

AZƏRBAYCAN MİLLİ ELMLƏR AKADEMİYASI

H.M. ABDULLAYEV adına FİZİKA İNSTİTUTU

Əlyazması hüququnda

SƏMƏDOVA ÜLKƏR FƏRRUX QIZI

**(CUINSE₂)_{1-X} (MESE)_X (ME=MN,FE) ƏSASLI BƏRK
MƏHLULLARIN ELEKTRİK, MAQNİT VƏ OPTİK XASSƏLƏRİ**

2220.01 – yarımkəçiricilər fizikası

Fizika üzrə fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi

almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

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

BAKİ - 2013

İş Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının akademik
H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: Fizika – riyaziyyat elmləri doktoru,

Ş.M. Həsənlı

Rəsmi opponentlər: AMEA müx.üzv., fizika-riyaziyyat
elmləri doktoru, professor

C.Ş.Abdinov

Fizika-riyaziyyat elmləri
doktoru, professor

R.M.Sərdarlı

Aparıcı təşkilat: Azərbaycan Texniki Universitetinin
“Elektronika” kafedrası

Müdafiə «28» oktyabr 2013-ci il saat 11⁰⁰-da Azərbaycan
Milli Elmlər Akademiyası nəzdindəki D 01.011 Dissertasiya
Şurasının iclasında olacaqdır.

Ünvan: AZ-1143, Bakı, H.Cavid prospekti 33,

Fax: 99412 4470456;

E-mail: director@physics.ab.az.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının H.M.Abdullayev adına Fizika İnstitutunun kitabxanasında tanış olmaq olar.

Avtoreferat göndərilmişdir : «_____» _____ 2013- cü il

Dissertasiya Şurasının Elmi katibi

fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
ARASLI

D.H.

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК АЗЕРБАЙДЖАНА

ИНСТИТУТ ФИЗИКИ им. академика Г.М. Абдуллаева

На правах рукописи

САМЕДОВА УЛЬКЕР ФАРРУХ кызы

**ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ, ОПТИЧЕСКИЕ И МАГНИТНЫЕ
СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$
(Me=Mn,Fe)**

2220.01 – физика полупроводников

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени

доктора философии по физике

БАКУ - 2013

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı: Müasir texnikanın müxtəlif sahələrinin sürətlə artan tələbləri yeni materialların alınmasını, mövcud olanlarının isə əsaslı öyrənilməsini ön plana çəkir. Belə ki, elmi-texniki tərəqqinin durmadan artan tələblərini ödəmək üçün, xassələri kənar amillərin təsiri ilə idarə oluna bilən yeni materialların alınaraq tədqiqi dövrümüzün əsas problemlərindən hesab olunur. Məsələn, $A^I B^{III} C_2^{VI}$ tip üçlü birləşmələrin tədqiqi əsasında müəyyən edilmişdir ki, həmin birləşmələr spektrin görünən və yaxın infraqırmızı hissəsində yüksək fəthəssaslığa, yaddaşlı çevirici xassəyə və s. malikdirlər. Bu isə o deməkdir ki, qeyd olunan tip birləşmələr həm elmi, həm də praktiki baxımdan maraqlı tədqiqat obyektləri hesab oluna bilərlər. Hal-hazırda keçid elementləri ilə legirə edilmiş $A^I B^{III} C_2^{VI}$ üçlü birləşmələri böyük maraq kəsb edirlər. Belə ki, nəzəri hesablamalar göstərir ki, keçid elementlərinin $A^I B^{III} C_2^{VI}$ sistemlərinə daxil edilməsini idarə edərək bu sistemlər əsasında alınan materialları əsas yarımkeçirici xassəni dəyişmədən böyük Kuri temperaturuna malik olan ferromaqnit hala keçirmək olar. Yeni maqnit materialları yüksək maqnit parametrlərinə, optimal elektrik və maqnit xassələrinə malik olduqları üçün texnikada geniş istifadə edilirlər. İşin aktuallığı ondan ibarətdir ki, ədəbiyyat məlumatlarında keçid (Me=Mn, Fe) elementləri daxil edilmiş $CuInSe_2$ sisteminin fiziki-kimyəvi və maqnit xassələri ətraflı öyrənilməmişdir. Belə ki, $(CuInSe_2)_{1-x}(MeSe)_2$ (Me=Mn,Fe) tip bərk məhlulların tədqiq olunması onların praktiki əhəmiyyət kəsb edən xassələrinin kənar amillərin təsirindən və tərkibdən asılı olaraq idarə olunmasına geniş imkanlar yaradır. Belə ki, manqan və dəmir (Mn, Fe) ionlarının $CuInSe_2$ -nin kristal qəfəsinə daxil edilməsi ilə əmələ gələn bərk məhlullarda qadağan olunmuş zonanın qiyməti kəskin şəkildə dəyişir. Bu səbəbdən belə bərk məhlulların əsasında maqnit sahəsi və temperaturla idarə olunan fotoqəbuledici qurğular hazırlamaq mümkündür ki, onun da böyük elmi-praktiki əhəmiyyəti vardır. Xalkopiritin ucuz material olduğunu nəzərə alsaq bu fakt çox böyük maraq kəsb edə bilər. Qeyd olunanlar baxımından keçid elementli $(CuInSe_2)_{1-x}(MeSe)_2$ (Me=Mn,Fe) sistemi bərk məhlulların

elektrik, optik və maqnit xassələrinin tədqiqi hal-hazırda elmi-praktiki əhəmiyyət kəsb edən aktual məsələlərdən biridir.

İşin məqsədi tərkibində 3d keçid elementləri ilə aşqarlanmış $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn,Fe}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) bərk məhlullarında elektron daşınma, optik və maqnit xassələrinin qanunauyğunluqlarının müəyyənləşdirilməsi və bu materialların tətbiq imkanlarının araşdırılmasıdır.

Qarşıya qoyulan məqsədə nail olmaq üçün aşağıdakı məsələlər həll edilməlidir:

- Ədəbiyyat məlumatlarının toplanması;
- Müvafiq texnoloji rejim seçməklə $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Fe,Mn}$) sistemi bərk məhlullarının ($x=0.03, 0.05, 0.1$) və CuInSe_2 , FeSe , MnSe binar birləşmələrinin alınması;
- Rentgenquruluş analizindən kristal qəfəs parametrlərinin təyini və $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn,Fe}$) sistemi bərk məhlullarının xassələrinin və quruluş parametrlərinin tərkibdən asılılıqlarının təhlili;
- $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Fe,Mn}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) intervalında sintez edilmiş bərk məhlulların geniş temperatur intervalında 77-500K elektrik keçiriciliyinin, yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının, yürüklüyünün, Holl əmsalının və t.e.h.q-nin tədqiqi;
- $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Fe,Mn}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlulların $T=300\text{K}$ -də udma spektrinin tədqiqi;
- $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Fe,Mn}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlulları və PE (polietilen) əsaslı nazik təbəqəli kompozit nümunələrin alınması və geniş temperatur 77-300K intervalında onların maqnit xassələrinin: maqnitləşmənin və qalıq maqnitləşmənin, maqnit qavrayıcılığının tərs qiymətinin və koersitiv qüvvənin tədqiqi;
- $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Fe,Mn}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlullarının və onların polimer (PE) əsaslı nazik təbəqəli maqnit xassəli kompozitlərin tətbiq olunma imkanları barədə təkliflərin hazırlanması.

Tədqiqat obyektləri: işdə CuInSe_2 , FeSe , MnSe binar birləşmələri və onlar əsasında alınan $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn,Fe}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlullardan istifadə olunmuşdur. Bu seçim onunla izah olunur ki, yarımkəçirici CuInSe_2 xalkopirit matrisasına,

keçid elementləri dəmir və manqan kationunu əlavə etməklə $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn,Fe}$) elektrik, maqnit və optik xassəyə malik olan bərk məhlulları və kompozit nümunələri sintez etmək mümkündür.

İşin praktik əhəmiyyəti ondan ibarətdir ki,

1. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Fe,Mn}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlullarında elektrik keçiriciliyinin və yükdaşıyıcıların yürüklüyünün geniş temperatur intervalında (100-600K) tədqiqi onlarda yük daşıyıcıların keçiricilik mexanizmini müəyyənləşdirməyə imkan verir.

2. Diamaqnit xassəyə malik CuInSe_2 xalkopirit matrisasına, 3d keçid elementləri dəmir və manqan kationlarının əlavə edilməsi ilə optik və aktiv maqnit xassəsinə malik olan $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn,Fe}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) məhlullar sintez edilmiş və alınan maqnit materialları əsasında nazik qalınlıqlı maqnit lentlərin, boru formalı sabit maqnitlərin və.s. alınması haqqında təkliflər tövsiyyə edilmişdir.

3. $(\text{CuInSe}_2)_{0.75}(\text{FeSe})_{0.25}$ nümunəsi üçün funksional sıxlıq nəzəriyyəsini istifadə etməklə tam və parsial hal sıxlığının, zona quruluşunun (DFT) funksional sıxlıq nəzəriyyəsi vasitəsilə hesablanması.

4. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn,Fe}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlullarının udma spektrinin təyinindən məlum olmuşdur ki, dəmir atomlarının indium atomlarını əvəz (Fe_{In}) etməsi zamanı qadağan olunmuş zonanın eni E_g artır, dəmir atomlarının mis atomlarını (Fe_{Cu}) əvəz etməsi zamanı azalır. Manqan atomlarının indium atomlarını (Mn_{In}) əvəz etməsi zamanı isə qadağan olunmuş zonanın eni artır.

İşin elmi yeniliyi: Dissertasiyada ilk dəfə olaraq

1. CuInSe_2 xalkopirit matrisasına keçid elementləri dəmir və manqan kationunu əlavə etməklə elektrik, maqnit xassəsinə malik olan $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn,Fe}$) sistemi bərk məhlullar alınmışdır.

2. Rentgenqurluş analizindən $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn, Fe}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlulların elementar tetraqonal qəfəsinin parametrləri təyin edilmiş və göstərilmişdir ki, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MnSe})_x$ bərk məhlullarında a və c parametrlərinin qiyməti Veqard qanununa əsasən xətti artır. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ sistemi bərk

məhlullarında isə x -in qiyməti artdıqca a -ın qiyməti $x=0.05$ -ə kimi artır, sonra x artdıqca azalır.

3. $(\text{CuInSe}_2)_{0.75}(\text{FeSe})_{0.25}$ sistemi bərk məhlullarının tam və parsial hal sıxlığı, zona quruluşu (DFT) funksional sıxlıq nəzəriyyəsi vasitəsilə hesablanmış və göstərilmişdir ki, dəmir atomlarının indium atomlarını əvəz etməsi zamanı (Fe_{In}) qadağan olunmuş zonanın eni E_g artır, dəmir atomlarının mis atomlarını əvəz etməsi (Fe_{Cu}) zamanı azalır, manqan atomlarının indium atomlarını (Mn_{In}) əvəz etməsi zamanı isə qadağan olunmuş zonanın eni artır.

4. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn}, \text{Fe}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlullarında yürüklüyün temperaturdan asılılığı tədqiq edilmiş və göstərilmişdir ki, x -in konsentrasiyasından asılı olmayaraq tədqiq edilən bərk məhlullarda yükdaşıyıcıların yürüklüyü temperatur artdıqca artaraq maksimumdan keçir. x -in konsentrasiyasından asılı olaraq $\mu=f(T)$ asılılıqlarında yürüklüyün maksimumları yuxarı temperatur oblastına tərəf sürüşür.

5. Məlum olmuşdur ki, tərkibində 3d elementləri olan $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn}, \text{Fe}$) sistemi bərk məhlulları və polimer əsaslı nazik təbəqəli kompozitlərdə VAX tədqiq edilmiş və göstərilmişdir ki, volt-ampere xarakteristikasının (VAX) qeyri-xətti oblastında cərəyan şiddətinin artmasının səbəbi termoelektrik Pull-Frenkel effektidir.

Müdəfiyə çıxarılan əsas elmi müddəalar:

1. Nəzəri hesablamalar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, CuInSe_2 -in valent zonası keçidi mümkün olan 4 enerji zolağından ibarətdir. O cümlədən, CuInSe_2 -in valent zonasının aşağı səviyyəsi ($\sim 13\text{eV}$) əsasən Se-in 4s-səviyyəsindən, keçiricilik zonasının dibi In-un s və Se-in p-səviyyələri hesabına formalaşmışdır.

2. Xalkopirit CuInSe_2 baza matrisasına dəmir və manqan paramaqnit kationlarını daxil etməklə yeni maqnitaktiv materialların alınması üsulu işlənib hazırlanmış və maqnit xassəli $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn}, \text{Fe}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlullar alınmışdır.

3. Tədqiq edilən bərk məhlullarda yürüklüyün temperatur $\mu=f(T)$ asılılığında müşahidə edilən maksimum yükdaşıyıcıların kiçik temperaturalarda ionlaşmış aşqar mərkəzlərindən, yuxarı temperaturalarda isə qəfəsin rəqslərindən səpilmə mexanizmi ilə izah edilir.

4. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn}, \text{Fe}$) sistemi məhlullarında xüsusi müqavimətin (ρ) qiymətinin x -dan asılılığı müəyyən edilmiş və göstərilmişdir ki, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MnSe})_x$ bərk məhlullarında $x=0.04$ qiymətinə kimi ρ artır, x -ın sonrakı artımı ilə ρ azalır. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ sistemi bərk məhlullarında isə ρ -nun x -dan asılılığı analoji xarakter daşıyır. Bu məhlullarda ρ -nun minimal qiyməti müvafiq olaraq $x=0.05$ uyğun gəlir.

5. Göstərilmişdir ki, tədqiq edilən bərk məhlullarda temperaturun $T \leq 400-300\text{K}$ oblastında $t.e.h.q$ -in artmasının əsas səbəbi yükdaşıyıcıları fanonları özləri ilə aparmasıdır (fanonların sövq edilməsi).

6. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn}, \text{Fe}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlulları və polimer əsaslı nazik təbəqəli kompozitlərin elektrofiziki xassəsinin dəyişməsində kompozitə injeksiya olunan yükdaşıyıcıların rolu müəyyənləşdirilmiş və göstərilmişdir ki, kompozitə injeksiya olunan yüklər əsasən elektroda yaxın hissələrdə toplanır və $\rho = \rho_0 x^{-1/2}$ formulu ilə apraksimasiya olunur.

İşin sınağı: Tədqiqatın əsas nəticələri

1. «Fizikanın Müasir Problemləri» mövzusunda 17-18 dekabr 2009-cu ildə Bakı Dövlət Universitetində keçirilən III Respublika konfransında;

2. «Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» mövzusunda 16-21 noyabr ayında Rusiyada (Moskva) keçirilən VII Beynəlxaq konfransda;

3. «International on the Applications of Traditional & High performanse in harsh environment» mövzusunda 18 yanvar 2010-cu ildə Saharcahdə (İran) keçirilən konfransda;

4. «Fizika və Riyaziyyat elmləri» mövzusunda 2010-cu il may ayında Ümummilli lider Heydər Əliyevin 87 illiyinə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların Ümum Respublika Elmi konfransında;

5. «Technical and Physical Problems of Power Engineering» mövzusunda 14-16 Sentyabr Təbrizdə keçirilən VI Beynəlxaq konfransda;

6. AMEA Fizika İnstitutunda 2010 və 2011-ci illərdə keçirilən Gənc alim və aspirantların elmi konfransında;

7. «Mechanics of Nano, Micro and Macro Composite Structures» mövzusunda 18-20 iyun 2012-ci ildə Torinoda keçirilən konfransda müzakirə edilmişdir.

8. «9th International Confrence on □Technical and Physical Problems of Electrical Engineering□» mövzusunda 9-11 September 2013-ci ildə İstanbulda keçirilən konfransda müzakirə edilmişdir.

Nəşrlər. Dissertasiyanın əsas nəticələri Respublika və xarici jurnallarda və konfrans materiallarında 17 iş, o cümlədən xarici jurnallarda 7 məqalə 4 konfrans materialı, yerli jurnallarda isə 4 məqalə, 2 konfrans materialı dərc olunmuşdur.

İşin quruluşu və həcmi: Dissertasiya girişdən, 4 fəsildən, əsas nəticələrdən və istifadə olunan ədəbiyyat siyahısından ibarətdir. İş şəkillərlə birlikdə 154 səhifədən, 63 şəkildən, 15 cədvəldən və 150 adda ədəbiyyat siyahısından ibarətdir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə mövzunun aktuallığı əsaslandırılmış, tədqiqatların məqsədi, elmi yeniliklər, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, praktiki əhəmiyyət, işin ayrı-ayrı fəsilələrinin qısa məzmunu şərh olunmuşdur. Burada həmçinin, dissertasiyanın quruluşu və aparılan tədqiqatların mövzusunun təhlili haqqında məlumatlar da verilmişdir.

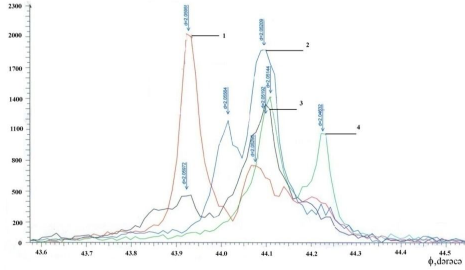
Dissertasiya işinin **I fəslində** keçid elementlərinin ümumi xassəsi, xalkopirit quruluşlu günəş elementlərinin optik və maqnit xassələri, $A^I B^{III} C_2^{VI}$ tipli birləşmələrin elektrik keçiriciliyi, heterogen sistemlərində elektrik keçiriciliyinin xüsusiyyətləri, kompozit rezistorların qeyri-xəttiliyinə aid ədəbiyyat materialları toplanaraq təhlil edilmişdir. Təhlillər nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, keçid elementləri ilə legirə edilmiş $A^I B^{III} C_2^{VI}$ üçlü birləşmələrin tədqiqinə böyük maraq ondan ibarətdir ki, keçid elementlərinin miqdarından asılı olaraq bu üçlü birləşmələrin qadağan olunmuş zonasının eninin və yükdaşıyıcıların effektiv kütləsinin dəyişməsi, onlardan perspektivli materialların alınmasına imkan verir. Bundan əlavə, aşqarların konsentrasiyasını idarə etməklə maqnit quruluşlu materiallar almaq mümkündür. Nəzəri hesablamalar göstərir ki, keçid elementlərinin $A^I B^{III} C_2^{VI}$ sistemlərinə daxil edilməsini idarə edərək, bu sistemlər əsasında alınan materialları

əsas yarımkeçirici xassəni dəyişmədən böyük Kuri temperaturuna malik olan ferromaqnit hala keçirmək mümkündür.

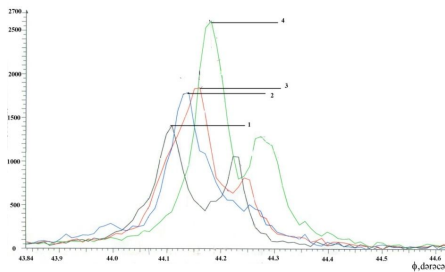
II fəsilə $A^I B^{III} C_2^{VI}$ tipli birləşmələrin sintezi və tədqiqi, $A^I B^{III} C_2^{VI}$ tipli yarımkeçiricilər və qeyri-polyar polimer əsaslı kompozit qeyri-xətti müqavimətlərin alınması, kompozit qeyri-xətti müqavimətlərin elektrofiziki parametrlərinin və volt-ampere xarakteristikasının və maqnit qavrayıcılığının Faradey metodu vasitəsilə tədqiqi metodları göstərilmişdir. Qeyd edək ki, yarımkeçirici $A^I B^{III} C_2^{VI}$ birləşmələrin sintezi əsasən birbaşa sintez metodları ilə ya tərkib elementlərindən, ya da müvafiq binar birləşmələrdən hazırlanır. Keçid elementlərinin $A^I B^{III} C_2^{VI}$ tipli birləşmələrin quruluşuna daxil edilmələri materialın xassələrinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edə bilər. $A^I B^{III} C_2^{VI}$ tipli birləşmə olan $CuInSe_2$ -yə keçid elementlərinin daxil edilməsi nəticəsində $(CuInSe_2)_{1-x}(MeSe)_x$ ($Me=Mn, Fe$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlulları sintez edilmişdir. Belə ki, ərintinin sintezi ikili kvarts ampulalarda vertikal sobada aşağıdakı üsulla aparılmışdır: sobanın temperaturu yavaş-yavaş $700^\circ C$ -ə qədər qaldırılır və ampulalar bu temperaturda 2 saat saxlanılır, sonra temperatur $1050-1100^\circ C$ -ə qaldırılır. Sintez prosesi 8 saat davam etdirilir və bu müddət ərzində ampulalar mexaniki vibrasiya vasitəsilə ərinti halda bir neçə dəfə çalxalanır. Sonra ərinti otaq temperaturuna kimi soyudulur. Ərintidə tarazılıq halının yaranması üçün maddələr $450^\circ C$ -də bir ay dəmlənmişdirlər. $(CuInSe_2)_{1-x}(MeSe)_x$ ($Me=Mn, Fe$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlulları sintez edilmiş və onların hal diaqramı qurularaq aşkar edilmişdir ki, $(CuInSe_2)_{1-x}(MnSe)_x$ sistemi bərk məhlullarında $x=0.46$ oblastına, $(CuInSe_2)_{1-x}(FeSe)_x$ sistemi bərk məhlullarında isə $x=0.17$ oblastına qədər həllolma müşahidə edilir. Sintez edilmiş $(CuInSe_2)_{1-x}(MeSe)_x$ ($Me=Mn, Fe$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlullardan və qeyri-polyar polietiləndən qaynar preslənmə yolu ilə nazik təbəqəli kompozit qeyri-xətti müqavimətlər alınmışdır. Alınmış kompozitlərin səthinə gümüş məcunu ilə 6mm diametrində ölçü elektrodları çəkilmişdir. Dissertasiya işininin bu paraqrafında həmçinin kompozit qeyri-xətti müqavimətlərin dielektrik parametrlərini (C , $tg\delta$, ϵ' , ϵ'') təyin etmək üçün rəqəmsal immitans E7-20 ölçü cihazından istifadə olunmuşdur. Parametrlərin tədqiqi geniş tezlik intervalında ($25-$

10^6Hs) aparılmışdır. Kompozit qeyri-xətti müqavimətlərin elektrik müqavimətini təyin etmək üçün E6-13A teraommetrindən istifadə olunmuşdur və 100-400K temperatur intervalında ölçmələr aparılmışdır.

Dissertasiya işinin **III fəslində** $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn}, \text{Fe}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlullarının elektrik keçiriciliyinin, Holl əmsalının, yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının, yüklüklüyünün, termo elektrik hərəkət qüvvəsinin (t.e.h.q-i) temperaturdan asılılıqları geniş temperatur intervalında (80-500)K tədqiq edilmişdir. Bundan əlavə, $T=300\text{K}$ -də $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn}, \text{Fe}$) sistemi bərk məhlul əsaslı yarımkeçiricilərin udma spektrləri təhlil edilmişdir. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn}, \text{Fe}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) sistemi bərk məhlullarının rentgen spektrləri çəkilmiş, nümunlərin və tozların rentgen quruluş analizi otaq temperaturunda Difraktometr D8 Advance qurğusu vasitəsilə $\text{CuK}\alpha$ -şüalanmasında tədqiq edilmişdir. Rentgen spektirlərinin təhlilindən məlum olmuşdur ki, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn}, \text{Fe}$) ($x=0.03, 0.05, 0.1$) bərk məhlul sistemində Mn və Fe-kationlarının miqdarının artması difraksiya reflekslərinin intensivliklərinin nəzərə çarpacaq dərəcədə dəyişməsinə səbəb olur. Başqa sözlə, bərk məhlullarda reflekslərinin intensivliklərinin qiyməti artır. Bundan əlavə, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MnSe})_x$ bərk məhlul sistemində reflekslərin kiçik difraksiya (2θ) bucaqlarına doğru, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ bərk məhlul sistemində isə reflekslərin böyük (2θ) difraksiya bucaqlarına doğru sürüşməsi müşahidə edilir (şəkil 1, 2). Müşahidə edilən rentgen difraksiya bucaqlarının sürüşməsi (sağ və sol tərəflərə) tetraqonal kristallik qəfəsin deformasiyaya məruz qaldığını təsdiq edir. Rentgen spektrlərindən istifadə edərək bərk məhlulların qəfəs parametrləri “a” və “c”-nin x-in mol faizindən asılılıqları hesablanmış və cədvəl 1-də verilmişdir. Cədvəldən göründüyü kimi manqan selenin həcmi faizinin artması ilə “a” parametrinin artması onu deməyə əsas verir ki, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MnSe})_x$ bərk məhlul sistemində konsentrasiyanın $0 \leq x \leq 0.10$ qiyməti intervalında Veqard qanunu ödənilir. Öz növbəsində, Veqard qanununun ödənilməsi o deməkdir ki, tədqiq edilən maddələrdə kəsilməz bərk məhlul sistemi mövcuddur. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ sistemi bərk məhlulları üçün isə Veqard qanunundan kənara çıxma mövcuddur.



Şək.1. Bərk məhlulların rentgen spektrləri
 1-5mol%MnSe+95mol%CuInSe₂;
 2-10mol%MnSe+90mol%CuInSe₂;
 3-3mol%MnSe+97mol%CuInSe₂; 4-CuInSe₂



Şək.2. Bərk məhlulların rentgen spektrləri
 1-CuInSe₂; 2-5mol%FeSe+95mol%CuInSe₂;
 3-3mol%FeSe+97mol%CuInSe₂;
 4-10mol%FeSe+90mol%CuInSe₂

Cədvəl 1
Bərk məhlulların qəfəs parametrləri

Nümunələr	a, A^0	c, A^0
FeSe+CuInSe₂		
CuInSe ₂	5.7819	11.6422
3%FeSe+97%CuInSe ₂	5.7856	11.6232
5%FeSe+97%CuInSe ₂	5.7834	11.6122
10%FeSe+97%CuInSe ₂	5.7812	11.6095
MnSe+CuInSe₂		
CuInSe ₂	5.7819	11.6422
3%MnSe+97%CuInSe ₂	5.7898	11.6646
5%MnSe+97%CuInSe ₂	5.7868	11.6654
10%MnSe+97%CuInSe ₂	5.7929	11.6788

(CuInSe₂)_{1-x}(MeSe)_x (Me=Mn, Fe) məhlullarında xüsusi müqavimətin- ρ qiymətinin x -dan asılılığı müəyyən edilmiş və göstərilmişdir ki, (CuInSe₂)_{1-x}(MnSe)_x sistemi bərk məhlullarında $x=0.04$ qiymətinə kimi ρ artır, x -ın sonrakı artımı ilə ρ azalır. (CuInSe₂)_{1-x}(FeSe)_x bərk məhlullarında isə ρ -nun x -dan asılılığı analoji xarakter daşıyır. Bu məhlullarda ρ -nun minimal qiyməti müvafiq olaraq $x=0.05$ uyğun gəlir. (CuInSe₂)_{1-x}(MeSe)_x (Me=Mn, Fe) sistemi bərk məhlullarının geniş temperatur (80-500)K intervalında elektrofiziki xassələri tədqiq edilmişdir. Müəyyən olmuşdur ki, tədqiq edilən bərk məhlullarda elektrik keçiriciliyi aşqarlı yarımkəçiricilərə məxsus keçiricilik mexanizmi ilə xarakterizə olunur və qadağan olunmuş zonada kvazikəsilməz energetik səviyyələr mövcuddur. Bundan əlavə, həmin məhlullarda sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası və yürüklüyü, keçiriciliyin tipi təyin edilmiş (n -tip) və müəyyən edilmişdir ki, x -ın konsentrasiyasının qiymətindən asılı olmayaraq tədqiq edilən bərk məhlullarda yükdaşıyıcıların yürüklüyü temperatur artdıqca artaraq maksimumdan keçir. x -ın konsentrasiyasından asılı olaraq $\mu=f(T)$ asılılıqlarında yürüklüyün maksimumları yuxarı temperatur oblastına tərəf sürüşür. Tədqiq edilən bərk məhlullarda yürüklüyün temperatur $\mu=f(T)$ asılılığında müşahidə edilən maksimum yükdaşıyıcıların kiçik temperaturalarda ionlaşmış aşqar mərkəzlərindən, yuxarı temperaturalarda

isə qəfəsinin rəqslərindən səpilməsi mexanizmi ilə izah edilir. Bərk məhlulların udma spektrlərinin tədqiqindən müəyyən edilmişdir ki, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ bərk məhlulları üçün x -in artması ilə E_g -nin qiyməti artaraq $x=0.06$ -da maksimum qiymət alır, x -in sonrakı artımı ilə E_g -nin qiyməti azalır. Onu da qeyd etmək ki, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ sistemi bərk məhlulu üçün alınmış nəticələr yeni elmi nəticələrdir (Cədvəl 2).

Cədvəl 2

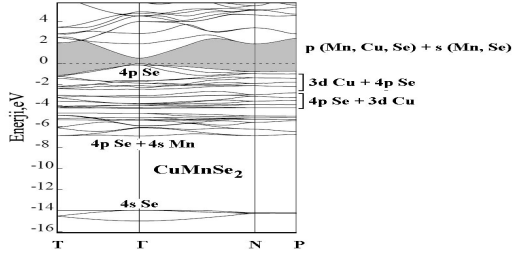
$(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn}, \text{Fe}$) bərk məhlullarının qadağan olunmuş zonanın E_g -in x -dan asılılığı

Nümunələrin mol faizləri	$(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MnSe})_x$	$(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$
$X=0$	0.99	0.99
$X=0.05$	1.009	1.017
$X=0.06$	1.019	1.043
$X=0.07$	1.029	1.023
$X=0.1$	1.04	1.016
$X=0.15$	1.073	-

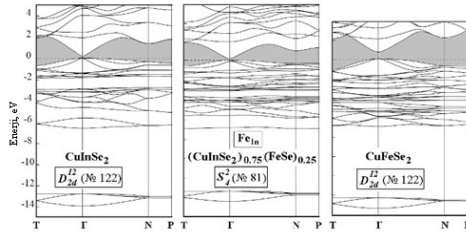
$(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MnSe})_x$ bərk məhlul sistemlərində qəfəs parametri $a(x)$ və qadağan olunmuş zonanın $E_g(x)$ -in $(\text{MnSe})_x$ -in mol faizlərindən asılılıqları arasında korelyasiya müşahidə edilir və alınmış nəticələr ədəbiyyat məlumatları ilə yaxşı uzlaşır [1]. Onu da qeyd etmək ki, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ bərk məhlulu üçün alınmış nəticələr yeni elmi nəticələrdir (Cədvəl 2, şəkil 1,2).

Alınmış nəticələri təsdiq etmək üçün $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn}, \text{Fe}$) sistemi bərk məhlullarının zona quruluşunun nəzəri hesablanması aparılmışdır. Nəzəri hesablamalar Kemerova Dövlət Universitetində bizim birgə iştirakımızla aparılmışdır. Hesablamalar nəticəsində məlum olmuşdur ki, bərk məhlullarda manqan atomlarının indium atomlarını əvəz etməsi (Mn_{In}) zamanı qadağan olunmuş zonanın eni artır (şəkil.3). Şəkildən görünür ki, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MnSe})_x$ bərk məhlul sistemlərində keçiricilik zonasının dibi Mn, Cu atomlarının p və Mn, Se atomlarının s səviyyələri hesabına yaranmışdır. $\text{CuInSe}_2 \rightarrow (\text{CuInSe}_2)_{0.75} \rightarrow (\text{FeSe})_{0.25} \rightarrow \text{CuFeSe}_2$ sırasında dəmir atomunun (Fe) indium atomunu əvəz etməsi nəticəsində E_g -nin qiyməti artır. $\text{CuInSe}_2 \rightarrow$

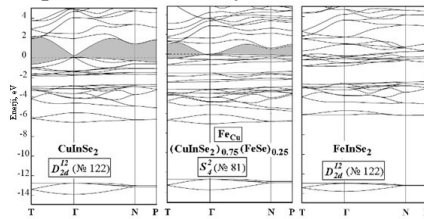
$(\text{CuInSe}_2)_{0.75} \rightarrow (\text{FeSe})_{0.25} \rightarrow \text{FeInSe}_2$ sırasında isə dəmir (Fe) atomunun mis (Cu) atomunu əvəz etməsi nəticəsində isə indium əvəzlənməsinə nəzərən E_g -nin qiyməti azalır (şəkil 4,5).



Şəkil 3. CuMnSe_2 zona quruluşu



Şəkil 4 . $\text{CuInSe}_2 \rightarrow (\text{CuInSe}_2)_{0.75}(\text{FeSe})_{0.25} \rightarrow \text{CuFeSe}_2$ cərgəsində Fe_{In} əvəzlənməsi baş verən zaman kristalların zona quruluşlarının dəyişməsi



Şəkil 5. $\text{CuInSe}_2 \rightarrow (\text{CuInSe}_2)_{0.75}(\text{FeSe})_{0.25} \rightarrow \text{FeInSe}_2$ cərgəsində Fe_{Cu} əvəzlənməsi baş verən zaman kristalların zona quruluşlarının dəyişməsi

Maddələrin udma spektrlərinin tədqiqindən onu demək olar ki, MnSe və FeSe binarlarının həcmi faizinin (mol%) dəyişməsi ilə CuInSe₂-nin kristallıq qəfəsinin parametrlərini və qadağan olunmuş zonasının qiymətini dəyişmək olar.

Dissertasiya işinin **IV fəslində** bərk məhlul (CuInSe₂)_{1-x}(MeSe)_x (Me=Mn,Fe) (x=0.1) və polimer əsaslı kompozitlərin maqnit xassələri (T=77-300)K intervalında, (CuInSe₂)_{1-x}(MeSe)_x (Me=Mn,Fe) x=0.1 əsaslı kompozitlərin elektrofiziki xassələrinin xüsusiyyətləri, nazik təbəqəli kompozit materiallarda yüklərin toplanma prosesində injeksiyanın rolu tədqiq edilmişdir. Dissertasiya işinin bu fəslində (CuInSe₂)_{1-x}(MeSe)_x (Me=Mn,Fe) sistemi bərk məhlullardan kompozit nümunələr hazırlanmışdır. Həmin kompozitlərdə maqnit xassələri müşahidə edilmiş və vibrasiya metodu vasitəsilə (Lakeshore 7404 VSM maqnetometr) (77-300)K temperatur intervalında maqnit xassələri tədqiq edilmişdir. O cümlədən, qalıq maqnitləşmənin (M_r), maqnitləşmənin doyma qiyməti (M_s) və koersitiv (H_c) qüvvənin qiyməti tədqiq edilmişdir. Tədqiqatlar zamanı temperaturun və maqnit sahəsinin qiymətinin dəyişməsi avtomatik olaraq ölçü qurğusu vasitəsilə tənzimlənir. Tədqiqatlar maqnit sahəsinin (0-10) kOe intervalında aparılmışdır. Tədqiqatlar nəticəsində məlum edilmişdir ki, FeSe əsaslı kompozitlərdə maqnitləşmənin doyma qiyməti (M_s), qalıq maqnitləşmənin (M_r) və koersitiv (H_c) qüvvənin qiyməti MnSe əsaslı kompozitlərdəki qiymətlərə nisbətən çoxdur. Bundan əlavə, doldurucunun (MnSe, FeSe) növündən asılı olmayaraq nümunələrdə maqnitləşmənin doyma qiymətinin (M_s), qalıq maqnitləşmənin (M_r) doldurucunun həcmi faizindən asılılıqları analoji xarakter daşıyır. Belə ki, hər iki parametrin qiyməti doldurucunun həcmi faizi artdıqca artır, koersitiv (H_c) qüvvənin qiyməti isə azalır. Bundan əlavə, təcrübi nəticələrin təhlilindən müəyyən edilmişdir ki, temperatur artdıqca maqnitləşmənin qiyməti artır və maksimuma çatır (40%Y + 60%PE (Y=10mol%MnSe + 90mol%CuInSe₂) üçün $M=0,43 \text{ emu/cm}^3$, 40%X + 60%PE (X=10mol%FeSe + 90mol%CuInSe₂) üçün $M=0,421 \text{ emu/cm}^3$, 30%X₁ + 70%PE (X₁=FeSe binar) üçün $M=9,1 \text{ emu/cm}^3$) temperaturun sonrakı artması ilə isə azalır. Müəyyən edilmişdir ki, maqnitləşmənin temperatur asılılığında müşahidə edilən maksimumun yaranmasının

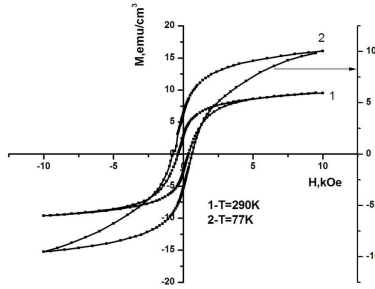
əsas səbəbi maddələrdə maqnit çevrilməsi ilə əlaqədardır. Belə ki, temperaturun artması ilə bir tərəfdən maqnit kristallik anizotropiyası azalır, yəni antiferromaqnit materialda domen sərhədlərinin yerdəyişməsinə və domenlərin maqnit momentinin çevrilməsinə mane olan qüvvələr zəifləyir, digər tərəfdən isə istilik hərəkəti hesabına atomun maqnit momentlərinin nizamlılığı pozulur. Nəticədə, qonşu atomların yekun maqnit momentlərinin cəmi temperaturun $T=T_N$ qiymətində minimum qiymətə yaxınlaşır. Bu temperaturda antiferromaqnit paramaqnit hala keçir [2]. Maqnit qavrayıcılığının tərs qiymətlərinin temperatur asılılıqlarından istifadə edərək kompozitlərdə Neel (T_N) və paramaqnit (Θ_p) keçid temperaturları təyin edilmişdir (40%Y + 60%PE (Y=10mol%MnSe + 90mol%CuInSe₂) üçün $\Theta_p=161K$, $T_N=165K$, 40%X + 60%PE (X=10mol%FeSe + 90mol%CuInSe₂) üçün $\Theta_p=160K$, $T_N=176K$, 30%X₁ + 70%PE (X₁=FeSe binar) üçün $\Theta_p=162K$, $T_N=173K$).

Tədqiq edilən kompozit nümunələrdə doldurucunun tipindən asılı olmayaraq temperaturun azalması ilə H_c əvvəl monoton, sonra isə kəskin artır. Qeyd edək ki, maqnit materiallarının xassələrinə təsir edən əsas amillər temperatur, maqnitləşmənin anizotropiyası və maqnit sahəsidir. Bu nöqteyi nəzərdən demək olar ki, temperaturun artması ilə koersitiv qüvvənin artmasına səbəb H_c -nin anizotropiya sabiti K-dan asılılığı ola bilər.

$$H_c = \frac{2K}{M_s} \quad (1)$$

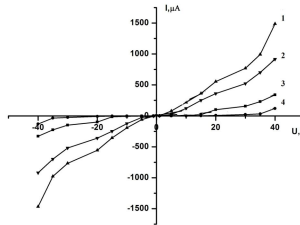
Belə ki, temperaturun artması ilə maqnitləşmənin anizotropiyası azalır və nəhayət K-nın qiyməti Kuri nöqtəsində sıfıra yaxınlaşır. Digər tərəfdən (1) düsturuna əsasən deyə bilərik ki, temperaturun azalması ilə maqnit oxu boyunca maqnit anizotropiyasının qiyməti artaraq H_c -in artmasına səbəb olur. Bundan başqa, temperaturun azalması ilə maqnit momentlərinə istilik fluktuasiyalarının təsir ehtimalı azalır. Bu zaman maqnit momentlərinin oriyentasiya qabiliyyəti də azalır, bunun nəticəsində histerezis əyrisinin sahəsi genişlənir, nəticədə koersitiv qüvvənin qiyməti artır. Deyilənlər təcrübi nəticə ilə öz təsdiqini şəkil 6-da tapmışdır. Beləliklə, keçid elementli bərk məhlullar və polimer əsaslı nazik təbəqəli nümunələrdə maqnit xassələri müşahidə edilmişdir. Öz

növbəsində, belə maqnit xassəli, nazik təbəqəli kompozit nümunələr əsasında kiçik qalınlıqlı maqnit lentləri, boru formalı sabit maqnitlərin və s. yaradılmasına imkan verib bilər.



Şəkil 6. Maqnitləşmənin maqnit sahəsinin intensivliyindən asılılığı
(30% X_1 +70%PE (X_1 =FeSe binar maddəsi)

($CuInSe_2$)_{1-x}(FeSe)_x $x=0.1$ bərk məhlulu və qeyri-polyar polietilen əsaslı kompozitlərin elektrik xassələrinin araşdırılması üçün tərkibi 20%(X) + 80%PE, 25%(X) + 75%PE, 30%(X) + 70%PE, 40%(X) + 60%PE ($X=10\text{mol\%FeSe} + 90\text{mol\%CuInSe}_2$) olan nümunələr hazırlanmışdır. Bütün nümunələr üçün otaq temperaturunda volt-ampər xassəsi, elektrik keçiriciliyinin tətbiq edilən gərginliyin qiymətindən asılılığı tədqiq edilmişdir (şəkil 7).



Şək.7. Müxtəlif faiz tərkibli dolduruculardan ibarət kompozitlərin volt-ampər xassəsi 1-40%X+60%PE, 2-30%X+70%PE, 3-25%X+75%PE, 4-20%X+80%PE

VAX-ın analizindən məlum olmuşdur ki, $I=f(U)$ asılılığında müşahidə edilən qeyri-xəttiliyin əsas səbəbi kompozitlərdə fazalar arası potensial çəpərin meydana gəlməsidir. Bu fəsilə kompozitlərin

potensial çəpərinin forması müəyyən edilmişdir və göstərilmişdir ki, doldurucunun həcmi faizinin artması potensial çəpərin hündürlüyünün azalmasına səbəb olur. Kompozitlərdə yükdaşınma prosesinə tələlərin sahə ionlaşmasının təsirini aydınlaşdırmaq üçün Pul-Frenkel

koordinatlarında $\ln \sigma = f(U/h)^{1/2}$ asılılığı qurulmuşdur. $\ln \sigma \sim \sqrt{U/h}$

asılılığının meylinə əsasən Pul-Frenkel əmsalının $\beta = 2.1 \cdot 10^{-2} \text{ (sm/V)}^{1/2}$ -nin qiyməti hesablanmışdır və alınmış nəticə ədəbiyyat məlumatları ilə yaxşı uzlaşır və $\sigma(E)$ -in qeyri-xətti asılılığının xətti hissəsindən qeyri-xətti hissəsinə keçid qiymətinə uyğun gələn elektrik sahəsinin minimum qiyməti ionlaşma mərkəzlərinin (tələlərin) konsentrasiyası (N_t) haqqında məlumat verir. Müəyyən edilmişdir ki, doldurucunun həcmi faizi artdıqca tələlərin N_t -konsentrasiyası artır ($N_t = 1.1 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$), yükdaşıyıcıların sərbəst qaçış yolunun uzunluğu isə azalır ($\lambda = 5.6 \cdot 10^{-8} \text{ m}$). Qeyd edək ki, ümumiyyətlə kompozitlərdə müxtəlif xassələrin meydana gəlməsi fazalararası sərhəddə yaranan potensial çəpərin parametrlərindən və polimer doldurucu sərhəddində baş verən proseslərdən çox asılıdır. Bundan əlavə, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me} = \text{Mn, Fe}$) sistemi bərk məhlulları və polimer əsaslı nazik təbəqəli kompozitlərin elektrofiziki xassəsinin dəyişməsində kompozitə injeksiya olunan yükdaşıyıcıların rolu müəyyənləşdirilmiş və göstərilmişdir ki, kompozitə injeksiya olunan yüklər əsasən elektroda yaxın hissələrdə toplanır və $\rho = \rho_0 x^{-1/2}$ düsturu ilə apraksimasiya olunur.

İstifadə edilmiş ədəbiyyat:

1. Янушкевич К. Н., Викторов И. Р., Боднар И. В. Кристаллическая структура и магнитное восприимчивость $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{2MnSe})_2$ // ФТТ, 2009, том 51, вып. 1, ст. 104
2. Вонсовский, С.В. Ферромагнетизм М.: Гос. изд-во тех.-теор. лит-ры, 1948. – 816 с.

NƏTİCƏLƏR

1. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn,Fe}$) bərk məhlulları sintez edilmiş və onların hal diaqramı qurularaq aşkar edilmişdir ki, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MnSe})_x$ bərk məhlullarında $x=0,46$ oblastına, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ bərk məhlullarında isə $x=0,17$ oblastına qədər həllolma müşahidə edilir.
2. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn, Fe}$) sistemi bərk məhlullarının elementar tetraqonal qəfəsinin parametrləri təyin edilmiş və göstərilmişdir ki, $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MnSe})_x$ sistemi bərk məhlullarında a və c parametrlərinin qiyməti təxminən Veqard qanununa uyğun xətti artır. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ bərk məhlullarında isə x -in qiyməti artdıqca a -ın qiyməti $x=0.05$ -ə kimi artır, sonra x artdıqca azalır.
3. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn,Fe}$) sistemi bərk məhlullarının geniş temperatur (80-500)K intervalında elektrik keçiriciliyi tədqiq edilmiş və müəyyən olmuşdur ki, bu bərk məhlullar göstərilən intervalda aşqar yarımkeçiricilərdirlər.
4. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn,Fe}$) sistemi bərk məhlullarının (80-500)K intervalında elektrofiziki xassələri tədqiq edilərək, həmin məhlullarda keçiriciliyin tipi, sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyası və yürüklüyü təyin edilmiş və göstərilmişdir ki, bu kristallarda Holl yürüklüyünün temperatur $\mu=f(T)$ asılılığında müşahidə edilən maksimum yükdaşıyıcıların aşağı temperaturlarda ionlaşmış aşqar mərkəzlərindən, yuxarı temperaturlarda isə qəfəsin rəqslərindən səpilməsi mexanizmi ilə izah edilir.
5. $(\text{CuInSe}_2)_{0.75}(\text{FeSe})_{0.25}$ bərk məhlullarının tam və parsial hal sıxlığı, zona quruluşu (DFT) funksional sıxlıq nəzəriyyəsi vasitəsilə hesablanmış, göstərilmişdir ki, Fe_{In} əvəz edilməsi zamanı qadağan olunmuş zonanın eni E_g artır, Fe_{Cu} əvəz olunması zamanı azalır, Mn_{In} əvəz olunması zamanı isə qadağan olunmuş zonanın eni artır.
6. İlk dəfə olaraq $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me}=\text{Mn,Fe}$) sistemi bərk məhlulları və polietilen əsaslı yeni nazik təbəqəli kompozit materialların alınma texnologiyası işlənmiş, bu materiallarda maqnit xassələri müşahidə edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, temperatur artdıqca maddələrin antiferromaqnit haldan paramaqnit hala keçməsi ilə əlaqədar olaraq maqnitləşmənin qiyməti maksimumdan keçir.

Maqnit qavrayıcılığının tərs qiymətlərinin temperatur asılılıqlarından kompozitlərin Neel keçid temperaturları təyin edilmişdir.

7. Tədqiq edilən kompozitlərdə potensial çəpərin forması təyin edilmiş və göstərilmişdir ki, doldurucunun həcmi faizi artdıqca potensial çəpərin hündürlüyü azalır. Bundan əlavə, kompozitlərdə ionlaşmış tələlərin konsentrasiyası N_t , yükdaşıyıcıların sərbəst qaçış yolunun uzunluğu λ təyin edilmiş və göstərilmişdir ki, doldurucunun həcmi faizi artdıqca N_t -in ($N_t=1.1-3$) 10^{22}m^{-3} qiyməti artır, λ -ın ($\lambda=5.6-2.2$) 10^{-8}m qiyməti isə azalır.

Dissertasiyanın məzmunu üzrə aşağıdakı işlər nəşr olunmuşdur:

1. Гасанли. Ш.М., Самедова У.Ф., Нуриев М.А., Аллазов М.Р. Влияние коронного разряда на спектры токов термостимулированной дероляризации / BDU, Fizika Problemləri İnstitutu: "Fizikanın Müasir Problemləri" III Respublika Konfransı, 17-18 Dekabr, 2009, s 121-123.
2. Гасанли Ш.М., Самедова У.Ф. Тонкопленочные композитные нелинейные резисторы на основе полимера и халькопиритных соединений типа CuInSe_2 MnSe , $\text{CuInSe}_2\text{-CoS}$ / VII Национальная конференция «Рентгеновское, Синхротронное излучения, Нейтроны и Электроны для исследования наносистем и материалов. Нано-Био-Инфо-Когнитивные технологии» РСНЭ НБИК 2009, 16-21 ноября, с 2.25
3. Gashimov A.M., Gasanly Sh.M., Samedova U.F. Electric properties of thin-film composite resistors on the basis of $\text{CuInSe}_2\text{-MnSe}$ and $\text{CuInSe}_2\text{-FeSe}$ chalcopyrite compounds. Elektronnaya // Obrabotka Materialov, 2010, No.1, pp84-89
4. Həsənlı Ş.М., Səmədova U.F., Əlləzov M.R. Nazik təbəqəli kompozit materiallarda yüklərin toplanma prosesində injeksiyanın rolu // Azerbaijan Journal of Physics. 2010, Volume XVI, Number 2 Series: En June, p.121-123
5. Гасанлы Ш.М., Иманова А.Я., Самедова У.Ф. Тонкопленочные композитные резисторы на основе полипропилена и кремния // Электронная обработка материалов. 2010, №2 (262), стр. 88-91

6. Gasanly Sh.M., Imanova A.Ya., Samedova U.F. Polypropylene and Silicon Thin –Film composite resistors // Surface engineering and applied electrochemistry, 2010. Vol.46, №2, pp.165-168
7. Hasanli Sh.M., Samedova U.F., Imanova A.Y., Khalilov J.J. Role of injection in the process of charge accumulation in thin-film composite resistors / 6th International Conference on “Technical and Physical Problems of Power Engineering” 14-16 September 2010, Seraj Higher Education Institute Tabriz, Iran, pp382-385
8. Hasanli Sh.M., Samedova U.F., Bayramov Ch.B. Electrophysical characteristics of composite varistors based on chalcopyrite phases of the CuInSe_2 type / Ims/4 International on the Applications of Traditional & High performanse in harsh environment JANUARY 18, 2010. Sharjah UEA, pp.186-192
9. Самедова У.Ф., Иманова А.Я., Закиева И.Г., Исмаилов Р.Е. Особенности токов термостимулированной деполяризации тонкопленочных композитов на основе халькопиритных соединений типа CuInSe_2 и полиэтилена / Ümummilli lider Heydər Əliyevin 87 illiyinə həsr olunmuş Gənc Tədqiqatçıların Ümum Respublika Elmi Konfransi. 2010, s 15-18
10. Səmədova Ü.F. Polietilen və $(\text{Mn,Fe,Co})\text{Se}$ binar əsaslı kompozitlərin TSD spektrləri // Elmi-əsərlər-Fundamental Elmlər. 2010, N4, s.IX (36), s 18-21
11. Гасанлы Ш.М., Иманова А.Я., Самедова У.Ф. Электрические свойства тонкопленочных композитов на основе кремния и полипропилена// ФТП. 2011. том. 45, вып. 8. с.1117-1120.
12. Səmədova Ü.F. $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ sistemlərində bərk məhlulların elektrik keçiriciliyi // AMEA doktorantların elmi konfransının materialları, may, 2011, s.6-9
13. Гасанлы Ш.М., Абдуллагимов, А.А., Самедова У.Ф. Электрические и термоэлектрические свойства халькопирита на основе CuInSe_2 // Электронная обработка материалов. 2012, Volume 48, Issue 5, p. 74-79
13. Həsənli Ş.M., Səmədova U.F, Hüseynov R.K. $\text{CuInSe}_2(\text{Mn,Fe})\text{Se}$ bərk məhlulları əsaslı kompozitlərin maqnit xassələri // BDU, Fizika

Problemləri İnstitutu. Fizikanın Müasir Problemləri. VI Respublika Konfransının materialları. 2012, 14-15 dekabr, s115-118

14. Hasanli Sh.M. , Samedova U.F., Darvishov N.H., Bagiev V.E. Physical and Chemical properties of Solid Solutions Based on CuInSe_2 -FeSe / Mechanics of Nano, Micro and Macro Composite Structures Politecnico di Torino, 2012, 18-20 June.

15. Гасанли Ш.М., Самедова У.Ф. Электрофизические характеристики композитных нелинейных резисторов на основе полимера и твердых растворов $\text{CuInSe}_2 + 10\text{mol\% MnSe}$ // Журнал Технической Физики, 2013, том 83, вып 10, 132-134

16. Hasanli Sh.M., Hasanli Ye., Samedova U.F., Khalilov J.J., Qurbanov K.B., Mursakulov N. Electrophysical characteristics of nonlinear polimer solid solution composite resistors. //9th International Conference on □Technical and Physical Problems of Electrical Engineering□, 9-11 September 2013, N66, Code 02ELKC08, pp338-340

17. Гасанли., Ш.М, Абдуррагимов А.А. Аллазов М.Р, Самедова У.Ф. Электрические свойства твердых растворов $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ (Me=Mn,Fe). // Elmi Əsərlər fundamental elmlər, Bakı 2013, N2,cild XII(46)

Самедова Улькер Фаррук кызы
Электрические, оптические и магнитные свойства твердых
растворов $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ (Me=Fe,Mn)

Работа посвящена исследованию электрических, оптических и магнитных свойств твердых растворов на основе $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ (Me=Fe,Mn). Для исследования были синтезированы твердые растворы и определена в них фазовое равновесие. Из анализа рентгеновских спектров установлено, что рентгеновские рефлексы в системе $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MnSe})_x$ плавно смещаются в сторону меньших, а в системе $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ больших значений дифракционных углов 2Θ . Определены параметры элементарных ячеек в этих системах выявлено, что в системе $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MnSe})_x$ параметры a и c линейно растут, а в системе $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ в начале растут, а затем уменьшаются. Линейное увеличение $a=f(x)$ с увеличением содержания марганца позволяет сделать вывод о том, что в интервале концентраций $0 < x < 0.10$ в системе $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MnSe})_x$ с приближением выполняется правило Вегарда, подтверждающее наличие непрерывных твердых растворов в этой системе. Предполагается, что уменьшение параметров в системе $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{FeSe})_x$ может быть обусловлено суммарным эффектом пористости синтезированных образцов и дефектности их кристаллической структуры.

Исследованиями температурных зависимостей удельной электропроводности, коэффициентов Холла и термо э.д.с. в интервале температур $T=100-600$ К определена концентрация и подвижность носителей заряда, а также тип проводимости. Выявлено, что эти кристаллы являются типичными примесными полупроводниками с n-типом проводимости. Из анализа наклонов $\ln\sigma=f(10^3/T)$ установлено, что в запрещенной зоне исследованных образцов существуют квазинепрерывные примесные уровни. Из спектров пропускания были определены энергия запрещенной зоны E_g . Полученные результаты были подтверждены с теоретическими расчетами зонных структур исследуемых твердых растворов. Выявлено, что когда атомы Fe замещают только атомы меди Cu (Fe_{Cu}) величина ширины запрещенной зоны E_g уменьшается, а при замещении атома In (Fe_{In}) соответственно увеличивается. В случае замещения атомами Mn только атомов In с ростом концентрации x наблюдается монотонный рост $E_g(x)$.

В работе также изучена температурная зависимость (77-300K) магнитных свойств композитных материалов на основе твердых растворов $(CuInSe_2)_{1-x}(MeSe)_x$ ($Me=Fe, Mn$). Установлено, что не смотря на то, что базовая матрица $CuInSe_2$ является диамагнитным материалом, полученные твердые растворы с добавлением атомов Fe и Mn в матрицу становятся антиферромагнитными материалами.

Samadova Ulkar Farruch

**Electrical, optical and magnetic properties of the solid solutions
(CuInSe₂)_{1-x} (MeSe)_x (Me = Fe, Mn)**

The work is devoted to the study of electrical, optical and magnetic properties of solid solutions on the basis of (CuInSe₂)_{1-x} (MeSe)_x (Me = Fe, Mn). To study were synthesized by solid solutions are defined in the phase equilibrium. From the analysis of X-ray spectra revealed that the X-ray reflections in the system (CuInSe₂)_{1-x} (MnSe)_x smoothly shifted to smaller, and the system (CuInSe₂)_{1-x} (FeSe)_x large values of the diffraction angles 2θ . The parameters of the unit cells in these systems revealed that the system (CuInSe₂)_{1-x} (MnSe)_x parameters a and c increase linearly, and the system (CuInSe₂)_{1-x} (FeSe)_x at the beginning of the rise and then decline. Linear increase $a=f(x)$ with increasing manganese content suggests that the concentration range $0 < x < 0.10$ in the system (CuInSe₂)_{1-x} (MnSe)_x approximation is performed with the Vegard's rule, confirming the presence of continuous solid solution in the system. Assumed that the decrease in system parameters (CuInSe₂)_{1-x} (FeSe)_x, it may be due to the combined effect of the synthesized samples and the porosity defects in their crystal structure.

Investigation of the temperature dependences of conductivity, Hall coefficient and thermoelectric power in the temperature range $T = 100-600$ K is defined concentration and mobility of charge carriers, and the

type of conductivity. Revealed that these crystals are typical impurity semiconductors with n-type conductivity. From the analysis of the slopes $\ln s = f(10^3 / T)$ found that the band gap of the samples, there are quasi continuous impurity levels. From the transmission spectra were determined band-gap energy E_g . The results were confirmed by theoretical calculations of the band structure of these solid solutions. It was revealed that when the Fe atoms replace only the copper atoms Cu (Fe_{Cu}) the value of the band gap E_g decreases, and the substitution of an atom In (Fe_{In}) increases accordingly. In the case of substitution of Mn atoms only In atoms with the concentration x is observed monotonic increase of $E_g(x)$.

The paper also studied the temperature dependence (77-300K) magnetic properties of composite materials based on solid solutions $(\text{CuInSe}_2)_{1-x}(\text{MeSe})_x$ ($\text{Me} = \text{Fe}, \text{Mn}$). Found that despite the fact that the base matrix is a diamagnetic CuInSe_2 material obtained by adding a solid solution of Fe and Mn in the matrix becomes antiferromagnetic materials.