantların təsiri ilə yaranan radiasiya defektlərinin struktur defektləri və aşqar atomları ilə qarşılıqlı təsir xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi və səth defektlərinin emal edilmə üsullarının işlənilməsidir.

**Tədqiqat metodları:** Tədqiqat metodları istifadə olunan metodlardır: Rentgendifraksiya metodu, fotokeçiricilik, infraqırmızı spektroskopiya, elektron mikroskopiya və s.

Məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər icra edilmişdir.

- GaS və GaS:Yb monokristallarının yetişdirilməsi, onların kristal quruluşunu, qəfəs parametrlərini təyin etmək;
- GaS və GaS:Yb monokristallarının quruluşuna və qəfəs parametrlərinə qamma-kvantların və termik dəmləmənin təsirini öyrənmək;
- GaS və GaS:Yb monokristallarında udulma zolağında fotokeçiriciliyə elektrik sahəsinin təsirini şüalanmadan əvvəl və sonra tədqiq etmək;
- İQ Furiye spektrlərinin tədqiqi vasitəsi ilə GaS və GaS:Yb monokristallarında səthyanı oblastda atomlar arasındakı qarşılıqlı təsire qamma-kvantların və termik dəmləmənin təsirini müəyyən etmək;
- GaS və GaS:Yb monokristallarının səth morfolojiyasına qamma-kvantların və temperaturun təsirini atom güc (qüvvə)-mikroskopu (AQM) vasitəsi ilə müəyyən etmək.

**Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar:**

- GaS monokristallarının udulma zolağında müşahidə olunan fəthəssaslığa səthyanı struktur defektlərinin, radiasiya defektlərinin və xarici elektrik sahəsinin təsir xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi;
- GaS:Yb monokristallarının udulma zolağında müşahidə olunan fəthəssaslığa səthyanı struktur defektlərinin, radiasiya defektlərinin və xarici elektrik sahəsinin təsir xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi;
- GaS və GaS:Yb monokristallarında səthyanı oblastda atomlar arasındakı qarşılıqlı təsirin təbiətinə (səth morfolojiyasına) radiasiya defektlərinin və termik dəmləmə prosesinin təsirinin İQ spektroskopiya və atom güc (qüvvə)-mikroskopu (AQM) tədqiqat üsulları ilə müəyyən edilməsi.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi:**

- İlk dəfə təmiz və aşqarlanmış GaS monokristalında səth defektlərinin təbiəti və konsentrasiyası ilə udulma zolağında müşahidə olunan fotohəssaslıq arasında korrelyasiya müəyyən edilmişdir.
- İlk dəfə laylı GaS monokristalının səthyanı oblastında hündürlüyü 30÷40 nm və periodikliyi 16 nm olan qeyri-hamar konusvari səthlərin həndəsi ölçüləri və periodikliyinə şüalanma dozəsindən və aşqarlanma səviyyəsindən asılılıq mexanizmi müəyyən edilmişdir.
- İlk dəfə müəyyən edilmişdir ki, GaS monokristalında  $D_\gamma < 40$  krad şüalanma dozalarında struktur və radiasiya defektləri arasında qarşılıqlı təsir zəif olduğundan məxsusi fotokeçiricilikdə, laylararası və laydaxili rəqsləri xarakterizə edən udulma zolağında dəyişikliklər müşahidə edilmir.
- İlk dəfə müəyyən edilmişdir ki, GaS və GaS:Yb monokristallarında şüalanma dozasının  $40 < D_\gamma < 200$  krad intervalında struktur və radiasiya defektlərinin qarşılıqlı təsirinin artması defektlərin yenidən paylanması səbəbindən udulma zolağında fotohəssaslığın artması və laylararası rəqslərin zəifləməsi müşahidə olunur.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** Dissertasiya işinin elmi əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki, ilk dəfə laylı kristallarda səth defektlərinin elektrofiziki, fotoelektrik və optik xassələrinə qamma-kvantlarla təsirinin qanuna uyğunluqları müəyyən edilmişdir. Alınmış nəticələrdə səth effektləri ilə fiziki xassələr arasında korrelyasiyanın mövcudluğu göstərilir. Bu işə laylı kristallar əsasında müxtəlif tipli fotoqəbuledicilərin, diodların və optoelektron cihazların hazırlanması zamanı istifadə oluna bilər. Digər maraqlı cəhəti ondan ibarətdir ki, tədqiqat zamanı alınmış nəticələr laylı kristalların xassələrini radiasiya-texnoloji emal etməyin mümkünlüyünü sübut edir və alınmış nəticələrdən diod strukturlarının hazırlanmasında istifadə edilə bilər.

**Aprobasiyası və tətbiqi.** Dissertasiyanın əsas nəticələri Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 91-ci ildönümünə həsr olunmuş "Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı (Bakı, Azərbaycan-2014), "The Seventh Eurasian Conference Nuclear Science and its Application" (Baku-Azerbaijan, 2014), "BDU-nun 95 illik yubleyinə həsr olunmuş fizikanın müasir



problemləri VIII Respublika Konfransı” (Bakı-Azərbaycan), “Azərbaycan xalqının Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 92-ci ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların III Beynəlxalq Elmi Konfransı” (Bakı, Azərbaycan-2015), “Academic Science Week-2015 International Multidisciplinary Forum” (Baku, Azerbaijan-2015) XXIII международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов», Москва Секция «Физика» (Москва-2016), "International Youth forum Integration Processes of the World Science in the 21st Century" (Ganja Azerbaijan, 2016), Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 94-cü ildönümünə həsr olunmuş "Gənc Tədqiqatçıların I Beynəlxalq Elmi Konfransı (Bakı, Azərbaycan-2017), 11<sup>th</sup> International Conference "Nuclear and radiation physics", (Almaty, Kazakhstan-2017), "Третьего междисциплинарного молодежного научного форума с международным участием "Новые материалы" (Москва-2017), “II international scientific conference of young researchers” (Baku, Azerbaijan-2018) Akademik H.B. Abdullayevin 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans və məktəb (Bakı,Azərbaycan-2018) konfrans və simpoziumlarında məruzə edilmişdir.

Dissertasiya işi 2014-2018-ci illərdə AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

**Nəşrlər.** Tədqiqat işinin nəticələri xarici, respublika elmi jurnallarında və konfrans materiallarında çap olunmuş 25 (13 məqalə, 12 tezis) elmi əsərlərdə öz əksini tapmışdır.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı.** Dissertasiya işi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Yarımkəçiricilərin radiasiya fizikası” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Təqdim olunan dissertasiyada elmi istiqamətin seçilməsində və dissertasiya işində qarşıya qoyulmuş əsas məsələlərin təyin edilməsində müəllifin iştirakı həlledici olmuşdur. Birləşmələrin sintezində və monokristalların göyərdilməsində, nümunələrin hazırlanmasında, eksperimentlərin aparılmasında, publikasiyaların hazırlanmasında və dərc edilməsində əsas rol oynamışdır. Alınmış təcrübi məlumatlar

müəllif tərəfindən xüsusi proqramlar vasitəsilə analiz edilmiş, elmi nəticələr müəyyənləşdirilmiş və əsas nəticələr konfranslarda məruzə edilmişdir.

**Dissertasiyanın strukturu və həcmi.** Dissertasiya işi girişdən, 4 fəsildən, nəticələrdən və istinad edilmiş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İş 168 səhifədə şərh olunmuşdur. İşdə 48 şəkil, 5 cədvəl vardır. İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısına 156 adda iş, o cümlədən müəllifin şəxsi elmi əsərləri daxildir. Dissertasiya 245321 simvoldan ibarətdir.

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

**Birinci fəsil**də laylı yarımkeçiricilərin quruluşu, xüsusiyyətləri və elektrofiziki xassələri haqqında qısa məlumatlar verilmişdir. Eyni zamanda onların həcmi kristallardan fərqli xüsusiyyətləri araşdırılmış və laylı kristalların praktikada tətbiq olunma sahələri haqqında təkliflər verilmişdir. Qeyd olunan xüsusiyyətləri nəzərə almaqla, laylı monokristalların xassələrini məqsədə uyğun idarə etmək məqsədi ilə tətbiq edilən radiasiya texnologiya üsulunun məlum nəticələri əsasında dissertasiya işinin mövzusu və qarşıya qoyulan məsələlər müəyyən edilmişdir.

Dissertasiya işinin **II fəsil**də laylı monokristalların yetişdirilmə və aşqarlama texnologiyası haqqında məlumatlar verilmişdir. Bircins GaS monokristalları ərintinin istiqamətlənmiş kristallaşdırılması üsulu ilə yetişdirilmiş və p-tip keçiriciliyə malik olan kristalda sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası  $\sim 1 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-3}$  olmuşdur. GaS monokristalının yetişdirilməsi zamanı kükürd vakansiyalarının konsentrasiyasını mümkün qədər azaltmaq məqsədilə stexiometrik miqdardan əlavə kükürddən (1,5 at.%) istifadə edilmişdir. Alınmış nümunələrin xüsusi müqaviməti otaq temperaturunda  $c$  oxu istiqamətində və ona perpendikulyar istiqamətdə uyğun olaraq  $2 \cdot 10^9$  və  $3 \cdot 10^7 \text{ Om} \cdot \text{sm}$  təşkil edir. Kristalın yetişdirilməsi zamanı Yb-nin konsentrasiyası  $N_{\text{Yb}} \sim 7 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$  (0,1 at.%) təşkil etmişdir. Aşqarlanmamış və aşqarlanmış kristallarda omik kontakt kimi gümüş pastasından və indiumdan istifadə olunmuşdur.

Alınmış bircins monokristalların monokristallıq dərəcəsinə müəyyən etmək məqsədi ilə mikrostruktur və rentgenfaza analizləri aparılmışdır. Alınan nəticələr əsasında qəfəs parametrləri şüalanmadan əvvəl və sonra hesablanmış və tədqiq olunan monokristalların bircins olduğu müəyyən edilmişdir. Nümunələrin Furiye-İQ əksolma spektrləri “FTİR Varian 3600” spektrometrində  $\nu=4000-100 \text{ sm}^{-1}$  tezlik oblastında qeydə alınmışdır. Əksolma spektrləri  $\varphi=15^0$  düşmə bucağı altında alınmışdır.

İlkin və qamma kvantlarla şüalanmış GaS və GaS:Yb nümunələrinin səthi relyefinin mikroskopik tədqiqatları atom-qüvvə mikroskopunda (AQM) aparılmışdır. Bu məqsədlə səthin ikiölçülü (2D) və üçölçülü (3D) AQM-təsvirləri, eləcə də üfüqi və horizontal istiqamətlərdə histoqramlar alınmışdır (100x100 nm).

Nümunələr otaq temperaturunda  $^{60}\text{Co}$  mənbəyindən qamma kvantlarla  $dD_\gamma/dt=15,66 \text{ rad/s}$  doza gücü ilə şüalandırılmışdır. Bu zaman udulan doza  $D_\gamma =30-200 \text{ krad}$  təşkil edir. Nümunələrin şüalanma dozası 30, 50, 100, 140 və 200 krad təşkil edir.

Dissertasiyanın **III fəslində** aşqarlanmamış və aşqarlanmış GaS:Yb monokristallarının udulma zolağında müşahidə edilən fotokeçiriciliyin geniş şüalanma dozalarında və temperatur intervalında tədqiqi zamanı alınan nəticələr verilmişdir. Məlumdur ki, laylı kristalların qamma-kvantlarla və aşqar atomları ilə modifikasiyası onların elektrik, fotoelektrik və optik xassələrinin dəyişməsinə və bir sıra səth effektlərinin yaranmasına səbəb olur ki, bu da öz növbəsində həcmi proseslərin gedişatına təsir edir. Həmin proseslərin spektrin görünən və ultrabənövşəyi oblastlarında kristalların fotokeçiriciliyinə təsirinin öyrənilməsi praktiki və elmi cəhətdən əhəmiyyətli olduğundan, tədqiqat obyektini olaraq aşqarsız və aşqarlı GaS kristalı seçilmişdir.

İlkin olaraq aşqarsız GaS monokristalında udulma zolağında fotokeçiriciliyə xarici elektrik sahəsinin təsiri müxtəlif temperaturlarda tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, spektrin qısa dalğa oblastında fəthəssaslığın zəif olması səthyanı oblastda defektlərin konsentrasiyasının yüksək ( $\sim 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ ) olması ilə bağlıdır. Səthyanı oblastda müşahidə olunan defektlər təbiətə kation vakansiyaları və onların

idarə olunmayan aşqar atomları ilə yaratdığı komplekslərdir ( $V_{Ga} X_i$ ). Bu tipli defektlər fotoyükdaşıyıcılar üçün rekombinasiya mərkəzi rolu oynadığından, spektrin qısa dalğa oblastında (0,4-0,6 mkm) fotohəssaslığın azalmasına səbəb olur. Səthyanı defektlərin yük halını idarə etmək məqsədi ilə tədqiq edilən GaS monokristalı xarici elektrik sahəsində (yüklənmiş müstəvi lövhələr arasında) yerləşdirilmiş və onun qiymət və istiqaməti lövhələrə verilən gərginliklə idarə olunmuşdur. Xarici elektrik sahəsinin qiyməti  $10^3$ - $10^4$  V/sm olmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, xarici sahənin müsbət istiqamətində ( $U_n > 0$ ) udulma zolağında fotohəssaslıq artır, xarici sahə  $U_n < 0$  olduqda isə azalır. Müşahidə olunan effektin mexanizmini aydınlaşdırmaq üçün energetik zolağın quruluşunu nəzərə alaraq demək olar:

- a) fotokeçiriciliyin spektrində enerjinin  $h\nu \sim 2.52$  eV qiymətində müşahidə olunan maksimum məxsusi udulma zolağında yerləşir və elektronların zona-zona keçidi ilə əlaqədardır;
- b) ilkin və aşqarlanmış GaS:Yb kristallarında xarici elektrik sahəsinin udulma zolağında fotokeçiricilik spektrinin transformasiyası rekombinasiya mərkəzlərinə yük daşıyıcıların ötürülmə tempinin dəyişməsi ilə bağlıdır.

Müşahidə edilən effektin səth defektləri ilə əlaqəsini müəyyən etmək məqsədi ilə GaS və GaS:Yb kristallarında radiasiya defektləri yaradılmışdır. Bu məqsədlə nümunələr müxtəlif dozalı qamma-kvantlarla şüalandırılmışdır. Şüalanma zamanı yaranan defektlərin konsentrasiyası nümunələrin elektrik keçiriciliyindən müəyyən edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, GaS və GaS:Yb kristallarında yaranan radiasiya defektləri səthyanı oblasda keçiriciliyi dəyişir və bu dəyişmə şüalanma dozasından və aşqarlanma dərəcəsindən asılıdır. GaS və GaS:Yb kristallarının volt-ampere xarakteristikasının təhlili göstərir ki, nümunələrin keçiriciliyinin artması elektrik sahəsinin qiymətindən asılıdır. Sahənin kiçik qiymətlərində tələsiz keçiricilik, yüksək qiymətlərində isə termoionlaşma hesabına keçiricilik artır. Bu nəticəni nəzərə alaraq şüalandırılmış GaS və GaS:Yb kristallarında udulma oblastında fotokeçiriciliyə elektrik sahəsinin təsiri araşdırılmışdır.

Xarici elektrik sahəsinin udulma zolağında müşahidə olunan fotokeçiricilik spektrlərinə təsiri geniş şüalanma intervalında və sahənin müxtəlif qiymətlərində

tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki,  $D_\gamma < 50$  krad dozalarda qamma-kvantlarla şüalanmış nümunələrdə xarici sahə  $U_n > 0$  olduqda udulma oblastında ftohəssaslıq ilkin nümunə ilə müqayisədə 30-40 % artır. Sahənin verilmiş qiymətində şüalanma dozasının  $D_\gamma > 50$  krad qiymətlərində isə spektrin bütün oblastında GaS-ın fotokeçiricilik azalır. Spektrin  $h\nu = 2,62\text{eV}$  qiymətində müşahidə olunan əlavə maksimum intensivliyi də şüalanma dozasının artması ilə azalır və  $D > 200$  krad dozalarda isə müşahidə olunmur. Bu fakt isə, həmin səviyyənin donor tipli olduğunu və şüalanma dozasından asılı olaraq aşqar səviyyəsinin kompensasiya dərəcəsinin artmasını göstərir.

Elektrodlara tətbiq edilən elektrik sahəsinin intensivliyinin istiqamətini dəyişdikdə, yəni  $U_n < 0$  olduqda isə qamma-kvantlarla şüalanmış GaS nümunələrinin spektrində fotokeçiricilik azalır. Müəyyən edilmişdir ki, şüalanma dozasının  $D_\gamma < 50$  krad qiymətlərində bütün tədqiq olunan nümunələrdə fotokeçiriciliyin maksimumu spektrin  $\lambda_{\text{max}} = 490$  nm oblastında müşahidə olunur və  $U_n < 0$  elektrik sahəsində də fotokeçiricilik bütün spektral diapozonda azalır. Qamma-kvantlarla  $D_\gamma > 50$  krad dozalarda şüalanma zamanı fotokeçiricilik spektrlərində məxsusi maksimumun vəziyyəti və spektrin forması  $U_n > 0$  olduğu kimi qalır, bu zaman fotocərəyan zəif azalır. Şüalanma dozasının yüksək qiymətlərində isə GaS və GaS:Yb kristallarında udulma zolağında, o cümlədən bütün spektral oblastda ftohəssaslıq azalır. Alınan nəticələr göstərir ki, laylı kristallarda udulma zolağında müşahidə olunan ftohəssaslıq defektlərin konsentrasiyasından və elektrodlara tətbiq edilən elektrik sahəsinin intensivliyindən asılıdır. Elektrik sahəsinin intensivliyinin istiqaməti yük mərkəzlərinin sahə intensivliyinin əksinə yönələn zaman ftohəssaslıq artır, əksinə yönələn zaman isə azalır.

Alınmış nəticələrin müqayisəsi göstərir ki, xarici elektrik sahəsi  $U_n < 0$  olduqda, nümunələrin udulma zolağında müşahidə olunan ftohəssaslığı şüalanma dozasının artması ilə eksponensial olaraq azalır,  $U_n > 0$  olduqda isə artır. Udulma zolağında müşahidə olunan fotokeçiriciliyin qiymətinin elektrik sahəsinin qiymət və istiqamətindən qeyri-monoton asılılığı GaS laylı kristalının səth hallarının real spektri ilə əlaqəsinin mövcud olduğunu fərz etməyə imkan verir.

Eyni zamanda aşqar atomlarının (Yb) GaS monokristallarının udulma zolağında müşahidə olunan fotokeçiriciliyinə təsiri müxtəlif xarici elektrik sahələrində tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, Yb aşqar atomunun daxil edilməsi nümunənin elektrik keçiriciliyini azaldır. Bu isə, göstərir ki, Yb atomunun GaS -monokristalında yaratdığı energetik səviyyə donor tiplidir. Nümunə xarici sahədə yerləşdikdə p-GaS:Yb-də  $U_n > 0$  olduqda fotonəzəssaslıq artır,  $U_n < 0$  olduqda isə nəzərə çarpmayacaq dərəcədə azalır, bu da elektrik sahəsinin təsiri altında yüklü defektlərin yenidən paylanması ilə əlaqədardır. Deməli p-GaS:Yb kristalında yük mərkəzlərinin yaratdığı sahə xarici sahə ilə toplanaraq yükdaşıyıcıların nizamlı hərəkətini nizamlayır və nəticədə sahənin qiymət və istiqamətindən asılı olaraq udulma zolağında fotonəzəssaslıq dəyişir. GaS və GaS:Yb kristallarını qamma-kvantlarla şüalandırırdıqdan sonra xarici elektrik sahəsinin təsiri nəticəsində fotokeçiricilik spektrlərində xarakterik dəyişmələr müşahidə olunur. Belə ki, p-GaS:Yb nümunələrində kvantlarla  $D_\gamma < 50$  krad doza ilə şüalanma zamanı fotokeçiricilik spektrlərdə məxsusi maksimumun vəziyyəti və spektrin forması şüalanmaya qədər kristallarda olduğu kimi qalır. Nümunə  $U_n > 0$  xarici sahədə yerləşdikdə udulma zolağında fotonəzəssaslıq artır. Daha sonra, şüalanma dozasının artması ilə nümunələrdə fotocərəyan qismən azalır, bu da rekombinasiya mərkəzlərinin konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır. Deməli aşqarlı nümunələrdə fotonəzəssaslığın  $U_n > 0$  sahələrdə aşqarsız nümunələrə nəzərən daha yüksək dozalarda (200 krad) azalmağa başladığı müşahidə olunur, yəni aşqarlı kristal radiasiyaya daha davamlıdır. Xarici sahənin əks qiymətlərində isə ( $U_n < 0$ ) aşqarsız kristallarda olduğu kimi udulma zolağında fotonəzəssaslığın azalması müşahidə olunur.

Apardığımız tədqiqatlar əsasında demək olar ki, laylı  $A^{III}B^{VI}$  tipli kristalların, o cümlədən p-GaS kristalların alınması zamanı səthyanı oblastda kation və anion tipli defektlər yaranır. Onların səthyanı oblastda paylanması lokal xarakter daşdığından keçiriciliyin anizotropiyası müşahidə olunur. Məhz udulma zolağında fotokeçiricilik spektrinə güclü təsir edən amillərdən biri də lokal qeyri-bircins elektrik sahəsidir. Həqiqətən, laylı kristallarda və bizim nəticələrə əsasən kristalın səthində elektrik sahəsi eninə elektrik sahəsinin gərginliyinin qiyməti və istiqaməti ilə

dəyişir. Eninə sahənin qiymətini və işarəsini dəyişməklə aşağı temperaturlarda laylı kristallarda fotohəssaslığı idarə etmək olar. Alınmış nəticələr əsasında demək olar ki, laylı materialların aşqarlanması və həmçinin onların qamma-kvantlarla şüalanma zamanı da səthyanı oblasda mövcud olan kation tipli defektlərin kompensasiya dərəcəsini idarə etmək mümkündür. Qeyd olunan effektin müşahidə edilməsi, laylı kristallarda spektrin görünən oblastında fotokeçiriciliyin yüksəldilməsinə və onlar əsasında yüksək həssaslığa malik və qamma-kvantlara davamlı fotoqəbuledicilərin hazırlanmasına imkan verə bilər.

GaS monokristalının fotoelektrik xassələrinin tədqiqi zamanı müəyyən edildi ki, qadağan olunmuş zonada müxtəlif tipli tutma və rekombinasiya mərkəzinin müşahidə olunması spektrin transformasiyasına səbəb olur.

Beləliklə, ilkin və aşqarlanmış GaS:Yb kristallarında udulma zolağında fotokeçiriciliyə xarici elektrik sahəsinin təsiri rekombinasiya mərkəzlərinə yük daşıyıcıların ötürülmə tempinin dəyişməsi ilə əlaqədardır. Uyğun olaraq, laylı kristallarda fotokeçiricilik spektrlərində xarici elektrik sahəsinin təsirinin formalaşmasında əsas faktor səthi elektron hallarında yükdaşıyıcıların lokallaşması nəticəsində yaranan səthi elektrik sahəsidir.

GaS və GaS:Yb kristallarının qadağan olunmuş zonasında mövcud olan tələ səviyyələrinin təbiətini və parametrlərini təyin etmək üçün termolüminessensiya (TL) spektrləri tədqiq edilmişdir. Tələ səviyyələrinin energetik parametrləri lüminessensiyanın davamlılıq müddətinə mühüm təsir edir. Belə ki, tələ səviyyələri yükdaşıyıcıları zəbt edərək onların lüminessensiya mərkəzlərində rekombinasiyanın qarşısını alır və lüminessensiya müddətini gecikdirir. Tələlərin energetik dərinliyi TL-əyrilərinin maksimumlarına uyğun gələn temperaturları bilməklə müəyyən edilir.

Kristalın qızdırılması zamanı müxtəlif temperaturlarda termolüminessensiya (TL) əyrilərində intensiv maksimumlar müşahidə olunur. Kristalı qızdırdıqda elektronlar tələləri tərk etmək üçün kifayət qədər enerjiyə malik olur və tələləri tərk edən elektronlar lüminessensiya mərkəzinə qayıdır və şüalanmalı rekombinasiya edir. Tədqiqatlar göstərir ki, tələlərin dərinliyi TL spektrində maksimuma uyğun temperatur ilə müəyyən olunur. Çünki dərin tələlərdən elektronların boşalması üçün

daha çox enerjiyə ehtiyac duyulur. Müəyyən edilmişdir ki, GaS və GaS:Yb kristallarının TL spektrlərində bir neçə maksimum müşahidə olunur. Bu energetik səviyyələrin yüksək sahələrdə parçalanması nəticəsində yük mərkəzlərinin konsentrasiyası dəyişir. Bu onu göstərir ki, tələlər qadağan olunmuş zonada müxtəlif dərinlikdə paylanmışlar və hər bir maksimum bir tələ səviyyəsinə uyğun gəlir.

Dissertasiya işinin **IV fəslində**-Furye-İQ, Furye-Raman-spektroskopiya və AQM-mikroskopiya metodları ilə qamma şüalanmanın ( $D_\gamma = 30-200$  krad) və termik dəmləmənin ( $T=100-250$  °C) təsiri altında GaS və GaS:Yb laylı kristallarında baş verən səth dəyişiklikləri tədqiq edilmişdir. Bu məqsədlə nümunələrin laydaxili və laylararası rəqslərinin Raman-piklərinin, eninə (TO) və uzununa (LO) İQ-əksolma zolaqlarının spektral parametrlərinin (tezliklərin maksimumlarının, intensivliklərin və yarımənliklərin) udulma dozasından və dəmləmə temperaturundan asılılıqları müəyyən edilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, şüalanma dozasının  $D_\gamma < 50$  krad qiymətlərində səthdə dəyişiklik müşahidə olunmur. Lakin qamma şüalanmanın  $50 < D_\gamma \leq 200$  krad udulma dozası qiymətlərində səthin modifikasiyası baş verir ki, bu da eninə laylararası  $E_{2g}^1$  və laydaxili  $A_{1g}^1$  rəqslərini xarakterizə edən Raman- piklərinin ( $\nu = 23,2$  və  $188,4$   $\text{sm}^{-1}$ ) və eninə və uzununa İQ-əksolma zolaqlarının ( $297$  və  $357$   $\text{sm}^{-1}$ ) yarıməninin dəyişməsi ilə müşayiət olunur. Raman-spektrdə piklərin və İQ-əksolma zolaqlarının yarımənlərinin dəyişməsi (artması) qamma-kvantların təsiri nəticəsində kristalın qadağan olunmuş zonasında yaranan defektlərlə struktur defektləri arasında baş verən qarşılıqlı təsir mexanizminin dəyişməsi ilə əlaqədardır.

İlkin, qamma kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səth relyefləri AQM-mikroskopiya metodlu ilə işlənmişdir. Səthlərin üç ölçülü (3d), iki ölçülü (2d) səth təsvirləri alınmışdır. 2d təsvirlərinə əsasən nanohissəciklərin üfüqi və şaquli istiqamətlərdə paylanmalarına baxılmış və müəyyən edilmişdir ki, GaS monokristalının səthinə nisbətən GaS:Yb səthində bu paylanmalar bircins və periodik xarakter daşıyır. Qamma şüalanma periodikliyi pozur və qeyri-bircinsliyin yaranmasına səbəb olur, termiki dəmlənmə isə əksinə, bircins paylanmanı bərpa edir. Göstərilmişdir ki, GaS monokristalının səthinə nisbətən



GaS:Yb laylı monokristallarının səthləri baxılan doza oblastında ( $D_\gamma=30-200$  krad) radiasiyaya daha çox davamlıdırlar, bu da özünü nanohissəciklərin üfüqi istiqamətdə paylanması biruzə verir.

Qamma şüalanmaya məruz qalmış GaS və GaS:Yb monokristallarının səth relyefi atom-qüvvə mikroskopu (AQM) və Furiye-İQ-spektroskopiya metodları ilə tədqiq olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, GaS üçün müxtəlif hündürlüklü  $\sim(30-40$  nm) və  $\sim 16$  nm periodiklikli qeyri-bircins paylanma xarakterikdir. Kristalın Yb atomları ilə aşqarlanması zamanı hamarsızlıq nizamlanır, hündürlük  $\sim 25$  nm və periodiklik  $\sim 13$  nm azalır. GaS monokristalının  $D_\gamma < 140$  krad dozada şüalanması və Yb atomları ilə aşqarlanması defektlərin yenidən qurulmasına gətirib çıxarır, nəticədə sərbəst vahid həcmdə azalma baş verir,  $D_\gamma > 140$  krad dozadan yuxarıda artma baş verir. Furiye-İQ spektrlərdə qamma-kvantlarla şüalanmanın dozəsindən asılı olaraq ( $D_\gamma=30-200$  krad) GaS və GaS:Yb monokristallarının səthində əksolma əmsallarının dəyişməsi müşahidə olunur, bu dəyişmələr əsasında müəyyən olunmuşdur ki, aşqarlanmış monokristallar radiasiyaya daha davamlıdır. Laylı kristalların səth xarakteristikaları qismində relyef əmələ gətirən konusun orta vahid həcmi istifadə olunmuşdur.  $V=A^*e^{kx}$  eksponensial formada ifadə olunan relyef əmələ gətirən konusun orta vahid həcmnin şüalanmanın dərəcəsinin təsirindən regression asılılığı verilmişdir.

AQM və Furiye-İQ-spektroskopiya metodları ilə alınmış qeyri-bircinsliyin sərbəst vahid həcmnin paylanmasının profili və GaS:Yb laylı monokristallarının radiasiyaya davamlılığı arasında korrelyasiya müəyyən edilmişdir.

## I FƏSİL.

### LAYLI YARIMKEÇİRİCİLƏRDƏ SƏTH EFFEKTLƏRİNƏ DAİR (GaS, GaSe, InSe, GaTe) ƏDƏBİYYAT İCMALI

$A^{III}B^{VI}$  tipli birləşmələrin (GaSe, GaS, InSe, GaTe) fotokeçiricilik [26, s.13-14. 14, s.17. 22, s.45.], fotolüminessensiya [30, s.302-303. 23, s.1165-1167. 86, s.225-226. 99, s.577-579.] optik [87, s.65-70. 113, s.147-150. 133, s.278-280] və elektrik xassələri [31, s.128-131. 18, s.1429-1430. 19, s.993-995. 20, s.23-29] işlərdə geniş tədqiq edilmişdir. Belə tədqiqatlar zamanı əldə olunmuş nəticələr qadağan olunmuş zonada olan aşqar səviyyələr barədə [37, s.19-31. 96, s.453-455] məlumatlar verir ki, bu da laylı yarımkeçiricilərin tətbiq olunma sərhədlərini müəyyən etməyə, kristalda şəffaflıq oblastında optik udulma zolaqlarını tapmağa və kristalda defektlərin tipini [27, 65-66. 31, s.129-131. 67, s.35-40. 72, s.23-35] öncədən deməyə imkan verir.

Bu fəsildə  $A^{III}B^{VI}$  tipli birləşmələrin, xüsusən GaS kristallarının quruluşu, praktiki əhəmiyyətə malik fiziki xassələri haqqında məlumatlar və tədqiqat üçün mövzunun əsaslandırılması verilmişdir.

#### 1.1. Laylı yarımkeçiricilərin quruluşu və fiziki xassələri

$A^{III}B^{VI}$  qrup birləşmələri və onlar əsasında alınmış bərk məhlullar geniş temperatur intervalında yarımkeçirici xüsusiyyətlərini özündə saxlamaq qabiliyyətinə malik materiallardır. Bu birləşmələrə qarşı olan maraq onların kristallik strukturunun anizotropiyası və defektlərin yüksək olması ilə (zəncirvari və laylı) əlaqədar olan elektrik, fotoelektrik və optik xassələrinin dəyişməsidir.

Bu maddələrin tədqiqi bərk cisimlər fizikasında bir sıra fundamental məsələlərin həlli ilə əlaqədardır. Bundan başqa aparılan təcrübi tədqiqatlar sübut etmişdir ki, bu tip birləşmələr lazer texnikasında, qeyri-xətti optikada çevirici cihazlar, görünən və infraqırmızı diapozonda işləyən qəbuledicilər, modulyatorlar və tezlik çeviricilərinin yaradılmasında böyük perspektivə malikdirlər.

Bununla belə, bu kristalların praktiki istifadəsində yaranmış bir çox imkanların realizə olunmasına maneələr törədən səbəblər də mövcuddur. Bu isə, əsasən kristallik qəfəsin dinamikası ilə defektlərin yaranma mexanizmləri haqqında birmənalı məlumatların olmaması ilə əlaqədardır. Bu nöqteyi nəzərdən, [24, s.28-35. 25, s.19-21]-ci işlərdə verilən məlumatlar  $A^{III}B^{VI}$  qrup birləşmələr, eyni zamanda həm zəncirvari həm də laylı quruluşda kristallaşan  $A^{III}B^{III}C_2^6$  birləşmələrinin rəqsi spektrinin tədqiqat nəticələri verilmişdir.

[19, s.994-995. 134, s.8-10. 137, s.51-53] işlərində  $A^{III}B^{VI}$  kristallarının dielektrik nüfuzluğunun  $\epsilon(T)$ , elektrik keçiriciliyinin  $\sigma(T)$  və VAX-nın temperatur asılılıqları öyrənilmişdir. Bu asılılıqlar geniş temperatur oblastında keçiriciliyin müşahidə olunan yüksək dielektrik relaksasiyasının və S-formalı çevricilərin mexanizmlərini müəyyən etməyə imkan verir. Məlumdur ki, müşahidə olunan xüsusiyyətlərin formalaşmasında defektlər güclü rol oynayır. Ona görə də müəlliflər tərəfindən 250 Mrad dozada qamma radiasiyanın təsiri altında yaranmış defektlərin də göstərilən xüsusiyyətlərə təsirinə baxılmışdır. Göstərilmişdir ki,  $TlGaTe_2$  kristallarında 0-250 Mrad oblastında müşahidə olunan  $\sigma(T)$  asılılığı sıçrayışlı xarakter daşıyır və MOD ilə xarakterizə olunur.

[76, s.461-463. 86, s.225-227] İşlərində bu kristalların fotoelektrik, fotolüminessent xassələrinə radiasiyanın təsirinə baxılmışdır.  $A^{III}B^{III}$  və  $A^{III}B^{III}C_2^6$  tipli laylı monokristallar əsasında yaradılmış fotohəssas diod strukturlarda radiasiya defektləri analiz olunmuş və bu strukturlarda radiasiya effektləri aydınlaşdırılmış və bu fotohəssas strukturların radiasiya dayanıqlığı müəyyən edilmişdir.

$A^{III}B^{VI}$  tipli birləşmələr (GaS, GaSe, InSe, GaTe) quruluşunda və kimyəvi rabitədə özünəməxsus xüsusiyyəti olan yarımkəçiricilərdir. Belə ki, bu birləşmələrdə valent elektronlarının sayı təkdir və onlar əsasən iki quruluşda kristallaşırlar. Bunlardan birincisi GaS, GaSe, GaTe və InSe təbəqəli quruluşda kristallaşır. Burada hər bir A atomu 3B və bir A atomu ilə tetraedrik əhatə olunaraq kovalent rabitə yaradır. Digər  $A^{III}B^{VI}$  birləşmələri isə, TlSe, TlS və TlTe zəncirvari quruluşda kristallaşır. Bu zəncirin hər birində istənilən A atomu tetraedrik olaraq, 4B atomu ilə əhatə olunmuşdur (Cədvəl 1.1.1.). Belə ki, bu zəncirlərin arasında isə yerdə qalan A

atomları yerləşmişdir [72, s.15-27]. Bu birləşmələr bir sıra maraqlı fiziki xassələrə (anizotropiya, yüksək həssaslıq, radiasiyaya davamlılıq və s.) malikdirlər [72, s.15-27. 24, s.35-44]. Laylı kristallar arasında qallium sulfid böyük maraq kəsb edir. GaS və onun analoqları (GaSe, InSe, GaTe) laylı quruluşda kristallaşır. Hər bir lay  $c$  kristalloqrafik oxu boyunca S-Ga-Ga-S ardıcılıqlı heksaqonal paketlərdən ibarətdir (şəkil 1.1.1).

Laylı GaS tipik yarımkeçiricidir və onun bir çox optik və elektrofiziki xassələrinin onun kristal və zona quruluşu ilə izah olunur.

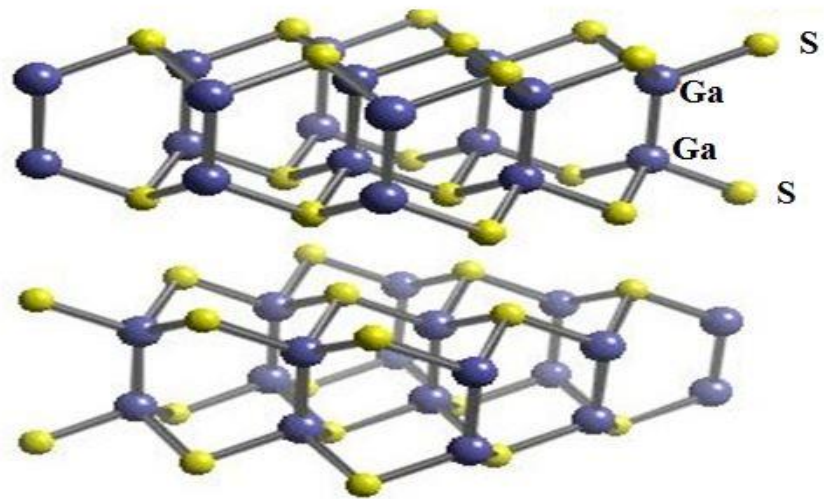
[59, s.181-184. 152, s.604-605.] işlərdə laylı yarımkeçiricilər üçün zona quruluşunun sadələşdirilmiş modeli təsvir edilmişdir. Bu modelə əsasən laylar arasında Van-der-Vaals qarşılıqlı təsiri mövcuddur. GaS tipli quruluşda elementar qəfəs iki laydan ibarətdir, kation və anion arasında kovalent rabitə mövcuddur. Bu birləşməli yarımkeçiricilərin fiziki-kimyəvi və struktur tədqiqatlarının daha geniş icmalı [56, s.180. 58, s.135-145] işində verilib.

Qallium sulfidin strukturunun ilk modellərindən biri Fişer tərəfindən verilib analiz edilmişdir və Brillion zonasının 18 elektrondan ibarət olduğu göstərilmişdir [105, s.318-322].

Kamimura və Nakaonun işində [122, s.968-1021] qalliumun  $s$  və  $p_z$  elektronlarının qarşılıqlı təsiri əsas götürülən  $\pi$  – zona modeli təklif olunub. Qəbul etsək ki,  $\pi$  – zona modeli həqiqətən GaS üçün tətbiq oluna bilər, onda bu kristallarda ikiölçülü eksitonların olması mümkündür. Bəzi müəlliflər isə [56, s.180. 58, s.30-42], təcrübə tədqiqatların nəticələrini üçölçülü eksitonların xarakteri haqqında təsəvvürlər əsasında interpretasiya edir.

Bassani və Paraviçinin işində [94, s.115-119] zona quruluşu güclü rabitənin yarımempirik metodu çərçivəsində alınmışdır. Məlumdur ki, güclü rabitə metodları zona keçiriciliyinin izahı üçün az yararlıdır [71, s.550-556]. Ona görə də Bassani-Paraviçini modeli sərbəst zona enerjiləri oblastında qeyri-real ola bilər.

Şlüterin işində [150, s.315-335] GaS-ın zona strukturu almaz tipli və sink örtüklü zona strukturunun öyrənilməsi üçün tətbiq edilən lokal empirik psevdopotensial metodu çərçivəsində hesablanır. Baxmayaraq ki, Şlüter zona



**Şəkil 1.1.1. Laylı GaS monokristalının quruluş təsviri [[4, s.22.] [61, s.137]].**

keçiriciliyini izah edə bilmişdir, onun hesablamalarında laylar arasındakı qarşılıqlı təsirin rolu çox qiymətləndirilmişdir. Əslində, sferik psevdosatomlu lokal psevdopotensial metodu yalnız yüksək simmetriyalı kristallar üçün yararlıdır. Kükürdün psevdosatomlarını sferik-simmetrik hesab etməyə heç bir əsas yoxdur. Çünki kükürdün mini-layları GaS-in xarici layı hesab olunur.

Bassani-Paraviçini və Şlüter modellərinin qeyri-adekvatlığı fotoemissiya ölçmələrinin nəticələrinin müqayisəsində xüsusi ilə aydın görünür.

Bu vəziyyət təsadüfidir, çünki bərkalmaz bənzər fazaların tədqiqatlarının çoxsaylı nəticələri göstərir ki, zona strukturu modelini optik xarakteristikalar üçün istifadə etdikdə, emissiyanın nəticələrini izah etmək olmur. Bu işdə zona struktur modeli inkişaf etdirilir. Belə ki, eyni zamanda optik ölçmələrin interpretasiyası, eləcə də fotoemissiya ölçmələri nəticələrin izahı üçün yararlıdır.

Almaza bənzər kristalların valent zonaları orbit rabitə metodu ilə izah olunur [114, s.340-345. 107, s.4485-4491. 117, s.239]. Bu metodda birləşdirici orbitallar qonşu atomların valent  $sp^3$  hibridlərindən qurulub. Belə ki, elementar qəfəsdə orbitalların tam sayı valent zonaların tam sayına uyğundur. Bu işdə rabitələrin orbit metodu GaS-in yeddi yuxarı valent zonaları üçün istifadə oluna bilər. Çünki birləşdirici orbitallar qallium  $sp^3$  və kükürdün  $p^3$  hibridlərindən qurulub. Baxmayaraq ki, metod çox sadədir, fotoemissiya spektrlərinin ölçülməsi zamanı təyin olunan yuxarı valent zonalarının sıxlığı üçün istifadə oluna bilər.

GaS laylı struktura malik olduğu üçün hər bir lay iki ölçülü keçiricidir. Bu laylarda hər bir atom kovalent rabitə ilə birləşir, kation atomu anionun üç və kationun bir atomu ilə tetraedrik şəkildə əhatələnib. Bu birləşmələrdə kation cütlər tipik yarımkəçiricilərdə olduğu kimi, əlavə elektronlarla kompensasiya olunub.  $Ga^{-1}$  rabitəsinin strukturu tetraedrikdir və  $sp^3$  hibridləşməyə,  $s^{+1}$  triqonaldır və  $p^3$  hibridləşməyə malikdir. GaS birləşmələrində və onun analoqlarında (GaSe, InSe və GaTe) yarımkəçiricilik kationların  $s$  və  $p$  orbitləri ilə şərtlənir [22, s.135. 137, s.604-605]

GaS tipli laylı kristallarda üç tip rabitə var: Ga-Ga, S-S, Ga-S. Qonşu paketlərin sərhəddində yerləşən, bu çox “daha mənfi atomların” ikiqat

molekullarası radiusuna uyğun S-S atomları arasında məsafə  $3,09 \cdot 10^{-4}$  mkm təşkil edir, yəni S-S tipli rabitə zəifdir (Van-der-Vaals tipi). Paketin daxilində bir-birinin üstündə yerləşən Ga-Ga ( $2,46 \cdot 10^{-4}$  mkm) atomları arasında məsafə onların diametrinə yaxındır və bu atomlar ikiqat həyəcanlaşmış atomlar kimi iştirak edirlər. Bu da onların  $Ga_2^{4+}$  ikinüvəli kationları kimi birləşməsinə gətirib çıxarır. Bu zaman bu ionların elektronları cütləşir. Bu da yarımkeçiricilik şərtinin yerinə yetirilməsinə gətirib çıxarır.

Ga-Ga (In-In) kovalent rabitəyə malikdir. Ga-S əlaqəsi isə ( $2,37 \cdot 10^{-4}$  mkm) qarışıq kovalent-ion xarakteri daşıyır. Bu birləşmələrdə cütləşmiş elektronların olmasına görə onları  $Ga_2S_2$  formasında da yazmaq olar.

**Cədvəl 1.1.1**

**Müxtəlif  $A^{III}B^{VI}$  birləşmələrinin qəfəsinin parametrləri**

Birləşmənin formulu	A atomları arasındakı məsafə (Å)	A və B atomları arasındakı məsafə (Å)	B atomları arasındakı məsafə (Å)	Elektrostatik enerji (eV)
GaS	2,46	2,34	3,72	9,2
GaSe	2,38	2,48	3,84	8,95
GaTe	2,71	2,61	4,20	8,75

Buradan belə bir nəticə çıxır ki, laylı yarımkeçiricilərdə müxtəlif növlü atomlar arasında kimyəvi qarşılıqlı təsirin təbiəti tetraedrik koordinasiyalı (CdS, CdSe) təbəqələrində qarşılıqlı təsirin təbiəti ilə analojidir.

Bu işdə tədqiqat obyektı olan qallium sulfid – bərk, kövrək, laylı, açıq-sarı rəngli maddədir.

GaS-in kristallik quruluşu ilk dəfə olaraq Şubert [152, s.604-605], Bazinsk və Brayden tərəfindən tədqiq olunmuşdur. Müəyyən olunmuşdur ki, GaS  $a = 3,578 \cdot 10^{-4}$  mkm və  $c = 15,47 \cdot 10^{-4}$  mkm parametrli heksaqonal quruluşa malikdir, simmetriyanın  $D_{6h}^4$  fəza qrupuna aiddir və elementar qəfəsdə 8 atom vardır, yəni hər layda iki Ga atomu və altı S atomu var. Hər bir Ga atomunu 2,34 məsafədə altı S atomundan və

2,46 məsafədə bir Ga atomundan ibarət tetraedr əhatə edir. Qallium sulfid yalnız  $\beta$ -modifikasiyada kristallaşır. GaSe ilə müqayisədə GaS nəzəri və təcrübi olaraq az öyrənilib. Bundan əlavə selenid ilə müqayisədə sulfidin böyümə texnologiyası mürəkkəbdir.  $\text{GaSe}_{1-x}\text{S}_x$  sisteminin qarışıq kristallarının optik tədqiqatlarla öyrənilməsi, nəticələrin analizi zona və eksitonların strukturunda dəyişməsinin  $x$ -in qiymətindən asılı olaraq izləməyə və istənilən  $x$ , eləcə də  $x=0,1$  üçün xüsusiyyətləri təyin etməyə imkan verir.

[105, s.324] işində laylar daxilindəki rabitənin laylar arasındakı rabitəyə nisbətən güclü olduğundan onlara ayrı-ayrı baxılır ki, onların dalğa funksiyası bir-birilə kəsişmir.

GaS (GaSe) kristalında udulma spektrlərinin fundamental analizi üçün laylar arasında zəif rabitənin olmasını nəzərə alaraq ilk dəfə Fişer tərəfindən energetik zona strukturu təklif edilmişdir. GaS və GaSe kristallarının optik və elektrik xassələri zona strukturunun ikiölçülü modelinin köməyi ilə izah olunur. Birinci Brillüenin zonası ikiölçülü  $k$ -fəzasında altıbucaqlı kimi verilir. Valent zona Brillüen zonasının  $\Gamma$  zonasında iki maksimumdan ibarətdir. Keçiricilik zonası mürəkkəb xarakter daşıyır, bu zaman aşağı zona Brillüenin zonasının sərhədində iki zəif minimuma malikdir,  $k \rightarrow 0$  olduqda tez artır.  $K=0$  olduqda keçiricilik zonasında minimumlardan biri olur. Udulmanın fundamental sərhəddi qeyri-xətti keçidlərə malik olur. GaS kimi laylı birləşmələrdə elektron-deşik cütləri bu və ya digər layın daxilində ola bilər, bu zaman üçölçülü kristallar üçün qonşu laylarda yerləşən ("eninə" eksiton) dəşiklər hesabına adi eksiton əmələ gəlir.

[72, s.121-127. 22, s.214] işlərində göstərilir ki, birinci Brillüen zonası altıbucaqlı prizma şəklindədir. Qallium və kükürd atomları uyğun olaraq qapalı buludların  $s$ ,  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$  – orbitallarında yerləşən üç və altı valent elektronlara malikdir. Bu zaman  $p_x$  və  $p_y$  lay müstəvisində,  $p_z$  –orbitalı isə laya perpendikulyar yerləşir. Beləliklə GaS kristalının yarımkeçirici təbiəti  $p_z$ -orbitallarında yerləşən elektronlarla təyin olunur. Elektronların halı birləşdirici  $s$ ,  $p_x$ ,  $p_y$ ,  $p_z$  və antibirləşdirici  $p_z$  orbitallarından ibarət Bloxov funksiyası ilə ifadə olunur. GaS laylı birləşmələrində  $s$ ,  $p_x$ ,  $p_z$  - orbitallarının energetik zonalarının qrupu  $\sigma$ -zona adlanır,  $\pi$ -zonasından



aşağıda yerləşir. Bu zaman  $\sigma$ -zona tam dolur və GaS-in yarımkəçirici xassəsi valent və keçiricilik zonasından qurulmuş  $\pi$  – zonanın xarakteri ilə təyin olunur.

[150, s.356] işində verilmiş maddənin heksaqonal Brillüen zonası verilmişdir. Şlüterə görə,  $\Delta E_z=120$  eV kəmiyyəti, yəni  $K_z$  boyunca zonanın eni bütün tutulmuş valent zonalara görə ortalanmışdır. Valent zonanın ən hündür nöqtəsi  $\Gamma$ -də yerləşir və  $\Gamma_4^-$  simmetriyasına malikdir. Zona keçiriciliyinin ən aşağı hissəsi  $M_3^+$  - də yerləşir,  $\Gamma_3^-$  nöqtəsi  $M_3^+$  -dən yuxarıda yerləşir.  $\Gamma_4^-$  və  $\Gamma_3^+$  arasında birbaşa keçidlər yalnız qadağan olunmuş zonasının eni  $E_g=2,169$  eV (77 K) olan E||C polarizasiyası üçün mümkündür.

Fişerin işində [105, s.318-322] Kamimura və Nakaonun nəticələrinə əsaslanan energetik zonaların xüsusiyyətləri göstərilmişdir. Bu modelin əsas xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, keçiricilik zonasının  $K=0$ -da mütləq minimumu  $\pi_4$  zonasının  $\Gamma_1^+$  halına uyğun deyil, yuxarıda yerləşən  $\Gamma_3^-$  halına uyğundur. Nəticədə,  $K=0$  olduqda keçiricilik zonası üçölçülü xarakter daşıyır. Kristalın simmetriyasına görə qrup nəzəriyyəsinə əsasən müəlliflər göstərmişlər ki, kristalın laylarının səthinə işıq normal düşməsi zamanı, yəni  $E \perp C$  olduqda  $\Gamma_2^-$  və  $\Gamma_3^-$  arasında birbaşa keçidlər mümkündür,  $\Gamma_2^-$  və  $\Gamma_1^+$  arasında isə qadağandır.

Valent zona o zaman ikiölçülü xarakter daşıyır ki, “C” oxuna paralel istiqamətdə dəşiyin kütləsi çox böyük olsun. Brillüen zonasının mərkəzində keçiricilik zonası iki  $C_1$  və  $C_2$  alt zonadan ibarətdir.

$C_1$  alt zonada elektronun effektiv kütləsi kristalın C oxuna perpendikulyar və paralel istiqamətdə çox kiçikdir, bu zaman  $C_2$  kvazi iki ölçülüdür və hətta “C” oxu istiqamətində elektron böyük effektiv kütləyə malik olur.

Valent zonadan  $C_1$  zonasına birbaşa keçidlər baş verir,  $C_2$  zonasına isə keçidlər qadağandır. Qeyd etmək lazımdır ki, heksaqonal kristalın zona strukturu haqqında sual hələ tam həll edilməyib. Hal-hazırda GaS-də baş verən prosesləri izah edən daha təkmilləşdirilmiş modelin qurulması və hesablanması üzərində işlər aparılır.

## 1.2. $A^{III}B^{VI}$ monokristallarının optik xassələri

GaS və GaSe kristallarının fotoluminessensiyasının (FL) tədqiqinə həsr olunmuş ilk iş 1963-cü ildə nəşr olunmuşdur [153, s.1021-1025]. Müəlliflər hər iki maddədə 60 K-də geniş zolaq müşahidə etmişlər, onun energetik vəziyyəti GaSe üçün 1,75 eV, GaS üçün 1,90 eV-a uyğun gəlir. Bundan sonra bir çox tədqiqatçılar GaS və GaSe monokristallarının luminessent xassələrini intensiv öyrənməyə başlamışlar və bu mövzuda çoxlu işlər nəşr olunmuşdur [85, s.5-7. 90, s.2493-2497. 108, s.113-115].

Rezonanslı ekstonların tədqiqinə həsr olunmuş Fillipsin və başqalarının nəzəri işlərinin [146, s.58-75] nəticələrinə əsaslanaraq, müəlliflər fotohəyacanlaşmış daşıyıcıların rekombinasiyası modelini təklif etmişlər. Fotohəyacanlaşmış elektronlar çox tez zamanda ( $\sim 10^{-13}$  san) zonanın ən aşağı minimumuna toplanır. Baxmayaraq ki, rezonans eksitonların halı qeyri-xətti zonanın minimumundan bir qədər yuxarıda lokallaşır, onlar yalnız müəyyən şəraitlərdə toplanma bilirlər: yəni yüksək aşqarlanmanın aşağı səviyyələrində və yüksək temperaturalarda. Rezonans ekstonların halı elektronlarla tutulduqda, təkcə  $n=1$  deyil, həm də  $n=2$  və  $n=3$  olduqda şüalanma müşahidə olunur [92, s.3322-3225].

Müəlliflər tərəfindən təklif edilən model alınan təcrübi nəticələrin keyfiyyətli izahını verir [146, s.64].  $D_1$  və  $A$  səviyyələri ilə bağlı xətlərin yarıməni sərbəst eksitonun xətti kimidir.  $D_1$  və  $A$  hallarının böyük sayı, onların kiçik ionlaşma enerjisi, eləcə də aşqarların kimyəvi təbiətindən asılı olmaması onu göstərir ki, onların sayı aşqarlama səviyyəsinin artması ilə artan struktur defektləri ilə bağlıdır [155, s.569-571]. Bütün kristallarda müşahidə olunan böyük elektrik kompensasiya birləşmiş cütlərdə yerləşən eyni zamanda donör ( $D_1$  və  $D_1$ ) –akseptor ( $A$ ) hallarının çoxluğu ilə uzlaşır.

[22, s.101-108] işində GaSe-nin ( $\epsilon$ -modifikasiya) 5800÷6500 Å oblastında 4,2÷300K temperatur intervalında fotokeçiricilik, udulma, luminessensiya spektrləri tədqiq edilmişdir. Ölçmələr müxtəlif orientasiyalı nümunələrdə polyarlaşmış işıqda aparılmışdır. Bəzi hallarda spektrlərin qeydə alınmasının differensial metodundan

istifadə edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki,  $E \perp C$  olduqda Brillüen zonasının mərkəzində n-1 və n-2 ekiston hallarına keçid dublet struktura malikdir (2 meV-da parçalanma). Qeyd olunmuşdur ki, bu incə quruluş ekiston səviyyələrinin Davidov parçalanmasıdır. Spektrlərin analizi əsasında 4,2 K-də eksiton keçidinin enerjisi (2,062 eV) təyin olunmuşdur. Bu qiymət Brillüen zonasının mərkəzində eksiton kecidləri seriyası ilə üst-üstə düşür.

[32, s.642-643] işində  $GaS_xSe_{1-x}$  monokristallarının 4,2÷30 K temperaturlarda məxsusi udulma sərhəddi oblastında (2,1eV) FL spektrləri tədqiq edilmişdir. Kristallarda aydın şəkildə sərbəst eksitonların rezonans xətləri müşahidə edilir. Defektli kristallarda sərbəst eksitonun enerjisinə nisbətdə uzundalğalı oblasta tərəf 1÷7 meV yerləşən yeni xətlərin yaranması müəyyən edilmişdir. Bu xətlər defektlərdə lokallaşmış eksitonların lüminessensiyasına aiddir. Temperaturun 30 K-ə qədər artması zamanı sərbəst eksitonların lüminessensiyası zəifləyir. Lokallaşmış eksitonların (n-2) lüminessensiyasına aid olan n-1 eksiton səviyyəsindən yuxarı oblastda şüalanmanın yeni zolağı müşahidə edilmişdir. Laylı kristallarda müxtəlif radiuslu eksitonların lokallaşma xüsusiyyətləri aşkar edilmişdir.

[30, s.302-303] işinin müəllifləri arqon lazeri ( $h\nu=2,5$  eV) və ultrabənövşəyi işıq mənbəyi ( $h\nu=3,4$  eV) ilə həyacanlaşdırılmış GaSe və GaS kristallarında sərhəd şüalanmasını tədqiq etmişlər. GaSe –də 2,89; 2,59 və 2,15 eV-da üç şüalanma zolağı müşahidə edilmişdir.

GaS monokristallarının lüminessent xassələrinin tədqiqinə çox az sayda iş həsr olunmuşdur. [57, s.89-90. 60, s.17. 75, s.61-63] işində GaS monokristallarının ( $V=10 \cdot 5 \cdot 1$  mm<sup>3</sup>,  $\rho\tau=10^8 \div 10^9$  Om.sm)  $T=4,2 \div 300$  K temperatur oblastında fotokeçiricilik və lüminessensiya tədqiqatının nəticələri izah edilmişdir. Ölçmələr bir fotonlu (365 nm) və ikifotonlu ( $h\nu=1,78$  eV,  $\tau=20$  ns) həyacanlanmalarda aparılmışdır. Hər iki həyacanlanma növlərində GaS-in lüminessensiya spektrlərində bəzi müxtəlifliklər müşahidə edilmişdir. Göstərilmişdir ki, ikifotonlu həyacanlanmada 2,561 eV pikinin intensivliyi həyacanlanma intensivliyindən kvadratik olaraq asılıdır. Maksimum fotokeçiricilik  $T=120$  K-də müşahidə edilmişdir. Qeyd edilmişdir ki, spektrdə pillə GaS-in udulma sərhəddini xarakterizə edir.

Müəyyən edilmişdir ki, 2,561 eV-a uyğun (4,2 K) ən qısa dalğalı pik bağlı eksitonun şüalanması, qalan piklər isə onun fonon təkrarları ilə əlaqədardır.

[100, s.225-226] işində GaS-in FL spektrində antistok foton şüalanmanın tədqiqatı aparılmışdır. Şüalanma enerjisi  $h \cdot \Omega = E_g - E_A + h\omega$  burada  $h\omega$  –həyəcanlaşmış işıq kvantının enerjisidir,  $E_g$ –qadağan olunmuş zonanın eni,  $E_A$ –akseptor səviyyənin aktivasiya enerjisidir. Təcrübələr 77 K temperaturda aparılmışdır.  $h\omega$ –1,78 eV,  $\tau$ –20 ns, enerji  $E$ –0,5 C, intensivliyi 10 MVt/sm<sup>3</sup> parametrli rubin lazerin impulsu qeyri-taraz yükdaşıyıcıların həyəcanlanması, eləcə də qeyri-xəttiliyi təmin edən elektrik sahəsinin yaradılması üçün istifadə edilir. Akseptor səviyyələrdə elektronların rekombinasiyasına uyğun olan ( $E_g - E_a$ –2,16 eV) geniş zolaq (2,12 eV maksimumlu) müşahidə edilmişdir. 1 MVt/sm<sup>2</sup> həyəcanlanma intensivliyində  $h \cdot \Omega_1$  –3,9 eV (2,12÷1,78 eV) xətti müşahidə edilmişdir. Onun strukturu 2,12 eV xəttinə uyğundur, lakin 1000 dəfə zəifdir. Gözlənilirdiyi kimi,  $h \cdot \Omega_1$  xəttinin intensivliyi nümunənin zədələnməsinə səbəb olan intensivliyin artması ilə kvadratik olaraq artır. Belə asılılıq qeyri-taraz yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının ikifotonlu həyəcanlanmada həyəcanlanma intensivliyindən kvadratik asıllığı ilə əlaqədardır. Temperaturun artması zamanı (77 K-dən yuxarı) hər iki xətt itir. Bu akseptorların termiki ionlaşması və rekombinasiya proseslərinin qeyri-mümkünlüyü ilə izah olunur.

[128, s.83-85] işində lazerin sarı xəttinin həyəcanlanması zamanı  $\lambda_2$  temperaturun 4,2-dən 1,8 K-ə qədər dəyişməsində GaS<sub>0,1</sub>Se<sub>0,9</sub> kristalının lüminessensiya spektri tədqiq edilmişdir. Fərz olunur ki, 1,8 K –də belə həyəcanlaşma deşik ilə zəif əlaqədə olan ionlaşmış defektdə eksiton yaradır, bu da  $T \geq 4,2$  K-də termik dissosasiya hesabına kompleks yaradır. Aşqar həyəcanlanmada ( $h\nu$ –2,144 eV) elektron və deşik yüklü donör mərkəzinin yanında yaranır. Şüalanma intensivliyinin və enmə zamanının artımını izah etmək üçün mütləq qəbul edilməlidir ki, deşik donör mərkəzin ətrafında lokallaşır, bu zaman onun şüalanmasız rekombinasiyasının ehtimalı azalır. Belə lokallaşmanın olması üçün deşik  $E_{cp}$  enerjisinə malik olmalıdır. Eyni zamanda, baxmayaraq ki, temperaturun 1,8-dən 4,2 K -ə qədər artması zamanı effekt tamamilə itir,  $E_{cp}$  çox kiçik olmalıdır.

[52, s.560-562] işində  $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$  kristalında 77K temperaturda fotoluminessensiya və udulmanın həyəcanlanma spektrləri tədqiq edilmişdir. Onun nəticələri [9, s.11] işinin nəticələrinə çox oxşayır. Bundan əlavə, göstərilmişdir ki, zona üçün Stoks yerdəyişməsi (şüalanmada eksiton pikləri ilə udulma xətləri arasında fərq) GaS-dən (0,45 eV) GaSe-ə (0,055 eV) qədər azalır.

EL-nin intensivliyi tərkibdən asılı olmadan kristaldan keçən cərəyandan və gərginlikdən xətti olaraq asılıdır. Sabit və dəyişən cərəyan üçün VAX ifrat xəttidir. Kristaldan keçən cərəyanın EL-nin intensivliyi ilə xətti əlaqəsi və kiçik gərginlikli sahədə işıqlanmanın yaranması həyəcanlanmanın injeksiya mexanizmini mühüm edir, bu zaman əsas yükdaşıyıcıların konsentrasiyası dəyişmir və parlaqlıq injekt daşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə xətti olaraq artır. Eu, Nd, Gd elementləri ilə aşqarlanma GaSe-nin kristallik qəfəsində böyük miqdarda struktur pozulmalarının əmələ gəlməsi ilə müşayiət olunur [77, s.723-725]. Tədqiq olunan aşqar elementlərdən yalnız Gd-də EPR spektri müşahidə edilir. Qadolin ilə aşqarlanmış GaSe ( $T=450\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) kristalının 1 saat ərzində qızdırılması struktur defektlərin dəmlənməsinə və EPR və FL spektrlərində Gd mərkəzinin daha aydın ayrılmasına gətirib çıxarır.

### 1.3 $\text{A}^{\text{III}}\text{B}^{\text{VI}}$ monokristallarının elektrik xassələri

Laylı quruluşa malik kristallar eninə və laylar boyunca bir çox fiziki xassələrin anizotropiyasına malikdir.

[40, s.103-110. 51, s.69-71] işlərində GaS və GaSe monokristallarının elektrik xassələrinin anizotropiyası tədqiq edilmişdir. Laylar boyunca keçiricilik və Hall effekti dördkontaklı metod ilə ölçülmüşdür. “C” oxuna perpendikulyar ( $\mu_{\perp}$ ) və paralel istiqamətdə ( $\mu_{\parallel}$ ) yürüklülüyn ölçülməsi 80÷500K temperatur diapozonunda 10 kE-yə qədər maqnit sahəsində  $10^{-7}\text{ A}$ -də  $10^{-3}\text{ A}$ -ə qədər işçi cərəyanda aparılmışdır. Bütün ölçmələrdə aktivasiya enerjisi 0,30-dan 0,045 eV-a qədər olan *p*-tip nümunələrdən istifadə olunmuşdur. Bütün temperatur oblastında lay boyunca ölçülmüş  $\mu \sim T^2$  yürüklük homopolyar optik fononların səpilmə nəzəriyyəsi ilə uzlaşır. Yüksək temperatur oblastında  $\mu \sim T^{-n}$ , burada  $n \geq 2$ ,  $T=300\text{ K}$  olduqda  $\mu_{\perp}/\mu_{\parallel} \sim T^2=4$ ,

$\mu_{||}$  üçün aşağı temperaturlarda  $\mu_{||} \sim e^{\Delta E/\Delta T}$  temperatur asılılığı alınmışdır; burada  $E=0,03+0,06$  eV. Göstərilmişdir ki, hər iki zonada yükdaşıyıcıların effektiv kütlələrinin nisbəti bir tərtibdir. Kənar çıxma kristalın “C” oxu boyunca atomların dalğa funksiyasını azaldan bəzi potensial baryerlərin laylar arasına daxil edilməsi nəticəsində ola bilər.

[50, s.60-64. 89, s.5-9] işlərinin müəllifləri müəyyən etmişlər ki, keçiriciliyin anizotropiyası temperatur aktivasiyasına məruz qalır və nümunələrin qalınlığının kvadratı ilə tərs mütənəsbidir. Anizotropiyanın temperatur və qalınlıqdan asılılıqlarını müəyyən etmək üçün aparılan tədqiqatların əsasında (temperatur və qalınlığın böyük intervalında) belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, anizotropiya həcmi və səthi keçiriciliyin mövcudluğu ilə bağlıdır. Bu model əsasında müəlliflər [115, s.4489], hipotetik səthi L qalınlığını daxil edərək anizotropiyanın qalınlıqdan asılılığını izah edirlər. Hal-hazırda keçiriciliyin anizotropiyasının və temperatur asılılıqlarının həm təcrübi, həm də nəzəri nəticələri həqiqətə uyğun deyil, və bu təcrübi nəticələri izah edən heç bir fikir yoxdur.

Q.Axundov və başqaları qallium selenid monokristalının elektrik xassələrini tədqiq etmişlər [86, s.225-227]. Müəyyən edilmişdir ki, aşağı temperaturlardan başlayaraq elektrik keçiriciliyi eksponensial olaraq artır və 400K-də doyma halına keçir. Müəlliflərin fikrinə görə, maksimum, akseptor mərkəzlərinin tam ionlaşması ilə əlaqədardır. Temperaturun artımı ilə elektrik keçiriciliyinin azalması yükdaşıyıcıların sabit konsentrasiyasında ( $N_a-N_d=\text{const}$ ) dəşiklərin yürüklüyünün azalması ilə izah olunur. İşdə göstərilən Holl effektinə görə dəşiklərin yürüklüyü əslində bu temperatur oblastında azalır. Dəşiklərin yürüklüyünün ölçmələri əsasında belə nəticəyə gəlmək olar ki, 200 K-ə qədər temperaturlarda yükdaşıyıcılar əsasən ionlaşmış aşqarlardan, 200 K-dən yuxarı temperaturlarda isə optik fononlardan səpilir. İşdə eləcə də, termo-e.h.q. və yükdaşıyıcıların konsentrasiyası üçün effektiv kütlələrin qiymətləri tədqiq olunmuşdur.

Uzun müddət ərzində laylı materiallara iki ölçülü bərk cisimlər kimi baxmışlar, yəni onların elektron halları ikiölçülü zona quruluşu əsasında izah olunmuşdur. Bu yaxınlaşmada laylar arası qarşılıqlı təsir nəzərə alınmır. Bunun sadələşdirilməsinə

səbəb layların zəif mexaniki rəbitəsi olmuşdur. Bu model əsasında [104, s.117-122] yürüklüyün temperatur asıllığı izah edilmiş və aşağıdakı formula ilə ifadə edilmişdir:

$$\mu = \mu_0(T/300)^{-n} \quad (1.3.1)$$

Deformasiya zamanı potensialın qradientinin yüksək olması akustik fononlar üzərində qeyri-polyar optik fononların dominant rolunu oynadığını göstərir. İQ-əksolma spektrlərinin nəticələrinə əsasən belə fononların enerjisi  $h\omega \sim 0,04$  eV təşkil edir. Ona görə də GaSe-nin elementar özəyində laylara perpendikulyar istiqamətdə polyarlaşmış qeyri-polyar optik fononların həyəcanlanmasına səbəb olan dörd atomun hərəkətinə baxılmışdır (Ga və Se atomlarının yüksək tezlikli rəqsinin modları və onların əks fazada rəqslərinin aşağı tezlikli modları). [124, s.32-35] işində  $n$  və  $p$  tip GaS monokristal nümunələrinin 80÷600K temperatur aralığında Holl ölçmələri göstərilmişdir. (maqnit sahəsi lay müstəvisinə perpendikulyardır). Aşağı temperaturlarda yalnız foto-Holl effekti ölçülmüşdür. 300K-dən yuxarı temperaturlarda ölçmələr qaranlıqda aparılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, elektronların ( $\mu_e$ ) və ( $\mu_p$ ) Holl yürüklüyü bir-birindən az fərqlənir və yuxarı temperaturlarda aşağıdakı kimi ifadə oluna bilər:

$$\mu_e = 16(T/T_0)^{-2,4} \text{sm}^2/\text{V}\cdot\text{san} \text{ və } \mu_p = 16(T/T_0)^{-2,4} \text{sm}^2/\text{V}\cdot\text{san} \quad (T_0=300\text{K}) \quad (1.3.2)$$

Bəzi nümunələrdə 15÷50 mkm intervalda polyarlaşmış İQ-şüalanmanın udulma və əks olunması tədqiq olunmuşdur. Udulmanın əsas piki 0,04 eV enerjili fotonlara uyğun gəlir. Nəticələr laylı quruluş analizi yarımkeçiricilərdə səpilmə nəzəriyyəsi əsasında izah edilmişdir.

Müxtəlif miqdar yod aşqarlı  $n$  və  $p$ -tip GaS monokristallarında Holl effektinin və keçiriciliyin termo-e.h.q-nin ölçülməsi [124, s.32-35] işində göstərilmişdir. Elektron keçiriciliyi olan nümunələr otaq temperaturundan 550K-ə qədər temperatur intervalında, deşik keçiriciliyi olan nümunələr isə 55K-də tədqiq edilmişdir. Elektronların yürüklüyünün temperatur asıllığı tapılmışdır. Ölçmələrin nəticələrinin

işlənməsi 300K temperaturda halların effektiv sıxlığı üçün  $N_c=10^{21}\text{sm}^{-3}$  qiymətini vermişdir. Alınan  $N_c$  qiymətindən istifadə edərək GaS-nin zona strukturunun hesablanmasında Fişer [105, s.325-330] və Fivaz [106, s.834-835] modellərinin tətbiqini analiz etmişlər. Birinci modelə əsasən elektronun effektiv kütləsi üçün  $m_e^*=0,01m_0$ ; ikinci modelə əsasən  $m_e^*=0,05m_0$  alınır. Böyük effektiv kütləli elektronların mövcudluğu digər nəticələrlə təsdiq olunmasına baxmayaraq, Fivaz modeli GaS-də baş verən təzahürləri yaxşı izah etməyə imkan verir.

[156, s.78-80] işində qaranlıq elektrik keçiriciliyinin ölçmələri əsasında n və p-tip GaS monokristallarının qadağan olunmuş zonasının sxemi tərtib edilmişdir. n-tip materialların qadağan olunmuş zonası 2 donör (0,85 və 0,57 eV) və bir akseptor (0,65 eV) səviyyələrindən ibarətdir. Donör səviyyələr kükürd və yod vakansiyaları, akseptor isə natrium vakansiyalarından ibarətdir. p-tip GaS iki akseptor (0,90 və 0,65 eV) və bir donör (0,57 eV) səviyyədə təşkil olunub. Natrium zonaları və qallium vakansiyalarının daxil edilməsi akseptor səviyyələrini, n-tip GaS-də olduğu kimi, kükürd vakansiyaları donör səviyyələri yaradır. n və p-tip üçün donör və akseptorların konsentrasiyası təyin olunub, eləcə də  $N_{Di}-N_A$  və  $N_{Ai}-N_D$ .

Geniş zonalı yarımkeçiricilərin bir çox fiziki xassələri lokal səviyyələrin qadağan olunmuş zonada təbiəti, halı və yerləşməsi ilə təyin olunur.

[92, s.3222-3225] işində p-GaSe monokristallarında 77÷850K temperatur intervalında  $\mu_H$  Hall yürüklüyünün və xüsusi müqavimətin sistemətik ölçülməsi aparılmışdır. Monokristallar ərintilərdən müxtəlif şəraitlərdə Bricmen-Stokbarger üsulu ilə yetişdirilmişdir. Müxtəlif lövhələr üçün elektrik xassələri və böyümə şəraiti arasında korrelyasiya öyrənilmişdir. Əsas akseptor səviyyələrinin konsentrasiyası, C və V zonalarda ( $N_c$ ,  $N_v$ ) effektiv kütlənin hal sıxlığı təyin olunmuşdur. Beş akseptor səviyyəsi müəyyən edilmişdir:  $E_1=31$ ;  $E_2=(50\div70)$ ;  $E_3=(140\div160)$ ;  $E_4=(180\div210)$  MeV və  $E_5=(280\div310)$  MeV. Onlardan bəziləri nümunələrin alınma prosesində kvarts ampula ilə GaSe arasında kimyəvi qarşılıqlı təsirlə əlaqədardır.  $N_c$  və  $N_v$ -yə görə effektiv kütlələr tapılmışdır:  $m_p=0,5m_0$  və  $m_e=m_0$ . Şmidt nəzəri modeli əsasında əsas fotonun enerjisi (12 meV), rabitə sabiti ( $g^2=0.24$ ), V-zonası üçün deformasiya potensialı  $\varepsilon=5,2$  eV/A təyin olunmuşdur .



[15, s.24-35. 19, s.993-996. 20, s.15-20. 27, s.65-66. 31, s.127-129] işlərində GaS, GaSe və InSe monokristallarında cərəyanın keçmə təsiri tədqiq edilmişdir. [19, s.993-995] işində *p*-GaSe kristalında ( $\sim 5 \cdot 10^5 \text{ Om} \cdot \text{sm}$ ) 120-420 K temperatur intervalında *c* oxu boyunca VAX ölçülmüşdür. VAX-ın qiymətlərinə əsasən müxtəlif temperaturlarda sərbəst yükün konsentrasiyası və yürüklüyü hesablanmışdır.

[19, s.993-995] işində GaSe-də defektləri tədqiq etmək məqsədilə fəza yükü ilə hüdudlanmış injeksiya cərəyanından istifadə edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, təmiz nümunələrdə yalnız monoenergetik səviyyələr mövcuddur, onların konsentrasiyası  $\sim 10^{15} \text{ sm}^{-3}$ -ə bərabərdir. Lakin kifayət qədər böyük miqdarda aşqar daxil edildikdə tələlərin spektri kəsilməz olur. Buna görə [38, s.345-348] işində qeyd olunur ki, tələlərin spektrlərinin kəsilməzliyi zəif Van-der-Vaals qüvvələrinin nəticələridir. Nəticələr 240÷330 K temperatur intervalında statik VAX, eləcə də  $\sigma(T)$ -nin analizinin köməyi ilə alınmışdır.

[29, s.22-29] işində GaS və GaSe kristallarında sönmə effekti tədqiq edilmişdir. Lampert nəzəriyyəsi ilə izah olunan *S*-ə bənzər VAX-a malik GaS, GaSe və  $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$  ( $0 < x < 1$ ) monokristallarında sönmə effekti müşahidə edilmişdir [19, s.993-995]. Mənfi müqavimətli halın yaranmasından sonra yaddaşlı sönmə baş verir. Sərhəd gərginliyi ( $V_3$ ) alındıqdan sonra yüklənmənin müqavimətinin ( $R_H$ ) böyük qiymətində əks sönmə baş verir. Əgər  $V_S/R_H$  kritik  $I_S$  qiymətindən böyük olarsa, onda yaddaşlı sönmə baş verir. Yüksək omlu halın bərpası üçün nümunəyə qısa böyük cərəyan impulsu verilməlidir. Sönməni bir neçə dəfə təkrar etmək olar. Kontaktlar In və Ag metallarından düzəldilmişdir; Ən yaxşı nəticələr Au kontaktları ilə alınmışdır. Sönmə zamanı qalınlığı bir neçə mkm olan naqıl yaranır. GaSe üçün bu parametrlər alınmışdır: qalınlıq -20 mkm;  $V_S=60\text{V}$ ;  $I_S=2 \cdot 10^{-3}\text{A}$ ; bərpa etmə cərəyanı -2mks; məxsusi sönmə müddəti -100nsan; bərpa etmə zamanı -200 nsan. Təklif olunan mexanizm: elektron prosesi nəticəsində mənfi müqavimət yaranır. 1 mkm qalınlıqlı GaSe nümunəsinin saxlanma müddəti -100 msan azdır. Laylı birləşməli kristallarda söndürücünün mənfi təsiri aşağı enerjilər və yüksək omlu halın bərpa etmə müddətidir.

Müxtəlif aşqarların GaS və GaSe monokristallarının elektrik xassələrinə təsiri [29, s.11-17] işində tədqiq edilmişdir. [20, s.15-22]-işində Bricmen metodu ilə yetişdirilmiş yüksək müqavimətli GaSe:Sn ( $10^3\div 10^7$  Om·sm) monokristallarının  $4\cdot 10^4$  V/sm - ə qədər intensivlikli sahədə 167÷285 K temperaturlarda elektrik keçiriciliyi ölçülmüşdür. Müəyyən olunmuşdur ki, Om qanunundan kənara çıxma olan elektrik sahəsinin ( $E_k$ ) gərginliyi aşqarın konsentrasiyası 0,01–dən 0,05 at.%-nə qədər artdıqda 1,6-dan 5 kV/sm-ə qədər artır.  $E > E_k$  olduqda elektrik keçiriciliyi Frenkel-Pul qanunu ilə dəyişir. Göstərilmişdir ki, təcrübi nəticələri Şotki effekti nöqtəyi-nəzərindən izah etmək olmaz. Frenkel termoelektron ionlaşma nəzəriyyəsinə uyğun koordinatlarda cərəyan sıxlığının E-dən birbaşa asılılığından və IQ-şüalanmanın əksolma spektrlərindən tapılmış dielektrik nüfuzluğunun elektron hissəsindən GaTe və GaSe laylı yarımkeçiricilərində kompensasiyanın dərəcəsi, eləcə də layların daxilində dəşiklərin aktivasiya enerjisi və laylar arasında baryerin hündürlüyü təyin edilmişdir. GaTe və GaSe üçün uyğun olaraq yürüklüyün  $\mu_{300k}=90$  və  $30$  sm<sup>2</sup>/V·san və yükdaşıyıcıların aktivasiya enerjisi  $\Delta E=0,1$  və  $0,2$  eV təyin olunmuşdur. Lampert nəzəriyyəsi ilə izah olunan S-ə bənzər VAX-a malik GaS, GaSe və GaS<sub>x</sub>Se<sub>1-x</sub> ( $0 < x < 1$ ) monokristallarında sönmə effekti müşahidə edilmişdir. Mənfi müqavimətli halın yaranmasından sonra yaddaşlı sönmə baş verir. Sərhəd gərginliyi ( $V_s$ ) alındıqdan sonra yüklənmənin müqavimətinin ( $R_H$ ) böyük qiymətində əks sönmə baş verir. Əgər  $V_s/R_H$  kritik  $I_s$  qiymətindən böyük olarsa, onda yaddaşlı sönmə baş verir. Yüksək müqavimətli halın bərpa üçün nümunəyə qısa böyük cərəyan impulsu verilməlidir. Sönməni bir neçə dəfə təkrar etmək olar. Kontaktlar In və Ag metallarından düzəldilmişdir. Ən yaxşı nəticələr Au kontaktları ilə alınmışdır. Sönmə zamanı bir neçə mkm qalınlığında naqıl yaranır. GaSe üçün bu parametrlər alınmışdır: qalınlıq -20 mkm;  $V_3=60$ V;  $I_s=2\cdot 10^{-3}$ A; bərpa olunma cərəyanı -2 mks; məxsusi sönmə zamanı 100 nsan; bərpaetmə zamanı 200 nsan. Təklif olunan mexanizm: elektron prosesi nəticəsində mənfi müqavimət yaranır. 1 mkm qalınlıqlı GaSe nümunəsinin saxlanma zamanı 100 msan, sönmə müddəti 100 nsan azdır.

Elektrik tədqiqatlarının ədəbiyyat verilənlərini analiz edərək belə nəticəyə gəlmək olar ki, GaS və GaSe monokristallarında geniş temperatur intervalında

daşıyıcıların paylanma mexanizmi kifayət qədər tədqiq edilmişdir, qadağan olunmuş zonada lokal halların parametrləri və zonalarda halların sıxlığı təyin olunmuş müqavimət anizotropiyası və sönmə effekti öyrənilmişdir. Bu monokristallarda aşqarların elektrik xassələrinə təsiri dəqiq tədqiq edilməmişdir. Laylı quruluşlu kristallar laylara görə bölünməsi və laylar boyunca və eninə bir çox fiziki xassələrin aydın görünən anizotropiyasına malikdir.

Ştark effekti və elektron ötürmələrin tədqiqi göstərdi ki, baxmayaraq ki, qallium monoselenid laylı quruluşa malikdir, bu yarımkeçirici, keçirici zona yaxınlığında izotropik elektron hallarına, valent zona isə anizotropiyaya malikdir [56, s.180. 58, s.14-19]. C oxuna perpendikulyar istiqamətdə elektronların effektiv kütləsi paralel istiqamətlə müqayisədə kiçikdir. Eyni zamanda deşiklərin effektiv kütləsi paralel istiqamətlə müqayisədə C oxuna perpendikulyar istiqamətdə daha çoxdur ( $m_h^\perp=0.8m_0$ ,  $m_h^\parallel=0,2m_0$ ).

GaSe-də elektron və deşiklərin effektiv kütlələrinin anizotropiyasına baxmayaraq eksiton halları üçölçülüdür və effektiv kütlələrin anizotropiyasına səbəb olmur. ( $m_\perp/m_\parallel=1,0\pm 0,04$ ). Bu nəticələr üçölçülü psevdopotensial əsasında zona strukturunun hesablanması təsdiq edir [58, s.118-125].

Göstərilmişdir ki, hər iki zonada yükdaşıyıcıların effektiv kütlələrinin nisbəti bir tərtiblikdir. Kənarçıxma  $c$  kristal oxu boyunca atom dalğa funksiyalarının örtməsini azaldan laylar arasına baryerlərin daxil edilməsi ilə alına bilər.

GaSe birləşməsində lay boyunca ( $\mu_\parallel$ ) və laya perpendikulyar ( $\mu_\perp$ ) Holl mütəhərriqliyi [19, s.993-995] ölçülmüşdür. İmpuls texnikasının köməyi ilə mütəhərriqliyin temperaturdan və elektrik sahəsindən asılılığı alınmışdır. Göstərilmişdir ki, ( $\mu_\parallel$ ) və ( $\mu_\perp$ ) qeyri-polyar optik fononların səpilməsindən təyin olunur və bu halda keçiriciliyin effektiv kütlələri uçuş zamanı metodu ilə tapılmış effektiv kütlələrdən fərqlənir:  $\mu$  elektrik sahəsindən asılıdır. Zəif və güclü sahələrdə yürüklüyün müxtəlifliyi quruluş defektləri ilə əlaqədardır.

[50, s.21-25. 93, s.101-103] işinin müəllifləri tərəfindən göstərilmişdir ki, keçiriciliyin anizotropiyası aktivasiya temperaturuna məruz qalmır və nümunələrin qalınlığının kvadratı ilə tərs mütənasibdir. Anizotropiyanın temperatur və qalınlıq

asılıqlarının (temperaturun və qalınlığın) böyük intervalında aparılan tədqiqatlar əsasında belə nəticəyə gəlmək olar ki, anizotropiya həcmi və səthi keçiriciliyin mövcudluğu ilə əlaqədardır. Bu model əsasında müəlliflər [93, s.101-103], hipotetik L səth qalınlığını daxil edərək, anizotropiyanın qalınlıq asılılığını izah edirlər. Hal-hazırda keçiriciliyin anizotropiyası və onun temperatur asıllığı haqqında həm təcrübi, həm də nəzəri nəticələri ətraflı izah edən heç bir fikir yoxdur.

[124, s.30-33] işində  $n$  və  $p$ -tip GaS monokristallik nümunələrində 80÷600K temperaturlarda Holl ölçmələri aparılmışdır (maqnit sahəsi lay müstəvisinə perpendikulyardır). Aşağı temperaturlarda yalnız foto-holl effekti ölçülmüşdür, 300K-dən yuxarıda isə ölçmələr qaranlıqda aparılmışdır. Göstərilmişdir ki, elektronların ( $\mu_e$ ) və deşiklərin ( $\mu_p$ ) Holl yürüklüyü bir-birindən az fərqlənir və kifayət qədər yuxarı temperaturlarda aşağıdakı şəkildə göstərilə bilər:

$$\mu_e=16(T/T_0)^{-2,4}\text{sm}^2/\text{V}\cdot\text{s} \text{ və } \mu_p=12(T/T_0)^{-2,4}\text{sm}^2/\text{V}\cdot\text{s}. (T_0=300\text{K}) \quad (1.3.3)$$

Bəzi nümunələrdə 15÷50 mkm intervalda polyarizasiya olmuş İQ şüalanmanın udulma və əksolması ölçülmüşdür. Udulmanın əsas piki enerjisi 0,04 eV olan fotonlara uyğun gəlir. Nəticələr laylı strukturlu yarımkəçiricilərin səpilmə nəzəriyyəsi əsasında izah edilmişdir.

Yod aşqarlı  $n$  və  $p$ -tip GaS monokristallarında Holl effektinin və keçiriciliyin termo e.h.q.-nin ölçülməsi [124, s.30-33] işində göstərilmişdir. Elektron keçiricili nümunələr otaq temperaturundan 550 K-ə qədər temperatur intervalında, deşik keçiricilikli nümunələr isə 55 K temperaturda ölçülmüşdür və nəticədə elektronların yürüklüyünün temperatur asıllığı tapılmışdır. Ölçmələrin nəticələri əsasında halların effektiv sıxlığı üçün 300K-də  $N_e=10^{21}\text{sm}^{-3}$  qiyməti tapılmışdır. Alınmış  $N_e$  qiymətindən istifadə edərək GaS monokristalının zona strukturunun hesablanması üçün Fişer [105, s.317-321] Fivaz [106, s.833-835] modellərinin tətbiqini analiz etmişlər. Birinci modeldən elektronun effektiv kütləsi üçün  $m_e^*=0,01m_0$ ; ikincidən isə  $m_e^*=0,5m_0$  alınır. Baxmayaraq ki, böyük effektiv kütləli elektronların mövcudluğu başqa nəticələrlə təsdiq olunur, belə nəticə çıxır ki, Fivaz modeli GaS-də baş verən prosesləri daha yaxşı izah edir.

İşdə [19, s.993-996] laylı monokristallik yarımkeçiricilərdə elektronların və dəşiklərin dreyf yürüklüyünün ( $\mu$ ) temperaturdan ( $80\div 400\text{K}$ ) və elektrik sahəsindən ( $10^4\div 10^5$  V/sm-ə qədər) asılılığı tədqiq edilmişdir.  $\mu$ -nü təyin etmək üçün uçuş müddəti metodundan istifadə edilmişdir. Ölçmələr, əsasən, lay müstəvisinə perpendikulyar və qismən lay müstəvisinə paralel aparılmışdır. Alınmış  $\mu(T)$  asılıqları bu fərziyədə interpersasiya edir:  $\mu$  polyar və qeyri polyar optik fononlardan səpilmə ilə əlaqədardır: Tədqiq olunan materiallarda adətən laylı strukturlu maddələrdə gözlənilən yükün ötürülməsini xarakterizə edən parametrlərin anizotropiyası aşkar edilməmişdir. Buradan belə nəticə çıxır ki, bu yarımkeçiricilərdə zonalar üçölçülüdür.

Geniş zonalı yarımkeçiricilərin bir çox fiziki xassələri qadağan olunmuş zonada lokal səviyyələrin yerləşməsi, təbiəti, vəziyyəti ilə təyin olunur.

GaSe-də defektlərin tədqiqi məqsədi ilə [19, s.993-996] işində fəza yükü ilə məhdudlanmış injeksiya cərəyanından istifadə edilmişdir. Təyin olunmuşdur ki, maksimal təmiz nümunələrdə yalnız monoenergetik səviyyələr var, onların konsentrasiyası  $\sim 10^{15}\text{sm}^{-3}$ -ə bərabərdir. Lakin kifayət qədər böyük miqdarda aşqarların spektri kəsilməz olur. Nəticələr statik VAX, eləcə də  $240\div 330\text{K}$  temperatur intervalında keçiriciliyin analizinin köməyi ilə alınmışdır [38. s.345-351].

Güclü elektrik sahələrində ( $E \leq 6 \cdot 10^4 \text{V/sm}$ )  $77\div 300\text{K}$  temperatur intervalında qalayla aşqar olunmuş GaSe və GaTe monokristallarının elektrik keçiriciliyinin ölçmələrinin nəticələri [19, s.993-995] işində göstərilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, təcrübə nəticələri Şottki effekti nöqtəyi-nəzərindən izah etmək olmaz. Frenkelin termo-elektron ionizasiya nəzəriyyəsinin uyğun koordinatlarında cərəyan sıxlığının E-dən asılılıq əyrisindən laylı GaTe və GaSe yarımkeçiricilərin kompensasiya dərəcəsi: eləcə də lay daxilində dəşiklərin aktivasiya enerjisi laylar arasında çəpərlərin hündürlüyü təyin edilmişdir.

Bu İşlərdə [149, s.3643-3644. 150, s.340-345] GaS və GaSe monokristallarında keçid effekti tədqiq edilmişdir. p-GaSe monokristallik nümunələrində keçid effekti müşahidə edilmişdir. [149, s.3643-3644] Ölçmələr üçün GaSe kristalının səthinə Au kontaktları hopdurulmuşdur. Ölçmələr  $18^{\circ}\text{C}$ -də aparılmışdır. Keçid müddəti bir neçə

millisaniyə tərtibindədir. Keçid gərginliyi 150 V-olur. Keçid müddəti nümunənin müqavimətindən asılı olaraq 2÷5 tərtib dəyişir. Nümunələri 10-dan çox keçid olmayaraq saxlamışlar. Fotokeçiriciliyin sönmə ayrılarının tədqiqatı göstərdi ki, qadağan olunmuş zonada mərkəzlər kvazikəsilməz paylanıb. Lampert nəzəriyyəsi ilə izah olunan S-ə bənzər VAX-a malik GaS, GaSe və  $GaS_xSe_{1-x}$  ( $0 < x < 1$ ) monokristallarında xarici görünüşcə Ovşinski şüşələrinə bənzər yaddaşlı keçid effekti müşahidə edilmişdir [98, s.2675-2678]. Yüksək yük müqavimətində ( $R_y$ ) sərhəd gərginliyi ( $V_s$ ) alındıqdan sonra dönmə keçid baş verir. Əgər  $V_s/R_y$   $I_s$ -nin kritik qiymətini keçərsə, onda yaddaşlı keçid baş verir. Yüksəkölçülü halın bərpası üçün nümunəyə böyük cərəyan impulsu vermək lazımdır.

Kontaklar In və Ag metallarından düzəldilmişdir: Ən yaxşı nəticələr Au kontaktları ilə alınmışdır.

Elektrik tədqiqatlarına aid ədəbiyyat materiallarını analiz edərək, elə nəticəyə gəlinir ki, GaS və GaSe monokristallarda geniş temperatur intervalında daşıyıcıların səpilmə mexanizmi tədqiq edilmişdir, qadağan olunmuş zonada lokal halların parametrləri və zonalarda halların sıxlığı təyin olunmuşdur, müqavimətin anizotropiyası və keçid effekti öyrənilmişdir. Bu monokristalların elektrik xassələrinə aşqarların təsiri tam tədqiq olunmamışdır.

#### **1.4. $A^{III}B^{VI}$ laylı yarımkəçiricilərin monokristallarında radiasiya effektləri**

Kristalların müxtəlif zərrəciklərlə şüalandırılması zamanı radiasiya defektlərinin yaranma mexanizminə baxaq. Elementar yarımkəçiricilərlə müqayisədə yarımkəçirici birləşmələrdə mümkün nöqtəvi defektlərin nəzəri analizi daha mürəkkəbdir. Məsələn, sink sturukturlu binar birləşmədə atomların qarışma və ya yerdəyişməsi nəticəsində səkkiz tipdə nöqtəvi defektlər əmələ gələ bilər: iki tip vakansiya, dörd tip düyünlərarası atomlar və nəhayət, əvəzetmə nəticəsində baş verən iki tip defekt.

Yarımkəçirici materiallara radiasiyanın təsirinin öyrənilməsinə dair təcrübə tədqiqatları 50-ci illərdən başlamışdır. Monokristallarda nöqtəvi defektlərin yaranması

onun elektrik və digər xassələrinin dəyişməsinə gətirib çıxarır. İlk növbədə xüsusi müqavimət artır. (əsas cərəyan daşıyıcıların konsentrasiyası azalır), belə ki, yaradılan radiasiya defektləri əsas cərəyan daşıyıcıları ilə müqayisədə kompensasiya edici mərkəz rolunu oynayır.

[37, s.51-60. 79, s.1337-1340] işlərində sürətli neytronlarla şüalanmadan əvvəl və sonra  $n_0$  və  $n_\Phi$  əsas yükdaşıyıcıların konsentrasiyası arasında analitik asılılıq alınmışdır.

$$\alpha\Phi/n_0=5 \cdot 10^{12}/n_\Phi-n_\Phi/n_0+1 \quad (1.4.1)$$

Burada  $\alpha=\Delta n/\Delta\Phi$ – yükdaşıyıcıların qopma sürəti;  $\Phi$ –sürətli neytron selidir.

Radiasiya defektlərinin səviyyələrinin energetik vəziyyətinin tədqiqi üçün müxtəlif fiziki tədqiqat metodlarından və ilk növbədə aşqar fotokeçiriciliyin spektral paylanması tədqiqindən və Holl effektinin temperatur asılılığından geniş istifadə edilir.

Hal-hazırda  $A^3B^6$  tipli kristallara şüalanmanın təsirinin tədqiqinə dair çox az iş var.

[55, s.373-375] işində elektron seli ilə şüalanmanın GaS, GaSe (Er) monokristallarının fotokeçiriciliyinə təsiri tədqiq edilmişdir. Aşağıdakı faktlar alınmışdır: 570-800 nm oblastda həssaslığın dəyişməsi müşahidə edilmişdir, şüalanmamış nümunələrlə müqayisədə fotokeçiricilik təqribən 80% azalır. Fundamental udulma sərhəddi oblastında fotokeçiriciliyin və aşqar piklərin kompensasiyası baş verir. Göründüyü kimi, qamma-kvantlarla şüalanma nəticəsində nümunəyə daxil olan defektlər kristalda olan aşqar atomlarla kompleks yaradır və fotohəyəcanlaşmış daşıyıcıların tutulma mərkəzlərini ləğv edir. Bu da öz növbəsində qamma-kvantlarla şüalanmanın uyğun dozalarından sonra nümunələrin həssaslığının artmasına gətirib çıxarır. Şüalanma dozasının sonrakı artımı defektlərin konsentrasiyasının artmasına və bu da öz növbəsində kristalın fotohəssaslığının azalmasına və sonda sönməsinə səbəb olur.

Şüalanmış nümunələrdə fotokeçiricilik maksimumunun yerini dəyişməsi ilkin kristalların FK maksimumunun kiçik enerjili aşqar səviyyəyə keçidini göstərir. Vakkumda şüalanmış kristalların termik işlənməsi zona-zona keçidi oblastında fotokeçiriciliyin bərpasına və aşqar FK pikinin bərpasına gətirib çıxarır.

[83, s.112-185] işində qamma-kvantlarla şüalanmış InSe kristalında sərhəd və ultrabənövşəyi fotokeçiricilik tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, InSe kristalında radiasiya defekt əmələgəlmənin əsas mexanizmi aşqar ionlaşma xarakterlidir. Nəticədə donorların iştirakı ilə kompleksin yaranması nəticəsində dayaz donorların konsentrasiyası azalır. Bu zaman zona-zona keçidi yüklənmiş aşqarları neytrallaşdırır və radiasiya defektlərinin əmələ gəlmə sürətini nəzərə çarpacaq dərəcədə azaldır.

Qamma-kvantlarla şüalanmanın uyğun seçimində yüklənmiş donorların konsentrasiyasının azalması nəticəsində fotokeçiriciliyin bir neçə tərtib artmasına nail olmaq olar.

$A^3B^6$  kristalların ultrabənövşəyi fotokeçiriciliyi (UBFK) və sərhəd fotokeçiriciliyi müxtəlif tipli fotohəyacanlaşmış daşıyıcıların yaranmasını formalaşdırır.  $A^3B^6$  kristallarında yüksək UBFK səbəb valent zonanın dərinliyində yüngül dəşiklərin çoxluğunun olmasıdır.

İşdə [78, s.68-72] GaS və GaSe monokristallarının elektrik xassələrinə müxtəlif aşqarların təsiri tədqiq edilmişdir. GaS monokristallarında  $c$  oxu boyunca və ona perpendikulyar istiqamətdə elektrik keçiriciliyi tədqiq edilmişdir. Müəlliflər  $c$  oxu boyunca və ona perpendikulyar istiqamətdə keçiriciliyin tezlik asılılığını tədqiq etmişlər. Bu effekt  $n$ -tip kristallarda müşahidə edilməmişdir. Müəlliflər tərəfindən  $p$ -GaS-də müşahidə edilən elektrik keçiriciliyinin “sıçrayışlı” keçiricilik ilə izah etmişlər. İşdə [132, s.9-11] GaS yüksək müqavimətli monokristallarda ( $\rho \sim 10^{10}$  Om·sm)  $c$  oxu istiqamətində statik VAX temperatur asılılığı tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bu monokristallarda cərəyan keçmə mexanizmi ölçmənin aparıldığı temperatur ilə təyin olunur. Yüksək temperaturlarda ( $T=200$  K) tədqiq olunan nümunələrin VAX FYMC nəzəriyyəsi, aşağı temperaturlarda isə eyni zamanda həm FYMC və makro qeyri-bircins yarımkəçiricilər üçün işlənməmiş



ikibaryerli model ilə izah olunur. Oyuqların parametrlərinin aşağıdakı qiymətləri alınmışdır:  $N_t=7,5 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ ,  $N_v\mu=1,6 \cdot 10^{10} \text{ Om}^{-1} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{I}^{-1}$ ,  $N_v=3 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ ,  $\mu =10^{-8} \text{ sm}^2/\text{v} \cdot \text{s}$ . Aşağı temperaturlarda əyrilərə əsasən təyin olunmuş aktivasiya enerjisi uyğun olaraq 0,05 və 0,56 eV təşkil edir.

Müəlliflər [18, s.1430-1431] tərəfindən yüksək müqavimətli GaS monokristalının müxtəlif temperaturlarda (120-360 K) VAX tədqiq edilmiş, Fermi səviyyəsindən yuxarıda yerləşən səviyyələrin dərinliyi və konsentrasiyası təyin olunmuşdur və uyğun olaraq 300K temperaturda  $5 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$  və 0,4eV təşkil etdiyi göstərilmişdir.  $\lg\theta \sim 10^3/T$  asılılığına əsasən 0,02 və 0,5 eV aktivasiya enerjiləri təyin edilmişdir.

Bricmen–Stokbarger metodu ilə yetişdirilmiş GaS monokristallarında Holl effekti tədqiq edilmişdir [142, s.339-341]. Müəyyən edilmişdir ki, GaS monokristalının elektrik keçiriciliyi–aktivləşmə enerjisi - 0,52 eV və konsentrasiyası  $2,3 \cdot 10^{16} \text{ sm}^{-3}$  olan kükürd vakansiyaları ilə bağlıdır. Aşağı temperaturlarda ( $T < 350\text{K}$ ) keçiricilik 0,15 eV aktivasiya enerjili donor mərkəzləri ilə əlaqədardır. GaS monokristallarının fotoelektrik xassələrinin tədqiqinə çox az sayda iş həsr olunmuşdur. [102, s.610-611] İşdə Bricmen metodu ilə yetişdirilmiş *n*-GaS monokristallarında spektral paylanma, fotokeçiriciliyin temperatur asılılığı öyrənilmişdir. Valent zonadan 0,2; 0,78 və 0,99 eV yuxarıda yerləşən dörd dəşik səviyyəsi aşkar edilmişdir. Fotokeçiriciliyinin analizi əsasında iki r-mərkəzin vəziyyəti; elektron və deşiklərin tutulmasının en kəsiyinin  $S_{pn}/S_n$  nisbəti və rekombinasiya mərkəzlərinin  $N_2/N_1$  nisbəti təyin olunmuşdur, bunların qiyməti birinci mərkəz üçün uyğun olaraq 0,53;  $3,9 \cdot 10^3$  və 50, ikinci mərkəz üçün 0,20 eV; 8,2 və  $1,4 \cdot 10^{-4}$  olmuşdur.

[68, s.1748-1749] İşdə göstərilmişdir ki, YbS birləşməsi GaS-də 0,18 at. %-ə qədər həll olur. İşdə müəlliflər tərəfindən  $(\text{GaS})_{1-x}(\text{YbS})_x$  monokristallarında fotokeçiriciliyin spektral paylanması tədqiq olunmuşdur və müəyyən olunmuşdur ki, YbS-in GaS-ə daxil edilməsi aşqarlanma olunmamış kristallarda müqayisədə fotehəssaslığı iki tərtib artırır və spektral oblastın həssaslığını genişləndirir.

Fotokeçiriciliyin paylanma əyrisindən yuxarıda yerləşən 0,54; 0,78 və 0,94 eV səviyyələri təyin olunmuşdur.

[78, s.68-75] İşdə qalliumun  $A^{III}B^{VI}$  (GaSe, GaS, GaTe),  $A^3_2B^6_3$  ( $Ga_2Se_3$  və  $Ga_2Te_3$ ) tərkibli hallogenidlərində və onlar arasında bərk məhlulların lokal səviyyələrinin energetik spektri tədqiq edilmişdir. Qallium hallogenidlərin lokal səviyyələrinin energetik spektrinin təyini üçün Frenkelin termosahə effekti, termostimullaşdırılmış depolyarlaşmanın və polyarlaşmanın cərəyanları tədqiq edilmişdir. Lokal səviyyələrin əsas parametrləri təyin edilmişdir: konsentrasiya, tutulmanın en kəsiyi, aktivasiya enerjisi və s.

[138, s.120-122. 140, s.257-259. 143, s.1031-1035] İşlərində göstərilmişdir ki,  $A^{III}B^{VI}$  monokristallarının, xüsusən də GaSe və GaS-in elektrik və fotoelektrik xassələri daxil edilən aşqarın miqdarından və tipindən asılıdır.

VAX metodu ilə GaS-nin deşik mərkəzlərin elektrikeçirmədə rolu tədqiq edilmişdir. Konsentrasiyası  $2,3 \cdot 10^{13} \text{ sm}^{-3}$  olan elektron səviyyəsi və keçiricilik zonasından aşağıda yerləşən 0,57 eV dərinliyi təyin edilmişdir [141, s.1063-1065]. Göstərilmişdir ki, cərəyanın keçmə mexanizmi MCFY (məhdudlanma cəryanı fəza yükləri) ilə əlaqədardır. *p*-GaS:0,15 at. %Yb monokristallarında VAX, fotocərəyanın temperatur asılılıqları, fotokeçiriciliyin spektral paylanması tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar göstərdi ki, bu monokristallarda dərin lokal səviyyələr var, bunların da dərinliyi 0,1; 0,27; 0,33; 0,42; 0,47; 0,63 eV təşkil edir [74, s.29-30]. Udulmanın aşqar oblastında fotokeçiriciliyə səbəb valent zonasından yuxarıda 0,30; 0,62 və 1,02 eV məsafədə yerləşən aşqar səviyyələrdir.

İşdə qaz nəqli metodu ilə yetişdirilmiş *n*-tip GaS monokristallarında fəza yükü ilə məhdudlaşmış cərəyanın və fotoinduksiya cərəyanının (PICTS) ölçmələri göstərilmişdir [135, s. 116-118. 144, s.139-140]. Keçiricilik zonasının dibindən 0,17; 0,45 və 0,56 eV yuxarıda yerləşən üç elektronun uyğun olaraq  $2 \cdot 10^{-19}$ ;  $5 \cdot 10^{-14}$  və  $8 \cdot 10^{-13} \text{ sm}^2$  istilik tutulmasının en kəsiyi aşkar edilmişdir. Bundan əlavə, Holl effektinin ölçülməsi zamanı 220 və 320 K temperatur diapozonunda 0,12 eV aktivasiya enerjili aşkar keçiriciliyi müəyyən edilmişdir.

Tədqiq olunan materialda kristallik qəfəsin defektləri və ya qalıq kimyəvi aşqarlar haqqında kifayət qədər informasiya olmadığına görə təcrübi nəticələr bu mərkəzlərin xarakteri haqqında nəticə çıxarmağa imkan vermir. Lakin bu nəticələri ədəbiyyatda olan nəticələrlə müqayisə etdikdə belə nəticəyə gəlmək olar: *n*-GaS-də 0,52 və 0,57 eV arasında yerləşən donor səviyyə Holl effektinin və termoelektrik effektinin köməyi ilə müəyyən edilmişdir. Lieth və Van-der-Mesen modelinə əsasən bu kükürd vakansiyaları ilə bağlı ola bilər. Əgər kompensasiya olarsa, bu donor elektronlar üçün oyuk ola bilər.

İstiqamətlənmiş kristallaşma metodu ilə alınmış GaS monokristallarında fotokeçiriciliyin tədqiqi [115, s.5-8] işdə göstərilmişdir. Burada verilmiş gərginlikdə işığın intensivliyinin fotokeçiriciliyə və daşıyıcıların yaşama müddətinə təsiri öyrənilmişdir. Müxtəlif qalınlıqlı nümunələr üçün VAX və udulma spektrləri alınmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, fotocərəyanın əyriləri praktiki olaraq yerdəyişmə gərginliyindən asılı deyil. Müəyyən edilmişdir ki, energetik sahə GaS üçün 2,5 eV təşkil edir.

[121, s.8-10]-işində Bricmen metodu ilə yetişdirilmiş *p*-tip GaS monokristallarda  $10 \div 300\text{K}$  temperatur diapozonunda 0,10 K/san qızma sürəti ilə termostimullaşmış cərəyanların (TSC) ölçmələrinin nəticələri göstərilmişdir. Nəticələrin analizi dərinlikdə yerləşən altı 0,05; 0,06; 0,12; 0,63; 0,71 və 0,75 eV səviyyənin olduğunu göstərdi. Hesablamalar tutma en kəsiyi və konsentrasiya üçün uyğun olaraq  $1,2 \cdot 10^{-21}$ ;  $2,9 \cdot 10^{-23}$ ;  $2,4 \cdot 10^{-21}$ ;  $8 \cdot 10^{-9}$ ;  $1,9 \cdot 10^{-9}$  və  $4,3 \cdot 10^{-10} \text{ sm}^2$  və  $1,6 \cdot 10^{13}$ ;  $5 \cdot 10^{12}$ ;  $7,3 \cdot 10^{12}$ ;  $1,2 \cdot 10^{14}$ ;  $8,9 \cdot 10^{13}$ ;  $2,6 \cdot 10^{13} \text{ sm}^{-3}$  qiymətləri alınmışdır.

Müəllif tərəfindən [148, s.642-643]-də *n*-GaS kristallarında Holl effektinin və termostimullaşdırılmış cərəyanların (TSC) tədqiqi nəticələri göstərilmişdir. Aktivləşmə enerjisi 0,2 eV olan aşqar keçiricilik  $200 \div 300\text{K}$  temperatur diapazonunda müşahidə edilmişdir. TSC ölçmələrinin nəticələri onu göstərir ki, yod keçiricilik zonasının dibindən 0,44 eV səviyyədə yerləşən donor tiplidir. İşdə təmiz və Cu-la aşqarlanmış GaS kristallarında, eləcə də Ni-GaS(Cu)-In və GaS(Cu)-ZnO birləşmələrində ftohəssaslıq tədqiq edilmişdir. GaS və GaS(Cu) kristallarında səth hallarının aktivasiya enerjisi uyğun olaraq 0.10 eV; 0.40 eV və 17 MeV, ~400MeV

təşkil edir. Cu-un akseptor səviyyələri GaS-in valent zonasından 0,44 eV və 0,52 eV yuxarıda lokallaşır. ZnO-GaS(Cu) heteroqeyidləri 250÷700 nm dalğa uzunluğu diapozonunda işığa həssasdır.

[154, s.3638-3640] işdə GaS monokristallarında işığın intensivliyinin yükdaşıyıcıların səthi rekombinasiya sürətinə təsirinin tədqiqat nəticələri göstərilmişdir. Bu məqsədlə udma və əks etdirmə əmsalının, həmçinin fotokeçiriciliyin spektral asılılığı (420÷550 nm) tədqiq olunmuşdur. Tədqiqatlar işığın müxtəlif intensivlikləri üçün 80-333 K temperatur diapozonundan seçilmiş bir neçə temperaturda aparılmışdır. Bu temperaturalarda işıqlanma intensivliyinin və fotokeçiriciliyin dalğa uzunluğundan asılılıq nəzəriyyəsində ən kiçik kvadratlar metodundan istifadə edilmişdir. Yükdaşıyıcıların yaşama müddəti və səthi rekombinasiya sürətinin işıqlandırmanın temperaturundan və işığın intensivliyindən asılılığı alınmışdır.

Elektron xassələrinə əsasən ədəbiyyat materiallarını analiz edərək, belə bir nəticəyə gəlmək olar ki, GaS və GaSe monokristallarında geniş temperatur diapozonunda yükdaşıyıcıların paylanma mexanizmi tədqiq edilmiş, qadağan olunmuş zonada lokal halların sıxlığı təyin olunmuş, müqavimətin anizotropiyası və sönmə effekti öyrənilmişdir. Ədəbiyyat materiallarının analizindən görünür ki, laylı kristallarda aşqar atomlarının elektrik xassələrinə təsiri, o cümlədən səth effektlərinə təsiri haqqında məlumatlar yoxdur.

### **1.5. GaS və GaS:Yb monokristallarında səth effektinin öyrənilməsinə dair materialın əsaslandırılması**

Kosmik tədqiqat işlərində, hərbi texnikada, optik rabitə sistemlərində informasiyaların qəbulu və ötürülməsi zamanı istifadə olunan cihazlara qoyulan tələblərin artması xarici təsirlərə qarşı davamlı, cəld işləyən və iqtisadi cəhətdən əlverişli olan materialların alınması və onlar əsasında optoelektron sistemlərinin yaradılması məsələsini qarşıya qoyur. Nəzərə alsaq ki, hazırda praktikada geniş istifadə olunan silisium monokristalının fərdi (o cümlədən GaAs, GaP, CdSe, CdS və

s.) xüsusiyyətləri (0,3-0,5 mkm oblastında fotohəssaslığının aşağı və ətalətliliyin yüksək olması və böyük şüalanma dozalarında keçiriciliyin konversiyası baş verdiyindən) ekstremal şəraitlərdə qarşıya qoyulan şərtləri ödəmir, həmin şərtləri ödəyən yeni yarımkeçirici materialların alınma texnologiyasının və onlar əsasında radiasiya texnologiya üsulu əsasında “kvant çuxurlarının” yaradılması, həmçinin fiziki xassələrinin tədqiq edilməsi aktual olaraq qalır. Laylı quruluşa malik  $A^{III}B^{VI}$  kristalları qrupuna daxil olan GaS monokristalları da, güclü quruluş anizotropiyasına malikdir. Quruluş xüsusiyyəti lay daxilində güclü ion-kovalent rabitəli müstəvi atom paketinin, laylararasıda isə, zəif Van-der-Vaals qüvvəsinin olması ilə bağlıdır. Qeyd olunan faktlar [41, s.35-48] işlərdə araşdırılmasına baxmayaraq, onlarda aşqar atomlarının müxtəlif fəzalarda (lay daxilində və ya laylar arasında) paylanması və onların aşqar və radiasiya defektləri ilə qarşılıqlı təsiri nəzərə alınmadığından, alınan nəticələr əsasında aşqar atomlarının paylanma mexanizmini izah edən modelin yaradılmasına 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 kristalın *c*-oxu istiqamətində sərbəst yükdaşıyıcıların yürüklüyünün və diffuziya yolunun kiçik olmasıdır. Bu səbəbdə onlarda *p*-tip keçiricilik formalaşır və yüksək müqavimətə malik kristallar isə, qismən kompensasiya olunmuş olurlar. [45, s.51. 49, s.185-201] - işində, aşqar NTE atomlarının konsentrasiyasının laylı kristalların fotoelektrik xassələrinə təsiri geniş temperatur intervalında araşdırılsa da, alınan nəticələrdə defektlərin təbiəti nəzərə alınmadığından keçiriciliyin, xüsusən səth keçiriciliyinin məqsədyönlü idarə olunması üçün vahid mexanizm verilməmişdir. Digər işlərdə isə defektlərin konsentrasiyasını idarə etmək məqsədi ilə, ionlaşdırıcı şüalardan (qamma-şüalarından) istifadə olunmasının daha məqsədəuyğun olduğu göstərilir. Ancaq radiasiya defektlərinin paylanması kristalın alınma üsulundan və səth defektlərinin modifikasiyasından asılı olduğundan, onların kristalın fotoelektrik xassələrinə təsirini izah edən vahid mexanizm haqqında fikir yürütmək mümkün olmur. Ona görə də təqdim olunan işin məqsədi laylı və aşqarlı (Yb) *p*-GaS monokristalında məxsusi və

aşqar tipli nöqtəvi defektlərin elektron quruluşuna təsiri haqqında əlavə məlumat almaq məqsədi ilə GaS:Yb monokristallarının elektrik və fotokeçiriciliyinin geniş temperatur intervalında tədqiqidir.

1.1-də radiasiya texnologiyasının yarımkeçirici materiallar əsasında cihazların hazırlanmasında istifadə olunması haqqında geniş məlumat verilmişdir. Həmin texnologiyanın tətbiqi sayəsində Si, Ge, GaAs və s. materiallar əsasında müxtəlif tipli diodlar, tranzistorlar və s. hazırlanmışdır. Digər tərəfdən yarımkeçirici materialların radiasiya metodu ilə aşqarlanması daha dayanıqlı defekt səviyyələri yaratsa da, energetik spektrdə onların rolu tam aydınlaşdırılmamış qalır. Belə ki, materialın xassəsindən asılı olaraq ionlaşdırıcı şüalarla şüalanma zamanı keçiriciliyinin inversiyası, xassələrin modifikasiyası və strukturasının dəyişməsi baş verir. Ona görə də ilkin olaraq materialın fiziki xassələrinin, xüsusən udulma zolağında baş verən elektron proseslərinə qamma-kvantların təsirini və təsirin şüalanma dozəsindən asılılığının tədqiq edilməsi başlıca məsələlərdən biridir.

Laylı kristallarda (GaS) diod strukturlarının hazırlanması üçün müxtəlif texnoloji üsullardan (optik kontakt, MY- kontaktı, oksidləşmə üsulları və s.) istifadə edilməsinə baxmayaraq optimal rejimin seçilməsi mümkün olmamışdır. Bu isə texnoloji proses zamanı aşqar atomlarının, eləcə də radiasiya defektlərinin laylararası oblastda yerləşməsi və fəzaca paylanmasının qeyri-xətti olması ilə bağlıdır. Qeyd olunan çatışmamazlığı aradan qaldırmaq məqsədi ilə və yaradılacaq strukturların effektivliyini artırmaq məqsədi ilə GaS monokristalı Yb atomları ilə aşqarlanmadan əvvəl və sonra kristalın səthində baş verən radiasiya effektlərinin tədqiqi və optik üsullarla səth morfologiyasının öyrənilməsi nəzərdə tutulmuşdur.

Tədqiqat obyektini olaraq laylı kristalların seçilməsi, onların spektrin görünən və bənövşəyi oblastında yüksək fəthəssaslığa, ionlaşdırıcı şüalara qarşı davamlı olması ilə bağlıdır. Belə materiallar əsasında yaradıla biləcək heterostruktur və Şottki çəpərli strukturlarından, ssintilyatorlu dozimetrlərdə effektivliyi artırmaq məqsədi ilə istifadə oluna bilər.

Ona görə də təqdim olunan işin məqsədi laylı p-GaS monokristalında məxsusi və aşqar tipli nöqtəvi defektlərin elektron quruluşuna təsiri haqqında əlavə məlumat

almaq məqsədi ilə aşqarlı GaS:Yb monokristalın elektrik və fotokeçiriciliyinin geniş temperatur intervalında tədqiqidir.

Bu məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həlli qarşıya qoyulmuşdur:

- Mükəmməl GaS monokristalının istiqamətlənmiş kristallaşdırma üsulu ilə alınması və onun Yb aşqar atomu ilə aşqarlanması;
- GaS və GaS:Yb monokristallarının kristal quruluşunu və qəfəs parametrlərini təyin etmək;
- GaS və GaS:Yb monokristallarının quruluşuna və qəfəs parametrlərinə qamma-kvantların və termik dəmləmənin təsirini öyrənmək;
- GaS və GaS:Yb monokristallarında udulma zolağında fotokeçiriciliyə elektrik sahəsinin təsirini şüalanmadan əvvəl və sonra tədqiq etmək;
- GaS və GaS:Yb monokristallarında səthyanı oblastda atomlararası qarşılıqlı təsirinin şüalanmadan əvvəl, şüalanmadan sonra və termik dəmləmədən sonra İQ Furiye spektrlərini müəyyən etmək;
- GaS və GaS:Yb monokristallarının səth morfologiyasına qamma-kvantların, dəmləmə temperaturunun təsirinin atom güc mikroskopu ilə müəyyən etmək.

Yuxarıda qeyd olunan məsələlərin yerinə yetirilməsi laylı və aşqarlı kristallarda səth effektlərinin məqsədyönlü idarə etməyə və onlar əsasında spektrin görünən və ultra-bənövşəyi oblastlarında yüksək fəthəssaslığa və radiasiya davamlılığına malik diod strukturlarının yaradılmasına imkan verə bilər.

## II FƏSİL

### GaS VƏ GaS:Yb MONOKRİSTALLARININ ALINMASI VƏ TƏDİQAT METODLARI

#### 2.1. GaS və GaS:Yb monokristallarının yetişdirilməsi

Sintez üçün ilkin komponentlər olaraq təmizliyi 99,999% və 99,9999% olan Ga və S istifadə olunmuşdur. GaS və GaSe birləşmələri [82, s.101-120] işində göstərilən məlum metoda əsasən ilkin komponentlərin əridilməsi yolu ilə sintez olunmuşdur.

GaS sistemində bərk məhlulun alınması üçün ilkin maddə kimi əvvəlcədən sintez olunmuş qallium sulfid istifadə olunmuşdur. Komponentlər ciddi olaraq elementlərin stexiometrik nisbətinə uyğundur.

Ərintilər vibrasiyadan istifadə edilməklə 1373K temperaturda  $10^{-5}$  mm.c.süt. işlənmiş kvars ampulada komponentlərin əridilməsi ilə hazırlanmışdır. Bu ərintilərdən sonralar monokristalların alınması üçün istifadə edilmişdir.

Hal-hazırda GaS və GaSe monokristallarının alınmasının bir neçə üsulu məlumdur.

- Çoxralski metoduna əsasən ərintidən monokristalların alınması;
- zona kristalizasiyası;
- qaz fazasından kristalizasiya.

Eləcə də sabit temperatur qradientində qabaqcadan sintez olunmuş polikristallik kütlədən istiqamətlənmiş kristallaşma yolu ilə GaS və GaSe monokristallarının alınma üsulu məlumdur. Göstərilən üsul qabaqcadan sintez olunmuş ilkin materialın ampulaya yerləşdirilməsi və üç mərhələdə temperatur qradienti olan sobada materialın tədricən soyudulması yolu ilə GaS monokristallarının yetişdirilməsindən ibarətdir.

Lakin göstərilən üsulla alınmış monokristallar kifayət qədər təkmil deyil, yükdaşıyıcıların kiçik yürüklüyünə malikdir. Bu çatışmazlıqlar, əsas onunla bağlıdır ki, monokristalların yetişdirilməsi sərbəst həcmə malik (ilkin maddə ilə tam



dolmamış) ampulalarda aparılır. Ampulda boş həcmə çoxluğu stexiometrik nisbətə pozulmasına və asan uçan komponentin atomların müəyyən miqdarının tərkibdən çıxıb sərbəst həcmdə yerləşməsi nəticəsində kristallik qəfəsdə vakansiyaların əmələ gəlməsinə gətirib çıxarır.

Yüngül uçucu komponentli monokristalların alınması üçün aparılan çoxsaylı təcrübələrin analizi göstərdi ki, sabit qradientli temperaturda asta soyutma metodunun göstərilən çatışmamazlıqlarını qismən aşmaq mümkündür [82, s.120].

Bizim tərəfimizdən təklif olunan GaS monokristallarının alınmasının texnoloji variantı stexiometrik nisbətdə ilkin komponentlərin ampullara doldurulmasını, sobada sintezi və sabit temperatur qradientində asta soyudulma ilə monokristalların yetişdirilməsini özündə birləşdirir. Bu da onunla fərqlənir ki, daha təkmil monokristallar almaq, ilkin materialın sintez texnologiyasını sadələşdirmək məqsədilə monokristalların yetişdirilməsi ayrı-ayrı iki həcmi: köməkçi (yalnız sintez üçün istifadə olunan) və əsas (monokristalların yetişdirilməsi) olan eyni ampulada aparılır. Sintezdən sonra ampula olan soba şaquli olaraq elə yerləşdirilir ki, sintez olunan maddənin ərintisi əsas həcmə tökülsün. Sonra ərintini bərkiyəne qədər soyudurlar, ampula sobadan çıxarırlar, bundan sonra ampulanı maddə ilə birlikdə temperatur qradienti  $20\div 22$  K/sm olan sobaya yerləşdirirlər (monokristalların yetişdirilməsi üçün soyuma sürəti 2,5-3,0 mm/saat seçilir). Ampullara komponentlərin yerləşdirilməsi elə hesabla aparılır ki, bu zaman sintez olunan materialın ərintisi əsas həcmi bütünlüklə tutsun.

Monokristalların yetişdirilməsi zamanı ampullarda sərbəst həcmə az olması yüngül uçucu atomların bəzi miqdarının tərkibdən çıxması nəticəsində stexiometrik nisbətə pozulması mümkünlüyünü imkansız edir. Bu da daha mükəmməl monokristalların alınmasını və eləcə də, onlarda yükdaşıyıcıların yürüklüyünün artmasını təmin edir. Monokristalların mükəmməlliyi eləcə də, çoxsaylı təcrübələr nəticəsində müşahidə olunan soyudulmanın optimal sürətinin seçilməsi ilə (2,5-3,0 mm/saat) bağlıdır.

Monokristalların yetişdirilməsi zamanı istifadə olunan ampula iki hissədən ibarətdir: Köməkçi və əsas. Üst (köməkçi) və aşağı (əsas) hissələr bir-birindən ayrılır.

Belə ampulalar qabaqcadan sintez olunmuş material ilə doldurulur. Ampulaların doldurulması elə hesabla aparılır ki, bu zaman ərinti ampulanın əsas həcmi tutsun. İlk material olan ampula materialı ərinti halına gətirmək üçün sobaya yerləşdirirlər. Sonra onları sobadan çıxarıb, ampulaların yuxarı həcmi (köməkçi) kəsirlər. Bundan sonra monokristalları yetişdirmək üçün ampulaları temperatur qradientli sobaya yerləşdirirlər.

Monokristalların yetişdirilməsi qurğusu üç əsas hissədən ibarətdir: elektrik sobası, sobada cərəyanı nizamlamaq üçün avadanlıq və ərinti boyunca sabit temperatur qradienti saxlayan termotənzimləyici.

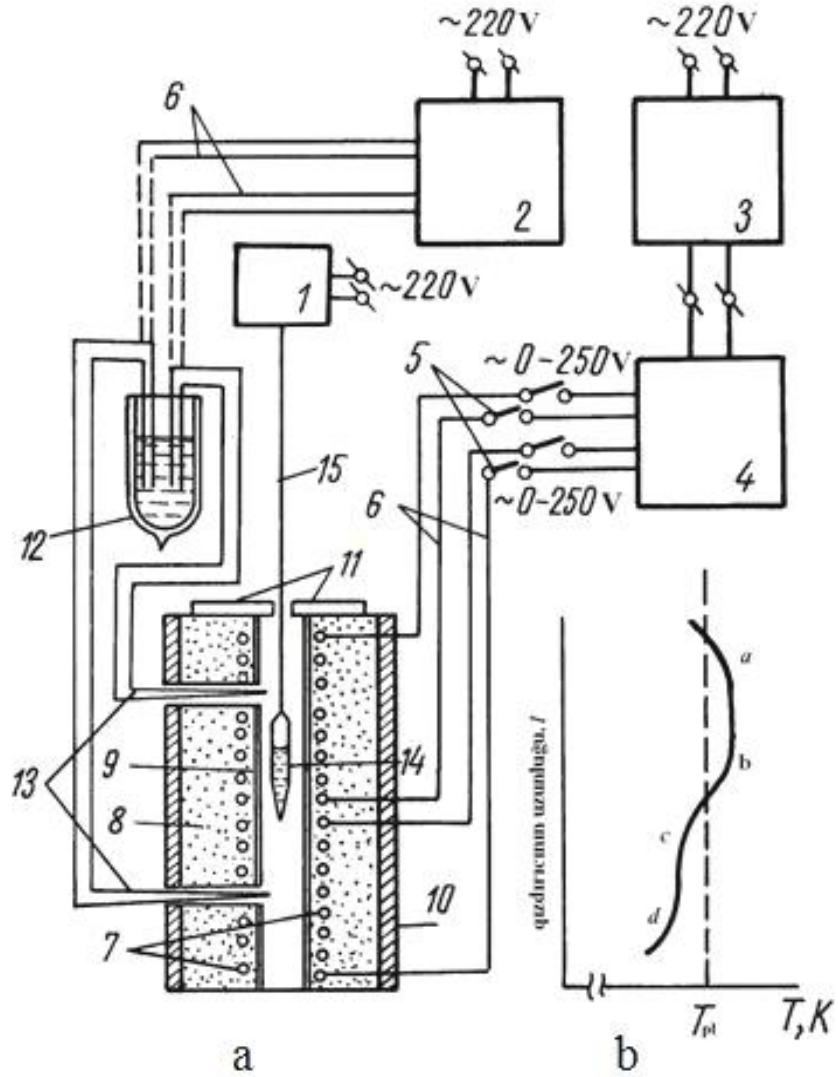
Bizim tərəfdən təklif edilən texnoloji variant kristallaşma prosesində temperatur rejimini yüksək dəqiqliklə saxlamağa imkan verir.

Təyin olunmuşdur ki, göstərilən variantın istifadə olunması monokristalların digər yüngül uçucu komponentli digər birləşmələrin (məs.: InSe, GaTe) yetişdirilməsi zamanı müsbət nəticələr verir.

Rentgenfaza analizinin nəticəsinə görə sintez olunmuş qallium sulfid birləşməsi  $a=3,578\pm 0,01\text{Å}$ ,  $c=15,47\pm 0,02\text{Å}$  parametrli heksaqonal struktura malikdir, bu da ədəbiyyat nəticələrinə uyğundur.

Qallium sulfid laylı quruluşa malik olduğundan, kəsmə yolu ilə xüsusi işlənmə tələb olunmayan təbii güzgü səthli nazik monokristallik nümunələr almağa imkan verir. Bridcmen-Stokbarqer metodu ilə GaS monokristalların yetişdirilməsi üçün aşağıdakı qurğudan istifadə edilir (Şəkil 2.1.1.). Aşağıdakı şəkildə alınmış kristal birləşmələrin monokristallığını göstərir (Şəkil 2.1.2.)

Qallium sulfid laylı monokristalının yetişdirilməsi parametrləri aşağıdakı göstərildiyi kimidir: Ampulanın diametri-15 mm, Ampulanın hündürlüyü-50 mm, Polikristal maddəsinin kütləsi-30 qram, Ampulada qalan vakkum- $1,5\cdot 10^{-2}$  Pa, Yetişmə sürəti-2 mm/saat, dəmləmə zonasının temperaturu-650 °C, Kristallaşma zonasında temperatur qradienti-12 °C/sm, Ərimə zonasında temperatur-980 °C



**Şəkil 2.1.1. Bridcmen-Stokbarqer metodu ilə GaS monokristalların yetişdirilməsi üçün istifadə edilən qurğunun sxemi (a) və sobada temperaturun paylanması qrafiki (b).**

1–reduktor; 2–özüyazan elektron qurğu; 3–gərginlik stablizatoru; 4–temperatur tənzimləyicisi; 5–açar; 6–birləşdirici naqillər; 7–qızdırıcı; 8–təcridedicici azbest; 9–keramik boru; 10–xarici izolyasiya; 11–keramik qapaq; 12–yağ düarı; 13–termocüt; 14–maddə ilə dolu ampul; 15– metallik məftil. [54, s.21]



**Şəkil 2.1.2. Bridcmen-Stokbarqer metodu ilə yetişdirilmiş GaS monokristalı.**

**[4,s.11. 61,s.45]**

## 2.2. GaS kristallarının qamma-kvantlarla şüalanma üsulu

Radiasiya tədqiqatlarını aparmaq üçün AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutunda olan  $^{60}\text{Co}$  izotop mənbəyindən istifadə edilmişdir. Əsas  $\gamma$ -mənbə kimi MPX- $\gamma$ -25M tipli 1,65 104 Kuri (1 Kuri(Ku)-nuklidlərin və ya  $3.7 \cdot 10^{10}$  aktı/s parçalanma sürəti olan izotopun aktivliyinin sistemdən kənar vahidi) maksimal şüalanma aktivlikli qamma-izotop şüalandırıcıları və 319 Kuri aktivlikli və yarımparçalanma periodu 5.3 il şüalandırıcı aktivliyi 5, 104 Kuri olan Co əsaslı su müdafiəli K-25 qurğularından istifadə olunur.

Təcrübələr zamanı qamma-kvantlarla şüalanma biomüdafiə təmin edən xüsusi beton kameralarda şüalanma mənbəyindən distansion idarəetmə ilə həyata keçirilir.

Qamma-şüalanmanın dozimetriyasında oksidləşmə zamanı dəmir ionunun yük hallarının dəyişməsinə (yəni 2 qr  $\text{Fe}_2\text{SO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ , 0,3 qr NaCl və 110 sm<sup>3</sup>  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (95,98% -li) tərkibinin sulu məhluluna qamma-kvantlarla şüalanmanın təsiri altında  $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ ) əsaslanan Frikke ferrosulfat dozimetrindən istifadə olunmuşdur. Udulan doza spektrofotometrik metodu 9305 nm maksimumlu  $\text{Fe}^{3+}$  ionlarının udulma zolağı) ilə dozimetrik məhlulun və tədqiq olunan nümunənin elektron sıxlıqları nəzərə alınmaqla hesablanmışdır və CH-də qreylərlə ifadə olunmuşdur. 1Qr=100 rad=100 erq/q (1 rad şüalanan 1 qram maddə tərəfindən udulan 100 erq enerjiyə uyğundur). GaS nümunələrinin şüalandırılması K-25 qurğusunda  $^{60}\text{Co}$  mənbəyindən qamma-kvantlarla bağlı ampulalarda aparılmışdır. Doza [93, s.101-103] metoduna görə ferrosulfat dozimetriyası ilə hesablanmışdır. Dozimetriya şüalandırma aparılan şəraitdə aparılmışdır.

Nümunələr  $^{60}\text{Co}$  mənbəyindən qamma-şüalarla, bağlı ampulalarda aparılmışdır. Müəlliflər tərəfindən [82, s.101-103] heterogen sistemlərdə udulan dozanın nəzəri hesablanması aparılmışdır və hesablamanın metodikası təklif edilmişdir. [82, s.121-123] işində heterogen sistemlərdə təcrübə və nəzəri metodlarla təyin olunan qamma-şüalanmanın udulmanın udulma dozasının qiymətlərinin müqayisəsi aparılmışdır.

Təyin edilmişdir ki, heterogen sistemlərin ayrı-ayrı komponentlərində qamma-kvantların udulma dozasının qiyməti və onların nəzəri hesablanmış qiymətləri üst-

üstə düşür [93, s.101-103]. Ona görə də tədqiq olunan sistemlərdə qamma-kvantların udulma dozasının gücü ferrosulfat, tsikloheksan və metan kimyəvi dozimetrlərinin göstəriciləri əsasında təyin olunmuşdur [93, s.101-103]:

$$D_i = \alpha D_\gamma \quad (2.2.1)$$

Burada  $D_i$ -tədqiq olunan sistemlərdə udulma dozasının gücü,  $\alpha$ -tədqiq olunan və dozimetrik sistemlərdə elektron sıxlıqlarının nisbətidir. (bizim sistemlərdə  $\alpha=0,8$ – $0,9$  intervalında dəyişir),  $D_\gamma$ -kimyəvi dozimetrik metodla təyin olunan udulan dozanın gücüdür.

### 2.3. Furiye-İQ və Furiye-Raman spektroskopiya metodları

İlkin, qamma-kvantlarla şüalanmış və termiki dəmlənmiş GaS və GaS:Yb nümunələrinin rəqsi spektrləri İQ və Raman-spektroskopiya metodları ilə tədqiq edilmişdir. Nümunələrin Furiye-İQ-spektrləri otaq temperaturunda  $\nu=4000$ – $100$   $\text{sm}^{-1}$  tezlik oblastında Varian 640 (Şəkil 2.3.1) və Varian 1000 FTİR (Şəkil 2.3.2) spektrometrlərində qeydə alınmışdır. Udulma zolaqlarının, optik sıxlıqlarına nisbəti ( $D/D_0$ ) təyin edilmişdir, burada  $D_0$ –ilkin,  $D$ –şüalanmış və termiki dəmlənmiş nümunələrin optik sıxlıqlarıdır. Raman spektrləri otaq temperaturunda Nikon Eclipsel V150 optik mikroskoplu Raman 1000 mikroraman spektrometrinin köməyi ilə alınmışdır. Həyəcanlanma mənbəyi kimi  $\lambda=532$  nm dalğa uzunluqlu LCS-DTL-317 lazerindən istifadə edilmişdir. Raman spektrləri  $\nu=10$ – $500$   $\text{sm}^{-1}$  tezlik oblastında alınmışdır. Bu metodların köməyi ilə tədqiq edilən nümunələrdə qamma-kvantlarla şüalanma və termik dəmləmə nəticəsində baş verən struktur dəyişmələri izlənilmiş və onların müqayisəli təhlili verilmişdir.



**Şekil 2.3.1. Varian 640 FTİR spektrometri.**



**Şekil 2.3.2. Varian 1000 FTİR spektrometri.**

## **2.4. Rentgen struktur analiz metodu. GaS və GaS:Yb kristallarının struktur analizi**

Xarici təsirlərin, yəni təzyiğin, temperaturun və radiasiyanın təsiri nəticəsində bərk cisimlərin kristallik qəfəsinin strukturu və dinamikası haqqında məlumatların alınmasının ən etibarlı təcrübi metodu rentgenfaza analizidir. Rentgen difraksiya metodu (XRD) istənilən növ nümunənin öyrənilməsi üçün ideal analitik metod hesab olunur.

Rengen difraksiya metodu kristallitlərin fazalarını identifikasiya etməyə, onların kəmiyyət analizini aparmağa və nümunənin minimal hazırlanması ilə kristallitlərin strukturunu təyin etməyə imkan verir. Bu da fazaların zədələnməsi riskinin və nümunələrin parametrlərinin dəyişməsinin qarşısını almağa imkan verir. Reallıqda mürəkkəb tərkibli nümunəni başqa metodlarla tədqiq etmək kifayət qədər mürəkkəbdir. Digər tərəfdən, difraktoqramda istənilən detal lazımlı informasiya verir və nümunənin tədqiqinin aparılmasına şərait yaradır.

Difraktoqram konkret fazanın xarakteristik şüalanma enerjisindən asılı olaraq müəyyən forma və intensivlikli piklərin paylanmasıdır. D8 ADVANCE difraktometri (Şəkil 2.4.1.) DİFFRAC.SUİTE proqram təminatına malikdir. Proqramın son versiyası praktiki olaraq bütün analitik məsələləri həll etməyə imkan verir. Polikristallik materialda rentgen difraksiyası fərdi difraktoqram verir. Difraktoqram istənilən kristallitdə mütəmadi olan interferensiya dalğalarının nəticəsidir. Kristallik qəfəsdə müstəvilər arasındakı məsafənin qiyməti rentgen diapozonunda dalğa uzunluğuna bərabərdir. Breqq qanunu interferensiyanın istiqamətini, dalğa uzunluğunu və ölçülərini əlaqələndirir.

Difraksiya informasiyaları skanedici detektorla yazılır. Əgər detektorun görünüş sahəsi Debay halqasına düşərsə, onda rentgenoqramda difraksiya piki yaranır. Halqa boyunca difraksiya intensivliklərinin yazılışı üçün nümunə öz oxu ətrafında fırlanmalıdır.

Kristalda rentgen şüalarının elastiki səpilməsi zamanı difraksiya maksimumlarının istiqaməti Vulf-Breqq şərti ilə təyin olunur.





**Şekil 2.4.1. D8 Advance rentgen difraktometri.**

$$2d\sin\theta=n\lambda$$

(2.4.1)

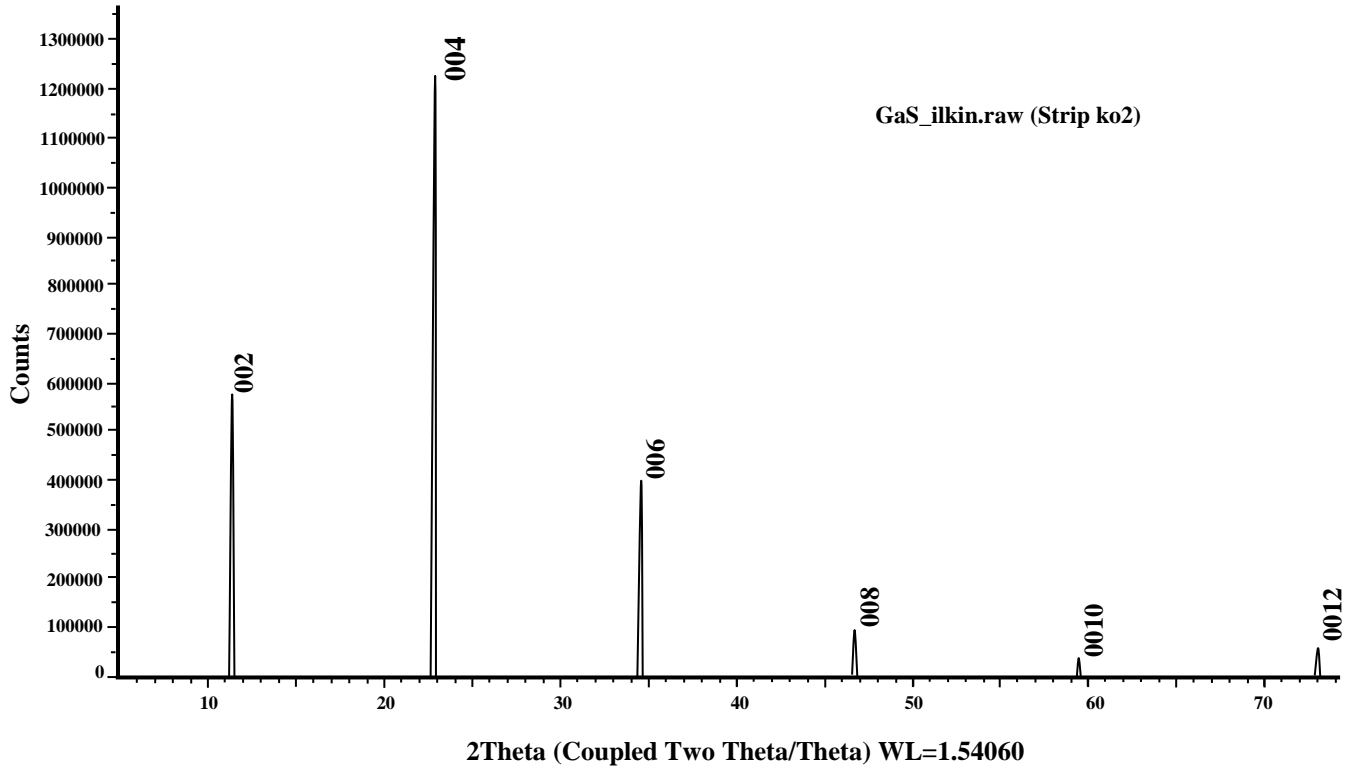
Burada  $d$ -müstəvilər arasında məsafə,  $\theta$ -difraksiya bucağı,  $n$ -əksolmanın tərtibi,  $\lambda$ -dalğa uzunluğudur.

GaS və GaS:Yb monokristallarının rentgen struktur analizlərini aparmaqla onların qəfəs parametrlərini təyin etmək mümkündür. Aşağıdakı şəkillərdə (Şəkil 2.4.2., 2.4.3., 2.4.4. və 2.4.5.) ilkin, aşqarlanmış, termik dəmlənmiş və müxtəlif dozalarda şüalanmış GaS və GaS:Yb monokristallarının difraktoqramları verilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, ilkin kristallar yüksək monokristallıq dərəcəsinə malikdir. Aşağı dozalarda şüalandırıldıqda monokristallıq dərəcəsi artır. Yüksək şüalanma dozalarında monokristallıq dərəcəsi azalır. İkinci halda kiçik faizli aşqar (Yb) atomlarının vurulması zamanı monokristallıq dərəcəsi qismən artır. Aşqarlanmış GaS monokristallarında aşağı dozalarda monokristallıq dərəcəsi demək olar ki, dəyişmir yuxarı dozalarda isə monokristallıq dərəcəsi azalır. Şüalanmadan sonra termik dəmlənmiş (1 saat 100 °C) GaS:Yb monokristalında monokristallıq dərəcəsi artır. Bu bizim rentgen faza analizindən alınan nəticələrdir ki, doğrudan da şüalanma zamanı kristalda defektlər yaransada strukturunda dəyişiklik müşahidə olunmur, sinqoniya və qəfəs parametrləri dəyişmir. Bu da tədqiq etdiyimiz monokristalların mükəmməllik dərəcəsini göstərir.

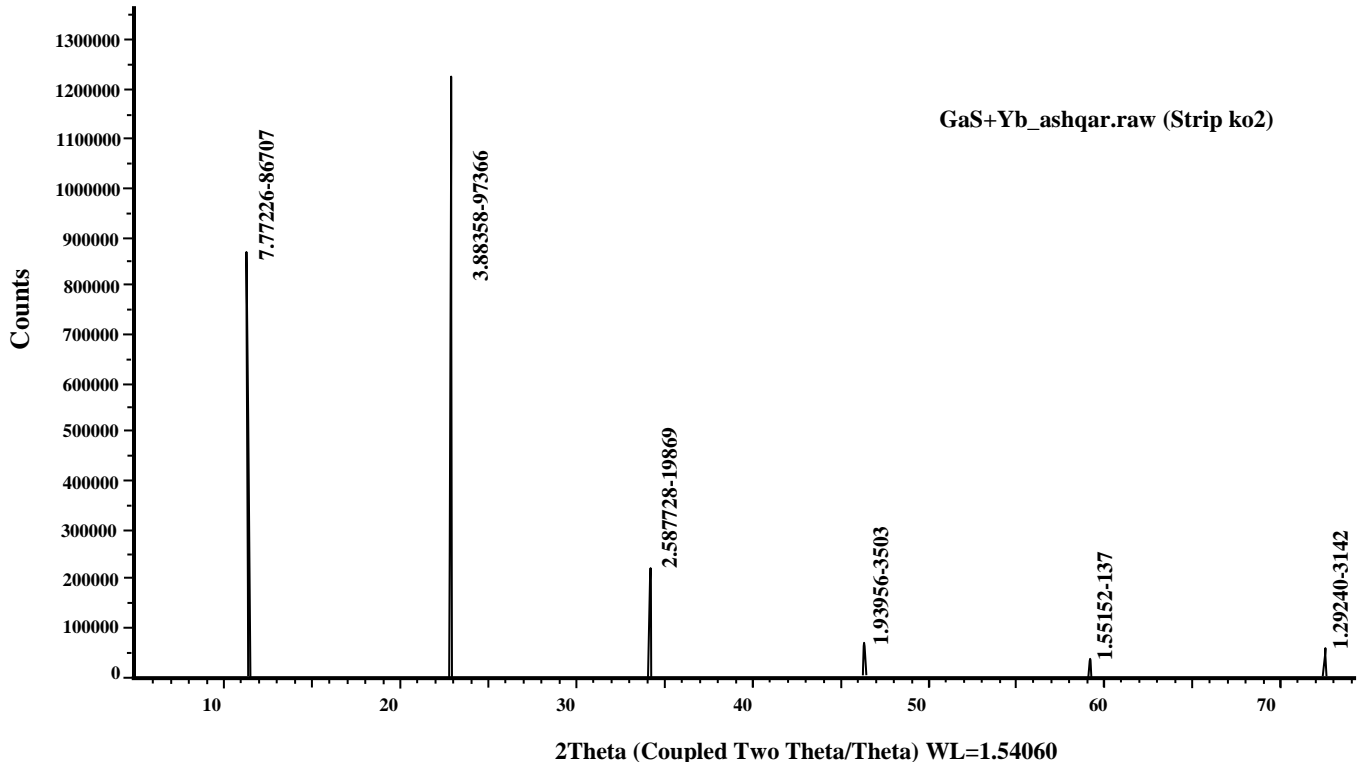
## 2.5. Elektrik keçiriciliyinin ölçmə metodu

İlkin və qamma-kvantlarla şüalanmadan sonra nümunələrin tərkibdən ( $x$ ), temperaturdan ( $T$ ) və tezlikdən ( $\nu$ ) asılı olaraq elektrik keçiriciliyi ( $\sigma$ ), dielektrik xassələri ( $\epsilon_r = \text{tg}\delta$ ) tədqiq edilmişdir. İlkin və şüalanmış nümunələrin  $\sigma$  elektrikkeçiriciliyi (xüsusi müqavimət) dördzondlu nöqtəvi metodla [15, s.15-21. 96, s.453-454,] ölçülmüşdür. Dördzondlu metodun geniş yayılmış modifikasiyası sabit cərəyanda Van-der-Pauve metodudur.

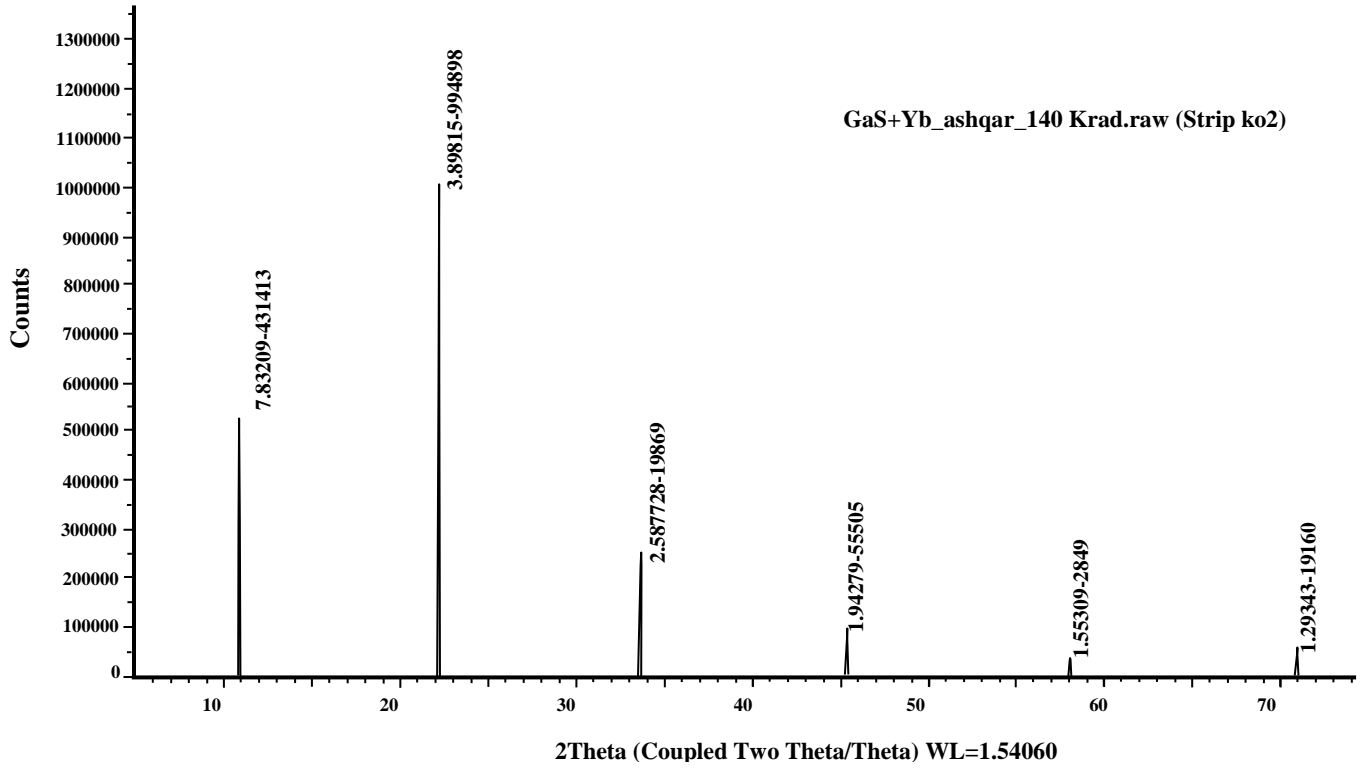
Xüsusi müqavimət aşağıdakı (2.5.1) düsturu ilə təyin olunur:



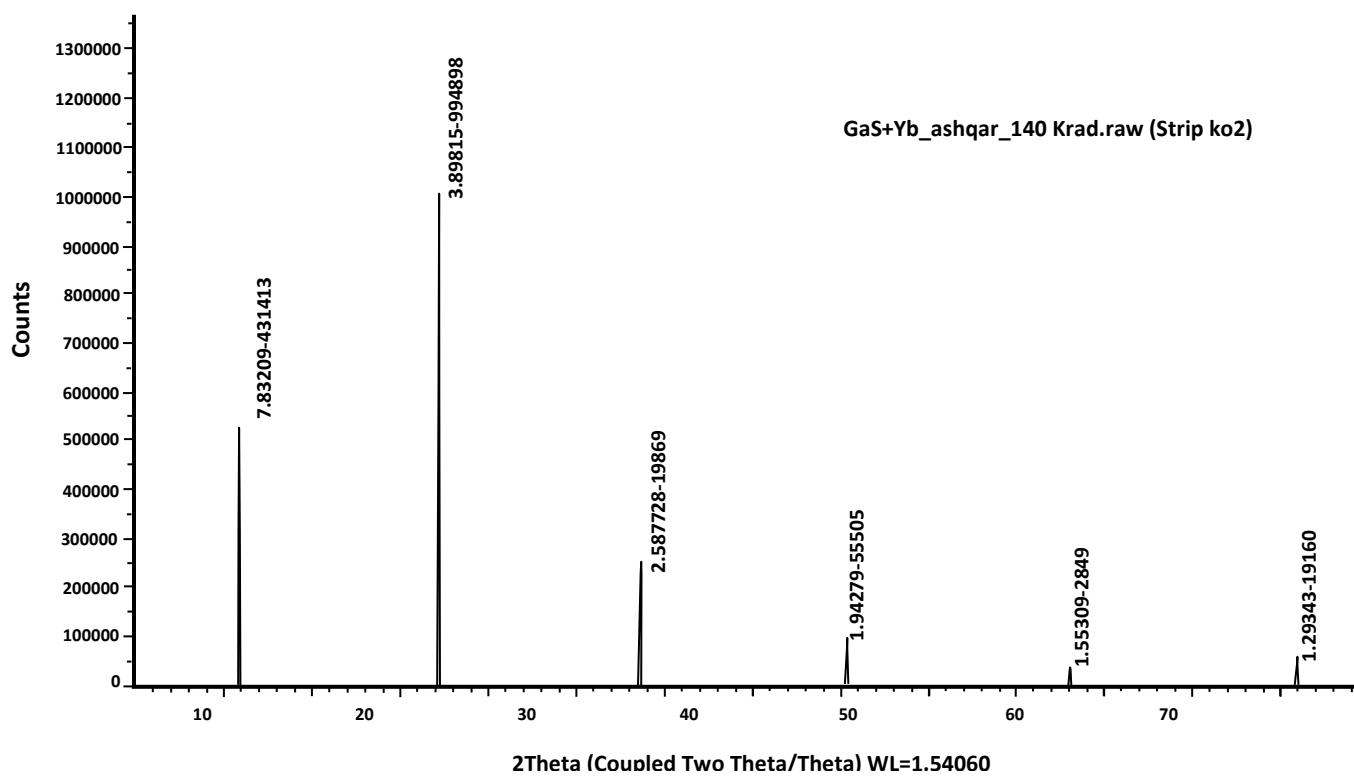
**Şəkil 2.4.2. GaS nümunələrinin difraktoqramı.**



Şəkil 2.4.3. GaS:Yb nümunələrinin difraktoqramı.



Şəkil 2.4.4. Şüalanmış GaS:Yb nümunələrinin difraktoqramı.



Şəkil 2.4.5. Şüalanmış GaS nümunələrinin difraktoqramı.

$$\rho = \frac{\pi d}{\ln 2} \cdot \frac{R_{\text{эмбн}} + R_{\text{жнбэ}}}{2} \cdot f\left(\frac{l}{d}\right) \quad (2.5.1)$$

Burada d-nümunənin qalınlığı, f yalnız  $R_{\text{эмбн}}/R_{\text{жнбэ}}$  nisbətindən asılı olan əmsəldir.

Sabit cərəyanda ölçmələr iki üsulla aparılmışdır: Zondlar yan səth boyunca şəkil 2.5.1-dəki kimi yerləşdirilmişdir (1-4 kontaktları). Əvvəlcə 1 və 4 kontaktlarından cərəyan buraxılır, 2 və 3 zondları arasında potensiallar fərqi ölçülür və  $R_1 = U_{23} / I_{14}$  müqaviməti hesablanır; Sonra 1 və 2 kontaktlarından cərəyan buraxılır, 4 və 3 zondları arasında potensiallar fərqi görə  $R_2 = U_{43} / I_{12}$  müqaviməti tapılır. Bu ölçmələr xüsusi müqaviməti hesablamağa imkan verir.

Nümunənin xüsusi müqaviməti ilə ölçülən kəmiyyətlərlə əlaqələndirən analitik ifadəni almaq üçün zondlar nümunənin səthində eyni məsafələrdə nümunənin sərhəddindən 4 mm məsafədə yerləşdirilir. Bizim şərtlərdə zondlar nümunənin diametri boyunca eyni  $S_1 = S_2 = S_3$  məsafəsində yerləşir. 1 və 4 kontaktlarından  $I = 1,4A$  cərəyanı keçir. Səthdə potensialın paylanması istifadə edərək iki cərəyan mənbəli sistem üçün (2.5.2) ifadəsi uyğundur:

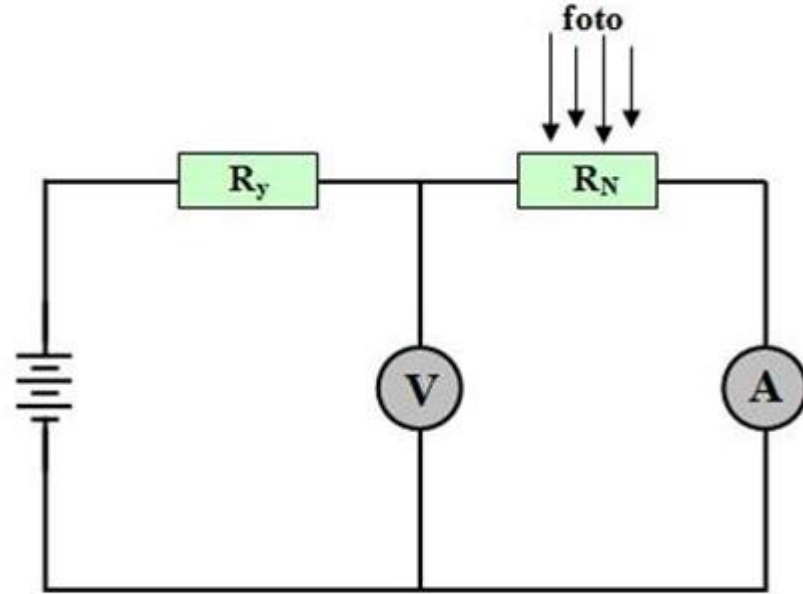
$$C_1 = -\frac{I\rho_n}{2\pi}; U(r) = -\frac{I\rho_n}{2\pi} \ln r + C_2 \quad (2.5.2)$$

(burada  $C_1$ -sabit,  $\frac{I\rho_n}{2\pi} = E$  elektrik sahəsinin gərginliyidir) 2 və 3 kontaktlarının

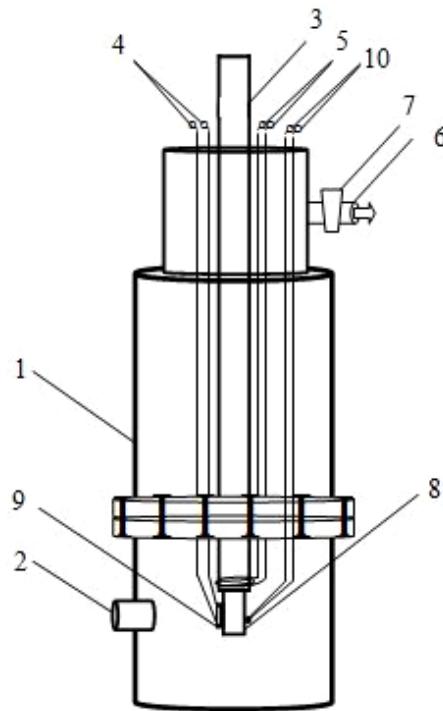
potensialları hesablanmışdır.

$$U_2 = \frac{I_{1,4}\rho}{\pi d} \ln \frac{S_2 + S_3}{S_1} \quad (2.5.3)$$

$$U_3 = \frac{I_{1,4}\rho}{\pi d} \ln \frac{S_3}{S_1 + S_2} \quad (2.5.4)$$



**Şəkil 2.5.1. Fotocərəyanı ölçmək üçün istifadə edilən sxem.**



**Şəkil 2.5.2. Otaq temperaturunda vakuum şəraitində fotocərəyanı ölçmək üçün istifadə edilən kriostat.**

1. Gövdə, 2. Işıq düşməsi üçün pəncərə, 3. Azot tökmək üçün boru 4. Elektrik naqilləri, 5. Qızdırıcı naqillər, 6. Hava sorucu boru. 7. Sıxac 8. Kristal üçün oturmaq, 9. Nümunə, 10. Termocüt



## Müqavimət

$$R = \frac{U_2 - U_3}{I_{1,2}} = -\frac{\rho}{\pi d} \ln \frac{S_1 S_3}{(S_1 + S_2)(S_2 + S_3)} \quad (2.5.5)$$

Analoji olaraq

$$R_2 = \frac{U_4 - U_3}{I_{1,2}} = -\frac{\rho}{\pi d} \ln \frac{S_2(S_1 + S_2 + S_3)}{(S_1 + S_2)(S_2 + S_3)} \quad (2.5.6)$$

(2.5.5) və (2.5.6)-dən istifadə edərək (2.5.1) ifadəsi alınır.

Qeyd edək ki, ölçülən kontaktların simmetrik yerləşməsi zamanı lövhələrin periferiyasına görə  $R_1$  və  $R_2$  müqavimətləri eynidir:  $R_1 = R_2 = R_3$ , funksiya isə  $f\left(\frac{R_1}{R_2}\right) = f\left(\frac{l}{d}\right) = 1$  xüsusi müqavimətin ölçmələrinin xətası 13%-i keçmir. Ölçmələr zamanı TEC-41 mənbəyindən, gərginliyi ölçmək üçün isə B7-21A markalı universal voltmetrdən istifadə olunmuşdur.

Xüsusi müqavimətin ( $\rho$ ) və  $R_{\text{axşax}}$ ,  $R_{\text{axşax}}$  elektrik müqavimətlərinin ölçülməsi cərəyanın iki istiqamətində aparılmışdır və hesablamalarda  $R_1$  və  $R_2$ -nin orta qiymətindən istifadə edilmişdir.

Dielektrik nüfuzluğunun və dielektrik itkisinin təyini üçün E7-20 impedans ölçəndən istifadə edilmişdir.

Nümunənin  $\epsilon^1$  dielektrik nüfuzluğu tədqiq olunan nümunədə zondların (elektrodların) verilmiş konfigurasiyasında  $C_x$  tutumunun vakumda nümunəsiz (həndəsi ölçülər saxlanılmaqla) zondların (elektrodların)  $C_0$  tutumuna nisbətindən tapılır.

$$\epsilon_x^1 = \frac{C_x}{C_0} \quad (2.5.7)$$

Dielektrik itkisinin tangens bucağı (2.5.7) ifadəsinə əsasən birbaşa ölçmələrdən alınmışdır.

$$\operatorname{tg} \delta = \omega C_s R_s = \frac{\sigma_f}{\omega \varepsilon_0 \varepsilon} \quad (2.5.8)$$

burada  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  F/m və  $\sigma_f$  – xüsusi (məxsusi) keçiricilik.

Dielektrik nüfuzluğu aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$\varepsilon' = \frac{d}{\varepsilon_0 S} (C - C_0) \quad (2.5.9)$$

burada d-nümunənin qalınlığı, S-nümunənin sahəsi,  $C_0$ -nümunəsiz kondensatorun tutumu, C- nümunə olduqda kondensatorun tutumu

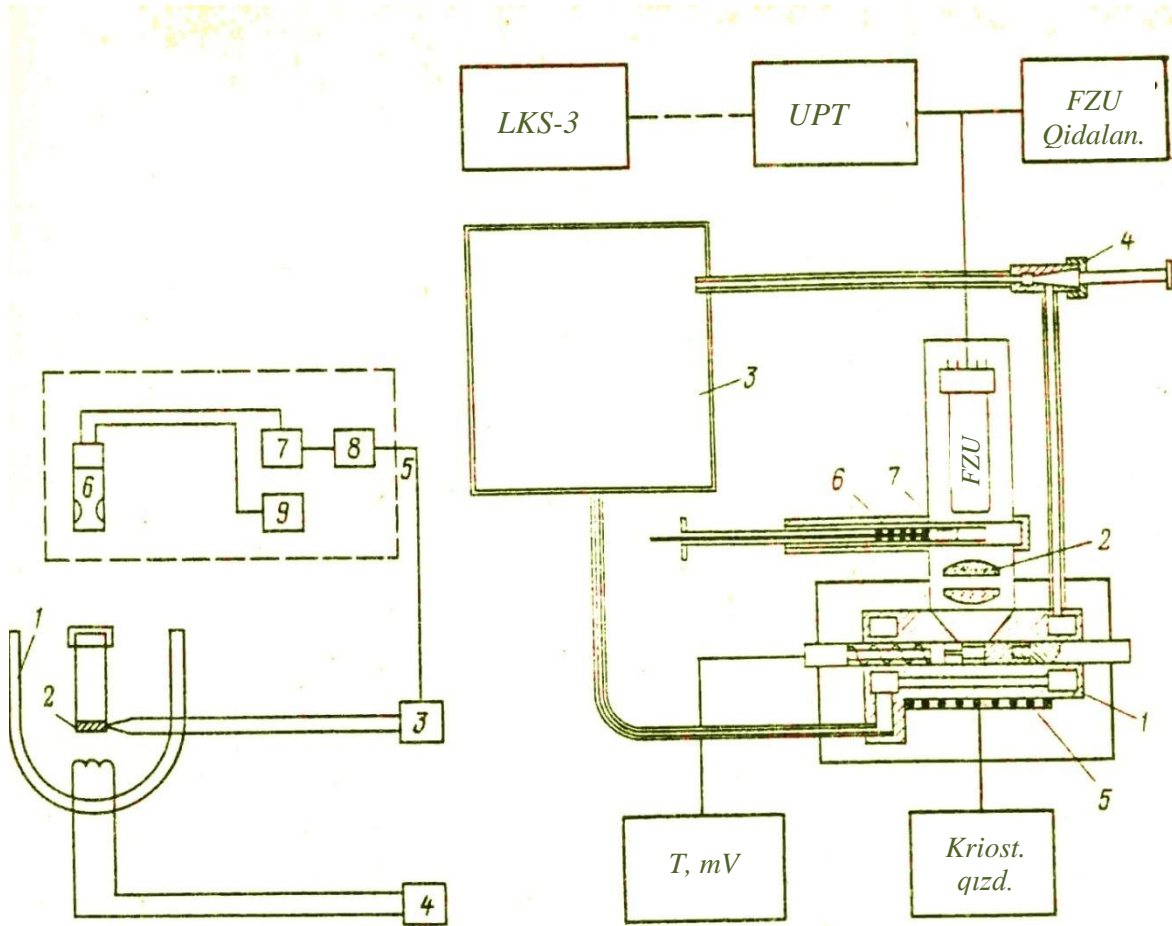
Məlumdur ki, nümunənin dielektrik nüfuzluğu onun polyarlaşmasının dərəcəsini xarakterizə edir. Dielektrik nüfuzluğunun ölçmələrinin xətası 5-12%-i keçmir.

## 2.6. Termolüminessensiya metodu ilə parametrlərin təyini üsulları

Radiotermolüminessensiyanı (RTL) tədqiq etmək üçün müxtəlif tipli radiotermolüminəqraflardan istifadə edilir. Bu qurğular geniş temperatur intervalında RTL metodu ilə üzvi maddələrdə quruluş (struktur) keçidlərini tədqiq etmək üçün istifadə edilir.

Radiotermolüminəqraf funksional cəhətdən ayrılmış və bir texnoloji proseslə əlaqələndirilmiş üç bloktan ibarətdir: vakuum yaratma və nümunələrin soyudulması kamerası, şüalandırma bloku, termolüminessensiyanı qeydə alma bloku.

Termolüminessensiyanı qeydə alma bloku qızdırılma zamanı tədqiq olunan nümunələrdən ayrılan (çıxan) lüminessensiya enerjisini çevirmək və gücləndirilmiş siqnalı bu siqnalın temperaturdan asılılığını qeyd edən ikikoordinatlı potensiometrə ötürmək üçün nəzərdə tutulmuşdur (tətbiq olunur). Şəkil 2.6.1.-da termolüminessensiyanı qeydə alan blokun sxemi təsvir edilmişdir. Termolüminəqrafın



a) a)

b) b))

**Şəkil 2.6.1. (a) Termolüminessensiyanı qeydə alan blokun sxemi.**

**1-kriostat, 2-nümunə, 3-temperaturun ölçmə bloku, 4-qızdırıcının qidalanma və nümunənin qızdırma sürətinin nizamlama bloku, 5-fotometrik qovşaq, 6-fotometrik düyün, 7-elektrometrik gücləndirici, 8-ikili koordinatlı potensiometr, 9-yüksək gərginlikli stabilizator**

**(b) TLQ-69M termolüminoqrafın sxemi**

**1-kriostat, 2-radiotermolüminessensiyanın çıxışının optik sxemi, 3-maye azot rezenvuarı, 4-azotun verilmə kranı, 5-qızdırıcı, 6-arakəsmə, 7-lüminofor kasseti**

1 kreostatı 2 nümunəsinin və 3 termocütünün giriş qovşağından; termoluminessensiya prosesi zamanı işığın nümunədən 5 çıxış qovşağından ; maye azotun dövranı üçün olan kanaldan və qızdırıcı elementdən (4) ibarətdir. Saçılan işıqlar 6 fotogücləndiricisi vasitəsilə qeyd edilir. Nümunədən çıxan işıq signalı fotogücləndirici vasitəsilə elektrik signalına çevrilir və bu signal 7 sabit cərəyan gücləndiricisi ilə gücləndirilir. Sonra isə 8 elektron potensiometrinin lentinə yazılır.

Nümunənin temperaturu təyin etmək məqsədi ilə mis-konstantan tipli termocütdən istifadə olunur.

## 2.7. Fotokeçiriciliyin ölçmə metodu

p-GaS monokristalları ərintinin istiqamətlənmiş kristallaşması metodu ilə yetişdirilmişdir. GaS monokristalının yetişdirilməsi zamanı vakansiyaların kükürd atomları ilə tutulması mümkünlüyünü aydınlaşdırmaq məqsədilə kükürd qalığından (1.5 at.%) istifadə olunmuşdur. Alınmış nümunələrin  $c$  oxu boyunca və ona perpendikulyar istiqamətdə xüsusi müqaviməti otaq temperaturunda uyğun olaraq  $2 \cdot 10^9$  və  $3 \cdot 10^7$  Om·sm təşkil edir. Yb-nin aşqar kimi daxil edilməsi kristalın yetişdirilməsi prosesində həyata keçirilmişdir. Konsentrasiyası isə  $N_{Yb} \sim 7 \cdot 10^{18} \text{sm}^{-3}$  təşkil edir. Omik kontaktların yaradılması üçün indiumdan istifadə olunmuşdur. Nümunələrin qamma kvantlarla şüalanması 300 K-də  $^{60}\text{Co}$  əsasında yığılmış qurğuda həyata keçirilir. Şüalanma zamanı kristallar maye azot buxarları ilə soyudulmuşdur və onların temperaturu 290 K-dən yuxarı qalxmamışdır.

Müxtəlif elektrik sahələrində 50-100 mkm qalınlıqlı p-GaS monokristallik təbəqələrinin FK spektrlərinin alınması oyuqda aparılmışdır. Sabit cərəyan mənbəyindən nümunələrə verilən gərginlik  $\sim 100\text{V}$  təşkil edib, elektrik sahəsi  $E_{\parallel}/c$  istiqamətlənib, burada  $c$  kristallik oxudur. FK spektrlərinin ölçülməsi sabit elektrik sahəsi rejimində nümunələrin ölçülməsi sabit şüalanma ilə işıqlandırılması ilə 0.4-0.6 mkm dalğa uzunluğu diapozonunda aparılmışdır. FK spektrləri B7-30 tipli elektrometrik gücləndiricinin köməyi ilə qeydə alınmışdır. Işıq mənbəyi kimi

ayır detmə qabiliyyəti 2.6 nm/mm olan MS 350 4i tip monoxromatorun köməyi ilə halogen lampadan istifadə olunmuşdur. Bütün spektrlər düşən fotonların miqdarına görə normallaşdırılmışdır. Kristalların kənar FK spektrlərinin formalaşmasında səthi elektrik sahəsinin rolunu təyin etmək üçün göstərilən metoddan istifadə edilmişdir. Yuxarıda göstərilən qalınlıqlı nümunə kondensatorun lövhələri arasında yerləşdirilmişdir. Oyuqda sahə potensialı ( $U_n$ ) qidalandırıcı mənbədən olan gərginliyin dəyişdirilməsi yolu ilə alınmışdır (Keintley 248/t) Lövhələr arasında elektrik sahəsinin istiqaməti qəfəsdə elektrik kontaktlarının polyarlığının dəyişməsi ilə dəyişmişdir. Fətohəyəcanlanma yarımsəffaf SnO<sub>2</sub> laylı kondensatorun lövhələri tərəfindən az güclü halogen lampasının şüalanması ilə həyata keçirilir. Nümunənin səthində olan elektrik sahəsinin intensivliyi ( $E_0$ ) 100 -100000 V/sm diapozonunda dəyişir.

## 2.8. Parametrlərin təyininin xətası

Alınmış nəticələrin etibarlılığını qiymətləndirmək üçün istifadə olunan tədqiqat metodlarının dəqiqliyini nəzərə almaq, sistematik və təsadüfi xətalara qiymətləndirmək lazımdır [125, s.1258].

Xətanın mütləq qiyməti aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$\varepsilon = \sum_i \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \Delta x_i = \sum_i \left| \frac{\partial f}{\partial x_i} \right| \varepsilon_i \quad (2.8.1)$$

burada  $\varepsilon_i$ -argumentin mütləq xətasıdır.

Təsadüfi təsir edən faktorların çoxluğu ona gətirib çıxarır ki, ayrı-ayrı ölçmələrin nəticələri özündə orta qiymət ətrafında dəyişən təsadüfi kəmiyyətlər kəsb edir. Orta kvadratik xəta orta arifmetik qiymətlə nisbətdə verilənləri xarakterizə edir və aşağıdakı ifadə ilə təyin olunur:

$$S(x) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^h (x - \bar{x})^2}{n-1}} \quad (2.8.2)$$

burada n-müəyyən edilənlərin sayı,  $\bar{x}$  -i-ci müəyyən edilən nəticədir.  $S^2(x)$  kəmiyyəti dispersiya adlanır.

Nisbi vahidlərdə təyin olunan orta kvadratik xəta variasiya əmsalı adlanır.

$$v = \frac{S(x)}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (2.8.3)$$

Orta qiymət  $\bar{x} \pm \Delta x$  kimi hesablanır.

$$\Delta x = \frac{S(x)}{\sqrt{n}} t(P, f) \quad (2.8.4)$$

burada  $t(p, f)$ -normallaşdırıcı kənara çıxma əmsalıdır.

Stüdent kriterisi  $f=n-1$  sərbəstlik dərəcəsi və ehtimaldan asılıdır və ədəbiyyatda cədvəl şəklində verilir [113, s.149]. Kiçik qiymətlərdə yaxınlaşmış standart kənara çıxma hesablanır:

$$S_{\Delta x} = \Delta x_{\max} \cdot K_x \quad (2.8.5)$$

Burada  $\Delta x_{\max}$ -təyin olunan kəmiyyətlərin ən böyük və ən kiçik qiymətləri arasında fərkdir,  $K_x$  hesablanan kəmiyyətlərin sayından asılı olan statik faktordur

Təyin olunan kəmiyyətlərin qiymətlərindən hər hansı biri bir-birindən kəskin fərqlənirsə, onu Q-sınaq adlanan kəmiyyətlə yoxlayırlar [39, s.12, 113, s.149] Q-faktor belə təyin olunur:

$$\Delta x = \frac{x_2 - x_1}{x_{\max}} \quad Q = \frac{x_n - x_{n-1}}{\Delta x_{\max}} \quad (2.8.6)$$

Sonra (2.8.9)-a əsasən təyin olunan Q-nün qiymətləri cədvəl qiymətləri (paralel təyin olunanların sayına görə) ilə müqayisə olunur. Əgər (2.8.6) –a əsasən hesablanan Q cədvəl qiymətlərindən böyük olarsa, onda  $x_i$  kəmiyyətini nəzərə almamaq olar. (2.8.2)-(2.8.5) tənliklərinə əsasən  $S(x), v, \Delta x, S\Delta x$  qiymətləri hesablanmış və yuxarıda göstərilən metodla Q-sınaqlar aparılmışdır. Hesablama zamanı ehtimal qiymətini 0.95 və  $t(p,f)=3,18$  götürülmüşdür. Bu əməliyyatlar nəticəsində  $\frac{\Delta x}{x} \cdot 100\%$  qiymətləri tapılmış, hansı ki, bizim təcrübələrdə 5-7% intervalında dəyişir

### III FƏSİL

## **GaS və GaS:Yb LAYLI KRİSTALLARINDA SƏTH DEFEKTLƏRİNİN RADİASİYA DEFEKTLƏRİ İLƏ QARŞILIQLI TƏSİRİNİN TƏDQIQI**

Yarımkeçirici materiallar əsasında hazırlanan müxtəlif funksiyalı cihazların (fotodiod, fototranzistor, mikrosxemlər, diod, və s.) parametrləri kristalın səth halının vəziyyətindən asılı olur [50, s.14-20. 110, s.3375-3378 156, s.75-78]. Kristalların səth halı isə onda olan defektlərin və aşqar atomların təbiətindən, konsentrasiyasından və xarici təsirlərdən (temperaturdan, radiasiya şüalarından, elektrik və maqnit sahələrindən) asılı olur. Cihazqayırma texnologiyasında heterokeçidlərin və Şottki diod strukturlarının hazırlanması zamanı səth effektlərini qismən azaltmaq məqsədi ilə mexaniki, kimyəvi və təsirsiz qazlarla emal üsulundan istifadə edilir. Diod strukturlarının parametrlərini məqsədyönlü idarə etmək üçün səth effektlərinin, o cümlədən onlara ionlaşdırıcı şüaların, aşqar atomlarının və temperaturun təsirinin tədqiq edilməsi praktiki və elmi cəhətdən maraqlıdır. Tədqiqat obyektini olan GaS laylı monokristallar əsasında müxtəlif tipli strukturların alınması haqqında məlumatların [155, s.568-571] olmasına baxmayaraq, kristalın səth morfologiyası və onun elektrik, fotoelektrik və optik xassələrə təsiri tədqiq edilməmişdir.

Dissertasiya işinin bu fəslində laylı GaS monokristalının səth halının udulma zolağında müşahidə edilən fotokeçiriciliyə təsirinin tədqiqi, o cümlədən xarici elektrik sahəsinin, aşqar atomlarının və qamma-kvantların kristalın səth halına təsirlərinin tədqiqindən alınan nəticələr verilmişdir.

#### **3.1. GaS laylı kristalında məxsusi fotokeçiriciliyə xarici təsirlərin xüsusiyyətləri.**

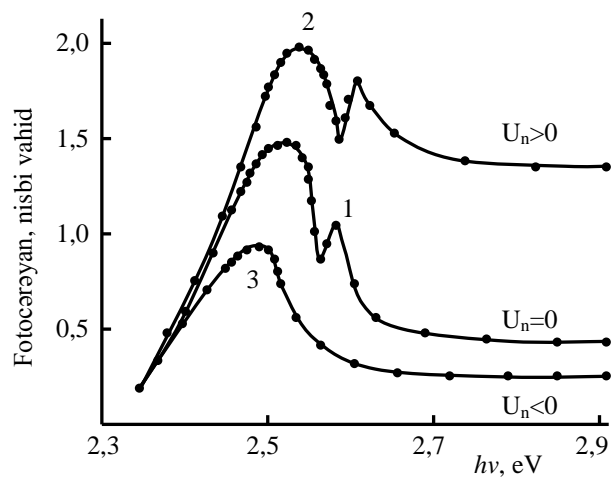
Tədqiq olunan GaS monokristalları Bricmen-Stokbarqerin istiqamətlənmiş kristallaşma üsulu ilə alınmışdır. Mikroquruluş və rentgenfaza analizləri əsasında



müəyyən edilmişdir ki, alınmış monokristallar bircinslidir və (laylı quruluşa malikdir) onlarda kristallik yığılma müşahidə olunmamışdır. Alınmış monokristal p-tip keçiriciliyə malik olmuş və otaq temperaturunda onların müqaviməti ( $R$ ) isə  $10^7$ - $10^9$  Om olmuşdur. Kristalın alınması zamanı yarana biləcək kükürd vakansiyasının miqdarını azaltmaq məqsədi ilə kükürd elementinin artıqlığı nəzərə alınmışdır. Kristal oxlarına nəzərən anizotrop luq dərəcəsi  $\sim 10^2$  olmuşdur. Kristalların aşqarlanması, onların yetişdirilməsi zamanı həyata keçirilmişdir. Aşqar atomu olaraq itterbium (Yb) elementi seçilmişdir və onun miqdarı 0.1 at.% olmuşdur. Tədqiqat üçün lay istiqamətində (0001) skane edilmiş, güzgü səthə malik və qalınlığı 200 mkm olan nümunələr hazırlanmışdır. Omik kontakt almaq üçün gümüş pastasından istifadə edilmişdir və kontaktlar nümunənin səthindən götürülmüşdür. Hazırlanmış nümunələrin fotoelektrik xassələri 100-300 K temperatur intervalında ölçülmüş və ölçmə zamanı elektrometrik gücləndiricidən (B7-35), monoxramatik işıq dəstəsi almaq üçün MS3504i tipli monoxramatordan və işıq mənbəyi olaraq halogen lampasından istifadə edilmişdir. Alınmış spektrlər düşən işıq kvantlarının miqdarına görə normallaşdırılmışdır. Ölçmələr dalğa uzunluğunun 380-850 nm intervalında aparılmışdır. Ölçmələrin aparılmasında əsas məqsəd ondan ibarətdir ki, səthyanı oblastda mövcud olan struktur defektlərinin kristalın fotokeçiriciliyinə təsirini idarə etmək üsullarının işlənilməsidir. Məlumdur ki, yarımkeçirici kristalların, o cümlədən laylı yarımkeçiricilərin, səthində struktur defektlər mövcuddur ki, onlar kristalın, xüsusən optik və fotoelektrik xassələrinə təsir göstərirlər. Bu səbəbdən kristalın udulma zolağında fotohəssaslıq azalır. Bu səbəbi aradan qaldırmaq üçün kimyəvi və mexaniki cilalanma üsullarından istifadə edilir [56, s.29-30]. Ancaq qeyd olunan üsul qismən təsir etsə, də onun səbəblərinin elmi cəhətdən araşdırılması vacib məsələlərdən biri olaraq qalır. Bu məqsədlə GaS monokristalında səthyanı oblastda yaranan struktur defektlərin udulma zolağında kristalın fotohəssaslığına təsiri öyrənilmişdir. Bunun üçün ilkin kristal, aşqarlanmış kristal, termik dəmlənmiş kristal və qamma-kvantlarla şüalandırılmış kristallar tədqiqat obyektı kimi götürülmüşdür. Səth defektlərinin təsirini müəyyən etmək məqsədi ilə xarici elektrik sahəsindən istifadə edilmişdir. Bu haqda məlumat fəsil-2-də verilmişdir. İlk olaraq aşqarsız,

şüalanmaya və termik dəmlənməyə məruz qalmayan GaS monokristalının spektral xarakteristikası udulma zolağında tədqiq olunmuşdur. Tədqiqat  $T=77$  K temperaturda aparılmış alınan nəticələr şəkil 3.1.1.-də verilmişdir. GaS kristalı gərginlik verilmiş müstəvi elektrodlar arasında yerləşdirilmiş və elektrodlar arasındakı elektrik sahəsinin intensivliyi mənbənin köməyi ilə idarə edilmişdir. Elektrodlardan birinin işıq buraxması üçün yarımşəffaf təbəqədən istifadə edilmişdir. Tədqiq olunan nümunə elektrodlar arasında yerləşdirildikdən sonra tədqiqat üçün kreostatda yerləşdirilmişdir.

Şəkil 3.1.1.-də GaS laylı monokristalının şüalanmadan əvvəl (əyri 1 və 3)  $T=77$  K temperaturunda məxsusi fotokeçiriciliyin spektral paylanması verilmişdir. Şəkil 3.1.1.-dən görüldüyü kimi xarici sahə olmadıqda fotocərəyanın düşən fotonun enerjisindən asılılığı (əyri 1) eksponensial qanuna tabe olur və fotocərəyanın maksimum qiyməti ( $h\nu_{\max} \approx 2.53$  eV, əyri-1) məxsusi udulma zolağında yerləşir və zona-zona keçidinə uyğun gəlir. Digər tərəfdən GaS monokristalında fotocərəyanın maksimumuna uyğun fotonun enerjisi kristalın qadağan olunmuş zonasına uyğun gəlir və [29, s.14]–işində alınan nəticəyə uyğundur. Şəkildən görünür ki,  $h\nu > 2,53$  eV qiymətlərində fotokeçiriciliyin eksponensial azalması müşahidə olunur və  $h\nu_1 = 2,57$  eV qiymətində əlavə maksimum müşahidə olunur. [33, s.941-942] –işdə qeyd olunduğu kimi, bu əlavə maksimum qallium vakansiyasına uyğun gəlir və  $E_c - E_v \approx 0,25$  eV bərabərdir. Müşahidə olunan qanunauyğunluq fotoeffektin məlum [154, s.3639] nəzəriyyəsi ilə izah olunur. Həmin nəzəriyyəyə görə spektral xarakteristikada fotocərəyanın maksimal qiymətinə uyğun enerjinin qiyməti fotonun daxilolma dərinliyi ilə müəyyən olunur. Udulma dərinliyinin azalması ilə fotoelektronların rekombinasiya sürəti artır və nəticədə fotocərəyanın azalması müşahidə olunur. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, fotocərəyanın maksimum qiymətinə uyğun gələn fotonun enerjisi udulma zolağında yerləşərsə, fotokeçiriciliyin mexanizmi kristalın səthyanı oblastında mövcud olan səth rekombinasiya mərkəzləri ilə müəyyən olunur. Işıq kvantının udulması nəticəsində yaranan fotoelektronun rekombinasiya mərkəzi tərəfindən tutularaq rekombinasiyaya uğrayır və nəticədə cərəyanın qiyməti azalır. Spektral xarakteristikanın maksimumuna uyğun enerjinin,  $T=300$ K temperaturuna



**Şəkil 3.1.1. Müxtəlif gərginliklərdə GaS laylı kristalının fotokeçiriciliyinin spektral paylanması ( $T= 77 \text{ K}$ ):  $D_\gamma=0$ ; 1- $U_n=0$ ; 2- $U_n>0$ ; 3- $U_n<0$ . [131, s.4]**

uyğun maksimuma nəzərən dəyişməsi temperaturun azalması ilə kristalın qadağan olunmuş zonasının eninin artması nəticəsində baş verir.

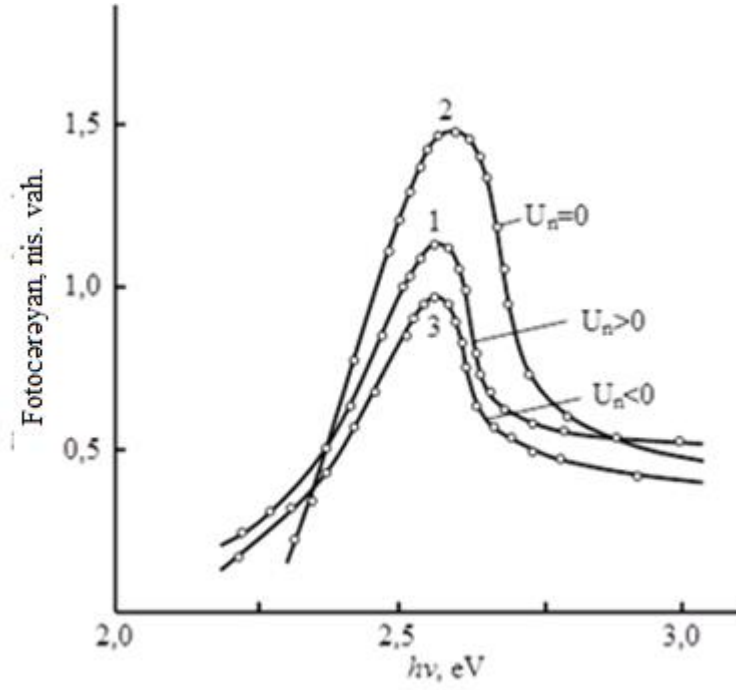
Fotocərəyanın müşahidə olunan spektrlərinin analizi göstərir ki, GaS kristalının fundamental udulma zolağında fotocərəyanın qiymətinin kəskin azalmasının səbəbi, fotoyükdaşıyıcıların səthyanı oblastda rekombinasiya sürətinin yüksək olmasıdır. İşlərdən [17, s.1085-1086. 2, s.18-23. 6, s.67 ] məlumdur ki, səth və səthyanı oblastda mövcud olan defektlərin lokal paylanması nəticəsində potensialın səthyanı oblastda periodikliyi pozulur və energetik zonanın əyilməsi baş verir, elektrostatik sahə yaranır. Yaranan elektrostatik sahə isə, səthdə yükdaşıyıcılarla tükənmiş təbəqə yaradır. Bu sahənin qiyməti, istiqaməti akseptor və donor tipli lokal mərkəzlərin konsentrasiyasından asılıdır. Bu isə, kristalın səthində yaranan qeyri-tarazlıqlı yükdaşıyıcıların rekombinasiya sürətini idarə edir. Laylı kristallarda belə lokal mərkəzlərin olduğunu nəzərə alaraq [13, s.24-38 ], səth potensialının xarici elektrik sahəsi ilə idarə olunma mexanizminə əsaslanaraq [33, s.941-943], GaS monokristalında fotoyükdaşıyıcıların səth rekombinasiya sürətinə xarici elektrik sahəsinin təsiri araşdırılmışdır. Bu məqsədlə GaS nümunəsi (şüalanmadan əvvəl və sonra) yuxarıda qeyd edildiyi kimi müstəvi elektrodlar arasındakı elektrik sahəsində yerləşdirilmiş və kristalın fotokeçiriciliyi tədqiq edilmişdir. Alınmış nəticə şəkil 3.1.1.-də 2 və 3 əyriyə ilə göstərilmişdir. 2-ci əyridə xarici sahənin istiqaməti müsbət, 3-cü əyridə isə sahənin istiqaməti əks istiqamət kimi qəbul edilmişdir. Şəkil 3.1.1.-də 2-ci əyridən görünür ki, xarici sahə  $U_n > 0$  olduqda udulma zolağında fotocərəyanın qiyməti artır və bu zaman fotocərəyanın maksimum qiymətinə uyğun enerji sağa doğru qismən sürüşür. Fotocərəyanın udulma zolağında artması yükdaşıyıcıların yaşama müddətinin artması ilə bağlıdır. Sahənin müxtəlif qiymətlərində ( $U_n > 0$ ) aparılan təcrübələr göstərir ki, fotoelektronların yaşama müddəti səthdə mövcud olan elektrostatik sahənin qiymətindən asılıdır. Tətbiq olunan xarici sahə səth elektrostatik sahəni kompensasiya etdiyindən fotoelektronun rekombinasiya sürəti azalır və nəticədə fotocərəyan artır. 3-cü əyridə isə xarici sahənin  $U_n < 0$  qiymətlərində fotocərəyanın spektral paylanması göstərilmişdir. Əyrinin təhlili göstərir ki, udulma zolağında fotocərəyanın qiyməti ilkin kristala

nəzərə (1-ci əyri) azalır və azalmanın qiyməti elektrodlar arasına tətbiq edilən xarici sahənin qiymətindən asılıdır. Fotocərəyanın azalmasına səbəb isə, səth potensial əyilməsinin artması nəticəsində fotoyükdaşıyıcıların yaşama müddətinin azalmasıdır. Bu isə deməyə imkan verir ki, spektrin qısa dalğa oblastında laylı kristalların fəthəssaslığını xarici sahənin köməyi ilə idarə etmək mümkündür.

Beləliklə, laylı kristallarda udulma zolağında fəthəssaslığın qiyməti səth potensialının, o cümlədən onu yaradan elektroaktiv mərkəzlərin təbiətindən və konsentrasiyasından asılıdır. Laylı kristallarda belə mərkəzin yaranmasına səbəb kristalın alınması zamanı yaranan quruluş defektləridir. Beləki, onlar əsasən anion və kation vakansiyalarından ibarətdir. Ədəbiyyatda [50, s.10] olan nəticələr əsasında demək olar ki, onların konsentrasiyası  $\sim 10^{17}$ -  $10^{18}$   $\text{sm}^{-3}$  tərtibindədir.

Səth defektlərinin konsentrasiyasını idarə etmək məqsədi ilə GaS monokristalına aşqar atomları daxil edilmiş və onun fəthəssaslığına xarici sahənin təsiri öyrənilmişdir. Aşqar atomu olaraq nadir torpaq elementi olan itterbium atomu seçilmişdir. GaS:Yb monokristallarında fotokeçiricilik məxsusi və aşqar oblastında tədqiq edilmiş, defektlərin yaranma mexanizmi haqqında məlumatlar verilmiş və fiziki parametrlər təyin edilmişdir. Həmin işlərdən və [35, s.1964] –də verilən nəzəri tədqiqatlardan alınan nəticələrdən istifadə etməklə GaS kristallarında səth rekombinasiya sürəti təyin edilmişdir. Nəzərə alınmışdır ki, laylı kristalların mexaniki xassələri səthin fiziki və kimyəvi emalına imkan vermir, kristalın yetişdirilməsi zamanı alınan səth səffaf və müstəvidir. Yetişdirilmiş kristalların səth parametrləri, ancaq onların yetişdirilmə üsulundan asılıdır. Tədqiq olunan GaS və GaS:Yb monokristallarının bircinsliyi, qəfəs parametrləri və rentgenoqrafiya üsulu ilə tədqiq edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, yetişdirilmiş kristallar yüksək monokristallıq və təmizlik dərəcəsinə malikdir (II-fəslə bax).

Şəkil 3.1.2.-də elektrodlar arasındakı  $U_n$  ( $U_n < 0$ ,  $U_n > 0$ ,  $U_n = 0$ ,  $T = 77$  K) elektrik sahəsinin intensivliyinin istiqamətindən asılı olaraq  $p$ -GaS:Yb kristallarında udulma zolağında fotokeçiriciliyin spektral asılılıqları göstərilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi, GaS kristalında fotokeçiricilik spektrlərində  $h\nu_{\text{max}} = 2.52$  eV yüksək enerjiyə uyğun maksimum fundamental udulmanın eksponensial oblastında yerləşir və zona–

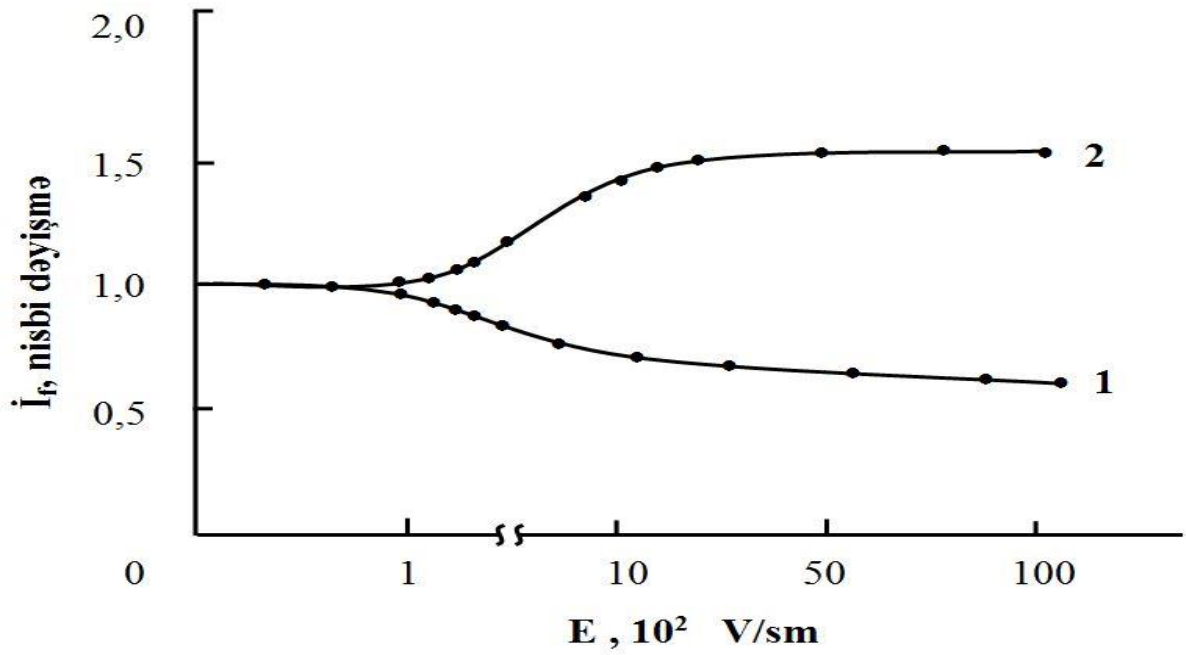


**Şəkil. 3.1.2. Müxtəlif xarici elektrik sahələrində GaS:Yb laylı kristalında fotokeçiriciliyin spektral paylanması ( $T=77\text{ K}$ ):  $D_\gamma=0$ ; 1- $U_n>0$ ; 2- $U_n=0$ ; 3- $U_n<0$**

[131. s.6]

zona keçidləri ilə əlaqədardır. Əsasən zonalararası keçidlərin enerjisini fotokeçiriciliyin məxsusi maksimumunun vəziyyətinə görə qiymətləndirmək olar. Şəkil 3.1.2. (əyri 1)–dən görünür ki, GaS monokristalının qadağan olunmuş zonasının eni  $E_g=2.52$  eV enerjiyə ( $T=77$  K) uzundalğa sərhəddi isə enerjinin  $2,3$ eV–a uyğun gəlir. Bu enerji isə, GaS kristallarında elektronun düz keçidinə müvafiq enerjiyə uyğun gəlir. Şəkil 3.1.2-dən 1-ci əyridən görünür ki, Yb- atomunun daxil edilməsi GaS kristalının fotokeçiriciliyini artırır və bu Ga vakansiyanın qismən dolması ilə bağlıdır. Fotokeçiricilik spektrlərin təhlili əsasında demək olar ki, elektrik sahəsinin intensivliyinin qiymət və istiqamətindən asılı olaraq fotokeçiricilik spektrlərinin transformasiyası müşahidə olunur. Belə ki,  $U_n > 0$  olduqda fotohəssaslıq fundamental udulma kənarında artır,  $U_n < 0$  olduqda isə azalır. Bundan əlavə, spektrdə  $h\nu=3.0$  eV-da (şək 3.1.1., əyri 3) müşahidə olunan əlavə maksimum  $U_n < 0$  olduqda müşahidə olunmur və bu da səthəyi elektrik sahəsinin fəza qeyri bircinsliyinin formalaşması ilə əlaqədardır [48, s.359 ]. Təcrübə zamanı müşahidə olunan effektin baş vermə mexanizmi fotorezistiv hadisəsi [33, s.941-943] ilə izah edilə bilər. Belə ki, səthdə mövcud elektrostatik və xarici elektrik sahəsinin udulma zolağında fotokeçiriciliyə birgə təsiri tarazlıqda olmayan yükdaşıyıcıların rekombinasiya sürətinin dəyişməsi ilə baş verir. [69, s.296] işindən məlumdur ki, məxsusi oblastda fotokeçiricilik udulma əmsalının qiymətindən asılıdır ( $\alpha \sim 1/x$ ). Fotokeçiricilik və optik udulma spektrlərinin müqayisəsi göstərir ki, fotokeçiriciliyin maksimumu fundamental udulma zolağında yerləşir və spektrin forması  $\alpha \sim 1/x$  ifadəsi ilə müəyyən olunur. Yarımkəçiricinin qadağan olunmuş zonasında lokal səviyyələr mövcud olarsa, müəyyən şəraitdə işığın təsiri ilə bu səviyyələrlə icazəli zonalar arasında keçidlər hesabına tarazlıqda olmayan sərbəst yükdaşıyıcılar yaranır. Bu isə, öz növbəsində fotokeçiriciliyin artmasına səbəb olur. Şəkil 3.1.1. və şəkil 3.1.2.-nin müqayisəsindən görünür ki, spektrin qısdalğa oblastında fotokeçiriciliyin xarici sahədən asılı olaraq dəyişməsi səthdə lokal səviyyələrin yaratdığı potensial sahənin nizamlanması ilə izah olunur.

Şəkil 3.1.3.-də udulma zolağında fotokeçiriciliyin xarici sahənin intensivliyindən asılılığı göstərilmişdir. Şəkil 3.1.3.-dən görünür ki, xarici elektrik sahəsinin  $E_{xar} < 10^2$  V/sm qiymətlərində fotokeçiricilikdə artım müşahidə edilmir.



**Şəkil 3.1.3. GaS monokristalında məxsusi udulma oblastında fotocərəyanın ( $h\nu_{\max}=2,5$  ev) elektrodlar arası elektrik sahəsindən asılılığı:  $D_\gamma=0$ ; 1- $U_n<0$  2- $U_n>0$  ( $d=0,1$  mm;  $U\sim 1\div 100V$ )**



$E_{\text{xar}} > 10^2$  V/sm qiymətlərində isə udulma zolağında fotokeçiriciliyin xarici elektrik sahəsindən asılı olaraq dəyişməsi müşahidə olunur. Işıq fotonunun enerjisinin udulma zolağına uyğun qiymətlərində səthyanı oblasda yaranan fotoyükdaşıyıcıların kristalın səthində olan struktur defektləri (akseptor və donor tipli) ilə mübadiləsinin dəyişməsi səthdə energetik zonanın əyilməsinə səbəb olur. Şəkil 3.1.3.-dən görünür ki,  $E_{\text{xar}} > 0$  olan hal (əyri-2) səthin yükdaşıyıcılarla doyma halına, yəni udulma zolağında fotokeçiriciliyin artmasına və  $E_{\text{xar}} < 0$  isə səthin yükdaşıyıcılarla kasıblanmasına, yəni fotokeçiriciliyin azalma halına uyğun gəlir. Müşahidə olunan təcrübi faktların mexanizmini vermək üçün səth parametrlərinin hesablanması (S-səth rekombinasiya sürəti,  $D_{n(p)}$ -yükdaşıyıcıların diffuziya əmsalı, L-yükdaşıyıcıların qaçış yolu) vacibdir.

Beləliklə, alınan təcrübi nəticələr göstərir ki, fotorezistiv effekt nəticəsində laylı GaS monokristallarında fotokeçiricilik spektri xarici elektrik sahəsinin qiymət və istiqamətindən asılı olaraq transformasiyaya uğrayır. Müşahidə edilən effekti, həcmi kristallarda müşahidə edilən fotorezistiv hadisəsi əsasında, laylı kristallar üçün keyfiyyətə belə izah etmək olar. Belə ki, [69, s.490-495] işində qeyd olunur ki, səth keçiriciliyini xarakterizə edən-rekombinasiya və tutma mərkəzlərinin (akseptor və donor tipli) fəallığı onların elektron tutma və ya buraxma qabiliyyəti ilə müəyyən olunur. Bu isə, fotoyükdaşıyıcıların səth rekombinasiya sürətinin tempini müəyyən edir. Məxsusi fotokeçiriciliyə səth elektrik sahəsinin təsirinin analitik analizini aparmaq məqsədi ilə [33, s.942] işdə alınan nəticələrdən istifadə edək. Həmin işdə müəyyən sərhəd şərtləri daxilində tarazlıqda olmayan yükdaşıyıcılar üçün birözlü kəsilməzlik tənliyi stasionar hal üçün verilmişdir. Bu işdə yarımkəçiricinin səthində elektrik sahəsi olan zaman səth rekombinasiya sürətini nəzərə almaqla, səthin normalına perpendikulyar x-istiqamətində elektronların yarımkəçiricidə paylanma funksiyası alınmışdır (x-kristalın səthindən dərinliyə doğru artır):

$$\Delta n(x) = \frac{\alpha I_0 n}{1 - (\alpha L_a)^2} = - \left[ \exp(-\alpha x) - \frac{S_n - \mu_n E_s + \alpha D_n}{S_n - \mu_n E_s + D_n / L_x} \exp(-x) / L_a \right] \quad (3.1.1)$$

Burada  $\alpha$  -udulma əmsalı,  $I_0$  -udulan işığın intensivliyi,  $I_n$ -elektronun yaşama müddəti,  $L_a$ -diffuziya məsafəsi,  $S_n$ -səth rekombinasiya sürəti,  $\mu_n$ -elektronun yürüklüyü,  $E_C$ -yarımkeçirici səthdə elektronların rekombinasiya sürəti,  $D_n$ -elektronların diffuziya əmsalıdır.

3.1.1 ifadəsində verilən  $L_a$  və  $D_n$  kəmiyyətlərinin yarımkeçirici materialın fundamental parametrləri ilə əlaqəsi belə olar

$$L_a = \sqrt{\frac{2\mu_n E_n kT / e}{1 + (\mu_n \tau_n / \mu_p \tau_p)}} \quad D_n = \mu_n \frac{kT}{e} \quad (3.1.2)$$

Burada  $k$ -Bolsman sabiti,  $e$ -elementar yük,  $\tau_p$ -yükdaşıyıcının yaşama müddəti,  $\mu$ - yürüklükdür. 3.1.1 ifadəsinin alınması zamanı fundamental udulma zolağında kvant çıxış ədədinin  $\beta=1$  olduğu qəbul olunur [115, s.4490]-işində göstərildiyi kimi, yarımkeçiricinin məxsusi oblastı üçün kvant ədədinin  $v$ -tezlikdən asılılığını Lorens funksiyası şəklində yazmaq olar.

$$\beta(v) = \frac{\gamma^2}{(v - v_0) + \gamma^2} \quad (3.1.3)$$

$v_0$  -eksitonun rezonans tezliyi,  $\gamma$ -eksitonun udulma xəttinin enidir. (3.1.1) və (3.1.3) ifadələrini nəzərə almaqla udulma zolağında fotokeçiriciliyin spektrini analiz etmək üçün vahid işıqlanma səthində yaranan qeyri tarazlıqlı elektronların sayını hesablamaq olar:

$$\Delta N = \frac{\alpha \beta I_0 \tau_n}{1 - (\alpha L_n)^2} \left[ \frac{1}{\alpha} (1 - \exp(-\alpha d)) - L_a \right] \quad (3.1.4)$$

(3.1.4)-dən istifadə etməklə yarımkeçirici səthin elektrik sahəsinin qiymət və istiqamətini dəyişməklə fotokeçiricilik spektrindən səth parametrlərini hesablamışıq. Bu zaman GaS kristalının  $T=77K$  -də udulma əmsalından istifadə edilmişdir [122, s.1242-1244]  $L_a$  və  $D_n$  -qiymətləri (3.1.2) ifadəsindən hesablanmış və  $\mu_n=16$

$\text{sm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$ ,  $\mu_p=12 \text{ sm}^2/(\text{V}\cdot\text{s})$  götürülmüşdür.  $\tau_p$  və  $\tau_n$  üçün [114, s.345. 117, s.239]-içində verilən qiymətdən istifadə edilmiş  $\tau_n=10^{-5}\text{s}$ ;  $\tau_p=10^{-8}\text{s}$  və  $E_s$ -nin qiyməti müəyyən gərginliklər üçün hesablanmışdır:  $E_s=5\cdot 10^3 \text{ V/sm}$  ( $U=50 \text{ V}$ ;  $d=0,1\text{mm}$ ). GaS və GaS:Yb kristallarının spektral xarakteristikalarından və hesablanmış  $D_n$  və  $L_n$ - parametrlərindən istifadə etməklə fotoyükdaşıyıcıların səth rekombinasiya sürəti hesablanmışdır. Alınmışdır ki, xarici elektrik sahəsinin təsiri ilə fotoyükdaşıyıcıların səth rekombinasiya sürətinin qiyməti -  $6\cdot 10^5 \text{ sm/san}$  -dən  $4\cdot 10^4 \text{ sm/san}$  -ə qədər azalır.

Beləliklə, aşqarsız laylı GaS monokristalının xarici elektrik sahəsində yerləşdirilməsi nəticəsində udulma zolağında fotokeçiriciliyin spektrinin transformasiyası müşahidə olunur. Spektrin transformasiya dərəcəsi xarici elektrik sahəsinin qiymət və istiqamətindən, eyni zamanda səth halının emal dərəcəsindən asılıdır.

### **3.2. Qamma kvantlarla şüalanmış GaS və GaS:Yb kristallarının udulma oblastında fotokeçiriciliyinin araşdırılması**

Yarımkəçirici materiallar arasında daha çox tətbiq sahəsi tapan Si və Ge kristallarında fotokeçiriciliyə səth effektlərinin təsiri geniş tədqiq edilmişdir [156, s.75]. Müəyyən edilmişdir ki, fotokeçiricilik, xüsusən udma zolağında, səthyanı oblastda yerləşən rekombinasiya mərkəzləri ilə həyata keçirilən rekombinasiya sürəti ilə müəyyən olunur. [29, s.83-85]-içindən məlumdur ki, yükdaşıyıcıların yaşama müddətini artırmaq üçün səthyanı oblasda udulma əmsalını artırmaq lazımdır. Bu məqsədlə kristalın səthini nizamlanmış elektrik sahəsinə malik dielektrik təbəqəsi ilə örtmək və ya eninə elektrik sahəsi tətbiq etmək lazımdır. Mürəkkəb yarımkəçiricilərdə səth potensialının, komponentlərin fluktasiyasından asılı olduğunu nəzərə alaraq, laylı yarımkəçirici materiallarda fotokeçiriciliyin yaranmasında səthyanı oblastda yaranan defektlərin rolunu aydınlaşdırmaq zərurəti yaranır. Bu

məqsədlə qamma-kvantların təsiri ilə yaranan defektlərin struktur defektləri ilə qarşılıqlı təsirinin fotokeçiriciliyin formalaşmasına təsiri öyrənilmişdir.

[10, s.138]–işindən məlumdur ki, qamma-kvantlarla şüalandırılmış laylı kristalların elektrik keçiriciliyi, fotokeçiriciliyi və optik xassələri şüalanma dozəsindən asılıdır. Şüalanma dozasının aşağı qiymətlərində defektlərin kompensasiyası nəticəsində keçiricilik artır, yüksək dozalarda komplekslərin dissosiasiyası nəticəsində isə azalır. Şüalanma zamanı yaranan defektlər nöqtəvi defektlərdir və onların yaranma mexanizmi [12, s.85-86]–işində verilmişdir. Həmin defektlərin aşqar atomları ilə qarşılıqlı təsiri haqqında məlumat olmadığından, məhz qeyd olunan təsirin laylı kristallarda səth effektlərinə təsirinin müəyyən edilməsi praktiki və elmi cəhətdən əhəmiyyətlidir. Qeyd olunan faktların laylı kristalların udulma zolağında müşahidə edilən fotokeçiricilik spektrinə təsirini araşdıraraq. Məlumdur ki, qamma-kvantların maddə ilə qarşılıqlı təsiri zamanı udulan enerji hesabına elektron yaranır. Qəfəs atomu ilə elektronun toqquşması zamanı Frenkel cütü yaranır və onların struktur defektlərlə qarşılıqlı təsiri zamanı yaranan elektroaktiv mərkəzlər kristallın fotoelektrik xassələrinə təsir göstərir. Nəzərə alsaq ki, qamma-kvantların yüksək nüfuzetmə və udulma qabiliyyətinə malik olması, defektlərin səthdə və həcmdə paylanmasına da təsir göstərir. Paylanmanın təbiətindən və xarakterindən asılı olaraq nümunələrin xassələri də dəyişə bilər. Qeyd olunan faktı nəzərə alaraq radiasiya və struktur səth defektlərinin qarşılıqlı təsirinin fundamental udulma zolağında fotokeçiriciliyə təsirinə baxaq. Tədqiqatın aparılma və kristalın hazırlanma metodikaları haqqında məlumatlar II-fəsildə verilmişdir.

Şəkil 3.2.1.-də müxtəlif dozalarda şüalanmış GaS laylı kristalının fotokeçiriciliyinin spektral paylanması ( $U_n > 0$ ,  $T = 77K$ ) göstərilmişdir. Şəkil 3.1.2.-dən görünür ki, şüalanmadan əvvəl xarici sahənin təsiri ilə fotokeçiricilik spektrinin transformasiyası müşahidə edilir və spektrin transformasiya dərəcəsi sahənin qiymət və istiqamətindən asılıdır. Müəyyən edilmişdir ki, GaS və GaS:Yb kristallarında müxtəlif təbiətli yük mərkəzləri mövcuddur və xarici sahənin təsiri ilə sahə effekti müşahidə edilir.

Laylı kristallarda səth effektinin məqsədyönlü idarə edilməsinə nail olmaq məqsədi ilə kristallar müxtəlif dozalı qamma-kvantlarla şüalandırılmış və fotocərəyanın spektral paylanması tədqiq edilmişdir.

Xarici elektrik sahəsi olduğu halda fotokeçiricilik spektrlərinin xarakter dəyişmələri qamma-kvantlarla şüalanmış nümunələrdə də müşahidə olunur (şək. 3.2.1.). Şəkildən görüldüyü kimi  $D_\gamma \leq 50$  krad dozada qamma-kvantlarla şüalanmış nümunələrdə  $U_n > 0$  olduqda udulma oblastında fotohəssaslıq ilkin nümunə (əyri 1) ilə müqayisədə 30-40 % (şək. 3.2.1, əyri-2) artır. 3-cü əyridən görünür ki,  $D_\gamma \geq 220$  krad dozada şüalandırıldıqdan sonra spektrin bütün oblastında GaS nümunəsinin fotokeçiriciliyi azalır. Şüalanma dozasının artması ilə fotokeçiriciliyin azalması, [56, s.14]–işdə göstəriləyi kimi, komplekslərin dissosiasiyası nəticəsində nöqtəvi defektlərin konsentrasiyasının artması ilə bağlıdır. Şəkil 3.2.1.-dən görünür ki, spektrin  $h\nu = 2,62$  eV oblastında əlavə maksimum müşahidə olunur və intensivliyi şüalanma dozasının artması ilə azalır, 200 krad şüalanma dozasından yüksək dozalarda isə müşahidə olunmur (Şəkil 3.2.1., əyri 3). Bu isə, qamma-kvantlarla şüalanma zamanı yaranan defektlərin ilkin defektlərlə qarşılıqlı təsiri (akseptor-donor qarşılıqlı təsiri) zamanı kompensasiyanın baş verməsi ilə əlaqədardır. Belə ki, udulma əmsalının ən yüksək qiymətində ( $\sim 10^5 \text{ sm}^{-1}$ ) fotokeçiriciliyin daha çox artması səth potensialının düzlənməsi nəticəsində səthin fotoyükdaşıyıcılarla bollaşması hesabına olur.

Şəkil 3.2.2.-də elektrodlar arasına tətbiq edilən elektrik sahəsi  $U_n < 0$  olduqda qamma-kvantlarla şüalanmış GaS nümunələrində fotokeçiriciliyin spektral paylanması göstərilmişdir. Şəkil 3.2.2.-dən görünür ki, bütün tədqiq olunan ilkin nümunələrdə fotokeçiriciliyin maksimumu  $E = 490$  eV yaxınlığında müşahidə olunur. Alınmış spektrlərin təhlilindən görüldüyü kimi, elektrodlar arasına tətbiq edilən elektrik sahənin istiqaməti  $U_n < 0$  olduqda nümunələrdə fotokeçiricilik bütün spektral diapazonda azalır. Qamma-kvantlarla  $D_\gamma = 50$  krad dozalarda şüalanma zamanı fotokeçiricilik spektrində məxsusi maksimumun vəziyyəti və spektrin forması  $U_n > 0$  olduğu kimi qalır, bu zaman fotocərəyan nəzərə çarpmayacaq dərəcədə azalır (şəkil 3.2.2., əyri-2). Şüalanma dozasının  $D_\gamma > 50$  krad qiymətlərində nümunələrin

fotohəssaslığı yenidən azalır, bu da tədqiq olunan nümunələrdə rekombinasiya mərkəzlərinin konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır (şəkil 3.2.3.).

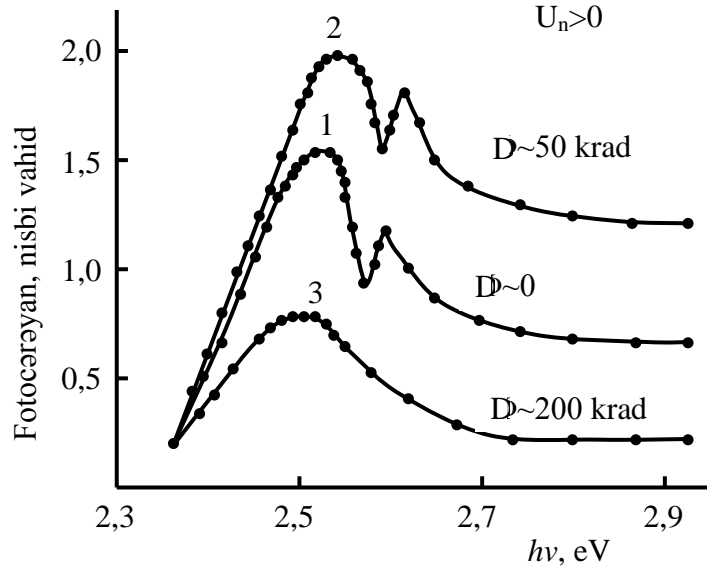
Şəkil 3.2.3.-də gərginliyin müxtəlif qiymətlərində fotosiqnalının doza asılılığı göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, xarici elektrik sahəsi  $U_n < 0$  olduqda nümunələrin fotohəssaslığı şüalanma dozasının artması ilə eksponensial olaraq azalır (əyri 2),  $U_n > 0$  olduqda isə 50 krad-a qədər artır (əyri 1) sonra isə azalır. Müşahidə olunan FK siqnalının elektrik sahəsinin qiyməti və istiqamətindən qeyri –monoton asılılığı GaS laylı kristalının səth hallarının real spektr ilə əlaqəsini fərz etməyə imkan verir.

Beləliklə, qamma-kvantlarla müxtəlif dozalarda şüalandırılmış laylı GaS monokristalının udulma zolağında fotokeçiricilik spektrləri xarici elektrik sahəsinin qiymət və istiqamətindən asılı olaraq tədqiqi zamanı müəyyən edilmişdir:

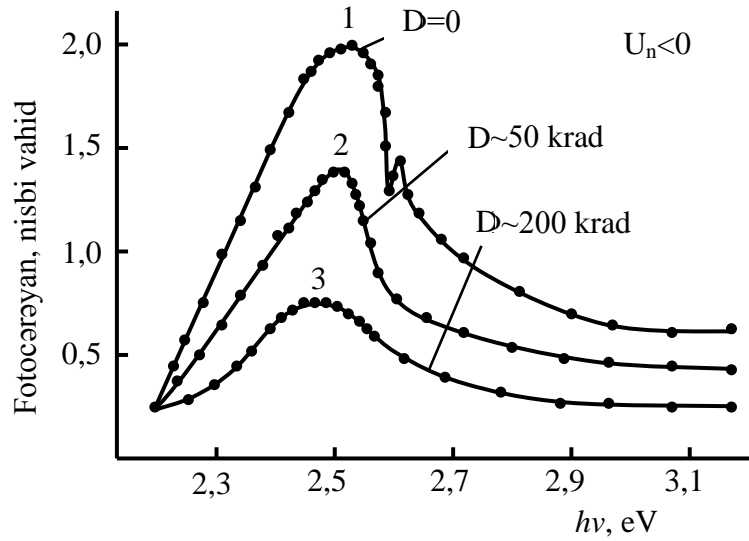
-  $D_\gamma < 50$  krad dozalarda qamma-kvantlarla şüalanmış GaS monokristalında defektlərin nizamlı paylanması nəticəsində səth rekombinasiya defektlərinin annihilasiyası baş verdiyindən, xarici sahənin təsiri ilə ( $U_n > 0$ ) yükdaşıyıcıların yürüklüyünün artması nəticəsində kristalın fotokeçiriciliyi artır,  $U_n < 0$  olduqda isə elektrostatik sahənin azalması hesabına yürüklüyün azalması nəticəsində fotokeçiricilik azalır.

-  $D_\gamma > 50$  krad dozalarda qamma-kvantlarla şüalanmış GaS monokristalında mürəkkəb defektlərin (komplekslərin, klasterlərin) dissosiasiyası nəticəsində defektlərin konsentrasiyasının artması hesabına, xarici sahənin qiymət və istiqamətindən asılı olmayaraq ( $U_n > 0$ ;  $U_n < 0$ ) kristalların fotokeçiriciliyi azalır.

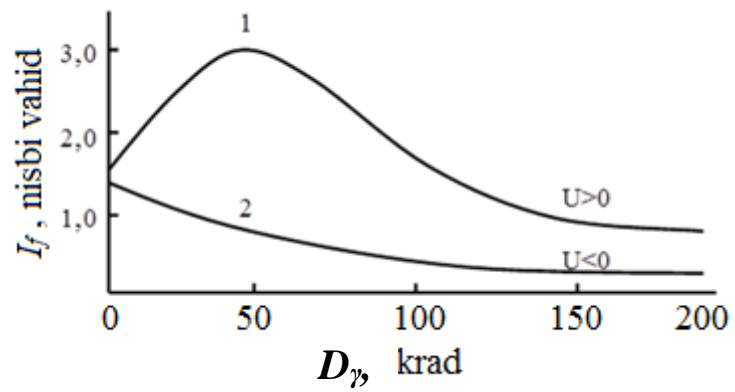
Təcrübədə alınmış nəticələrin təhlili göstərir ki, udulma zolağında müşahidə olunan fotokeçiricilik, səth rekombinasiya sürətindən asılı olan fotoyükdaşıyıcıların konsentrasiyası və yürüklüyündən asılıdır və InSe laylı kristalında müşahidə olunan effektlə tam uzlaşır [19, s.995]. Eyni zamanda digər işində [18, s.1430] alınan nəticələri də nəzərə alsaq demək olar ki, kristal səthində potensial sahənin qeyri-bərabər paylanması fotoyükdaşıyıcıların rekombinasiya sürətinə təsir edir. Qeyd olunan təsirin qiyməti isə, yarımkeçiricinin səthyanı oblastında energetik zonanın əyilmə dərəcəsindən asılıdır. Onun hündürlüyü səthyanı oblasda mövcud olan



**Şəkil 3.2.1. Müxtəlif dozalarda qamma-kvantlarla şüalanmış GaS laylı kristalının fotokeçiriciliyinin spektral paylanması ( $U_n > 0$ ;  $T = 77$  K): 1- $D_\gamma = 0$ , 2- $D_\gamma = 50$  krad; 3-  $D_\gamma = 200$  krad.**



**Şəkil 3.2.2. Müxtəlif dozalarda şüalanmış GaS laylı kristalının fotokeçiriciliyinin spektral paylanması ( $U_n < 0$ ;  $T = 77$  K): 1- $D = 0$ , 2- $D_\gamma = 50$  krad; 3- $D_\gamma = 200$  krad.**



**Şəkil 3.2.3. Xarici elektrik sahəsinin müxtəlif qiymətlərində qamma-kvantların şüalanma dozasından asılı olaraq GaS laylı kristalında fotokeçiriciliyin dəyişməsi [131, s.6].**



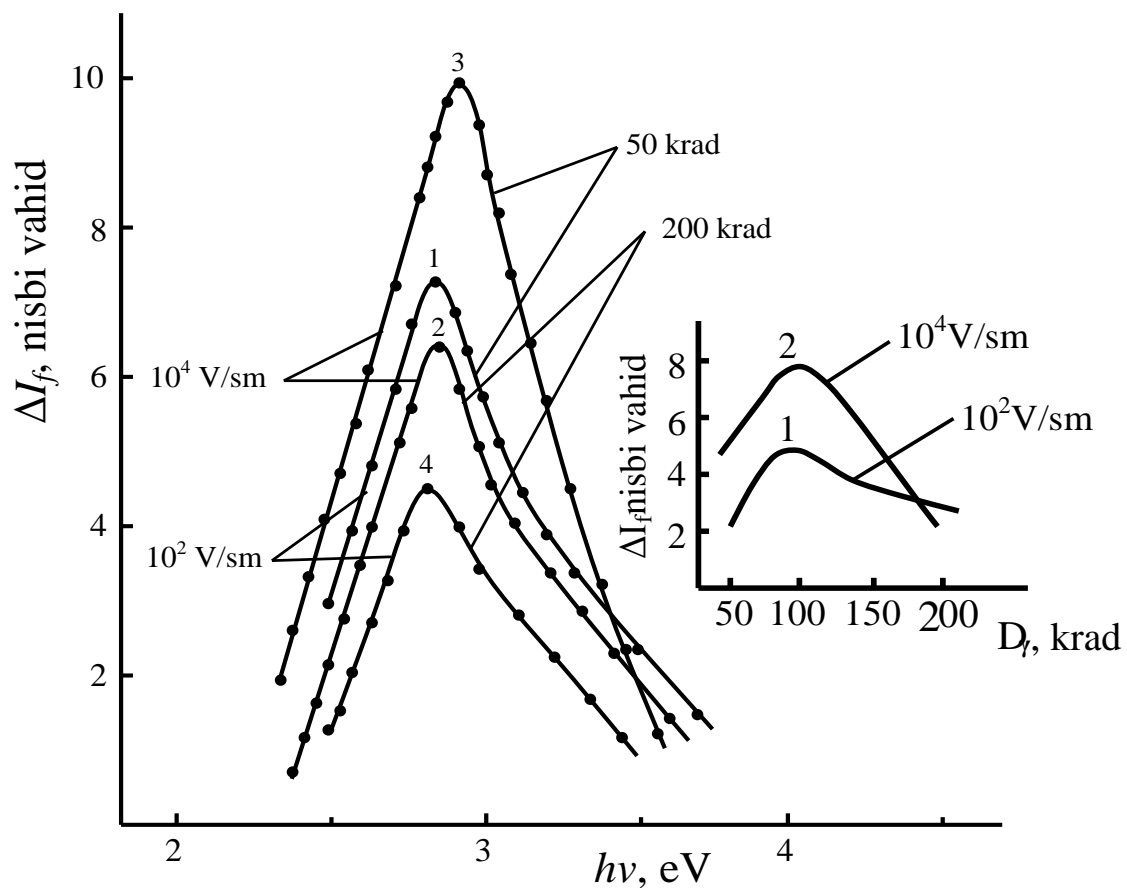
elektroaktiv rekombinasiya mərkəzlərinin təbiətindən və konsentrasiyasından asılıdır. Qamma-kvantlarla şüalanma zamanı yaranan Frenkel cütləri (vakansiya və düyünlər arası atom) qəfəsaltında sadə defektlər şəklində, həm qallium, həm də kükürd yaranır. Bu səbəbdən onlar donor və akseptor təbiətinə malik olurlar. Onların birgə təsiri isə radiasiya defektlərinin struktur defektlərinə nəzərən qiymətindən asılıdır. [133, s.278-280]–işində qeyd olunduğu kimi, şəkil 3.2.1-də alınan nəticələrə əsasən demək olar ki,  $D_\gamma < 50$  krad dozalarda yaranan defektlərdə donor təbiəti üstünlük təşkil etdiyindən, GaS kristalının səthində energetik səviyyənin əyilmə hündürlüyü kiçilir və nəticədə fotoyükdaşıyıcıların səth rekombinasiya sürəti azalır. Nümunəni elektrik sahəsində yerləşdirdikdə isə, tətbiq edilən xarici sahə ilə səthdə olan elektroaktiv mərkəzlərin yaratdığı elektrostatik sahələrin superpazisiyası nəticəsində energetik zonanın əyilmə hündürlüyü dəyişir. Bu isə, xarici elektrik sahəsinin qiymət və istiqamətindən asılı olaraq laylı kristallarda udulma zolağında fotohəssalığı idarə etməyə imkan verir. Belə ki, tədqiq edilən şüalanmamış və qamma-kvantlarla şüalanmış GaS kristallarında xarici elektrik sahəsinin təsiri altında udulma zolağında fotokeçiricilik spektrlərinin kəmiyyət və keyfiyyətə dəyişməsi müşahidə olunur. Xarici elektrik sahənin istiqaməti səth energetik zonanın əyilmə dərəcəsini artırarsa ( $U_n < 0$ ) kristalın fotokeçiriciliyi azalır, sahənin istiqaməti  $U_n > 0$  olarsa, fotokeçiricilik artar.

Nəzərə alsaq ki, səth defektlərinin elektroaktivliyi akseptor-donor qarşılıqlı təsirindən asılıdır bu mexanizmə qamma-kvantların və aşqar atomlarının (Yb) birgə təsirinin tədqiq edilməsi laylı GaS kristalında müşahidə edilən fotorezistiv effektin mexanizmini aydınlaşdırmağa imkan verə bilər. Qeyd etmək lazımdır ki, [6, s.30-31] –işlərdə GaS:Yb kristallarının elektrik və fotoelektrik xassələrinə qamma-kvantların təsiri aşqar oblastında tədqiq edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, Yb-atomunun Ga-atomunu qismən əvəz etməsi nəticəsində kristalın keçiriciliyi azalır. Ancaq defekt-aşqar qarşılıqlı təsirinə xarici amillərin (elektrik sahəsinin, işıq şüalarının) birgə təsiri araşdırılmadığından udulma zolağında fotokeçiriciliyin mexanizmini vermək mümkün deyil. Bu məqsədlə GaS:Yb kristalında qamma-kvantların təsiri ilə yaranan defektlərin və aşqar atomlarının qarşılıqlı təsirinə xarici elektrik sahəsinin təsirinə baxaq.

Şəkil 3.2.4. və 3.2.5.-də xarici elektrik sahəsində ( $T=100$  K) şüalanmadan əvvəl və sonra GaS:Yb nümunələrində udulma zolağında fotokeçiricilik spektrləri müxtəlif xarici sahələrdə verilmişdir. Şəkil 3.2.4-dən görüldüyü kimi, şüalanmadan sonra GaS:Yb-kristalında xarici elektrik sahəsi  $U_n > 0$  olduqda fotohəssaslıq artır. Xarici elektrik sahəsinin qiyməti  $U_n < 0$  olduqda isə, udulma zolağında fotokeçiricilik nəzərə çarpmayacaq dərəcədə azalır. Müşahidə olunan effekt xarici elektrik sahəsinin təsiri altında yüklü defektlərin yenidən yığılması ilə əlaqədardır [5, s.7-8. 131, s.3-5]. Bu səbəbdən nümunələrdə fotoyükdaşıyıcıların xarakteristik parametrlərinin ( $n$ -konsentrasiya və  $\mu$ -yürüklük) dəyişməsi nəticəsində, onların səth rekombinasiya sürəti azalır. Nümunəyə tətbiq edilən xarici sahənin qiyməti  $E_s < E_{ion}$  ( $E_{ion} = 10^5$  V/sm) olduqda konsentrasiyanın artması müşahidə olunmur.  $n$ -in artması mümkün deyil. Ancaq [67, s.119] işində alınan nəticəyə əsasən demək olar ki, xarici sahənin təsirindən asılı olaraq  $\mu$ -yürüklük artır. Qeyd olunan fakt əsasında demək olar ki, fotoyükdaşıyıcıların yürüklüyünün artması ( $U_n > 0$ ) udulma zolağında fotokeçiriciliyin artmasına səbəb ola bilər və onun effektivliyi elektroaktiv defektlərin konsentrasiyasından asılıdır.

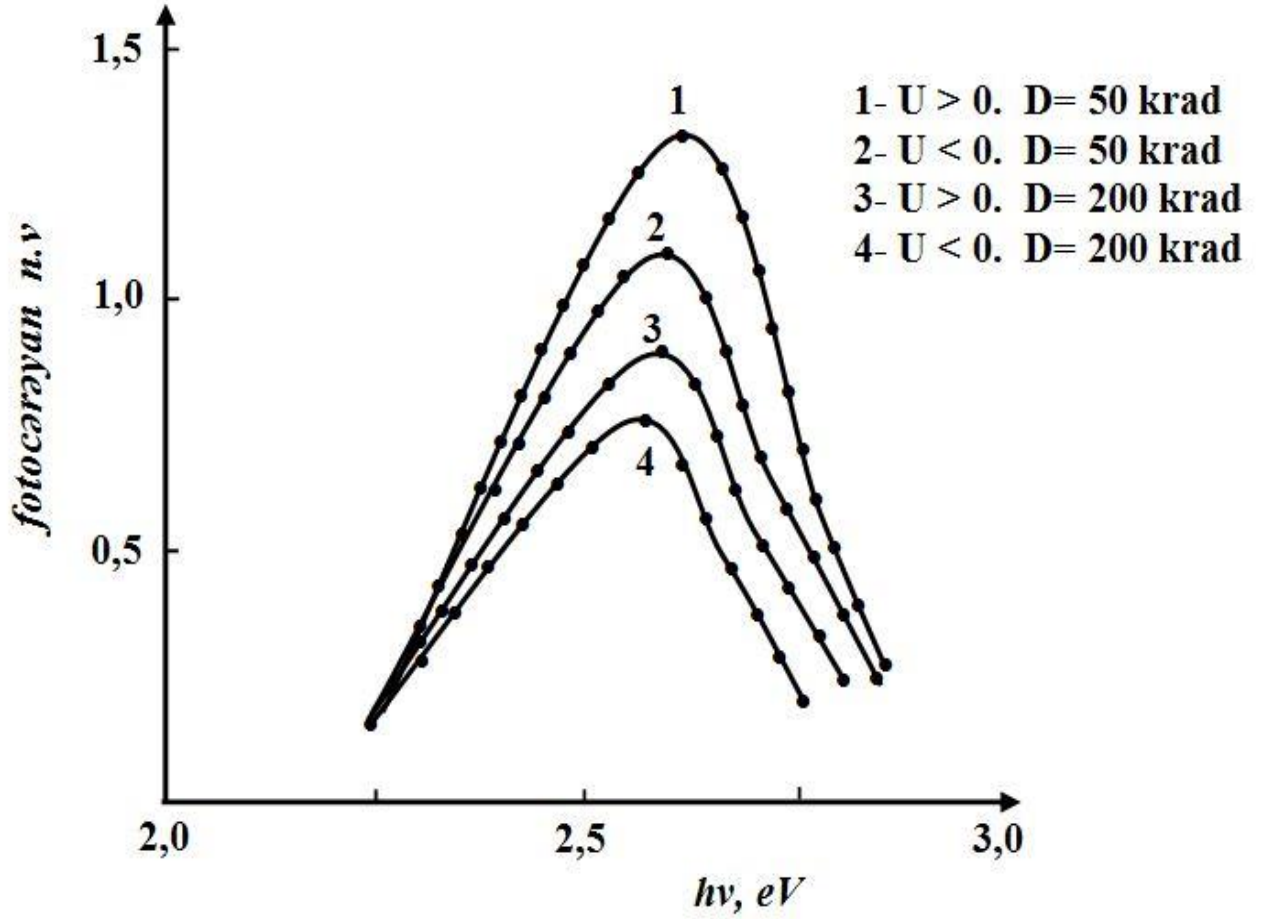
Şəkil 3.2.4.-də müxtəlif dozalarda şüalanmış GaS:Yb kristallarında fotokeçiriciliyə elektrik sahəsinin təsirindən alınan nəticələr verilmişdir. Bu zaman sahənin ancaq  $U_n > 0$  qiymətində aparılan tədqiqat nəticələri verilmişdir. Şəkil 3.2.4.-dən görünür ki, 50 krad doza ilə şüalandırılmış nümunələrə  $10^2$  V/sm və  $10^4$  V/sm xarici sahə tətbiq etdikdə kristalın fotohəssaslığı sahənin intensivliyindən asılı olaraq eksponensial qanunla artır (1 və 2 əyri; şəkilaltı). 200krad doza ilə şüalandırılmış kristallara həmin sahəni tətbiq etdikdə, ilkin halda olduğu kimi, fotohəssaslıq eksponensial qanunla artır. Müşahidə olunan hadisənin təhlili göstərir ki, elektrodlar arasına verilən sahənin istiqamətini sabit saxlamaq şərti ilə, onun qiymətini  $10^2$  V/sm –dən  $10^4$  V/sm qədər artırıqda fotocərəyanın nisbi dəyişməsi eksponensial artır. Bu isə bizə, deməyə imkan verir ki, kristal səthində elektrik sahəsinin qeyri-bircins paylanması xarici elektrik sahəsinin təsiri ilə qismən nizamlamaq mümkündür.

Şəkil 3.2.5-dən görünür ki, GaS:Yb kristalını qamma-kvantlarla şüalandırdıqdan sonra xarici elektrik sahəsinin təsiri nəticəsində fotokeçiricilik



**Şəkil 3.2.4. Elektrik sahəsinin ( $U_n > 0$ ) və şüalanma dozasının müxtəlif qiymətlərində GaS:Yb laylı kristalının fotokeçiriciliyinin spektral paylanması ( $T=77K$ ).**

**Şəkilaltı: Fotocərəyanın nisbi dəyişməsinin şüalanma dozasından asılılığı**



**Şəkil 3.2.5. GaS:Yb laylı kristalında elektrik sahəsinin və şüalanmanın fotokeçiriciliyin spektral paylanmasına təsiri ( $T=77$ ) [131, s.7].**

spektrlərində xarakter dəyişmələri müşahidə olunmur. Şəkildən görünür ki,  $p$ -GaS:Yb nümunələrində qamma-kvantlarla 50 krad doza ilə şüalanma zamanı FK spektrlərdə məxsusi maksimumun vəziyyəti və spektrin forması şüalanmaya qədər kristallarda olduğu kimi qalır, lakin  $U_n > 0$  olduqda fotocərəyan artır (şəkil 3.2.5., əyri- 3).

$D_\gamma > 50$  krad qiymətlərində dozanın artması ilə nümunələrdə fotocərəyanın cüzi azalması müşahidə olunur. Müşahidə olunan fakt, bir daha göstərir ki, şüalanma dozasının yüksək qiymətlərində komplekslərin dissosiasiyası nəticəsində defektlərin konsentrasiyasının artması hesabına fotoyükdaşıyıcıların rekombinasiya sürəti azalır və nəticədə nümunələrin fotohəssaslığı artır (əyri 2).

Beləliklə, laylı GaS kristallarında fotokeçiriciliyin aparılmış təcrübə analizi onu göstərir ki, kristalın səthində müxtəlif qeyri-bircinslik çoxluğunun olması səthin potensial relyefini dəyişdirir və onunla bağlı olaraq potensial zonanın əyilməsi baş verir. Potensial çəpərin əyilməsi isə, akseptor və donor tipli mərkəzlərin elektron mübadiləsinə təsir göstərməsi hesabına udulma zolağında fotokeçiricilik dəyişir. [17, s.1085-1086]-dən məlumdur ki,  $A^{III}B^{VI}$  tip real laylı kristallar məxsusi nöqtəvi ( $\sim 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ ) defektlərə malikdir (kristallik qəfəsin düyünlərində və düyünlərarası atomlarda vakansiyalar, nəzarət olunmayan aşqarlar). Məlumdur ki, qeyri-bircins səth potensialının fotokeçiricilik spektrlərinin formasına təsiri fotoyükdaşıyıcıların səth rekombinasiyasının sürətinin dəyişməsindən asılı olması ilə əlaqədardır [52, s.560-562]. Belə nəticələr həcmi GaS nümunələri üçün də alınmışdır. Eksitonlarla şərtlənən fotokeçiricilik spektrlərinin incə quruluşunda qeyri-bircins elektrik sahəsinin müəyyən edici rolu göstərilmişdir. Bu halda, laylı kristallarda fotokeçiricilik səth hallarının yenidən yüklənməsi və ya səthi yüklü hissəciklərlə əlaqədardır. Alınmış nəticələrdən görünür ki, ilkin və aşqarlanmış GaS kristallarında iki tip defektin olması  $T=77\text{K}$ -də fotokeçiricilik spektrlərinin transformasiyasına gətirib çıxaran kristallik qəfəsdə gərginliyin olması hesabına fotoyükdaşıyıcıların yürüklüyünün dəyişməsinə səbəb olur. Spektrlərdən görünür ki,  $h\nu \approx 2.52 \text{ eV}$ -da yüksək energetik maksimum udulmanın eksponensial sahəsində yerləşir və elektronların zona-zona keçidi ilə əlaqədardır. Qeyd edək ki, spektrlərdə FK maksimumunun energetik vəziyyəti kristalın qamma-kvantlarla şüalanması, eləcə də aşqarlanma zamanı

dəyişmir. Müəyyən olunmuşdur ki, fotocərəyanın qiyməti kristalın səthinin işlənmə üsulundan asılıdır və yükdaşıyıcıların səthi rekombinasiya sürəti ilə təyin olunur. Fotocərəyanın qiymətinin  $U_n > 0$  olduqda artması və  $U_n < 0$  olduqda azalması rekombinasiyalı potensial baryerlərin çoxluğu ilə əlaqədardır. Potensial baryerlərin yaranmasına səbəb səthdə yüklənmiş qeyri-bircins kation və anion vakansiyalarından təşkil olunmuş hissəciklərin mövcudluğudur. Fərz olunur ki, xarici elektrik sahəsi olduğu zaman kristal defekt sərhəddində energetik zonaların səthi ayrılığı dəyişir [150, s.341]. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, elektrik sahəsinin təsiri altında ( $U_n > 0$ ) FK-nın artması potensial əyrinin düzləndirilməsi ilə əlaqədardır. Elektrik sahəsinin təsiri altında ( $U_n < 0$ ) FK-nın azalması potensial baryerin hündürlüyünün artması ilə əlaqədardır. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, GaS kristallarının qamma-kvantlarla şüalanması zamanı donor tip defektlər yaranır ki, bu da ilkin akseptor mərkəzləri kompensasiya edir. Səthi elektrik sahəsinin artması ilə ftohəssaslıq azalır. Bunu nəzərə alaraq söyləmək olar ki, laylı kristallarda, o cümlədən GaS-də qadağan olunmuş zonada dərin elektron hallarının spektrini dəyişən qeyri-bircins paylanmış lokal deformasiya sahələri mövcuddur və bunun nəticəsində FK spektrinin ümumi şəkli dəyişir.

Alınmış nəticələr onu göstərir ki, laylı p-GaS kristallarında udulma zolağında fotokeçiriciliyi müəyyən edən əsas faktor-elektroaktiv səth mərkəzlərinin yüklənmə dərəcəsindən asılı olaraq onların yaratdığı lokal qeyri-bircins elektrik sahəsidir. Onun xarici təsirlərlə (elektrik sahəsi, radiasiya şüaları və s.) idarə edilməsi kristalların səth keçiriciliyini idarə etməyə imkan verir. Həqiqətən, də laylı kristallarda [24, s.91] işindəki nəticələrə və bizim nəticələrə əsasən söyləmək olar ki, kristalın səthində elektrik sahəsi eninə elektrik sahəsinin gərginliyinin qiyməti və istiqaməti ilə dəyişir. Beləliklə, kristalın yerləşdiyi xarici eninə elektrik sahəsinin qiymət və istiqamətini dəyişməklə aşağı temperaturlarda laylı kristallarda ftohəssaslığı idarə etmək olar. Eyni zamanda, nəzərə alsaq ki, xarici sahənin kompensasiya dərəcəsi səth defektlərinin yüklənmə dərəcəsindən asılıdır, onda həmin defektlərin konsentrasiyasını və təbiətini radiasiya şüaları ilə də idarə etmək olar. Beləliklə, laylı

kristallarda səth effektlərinin udulma zolağında fotokeçiricilik spektrlərinə təsirini aşqarlamaq və şüalandırmaqla məqsədyönlü idarə etmək olar.

Beləliklə, ilkin, aşqarlanmış və radiasiya şüalarına məruz qalmış GaS:Yb kristallarında məxsusi fotokeçiricilik spektrinə xarici elektrik sahəsinin təsiri rekombinasiya mərkəzlərinə yük daşıyıcıların ötürülmə tempinin dəyişməsi ilə əlaqədardır. Bu isə, ilkin kristallarda mövcud olan səth struktur defektlərinin aşqarlama və radiasiya şüalarının təsiri ilə nizamlanması nəticəsində fotoyükdaşıyıcıların yürüklüyünün dəyişməsi hesabına səth rekombinasiya sürətinin azalmasına səbəb olur.

Qamma-kvantlarla şüalanmış ( $T=77\text{ K}$ ) aşqarlanmamış və itterbium ( $N_{\text{Yb}} \sim 7 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$ ) ilə aşqarlanmış GaS laylı kristallarında səth fotokeçiriliyinə səthi elektrik sahəsinin təsiri tədqiq edilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, səthdəki səviyyələrin yüklənməsi ilə şərtlənən udulma oblastında laylı kristalların fotokeçiriliyi səthi energetik zonaların potensialının fluktasiyalarının elektrik düzənlənməsi nəticəsində formalaşır. Zonaların səthi düzəlmə dərəcəsi qamma-şüalanmanın dozasından, aşqar atomların konsentrasiyasından, eləcə də eninə elektrik sahəsinin qiymətindən və istiqamətindən asılıdır.

### **3.3. Qamma kvantlarla şüalandırılmış GaS və GaS:Yb kristallarında termik dəmləmənin udulma zolağında fətohəssaslığa təsiri**

[67, s.65-67]–işindən məlumdur ki, ionlaşdırıcı şüaların təsiri ilə yarımkəçirici materiallarda yaranan defektlər yürüklüyə malikdirlər və temperaturdan asılı olaraq onların miqrasiya sürəti dəyişir. Belə defektləri stabil hala gətirmək məqsədi ilə termik dəmləmə üsulundan istifadə edilir. Şüalanma zamanı yaranan defektlərin termik dəmləmə enerjisini müəyyən etmək üçün aşağıdakı qanunauyğunluğa tabe olan formuladan istifadə edilmişdir [34, s.1182-1183. 49, s.112]:

$$t \cdot \exp(-\Delta E_i / kT) = \text{const}, \quad (3.3.1)$$

burada:  $t$ - dəmləmə müddəti,  $\Delta E_i$ –aktivləşmə enerjisidir,  $T$ - mütləq temperatur,  $k$ - Bolsman sabitidir.

(3.3.1) ifadəsindən loqarifma aldıqdan sonra, iki  $T_1$  və  $T_2$ –dəmləmə temperaturları və  $t_1$  və  $t_2$ - dəmləmə zamanları üçün yazaraq, aşağıdakı ifadəni alırıq:

$$\ln t_2 / t_1 = \Delta E_i / k (1/T_1 - 1/T_2) \quad (3.3.2)$$

Alınmış ifadədən istifadə edərək termik dəmlənmə zamanı dayanıqlı defektin aktivləşmə enerjisi  $-\Delta E_i$  hesablanır.

Müxtəlif dozalarda şüalandırılmış GaS və GaS:Yb nümunələri vakuumda  $T=473\text{K}$  temperaturunda  $t=30-60$  dəqiqə müddətində dəmləməyə məruz qalmışdır. Dəmləmə temperaturu olaraq kristalın ərimə temperaturundan aşağı temperatur intervalı seçilmişdir ( $100-200\text{ }^\circ\text{C}$ ).

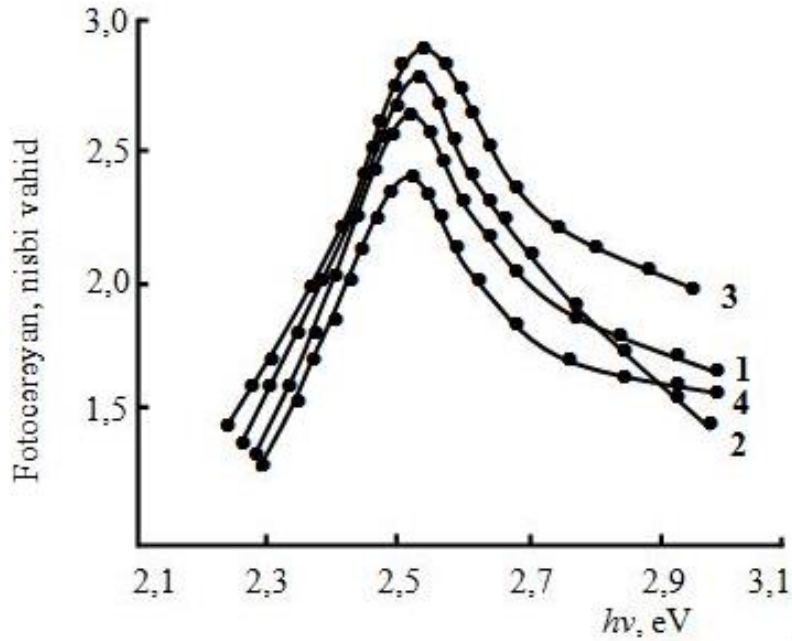
Şəkil 3.3.1.-da xarici elektrik sahəsində termik dəmlənmiş ( $473\text{ K}$ ) GaS (1) və GaS:Yb (2) laylı kristalında fotokeçiriciliyin spektral paylanması göstərilmişdir. Şəkil 3.3.1-dan görünür ki, 50 krad dozada qamma–kvantlarla şüalandırılmış GaS kristalının  $T=473\text{K}$ –də  $t=60$  dəqiqə müddətində termik dəmləndikdən sonra (əyri-1) fotokeçiricilik spektri şəkil 3.1.1., 1-əyrisinin formasına tam uyğundur. Ancaq  $h\nu \sim 2,6\text{ eV}$ -a uyğun əlavə maksimum müşahidə olunmur (bu spektr haqqında geniş məlumat şəkil 3.1.1.- də verilmişdir). Şəkil 3.3.1.-da əlavə maksimumun (şəkil 3.1.1,  $h\nu \sim 2,6\text{ eV}$ ) müşahidə olunmaması, termik dəmlənmə zamanı kükürd vakansiyasının ( $V_S$ ) düyünlər arası kükürd atomu ilə əvəz olunmasıdır. Bu zaman spektrdə fotokeçiriciliyin maksimum qiymətinə uyğun enerjinin dəyişmədiyi, ancaq məxsusi oblastda ftohəssaslığın ilkin nümunələrə nəzərən artması müşahidə edilir. Müşahidə olunan qrafik asılılıq göstərir ki, termik dəmləmə prosesi zamanı struktur defektlərinin yenidən paylanması nəticəsində məxsusi oblastda fotokeçiriciliyin artması müşahidə edilir. Şəkil 3.3.1., 2-əyrisində 50 krad dozada qamma–kvantlarla şüalandırılmış GaS:Yb kristalının  $T=473\text{ K}$  temperaturunda  $t=60$  dəqiqə müddətində termik dəmləndikdən sonra fotokeçiricilik spektri verilmişdir. Şəkildən görünür ki, maksimal udulma zolağında nümunənin fotokeçiriciliyi ilkin kristala nəzərən (şəkil



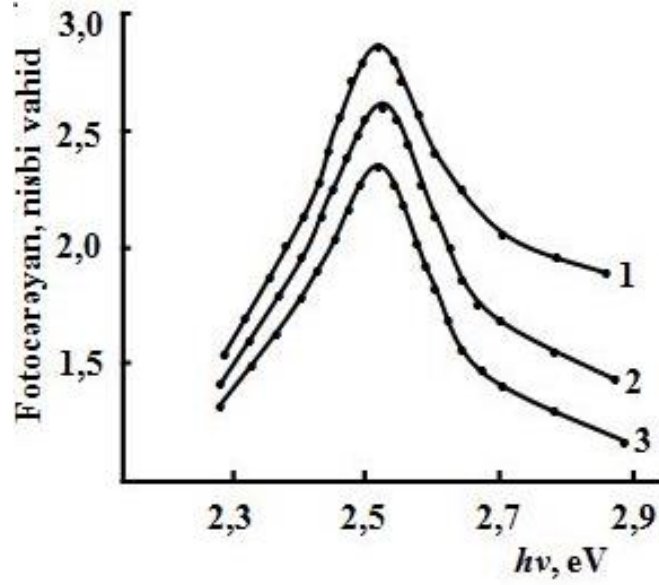
3.2.5.) qismən artmışdır. Bu fakt isə şüalanma zamanı yaranan qeyri-stabil radiasiya defektlərin struktur defektləri ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində onların annihilyasiyaya uğradığını göstərir. Termik dəmlənmiş nümunələr müxtəlif qiymət və istiqamətə malik elektrik sahəsində yerləşdirilmiş və onların fotokeçiricilik spektri  $T=77$  K temperaturda spektrometrdə çəkilməmişdir. Şəkil 3.3.1.-də 3-əyrisindən görünür ki, şəkil 3.2.5.-də olduğu kimi, termik dəmlənmiş kristallar xarici elektrik sahəsinə daxil edilən zaman ( $U_n > 0$ ) udulma zolağında onların fotokeçiriciliyi artır. Xarici elektrik sahəsi  $U_n < 0$  olduqda isə, udulma zolağında fotokeçiricilik azalır (əyri-4).

Alınmış təcrübi nəticələrin və nəzəri tədqiqatların [54, s.36-38] təhlili göstərir ki, fotokeçiriciliyin artması kvant çıxımının artması hesabına yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması və fotoyükdaşıyıcıların yürüklüyünün artması nəticəsində ola bilər. Nəzərə alsaq ki, GaS monokristallarında  $E_g=2.4$  eV–olduğundan  $E(h\nu)=3E_g$  şərti, [61, s.1748-1750]- işinə əsasən ödənmədiyindən kvant çıxışı  $\eta=1$  ola bilər. Bu halda  $\Delta n_f \sim \text{const}$  olur. İkinci halda isə, [67, s.110]–işə əsasında demək olar ki, şüalandırılmış kristalların termik dəmlənməsi zamanı yükdaşıyıcıların yürüklüyü, digər kristallarda olduğu kimi, elektrik sahəsinin intensivliyindən asılı olaraq dəyişir. Bu nəticə əsasında demək olar ki, laylı yarımkəçiricilərdə də səth defektlərinin yürüklüyü xarici təsirlərdən (radiasiya şüaları, elektrik sahəsi, temperatur və s.) asılıdır və yürüklüyün dəyişməsi fotoyükdaşıyıcıların səth rekombinasiya sürətinin dəyişməsində fəal rol oynayır. Bu mülahizə əsasında demək olar ki, xarici elektrik sahəsinin təsiri nəticəsində ( $E > 10^2$  V/sm) GaS və GaS:Yb kristallarında udulma zolağında fotokeçiriciliyin artması ( $U_n > 0$ ), fotoyükdaşıyıcıların yürüklüyünün artması nəticəsində səth rekombinasiya sürətinin azalması,  $U_n < 0$  halında isə fotokeçiriciliyin zəifləməsi, yürüklüyün azalması hesabına rekombinasiya sürətinin artması səbəbindən müşahidə olunur.

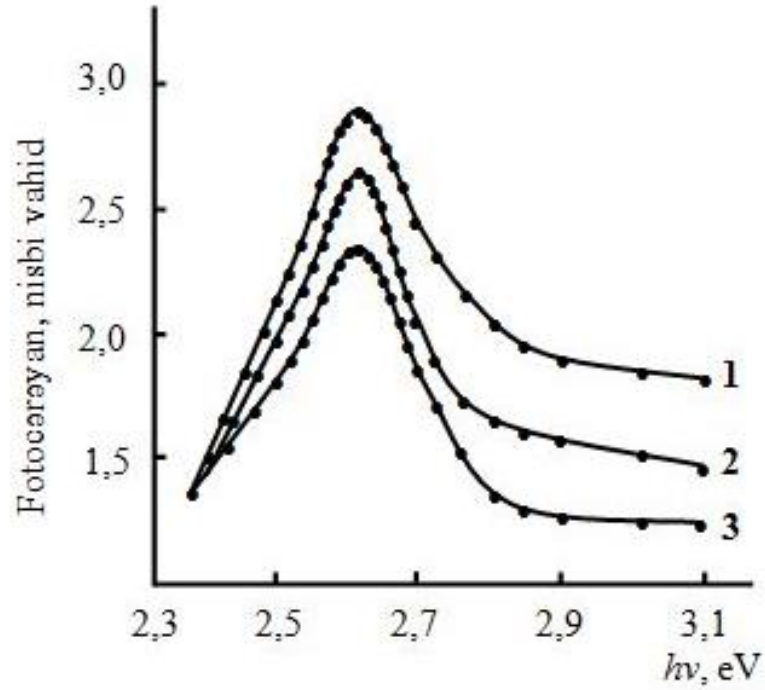
Şəkil 3.3.2.-də və 3.3.3.-də müxtəlif dozalarda şüalandırılmış nümunələrin  $T=473$  K və  $t=60$  dəqiqə müddətində dəmləndikdən sonra xarici sahənin qiymət və istiqamətindən asılı olaraq udulma zolağında fotokeçiricilik spektrləri göstərilmişdir. Şəkillərdən görünür ki, şüalanma dozasının qiymətindən asılı olaraq udulma



**Şəkil 3.3.1. 50 krad dozada qamma–kvantlarla şüalandırılmış GaS(1) və GaS:Yb(2-4) laylı kristallarının termik dəmləmədən sonra ( $T=473\text{ K}$ ;  $t= 60\text{ dəq.}$ ) xarici elektrik sahəsində fotokeçiriciliyinin spektral paylanması ( $T=77$ ). 1.- GaS ; 2- GaS:Yb; xarici elektrik sahəsində 3.- $U_n >0$  və 4.-  $U_n <0$ .**



**Şəkil 3.3.2. Müxtəlif dozalarda qamma–kvantlarla şüalandırılmış GaS:Yb laylı kristallarının termik dəmləmədən sonra ( $T=473$  K;  $t= 60$  dəq.) xarici elektrik sahəsində ( $U_n > 0$ ) fotokeçiriciliyinin spektral paylanması ( $T=77$ ). 1.100; 2- 150; 3. 200 krad.**



**Şəkil 3.3.3. Müxtəlif dozalarda qamma–kvantlarla şüalandırılmış GaS:Yb laylı kristallarının termik dəmləmədən sonra ( $T=473$  K;  $t= 60$  dəq.) xarici elektrik sahəsində ( $U_n < 0$ ) fotokeçiriciliyinin spektral paylanması ( $T=77$  K). 1.-100 ; 2.- 150; 3.- 200 krad.**

zolağında ftohəssaslıq dəyişir. Bu dəyişmə isə, qamma-kvantların şüalanma dozasından asılı olaraq yaranan radiasiya defektlərinin sayının dəyişməsi ilə bağlıdır. Şüalanma dozasından və xarici sahənin qiymət və istiqamətindən asılı olmayaraq udulma zolağına uyğun fotokeçiriciliyin maksimum qiymətinə uyğun enerji dəyişmir ( $h\nu = 2,6 \text{ eV}$ ). Müşahidə edilən fakt bir daha göstərir ki, şüalanma dozasının artması nəticəsində fotoyükdaşıyıcıların səth rekombinasiya sürəti artır və nəticədə kristalların ftohəssaslığı azalır.

### **3.4. Əvəlcədən termik dəmlənmiş və qamma kvantlarla şüalandırılmış GaS və GaS:Yb kristallarında udulma zolağında fotokeçiriciliyin araşdırılması**

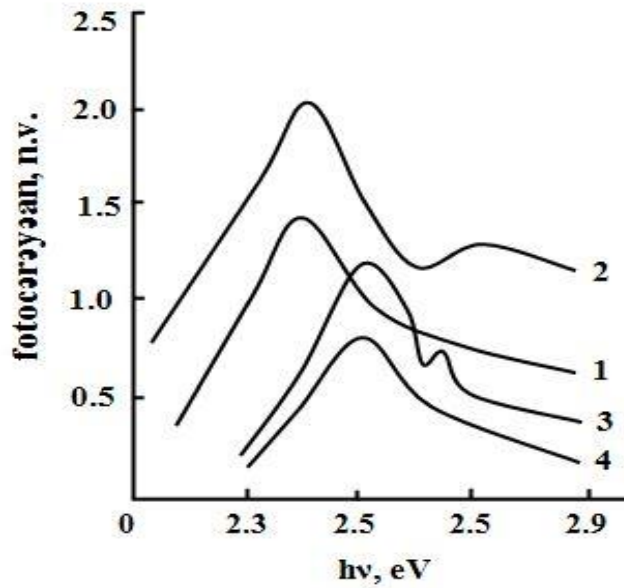
Laylı kristallarda defektlərin konsentrasiyasının yüksək olması yükdaşıyıcıların yürüklüyünün və qaçış yolunun uzunluğunun kiçik olmasına səbəb olur. Belə yüklü defektlər çoxluğu (müstəvi, vintvarı dislokasiyalar) öz ətrafında mexaniki gərginliyin yaranmasına və nəticədə kristallik qəfəsin gərilməsinə səbəb olur. Qeyd olunan xüsusiyyətləri idarə etmək məqsədi ilə müxtəlif üsullardan, o cümlədən ilkin termik emal üsulundan istifadə edilir. [72, s.254] işində göstərildiyi kimi, yarımkeçirici materialların fiziki ölçmələrdən əvvəl termik yolla emal edilməsi hesabına kristallik qəfəsdə göyərdilmə zamanı yaranan qeyri-stabil defektlərin konsentrasiyasını azaltmaq mümkündür. Qeyd olunan üsuldan istifadə etməklə, laylı kristalların yetişdirilməsi zamanı yaranan səth defektlərinin fotoelektrik xassələrinə təsiri araşdırılmışdır. Laylı quruluşa malik GaS və GaS:Yb kristalları vakuumba  $T = 473 \text{ K}$  temperaturda  $t = 60$  dəqiqə müddətində termik dəmləməyə məruz qalmışdır. Dəmlənmiş kristallarda səth defektlərinin udma zolağında fotokeçiriciliyə təsirini öyrənmək üçün səthə omik kontaktlar vurulmuş və  $T = 300 \text{ K}$  və  $100 \text{ K}$  temperaturlarında tədqiqatlar aparılmışdır.

Şəkil 3.4.1.-də əvəlcədən termik dəmlənmiş GaS kristallarında udma zolağında fotokeçiricilik spektrləri verilmişdir ( $T = 300 \text{ K}$ ). Şəkil 3.4.1.-də 1 və 2 əyriələrinin müqayisəsindən görünür ki, termik dəmlənmiş nümunədə (əyri 1) ftohəssaslığın

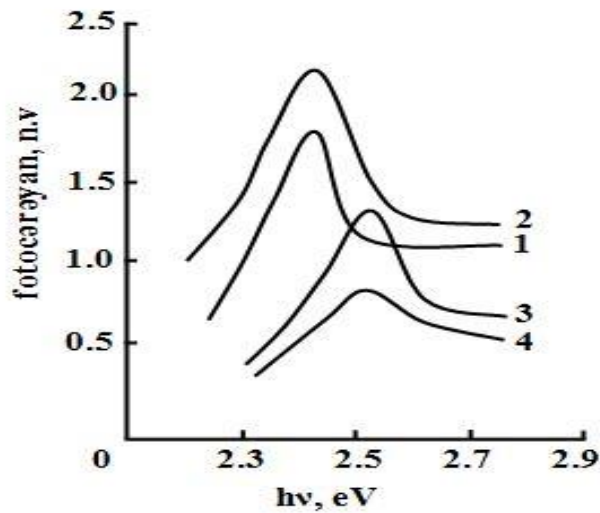
azalması elektroaktiv mərkəzlərin konsentrasiyasının yüksək olmasının nəticəsidir və xarici sahənin təsiri ilə onun qismən neytrallaşması sayəsində udulma zolağında fotohəssaslığın artması müşahidə olunur. Termik dəmləmə zamanı yaranan defektlər dərin energetik səviyyəli olduğundan və onların konsentrasiyası elektroaktiv struktur defektlərinin konsentrasiyasından və temperaturdan asılıdır. Müxtəlif temperaturlarda ( $T=100$  K, 3-4 əyriləri) aparılan tədqiqatlar göstərir ki, GaS-kristalının termik dəmlənməsi zamanı yaranan səth defektləri udulma zolağında fotokeçiriciliyə təsir göstərir. Belə defektlər, əsasən mürəkkəb komplekslərin dissosiasiyası zamanı yarandığından, sadə defektlərdir və onlar əsasən  $V_{Ga}$  və  $V_S$  vakansiyalarından və düyünlərarası Ga atomundan ibarətdir. Onlar haqqında ətraflı məlumatlar [35, s.1962-1964] –işlərində verilmişdir. Şəkildən görünür ki, xarici elektrik sahəsinin təsiri ilə ( $U_n < 0$ ) udulma zolağında fotohəssaslıq azalır və ilkin tədqiqatlar zamanı alınan nəticələrin doğru olduğunu sübut edir.

Şəkil 3.4.2.-də əvvəlcədən termik dəmlənmiş GaS:Yb kristallarının udulma zolağında müxtəlif temperaturlarda fotokeçirilik spektrləri göstərilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, Yb atomu kation vakansiyası ilə qarşılıqlı təsire girərək donor tipli defekt səviyyəsi yaradır (şəkil 3.1.2.-də verilmişdir) və kristalın elektrik keçiriciliyini azaldır. Termik dəmləmədən sonra da GaS:Yb kristalının xüsusi müqaviməti və onların fotokeçiriciliyi spektrin infraqırmızı oblastında artır. Şəkil 3.4.2.-dən görünür ki, GaS:Yb kristalında fotokeçiriciliyin maksimum qiyməti ilkin GaS kristalında olduğu kimi udulma zolağında yerləşir ( $h\nu = 2.4$  eV,  $T=300$  K) və xarici elektrik sahəsinin təsiri ilə energetik vəziyyətini dəyişmir (əyri-2). Bu isə, yəni fotoyükdaşıyıcıların tələlər tərəfindən tutulması və rekombinasiya prosesləri yarımkeçiricinin qadağan olunmuş zonasında səth elektron halının olması ilə bağlıdır. Həmin səth hallarının təbiəti və yaranması kristal qəfəsdə mövcud olan kation və anion vakansiyaları ilə bağlıdır [151, s.445].

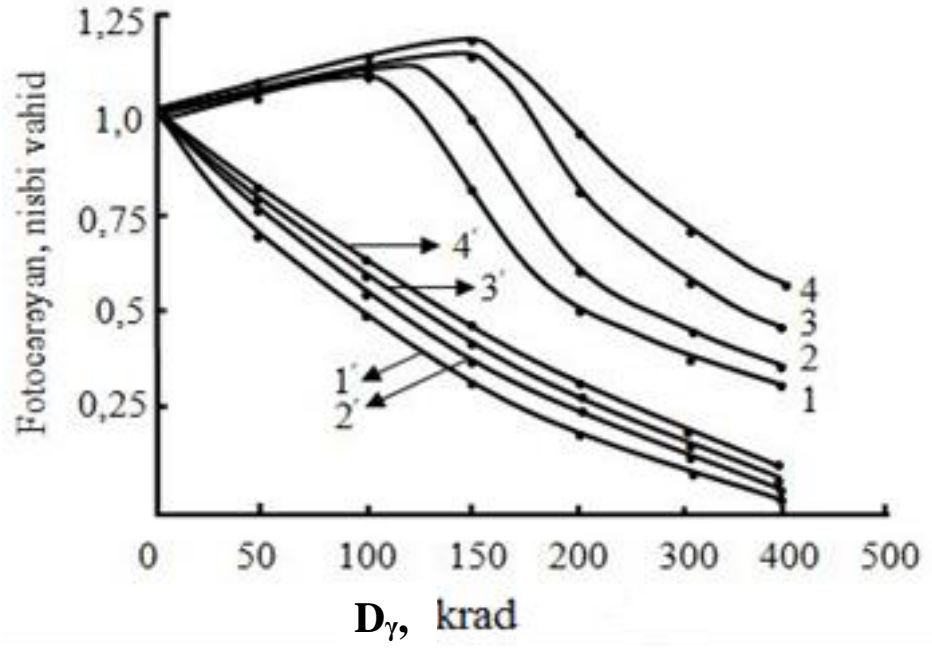
Aşağı temperaturda aparılan tədqiqatlar (3.4.1., 1-3, şəkil 3.4.2., 3-4 əyriləri) göstərir ki, GaS və GaS:Yb kristallarının termik dəmlənməsi zamanı yaranan stabil elektroaktiv səth defektlərinin yaratdığı elektrostatik sahənin təsiri ilə hərəkət edən qeyri-tarazlıqlı yükdaşıyıcılar səth defektləri tərəfindən tutularaq rekombinasiyaya



**3.4.1. Əvəlcədən termik dəmlənmiş ( $T=473\text{K}$ ;  $t= 60$  dəq) GaS kristallarında udulma zolağında fotokeçiriciliyin spektral paylanması: 1- GaS ; 2- GaS- $(U_n >0)$  ( 1və 2,  $T=300$  K); 3- GaS ; 4- GaS ( $U_n <0$ ) (3 və 4,  $T= 100$  K).**

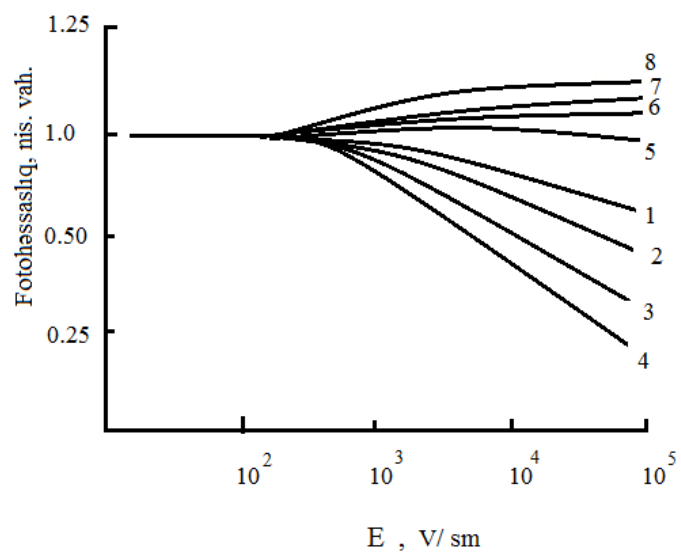


**Şəkil 3.4.2. Əvəlcədən termik dəmlənmiş ( $T=473\text{K}$ ;  $t= 60$  dəq) GaS:Yb kristallarında udulma zolağında fotokeçiriciliyin spektral paylanması: 1- GaS:Yb ; 2- GaS:Yb- ( $U_n >0$ ) (1və 2,  $T=300$  K); 3- GaS:Yb ; 4- GaS:Yb ( $U_n <0$ ) (3 və 4,  $T= 100$  K).**



**Şəkil 3.4.3. GaS monokristallarında udulma zolağında  $I_{f \text{ mak}}/ I_{fo}$  nisbi dəyişməsinin qamma-kvantlarla şüalanma dozasından asılılığı:**  
**1-GaS; 2-termik dəmlənmiş GaS; 3-GaS:Yb; 4- 50 krad + 100 C GaS-( $U_n > 0$ )**  
**1\*- GaS; 2\*-termik dəmlənmiş GaS; 3\*-GaS:Yb; 4\*-50 krad+100C GaS-( $U_n < 0$ ).**





**Şəkil 3.4.4. GaS monokristallarında udulma zolağında  $I_{f_{\max}}/I_{f_0}$  nisbi dəyişməsinin xarici elektrik sahəsindən asılılığı:**  
**1-GaS ; 2-termik dəmlənmiş GaS ; 3- GaS:Yb ; 4- 50 krad + 100 C GaS.**

uğrayırlar. Bu zaman mövcud rekombinasiya sürətinin elektrostatik və xarici sahənin qiymət və istiqamətindən asılı olduğu müşahidə olunur.

### **3.5. GaS və GaS:Yb laylı monokristallarında termolüminessensiya xassələrinə qamma-kvantların təsiri**

Dissertasiya işində tədqiq olunan GaS və GaS:Yb monokristallarının termolüminessensiya (TL) xassələri ətraflı öyrənilmişdir [86, s.225-227]. Göstərilmişdir ki, monokristalların qadağan olunmuş zonasında yerləşən tələlərin səviyyələrinin dərinliyini, tezlik faktorunu, tutma kəsiyini və tələlərin konsentrasiyasını termolüminessensiya spektrləri vasitəsilə tədqiq etmək əlverişli üsullardan biridir. Tələ səviyyələri (defekt-vakansiya, dislokasiya, düyünlər arası atom) yükdaşıyıcıları zəbt edərək rekombinasiyasının qarşısını alır və lüminessensiyanın davamlılıq müddətinə mühüm təsir edir. Tələlərin dərinliyini kinetika dərəcəsiindən asılı olmayan Randal metodu və Qarlik-Qibson üsulundan istifadə etməklə müəyyən etmək olar[.].

GaS və GaS:Yb monokristallarının 80÷450K temperatur intervalında qızdırılması zamanı termolüminessensiya (TL) əyriələrində intensiv maksimumlar müşahidə olunur (şəkil 3.5.1. və 3.5.2.). Qeyd edək ki, tələlər monokristalların qadağan olunmuş zonasında müxtəlif dərinlikdə yerləşir və bu səbəbdən TL spektrlərində maksimumlar müxtəlif temperaturlarda müşahidə olunur. Müxtəlif dərinlikdəki tələlərdən elektronlar kristalı qızdırdıqca boşalaraq lüminessensiya mərkəzlərinə qayıdırlar və şüalanmalı rekombinasiya edirlər. TL spektrlərindəki hər bir maksimum bir tələ səviyyəsinə uyğun gəlir.

Tutma mərkəzlərinin aktivləşmə enerjisinin parametrini təyin etmək üçün Randal və Qarlik-Qibson metodundan istifadə etmişik. Qeyd edək ki, bu metodların digər metodlardan üstünlüyü ondan ibarətdir ki, kinetika dərəcəsiindən asılı olmayaraq tələlərin aktivləşmə enerjisi bir düsturla təyin olunur.

Termolüminessensiya prosesinin kinetika dərəcəsi TL pikinin formasına görə təyin edilə bilər [99, s.578-580]. Belə ki, TL əyrilərində başlanğıc temperaturdan spektrin maksimuma uyğun gələn temperatura qədər olan zolağın sahəsi maksimumdan spektrin sonuna qədər olan zolağın sahəsindən böyükdürsə onda biz termolüminessensiya prosesinin kinetika dərəcəsini 1, əksinə olduqda isə 2 götürürük.

Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi aktivləşmə enerjisini tapmağın ən sadə və əlverişli yolu kinetika dərəcəsindən asılı olmayan metodlardır. Belə metodlardan biri Randal metodudur. Randalın təklif etdiyi metodda TL spektrinin maksimumuna uyğun gələn temperaturu bilməklə tələlərin aktivləşmə enerjisi təyin edilə bilər [ 125, s.1253-1256].

$$E_a = AkT_m \quad (3.5.1)$$

Burada  $E_a$ – tələlərin aktivləşmə enerjisi,  $A$  – 15÷30 arasında qiymətlər alan sabit [90, s.2493-2496],  $k$ –Bolsman sabiti ( $0.86 \cdot 10^{-4} \text{eV}$ ),  $T_{\max}$ –termolüminessensiya əyrisinin maksimum temperaturudur.

Elektronların tələləri tərk etmə sürətinə təsir edən digər faktor tələləri tərk etmə tezliyi və ya tezlik faktoru olan  $p$  kəmiyyətidir.

$$p = \beta \frac{E_a}{T_m^2} \exp\left(-\frac{E_a}{kT_m}\right) \quad (3.5.2)$$

$T_m$ -maksimum intensivliyə uyğun mütləq temperatur,  $\beta$ -qızma sürəti və  $E_a$ - aktivasiya enerjisidir.

TL məlumatlarından istifadə edərək aktivləşmə enerjisi və tezlik faktorundan başqa tutma kəsiyini( $S_t$ ) və tələlərin konsentrasiyasını( $N_t$ ) aşağıdakı düsturlardan təyin edə bilərik

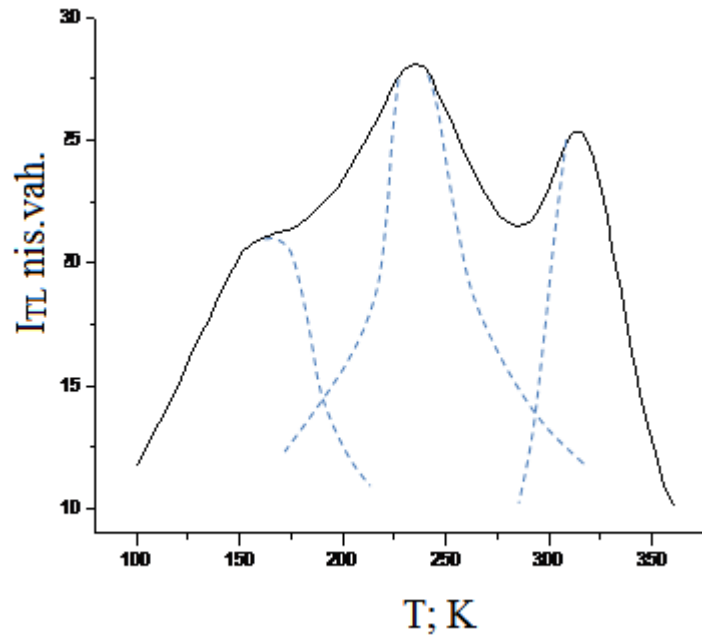
$$S_t = \left( \frac{\beta E_a}{kT_m^2 N_c \cdot v_t} \right) \quad (3.5.3)$$

$$N_t = \frac{kT_m^2 N_c}{E_a \tau_c \beta \exp\left(\frac{E_a}{kT_m}\right)} \quad (3.5.4)$$

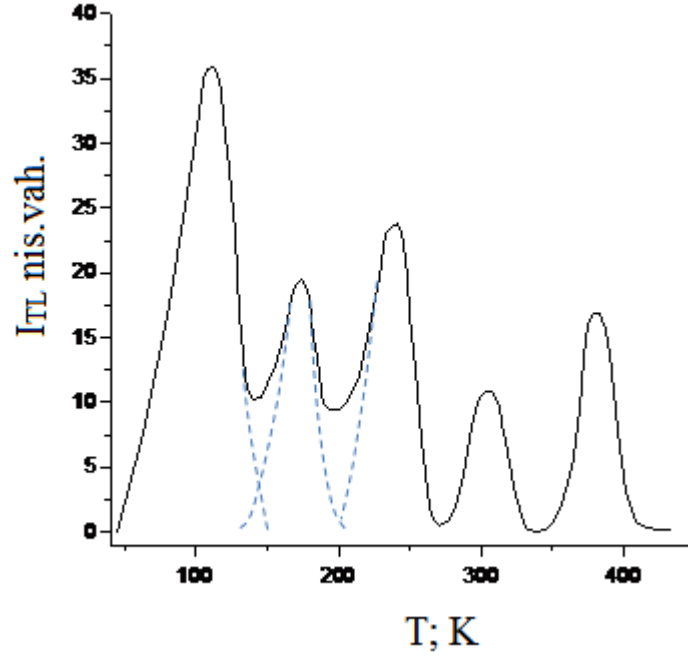
harada ki,  $\beta$ –qızdırılmanın sürəti (0.17K/s),  $N_c$  – keçirici zonanın sıxlığı,  $v_t$ – elektronların istilik sürəti,  $k$  – Bolsman sabiti ( $0.86 \cdot 10^{-4}$ eV),  $E_a$  – aktivləşmə enerjisi,  $T_{max}$  – termolüminessensiya əyrisinin maksimum temperaturudur

Şəkil 3.5.1.-da təmiz GaS kristalı üçün termolüminessensiya əyriləri verilmişdir. Şəkil 3.5.1.-dan görüldüyü kimi termolüminessensiya əyrisində şüalanmanın maksimumuna uyğun zolaqlar 159, 234 və 313K temperaturlarda yerləşir və geniş zolaqlı mürəkkəb spektrdən ibarətdir. Kristalın tədricən qızdırılması nəticəsində həyəcanlanmış elektron aldığı əlavə enerjini foton şəklində şüalandırır və bu şüalanmanın intensivliyinin yüksək olması tələnin (defektlər- vakansiya, düyünlər arası atom, dislikasiya) konsentrasiyasından asılıdır. GaS:Yb birləşməsinin qadağan olunmuş zonasında 5 tələ səviyyəsi müşahidə olunur: 117, 178, 244, 310 və 385K temperaturlarda (şəkil 3.5.2.). Tədqiq edilən nümunələrin TL ölçmələrinin nəticələri [64, s.16-26; 65, s.15-17; 77, s.469-471] işlərindəki nəzəriyyə və modelə əsasən analiz edilmişdir. TL spektrlərindəki geniş maksimumlar nadir torpaq hallogenidləri üçün xarakterikdir. TL spektrlərinin analizi göstərir ki, spektrlər (0.2-0.8 eV) enerji intervalında kvazi kəsilməz paylanma səviyyəsində elektron tələsinə (ET) uyğun gəlirlər. GaS:Yb birləşməsinin TL əyriələrində (şəkil 3.5.2.) təmiz GaS birləşmələri üçün xarakterik olan piklər müşahidə edilmir. Ona görə də, hesab etmək olar ki, GaS birləşməsinə Yb aşqarı daxil olduqdan sonra termolüminessent defektlər əmələ gəlir ki, bu defektlərin yaranması, təmiz kristallardakı yük tələləri ilə eyniləşir.

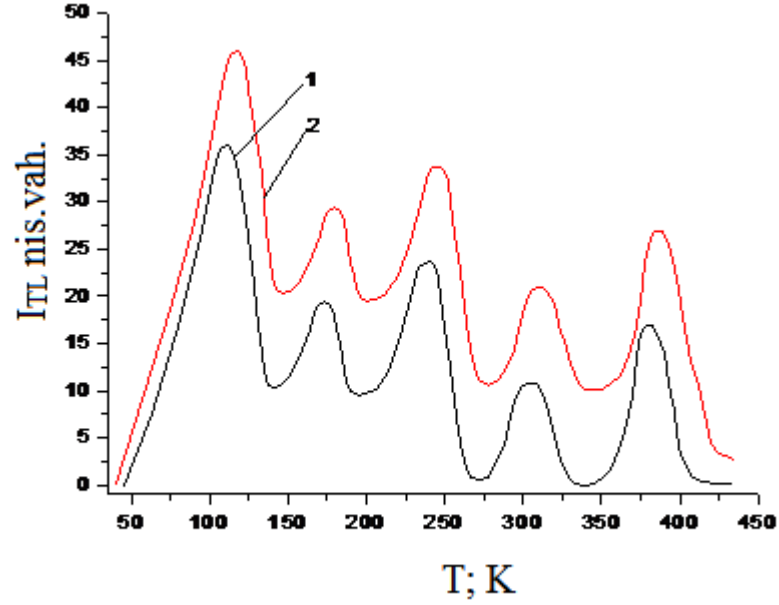
Şəkil 3.5.3.-də qızdırılma sürətinin qiymətləri 0,67 k/s (1) və 1,96 k/s (2) olduqda GaS:Yb kristallarının TL spektrləri göstərilmişdir. Qızdırılmanın kiçik sürətində (0,67 k/s) spektr maksimumları 110, 174, 238, 303 və 380K olan 5 zolaqdan ibarətdir. Qızdırılma sürətinin artması ilə zolaqların yarımını və intensivliyi artır və maksimumlar yüksək temperaturlara tərəf yerini dəyişir (1,96 k/s)–də maksimumlar 117, 178, 244, 310 və 385 K temperaturda yerləşir. Tələlərin aktivləşmə enerjisinin (3.5.1.) düsturuna görə hesablanmış qiymətləri:  $\beta=0,67$  k/s olduqda 0,24 ; 0,37 ; 0,51; 0,65 və 0,81 eV  $\beta=1,96$  k/s olduqda 0,25 ; 0,38 ; 0,52 ; 0,66 və 0,82 eV olur.



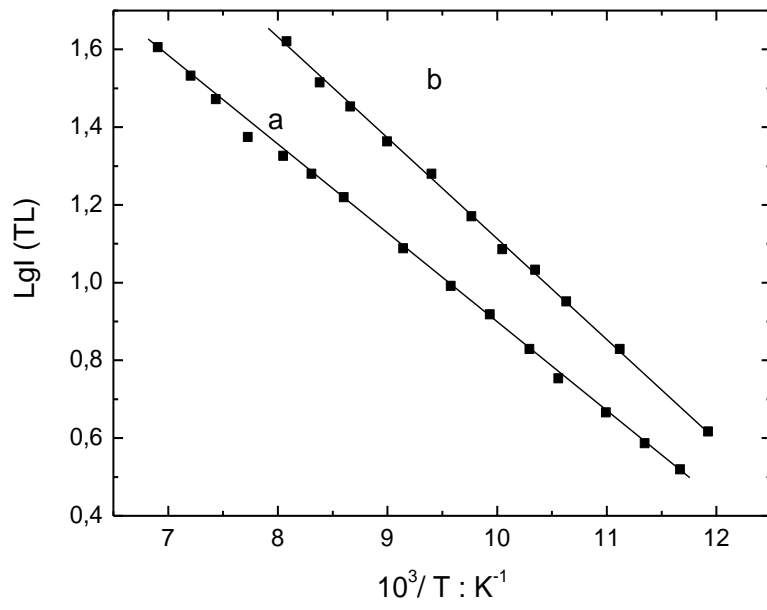
Şək.3.5.1. GaS monkristalının TL spektri [139, s.509]



Şekil 3.5.2. GaS:Yb kristalının TL spektri [139, s.509]



Şekil 3.5.3. GaS:Yb kristalında TL-ın intensivliyinin temperaturdan asılılığı 1- $\beta=0,67$  k/s, 2- $\beta=1,96$ k/s [139, s.510]



**Şəkil 3.5.4. GaS(a) və GaS:Yb(b) kristalında TL-ın intensivliyinin temperaturdan asılılığı [139, s.510]**

Kinetika dərəcəsiindən asılı olmayaraq tələlərin aktivləşmə enerjisini tapmağın bir yoluda Qarlik-Qibson metodudur [104, s.115-120]. Bu metoddə isə TL intensivliyinin başlanğıc artmasından aktivləşmə enerjisini tapmaq olar. Təklif edilir ki, aşağı temperaturalarda TL intensivliyi kinetika dərəcəsiindən asılı olmayaraq  $I = I_0 e^{-\frac{E_a}{kT}}$  qanunu ilə dəyişir. Göstərilmişdir ki, TL intensivliyi temperaturdan xətti asılıdır.  $\ln I \sim \frac{1}{T}$  asılılığından (şək. 3.5.4) eksperimentin xətaləri çərçivəsində (0.03 eV) GaS kristalı üçün 0,5 eV, GaS:Yb kristalı üçün isə 0,63eV qiyməti tapılmışdır.

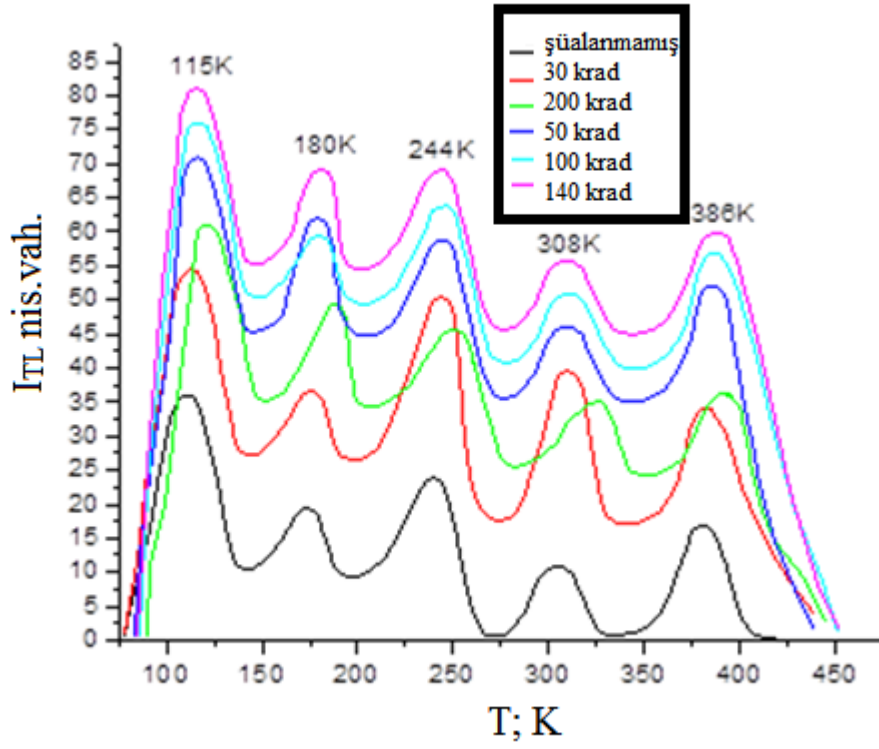
### Cədvəl.3.5.1.

**GaS və GaS:Yb kristallarının TL spektrlərindən təyin edilmiş tələlərin parametrləri [139, s.509].**

GaS	№	T (K)	E <sub>a</sub> (eV) (A=25)	S <sub>t</sub> (sm <sup>2</sup> )	N <sub>t</sub> (sm <sup>-3</sup> )	S (san <sup>-1</sup> )
GaS	1	159	0,34	2,8·10 <sup>-21</sup>	1,5×10 <sup>18</sup>	1,6·10 <sup>13</sup>
	2	234	0,51	3,7·10 <sup>-19</sup>	1,2×10 <sup>20</sup>	3,8·10 <sup>11</sup>
	3	313	0,67	4,2·10 <sup>-20</sup>	2,4×10 <sup>19</sup>	2,3·10 <sup>9</sup>
GaS Yb 1%	1	117	0,25	3,9·10 <sup>-19</sup>	5,1×10 <sup>20</sup>	2,1·10 <sup>13</sup>
	2	178	0,38	4,6·10 <sup>-22</sup>	6,2×10 <sup>19</sup>	4,2·10 <sup>11</sup>
	3	244	0,52	2,7·10 <sup>-22</sup>	7,3×10 <sup>18</sup>	1,2·10 <sup>11</sup>
	4	310	0,66	2,5·10 <sup>-22</sup>	1,4×10 <sup>19</sup>	3,6·10 <sup>9</sup>
	5	385	0,82	5,3·10 <sup>-21</sup>	2,8×10 <sup>18</sup>	4,3·10 <sup>8</sup>

Şəkil 3.5.5.-də qamma-kvantlarla şüalandırılmış GaS kristallarında termoluminessensiya spektrləri göstərilmişdir. Şəkildən görünür ki, şüalanmadan əvvəl GaS kristallarında TL-spektrində müşahidə olunan maksimumlar kristalın qadağan olunmuş zonasında müxtəlif konsentrasiyalı 5 tutma mərkəzləri mövcuddur. Şəkil 3.5.1.-də bu haqda məlumatlar verilmişdir. İlk spektrlərin müxtəlif dozalarda





Şəkil 3.5.5. Qamma-kvantlarla şüalandırılmış GaS kristallarında TL-spektləri

gamma-kvantlarla şüalandırılmış GaS kristallarının spektrləri ilə müqayisəsi əsasında demək olar ki, 30, 50, 100 və 140 krad dozalarla şüalanma zamanı müşahidə olunan zolaqlara uyğun maksimal temperaturun qiyməti dəyişmir, yalnız zolağın yarıməni və intensivliyi artır. Bu fakt onu göstərir ki, şüalanma zamanı yaranan radiasiya defektlərini ilkin struktur defektləri qismən kompensasiya edir və nəticədə akseptor-donor qarşılıqlı təsiri artır. Bu isə, TL-spektrində zolağın intensivliyinin artmasına və spektrin yarıməninin artmasına səbəb olur. Deməli şüalanma dozası artdıqca tələlərdən ionlaşma nəticəsində qopan elektronların sayının artması və onların donor səviyyələrində rekombinasiyaya uğraması nəticəsində lüminessensiyanın intensivliyi artır. Şüalanma dozasının 200 krad və daha yüksək qiymətlərində isə, lüminessensiyanın intensivliyi azalır və TL-nın sönməsi müşahidə olunur. Termik sönmənin müşahidə edilməsi isə tələlərin elektron emissiya etmə qabiliyyətinin azalması səbəbindən irəli gəlir. Belə ki, şüalanma dozasının artması hesabına yaranan nöqtəvi Frenkel defektlərinin miqdarı artır və akseptor tipli səviyyələrin konsentrasiyası artır. Nəticədə akseptor–donor tipli səviyyələrin qarşılıqlı təsirinin azalması hesabına rekombinasiya sürəti azalır və nəticədə TL-nın termik sönməsi baş verir. Beləliklə, şüalanma dozasının 200 kraddan yüksək qiymətlərində səthdə və həcmdə defektlərin yenidən paylanması baş verir ki, bu da laylararası və laydaxili  $A_{1g}^1$  rəqslərini xarakterizə edən İQ-udulma zolaqlarının və TL-piklərinin ( $\nu = 23,2$  və  $188,4 \text{ sm}^{-1}$ ) yarıməni və intensivliklərinin dəyişməsi ilə müşayiət olunur.

Alınan nəticə onu göstərir ki, TL-udulma oblastında radiasiya nəticəsində kristalın qadağan olunmuş zonasında defektlərin və fotohəssaslıq mərkəzlərinin konsentrasiyasının rekonstruksiyası baş verir.

## IV FƏSİL

### **QAMMA KVANTLARLA ŞÜALANMIŞ VƏ TERMİK DƏMLƏNMİŞ LAYLI GaS və GaS:Yb MONOKRİSTALLARININ SƏTHİNİN SPEKTROSKOPİK VƏ MİKROSKOPİK METODLARLA TƏDQIQI**

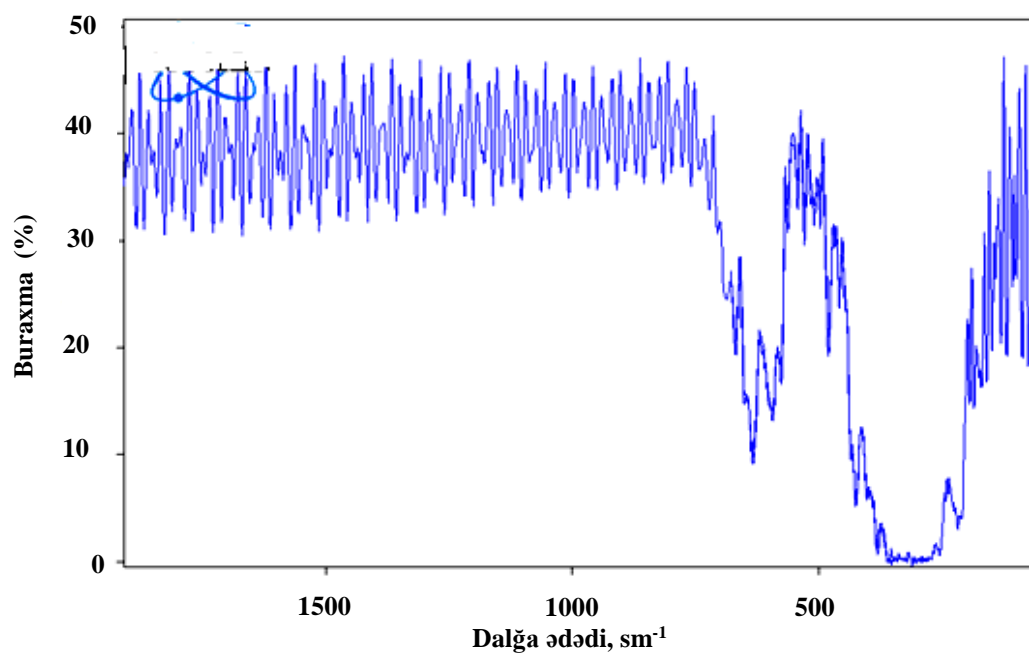
Qallium sulfid (GaS) əsaslı çoxsaylı laylı monokristallar fotoelektrik detektorların yaradılmasında geniş istifadə edilir. Bu kristallar müxtəlif şüalanma detektorları, eləcə də, fotoqalvanik qurğular üçün də perspektivli materiallar hesab olunur. Onların əsas, maraqlı və vacib tətbiq sahələrindən biri də GaS əsasında işləyən rentgen, qamma-şüalanma qurğularının olmasıdır [15, s.120-125]. Bu nöqteyi-nəzərdən, son zamanlar onlardan geniş diapozonda yüksək radiasiyaya davamlı və yüksək radiasiya şəraitində işləyə bilən detektorların yaradılması istiqamətində geniş tədqiqat işlərinin aparılması xüsusi maraq kəsb edir [6, s.27-30]. Məlumdur ki, laylı kristalların səthinin qamma radiasiya və temperaturla modifikasiyası onların səth xassələrinin dəyişməsinə və bir sıra səth effektlərinin yaranmasına səbəb olur ki, bu da öz növbəsində həcmi proseslərin gedişatına təsir edir [133, s.278-280]. Qamma kvantların və temperaturun təsiri ilə laylı kristalların səthində baş verən dəyişikliklərin bir sıra fiziki, o cümlədən spektroskopik metodlarla tədqiqi yeni informasiyaların alınmasına və səth effektlərinin qeydə alınmasına səbəb olur. Bu spektroskopik metodlar arasında Furiye-infraqırmızı (İQ) və Furiye-Raman spektroskopiyası metodları öz xüsusiyyətləri ilə seçilir [42, s.29-30]. Baxılan fəsildə qamma kvantlarla şüalanmanın və termik dəmləmənin təsiri nəticəsində GaS və GaS:Yb laylı kristallarının səthində baş verən dəyişikliklər və quruluş modifikasiyaları bu spektroskopik metodların vasitəsilə öyrənilmişdir. Qamma-şüalanmadan və termik dəmləmədən əvvəl və sonra səth relyefləri AQM-metodu ilə izlənilmişdir. Tədqiqat zamanı alınan nəticələr dissertasiya işinin bu fəslində verilmişdir.

#### **4.1. Qamma kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS:Yb monokristallarının səthinin Furiye-İQ spektroskopiyaya metodu ilə tədqiqi**

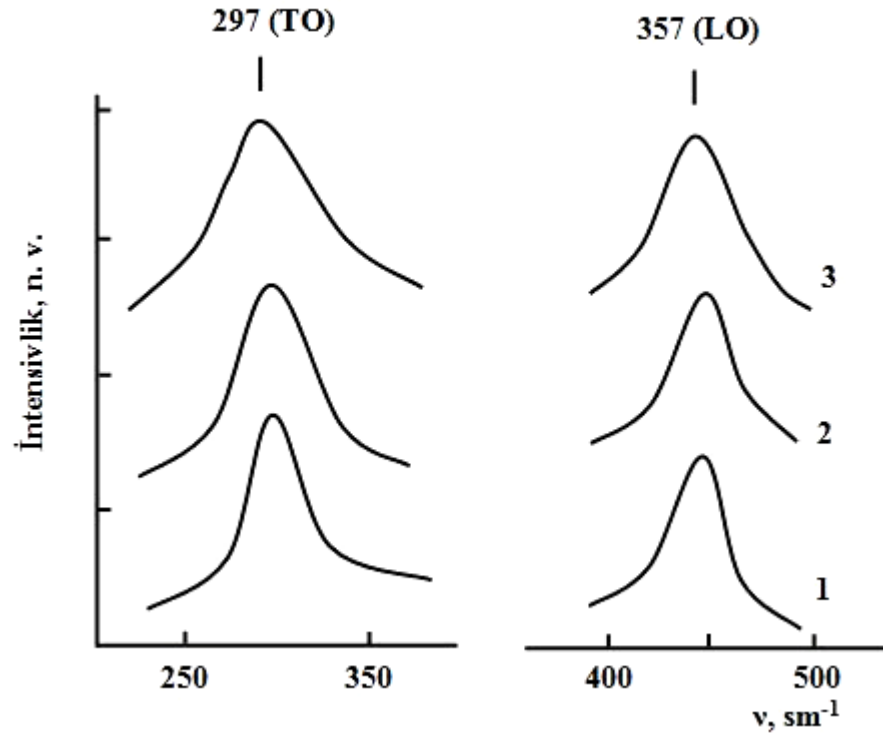
Kristallarda udulma spektrlərinin öyrənilməsi quruluş problemlərinin və kristal qəfəsin dinamik nəzəriyyəsinin problemlərinin həllinə yönəlir. Hər iki tədqiqatın ilkin mərhələsində İQ spektrlərdən istifadə etməklə kristal qəfəsin rəqslərinin dalğa vektoru  $k=0$  olduqda spektr haqqında tam məlumatların alınmasıdır. Bu məlumatlar əldə edildikdə, qüvvə sahəsinin təyini məsələsini qoymaq olar ki, onun həlli kondensə olunmuş fazada kimyəvi rabitələrin təbiəti haqqında bizim biliklərimizi genişləndirməyə imkan verir. Əgər rəqsi dispersiya əyriləri məlumdursa, onda rəqsi halların sıxlığının qiymətlərinin alınmasına bircə addım qalır ki, onlardan kristalın termodinamik funksiyalarının tam dəstini almaq olur. Kristallarda rəqslərin anharmonizminin tədqiqi istilikkeçirmə və termik genişlənmə kimi problemlərlə əlaqələndirilir.

İlkin GaS monokristalının Furiye-İQ buraxma spektri şəkil 4.1.1.-də verilmişdir. GaS monokristalının otaq temperaturunda fonon oblastında Furiye-İQ udulma spektrinin analizi göstərir ki, spektrdə maksimumları  $297$  və  $357 \text{ sm}^{-1}$  olan udulma zolaqları müşahidə edilir və ədəbiyyat qiymətləri ilə uzlaşır [47, s.353-354]. Bu udulma zolaqları uyğun olaraq eninə (TO) və uzununa (LO) optik fononlara aiddir. Qamma kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS monokristalının spektrləri alınmış və onların ilkin spektrlərlə müqayisəsi aparılmışdır. Bu məqsədlə optik fonon oblastında TO və LO fononların udulma zolaqlarının çevrilməsi və onların spektral xüsusiyyətlərinin dəyişməsi izlənilmişdir (Şəkil 4.1.2.).

Müəyyən edilmişdir ki, udulma dozasının dəyişməsindən və termik dəmləmədən asılı olaraq optik fononların zolaqlarının maksimumları və intensivlikləri dəyişmir, lakin zolaqların yarımənələrinin ( $\nu_{1/2}$ ) qiymətləri fərqlənir. Belə ki, udulma dozasının qiymətinin 2 dəfə artması (100 krad-dan 200 krad-dək) ( $\nu_{1/2}$ )-n qiymətinin bir neçə dəfə ( $\sim 2,5$  dəfə) artmasına səbəb olur. Analoji dəyişikliklər itterbium atomu ilə aşqarlanmış qallium monosulfid (GaS:Yb) üçün də alınmışdır (şəkil 4.1.3.). Şəkil 4.1.3-dən görüldüyü kimi, hər iki laylı monokristal üçün dozadan asılı olaraq yarımənin dəyişməsi xətti xarakter daşıyır, lakin GaS üçün bu asılılıq  $\sim 2,5$  dəfə böyük qiymətə malikdir.



**Şəkil 4.1.1. Təmiz GaS monokristalının Furiye İQ-buraxma spektri [6, s.28]**

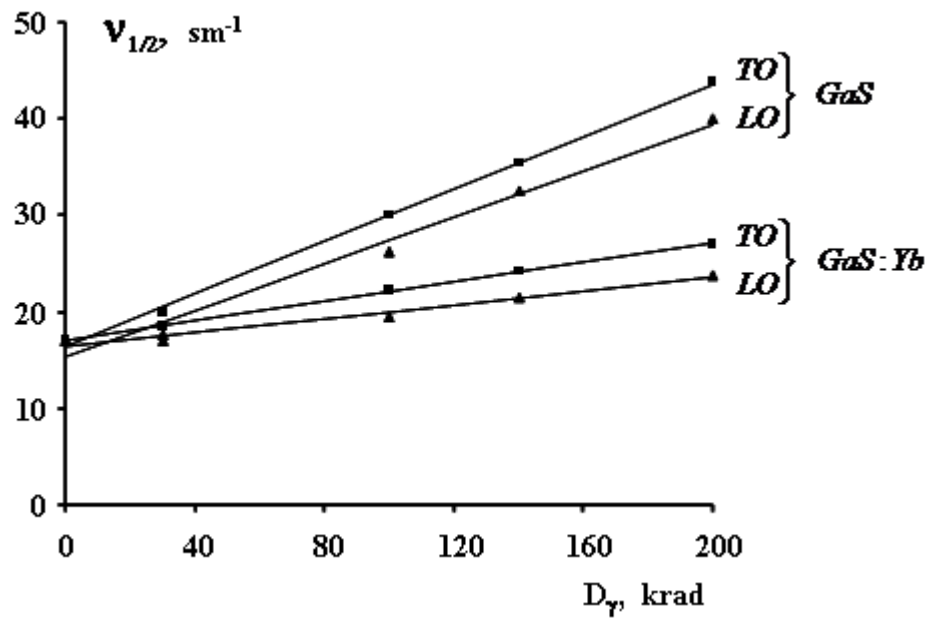


**Şəkil 4.1.2. Şüalanmamış (1) və şüalanmış GaS kristalının eninə (TO) və uzununa (LO) optik fononlarının udulma zolaqlarının Furiye –İQ-spektrləri: 1 - 0; 2-100 krad və 3-200 krad [6, s.28].**

Cədvəl 4.1.1.-də dəmləmə temperaturundan asılı olaraq fiksə olunmuş  $D_\gamma = 200$  krad dozada şüalanmış nümunələrin eninə optik fononun udulma zolağının yarıməninin ( $v_{1/2}(TO) \text{ sm}^{-1}$ ) dəyişməsi göstərilmişdir. Dəmləmə temperaturları uyğun olaraq 100, 150, 200 və  $250^\circ\text{C}$  seçilmişdir. Cədvəlin müqayisəli analizi onu söyləməyə əsas verir ki, verilmiş dozada  $150\text{-}200^\circ\text{C}$  temperaturu ən effektivdir. Bu temperatur oblastında bircinslilik bərpa olunur ki, bu da yarımənin qiymətinin ( $v_{1/2}$ )-n  $50\text{-}55 \text{ sm}^{-1}$  tərtibində dəyişməsi ilə şərtlənir. Beləliklə, ilkin, qamma-kvantlarla şüalanmış və dəmlənmiş GaS və GaS:Yb monokristallarının Furiye-İQ spektroskopik tədqiqatları göstərir ki, qamma şüalanma və temperaturun təsiri altında nümunələrin səth nizamlılığının dərəcəsinin dəyişməsi və səthyanı hallarının modifikasiyası baş verir. Qeyd etmək lazımdır ki, laylı kristallarda böyük miqdarda defektlərin çoxluğu, eləcə də laylarda radiasiyanın təsiri ilə mürəkkəb radiasiya defektlərinin yaranması laylararası və laydaxili oblastlarla qarşılıqlı təsirin pozulmasına gətirib çıxarır [ 114, s.341-343].

Bu da kristalların yetişdirilməsi zamanı daxil edilmiş aşqar atomlarının bir hissəsinin, eləcə də şüalanma zamanı yaranmış nöqtəvi defektlərin laylararası fəzada yerləşməsi ilə bağlıdır. Dəmləmə zamanı şüalanmış nümunələrdə udulma zolaqlarının yarıməninin azalması baş verir ki, bu da radiasiya defektlərinin qismən dəmlənməsi və aşqar atomların laylararası oblastdan laya qismən keçidi ilə əlaqədardır.

Ədəbiyyatda lazer şüalanmasının təsirinə məruz qalmış müxtəlif modifikasiyalı laylı GaSe kristallarının kristallik quruluşunun xüsusiyyətləri analiz edilmişdir. Digər politip tərkibli və lazer şüalanmadan sonra qalıq gərginlikli oblastların yaranması müşahidə edilmişdir [87, s.126-129]. Müəyyən edilmişdir ki,  $A^3B^6$  tipli birləşmənin rəqsi spektrinin yenidən qurulması xarakterinin öyrənilməsi quruluş faza keçidləri haqqında lazımlı informasiya almaq imkanı verir. Bundan başqa, aşqar atomları binar yarımkəçiricinin tərkibinə daxil olan bütün elementlərlə rabitə yarada bilir. Beləliklə, bu da kristalın quruluşunun modifikasiyasına gətirib çıxarır. Layların daxilində rabitə əlaqələrinin dəyişməsi hesabına laylı kristallarda defektlərin yaranması zamanı kristalın anion, eləcə də kation alt sistemlərində yenidən qurulma baş verdiyi faktını



Şəkil 4.1.3. GaS (1), GaS:Yb (2) kristallarının TO və LO optik fononların udulma zolaqlarının yarıməninin ( $v_{1/2}$ ) doza asılılıqları [6, s.29] .



spektroskopiyasından istifadə etmək məqsədəuyğundur. Yarımkəçiricinin xassələri və atomlararası kimyəvi rəbitənin xarakteri arasında korrelyasiya olduğunu nəzərə alsaq, laylı yarımkəçiricilərdə, xüsusən GaS-də radiasiya effektlərinin tədqiqi praktiki nöqteyi nəzərdən ionlaşdırıcı şüalanmanın təsiri zamanı materialların davamlılığının proqnozlaşdırılması üçün perspektivlidir.

#### Cədvəl 4.1.1.

**GaS və GaS:Yb nümunələrinin TO fononunun udulma zolağının yarıməninin ( $\nu_{1/2}(\text{TO}) \text{ sm}^{-1}$ ) dəmləmə temperaturundan asılıqları [6, s.29].**

№	Nümunə	$\nu_{1/2}(\text{TO}) \text{ sm}^{-1}$
1	GaS	-
2	GaS T=100°C	52
3	GaS T=150°C	50
4	GaS T=200°C	53,5
5	GaS T=250°C	50
6	GaS:Yb	64,5
7	GaS:Yb T=100°C	62
8	GaS:Yb T=150°C	53
9	GaS:Yb T=200°C	58
10	GaS:Yb T=250°C	56

#### **4.2. Qamma kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səthinin Furiye- Raman spektroskopiyaya metodu ilə tədqiqi**

Məlumdur ki, [130, s.45] laylı yarımkəçiricilər qəfəsin məxsusi defektlərindən başqa, aşqarların çoxluğu ilə də xarakterizə olunurlar. Belə ki, yarımkəçirici materialların şüalanması zamanı radiasiya defektlərinin yaranması onların aşqarlarla qarşılıqlı təsirdə olduğu laylararası qatda da baş verir. Bunları nəzərə alaraq belə nəticəyə gəlmək olar ki, laylarda və laylararasıda radiasiya defektlərinin toplanması

quruluşun periodikliyinə, laylararası və laydaxili qarşılıqlı təsirin pozulmasına gətirib çıxarır [4, s.23-25. 15, s.32-38. 16, s.122-135]. Ədəbiyyat materiallarının təhlili göstərir ki, radiasiya şüalanması və aşqarlarla modifikasiya olunmuş laylı kristalların quruluşu və rəqsi spektrləri az öyrənilmişdir ki, bu da davamlı tədqiqatın aparılmasını tələb edir. Ona görə də laylı yarımkəçiricilərdə, xüsusən GaS və GaS:Yb kristallarında radiasiya effektlərinin, ionlaşdırıcı şüaların və termik dəmləmənin struktur səthə halların proqnozlaşdırılması üçün elmi və praktik nöqtəyi-nəzərdən perspektivlidir [132, s.9-10. 133, s.396-397. 136, s.52-54].

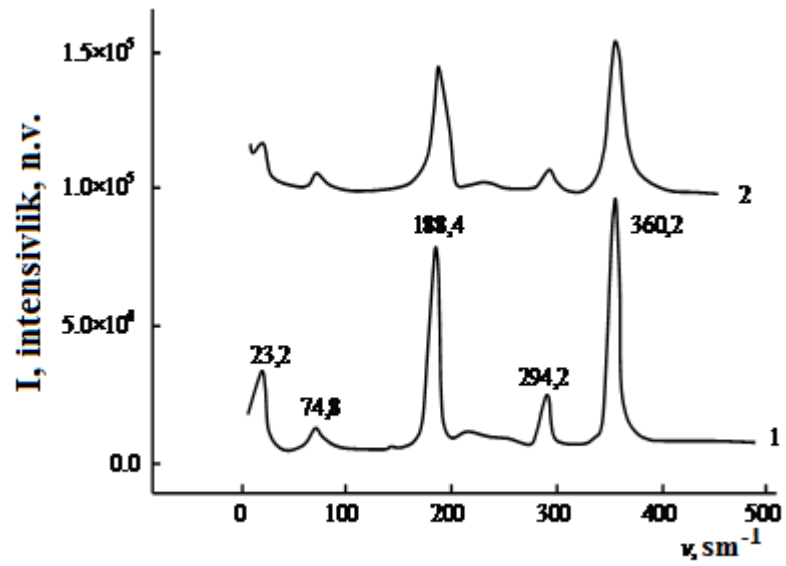
Bu paraqrafda qamma kvantlarla şüalanmanın və termik dəmləmənin təsiri altında GaS və GaS:Yb kristallarında quruluş modifikasiyası və səth hallarının dəyişməsinin Furiye-Raman spektroskopiyaya metodu ilə aparılan təcrübə tədqiqatlarının nəticələri verilmişdir.

Şəkil 4.2.1-də otaq temperaturunda ilkin (1) və şüalanmış (2) p-GaS monokristalının Raman spektrləri göstərilmişdir. Göründüyü kimi, GaS monokristallarının ilkin spektrində 23,2; 75; 188,4; 294,2 və 360,2  $\text{sm}^{-1}$  tezliklərdə beş xətt müşahidə edilir. (cədvəl 4. 2.1.) [25, s.20-23. 58, s.112-116].

Alınan spektrlərin analizi göstərir ki,  $E_{2g}^2$  və  $A_{2g}^1$  modlarına uyğun olan aşağı tezlikli xətlər (23,2 və 75  $\text{sm}^{-1}$ ) laylararası rəqslərlə əlaqədardır və onlar birmodlu xarakter daşıyır. Belə ki, 188,4, 294,2 və 360,2  $\text{sm}^{-1}$  xətlərinə uyğun olan  $E_{2g}^1$ ,  $E_{1g}^2$  və  $A_{1g}^2$  tip rəqslərin modları laylı kristallarda kükürd atomları, eləcə də qallium atomları tərəfindən yaranan vakansiyaların paylanması ilə bağlı ola bilər.

GaS monokristallarının Raman spektrlərində 50 krad-a qədər şüalanma dozasında müşahidə olunan Raman xətlərinin intensivliyi və eni praktiki olaraq dəyişmir. Şüalanma dozasının 50 krad-dan yuxarı artması ilə 188,4, 294,2 və 360,2  $\text{sm}^{-1}$ , eləcə də 23,2 və 74,8  $\text{sm}^{-1}$  xətlərin yarımənini artır, bu isə şüalanma nəticəsində laylararası fəzədə gərginliyin artması ilə əlaqədardır.

Şüalanma nəticəsində spektrlərin yarıməninin dəyişmə xarakteri göstərir ki, yüksək dozalar oblastında (50 krad-dan yuxarı) qamma-kvantlar tərəfindən yaranmış radiasiya defektləri ilə qəfəs defektləri arasında qarşılıqlı təsir nəticəsində fononların simmetriya oxu boyunca daha intensiv paylanmasına səbəb olan dəyişiklik baş verir.

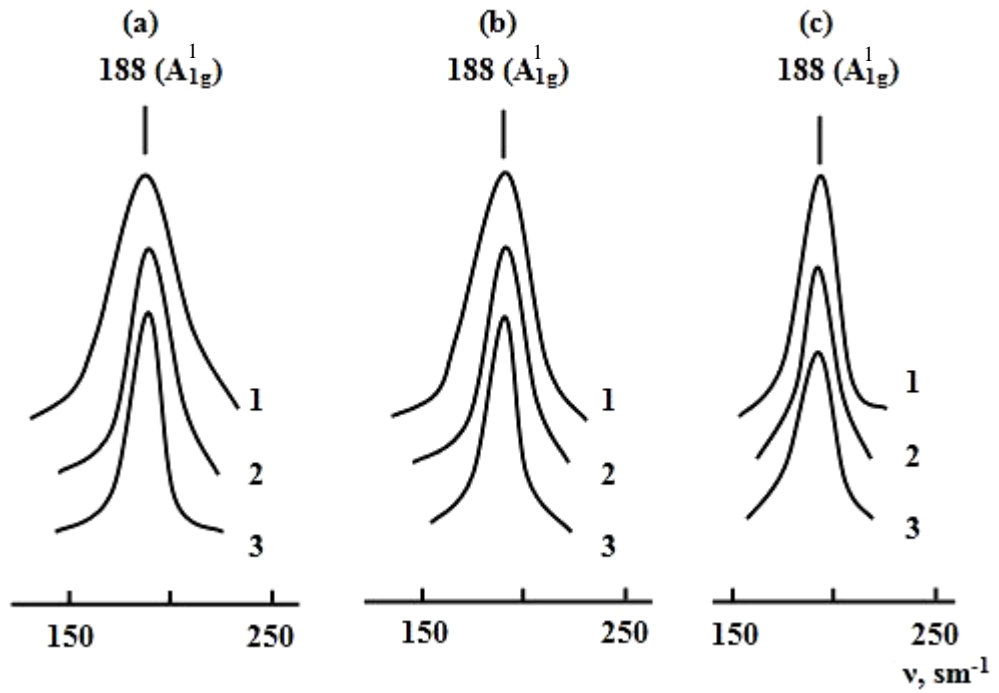


Şəkil 4.2.1. GaS kristalının qamma kvantlarla şüalanmadan əvvəl (1) və sonra (2) Furiye-Raman-spektrləri ( $D_\gamma=140$  krad) [135, s.117].

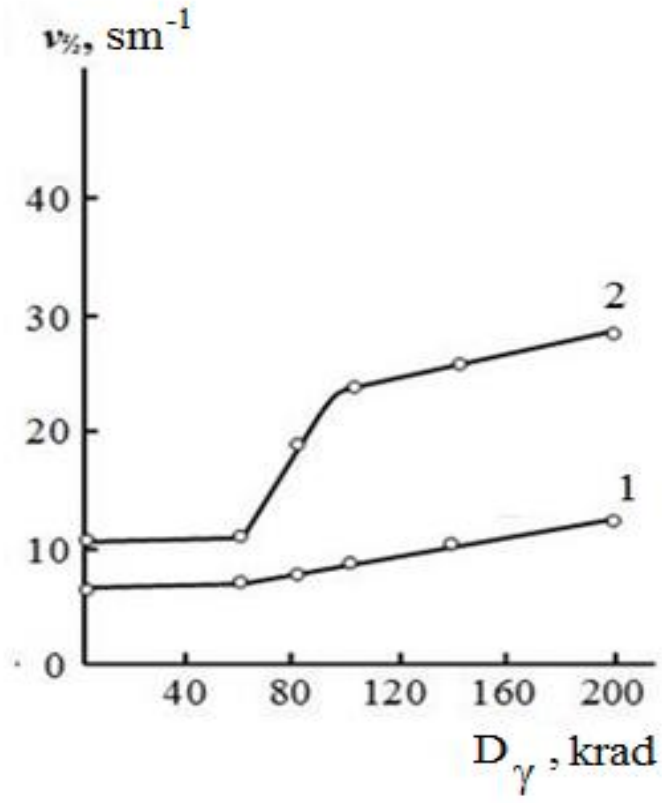
**Rəqslərin tipinə uyğun olaraq tezliyin alınmış təcrübi qiymətləri və ədəbiyyat materialları arasında müqayisəli analiz [135, s.117].**

Rəqslərin tipi	Ədəbiyyat verilənləri, $\nu$ , $\text{sm}^{-1}$	İşin təcrübi verilənləri $\nu$ , $\text{sm}^{-1}$
$E_{2g}^2$	23	23,2
$E_{1g}^1$	75	74,8
$A_{1g}^1$	189	188,4
$E_{2g}^1$	295	294,2
$A_{1g}^2$	360	360,2

Şəkil 4.2.2.–də ilkin (a), Yb ilə aşqarlanmış (b) və termik dəmlənmiş (c) GaS kristalının  $\nu=188,4 \text{ sm}^{-1}$  tezlikdə laylararası  $A_{1g}^1$  rəqsinin xətlərinin Furiye-Raman spektrlərinin dozadan asılı olaraq dəyişməsi göstərilmişdir. Burada birinci, ikinci spektrlər uyğun olaraq 200 və 50 krad dozalara, üçüncü spektr isə şüalanmamış təmiz GaS kristalını xarakterizə edir. Şəkil 4.2.2-dən görüldüyü kimi, 50 krad dozada xətlərin yarımənini az dəyişir. Dozanın nisbətən yüksək qiymətlərində (200 krad)  $A_{1g}^1$  xətlərinin yarımənini  $\sim 2$  dəfə (10-dan  $20 \text{ sm}^{-1}$ -ə qədər) artır. Yb atomları ilə aşqarlanmış GaS kristallarında Raman xətlərində analogi dəyişikliklər müşahidə edilmişdir.  $T=150 \text{ }^\circ\text{C}$  ( $t=1$  saat termik işləməyə məruz qalmışdır) temperaturda termiki dəmləmədən sonra (əyri c) strukturda nizamlanma baş verir ki, bu da Raman xətlərinin yarımənlərinin  $\sim 1,5$  dəfə azalmasına səbəb olur. Raman spektrlərinin analizi göstərir ki, xətlərin yarıməninin ( $\nu_{1/2}$ ) qeyri-bərabər artımı radiasiya işlərində göstərilmişdir ki, laylı kristallarda böyük miqdarda defektlərin ( $\sim 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ ), eləcə də laylarda radiasiyanın təsiri altında mürəkkəb radiasiya defektlərinin yaranması quruluşun periodikliyinə pozulmasına, eləcə də layarası və laydaxili qüvvələrin qarşılıqlı təsirinin dəyişməsinə gətirib çıxarır. Alınmış nəticələrdən görünür ki, GaS kristalının müşahidə olunan spektrində (Şəkil 4.2.3.) intensivlik, eləcə də zolaqların



**Şəkil 4.2.2.** İlk (a), Yb ilə aşqarlanmış (b) və termik dəmlənmiş (c) GaS kristalının  $\nu=188 \text{ cm}^{-1}$  tezlikdə laylararası  $A_{1g}^1$  rəqlərinin Furiye-Raman xətlərinin dozadan asılı olaraq dəyişməsi: 1- $D_\gamma=200$  krad, 2-  $D_\gamma=50$  kad və  $D_\gamma=0$  krad.



**Şəkil 4.2.3. GaS kristalının Raman laydaxili  $E_{2g}^2$  (1) və laylararası  $A_{1g}^1$  (2) rəqslərinin yarıməninə dozadan asıllığı [135, s.117]**

yarımeni qamma-kvantlarla şüalanmanın aşağı dozalarında az dəyişir, bu da radiasiya defektlərinin yaranması ilə strukturun periodikliyinə qismən bərpa olduğunu göstərir. Qamma kvantlarla 50 krad dozaya qədər şüalandırıldıqda zolaqların intensivliyi və yarımeni dəyişir, böyük dozalarda isə intensivlik və yarımeni artır, sonuncu hal laylararası fəzada qarşılıqlı təsirin güclənməsi və qeyri-bircinsliyin artması ilə əlaqədardır. Analoji nəticə [97, s.90-93 ] işində də müşahidə olunmuşdur. Burada təzyiq altında laylı GaSe kristalında rezonans Raman spektrləri tədqiq olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, təzyiq altında zolaqların intensivliklərinin dəyişmə xarakteri kristalın həcmində qalıq gərginlikli lokal sahələrin yaranması ilə əlaqədardır. Bu verilənləri nəzərə alıb fərz etmək olar ki, şüalanma dozasının artması ilə radiasiya və aşqar defektlərin artması laylararası fəzada gərginliyin artmasına gətirib çıxarır, nəticədə kristal deformasiyaya uğrayır.

Strukturun periodikliyinə pozulma dərəcəsi kristalın laylararası oblastında radiasiya defektlərinin konsentrasiyasından və kristalın qalıq gərginlikli oblastında mövcud olan gərginlikdən asılıdır.

GaS tipli kristalların zona quruluşu haqqında verilənlərin analizi [6, s.66-68. 7,s.106-107] təzyiq altında laylı kristallarda elektron zonalarının elementar qəfəsin deformasiyası nəzərə alınmayan hərəkət modelinə baxmağa imkan verir.

Layın daxilində və laylar arasında atomlararası məsafənin müxtəlifliyi kristallarda rabitə qüvvəsinin anizotropiyasını əks etdirir. Buna sübut kimi, laylı kristalların kövrəklik xassələrini xarakterizə edən kövrəklik sabitlərini göstərmək olar [70, s.114-115]. Qrafitin kövrəklik sabitlərinin temperatur asılılıqlarının alınmış nəticələri [84, s.472-475. 91, s.25-27] nəzərə almaqla, daxili laylarla müqayisədə laylararası kövrəklik sabitlərini daha tez dəyişməsi fikrinə gəlmək olar. Bu şərait nəzərə alınaraq təyin olunmuşdur ki, defektlərin yenidən qurulması zamanı kristalın həm fonon, həm də elektron altsistemləri dəyişir.

Beləliklə, belə nəticəyə gəlmək olar ki, qamma-kvantlar tərəfindən yaranan radiasiya defektlərinin bir hissəsi laylararası fəzada qismən paylanır, bu da Furrye-Raman spektrlərində 23,2 və 188,4  $\text{sm}^{-1}$  zolaqlarında yarımənin artmasına səbəb olur (Şəkil 4.2.3.)

### 4.3. Qamma-kvantlarla şüalanma və termik dəmləmənin GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səthinə təsirinin İQ-əksolunma spektrləri vasitəsilə öyrənilməsi. Optik xassələr

Qallium sulfid laylı monokristalı (GaS) müxtəlif tip şüalanma detektorları üçün perspektivli materiallar hesab olunur. Onların əsasında qamma-kvantların otaq temperaturunda işləyən radiasiya detektorları hazırlanır. [72, s.111. 81, s.117-121] işlərindən görüldüyü kimi, bu laylı kristallarda qəfəs defektlərinin miqdarının çoxluğu, eləcə də laylarda və laylar arasında qamma-kvantlarla şüalanmanın təsiri altında mürəkkəb radiasiya defektlərinin əmələ gəlməsi quruluşun periodikliyinə pozulmasına və laylar arası və laydaxili oblastlarda qarşılıqlı təsirə səbəb olur, bu da onların quruluşunun radiasiya modifikasiyası ilə müşayiət olunur. Bu kristallarda qamma şüalanma ilə əlaqədar radiasiya effektləri və quruluşun radiasiya modifikasiyası ilk dəfə olaraq [135, s.118-120. 145, s.35-37] işlərində rəqsi (Furye-İQ və Furye Raman) spektroskopiyası metodları ilə tədqiq edilmiş və analiz olunmuşdur. Bu tədqiqatlar vacibdir və praktik nöqtəyi-nəzərdən ionlaşdırıcı şüalanmanın təsirinə davamlı materialların hazırlanması üçün xüsusi maraq kəsb edir.

Təqdim olunan işdə qamma-kvantlarla şüalanmış GaS kristallarının Furye-İQ-əksolma spektrlərinin xüsusiyyətləri öyrənilmiş və bu kristallarda qamma-kvantların onların optik xassələrinə təsirinə baxılmışdır.

Nümunələrin Furye-İQ udulma və əksolma spektrləri otaq temperaturunda  $\nu = 400-100 \text{ sm}^{-1}$  tezlik oblastında FTİR Varian 3600 spektrometrində çəkilmişdir. Əksolma spektrləri  $\varphi = 15^\circ$  düşmə bucağında alınmışdır.  $R(\nu)$  əksolma spektrlərinə görə ilkin və qamma-kvantlarla şüalanmamış GaS nümunələrinin optik sabitləri təyin olunmuşdur. Nəticələr dielektrik funksiyanı verən sadə Kramers-Kroninq inteqrallarından istifadə olunaraq alınmışdır.

$$\varepsilon^1 = \varepsilon_1 + i\varepsilon_2 \quad (4.3.1)$$



$$\text{Im}(1/\varepsilon) = \varepsilon_2 / \varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 \quad (4.3.2).$$

Hesablama ifadələrindən aşağıdakı şəkildə istifadə olunmuşdur.

$$K = \frac{2\sqrt{R} \sin \theta}{(1 - \sqrt{R})^2 + 4\sqrt{R} \sin^2 \frac{\theta}{2}}, \varepsilon_1(\nu) = n^2 - k^2 \quad (4.3.3)$$

$$n = \frac{1 - R}{(1 - \sqrt{R})^2 + 4\sqrt{R} \sin^2 \frac{\theta}{2}}, \varepsilon_2(\nu) = 2nk \quad (4.3.4)$$

Burada  $n$  və  $k$  uyğun olaraq sınma və udulma əmsallarıdır,  $\varepsilon_1$  və  $\varepsilon_2$  dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələridir,  $\text{Im}(1/\varepsilon)$  fonon qarşılıqlı təsirini xarakterizə edən enerjinin dielektrik itkisidir.

GaS monokristalının optik sabitləri əksolma spektrlərindən klassik asılı olmayan ossilyatorların dispersiyasının məlum ifadəsinə görə təyin olunmuşdur.

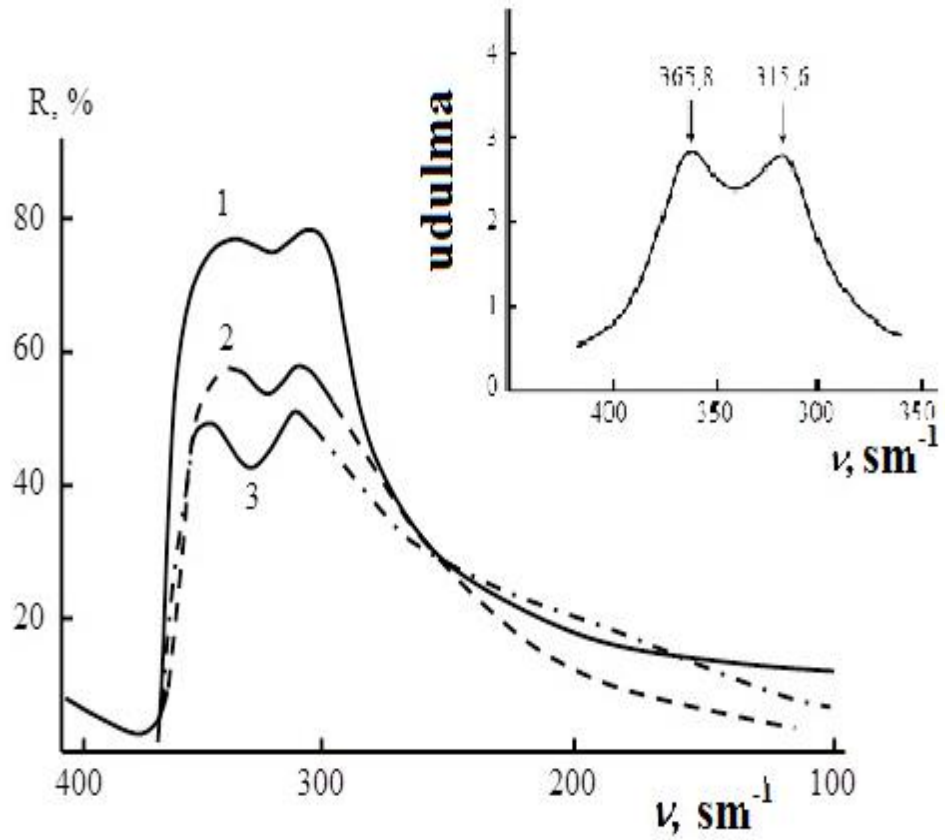
$$\varepsilon(\nu) - n_\infty^2 = (\varepsilon_0 - n_\infty^2) \nu_0^2 / (\nu_0^2 - \nu^2 + i\gamma\nu) \quad (4.3.5)$$

Burada  $\varepsilon_0$  statistik dielektrik nüfuzluğu  $n_\infty^2 = \varepsilon_\infty$  yüksək tezlikli oblastda dielektrik nüfuzluğunun asimptotik qiyməti,  $\gamma$  sönmənin fenomenoloji üzvüdür.  $\varepsilon_0$  və  $n_\infty^2$  kəmiyyətləri Lidden Saks Teller münasibətini yaxşı ödəyir.

$$\varepsilon_0 / n_\infty^2 = (\nu_{LO} / \nu_{TO})^2 \quad (4.3.6)$$

Nümunələr  $^{60}\text{Co}$  mənbəyindən qamma kvantlarla otaq temperaturunda  $d\Phi_\gamma / dt = 15.66 \text{ rad/s}$  doza gücü ilə şüalandırılmışdır. Bu zaman udulan doza  $D_\gamma = 30-200 \text{ krad}$  təşkil edir [8, s.19-20. 55, s.373-374].

Şəkil 4.3.1-də ilkin (1) və  $D_\gamma = 100$  (2), 200 (3) krad şüalanmış GaS monokristallarının qəfəs rəqsləri oblastunda İQ əksolma spektrləri göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi ilkin GaS nümunəsinin dispersiya analizilə uzlaşan eninə



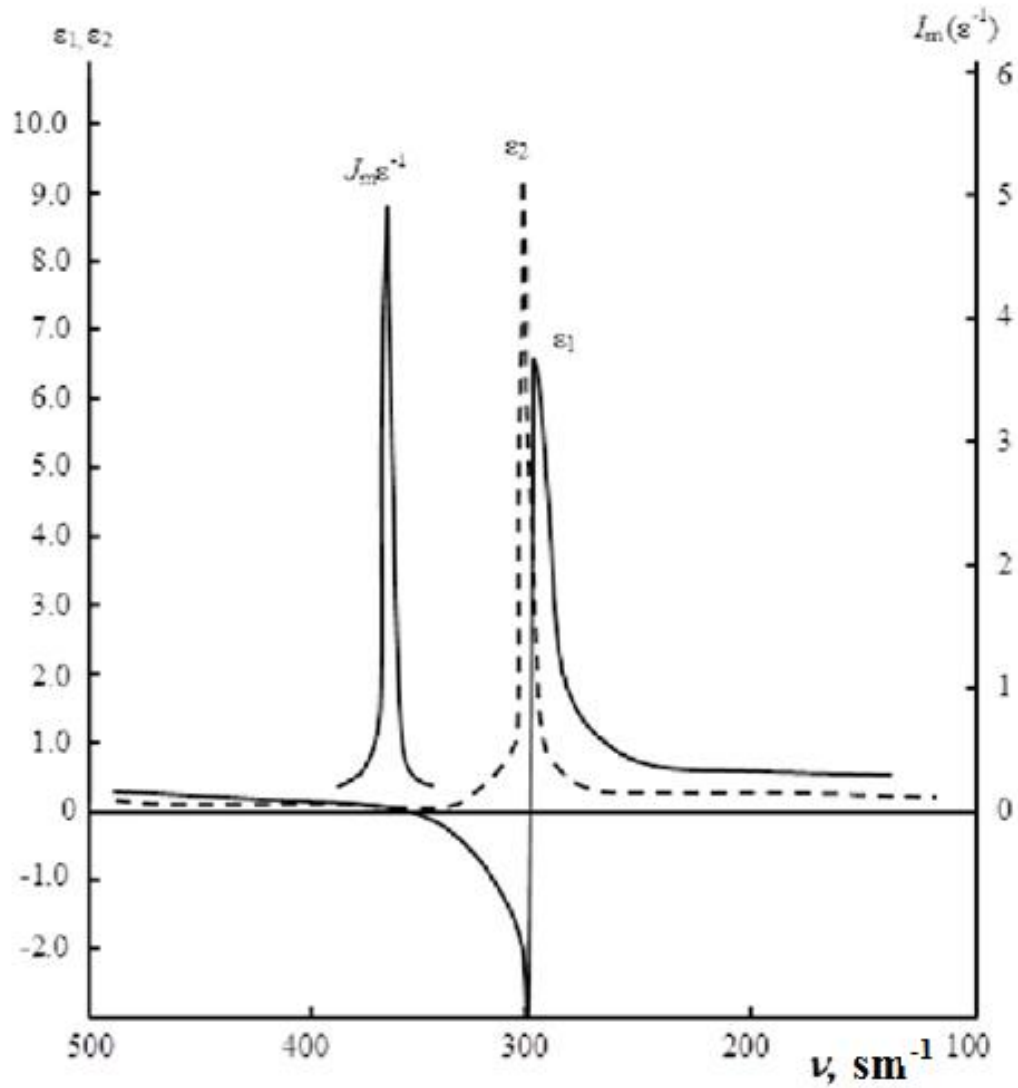
**Şəkil 4.3.1. Otaq temperaturunda ilkin (1) və 100 (2), 200 (3) krad qamma-kvantlarla şüalanmış GaS nümunələrinin İQ əksolma spektrləri, əlavədə ilkin GaS nümunəsinin udulma spektri göstərilmişdir [136, s.53].**

$v_{TO} = 297 \text{ sm}^{-1}$  və uzununa  $v_{LO} = 357 \text{ sm}^{-1}$  rəqsləri müşahidə edilir. Eninə və uzununa rəqslərin tezliklərinin qiymətləri bu nümunələrin Furye İQ udulma spektrlərindən alınmış qiymətlərlə üst-üstə düşür (şəkil 4.3.1.). Qamma-kvantlarla şüalanmış GaS nümunələrinin (100 və 200 krad) qəfəs əksolma spektrləri bir qədər dəyişir. Qamma-kvantlarla şüalanmanın dozasının artması ilə əksolma əmsalının qiyməti azalır, bu zaman qalıq şüaların oblastı da dəyişir. GaS-in qalıq şüalarının zolaqlarında müşahidə olunan xüsusiyyətləri, qamma şüalanmanın təsiri altında səth hallarının modifikasiyası və qalıq şüaların oblastında yerləşən kvazifononların əmələ gəlməsi ilə izah etmək olar [150, s.319-328]. Belə səth rəqsləri səthi polyaritonlar, yəni güclü eksiton-foton qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan kvazihissəciklər ola bilər. Qamma şüalanma qallium sulfidın səthinin hamarlılığının və dənəvərliliyinin dəyişməsinə gətirib çıxarır və difraksiya rabitəsinin yaranmasını təmin edir. Həqiqətən, əksolma spektrlərində “enmə” “rezonans” xarakter daşıyır, bunun müşahidə olunması əks etdirən səthin modifikasiya üsulundan asılıdır.

Şəkil 4.3.2. və 4.3.3.-də ilkin (1) və 100 (2) 200 (3) krad  $\gamma$ -şüalanmış GaS nümunələrinin  $n(\nu)$  sınıma və  $k(\nu)$  udulma əmsallarının, eləcə də  $\text{Im}\epsilon^{-1}(\nu) = \epsilon_2 / (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2)$ , funksiyasında dielektrik nüfuzluğunun  $\epsilon_1(\nu) = n^2 - k^2$  həqiqi və  $\epsilon_2(\nu) = 2nk$  xəyali hissələrinin dispersiya asılılıqları göstərilmişdir.  $\epsilon_2(\nu)$  və  $\text{Im}\epsilon^{-1}(\nu)$  əyrilərindən qallium-sulfid nümunələrinin eninə və uzununa optik fononlarının sönmə əmsalları və tezlikləri təyin olunmuşdur. İlkin və qamma şüalanmış GaS nümunələrinin statistik dielektrik nüfuzluğunun qiymətləri təyin olunmuşdur və bu da uyğun olaraq 10,4; 9,7 və 9,2 qiymətləri alınmışdır.

İlkin qallium sulfidın dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin  $\epsilon_1(\nu)$  dispersiya asılılığı  $300 \text{ sm}^{-1}$  ətrafında minimumu olan tezlik oblastının olması ilə xarakterizə olunur. Bu zaman  $\epsilon_1(\nu) < -1$  (şəkil 4.3.2.) GaS nümunələrinin  $100 \leq D_\gamma \leq 200$  krad doza ilə şüalanması səthi polyaritonların kiçik dalğalar oblastına tərəf  $\sim 6-10 \text{ sm}^{-1}$  sürüşməsinə gətirib çıxarır.

GaS nümunələrinin  $\epsilon_1(\nu) = n^2 - k^2$  dielektrik nüfuzluğunun  $\epsilon_2(\nu) = 2nk$  həqiqi  $\text{Im}\epsilon^{-1}(\nu) = 2nk$  xəyali hissələrinin dispersiya əyriləri  $\gamma$ -şüalanmanın dozasının GaS-in eninə və uzununa optik fononlarının sönmə əmsallarının qiymətlərinə və tezliklərinin



**Şəkil 4.3.2. GaS nümunələrinin  $\epsilon_1(\nu) = n^2 - k^2$  dielektrik nüfuzluğunun  $\epsilon_2(\nu) = 2nk$  həqiqi və  $\text{Im } \epsilon^{-1}(\nu) = \epsilon_2 / (\epsilon_1^2 + \epsilon_2^2)$  xəyali hissələrinin dispersiya ayriləri [136, s.53]**

vəziyyətinə təsiri tədqiq edilmişdir. Aşkar edilmişdir ki, GaS-nın optik fononlarının tezlikləri yerini dəyişmir. Eyni zamanda ( $\nu_{1/2}$ ) əyrilərinin yarımənələrindən hesablanmış optik fononların ( $\gamma$ ) sönmə əmsalları udulan şüalanma dozasının böyüməsi ilə artır (cədvəl 4.3.1.). Zolaqların genişlənməsi laylar arasında quruluş dəyişikləri ilə bağlıdır, bu da qamma kvantlarla şüalanmış GaS nümunələrinin IQ udulma spektrləri ilə təsdiq olunur. Belə ki şüalanma dozasından asılı olaraq laylararası rəqslərin zolaqlarının yarımənəni ~1,2-1,5 dəfə artır [134, s.9-10. 137, s.51-53]. Amorf fazanın artması optik fononların yarımənənin genişlənməsinə gətirib çıxarır. Dispersiya asılılıqlarının analizi əsasında belə bir nəticəyə gəlmək olar ki,  $30 \leq D_\gamma \leq 100$  krad dozalarda qallium-sulfid kristalları radiasiyaya davamlılıqlarını saxlayır,  $D_\gamma \geq 100$  krad dozalarda isə radiasiyaya davamlı deyil.

**Cədvəl 4.3.1**

**GaS -də  $\nu_{TO}=297 \text{ sm}^{-1}$ ,  $\nu_{LO} = 357 \text{ sm}^{-1}$  optik fononlarının optik və dielektrik parametrlərinin  $\gamma$ -şüalanmanın dozasından asılılığı**

Nö	GaS nümunələri	$\epsilon_0$	$\nu_{TO}, \text{ sm}^{-1}$	$\nu_{LO}, \text{ sm}^{-1}$	$\gamma$	$\epsilon_\infty$	$(\nu_{LO}/\nu_{TO})^2$
1	İlkin	10,4	297	357	54	8,4	1,34
2	100 krad doza ilə qamma-kvantlarla şüalanmış	9,7	297	357	60	8,2	1,34
3	200 krad doza ilə qamma-kvantlarla şüalanmış	9,2	297	357	75	8,0	1,34

Beləliklə, işdə qamma-kvantlarla şüalanmış GaS kristallarının  $D_\gamma=30-200$  krad udulma dozası oblastında və otaq temperaturunda Furiye-IQ əksolma spektrlərinin xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. İlkin və qamma-kvantlarla şüalanmış GaS nümunələrinin udulma  $k(\nu)$  və sındırma əmsallarının  $n(\nu)$ , eyni zamanda dielektrik nüfuzluğunun həqiqi  $\epsilon_1(\nu)=n^2-k^2$  və xəyali  $\epsilon_2(\nu)=2nk$  hissələrinin,  $\text{Im}\epsilon$ -

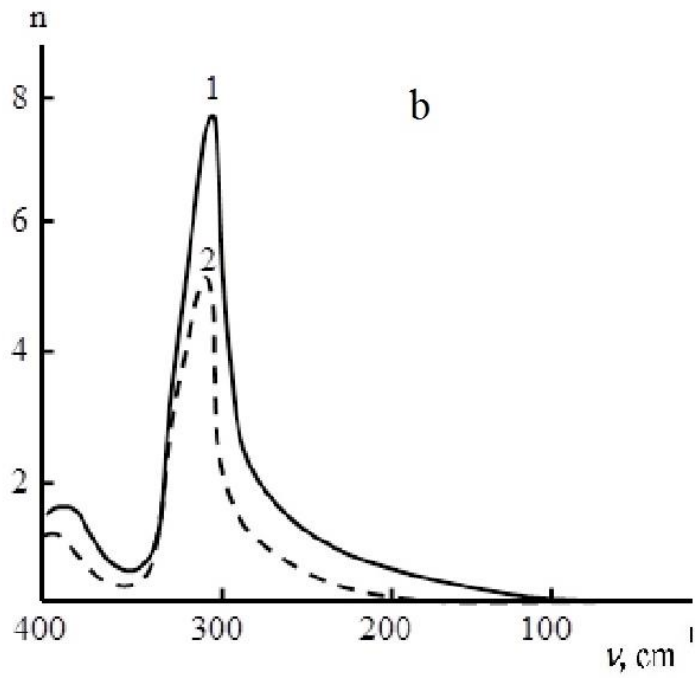
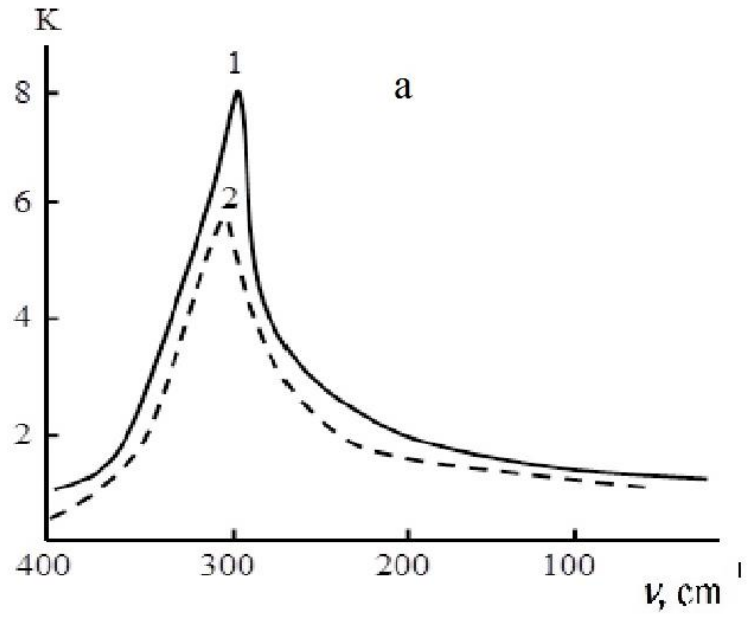
$^1(v)=\varepsilon_2/(\varepsilon_1^2+\varepsilon_2^2)$  funksiyasının dispersiya ayrılırları alınmışdır. qamma-kvantların bu kristalların optik parametrlərinə təsirinə baxılmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, dozanın nisbətən kiçik  $30 \leq D_\gamma \leq 100$  krad qiymətlərində GaS kristalları radiasiyaya davamlıdır, dozanın  $D_\gamma \geq 100$  krad qiymətlərində isə radiasiyaya davamsızdır.

Şəkil 4.3.4.-da ilkin (əyri 1) və 140, 200 krad dozada şüalanmış (əyri 2, 3) GaS:Yb nümunələrinin əksolma spektrləri göstərilmişdir. Şəkil 4.3.4. b-dən göründüyü kimi, GaS kristallarının Yb ilə aşqarlanması faktiki olaraq eninə və uzununa rəqslərin qiymətlərinə təsir etmir. Lakin səth halı yaxşılaşır və əksolma əmsalının qiyməti  $R \sim 5-8\%$  artır. 140 və 200 krad dozada şüalanma GaS:Yb nümunələrində səth halının pisləşməsinə gətirib çıxarır, yəni udulma dozasının artması ilə R-n qiyməti azalır. Şəkil 4.3.5.-də GaS (əyri 1) və GaS:Yb (əyri 2) nümunələri üçün əksolma əmsalının qiymətinin  $\Delta R = R_0 - R$  (R və  $R_0$ —uyğun olaraq ilkin və qamma-kvantlarla şüalanmış nümunələrin əksolma əmsallarıdır) dəyişməsinin udulma dozasından asılılığı göstərilmişdir.

Bu asılılıqların müqayisəli analizlərindən aşağıdakılar alınır:

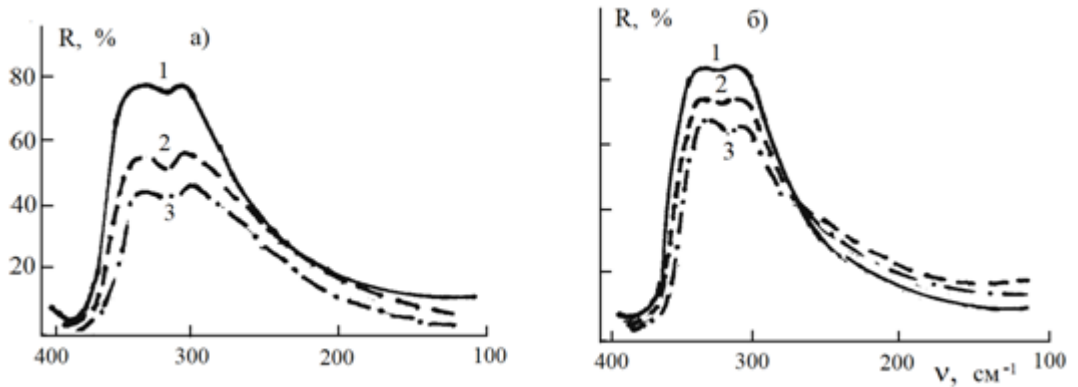
1. Hər iki asılılıq parabolik qanuna yaxındır.
2. Qamma-kvantlarla şüalanmış GaS nümunələrində asılılıqların xətti oblastlarına görə təyin olunan  $\Delta R$  fərqlinin qiymətinin artım sürəti qamma-kvantlarla şüalanmış GaS:Yb nümunələrində  $\Delta R$  qiymətinin artım sürətindən  $\sim 1,5$  dəfə böyükdür.
3. GaS nümunələri üçün  $\Delta R$  fərqlinin qiymətinin dəyişməsi  $D_\gamma \geq 50$  krad udulma dozasında, GaS:Yb nümunələri üçün  $D_\gamma \geq 140$  krad qiymətində baş verir.

GaS və GaS:Yb nümunələri üçün  $\Delta R$ -n  $D_\gamma$ -dan asılılıq ayrılırlarında müşahidə olunan xüsusiyyətləri göstərir ki, GaS-in səthi GaS:Yb-un səthinə nisbətən qamma-kvantların təsirinə daha həssasdır. Qamma şüalanmanın təsiri bu laylı monokristallarda səthin pisləşməsinə gətirib çıxarır. Alınmış nəticələr [9, s.14] ilə yaxşı uzlaşır, bu işlərə əsasən GaS və GaS:Yb monokristalları  $D_\gamma \leq 140$  krad dozada radiasiyaya davamlıdır, bu qiymətdən yuxarı dozalarda isə radiasiyaya davamlı deyil.

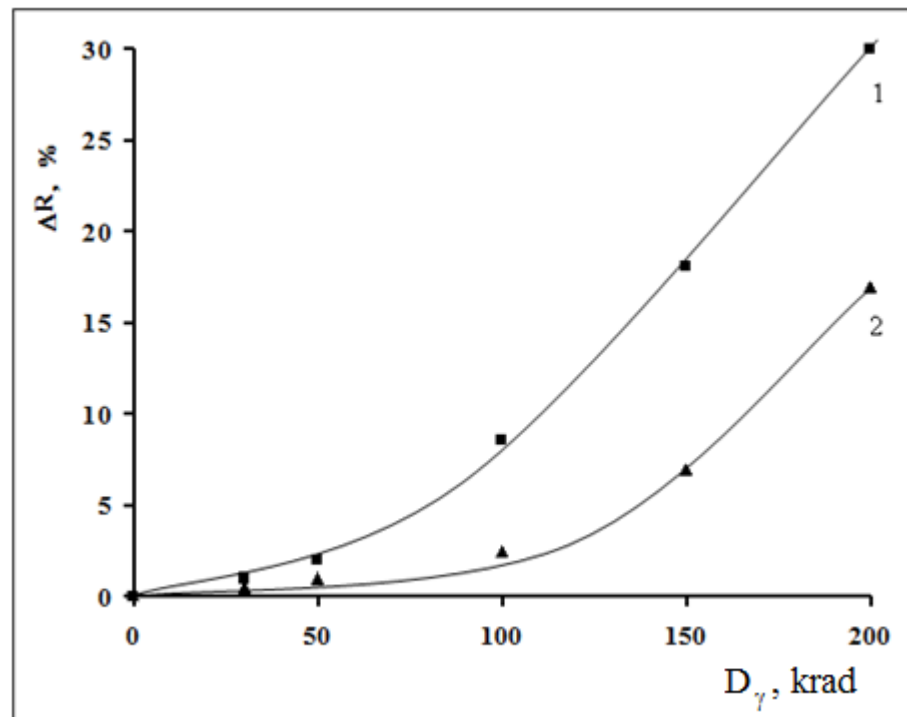


**Şəkil 4.3.3. İlkin (1) və 200 krad dozada qamma-kvantlarla şüalanmış GaS nümunələrinin udulma (a) və sınma (b) əmsallarının dispersiya ayriləri.**

[136, s.54]



**Şəkil 4.3.4. İlkin, şüalanmamış (1) və qamma-kvantlarla  $D_\gamma=140$  (2) və  $200$  (3) krad dozada şüalanmış GaS (a) və GaS:Yb (b) monokristallarının Furiye-İQ əksolma spektrləri. [145, s.35]**



**Şəkil 4.3.5. GaS (1) və GaS:Yb (2) monokristalları üçün əksolma əmsalının fərqi ( $\Delta R$ ) udulma dozasından asılılığı. [145, s.35].**



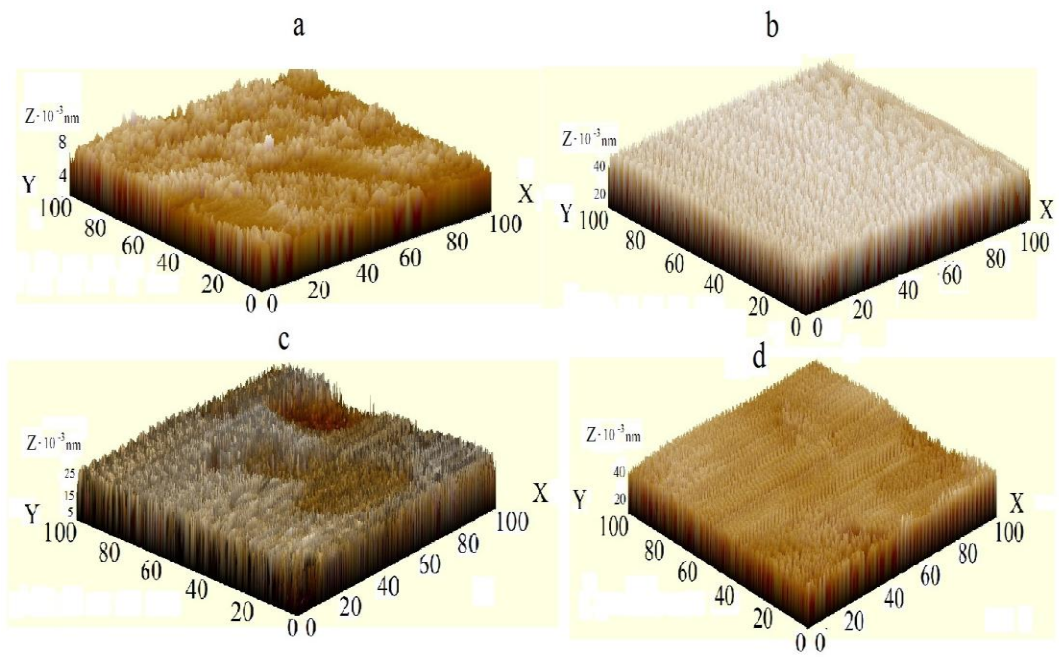
#### **4.4. Qamma kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səth relyefinin AQM- mikroskopiya metodu ilə tədqiqi**

$A^3B^6$  tip laylı yarımkeçiriciləri xüsusən, GaS müxtəlif tip şüalanma detektorları üçün perspektivli materiallardır. Bu monokristallar əsasında otaq temperaturunda işləyən qamma kvantların radiasiya detektorları hazırlanır. Bu birləşmələrə artan maraq onların kristallik quruluşunun anizotropluğu ilə əlaqədardır. GaS monokristallarının səthinin modifikasiyasının əsas effektiv üsullarından biri onların qamma kvantlarla şüalandırılmasıdır [15, s. 96-99. 16, s.111-119]. Qamma kvantların daxilolma dərinliyi işığın udulma əmsalının tərs qiymətinə bərabərdir ( $\sim 10^2$ nm), bu da səthi aktiv mərkəzlərdən qazların desorbsiyasına gətirib çıxarır. Bu, kristalın səthi yaxınlığında baş verən bir çox proseslərdə təyinedici faktordur. Ona görə də xarici təsirlərin, o cümlədən qamma radiasiyanın defektli yarımkeçiricinin fotokeçiriciliyinə təsirini tədqiq edərək onun formalaşmasında səthi bircinsliyin rolunu təyin etmək olar [4, s.41]. Yarımkeçiricilərin səthinin öyrənilməsində daha informativ zondsuz metodlar Furiye-İQ-spektroskopiya və zondlu atom-qüvvə mikroskopiya (AQM) metodlarından istifadə edilmişdir [145, s.37-38].

Bunları nəzərə alaraq, şüalanmış GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səthi relyefinin dəyişməsinin mikroskopik (AQM) tədqiqatlarının nəticələri göstərilmişdir.

Mikroquruluş və rentgenfaza analizləri göstərir ki, tədqiq olunan kristallar bircinsdir və yüksək kristallaşma dərəcəsinə malikdirlər (şəkil 4.4.1.). İlkin və qamma şüalanmış GaS və GaS:Yb nümunələrin səthi relyefinin mikroskopik tədqiqatları atom-qüvvə mikroskopunda (AQM) aparılmışdır. Bu məqsədlə səthin ikiölçülü (2D) və üçölçülü (3D) AQM-təsvirləri, eləcə də üfüqi və şaquli istiqamətlərdə histqramları alınmışdır (100×100 nm).

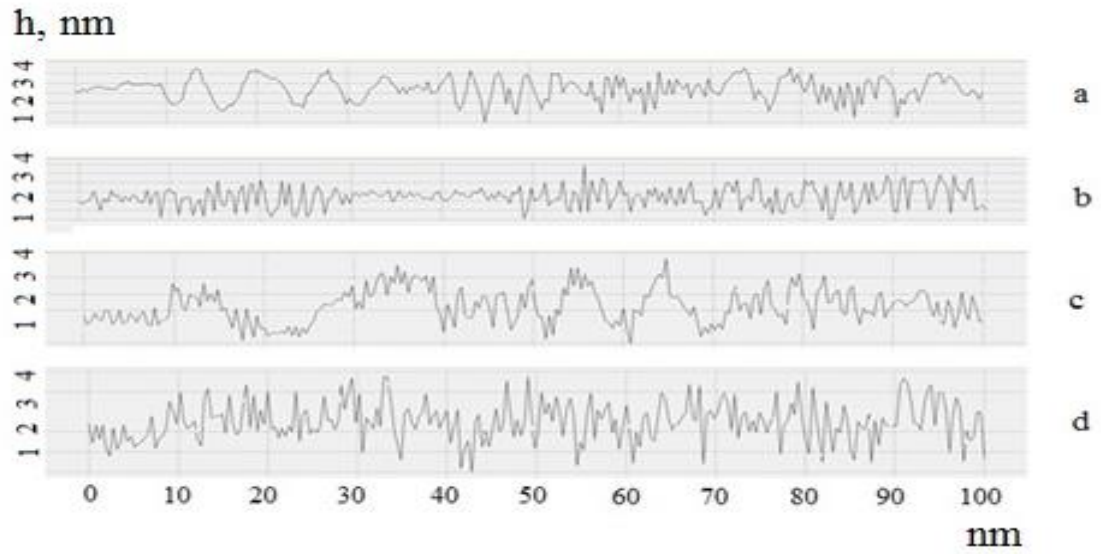
GaS və GaS:Yb nümunələri üçün  $\Delta R$ -in  $D_{\gamma}$ -dan asılılıq ayrılərində müşahidə olunan xüsusiyyətləri göstərir ki, GaS-in səthi GaS:Yb səthinə nisbətən qamma-kvantların təsirinə daha həssasdır. Kristalların İQ spektrlərindən alınan nəticələrin təhlili göstərir ki, Yb atomu ilə aşqarlanma zamanı, onların quruluş defektləri ilə



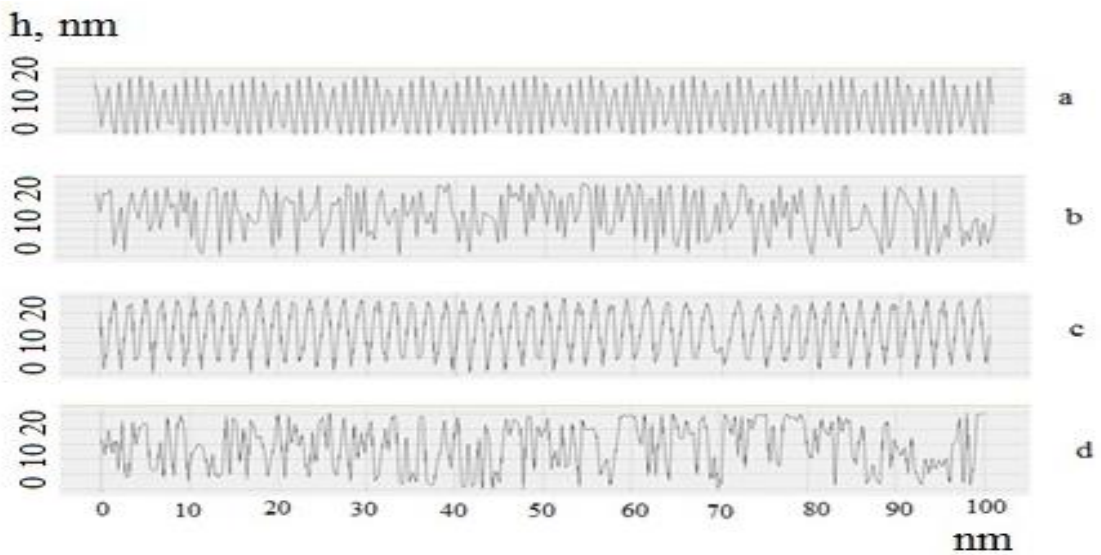
**Şəkil 4.4.1. İlk (a, b) və 140 krad (c,d) dozada şüalanmış GaS və GaS:Yb monokristallarının səthinin üç ölçülü təsvirləri.[91, s.25. 145, s.36]**

qarşılıqlı təsiri nəticəsində səthyanı oblasda defektlərin dayanaqlılığı artır. Bu nəticə şəkil 4.3.5.-də alınan nəticə ilə tam uzlaşır və müəyyən edilmişdir ki, qamma-kvantlarla şüalanma zamanı aşqarlı kristalların qamma-kvantlara qarşı davamlılığı məxsusi kristallara nisbətən daha yüksəkdir. Termik dəmlənmiş kristallarda təcrübə nəticələri göstərir ki, yaranan defektlərin qarşılıqlı təsiri nəticəsində qamma şüalanmanın təsiri bu laylı monokristallarda səthin pisləşməsinə gətirib çıxarır. Alınmış nəticələr [121, s.11] - ilə yaxşı uzlaşır, bu işlərə əsasən GaS monokristalları  $D_{\gamma} \leq 140$  krad dozada radiasiyaya davamlıdır, aşqarlı GaS:Yb kristalı isə  $D_{\gamma} \leq 200$  krad dozalarda qamma radiasiyaya davamlıdır. Qamma kvantların təsirinə məruz qalmış GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səth relyefinin dəyişməsi həmçinin mikroskopik (AQM) metodla tədqiq olunmuşdur. Şək.4.4.1-də ilkin (şək.4.4.1.a və 4.4.1.b) və 140 krad dozada qamma kvantlarla şüalanmış (şək.4.4.1.c və 4.4.1.d) GaS və GaS:Yb nümunələrinin səthinin üçölçülü (3d) təsvirləri göstərilmişdir. İlkin və aşqarlanmış monokristalların səthlərinin müqayisəsi göstərir ki, əgər GaS-in səthi nahamarlılıq və qeyri-bircinsliliyin olması ilə xarakterizə olunursa, Yb aşqarının GaS quruluşuna daxil edilməsi onun səthinin nizamlanmasına və bircinsliliyinə gətirib çıxarır. GaS:Yb halında nahamarlılığın dərinliyi GaS ilə müqayisədə ~5 dəfə (8-dən 40 nm-ə qədər) artır. GaS və GaS:Yb nümunələrinin 140 krad dozada şüalanması bu nümunələrin səth hallarının dəyişməsilə müşahidə olunur. Qamma kvantlarla 140 krad dozada şüalanmadan sonra GaS kristallarının səth halı nəzərə çarpacaq dərəcədə pisləşir, eyni zamanda GaS:Yb-in səthində dəyişikliklər baş verir. Nümunələrin 1 saat ərzində  $t=100^{\circ}\text{C}$  temperaturda dəmlənməsi şüalanmış nümunələrin səthini qismən bərpa edir. Qeyd etmək lazımdır ki, qamma kvantlarla şüalanmış (30, 50, 100, 140 və 200 krad) GaS və GaS:Yb nümunələrinin səthinin 3D-təsvirlərinin analizi göstərir ki, səthi dəyişmələrin doza həddi uyğun olaraq 50 və 140 krad-dır [145, s.35-37].

Şəkil 4.4.2 və 4.4.3.-də üfüqi və şaquli istiqamətlərə görə 2d təsvirlərin histqramları göstərilmişdir ( $100 \times 100 \text{ nm}$ ). Histqramlardan görüldüyü kimi, GaS monokristalları üçün müxtəlif hündürlüklü  $\sim(30-40 \text{ nm})$  və perpendikulyar  $\sim 16 \text{ nm}$  periodikli üfüqi və şaquli istiqamətlərə görə qeyri-bircins paylanma xarakterikdir



**Şəkil 4.4.2. İlkin (a, b) və 140 krad (c, d) dozada şüalanmış GaS monokristallarının üfüqi (a, c) və şaquli (b, d) istiqamətlərdə 2d təsvirlərinin histoqramları. [91, s.26. 145, s.36]**



**Şəkil 4.4.3. İlkin (a, b) və 140 krad (c, d) dozada şüalanmış GaS:Yb monokristallarının üfüqi (a, c) və şaquli (b, d) istiqamətlərdə 2d təsvirlərinin histoqramları. [91, s.26. 145, s.36].**

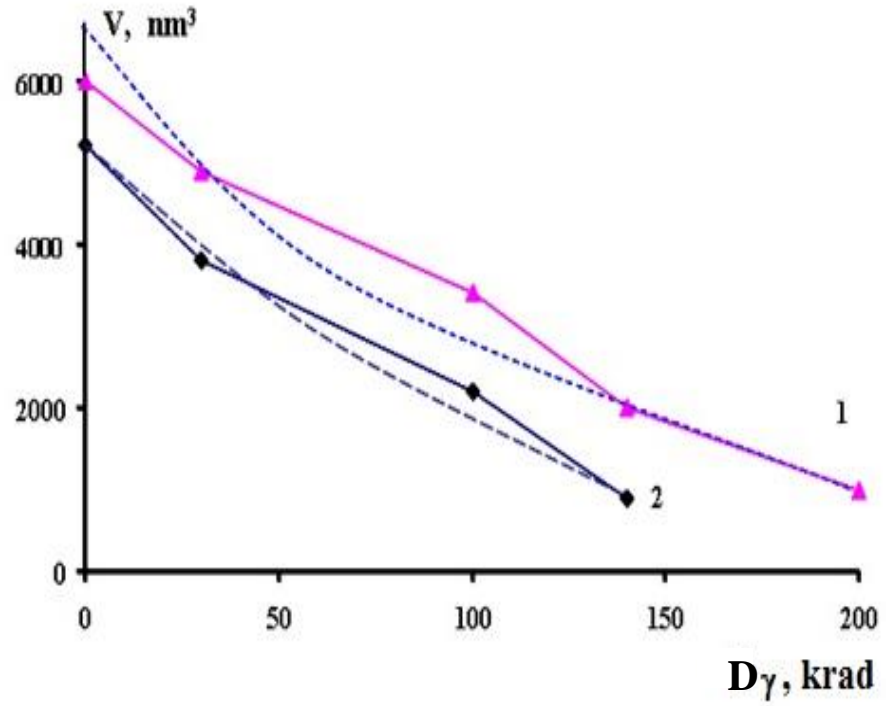
(şək.4.4.2. a və b). GaS:Yb monokristalların histoqramları eyni  $\sim 25$  nm hündürlüklü və  $\sim 13$  nm periodiklikli üfüqi və şaquli istiqamətlərə görə bircins paylanma olduğunu göstərir (şək.4.4.3. a və b). Bu nümunələrin 140 krad dozada şüalanması GaS və GaS:Yb üçün uyğun olaraq güclü (şək.4.4.3, c) və zəif (şək.4.4.3. d) dəyişikliklərə gətirib çıxarır.

Multifraktal analiz nəticəsində belə qənaətə gəlmək olar ki, əgər eyni sərbəst həcm (h-hündürlüklü və d-diametrlı konus) arasıkəsilmədən bütün sahə boyu təkrarlanırsa, onda o, invariantlıq xassəsinə malik olur [24, s.137-140].

Şək.4.4.4.-də qeyri-bircinsliyin vahid həcmdə (relyef əmələgətirən konusun orta vahid həcmi) dozadan asılılığı göstərilmişdir.  $V=A^*e^{kx}$  şəklində asılılıq eksponensial xarakter daşıyır (V-relyefəmələgətirən konusun orta vahid həcmi, A-monokristalın sıxlığını xarakterizə edən əmsal, k-udulma əmsalı, x-şüalanma dərəcəsidir).

Şəkil 4.4.4.-dən görüldüyü kimi, qamma şüalanmanın dozasının 140 krad-a qədər artması ilə V relyef əmələ gətirən konusun orta vahid həcmi GaS və GaS:Yb üçün uyğun olaraq  $\sim 2,5-5$  dəfə (6000 və 5000-dən 2500 və 1000  $\text{nm}^3$ -ə qədər) azalır.

Qamma şüalanmaya məruz qalmış GaS və GaS:Yb monokristallarının səth relyefi atom-qüvvə mikroskopu (AQM) və Furiye-İQ-spektroskopiya metodları ilə tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, GaS üçün müxtəlif  $\sim (30-40)$  nm hündürlüklü və  $\sim 16$  nm periodiklikli qeyri-bircins paylanma xarakterikdir. Kristalın Yb atomları ilə aşqarlanması zamanı hamarsızlıq nizamlanır, hündürlük  $\sim 25$  nm və periodiklik  $\sim 13$  nm-dək azalır. GaS monokristalında  $D_\gamma < 140$  krad dozada şüalanması və Yb atomları ilə aşqarlanması defektlərin yenidən qurulmasına gətirib çıxarır, nəticədə sərbəst vahid həcmdə azalma,  $D_\gamma > 140$  krad dozadan yuxarıda isə artma baş verir. Furiye-İQ spektrlərdə qamma-kvantlarla şüalanmanın dozasından asılı olaraq ( $D_\gamma = 30-200$  krad) GaS və GaS:Yb monokristallarının səthində əksolma əmsallarının dəyişməsi müşahidə olunur, Bu dəyişmələr əsasında müəyyən olunmuşdur ki, aşqarlanmış monokristallar radiasiyaya daha davamlıdır. Laylı kristalların səth xarakteristikaları qismində relyef əmələgətirən konusun orta vahid həcmi istifadə olunmuşdur.  $V=A^*e^{kx}$



Şəkil 4.4.4. GaS (1) və GaS:Yb (2) monokristalları üçün qeyri-bircinsliyin sərbəst həcmdə dozadan asılılığı [91, s.27. 145, s.36].

eksponensial formada ifadə olunan relyef əmələgətirən konusun orta vahid həcmnin şüalanmanın dərəcəsinin təsirindən regression asılılığı verilmişdir.

AQM və Furiye-İQ-spektroskopiya metodları ilə alınmış qeyri-bircinsliyin sərbəst vahid həcmnin paylanması profili və GaS:Yb laylı monokristallarının radiasiyaya davamlılığı arasında korrelyasiya müəyyən edilmişdir.

Furiye-İQ, Raman-spektroskopiya və AQM-mikroskopiya metodları ilə qamma şüalanmanın ( $D_\gamma=30-200$  krad) və termik dəmləmənin ( $T=100-250$  °C) təsiri altında GaS və GaS:Yb laylı kristallarında baş verən səth dəyişiklikləri tədqiq edilmişdir.

Spektroskopik tədqiqatlar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, qamma şüalanmanın  $D_\gamma=30 \div 200$  krad udulma dozəsi oblastında GaS və GaS:Yb laylı monokristallarında laylararası  $E_{2g}^1$  və laydaxili  $A_{1g}^1$  rəqsləri xarakterizə edən Raman-piklərinin və optik (eninə və uzununa) fononların İQ-udulma zolaqlarının yarımənı udulma dozasının artması ilə ~2,5 dəfə artır. Müşahidə olunan effekt səthi qeyri-nizamsızlığın artması və səthyanı defektlərlə radiasiya defektləri arasında qarşılıqlı təsir mexanizminin dəyişməsi ilə əlaqədardır. Göstərilmişdir ki, termiki dəmləmə ( $T=100-250^\circ\text{C}$ ) səthyanı halların nizamlılığını qismən bərpa edir.

Bu metodlarla (Furiye-İQ və AQM) aparılan tədqiqatlar onu söyləməyə əsas verir ki, GaS monokristalına nisbətən 0,1 at% itterbium atomları ilə aşqarlanmış GaS:Yb monokristallarının qamma-kvantlara qarşı davamlığı daha yüksəkdir və davamlılıq oblastı şüalanma dozasının  $D_\gamma=30\div 200$  krad qiymətinə qədər genişlənir.

Beləliklə, qamma kvantlarla şüalanma zamanı yaranan defektlər vakansiya xarakterlidir və şüalanma dozasından asıldır. Şüalanma dozasının 0-50 krad dozalarında yaranan defektlər anion tipli olduğundan struktur defektlər qismən kompensasiya olunur və nəticədə fotokeçiricilik artır. Bu fakt AQM tədqiqatlarda alınan nəticələrlə təsdiqini tapır. Şüalanma dozasının yüksək qiymətlərində isə, həm anion, həm də kation tipli defektlər yarandığından struktur tipli, yəni kation defektlərinin konsentrasiyası artır. Yuxarı şüalanma dozalarında şüalandırılmış GaS kristalından alınan AQM spektrlərdən görünür ki, defektlərin ölçüləri və paylanma periodikliyi dəyişir. Bu isə defektlərin laylar arası və lay daxilində yerləşdiyini göstərir və nəticədə fotokeçiriciliyin azalmasına səbəb olur. İlkin şüalanma

nəticəsində GaS kristallarında yaranan defektlərin elektroaktiv olmasını spektrin udulma zolağında fətohəssaslığın xarici elektrik sahəsindən asılı olaraq dəyişməsi göstərir. Bu fakt sübut edir ki, şüalanma zamanı yaranan defektlər mütəhərrik defektlərdir və onların yük halını elektrik sahəsinin təsiri ilə idarə etmək mümkündür. Təklif etdiyimiz üsul İQ və AQM tədqiqatlarla sübuta yetirilir.

Təklif etdiyimiz ilkin model nəzəri [38,s.345-350. 41, s.35-41. 50, s.10-15] və təcrübi [59, s.181-184. 83, s.111-119] işlərdə alınan nəticələrlə uzlaşır və laylı kristallarda defektlərin paylanma qanunauyğunluğunu göstərən ilk nəticədir.

Aşqarlanmış GaS:Yb kristallarda itterbium atomlarının əsasən laylararası oblasda və qismən lay daxilində yerləşdiyini qəbul edərək [62, s.2432-2433] defekt yaranma mexanizmini belə ifadə etmək olar. İlk növbədə qeyd etmək lazımdır ki, itterbium atomunun daxil edilməsi GaS kristalının qaranlıq keçiriciliyini azaldır, bu fakt isə, struktur defektlərin nizamlanmasını, o cümlədən laylar arası və laydaxili qarşılıqlı təsirin artmasını göstərir. Qeyd olunan nəticə Furye-İQ spektrlərin təhlilindən də alınır. Müəyyən edilmişdir ki, laylar arası və lay daxili rəqslərin şüalanma dozəsindən və aşqar atomundan asılı olaraq dəyişməsini İQ-spektrlərdə rəqslərin yarım eninin və intensivliyin dəyişməsi təsdiq edir. Qamma-kvantlarla şüalanma zamanı GaS:Yb kristalında eninə və uzununa rəqslərin spektrlərinin təhlili göstərir ki, aşqar atomları əsasən laylar arası oblasda yerləşir və kükürd atomları ilə kimyəvi rabitəyə girərək rəqslərin amplitudunu azaldır və nəticədə kristalın radiasiyaya davamlılığını artırır.

Tədqiqat nəticəsində alınmış nəticələrin təhlili göstərir ki, yarımkeçirici maddələrin spektrin ultrabənövşəyi oblastında fətohəssaslığının aşağı olması səth rekombinasiya sürətinin yüksək olması ilə bağlıdır. Məhz, alınmış nəticələr göstərir ki, səthyanı oblasda olan rekombinasiya mərkəzlərinin konsentrasiyasını azaltmaq məqsədi ilə xarici elektrik sahəsindən, termik dəmləmə və aşqarlama üsulundan praktikada istifadə etmək olar.



## Nəticə

1. Müəyyən edilmişdir ki, spektrin ultrabənövşəyi oblastında GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının fotehəssaslığı, defektlərin ( $V_{Ga}$ ;  $V_S$ ;  $Yb_{Ga}$ ) qeyri-bircins paylanması nəticəsində səth energetik zonasının düzlənmə dərəcəsindən asılı olan fotoyükdaşıyıcıların yürüklüyündən asılıdır. “Sahə effektinə” görə xarici elektrik sahəsinin qiyməti  $U_n > 0$  olarsa, fotoyükdaşıyıcının yürüklüyünün artması səbəbindən fotehəssaslıq artır,  $U_n < 0$  olduqda isə azalır.

2. Müəyyən edilmişdir ki, laylı GaS monokristallarında səth defektlərinin nizamsızlıq dərəcəsi və onun periodikliyi aşqarlanma dərəcəsindən asılıdır. AQM tədqiqatı göstərir ki, GaS monokristalının səthyanı oblastında hündürlüyü  $\sim (30-40)$  nm və periodikliyi  $\sim 16$  nm olan konusvari defekt toplusunun ölçüləri Yb atomları ilə aşqarlanma ( $N_{Yb} = 0,1$  at.%) zamanı qismən nizamlanır və onun hündürlüyü  $\sim 25$  nm, periodikliyi isə  $\sim 12$  nm olur.

3. Müəyyən edilmişdir ki, laylı GaS və GaS:Yb monokristallarında səth defektlərinin nizamsızlıq dərəcəsi və onun periodikliyi qamma-kvantlarla şüalanma dozasından asılıdır. Belə ki, GaS-kristallarında defektlərin nizamlanması  $D_\gamma < 50$  krad, GaS:Yb kristallarında isə  $D_\gamma < 140$  krad dozalarında müşahidə edilir. Qamma-kvantlarla şüalanmanın uyğun olaraq  $D_\gamma > 50$  krad və  $D_\gamma > 140$  krad dozalarında konusvari defekt yığımının həndəsi ölçüləri artır, onun periodikliyi isə pozulur və kristalların nizamlılıq dərəcəsi azalır.

4. Göstərilmişdir ki, laylı GaS monokristalının udulma zolağında fotehəssaslığın yüksəlməsi qamma-kvantlarla şüalanmanın aşağı dozalarında və Yb atomu ilə aşqarlama zamanı quruluş defektlərin qismən kompensasiyası nəticəsində fotoyükdaşıyıcıların yürüklüyünün artması səbəbindən baş verir.

5. Müəyyən edilmişdir ki, qamma-kvantlarla şüalanmanın  $D_\gamma = 30 \div 200$  krad doza oblastında GaS və GaS:Yb laylı monokristallarında laylararası  $E_{2g}^1$  və laydaxili  $A_{1g}^1$  rəqsləri xarakterizə edən Raman- piklərinin və optik (eninə və uzununa) fononların İQ-udulma zolaqlarının yarımənə udulma dozasının artması ilə  $\sim 2,5$  dəfə artır. Müşahidə olunan effekt səthi qeyri-nizamsızlığın artması və səthyanı defektlərlə

radiasiya defektləri arasında qarşılıqlı təsir mexanizminin dəyişməsi ilə əlaqədardır. Göstərilmişdir ki, termiki dəmləmə ( $T=100-250^{\circ}\text{C}$ ) səthyanı halların nizamlılığını qismən bərpa edir.

6. GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səthinin Furiye İQ-əksolma spektroskopik və səth relyefinin AQM–mikroskopik metodlarla aparılan müqayisəli tədqiqatları nəticəsində relyef əmələgətirən konusun orta vahid həcmnin şüalanma dozasından asılılığı müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, GaS monokristalının səthinə nisbətən GaS:Yb laylı monokristallarının səthləri baxılan doza ( $D_{\gamma}=30\div 200$  krad) oblastında qamma-kvantlara daha davamlıdır.

**DİSSERTASIYANIN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ AŞAĞIDAKI NƏŞRLƏRDƏ  
DƏRC OLUNMUŞDUR**

1. Əsədov, F.Q.  $\gamma$  - şüalanmanın laylı GaS monokristallarında səth və səthyanı proseslərə təsiri // Azərbaycan xalqının Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 91-cü ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı-Bakı:- 18-19 Aprel,-2014,-s.19-21.
2. Hüseynov, N.I., Mustafayev, Y.M., Asadov, F.G. Study of recombination centers in GaS according to photoconductivity relaxation // VII Eurasian Conference “Nuclear Science its Application”, Baku, Azerbaijan-21-24 October, - 2014, - Baku, Azerbaijan, p.239
3. Hüseynov, N.İ., Mustafayev, Y.M., Tağıyev, T.B., Əsədov, F.Q. Fotokeçiriciliyin relaksasiyası metodu ilə GaS laylı yarımkeçirici kristallarında tutulma mərkəzlərinin və səth hallarının tədqiqi // BDU-nun 95 illik yubleyinə həsr olunmuş “Fizikanın müasir problemləri” VIII Respublika Konfransı, - Bakı:- 24-25 dekabr, - 2014,- s.137-139.
4. Mədətov, R.S., Hüseynov, N.İ., Əsədov, F.Q., Əsədova, Z.İ.  $\gamma$  - şüalanmanın laylı GaS monokristallarında səthyanı proseslərin kinetikasına və elektrik şüalanmasının GaS laylı birləşməsinin fotoelektrik xassələrinə təsiri // Azərbaycan xalqının Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 92-ci ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların III Beynəlxalq Elmi Konfransı. Bakı, - 17-18 Aprel, - 2015, - s.85-86.
5. Hüseynov, N.İ., Tağıyev, T.B., Əsədov, F.Q. GaS laylı yarımkeçirici kristallarında tutulma mərkəzlərinin tədqiqi // Academic Science Week-2015 International Multidisciplinary Forum, - Baku/Azerbaijan - 02-04 November, - 2015, - p. 66-67
6. Hüseynov, N.I., Influence of  $\gamma$  – irradiation and annealing on FR IR-spectra of absorption of layered crystals GaS / N.I. Hüseynov, N.N. Gadzhieva, F.G. Asadov, Journal of Radiation Research, Baku: - 2015. vol. 2, - p.11-15

7. Асадов, Ф.Г. Влияние гамма облучения на ик спектры поглощения на кристаллов GaS // XXIII международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» Секция «Физика», - Москва: 2016, - с. 65-66.
8. Əsədov, F.Q. GaS laylı monokristallarında rekombinasiya mərkəzlərinə qamma şüalanmanın təsiri // İnternational Youth Forum, İntegration Processes of the World Science in the 21<sup>st</sup> century, Ganja/ Azerbaijan : - 10-14 october, - 2016, - p. 7-8.
9. Madatov, R.S. Study of recombinational centers in GaS by relaxation of photoconductivity / R.S. Madatov, N.I. Huseynov F.G.Asadov. Journal of Qafqaz University, - Baku: - 2016. v. 4 (1), - p. 34-37.
10. Huseynov, N.I. Effect of  $\gamma$ -irradiation on fourier-ir spectra of single crystals of gallium sulfide // N.I. Huseynov, F.G.Asadov / Proceeding of Young Scientists, - Bakı: - 2016; №13, - s. 13-18
11. Madatov, R.S. Radiation Effect on Layered Crystals of GaS and GaS<Yb> / R.S. Madatov, A.I. Nadjafov, N.I. Huseynov [et. al] // Colloid and Surface Science 2017; 2(1): p. 43-46
12. Мадатов, Р.С. Гаджиева, Н.Н. Гусейнов, Н.И. Асадов, Ф.Г. Влияние радиации на структурные дефект слоистых монокристаллов GaS // Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 94-cü ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların I Beynəlxalq Elmi Konfransı, Bakı: - 05-06 May, - 2017, - s.89-91
13. Мадатов, Р.С. Гаджиева, Н.Н. Гусейнов, Н.И. Асадов, Ф.Г. Исследование радиационной модификации структуры слоистых кристаллов сульфида галлия методами колебательной спектроскопии // Международный научный Форум Ядерная наука и технологии, посвященный 60-летию Института ядерной физики, Алматы, Республика Казахстан: - 12-15 сентября, - 2017, - с. 180
14. Madatov, R.S. Huseynov, N.I. Asadov, F.G. Fourier ir-spectra study of the effect of  $\gamma$  - radiation on single crystals of GaS // Третий

- междисциплинарный молодежный научный форум с международным участием «Новые материалы», Москва: - 21-24 ноября, - 2017. - с. 120-122
15. Madatov, R.S. The features of the fourier-ir reflection spectra of  $\gamma$  – irradiated gallium sulphide / Madatov, R.S. Gadzhieva, N.N. Asadov, F.G. Journal of Radiation Research, Baku: - 2018. vol. 5, №1, - p.51-56.
16. Madatov, R.S. Radiation modification of the structure of layer crystals of sulfide gallium / R.S. Madatov, N.N. Gadzhieva, F.G. Asadov [et. al] // Problems of atomic science and technology (ISSN 1562-6016. ВАНТ.), 2018 №5 (117) - p. 116-120
17. Гаджиева, Н.Н. Влияние гамма-радиации на структур слоистых кристаллов сульфида галлия / Н.Н. Гаджиева, Р.С. Мадатов, Ф.Г. Асадов // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, Bakı: - 2018. №5, - s.125-130
18. Гаджиева, Н.Н. Фурье-ИК спектры отражения и оптические свойства  $\gamma$ -облученного сульфида галлия / Н.Н. Гаджиева, Р.С. Мадатов, Ф.Г. Асадов // Azerbaijan journal of physics , Bakı: - 2018, Vol. XXIV, Number 03, - p.29-30
19. Əsədov, F.Q. Qamma şüalarla şüalandırılmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS<Yb> laylı kristallarının səth modifikasiyasının FURYE-KS spektroskopik tədqiqi // II International Scientific Conference of Young Researchers Baku Engineering University, Baku Azerbaijan: - 27-28, April, - 2018, - s.106-107
20. Гаджиева, Н.Н. Мадатов, Р.С. Асадов, Ф.Г. Фурье-ИК спектры отражения и оптические свойства  $\gamma$ -облученного // Akademik N.B. Abdullayevin 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans və məktəb-Bakı: - 24-26 sentiyabr, - s.51
21. Madatov, R.S. Features of the edge photoconductivity of gamma-irradiated layered crystals GaS and GaS:Yb under the strong electric eld / R. S. Madatov, A. S. Alekperov, N. N. Gadzhieva [et al.] // International Journal of Modern Physics B, -2019, vol.33, №9, - p. 1950066-1- 1950066-10

22. Asadov, F.G. AFM-microscopy study of the surface of gamma-irradiated GaS and GaS:Yb layered crystals / F.G. Asadov // Journal of Radiation Researches, -2019, vol.6, №2, 2019, - p.24-29
23. Madatov, R.S. Thermostimulated Luminescence of GaS:Yb Crystals / R.S. Madatov, F.G. Asadov, E.G. Asadov [et al.] // Journal of the Korean Physical Society, -2019, vol.74, №5, -p.508-511
24. Əsədov, F.Q. Qamma kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS:Yb layli monokristallarının səthinin Furiye-İQ spektroskopiyaya metodu ilə tədqiqi / F.Q. Əsədov // Gənc tədqiqatçı, Elmi praktiki-jurnal, - 2019, №2, - s.27-32
25. Pashayev, A.M. IR-spectroscopy and AFM-microscopy of the surface of gamma-irradiated GaS and GaS:Yb layered single crystals / A.M. Pashayev, B.G. Tagiyev, R.S. Madatov [et al.] // Problems of Atomic Science And Technology - 2019, №2 (120) -p. 34-38

## İstifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı

1. Abdinov, Ə.Ş. Optoelektronika / Ə.Ş.Abdinov, N.M.Mehtiyev; - Bakı: Maarif, - 2005, - 410 s.
2. Abdullayev, H. B. Yarımkeçirici çeviricilər / H.B. Abdullayev, Z.Ə. İsgəndərzadə; - Bakı: Elm, - 1974, - 297s.
3. Babayeva, R.F. Qallium və indium monoselenidlərində fotokeçiricilik və elektrolüminessensiyanın bəzi xüsusiyyətləri // AJP Fizika, - 2009, c. XV, №1, s. 58-60.
4. Cahangirov, M.M. Hidrogen ionları ilə implantasiya olunmuş p-GaS laylı monokristalında radiasiya defektlərinin yaranma və dəmlənmə xüsusiyyətləri: / fəlsəfə doktoru, fizika, dis./ – Bakı, 2018. – 156 s.
5. Əsədov, F.Q. GaS laylı monokristallarında rekombinasiya mərkəzlərinə qamma şüalanmanın təsiri // International Youth Forum, Integration Processes of the World Science in the 21<sup>st</sup> century, Ganja, Azerbaijan: - 10 - 14 october, - 2016, - p. 7 - 8.
6. Əsədov, F.Q. Qamma kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səthinin Furiye-İQ spektroskopiyaya metodu ilə tədqiqi // Gənc Tədqiqatçı, Elmi-praktiki jurnal, - 2019. V cild, №2, -s. 27-32.
7. Əsədov, F.Q. Qamma şüalarla şüalandırılmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS<Yb> laylı kristallarının səth modifikasiyasının FURYE-KS spektroskopik tədqiqi // II International Scientific Conference of Young Researchers Baku Engineering University, Baku , Azerbaijan: - 27-28, April, - 2018. - s.106-107.
8. Əsədov, F.Q.  $\gamma$  - şüalanmanın laylı GaS monokristallarında səth və səthyanı proseslərə təsiri // Azərbaycan xalqının Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 91-ci il dönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı, -Bakı: - 18 - 19 aprel, - 2014, - s.19-21.

9. Hacıyeva, N.N. Metal və onların oksidlərinin səthində radiasiya-stimullaşdırılmış heterogen proseslərin spektroskopiyası: / elmlər doktoru, fizika, dis. Avtoreferatı / - Bakı, 2018. – 31 s.
10. Hüseynov, N.İ., Mustafayev, Y.M., Tağıyev, T.B., Əsədov, F.Q. Fotokeçiriciliyin relaksasiyası metodu ilə GaS laylı yarımkeçirici kristallarında tutulma mərkəzlərinin və səth hallarının tədqiqi // BDU - nün 95 illik yubleyinə həsr olunmuş “Fizikanın Müasir Problemləri” VIII Respublika Konfransı, - Bakı:- 24-25 dekabr, - 2014, - s. 137 - 139.
11. Hüseynov, N.İ., Tağıyev, T.B., Əsədov, F.Q. GaS laylı yarımkeçirici kristallarında tutulma mərkəzlərinin tədqiqi // Academic Science Week-2015 International Multidisciplinary Forum, - Bakı, Azərbaycan: - 02-04 November, - 2015, - p. 66-67.
12. Mədətov, R.S., Hüseynov, N.İ., Əsədov, F.Q., Əsədova, Z.İ.  $\gamma$  - şüalanmanın laylı GaS monokristallarında səthyanı proseslərin kinetikasına və elektrik şüalanmasının GaS laylı birləşməsinin fotoelektrik xassələrinə təsiri // Azərbaycan xalqının Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 92-ci ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların III Beynəlxalq Elmi Konfransı, -Bakı: - 17-18 Aprel, - 2015, - s.85-86.
13. Rzayev, R.M.  $A^{III}B^{VI}$  monoselenidlərinin kristalları tipli laylı quruluşlu yarımkeçiricilərdə dreyf çəpərlərinin elektron hadisələrinə təsiri: / elmlər doktoru, fizika, dis.avtoreferatı / - Bakı, 2014. – 38 s.
14. Zərbəliyev, M.M. Yarımkeçiricilər fizikası / M.M. Zərbəliyev, - Bakı: - Təhsil NPM, -2008, - 455 s.
15. Абасова А.З. Радиационные эффекты в монокристаллах слоистых полупроводников  $A^3B^6$ ,  $A^3B^6C^6_2$  и фоточувствительных структурах на их основе:/ Дис. на соиск. учен.степ. док. физ.-мат. наук. - Баку, 1986. - 350с.
16. Абасова, А.З. Радиационно-стимулированные процессы в халькогенидных структурах / А.З.Абасова, Р.С.Мадатов, В.И.Стафеев, - Баку: ЭЛМ, - 2010. – 352 с.



17. Абдинов А.Ш. О влиянии флуктуации состава на фотоэлектрические свойства монокристаллов твердого раствора  $Cd_xHg_{1-x}Te$  / А.Ш.Абдинов // ФТП, - 1984. т.18, №6, - с.1085-1086.
18. Абдинов, А.Ш. Инжекция электронов и электронные уровни в высокоомных монокристаллах сульфида галлия / А.Ш.Абдинов, Я.Г.Гасанов, И.М.Мехтиев [и др.] // ФТП, - 1975. т.9, №7, - с.1429-1431.
19. Абдинов, А.Ш. ВАХ высокоомных монокристаллов слоистых соединений  $A^3B^6$  / А.Ш.Абдинов, Я.Г.Гасанов, Ф.П.Мамедов // ФТП, - 1982. т.6, в.16, - с.993-999.
20. Абдинов, А.Ш. Электронные явления в неоднородных полупроводниках типа соединений  $A^{III}B^{VI}$  со слоистой структурой: / Дис. на соиск. учен. степ. док. физ.-мат. наук. - Баку, 1978. – 180 с.
21. Абдуллаев, Г.Б. Взаимодействие лазерного излучения с полупроводниками типа  $A^{III}B^{VI}$  / Г.Б.Абдуллаев, Э.Ю.Салаев, В.М.Салманов. - Баку: ЭЛМ, - 1979, - 137с.
22. Абрикосов, Н.Х. Чижевская С.Н. Полупроводниковые халькогениды и сплавы на их основе / Н.Х.Абрикосов, В.Ф.Банкина, Л.В. Порецкая [и др.]. - М.: Наука, - 1975. - с. 218.
23. Алекперов, О.З. Влияние вакансий серы на ФП моносульфида галлия в УФ-области спектра / О.З.Алекперов, М.З.Зарбалиев // Неорганические материалы, - 1998. т.34, №10, - с.1163-1167.
24. Аллахвердиев, К.Р. Динамические и статические нелинейные эффекты в слоистых кристаллах типа селенида галлия / К.Р. Аллахвердиев, Э.Ю. Салаев, - Баку: Элм, - 1993. - 230с.
25. Аллахвердиев, К.Р. Колебательный спектр и оптические свойства монокристаллов GaS и GaSe. / К.Р. Аллахвердиев, Р.Х. Нани, Э.Ю. Салаев [и др.] // Известия АН Азерб.ССР. серия физико-технических и математических наук, - 1976, №4, - с.19-25.
26. Ананьина, Д.Б. Обособенностях фотопроводимости в области сильного поглощения полупроводниковых материалов со слоистой и дефектной

- структурой / Д.Б. Ананьина, В.Л. Бакуменко, Л.Н. Курбатов [и др.] // ФТП, - 1976, т.10, №12, - с. 2373-2375.
27. Асадов, Ф.Г. Влияние гамма облучения на ик спектры поглощения на кристаллов GaS // XXIII международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» Секция «Физика», - Москва: 2016, - с. 65-66.
28. Асадов, Э.Г. Термостимулированная люминесценция кристалла  $\text{Ca}(\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x})_2\text{S}_4:\text{Eu}^{2+}$  / Е.Г.Асадов, Ф.А.Казимова, Ибрагимов Т. Ш. [ и др.] // Письма в ЖТФ, – 2017. т.43, №4, – с. 39–46.
29. Аскеров, К.А. Дефектообразование и диффузионные процессы в некоторых слоистых полупроводниках / К.А.Аскеров, Ф.А.Исаев, Д.Г.Амиров. - Баку.: Азерб.Гос.Издательство, - 1991. - 125с.
30. Ахундов, Г.А. Исследование электролюминесценции монокристаллов GaSe / Г.А.Ахундов, И.Г.Аксянов //Опт.и спектроскопия, - 1966. т.19, № 2, -с. 302-303.
31. Ахундов, Г.А. Токи, ограниченные пространственным зарядом (ТОПЗ), в высокоомных кристаллах p-GaSe / Г.А.Ахундов, А.Ш.Абдинов, Н.М.Мехтиев // В сб. «Пробл. Диэлект. электроники», - Ташкент.: «ФАН», - 1974. - с. 127-133.
32. Ахундов, Г.А. Фотолюминесценция монокристаллов  $\text{GaS}_x\text{Se}_{1-x}$  / Г.А.Ахундов, Г.М.Гасумов, Ф.И.Исмаилов // Оптика и спектроскопия, - 1969, 26(4), с. 642-643.
33. Батырев, А.С. // Исследование экситонной структуры в спектрах фотопроводимости кристаллов CdS / А.С. Батырев, Р.А. Бисенгалиев, О.Э. Ботов [и др.] // ФТТ, - 1998. 40(5), с. 941-943.
34. Батырев, А.С. Влияние подсветки инфракрасным светом на спектры фототока кристаллов CdS / А.С. Батырев, Э.Д. Батырев, Р.А. Бисенгалиев [и др.]// ФТТ, -1999. 41(7), с. 1181-1184.

35. Батырев, А.С. Спектральный фоторезистивный эффект поля в кристаллах CdS при низких температурах / А.С.Батырев, Р.А.Бисенгалиев, Н.В.Жукова [и др.]// ФТТ, - 2003. т.45, №11, - с.1961-1965.
36. Беленький, Г.Л. Электронные и колебательные спектры слоистых полупроводников группы  $A^3B^6$  / Г.Л. Беленький, В.Б. Стопачинский// УФН, - 1983. т.140, в. 2, с- 233-236. 35, 90
37. Болтина, Б.И. Точечные дефекты в полупроводниках, сер Новости физики твердого тела / под ред. Б.И.Болтина, Т.В.Машовец. - М.: Мир, № 9, - 1979, - 489 с.
38. Брудный, В.Н. Электронные свойства облученных полупроводников, модель закрепления уровня Ферми / В.Н.Брудный, С.Н.Гриняев // ФТП, - 2003. т.3, №.5, - с.344-370.
39. Бьюб, Р. Фотопроводимость твердых тел. / Р.Бьюб М.: - 1962. – 546 с.
40. Бюрен, В. Дефекты в кристаллах / Ван-Бюрен, - М.: Физматгиз, - 1962. - 270с.
41. Вавилов В.С. Действие излучений на полупроводники / В.С.Вавилов, - М.: Физматгиз, - 1963. - 264 с.
42. Гаджиева Н.Н., Мадатов Р.С., Асадов Ф.Г. Фурье-ИК спектры отражения и оптические свойства  $\gamma$ -облученного сульфида галлия / Azerbaijan journal of physics , Bakı: - 2018, Vol. XXIV, Number 03, - p.29-30.
43. Гаджиева, Н.Н. ИК-спектры отражения термо обработанного оксида бериллия / Н.Н.Гаджиева, М.М.Алиев, Х.И.Абдуллаева [и др.] // Журн. прикладной спектроскопии, - 1991. т.54, №1, - с.163.
44. Гаджиева, Н.Н., Мадатов Р.С., Асадов Ф.Г. Влияние гамма-радиации на структур слоистых кристаллов сульфида галлия / AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMIYASININ XƏBƏRLƏRİ, Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, Bakı: - 2018. №5, - s.125-130.
45. Гаджиева, Н.Н., Мадатов, Р.С., Асадов, Ф.Г. Фурье-ИК спектры отражения и оптические свойства  $\gamma$ -облученного // Akademik Н.В.

Abdullayevin 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans və məktəb. -Bakı:  
- 24-26 sentyabr, 2018, - s.51.

- 46.Гарибов, А.А. Спектрометрия ионного рассеяния и комбинационное рассеяние света в монокристаллах GaS, подвергнутых облучению водородом с энергией 140кэВ / А.А.Гарибов, Р.С.Мадатов, Ф.Ф. Комаров [и др.] // ФТП, - 2015,т.49, №5, - с.599-602.
- 47.Гасанова, Н.А. Об оптическом отражении моно кристаллов GaS и GaSe / Н.А.Гасанова, Г.А.Ахундов // Оптика и спектроскопия, - 1966, т. 20, № 2, - с.353-354.
- 48.Гросс, Е.Ф. Структура спектральных кривых фотопроводимости в кристаллах сернистого кадмия / Е.Ф. Гросс, Б.В. Новиков // ФТТ, - 1969. 1 (3), с - 357-362.
- 49.Зуев, В.А. Неравновесные поверхностные процессы в полупроводниках и приборах / В.А. Зуев, А.В. Саченко, К.Б.Толпыго // Сов. Радио, - 1977. с- 356.
- 50.Исаев,Ф.К. Действие ионизирующих излучений на фоточувствительные пленки халькогенидов свинца и кадмия. [Ред. К. Р. Аллахвердиев] / Исаев Ф.К., Заитов Ф.А., Матершев Ю.В. [и др.], - Баку: Элм, - 1988. - 71 с.
- 51.Исмаилов, Ф.И. Анизотропия электрических свойств селенида галлия / Ф.И.Исмаилов, Г.А.Ахундов // Изв. АН СССР. Сер. Физ.-техн. и мат. н. – 1971. №4, - с. 68-71.
- 52.Караман, М.И. Спектры возбуждения и фотолюминесценции кристаллов  $GaS_xSe_{1-x}$  / М.И.Караман, В.П.Мушинский // ФТП, - 1970, - т. 4, - с. 560-562.
- 53.Мадатов, Р.С. Оптические и фотоэлектрические свойства слоистых монокристаллы GaS:Er, облученных гамма –квантами Неорганические материалы / Р.С. Мадатов, А.И. Наджафов, Т.Б. Тагиев [и др.]// Неорганические материалы, - 2008. т.44, №4, - с.396-399.
- 54.Мадатов, Р.С. Оптические и фотоэлектрические свойства в слоистых монокристаллов сульфида галлия облученных  $\gamma$ -квантами / Р.С.Мадатов,

- А.И.Наджафов, Т.Б.Тагиев // Доклады НАН Азербайджана, - 2005. т.61, №.2, - с. 36-43.
- 55.Мадатов, Р.С., Аббасова, Т.З., Тагиев, Т.Б., Шекили, Ш.П. Влияние электронного облучения на фотоэлектрические свойства в слоистых полупроводниках  $A^3B^6$  // Международная Конференция “FIZIKA-2005”, - Баку.: ЕЛМ, - 2005.- с. 373–375.
- 56.Мадатов, Р.С., Гаджиева, Н.Н., Гусейнов, Н.И., Асадов, Ф.Г. Исследование радиационной модификации структуры слоистых кристаллов сульфида галлия методами колебательной спектроскопии// Международный научный форум ядерная наука и технологии, посвященный 60-летию Института ядерной физики, - Алматы, Республика Казахстан: - 12-15 сентября, - 2017, - с. 180.
- 57.Мадатов, Р.С., Гаджиева, Н.Н., Гусейнов, Н.И., Асадов, Ф.Г.Влияние радиации на структурные дефект слоистых монокристаллов GaS //Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 94-cü ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların I Beynəlxalq Elmi Konfransı, - Bakı: - 05-06 May, - 2017, - s.89-91.
- 58.Марваков, Д.Й. Зонная структура и динамика решётки GaS: / Дис. на соиск. учен. степ. док. физ.- мат. наук. / -Одесса, - 1978. - 170 с.
- 59.Мехрабова, М.А. Электронная структура дефектных и примесных полупроводников  $A^3B^6$  / М.А.Мехрабова, З.А. Джахангирли // Изв.НАНА, - Баку: ЕЛМ, - 2005. т.25, №5, - с.180-189.
- 60.Мушинский, В.П. Оптические свойства халькогенидовгаллия и индия / В.П.Мушинский, М.И.Караман. - Кишинев.: Штиинца, - 1973. -71 с.
- 61.Наджафов Н.А., Политипизм и полиморфизм в кристаллах  $A^3B^3C_2^6$  и в ихдвойных аналогах: / Диссерт. на соиск. уч. степ. докт. хим. наук, Баку, - 2008. 457с.
- 62.Наджафов, А.И. Влияние  $\gamma$ -облучения на спектры ФП монокристаллов GaS и GaS легированного Yb / А.И. Наджафов, О.З. Алекперов // Неорганические материалы, - 1991. т.27, №11, - с. 2432-2433.

63. Парфенов, В.В. Физика Полупроводников (методическое пособие к практикуму по физике твердого тела) / В.В. Парфенов, Р.Х. Закиров, - Казань, Физический факультет Казанского государственного университета, - 2001, - с.60.
64. Пикаев, А.К. Современная радиационная химия. Радиолит газы и жидкостей / А.К. Пикаев, - М.: Наука, - 1986. - 433 с.
65. Пустоваров, В.А. Термостимулированная люминесценция твердых тел / В.А. Пустоваров. Екатеринбург: Гоиупоиугту-упи, -2003, -41 с.
66. Ржанов, А.В. Электронные процессы на поверхности *полупроводников* / А.В. Ржанов. - М: Наука, - 1971. - 480 с.
67. Рзаев, Р. М. Электронные свойства монокристаллов селенида галлия, легированных диспрозиом: / дис. канд. физ.-мат. наук. - Баку, - 1999. - 136 с.
68. Рустамов, П.Г. Исследование взаимодействия в GaS-YbS / П.Г. Рустамов, О.М. Алиев, Т.Х. Курбанов [и др.] // Изв. АН СССР, Неорганические материалы, - 1977. т.13, №10, - с. 1748-1751.
69. Рывкин, С.М. Фотоэлектрические явления в полупроводниках / Рывкин С.М. Гос. Изд. Физ. Мат., Лит. - Москва: - 1963 г. - 496 с.
70. Смирнов, И.С. Влияние поля механических напряжений на радиационное дефектообразование в кремнии / И.С. Смирнов, М.Б. Нестеров, Е.А. Лукичева [и др.] // Материалы электронной техники. Межвузовский сборник научных трудов. - М.: МИЭМ, - 1990. с. 113-120.
71. Смит, Т. Полупроводники / Т. Смит. - М.: Мир, - 1978, - 658 с.
72. Соболев, В.В. Зоны и экситоны халькогенида галлия, индия и таллия / / В. В. Соболев, - Кишинев, Шитиница, - 1982. - с.272.
73. Тагиев, Б.Г. Люминесценция слоистых кристаллов GaS: Er и GaS: Er, Yb / Тагиев Б.Г., Тагиев О.Б., Ибрагимов З.А. [и др.] // Fizika, - 2007. Т. XIII, № 1-2, - с. 292-294.

74. Тагиев, Б.Г. Уровни прилипания в монокристаллах GaS: Yb / Б.Г. Тагиев, Г.М. Нифтиев, С.А. Абушов // Электронная техника, «Материалы», - 1984. № 2, - с. 29-31.
75. Тагиев, Б.Г. Фото и термолюминесценция кристаллов GaS активированных иттербием / Б.Г. Тагиев, С.А. Абушов, О.Б. Тагиев [и др.] // АМЕА Хəбərləг, - 2011. №2, - 60 – 64 с.
76. Тагиев, Б.Г. Фото- и электролюминесценция  $\text{Er}^{3+}$  в монокристаллах GaS / Б.Г. Тагиев, Г.М. Нифтиев, Ф.Ш. Айдаев [и др.] // Оптика и спектроскопия, - 1987, т. 62, № 2, - с. 461-464.
77. Тагиев, Б.Г. Электролюминесценция и инжекционные токи в монокристаллах GaS:Ho. / Б.Г. Тагиев, Ф.Ш. Айдаев // ФТП, - 1986, т. 20, №. 4, с. 723-726.
78. Тагиев, Б.Г. Энергетический спектр локальных уровней в халькогенидах галлия / Б.Г. Тагиев, Г.М. Нифтиев, Н.А. Алиев [и др.] // Известия АН АзССР, сер. физ. – техн. и мат. наук, - 1978. №4, - с. 67-80.
79. Тележкин, В.А. Теория электронной структуры радиационных дефектов в полупроводниках / В.А. Тележкин, К.Б. Толпыго // ФТП, 1982, т. 16, №8, 1337-1364 с.
80. Шалимова, К.В. Физика полупроводников / К.В. Шалимова, -М.: Энергоатомиздат, - 1985. - 391с.
81. Шекили Ш.П., Неравновесие электронные процессы слоистых монокристаллах p-GaS, облученных гамма квантами:/ Диссерт. на соиск. уч. степ. канд. физ.-мат. наук, - Баку, 2006. - 137с.
82. Шефталь, Н.Н. Процессы роста и выращивание монокристаллов / Н.Н. Шефталь, - М.: - 1963, - с.534.
83. Abasova, A.Z. Radiation-stimulated processes in chalcogenide structures / A.Z. Abasova, R.S. Madatov, V.I. Stafeev [et al.] / -Baku: ELM, - 2011, - 352 p.

84. Abdullaev, G.B. Interlayer Interaction and Exsiton Spectrum of GaSe at Low Temperatures / G.B.Abdullaev, G.L.Belenkii, E.YuSalaev [et al.] // NuovoCim., - 1977. B38, №2, - p.469-477.
85. Aitasalo, T. Low temperature thermoluminescence properties of  $\text{Eu}^{2+}$  and  $\text{R}^{3+}$  doped  $\text{CaAl}_2\text{O}_4$  /T.Aitasalo, A.Durygin, J.Holsa [et al.] // J. Alloys Compd, – 2004,v.380, iss.1-2, – p. 4 – 8 .
86. Akhundov, G.A. Electroluminescence of GaSe Single Crystals Excited by Square pulses / G.A.Akhundov, I.G.Aksyanov, A.C.Bagirov // Phys. Stat. Sol., - 1966, v.17, - p. 225-227.
87. Allahverdiyev, K.R. Optical properties and vibrational spectra of layered and chain crystals of groups  $\text{A}^3\text{B}^6$ ,  $\text{A}^3\text{B}^6\text{C}^{26}$  and solid solutions based on them: / at the soc.ch. step. phys. Sciences, dis. - Baku, 1980. - 313 p.
88. Allakhverdiev, K.R. Lattice vibrations of pure and doped GaSe / K.R. Allakhverdiev, T. Baykara, S. Ellialtioglu, [et al.] // Materials Research Bulletin, - 2006. 41 (4), - p. 751-763.
89. Al-Orainy, R.H. Growth, Characterization and Electrical Anisotropy in Layered Chalcogenide Gallium Monosulphide Single Crystals, Growth, Characterization and Electrical Anisotropy / JKAU: Sci., Vol. 22 No. 2, 2010 pp: 3-12.
90. Anishia, S.R. Thermoluminescence properties of rare earth doped lithium magnesium borate phosphors. / S.R. Anishia, M.T. Jose, O. Annalakshmi [et al.] // Journal of Luminescence, – 2011, v.131, – p.2492 – 2498. 82
91. Asadov, F.G. AFM-microscopy study of the surface of gamma-irradiated GaS and GaS:Yb layered crystals // Journal of Radiation Researches, -2019, vol.6, №2, 2019, - p.24-29.
92. Augelli, V. Hall mobility Anisotropy in GaSe/ V.Augelli, C.Manfredotti, R.Murri [et al.] // Phys. Rev., - 1978, v.17, №8, - p.3221-3226.
93. Augelli, V. Resistivity anisotropy in p-type GaSe / Augelli V., Manfredotti C., Murri R. [et.al] // Il NuovoCimento B. – 1978. v. 47, No 1, - p. 101-103.



94. Bassani, F. Band structure and Optical Properties of Graphite and of the Layer Compounds GaS and GaSe / F. Bassani, G. Pastori, G. Parravicini // NuovoCimento., - 1967. v.L , № 1, - p. 95-128.
95. Baydullaeva, A. Raman spectra of GaSe single crystals exposed to laser irradiation / A. Baydullaeva, Z.K. Vlasenko, B.K. Daulet-muratov [et al.] // Semiconductors, - 2005. 39(4), - p. 406-411.
96. Belenkii, G.L. Excitons in gallium sulfide / G.L. Belenkii, M.O. Godzhaev // Phys. Stat. Sol(b), - 1978. v. 85, № 2, - p. 453-455.
97. Belenky, G.L. Deformational phenomena in layered crystals / G.L. Belenky, E.Yu. Salaev, R.A. Suleymanov // Physics-Uspekhi. – 1988. 1559 (1), - p. 89-100.
98. Böer, K.W. Electrothermal initiation of an electronic switching mechanism in semiconducting glasses / K.W. Böer, S.R. Ovshinsky // J. Appl. Phys. – 1970. v.41, - p. 2675–2681.
99. Carlik, G.F.J. The electrons trap mechanism of luminescence in sulphide and silicate phosphors / G.F.J. Carlik, A.F. Gibson // Proc. Phys. Soc.-London, – 1948, v.60, No.6, – p.574-590 .
100. Catalano, I.M. Anti-stokes photon Replica Emission in GaS under two photon Excitation / I.M. Catalano, A. Cingolani, A. Minafra // Solid Stat. Communs., - 1977, v.22, № 4, p. 225-226.
101. Cui, Y. Acceptor levels in GaSe:In crystals investigated by deep-level transient spectroscopy and photoluminescence / , Dupere R., Burger A., Johnstone D. [et.al] // J. Appl. Phys., 2008, Vol. 103, pp. 013710-1-4
102. De Blasi, C. Hole centres in n – GaS / C. De Blasi, S. Galassini, G. Micocci [et.al] // Phys. Stat. Sol. (a). – 1980. v. 58, No 2, - p. 609-613.
103. Delice, S. Low-temperature thermoluminescence study of GaSe:Mn layered single crystals / S. Delice, N. M. Gasanly // Philosophical Magazine, – 2016, v.96, No.2, – p.112-121.
104. Depersinge, Y. Electronic properties of the Layer III-VI Semiconductors. A Comparative Study. // NuovoCim., - 1981. v. 64, №1, - p.111-150.

105. Fischer, G. Speculation of Band Structure of the Layer Compounds Gas and GaSe // *Helv. Phys. Acta*, - 1963. v.36, №3, - p.317-333.
106. Fivaz, R. Electron-Phonon Interaction in Semiconducting Layers Structures / R.Fivaz, E.Mooser // *IL. NuovoCimento.*, - 1964. v. 136A., №3, p. 833-836.
107. Gamal, G. Photoelectric studies of gallium monosulfide single crystals / G.Gamal, M.Azad // *J. Phys. Chem. Sol.*, - 2005. v. 66, No 1, - p. 5-10.
108. Garcia, A. Charge transfer excitation of the  $\text{Nd}^{3+}$ ,  $\text{Sm}^{3+}$ ,  $\text{Dy}^{3+}$ ,  $\text{Ho}^{3+}$ ,  $\text{Er}^{3+}$  and  $\text{Tm}^{3+}$  emission in  $\text{CaGa}_2\text{S}_4$  / A.Garcia, F.Gullen, C.Fouassier // *Journal of Luminescence*, - 1985, v.33, - p.15 - 27.
109. Garibov, A.A. Ion scattering spectroscopy and Raman scattering of light in GaS single crystals subjected to irradiation with 140-keV hydrogen / A.A. Garibov, R.S. Madatov, F.F. Komarov [et al.] // *Semiconductors*, - 2015, 49(5), - p. 599-604.
110. Garibov, A.A. Structural and optical Properties of GaS Single Crystals irradiated by hydrogen / A.A. Garibov, R.S. Madatov, Y. Mustafaev [et al.] // *Journal of Electronic Materials, The Minerals, Metals Materials Society*, - 2015. 44 (10), p. 3375-3379.
111. Gasanly, N. Trapping centers in undoped GaS layered single crystals / N.Gasanly, A.Aydinli, N.Yüksek [et al.] // *Appl. Phys. A: Materials Science & Processing*, - 2003. v. 77, No 3 - 4, - p. 603-606.
112. Gasanly, N.M. Temperature Dependence of the First-order Raman Scattering in GaS Layered Crystals / N.M. Gasanly, A. Aydinli, H.Ozkan [et al.] // *Solid State Commun.*, - 2000. 116, - p. 147-151.
113. Gasanly, N.M. Temperature dependence of the first-order Raman scattering in GaS layered crystals / N.M. Gasanly, A. Aydönlö, H.O. Èzkan [et al.] // *Sol. St. Communicat*, - 2000. 116, - p. 147-151.
114. Hanh Von, H. Über die Kristallstructure des GaS / H.Hanh Von, G.Frank // *Z. fürAnorg. Allgem. Chem.*, - 1955. Bd. 278, - p. 340-348
115. Harrison, W.A. Bond-Orbital Model and the Properties of Tetrahedrally Coordinated Solids // *Phys.Rev.*, - 1973. B8, - p.4487-4498.

116. Hirano, M. Luminescence of  $Tb_{1-x}Y_xPO_4$  under the strong and selective excitation of  $^5D_4$  of  $Tb^{3+}$  ion / M.Hirano, Sh. Shionoya // J. Phys. Soc. Jap., - 1972. v. 33, - p. 112–117.
117. Huseynov N.I., Mustafayev Y.M., Asadov F.G. Study of recombination centers in GaS according to photoconductivity relaxation // VII Eurasian Conference “Nuclear Science its Application”, - Baku: - 21-24 October, - 2014, - p.239.
118. Huseynov, N.I,AsadovF.G. Effect of  $\gamma$ -irradiation on fourier-ir spectra of single crystals of gallium sulfide // Proceeding Of Young Scientists, - Baku: - 2016, №13, - s. 13-18.
119. Huseynov, N.I. Influence of  $\gamma$ -irradiation and annealing on FR IR-spectra of absorption of layered crystals GaS / N.I.Huseynov, N.N.Gadzhieva, F.G.Asadov // Journal of Radiation Research, - Baku: -2015. 2, - p.11-15.
120. Isik, M. Annealing effect on the low temperature thermoluminescence properties of GaSe single crystals / M. Isik, W. Hadibrata, N.M. Gasanly // Journal of Luminescence, – 2014, v.154, – p.131 – 135.
121. Jakhangirli, Z.A. Calculation of the electronic structure of vacancies in GaSe by the Green's function method / Z.A. Jakhangirli, M.A. Mekhrabova // IzvestiyaVysshikhUchebnykhZavedenii. Physics. – 2006. 11, - p. 8 - 12.
122. Kamimura, H. Band Structure and Optical Properties of Semiconducting Layer Compounds GaS and GaSe / H.Kamimura, K.Nakao // J. Phys. Sos. Japan, - 1968. № 24, - p. 1313.
123. Kazymzadeh, A.G. Detectors of optical radiation based on layered crystals of GaSe and InSe / A.G. Kazymzadeh, A.A. Agaeva, V.V. Salmanov[et al.] // Technical Physics. The Russian Journal of Applied Physics. – 2007. 77(12), - p. 80-85.
124. Kipperman, A.H.M. Hall-Effect Measurements on Gallium Sulfide Single Crystals / A.H.M.Kipperman, C.J.Vermis // NuovoCim., - 1969. v.63, №1, - p. 29-35.

125. Kitis, G. Kinetic parameters of some tissue equivalent thermoluminescence materials / G. Kitis, C. Furetta, M. Prokic [et al.] // Journal of Physics, –2000, v.33, No.11, – p.1252-1262.
126. Kovalyuk, Z.D. Influence of neutron irradiation on the photoelectric parameters of ITO-GaSe structures / Z.D. Kovalyuk, P.G. Litovchenko, O.A. Poli-tanskaya [et al.] // Semiconductors, - 2007. 41(5), - p. 570-576.
127. Kuroda, N. Davydov splitting of degenerate lattice modes in the layer compound GaS / N. Kuroda, Y. Nishina // Physical Review B, - 1979. 19 (2), - p. 1312 – 1315.
128. Kurodok, N. Near-edge spontaneous photoluminescence in  $\text{GaSe}_{1-x}\text{S}_x$ . / N.Kurodok, J.Nishina // Phys.Stat.Sol.(b), - 1975. v.72, №1, - p.81-89.
129. Lashkarev, V.Ye. Nonequilibrium Processes in Semiconductors / V.Ye.Lashkarev.,A.V.Lyubchenko., M.C.Sheynkman / -Kiev: NaukovaDumka, - 1981. - p.264.
130. Madatov R.S. Radiation Effect on Layered Crystals of GaS and  $\text{GaS}\langle\text{Yb}\rangle$  / R.S.Madatov, N.N. Gadzhieva, A.I. Nadjafov [et al.] // Colloid and Surface Science, - 2017. 2 (1), - p. 43-46. 120
131. Madatov, R. S. Features of the edge photoconductivity of gamma-irradiated layered crystals GaS and  $\text{GaS}:\text{Yb}$  under the strong electric field / R.S. Madatov, A.S. Alekperov, N.N. Gadzhieva[et al.] // International Journal of Modern Physics B, -2019, vol.33, №9, - p. 1950066-1- 1950066-10.
132. Madatov, R.S. Optical and photoelectrical properties of lamellar gallium sulfide single crystals irradiated by gamma-quanta / R.S.Madatov, T.B.Tagiyev, A.I.Najafov [et al.] // Semiconductor Physics,Quantum Electronics and Optoelectronics, - 2006. v.9, №2, - p. 8-11.
133. Madatov, R.S. Injection currents in lamellar crystals of gallium telluride / R.S. Madatov, T.B. Tagiyev, I.A. Gabulov [et al.] // Semiconductor Physics Quantum Electronics & Optoelectronics. -2003. c. 6, № 3; p. 278-281

134. Madatov, R.S. Optical and photoelectric properties of  $\gamma$ -rays irradiated GaS: Er<sup>3+</sup> layered crystals / R.S Madatov, T.B Tagiyev, S.A Abushev [et al.] // Neorganicheskie Materialy-2008 v. 44(4); p. 396-399.
135. Madatov, R.S. Radiation modification of the structure of layer crystals of sulfide gallium / R.S. Madatov, N.N.Gadzhieva, F.G.Asadov[et al.]//Problems of atomic science and technology (ISSN 1562-6016. BAHT.), - 2018. №5, - p. 116-120.
136. Madatov, R.S. The features of the fourier-ir reflection spectra of  $\gamma$  – irradiated gallium sulphide /R.S.Madatov, N.N.Gadzhieva, F.G.Asadov // Journal of Radiation Research, - Baku: - 2018. v. 5, №1, - p.51-56.
137. Madatov, R.S. The features of the fourier-ir reflection spectra of  $\gamma$  – irradiated gallium sulphide /R.S.Madatov, N.N.Gadzhieva, F.G.Asadov // Journal of Radiation Research, - Baku: - 2018. v. 5, №1, - p.51-56.
138. Madatov, R.S., Huseynov, N.I., Asadov, F.G. Fourier ir-spectra study of the effect of  $\gamma$ -radiation on single crystals of GaS // Третий междисциплинарный молодежный научный форум с международным участием «Новые материалы», - Москва: - 21-24 ноября, 2017. - с. 120-122.
139. Madatov, R.S. Thermostimulated Luminescence of GaS:Yb Crystals /R.S. Madatov, F.G.Asadov, E.G.Asadov [et al.]// Journal of the Korean Physical Society, -2019.v.74, №5, -p.508-511.
140. Manfredotti, C. Electrical properties of p- type GaSe / C.Manfredotti, A.M Mancini, R.Murri [et al.] // Il NuovoCimento B, - 1977. v. 39, No 1, - p. 257-268.
141. Manfredotti, C. Electron traps in GaS / C. Manfredotti, C. De Blasi, S.Galassini // Sol. Stat. Commun., - 1976. v. 18, No 8, - p. 1063-1066.
142. Manfredotti, C. Hall effect in n-type GaS / C.Manfredotti, R.Murri, A.Rizzo [et al.] // Sol. Stat. Commun., - 1976. v. 19, No 4, - p. 339-342.

143. Mekhrabova, M.A. Calculation of the electronic structure of vacancies and their compensated states in  $A^3B^6$  semiconductors / M.A. Mekhrabova, R.S. Madatov // *Semiconductors*, - 2011, 45 (8), - p. 1031-1037.
144. Micocci, G. Investigation of electronic properties of gallium sulfide single crystals grown by iodine chemical transport / G.Micocci, R.Rella, P.Siciliano, A.Tepore // *J. Appl. Phys.*, 1990, v. 68, No 1, p. 138-142.
145. Pashayev, A.M. IR-spectroscopy and AFM-microscopy of the surface of gamma-irradiated GaS and GaS:Yb layered single crystals / A.M. Pashayev, B.G. Tagiyev, R.S. Madatov [et al.] // *IR-spectroscopy and AFM-microscopy of the surface of gamma-irradiated GaS and GaS:Yb layered single crystals* /// *Problems of Atomic Science And Technology* - 2019, №2 (120) -p. 34-38.
146. Phillips, J.C. *The Fundamental Optical Spectra of Solids* // - New-York – London. Acad. Press.: *Solid State Phys.*, - 1966. - v. 18, - p. 55-164.
147. Pikaev, A.K. *Dosimetry in radiation chemistry* / A.K. Pikaev. - M.: Nauka, - 1975. - 311 p.
148. Rizzo, A. Electrical properties of n-type GaS single crystals / A.Rizzo, C. De Blasi, S. Galassini, [et al.] // *Sol. St. Commun.*, - 1981, v. 40, No 5, - p. 641-644.
149. Romeo, N. Memory switching in GaSe, GaS and  $GaS_xSe_{x-1}$  ( $0 < x < 1$ ) single crystals // *J. Appl. Phys.*, - 1971, v. 42, No 9, - p. 3643-3644.
150. Schlitter, M. *The Electronic Structure of GaSe.* // *Nuovo Cim.*, - 1973. v.13B, №12, - p.313-360.
151. Schmid, Ph. Impurity effects on low temperature photoluminescence of GaSe / Ph. Schmid, J.P. Voitchovsky, A. Mercier // *Phys. Stat. Sol. (a)*, - 1974. v. 21, No 2, - p. 443–450.
152. Shubert, K. *Kritallstrukturen des GaSe* / K.Shubert, E.Dorre // *Z.Naturwiss.*, - 1955. v. 40, № 21, - p. 604-605.
153. Springford, M. *The Luminescence characteristics of Some group III-VI Compounds* // *Proc. Phys. Soc.*, - 1963, v.82, - p.1020-1028.

154. Szałajko, M. The influence of light intensity on surface recombination in GaS single crystals / M.Szałajko, M.Nowak // Applied Surface Science, - 2007. v. 253, No 7, p. 3636-3641.
155. Zalvan, F., Benoit a la Guillaeme, Deborer J.M. Relative Recombination in High Excited GaS // Phys.Rev., - 1977, v.24, №2, - p.567-580.
156. Zieth, R.M.A. Model for n-type and p-type Gallium sulfide / R.M.A.Zieth, F.A.Van der Maesen // Phys. Stat. Sol(a), 1972, v.10, p. 73-81.

## İxtisarlara və şərti işarələrin siyahısı

$E_g$  - qadağan olunmuş zonanın eni

$I_f$  - fotocərəyan

$\mu$  - sərbəst yükdaşıyıcıların yürüklüyü

$m^*$  - effektiv kütlə

$T$  - mütləq temperatur

**VAX** - volt-ampere xarakteristikası

**İQ** - infraqırmızı

**AQM** - atom-qüvvə mikroskopu

$\text{Å}$  – anqstrom

**MD** - mikrodefekt

**FK** - fotokeçiricilik

$D_\gamma$  - qamma şüalanmanın dozası

$\epsilon$  - dielektrik nüfuzluğu

$\sigma$  - elektrik keçiriciliyi

**FL** - fotolüminessensiya

**EL** - elektrolüminessensiya

**EPR** - elektron Paramaqnit Rezonans

**E** - elektrik sahəsinin intensivliyi

**UBFK** - ultrabənövşəyi fotokeçiriciliyi

**FYMC** - Fəza yükləri ilə məhdudlanan cərəyan

**PICTS** - fotoinduksiya cərəyanı

**TSC** - termostimullaşdırılmış cərəyan

**NTE** - nadir torpaq elementləri

**XRD** - Rentgen difraksiya metodu

**TL** - termolüminessensiya