

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazma hüququnda

QAMMA KVANTLARLA ŞÜALANDIRILMIŞ LAYLI GaS və GaS:Yb MONOKRİSTALLARINDA SƏTH PROSESLƏRİ

İxtisas: 2225.01 – Radiasiya materialşünaslığı

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Fərqan Qabil oğlu Əsədov**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı-2021

Dissertasiya işi Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Radiasiya Problemləri İnstitutu “Yarımkeçiricilərin radasiya fizikası” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər: Kimya elmləri doktoru, dosent
Arzu İslam oğlu Nəcəfov
Fizika elmləri doktoru, dosent
Nüşabə Nübarək qızı Hacıyeva

Rəsmi opponentlər: AMEA-nın həqiqi üzvü,
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Abdinov Cavad Şahvələd oğlu

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Abasova Adilə Ziyat qızı

Fizika üzrə fələfə doktoru, dosent
Əhmədov Fərid İbrahim oğlu

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.21 Dissertasiya şurası

Dissertasiya şurasının sədri:
AMEA-nın müxbir üzvü,
fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor

Oqtay Əbil oğlu Səmədov

Dissertasiya şurasının elmi katibi:
Fizika - riyaziyyat elmləri namizədi

Müslüm Əhməd oğlu Məmmədov

Elmi seminarın sədri:
Fizika elmləri doktoru, dosent

Mətanət Əhməd qızı Mehrabova

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

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

Mikroelektronikada, fotoelektronikada və optoelektronikada Si, GaAs və s. materiallarından geniş istifadə edilir və onların radiasiya şüalarına davamlılığının artırılması məqsədi ilə 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 üsulu yarımkeçirici materialların modifikasiya edilməsində, xüsusən Si və GaAs yarımkeçirici materiallarının xassələrinin məqsədyönlü idarə edilməsi prosesində 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 oblastında 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 təsirinin öyrənilməsi praktiki və elmi cəhətdən böyük 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 səthəyini 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 digər 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 mühüm nümayəndəsi olan GaS monokristalı tədqiqat obyekti olaraq seçilmişdir. GaS monokristalında komponent elementlərinin lay daxilində yerləşməsi S-Ga-Ga-S qaydasına təbə 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 geniş tədqiq olunmasına baxmayaraq onlarda cərəyanın keçmə mexanizminə səth və radiasiya defektlərinin birgə təsirinin xüsusiyyətləri tədqiq edilməmişdir. Elmi ədəbiyyatdan məlumdur ki, laylı kristallarda səthəyini oblastda rabitəsi qırılmış atomlar olmadığından, bu kristallar xarici təsirlərə qarşı yüksək davamlılığa malikdir ¹. Bu səbəbdən laylı kristallarda səthəyini oblastda atomlar nizamlı düzülüşə malik olduğundan səthin mexaniki və kimyəvi emala ehtiyacı yoxdur. Ancaq laylı kristallar əsasında hazırlanan heterostrukturların, Şotki diodlarının VAX-nın təhlili göstərir ki, diod əmsalının yüksək olması ($n \approx 2,5-4$) səth defektlərinin konsentrasiyasının yüksək olması ilə əlaqədardır. Bu isə həmin strukturlar əsasında hazırlanan fotoqəbuledicilərin həssaslığının spektrin ultrabənövşəyi və görünən oblastlarında kiçik olmasına səbəb olur. Elmi ədəbiyyatda göstəriləndi kimi ² yarımkeçirici materiallar əsasında hazırlanan fotoqəbuledicilərin udulma zolağında fotohəssaslığı materialın alınma texnologiyasından, səthin emalından

¹Abdullayev H. B. Yarımkeçirici çeviricilər / H.B. Abdullayev, Z.Ə. İsgəndərzadə; - Bakı: Elm, - 1974, - 297p.

²Zərbəliyev, M.M. Yarımkeçiricilər fizikası / M.M. Zərbəliyev, - Bakı: - Təhsil NPM, -2008, - 455 p.

və morfologiyasından asılıdır. Qeyd olunan xüsusiyyətlər və materialların səthəyənı 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 ($E_g=2,5$ eV, $T=300$ K) malik olub, spektrin görünən oblastında ($0,4\div0,7$ mkm) yüksək fətohəssaslığa malikdir. Aşqar atomlarının (Er,Yb) daxil edilməsi ilə onun spektral həssaslıq oblastını idarə etmək mümkündür. Digər laylı kristallarda olduğu kimi, GaS kristallarında da defektlərin konsentrasiasyası $\sim 10^{17}$ sm⁻³-ə bərabərdir.

Defektlərin konsentrasiasyasını tənziqləməklə (temperatur, ionlaşdırıcı şualar, elektrik sahəsi, aşqarlama və s.) kristalların fotoelektrik, elektrik və optik xassələrinin modifkasiya edilməsi haqqında müəyyən təkliflər olsa da, baş verən proseslərin elmi əsasları tam işlənilməmişdir.

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində göstərilmişdir ki, GaS monokristalında qamma-kvantların təsiri ilə yaranan sadə defektlər struktur və aşqar defektləri ilə qarşılıqlı təsirə girərək neytral komplekslər yaradır. Kation atomlarının iştirakı ilə yaranan belə komplekslər şüalanmanın aşağı dozalarında kristalların keçiriciliyini azaldır, yüksək şüalanma dozalarında isə artırır. 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 səthəyənı 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.

Dissertasiya işi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiasyası Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Yarımkeçiricilərin Radiasiya Fizikası” laboratoriasyasının elmi tədqiqat planına əsasən yerinə yetirilmişdir.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri:

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

Bu məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilmişdir:

- GaS və GaS:Yb monokristallarının yetişdirilməsi, onların kristal quruluşunun tədqiqi və qəfəs parametrlərinin təyini;
- GaS və GaS:Yb monokristallarının quruluşuna və qəfəs parametrlərinə gamma-kvantların və termik dəmləmənin təsirinin tədqiqi;
- GaS və GaS:Yb monokristallarının udulma zolağında fotokeçiriciliyə şüalanmadan əvvəl və sonra elektrik sahəsinin təsirinin tədqiqi;
- GaS və GaS:Yb monokristallarının səthyanı oblastında atomlar arası qarşılıqlı təsirin şüalanmadan əvvəl və sonra, həmçinin termik dəmləmədən sonra İQ Furiye spektrləri vasitəsi ilə tədqiqi;
- GaS və GaS:Yb monokristallarının səth morfologiyasına gamma-kvantların və temperaturun təsirinin atom qüvvə mikroskopu (AQM) ilə tədqiqi.

Tədqiqat metodları:

Tədqiqat obyektləri GaS və GaS:Yb laylı monokristallarıdır. Tədqiqat prosesində bu birləşmələrin səthinin gamma-kvantlarla şüalanma üsulu, GaS və GaS:Yb laylı kristallarında səth defektlərinin radiasiya defektləri ilə qarşılıqlı təsirinin öyrənilməsi, gamma-kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş laylı yarımkeçirici GaS və GaS:Yb monokristallarının səthinin spektroskopik və mikroskopik (AQM) metodlarla tədqiqi, GaS və GaS:Yb laylı monokristallarında termoluminessensiya xassələrinə gamma-kvantların təsiri metodlarından istifadə edilmişdir.

Müdafiə çıxarılan əsas müddəalar:

1. GaS monokristallarının udulma zolağında müşahidə olunan ftohəssalığa səthyanı struktur və radiasiya defektlərinin, xarici elektrik sahəsinin təsir xüsusiyyətləri;

2. GaS:Yb monokristallarının udulma zolağında müşahidə olunan fəthəssalığa səthyanı struktur və radiasiya defektlərinin xarici elektrik sahəsinin təsir xüsusiyyətləri;
3. GaS və GaS:Yb monokristallarının səthyanı oblastda atomlar arası qarşılıqlı təsirin təbiətinə (səth morfologiyasına) radiasiya defektlərinin və termik dəmləmə prosesinin təsirinin İQ spektroskopiya və atom-qüvvə mikroskopu (AQM) üsulları ilə müəyyən edilməsi.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

1. İlk dəfə təmiz və aşqarlanmış GaS monokristalında səth defektlərinin təbiəti və konsentrasiyası ilə udulma zolağında müşahidə olunan fəthəssaslıq arasında korrelyasiya müəyyən edilmişdir.
2. İlk dəfə laylı GaS monokristalının səthyanı oblastında hündürlüyü $30\div 40$ nm və periodikliyi 16 nm olan qeyri-hamar konusvari səthlərin həndəsi ölçüləri və periodikliyinə şüalanma dozəsindən və aşqarlanma səviyyəsindən asılılıq mexanizmi müəyyən edilmişdir.
3. İlk dəfə müəyyən edilmişdir ki, GaS monokristalında $D_\gamma < 50$ 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.
4. İlk dəfə müəyyən edilmişdir ki, GaS və GaS:Yb monokristallarında şüalanma dozasının $50 < D_\gamma < 200$ krad intervalında struktur və radiasiya defektlərinin qarşılıqlı təsirinin artması defektlərin yenidən paylanması səbəbindən udulma zolağında fəthəssaslığın 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 nəticələr səth effektləri ilə fiziki xassələr arasında korrelyasiyanın mövcudluğunu göstərir. Bu işə laylı kristallar əsasında müxtəlif tipli fotoqəbuledicilərin, diodların

və optoelektron cihazların hazırlanması zamanı istifadə oluna bilər. Digər maraqlı cəhət 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

Dissertasiya işinin nəticələri, aşağıda göstərilən Respublika və Beynəlxalq səviyyəli tədbirlərdə məruzə edilmişdir:

- “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);
- 11th 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).

Nəşr olunmuş elmi işlər. Dissertasiyanın əsas materialları 25 publikasiyada dərc edilmişdir ki, onlardan 13-ü məqalə (o cümlədən 5-i xarici elmi jurnal 4-ü impakt faktorlu jurnaldır) və 12-si konfrans tezisi. Alınmış nəticələr Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri İnstitutunun elmi-tədqiqatları hesabatında dərc olunmuşdur.

Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı:

Dissertasiya işi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Yarımkəçiricilərin radiasiya fizikası” laboratoriyasında yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiya işinin quruluşu, həcmi və əsas məzmunu.

Dissertasiya işi girişdən, 4 fəsildən, nəticələrdən və 156 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İş həcmi 168 səhifədən – 102 çap səhifəsi mətn, 5 cədvəl, 48 şəkildən, ümumilikdə 208701 simvoldan ibarətdir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış və tədqiqat üsulları haqqında məlumat verilmiş, işin elmi yeniliyi və praktiki əhəmiyyəti göstərilmiş, işin məqsədi, strukturu və məzmunu barədə məlumat verilmiş, müdafiəyə çıxarılacaq əsas müddəalar və işin aprobeasiyası göstərilmişdir.

Birinci fəslində, laylı yarımkəçiricilərin 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. Fəsildə qeyd olunan xüsusiyyətləri nəzərə almaqla, laylı monokristalların xassələrini məqsədə uyğun idarə etmək üçün tətbiq edilən radiasiya texnologiya üsulunun nəticələri əsasında dissertasiya işinin mövzusu və qarşıya qoyulan məsələlər müəyyən edilmişdir.

İkinci fəsildə laylı monokristalların yetişdirilmə və aşqarlama texnologiyası haqqında məlumatlar verilmişdir. Bircins GaS

monokristalları ərintidən istiqamətləndirilmiş kristallaşdırılma metodu ilə yetişdirilmiş və *p*-tip keçiriciliyə malik olmuşdur. GaS monokristalının yetişdirilməsi zamanı kükürd vakansiyalarının konsentrasiyasını azaltmaq məqsədi ilə stexiometrik nisbətdən artıq 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 $3 \cdot 10^7$ Om·sm təşkil etmişdir. Kristalın yetişdirilməsi zamanı Yb-nin konsentrasiyası $N_{Yb} \sim 7 \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$ təşkil etmişdir. Aşqarlanmamış və aşqarlanmış kristallarda omik kontakt kimi gümüş pastasından və indiumdan istifadə olunmuşdur.

Alınmış bircins monokristalların monokristallıq dərəcəsini 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 Furye-İQ əksolma spektrləri FTİR Varian 3600 spektrometrində $\nu=4000-100 \text{ sm}^{-1}$ tezlik oblastında qeydə alınmışdır. Əksolma spektrləri $\phi=15^\circ$ düşmə bucağı altında çəkilmişdir.

İlkin və qamma kvantları ilə şüalanmış GaS və GaS:Yb nümunələrinin səth relyefinin mikroskopik tədqiqatları atom-qüvvə mikroskopunda (AQM) aparılmışdır. Bu məqsədlə səthin ikiölçülü (2D) və üçölçülü (3D) AQM-təsvirləri, eləcə də üfüqi və horizontal istiqamətlərdə histqramlar alınmışdır (100 x100nm).

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

Üçüncü fəsildə təmiz GaS 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 obyektı olaraq aşqarsız və aşqarlı GaS kristalı seçilmişdir.

İlkin olaraq təmiz GaS monokristalında udulma zolağında fotokeçiriciliyə xarici elektrik sahəsinin təsiri müxtəlif temperaturalarda tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, spektrin qısa dalğa oblastında ftohəssaslığın 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 qısadalğalı oblastında (0,4-0,6 mkm) ftohəssaslığın 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 sahənin qiyməti 10^3 - 10^4 V/sm olmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, xarici sahənin müsbət istiqamətində ($U_n > 0$) udulma zolağında ftohəssaslıq artır, xarici sahə $U_n < 0$ olduqda isə azalır. Müşahidə olunan effektin mexanizmini aydınlaşdırmaq üçün energetik zolağın quruluşunu nəzərə alaraq demək olar:

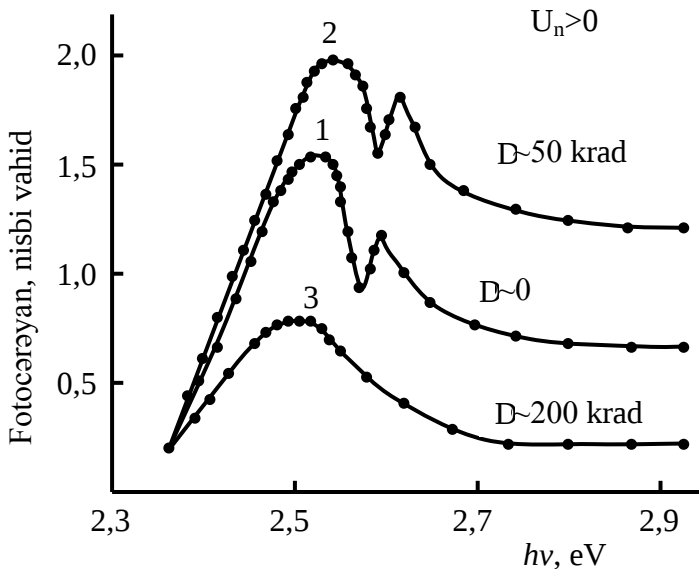
a) fotokeçiriciliyin spektrində enerjinin $h\nu \sim 2.52 \text{ eV}$ qiymətində müşahidə olunan maksimum məxsusi udulma zolağında yerləşir və elektronların zona-zona keçidi ilə əlaqədardır;

b) ilkin və aşqarlanmış GaS:Yb kristallarında xarici elektrik sahəsinin udulma zolağında fotokeçiricilik spektrinin transformasiyası rekombinasiya mərkəzlərinə yükdaşıyıcıların ötürülmə tempinin dəyişməsi ilə bağlıdır.

Müşahidə edilən effektin səth defektləri ilə əlaqəsini müəyyən etmək məqsədi ilə GaS və GaS:Yb kristalları γ -kvantlarla müxtəlif dozalarda şüalandırıldıqdan sonra xarici elektrik sahəsinin təsiri ilə fotokeçiricilik spektrləri tədqiq edilmişdir.

Xarici elektrik sahəsinin udulma zolağında müşahidə olunan fotokeçiricilik spektrlərinə təsiri gamma-kvantlarla şüalanmış GaS

nümunələrində də müşahidə olunur (şək.1). Şəkildən göründüyü kimi, $D_\gamma=50$ krad dozada qamma-kvantlarla şüalanmış nümunələrdə $U_n>0$ olduqda udulma oblastında fotohəssaslıq ilkin nümunə (əyri 1) ilə müqayisədə 30-40 % (şək.1, əyri 2) artır. Qeyd etmək lazımdır ki, ($D_\gamma=200$ krad) dozada şüalandırıldıqdan sonra spektrin bütün oblastında GaS kristalının fotokeçiriciliyi azalır. Spektrdə 2,62eV-da olan əlavə maksimum intensivliyi şüalanma dozasının artması ilə azalır və $D \geq 200$ krad dozalarda isə müşahidə olunmur (şək.1 əyri 1, 2, 3). Bu fakt isə, həmin səviyyənin donor tipli olduğunu və şüalanma dozasından asılı olaraq kompensasiya dərəcəsinin artmasını göstərir.



Şəkil 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.

Disertasiyada apardığımız tədqiqata uyğun olaraq göstərilib ki, elektrik sahəsi $U_n < 0$ olduqda şüalanmış GaS nümunələrinin fotokeçiriciliyinin spektral asılılığı göstərilmişdir. Qeyd edək ki, bütün tədqiq olunan ilkin nümunələrdə FK-nin maksimumu $\lambda_{\max} = 490$ nm yaxınlığında müşahidə olunur. Şəkildən göründüyü kimi, elektrik sahəsi $U_n < 0$ olduqda FK-nin bütün spektral diapozonda azalır. gamma-kvantlarla $D_\gamma = 50$ krad dozada şüalanma zamanı fotokeçiricilik spektrlərində məxsusi maksimumun vəziyyəti və spektrin forması $U_n > 0$ olduğu haldakı kimi qalır, bu zaman fotocərəyan nəzərə çarpmayacaq dərəcədə azalır. Daha sonra, şüalanma nəticəsində nümunələrin ftohəssaslığı azalır, bu da dozanın artması ilə tədqiq olunan nümunələrdə rekombinasiya mərkəzlərinin konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır.

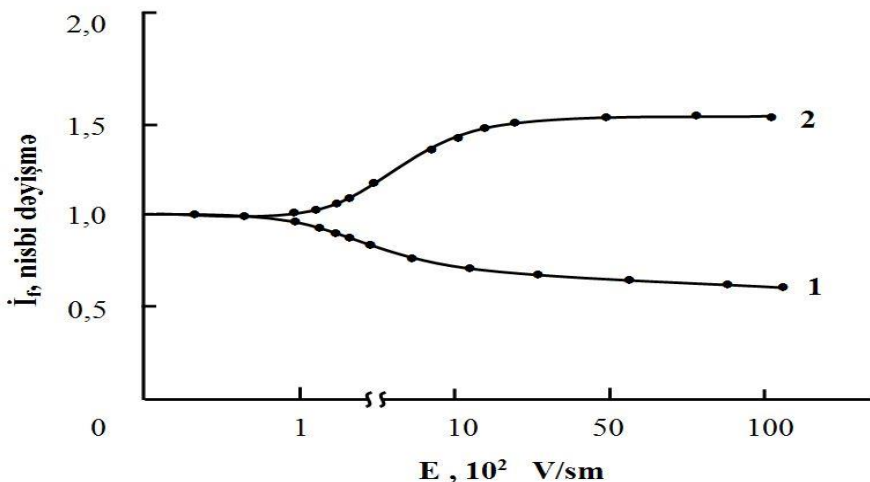
Alınmış nəticələrin müqayisəsi göstərir ki, xarici elektrik sahəsi $U_n < 0$ olduqda, nümunələrin udulma zolağında müşahidə olunan ftohəssaslığı şüalanma dozasının artması ilə eksponensial olaraq azalır, $U_n > 0$ olduqda isə artır. Müşahidə olunan FK-nin signalının elektrik sahəsinin qiyməti və istiqamətindən qeyri-monoton asılılığı GaS laylı kristalının səth hallarının real spektri ilə əlaqəsini fərz etməyə imkan verir.

Tədqiqatların analizindən görünür ki, GaS:Yb kristalını gamma-kvantlarla şüalandırıqdan sonra xarici elektrik sahəsinin təsiri nəticəsində fotokeçiricilik spektrlərində xarakter dəyişmələr müşahidə olunmur. Şəkildən görünür ki, *p*-GaS:Yb nümunələrində gamma-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.

$D_\gamma > 50$ krad qiymətlərində dozanın artması ilə nümunələrdə fotocərəyanın 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 ftohəssaslığı artır.

Beləliklə, laylı GaS kristallarında fotokeçiriciliyin aparılmış təcrübə analizi onu göstərir ki, kristalın səthində müxtəlif qeyri-bircinslik olması səthin potensial relyefini dəyişdirir və onunla bağlı olaraq potensial çəpərin əyilməsi baş verir. Potensial çəpərin əyilməsi isə, akseptor və donor tipli mərkəzlərin elektron mübadiləsinə təsir göstərməsi hesabına udulma zolağında fotokeçiricilik dəyişir.

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



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

$E_{\text{xar}} > 10^2$ V/sm qiymətlərində isə udulma zolağında fotokeçiriciliyin xarici elektrik sahəsindən asılı olaraq artması 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 2-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.

Tədqiqatların nəticəsinə əsasən deyə bilərik ki, kristalın qızdırılması zamanı müxtəlif temperaturalarda termoluminessensiya əyrilərin də intensiv maksimumlar müşahidə olunur. Kristal qızdırdıqda elektronlar tələləri tərk etmək üçün kifayət qədər enerjiyə malik olur və tələləri tərk edən elektronlar lümenessensiya mərkəzinə qaydır və rekombinasiya edir. Tələlər dərin olduqda isə göstəriləndiyi kimi TL spektrlərində maksimumlar müxtəlif temperaturalarda müşahidə olunur. Çünki dərin tələlərdən elektronların boşalması üçün daha çox enerjiyə ehtiyac duyulur. Tədqiqatların analizindən görə bilərik ki, TL spektrlərində bir neçə maksimum müşahidə olunur. Bu onu göstərir ki, tələlər qadağan olunmuş zonada müxtəlif dərinlikdə paylanmışlar və hər bir maksimum bir tələ səviyyəsinə uyğun gəlir.

Dördüncü fəsildə Furiye-İQ, Furiye-Raman-spektroskopiya və AQM-mikroskopiya metodları ilə qamma şüalanmanın ($D_\gamma = 30-200$ krad) və termik dəmləmənin ($T=100-250$ °C) təsiri nəticəsində 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 yarımənələrin) 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 laylararası E_{12g} və laydaxili A_{1g}^1 rəqsləri xarakterizə edən Raman-piklərinin ($\nu = 23,2$ və $188,4$ sm^{-1})

eninə və uzununa zolaqlarının (297 və 357 sm^{-1}) yarıməninin dəyişməsi ilə müşayiət olunur. Raman-spektrdə piklərin və IQ-əksolma zolaqlarının yarımənlərinin dəyişməsi (artması) qamma-kvantların təsiri nəticəsində kristalda yaranan defektlərlə struktur defektləri arasında baş verən qarşılıqlı təsir mexanizminin dəyişməsi ilə əlaqədardır.

Müəyyən edilmişdir ki, udulma dozasının dəyişməsindən və termik dəmləmədən asılı olaraq optik fononların zolaqlarının maksimumları və intensivlikləri dəyişmir, lakin zolaqların yarımənlərinin ($\nu_{1/2}$) qiymətləri fərqlənir. Belə ki, şüalanma 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 Yb atomu ilə aşqarlanmış qallium monosulfid (GaS:Yb) üçün də alınmışdır (şəkil 3.). Şəkil 3-dən göründüyü kimi, hər iki laylı monokristal üçün dozadan asılı olaraq yarıməninin dəyişməsi xətti xarakter daşıyır, lakin GaS üçün bu asılılıq $\sim 2,5$ dəfə böyük qiymətə malikdir.

Cədvəldə dəmləmə temperaturundan asılı olaraq fiksə olunmuş $D_\gamma = 200$ krad dozada şüalanmış nümunələrin eninə optik fononun udulma zolağının yarıməninin ($\nu_{1/2}(\text{TO}) \text{ sm}^{-1}$) dəyişməsi göstərilmişdir. Dəmləmə temperaturları uyğun olaraq 100 , 150 , 200 və 250°C seçilmişdir. Cədvəlin müqayisəli analizi onu söyləməyə əsas verir ki, verilmiş dozada 150 - 200°C temperaturu ən effektivdir. Bu temperatur oblastında bircinslilik bərpa olunur ki, bu da yarıməninin qiymətinin ($\nu_{1/2}$)-n 50 - 55 sm^{-1} tərtibində dəyişməsi ilə şərtlənir. Beləliklə, ilkin, qamma-kvantlarla şüalanmış və dəmlənmiş GaS və GaS:Yb monokristallarının Furiye-IQ 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.

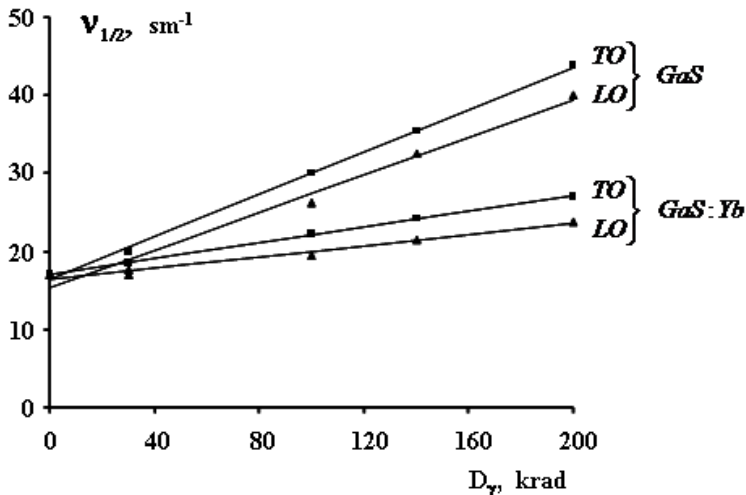
Cədvəl. GaS və GaS:Yb nümunələrinin TO fononunun yarımının ($\nu_{1/2}(\text{TO}) \text{ sm}^{-1}$) dəmləmə temperaturundan asılılıqları

№	Nümunə	$\nu_{1/2}(\text{TO})$ 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

Qamma-kvantlarla şüalanmaya məruz qalmış GaS və GaS:Yb monokristallarının səth relyefi atom-qüvvə mikroskopu (AQM) və Furiye-İQ-spektroskopiya metodları ilə tədqiq olunaraq müəyyən edilmişdir ki, GaS kristalları üçün müxtəlif hündürlüklü $\sim(30-40 \text{ nm})$ və $\sim 16 \text{ nm}$ periodiklikli qeyri-bircins paylanma xarakterikdir. Kristal Yb atomları ilə aşqarladıqda kristalın səthindəki kələkötürlülük, hündürlük $\sim 25 \text{ nm}$ və periodiklik $\sim 13 \text{ nm}$ azalır. Yb atomları ilə aşqarlanmış GaS monokristalının $D_\gamma < 140$ krad doza ilə şüalandırılması defektlərin yenidən paylanmasına gətirib çıxarır ki, nəticədə vahid həcmdə yarımının azalması baş verir, $D_\gamma > 140$ krad dozadan yuxarıda isə əksinə artma baş verir.

Furiye-İQ spektrlərdə qamma-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 əmələ gətirən konusun orta vahid həcmi istifadə olunmuşdur. $V=A^*e^{kx}$ eksponensial formada ifadə olunan relyef əmələgətirən konusun orta vahid həcmnin şüalanmanın dərəcəsinin təsirindən regression asılılığı verilmişdir.



Şəkil 3. GaS və GaS:Yb kristallarında qamma-şüalanmadan sonra TO və LO optik fononların udulma zolaqlarının yarıməninin ($v_{1/2}$) doza asılılıqları.

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

Nəticə

1. Müəyyən edilmişdir ki, spektrin ultrabənövşəyi oblastında GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının fotonəzəmliliyi, defektlərin (V_{Ga} ; V_S ; Yb_{Ga}) qeyri-bircinsliyin paylanması nəticəsində energetik zonanın düzlənmə dərəcəsindən asılı olan fotoyükdaşıyıcının yürüklüyündən asılıdır. “Sahə effektivliyi” görə xarici elektrik

sahəsinin qiyməti $U_n > 0$ olarsa, fotoyükdaşıyıcının yürüklüyünün artması səbəbindən fotohəssaslıq 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 ~ 16 nm olan konusvari defekt toplusunun ölçüləri Yb atomları ilə aşqarlanma ($N_{Yb} = 0,1$ at.%) zamanı qismən nizamlanır və onun hündürlüyü ~ 25 nm, periodikliyi isə ~ 12 nm olur.
3. Müəyyən edilmişdir ki, laylı GaS və GaS:Yb monokristallarında səth defektlərinin nizamsızlıq dərəcəsi və onun periodikliyi γ -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 fotohəssaslığın yüksəlməsi γ -kvantlarla şüalanmanın aşağı dozalarında və Yb atomu ilə aşqarlama zamanı struktur defektlərin qismən kompensasiyası nəticəsində fotoyükdaşıyıcıların yürüklüyünün artması səbəbindən baş verir.
5. Müəyyən edilmişdir ki, qamma şüalanmanın $D_\gamma = 30 \div 200$ krad udulma dozası 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 relyefəmələ gətirən konusun orta vahid həcmnin şüalanma dozasından asılılığı müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, GaS monokristalının səthinə nisbətən GaS:Yb laylı monokristallarının səthləri baxılan udulma dozası ($D_\gamma=30\div 200$ krad) oblastında qamma-kvantlara daha davamlıdırlar.

Dissertasiyanın əsas nəticələrinin əks olunduğu məqalə və tezislər

1. Əsədov, F.Q. γ - şüalanmanın laylı GaS monokristallarında səth və səthyanı proseslərə təsiri // Azərbaycan xalqının Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 91-ci 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 müsair 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. γ - 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 γ – 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 // International Youth Forum, Integration Processes of the World Science in the 21st 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 γ -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 γ – 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 γ – 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. БАИТ.), 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 γ -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 γ -облученного // Академик Н.В. Абдуллаевин 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

Dissertasiyanın müdafiəsi «__» _____ 2021-ci il tarixində, saat _____-da AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.21 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: Az-1143, Bakı şəh., B. Vahabzadə küçəsi 9

Dissertasiya ilə AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları AMEA-nın Radiasiya Problemləri İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat «__» _____ 2021 ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 19.03.2021

Kağızın formatı: A5

Həcm: 39737

Tiraj: 100