

AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

Əlyazması hüququnda

Cd_{1-x}Fe_xTe EPİTAKSİAL TƏBƏQƏLƏRİ VƏ ONLAR ƏSASINDA RADİASİYAYA DAVAMLI FOTOHƏSSAS STRUKTURLAR

İxtisas: 3361.01- Bərk cism elektronikasısı, radioelektron
komponentləri, mikro və nanoelektronika

Elm sahəsi: Texnika

İddiaçı: **Aybəniz Akif qızı Abdullayeva**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün
təqdim edilmiş dissertasiyanın

AVTOREFERATI

Bakı – 2023

Dissertasiya işi Azərbaycan Texniki Universitetinin “Mühəndis fizikası və elektronika” kafedrasında yerinə yetirilmişdir

Elmi rəhbər: Fizika elmləri doktoru, dosent
Mətanət Əhməd qızı Mehrabova

Rəsmi opponentlər: fizika-riyaziyyat elmləri doktoru,
professor
Tariyel Hübət oğlu İsmayılov

texnika elmləri doktoru, professor
Əli İsa oğlu Məmmədov

texnika elmləri doktoru, dosent
Xəqani İmran oğlu Abdullayev

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Milli Aviasiya Akademiyası nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.01 Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri: AMEA-nın həqiqi üzvü, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor
_____ **Arif Mir Cəlal oğlu Paşayev**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: coğrafiya elmləri doktoru, dosent
_____ **Surxay Həsən oğlu Səfərov**

Elmi seminarın sədri: AMEA-nın müxbir üzvü, texnika elmləri doktoru, professor
_____ **İsmayıl Mahmud oğlu İsmayılov**

İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

Mövzunun aktuallığı. Dissertasiya işi $Cd_{1-x}Fe_xTe$ yarımmaqnit yarımkeçiricilərinin (YMYK) epitaksial təbəqələri və onlar əsasında radiasiyaya davamlı və radiasiyaya həssas strukturların alınması imkanlarının öyrənilməsi məqsədi ilə bir sıra elektrofiziki, fotoelektrik, optik xassələrinin tədqiqinə həsr edilmişdir.

YMYK nisbətən yeni materiallar olub müasir elektronikada geniş tətbiq edilir. Onlar özündə adi və maqnit yarımkeçiricilərinin xassələrini birləşdirir. Bu yarımkeçiricilərin tərkibində maqnit xassəli elementlərin olması onlar əsasında maqnit sahəsi ilə idarə olunan strukturların alınmasına imkan verir.

$A^{IV}B^{VI}$ tipli yarımkeçiricilər qrupuna daxil olan YMYK-nin epitaksial təbəqələri fundamental tədqiqatlar və praktiki tətbiq üçün xüsusi əhəmiyyət kəsb edən materiallar hesab edilir. Bu qrupa daxil olan $Cd_{1-x}Fe_xTe$ epitaksial təbəqələri isə tətbiq perspektivləri olan yeni və az tədqiq edilən YMYK materiallardır.

$Cd_{1-x}Fe_xTe$ epitaksial təbəqələrinin böyümə xüsusiyyətləri, kristal mükəmməlliyi, elektrofiziki, fotoelektrik və optik xassələri, onlar əsasında strukturların alınması xüsusiyyətləri az araşdırılmış və onlara dair ədəbiyyatda məlumat məhduddur. Bu baxımdan $Cd_{1-x}Fe_xTe$ YMYK-nin epitaksial təbəqələrinin alınma texnologiyasının işlənilməsi və onlar əsasında yüksək keyfiyyətli strukturların hazırlanması məqsədə uyğundur. Mükəmməl kristal quruluşa, tələb olunan elektrofiziki, fotoelektrik, optik xassələrə malik $Cd_{1-x}Fe_xTe$ YMYK-nin epitaksial təbəqələrinin yetişdirilməsi, onlar əsasında fəthəssas strukturların, o cümlədən p-n keçidlərin alınması müasir elm və texnika üçün maraq kəsb edən aktual məsələdir.

Yarımkeçiricilərin bir çox fiziki xassələri onların kristal quruluşlarından asılı olduğundan, alınmış müxtəlif tərkibli nazik təbəqələrin quruluş xüsusiyyətlərinin və səth morfolojiyalarının müasir tədqiqat metodları ilə araşdırılması çox vacibdir. Rentgen difraksiyası, elektron mikroskopiyaya kimi müasir tədqiqat metodları nazik təbəqəli bərk cisimlərin kristal quruluşları və səthinin

vəziyyəti haqqında kifayət qədər dəqiq məlumat əldə etməyə imkan verir.

Dissertasiya işində molekulyar dəstədən kondensasiya (MDK) metodu ilə yetişdirilmiş $Cd_{1-x}Fe_xTe$ YMYK-nin nazik təbəqələrinin kristal quruluşu və səth morfolojiyası Rentgen Şüa Difraksiyası (XRD), Skanedicci Elektron Mikroskop (SEM) və Atom Qüvvə Mikroskopu (AQM) üsulları ilə tədqiq edilmişdir.

Qeyd edək ki, yarımkeçirici materialların elektrik, optik və fotoelektrik xassələrinin tədqiq edilməsi, onlar əsasında müxtəlif təyinatlı cihazların yaradılması üçün vacib olan bir çox parametrlərin təyin edilməsinə imkan verir. Dissertasiyada qeyd edilən xassələr və onlara radiasiya şüalanmasının təsiri tədqiq edilmişdir. Qeyd edək ki, materialların zaman keçdikcə xarici təsirlərə məruz qalması nəticəsində tədricən bəzi fiziki xassələri korlanır. Bu baxımdan xarici təsirlərə, o cümlədən ionlaşdırıcı radiasiya şüalanmasına materialların davamlılığının öyrənilməsi aktualdır və bununla bağlı tədqiqat işləri də dissertasiya işində öz əksini tapmışdır.

Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri. Tədqiqatın məqsədi mükəmməl kristal quruluşa və səth morfolojiyasına malik $Cd_{1-x}Fe_xTe$ epitaksial təbəqələrinin böyümə xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi, onlar əsasında radiasiyaya davamlı və fətohəssas strukturların hazırlanması məqsədi ilə onların elektrofiziki, fotoelektrik, optik xassələrinə γ -şüalanmanın təsirinə öyrənilməsindən ibarət olmuşdur.

Məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlər qoyulmuşdur:

- İdeal və defektli $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01\div 0.25$) YMYK-nin elektron zona quruluşunun nəzəri hesablamaları;
- Molekulyar Dəstədən Kondensasiya (MDK) üsulu ilə, 10^{-4} Pa vakuumda tələb olunan kimyəvi tərkibə ($x=0.01-0.08$) və fiziki parametrlərə malik $Cd_{1-x}Fe_xTe$ nazik təbəqələrin alınması;
- $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01-0.08$) nazik təbəqələrinin kristal quruluşunun, səth morfolojiyasının, elektrofiziki, fotoelektrik və optik xassələrinin tədqiq edilməsi;

- $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01-0.08$) nazik təbəqələrinin elektrofiziki, fotoelektrik və optik xassələrinə γ -şüalanmanın ($E=1.17MeV$, $E=1.33MeV$) təsirinin öyrənilməsi;

- $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01-0.08$) nazik təbəqələri və onlar əsasında yaradılmış strukturların tətbiq imkanlarının müəyyən edilməsi.

Tədqiqat metodları.

- Təməl prinsiplərdən Density Functional Theory (DFT) nəzəriyyəsi çərçivəsində psevdopotensiallar metodu ilə ideal və defektli $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01-0.25$) YMYK-nin elektron zona quruluşu və hal sıxlığı hesablanmışdır;

- $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01-0.08$) nazik təbəqələri və onlar əsasında heteroqeyidlər 10^{-4} Pa vakuumda Molekulyar Dəstədən Kondensasiya üsulu ilə yetişdirilmişdir;

- Bərk məhlullar və nazik təbəqələrin kristal quruluşu BRUKER XRD D8 ADVANCE qurğusunda rentgen difraktometriya XRD metodu ilə tədqiq edilmişdir;

- Nazik təbəqələrin səth morfologiyası və tərkib analizinin tədqiqi SEM metodu ilə Carl Zeiss Sigma VP Skanedici elektron mikroskopu və JEOL JSM-7600F Schottky Field Emission Skanedici Elektron Mikroskopunda aparılmışdır;

- Nazik təbəqələrin səth morfologiyası, hissəciklərin ölçüləri və hissəciklərin sayının ölçülərə görə paylanması INTEGRA PRİMA Atom Qüvvə Mikroskopunda öyrənilmişdir;

- Nümunələrin γ -şüalanması ^{60}Co izotop mənbəyində ($E=1.17MeV$, $E=1.33MeV$) aparılmışdır;

- Nümunələrin dielektrik xassələri E7-25 qurğusunda tədqiq edilmişdir;

- Nümunələrin elektrofiziki və fotoelektrik xassələrini ölçmək üçün nümunədən keçən cərəyanın sabitliyi V7-21A tipli rəqəmli universal millivoltmetr vasitəsi ilə yoxlanılmışdır. Q6-28 tipli gərginlik generatoru mənbə kimi istifadə edilmişdir. Cərəyanı ölçmək üçün U5-9 və ya U5-11 tipli elektrometrik gücləndiricilərdən istifadə olunmuşdur. Gərginliyi ölçmək üçün rəqəmsal H1312 voltmetri istifadə edilmişdir. Volt Amper

Xarakteristikası (VAX) ayrı-ayrı nöqtələrə görə ölçüldükdə, mənbə qismində TES-23 tipli standart mənbə istifadə edilmişdir.

- Optik xassələr SPECORD 210 PLUS UV-Vis spektrofotometrində ölçülmüşdür.

Müdafiyyə çıxarılan əsas müddəalar:

1. İdeal və defektli $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01\div 0.25$) YMYK-nin elektron zona quruluşu, hal sıxlığının təməl prinsiplərdən hesablanması;

2. $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01\div 0.08$) bərk məhlullarının sintezi və onlar əsasında epitaksial təbəqələrin alınması xüsusiyyətləri;

3. $Cd_{1-x}Fe_xTe$ nazik təbəqələrinin elektrofiziki, fotoelektrik və optik xassələrinə Fe atomlarının konsentrasiyasının təsiri;

4. γ -şüalanmanın $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01\div 0.08$) nazik təbəqələrinin elektrofiziki, fotoelektrik və optik xassələrinə təsiri;

5. $CdTe/Cd_{1-x}Fe_xTe$ nazik təbəqəli HK-nin optimal alınma xüsusiyyətlərinin müəyyənləşdirilməsi və onlar əsasında fotoçeviricilər, fotoqəbuledicilər, ionlaşdırıcı şüa detektorlarının hazırlanması imkanları.

Tədqiqatın elmi yeniliyi:

1. İlk dəfə olaraq təməl prinsiplərdən ideal və defektli $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01\div 0.25$) YMYK-nin elektron zona quruluşu hesablanmışdır. Tərkibində Fe konsentrasiyasının dəyişməsinin və vakansiya tipli defektlərin olmasının zona quruluşuna, o cümlədən qadağan olunmuş zonanın eninə təsiri müəyyən edilmişdir.

2. MDK üsulu ilə, 10^{-4} Pa vakuumba tələb olunan kimyəvi tərkibə ($x=0.01-0.08$), qalınlığa və elektrofiziki parametrlərə malik $Cd_{1-x}Fe_xTe$ nazik təbəqələrinin yetişdirilməsi xüsusiyyətləri müəyyən edilmişdir.

3. γ -şüalanmanın ($E=1.17MeV$, $E=1.33MeV$) $Cd_{1-x}Fe_xTe$ nazik təbəqələrinin səth morfoloqiyasına və kristal quruluşuna təsiri müəyyən edilmişdir.

4. γ -şüalanmanın $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01-0.08$) nazik təbəqələrinin elektrofiziki, fotoelektrik, optik xassələrinə təsiri öyrənilmişdir.

5. MDK metodu ilə vahid texnoloji dövriyyədə, vakuumu pozmadan $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01-0.08$) əsasında heteroqəçidlərin (HK) alınmasının optimal rejimi müəyyən edilmişdir. Onlar əsasında

fotoqəbuledicilər və fotoçeviricilərin hazırlanması imkanları tədqiq edilmişdir.

Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti: Dissertasiyada əldə olunmuş nəticələr günəş elementləri, radiasiya detektorları, İQ detektorlar, fotoqəbuledicilər, optik izolyatorlar və s. hazırlanmasında geniş istifadə edilə bilər.

Dissertasiya işinin nəticələri radiasiya materialşünaslığı, bərk cisimlər fizikası, yarımkeçiricilər və dielektriklər fizikası sahəsində yüksək ixtisaslı mütəxəssislərin hazırlanmasında böyük əhəmiyyətə malikdir.

Dissertasiya işində aparılan nəzəri tədqiqatlar eksperimental tədqiqatların doğruluğunu təsdiq edir və həm də proqnoz xarakter daşıyır.

İşin aprobasiyası. Dissertasiyanın nəticələri aşağıdakı konfranslarda məruzə edilmişdir:

–Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI respublika elmi konfransı (24-25 oktyabr, 2017, Bakı, Azərbaycan),

–Azərbaycan Demokratik Respublikasının 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq elmi-texniki konfrans (Sumqayıt, Azərbaycan, 2018),

–XXVII Российская конференция по электронной микроскопии, РКЭМ, Черноголовка, Россия, 2018),

–Международная научно-техническая конференция и школа по фотоэлектронике и приборам ночного видения (Москва, Россия, 2018),

–Rostocker International Conference "Thermophysical Properties to Technical Thermodynamics" (Rostok, Almaniya, 26th – 27th July 2018, 9 September 2021),

–Akademik H.B. Abdullayevin 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans və məktəb. Modern trends in condensed matter physics (Bakı, Azərbaycan, 2018),

–Ölçmə və keyfiyyət: problemlər, perspektivlər, Beynəlxalq Elmi-texniki konfrans (Bakı, Azərbaycan 21-23 noyabr 2018),

–Radiation processes and their applications, International Conference dedicated to the 70th anniversary of Academician M.K. Karimov (Baku, Azerbaijan, November 13-14, 2018),

–RAD7-Seventh international conference on radiation in various fields of research. (Herceg Novi, Montenegro, June 10-14, 2019),

–11th Conference on Modern Trends in Physics (Baku, Azerbaijan, 1-3 May, 2019),

–International conference on Mechanisms and non-linear problems of nucleation and growth of crystals and thin films (Saint Petersburg, Russia, 1-5 July, 2019),

–2nd International Turkish World Engineering and Science Congress (Turkey, November 7-10, 2019),

–“Maqnit yumşaq ərintilərin hərbi sahədə tətbiqi perspektivləri” Beynəlxalq elmi-praktik konfrans, (Bakı Azərbaycan, 9-10 oktyabr 2019),

–International congress on natural sciences (Kayseri, Turkey, 26-28 February 2021),

–Объединённая конференция "Электронно-лучевые технологии и рентгеновская оптика в микроэлектронике", Зеленоград, Москва, 2021),

–USBİK 2021 online international congress on natural sciences (Turkey, Kayseri, 26-28 February 2021),

–International Social and Technical Sciences Symposium USTEK'22 (Selçuk Üniversitesi, Konya-Türkiye 12-13 September 2022),

–Heydər Əliyevin 100 illiyinə həsr olunmuş “Dördüncü sənaye inqilabi və innovativ texnologiyalar” Beynəlxalq Elmi-Praktik Konfransı, (Gəncə 3-4 may, 2023),

–Heydər Əliyevin 100 illiyinə həsr olunmuş “Radiasiya texnologiyaları və onun tətbiqləri” adlı Respublika Elmi-Texniki konfrans (Bakı, RPİ, 5 May 2023),

–Heydər Əliyevin 100 illiyinə həsr olunmuş "Nəzəri və tətbiqi fizikanın inkişafı" mövzusunda Beynəlxalq Konfrans (Bakı, ETN Fizika İnstitutu, 8-9-iyun, 2023).

Nəşr olunmuş elmi işlər: Dissertasiya işinin məzmunu 29 elmi əsərdə, o cümlədən Respublika və xarici jurnallarda 10 məqalə, 19 konfrans materialı olmaqla nəşr edilmişdir. Məqalələrdən 3-ü Web of Science platformasına daxildir, 3-ü həmmüəllifsiz çap edilmişdir.

Dissertasiya işi 2017-2023-ci illərdə əsasən AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutunda və Fizika İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiya işinin quruluşu və həcmi. Təqdim olunan dissertasiya işi girişdən, 69 şəkil, 6 cədvəl daxil olmaqla 4 fəsildən, nəticələrdən, müəllifin elmi əsərləri, istinad edilmiş ədəbiyyat siyahısı və ümumilikdə **201431** işarədən ibarətdir.

İŞİN MƏZMUNU

Girişdə dissertasiyanın mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, aparılan tədqiqatların məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti göstərilmiş, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, aprobeasiya dərəcəsi, nəşr edilmiş əsərlər barədə məlumat verilmiş və işin fəsilər üzrə əsas məzmunu qısaca olaraq şərh edilmişdir.

Birinci fəsildə $Cd_{1-x}Fe_xTe$ YMYK-nin bərk məhlullarının fiziki xassələri və ionlaşdırıcı şüaların təsiri ilə yaranan radiasiya defektlərinə aid ədəbiyyat məlumatları toplanaraq təhlil edilmişdir. Təhlil edilmiş ədəbiyyatdan məlum olur ki, tədqiq edilən $Cd_{1-x}Fe_xTe$ YMYK az öyrənilmişdir və γ -şüalanmanın onların fiziki xassələrinə təsiri isə öyrənilməmişdir.

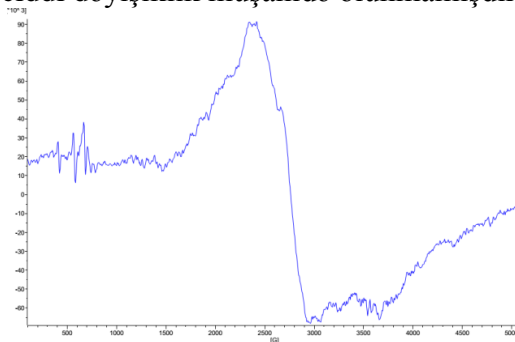
İkinci fəsildə $Cd_{1-x}Fe_xTe$ bərk məhlullarının sintezi və MDK üsulu ilə onların nazik təbəqələrinin alınma metodu geniş təqdim edilmiş və vakuüm qurğusunun təsviri verilmişdir. Nümunələrin kristal quruluşunun öyrənilməsi üçün XRD və səth morfolojiyasının tədqiqi üçün SEM və AQM metodları haqqında məlumat verilmişdir. Eyni zamanda γ - radiasiya tədqiqatları aparılan qurğunun sxemi, tədqiq edilən nümunələrlə elektrik və dielektrik xassələrini öyrənmək üçün E7-25 impedans spektrometrinin ölçmə metodikası, optik xassələrin tədqiqi üçün UV Viz spektrometrinin iş prinsipi, fotoelektrik xassələrin tədqiqi üçün

qurğunun sxemi və işləmə prinsipi təsvir edilmişdir. Dissertasiya işində yerinə yetirilən təməl prinsiplərdən hesablamalar üçün Density Functional Theory nəzəriyyəsi və psevdopotensiallar metodu geniş şərh edilmişdir.

Üçüncü fəsilə $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($0 < x \leq 0.08$) bərk məhlullarının sintezi və onlar əsasında epitaksial təbəqələrin alınması məsələləri araşdırılmışdır. $CdTe$ yarımkəçirici birləşməsinə Fe atomlarının aşqarlanması ilə $0 < x \leq 0.08$ tərkibli $Cd_{1-x}Fe_xTe$ bərk məhlulu sintez olunmuşdur. Alınmış bərk məhlulların tərkibi və kristal quruluşu rentgendifraktometrik metodla tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, sintez olunmuş bərk məhlullar $a=6.467 \text{ \AA} \div 6.481 \text{ \AA}$ parametrlili kubik qəfəsdə kristallaşır. Bu bərk məhlullar $Cd_{1-x}Fe_xTe$ yarımmaqnit yarımkəçirici nazik təbəqələrinin alınması üçün mənbə qismində istifadə olunmuşdur.

$Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0 \div 0.08$) bərk məhlullarının kristal tərkibi elektron paramaqnit rezonans (EPR) metodu ilə otaq temperaturunda Bruker EMX plus spektrometrində (x bölgəsində, $\nu=9,9\text{Hs}$ tezliyində, $\lambda=3,2\text{sm}^{-1}$ dalğa uzunluğunda) öyrənilmişdir.

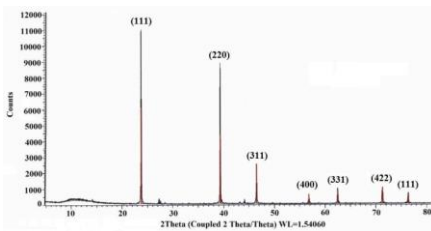
$Cd_{1-x}Fe_xTe$, $x = 0.03$ nümunələrinin EPR spektrində qeyri - simmetrik bir xətt müşahidə edilir ki, bu da dəmir Fe^{3+} ionlarının ferromaqnit vəziyyəti ilə əlaqələndirilir (şək.1). EPR üsulu ilə müəyyən edilmişdir ki, Fe^{3+} ionları bərk məhlulun kristal qəfəsinə bərabər şəkildə daxil olmuşlar. $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0,03$) bərk məhlulları γ -şüalarla $D_\gamma \leq 605.6 \text{ kQr}$ dozada şüalandırılmışdır, nəticədə EPR spektrlərində ciddi dəyişiklik müşahidə olunmamışdır.



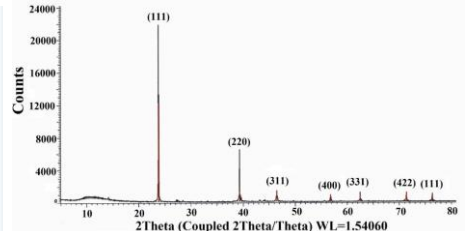
Şək.1. $Cd_{1-x}Fe_xTe$, $x=0.03$ bərk məhlulların EPR spektrləri

Nazik təbəqələrin alınmasında altlıq qismində şüşə lövhələrdən istifadə edilmiş və göstərilmişdir ki, altlığın temperaturunun $T_a=300$ K qiymətində altlıq üzərində qarışıq - polikristal və amorf halda nazik təbəqələr böyüyür. Temperaturun artması ilə ($T_a=470$ K) amorf hal polikristal hala keçir. Altlığın temperaturunun $T_a=670$ K qiymətində şüşə altlıq üzərində yetişən nazik təbəqə monokristal halda olur.

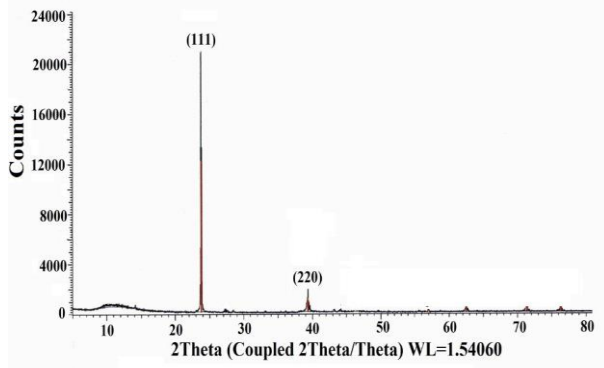
XRD təhlili göstərir ki, $Cd_{1-x}Fe_xTe$ nazik təbəqələri kəskin difraksiya zirvələri (111), (220), (311), (400), (331) və (422) olan səthə mərkəzləşmiş kubik struktura malikdir. 50 kQr, 100 kQr və 150 kQr dozalarda γ -kvantlarla şüalanmış $Cd_{1-x}Fe_xTe$ nazik təbəqələrin rentgen difraksiya əyrilərindən görünür ki, şüalanma dozası artdıqca (111) kristal müstəviləri istiqamətində intensivlik artır, digər istiqamətlərdə isə müstəvilərin intensivliyinin azalması müşahidə edilir. Bu onu göstərir ki, (111) istiqaməti üzrə düzülmüş müstəvilərin sayı γ -şüalanma nəticəsində artmışdır və buna da səbəb ^{60}Co mənbəyindən şüalanan γ -kvantların yüksək enerjili elektromaqnit dalğa xarakterli olmasıdır (şəkl.2). Radiasiya dozası kifayət qədər böyük olduqda (100 kQr və 150 kQr) səth enerjisi kristalın böyüməsi prosesində mühüm rol oynayır. Bu prosesdə atomlar yüksək səth enerjisi olan (111) kristal müstəvisi tərəfindən asanlıqla cəlb edilir və orada kondensasiya olunur ki, bu da (111) müstəvisinin üstünlük təşkil etməsi ilə nəticələnir. Güman edirik ki, reflekslərin intensivliyinə γ -şüalanmanın təsiri defektlərin konsentrasiyasının artması nəticəsində yaranan kristalliklərin ölçüsünün dəyişməsi ilə əlaqədardır.



a)



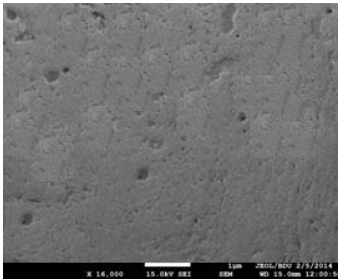
b)



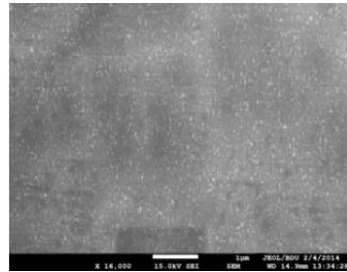
(c)

Şək.2. $Cd_{1-x}Fe_xTe$ nazik təbəqələrinin ($x = 0,08$) süsə althq üzərində rentgen difraktometrik görüntüləri
a) $D_\gamma = 0$, b) $D_\gamma = 100$ Qr, c) $D_\gamma = 150$ Qr

$Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.08$) epitaksial təbəqələrinin SEM və AQM tədqiqatları Carl Zeiss Sigma VP Field Emission Scanning Electron Microscope, JEOL JSM-7600F Scanning Electron Microscope və Ntegra Prima Atomic Force Microscope cihazlarında öyrənilmişdir. AQM tədqiqatlarla Te kompensasiyasız alınan təbəqələrin kobud səthə malik olduğu aşkar edilmişdir. SEM tədqiqatlar göstərmişdir ki, böyümə prosesi zamanı əlavə Te buxar mənbəyindən istifadə etməklə təbəqələrin səthində yaranan qara ləkələri kompensə etmək olur və nisbətən hamar səthə malik təbəqələr alınır (şək.3).



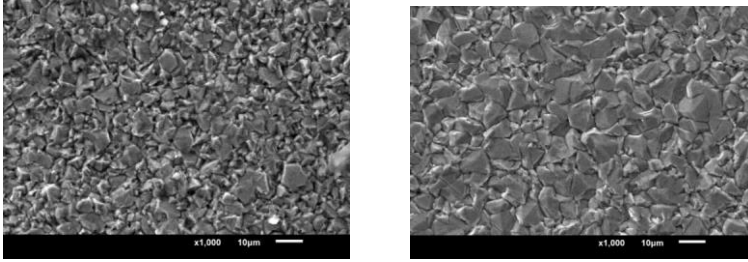
a)



b)

Şək.3. $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x = 0.08$) epitaksial təbəqələrinin səthinin elektron mikroskopik görüntüləri, althğın temperaturu $T_a = 675K$. a) Te- kompensasiyasız, b) Te -kompensasiyalı.

SEM metodundan istifadə etməklə γ -şüalanmanın $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x = 0.08$) epitaksial təbəqələrinin səth morfologiyasına təsiri öyrənilmişdir ($D_\gamma=100$ kQr). Şüalanmadan sonra kristalliklərin ölçülərinin artması müşahidə edilmişdir (şək.4) ki, bu da XRD tədqiqatlarından alınan nəticələr ilə uyğunluq təşkil edir.

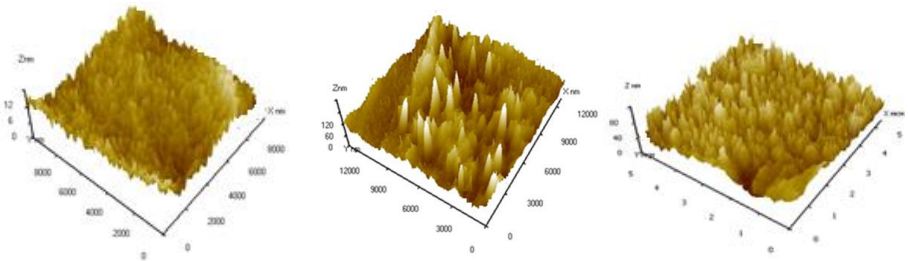


a)

b)

Şək.4. $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.08$) epitaksial təbəqələrinin səth morfologiyasının SEM təsvirləri: a) $D_\gamma=0$, b) $D_\gamma=100$ kQr

$\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.05$) epitaksial təbəqələrinin şüalanmadan əvvəl və sonra səth morfologiyası Ntegra Prima Atom Qüvvə Mikroskopunda da tədqiq olunmuşdur ($D_\gamma=50$ kQr). γ -kvantlarla $D_\gamma=25$ kQr dozada şüalanmadan sonra hündürlüyü 140 nm olan və qeyri-bərabər paylanan iri ölçülü defektlər müşahidə edilir (şək.5).



a)

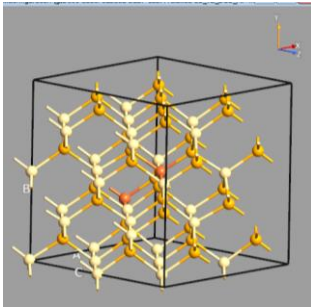
b)

c)

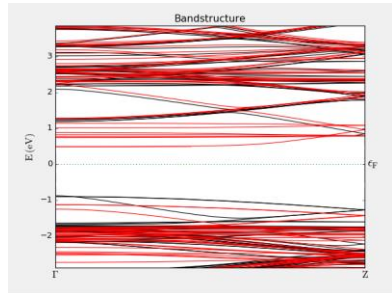
Şək.5. $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.06$) epitaksial təbəqələrinin AQM təsvirləri: a) $D_\gamma=0$, b) $D_\gamma=25$ kQr, c) $D_\gamma=50$ kQr

$D_\gamma=50$ kQr dozada şüalanmadan sonra defektlərin ölçüsü və hündürlüyü 80 nm qədər azalır, səthdə paylanması bircinsli olur. Beləliklə, ilkin nümunədə struktur defektlər mövcuddur, γ -kvantlarla şüalandırma zamanı ikinci elektronlar yaranır ki, bu da səthin ionlaşmasına və yük halının dəyişməsinə səbəb olur. Belə olduqda, yüklərin yenidən paylanması baş verir. Hesab edirik ki, Frenkel cütünün yaranması daha çox ehtimallıdır. Belə ki, kristala nüfuz edən radioaktiv şüalanmanın enerjisi atomu yerindən sürüşdürmək üçün lazım olan minimal enerji tərtibindədir.

İdeal və defektli $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x = 0.01-0.25$) yarımmaqnit yarımkeçiricilərin elektron zona quruluşu, hal sıxlığının təməl prinsiplərdən DFT nəzəriyyəsi çərçivəsində psevdopotensiallar metodu ilə Double Zeta Double Polarized (DZDP) bazisində Lokal Spin Sıxlığı Yaxınlaşmasında (LSDA), Hubbard-U potensialı nəzərə alınmaqla Atomistix ToolKit (ATK) proqramında hesablanmışdır. Qadağan olunmuş zonanın eni, tam enerji antiferromaqnit (AFM) və ferromaqnit (FM) hallar üçün hesablanmışdır (şək.6). Müəyyən edilmişdir ki, Fe konsentrasiyasının artması ilə qadağan olunmuş zonanın eni xətti artır, tam enerji azalır, qəfəs parametrində cüzi azalma baş verir, ferromaqnit hal daha dayanıqlı olur.



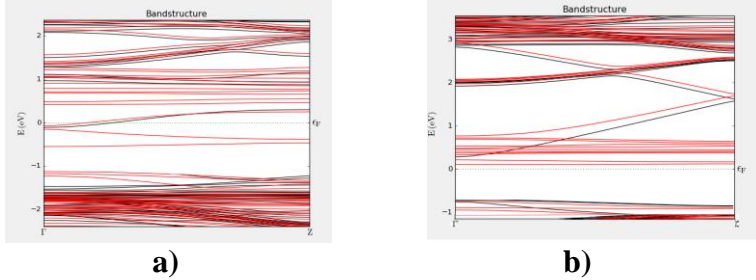
a)



b)

**Şək. 6. $Cd_{30}Fe_2Te_{32}$ ($x=0.06$) superözəyi
a) kristal quruluşu, b) elektron zona quruluşu.**

Müəyyən edilmişdir ki, vakansiya tipli defektlər $\text{Cd}_{30}\text{Fe}_2\text{Te}_{32}$ superözəyinin qadağan olunmuş zonasının eninin cüzi azalmasına (0.01 - 0.03 eV), qadağan olunmuş zonada lokal səviyyələrin yaranmasına, həmçinin Fermi səviyyəsinin sürüşməsinə gətirib çıxarır (şək.7).



Şək. 7. $\text{Cd}_{30}\text{Fe}_2\text{Te}_{32}$ ($x=0.06$) superözəyi, elektron zona quruluşu a) Cd vakansiyası, b) Te vakansiyası

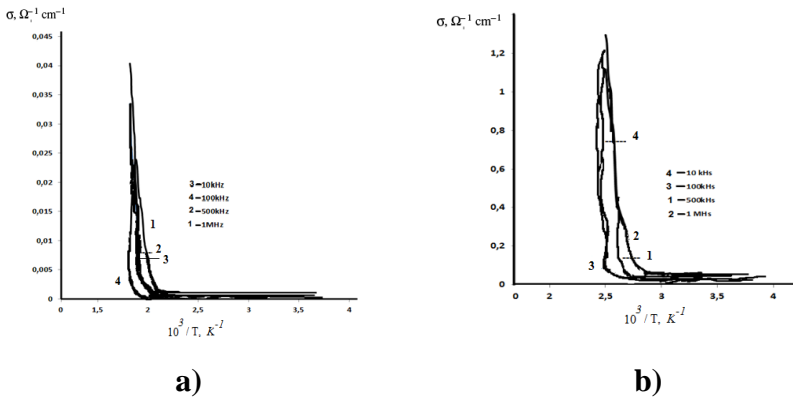
Dördüncü fəsildə $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ YMYK-nin elektrik, fotoelektrik və optik xassələri bu xassələrə γ -şüalanmanın təsiri tədqiq edilmişdir.

$\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ YMYK-nin ($x=0.03\div 0.08$) 1 Hs – 1 MHs ölçmə tezliyində və $T=294 - 550$ K temperatur aralığında tutum, dielektrik nüfuzluğu və keçiriciliyinin temperaturdan asılılıqlarını və impedansı tədqiq edilmişdir və həmçinin γ -şüalanmanın bu xassələrə təsiri öyrənilmişdir.

Fe konsentrasiyasının artması ilə $x=0.03\div 0.08$ dielektrik nüfuzluğu və keçiricilik azalır. Fe ionlarının $x=0.08$ konsentrasiyası üçün əhəmiyyətli struktur dəyişikliklərinin baş verməsi aşkar edilmişdir ki, bu da əsasən Cd atomlarının əvvəlki mövqelərindən çıxması ilə əlaqələndirilir. Temperaturun müəyyən kritik qiymətə qədər artması ilə keçiriciliyin və dielektrik nüfuzluğunun artması baş verir. Onların temperatur-tezlik asılılıqlarındakı əyrilərin maksimumu isə aşağı temperaturlara doğru sürüşür. Keçiriciliyin temperatur asılılıqlarında $f = 500$ kHs tezliyə qədər və temperaturun $T = 480\text{K}$ qiymətində σ -nın kəskin artması baş verir (şək.8,a). $\ln(\epsilon')$

$\sim 1000/T$ -dən asılılığı xətti xarakter daşıyır və həmçinin dielektrik nüfuzluğunun dispersiyası da relaksasiya xarakterlidir.

$D_\gamma=605,6$ kQr dozada γ -kvantlarla şüalananan $Cd_{1-x}Fe_xTe$ YMYK-nin $\varepsilon(T)$ asılılıqlarının xarakteri dəyişir, $f=1\text{Hs}\div 1\text{MHs}$ ölçmə tezliklərində $T=300\text{ K}\div 400\text{ K}$ temperatur diapazonunda əyrilərdə enmə müşahidə olunur, ε isə 20 dəfə artır. $\sigma(T)$ asılılıqlarında maksimum 400 K temperaturda bütün ölçmə tezliklərində görünür və bütün ölçmə tezliklərində keçiricilik 40 dəfə artır (şək.8,b).

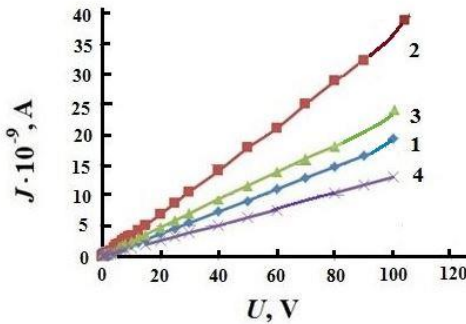


Şək.8. $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0,03$) YMYK-nin keçiriciliyinin temperatur-tezlik asılılıqları: 1) 10 kHs, 2) 100 kHs, 3) 500 kHs, 4) 1 MHs a) $D_\gamma=0$, b) $D_\gamma=605,6$ kQr

γ -şüalanmadan sonra dielektrik nüfuzluğunun və keçiriciliyin artması, güman etmək olar ki, enerji zonasında defektlərlə bağlı səviyyələrin əmələ gəlməsi ilə əlaqəlidir. Belə ki, kristaldakı defektlər arasında sıçrayan elektronların mübadiləsi dipolların yaranmasına və nəticədə dielektrik nüfuzluğunun artmasına səbəb ola bilər.

$Cd_{1-x}Fe_xTe$ nazik təbəqələrinin VAX-larına γ -şüalanmasının təsiri $T=300\text{ K}$ temperaturda öyrənilmişdir. VAX ölçmələri $D_\gamma \leq 1$ kQr şüalanmada aparılmışdır. $D_\gamma < 100$ Qr dozada γ -şüalanmadan sonra keçiriciliyin gərginlikdən asılı olaraq artması baş verir, asılılığın xarakteri isə prinsipcə dəyişmir (şək.9). Müşahidə olunan

asılılıq göstərir ki, $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.08$) nazik təbəqələrinin kiçik dozalarla şüalanması zamanı qadağan olunmuş zonada dərin səviyyələr əmələ gəlir və bu səviyyələr keçiricilikdə iştirak edən elektronların bir hissəsi tərəfindən tutulur, cərəyanın artması baş verir. Nümunələrin $D_\gamma = 500$ Qr dozada şüalanması zamanı VAX-da əyrinin paralel aşağı sürüşməsi və keçiriciliyin azalması müşahidə edilir ki, bu da defektlərin konsentrasiyasının artması ilə əlaqədardır. $D_\gamma \geq 1$ kQr dozalarda şüalanma keçiriciliyi azaldır. Keçiriciliyin azalması defektlərin konsentrasiyasının artması və bununla da kristallik quruluşunun pozulması ilə izah olunur. Alınan nəticələr ədəbiyyat göstəriciləri ilə uyğunluq təşkil edir.



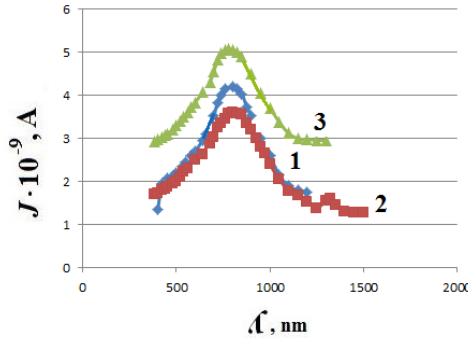
Şək.9. $Cd_{1-x}Fe_xTe$, $x=0.08$ nazik təbəqələrinin VAX: 1) $D_\gamma=0$, 2) $D_\gamma = 100$ Qr, 3) $D_\gamma = 500$ Qr, 4) $D_\gamma = 1$ kQr

Müəyyən edilmişdir ki, Fe ionlarının konsentrasiyası artdıqca qəfəs sabitinin azalması baş verir. $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01 \div 0.03$) YMYK nazik təbəqələri p-tip keçiriciliyə malik olmuşlar. Kristalların tərkibində Fe ionlarının konsentrasiyasının artması ilə müqavimət və aktivləşmə enerjisi azalmışdır.

Kompleks impedansın temperaturdan asılılıqları göstərir ki, impedansın real hissəsinin maksimumu tezliyin artması ilə daha yüksək temperatur oblastına keçir və amplitud azalır. İmpedansın xəyali hissəsinin temperaturdan asılılığı pilləli formaya malikdir. Ölçmə tezliyi artdıqca “pillənin” amplitudu azalır.

Şüşə altlıqlar üzərində yetişdirilmiş $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.08$) nazik təbəqələrinin $T=300K$ -da fotokeçiriciliyin (FK) spektral xarakteristikaları öyrənilmişdir (şək.10). Asılılıqlardan görünür ki, spektral diapazon $\lambda=400$ nm – 1200 nm dalğa uzunluğu diapazonunu əhatə edir. FK spektrində geniş bir zolaq müşahidə olunur, FK-in maksimumundan ($\lambda = 800$ nm) hesablanan qadağan olunmuş zonanın eni $T = 300$ K temperaturda $E_g=1.5$ eV-dir. Alınan nəticələr bizim nəzəri hesablamalarla uyğunluq təşkil edir.

Daha sonra, γ -şüalanmanın $T=300$ K-də $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.08$) nazik təbəqələrinin də fotokeçiriciliyin spektral xarakteristikalara təsiri öyrənilmişdir (şək.10).



**Şək.10. $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.08$) nazik təbəqələrində fotokeçiriciliyin spektral xarakteristikaları, $T=300$ K:
1) $D_\gamma=0$, 2) $D_\gamma=100$ Qr, 3) $D_\gamma=500$ Qr**

Nümunələr ETN Radiasiya Problemləri İnstitutunda 1,25 MeV və 1.33 MeV enerjili ^{60}Co izotop mənbəyində γ -kvantlarla şüalandırılmışdır. Şüalanma dozası 100 Qr -1 kQr arasında olmuşdur.

Öncə nümunələr $D_\gamma=100$ Qr dozada γ -kvantlara şüalandırılmışdır, şüalanmadan sonra FK azalmışdır və əlavə pik əmələ gəlir ki, bu da defekt səviyyənin əmələ gəlməsini göstərir. $D_\gamma>500$ Qr dozalarla sonrakı şüalanma nəticəsində FK-yin artması baş verir. $D_\gamma = 1$ kQr dozada şüalanmadan sonra ftohəssaslıq itir.

Beləliklə, $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.08$) nazik təbəqələri $D_\gamma = 1\text{kQr}$ dozaya qədər γ -kvantlarla şüalanmaya fəthəssasdırlar.

$\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.08$) nazik təbəqələrinin optik xassələrinə γ -şüalanmanın təsiri araşdırılmışdır. $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.03, 0.08$) nazik təbəqələrinin udma və buraxma spektrləri SPECORD 210 PLUS UV-Vis spektrofotometrində 190 nm-1100 nm dalğa uzunluğu diapazonunda ölçülmüşdür. Müəyyən edilmişdir ki, $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.03$) epitaksial təbəqələri, $\lambda = 845$ nm dalğa uzunluğuna qədər işığı udur, bundan sonra $\lambda > 845$ nm-də kəskin azalma baş verir, material şəffaf olur. $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.08$) epitaksial təbəqələri isə $\lambda = 827$ nm dalğa uzunluğuna qədər işığı udur. Deməli, Fe miqdarı artdıqca udma spektri qısa dalğa uzunluğu oblastına doğru sürüşür və qadağan olunmuş zonanın eninin artması baş verir, udma faizi artır, buraxma azalır. Alınan bu nəticə nəzəri hesablamalarla və ədəbiyyat göstəriciləri ilə də təsdiq olunur.

Cədvəl 1.

$\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.08$) nazik təbəqələrinin optik parametrləri

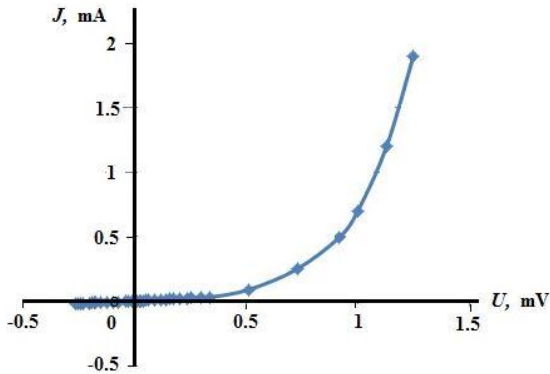
Yarımkəçirici $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$	E_g, eV	Udma %	Buraxma %
$x=0$	1.43	4.2	15
$x=0.03$	1.47	4.5	9
$x=0.08$	1.5	8	4

$\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.08$) epitaksial təbəqələrinin optik spektrlərinə γ -şüalanmanın təsiri tədqiq edilmişdir. $D_\gamma=100$ Qr dozada şüalanmadan sonra spektrlərin uzun dalğa oblastına doğru sürüşməsi baş verir, deməli qadağan olunmuş zonanın eni kiçilir. Sonrakı şüalanma $D_\gamma=500$ Qr $\div 1$ kQr dəyişiklik yaratmır.

$\text{CdTe} / \text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.03$) nazik təbəqəli heteroqəçidlər SnO_2 keçirici təbəqəyə malik şüşə altlıq üzərində 10^{-4} Pa vakuumda MDK metodu ilə vakuumu pozmadan vahid texnoloji dövrdə alınmışdır və heteroqəçidin alınmasının optimal rejimi müəyyən edilmişdir: n-CdTe üçün buxarlandırıcı mənbəyin temperaturu $T_m=1000$ K-1250 K, kondensasiya sürəti $v = 14-16 \text{ \AA} / \text{san}$, altlığın temperaturu $T_a = 640$ K -670 K və p-Cd $_{1-x}$ Fe $_x$ Te üçün $v = 18-20 \text{ \AA} / \text{san}$, $T_a = 470- 520$ K olmuşdur. Qeyd edək ki, altlığın

temperaturunun $T_a = 670$ K qiymətində monokristal n-CdTe təbəqəsi böyüyür, bu temperaturdan aşağı qiymətlərdə $T_a = 470$ K kristal polikristal halda olur.

n-CdTe /p- $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.03$) nazik təbəqəli heteroqəçidində cərəyanın keçmə mexanizmini öyrənmək üçün otaq temperaturunda qaranlıq VAX tədqiq edilmiş, HK-in müqaviməti müəyyən edilmişdir. VAX qeyri-simmetrikdir, düzünə cərəyanlar 0.5 - 1.2 mV gərginlikdə əks cərəyanları üstələyir.



Şək.10. CdTe/ $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.08$) nazik təbəqəli heteroqəçidin volt-ampere xarakteristikası

HK-də rekombinasiya mexanizmi, rekombinasiya mərkəzlərinin parametrləri və elektron keçid prosesləri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, yükdaşıyıcıların yaşama müddəti $\tau=28-35$ mks, səthin rekombinasiya sürəti isə $s=50$ sm/s təşkil etmişdir. Fotocərəyanın sürətlə azalması monoeksponensial deyil, bu isə bir neçə növ rekombinasiyanın mövcudluğunu göstərir. Bu mərkəzlərin energetik vəziyyətindən asılı olaraq effektiv yaşama müddəti $10^{-6} - 10^{-3}$ s olmuşdur.

ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. İlk dəfə olaraq təməl prinsiplərdən ideal və defektli $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01\div 0.25$) yarımmaqnit yarımkeçiricilərin elektron zona quruluşu hesablanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, tərkibində Fe atomlarının konsentrasiyasının artması ilə qadağan olunmuş zonanın eni xətti artır, tam enerji azalır, qəfəs parametrində cüzi azalma baş verir, ferromaqnit hal daha dayanıqlı olur. $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01\div 0.25$) kristal özəyində vakansiya tipli defektlər qadağan olunmuş zonanın eninin cüzi azalmasına, qadağan olunmuş zonada lokal səviyyələrin yaranmasına, Fermi səviyyəsinin sürüşməsinə səbəb olur.

2. MDK metodu ilə, 10^{-4} Pa vakuumda əlavə kompensəedici Te buxarı mənbəyindən istifadə etməklə şüşə altlıqları üzərində hamar, güzgü səthə malik $Cd_{1-x}Fe_xTe$ ($x=0.01\div 0.08$) nazik təbəqələrinin alınması xüsusiyyətləri öyrənilmişdir. Müəyyən olunmuşdur ki, altlığın temperaturunun $T_a=300K$ qiymətində şüşə altlıq üzərində amorf faza ilə qarışıq polikrisral $Cd_{1-x}Fe_xTe$ nazik təbəqələr alınır. Altlığın temperaturunun artırılması $T_a\geq 470K$ nəticəsində şüşə altlıq üzərində kubik quruluşa malik polikristal təbəqələr, temperaturun $T_a\geq 570K$ qiymətlərində isə monokristal təbəqələr yetişməyə başlayır.

3. γ -şüalanmanın ($E=1.17MeV$, $E=1.33MeV$) $Cd_{1-x}Fe_xTe$ epitaksial təbəqələrinin səth morfolojiyasına və kristal quruluşuna təsiri AQM və rentgendifraktometrik üsullarla öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, nümunələrin $D_\gamma < 50kQr$ dozada şüalandırılması kristalliklərin ölçülərinin böyüməsinə və formasının dəyişməsinə səbəb olur.

4. $Cd_{1-x}Fe_xTe$ $0 \leq x \leq 0,08$ bərk məhlullarının dielektrik xassələri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, temperaturun $T=550K$ qiymətində dielektrik nüfuzluğunun və keçiriciliyin sıçrayışlı artması baş verir. γ -kvantlarla $D_\gamma=605,6$ kQr dozada şüalanma nümunələrin dielektrik nüfuzluğunun və keçiriciliyin kəskin artmasına səbəb olur. Güman edirik ki, kristalda yaranan defektlər arasında sıçrayan elektronların mübadiləsi dipolların

yarınmasına və nəticədə dielektrik nüfuzluğunun artmasına səbəb ola bilər.

5. Müəyyən edilmişdir ki, $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.01\div 0.03$) nazik təbəqələri p-tip keçiriciliyə malikdir və Fe ionlarının konsentrasiyası artdıqca qəfəs sabitinin, müqavimət və aktivləşmə enerjisinin azalması baş verir. Göstərilmişdir ki, nümunələrin kiçik dozalarla şüalanması zamanı keçiricilik artır, belə ki, qadağan olunmuş zonada dərin səviyyələr əmələ gəlir və elektronların bir hissəsi bu səviyyələr tərəfindən tutulur, bir hissəsi isə keçiricilikdə iştirak edir və cərəyanın artmasına gətirir. $D_\gamma \geq 500$ Qr dozada γ -şüalanma zamanı keçiriciliyin azalması baş verir ki, bu da defektlərin konsentrasiyasının artması ilə əlaqədar ola bilər.

6. Göstərilmişdir ki, Fe konsentrasiyasının artması qadağan olunmuş zonanın eni cüzi azalır. γ -şüalanmanın təsiri ilə ($D_\gamma=30$ kQr \div 130 kQr) işığın buraxma faizi artır. Müəyyən edilmişdir ki, $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ ($x=0.08$) nazik təbəqələrinin $\lambda = 400$ nm-1200 nm dalğa uzunluğu diapazonunda fətohəssasdır. Nümunələr $D_\gamma = 1$ kQr dozaya qədər γ -kvantlarla şüalanmada fətohəssaslığını saxlayır.

7. MDK metodu ilə vahid texnoloji tsikldə, vakuumu pozmadan CdTe/ $\text{Cd}_{1-x}\text{Fe}_x\text{Te}$ HK alınmasının optimal rejimi və fətohəssaslıq aralığı müəyyən edilmişdir. Yüklə daşıyıcıların yaşama müddəti $\tau=28-35$ mks, səthin rekombinasiya sürəti isə $s=50$ sm/s təşkil etmişdir. Göstərilmişdir ki, VAX qeyri-simmetrikdir, düzünə cərəyanlar 0.5 - 1.2 mV gərginlikdə əks cərəyanları üstələyir.

**Dissertasiyanın əsas nəticələri aşağıdakı nəşrlərdə
çap edilmişdir:**

1. Abdullayeva, A.A. Cd_{1-x}Fe_xTe bərk məhlullarının nazik təbəqələrinin alınma xüsusiyyətləri // Doktorantların və gənc tədqiqatçıların XXI respublika elmi konfransı, - Bakı, - 24-25 oktyabr, - 2017, - s. 116.
2. Мехрабова, М.А. Влияние γ -излучения на ЭПР спектры твердых растворов Cd_{1-x}Mn(Fe)_xTe / М.А. Мехрабова, И.Р. Нуриев, Т.И. Керимова, [и др.] // Azerbaijan Journal of Physics, - AJP FİZİKA, - 2018, vol. XXIV, - №3, - section: Az, - p. 128-129. <http://www.physics.gov.az/archaz.html>
3. Мехрабова, М.А., Нуриев, И.Р., Оруджев, Г.С., Керимова, Т.И., Абдуллаева, А.А. ЭПР исследования твердых растворов Cd_{1-x}Mn(Fe)_xTe // Azərbaycan Xalq Cümhuriyyətinin 100 illik yubileyinə həsr olunmuş beynəlxalq elmi-texniki konfrans, - Sumqayıt, - 24-25 may, - 2018, - s. 174-176.
4. Нуриев, И.Р., Мехрабова, М.А., Назаров, А.М. и др. Особенности роста и влияние ионизирующего излучения на фотопроводимость эпитаксиальных пленок Cd_{1-x}Mn(Fe)_xTe // Международная научно-техническая конференция и школа по фотоэлектронике и приборам ночного видения, - Москва, НПО «Орион», 24-26 мая, 2018, - с. 573-575. <https://elibrary.ru/item.asp?id=36653107>
5. Mehrabova, M.A., Nuriyev, H.R., Orujov, H.S., Hasanov, N.H., Abdullayeva, A.A., Nazarov, A.M., Huseynov, N.I., Gulmammadov, K.D., Asadov, F.G. First-principles study of defects in CdMn(Fe)Te. Effect of γ -irradiation on optical properties of CdMn(Fe)Te epitaxial films // 7th Rostocker International Conference “Thermophysical Properties to Technical Thermodynamics” (Thermam 2018), - Rostok, Germany, - 26-27 July, - 2018, - p. 45. https://www.ltt.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/Alle_MSF/LTT/Thermam/Abstract_Book_THERMAM_2018.pdf

6. Нуриев, И.Р., Назаров, А.М., Мехрабова, М.А., Садыгов, Р.М., Абдуллаева, А.А., Мирзоев, Э.И. Особенности роста и морфология поверхности эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Fe_xTe$ // XXVII Российская конференция «Современные методы электронной и зондовой микроскопии в исследованиях органических, неорганических наноструктур и нанобиоматериалов» - RCEM 2018, - Россия, Черноголовка, 26-30 августа, - 2018, - с. 381-382. RCEM-2018_abstracts_volume_1_(conference).pdf (tcen.ru)
7. Нуриев, И.Р., Мехрабова, М.А., Керимова, Т.И., Касымов, Р.Д., Абдуллаева, А.А. Влияние γ -излучения на ЭПР спектры твердых растворов $Cd_{1-x}Mn(Fe)_xTe$ // Akademik N.V. Abdullayev in 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans və məktəb. Modern trends in condensed matter physics, MTCMP-2018, - Bakı, - 24-26 sentyabr, - 2018, - s. 110-111. [http://irp.science.az/uploads/pdf/7\)_irp_journal_-_2018-2_51-54.pdf](http://irp.science.az/uploads/pdf/7)_irp_journal_-_2018-2_51-54.pdf)
8. Мехрабова, М.А., Керимова, Т.И., Нуриев, И.Р., Оруджев, Г.С., Абдуллаева, А.А. Диэлектрические свойства эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Fe_xTe$ // “Ölçmə və keyfiyyət: problemlər, perspektivlər” beynəlxalq elmi-texniki konfransın materialları, - Bakı, - AzTU, - 21-23 noyabr, - 2018, - s. 326-328.
9. Мехрабова, М.А., Керимова, Т.И., Нуриев, И.Р., Оруджев, Г.С., Абдуллаева, А.А. Влияние γ -излучения на диэлектрические свойства полумагнитных полупроводников $Cd_{1-x}(Fe)Te$ // 13-14 noyabr 2018-ci il tarixində AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutunda Akademik M.K. Kərimovun anadan olmasının 70 illiyinə həsr olunmuş “Radiasiya prosesləri və onların tətbiqi” mövzusunda Beynəlxalq Konfransın materialları əsasında. - Baku, - Journal of Radiation Researches, - 2018, - V.5, - No 2, - p. 51-54. [http://irp.science.az/uploads/pdf/7\)_irp_journal_-_2018-2_51-54.pdf](http://irp.science.az/uploads/pdf/7)_irp_journal_-_2018-2_51-54.pdf)

10. Mehrabova, M.A., Nuriyev, H.R., Orujov, H.S., Hasanov, N.H., Abdullayeva, A.A., Suleymanov, Z.I. Ab initio calculations of electronic structure of CdFeTe and optical properties // Conference proceedings Modern Trends in Physics. - Baku, - 01-03 May, - 2019, - p. 39-42. [http://static.bsu.az/w28/MTPPhysics/MTPPhysics2019/Konferen ce%20MTP%20proceeding%20\(New\).pdf](http://static.bsu.az/w28/MTPPhysics/MTPPhysics2019/Konferen ce%20MTP%20proceeding%20(New).pdf)
11. Mehrabova, M.A., Nuriyev, H.R., Orujov, H.S., Hasanov, N.H., Abdullayeva, A.A. Electrical and Photoelectrical Properties of CdTe/CdMnTe Thin-Film Heterojunctions // RAD7 - Seventh international conference on radiation in various fields of research. - Book of Abstracts. - Montenegro, - 10-14 June, - 2019, - p. 196. https://www.rad-conference.org/Book_of_Abstracts-RAD_2019.pdf
12. Mehrabova, M.A., Nuriyev, H.R., Orujov, H.S., Kerimova, T.I., Abdullayeva, A.A., Hasanov, N.H., Nazarov, A.M. Effect of gamma irradiation on conductivity of Cd_{1-x}Fe_xTe // International conference on “Mechanisms and non-linear problems of nucleation and growth of crystals and thin films”, - Russia, Saint Petersburg, - 1-5 July, - 2019, - p. 158, <http://mgctf.ru/>
13. Мехрабова, М.А., Оруджев, Г.С., Нуриев, И.Р., Гасанов, Н.Г., Абдуллаева, А.А., Казимова, А.И. Расчеты из первых принципов энергий дефектообразования в полумагнитных полупроводниках // “Maqnit yumşaq ərintilərin hərbi sahədə tətbiqi perspektivləri” Beynəlxalq elmi-praktik konfrans, - Bakı, - 9-10 oktyabr, - 2019, - s. 22-29.
14. Abdullayeva, A.A. Structure and surface morphology of Cd_{1-x}Fe_xTe(Se) epitaxial films // 2nd International Turkish World Engineering and Science Congress, - Antalya, - Türkiye, - 7-10 November, - 2019, - s. 383-385. https://www.researchgate.net/profile/Bekir-Aksoy/publication/338585537_GOMULU_SISTEM_VE_SERA_OTOMA_SYO_NU/links/5e64c023a6fdcc37dd0d5e2a/GOeMUeLUe-SISTEM-VE-SERA-OTOMASYONU.pdf

15. Mehrabova, M.A. Effect of gamma irradiation on conductivity of $Cd_{1-x}Fe_xTe$ / M.A. Mehrabova, H.R. Nuriyev, H.S. Orujov [et al.] // ФТТ (Physics of the Solid State), - St.Petersburg, - 2019, - 61, - No. 12, - p. 2306-2309. <http://journals.ioffe.ru/articles/48541> Springer <http://link.springer.com/article/10.1134/S1063783419120291>
16. Абдуллаева, А.А. Ab initio расчеты дефектов в полумагнитных полупроводниках $CdMnSe$ / А.А. Абдуллаева, Н.Г. Гасанов, А.И. Кязимова [и др.] // Известия Российской Академии Наук, Механика Твердого Тела, - 2020, - № 1, - с. 130-136. <https://sciencejournals.ru/view-article/?journal=mekhtt&year=2020&v=0&n=1&a=MekhTT2001002Ablullaeva>
17. Mehrabova, M.A. Ab initio calculations of defects in $CdMnSe$ semimagnetic semiconductors / M.A. Mehrabova, H.S. Orujov, N.H. Hasanov, [et al.] // Mechanics of Solids, - 2020, - V. 55, - No. 1, - p. 108-113. <https://link.springer.com/article/10.3103/S0025654420010021>
18. Abdullayeva, A.A. Effect of gamma irradiation on optical properties of $Cd_{1-x}Fe_xTe$ epitaxial films / A.A. Abdullayeva // АМЕА Хəбərləri, Bakı, - 2020, 11, - №5, - p. 34-37. [http://www.physics.gov.az/Transactions/2020/journal2020\(5\).pdf](http://www.physics.gov.az/Transactions/2020/journal2020(5).pdf)
19. Mehrabova, M.A. Dielectric permittivity and conductivity in $Cd_{1-x}Fe_xTe$ semimagnetic semiconductors / M.A. Mehrabova, H.R. Nuriyev, T.I. Kerimova [et al.] // Journal “Engineering World”, - 2020, V. 2, - p.247-249. <https://wseas.com/journals/articles.php?id=6920>
20. Mehrabova, M.A., Nuriyev, H.R., Kerimova, T.I., Abdullayeva, A.A., Hasanov, N.H. Electrical impedance spectroscopy of $Cd_{1-x}Fe_xTe$ semimagnetic semiconductors // Materials of international congress on natural sciences, USBIK 2021, - Turkey, - Kayseri, - 26-28 February, - 2021, - p. 22-27. https://www.researchgate.net/publication/353638285_USBIK_2021_ONLINE_INTERNATIONAL_CONGRESS_ON_NATURAL_SCINENCES_FULL_TEXT_E

BOOK_USBIK_2021_CEVIRIMICI_ULUSLARARASI_FE
N_BILIMLERI_KONGRESI_TAM_METIN_E-KITABI
Congress_Dates

21. Abdullayeva, A.A. Qamma şüalanmanın $Cd_{1-x}Fe_xTe$ epitaksial təbəqələrinin kristal quruluşuna təsiri // Bakı Universitetinin Xəbərləri. Fizika-riyaziyyat elmləri seriyası. - Bakı, - 2021, -№2, - s.156-160.
[http://static.bsu.az/w1/pdf%202021%202/fizika-riyaziyyat-2-2021%20\(1\).pdf](http://static.bsu.az/w1/pdf%202021%202/fizika-riyaziyyat-2-2021%20(1).pdf)
http://bsu.edu.az/az/content/bak_universitetinin_xbrlri_fizikar_iyaziyyat_seriyas
22. Mehrabova, M.A., Abdullayeva, A.A. Electrical properties of $Cd_{1-x}Fe_xTe$ thin films // Book of Abstracts “THERMAM 2021” 10th Rostocker International Conference: “Technical Thermodynamics: Thermophysical Properties and Energy Systems”, - Institute of Technical Thermodynamics, - University of Rostock, - Rostock, - Germany, - September, - 9th-10th, - 2021, - p. 120.https://www.ltt.uni-rostock.de/storages/uni-rostock/Alle_MSF/LTT/Thermam/Abstract_BookTHERMAM_2021.pdf
23. Мехрабова, М.А., Нуриев, Г.Р., Абдуллаева, А.А. Влияние γ -излучения на морфологию поверхности эпитаксиальных пленок $Cd_{1-x}Fe_xTe$ // Объединённая конференция «Электронно-лучевые технологии и рентгеновская оптика в микроэлектронике» КЭЛТ 2021, Тезисы докладов, ФГБУН ИПТМ РАН. - г. Черноголовка, - 13 - 17 сентября, - 2021, - с. 28-29. <http://purple.ipm.ru/cebt/2021.pdf>
24. Abdullayeva, A.A. The effect of gamma irradiation on the crystal structure of $Cd_{1-x}Fe_xTe$ thin films // A.A. Abdullayeva // Azerbaijan Journal of Physics, - 2022, - vol. XXVIII, - № 2, - section En, - p. 3-6.<http://www.physics.gov.az/archen.html>
25. Mehrabova, M.A., Abdullayeva, A.A., Hasanov, N.H., Huseynov, N.I. Effect of gamma irradiation on electrical and photoelectrical properties of $CdFeTe$ thin films // International Social and Technical Sciences Symposium USTEK'22, - Türkiye, - Konya, - Selçuk Üniversitesi, - 12-13 September, -

- 2022, - p. 45-47.<https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/3276855>
26. M.A.Mehrabova, A.A.Abdullayeva, N.H.Hasanov, N.I. Huseynov. Effect of gamma irradiation on electrical and photoelectrical properties of CdFeTe thin films // Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi, - Özel Sayısı, - (20) 2022, 1, - s. 115-119. <http://sosyoteknik.selcuk.edu.tr/sustad/article/view/218>
 27. Мехрабова, М.А., Гусейнов, Н.И., Абдуллаева, А.А., Садыгов, Р.М. Рекомбинационные процессы в тонкопленочных гетереструктурах CdTe/CdFeTe // Ümummilli Lider Heydər Əliyevin 100 illiyinə həsr olunmuş “Dördüncü sənaye inqilabi və innovativ texnologiyalar” Beynəlxalq elmi-praktik konfransı, - Gəncə, - 3-4 may, - 2023, - s. 127-129.
 28. Мехрабова, М.А., Гусейнов, Н.И., Абдуллаева, А.А., Назаров, А.М. Механизмы токопереноса в гетереструктурах на основе тонких пленок CdTe:CdFeTe // Ümummilli lider Heydər Əliyevin 100 illiyinə həsr olunmuş “Radiasiya texnologiyaları və onun tətbiqləri” adlı Respublika elmi-texniki konfransı, - Radiasiya Problemləri İnstitutu, - 5 May, - 2023.
 29. Mehrabova M.A., Huseynov N.I., Abdullayeva A.A., Sadigov R.M. Electrical properties of thin-film CdTe:CdFeTe heterojunctions // Ümummilli lider Heydər Əliyevin 100 illiyinə həsr olunmuş “Nəzəri və tətbiqi fizikanın inkişafı” mövzusunda Beynəlxalq konfrans, - Fizika İnstitutu, - 8-9-İyun, - 2023, - AJP FIZIKA, - section C, - p.67-70, http://physics.gov.az/physart/015_2023_C-HAA_67_en.pdf

Dissertasiyanın müdafiəsi _____ 2023-ci il tarixində, saat _____-da Milli Aviasiya Akademiyası nəzdində fəaliyyət göstərən ED 2.01 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1045, Bakı şəhəri, Mərdəkan pr. 30, MAA, 3-cü tədris binasının iclas zalı.

Dissertasiya ilə Milli Aviasiya Akademiyasının kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Milli Aviasiya Akademiyasının rəsmi internet saytında (naa.edu.az) yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat _____ 2023-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: __10.2023

Kağızın formatı: A5

Həcm: 27052 işarə

Tiraj: 100