

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

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

İxtisas: 2225.01 – “Radiasiya materialşünaslığı”

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: Aydan Şahin qızı Xalıqzadə

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim olunmuş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKI-2023

İş Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Radiasiya Problemləri İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərlər: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Rəhim Səlim oğlu Mədətov

Fizika-riyaziyyat elmləri namizədi, dosent
Teymur Bəhmən oğlu Tağıyev

Rəsmi opponətlər: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Oqtay Bahadur oğlu Tağıyev

Fizika elmləri doktoru, professor
Əli Həsən oğlu Hüseynov

Fizika elmləri doktoru, dosent
Famin Tahir oğlu Salmanov

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.21 saylı Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri: AMEA-nın müxbir üzvü, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
Oqtay Əbil oğlu Səmədov

Dissertasiya Şurasının elmi katibi: fizika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent
Günəl Tələt qızı İmanova

Elmi seminarın sədri: fizika elmləri doktoru, dosent
Mətanət Əhməd qızı Mehrabova

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Son illərdə nanoelektronikanın, kosmik texnikanın, o cümlədən informasiya texnologiyasının sürətli inkişafı çox funksiyalı, xüsusilə radiasiyaya davamlı elektron cihaz və sistemlərin hazırlanması tələbini əsas məsələ kimi ortaya qoymaqladır. Məhz buna görə də radiasiya materialşünaslığının əsas məsələlərindən biri mikroelektronikada, fotoelektronikada, informasiya texnologiyasında yeni xassəli yarımkeçirici materialların alınması, fiziki xassələrinin tədqiqi və onların məqsədyönlü idarə edilmə üsullarının işlənilməsindən ibarətdir. Bərk cisim elektronikasısı üçün perspektivli olan mürəkkəb yarımkeçiricilər qismən nizamsız quruluşa malik defektli kristallardır. Bu tip kristallarda mövcud olan həm məxsusi, həm də müəyyən üsullarla yaradılan defektlərin tədqiqi elmi və praktiki əhəmiyyətə malikdir.

Müasir dövrdə tədqiqatçıların diqqətini cəlb edən perspektivli materiallardan biri laylı quruluşa malik A^3B^6 mürəkkəb birləşməli yarımkeçiricilərdir. A^3B^6 birləşməli laylı yarımkeçiricilərdə quruluş defektlərinin çox olmasına baxmayaraq onların tədqiqinə marağın böyük olması, həmin materialların görünən, infraqırmızı, ultrabənövşəyi habelə, rentgen və qamma şüalanmaya qarşı yüksək həssaslığı ilə bağlıdır. Laylı A^3B^6 birləşmələrinə aid olan GaS monokristalı qismən nizamsız quruluşa malik yarımkeçiricilərdir. GaS monokristalı güclü anizotropiyaya malikdir. Bu, laylı yarımkeçiricilərdə laylar daxilində atomları arasında kovalent rabitə, laylar arasında isə Van-der-Vaals qüvvələrinin mövcud olması ilə bağlıdır. Bu xüsusiyyət isə, onlarda aşqar atomlarının müxtəlif fəzalarda (lay daxilində və ya laylar arası oblastda) paylanmasına səbəb olur. Qeyd olunan faktlar ədəbiyyatda araşdırılsa da, alınan nəticələr aşqar atomlarının paylanma mexanizmini izah edən modelin təklif olunmasına imkan vermir.

Laylı kristalların digər maraqlı xassələrindən biri də, yüksək miqdarda məxsusi defektlərin (kation və anion vakansiyaları, Frenkel defektləri), xüsusən kation vakansiyalarının mövcud olması (10^{17} - 10^{18}sm^{-3}) nəticəsində kristallik "c"-oxu istiqamətində sərbəst yükdaşıyıcıların yürüklüyünün və diffuziya yolunun kiçik olmasıdır. Bu səbəbdən onlarda p-tip keçiricilik formalaşır və yüksəkölçü

kristallar isə, qismən kompensasiya olurlar. Ədəbiyyatda aşqar atomlarının konsentrasiyasının laylı kristalların fotoelektrik xassələrinə təsiri geniş temperatur intervalında araşdırılsa da, alınan nəticələrdə defektlərin təbiəti nəzərə alınmadığından keçiriciliyin məqsədyönlü idarə olunması üçün vahid mexanizm verilməmişdir. Digər işlərdə isə defektlərin konsentrasiyasını idarə etmək məqsədi ilə ionlaşdırıcı şüalardan (γ -şüalarından) istifadə olunmasının daha məqsədə uyğun olduğu göstərilir. Ancaq radiasiya defektlərin miqdarı kristalın alınma üsulundan asılı olduğundan, vahid mexanizm haqqında fikir yürütmək mümkün olmur. Belə kristalların fəzaca nizamsızlıq dərəcəsini, onların ayrı-ayrı fiziki xassələrini və parametrlərini nadir torpaq elementləri (NTE) daxil etməklə tənzimlənməsinin mümkün olduğu aşkar edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, daxil edilən aşqar atomunun təbiətindən, fiziki-kimyəvi xassələrindən asılı olaraq alınmış birləşmənin tətbiq imkanları dəyişə bilər. Aparılmış tədqiqatlarda həmin materialların elektrik, fotoelektrik keçiriciliyinə və lüminessensiya xassələrinə NTE atomlarının təsiri geniş öyrənilsə də, onlara ionlaşdırıcı şüaların təsiri kifayət qədər öyrənilməmişdir. A^3B^6 yarımkəçirici materialların xassələrini nəzərə almaqla, nadir torpaq elementləri olan itterbi (Yb) atomlarının daxil edilməsi, yüksək enerjili qamma-şüalanmanın təsiri zamanı yaranan defektlərin maddənin elektrofiziki xassələrinin, elektrik keçiriciliyinin, yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının və yaşama müddətinin geniş intervalda idarə edilməsinə imkan yaradır. Bu isə yarımkəçirici materialların xassələrinin idarə edilməsi və onların əsasında radiasiyaya davamlı cihazların yaradılması üçün yeni imkanlar yaradır və praktiki cəhətdən böyük əhəmiyyət kəsb edir.

Dissertasiya işinin məqsədi: γ -kvantlarla şüalandırılmış aşqarlı GaS(Yb) monokristallarında struktur-aşqar-radiasiya defektlərinin qarşılıqlı təsir mexanizminin xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi və bu xüsusiyyətlərin kristalın radiasiyaya davamlılığına təsirinə öyrənilməsidir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər yerinə yetirilmişdir:

- GaS və GaS(Yb) monokristallarının alınması;

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

▪ qamma-kvantların GaS(Yb) kristalının volt-amper xarakteristikasına və cərəyanın keçmə mexanizminə təsirinin öyrənilməsi;

▪ GaS kristalının elektrikkeçiriciliyinə Yb- atomunun təsirinin 110-300 K temperatur intervalında araşdırılması və lokal energetik parametrlərin təyini;

▪ qamma- kvantların GaS(Yb) kristalının elektrik keçiriciliyinə təsirinin 110-300 K temperatur intervalında araşdırılması və lokal energetik səviyyələrin təyini;

▪ GaS(Yb) kristalında aşqar atomunun fotokeçiriciliyə təsirinin 110-300K temperatur intervalında araşdırılması və cərəyanın keçmə mexanizminin müəyyən edilməsi;

▪ qamma-kvantların GaS(Yb) kristalının fotokeçiriciliyinə təsirinin 110-300K temperatur intervalında araşdırılması və lokal energetik səviyyələrin təyini;

Tədqiqat obyektı və metodları:

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

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

▪ GaS(Yb) laylı monokristalının elektrik xassələrinə ionlaşdırıcı γ -şüalanmanın təsir mexanizminin xüsusiyyətlərinin araşdırılması

▪ GaS(Yb) laylı monokristalının fotoelektrik xassələrinin şüalanma dozəsindən asılılığının dəyişmə xüsusiyyətlərinin tədqiq edilməsi

▪ GaS(Yb) laylı monokristalının lüminessensiya və udulma spektrlərinə γ -şüalanmanın təsirinin müəyyənləşdirilməsi

▪ γ -kvantlarla şüalandırılmış GaS(Yb) monokristalının elektrik və fotoelektrik xassələrinə termik dəmləmənin təsirinin xüsusiyyətləri

Elmi yeniliyi:

▪ GaS(Yb) kristalında cərəyanın keçmə mexanizminə elektrik sahəsinin, γ - kvantların təsir mexanizmi müəyyən edilmiş və göstərilmişdir ki, GaS kristalına 0.1at% miqdarda aşqar Yb atomunun daxil edilməsi, elektrik sahəsinin $E > 10^5$ V/sm qiymətlərində lokal səviyyənin termik ionlaşmasına səbəb olur.

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

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

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

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

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

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

İşin aprobasiyası. Dissertasiyanın əsas nəticələri "International Youth forum İntegration Processes of the World Science in the 21st Century" (Ganja Azerbaijan, 2016), "Третьего междисциплинарного молодежного научного форума с международным участием "Новые материалы", (Москва, Russia, 2017), "Radiation processes and their applications" international conference dedicated to the 70th Anniversary of Academician M.K. Karimov (Baku, Azerbaijan,

2018), Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 95-cü ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı (Gəncə, Azərbaycan, 2018), LXVIII International Conference «Nucleus 2018» Fundamental Problems of Nuclear Physics, Atomic Power Engineering and Nuclear Technologies .Dedicated to the Centennial of Voronezh State University and to the 80th anniversary of the birth of k. A. Gridnev (Voronezh, Russia, 2018), VIII INTERNATIONAL CONFERENCE Semipalatinsk Test Site: Legacy and Prospects for Scientific and Technical Potential Development, (г. Курчатов, Republic of Kazakhstan, 2018), XVI Курчатовская междисциплинарная молодежная научная школа, (Москва, Россия, 2018), "Четвёртый междисциплинарного молодежного научного форума с международным участием "Новые материалы" (Москва, Russia, 2018), Ümummilli lider Heydər Əliyevin anadan olmasının 96-cı ildönümünə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların II Beynəlxalq Elmi Konfransı, (Gəncə, Azərbaycan, 2019), XXI International Youth Scientific (Kazan, Russia, 2019), III Международный Научный Форум «Ядерная наука и технологии» (Almaty, Republic of Kazakhstan-2021), VII Beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransı Fevral məruzələri 2022:Aviakosmik məsələlərin həllində gənclərin yaradıcı potensialı, (Bakı, Azərbaycan, 2022) konfrans və simpoziumlarında məruzə edilmişdir.

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

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

Dissertasiyanın strukturu və həcmi. Dissertasiya işi girişdən, 4 fəsildən, nəticələrdən, o cümlədən müəllifin şəxsi elmi əsərləri və istinad edilmiş ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. Təqdim olunan işində 55 şəkildən, 1 cədvəldən və ümumilikdə 182580 işarələrdən ibarətdir.

İŞİN ƏSAS MƏZMUNU

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

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

Araşdırılmış tədqiqatlar zamanı əldə olunmuş nəticələr qadağan olunmuş zonada yerləşən aşqar səviyyələr barədə geniş məlumatlar verir. Əldə edilmiş mühim məlumatlar qabaqcadan yarımkəçiricilərin tətbiq olunma sərhədlərini müəyyən etməyə və kristalda defektlərin tipini söyləmək imkanı yaradır.

$A^{III}B^{VI}$ tipli (GaS, GaSe, GaTe, InSe və InS) yarımkəçirici birləşmələrinin laylı strukturda kristallaşdığı və kristalların yetişdirilmə şərtindən asılı olmayaraq p - tip keçiriciliyə malik olduğu müəyyən edilmişdir. Bu tipli laylı birləşmələri digər yarımkəçirici birləşmələrdən fərqləndirən əsas xüsusiyyət onların güclü anizotrop xassəsinə malik olmasıdır. Elmi ədəbiyyatda GaS kristalının elektrik, fotoelektrik və optik xassələrinə dair çoxsaylı tədqiqatların olmasına baxmayaraq, bu xassələrə ionlaşdırıcı şüaların təsirinə aid az sayda işlərə rast gəlmək mümkündür. Onlarda alınmış nəticələr göstərir ki, γ -kvantlarla və elektronlarla şüalandırılma zamanı kristalların fəzaca qeyri-bircinslilik dərəcəsinin azalması müşahidə olunur. Bu işlərin müqayisəli təhlili göstərir ki, qamma şüalanmanın dozasından asılı olaraq yüklü donorların konsentrasiyasının azaldılması nəticəsində fotokeçiriciliyin bir neçə tərtib artmasına nail olmaq mümkündür. $A^{III}B^{VI}$ tipli kristallarının ultrabənövşəyi oblastda fotokeçiriciliyi və kənar fotokeçiricilik müxtəlif tipli fotohəyəcanlanmış daşıyıcılar

tərəfindən formalaşdırılır. $A^{III}B^{VI}$ tip birləşmələrdə valent zonasının dərinliyində yüngül dəşiklərin mövcud olmasının əsas səbəbi onların ultrabənövşəyi oblastda yüksək fotokeçiriciliyə malik olması ilə əlaqələndirilir. $A^{III}B^{VI}$ tip yarımkəçiricilər qrupuna daxil olan birləşmələrin elektrofiziki xassələrinin geniş xarici təsir şəraitində öyrənilməsinə dair müxtəlif modellərin olmasına baxmayaraq, onların praktiki tətbiq imkanlarının araşdırılması ilə bağlı xüsusilə də keçirici strukturların işlənilməsinə aid elmi məlumatlar demək olar ki yox dərəcəsindədir.

Fəslin sonunda araşdırılmış ədəbiyyatlardakı məlumatların təhlili nəticəsində yarımkəçirici cihazlarda radiasiya effektlərinin öyrənilməsinin elmi və praktiki əhəmiyyəti nəzərə alınaraq tədqiqat işində görüləcək işlər əsaslandırılmışdır.

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

Tədqiqat üçün seçilmiş nümunələrin xarakteristikalarını azot temperaturunda vakuum şəraitində ölçmək üçün istifadə edilən kriostatın, eyni zamanda fotocərəyanın ölçülməsinin sxematik təsvirləri göstərilmişdir. Sxem TEC-9 markalı gərginlik mənbəyindən, tədqiq edilən nümunədən (R_n), nümunəyə ardıcıl qoşulmuş müqavimətdən ($R_y < R_n$), gərginliyi ölçmək üçün B7-27A markalı voltmetrdən və cərəyan şiddətini ölçmək üçün iki ampermetrdən ibarətdir. Kiçik cərəyan şiddətlərini ($10^{-15}A - 10^{-7}A$) ölçmək üçün B7-30 markalı universal voltmetr-elektrometrdən, nisbətən böyük cərəyan şiddətlərini ($10^{-9}A - 10^{-3}A$) ölçmək üçün isə Φ -136 markalı mikrovolt-nanoampermetrdən istifadə edilmişdir. Nümunənin üzərinə müəyyən dalğa uzunluqlu monoxromatik işığı salmaq üçün qidalanma mənbəyi və lampadan ibarət olan CF4 spektrofotometrindən (spektral dalğa

oblastı 200-2000 nm), işıq mənbəyi kimi gücü 20 Vt olan lampadan istifadə edilmişdir.

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

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

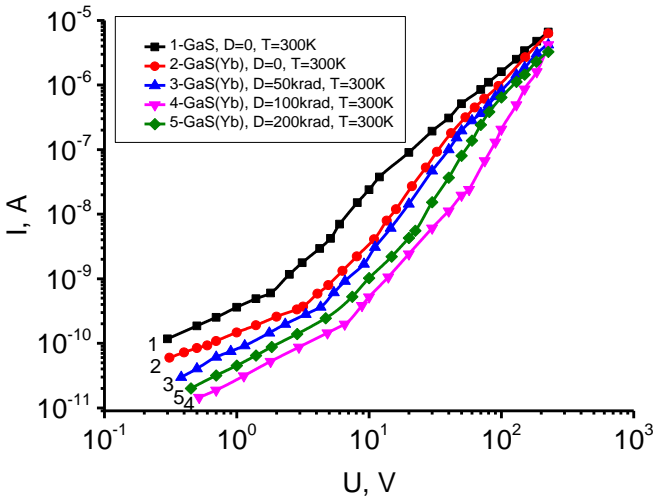
III fəsildə GaS və GaS(Yb) monokristallarının elektrik xassələri, eləcə də qamma şüalanmanın onların elektrik xassələrinə təsiri tədqiq edilmişdir. Tədqiq edilən nümunələrin müxtəlif temperaturlarda, müxtəlif elektrik sahələrində γ -şüaların təsirindən sonra VAX və elektrik keçiriciliyi öyrənilmişdir.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

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

Şəkil 1-də GaS və GaS(Yb) monokristallarının otaq temperaturunda müxtəlif dozalarda volt-ampere xarakteristikası göstərilmişdir. Şəkil 1-dən görüldüyü kimi, hər iki halda kristalın VAX-sı üstlü funksiya qanununa tabe olur. Cərəyanın kristala tətbiq olunan gərginlikdən asılılığı üç hissədən: $U = 0.3\text{V} \div 2\text{V}$ intervalında Om qanununa, $U = 2 \div 10\text{V}$ -a kimi kvadratik və $10 \leq U \leq 60\text{V}$ oblastında cərəyanın kəskin artma oblastına ($n > 2.5$), $U = 60\text{V}$ -dan yuxarı qiymətlərində isə tələsiz kvadratik

oblasta keçir. Şəkil 1-də göstərilən əyrilərin müqayisəli təhlili göstərir ki, GaS monokristalını Yb atomu ilə aşqarladıqda cərəyanın azalması, omik oblastın yüksək gərginlik oblastına tərəf sürüşməsi və eyni zamanda tələsiz kvadratik oblastda keçid gərginliyi yüksək gərginlik oblastına doğru sürüşməsi baş verir.

Şəkil 1-dən görünür ki, γ -kvantlarla şüalanma nəticəsində GaS(Yb) kristalının VAX-sı şüalanmadan əvvəlki qanunauyğunluqla baş verir, ancaq omik, kvadratik ($J-U^2$), cərəyanın kəskin artma ($J-U^3$) və nəhayət tələsiz $U \geq 60V$ oblastlara uyğun gərginliyin qiymətinin yüksək gərginlik oblastına tərəf sürüşməsi müşahidə olunur.

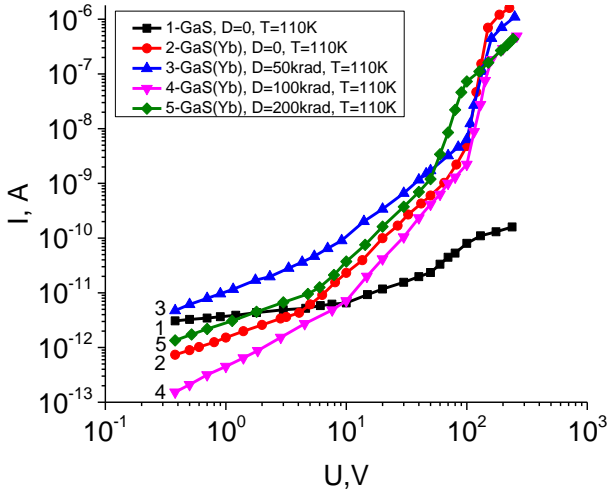


Şəkil 1. GaS və GaS(Yb) monokristallarının otaq temperaturunda müxtəlif dozalarda volt-ampere xarakteristikası

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

Əyri-4-dən görünür ki, GaS(Yb) monokristalını $D=100$ krad doza ilə şüalandırdıqda nümunədən keçən cərəyanın qiyməti yenidən azalır və gərginliyin sonrakı artımında ($U \geq 100\text{V}$) tələsiz kvadratik oblast müşahidə olunmur. Cərəyanın belə dəyişməsi keçiricilikdə iştirak edən yükdaşıyıcıları özündə toplayan dərin səviyyələrin yaranması ilə əlaqədar ola bilər. GaS(Yb) kristalını $D=200$ krad doza (əyri-5) ilə şüalandırdıqda bütün gərginlik oblastında ($U=8 \cdot 10^{-1} \div 10^2$) cərəyanın qiyməti artır və $U \geq 60\text{V}$ -dan sonra tələsiz kvadratik oblast müşahidə olunur.

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



Şəkil 2. GaS və GaS(Yb) monokristallarının T=110K-da müxtəlif dozalarda volt-ampere xarakteristikası

Şəkil 1 ilə Şəkil 2-in müqayisəsindən görünür ki, qamma-kvantlarla şüalanmadan sonra $I \sim f(U)$ asılılığının xarakteri dəyişmiş, ancaq cərəyanın qiyməti şüalanma dozəsindən asılı olaraq dəyişir. Ədəbiyyatdan məlumdur ki, aşqar kimi Yb atomunun daxil edilməsi nəticəsində cərəyanın qiyməti azalır (şəkil 2, əyri-2), ancaq 50 krad şüalanma dozəsində cərəyanın qiyməti, şüalanmadan əvvəlki qiymətinə nəzərən artır (şəkil 2, əyri-3).

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

Şəkil 2, əyri 4-5 –dən görünür ki, GaS(Yb) kristalında şüalanma dozasının artması ilə yaranan radiasiya defektlərinin təbiətindən və konsentrasiyasından asılı olaraq cərəyanın axma mexanizmi dəyişir. Belə ki, 100 krad dozada (əyri-4) şüalanmadan sonra cərəyanın qiyməti (2- ci əyriyə nəzərən) kəskin azalır və omik oblastdan kvadratik oblasta keçid gərginliyi artır ($U=10\text{ V}$) və $U=100\text{ V}$ –dan sonra isə, cərəyanın kəskin artması müşahidə olunur. Şüalanma dozasının 200 krad (əyri-5) qiymətində isə cərəyanın omik hissəsində müşahidə olunan qiyməti əyri-4-ün qiymətinə nəzərən artır və $U=5\text{ V}$ -dan sonra isə 1-ci əyriyə nisbətən U -nun qiymətindən asılı olaraq artır. Bu zaman omik hissədən kvadratik hissəyə və kvadratik hissədən cərəyanın kəskin artma oblastına uyğun gərginliyin qiyməti azalır və bütünlüklə $I\sim f(U)$ asılılıq əyrisi kiçik gərginlik oblastına tərəf sürüşür. Alınan nəticə göstərir ki, GaS(Yb) kristalının $D > 200$ krad dozalarında qamma-kvantlarla şüalanma zamanı yenidən akseptor tipli defektlər üstünlük təşkil etdiyindən cərəyanın qiyməti tətbiq edilən gərginlik oblastında artır.

Alınan təcrübi nəticələrin təhlili göstərir ki, p-GaS laylı monokristalına Yb (0.1at%) aşqar atomunun daxil edilməsi kristalda ilkin akseptor tipli defektləri qismən kompensasiya etməsi nəticəsində məxsusi yükdaşıyıcıların konsentrasiyası azalır və Yb-aşqar atomunun donor tipli energetik səviyyə yaratdığını göstərir. Qamma kvantlarla şüalanma zamanı Ga və S qəfəsaltlarında defekt yaranma prosesi baş verir və bu dn/dD –defekt yaranma sürəti komponentin rabitə enerjisindən və şüalanma dozasından asılıdır. Bu səbəbdən Ga və S qəfəsaltlarında yaranan radiasiya defektlərinin konsentrasiyası bir-birindən fərqli olur. Ona görə də şüalanmanın aşağı dozalarında GaS kristallarında əsasən donor tipli defektlər üstün olduğundan məxsusi yükdaşıyıcıların konsentrasiyası azalır, yüksək şüalanma dozalarında isə, əksinə, artır. Aşqar Yb atomunun daxil edilməsi ilə şəkil 1-dən göründüyü kimi kristalın keçiriciliyi azalır və bu akseptor tipli səviyyənin qismən kompensasiyası ilə bağlıdır. Qeyd olunan mülahizələr və aldığımız təcrübi faktlar əsasında demək olar ki, GaS(Yb) kristalında qamma-kvantların təsiri ilə defektyaranma prosesi laylı GaS və GaSe kristallarında müşahidə olunan mexanizmə uyğun baş verir. Qamma-kvantların atomun elektron təbəqəsini həyəcan-

landırması nəticəsində ionlaşma prosesi baş verir. İonlaşma nəticəsində yaranan kompton elektron qəfəsin düyünlərində yerləşən ionu qəfəs aralığına sürüşdürür və nəticədə vakansiya-düyünlərarası atom cütü yaranır. Vakansiya-düyünlərarası atomun qarşılıqlı təsiri rabitə enerjisindən asılıdır. Enerjinin bu qiymətindən asılı olaraq yaranan cütlərin anhilyasiyası və ya kompleks yaranma baş verir. Bu mülahizələr əsasında, şüalandırılmış GaS(Yb) kristallarında VAX-nın təhlili zamanı alınan nəticələr əsasında aşağıdakıları demək olar:

- $D < 50$ krad şüalanma dozalarında omik oblastda cərəyanın artması düyünlərarası aşqar Yb ionunun V_{Ga} ilə annihilasiyası, yüksək elektrik sahələrində cərəyanın kəskin artması isə lokal səviyyələrin termoionlaşması hesabına baş verir;

- $D > 100$ krad şüalanma dozalarında $[V_{Ga} I_{Yb}]$ kompleksinin dissosiasiyası nəticəsində sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması müşahidə olunur (şüalanmadan əvvəlki konsentrasiyaya nəzərən), kristalın VAX-sı kiçik gərginlik oblastına tərəf sürüşür.

GaS(Yb) kristalında aşqar atomlarının, struktur və radiasiya defektlərinin kristalın elektrik keçiriciliyinə təsiri şəkil 3-də verilmişdir ($E \parallel c$ oxu halı üçün). Şəkil 3-də 1-ci əyridən görünür ki, təmiz GaS monokristalının elektrik keçiriciliyi $T = 125 - 230K$ temperatur intervalında temperaturdan demək olar ki, asılı olmur, ancaq ($T > 230K$) yüksək temperaturda temperaturdan asılı olaraq artır. Yüksək temperatur oblastında elektrik keçiriciliyinin temperatur əyrisinin meyliliyindən keçiriciliyin aktivləşmə enerjisinin qiyməti $\sim 1.12eV$ hesablanmışdır (şəkil 3, əyri 1). Yb ilə aşqarlanmış GaS laylı monokristalının elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı (şəkil 3, əyri 2) göstərilmişdir. Aşağı temperaturda ($T < 180K$) əyrinin meyliliyindən energetik səviyyənin aktivləşmə enerjisi $\sim 0.098eV$ təyin edilmişdir. $\sigma(10^3/T)$ asılılığının $T = 125 \div 300K$ temperaturunda dəyişməsi göstərir ki, aşqarlanmış GaS laylı monokristalında cərəyan daşıyıcılarının konsentrasiyası aşağı temperatur oblastında ($125 \div 230K$) azalır, $T = 235 \div 300K$ temperatur oblastında isə artır. $\sigma(10^3/T)$ asılılığının yuxarı

temperaturda ($T > 235\text{K}$) belə artmasını keçiriciliyin sıçrayışla baş verməsi ilə izah etmək olar, bu isə, yüksək defektli kristallarda müşahidə edilir.

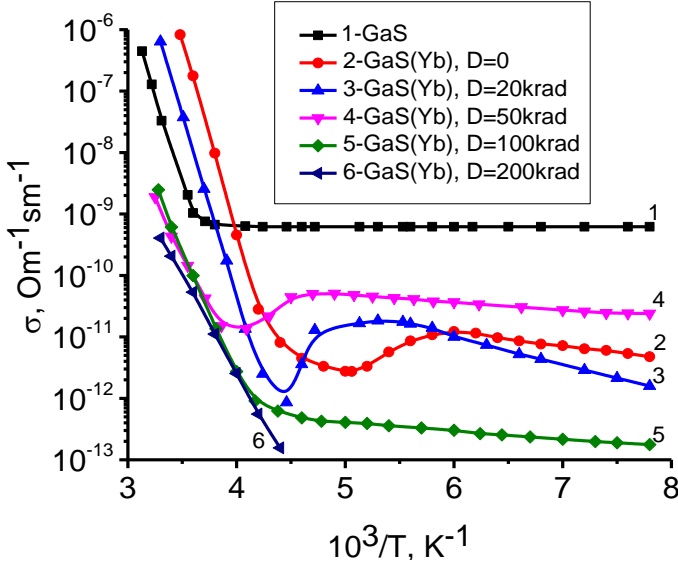
Qrafikdən görünür ki, GaS(Yb) kristalını müxtəlif dozalarda qamma kvantlarla şüalandırdıqda, kristalın qadağan olunmuş zonasında yaranan müxtəlif təbiətli radiasiya defektləri 125-300K temperatur intervalında elektrik keçiriciliyinin idarə edilməsində mühüm rol oynayır.

Şəkil 3, əyri 3-dən görünür ki, 20 krad dozada qamma kvantlarla şüalanmadan sonra 220÷300K temperatur oblastında GaS(Yb) kristalında keçiriciliyin qismən azalması, “termik sönmə” temperaturunun aşağı temperatur oblastına tərəf sürüşməsi və aşağı temperatur oblastında (125÷200K) artması müşahidə olunur. Qrafikdən görüldüyü kimi aşqarlanmış nümunələrdə şüalanmadan əvvəl və sonrakı (əyri 2,3) əyriyədə müxtəlif meyilli iki düzxətli hissə müşahidə olunur ki, bu da Yb aşqar səviyyəsi ilə radiasiya defektlərinin qarşılıqlı təsiri ilə əlaqəlidir. Bu isə onu göstərir ki, GaS(Yb) monokristallarını qamma-kvantları ilə şüalandırdıqda Yb-nin iştirakı ilə əlavə aktivləşmə enerjisi $\sim 1.14\text{ eV}$ olan akseptor tipli səviyyə yaranır. Ancaq qeyd etmək lazımdır ki, şüalanmış GaS(Yb) monokristalında ($D=20\text{krad}$) elektrik keçiricilik əyrisinin 200-300K temperatur intervalında gedişi şüalanmamış nümunəyə görə fərqlənir.

Belə ki, 210-230K temperatur intervalında da şüalanmış nümunələrdə keçiriciliyin sönməsi müşahidə olunur və dozanın sonrakı artması ilə sönmənin dərinliyi azalır, sönmə zolağının eni daralır və “sönmə temperaturu” yüksək temperatur oblastına doğru sürüşür.

GaS(Yb) kristalını 50 krad dozada (əyri 4) qamma kvantlarla şüalandırdıqdan sonra, kristalın elektrik keçiriciliyi (şəkil 3, əyri 3-ə) nəzərə alın 125-250 K temperatur intervalında artır, 250-300 K intervalında azalır.

İlkin və 20 krad dozada şüalanmış kristallarda müşahidə olunan “termik sönmə” temperaturu yüksək temperatur oblastına doğru sürüşür və $\sim 250\text{K}$ olur.



Şəkil 3. Qamma-kvantlarla şüalandırılmış GaS və GaS(Yb) monokristallarının müxtəlif dozalarda elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı (E || “c” oxu halı üçün)

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

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

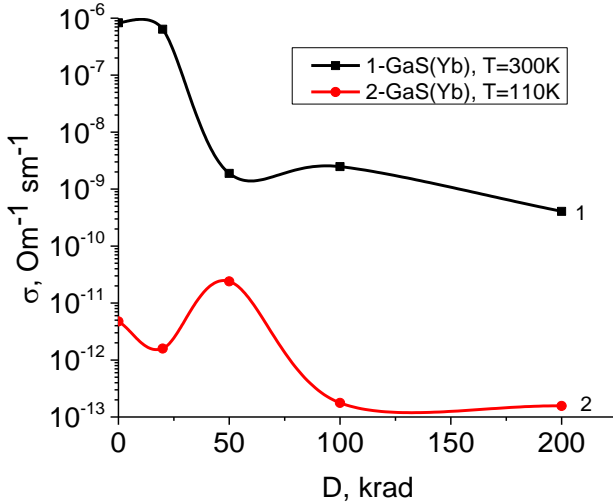
Şüalanma dozasının D= 200 krad qiymətində isə (əyri 6) 125-230 K intervalında cərəyanın qiyməti qeyri-müəyyən olur və 230-300K intervalında isə, temperaturun artması ilə cərəyan xətti qanunla artır. Buna səbəb D= 200 krad və daha yüksək dozalarda şüalanma zamanı yaranan donor tipli dərin energetik səviyyələrin akseptor tipli səviyyələri tam kompensasiya etməsi ola bilər. Əyrinin xətti

hissəsindən təyin olunmuş aktivləşmə enerjisinin qiyməti~0,78 eV olmuşdur.

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

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

Şəkil 4-da GaS(Yb) kristalında elektrik keçiriciliyinin şüalanma dozasından asılılığı müxtəlif temperaturlarda verilmişdir. Şəkil 4 əyri 1-dən görünür ki, şüalanmanın aşağı dozalarında keçiricilik dəyişmiş, şüalanma dozasının $D=20$ krad qiymətindən sonra kəskin düşmə və $D=100$ krad qiymətindən sonra isə demək olar ki, çox az dəyişmə müşahidə olunur.



Şəkil 4. GaS(Yb) kristallarında elektrik keçiriciliyin müxtəlif temperaturlarda (T=110K, 300K) şüalanma dozəsindən asılılığı

Şəkil 4 əyri-2-də isə, yəni T=110 K temperaturunda keçiriciliyin şüalanma dozəsindən asılılığı xarakter etibarı ilə dəyişir. Qrafikdən görünür ki, aşağı şüalanma dozalarında keçiricilik 20 krad dozaya qədər azalır, sonrakı şüalanmada keçiriciliyin artması müşahidə olunur. Şüalanma dozasının D=50 krad qiymətindən sonra kəskin eksponensial azalma müşahidə olunur.

Şəkil 4, 1 və 2- əyriyərdən alınan nəticələrin müqayisəsi göstərir ki, şüalanma dozasının 1-20 krad intervalında hər iki qəfəsaltında defekt yaranma prosesi baş verir və yaranan defektlərin konsentrasiyası struktur defektlərin konsentrasiyasından az olduğundan keçiricilik dəyişmir. T=300 K temperaturda 20-50 krad doza intervalında keçiriciliyin kəskin düşməsi Yb-aşqar atomunun Ga- vakansiyasını doldurmaqla, akseptor tipli defekt səviyyəsinin qismən kompensasiyası getdiyindən keçiricilik azalır. T=110 K temperaturda isə Yb atomları qismən düynülərəarası oblastda yerləşməsi nəticəsində dayaz energetik akseptor tipli səviyyə yaratdığından keçiricilik artır və şüalanma dozasının sonrakı artımında isə defekt yaranma mexanizmi stabilləşdiyindən keçiricilik az dəyişir.

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

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

- Aşqarlı GaS(Yb) monokristallarında şüalanma zamanı yaranan kompton elektronlarının atomlarla qarşılıqlı təsiri zamanı sadə Frenkel defektləri yaranır. $D < 50$ krad şüalanma dozalarında anion qəfəsaltında $V_S > V_{Ga}$ – kation qəfəsaltından çox olduğundan keçiricilik azalır, yüksək dozalarda isə, $V_S < V_{Ga}$ olduğundan kristalın keçiriciliyi azalır.

- GaS(Yb) kristalında isə $D < 50$ krad dozalarında radiasiya defektlərinin stimullaşdırıcı diffuziyası nəticəsində aşqar Yb atomunun kation vakansiyasında tutulması və kompleksinin- $[V_{Ga} Yb_i]$ yaranması nəticəsində kristalın keçiriciliyi azalır, $D > 50$ krad dozalarda V_{Ga} –nin və $[V_{Ga} Yb_i]$ -nin dissosiasiyası nəticəsində keçiricilik artır.

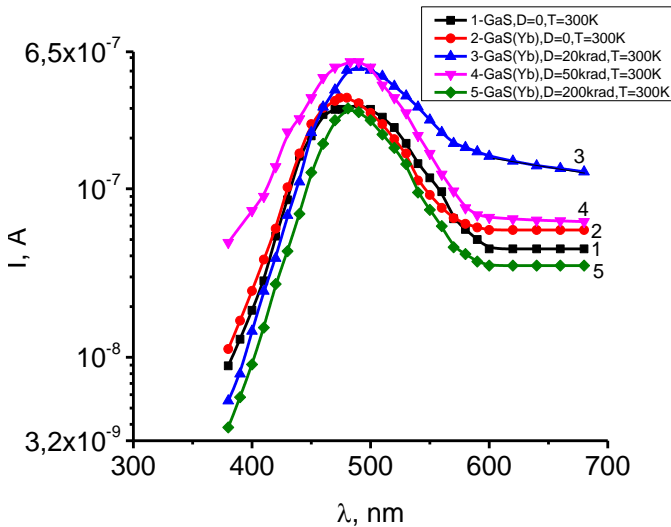
IV fəslində GaS monokristalını Yb ilə aşqarladıqdan və şüalanmadan sonra yaranan aşqar-radiasiya defektlərini idarə etmək üçün fotoelektrik xassələrinin tədqiqi aparılmışdır. Fotoelektrik xassələri otaq və $T=110K$ temperaturlarında şüalanmadan əvvəl və sonra ($D=20$ krad, 50 krad, 100 krad və 200 krad)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

Şəkil 5-də GaS və GaS(Yb) 0,1 at% monokristalının otaq temperaturunda ($U=50V$) müxtəlif şüalanma dozalarında fotokeçiriciliyin spektral paylanması $T=300 K$ temperaturunda verilmişdir. Qrafikdən görünür ki, fotocərəyanın spektral paylanmasında uzun dalğa sərhəddi Yb –aşqar atomunun daxil edilməsi ilə 660 nm-dən 700 nm-ə sürüşür. Yəni, Yb- aşqar atomunun GaS kristalının qadağan olunmuş zonasında yaratdığı energetik səviyyəsinin ionlaşması ilə bağlıdır. GaS(Yb) kristalında (şəkil 5, əyri-2) fotocərəyanın maksimal qiyməti dalğa uzunluğunun $\lambda_{max} = 475$ nm

qiymətinə uyğun gəlir. Şəkildən görüldüyü kimi, Yb –aşqar atomunun daxil edilməsi GaS monokristalında maksimal cərəyana uyğun dalğa uzunluğunu dəyişdirmir və həmin dalğa uzunluğuna uyğun fotocərəyanın qiyməti zəif dəyişir.

Şəkil 5-də əyri 3-dən görünür ki, GaS(Yb) monokristalını $D=20\text{krad}$ doza ilə şüalandırıqda nümunənin ftohəssaslığı artır və spektr aşqar oblastına doğru sürüşür (əyri-3).

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



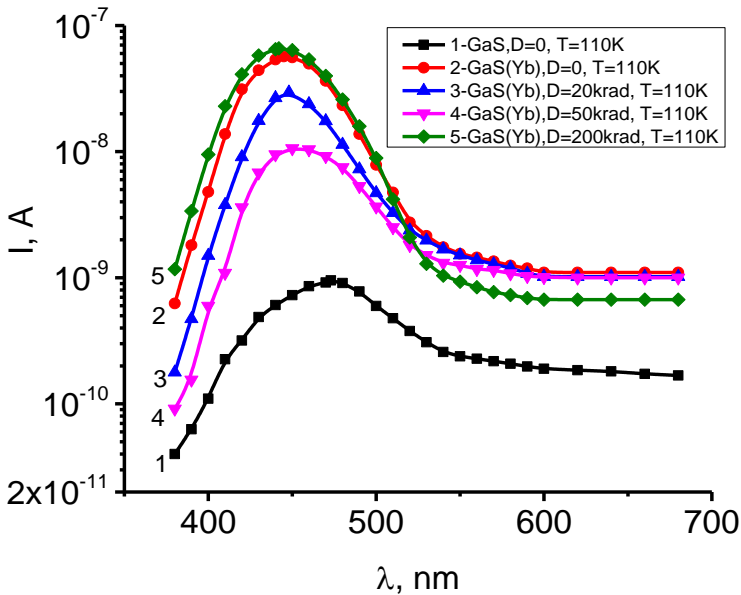
Şəkil 5. GaS və GaS(Yb) 0,1 at% monokristallarının otaq temperaturunda ($U=50\text{V}$) müxtəlif şüalanma dozalarında fotocərəyanın spektral paylanması

$D=200$ krad qamma kvantları ilə şüalandırıldıqdan sonra GaS(Yb) laylı monokristalının fotocərəyanın spektral paylanma əyrisinin xarakteri dəyişmiş, fundamental udulma oblastında, həm də aşqar oblastında fotocərəyanın qiymətinin azalması müşahidə olunur. Fotokeçiriciliyin qiymətləri ilkin GaS monokristalının qiymətlərinə yaxındır. Bu nəticə bizə təmiz GaS laylı monokristalını aşqarladıqdan, $D=20$ krad və $D=50$ krad şüalanmadan sonra artan qallium vakansiyaların konsentrasiyasında azalma olduğunu göstərir.

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

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

Şəkil 6-da GaS və GaS(Yb) 0,1 at % monokristallarının $T=110$ K temperaturda fotocərəyanın spektral paylanması şüalanmadan əvvəl (əyri-1,2) və sonra (əyri-3,4,5) verilmişdir. Şəkil 6-da $T=110$ K temperaturda təmiz və nadir torpaq elementi olan itterbium ilə aşqarlanmış GaS monokristallarının fotocərəyanın spektral paylanması göstərilmişdir. Fotocərəyanın Byub nəzəriyyəsinə uyğun olaraq kristalın temperaturunun azalması nəticəsində spektrdə fotocərəyanın maksimumu kiçik dalğa uzunluğu oblastına tərəf sürüşür. Qrafikdən görünür ki, GaS monokristalında (şəkil 6, əyri 1) məxsusi udulma sərhəddi yaxınlığında ($\lambda = 472$ nm) maksimum müşahidə olunur.



Şəkil 6. GaS və GaS<Yb> 0,1 at% monokristalının T=110K temperaturda (U=50V) müxtəlif şüalanma dozalarında fotocərəyanın spektral paylanması

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

Şüalanmadan sonra ($D=20$ krad) GaS(Yb) monokristalının həssaslığı azalır və maksimum kiçik dalğa oblastına tərəf sürüşür.

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

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

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

- Laylı GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın spektral paylanma spektrində, fotocərəyanın maksimal qiymətinə uyğun dalğa uzunluğunda cərəyanın qiyməti ($I_f, \lambda_{\text{max}}$) $T=300\text{ K}$ temperaturda elektrik sahə intensivliyindən asılı olaraq qismən azalır, $T=110\text{ K}$ temperaturunda isə, fotocərəyanın qiyməti eksponensial qanunla artır. GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın ($I_f, \lambda_{\text{max}}$) sahə intensivliyindən asılı olaraq dəyişməsi, aşqarlanma zamanı yaranan donor tipli dayaz səviyyənin termoionlaşması ilə bağlıdır.

- Qamma-kvantlarla şüalandırılmış laylı GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın spektral paylanma spektrində, fotocərəyanın maksimal qiymətinə uyğun dalğa uzunluğunda cərəyanın qiyməti ($I_f, \lambda_{\text{max}}$) $T=300\text{ K}$ temperaturda elektrik sahə intensivliyindən asılı deyil, $T=110\text{ K}$ temperaturunda isə, 50 krad dozada şüalandırılmış nümunələrdə fotocərəyanın qiyməti ($I_f, \lambda_{\text{max}}$) eksponensial qanunla azalır, $20; 100$ və 200 krad şüalanma dozalarında isə zəif asılıdır.

- Laylı GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın spektral paylanma spektrində uzundalğa sərhəddinə uyğun dalğa uzunluğu $T=300\text{ K}$ və $T=110\text{ K}$ temperaturlarında sahə intensivliyinin artması ilə eksponensial qanunla aşağı dalğa uzunluğu oblastına tərəf sürüşür

- Qamma-kvantlarla şüalandırılmış laylı GaS(Yb) kristalında fotocərəyanın spektral paylanma spektrində uzundalğa sərhəddinə uyğun dalğa tezliyi $T=300\text{ K}$ temperaturda sahə intensivliyinin $8,7 \cdot 10^2$

V/sm qiymətində $D \leq 50$ krad şüalanma dozasında yaranan defektlərin aşqar atomları ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində spektrin aşağı tezlik oblastına, $D > 50$ krad şüalanma dozalarında isə yüksək tezlik obastı tərəfə sürüşür.

ƏSAS ELMİ NƏTİCƏLƏR

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

- komplekslərin dissosiasiyası səbəbindən kation vakansiyalarının və düyünlərərası aşqar atomlarının artması nəticəsində yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artır. Təklif olunan model aşqarlı laylı kristalların elektrik və fotoelektrik xassələrini məqsədyönlü idarə etməyə və kristalın γ -kvantlara davamlılığını idarə etməyə imkan verir.
4. Laylı GaS(Yb) kristalında aşqar atomlarının və radiasiya defektlərinin laylararası oblastda yerləşməsi kristalların anizotrop luq xüsusiyyətini zəiflədir, laydaxilində yerləşməsi isə gücləndirir. Yüksək elektrik sahələrində cərəyanın keçmə mexanizmi aşqar atomunun təbiətindən asılı olmayaraq Frenkel modelinə tabe olur.
 5. GaS(Yb) laylı monokristallarında radiasiya defektlərinin yaranma və dəmlənmə prosesləri, həmçinin qamma-kvantlara qarşı davamlılıq mexanizmləri geniş temperatur, işıqlanma və elektrik sahə intensivliklərində tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, kristalın kation və anion qəfəs altlarında yaranan radiasiya defektlərinin struktur və aşqar defektləri ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində baş verən radiasiya-stimullaşdırıcı proseslər laylı kristalların elektrik, optik və fotoelektrik xassələrinin məqsədyönlü idarə edilməsinə və onlar əsasında effektiv fotoqəbuledicilərin və fotoçeviricilərin hazırlanmasına imkan verir.
 6. γ -kvantlarla şüalandırılmış aşqarlı GaS(Yb) monokristallarında spektrin udulma zolağında 110 və 300 K temperaturlarında elektrik sahəsinin müxtəlif qiymətlərində fotocərəyanın kəmiyyətə dəyişməsi və termik sönməsi müşahidə edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, laydaxilində yerləşən Yb aşqar atomunun ilkin struktur defektləri qismən kompensasiya etməsi nəticəsində fotocərəyan udulma zolağında artır. Aşqar oblastında isə, elektrik sahəsinin təsiri nəticəsində elektroaktiv defekt səviyyələrinin dolub-boşalması hesabına spektrin aşqar oblastında fotocərəyanın qiyməti dəyişir. Aşqar fotocərəyan ilə elektrik sahə intensivliyi arasında korelyasiya müəyyən edilir.

7. γ - kvantlarla şüalandırılmış aşqarlı GaS(Yb) kristallarının fotocərəyan 110-300K temperatur intervalında müxtəlif elektrik sahə intensivliklərində tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, Yb atomu ilə aşqarlanmış GaS monokristalında fotocərəyanın temperatur, aktivləşmə və termik sönmə hadisələrinin baş vermə səbəbi γ –kvantlarla şüalanma nəticəsində yaranan sadə defektlərin struktur və aşqar defektləri ilə qarşılıqlı təsiri nəticəsində r-asta və s-sürətli rekombinasiya mərkəzlərinin, dərin tutma səviyyəsinin konsentrasiyalarının nisbi dəyişməsidir və təklif edilən mexanizm fotocərəyanın çoxkanallı rekombinasiya modeli əsasında izah edilə bilər.

DİSSERTASIYANIN ƏSAS NƏTİCƏLƏRİ AŞAĞIDAKI NƏŞRLƏRDƏ DƏRC OLUNMUŞDUR:

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

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

14. Khaligzadeh, A.Sh. Features of photoelectric of GaS monocrystal with doped rare earth elements (Yb, Sm) // XXI International Youth Scientific School, -Kazan: -23-28 September, -2019, -s. 182.
15. Khaligzadeh, A.Sh. The effect of γ -irradiation on the electrophysical properties of GaS monocrystal doped with Yb and Sm // Journal of Radiation Researches, -2019, V6, N2, -s.60-64
16. Мадатов, Р.С. Тагиев, Т.Б. Халыгзаде А.Ш., Особенности дефекто образования монокристаллах GaS<Sm> при облучении малыми дозами гамма-квантов// Шестой междисциплинарный научный форум с международным участием «Новые материалы и перспективные технологии», -Москва, Russia: -23-27 ноября, -2020 , -с.292,
17. Madatov, R.S. Photoluminescence of undoped and Yb-doped GaS single crystals irradiated with γ -quanta/ R.S.Madatov, T.B.Tagiev, A.Sh.Khaligzadeh, // Problems of atomic science and technology, -2021, №5(135), -p.42-43
18. Мадатов, Р.С. Тагиев, Т.Б. Халыгзаде, А.Ш. Изменение электрических свойств GaS(Yb) при облучении гамма квантами // III Международный Научный Форум «Ядерная наука и технологии» посвященный 30-ти летию независимости республики казахстан, -Almaty, Republic of Kazakhstan: -20-24September, - 2021, -p. 117
19. Madatov, R.S. The effect of γ -irradiation on the volt-ampere characteristics (VAC) of GaS monocrystal doped with Yb / Madatov, R. S. Tagiev, T. B. Khaligzadeh, A. Sh. // Journal of Radiation Researches, -2021, V8, N2, -s. 60-64
20. Mədətov, R. S. Tağıyev, T. B. Xalıqzadə, A. Ş. Yb ilə aşqarlanmış GaS monokristalının elektrofiziki xassələrinə γ -şüalanmanın təsiri// VII Beynəlxalq elmi-praktiki gənclər konfransı Fevral məruzələri 2022: Aviakosmik məsələlərin həllində gənclərin yaradıcı potensialı, -Bakı, Azərbaycan: -2-4 fevral, -2022, -s. 179-181

Dissertasiyanın müdafiəsi_____._____2023-cü il tarixində saat_____ Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.21 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1143, Bakı, B.Vahabzadə küç., 9.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Radiasiya Problemləri İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Radiasiya Problemləri İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat_____ _____2023-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 07.07. 2023

Kağızın formatı: A5

Həcm: 38859

Tiraj: 100