

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI TƏHSİL NAZİRLİYİ
BAKİ DÖVLƏT UNİVERSİTETİ

əlyazması hüququnda

NAMİQ NADİR OĞLU NİFTİYEV

AB₂X₄ (A-MN, FE; B-GA, IN; X- S, SE) TİPLİ BİRLƏŞMƏLƏRDƏ
ELEKTRON VƏ OPTİK PROSESLƏR

2211.01 – Bərk cisim fizikası

Fizika üzrə elmlər doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim
olunmuş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı-2015

İş Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universitetində və AMEA – nın Həsən Abdullayev adına Fizika institutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi məsləhətçi: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **O.B. Tağiyev**

Rəsmi opponentlər: Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **Ə.Ş. ABDİNOV**

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **S.İ. Mehdiyeva**

Fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor **R.S. Mədətov**

Aparıcı təşkilat: Azərbaycan Texniki Universiteti
("Fizika" kafedrası)

Müdafiə « 15 » 10 2015-ci ildə saat _____ 00-da Bakı Dövlət
Universiteti nəzdində fəaliyyət göstərən D.02.012 Dissertasiya
Şurasının iclasında keçiriləcəkdir.

Ünvan: AZ 1148, Bakı şəhəri, Z. Xəlilov küçəsi, 23, Bakı Dövlət
Universiteti, əsas korpus, 437 saylı auditoriya.

Dissertasiya işi ilə Bakı Dövlət Universitetinin Elmi Kitabxanasında
taniş olmaq olar.

Avtoreferat « _____ » _____ 2015-ci ildə göndərilmişdir.

D 02.012 Dissertasiya Şurasının

Elmi katibi **f.-r.e.n., dos. M.R. RƏCƏBOV**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı: Son illər d və f təbəqələri tam dolmayan elementlər daxil olan üçlü xalkogenid birləşmələr çoxkomponentli yarımkeçiricilər sinfinə aid olub, qeyri-adi fiziki xassələri və praktik tətbiqləri sayəsində intensiv tədqiqatların obyektinə çevrilmişdir. Bu birləşmələr arasında fotoelektronikanın yeni nəsil cihazlarının funksional imkanlarını genişləndirmək üçün böyük potensiala malik olan, fiziki prosesləri az öyrənilmiş AB_2X_4 (burada A - Mn, Fe, Co, Ni; B - Ga, In; X - S, Se, Te) tipli maqnit yarımkeçiriciləri xüsusi maraq kəsb edir. Hal-hazırda elektrik keçiriciliyin xarici maqnit sahəsində nizamlanan maddənin maqnit quruluşundan asılılığına əsaslanan yeni elmi istiqamətlərdən biri olan spintronika intensiv olaraq inkişaf edir. Bununla əlaqədar olaraq maqnit yarımkeçiricilərin axtarış aktivliyi yüksəlmişdir. Bu birləşmələrdə fiziki xassələrin güclü sürətdə dəyişməsi birləşmələrin atom tərkibi və atomlar arası qarşılıqlı təsirlə nəzarət edilir ki, bunlar da özünü təşkil effektlərinin xüsusiyyətləri ilə bağlıdır. AB_2X_4 tipli birləşmələrdə texnoloji işləmələr və laboratoriya tədqiqatlarının aparılması nəticəsində yeni nəsil optoelektron sistemlərin maqnit sahəsində idarə olunmasının yaradılması üçün yeni perspektivlər aşkara çıxara bilər. Bu birləşmələrin əsasında lazerlər, işıq modulyatorları, fotodedektorlar, termorezistorlar, düzləndiricilər və s. funksional qurğular yaratmaq perspektivlidir. Bu birləşmələrə müxtəlif aşqarlar daxil etməklə onların fiziki xassələrini dəyişmək olar. Artıq $MnIn_2S_4$ və $FeIn_2S_4$ monokristallarından fotorezistor hazırlanmış və hər iki birləşmədən nanostruktur alınmışdır. $FeIn_2Se_4$ monokristalından istifadə edərək heteroqəçid yaradılmışdır. Lakin bu birləşmələrin və onların monokristallarının yetişdirilməsi, onların quruluşunun müəyyən edilməsi, fiziki xassələrin kompleks tədqiqi əsasən həll edilməmiş qalır. $FeGa_2S_4$, $FeIn_2S_4$, $FeGaInS_4$, $FeGa_2Se_4$, $FeIn_2Se_4$, $MnGa_2S_4$, $MnIn_2S_4$, $MnGaInS_4$, $MnIn_2Se_4$ birləşmələrinin və onların monokristallarının elektrofiziki və optik xassələrinin kompleks şəkildə öyrənilməsi ilə onlarda elektron, optik proseslərin araşdırılması elmi və praktik cəhətdən çox mühüm əhəmiyyət daşıyır. Bu birləşmələrin müxtəlif temperaturlarda volt-ampere xarakteristikasının və elektrik keçiriciliyinin zəif və qüvvətli elektrik sahələrində tədqiqi onların elektrik keçiriciliyinin xarakteri haqqında geniş məlumat almağa imkan yaradır. $FeIn_2S_4$ -ün

elektrik xassələrinin tədqiqi nəticəsində aşırma effektinin alınması tətbiq nöqtəyi nəzərinə əhəmiyyətlidir. $MnGa_2S_4$, $MnIn_2S_4$ və $MnGaInS_4$ monokristallarının VAX-na və elektrik keçiriciliyinə işıqlanmanın təsiri nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, çox fotohəssas olan bu materiallarda işıqlanma cərəyanının qiyməti, qaranlıq cərəyanının qiymətindən $10^4 \div 10^5$ dəfə böyükdür. Bunlardan fotorezistor hazırlana bilər. Bu birləşmələrdə stimullaşmış cərəyanların tədqiqi qadağan olunmuş zonadakı tələlərin enerji səviyyəsini, konsentrasiyasını, tutulma kəsiyini və lokal səviyələrin yerləşmə xarakterini öyrənməyə imkan verir. Bu maddələrdə polyarlaşma hadisələri, yəni dielektrik xassələrinin xarici sahənin təzliyindən asılılığı demək olar ki öyrənilməyib. Bu cür tədqiqatlar bu tip maddələr üçün xüsusilə əhəmiyyətlidir. Belə ki müxtəlif temperaturlarda dielektrik əmsalı və itkisinin öyrənilməsi təkcə bu maddələrdə polyarlaşma mexanizmləri deyil, onların elektrikkeçiricilik mexanizmləri haqqında daha dəyərli məlumatlar almağa imkan verir. Bu birləşmələrdə optik udulma spektrinin tədqiqi nəticəsində optik keçidlər haqqında, qadağan olunmuş zonalar haqqında və həmçinin optik əmsalların hesablanması üçün qiymətli elmi məlumatlar əldə etməklə optik prosesləri öyrənmək olar. Beləliklə, AB_2X_4 tipli birləşmələrin bərk cisimlərin elektronikasında tətbiqi üçün onlarda elektron və optik proseslərin tədqiqi aktual olaraq fundamental elmi - praktik əhəmiyyət kəsb edir.

Dissertasiya işinin məqsədi AB_2X_4 (A- Mn, Fe; B- Ga, In; X- S, Se) tipli birləşmələrdə elektron və optik xassələrin baş vermə mexanizmini öyrənməklə yükdaşıyıcıların enerji spektrini müəyyən etmək və bu materialların bərk cisimlər opto - elektronikasında tətbiq edilməsinin mümkünlüyünü araşdırmaqdır.

Qoyulmuş məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələləri həll etmək nəzərdə tutulmuşdur:

- AB_2X_4 (A- Mn, Fe; B- Ga, In; X- S, Se) tipli birləşmələri sintez etmək və onların monokristallarını almaq.

- Alınmış birləşmələrin və monokristalların müxtəlif temperaturlarda qaranlıqda zəif, qüvvətli statik elektrik sahəsində volt-ampere xarakteristikasını (VAX) və elektrik keçiriciliyini (σ) tədqiq edib cərəyanın keçmə mexanizmini və yükdaşıyıcıların enerji spektrini öyrənmək.

- FeIn_2S_4 kristalında aşırma effektini tədqiq etməklə, bu effektin baş vermə mexanizmini müəyyənləşdirmək.

- MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristalının VAX - na və elektrikkeçiriciliyinə işıqlanmanın təsirini öyrənmək.

- FeGa_2S_4 , FeIn_2S_4 və FeGaInS_4 birləşmələrində termo elektrik hərəkət qüvvəsini və Xoll effektini tədqiq etmək.

- AB_2X_4 tipli birləşmələrin dəyişən elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyini tezlik və temperaturdan asılı olaraq tədqiq edib keçiricilik mexanizmini aydınlaşdırmaq.

- AB_2X_4 tipli birləşmələrin dielektrik itkisini və dielektrik nüfuzluğunu tezlik və temperaturdan asılı olaraq tədqiq etmək.

- AB_2X_4 tipli birləşmələrdə termostimullaşmış cərəyanları tədqiq edib, lokal səviyyələrin enerji spektrini öyrənmək və onların vacib parametrlərini təyin etmək.

- MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristallarında müxtəlif temperaturlarda optik udulmanı tədqiq edib optik keçidlərin xarakterini müəyyən etmək.

- MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristallarında müxtəlif temperaturlarda fotokeçiriciliyin spektral paylanmasını tədqiq etmək.

İşdəki elmi yeniliklər

- Müəyyən edilmişdir ki, FeGa_2S_4 , FeIn_2Se_4 , MnGaInS_4 və MnIn_2Se_4 birləşmələrində qüvvətli elektrik sahəsində cərəyanın keçmə mexanizmi Frenkelin termoelektron ionlaşma nəzəriyyəsinə uyğun baş verir; bu kristallarda ionlaşmış mərkəzlərin konsentrasiyası hesablanmış, tələlərin potensial çuxurunun forması müəyyənləşdirilmiş və yükdaşıyıcıların sərbəst yolunun orta uzunluğu təyin edilmişdir.

- FeGa_2Se_4 , MnGa_2S_4 , FeIn_2S_4 və FeGaInS_4 birləşmələrində VAX-ın qeyri xətti oblastına uyğun cərəyanın keçmə mexanizmi kontaktdan yükdaşıyıcıların injeksiyası ilə əlaqədardır.

- FeIn_2S_4 kristalında aşırma effekti aşkara çıxarılmış və onun yaranma səbəbi aydınlaşdırılmışdır.

- MnIn_2S_4 , MnGa_2S_4 və MnGaInS_4 monokristallarında xarici elektrik sahəsinin artması ilə aktivləşmə enerjisinin azalması müəyyən edilmiş və onun elmi izahı verilmişdir və həmçinin işıqlanmanın bu monokristalların VAX-na və elektrik keçiriciliyinə təsiri öyrənilmişdir.

- FeGa_2S_4 , FeIn_2S_4 və FeGaInS_4 birləşmələrində termo e.h.q.-nin və Holl effektinin tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, FeIn_2S_4 və

FeGaInS_4 - də termo e.h.q. əmsalının temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi zamanı əsasən $\alpha \sim \ell n(T)^{\frac{3}{2}}$ qanuna uyğunluğu baş verir. Bu birləşmələrdə yükdaşıyıcıların konsentrasiyası hesablanmış, onların Xoll yüyürüklüyü təyin edilmişdir. FeIn_2S_4 kristalında istilikkeçirmənin mexanizmi aydınlaşdırılmışdır.

- FeGa_2S_4 , FeGaInS_4 , FeGa_2Se_4 və FeIn_2Se_4 birləşmələrində müxtəlif temperaturalarda elektrikkeçiriciliyinin tezlikdən asılı olaraq dəyişməsi $\sigma \sim T^S$ ($0,01 \leq S \leq 1,0$) qanunu ilə baş verir və bu zaman keçiricilikdə sıçrayış mexanizmi əsas rol oynayır. Bu birləşmələrdə aktivləşmə enerjisinin elektrik sahəsinin tezliyindən asılı olaraq dəyişməsi müəyyən edilmiş və bunun səbəbi izah edilmişdir.

- AB_2X_4 tipli birləşmələrdə dəyişən elektrik sahəsində dielektrik xassələrinin tədqiqi nəticəsində itki bucağının tangensi, dielektrik nüfuzluluğunun həqiqi və xəyali hissəsi təyin edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki bu birləşmələrdə müxtəlif tezliklərdə temperatur artdıqca $\text{tg}\delta$ əsasən eksponensial qanun üzrə artır və müxtəlif tezliklərdə $\text{tg}\delta \sim 1/\omega$ tərs mütənasib asılılığı ödənilir. AB_2X_4 tipli birləşmələrdə ϵ -nün kifayət qədər böyük olmasının səbəbi kristallarda defektlərin konsentrasiyasının kifayət qədər böyük olması ilə yüksək polyarlaşmanın mövcud olmasıdır. Tədqiq olunan birləşmələrdə relaksasiya müddətinin qiyməti hesablanmış və onlarda istilik hərəkəti ilə şərtlənən elektron polyarlaşmasının dominant rol oynaması müəyyən edilmişdir.

- MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 , FeGa_2Se_4 , FeIn_2Se_4 birləşmələrində termostimullaşmış depolyarizasiya cərəyanlarının və MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 monokristallarında termostimullaşmış keçiriciliyin tədqiqi nəticəsində lokal səviyyələrin parametrləri təyin edilmiş, onların xarakteri müəyyənləşdirilmişdir.

- Müəyyən edilmişdir ki, MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristallarının qadağan olunmuş zonası (E_g) düz və çəp keçidlə təyin olunur. MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 monokristallarında E_g -nin eninin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi elektron –fonon qarşılıqlı təsiri ilə əlaqədardır. MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 və MnGa_2Se_4 monokristallarında optik udulmanın uzun dalğalı kənarı Urbax qaydasına tabe olur.

- AB_2X_4 tipli birləşmələrdə infraqırmızı oblastda udulma əmsalının düşən işığın dalğa uzunluğundan asılılığının tədqiqi nəticəsində udulma spektrindəki piklərin enerji vəziyyətləri təyin olunaraq, elektrik

ölçmələrindən təyin edilmiş aşkar səviyyələrin enerji qiymətləri ilə müqayisə edilmişdir.

-Polyarlaşmış işığın təsiri ilə $MnGa_2S_4$, $MnIn_2S_4$ və $MnGaInS_4$ monokristallarında anizotropluq müəyyən edilmiş və anizotropluğun səbəbi izah edilmişdir.

- $MnIn_2S_4$ və $MnGaInS_4$ monokristallarında fotokeçiriciliyin tədqiqi nəticəsində aşqar və məxsusi oblastlar aşkar edilmiş və onların xarakteri müəyyənləşdirilmişdir.

İşin praktik əhəmiyyəti

AB_2X_4 tipli birləşmələrdən işıq modulyatorları, fotodedektorlar, termorezistorlar hazırlamaq üçün istifadə edilə bilər. $MnIn_2S_4$, $MnGa_2S_4$, $MnGaInS_4$, $MnIn_2Se_4$ birləşmələrindən fotorezistor və fotonəssas Şottki diodu hazırlamaq olar və belə diodlar geniş zolaqlı fotoçeviricilər kimi tətbiq oluna bilər. $FeIn_2Se_4$ və $FeGaInS_4$ monokristallarının əsasında heteroqeyidlər hazırlamaq mümkündür. $MnGa_2S_4$ və $MnGaInS_4$ monokristalları optik anizotropluğa malik olduğu üçün onlar fotoelektronikada polyarlaşma qurğularının yaradılması məqsədi ilə tətbiq edilə bilər. $MnIn_2S_4$ və $FeIn_2S_4$ birləşmələrindən sintez edilmiş nanokristallardan nanotexnologiyada istifadə oluna bilər.

Müdafiyyə təqdim olunan əsas müddəalar

- AB_2X_4 (A- Mn, Fe; B- Ga, In; X- S, Se) tipli birləşmələrdə müxtəlif temperaturlarda qüvvətli və zəif sabit elektrik sahələrində VAX-ın qeyri - xətti oblastına uyğun cərəyanın keçmə mexanizminin həcmi yüklərlə məhdudlaşmış cərəyan və Frenkelin sahə effektinin köməyi ilə aydınlaşdırılması. Bu kristallarda yukdaşıyıcıların konsentrasiyasının, yürüklüyünün və yukdaşıyıcıların sərbəst yolunun orta uzunluğunun təyin edilməsi və tələlərin potensial çuxurunun formasının müəyyənləşdirilməsi.

- In - $FeIn_2S_4$ - In strukturunda müxtəlif temperaturlarda VAX – da müşahidə edilən mənfi diferensial müqavimət oblastının (s - tip) yaranma mexanizminin aydınlaşdırılması.

- AB_2X_4 tipli birləşmələrdə sabit elektrik sahəsində $\sigma \sim (10^3/T)$ asılılığından lokal səviyyələrin aktivləşmə enerjilərinin hesablanması və $MnIn_2S_4$, $MnGa_2S_4$ və $MnGaInS_4$ monokristallarında xarici elektrik sahəsinin artması ilə aktivləşmə enerjisinin azalmasının izahı.

- $MnGa_2S_4$, $MnIn_2S_4$ və $MnGaInS_4$ monokristallarında işıqlanmanın VAX və σ - ya təsiri nəticəsində meydana çıxan qanunauyğunluqların izahı.

- FeGa_2S_4 , FeIn_2S_4 və FeGaInS_4 birləşmələrində termo e.h.q. və Holl effektinin tədqiqi ilə elektrikkeçiriciliyinin tipinin müəyyən edilməsi, termo e.h.q. əmsalının öyrənilməsi, yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının və Holl yüyürlüklüyünün təyin edilməsi. FeIn_2S_4 kristalında müəyyən edilmiş $\chi \sim T^{-2}$ qanuna uyğunluğunun izah edilməsi.

- FeGa_2S_4 , FeGaInS_4 , FeGa_2Se_4 və FeIn_2Se_4 birləşmələrində müxtəlif temperaturlarda elektrik keçiriciliyinin dəyişən xarici elektrik sahəsinin tezliyindən asılılığı nəticəsində meydana çıxan $\sigma \sim f^s$ ($0, 1 \leq s \leq 1,0$) qanunauyğunluğunun multiplet modelinin köməyi ilə aydınlaşdırılması.

- FeGa_2S_4 , FeGaInS_4 və FeGa_2Se_4 birləşmələrində dəyişən elektrik sahəsində $\sigma(T)$ asılılığından təyin edilmiş aktivləşmə enerjisinin tezlikdən asılı olaraq dəyişməsinin zona- sıçrayış mexanizmi əsasında izah edilməsi.

- β - MnGa_2S_4 monokristalında, FeIn_2S_4 və MnIn_2Se_4 birləşmələrində dəyişən elektrik sahəsində $\sigma(T)$ asılılığından təyin olunan aktivləşmə enerjisinin tezlikdən asılı olaraq dəyişməsinin, $-\beta$ - MnGa_2S_4 monokristalında və FeIn_2S_4 birləşməsində tezlik artdıqca elektrik keçiriciliyin əsasən artmasının və müəyyən tezliklərdə rezonans hadisəsinin müşahidə edilməsinin çəpər modelinin köməyi ilə izah edilməsi.

- AB_2X_4 tipli birləşmələrdə müxtəlif temperaturlarda dəyişən elektrik sahəsində itki bucağının tangensi, dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin təyin edilməsi. $\text{tg}\delta$ – nın tezliklə tərs mütənəsisb olaraq azalmasının ($\text{tg}\delta \sim 1/\omega$), temperatur artdıqca isə $\text{tg}\delta$ əsasən eksponensial qanun üzrə artmasının elmi izahının verilməsi. AB_2X_4 tipli birləşmələrdə dəyişən elektrik sahəsində $\text{tg}\delta$, ϵ' və ϵ'' -in temperatur asılılığından $\Delta E^{\text{tg}\delta}$, $\Delta E^{\epsilon'}$ və $\Delta E^{\epsilon''}$ hesablanması və $\sigma(T)$ - dən tapılmış ΔE^σ ilə müqayisə edilməsi.

- AB_2X_4 tipli birləşmələrdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin kifayət qədər böyük olmasının səbəbinin aydınlaşdırılması. AB_2X_4 tipli birləşmələrdə istilik hərəkəti ilə şərtlənən elektron polyarlaşmasının dominant olmasının müəyyən edilməsi.

- β - MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 , FeGa_2Se_4 və FeIn_2Se_4 birləşmələrində lokal səviyyələrin enerji dərinliyi, səviyyələrin konsentrasiyası və tutulma kəsiklərinin hesablanması. TSD və TSK cərəyan əyrilərinin təhlili nəticəsində bu birləşmələrdə yapışma səviyyələrinin tipinin müəyyənləşdirilməsi.

- MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristallarının qadağan olunmuş zonalarının düz və çəp keçidə uyğunluğunun müəyyən edilməsi. MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristallarında E_g - nin eninin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsinə səbəb olan mexanizmin aydınlaşdırılması. MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristallarında polyarlaşmış işıq altında α -nın $h\nu$ -dən asılılığı nəticəsində yaranan anizotropluğu səbəbinin aydınlaşdırılması.

- FeGa_2S_4 , FeIn_2S_4 , FeGaInS_4 , FeGa_2Se_4 , FeIn_2Se_4 , MnIn_2Se_4 birləşmələrində infraqırmızı oblastda udulma əmsalinin düşən işığın dalğa uzunluğundan asılılığının izah edilməsi.

- MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristalında FK - də məxsusi və aşqar oblastların yaranma səbəblərinin izah edilməsi. MnGaInS_4 monokristalında polyarlaşmış işıq altında FK-nin spektral paylanması məxsusi FK - də $\vec{E} \parallel C$ və $\vec{E} \perp C$ halları zamanı müşahidə edilən maksimumların xarakterinin müəyyən edilməsi.

Çap olunmuş işlər. Dissertasiya mövzusu üzrə avtoreferatın axırında siyahısı dərc olunan 58 iş (41 məqalə + 16 tezis) çap olunmuşdur. Dissertasiya mövzusunun tamamilə əhatə edən bu işlərdən 22 məqalə və 7 tezis olmaqla 29 -u xaricdə, 20 məqalə və 9 tezis olmaqla 29-u yerli nəşrlərdə çap olunmuşdur.

İsin müzakirəsi.

1. ADPU-nun professor-müəllim heyətinin 61-ci elmi konfransı, Bakı, 2001.
2. IV, V международные конференции «Оптика, оптоэлектроника и технологии », Ульяновск, 2002, 2003.
3. Сборник статей «физика – химический анализ и неорганическое материаловедение» Рес. науч. конф., Баку, 2002.
4. Fizikanın aktual problemləri, III respublika elmi konfransı, Bakı, 2004.
5. XVIII международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения Москва, 2004.
6. Международная конференция «Физика-2005,»Баку, Азербайджан, 2005.
7. «Актуальные проблемы физики», IV рес. конф., Баку, 2006.
8. IX международной конференции «Опто, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы » Ульяновск, 2007.
9. Fizikanın müasir problemləri, I respublika konfransı, Bakı, 2007.

10. X международной конференции «Опто, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы», Ульяновск, 2008.
11. XI международной конференции, Опто, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы», Ульяновск, 2009.
12. VII Международная конференция «Аморфные и микрокристаллические полупроводники», Санкт-Петербург, 2010.
13. XII Международной конференции «Опто, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы», Ульяновск, 2010.
14. Fizikanın aktual problemləri, VI respublika elmi konfransı, Bakı, 2010.
15. Fizikanın müasir problemləri, VI respublika konfransı, Bakı, 2012.

Dissertasiyanın quruluşu və həcmi

Dissertasiya işinə giriş, yeddi fəsil, əsas nəticələr və ədəbiyyat daxildir. İş 188 şəkil, 8 cədvəl və 308 adda ədəbiyyat siyahısı daxil olmaqla 354 səhifədən ibarətdir.

İşin əsas məzmunu

Girişdə dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, əsas məqsəd və məsələlər müəyyən edilmiş, işin elmi yeniliyi, praktik əhəmiyyəti və müdafiəyə təqdim olunmuş əsas müddəalar qısa şəkildə ifadə olunmuşdur.

Birinci fəsilə AB_2X_4 (A - Mn, Fe, Co; B- Ga, In; X - S, Se, Te) tipli birləşmələrin alınması və kristal quruluşuna aid ədəbiyyat materiallarının araşdırılması nəticəsində bu birləşmələrin sintez edilmiş texnologiyası, fəza diaqramı, kristal quruluşu, bəzi birləşmələrdə atomların yerləşmə koordinatı, rabitə məsafəsi, valent bucağı və kation yerləşməsinin xarakteri haqqında məlumat verilmişdir. Elektrofiziki xassələrin tədqiqinə həsr olunmuş işlərin öyrənilməsi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu yarımkeçirici birləşmələrdə temperatur yüksəldikcə xüsusi müqavimətin azalması məxsusi və aşqar mexanizmlə xarakterizə olunan eksponensial qanuna tabe olur. Bəzi birləşmələrdə yükdaşıyıcıların aktivləşmə enerjisi, konsentrasiyası və yürüklüyü haqqında məlumat verilmişdir. Maqnit xassələrinin tədqiqini öyrənən işlərdə aşkara çıxarılmışdır ki, Neil temperaturundan (T_N) aşağıda bu birləşmələr antiferromaqnit xassələrinə malikdirlər. Optik xassələrin tədqiqinə həsr olunmuş işlərin icmalında bəzi birləşmələrdə optik keçidlərin xarakteri və qadağan olunmuş zonanın eni haqqında məlumat verilmiş, müəyyən edilmişdir ki, bu birləşmələrin bir qismi yüksək fətohəssaslığa malikdir.

İkinci fəsildə AB_2X_4 tipli birləşmələrin sabit və dəyişən elektrik sahəsində elektrik xassələrinin ölçmə metodikası verilmiş, həmçinin fotoelektrik və optik xassələri tədqiq etmək üçün qurğunun sxemi təsvir edilmişdir. Həm də bu fəsildə AB_2X_4 tipli birləşmələrin sintezi və onların bəzilərinin monokristallarının alınma üsulları verilmişdir. Difraktoqramma və rentgenoqrafik tədqiqat metodları ilə bu kristalların quruluşu müəyyən edilmişdir.

Üçüncü fəsildə AB_2X_4 tipli birləşmələrin qaranlıqda müxtəlif temperaturlarda qüvvətli və zəif sabit elektrik sahəsində volt-ampere xarakteristikasının və elektrikeçiriciliyinin tədqiqi nəticələri verilmişdir.

Sabit elektrik sahəsində VAX-ın müxtəlif temperaturlarda tədqiqi nəticəsində AB_2X_4 tipli birləşmələrdən bir qurupunda yəni $FeGa_2S_4$, $MnIn_2Se_4$ birləşmələrində və $FeIn_2Se_4$ monokristalında iki oblast aşkara çıxarılmışdır: 1) om qanununa tabe olan oblast (I-U) və 2) cərəyanın eksponensial artma oblastı ($I \sim U^n$, $n > 1$). Bu kristallarda VAX-ın eksponensial artma oblastına uyğun müxtəlif temperaturlarda elektrik keçiriciliyinin elektrik sahəsindən ($\lg \sigma \sim \sqrt{F}$) asılılığının qurulması nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu asılılıq Frenkelin termoelektron ionlaşma nəzəriyyəsi ilə daha yaxşı uzlaşır: $\sigma = \sigma_0 \exp(\beta \sqrt{F})$. Burada

$F = \frac{U}{d}$, $\beta = \frac{2}{kT} \sqrt{\frac{e^3}{4\pi\epsilon\epsilon_0}}$ – Frenkel sabiti, σ_0 - zəif sahənin elektrik keçiriciliyidir.

$FeGa_2S_4$, $FeIn_2Se_4$, $MnIn_2Se_4$ birləşmələri üçün $\lg \sigma \sim \sqrt{F}$ asılılıqlarından β -nin qiyməti hesablanmış və müəyyən edilmişdir ki, $\beta \sim 10^3/T$ asılılığında temperatur azaldıqca β -nin artması müşahidə olunur. Bu cür dəyişmə Frenkelin termoelektron ionlaşma nəzəriyyəsinə uyğundur və bu nəzəriyyəyə görə $\beta \sim 10^3/T$ düz xətlərin ekstrapolyasiyası koordinat başlanğıcından keçir.

$FeGa_2S_4$, $FeIn_2Se_4$ və $MnIn_2Se_4$ kristalları üçün VAX-dan elektrik sahəsinin minimum böhran qiymətini (F_b) bilməklə ionlaşmış mərkəzlərin konsentrasiyası (N_i) təyin edilmişdir. Həmçinin yükdaşıyıcıların yüyürüklüyü hesablanmış və $FeGa_2S_4$, $FeIn_2Se_4$ və $MnIn_2Se_4$ birləşmələri üçün otaq temperaturunda uyğun olaraq $\mu_1 \approx 0,1 sm^2/V \cdot san$, $\mu_2 \approx 2 sm^2/V \cdot san$ və $\mu_3 \approx 2 sm^2/V \cdot san$ qiymətləri tapılmışdır.

Otaq temperaturunda (293K) kimyəvi köçürmə metodu ilə alınmış MnGaInS₄ monokristalının müxtəlif qalınlıqlı nümunələri üçün VAX-da aşağıdakı sahələr aşkara çıxarılmışdır: om qanununa tabe olan oblast (I~U) və cərəyanın kəskin artma oblastı (I ~ Uⁿ, n>1). Bu monokristalda l_g ~ √F asılılığından β Frenkel sabitinin qiyməti hesablanmış (β=2·10²(sm/V)^{1/2}) və tələlərin konsentrasiyası (N_t = (1 - 2)·10¹⁸ sm⁻³) təyin edilmişdir. Yuxarıda qeyd etdiyimiz birləşmələrdə və MnGaInS₄ monokristalında VAX-ın tədqiqi nəticəsində tələlərin potensial çuxurunun forması müəyyənəndirilmişdir. Həmçinin bu monokristal üçün təcrübi nəticələrə əsaslanaraq dielektrik nüfuzluğu (ε =5,8) və elektronun sərbəst yolunun uzunluğu (λ = 8 · 10⁻⁷ sm) təyin edilmişdir.

MnIn₂Se₄ birləşməsində cərəyanın zamana görə relaksasiyası müşahidə edilmişdir. Bunun səbəbi belə izah edilmişdir ki, cərəyanın müəyyən zaman müddətində dəyişməsi kristalın ~10⁻⁴ ÷ 10⁻⁵ sm nazik qalınlığında yükün yığılması ilə özünü göstərir və kristalda axan cərəyanın azalmasına gətirib çıxaran əks elektrik hərəkət qüvvəsi bu yük ilə bağlıdır.

FeGa₂Se₄ birləşməsində müxtəlif temperaturlarda VAX-ın tədqiqi nəticəsində 3 oblast müşahidə edilmişdir. Om qanununa tabe olan oblast (J~U), kvadratik oblast (J~U²) və cərəyanın kəskin artma oblastı (J~Uⁿ, n>2) olur. Kvadratik oblastda diskret paylanmış tələlərin mövcudluğu zamanı voltamper xarakteristika Çayld tənliyi ilə verilir: J = 9εε₀μθV²/8L³. θ=n₀/n_t - tutulma faktorun hesablanması nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, FeGa₂Se₄ üçün θ << 1 şərti ödənilir. Həmçinin müəyyən edilmişdir ki, cərəyanın sıxlığının (j) və tələlərin dolma həddi gərginliyinin (U_{tdh}) elektrodlar arası məsafədən (L) asılılığı zamanı kvadratik oblast üçün j~L⁻³; (U_{tdh}) ~ L² qanunauyğunluqları ödənilir. VAX-da kvadratik oblastda göstərilən qanuna uyğunluqların ödənilməsi onu göstərir ki, bu oblastda cərəyanın keçmə mexanizmi yükdaşıyıcıların indium kontaktından injeksiyası ilə əlaqədardır (monorolyar injeksiya). In - FeGa₂Se₄ - In strukturlarında l_gθ=f(1/T) asılılıq ayrılərindən tələlərin enerji dərinliyi və konsentrasiyası hesablanmışdır.

FeGa₂Se₄ kristalında VAX-da müşahidə edilən cərəyanın kəskin artma oblastında temperatur azaldıqca cərəyanın kəskin artma dərəcəsi temperaturun sabit xarakteristikası ilə artır (T_c=lT, l = n-1). VAX-nın bu

cür forması tələlərin eksponensial paylanması ilə fəza yükləri ilə məhdudlaşmış cərəyan halı üçün xarakterikdir:

$$n(E) = \frac{N}{kT_c} \exp\left(\frac{E}{k \cdot T_k}\right) \quad (1)$$

Burada $n(E)$ - vahid enerji intervalındakı yapışma səviyyələrinin konsentrasiyası, T_k - lokal mərkəzlərin paylanmasından təyin edilən xarakteristik temperatur, E – keçirici zonanın dibindən ölçülən enerji. N - tələlərin konsentrasiyasıdır.

Müxtəlif temperaturlarda VAX ölçmələrindən Om qanununa tabe olan oblastdan «tələ» kvadratik oblasta keçid gərginliyi üçün $V_{1-2}^{-1} \sim \exp[(E_t - E_c / kT)]$ riyazi ifadəsindən istifadə edərək $\lg V_{1-2}^{-1} \sim 10^3 / T$ asılılığına görə MnIn_2S_4 monokristalının aktivləşmə enerjisi təyin edilmişdir və $E = 0,53\text{eV}$.

Bricmen metodu ilə alınmış $\beta\text{-MnGa}_2\text{S}_4$ monokristal və FeGa_2Se_4 kristal üçün müxtəlif temperaturlarda VAX – da iki oblast aşkara çıxarılmışdır: 1) Om qanununa tabe olan oblast ($I \sim U$) və 2) $I \sim U^{3/2}$ oblastı. Hər iki kristal üçün VAX-da müşahidə olunan ikidə üç ($I \sim U^{3/2}$) qanunu nöqtəvi kontaktdan və ya xüsusi konfigurasiyalı elektrodlardan yükdaşıyıcıların injeksiyası nəticəsində meydana çıxır və aşağıdakı qanuna tabe olur:

$$I = 4\pi e \mu n_o \left(\frac{3\varepsilon}{c_2 e(n_o + n_{io})}\right)^{1/2} \left(\frac{V}{1 + c_1}\right)^{3/2} \quad (2)$$

c_1 və c_2 sabitləri $1/2 \leq c_1 < 2$ və $1 \leq c_2 \leq 2$ intervalında qiymətlər alır.

In – FeIn_2S_4 – In və In – FeGaInS_4 – In strukturları üçün müxtəlif temperaturlarda VAX –da iki oblast müşahidə edilmişdir: 1) Om qanununa tabe olan oblast ($I \sim U$); 2) $I \sim U^n$ ($n > 1$) oblastı. VAX - in qeyri-xətti oblastında cərəyanın keçmə mexanizmini aydınlaşdırmaq üçün cərəyanın sıxlığının (j) və gərginliyin (U) elektrodlar arası məsafədən (L) asılılığı tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, FeIn_2S_4 kristal və FeGaInS_4 monokristal üçün $\lg \frac{j}{U} \sim U$ və $\lg \frac{j}{U} \sim \frac{1}{L^2}$ asılılıqları ödənilir. Bu asılılıqların ödənilməsi onu göstərir ki, hər iki birləşmə üçün VAX-in qeyri-xətti oblastında cərəyanın keçmə mexanizmi fəza yükləri ilə məhdudlaşmış cərəyanla əlaqədardır.

Temperatur artdıqca VAX-da Om qanununa tabe olan oblastdan qeyri-xətti oblasta keçid gərginliyi azaldığı üçün AB_2X_4 birləşmələri qüvvətli kompensasiya olunmuş yarımkeçiricilərdir.

$FeGa_2S_4$, $FeIn_2S_4$, $FeGaInS_4$, $FeGa_2Se_4$, $FeIn_2Se_4$, $MnGa_2S_4$, $MnIn_2S_4$, $MnGaInS_4$, $MnIn_2Se_4$ kristalları üçün sabit gərginliklərdə $\lg \sigma \sim 10^3 / T$ asılılıq əyrilərindən yükdaşıyıcıların aktivləşmə enerjisi hesablanmışdır.

Cədvəl I-də AB_2X_4 tipli birləşmələrdə müxtəlif temperaturlarda yükdaşıyıcıların elektrik keçiriciliyi, aktivləşmə enerjisi və konsentrasiyası haqqında məlumat verilmişdir.

Cədvəl I

Kristal	σ , $om^{-1} \cdot cm^{-1}$	E_t , eV	N_t , cm^{-3}	T, K
α - $FeGa_2S_4$	$10^{-5} \div 10^{-4}$	0,29	$10^{14} \div 10^{15}$	290÷370
$FeIn_2S_4$	$10^{-4} \div 10^{-3}$	0,26	$10^{14} \div 10^{15}$	290÷400
$FeGaInS_4$	$10^{-4} \div 10^{-3}$	0,14;0,25	$10^{14} \div 10^{15}$	193÷358
$FeGa_2Se_4$	$10^{-7} \div 10^{-6}$	0,23;0,39	$10^{14} \div 10^{15}$	290÷390
$FeIn_2Se_4$	$10^{-4} \div 10^{-3}$	0,13;0,28;0,45	$10^{15} \div 10^{16}$	220÷380
β - $MnGa_2S_4$	$10^{-9} \div 10^{-8}$	0,28	$10^{10} \div 10^{11}$	293÷373
$MnGa_2S_4$	$10^{-16} \div 10^{-15}$	0,44;1,04	$10^{15} \div 10^{16}$	293÷420
$MnIn_2S_4$	$10^{-13} \div 10^{-12}$	0,38;0,45	$10^{15} \div 10^{16}$	240÷310
$MnGaInS_4$	$10^{-13} \div 10^{-12}$	0,46;0,67	$10^{11} \div 10^{12}$	215÷380
$MnIn_2Se_4$	$10^{-4} \div 10^{-3}$	0,21;0,27	$10^{13} \div 10^{14}$	290÷380

$MnGa_2S_4$ (kimyəvi köçürmə metodu ilə alınmışdır), $MnIn_2S_4$ və $MnGaInS_4$ (Bricman metodu ilə alınmışdır) monokristalları üçün müxtəlif elektrik sahələrində $\lg \sigma \sim 10^3 / T$ asılılıqları müxtəlif meylliliyə malik düz xətlərdən ibarət olur. Bu əyrilərdən yükdaşıyıcıların aktivləşmə enerjiləri təyin olunmuş və müəyyən edilmişdir ki, bu monokristallar üçün $\lg \sigma \sim 10^3 / T$ asılılığından yüksəktemperaturlu hissədə oxşar meylli əyrilərdə xarici elektrik sahəsi (F) artdıqca aktivləşmə enerjisi azalır. Sahənin artması ilə aktivləşmə enerjisinin azalması belə ifadə olunur:

$$\Delta E(F) = \Delta E_0 - \sqrt{\frac{e^3 F}{\pi \epsilon \epsilon_0}} \quad (3)$$

MnGa₂S₄, MnIn₂S₄ və MnGaInS₄ monokristalları üçün ΔE aktivləşmə enerjisinin \sqrt{F} elektrik sahəsinin intensivliyinin kvadrat kökündən asılılığından zəif elektrik sahəsinin ΔE_0 aktivləşmə enerjisi təyin edilmişdir və uyğun olaraq belədir: $\Delta E_{01} = 1,66eV$; $\Delta E_{02} = 0,59eV$; $\Delta E_{03} = 0,78eV$. Qüvvətli elektrik sahəsinin elektrik keçiriciliyinə təsiri onunla bağlıdır ki, lokal səviyyə ilə bağlı elektron keçirici zonaya nəzərən potensial çuxurda yerləşir və qüvvətli elektrik sahəsinin təsiri ilə potensial çuxurun hündürlüyü (3) ifadəsindən təyin olunan kəmiyyət qədər azalır.

In - FeIn₂S₄ - In strukturunda 289,5÷406K temperatur intervalında tipik VAX əyrilərində aşağıdakı oblastlar müəyyən edilmişdir: 1) Om qanununa tabe olan oblast (I~U); 2) Cərəyanın kəskin artma oblastı (I~Uⁿ, n>1); 3) Mənfi diferensial müqavimət oblastı (S-tip).

Kristalda müəyyən gərginlik həddindən sonra, cərəyanın yüksəkomlu haldan aşağıomlu hala keçməsi zamanı keçiricilik elə sürətlə artır ki, cərəyanın sıxlığının artması ilə nümunədə gərginlik azalır, mənfi diferensial müqavimət müşahidə olunur. $\lg U_{həd} \sim 10^3/T$ asılılıq əyrisindən hədd gərginliyi temperatur azaldıqca artır. Verilmiş asılılıq əyrisindən mənfi diferensial müqavimətin baş verməsi üçün cavabdeh olan tələlərin aktivləşmə enerjisi ($E=0,085eV$) təyin edilmişdir. Həmçinin $\sqrt{U_{həd}} \sim T$ asılılığından qrafik qurulmuş və müəyyən edilmişdir ki, mənfi diferensial müqavimətin baş vermə gərginliyi temperaturdan güclü sürətdə asılıdır. Bu onu göstərir ki, nümunədə mənfi diferensial müqavimətin yaranması istilik təbiəti ilə əlaqədardır.

In-FeIn₂S₄-In strukturu üçün hədd sahə intensivliyinin ($F_{həd}$) nümunənin qalınlığından (L) asılılığından $F_{həd} \sim \frac{1}{\sqrt{L}}$ qanunauyğunluğu müşahidə edilmişdir. Belə asılılıq yarımkeçiricinin bütün həcmi boyu temperaturun bərabər paylanması halına uyğundur və bu bir daha onu xarakterizə edir ki, yarımkeçiricinin yüksək müqavimətli haldan alçaq müqavimətli hala keçməsi istilik effekti (Coul istiliyi hesabına) ilə bağlıdır.

İşıqlanmanın təsiri ilə MnGa₂S₄, MnIn₂S₄ və MnGaInS₄ monokristallarında VAX və σ -da müəyyən dəyişikliklər baş verir.

Müxtəlif temperaturalarda qaranlıqda və ağ işıqda işıqlandırılan In - MnGa₂S₄ - In strukturunda VAX qaranlıqda ancaq xətti oblasta malik olur. Nümunələr ağ işıqla işıqlandırıldıqda isə VAX aşağıdakı oblastlardan ibarət

olur: xətti ($I \sim U$) və $I \sim U^{3/2}$ asılılıq oblastı. 293K temperaturda $I_{is}/I_q \approx 10$ olur. Işıqlanmanın təsiri qeyri tarazlıqda olan yükdaşıyıcıları yaranma ehtimalını artırır və bu da nümunədə keçiriciliyinin artmasına gətirib çıxarır. $MnGa_2S_4$ monokristalında aşqar səviyyələrin aktivləşmə enerjisi hesablanmışdır və $E_1 = 1,0$ eV, $E_2 = 0,44$ eV (qaranlıqda), $E_1 = 0,30$ eV və $E_2 = 0,45$ eV (ağ işıq altında) qiymətləri tapılmışdır.

$MnIn_2S_4$ monokristalında VAX qaranlıqda, əvvəlcə işıqlandırılıb qaranlıqda salındıqdan sonra və ağ işıq altında 293K temperaturda tədqiq edilmişdir. Işıqlanmamış nümunədə VAX üç oblastdan ibarət olur: xətti ($I \sim U$), kvadratik ($I \sim U^2$) və kubik ($I \sim U^3$). Nümunə əvvəlcə işıqlandırılıb qaranlıqda salındıqdan sonra VAX – da iki oblast aşkara çıxarılmışdır: Om qanununa tabe olan oblast ($I \sim U$) və $I \sim U^{3/2}$ asılılıqlı oblast. Kristal ağ işıqla işıqlandırıldıqda tələlər elektronlarla dolur, dəşiklər isə rekombinasiya mərkəzləri tərəfindən tutulur və elektronlar valent zonasından keçirici zonaya keçir və deməli qeyri-tarazlıqda olan yükdaşıyıcılar meydana çıxır. Qaranlıqda salındıqda qeyri-tarazlıqda olan yükdaşıyıcılar əlavə keçiricilik yaradır. Bu da $I \sim U^{3/2}$ asılılıqlı oblastın yaranmasına səbəb olur. Işıqlandırılmış nümunədə VAX üç oblastdan ibarət olur: xətti ($I \sim U$), ikidə üç dərəcəli oblast ($I \sim U^{2/3}$) və $I \sim U^{2,5}$ asılılıqlı oblast. İkidə üç dərəcəli oblastın yaranmasının səbəbi işıqlanmanın təsiri ilə qeyri tarazlıqda olan yükdaşıyıcıların əmələ gəlməsidir. Müəyyən edilmişdir ki, $I_{is}/I_q \approx 10^5$. Işıqlandırılmamış nümunədə VAX-da kvadratik oblast başladığı zaman işıqlandırılmışda VAX - da $I \sim U^{2,5}$ asılılığı müşahidə olunur. Bu onunla izah edilir ki, injeksiya nəticəsində tələlər tərəfindən tutulmuş yükdaşıyıcılar işıqlandırılan zaman bilavasitə foton udur və bununla icazə verilmiş zonalardan birinə keçir. Işıqlanmanın təsiri altında olan monokristalın $\sigma(T)$ asılılığı müxtəlif aktivləşmə enerjisinə malik olan iki oblastdan ibarət olur: $E_1 = 0,065$ eV, $E_2 = 0,21$ eV. Nümunə qaranlıqda olarkən $\sigma(T)$ asılılığından tapılmış aktivləşmə enerjisinin qiyməti isə 0,53eV-a bərabər olur. Qeyd etmək lazımdır ki, bu səviyyələrin hamısı termostimullaşmış cərəyan təcrübələrindən aşkara çıxarılmışdır.

294K temperaturda $In-MnGaInS_4$ -In strukturunun qaranlıqda olarkən VAX-ı aşağıdakı oblastlardan ibarət olur: xətti ($I \sim U$), kvadratik ($I \sim U^2$) və cərəyanın kəskin artma oblastı ($I \sim U^n, n > 1$). Nümunə işıqlanan zaman VAX ancaq xətti hissəyə ($I \sim U$) malik olmaqla $I_{is}/I_q \approx 10^4 \div 10^5$ olur. Bu onu göstərir ki, $MnGaInS_4$ monokristalı çox fotohəssas materialdır.

In-MnGaInS₄-In strukturu üçün 710nm dalğa uzunluqlu işıqla işıqlandırılaraq müxtəlif temperaturalarda alınmış VAX əyriilərindən müəyyən edilmişdir ki, aşağı temperaturalarda (80÷153 K) və kiçik gərginliklərdə asılılıq om qanununa tabe olur, sonra isə kvadratik oblast meydana çıxır. Müəyyən edilmişdir ki, aşağı temperaturalarda VAX-da kvadratik oblastın əmələ gəlməsi işıqlanma ilə bağlı olmayıb, indium kontaktlarından injeksiya ilə əlaqədardır. 212 K temperaturdan başlayaraq kvadratik oblast asılılığı yox olur və demək olar ki, xətti oblast qalır. Temperatur yüksəldikcə cərəyanın artması əsasən işıqlanmanın təsiri ilə dolmuş tələlərdən yükdaşıyıcıların boşalması ilə əlaqədardır. İşıqlandırılmış monokristallarda $\sigma(T)$ asılılığı əyrisindən müxtəlif aktivləşmə enerjilərinə malik olan üç oblast aşkara çıxarılmışdır: $E_1 = 0,07$ eV; $E_2 = 0,20$ eV; $E_3 = 0,46$ eV. Qaranlıq keçiricilikdə isə 0,46 eV və 0,67 eV-a malik olan iki aktivləşmə enerjisi tapılmışdır. Qeyd etmək lazımdır ki, 0,46 eV-luq enerji həmçinin $\theta(T)$ tutulma faktorundan da aşkara çıxarılmışdır. Bu fakt onu göstərir ki, injeksiya və işıqlanmış kristalın elektrik keçiriciliyinin yüksək temperaturlu oblastı eyni səviyyə ilə bağlıdır.

Dördüncü fəsilə FeGa₂S₄, FeIn₂S₄, FeGaInS₄ birləşmələrində müxtəlif temperaturalarda termo.e.h.q. və Holl effektinin tədqiqi nəticələri verilmişdir.

FeGa₂S₄ kristalı üçün termo-e.h.q. əmsalının (α) temperatur asılılığından 300÷850K temperatur intervalında $\alpha(T)$ mürəkkəb xarakter daşdığı müəyyən edilmişdir. Aşağı temperaturalarda (~420K - nə qədər) α keçiriciliyin dəşik xarakterli olduğunu (p tip keçiricilik) göstərir. Bu temperatur intervalında FeGa₂S₄ kristalında $n_d\mu_d > n_e\mu_e$ olur və bu zaman fərz etmək olar ki, FeGa₂S₄ – də ~ 420 K-də aşqar səviyyələri tam ionlaşmamışlar. Yüksək temperaturalarda onlar ionlaşaraq elektronların konsentrasiyasının artmasına gətirib çıxarır və 420 K-dən 670 K-nə qədər temperaturalarda $n_e\mu_e > n_d\mu_d$ olur (n tip keçiricilik). 425÷510 K temperatur intervalında α -nın mənfi əmsalı sürətlə artır və α -nın artma oblastı bir tip yükdaşıyıcılara malik yarımkəçiricinin termo-e.h.q.-nə uyğun olaraq

$\alpha_n = -\frac{k}{e} \left[r + 2,5 + \ell n \frac{2(2\pi m_n^* kT)^{3/2}}{nh^3} \right]$ ifadəsindən təyin olunur. Sonra isə

510 ÷ 675K temperatur intervalında α -nin mənfi əmsalı temperatur artdıqca azalır və 675K-dən yuxarıda yenidən dəşik keçiriciliyə keçir.

FeIn₂S₄ və FeGaInS₄ kristalları üçün α -nın işarəsinə görə müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan temperatur intervalında bu birləşmələr p tip keçiriciliyə malik olur. FeIn₂S₄ – də başlanğıcda temperatur artdıqca α

artır və $\alpha_p = \frac{k}{e} \left[r + 2,5 + \ln \frac{2(2\pi m_p^* kT)^{3/2}}{\rho h^3} \right]$ ifadəsinə uyğun olaraq

$\alpha \sim \ln(T)^{3/2}$ ilə mütənasib olur və bu da aşqar oblastına uyğun olduğunu göstərir. FeGaInS₄-ün termo-e.h.q. əmsalı 300÷400 K temperatur intervalında zəif artır. Sonra temperatur artdıqca α -nın qüvvətli artımı müşahidə olunur və onun qiyməti 1,5 mV/K- nə çatır. Burada da α temperaturla $\ln(T)^{3/2}$ kimi mütənasib olaraq artır.

FeGa₂S₄ kristalında Holl effektinin ölçülməsindən yükdaşıyıcıların konsentrasiyası (p) təyin olunmuş və müəyyən edilmişdir ki, p- nın bu qiyməti elektrik keçiriciliyin qüvvətli elektrik sahəsində tədqiqi zamanı alınan nəticə ilə demək olar ki, üst-üstə düşür.

FeGa₂S₄ kristalı üçün yükdaşıyıcıların Holl yürüklüyünün (μ_x) temperatur asılılığından aşağı temperaturlu oblastda (300÷400K) yükdaşıyıcıların yürüklüyünün zəif artımı müşahidə edilmişdir. Yüksəktemperaturlu oblastda isə 500÷740 K temperatur intervalında μ_x – nün qiyməti $\mu_x = (4 \div 9) sm^2/V \cdot san$ intervalında dəyişir. Yüksək temperaturlarda səpilmənin əsas mexanizmi qəfəsin istilik rəqslərindən səpilmə olur və yükdaşıyıcıların yürüklüyü temperatur artdıqca azalır. Konsentrasiya artdıqda da həmçinin yükdaşıyıcıların yürüklüyü azalır.

FeIn₂S₄ kristalı üçün Holl effektinin ölçülməsi nəticəsində yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının və Holl yürüklüyünün temperatur asılılığından müəyyən edilmişdir ki, μ_x 300 K temperaturdan başlayaraq azalır, 340÷390 K temperatur intervalında sabit qalır ($\sim 20 sm^2/V \cdot san$). Sonra isə 391 K temperaturdan başlayaraq μ_x artır və daha sonra isə 430 K temperaturdan başlayaraq demək olar ki, sabit qalır və $\mu_x = 30 sm^2/V \cdot san$ olur. Yükdaşıyıcıların konsentrasiyası isə otaq temperaturunda $p = (1 \div 3) \cdot 10^{17} sm^{-3}$ - ə bərabər olur.

FeGaInS₄ kristalı üçün Holl effektinin ölçülməsindən müəyyən edilmişdir ki, otaq temperaturunda yükdaşıyıcıların konsentrasiyası

$p=1,8 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$, yüüklüyü isə $\mu_x=0,6 \text{ sm}^2/V \cdot \text{san}$ qiymətini alır. $\sigma = qp\mu_x$ düsturunda elektrik keçiriciliyinin qiymətinin hesablanması nəticəsində $\sigma \sim 10^{-4} \text{ om}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ qiyməti tapılmışdır. Bu da digər elektrik ölçmələrindən σ üçün tapılmış qiymətlə demək olar ki üst-üstə düşür.

FeIn_2S_4 kristalı üçün istilikkeçirmə əmsalının (χ) temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. Bu birləşmələrdə istiliyin keçməsi fononların üstünlüyü ilə həyata keçirilir. 300÷480 K temperatur intervalında FeIn_2S_4 kristalının istilikkeçirmə əmsalı $\chi \sim T^{-1}$ qanunundan kənara çıxaraq T^{-2} ilə mütənasib olaraq dəyişir. Bu da dördfononlu səpilmə prosesi üçün xarakterikdir.

Beşinci fəsilə AB_2X_4 tipli birləşmələrin müxtəlif temperaturlarda dəyişən elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyin və dielektrik xassələrinin tədqiqinin nəticələri verilmişdir.

FeGa_2S_4 birləşməsinin müxtəlif temperaturlarda (294÷379 K) elektrik keçiriciliyinin tezlikdən ($\sigma(\omega)$) asılılıqları zamanı müəyyən edilmişdir ki, başlanğıcda tezlik artdıqca σ yavaş-yavaş artır, sonra isə 10^5 Hz tezlikdən başlayaraq σ daha tez artmağa başlayır. FeGa_2S_4 kristalı üçün $10^4 \div 3 \cdot 10^5$ Hz tezlik intervalında $\sigma \sim f^8$ qanunauyğunluğu özünü göstərir. $10^4 \div 3 \cdot 10^5$ Hz tezlik intervalında 294 K temperaturda $s = 0,17 \div 1,00$, 379 K temperaturda isə s kəmiyyəti $0,10 \div 0,66$ oblastında dəyişir. FeGa_2Se_4 kristalının müxtəlif temperaturlarda $\sigma(\omega)$ asılılığında başlanğıcda tezlik artdıqca ($10^3 \div 2 \cdot 10^5$ Hz) elektrik keçiriciliyinin artması müşahidə edilir. Sonra isə keçiricilik tezlikdən asılı olaraq mürəkkəb xarakter daşıyır. FeGa_2Se_4 kristalında elektrik keçiriciliyinin belə olması bizə elə gəlir ki, kristalın quruluşundakı xüsusiyyətlərlə şərtlənir. Məlumdur ki, kristal və amorf yarımkeçiricilərdə elektrik keçiriciliyinin tezlikdən asılı olaraq dəyişməsi $\sigma(\omega) \sim \omega^s$ ($0,01 \leq s \leq 1,00$) qanunu üzrə baş verərsə, bu zaman keçiricilikdə sıçrayış mexanizmi baş verir. Burada $\omega = 2\pi n$ - dir. Keçiriciliyin tezlikdən asılılığının Debay analizinə əsaslanaraq keçiriciliyin tezlik asılılığı

$$\sigma(\omega)_T \sim \omega \left\{ \ln \left(\frac{V_f}{\omega} \right) \right\}^4 \sim \omega^s, \quad s \leq 1 \quad (4)$$

kimi, σ - nin temperatur asılılığı isə

$$\sigma(T)_\omega \sim T^{-1} \exp(T/T_0) \quad (5)$$

kimi müəyyən edilmişdir. Burada v_f –fononun tezliyi, T_0 - xarakteristik temperaturdur. (5) ifadəsinə görə $T > T_0$ temperaturlarında elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı $\ln(\sigma \cdot T) \sim f(T)$ koordinatında düz xətt verməlidir. FeGa_2S_4 və FeGa_2Se_4 kristallarında $f = 2 \cdot 10^5 \text{ Hz}$ tezliyində $\ln(\sigma \cdot T) \sim f(T)$ təcrübi asılılıqları hər iki birləşmə üçün düz xətt şəklindədir. Bu da yuxarıda qeyd etdiyimiz nəzəriyyəyə - sıçrayışlı keçiricilik mexanizminə uyğundur. Qeyd etmək lazımdır ki, AB_2X_4 tipli birləşmələr bir sıra xassələrə malikdir ki (məs. aşırma effekti, cərəyan dayanıqsızlığı və s.), bu da amorf cisimlər üçün xarakterikdir. Həm də bu kristallar kompensə edilmiş yarımkəçiricilərdir. Ona görə də FeGa_2S_4 və FeGa_2Se_4 kristallarında sıçrayışlı keçiricilik mexanizminin olmasını qəbul etmək təbii haldır. AB_2X_4 tipli birləşmələrdə lokal səviyyələrin əmələ gəlməsi səbəbləri aşağıdakı kimi ola bilər: 1) Kationların qarşılıqlı yerdəyişməsi əsasında antiquruluş defektlərin yaranması (A_B və B_A); 2) Stexiometrik boşluqların periodik yerləşməsinin pozulması; 3) Uzaq nizamlılığın pozulması; 4) Nəzarət edilməyən aşqarların mövcud olması. FeGa_2S_4 və FeGa_2Se_4 - də A və B kationlarının xarakteristikaları bir-birinə yaxın olmadığından ($R_{\text{Fe}^{2+}}=0,80\text{Å}$; $R_{\text{Ga}^{2+}}=0,62\text{Å}$) defektlərin yaranması antiquruluş defektlə əlaqədar olması ehtimalı azdır. Bizə elə gəlir ki, hər iki birləşmədə defektlərin yaranması üçün digər səbəblər rol oynaya bilər. Bu kristalların $\sigma(T)$ asılılığı aktivləşmə xarakterinə malik olur və σ -nın tezlikdən asılı olaraq dəyişməsinə multiplet modelinin köməyi ilə izah etmək olar. Belə ki, bu kristallarda yaxın enerjili lokal hallardan ibarət klasterlər mövcud olur və elektronlar onların arasında sıçrayış həyata keçirilər. Tezlik artdıqca elektrik keçiriciliyinin artması onunla izah olunur ki, tətbiq olunan gərginliklərdə tezlik yüksəldikcə yükdaşıyıcılar yarım period ərzində lokallaşma yerinə çata bilmir və elektrik sahəsi fasiləsiz olaraq yüksəldikcə daha çox keçiricilik yaradır. FeGa_2S_4 və FeGa_2Se_4 - də klasterlər hər hansı məxsusi nöqtəvi defektlər yığını kimi özünü göstərir. Bu da yuxarıda qeyd etdiyimiz defektlər səbəbindən yaranı bilər.

FeGaInS_4 və FeIn_2Se_4 monokristallarında da $\sigma \sim f^s$ asılılığı ödənilir və 296 K temperaturda $10^5 \div 10^6 \text{ Hz}$ tezlik intervalında uyğun olaraq $s = 0,2 \div 0,75$, $s = 0,10 \div 0,42$ qiymətlərini alır. FeGaInS_4 və FeIn_2Se_4 üçün 10^6 Hz tezlikdə $\ln(\sigma \cdot T) \sim f(T)$ təcrübi asılılıqları düz xətt verir. Bu onu göstərir ki, tədqiq olunan temperatur və tezlik oblastında bu monokristalların elektrik keçiriciliyi əsasən sıçrayış mexanizmi ilə baş verir.

MnGa₂S₄ monokristalı üçün σ -nin tezlikdən asılılıq qrafikinin tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, başlanğıcda tezlik artdıqca σ yavaş-yavaş artır. Sonra $5 \cdot 10^4 \div 3 \cdot 10^5$ Hz tezlik intervalında σ daha tez artır. 435÷500 kHz tezlikdə isə rezonans hadisəsi başverir. FeIn₂S₄ kristalı üçün müxtəlif temperaturlarda müqavimətin (R) tezlikdən asılılıqları zamanı müəyyən olunmuşdur ki, $2,5 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$ Hz tezlik intervalında 293÷323 K temperaturlarda müqavimət üçün rezonans piki müşahidə edilir. Temperatur yüksəldikcə bu piklər azalaraq yox olur.

Baş verən rezonans hadisəsini çəpər modelinin köməyi ilə belə izah etmək olar ki, defekti olan mono və polikristallarda yüksək omlu laylardan başqa lokal çəpərlərin özləri arasında müxtəlif qeyri -bircinslikdən yaranan aşağı omlu bağlayıcı laylar yerləşə bilər. Bağlayıcı laylar aktiv element olur. Belə ki, onların qalınlığı və birləşmə dərəcəsi gərginlikdən və elektrik sahəsinin tezliyindən asılı olur. Əgər ν tezliyi (ν - konsentrasiya dalğasında rəqs tezliyidir) d -layın qalınlığından və dreyf sürətindən təyin olunarsa onda belə bir ifadə almaq olar: $2d = \mu F / \nu = \mathcal{G}_{dr} / \nu$. Məsələn $d \sim 10^{-4}$ sm və $\nu_{dr} \sim 10^2$ sm/s olarsa onda $\nu = 5 \cdot 10^5$ Hz alırıq. Bizim halda MnGa₂S₄ və FeIn₂S₄ – də dəyişən elektrik sahəsində sahənin f tezliyi ν tezliyinə yaxın olduğu üçün rezonans hadisəsi müşahidə olunur. FeIn₂S₄ – də rezonans hadisəsinin yox olmasını belə izah etmək olar ki, temperatur yüksəldikcə ν tezliyi (bildiyimiz kimi bu tezlik layın d qalınlığından və dreyf yükdaşıyıcıların dreyf sürətindən təyin olunur) yüksəlir və xarici f dəyişən cərəyan tezliyindən fərqlənir və rezonans hadisəsi baş vermir.

FeGa₂S₄, FeGaInS₄, FeIn₂Se₄ və FeGa₂Se₄ birləşmələrinin dəyişən elektrik sahəsində müxtəlif tezliklərdə $\sigma(T)$ -nin tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan temperatur oblastında elektrik keçiriciliyi aktivləşmə xarakterlidir (zona mexanizmi) və bu zaman keçiricilik

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-\Delta E / kT) \quad (6)$$

düsturundan təyin olunur. Burada ΔE - aktivləşmə enerjisi, k – Bolsman sabitidir. Tədqiq olunan tezliklərdə $\lg \sigma \sim 10^3 / T$ asılılıqları müxtəlif meyllərə malik düz xətlər verir. Meyllər üzrə bu asılılıqlardan ΔE təyin olunmuşdur (cədvəl II). FeGa₂S₄, FeGaInS₄ və FeGa₂Se₄ birləşmələrində dəyişən elektrik sahəsində ΔE -nin tezlikdən asılı olaraq dəyişməsi onu göstərir ki, elektrik keçiriciliyində həmçinin sıçrayış mexanizmi də rol

oynayır. Deməli bu birləşmələrdə elektrik keçiriciliyi qarışıq - zona və sıçrayış mexanizmi ilə əlaqədardır. FeIn_2Se_4 monokristalında $\sigma(1/T)$ loqarifma koordinatında asılılıq müxtəlif meyllərə malik iki düz xətdən ibarətdir. Yüksək temperaturlu oblastda dəyişən cərəyanın tezliyindən asılı olaraq ΔE - nin qiyməti dəyişmədiyi üçün fərz etmək olar ki, bu oblastda cərəyanın keçməsi zona mexanizminə əsaslanır. Aşağı temperaturlu oblastda (düz xətt meyli) tezlik artdıqca aktivləşmə enerjisi $0,23 \div 0,20$ eV intervalında azalır. Bu da zona –sıçrayış mexanizmi ilə bağlıdır.

Cədvəl II

Kristal	f, Hz	σ , $\text{om}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$	E_t^g , eV	T, K
FeGa_2S_4	$10^4 \div 10^5$	$10^{-5} \div 10^{-4}$	0,26	294÷379
	$2 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$		0,17÷0,067	
	$2 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$		0,24÷0,16	
FeIn_2S_4	$5 \cdot 10^4 \div 10^6$	$10^{-4} \div 10^{-3}$	0,44÷0,35	293÷373
FeGaInS_4	$10^4 \div 10^6$	$10^{-4} \div 10^{-3}$	0,27÷0,23	296÷376
FeGa_2Se_4	$10^4 \div 2 \cdot 10^5$	$10^{-7} \div 10^{-6}$	0,34÷0,12	294÷374
	$10^4 \div 2 \cdot 10^5$		0,59÷0,36	
	$5 \cdot 10^5$		0,050	
FeIn_2Se_4	$10^4 \div 10^6$	$10^{-4} \div 10^{-3}$	0,23÷0,20	295÷375
	$10^4 \div 10^6$		0,28	
MnGa_2S_4	$25 \div 10^5$	$10^{-9} \div 10^{-8}$	0,35÷0,15	294÷374
MnIn_2Se_4	$10^5 \div 5 \cdot 10^5$	$10^{-4} \div 10^{-3}$	0,35÷0,1	295÷355
	$10^5 \div 5 \cdot 10^5$		0,64÷0,55	

FeIn_2S_4 , MnGa_2S_4 və MnIn_2Se_4 kristallarında dəyişən elektrik sahəsində tezliyin müxtəlif qiymətlərində $\lg \sigma \sim 10^3 / T$ asılılıq ayrılırları müxtəlif meyllərə malik olur. Bu ayrılardan aktivləşmə enerjiləri hesablanmış (cədvəl II) və müəyyən edilmişdir ki, aktivləşmə enerjiləri tezliyin funksiyasıdır. Bu asılılıq çəpər modelinin köməyi ilə belə izah edilir ki, qeyd etdiyimiz kimi kristalda yüksəkumlu layların arasında müxtəlif qeyri-bircinsliklərdən əmələ gələn bağlayıcı aşağı müqavimətli laylar mövcuddur. Bağlayıcı laylarda relaksasiya müddəti (τ) tezlikdən müxtəlif cür asılı ola bilər. Əgər bu asılılıq qüvvətlidirsə onda keçiriciliyin aktivləşmə enerjisi tezlikdən asılı olur:

$$\tau = \frac{1}{2f} \exp(\Delta E / kT). \quad (7)$$

(7) ifadəsinə görə τ -nu təyin etsək, biz görürük ki, tədqiq olunan tezlik intervalında tezlik artdıqca τ azalır, yəni ΔE və f relaksasiya müddətindən asılıdır. Bu zaman aktivləşmə enerjisi tezliyin funksiyası olur.

AB_2X_4 tipli birləşmələrin müxtəlif temperaturalarda dielektrik itkli bucağı tangensinin ($tg\delta$) tezlikdən asılılıqlarının tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, tezlik artdıqca bütün birləşmələrdə $tg\delta$ - nin qiyməti əsasən azalır, yəni ($tg\delta \sim 1/\omega$) tərs mütənəsiblik asılılığı ödənilir. Burada $tg\delta(\omega)$ asılılığı $tg\delta = \sigma / \epsilon \epsilon_0 \omega$ ifadəsinə uyğundur. $FeIn_2S_4$ kristalı üçün $2,5 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$ Hz, $MnGa_2S_4$ monokristalı üçün isə $435 \div 500$ kH tezlik intervalında rezonans pikləri müşahidə edilir. Bunun da səbəbi yuxarılarda çəpər modelinin köməyi ilə izah edilmişdir.

$tg\delta(\omega)$ asılılığı keçiriciliyin mexanizmindən asılıdır. Belə ki, σ özü tezlikdən asılı ola bilər. Yuxarılarda qeyd edildiyi kimi məsələn sıçrayış mexanizmində $\sigma \sim \omega^s$ ($0,01 \leq s \leq 1,00$) olur. Deyilənləri nəzərə aldıqda keçiricilikdə üstün rol oynayan müxtəlif mexanizmlər üçün $tg\delta(\omega)$ asılılığını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar:

$$tg\delta(\omega) \sim (\omega^{-1} + \omega) \quad \text{zona mexanizmi} \quad (8)$$

$$tg\delta(\omega) \sim \omega(\omega^{s-2} + 1) \quad \text{sıçrayış mexanizmi} \quad (9)$$

(8)- dan görünür ki, keçiricilikdə üstün rol oynayan zona mexanizmində $tg\delta \cdot \omega = f(\omega)$ koordinatında düz xətt asılılığı müşahidə edilməlidir.

$FeGa_2S_4$ və $FeGaInS_4$ kristalları üçün otaq temperaturunda $\ln(tg\delta \cdot \omega) \sim \ln\omega$ asılılıq qrafiki düz xəttə oxşar olsa da ondan bir qədər fərqlənir. Bu onu göstərir ki, bu kristallarda elektrik keçiriciliyi qarışıq - zona və sıçrayış mexanizmi ilə əlaqədar olur. $FeIn_2Se_4$ üçün 295K və 375K temperaturalarda $\ln(tg\delta \cdot \omega) \sim \ln\omega$ asılılığından müəyyən edilmişdir ki, aşağı temperaturda (295K) asılılıq düz xətdən fərqli olur. Yuxarı temperaturda isə (375 K) asılılıq düz xətt kimi özünü göstərir. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, aşağı temperaturda keçiricilik zona-sıçrayış mexanizmi ilə, yuxarı temperaturda isə zona mexanizmi ilə əlaqədardır.

AB_2X_4 tipli birləşmələrin müxtəlif tezliklərdə $tg\delta(T)$ asılılığının tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan tezliklərdə temperatur

artdıqca $tg\delta$ əsasən eksponensial qanun üzrə artır. Bu onunla izah olunur ki, temperatur yüksəldikcə elektrik keçiriciliyi artır. Elektrik keçiriciliyinin yüksəlməsi ilə əlaqədar olaraq itkilərin tangensinin qiyməti artır.

Qeyd edildiyi kimi tədqiq olunan birləşmələrdə temperatur artdıqca $tg\delta$ - nin artması keçiricilik cərəyanından təyin olunur:

$$tg\delta(T) \sim \frac{1}{\omega} \exp(-\Delta E_{\sigma} / kT) \quad (10)$$

(10)- dan görünür ki, aşağı tezlikli oblastda ($\omega\tau \ll 1$) elektrik keçiriciliyinin əsas rol oynadığı dielektrik itkisi $\lg(tg\delta \cdot \omega) \sim f(1/T)$ koordinat sistemində düz xətt asılılığı olmalıdır. $FeGa_2S_4$, $FeIn_2S_4$, $FeGaInS_4$, $FeGa_2Se_4$, $FeIn_2Se_4$, $MnGa_2S_4$, $MnIn_2Se_4$ birləşmələri üçün müxtəlif tezliklərdə itgi bucağı tangensinin temperaturdan asılılığının $\lg(tg\delta \cdot f) \sim 10^3 / T$ koordinat sistemində tədqiqi nəticəsində müxtəlif meyllərə malik düz xətlər aşkara çıxarılmış və düz xətt meyllərindən $\Delta E^{tg\delta}$ aktivləşmə enerjisi hesablanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, bu birləşmələrin aktivləşmə enerjisinin qiyməti elektrik sahəsinin tezliyindən asılı olur. Bu qiymətlər AB_2X_4 tipli kristallar üçün $\lg\sigma \sim 10^3 / T$ asılılığından da tapılmışdır. $FeGa_2S_4$, $FeGaInS_4$, $FeIn_2Se_4$ və $FeGa_2Se_4$ birləşmələrinin elektrik keçiriciliyi aktivləşmə xarakterli olub zona-sıçrayış mexanizmi ilə şərtlənir və dielektrik itkisi aktiv keçiriciliyin hesabına yaranır.

$FeGa_2S_4$, $FeIn_2S_4$, $FeGaInS_4$, $FeGa_2Se_4$, $FeIn_2Se_4$, $MnGa_2S_4$, $MnIn_2Se_4$ birləşmələrinin müxtəlif temperaturlarda dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin (ϵ') tezlikdən asılılığının tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan temperatur və tezlik intervalında aşağı tezliklərdə tezlik artdıqca ϵ' sabit qalır, sonra tezlik artdıqca ϵ' -nin əsasən azalması baş verir. Bunun səbəbi tezlik yüksəldikcə müəyyən böhran tezliyindən sonra polyarlaşma sahənin sürətli dəyişməsi ilə uyğunlaşa bilmir. Bu da tezlik artdıqca dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin azalmasına səbəb olur.

$FeIn_2S_4$ birləşməsinin və $MnGa_2S_4$ monokristalının uyğun olaraq $2 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$ Hz və $435 \div 500$ kHz tezlik oblastlarında rezonans piki müşahidə edilmişdir. Yuxarıda qeyd etdiyimiz kimi rezonans hadisəsi cəpər modelinin köməyi ilə izah edilir.

Bu birləşmələr üçün müxtəlif temperaturlarda dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin (ϵ'') cərəyanın tezliyindən asılılığından

müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan temperatur və tezlik intervalında ε'' tezlik artdıqca sürətlə azalır.

FeGa_2S_4 , FeIn_2S_4 , FeGaInS_4 , FeGa_2Se_4 , FeIn_2Se_4 , MnGa_2S_4 , MnIn_2Se_4 birləşmələrinin müxtəlif tezliklərdə ε' və ε'' -in temperaturdan asılılığının tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan materiallarda əsasən dielektrik nüfuzluğunun termik aktivləşmiş artımı müşahidə olunur. Bu artım temperatur yüksəldikcə əsasən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır. Müxtəlif tezliklərdə $\lg\varepsilon' \sim 10^3/T$ və $\lg\varepsilon'' \sim 10^3/T$ asılılıqlarından alınan düz xətlərin meyillərindən aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır. FeGa_2S_4 , FeIn_2S_4 , FeGaInS_4 və FeGa_2Se_4 birləşmələrində elektrik sahəsinin tezliyi artdıqca hər iki asılılıqlardan tapılmış ΔE -nin qiyməti azalır. Bu da keçiriciliyin aktivləşmə xarakterli olub zona-sıçrayış mexanizmi ilə əlaqədar olduğunu göstərir.

FeGa_2S_4 , FeIn_2S_4 , FeGaInS_4 , FeGa_2Se_4 , MnGa_2S_4 və MnIn_2Se_4 birləşmələrində dəyişən elektrik sahəsində ε' və ε'' -in temperatur asılılığından tapılmış ΔE - nin və ε' -in qiymətləri III cədvəldə verilmişdir.

Cədvəl III

Kristal	f, Hz	$\text{tg}\delta$	ε'	$E_t^{\varepsilon'}$, eV	$E_t^{\varepsilon''}$, eV
FeGa_2S_4	$2 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$ $2 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$	0,4÷12	240÷2000	0,13÷0,03 0,20÷0,14	0,18÷0,08 0,27÷0,18
FeIn_2S_4	$5 \cdot 10^4 \div 10^6$	0,5÷20	300÷3000	0,44	0,49÷0,44
FeGaInS_4	$10^4 \div 10^6$	0,7÷30	200÷1000	0,21	0,30÷0,24
FeGa_2Se_4	$10^4 \div 2 \cdot 10^5$	0,05÷3	30÷90	0,10÷0,05	0,29÷0,11
FeIn_2Se_4	$10^4 \div 10^6$ $10^4 \div 10^6$ $10^4 \div 10^6$	0,01÷0,8	180÷1500	0,16÷0,11	0,57÷0,20 0,21÷0,20 0,36÷0,28
MnGa_2S_4	$25 \div 10^5$	0,01÷0,8	65÷130	0,37÷0,15	0,35÷0,15
MnIn_2Se_4	$10^5 \div 5 \cdot 10^5$	0,2÷20	80÷800		

Relaksasiya müddətinin qiymətini hesablamaq üçün Debay tənlikləri üçün sadə çevrilmələr aparmaqla almaq olar: $\varepsilon' = \varepsilon_\infty + \frac{1}{\tau} \cdot \frac{\varepsilon''}{\omega}$; İfadədən görünür

ki, ε_∞ yüksək tezlikli dielektrik nüfuzluğunun qiymətini və τ relaksasiya müddətini $\varepsilon' = f(\varepsilon''/\omega)$ asılılığından alınan düz xəttin ordinat oxu ilə kəsişməsindən və bu düz xəttin tangens bucağından təyin

etmək olar. Otaq temperaturunda $\varepsilon' = f(\varepsilon'' / \omega)$ təcrübi asılılığından FeGa_2S_4 , FeIn_2S_4 , FeGaInS_4 , FeGa_2Se_4 və FeIn_2Se_4 birləşmələri üçün ε_∞ və τ -nin qiymətləri hesablanmışdır və tədqiq olunan birləşmələr üçün belədir: $\varepsilon_\infty = 243$, $\tau = 6 \cdot 10^{-5} \text{ san}$ (FeGa_2S_4 üçün); $\varepsilon_\infty = 143,6$, $\tau = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ san}$ (FeIn_2S_4 üçün); $\varepsilon_\infty = 110$, $\tau = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ san}$ (FeGaInS_4 üçün); $\varepsilon_\infty = 30,7$, $\tau = 2 \cdot 10^{-6} \text{ san}$ (FeGa_2Se_4 üçün); $\varepsilon_\infty = 149$, $\tau = 3 \cdot 10^{-6} \text{ san}$ (FeIn_2Se_4 üçün).

Relaksasiya müddətini bilməklə bu birləşmələrdə polyarlaşma mexanizmi haqqında fikir söyləmək olar. Məlumdur ki, istilik hərəkəti ilə şərtlənən elektron polyarlaşması zamanı relaksasiya müddəti $10^{-2} \div 10^{-7}$ saniyəyə bərabər olur. FeGa_2S_4 , FeIn_2S_4 , FeGaInS_4 , FeGa_2Se_4 və FeIn_2Se_4 birləşmələrində polyarlaşma zamanı relaksasiya müddəti $10^{-5} \div 10^{-6}$ san qiymətlərini alır. Bu da istilik hərəkəti ilə şərtlənən elektron polyarlaşmasına uyğun gəlir. Bu polyarlaşma mexanizmi bərk dielektriklər üçün xarakterikdir.

Altıncı fəsilə $\beta\text{-MnGa}_2\text{S}_4$, MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 , FeGa_2Se_4 , FeIn_2Se_4 birləşmələrində müxtəlif polyarlaşma gərginliklərində və polyarlaşma temperaturlarında termostimullaşmış depolyarlaşma cərəyanların (TSD) və MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 monokristalında termostimullaşmış keçiriciliyin (TSK) tədqiqinin nəticələri verilmişdir.

$\beta\text{-MnGa}_2\text{S}_4$ monokristallı üçün 300V polyarlaşma gərginliyində TSD cərəyan spektrində temperatur maksimumu 338 K olan pik müşahidə edilmişdir. TSD cərəyan spektrində 2 müxtəlif polyarlaşma gərginliklərində MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristallarında uyğun olaraq müxtəlif temperaturlu iki və üç maksimum aşkara çıxarılmışdır. Polyarlaşma gərginliyi artdıqca TSD cərəyan maksimumları yüksək temperatur oblastına doğru sürüşür və TSD cərəyanının qiyməti artır.

FeGa_2Se_4 və FeIn_2Se_4 kristalları üçün müxtəlif polyarlaşma gərginliyində TSD cərəyan əyrisində başlanğıcda temperatur artdıqca cərəyanın işarəsi «-» olmaqla qiyməti artır və müəyyən temperaturdan sonra cərəyanın işarəsi dəyişərək müsbət olur və temperatur artdıqca cərəyanın qiyməti artmaqda davam edir.

TSD – nin inversiya cərəyanını belə izah etmək olar ki, başlanğıcda dielektrikin daxilində yapışma səviyyələrində lokallaşmış yüklər qalınlığa görə qeyri-bircinsli paylanır (hetroböyük). Qızdırılma prosesində

depolyarlaşma zamanı sərbəst yükdaşıyıcıların generasiyası başlayır. Yəni daxili elektrik sahəsinin təsiri ilə heteroyüklər dielektrikin səthinə çatır və homoyükün əks ekranlaşmış sahəsini yaradır. Müəyyən temperaturda ekranlaşma tam olur. Bu zaman $I_{TSD} = 0$ -a bərabər olur. Sonrakı qızdırılma prosesində hetroyük hemoyük sahəsinin üzərində bəzi üstünlükləri meydana çıxır. Bu TSD cərəyanının işarəsinin dəyişməsi ilə ifadə olunur.

TSD cərəyanı əyrilərinin analizi üçün yapışma səviyyələrinin növünü bilmək üçün « δ » kəmiyyətindən istifadə olunur: $\delta = \frac{T_2 - T_M}{T_2 - T_1}$; Burada

T_M – TDC – nin maksimumuna uyğun temperatur, T_1 və T_2 – TSD – cərəyanının maksimum intensivliyinin yarısına uyğun aşağı və yuxarı temperaturlardır. TSD cərəyan maksimumlarının formalarının analizi göstərir ki, tədqiq olunan kristallar üçün müşahidə edilən bütün maksimumlarda $\delta \geq e^{-1} \left(1 + \frac{2kT_M}{E_t}\right)$ şərti ödənilir. Bu şərtin ödənilməsi

sürətli yapışma səviyyələrinin mövcudluğunu göstərir.

Tədqiq olunan kristallar üçün tələlərin yerləşmə dərinliyi TSD - də cərəyanın başlanğıc artımı hissəsinin temperaturdan asılılığından (Qarlik-Qibson metodu) yəni $J_{TSC} = const \cdot \exp(-E_t / kT)$ təyini ilə yanaşı, Byub metodundan və TSD cərəyanlarının piklərinin formasından asılı olan düsturlardan da təyin edilmişdir. Sürətli yapışma səviyyələri üçün tələlərin

konsentrasiyası $S_t = \frac{\beta J_M E_t^2}{2\alpha N_c \mathcal{G}_t k^2 T_M^3} \exp(2E_t / kT_M)$ və tutulma en kəsikləri

$N_t = \frac{e\mu N_c n_{to} E_t}{\alpha}$ ifadələrindən hesablanmışdır. Burada J_M - TSD

maksimumuna uyğun cərəyanın sıxlığı, β - qızdırılma sürəti, N_c - keçirici zonada hal sıxlığı, \mathcal{G}_t - sərbəst yükdaşıyıcıların istilik sürəti, k - Bolsman sabitidir. $\ln j \sim 1/T$ koordinatında j əyrisinin düz xətt hissəsinin yüksək temperatur oblastında ekstrapolyasiyası nəticəsində ordinat oxundan α parçasını ayırır.

Yuxarıda göstərdiyimiz metodların köməyi ilə hesablamalar nəticəsində $MnGa_2S_4$, $MnIn_2S_4$, $MnGaInS_4$, $FeGa_2Se_4$ və $FeIn_2Se_4$

kristallarında lokal səviyələrin parametrlərinin qiymətləri cədvəl IV verilmişdir.

Cədvəl IV

Kristal	E_t , eV	N_t , cm^{-3}	S_t , sm^2
$\beta\text{-MnGa}_2\text{S}_4$	$0,30 \pm 0,02$	$3 \cdot 10^{17}$	$5 \cdot 10^{-16}$
MnIn_2S_4	$0,38 \pm 0,02$	$2,6 \cdot 10^{13}$	$1,7 \cdot 10^{-17}$
	$0,59 \pm 0,02$	$5,2 \cdot 10^{15}$	$2,3 \cdot 10^{-17}$
MnGaInS_4	$0,39 \pm 0,02$	$2,5 \cdot 10^{14}$	$2,9 \cdot 10^{-17}$
	$0,50 \pm 0,02$	$4 \cdot 10^{18}$	$8,5 \cdot 10^{-14}$
	$0,70 \pm 0,02$	$0,9 \cdot 10^{14}$	$2,4 \cdot 10^{-18}$
FeGa_2Se_4	$0,16 \pm 0,02$	$3,3 \cdot 10^{17}$	$2 \cdot 10^{-18}$
FeIn_2Se_4	$0,63 \pm 0,02$	$2,4 \cdot 10^{16}$	$5 \cdot 10^{-17}$

Qeyd etmək lazımdır ki, MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 , FeGa_2Se_4 , FeIn_2Se_4 birləşmələrində TSD metodunun köməyi ilə tələlərin yerləşmə dərinliyi və konsentrasiyası üçün tapılmış qiymətlər elektrik ölçmələrindən təyin edilmiş qiymətlərlə demək olar ki, üst-üstə düşür.

TSD cərəyan pikinin qiyməti (yükün toplanma qiyməti) temperaturun tərs qiymətindən eksponensial asılı olur və MnIn_2S_4 monokristalının müxtəlif gərginliklərdə I_m kəmiyyətinin $10^3/T$ -dən asılılıq qrafiki düz xətt verir. MnIn_2S_4 monokristalı üçün cərəyan pikinin qiymətinin polyarlaşma gərginliyindən asılılığı xətti xarakter daşıyır. Polyarlaşma gərginliyi artdıqca pik cərəyanının qiyməti də artır.

MnIn_2S_4 monokristalı üçün müxtəlif qızdırılma sürətlərində TSK spektri tədqiq edilmişdir. Müxtəlif qızdırılma sürətlərində I_m kəmiyyətinin $10^3/T$ -dən asılılıq qrafikindən tələlərin aktivləşmə enerjisi təyin edilmiş, $E = 0,20\text{eV}$ qiyməti tapılmışdır. Həmçinin MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristalları üçün TSK cərəyan pikinin başlanğıc hissəsinin temperaturdan asılılıq əyrisindən ($I \sim 10^3/T$) tələlərin aktivləşmə enerjisi hesablanmış və uyğun olaraq $E_t = 0,05\text{eV}$ və $E = 0,10\text{eV}$ qiyməti alınmışdır.

Yeddinci fəsildə AB_2X_4 tipli birləşmələrin optik xassələrinin tədqiqi nəticələri verilmişdir.

MnGa_2S_4 monokristalında udulma əmsalının düşən fotonun enerjisindən asılılığının tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu monokristalda məxsusi udulma kənarı icazə verilmiş düz keçidə uyğundur.

MnIn₂S₄ monokristalının müxtəlif temperaturlarda α udulma əmsalının düşən işığın enerjisindən asılılığından müəyyən edilmişdir ki, temperatur 296 K -dən 80 K – nə kimi azaldıqca $\alpha(h\nu)$ asılılığı qısa dalğalı oblasta doğru sürüşür və $\alpha(h\nu)$ asılılığı 3 oblastdan ibarət olur: 1) 1,8eV-dan başlayaraq uzundalğalı quyruq hissə (bu hissə Urbax qaydasına tabe olur); 2) Orta hissə; 3) α udulma əmsalının kəskin artma hissəsi.

Alınan nəticələr düz və çəp optik keçidlərin nəzəriyyəsinə uyğun olaraq analiz olunur. $\alpha(h\nu)$ - ni aşağıdakı şəkildə göstərmək olar:

$$\alpha = \alpha_i + \alpha_d + \alpha_b \quad (11)$$

Burada α_i , α_d , α_b - çəp, düz və fon udulmasına uyğun olaraq optik udulma əmsallarıdır. Fon udulması kimi defektlərlə, səpilmələrlə və s. şərtlənən udulma nəzərdə tutulur. $\alpha(h\nu)$ asılılığının təhlili zamanı α_b hissəsi ümumi udulmadan çıxılır, yəni $\alpha - \alpha_b$ olur.

Udulma əmsalının kəskin artma hissəsindən MnIn₂S₄ monokristalında $(\alpha - \alpha_b) \sim f(h\nu)$ asılılığı $(\alpha - \alpha_b)^2 \sim f(h\nu)$ koordinatında özünü düz xətt kimi göstərir. Bu da məxsusi udulma kənarının düz icazə verilmiş keçidə uyğunluğunu müəyyən edir. E_{gd} - qadağan olunmuş zonanın enerjisi $(\alpha - \alpha_b)^2 = f(h\nu)$ düz xətlərinin $(\alpha - \alpha_b) = 0$ qiymətinə ekstrapolyasiyasından təyin edilmişdir.

Udulmanın kəskin artma oblastından sonrakı oblastda təcrübi nəticələr $(\alpha - \alpha_b)^{1/2} \sim h\nu$ koordinatında verilmişdir və bu da çəp keçidə uyğunluğu müəyyən edir. $(\alpha - \alpha_b)^{1/2} \sim h\nu$ koordinatında müxtəlif meyilli iki düz xətlər oblastı müəyyən edilmişdir. Bu oblastlar fononun udulması və buraxılması ilə şərtlənir. Çəp keçid üçün ifadədə $E_p = k\theta$ nəzərə alsaq alarıq:

$$\alpha_i = A \left(\frac{(h\nu - E_{gi} + E_p)^2}{e^{\theta/T} - 1} + \frac{(h\nu - E_{gi} - E_p)^2}{1 - e^{-\theta/T}} \right). \quad (12)$$

Burada E_{gi} – çəp keçid zamanı qadağan olunmuş zonanın enerjisi, θ - xarakteristik temperaturdur. Nəzərə alsaq ki, birinci toplanan fononun (α_a) udulması ilə ikinci toplanan isə (α_e) buraxılması ilə bağlıdırsa onda

$\alpha_a^{1/2} = f(h\nu)$ və $\alpha_e^{1/2} = f(h\nu)$ düz xətt meyillərini aşağıdakı ifadələrdən tapmaq olar:

$$K_\alpha = \left(\frac{A}{e^{\theta/T} - 1}\right)^{\frac{1}{2}}, K_e = \left(\frac{A}{1 - e^{-\theta/T}}\right)^{\frac{1}{2}} \quad (13)$$

(13) dən asanlıqla aşağıdakı ifadəni almaq olar:

$$\frac{K_e^2}{K_\alpha^2} = \exp \frac{\theta}{T} \quad (14)$$

(14) düsturundan və müxtəlif temperaturlardakı təcrübi nəticələr əsasında MnIn_2S_4 monokristali üçün E_{gi} , θ , K_e , K_α , E_p kəmiyyətləri təyin edilmiş və V cədvəlində verilmişdir.

Cədvəl V

T, K	E_{gi} , eV	K_e , cm/eV	K_α , cm/eV	θ , K	E_p , eV
90	1,939	137	93	70	0,006
118	1,92	113	85	67	0,0058
155	1,899	98	85	44	0,0038
182,5	1,889	101	81	81	0,007
210	1,8655	95	75	99	0,0085
240,5	1,826	84	67	109	0,0094
270	1,815	85	69	113	0,0097
295,5	1,7835	84	65	152	0,013
320	1,7675	78	63	137	0,012
342	1,76	80	66	132	0,011

MnIn_2S_4 monokristalında E_{gi} və E_{gd} –nin temperatura görə dəyişməsi təyin edilmişdir: $dE_{gi}/dT = -6,33 \cdot 10^{-4}$ eV/K, $dE_{gd}/dT = -4,84 \cdot 10^{-4}$ eV/K.

MnGaInS_4 monokristalda optik keçidin xarakterini müəyyən etmək üçün udulma əmsalının təcrübi qiymətlərini uyğun müxtəlif optik keçidlərin nəzəriyyəsi ilə müqayisə edilmişdir. 2,7eV enerjidən başlayaraq optik udulma əmsalının kəskin azalma oblastında $(\alpha - \alpha_b)^2 \sim h\nu$

koordinatında udulma əmsalının düşən fotonun enerjisindən asılılığı özünü düz xətt kimi göstərir. MnGaInS_4 monokristalında başlanğıcda məxsusi udulma kənarı düz icazə verilmiş keçidlə formalaşır. Burada da qadağan olunmuş zonanın enerjisi $(\alpha - \alpha_b)^2 \sim f(h\nu)$ düz xətlərinin $(\alpha - \alpha_b) = 0$ qiymətinə ekstrapolyasiyası nəticəsində təyin edilir. $83 \div 270\text{K}$ temperatur intervalında $E_{gd} = 2,59 \div 2,495 \text{ eV}$ qiymətlərini alır. Bu zaman E_{gd} -nin temperatura görə dəyişməsi $dE_{gd}/dT = -5,06 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$ - nə bərabər olur. Udulma əmsalının kəskin azalma oblastundan sonrakı oblastda udulma əmsalının düşən fotonun enerjisindən asılılığı $(\alpha - \alpha_b)^{1/2} \sim h\nu$ koordinatında iki müxtəlif meyllərə malik düz xətlərdən ibarət olur. Buradan da məxsusi udulma kənarının çəp keçidə uyğun olduğu məlum olur. Düz xətlərin $(\alpha - \alpha_b) = 0$ qiymətinə ekstrapolyasiyası nəticəsində çəp keçid üçün E_{gi} təyin edilmişdir. Bu zaman $dE_{gi}/dT = -5,35 \cdot 10^{-4} \text{ eV/K}$ - nə bərabər olur. Təcrübi qiymətlərdən həmçinin E_f – fononun enerjisi və θ xarakteristik temperatur təyin edilmiş və cədvəl VI – da verilmişdir.

Cədvəl VI

T, K	E_{gi}, eV	E_p, eV	θ, K
83	2,2175	0,0125	145
116	2,2125	0,0075	87
146	2,2055	0,0125	145
177	2,17	0,01	116
210	2,1455	0,0125	145
240,5	2,134	0,015	174
270	2,1295	0,0155	180

MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 və MnGa_2Se_4 monokristallarında da qadağan olunmuş zonanın eninin temperaturdan asılı olaraq dəyişmə mexanizmini aydınlaşdırmaq.

Məlumdur ki, E_g -nin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsi qızdırılma zamanı kristal qəfəsin deformasiyası ilə və ya kristal qəfəsin rəqsləri ilə yükdaşıyıcıların qarşılıqlı təsiri ilə (elektron-fonon qarşılıqlı təsiri) əlaqədar ola bilər:

$$\frac{dE_g}{dT} = \left(\frac{dE_g}{dT}\right)_p + \left(\frac{dE_g}{dT}\right)_{eff} \quad (15)$$

$\left(\frac{dE_g}{dT}\right)_p$ qəfəsin genişlənməsi zamanı temperatur əmsalını təyin edən

birinci toplanan valent zona və keçirici zonanın deformasiya potensialının fərqi bərabərdir. (15) tənliyindəki ikinci hədd yükdaşıyıcıların qəfəs rəqsləri ilə qarşılıqlı təsiri ilə bağlı məxsusi udulma kənarının temperatur əmsalının dəyişməsinə ifadə edir və yükdaşıyıcıların optik və akustik fononlarla qarşılıqlı təsirini nəzərə aldıqda qadağan olunmuş zonanın eninin azalmasına gətirib çıxarır. Belə ki, temperatur yüksəldikcə keçirici zonanın dibi enerji şkalasına görə aşağıya doğru yerini dəyişir, valent zonasının zirvəsi isə yuxarı doğru hərəkət edir.

Yuxarıda ifadə etdiklərimizi nəzərə alaraq belə nəticəyə gəlmək olar ki, tədqiq olunan temperaturlarda (yuxarı temperatur oblastı $\sim 77 \div 350\text{K}$) MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 və MnGa_2Se_4 monokristallarında qadağan olunmuş zonanın enerjisinin temperaturdan asılı olaraq xətti qanun üzrə dəyişdiyini və bu dəyişmənin mənfi qiymət aldığını nəzərə aldıqda, məxsusi udulma kənarının dəyişməsinə cavabdeh mexanizm elektron-fonon qarşılıqlı təsiridir.

AB_2X_4 tipli birləşmələrdə Furiye spektraskopiyası vasitəsi ilə infraqırmızı oblastda udulma əmsalının düşən işığın dalğa uzunluğundan ($2,4 \div 24 \text{ mkm}$) asılılığı tədqiqi nəticəsində FeGa_2S_4 , FeIn_2S_4 , FeIn_2Se_4 , FeGa_2S_4 , MnGa_2S_4 və MnIn_2Se_4 birləşmələrində infraqırmızı oblastda udulma spektrləri aşkar edilmişdir. Udulma spektrlərindəki piklərin enerji vəziyyətlərinin təyini nəticəsində $0,08\text{eV}$; $0,20\text{eV}$; $0,29\text{eV}$; $0,42\text{eV}$ qiymətləri tapılmışdır. $0,20\text{eV}$; $0,29\text{eV}$; $0,42\text{eV}$ qiymətləri elektrik ölçmələrindən təyin edilmiş aşqar səviyyərin enerji qiymətləri ilə demək olar ki, uyğun olur.

MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 və MnGa_2Se_4 monokristallarında optik udulmanın uzundalğalı kənarı Urbax qaydasına tabe olur:

$$\alpha = \alpha_o \exp\left(\frac{\sigma(T)}{kT} \cdot (h\nu - E_o)\right); \text{ Burada } \alpha - \text{optik udulma əmsalı, } h\nu - \text{maddə}$$

üzərinə düşən fotonun enerjisi, σ - Urbax parametri, α_o və E_o yarımkeçirici materialın sabitləridir. Bu monokristallarda $\ln\alpha(h\nu, T)$ düz

xətlərinin uzanması bir nöqtəyə ($E_o, \ell n \alpha_o$) gedib çıxır. σ -Urbax parametri isə
$$\sigma(T) = \frac{kT \ell n(\alpha / \alpha_o)}{(h\nu - E_o)}$$
 düsturundan hesablanmışdır.

$MnGa_2S_4, MnIn_2S_4$ və $MnGa_2Se_4$ monokristalları üçün müəyyən edilmişdir ki, σ temperaturdan asılı olaraq yavaş-yavaş azalır və $T = 0$ -a ekstrapolyasiya olunur.

Tədqiq olunan $MnGa_2S_4, MnIn_2S_4$ və $MnGa_2Se_4$ monokristallarının kristallik quruluşundakı xüsusiyyətlər ondan ibarətdir ki, qəfəsin məxsusi defektləri yüksək konsentrasiyaya malik olur. Bu defektlər – vakansiyalı quruluşdan ($\sim 10^{18} \text{sm}^{-3}$) və antiquruluş defektindən (Manqan atomunun qalium (indium) atomunun vəziyyətində ($Mn_{In,Ga}$) və qalium (indium) atomunun manqan atomunun vəziyyətində ($Ga(In)_{Mn}$) olması) ibarət olması ehtimal olunur. Qeyd etmək lazımdır ki, Mn və Ga(In) atomlarının yerləşmə vəziyyətlərində vakansiyaların da yaranma imkanı vardır. Tədqiq olunan monokristalların qəfəslərində mürəkkəb defektlərin mövcud olması yüklənmiş lokal mərkəzlərin xaosik kulon sahələrinin yaranması ilə şərtlənir: $E' = ze^2/r^2$. Burada E' - yüklənmiş defektlərin ətrafındakı təsadüfi kulon sahəsi, z - Ga(In), Mn atomlarının və vakansiyalarının konsentrasiyası, r -defekt konsentrasiyaları fluktasiyaların xətti ölçüləridir. $MnGa_2S_4, MnIn_2S_4$ və $MnGa_2Se_4$ monokristallarında kinetik hadisələrin tədqiqinin nəticələri bu nümunələrdə yüklənmiş mərkəzlərin yüksək konsentrasiyalı olmasını fərz etməyə əsas verir.

$MnGa_2S_4, MnIn_2S_4$ və $MnGaInS_4$ monokristallarının müxtəlif temperaturlarda ($77 \div 320K$) polyarlaşmış işıq altında optik udulmanın düşən fotonun enerjisindən (dalğa uzunluğundan) asılılığının tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu asılılıqlar ($\vec{E} \parallel C$ və $\vec{E} \perp C$) polyarlaşmamış işıq ilə aparılan təcrübələrdən alınmış ayrılarə ($\alpha \sim h\nu$) oxşar olsa da optik udulmanın qiymətlərində fərq əmələ gəlir. $MnGa_2S_4$ monokristalında 86K temperaturda udulma əmsalının düşən polyarlaşmış işığın dalğa uzunluğundan asılılıq qrafikindən görünür ki, udulmaların fundamental kənarı hər iki polyarlaşma üçün eksponensial qanuna tabe olur və xarakteri düz optik keçidə uyğundur və $\vec{E} \perp C$ polyarlaşması zamanı udulma əmsalı $\vec{E} \parallel C$ polyarlaşmasından alınan udulmadan böyükdür.

Bu anizotropluq belə izah edilə bilər. Məlumdur ki, AB_2X_4 tipli birləşmələr, həmçinin $MnGa_2S_4$ iki tip kationa (Mn və Ga) malikdir. Kation

qəfəs altında iki tip atomun mövcud olması nəticəsində, kristal qəfəsdə kation qəfəs altısında psevdopotensiallar fərqi mövcud olur və bu da iki müxtəlif fəza qurupuna uyğun valent zonanın zirvəsinin parçalanmasına səbəb olur. Bu fəza qruplarından biri $\vec{E} \parallel C$ polyarlaşması, digəri isə $\vec{E} \perp C$ polyarlaşması zamanı optik keçidə icazəlidir.

$MnGa_2S_4$ monokristalı üçün udulmanın müəyyən sabit qiymətində ($\alpha = 280sm^{-1}$) $\vec{E} \parallel C$ və $\vec{E} \perp C$ üçün enerjinin temperaturdan asılılığından müəyyən edilmişdir ki, ayrılərin xarakteri bir-birinə bənzəsə də $E_{II} > E_{\perp}$ ($\Delta E = E_{II} - E_{\perp}$) olur. Bu da $MnGa_2S_4$ monokristalında polyarlaşmış işığın udulması zamanı anizotropluğu meydana çıxdığıni göstərir.

$MnIn_2S_4$ monokristalında $\vec{E} \parallel C$ və $\vec{E} \perp C$ polyarlaşması üçün udulma əmsalının $\alpha = 460sm^{-1}$ sabit qiymətində düşən fotonun enerjisinin temperaturdan asılılığından görünür ki, 90÷190K temperatur intervalında $E_{II} > E_{\perp}$ olur, temperaturun sonrakı artımında isə E_{II} və E_{\perp} demək olar ki, üst-üstə düşür.

$MnGaInS_4$ monokristalında 77K temperaturda udulma əmsalının düşən polyarlaşmış işığın enerjisindən asılılıq qrafikindən müəyyən edilmişdir ki, $\vec{E} \parallel C$ polyarlaşması zamanı udulma əmsalı $\vec{E} \perp C$ polyarlaşmasından alınan udulmadan böyükdür. Həmçinin udulmanın $4000sm^{-1}$ sabit qiymətində polyarlaşmış işıq üçün enerjinin temperaturdan asılılığı zamanı enerjilər bir-birindən fərqlənir. Belə ki, $E_{\perp} > E_{II}$ olur. Bu da $MnGaInS_4$ monokristalında fundamental udulma kənarı üçün polyarlaşmış işıqda anizotropluğun mövcud olduğunu göstərir.

$MnIn_2S_4$ və $MnGaInS_4$ monokristallarında müxtəlif temperaturlarda (77 ÷ 293 K) fotokeçiriciliyin (FK) spektral paylanması (0,36÷1,2 mkm) tədqiq edilmişdir. $MnIn_2S_4$ monokristalında FK ayrılərinin spektrində müşahidə olunmuş III uzundalğalı maksimumu daha yaxşı araşdırmaq üçün daha geniş oblastda (0,5÷1,1mkm) müxtəlif temperaturlarda FK-nin spektral paylanmasının tədqiqi nəticəsində 2 oblast aşkara çıxarılmışdır. 80K temperaturda 0,88 mkm dalğa uzunluğuna uyğun maksimum, yuxarı temperaturlarda müşahidə edilmir. II uzundalğalı maksimumlar temperatur yüksəldikcə qısa dalğalı oblasta doğru sürüşür. Bu oblastlarda FK aşqar xarakteri daşıyır. Məlumdur ki, AB_2X_4 tipli birləşmələrdə lokal səviyyələrin əmələ gəlməsi üçün vacib faktorlardan biri nümunələrin tərkibinin stexiometriklərindən kənara çıxmasıdır. Bu nümunənin

tərkibində A komponentlərin artıqlığı və ya çatışmamazlığı ilə əlaqədar ola bilər. $0,68 \pm 0,8$ mkm dalğa uzunluğuna uyğun oblast və həmçinin $0,88$ mkm dalğa uzunluğuna uyğun oblast nümunə yaranarkən Mn-nin artıqlığı və ya çatışmamazlığı ilə əlaqədar ola bilər. Qadağan olunmuş zonanın enerjisi ilə FK - də müşahidə edilən aşqar keçiriciliklərin enerji səviyyələri fərqləri $0,4 \pm 0,02$ eV və $0,6 \pm 0,02$ eV –a bərabərdir. Qeyd etmək lazımdır ki, bu enerji səviyyələri $\sigma(T)$ və TSD cərəyanları təcrübələrindən alınan nəticələrdə də aşkara çıxarılmışdır.

MnGaInS₄ monokristalında müxtəlif temperaturlarda FK - in spektral paylanması aşağı temperaturlarda ancaq məxsusi oblast, otaq temperaturuna yaxınlaşdıqca həmçinin aşqar oblastı da meydana çıxır. Otaq temperaturunda MnGaInS₄ monokristalı üçün polyarlaşmış işıq altında FK- in spektral paylanmasının tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, məxsusi FK - də $E \parallel C$ və $E \perp C$ halları zamanı maksimumlar arasındakı dalğa uzunluqları və enerjiləri fərqi uyğun olaraq $\Delta \lambda = 0,013$ mkm, $\Delta E = 0,05$ eV-a bərabər olur. Bu E_g -nin 2,3 % -ni təşkil edir. Səbəbi AB₂X₄ tipli birləşmələrinin iki tip kationa malik olması nəticəsində kristal qəfəsdə kation qəfəsəltisində psevdopotensiallar fərqi yaranması ilə iki müxtəlif fəza qrupuna uyğun valent zonanın zirvəsinin parçalanmasıdır. Bu fəza qruplarından biri $\vec{E} \parallel C$ polyarlaşması, digəri isə $\vec{E} \perp C$ polyarlaşması zamanı optik keçidə icazəlidir. MnGaInS₄ monokristalının FK-nin spektral əyrilərinin polyarlaşmış dalğalarının elektrik vektorları ilə kristalın oxu arasındakı bucaq asılılığından istifadə edərək lazım olan dalğa uzunluğunda düşən işığın polyarlaşma bucağı üçün həssas indikator almaq olar.

MnIn₂S₄ və MnGaInS₄ monokristallarında işığın müxtəlif intensivliklərində FK - nin temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. Hər iki kristalda başlanğıcda temperatur artdıqca fotocərəyanın qiyməti artır və maksimumu keçdikdən sonra temperaturun yüksəlməsi ilə fotocərəyanın qiyməti azalır. Başlanğıcda fotocərəyanın kəskin artması yapışma səviyyələrinin termik boşalması ilə əlaqədardır.

MnIn₂S₄ və MnGaInS₄ monokristallarında yapışma səviyyələrinin aktivləşmə enerjisini hesablamaq üçün işığın müxtəlif intensivliklərində başlanğıc fotocərəyanın temperaturdan asılılığı ($\lg I \sim 10^3 / T$) tədqiq edilmişdir. Düz xətt meyillərindən yapışma səviyyələrinin aktivləşmə enerjiləri hesablanmış və MnIn₂S₄ üçün $0,08$ eV, MnGaInS₄ isə $0,06$ eV qiymətləri tapılmışdır.

AB_2X_4 tipli birləşmələrdə elektrik və optik xassələrin tədqiqi nəticəsində onlarda enerji spektrinin təyininə elektron keçidlərin sxemi verilmişdir.

Əsas nəticələr

1. Qüvvətli sabit elektrik sahəsində ($10^3 \div 10^5$ V/sm) müxtəlif temperaturalarda VAX-ın tədqiqi nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, $FeGa_2S_4$, $MnIn_2Se_4$ birləşmələrində və $FeIn_2Se_4$, $MnGaInS_4$ monokristallarında VAX - in qeyri xətti oblastına uyğun cərəyanın keçmə mexanizmi Frenkelin termoelektron ionlaşma nəzəriyyəsinə uyğundur. Bu kristallarda ionlaşmış mərkəzlərin konsentrasiyası ($N_{I1}=9 \cdot 10^{14} \text{ sm}^{-3}$, $N_{I2}=9,2 \cdot 10^{13} \text{ sm}^{-3}$, $N_{I3}=1,1 \cdot 10^{15} \text{ sm}^{-3}$, $N_{I4}=(12) \cdot 10^{18} \text{ sm}^{-3}$), yükdaşıyıcılarının yürüklüyü ($\mu_1=0,1 \text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, $\mu_2=20 \text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$, $\mu_3=2 \text{ sm}^2/\text{V} \cdot \text{s}$) yükdaşıyıcıların sərbəst yolunun uzunluğu ($\lambda_1=1,1 \cdot 10^{-5} \text{ sm}$, $\lambda_3=9,8 \cdot 10^{-6} \text{ sm}$, $\lambda_4=8 \cdot 10^{-7} \text{ sm}$) təyin edilmiş, tələlərin potensial çuxurunun forması müəyyənləşdirilmişdir. $MnGaInS_4$ monokristalında həmçinin dielektrik nüfuzluluğunun elektron hissəsi ($\epsilon = 5,8$) və sındırma əmsalı ($n=2,4$) hesablanmışdır.

2. Müəyyən olunmuşdur ki, $FeIn_2S_4$ birləşməsində və $FeGaInS_4$ laylı monokristalında VAX-ın qeyri xətti oblastına uyğun cərəyanın keçmə mexanizmi fəza yükləri ilə məhdudlaşmış cərəyanla əlaqədardır. $FeGa_2Se_4$ birləşməsində müxtəlif temperaturalarda VAX-ın tədqiqi nəticəsində müşahidə edilən kvadratik oblastda cərəyanın keçmə mexanizmi monopolyar injeksiya ilə, cərəyanın kəskin artma oblastı isə tələlərin eksponensial paylanması ilə xarakterizə olunan fəza yükləri ilə məhdudlaşmış cərəyan halı ilə əlaqədardır. Müəyyən edilmişdir ki, AB_2X_4 tipli birləşmələr güclü kompensasiya edilmiş yarımkeçiricilərdir. β - $MnGa_2S_4$ monokristalında və $FeGa_2Se_4$ birləşməsində müxtəlif temperaturalarda VAX-ın tədqiqi nəticəsində müşahidə edilən $I \sim U^{3/2}$ asılılığı nöqtəvi kontaklardan və ya xüsusi konfigurasiyalı elektrodlardan yükdaşıyıcıların injeksiyası nəticəsində meydana çıxır.

3. In- $FeIn_2S_4$ - In strukturunda müxtəlif temperaturalarda VAX – in tədqiqi nəticəsində Coul istilik effekti ilə bağlı olan mənfi diferensial müqavimət oblastı (S - tip) müşahidə olunmuşdur. $MnIn_2Se_4$ birləşməsində müşahidə edilən cərəyanın zamana görə relaksasiyası kristalın $\sim 10^{-4} \div 10^{-5}$ sm nazik qatında yükün yığılması ilə əlaqədar olub kristalda axan cərəyanın azalmasına səbəb olur. Yaranan əks işarəli elektrik hərəkət qüvvəsi bu yüklərlə bağlıdır.

4. AB_2X_4 tipli birləşmələrdə sabit elektrik sahəsində $\sigma(T)$ asılılıqlarından lokal səviyyələrin aktivləşmə enerjiləri hesablanmış və müəyyən edilmişdir ki, $MnIn_2S_4$, $MnGa_2S_4$ və $MnGaInS_4$ monokristallarında xarici elektrik sahəsinin artması ilə aktivləşmə enerjisinin azalması, sahənin artması ilə elektronun yerləşdiyi potensial çuxurun hündürlüyünün azalması ilə əlaqədardır.

5. $MnGa_2S_4$, $MnIn_2S_4$ və $MnGaInS_4$ monokristallarının VAX - na işıqlanmanın təsirinin nəticəsində $I \sim U$, $I \sim U^{2/3}$ və $I \sim U^{2.5}$ asılılıqlı oblastlar aşkara çıxarılmışdır. $MnGa_2S_4$ və $MnIn_2S_4$ monokristallarında $I \sim U^{3/2}$ asılılıqlı oblastın yaranmasının səbəbi kristal ağı işıqla işıqlandırıldıqda qeyri-tarazlıqda olan yükdaşıyıcıların yaranması və bu yükdaşıyıcıların əlavə keçiricilik yaratmasıdır. $MnIn_2S_4$ monokristalında VAX - da $I \sim U^{2.5}$ asılılıqlı oblastın meydana çıxmasının səbəbi injeksiya nəticəsində tələlər tərəfindən tutulmuş yükdaşıyıcılar işıqlandırılan zaman bilavasitə fotonun udulması ilə bağlıdır. Müəyyən edilmişdir ki, $MnGa_2S_4$ monokristalında $I_{i\delta}/I_q = 10$, $MnIn_2S_4$ və $MnGaInS_4$ monokristallarında isə $I_{i\delta}/I_q = 10^4 \div 10^5$ tərtibində olur. Yaranan effektin səbəbi ondan ibarətdir ki, bu monokristallarda elektrik sahəsinin və işıqlanmanın birgə təsiri elektronların keçirici zonada, dəşiklərin isə valent zonasında yaranma ehtimalının artması ilə bağlıdır.

6. $FeGa_2S_4$, $FeIn_2S_4$ və $FeGaInS_4$ birləşmələrində termo e.h.q. və Holl effektinin tədqiqi nəticəsində termo e.h.q. əmsalının temperaturdan asılılığı öyrənilmiş, keçiriciliyinin tipi müəyyənləşdirilmiş, yükdaşıyıcıların konsentrasiyası hesablanmış, Holl yürüklüyü təyin edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, $FeIn_2S_4$ kristalında istilikkeçirmə əmsalının temperaturdan asılı olaraq $\chi \sim T^{-2}$ qanunu ilə dəyişməsi dördfononlu səpilmə prosesi ilə əlaqədardır.

7. $FeGa_2S_4$, $FeGaInS_4$, $FeGa_2Se_4$ və $FeIn_2Se_4$ birləşmələrində müxtəlif temperaturalarda ($293 \div 400$ K) elektrikkeçiriciliyinin elektrik sahəsinin tezliyindən ($10^3 \div 10^6$ Hz) asılı olaraq dəyişməsi $\sigma \sim f^{\delta}$ ($0,1 \leq \delta \leq 1,0$) qanunu ilə baş verir. Bunu multiplet modelinin köməyi ilə belə izah etmək olar ki, bu kristallarda yaxın enerjili lokal hallardan ibarət klasterlər mövcud olur və elektronlar onların arasında sıçrayış həyata keçirilər. Tətbiq olunan gərginliklərdə tezlik yüksəldikcə yükdaşıyıcılar yarım period ərzində lokallaşma yerinə çata bilmir və elektrik sahəsi fasiləsiz olaraq yüksəldikcə daha çox keçiricilik yaradır. $FeGa_2S_4$,

FeGaInS₄ və FeGa₂Se₄ birləşmələrində dəyişən elektrik sahəsində tezliyin müxtəlif qiymətlərində $\lg \sigma \sim 10^3/T$ asılılığından aktivləşmə enerjiləri təyin edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, tezlikdən asılı olaraq aktivləşmə enerjisinin qiyməti dəyişir. Bu zaman keçiricilikdə qarışıq zona-sıçrayış mexanizmi rol oynayır. FeIn₂Se₄ monokristalında müxtəlif tezliklərdə $\lg \sigma \sim 10^3/T$ asılılığından müəyyən edilmişdir ki, aşağı temperatur oblastında cərəyanın keçiriciliyi zona-sıçrayış, yuxarı temperatur oblastında isə zona mexanizminə uyğun baş verir.

8. $\beta - \text{MnGa}_2\text{S}_4$ monokristalında və FeIn₂S₄, MnIn₂Se₄ birləşmələrində müxtəlif tezliklərdə $\lg \sigma \sim 10^3/T$ asılılıqlarından aktivləşmə enerjiləri hesablanmış və müəyyən edilmişdir ki, tezlikdən asılı olaraq aktivləşmə enerjisinin qiyməti dəyişir. Bunun səbəbi kristalda müxtəlif qeyri-bircinslikdən yaranan aşağı omlu bağlayıcı layların tezlik artdıqca relaksasiya müddətinin azalması ilə əlaqədardır. $\beta - \text{MnGa}_2\text{S}_4$ monokristalında və FeIn₂S₄ birləşməsində elektrik cərəyanının tezliyi artdıqca elektrik keçiriciliyinin əsasən artması və müəyyən tezliklərdə rezonans hadisəsi müşahidə olunur. Bunların səbəbi çəpər modelinin köməyi ilə izah edilir.

9. AB₂X₄ tipli birləşmələrdə müxtəlif temperaturlarda dəyişən elektrik sahəsində dielektrik xassələrinin tədqiqi nəticəsində elektrik keçiricilik mexanizmi müəyyən edilmiş, itki bucağının tangensi, dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələri təyin edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, bu birləşmələrdə dielektrik itkisinin tangens bucağı tezliklə tərs mütənəsb olaraq azalır ($\text{tg} \delta \sim 1/\omega$). Bu birləşmələrdə müxtəlif tezliklərdə temperatur artdıqca $\text{tg} \delta$ əsasən eksponensial qanun üzrə artır və $\text{tg} \delta$ -nin artması aktiv keçiriciliyinin artması ilə əlaqədardır. Bu birləşmələrdə $\lg(\text{tg} \delta \cdot f) \sim 10^3/T$ asılılığından, ϵ' və ϵ'' -in temperaturdan asılı olaraq dəyişməsindən $\Delta E^{\text{tg} \delta}$, $\Delta E^{\epsilon'}$ və $\Delta E^{\epsilon''}$ hesablanmış və $\sigma(T)$ -dən tapılmış ΔE ilə müqayisə edilərək təhlil edilmişdir. AB₂X₄ tipli birləşmələrdə ϵ' -nin böyük olmasının səbəbi kristallarda defektlərin konsentrasiyasının kifayət qədər böyük olması ilə yüksək elektron polyarlaşmasının olmasıdır. Tədqiq olunan birləşmələrdə polyarlaşma zamanı relaksasiya müddəti hesablanmış və müəyyən edilmişdir ki, onlarda, istilik hərəkəti ilə şərtlənən, elektron polyarlaşması dominant rol oynayır.

10. β – MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 , FeGa_2Se_4 və FeIn_2Se_4 birləşmələrində müxtəlif polyarlaşma gərginliklərində və temperaturalarında TDC-nin nəticəsində lokal səviyyələrin enerji dərinliyi, onların konsentrasiyası və tutulma kəsikləri hesablanmışdır. Polyarlaşma sahəsinin və polyarlaşma temperaturunun qiymətini dəyişməklə dayaz və dərin yapışma mərkəzlərinin geniş spektri təyin edilmişdir. TSD və TSK cərəyanı ayrılmasının analizi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu birləşmələrdə sürətli yapışma səviyyələri mövcuddur.

11. Optik udulmanın tədqiqi nəticələrindən müəyyən edilmişdir ki, MnIn_2S_4 monokristalında fotonların $1,90 \div 2,16$ eV enerji intervalında, $80 \div 342$ K temperatur oblastında və MnGaInS_4 monokristalında isə $2,37 \div 2,74$ eV enerji intervalında, $83 \div 270$ K temperatur oblastında qadağan olunmuş zonada düz və çəp keçidlər baş verir. Bu monokristalların düz (E_{gd}) və çəp (E_{gi}) keçidlərə uyğun olaraq qadağan olunmuş zonanın eninin temperaturla dəyişməsi təyin edilmiş və nəticədə $E_{gd} = -4,84 \cdot 10^{-4}$ eV/K və $E_{gi} = -6,33 \cdot 10^{-4}$ eV/K (MnIn_2S_4 üçün) və $E_{gd} = -5,06 \cdot 10^{-4}$ və $E_{gi} = -5,35 \cdot 10^{-4}$ eV/K (MnGaInS_4 üçün) qiymətləri alınmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 monokristallarında E_g – nin eninin temperaturdan asılı olaraq dəyişməsinə səbəb olan elektron – fonon qarşılıqlı təsiridir. Müəyyən olunmuşdur ki, tədqiq olunan temperatur intervalında MnGa_2S_4 və MnGa_2Se_4 monokristallarında optik udulmanın uzundalğalı kənarı Urbax qaydasına tabe olur. Bu monokristallarda yüksək konsentrasiyaya malik olan defektlərin vakansiyalı quruluş və ya antiquruluş defektdən ibarət olması ehtimal olunur. MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristallarının müxtəlif temperaturlarda polyarlaşmış işıq altında optik udulmanın düşən fotonun enerjisindən asılılığının tədqiqi nəticəsində anizotropluq müşahidə edilmiş və onun mexanizmi aşkara çıxarılmışdır.

12. FeGa_2S_4 , FeIn_2S_4 , FeGaInS_4 , FeGa_2Se_4 , FeIn_2Se_4 , MnIn_2Se_4 birləşmələrində infraqırmızı oblastda udulma əmsalının düşən işığın dalğa uzunluğundan ($2,4 \div 24$ mkm) asılılığın tədqiqi nəticəsində alınan spektrlərdəki maksimumların enerji vəziyyətlərinin təyininədən $0,08$ eV; $0,20$ eV; $0,29$ eV; $0,42$ eV qiymətləri tapılmış və bu qiymətlər elektrik ölçmələrindən təyin edilmiş aşqar səviyyələrin enerji qiymətlərinə uyğundur.

13. MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristalında müxtəlif temperaturalarda fotokeçiriciliyin spektral paylanmasının tədqiqi nəticəsində məxsusi və aşkar oblastlar aşkara çıxarılmışdır. MnIn_2S_4 monokristalında FK- də aşkar oblastlarının yaranması kristalda Mn-nın miqdarının artıqlığı və ya çatışmaması ilə əlaqədardır. MnGaInS_4 monokristalında polyarlaşmış işıq altında FK-nin spektral paylanmasında məxsusi fotokeçiricilikdə $\vec{E} \parallel C$ və $\vec{E} \perp C$ halları zamanı müşahidə edilən maksimumlar arasında $\Delta E = 0,05\text{eV}$ enerji fərqi aşkara çıxarılmışdır və bu da qadağan olunmuş zonanın eninin 2,3 % - ni təşkil edir. Səbəbi AB_2X_4 tipli birləşmələrinin iki tip kationa malik olması nəticəsində kristal qəfəsdə kation qəfəsaltısında psevdopotensiallar fərqi yaranması ilə iki müxtəlif fəza qrupuna uyğun valent zonanın zirvəsinin parçalanmasıdır. Bu fəza qruplarından biri $\vec{E} \parallel C$ polyarlaşması, digəri isə $\vec{E} \perp C$ polyarlaşması zamanı optik keçidə icazəlidir.

14. AB_2X_4 tipli birləşmələrdən işıq modulyatorları, fotodedektorlar, termorezistorlar hazırlamaq üçün istifadə edilə bilər. MnIn_2S_4 , MnGa_2S_4 , MnGaInS_4 , FeIn_2S_4 birləşmələrindən fotohəssas Şottki diodu, fotorezistor yaratmaq olar və onlar geniş zolaqlı fotoçeviricilər kimi tətbiq oluna bilər. FeIn_2Se_4 və FeGaInS_4 monokristallarının əsasında heteroqəçid strukturu hazırlamaq olar.

Dissertasiya mövzusunda dərc olunmuş elmi işlər

1. Niftiev N.N. MnGaInS_4 monokristalında lokal səviyyələrin paylanması / ADPU-nun professor müəllim heyətinin 61-ci elmi konfransı, Bakı, II buraxılış, ADPU, 2001, s. 239-240.

2. Нифтиев Н.Н. Термостимулированные токи в монокристаллах MnIn_2S_4 // ФТП, 2002, т. 36, в. 7, с. 836-837.

3. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Азизов Т.Х. Электрические свойства FeIn_2S_4 / Труды международной конференции «Оптика, оптоэлектроника и технологии», Ульяновск, 2002, с. 120.

4. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б. Влияние освещения на электропроводность монокристаллов MnGaInS_4 / Труды международной конференции «Оптика, оптоэлектроника и технологии», Ульяновск, 2002, с. 119.

5. Нифтиев Н.Н., Алиджанов М.А., Нифтиев С.М., Мурадов М.Б. Исследование ВАХ в FeIn_2S_4 / Сборный статей физико-химический

анализ и неорганическое материаловедение. Респ. науч. конф. Баку, БГУ, 2002, с. 285-288.

6. Нифтиев Н.Н., Алиджанов М.А., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б. Электрические свойства FeIn_2S_4 // Укр. Физ. Журн. 2002, т. 47, № 11, с. 1054-1056.

7. Niftiyev N.N., Taqiev O.B. Thermallystimulated currents in MnGaInS_4 singlecrystals // Inorganic materials, 2003, v.39, №6, p.576-578.

8. Нифтиев Н.Н., Алиджанов М.А., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б. Электрические свойства монокристаллов FeIn_2Se_4 // ФТП, 2003, т. 37, в. 2, с. 173-175.

9. Нифтиев Н.Н. Электрические свойства FeGa_2Se_4 // Украин. физ. журн., 2003, т. 48, № 6, с. 585-586.

10. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Алиджанов М.А., Мамедов Ф.М. Электропроводность слоистых монокристаллов FeIn_2Se_4 / Труды международной конференции «Оптика, онтоэлектротехника и технологии» Ульяновск, Ул. ГУ, 2003, с. 191.

11. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б. Влияние освещения на вольтамперные характеристики и электропроводность монокристаллов MnGaInS_4 // Письма в ЖТФ, 2003, т. 29, в. 10, с. 49-53.

12. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Мамедова А.З. Влияние освещения на ВАХ монокристаллов MnIn_2S_4 и MnGa_2S_4 /Труды V международной конференции «Оптика, оптоэлектроника и технологии», Ульяновск, 2003, с. 86.

13. Нифтиев Н.Н., Мурадов М.Б., Мамедов Ф.М., Нифтиев С.Н. Электрические свойства FeGa_2Se_4 / Fizikanin aktual problemləri, III respublika konfransı, Bakı, BDU, 2004, с. 45.

14. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б. Вольтамперные характеристики монокристаллов MnIn_2S_4 и MnGa_2S_4 // ФТП, 2004, т. 38, в. 2, с.164-165.

15. Нифтиев Н.Н. Электрические свойства монокристаллов MnIn_2S_4 // ФТП, 2004, т. 38, в. 2, с.166-167.

16. Нифтиев Н.Н., Алиджанов М.А., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б. Электрические свойства MnIn_2Se_4 // ФТП, 2004, т. 38, в. 5, с. 550-551.

17. Нифтиев Н.Н. Электрические свойства слоистых монокристаллов FeGaInS_4 // ФТП, 2004, т. 38, в. 5, с. 522-523.

18. Niftiyev N.N., Alidzhanov M.A., Tagiev O.B., Muradov M.B., Mamedov F.M. Elektrical properties of FeGa_2S_4 // Ukr. J. Phys., 2004, v. 49, № 6, p. 579-581.

19. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Нифтиев С.Н., Мамедов Ф.М., Эффект холла в FeIn_2S_4 и FeGa_2S_4 / Международная конференция «Физика-2005», сборник трудов, Баку, Азербайджан, 7-9 июнь, 2005, с. 305-306.

20. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B. MnIn_2S_4 və MnGaInS_4 monokristallarında termostimullaşmış depolyarizasiya cərəyanları // Fizika, АМЕА, 2005, с. XI, № 3, s.10-11.

21. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Məmmədov F.M. FeGaInS_4 - də termo - e.h.q. və Холл effekti // Fizika, 2005, cild XI, № 1-2, s. 54-55.

22. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б. Влияние освещения на вольтамперные характеристики и электропереводность монокристаллов MnIn_2S_4 // Писма в ЖТФ, 2005, т. 31, в. 19, с. 72-75.

23. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Mamedov F.M. Thermo – elektromotive force and Hall effectin FeGa_2S_4 // Fizika, 2005, с. XI, № 4, p. 34-35.

24. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б. Действие поляризованного света на спектральные кривые фотопроводимости для монокристаллов MnGaInS_4 / Актуальные проблемы физики, IV рес. Конф., Баку, 2006, с. 33.

25. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Muradov M.B., Məmmədov F.M., Niftiyev S.N. MnGa_2S_4 monokristalının elektrik xassələri / Fizikanın aktual problemləri, IV respublika konfransı, Bakı, BDU, 2006, s. 33.

26. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б. Влияние освещения на вольтамперные характеристики и электропроводность монокристаллов MnGa_2S_4 // АМЕА xəbərləri, Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, Bakı, 2006, с. XXVI, № 5, s.150-152.

27. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Muradov M.B., Məmmədov F.M. MnGa_2S_4 monokristalının elektrik xassələri // Fizika, Bakı, АМЕА, 2007, с. XII, № 3, с.14 - 15.

28. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б. Термополевой эффект Френкеля в слойстых монокристаллах MnGaInS_4 // ФТП, 2007, т. 41, в. 1, с. 17-19.

29. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Muradov M.B., Məmmədov F.M. FeIn_2Se_4 laylı monokristalının dielektrik xassələri // Fizika, 2007, с. XIII, № 3, s. 3-5.

30. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б. Энергетические уровни в монокристаллах MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 и MnGaInS_4 // АМЕА xəbərləri,

Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, Bakı, 2007, c. XXVII, № 2, s. 123-125.

31. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Muradov M.B., Məmmədov F.M., Həşimova T.Ş. FeGa₂S₄ kristalının dielektrik xassələri // АМЕА, xəbərləri, Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, 2007, c. XXVII, № 5, s. 84-86.

32. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Мамедов Ф.М., Гашимова Т.Ш. Электрические свойства FeGa₂S₄ на переменном токе / Труды IX международной конференции «Опто, наноэлектроника и микросистемы», Ульяновск, УлГУ, 2007, с. 94.

33. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Niftiyev S.N. MnIn₂Se₄ birləşməsinin dəyişən elektrik sahəsində bəzi elektrik xassələri / Fizikanın müasir problemləri, I respublika konfransı, Bakı, BDU, 2007, s. 186-187.

34. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б. Электрические свойства слоистых монокристаллов FeIn₂Se₄ на переменном токе // ФТП, 2008, т. 42, в. 3, с. 268-270.

35. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Muradov M.B., Məmmədov F.M., Həşimova T.Ş. MnIn₂Se₄ birləşmələrinin dəyişən elektrik sahəsində elektrik xassələri // Fizika, 2008, c.XIV, № 1, s. 31-33.

36. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б., Мамедов Ф.М. Диэлектрические свойства монокристаллов FeGa₂S₄на переменном поле /Труды X межд. конфр. «Опта, наноэлектроника, нанотехнологии и микросистемы», Ульяновск, 2008, с. 195.

37. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Muradov M.B., Məmmədov F.M. Həşimova T.Ş. FeGa₂Se₄ birləşməsinin dəyişən elektrik sahəsində dielektrik xassələri // АМЕА, xəbərlər, Fizika - riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, 2008, c. XXVII, № 2, s.145-148.

38. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Muradov M.B., Məmmədov F.M. FeIn₂S₄- ün dielektrik xassələri //Fizika, Bakı, АМЕА, 2008, c. XIV, № 4, s. 18-20.

39.Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Касумов У.Ф. Термо - э.д.с. и теплопроводность FeIn₂S₄// АМЕА xəbərləri, Fizika-riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, 2008, c. XXVIII, № 5, s.183-185.

40. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б., Мамедов Ф.М. Казымова Ф.А. Электропроводность монокристаллов MnGa₂S₄ на переменном токе // Письма в ЖТФ, 2009, т. 35, в. 22, с. 79-83.

41. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б. Влияние сильного электрического поля на электропроводность монокристаллов $MnGa_2S_4$, $MnIn_2S_4$ и $MnGaInS_4$ // ФТП, 2009, т. 43, в. 9, с. 1172-1174.
42. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б., Мамедов Ф.М. Электрические свойства слоистых монокристаллов $FeGaInS_4$ на переменном токе // ФТП, 2009, т. 43, в. 11, с. 1447-1449.
43. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б., Мамедов Ф.М. Электропроводность $FeGa_2Se_4$ на переменном токе / Сборник трудов международной конференции «Аморфные и микрокристаллические полупроводники», Санкт-Петербург, 2010, с. 420-421.
44. Niftiyev N.N. AB_2X_4 tipli birləşmələrin elektrofiziki və optik xassələri // Xəbərlər (fizika - riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya), Bakı, AMEA, 2010, с. XXX, № 2, s. 81-93.
45. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Hacıyeva Z.F., Məmmədov F.M. $FeGa_2S_4$ – ün dəyişən elektrik sahəsində elektrikkeçiriciliyi // Xəbərlər (fizika - riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya), Bakı, AMEA, 2010, с. XXX, № 5, s. 166-168.
46. Нифтиев Н.Н., Аллахвердиев А.М., Мамедов Ф.М. Диэлектрическая проницаемость и проводимость $MnGa_2S_4$ на переменном токе / Fizikanın aktual problemləri, VI respublika konfransının materialları, Bakı, BDU, 2010, s. 53-54.
47. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Nəbiyev A.Ə., Məmmədov F.M., Kazımova F.A. $FeGa_2S_4$ – ün dielektrik itkisinin tezlik və temperaturdan asılılığı // Xəbərlər (fizika - riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya), Bakı, AMEA, 2011, Cild XXXI, №2, s.78-81.
48. Niftiyev N.N., Tağıyev O.B., Məmmədov F.M., Muradov M.B., Kazımova F.A., Qasımov Ü.F. $FeGa_2S_4$ –ün dielektrik nüfuzluğunun temperaturdan və dəyişən elektrik cərəyanının tezliyindən asılılığı // Xəbərlər (fizika - riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya), Bakı, AMEA, 2011, с. XXXI, № 5, s. 83-88.
49. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б. Оптическое поглощение в слоистых монокристаллах $MnGaInS_4$ // Оптика и спектроскопия, 2012, том 112, №1, с. 96-99.
50. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б., Мамедов Ф.М. Электрические свойства $FeIn_2S_4$ на переменном токе // Журнал технической физики, Санкт-Петербург, 2012, т. 82, в. 4, с. 153-155.

51. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б. Оптическое поглощение в монокристаллах $MnIn_2S_4$ // Оптика и спектроскопия, 2012, т. 113, № 1, с. 73-76.

52. Niftiyev N.N., Bəxtiyarlı İ.B., Tağiyev K.O., Məmmədov F.M., Muradov M.B. $FeGa_2Se_4$ – ün dəyişən elektrik sahəsində elektrikkeçiriciliyi // АМЕА – нın xəbərləri (fizika - riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya), Bakı, 2012, с. XXXII, № 2, s. 101-105.

53. Niftiyev N.N., Muradov M.B., Məmmədov F.M. $FeIn_2Se_4$ momokristalının dielektrik itkisinin tezlik və temperaturdan asılılığı / Fizikanın müasir problemləri, VI Respublika konfransının materialları, “Opto-nanoelektronika və kondensə olunmuş mühit və yüksək enerjilər fizikası, Bakı, BDU, 2012, s. 58- 60.

54. Niftiyev N.N., Bəxtiyarlı İ.B., Tağiyev K.O., Məmmədov F.M., Muradov M.B. $FeGaInS_4$ momokristalının dielektrik nüfuzluğunun dəyişən elektrik cərəyanının tezliyindən və temperaturdan asılılığı // АМЕА - нın xəbərləri (fizika və astronomiya), Bakı, 2013, с. XXXIII, № 2, s. 121-129.

55. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Нифтиев С.Н., Мамедов Ф.М. Зависимость диэлектрических потерь от частоты и температуры в слоистых монокристаллах $FeGaInS_4$ // АМЕА- нın xəbərləri. fizika – riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya, Bakı, 2013, с. XXXIII, № 5, s. 100-104.

56. Niftiyev N.N., Tağiyev O.B., Məmmədov F.M., Muradov M.B., $FeIn_2Se_4$ monokristalının dielektrik nüfuzluğunun dəyişən elektrik cərəyanının tezliyindən və temperaturdan asılılığı // Xəbərlər (fizika - riyaziyyat və texnika elmləri seriyası, fizika və astronomiya), Bakı, АМЕА, 2014, с. XXXIV, № 2, s. 10-15.

57. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б., Мамедов Ф.М. Диэлектрические свойства монокристаллов $MnGa_2S_4$ в переменном электрическом поле // Физика и техника полупроводников, Санкт-Петербург, 2014, т. 48, в. 2, с. 217-219.

58. Нифтиев Н.Н., Тагиев О.Б., Мурадов М.Б., Мамедов Ф.М. Электрические свойства $FeGa_2Se_4$ на переменном токе // Физика и техника полупроводников, Санкт-Петербург, 2014, т. 48, в. 11, с. 1469 -1472.

Намиг Надир оглы Нифтиев

**ЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В
СОЕДИНЕНИЯХ ТИПА AB_2X_4 (A-Mn, Fe; B-Ga, In; X- S, Se)
АННОТАЦИЯ**

Диссертационная работа посвящена изучению электронных и оптических процессов в соединениях типа AB_2X_4 (здесь A-Mn, Fe; B-Ga, In; X-S, Se) исследуя электрофизических и оптических свойств.

При исследованиях вольтамперных характеристик (ВАХ) в статическом электрическом поле при различных температурах установлено механизм переноса носителей тока в нелинейной области ВАХ – а в соединениях типа AB_2X_4 и найдены энергии активации носителей тока и концентрации ловушек. А также в соединениях $FeGa_2S_4$, $MnIn_2Se_4$ и монокристаллах $FeIn_2Se_4$, $MnGaInS_4$ определены форма потенциальной ямы и длина свободного пробега носителей тока. Установлено, что в структурах $In - FeIn_2S_4 - In$ при различных температурах в ВАХ - е наблюдение области отрицательного дифференциального сопротивления связано основной с тепловым пробоем. Исследовано влияния сильного электрическое поле и освещение на ВАХ и зависимость $\sigma(T)$ в монокристаллах $MnGa_2S_4$, $MnIn_2S_4$ и $MnGaInS_4$.

В $FeGa_2S_4$, $FeIn_2S_4$ и $FeGaInS_4$ исследовано термо-е.д.с. и эффект Холла при различных температурах. Установлен тип проводимости в этих соединениях и определен коэффициент термо-е.д.с., концентрация и холловская подвижность носителей.

Приводятся результаты исследования частотных и температурных зависимостей электропроводности кристаллов $FeGa_2S_4$, $FeGaInS_4$, $FeIn_2S_4$, $FeGa_2Se_4$, $FeIn_2Se_4$, β - $MnGa_2S_4$ и $MnIn_2Se_4$ на переменном токе и установлено закономерности изменение электропроводности в зависимости от частоты. Определено механизм электропроводности в этих кристаллах. Исследованы частотные и температурные зависимости диэлектрической проницаемости и тангенс угла диэлектрических потерь соединений типа AB_2X_4 на переменном электрическом поле и определены их значения и характеры.

Исследованы токи термостимулированной деполяризации в кристаллах β - $MnGa_2S_4$, $MnIn_2S_4$, $MnGaInS_4$, $FeGa_2Se_4$, $FeIn_2Se_4$ и

термостимулированные токи в монокристаллах MnIn_2S_4 и MnGaInS_4 . Выявлено тип урвней прилипания. Определены глубины залегания урвней, концентрации и сечения захвата ловушек.

Исследовано оптическое поглощение в монокристаллах MnIn_2S_4 и MnGaInS_4 . При определенных температурах и энергиях фотонов в запрещённой зоне найдено оптические переходы. Определена температурная зависимость запрещённой зоны и механизмом температурного смещения края собственного поглощения. В монокристаллах MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 и MnGaInS_4 в поляризованном свете на краю поглощения наблюдается анизотропия и даётся её объяснение. В монокристаллах MnIn_2S_4 и MnGaInS_4 при различных температурах в спектральном распределении фотопроводимости выявлены собственные и примесные области и определены их характеры.

Эти соединения перспективны для создания на их основе лазеров, модуляторов света, фотодетекторов и терморезисторов. На основе соединений MnIn_2S_4 , MnGa_2S_4 , MnGaInS_4 , FeIn_2S_4 могут быть созданы фоточувствительные диоды Шоттки, фоторезистор и они могут быть использованы в качестве широкополосного фотопереклювателя. Из монокристаллов FeIn_2S_4 и FeGaInS_4 могут быть изготовлены гетеропереходы.

Namig Nadir oglu Niftiyev

**ELEKTRON AND OPTICAL PROCESSES IN AB_2X_4 –TYPED
(A-Mn, Fe; B-Ga, In; X- S, Se) COMPOUNDS
SUMMARY**

Thesis paper deals with the study of electron and optic processes in AB_2X_4 –typed (A-Mn, Fe; B-Ga, In; X- S, Se) compounds and investigation of electrophysical and optical properties.

By investigating volt-ampere characteristic (VAC) in static field at various temperatures the mechanism of current carrier transfer in nonlinear region (VAC) in AB_2X_4 - typed compounds is established and the activation energy of current carriers and trap concentrations are found out. In FeGa_2S_4 , MnIn_2Se_4 compounds and FeIn_2Se_4 , MnGaInS_4 single crystals the form of potential well and mean free path of current carriers have been determined too. It is established that in In - FeIn_2S_4 – In structures at

various temperatures in VAC the observations in negative differential resistance region is related to the thermal breakdown. There has been investigated the influence of strong electric field and light on VAC and dependence $\sigma(T)$ in MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 and MnGaInS_4 single crystals.

In FeGa_2S_4 , FeIn_2S_4 and FeGaInS_4 thermal power and Hall effect at various temperatures have been investigated. There has been established the type of conductivity in given compounds and thermoelectric coefficient, concentration and Hall carrier mobility are determined.

There have been presented the investigation results of frequency and temperature dependences of FeGa_2S_4 , FeGaInS_4 , FeIn_2S_4 , FeGa_2Se_4 , FeIn_2Se_4 , $\beta\text{-MnGa}_2\text{S}_4$ and MnIn_2Se_4 crystal electroconductivity on alternating current and regularities of electroconductivity change in dependence on frequency are established. The mechanism of electroconductivity in these crystals are defined. There have been investigated frequency and temperature dependences of dielectric constant (ϵ) and dielectric loss tangent ($\text{tg}\delta$) of AB_2X_4 - typed compounds on variable electric field and their values and parameters are estimated.

There have been investigated thermostimulated depolarization currents in $\beta\text{-MnGa}_2\text{S}_4$, MnIn_2S_4 , MnGaInS_4 , FeGa_2Se_4 , FeIn_2Se_4 crystals and thermostimulated currents in MnIn_2S_4 and MnGaInS_4 single crystals. The type of attachment level has been revealed. Depth of level occurrence, concentration and capture cross-section of traps are determined.

There have been investigated optical absorption in MnIn_2S_4 and MnGaInS_4 single crystals. At certain temperatures and photon energies in forbidden band the optical transitions have been found out. Temperature dependences of forbidden band and mechanism of temperature shift of self-absorption edge are defined. In MnGa_2S_4 , MnIn_2S_4 and MnGaInS_4 in polarized light on the absorption edge the anisotropy is observed and explained. In MnIn_2S_4 and MnGaInS_4 single crystals at various temperatures in spectral distribution of photoconductivity the intrinsic and impurity regions are revealed and their behavior is determined.

Given compounds are promising for creating lasers, light modulators, photodetectors and thermal resistors on their base. On the base of MnIn_2S_4 , MnGa_2S_4 , MnGaInS_4 , FeIn_2S_4 compounds the produced. They can be used as a wide-band photoswitch. Heterojunctions from FeIn_2S_4 and FeGaInS_4 single crystals can be manufactured.

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ РЕСПУБЛИКИ**

БАКИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

На правах рукописи

НАМИГ НАДИР ОГЛЫ НИФТИЕВ

**ЭЛЕКТРОННЫЕ И ОПТИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В
СОЕДИНЕНИЯХ ТИПА AB_2X_4 (A-Mn, Fe; B-Ga, In; X- S, Se)**

2211.01 – Физика твердого тела

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени доктора
наук по физике**

БАКУ - 2015