

# 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 "Yarımkəçiricilərin radiasiya 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  
**Qırtay Əbiləyev oğlu Səmədov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi:

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru  
**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 işlənilməsidir. 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 məqsədlə 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 işlənilməsi 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 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 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 GaS monokristalı  $A^{III}B^{VI}$  birləşmələrinin aktiv nümayəndəsi olan 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 geniş tədqiq olunmasına baxmayaraq onlarda cərəyanın keçmə mexanizminə səth və radiasiya defektlərinin birgə təsirinin xüsusiyyətləri tədqiq edilməmişdir. Elmi ədəbiyyatdan məlumdur ki, laylı kristallarda səthyanı oblastda rabitəsi qırılmış atomlar olmadığından, bu kristallar xarici təsirlərə qarşı yüksək davamlılığa malikdir <sup>1</sup>. Bu səbəbdən laylı kristallarda səthyanı 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 ( $n \sim 2,5-4$ ) 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 göstəriləndiyi kimi <sup>2</sup> yarımkeçirici materiallar əsasında hazırlanan fotoqəbuledicilərin udulma zolağında ftohəssaslığı materialın alınma texnologiyasından, səthin emalından

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

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

və morfologiyasından asılıdır. Qeyd olunan xüsusiyyətlər və 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 ( $E_g=2,5$  eV,  $T=300$ K) malik olub, spektrin görünən oblastında ( $0,4\pm 0,7$  mkm) yüksək fotohəssaslığa malikdir. Aşqar atomlarının (Er,Yb) daxil edilməsi ilə onun spektral həssaslıq oblastını idarə etmək mümkündür. Digər laylı kristallarda olduğu kimi, GaS kristallarında da defektlərin konsentrasiyası  $\sim 10^{17}$  sm<sup>-3</sup>-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 işlənilməmişdir.

Aparılmış tədqiqatlar nəticəsində göstərilmişdir ki, GaS monokristalında  $\gamma$ -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 fotohəssaslığının 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.

Dissertasiya işi, Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyası Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Yarımkəçiricilərin Radiasiya Fizikası” laboratoriyasının 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 Furye spektrləri vasitəsi ilə tədqiqi;
- GaS və GaS:Yb monokristallarının səth morfolojiyasına  $\gamma$ -kvantların və temperaturun təsirinin atom güc 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 termovə fotoluminesensiya 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 ftohəssalığa 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 spektroskopiyaya və atom-qüvvə mikroskopu (AQM) üsulları ilə müəyyən edilməsi.

### **Tədqiqatın elmi yeniliyi:**

1. Təmiz və aşqarlanmış GaS monokristalında səth defektlərinin təbiəti və konsentrasiyası ilə udulma zolağında müşahidə olunan ftohəssaslıq arasında korrelyasiya müəyyən edilmişdir.
2. Laylı GaS monokristalının səthyanı oblastında hündürlüyü 30÷40 nm və periodikliyi 16 nm olan qeyri-hamar konusvari səthlərin həndəsi ölçüləri və periodikliyin şüalanma dozasından və aşqarlanma səviyyəsindən asılılıq mexanizmi müəyyən edilmişdir.
3. 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. 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 ftohəssaslığın 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 təsirinin qanunauyğunluqları 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.

### **Aqrobasiyası 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 İntegration 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).



**Nəşr olunmuş elmi işlər.** Dissertasiyanın əsas materialları 25 publikasiyada dərc edilmişdir ki, onlardan 13-ü məqalə (o cümlədən 4-ü impakt faktorlu xarici elmi jurnal) və 12-si konfrans tezisidir. 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 141 adda istifadə olunmuş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İş həcmi 153 səhifədən – 102 çap səhifəsi mətn, 17 cədvəl, 28 şəkildən, ümumilikdə 245321 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 aprobasiyası 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. Fəsilə 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 fəsilə** 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%) 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  $N_{Yb} \sim 10^{14}$  sm<sup>-3</sup> 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 Furiye-İQ əksolma spektrləri FTİR Varian 3600 spektrometrində  $\nu=400-100$  sm<sup>-1</sup> tezlik oblastında qeydə alınmışdır. Əksolma spektrləri  $\varphi=15^0$  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 <sup>60</sup>Co mənbəyindən qamma kvantlarla  $dD_\gamma/dt=15,66$  rad/s doza gücü ilə şüalandırılmışdır. Nümunələrin şüalanma dozası 30, 50, 100, 140 və 200 krad olmuşdur, bu zaman udulan doza  $D_\gamma=30-200$  krad təşkil etmişdir.

**Üçüncü fəsildə** 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 radiasiya və aşqar atomları 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 aşqarsız GaS monokristalında udulma zolağında fotokeçiriciliyə xarici elektrik sahəsinin təsiri müxtəlif temperaturalarda tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, spektrin qısa dalğa oblastında ftohəssaslığın aşağı 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 ( $V_{\text{Ga}}X_i$ ). 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:

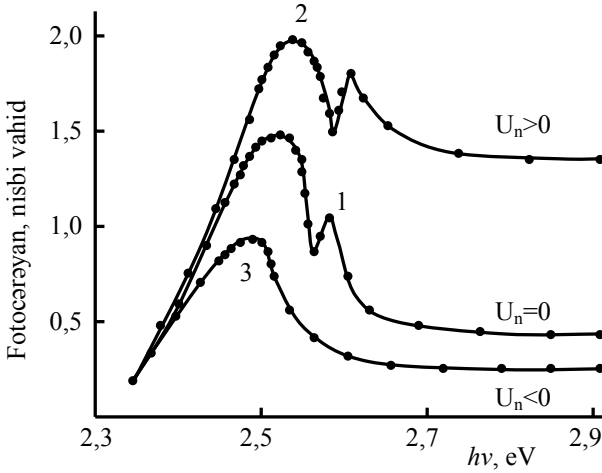
a) fotokeçiriciliyin spektrində enerjinin  $h\nu \sim 2.52$  eV qiymətində müşahidə olunan maksimum məxsusi udulma zolağında yerləşir və elektronların zona-zona keçidi ilə əlaqədardır;

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  $\gamma$ -kvantlarla müxtəlif dozalarda şüalandırıldıqdan sonra xarici elektrk 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 görüldüyü kimi,  $D_\gamma < 50$  krad dozada  $\gamma$ -şüalarla şüalanmış nümunələrdə  $U_n > 0$

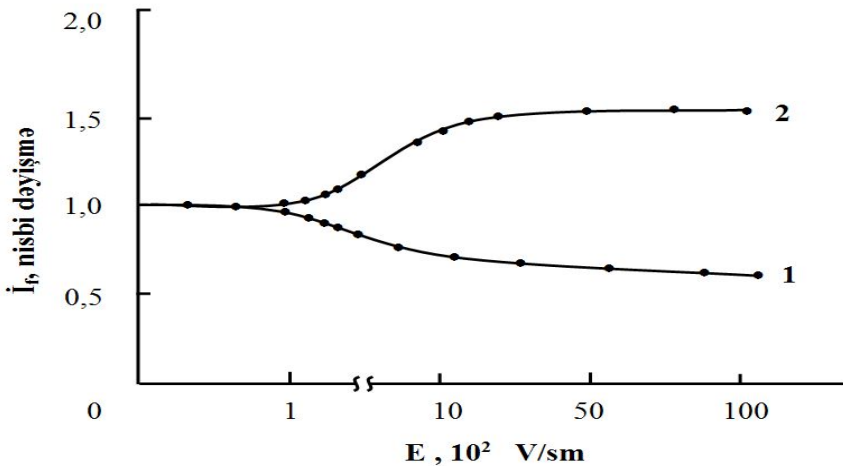
olduqda udulma oblastında fotehəssaslıq ilkin nümunə (əyri 1) ilə müqayisədə 30-40 % (şək.1, əyri 2) artır. Qeyd etmək lazımdır ki, ( $D_\gamma > 50$  krad) dozada şüalandırıldıqdan sonra spektrin bütün oblastında GaS kristalının fotokeçiriciliyi azalır. Spekrtdə 2,62eV-da olan əlavə maksimum intensivliyi şüalanma dozasının artması ilə azalır və  $D > 200$  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 gərginliklərdə GaS laylı kristalında fotokeçiriciliyin spektral paylanması (T= 77 K): 1- $U_n=0$ ; 2- $U_n>0$ ; 3- $U_n<0$ .**

Şəkil 2 - də elektrik sahəsi  $U_n < 0$  olduqda şüalanmış GaS nümunələrinin fotokeçiriciliyinin spektral asılılığı göstərilmişdir. Qeyd edək ki, bütün tədqiq olunan ilkin nümunələrdə FK maksimumu  $\lambda_{max}=490$  nm yaxınlığında müşahidə olunur. Şəkildən görüldüyü kimi,  $U_n < 0$  elektrik sahəsi olduqda FK 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 (əyri 2). Daha sonra,

şüalanma nəticəsində nümunələrin fətohəssaslığı azalır, bu da tədqiq olunan nümunələrdə rekombinasiya mərkəzlərinin konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır (Şəkil 2).



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

- 1.  $E_{\text{xar}} < 10^2$  V/cm olduqda fotokeçiricilikdə artım müşahidə olunmur.**
- 2.  $E_{\text{xar}} > 10^2$  V/cm olduqda fotokeçiriciliyin dəyişməsi müşahidə olunur.**

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

Eyni zamanda xarici sahələrdə aşqar atomlarının GaS monokristallarının udulma zolağında müşahidə olunan fotokeçiriciliyinə təsiri də tədqiq edilmişdir. Şəkil 3-də xarici elektrik sahəsində şüalanmadan əvvəl və sonra GaS:Yb nümunələrinin fotokeçiricilik spektrləri verilmişdir ( $T=100$  K). Şəkildən görüldüyü

kimi,  $p$ -GaS:Yb kristal nümunəsində  $U_n > 0$  olduqda fotonəzərlilik artır,  $U_n < 0$  olduqda isə nəzərə çarpmayacaq dərəcədə azalır, bu da elektrik sahəsinin təsiri altında yüklü defektlərin yenidən paylanması ilə əlaqədardır.  $p$ -GaS:Yb kristalını  $\gamma$ -kvantlarla şüalandırdıqdan sonra xarici elektrik sahəsinin təsiri nəticəsində fotokeçiricilik spektrlərində xarakterik dəyişmələr müşahidə olunmur. Şəkildən görünür ki,  $p$ -GaS:Yb nümunələrində  $\gamma$ -kvantlarla 50 krad doza ilə şüalanma zamanı fotokeçiricilik spektrlərdə məxsusi maksimumun vəziyyəti və spektrin forması şüalanmaya qədər kristallarda olduğu kimi qalır, lakin  $U_n > 0$  olduqda fotocərəyanın qiymətində artma müşahidə olunur (əyri 1). Daha sonra, şüalanma dozasının artması ilə nümunələrdə fotocərəyan nəzərə çarpmayacaq dərəcədə azalır, bu da rekombinasiya mərkəzlərinin konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır (əyri 2).

Apardığımız tədqiqatlar əsasında demək olar ki, laylı  $A^{III}B^{VI}$  tip kristalların, o cümlədən  $p$ -GaS kristalların alınması zamanı səthyanı oblastda kation və anion tipli defektlər yaranır. Onların səthyanı oblastda paylanması lokal xarakter daşdığından bu kristallarda keçiriciliyin anizotropiyası müşahidə olunur. Məhz udulma zolağında fotokeçiricilik spektrinə güclü təsir edən amillərdən biri də lokal qeyri-bircins elektrik sahəsidir. Alınmış təcrübə nəticələrinə əsasən kristalın səthində elektrik sahəsi eninə elektrik sahəsinin istiqaməti və gərginliyinin qiyməti ilə dəyişir. Eninə sahənin qiymətini və işarəsini dəyişməklə aşağı temperaturlarda laylı kristallarda fotonəzərliliyi idarə etmək olar. Alınmış nəticələr əsasında demək olar ki, laylı materialların aşqarlanması və həmçinin onların  $\gamma$ -kvantlarla şüalanması nəticəsində səthyanı oblastda mövcud olan kation tipli defektlərin kompensasiya dərəcəsini idarə etmək mümkündür. Qeyd olunan effektin müşahidə edilməsi, laylı kristallarda spektrin görünən oblastında fotokeçiriciliyin yüksəldilməsinə, onlar əsasında yüksək həssaslığa malik və  $\gamma$ -kvantlara davamlı fotoqəbuledicilərin hazırlanmasına imkan verə bilər.

GaS monokristalının fotoelektrik xassələrinin tədqiqi zamanı müəyyən edilmişdir ki, qadağan olunmuş zonada müxtəlif tipli tutma

və rekombinasiya mərkəzinin mövcud olması spektrin transformasiyasına səbəb olur.

Beləliklə, GaS və GaS:Yb kristallarında fotokeçiriciliyə xarici elektrik sahəsinin təsiri rekombinasiya mərkəzlərinə yükdaşıyıcıların ötürülmə tempinin dəyişməsi ilə əlaqədardır. Uyğun olaraq, laylı kristalların fotokeçiricilik spektrlərinə xarici elektrik sahəsinin təsirinin formalaşmasında əsas faktor səthi yükdaşıyıcıların lokallaşması nəticəsində yaranan səthi elektrik sahəsidir.

GaS və GaS:Yb kristallarının qadağan olunmuş zonasında mövcud olan tələ səviyyələrini tədqiq etmək üçün termolüminessensiya (TL) spektrlərinin tədqiqi əlverişli üsul sayıla bilər. Məlumdur ki, tələ səviyyələri lüminessensiyanın davamlılıq müddətinə ciddi təsir göstərir, belə ki, tələ səviyyələri yükdaşıyıcıları zəbt edərək onların lüminessensiya mərkəzlərinə rekonbinasiyasının qarşısını alır və lüminessensiya müddətini gecikdirir. Tələlərin dərinliyi TL-əyrilərinin maksimumlarına uyğun gələn temperaturları bilməklə müəyyən edilir.

Kristalın qızdırılması zamanı müxtəlif temperaturalarda termolüminessensiya əyrilərində intensiv maksimumlar müşahidə olunur. Kristal qızdırdıqda elektronlar tələləri tərk etmək üçün kifayət qədər enerjiyə malik olur və tələləri tərk edən elektronlar lüminessensiya mərkəzinə qayıdır və rekonbinasiya edir. Tələlər dərin olduqda şəkil 1 və 2-də göstərildiyi kimi TL spektrlərində maksimumlar müxtəlif temperaturalarda müşahidə olunur. Çünki dərin tələlərdən elektronların boşalması üçün daha çox enerjiyə ehtiyac duyulur. Şəkil 1 və 2-də 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 fəsil**də Furre- İQ, Furre-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 yarımənliklərin) udulma dozasından və dəmləmə temperaturundan asılılıqları müəyyən edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, şüalanma dozasının  $D_\gamma < 50$  krad qiymətlərində səthdə dəyişiklik müşahidə olunmur (Şəkil 3). 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 yarımənələrinin dəyişməsi (artması)  $\gamma$ -kvantların təsiri nəticəsində kristalda yaranan defektlərlə struktur defektləri arasında baş verən qarşılıqlı təsir mexanizminin dəyişməsi ilə əlaqədardır.

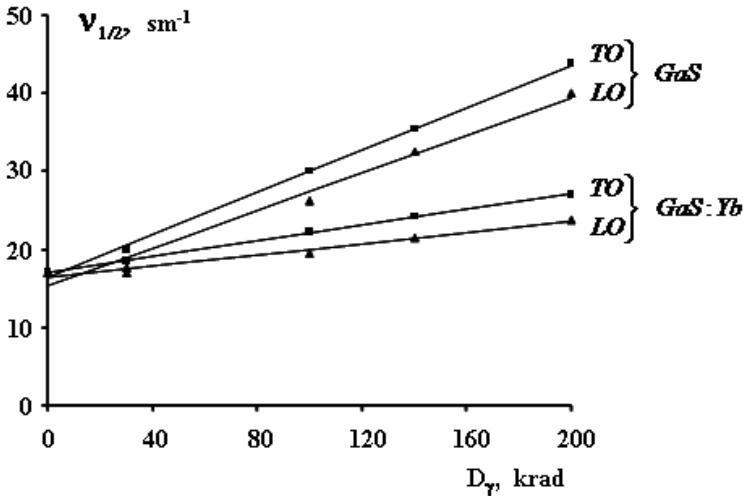
**Cədvəl. GaS və GaS:Yb nümunələrinin TO fononunun yarıməninin ( $\nu_{1/2}(\text{TO}) \text{ sm}^{-1}$ ) dəmləmə temperaturundan asılılıqları**

Nö	Nümunə	$\nu_{1/2}(\text{TO}) \text{ sm}^{-1}$
1	GaS	-
2	GaS T=100°S	52
3	GaS T=150°S	50
4	GaS T=200°S	53,5
5	GaS T=250°S	50
6	GaS:Yb	64,5
7	GaS:Yb T=100°S	62
8	GaS:Yb T=150°S	53
9	GaS:Yb T=200°S	58
10	GaS:Yb T=250°S	56

İlkin, qamma kvantlarla şüalanmış və termik dəmlənmiş GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının səth relyefləri AQM-mikroskopiya



metodlu ilə tədqiq edilmişdir. Səthlərin üçölçülü (3d), iki ölçülü (2d) 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. Həmçinin aparılan tədqiqatların nəticələri göstərmişdir ki,  $\gamma$ -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 paylanmasında biruzə verir.



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

Qamma şüalanmaya məruz qalmış GaS və GaS:Yb monokristallarının səth relyefi atom-qüvvə mikroskopu (AQM) və Furiye-İQ-spektroskopiyaya metodları ilə tədqiq olunaraq müəyyən edilmişdir ki, GaS kristalları üçün müxtəlif hündürlüklü  $\sim(30-40$  nm)

və ~16 nm periodiklikli qeyri-bircins paylanma xarakterikdir. Kristal Yb atomları ilə aşqarladıqda kristalın səthindəki kələkötürlülük, hündürlük ~25 nm və periodiklik ~13 nm azalır. Yb atomları ilə aşqarlanmış GaS monokristalının  $D_\gamma < 140$  krad doza ilə şüalandırılması defektlərin yenidən paylanmasına gətirib çıxarır ki, nəticədə sərbəst vahid həcmdə yarımenin azalması baş verir,  $D_\gamma > 140$  krad dozadan yuxarıda isə əksinə artma baş verir.

Furye-İQ spektrlərdə  $\gamma$ -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.  $V = A \cdot e^{kx}$  eksponensial formada ifadə olunan relyef əmələgətirən konusun orta vahid həcmnin şüalanmanın dərəcəsinin təsirindən regression asılılığı verilmişdir.

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

## NƏTİCƏ

1. Müəyyən edilmişdir ki, spektrin ultrabənövşəyi oblastında GaS və GaS:Yb laylı monokristallarının fətohəssaslığı, defektlərin ( $V_{Ga}$ ,  $V_S$ ;  $Yb_{Ga}$ ) qeyri-bircins paylanması nəticəsində energetik zonanın düzlənmə dərəcəsiindən asılı olan fətoyükdaşıyıcının yüürlüyündən asılıdır. “Sahə effektinə” görə xarici elektrik sahəsinin qiyməti  $U_n > 0$  olarsa, fətoyükdaşıyıcının yüürlüyünün artması səbəbindən fətohəssaslıq artır,  $U_n < 0$  olduqda isə azalır.
2. Müəyyən edilmişdir ki, laylı GaS monokristallarında səth defektlərinin nizamsızlıq dərəcəsi və onun periodikliyi aşqarlanma dərəcəsiindən asılıdır. AQM tədqiqatı göstərir ki, GaS monokristalının səthyanı oblastında hündürlüyü ~ (30-40) nm və periodikliyi ~16 nm olan konusvarı 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  $\gamma$ -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.  $\gamma$  – 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 ftohəssaslığın yüksəlməsi  $\gamma$ -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 yarımənən udulma dozasının artması ilə  $\sim 2,5$  dəfə artır. Muşahidə 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 AGM–mikroskopik metodlarla aparılan müqayisəli tədqiqatları nəticəsində relyefəmələgətirən 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  $\gamma$ -kvantlara daha davamlıdırlar.

## DİSSERTASIYANIN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİNİN ƏKS OLUNDUĞU MƏQALƏ VƏ TEZİSLƏR

1. F.Q. Əsədov.  $\gamma$  - şüalanmanın laylı GaS monokristallarında səth və səthyanı proseslərə təsiri. Azərbaycan xalqının Ümummillî lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 91-cü ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı, 18-19 Aprel, 2014, s.19-21.

2. N.I. Huseynov, Y.M.Mustafayev, F.G. Asadov. Study of recombination centers in GaS according to photoconductivity relaxtion. VII Eurasian Conference “Nuclear Science its Application”, 21-24 October, 2014, Baku, Azerbaijan, p.239.

3. N.İ. Hüseynov, Y.M. Mustafayev, T.B. Tağıyev, F.Q. Əsədov. Fotokeçiriciliyin relaksasiyası metodu ilə GaS laylı yarımkeçirici kristallarında tutulma mərkəzlərinin və səth hallarının tədqiqi. BDU-nun 95 illik yubleyinə həsr olunmuş FİZİKANIN MÜAİR PROBLEMLƏRİ VIII Respublika Konfransı, 24-25 dekabr, Bakı-2014 s.137-139.

4. R.S. Mədətov, N.İ. Hüseynov, F.Q. Əsədov, Z.İ. Əsədova.  $\gamma$  - şüalanmanın laylı GaS monokristallarında səthyanı proseslərin kinetikasına və elektrik şüalanmasının GaS laylı birləşməsinin fotoelektrik xassələrinə təsiri. Azərbaycan xalqının Ümummillî lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 92-ci ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların III Beynəlxalq Elmi Konfransı, 17-18 Aprel, 2015, s.85-86.

5. N.İ. Hüseynov, T.B. Tağıyev, F.Q. Əsədov. GaS laylı yarımkeçirici kristallarında tutulma mərkəzlərinin tədqiqi. Academic Science Week-2015 International Multidisciplinary Forum, 02-04 November, 2015 Baku/Azerbaijan, p. 66-67.

6. N.I. Huseynov, N.N. Gadzhieva, F.G. Asadov. Influence of  $\gamma$  – irradiation and annealing on FR IR-spectra of absorption of layered crystals GaS. Journal of Radiation Research, vol. 2, №2, 2015, Baku, p.11-15.

7. Ф.Г. Асадов. Влияние гамма облучения на ик спектры поглощения на кристаллов GaS. XXIII международная

конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов», Москва 2016, Секция «Физика», с.65-66.

8. F.Q. Əsədov. GaS laylı monokristallarında rekombinasiya mərkəzlərinə qamma şüalanmanın təsiri. International Youth Forum, Integration Processes of the World Science in the 21<sup>st</sup> century, 10-14 october, 2016, Ganja/ Azerbaijan p. 7-8.

9. R.S. Madatov, N.I. Huseynov F.G.Asadov. Study of recombinational centers in GaS by relaxation of photoconductivity. Journal of Qafqaz University PHYSICS Volume 4, Number 1, 2016 p. 34-37.

10. N.I. Huseynov, F.G.Asadov. Effect of  $\gamma$ -irradiation on fourier-ir spectra of single crystals of gallium sulfide. PROCEEDING OF YOUNG SCIENTISTS №13, Bakı-2016. s. 13-18.

11. R.S. Madatov, A.I. Nadjafov, N.I. Huseynov, F.G. Asadov, A.A. Abdurrahimov, D.J. Askerov. Radiation Effect on Layered Crystals of GaS and GaS<Yb>. Colloid and Surface Science 2017; 2(1): 43-46. doi:10.11648/j.css.20170201.16

12. P.C. Мадатов, Н.Н. Гаджиева, Н.И. Гусейнов, Ф.Г. Асадов. Влияние радиации на структурные дефекты слоистых монокристаллов GaS. Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 94-cü ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların I Beynəlxalq Elmi Konfransı, 05-06 May, 2017, s.89-91.

13. P.C. Мадатов, Н.Н. Гаджиева, Н.И. Гусейнов, Ф.Г. Асадов. Исследование радиационной модификации структуры слоистых кристаллов сульфида галлия методами колебательной спектроскопии. Международный научный Форум Ядерная наука и технологии, посвященный 60-летию Института ядерной физики, 12-15 сентября, 2017, Алматы, Республика Казахстан. с. 180.

14. R.S. Madatov, N.I. Huseynov, F.G. Asadov. 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. R.S. Madatov, N.N. Gadzhieva, F.G. Asadov. The features of the fourier-ir reflection spectra of  $\gamma$  – irradiated gallium sulphide. Journal of Radiation Research, vol. 5, №1, 2018, Baku, p.51-56.

16. R.S. Madatov, N.N. Gadzhieva, F.G. Asadov, Z.I. Asadova. Radiation modification of the structure of layer crystals of sulfide gallium. problems of atomic science and technology (ISSN 1562-6016. ВАНТ.) №5 (117) 2018 p. 116-120.

17. Н.Н. Гаджиева, Р.С. Мадатов, Ф.Г. Асадов. Влияние гамма-радиации на структур слоистых кристаллов сульфида галлия. Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının xəbərləri, Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, 2018, №5 s. 125-130.

18. Н.Н. Гаджиева, Р.С. Мадатов, Ф.Г. Асадов. Фурье-ИК спектры отражения и оптические свойства  $\gamma$ -облученного сульфида галлия. Azerbaijan journal of physics Vol. XXIV, Number 03, 2018 p.29-30.

19. F.Q. Əsədov. 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, 27-28, April 2018, Baku, Azerbaijan s. 106-107.

20. Н.Н. Гаджиева, Р.С. Мадатов, Ф.Г. Асадов. Фурье-ИК спектры отражения и оптические свойства  $\gamma$ -облученного. Akademik H.B. Abdullayevin 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans və məktəb. 24-26 sentiyabr, Bakı-2018 s.51.

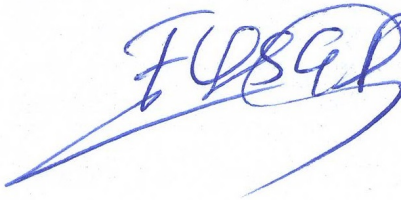
21. Madatov R. S., Alekperov A. S., Gadzhieva N. N. Features of the edge photoconductivity of gamma-irradiated layered crystals GaS and GaS:Yb under the strong electric eld / // International Journal of Modern Physics B, -2019, vol.33, №9, - p. 1950066-1-1950066-10.

22. Asadov F.G. AFM-microscopy study of the surface of gamma-irradiated GaS and GaS:Yb layered crystals // Journal of Radiation Researches, -2019, vol.6, №2, 2019, - p.24-29.

23. Madatov R.S., Asadov F.G., Asadov E.G. [et al.]. Thermostimulated Luminescence of GaS:Yb Crystals /// 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 Furre-İQ spektroskopiyaya metodu ilə tədqiqi //Azərbaycan Texniki Universiteti Elmi əsərlər, - 2019, Elmi əsərlər №3, -s.65-69

25. Pashayev A.M., Tagiyev B.G., Madatov R.S. [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.



Dissertasiyanın müdafiəsi 30 aprel 2021-ci il tarixində, saat 15:00-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 29 mart 2021 ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.



Çapa imzalanıb: 19.03.2021

Kağızın formatı: A5

Həcm: 39737

Tiraj: 100