

Əlyazma hüququnda

AYTƏN MÖVSÜM QIZI ƏLİYEVƏ

**GASE VƏ INSE KRİSTALLARINDA LAZER ŞÜALARININ
TƏSİRİ İLƏ QEYRİ-XƏTTİ OPTİK VƏ TARAZLIQDA OLMAYAN
ELEKTRON PROSESLƏRİ**

(2220.01 yarımkeçiricilər fizikası)

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı - 2013

Dissertasiya işi Azərbaycan MEA akademik H.Abdullayev adına Fizika İnstitutunda və Bakı Dövlət Universitetinin “Yarımkeçiricilər fizikası” kafedrasında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbərləri:

Akademik, fizika-riyaziyyat elmləri
doktoru, professor

M.İ.Əliyev

Fizika-riyaziyyat elmləri
doktoru, professor

V.M.Salmanov

Rəsmi opponetlər:

AMEA-nın müxbir üzvü,
fizika-riyaziyyat elmləri
doktoru, professor

T.C.Cəfərov

Fizika-riyaziyyat elmləri
doktoru, professor

R.M.Sərdarlı

**Aparıcı təşkilat: Azərbaycan Texniki Universitetinin “Fizika” kafedrası
və “Nanostrukturların fizikası və texnikası” Elmi-
Tədqiqat Laboratoriyası**

Dissertasiyanın müdafiəsi «25» dekabr 2013-cü il saat 11:00-da
Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akademik H.M.Abdullayev adına
Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən D01.011 Dissertasiya
Şurasının iclasında olacaq.

Ünvan: Bakı ş.H.Cavid pr.,33,Az-1143,

E-mail: director@physics.ab.az

Faks: (99412) 439-59-61

Dissertasiya ilə AMEA akademik H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutunun
Elmi kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat «23» noyabr 2013-cü ildə göndərilmişdir.

Elmi katib
Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor

D.H.Arashlı

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Müasir fizikanın ən mühüm tədqiqat sahələrindən biri lazer şüalarının maddə ilə qarşılıqlı təsirini öyrənməkdir. Böyük gücə və yüksək monoxromatikliyə malik olan lazer şüalarının maddə ilə qarşılıqlı təsiri fizikanın yeni sahəsi – qeyri-xətti optikanın yaranmasına səbəb oldu. Xarakteri lazer şüalarının intensivliyindən asılı olaraq dəyişən qeyri-xətti optik effektlər tədqiq olunan maddələrin fiziki xassələri haqqında zəngin məlumat əldə etməyə imkan verir. Yarımkəçirici kristallarda lazer şüalarının təsiri ilə baş verən qeyri-xətti optik hadisələrin tədqiqi həm nəzəri həm də praktik cəhətdən xüsusi maraq doğurur. Yarımkəçiricilər böyük polyarlaşma qabiliyyətinə malik olduqlarından, qeyri-xətti optik effektlər onlarda daha güclü təzahür edir. Yarımkəçirici maddələr fiziki parametrlərini, məsələn, qadağan olunmuş zolağın enini, müxtəlif tipli keçiriciliklərini, sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını və s., geniş diapazonda dəyişə bilmələri ilə xarakterizə olunur. Bütün bunlar, yarımkəçirici maddələrdən qeyri-xətti optik effektlərin aşkar edilməsi və tədqiqi sahəsində geniş istifadə olunmasına və onların əsasında qeyri-xətti optikanın prinsiplərinə əsaslanan cihaz və qurğuların yaradılmasına imkan verir.

Adətən, yarımkəçirici kristalların fotokeçiriciliyi kiçik intensivlikli işıq şüaları, yəni klassik işıq mənbələri ilə tədqiq edilir. Apardığımız təcrübələr göstərir ki, yüksək optik həyəcanlaşmada fotokeçiricilik müəyyən xüsusiyyətlərə malikdir. Bu ilk növbədə lazer şüalarının təsiri ilə böyük konsentrasiyalı elektron-deşik cütünün yaranması və qenerasiya-rekombinasiya prosesləri ilə əlaqədardır. Digər tərəfdən, tezliyi dəyişən lazerdən istifadə olunması udma kənarından böyük enerjilərdə fotokeçiriciliyin spektral, lüks-ampere xarakteristikalarını və kinetikasını öyrənməyə imkan verir.

Hazırda optoelektronikada bir sıra yarımkəçirici kristallar geniş tətbiq olunur. Onların arasında ZnGeP_2 , LiNbO_3 , GaAs , CdS , GaP , LiTaO_3 və s. kimi qeyri-xətti optik xassələrə malik olan kristallar da vardır. Lakin, kvant elektronikasının sonrakı inkişafı fizikanın bu aktual oblastının artan tələbatını ödəyən yeni yarımkəçirici maddələrin axtarışını tələb edir. Bu dissertasiya işi və eyni zamanda digər müəlliflər tərəfindən aparılan nəzəri və təcrübə tədqiqat işləri göstərir ki, GaSe və InSe kristalları kvant elektronikasının ən tələb olunan maddələrindən biri hesab oluna bilər. Belə seçim ilk növbədə bu kristalların laylı quruluşa, geniş spektr diapazonunda şəffaflığa, mükəmməl alınma texnologiyasına, qadağan olunmuş zolağın

eninin hal-hazırda istifadə olunan lazerlərin tezliyinə uyğun gəlməsi, udma əmsalının klassik yarımqeçiricilərə nəzərən kiçik olması, fundamental udma kənarında böyük əlaqə enerjisinə malik eksitonların olması və ən başlıcası isə bu kristalların böyük qeyri-xətti nüfuzluq əmsalına malik olmaları ilə əlaqədardır.

Qeyd etmək lazımdır ki, GaSe və InSe kristalları uzun müddət mühüm tədqiqat obyekti olmuşdur. Belə ki, hələ 1965-ci ildə akademik H.Abdullayev və onun həmkarları GaSe kristallarını sürətli elektron şüaları ilə həyəcanlaşdırmaqla onlarda lazer effektinin alınmasına nail olmuşlar[1]. Bundan əlavə, laylı GaSe və InSe kristallarında lazer şüalarının təsiri ilə harmonikaların generasiyası, ikifotonlu udma hadisəsi, işığın parametrik çevrilməsi, optik bistabillik və s. kimi qeyri-xətti optik hadisələr müşahidə olunmuşdur[2]. Lakin bu tədqiqat işləri əksər hallarda, bir dalğa uzunluğuna malik lazer şüaları vasitəsilə aparılmışdır: Rubin ($\lambda=0,69$ mkm), Neodim ($\lambda=1,06$ mkm), Azot ($\lambda=0,337$ mkm) və CO₂ ($\lambda=10,6$ mkm) lazerləri. Lazer texnikasının sonrakı inkişafı tezliyi geniş diapazonda dəyişə bilən yeni lazerlərin yaranmasına səbəb oldu. Bu da əvvəllər tədqiqi mümkün olmayan bir sıra qeyri-xətti optik hadisələrin kəşfinə və hərtərəfli öyrənilməsinə imkan yaratdı. Digər tərəfdən lazer spektroskopiyasının yeni üsullarının meydana gəlməsi qeyri-xətti optik effektlərin dinamikasını, təkamülünü çox böyük dəqiqliklə müəyyən etməyə imkan verdi.

Son illər nanotexnologiyanın elektronika, sənaye, energetika, tibb və ekologiyaya tətbiqi qabaqcadan verilmiş xassələrə malik yeni nanostrukturlu obyektlərin sintezini və tədqiqini tələb edir. Kvant ölçülü hadisələrin yarımqeçirici nanostrukturda mövcud olması onların əsasında böyük funksional spektr imkanlarına malik yeni elementlərin yaradılmasına şərait yaradır. Yarımqeçiricilərin nanotexnologiya da tətbiqində, hazırda az öyrənilmiş, ancaq böyük perspektivə malik olan layvari A³B⁶ yarımqeçirici birləşmələri mühüm yer tutur. Təqdim olunan iş həmçinin nanoölçülü GaSe-nin yeni üsulla alınmasına, onların struktur analizi, optik, fotoelektrik və lüminessensiya xassələrinin tədqiqinə həsr olunmuşdur.

Güclü lazer şüalarının müxtəlif maddələrlə qarşılıqlı təsiri bir çox hallarda həm lazer texnikasında istifadə olunan elementlərin (optik rezonatorların, linzaların və s.), həm də tədqiqat obyekti olan maddələrin korlanmasına səbəb olur. Odur ki, yarımqeçirici maddələrin, xüsusilə bir çox sahələrdə (mikroelektronika, sensor texnologiya, biotibb və s.) istifadə edilən silisium kristallarının, lazer şüalarının təsiri ilə səthinin korlanmasının tədqiq edilməsi böyük elmi və praktik əhəmiyyət kəsb edir. Laylı GaSe və InSe kristalları ilə yanaşı Si kristalının da tədqiq edilməsi ilk növbədə bu

kristalların optik udulma və fotokeçiriciliyinə, lazer şüalarının təsirinin öyrənilməsi və digər tərəfdən isə Si kristalları əsasında lazer şüaları vasitəsilə Si-GaSe heteroqəçidinin hazırlanması xüsusi maraq dogurur.

Dissertasiya işinin məqsədi nanoölçülü GaSe-nin yeni üsulla alınması, strukturu və fiziki xassələrinin öyrənilməsi, GaSe, InSe kristallarında lazer şüalarının təsiri ilə qeyri-xətti optik və tarazlıqda olmayan elektron proseslərinin aşkar edilməsi, tədqiqi və onlar əsasında optoelektronikada geniş istifadə olunan optik modulyator, lazer detektoru, nanoölçülü işıq mənbəi kimi cihazların hazırlanmasının mümkünlüyünü müəyyən etməkdən ibarətdir.

Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı konkret məsələlər həll edilmişdir:

1. Güclü lazer şüalarının GaSe və InSe kristallarının optik xassələrinə təsiri öyrənilmişdir.

2. Yüksək optik həyəcanlaşmada fundamental udma kənarında və böyük enerji oblastında GaSe və InSe kristallarının fotokeçiriciliyinin xüsusiyyətləri müəyyənəşdirilmişdir.

3. Nanoölçülü GaSe yeni üsulla alınaraq, onların strukturu, optik və lüminessensiya xassələri tədqiq edilmişdir.

4. Lazer şüalarının təsiri ilə Si kristallarında optik udulma mexanizmi müəyyən edilmiş, yüksək həyəcanlaşmada fotokeçiriciliyin əsas parametrlərinin xüsusiyyətləri aşkarlanmışdır.

5. Lazer şüalarının təsiri ilə GaSe-InSe, Si-GaSe heteroqəçidləri alınaraq onların fiziki xassələri öyrənilmişdir.

İşin elmi yeniliyi:

1. GaSe və InSe kristallarında lazer şüalarının təsiri ilə eksiton rezonansı oblastında qeyri-xətti optik udulma hadisəsi müşahidə olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, yüksək optik həyəcanlaşmada eksiton udulmasının aradan çıxmasına səbəb eksiton-eksiton qarşılıqlı təsiri və eksitonların sərbəst yükdaşıyıcılarla ekranlaşmasıdır.

2. GaSe və InSe kristallarında lazer şüalarının təsiri ilə yaranan böyük konsentrasiyalı elektron-deşik cütünün fundamental udma kənarında və

böyük enerjilərdə yaratdığı fotokeçiriciliyin qeyri-xətti xarakter daşdığı aşkar edilmişdir.

3. Nanoölçülü GaSe alınmış, onun struktur analizi aparılaraq, zərrəciklərin ölçüsü, qadağan olunmuş zolağın eni, udulma əmsalı təyin edilmişdir.

4. Si kristallarında lazer şüalarının təsiri ilə optik udulma və fotokeçiricilik hadisələri öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, Si kristallarında yarımkeçirici udma mexanizmi üstünlük təşkil edir. Yüksək optik həyəcanlaşmada yükdaşıyıcıların yürüklüyünün lazer şüalarının intensivliyindən və xarici elektrik sahəsindən asılı olaraq dəyişməsi müşahidə olunmuşdur.

5. Lazer şüalarının təsiri ilə GaSe-InSe və Si-GaSe heteroqeyidləri alınmış, onların volt-ampere, spektral və volt-tutum xarakteristikaları öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, bu üsulla yüksək keyfiyyətli heteroqeyidlər hazırlamaq mümkündür.

Tədqiqat üsulları və tədqiqat obyektləri:

Dissertasiya işində qarşıya qoyulan məsələlər nəzəri və təcrübə tədqiqatları əsasında yerinə yetirilmişdir. Işıq mənbəyi olaraq böyük gücə malik olan ($\sim 12 \text{ MVt/sm}^2$) nano-pikosaniyəli bərk cisim (YAG:Nd³⁺), maye (Rodamin 6G) və qaz (N₂-He-Ne) lazerlərindən istifadə olunmuşdur. Tədqiqat obyekti kimi p-GaSe, n-InSe, nanoölçülü GaSe, Si kristalı və n-InSe-p-GaSe və p-GaSe-n-Si heteroqeyidləri götürülmüşdür.

Kompleks şəkildə aparılan tədqiqat işlərində lazer spektroskopiyasının yeni üsulları (ikişüallı lazer üsulu, hər iki şüa arasındakı zamanı pikosaniyə müddətində dəyişmək üsulu), qeyri-stasionar fotokeçiriciliyin ölçülmə üsulu, nanoölçülü zərrəciklərin alınma üsulu tətbiq edilmişdir. Bütün ölçülər müasir cihazlar, spektroqraf (YOBIN-İVON, ayırdetmə qabiliyyəti 0,04 Å⁰), nano-pikosaniyəli impulsları ölçə bilən yaddaşlı ossilloqraf (Le Grou, tezliyi 175 MHz), böyük sürətli xüsusi qəbuledicilər, kompüter sistemi və s. cihazlar vasitəsilə həyata keçirilmişdir.

Müdafiəyə çıxarılan müddəalar:

1. Yüksək optik həyəcanlaşmada laylı GaSe və InSe kristallarının qeyri-xətti udulma mexanizmlərinin müəyyən olunması.

2. Yüksək optik həyəcanlaşmada GaSe kristalında fotokeçiricilik xüsusiyyətlərinin səbəblərinin aşkar edilməsi.

3.Lazer şüalanmasının təsiri ilə GaSe və InSe kristallarının fotoluminessensiya spektrində yeni şüalanma zolağının yaranma mexanizminin müşahidə edilməsi.

4.Lazer həyəcanlaşmasının təsiri ilə InSe kristallarının kəsilməz spektrində fotokeçiriciliyin müşahidə olunma səbəbi.

5.Lazer şüalanmasının təsiri ilə Si kristalının səthində korlanmaların və udulma mexanizmlərinin müəyyən edilməsi.

6.Lazer şüalarının təsiri ilə p-GaSe-n-Si heterostrukturunun alınma üsulunun müəyyən edilməsi.

İşin praktik əhəmiyyəti:

1. Dissertasiyada alınan nəzəri və təcrübi nəticələr laylı GaSe və InSe kristallarının kvant elektronikasında geniş tətbiqinə imkan yaradır.

2. Eksiton rezonansı oblastında bu kristallarda qeyri-xətti optik udulma hadisəsinin müşahidə olunması, onlar əsasında optik modulyatorların hazırlanmasının mümkünlüyünü göstərir.

3. InSe kristallarında fundamental udma kənarında və böyük enerjilərdə fotokeçiriciliyin müşahidə olunması, onlar əsasında spektrin görünən və infraqırmızı oblastlarında işləyən optik detektorların hazırlanmasına imkan yaradır.

4. Nanoölçülü GaSe -nin alınması ondan şüalanma mənbəi kimi istifadə olunmasının mümkünlüyünü göstərir.

Nəşrlər. Dissertasiya mövzusunə aid 8 məqalə və 2 konfrans materialı dərc olunmuşdur. Onlardan 6 məqalə respublika jurnallarında, 2 məqalə isə xarici jurnallarda çap olunmuşdur.

İşin aprobasiyası.

Tədqiqatların əsas nəticələri AMEA-nın Aspirantlarının Elmi konfransı (2010), Bakı Dövlət Universiteti Fizika Problemləri İnstitutu, Fizikanın müasir problemləri V Respublika elmi konfransı, Opto-,nanoelektronika və kondensə olunmuş mühit fizikası elmi konfranslarında (2011) müzakirə edilmişdir.

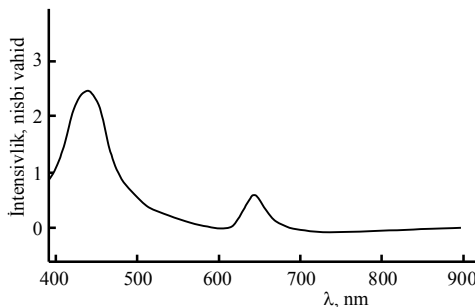
Dissertasiya işinin həcmi və quruluşu. Dissertasiya işi 139 səhifədən, giriş, 4 fəsil, nəticələr və ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İşdə 72 şəkil, 7 cədvəl və 94 adda ədəbiyyatdan istifadə olunmuşdur.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə dissertasiya mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəaları, elmi yenilikləri, praktik əhəmiyyəti və işin fəsilələrinin qısa məzmunu şərh edilmişdir.

Birinci fəsil nanoölçülü GaSe -nin alınmasına, struktur analizi və bəzi optik, fotoelektrik və lüminessensiya xassələrinin tədqiqinə həsr olunmuşdur. Rentgenstruktur analizi verilmiş, rentgen şüalarının dispersiv enerji spektroskopiyası və darayıcı elektron mikroskopu üsulları ilə onların quruluşu müəyyən edilmiş, qəfəs parametrləri təyin edilmiş, Debay–Şerer düsturu ilə nanoölçülü hissəciklərin ölçüləri hesablanmış və göstərilmişdir ki, həmin ölçü ~20 nm tərtibində olmuş, qadagan olunmuş zolağın eni isə GaSe kristalına nəzərən böyük enerji (~1.20 eV) oblastına tərəf sürüşmüşdür.

Nanoölçülü GaSe -nin udma spektri çox geniş bir diapazonu əhatə edir 250÷800nm. Spektr iki maksimumdan ibarətdir: uzundalğalı $\lambda=620\text{nm}$ və qısdalğalı $\lambda=(310-430)\text{ nm}$. GaSe kristallarının udma spektri ilə müqayisə etdikdə görürük ki, qısa dalğalı maksimum müşahidə olunmur. Odur ki, bu maksimumun məhz nanoölçülü maddələrə aid olduğu mülahizə olunur. Uzundalğalı maksimum GaSe kristallarının udma spektrində də müşahidə olunduğundan, onun aşqar səviyyəsi ilə əlaqədar olduğunu fərz etmək olar. Nanoölçülü GaSe –nin fotolüminessensiya spektrində müşahidə olunan maksimum $\lambda=430\text{nm}$ -ə uyğun gəlir (şəkil 1).



Şəkil 1. Nanoölçülü GaSe -nin şüalanma intensivliyinin dalğa uzunluğundan asılılığı.

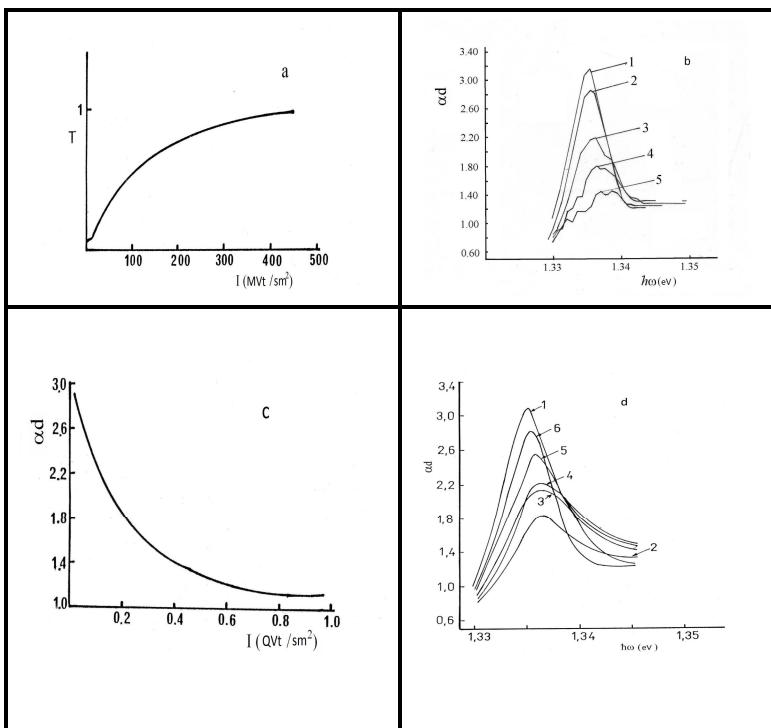
Lüminessensiya xəttini udma spektrindəki maksimumla müqayisə etsək, bu xəttin də nanoölçülü GaSe-nin fundamental udma kənarına uyğun gələn keçidlə əlaqədar olduğunu görmək olar.

İkinci fəsil GaSe və InSe kristallarının yüksək optik həyəcanlaşmada optik, fotoelektrik və lüminessensiya xassələrinin tədqiq edilməsinə həsr edilmişdir. Təcrübələr lazer spektroskopiyasının ikişüallı lazer üsulu ilə aparılmışdır. Təcrübədə istifadə olunan GaSe və InSe nümunələrinin qalınlığı $\sim 10\div 30$ mkm tərtibindədir. n- InSe və p-GaSe nümunələrində müvafiq olaraq yükdaşıyıcıların yürüklüyü və konsentrasiyası $T=80$ K temperaturunda $\mu_n \sim 1,2 \times 10^3$ sm²/V·s, $n = 7 \times 10^{14}$ sm⁻³ və $\mu_p \sim 20$ sm²/V·s, $p = 1 \times 10^{14}$ sm⁻³ olmuşdur.

InSe kristallarını həyəcanlaşdırmaq üçün təcrübələr sinxronlaşmış moda rejimində işləyən pikosaniyəli (25ps) YAG:Nd⁺³ lazeri ($\hbar\omega = 1,17$ eV) vasitəsilə aparılmışdır. Işıq şüaları gücləndikdən sonra iki hissəyə bölünmüşdür: 1-ci hissə KDP kristalı vasitəsi ilə tezliyi 2ω -ya bərabər olan ($\hbar\omega_H = 2,34$ eV) şüalara çevrilmişdir. Bu şüalar kristalda böyük konsentrasiyalı elektron-deşik cütünün yaranmasına səbəb olur. 2-ci hissə şüalar (sınaq şüaları) içərisi ağır su doldurulmuş küvetdən keçərək, geniş spektral paylanmaya malik olan ($0,75\div 1,5$ mkm) şüalar yaradır. Hər iki şüa arasında zaman fərqi ($0\div 1000$ ps) “zaman bölgüsü” adlanan qurğu vasitəsilə dəyişmək mümkündür. Nümunədən çıxan sınaq şüası monoxromatordan keçərək xüsusi qəbulediciyə göndərilir. Signalın çıxışı yaddaşlı ossilloqrafa, oradan isə proqramlı kompüter sisteminə verilir.

Şəkil 2,a-da $T=77$ K temperaturunda InSe kristalında buraxma əmsalının lazer şüalarının intensivliyindən asılılığı verilmişdir. Parametrik generator vasitəsilə həyəcanlaşma enerjisi $h\nu = 1,327$ eV-a bərabər olmuşdur. Bu enerji InSe kristallarının eksiton rezonansı oblastına uyğun gəlir. Adı işıqla aparılan təcrübələrdə buraxma əmsalı işığın intensivliyindən asılı olmur. Şəkildən görüldüyü kimi yüksək optik həyəcanlaşmada qeyri-xətti optik udulma hadisəsi baş verir. Eksiton rezonansı oblastında buraxma əmsalı

artır, yəni bu tezlikdə nümunə şəffaflaşır. Lazer şüalarının $\sim 300 \text{ MVt/sm}^2$ intensivliyində buraxma əmsalı doyma halına keçir. Işığın qeyri-xətti udulmasının dinamikasını öyrənmək üçün təcrübələr $T=4,2\text{K}$ temperaturunda aparılmışdır. Şəkil 2,b-də αd optik sıxlığının (α -udma əmsalı, d -isə nümunənin qalınlığıdır) müxtəlif intensivliklərdə spektral asılılıqları verilmişdir. Bu zaman həyəcanlaşma və sınaq şüaları arasındakı zaman fərqi sıfıra bərabər götürülmüşdür. Şəkildən göründüyü kimi lazer şüalarının intensivliyi artdıqca udma əmsalı kiçilir. Lazer şüalarının intensivliyinin $(0,1 - 0,8) \text{ QVt/sm}^2$ intervalında dəyişməsi αd - nin 3 dəfə azalmasına səbəb olur (şəkil 2,c). Nəhayət, şəkil 2,d –də həyəcanlaşma intensivliyinin sabit qiymətində ($I_{\text{sab.}} = 600 \text{ MVt/sm}^2$) αd -nin müxtəlif zamanlarda spektral asılılıqları verilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi əsas impulsu sınaq impulsu arasında zaman fərqi $(24 - 910 \text{ ps})$ artdıqca udulma spektrlərinin genişlənməsi, böyük enerji oblastına tərəf sürüşməsi və eyni zamanda kiçilməsi baş verir.



Şəkil 2. InSe kristallarında qeyri-xətti optik udulma.

GaSe kristallarını həyəcanlandırmaq üçün isə təcrübələr Rodamin 6G və Kumarin maye lazerləri ilə aparılmışdır. Maye lazerin özü isə azot (N_2) lazeri vasitəsilə həyəcanlandırılmışdır. Maye lazerin dalğa uzunluğu $\lambda=(594\div 643)\text{nm}$ və $(568-605)\text{ nm}$ intervallarında dəyişir. Impulsun maksimal gücü 120 kVt, müddəti 10 ns, şüalanma əyrisinin yarımənisi $0,4A^0$, impulsun təkrarlanması isə 20 Hs – ə bərabər olmuşdur. Sxemdə həyəcanlandırıcı şüa rolunu YAG: Nd^{+3} lazeri, “monitor”lazer rolunu isə maye lazer oynayır.

Təcrübədə GaSe kristallarının müxtəlif həyəcanlaşma intensivliyində buraxma spektrləri ölçülmüşdür. Göstərilmişdir ki, $\lambda=620\text{nm}$ (300 K) və $\lambda=598\text{nm}$ (77 K) dalğa uzunluqlarında müşahidə olunan minimumlar eksiton udulmasına uyğun gəlir. Həyəcanlaşma intensivliyi artdıqca InSe kristallarında olduğu kimi, eksiton rezonansı oblastında nümunənin şəffaflaşması baş verir. Həyəcanlaşma intensivliyinin kiçik qiymətlərində ($I_0\sim 0,1\text{MVt/sm}^2$) udma əmsalı intensivlikdən asılı olmayaraq sabit qalır. Ancaq intensivliyin artaraq $0,15 < I_0 < 12\text{ MVt/sm}^2$ intervalında dəyişməsi udma əmsalının təxminən üç dəfə azalmasına səbəb olur.

Aparılan nəzəri və təcrübi tədqiqatlar göstərir ki, yüksək optik həyəcanlaşmada GaSe və InSe kristallarının eksiton rezonansı oblastında qeyri-xətti optik udulma hadisəsi baş verir. Eksiton oblastında udma əmsalının azalması eksiton-eksiton qarşılıqlı təsiri və eksitonların lazer şüalarının təsiri ilə generasiya edən sərbəst yükdaşıyıcılar tərəfindən ekranlaşması ilə izah oluna bilər.

Eksitonların yüksək optik həyəcanlaşmada sərbəst elektron-deşik cütünə çevrilməsi üçün tələb olunan konsentrasiya Mott kriteriyasına əsasən aşağıdakı düsturla ifadə olunur:

$$n_{Mott} = \frac{\pi}{3} \left(\frac{1.416}{4a_B} \cdot \frac{\mu}{m_e + m_h} \right)^3 \quad (1)$$

burada μ -gətirilmiş effektiv kütlə, m_e, m_h - elektron və deşiklərin effektiv kütləsi, a_B isə eksitonun Bor radiusudur.

Təcrübədən alınan nəticələr göstərir ki, lazer şüalarının təsiri ilə GaSe və InSe kristallarında yaranan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası $\sim 4,5 \cdot 10^{19}\text{ sm}^{-3}$ tərtibindədir. Yuxarıdakı ifadə əsasında bu kristallar üçün hesablanmış Mott konsentrasiyası InSe kristallarında $n_{Mott} = 2,5 \times 10^{16}\text{ sm}^{-3}$

və GaSe kristallarında isə $n_{Mott} = 2,5 \times 10^{17} \text{ sm}^{-3}$ bərabər olur. Göründüyü kimi təcrübədən n_{Mott} üçün alınmış qiymət Mott kriteriyasına əsasən hesablanmış n_{Mott} -un qiymətindən bir neçə tərtib çoxdur. Bu bir daha sübut edir ki, yüksək optik həyəcanlaşmada eksitonların udma əmsalının kiçilməsinə səbəb lazer şüalarının təsiri ilə bu kristallarda yaranan yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının Mott kriteriyasında tələb olunan konsentrasiyadan çox böyük olmasıdır. Doğrudan da, GaSe və InSe kristallarını lazer şüaları ilə həyəcanlaşdırdıqda meydana gələn elektron və deşiklər bağlı elektron-deşik cütü, yəni eksitonlar yaradırlar. Işığın intensivliyi artdıqca eksitonların konsentrasiyası artır. Eksitonların konsentrasiyası artdıqca onlar arasında eksiton-eksiton qarşılıqlı təsiri yaranır və eksiton udmasının aradan getməsinə səbəb olur.

Yuxarıda deyildiyi kimi, GaSe və InSe kristallarında müşahidə olunan qeyri-xətti optik udulma hadisəsi lazer şüalarının təsiri ilə bu kristallarda yaranan yüksək konsentrasiyalı yükdaşıyıcıların eksitonları ekranlaşdırılması hesabına da ola bilər. Kulon qarşılıqlı təsirinin sərbəst yükdaşıyıcılarla ekranlaşma uzunluğu Debay-Hügens düsturu ifadə olunur:

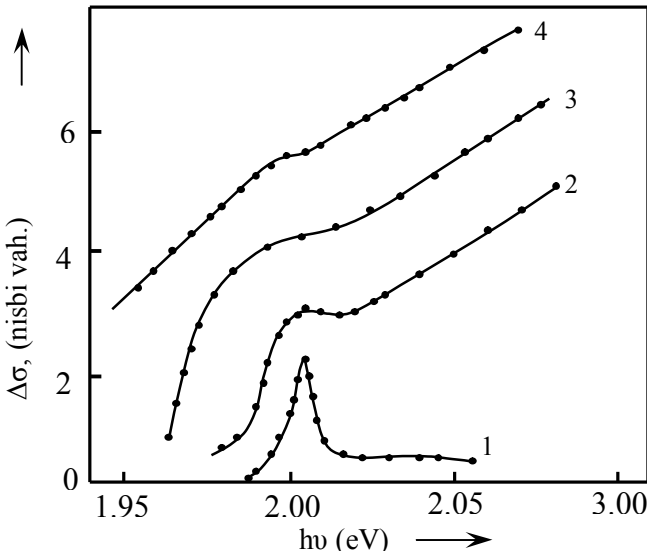
$$L = \hbar / 2(\pi / 3)^{1/6} N^{-1/6} \frac{\epsilon^{1/2}}{em^{*1/2}} \quad (2)$$

burada ϵ -kristalın dielektrik sabiti, m^* -effektiv kütlə, N -isə yükdaşıyıcıların konsentrasiyasıdır.

Yuxarıdakı ifadəyə əsasən InSe və GaSe kristallarında L ekranlaşma uzunluğunun qiyməti hesablanmış və onun $L \sim 10 \text{ Å}$ tərtibində olduğu göstərilmişdir. Bu qiymət InSe kristallarında eksitonun Bor radiusundan ($\sim 37 \text{ Å}$) kiçikdir. Bu onu göstərir ki, doğrudan da tədqiq olunan GaSe və InSe kristallarında eksitonların sərbəst yükdaşıyıcılarla ekranlaşma prosesi baş verə bilər.

Dissertasiya işinin bu fəslində həmçinin GaSe və InSe kristallarının yüksək optik həyəcanlaşmada fundamental udma kənarında və böyük enerjilərdə fotokeçiricilik hadisəsi tədqiq edilmişdir. Qeyd etmək lazımdır ki, əvvəllərdə bu kristallarda fotokeçiricilik hadisələri təcrübi olaraq öyrənilirdi. Ancaq bu təcrübələr klassik işıq mənbələri vasitəsi ilə həyata keçirilirdi. Lazer şüalarının yaratdığı yüksək konsentrasiyalı elektron-deşik cütü şəraitində qeyri-tarazlıqda olan elektron proseslərinin tədqiqi bu hadisələrin qeyri-xətti optik udulma ilə əlaqədar olduğunu göstərdi. Şəkil 3-

də GaSe kristalında fotokeçiriciliyin ($\Delta\sigma$) müxtəlif optik həyəcanlaşmada (I_0) spektral asılılıqları verilmişdir. Şəkildən göründüyü kimi lazer şüalarının kiçik intensivliyində maksimumu $\sim 2,00$ eV –a uyğun gələn pik müşahidə olunur. GaSe kristalında eksitonların əlaqə enerjisinin $0,02$ eV (20 meV) və qadağan olunmuş zolağının eninin otaq temperaturunda $E_g=2,02$ eV olduğunu nəzərə alsaq, $2,00$ eV-a uyğun gələn maksimumun eksiton fotokeçiriciliyi ilə əlaqədar olduğunu söyləyə bilərik (şəkil 3, 1 əyrisi). Lazer şüalarının intensivliyi artdıqca işığın təsiri ilə yaranan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artır. Bu yükdaşıyıcıların əksər hissəsi bağlı elektron-deşik cütünə (eksitonlara) çevrildiyindən eksiton oblastında fotokeçiriciliyin artması müşahidə olunacaqdır (şəkil 3,2 əyrisi). Lazerin intensivliyinin sonrakı artımı eksiton pikinin genişlənməsinə və aradan getməsinə səbəb olur (şəkil 3.3,4 əyriləri). Ancaq bu zaman fundamental udma kənarında fotokeçiriciliyin artması müşahidə olunur. Fotokeçiriciliyin lazer şüalarının intensivliyindən asılılığı kiçik intensivliklərdə ($I_0=1$ MVt/sm²) xətti, intensivliyin sonrakı artımında $\Delta\sigma \sim I_0^{1/2}$ qanunu ilə dəyişir və nəhayət, daha yüksək intensivliklərdə ($I_0 > 4$ MVt/sm²) $\Delta\sigma$ azalmağa başlayır.



Şəkil 3. GaSe kristalında fotokeçiriciliyin ($\Delta\sigma$) müxtəlif optik həyəcanlaşmada (I_0) spektral asılılıqları (MVt/sm²): 1- 0,46; 2-2,28; 3-6,14; 4-12.

GaSe kristallarının fotokeçiricilik spektrlərində müşahidə olunan xüsusiyyətlər bu kristallarda eksiton rezonansı oblastında qeyri-xətti optik udulma prosesi ilə izah oluna bilər. Doğrudan da güclü lazer şüalarının təsiri ilə GaSe kristalında yaranan elektron-deşik cütləri neytral zərrəciklərə (eksitonlara) çevrilirlər. Lazer şüalarının intensivliyi artdıqca eksitonların konsentrasiyası artır və eksitonların konsentrasiyasının müəyyən kritik qiymətində onlar arasında qarşılıqlı təsir baş verir və eksitonlar parçalanaraq, sərbəst elektron-deşik cütünə çevrilir. Bu hadisə də eksiton udulmasının aradan getməsinə səbəb olur. GaSe kristalında müşahidə olunan fotokeçiriciliyin qeyri-xətti optik udulma prosesi ilə əlaqədar olduğunu müəyyən etmək üçün tarazlıqda olmayan yükdaşıyıcıların fotokeçiriciliyini xarakterizə edən $\alpha \cdot I_0$ kəmiyyətinin I_0 -dan asılılıq əyrisi qurulmuşdur. $\alpha \cdot I_0 \sim I_0$ asılılığının təcrübədən alınmış $\Delta \sigma \sim I_0$ asılılığı ilə müqayisəsi onların hər ikisinin intensivlikdən eyni tərzdə dəyişdiyini göstərir. Beləliklə, GaSe kristalında yüksək optik həyəcanlaşmada müşahidə olunan fotokeçiriciliyin qeyri-xətti optik udulma prosesi ilə əlaqədar olduğunu söyləyə bilərik. Qeyd etmək lazımdır ki, qeyri-xətti udulma prosesi GaSe kristallarının fotoluminessensiya spektrlərinə də təsir göstərir. Əgər lazer şüalarının kiçik intensivliklərində maksimumu $\lambda = 591 \text{ nm}$ uyğun gələn eksiton piki müşahidə olunursa, intensivliyin $I_0 > 0,8 \text{ MVt/sm}^2$ qiymətindən başlayaraq artması nəticəsində yeni bir luminessensiya zolağı (L- zolağı) meydana gəlir. L-zolağı sərbəst elektronlarla bağlı luminessensiya şüalanmasından 20 meV uzun dalğalara tərəf sürüşərək $\lambda = 597 \text{ nm}$ dalğa uzunluğunda maksimum qiymətə malik olur. Daha yüksək həyəcanlaşmada spektrdə ancaq L luminessensiya zolağı üstünlük təşkil edir. L-zolağı intensivlikdən asılı olaraq vəziyyətini dəyişir. Lazer şüalarının intensivliyi artdıqca onun uzun dalğalara tərəf sürüşməsi davam edir. L-zolağının və eksiton xəttinin lazer şüalarının intensivliyindən asılılığı müxtəlif xarakter daşıyır. Əgər sərbəst eksiton şüalanması intensivlikdən xətti asılıdırsa, L şüalanma zolağı intensivlikdən kvadratik asılı olur.

L-zolağını aşqar və bağlı eksiton şüalanması və ya eksiton-fonon qarşılıqlı təsiri ilə əlaqələndirmək mümkün deyil. L-zolağını eksiton molekulunun şüalanması ilə də əlaqələndirməyin ehtimalı azdır, çünki, bu şüalanmanın vəziyyəti eksiton xəttindən cəmi 6 meV vəziyyətində olmalı idi. Odur ki, 80 K temperaturunda bu şüalanmanı təcrübədə görmək mümkün deyildir. L-zolağının ən çox ehtimal olunan təbiəti yüksək optik həyəcanlaşmada baş verən eksiton - eksiton qarşılıqlı təsiri ola bilər. Bizim aldığımız təcrübə nəticələri eksiton-eksiton qarşılıqlı təsir mexanizminə daha

yaxındır. Eksiton-eksiton qarşılıqlı təsiri nəticəsində yaranan şüalanmanın $h\nu$ enerjisi qadağan olunmuş zolağın E_g enerjisindən $2E_b$ qədər azdır.

$$h\nu = E_g - 2E_b - \Delta E \quad (3)$$

$$\Delta E = \frac{1}{\mu} \frac{h^2}{8} \left(\frac{3}{8\pi} \right)^{2/3} \left(\frac{N}{V} \right)^{2/3} \quad (4)$$

burada E_b eksitonun əlaqə enerjisidir ($E_b \sim 20 \text{ meV}$), N/V – vahid həcmdə sərbəst yükdaşıyıcıların generasiya tempidir, $\mu = \left(\frac{1}{m_e} + \frac{1}{m_h} \right)^{-1}$ – elektron-deşik cütünün gətirilmiş effektiv kütləsidir.

Hesablama göstərir ki, $m_e = 0,7m_0$, $m_h = 0,5 m_0$ və $I_0 = 10 \text{ MVt/sm}^2$, olduqda, (4) düsturuna əsasın $\Delta E \sim 15 \text{ meV}$ tərtibində olur, bu da təcrübədən alınmış qiymətlə uyğunluq təşkil edir.

Üçüncü fəsil Si kristallarında lazer şüalarının optik udulmasına və fotokeçiriciliyinin tədqiqinə həsr edilmişdir. Bu ilk növbədə lazer şüalarının təsiri ilə silisium kristallarının səthinin korlanması ilə əlaqədardır. Digər tərəfdən, lazer şüalarının kristalda udulması tarazlıqda olmayan yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını kəskin artırır, bu da tarazlıqda olmayan elektron proseslərinə, xüsusi ilə fotokeçiriciliyə əsaslı təsir göstərir. Yuxarıda deyildiyi kimi işıq mənbəyi olaraq monoimpuls rejimində işləyən, fotonlarının enerjisi $h\omega = 1,17 \text{ eV}$ -a bərabər olan neodim lazerindən ($\lambda = 1,06 \text{ mkm}$) istifadə edilmişdir. Təcrübədə dəşiklərin konsentrasiyaları müxtəlif olan dörd qrup p-tipli Si kristallarından istifadə olunmuşdur: $5 \cdot 10^{12} \text{ sm}^{-3}$, $3 \cdot 10^{17} \text{ sm}^{-3}$, $4 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ və $9 \cdot 10^{19} \text{ sm}^{-3}$. Bu nümunələr qalınlığı $0,03 \text{ sm}$ -dən $0,17 \text{ sm}$ -ə qədər dəyişən, səthləri əsaslı sürətdə cilalanan nazik lövhələrdən ibarət olmuşdur. Buraxma əmsalını ölçmə zamanı təcrübələr həm düz, həm də tərs istiqamətdə aparılmışdır. Bununla da lazer şüalarının böyük intensivliyində nümunələrin səthində baş verən korlanmaları vizual görmə üsulu ilə yanaşı, bu üsulla da müəyyən etmək mümkün olmuşdur.

Bundan əlavə, He-Ne lazer şüalarının nümunənin səthindən səpilməsi vasitəsilə korlanmanın sərhəd qiyməti təyin edilmişdir. Nümunənin səthindən səpilən He-Ne lazer şüaları 45° bucaq altında qəbuledicidə qeyd olunmuşdur.

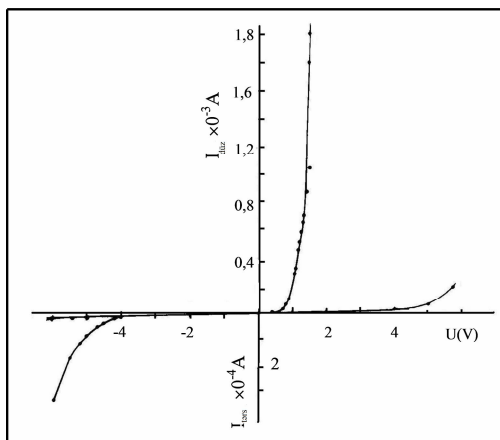
Lazer şüalarının yarımkeçirici maddələrdə optik udulması tarazlıqda olmayan yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının kəskin artmasına səbəb olur. Digər tərəfdən böyük konsentrasiyalı yükdaşıyıcıların generasiyası elektron–deşik səpilmə (EDS) mexanizmi hesabına yükdaşıyıcıların yürüklüyünü məhdudlaşdıran səbəblərdən biri ola bilər. Elektron–deşik səpilməsini təcrübi tədqiq etmək üçün yüksək konsentrasiyalı elektron–deşik cütü yaratmaq lazımdır. Elektron –deşik səpilməsini müşahidə etmək üçün təcrübi olaraq Si kristalının 4,2K temperaturunda fotokeçiriciliyinin xarici elektrik sahəsindən və həyəcanlaşma intensivliyindən asılılıqları monoimpulsu neodim lazeri vasitəsilə ölçülmüşdür. Fotokeçiriciliyin xarici elektrik sahəsindən asılılığı keyfiyyətcə aşağıdakı kimi izah oluna bilər. Yüksək optik həyəcanlaşmada tarazlıqda olmayan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası artır. Bu zaman yükdaşıyıcıların yürüklüyünü məhdudlaşdıran yeni səpilmə mexanizmi meydana gəlir. Bu əlavə mexanizm tarazlıqda olmayan elektronların tarazlıqda olmayandeşiklərdən səpilmə mexanizmidir.

Yükdaşıyıcıların yürüklüyünün fotokeçiriciliyə təsiri Bruks-Herrinqin elektron–deşik səpilməsi üçün verilmiş ifadəsi ilə hesablanmış və alınmış nəticələrin təcrübəyə uyğun gəldiyi müəyyən edilmişdir.

Dördüncü fəsil lazer şüalarının təsiri ilə p-GaSe–n-Si və InSe–GaSe heteroqeyidlərinin hazırlanmasına həsr edilmişdir. Məlumdur ki, mürəkkəb quruluşlu maddələrdən nazik təbəqələrin alınması bir sıra çətinliklərlə bağlıdır. Yüksək temperaturda baş verən buxarlanma zamanı başlanğıc tərkibi saxlamaq o qədər də mümkün olmur. Lazer şüaları tərkibindən asılı olmayaraq istənilən maddəni buxarlandırmaq qabiliyyətinə malikdir. Bizim apardığımız təcrübələr rubin ($\lambda=0,69\text{mkm}$) və neodim ($\lambda=1,06\text{mkm}$) lazerləri vasitəsilə aparılmışdır. Lazerlərin gücü 10^9 Vt/sm^2 , impulsun müddəti isə $5\cdot 10^{-8}$ san olmuşdur.

Təcrübələr göstərir ki, altlıq olaraq müxtəlif yarımkeçirici maddələrin monokristallarından (Si, GaAs, GaP,...) istifadə etməklə müxtəlif yarımkeçirici heterostrukturalar almaq olar. Bunun üçün vakuumda (10^{-5} mm. civə.süt.) n-Si altlıqlarının üzərinə lazer şüalanması ilə alınmış p-GaSe nazik təbəqələri çökdürülmüşdür. Lazer şüalarının təsiri ilə lazer impulsu müddətində (\sim nanosaniyə) hazırlanan belə heteroqeyidlər onların digər üsullarla hazırlanmasında, qoyulan bir çox qadağaların aradan qaldırılmasına səbəb olur. Şəkil 4-də nümunə üçün, p-GaSe - n-Si heteroqeyidinin iki müxtəlif həyəcanlaşma intensivliyində volt-ampere xarakteristikaları verilmişdir. Heteroqeyidin düzləndirmə əmsalı $U = 1\text{V}$ -da

10^4 tərtibində olmuşdur.



Şəkil 4. p-GaSe - n-Si heteroqəçidinin iki müxtəlif həyəcanlaşma intensivliyində volt-ampere xarakteristikaları (I_0 , kvant. $\text{sm}^{-2}\text{san}^{-1}$):
 $1-5 \cdot 10^{23}$; $2-3 \cdot 10^2$

Lazer şüalanması ilə hazırlanmış heteroqəçidlər işığa qarşı çox həssasdırlar. p-GaSe-n-Si heteroqəçidinin foto e.h.q-nin spektral xarakteristikası 1-2,2 eV kimi geniş bir diapazonu onu əhatə edir. Volt-Farad asılılığından hesablanmış GaSe nazik təbəqəsindəki akseptorların konsentrasiyası $N_A = 4 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-3}$ tərtibində olmuşdur.

NƏTİCƏLƏR

1. Nanoölçülü GaSe ($\sim 20 \text{ nm}$) alınmış, onların struktur analizi aparılmış, optik, fotoqəçiricilik və lüminessensiya xassələri öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, spektrlərdə müşahidə olunan maksimumların, böyük enerji oblastına tərəf ($\sim 1.20 \text{ eV}$) sürüşməsi GaSe kristalına nəzərən qadağan olunmuş zolağın eninin artmasına səbəb olur.

2. Lazer şüalarının təsiri ilə laylı GaSe və InSe kristallarının eksiton rezonansı oblastında qeyri-xətti optik udulma hadisəsi müşahidə olunmuşdur. Udulmanın spektral, lüks-ampere xarakteristikaları geniş temperatur intervalında ölçülərək göstərilmişdir ki, qeyri-xətti optik hadisə eksiton-eksiton qarşılıqlı təsiri və eksitonların sərbəst elektron-deşik cütü

hesabına ekranlaşması ilə əlaqədardır.

3.Yüksək optik həyəcanlaşmada GaSe kristallarının fotokeçiriciliyi öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, lazer şüalarının intensivliyi artdıqca eksiton fotokeçiriciliyi aradan getməsi böyük konsentrasiyalı elektron-deşik cütünün generasiya-rekombinasiya prosesi ilə əlaqədardır.

4.InSe kristallarının kəsilməz spektrində qeyri-xətti fotokeçiricilik hadisəsi müşahidə olunmuşdur. Alınan nəticələr göstərir ki, InSe kristalları spektrin həm görünən, həm də infraqırmızı oblastlarında lazer şüa qəbulediciləri kimi istifadə oluna bilər.

5.Si kristallarında fotokeçiriciliyin xarici elektrik sahəsindən və lazer şüalarının intensivliyindən asılılığı yükdaşıyıcıların yüklüklüyünün elektron-deşik səpilmə mexanizmi hesabına dəyişməsi ilə izah oluna bilər.

6.Lazer şüalarının təsiri ilə p-GaSe-n-InSe, p-GaSe-n-Si heteroqəçidləri hazırlanmışdır. Bu üsul heteroqəçiddə istifadə olunan maddələrə heç bir məhdudiyyət qoymadan (struktur, fiziki parametrlər və s.) nanosaniyə müddətində yüksək keyfiyyətli yarımkeçirici heteroqəçidlərin hazırlanmasına imkan verir.

ƏDƏBİYYAT

1. Н.Г. Басов, Г.Б. Абдуллаев, Г.А. Ахундов и др. “Индукцированное излучение в монокристаллах GaSe при возбуждении быстрыми электронами” // Доклады АН СССР, 1965, т.161, с.1059-1061.

2. L.-L. Chu, I.-F. Zhang, Zh. H. Kang, Y. et. al.” Phase matching for the second harmonic generation in GaSe crystals”. // Russian Physics Journal.May 2011, Volume 53, Issue 12, pp 1235-1242.

3.М.П. Киселюк, А.И. Власенко, П.А. Генцарь, Н.В. Вуйчик, Н.С. Заяц, И.В. Кругленко, О.С. Литвин, Ц.А. Крисков.”Оптические свойства тонких пленок GaSe/n-Si(111)”// Физика и техника полупроводников, 2010, том 44, вып. 8.стр.1046-1049.

DISSERTASIYANIN MƏZMUNU ÜZRƏ AŞAGIDAKI İŞLƏR NƏŞR OLUNMUŞDUR

1.А.Г.Кязымзаде,В.М.Салманов,А.А.Салманова,А.М.Алиева,Р.З.Ибаева
Фотоэлектрические и люминесцентные свойства кристаллов GaSe под действием лазерного излучения // Bakı Universitetinin Xəbərləri,2009, №2,səh.93-99.

2. А.Г.Кязым-заде, В.М. Салманов, А.А. Салманова, А.М. Алиева, Р.З. Ибаева. Фотопроводимость и люминесценция кристаллов GaSe при высоких уровнях оптического возбуждения // Физика и техника полупроводников, 2010, т. 44, в.3, с. 306-309.
3. А.Г.Кязым-заде, В.М. Салманов, А.А. Салманова, А.М. Алиева. Фотопроводимость InSe за краем фундаментального поглощения // Неорганические материалы, 2010, т.46, №6, с. 1-3.
4. А.М. Əliyeva. Yüksək optik həyəcanlaşmada layvari GaSe kristallarının fotokeçiriciliyi və lüminessensiyası / AMEA-nın Aspirantlarının Elmi Konfransının Materialları, may, 2010, səh.12-15.
5. А.Г.Кязым-заде, А.М. Алиева, А.А. Салманова, В.М. Салманов. Структурный анализ и некоторые оптические и фотоэлектрические свойства наночастиц GaSe // AMEA Xəbərlər, Fizika-Riyaziyyat və Texnika elmləri seriyası, 2011, №2, səh.156-160.
6. А.Г.Кязым-заде, А.М. Алиева, В.М. Салманов, И.М. Алиев, А.А. Салманова. Электронно-дырочное рассеяния в кремнии при лазерном возбуждении // AMEA Xəbərlər, Fizika-Riyaziyyat və Texnika elmləri seriyası, 2011, №5, səh.53-58.
7. A.G.Kyazym-zade, A.M. Alieva, V.M. Salmanov, I.M. Aliyev, A.A. Salmanova. Structural and optical characterization of GaSe nanoparticles // Journal of Qafqaz University, 2011, №31, p.50-55.
8. А.Г.Кязым-заде, В.М. Салманов, А.А. Салманова, А.М. Алиева. О разрушении кремния под действием лазерного излучения // Вестник БГУ, серия физ.-мат. наук, 2011, №2, с.99-106.
9. А.Г.Кязымзаде, В.М.Салманов, А.А.Салманова, И.М.Алиев, А.М.Алиева. Механизмы поглощения лазерного излучения в полупроводниках и прозрачных диэлектриках./ Bakı Dövlət Universiteti Fizika Problemləri İnstitutu, Fizikanın müasir problemləri V Respublika elmi konfransı, Opto- nanoelektronika və kondensə olunmuş mühit fizikası, 16-17 dekabr 2011.
10. М.İ.Əliyev, А.М.Əliyeva, Н.В.İbrahimov, V.M.Salmanov. GaSe nanozərrəciklərinin optik və lüminessens xassələri. Azerbaijan Journal of Physics. Fizika. Vol. XIX, Number 2. Section Az. July, 2013 p.30-32.

АЛИЕВА АЙТАН МОВСУМ КЫЗЫ

НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ И НЕРАВНОВЕСНЫЕ ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В КРИСТАЛЛАХ GaSe И InSe ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

РЕЗЮМЕ

В кристаллах GaSe и InSe при высоких уровнях оптического возбуждения в области экситонного резонанса обнаружено нелинейное поглощение. Наблюдаемая временная зависимость коэффициента поглощения и его зависимость от интенсивности возбуждения определяются не только экранированием экситонов плазмой неравновесных носителей, но и экситон-экситонным взаимодействием. Показано, что наличие нелинейного поглощения в кристаллах GaSe и InSe также влияет на их фотоэлектрические и люминесцентные свойства. В результате этого в спектрах фотопроводимости при высоких уровнях возбуждения исчезает экситонная фотопроводимость, а в спектрах люминесценции появляется новая полоса излучения, находящаяся на расстоянии, ниже уровня свободного экситона на 20 мэВ.

Исследованы структурные особенности и физические характеристики наночастиц из селенида галлия. При помощи спектроскопии дисперсивной энергии рентгеновских лучей (EDAX), дифракционного анализа рентгеновских лучей (XRD) и сканирующего электронного микроскопа (SEM) проведены исследования внутреннего строения, структуры наночастиц. Вычисленные значения размеров наночастиц оказались в порядке 20 нм. Обнаруженный максимум в коротковолновой области спектра поглощения обусловлен увеличением ширины запрещенной зоны наночастиц по сравнению с массивными кристаллами.

Предложен и разработан новый способ получения полупроводниковых гетероструктур, основанный на оптической кристаллизации полупроводниковых пленок под действием мощного лазерного излучения. Предложенный способ позволяет снять ряд ограничений на выбор пар материалов гетеропереходов, значительно сужавших круг пригодных для этих целей веществ.

**NONLINEAR OPTICAL AND NONEQUILIBRIUM ELECTRON
PROCESSES IN GaSe AND InSe CRYSTALS UNDER ACTION OF
LASER RADIATION**

SUMMARY

Nonlinear absorption in GaSe and InSe crystals at high levels of optical excitation in the range of exciton resonance has been revealed. The observed time-dependence of absorption coefficient and its dependence on excitation intensity are determined not only by screening of excitons by plasma of nonequilibrium carriers but also by exciton-exciton interaction. It has been shown that the presence of the nonlinear absorption in GaSe and InSe crystals also influences their photoelectrical and luminescent properties. As a result, exciton photoconductivity vanishes in photoconductivity spectra at high levels of excitation, whereas in spectra of luminescence there is appeared a new radiation band being found at the distance of 20 meV below the free exciton level.

Structural features and physical characteristics of nanoparticles of gallium selenide have been investigated. With the aid of spectroscopy of energy dispersive X-ray analysis (EDAX), X-ray diffraction analysis (XRD) and scanning electron microscope (SEM), the studies have been conducted with the internal structure and construction of the nanoparticles. Calculated values of the nanoparticle sizes are turned out to be of order of 20 nm. The found maximum in the shortwave range of the absorption spectrum is due to an increase in the band-gap width of the nanoparticles in comparison with bulk crystals.

It has been suggested and worked up a novel technique of semiconductor heterostructure fabrication, based on optical crystallization of semiconductor films under action of powerful laser radiation. The suggested method allows one to obviate a number of limitations on choice of pairs of heterojunction materials, significantly having narrowed the circle of substances suitable for these purposes.

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ имени академик Г.М. Абдуллаева

На правах рукописи

АЛИЕВА АЙТАН МОВСУМ ГЫЗЫ

**НЕЛИНЕЙНЫЕ ОПТИЧЕСКИЕ И НЕРАВНОВЕСНЫЕ
ЭЛЕКТРОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В КРИСТАЛЛАХ GaSe И InSe
ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

2220.01-физика полупроводников

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени

доктора философии по физике

БАКУ – 2013

