

**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI ELM VƏ TƏHSİL NAZİRLİYİ**  
**AZƏRBAYCAN TEXNİKİ UNİVERSİTETİ**

---

**YÜKSƏK TƏHSİL İNSTİTUTU**

Ələsgərli Rəvan Zaur oğlu

Əliyev Rəşad Səməd oğlu

**“GÜNƏŞ ENERJİSİ ÇEVİRİCİLƏRİ ÜÇÜN YENİ MATERİALLARIN  
İŞLƏNİLMƏSİ”**

mövzusunda

**MAGİSTRİK DİSSERTASİYASI**

060627 – “Elektronika, telekommunikasiya və radiotexnika mühəndisliyi”

“Sənaye elektronikasi”

Elmi rəhbər: f.e.d., professor Mehrabova Mətanət Əhməd qızı

**BAKİ – 2024**

***MAGİSTRANTIN ANDI***

“Günəş enerjisi çeviriciləri üçün yeni materialların işlənməsi” mövzusunda təqdim etdiyimiz magistrlik dissertasiyasını elmi əxlaq normalarına və istinad qaydalarına tam riayət etməklə və istifadə etdiyimiz bütün mənbələri ədəbiyyat siyahısında əks etdirməklə yazdığımız and içirik və magistrlik dissertasiyasının AzTU Kitabxana İnformasiya Mərkəzində saxlanılması, həmin mərkəz tərəfindən AzTU Rəqəmsal Repozitoriyasına daxil edilərək repozitoriyanın veb saytında yerləşdirilməsinə icazə veririk.

Rəvan Ələsgərli \_\_\_\_\_

Rəşad Əliyev \_\_\_\_\_

**05.06.2024**

## MÜNDƏRİCAT

<b>İXTİSARLARIN SİYAHISI</b> .....	4
<b>GİRİŞ</b> .....	5
<b>FƏSİL 1. GÜNƏŞ ENERJISI ÇEVİRİCİLƏRİ ÜÇÜN MATERIAL- LAR HAQQINDA ƏDƏBİYYAT MƏLUMATLARI (Ələsgərli R., Əliyev R.)</b> .....	8
1.1. Yarımmaqnit yarımkeçiricilər və onların xassələri haqqında məlumat....	8
1.2. Nazik lövhələrin böyüdülməsi .....	8
1.3. $Cd_{1-x}Mn_xSe$ yarımmaqnit yarımkeçiriciləri, onlar əsasında nazik lövhlər və quruluşlar.....	12
<b>FƏSİL 2. <math>CdMnSe</math> NAZİK LÖVHƏLƏRİ VƏ ONLAR ƏSASINDA QURULUŞLARIN ALINMA METODLARI (Ələsgərli R., Əliyev R.)</b> .....	15
2.1. $Cd_{1-x}Mn_xSe$ bərk məhlullarının sintezi .....	15
2.2. $Cd_{1-x}Mn_xSe$ əsaslı nazik lövhələr və quruluşların alınması metodları.....	19
2.3 Molekulyar Dəstədən Kondensasiya metodu .....	21
<b>FƏSİL 3. <math>CdMnSe</math> NAZİK TƏBƏQƏLƏRİ ƏSASINDA FOTOHƏSSAS QURULUŞUN YARADILMASI (Ələsgərli R., Əliyev R.)</b> .....	32
3.1 $CdMnSe$ nazik təbəqələrinin alınması və səth morfologiyasının tədqiqi	32
3.2 $CdMnSe$ nazik təbəqələrinin rentgendifraktometrik analizi .....	36
3.3 $CdMnSe$ epitaksial təbəqələrinin əsasında fotohəssas heteroquruluşun yaradılması .....	38
<b>ƏSAS NƏTİCƏLƏR</b> .....	42
<b>ƏDƏBİYYAT SİYAHISI</b> .....	43

## İxtisarlarnın siyahısı

**AB** – ani buxarlandırma

**EPR** – elektron paramaqnit rezonansı

**XRD** – rentgen difraksiya

**İDE** – isti divar eptaksiyası

**İQ** – infraqırmızı

**MDE** – molekulyar dəstədən eptaksiya

**MDK** – molekulyar dəstədən kondensasiya

**SEM** – Skanedici elektron mikroskopu

**VAX** – volt-amper xarakteristikaları

**YMYK** – yarımmaqnit yarımkeçiricilər

## GİRİŞ

**Mövzunun aktuallığı.** Yeni materialların alınması, onların xassələrinin öyrənilməsi, bu xassələrin idarə olunması müasir elektronikanın mühüm məsələlərdən biridir. Qeyd edək ki, keşən əsrin 70-ci illərindən yarımmaqnit yarımkeçiricilər (YMYK) geniş tədqiq olunmağa başlayıb. YMYK adi və maqnit yarımkeçiricilərinin xassələrini özündə dağıdığına görə unikal xassələrə malikdirlər. Belə ki, maqnit xassəsi daşıyan elementlə aşqarlanması bu yarımkeçiricilərin xassələrinin maqnit sahəsi ilə idarə olunmasına və qadağan olunmuş zonasının eninin dəyişməsinə gətirir (Mehrabova & Mekhrabov, 2023; Mehrabova, Sadigov, Nuriyev & Nazarov, 2023).

Son illər ərzində, günəş panellərinə tələbat əhəmiyyətli dərəcədə artmışdır. Dünya bazarında istehsalçılar arasında güclü rəqabət günəş elementlərinin texniki parametrlərinin daima yaxşılaşdırılmasını və maya dəyərini azaldılmasını tələb edir. Bu baxımdan yeni nəsəl günəş enerjisi çeviricilərinin işlənilib hazırlanması aktual məsələdir.

Son bir neçə il ərzində YMYK-lərin nazik təbəqələri əsasında günəş elementlərinin hazırlanan böyük maraq və əhəmiyyət kəsb edir. CdMnSe nazik təbəqələri bu məqsədlə günəş enerjisi çeviriciləri üçün potensial nümunə ola bilər. Belə ki, CdMnSe YMYK-ləri otaq temperaturunda yüksək fotohəssaslığa malikdirlər, qadağan olunmuş zonasının enini genişdir və onların bir sıra fiziki xassələrini nümunənin tərkibində keçid metal elementinin konsentrasiyasını dəyişməklə idarə edilmək mümkündür və s. Günəş enerjisi çeviriciləri üçün onların nazik təbəqələri əsasında hazırlanan heteroqəçidlər analoqlarından fərqli olaraq geniş spectral oblastda udma qabiliyyətinə malikdirlər, ölçüləri kiçikdir ki, bu da maya dəyərini aşağı düşməsinə gətirib çıxarır.

**Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri.** Dissertasiya işində əsas məqsəd YMYK olan CdMnSe nazik lövhələrinin alınması, optik xassələrinin tədqiqi, günəş enerjisi çeviriciləri üçün istifadə imkanlarının müəyyən edilməsindən ibarətdir.

Aşağıdakı məsələlərin həlləri nəzərdə tutulmuşdur:

- Molekulyar Dəstədən Kondensasiya (MDK) üsulu ilə,  $10^{-4}$  Pa vakuumda  $x=0.02, 0.05$  tərkibli  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  nazik lövhələrinin böyüdülməsi;
- $Cd_{1-x}Mn_xSe$  ( $x=0.02, 0.05$ ) nazik lövhələrinin kristal quruluşu, səthinin vəziyyəti, optik və elektrik xassələrinin tədqiqi.
- $CdSe/Cd_{1-x}Mn_xSe$  ( $x=0.02$ ) heteroquruluşun alınması və test edilməsi

**Tədqiqatın obyektı və predmeti.** Tədqiqatın obyektı  $CdMnSe$  yarımmaqnit yarımkeçiriciləri, tədqiqatın predmeti isə  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  ( $x=0.02, 0.05$ ) nazik lövhələrinin günəş elementlərində istifadəsi üçün optik xassələrinin öyrənilməsidir.

#### **Tədqiqat metodları.**

- $Cd_{1-x}Mn_xSe$   $x=0.02, 0.05$  nazik lövhələri  $10^{-4}$  Pa vakuumda MDK üsulu ilə böyüdülmüşdür;
- Alınmış nümunələrin kristal mükəmməlliyi Almaniyanın BRUKER XRD D8 ADVANCE cihazında XRD üsulu ilə, tərkib analizi isə EDX üsulu ilə öyrənilmişdir;
- Nazik lövhələrin səthinin vəziyyəti JEOL JSM-7600F Schottky Field Emission SEM öyrənilmişdir;
- Nümunələrin elektrik xassələrini rəqəmsal universal millivoltmetrlə ölçülmüşdür.
- Optik xassələr SPECORD 210 PLUS UV-Vis spektrofotometrində tədqiq edilmişdir.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi.**  $x=0.02, 0.05$  kimyəvi tərkibə malik  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  nazik lövhələrinin və heteroquruluşun böyüdülməsi xüsusiyyətləri müəyyən edilmişdir;  $Cd_{1-x}Mn_xSe$   $x=0.02, 0.05$  nazik təbəqələrinin elektrik və optik xassələri öyrənilmişdir.  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  əsaslı heteroquruluşun fotodetektor xassəsi müəyyən edilmişdir

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti.** Dissertasiyada əldə olunmuş nəticələr günəş elementlərinin hazırlanmasında istifadə edilə bilər.

**Müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar.**  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  ( $x=0.02, 0.05$ ) bərk məhlullarının sintezi və onlar əsasında nazik lövhələrin alınması xüsusiyyətlərinin müəyyən edilməsi;  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  ( $x=0.02, 0.05$ ) nazik lövhələrinin elektrofiziki, və optik xassələrinə Mn atomlarının konsentrasiyasının təsirinin müəyyən edilməsi.

**Nəticələrin aprotasiyası.** Dissertasiyanın nəticələri 1-2 may 2024-cü il tarixlərində H. Əliyevin anadan olmasının 101-ci ildönümünə həsr olunmuş tələbə və gənc tədqiqatçıların “Mütərəqqi texnologiyalar və innovasiyalar” mövzusunda IX Respublika elmi-texniki konfransında məruzə edilib.

**Dissertasiya işinin giriş** hissəsində mövzunun aktuallığı, işin məqsədi, tədqiqatın işlənmə metodları, tədqiqatın praktiki əhəmiyyəti, işin strukturu və həcmi verilmişdir.

**Birinci fəsil**də CdMnSe yarımmaqnit yarımkeçiriciləri, nazik təbəqələrin və onlar əsasında quruluşların alınması və xassələri haqqında ədəbiyyat məlumatları öz əksini tapmışdır.

**İkinci fəsil**də  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  bərk məhlullarının sintezi, onlar əsasında nazik təbəqələrin alınması metodları, və həmçinin XRD, SEM EPR, VAX, optik spektrlərin ölçmə metodları haqqında məlumatlar verilmişdir

Dissertasiya işinin **üçüncü fəsil**də  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  ( $x=0.02$ ,  $x=0.05$ ) nazik təbəqələrinin və onlar əsasında quruluşların alınması və kristal quruluşunun, tərkib analizinin tədqiqinə aid tədqiqat işlərinin nəticələri verilmiş, optik və elektrik xassələri öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, tərkibində  $Mn^{3+}$  ionlarının artması qadağan olunmuş zonanın eninin azalmasına səbəb olur. Fotohəssaslığı yoxlanılmış və işıqlanmaya həssas olduğu müəyyən edilmişdir.

# FƏSİL 1. GÜNƏŞ ENERJISI ÇEVİRİCİLƏRİ ÜÇÜN MATERIALLAR HAQQINDA ƏDƏBİYYAT MƏLUMATLARI (ƏDƏBİYYAT İCMALI)

## 1.1. Yarımmaqnit yarımkeçiricilər və onların xassələri haqqında məlumat

Yarımmaqnit yarımkeçiricilər (YMYK) özündə adi yarımkeçiricilər və maqnit xassəli elementlərin xüsusiyyətlərini birləşdirir (Нуриев, Мехрабова & Назаров, 2018; Хейне, Коэн & Уейр, 1973; Perdew, Zunger, 1981). Yarımkeçiricinin tərkibində maqnit xassəli elementin konsentrasiyasını dəyişməklə və həmçinin xarici təsirlərlə (temperatur, maqnit sahəsi, ionlaşdırıcı şüalanma, təzyiq və s.) onların bir sıra fiziki xassələrini dəyişmək olur (Абдуллаева, 2020; Нуриев, Мехрабова & Назаров, 2018; Mehrabova, Nuriyev, Orujov, *et al.*, 2020). Belə olduqda, YMYK tərkibində keçid metal elementlərinin (Fe Mn, Cr, Co) olması, bu yarımkeçiricilərdə unikal xassələrin meydana çıxmasına gətirir. Məsələn, qadağan olunmuş zonasının eni, qəfəs parametrləri və buna görə də digər fiziki xassələri dəyişir ki, bunlar da cihazqayırmada və elektronikada maraq kəsb edir (Салаев, 2003; Хейне, Коэн & Уейр, 1973; Holda, Rodzik, Melnikow, *et al.*, 1995).

YMYK nümayəndəsi olan  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  bərk məhlulları və onların nazik lövhələri də mikroelektronika, spintronikada tətbiq olunur və böyük praktik əhəmiyyət kəsb edir.  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  nazik lövhələrinə aid ədəbiyyatda müəyyən qədər məlumat vardır (Аленберг, 1981; Mehrabova, Kerimova, Nuriev, *et al.*, 2018; Мехрабова, Нуриев, Керимова и др., 2018; Нуриев и др., 1999), lakin detallı araşdırma azdır və digər YMYK nisbətən bu materiallar az tədiq edilmişdir.

## 1.2. Nazik lövhələrin böyüdülməsi

İlk olaraq Nazik lövhə anlayışını 1928-ci ildə Ruaye vermişdir və o bunu bir kristal üzərində başqa kristalın istiqamətlənmiş böyüdülməsi prosesini kimi təsvir etmişdir. Bu termin yunanca epitaxy kimi işlədilmiş və “epi” - üzərində və “taxing” - nizamlı düzülüş anlayışına gəlir. Epitaksial böyümə - maddənin uyğun kristal



üzərində böyüdülməsi zamanı kristallaşaraq monokristal strukturlu epitaksial lövhənin alınmasıdır. Bu zaman kristalın istiqamətləndirilmiş böyüməsi baş verir və nəticədə əmələ gələn yeni faza altlığın malik olduğu kristal qəfəsin davamı olur. Beləliklə, keçid təbəqəsi əmələ gəlir.

Epitaksial nazik lövhələri təbəqələr bir neçə növə ayrılır.

1) Homoepitaksiya – altlıq və buxarlandırılan maddənin kristal quruluşu eynidir və uyğun kimyəvi tərkibə malikdirlər.

2) Heteroepitaksiya – altlıq ilə buxarlandırılan maddənin kristal quruluşu eynidir, lakin kimyəvi tərkibləri fərqlidir. Yarımkəçiricilərdə heteroepitaksial lövhələr yaranır və bu da heterokeçidlərin - heterogen elektron-deşik keçidlərinin yaranmasına gətirir. Heteroepitaksiyanın yaranması üçün kimyəvi qarşılıqlı əlaqədə olmayan elementlər və birləşmələr sistemi olmalıdır.

3) Xemoepitaksiya – kristalın böyüməsi zamanı altlığın maddəsi ilə başlanğıc fazanın maddəsi arasında qarşılıqlı kimyəvi təsir hesabına yaranan yeni kimyəvi tərkibli nazik lövhədi, lakin altlığın kristal quruluşunu davam etdirir. Bu halda lövhələr yarandığı zaman heterokeçid və yaxud düzləndirməyən kontakt əmələ gələ bilər.

4) Reotaksiya – (“reos” – yunan dilindən tərcümədən sürüşmə deməkdir) altlıq mexaniki daşıyıcı qismində istifadə edilərək tarazlıq şəraitində kristal lövhə böyüdülmür. Altlıq şüşə, amorf və ya böyüdülmən kristal fazanın quruluşundan fərqli quruluşda ola bilər.

Yarımkəçirici birləşmələr və onların nazik lövhələri elektronikada tətbiq tətbiq baxımından geniş imkanlara malikdirlər. Yarımkəçirici materiallar əsasında  $p-n$  keçidlərin alınması üçün məhz epitaksial böyümə metodlarının tətbiqi edilməsi və nazik lövhəli quruluşların alınması elektronikanın inkişafında yeni istiqamətlər açdı. Massiv kristallar tədricən öz yerini epitaksial lövhələrə verərək yeni nəsəl yarımkəçirici əsaslı cihazların yaranmasına, hazırlanma vaxtının qısaldılmasına, maya dəyərinin azalmasına gətirdi. Nazik epitaksial lövhələr əsasında hazırlanan cihazları, massiv kristallar əsasında hazırlanan cihazlardan üstün edən cəhətlər lövhənin müqavimətinin sabit olması, yükdaşıyıcıların yüklüklüyünün və yaşama

müddətinin idarə olunmasıdır.

Qeyd edək ki, elektromaqnit dalğaları spektrinin infraqırmızı (İQ) oblastında işləyən fotodiodlar, günəş elementləri və radiasiya detektorlarının hazırlanmasında  $A^{II}B^{VI}$  qrup yarımkəçirici birləşmələri öz uğurlu həllini tapmışdır. Burada nümunən qalınlığı, tərkibi, kristal mükəmməlliyi, bircinsliyi mütləq idarə olunmalıdır və bunun üçün müxtəlif metodlar vardır. Bu metodlardan ən geniş yayılmış metodlar aşağıdakılardır:

1. Maye fazadan epitaksiya.
2. Molekulyar dəstədən kondensasiya (MDK)
3. İsti divar eptaksiyası (İDE).

Bu metodlardan ucuz əmələgəlməsinə və texnologiyasının asanlıqına görə termiki vakuum buxarlandırmasının növləri olan molekulyar dəstədən kondensasiya və maye fazadan çökdürmə metodları daha çox istifadə edilir. Bu metodlarla aparılan epitaksial böyümə prosesi, uyğun yarımkəçirici materialların məhlul-ərintilərindən baş verir. Maye fazadan epitaksiya prosesi «açıq» və «bağlı» ola bilər. Birinci halda proses təsirsiz qazlar cərəyanında, ikinci halda isə sorulmuş və lehirlənmiş ampulada aparılır.

Cihazqayırmada nazik lövhələrin alınmasında MDK metodu geniş istifadə olunur. MDK metodu  $A^{II}B^{VI}$  qrup yarımkəçirici birləşmələrin və onlar əsasında nazik lövhələrin alınması üçün tətbiq olunur. MDK metodu istifadə etməklə CdTe, CdSe və CdS yarımkəçirici birləşmələrinin polikristal nazik lövhələri alınmış və onların əsasında günəş enerjisi çeviriciləri və radiasiya detektorları düzəldilmiş, uğurla istifadə edilir.

Termiki vakuum buxarlandırma metodu vasitəsilə epitaksial təbəqələrin alınması üçün ilkin material, qızdırıcı naqillə əhatə olunmuş putadan ibarət buxarlandırıcıya doldurulur. Altlıq, qızdırılan altlıq saxlayana yerləşdirilir. Onun temperaturuna termocütlə nəzarət olunur. Buxarlandırıcı ilə altlıq saxlayanın arasında hərəkət edən arakəsmə yerləşdirilir. Təbəqələrin qalınlığı buxarlanma prosesində kvarts qalınlıq ölçənlə müəyyən edilir. Buxarlandırıcının çıxış deşiyinin ölçüsünü və temperaturunu dəyişməklə alınan təbəqədə yükdaşıyıcıların konsentrasiyasını və keçiriciliyin tipini

dəyişmək mümkündür. Qeyd etmək lazımdır ki, buxarlandırıcının temperaturunu artırıqda buxarlanma sürəti böyüyür.

Klassik vakuum buxarlandırma metodu 60-cı illərin ortalarından başlayaraq elmi tədqiqat insitutlarında öz geniş tətbiqini tapmışdır.

Bu metodun çatışmamazlığı aşağıdakılardan ibarətdir:

- Təbəqələr termodinamik tarazlıqdan kənar bir şəraitdə böyüyür;
- Təbəqələrin kimyəvi tərkibi buxarlanan maddənin tərkibindən nəzərə çarpacaq dərəcədə fərqlənir;
- Buxarlanma prosesində mürəkkəb birləşmələrin qismən parçalanması və uyğun olaraq ayrı-ayrı komponentlərin müxtəlif kondensasiya sürətinə malik olması nəticəsində onlardan alınan təbəqələrin kimyəvi tərkibi qalınlıq boyu dəyişə bilər;
- Altlığın temperaturunun böyük qiymətlərində ( $\geq 673$  K), səthə düşən molekulların intensiv əks olunması nəticəsində külli miqdarda material itkisi baş verir.

Bu çatışmamazlıqlara baxmayaraq, klassik vakuum buxarlandırması metodu sadəliyinə və iqtisadi sərfəliliyinə görə  $A^{II}B^{VI}$  tip birləşmələrin təbəqələrinin alınmasında indiyə qədər geniş istifadə olunur. Bu metod vasitəsilə müxtəlif bərk məhlulların epitaksial təbəqələri və onlar əsasında  $p-n$  strukturlar alınmışdır.

Bu metodun sonrakı inkişafı prosesində molekulyar dəstədən kondensasiya MDK metodu yaranmışdır. Epitaksial təbəqələrin alınmasında MDK metodu geniş tətbiq edilir (Нуриев, Мехрабова, Керимова, Касымов & Абдуллаева, 2018; Mehrabova, Huseynov, Abdullayeva & Sadigov, 2023; Жуковски, 2007; Bachelet, Hamann & Schluter, 1982; Bryant, 1982; Subramanyam, 2015).

MDK metodunu fərqləndirən cəhət ifrat yüksək vakuumdur ( $\leq 1,3 \cdot 10^{-9}$  mm.Hg.st.). Digər tərəfdən, buxarlandırma prosesində altlığın temperaturuna, onun səthinin vəziyyətinə və həmçinin molekulyar dəstənin tərkibinə eyni zamanda nəzarət edilir. Mənbənin buxarlandırıcısı qismində təmiz qrafitdən hazırlanmış Knudsen oyuğu istifadə olunur. Proses zamanı Knudsen oyuğunun temperaturu  $\pm 1$  K dəqiqliklə idarə edilir. MDK metodu yüksək keyfiyyətli epitaksial təbəqələrin və

onların əsasında optoelektron cihazların hazırlanmasında əhəmiyyətli yer tutur.

MDK metodunun üstünlükləri aşağıdakılardır:

- Epitaksial təbəqələrin alınması nisbətən aşağı temperaturalarda aparılır;
- Kondensasiya sürətini geniş intervalda idarə etmək və dielektrik altlıqlar üzərində epitaksial təbəqələr almaq olur;
- Buxarlandırma prosesinin elektron hesablayıcı maşınların köməyiylə, tam avtomatlaşdırılması üçün böyük imkanlar açır;
- Kimyəvi tərkibinə və xassələrinə nəzərən bircins, praktiki olaraq istənilən qalınlıqlı, aşqarlanmış, epitaksial təbəqələrin alınmasını təmin edir.

### **1.3. $Cd_{1-x}Mn_xSe$ yarımmaqnit yarımkeçiriciləri, onlar əsasında nazik lövhələr və quruluşlar**

Ədəbiyyatda (Eid, Seddek, Salem & Dahy, 2008)  $CdMnSe$  üçlü qarışığının stexiometrik külçə materialları vakuumla bağlanmış silisium borularında tərkib elementlərinin birbaşa əriməsi yolu ilə hazırlanmışdır. XRD tədqiqatları göstərmişdir ki, tədqiqat nümunəsi heksoqonal quruluşa malikdir. Hesablanmış qəfəs parametrləri Vegard qanununa uyğun olaraq Mn tərkibinə görə xətti dəyişdi. Əvvəlcədən sintez edilmiş külçə materialından şüşə altlıq üzərində termal buxarlanma yolu ilə nazik təbəqələr böyüdülmüşdür. Alınmış nazik təbəqələrdə rentgen və elektron difraksiya tədqiqatları  $T = 453$  K qiymətində amorf dan kristal fazaya keçidi göstərmişdir.. EDAX tədqiqatları göstərmişdir ki, buxarlanmadan qabaq nümunələr stoixiometrikə yaxındır. Böyüdülmüş  $CdMnSe$  təbəqələrinin udma və əks plunma spektrləri 500-2500 nm dalğa uzunluğu spektral diapazonunda normal işıq üası altında çəkilmişdir. Sındırma əmsalı, buraxma spektrində dalğa uzunluğunun buraxma sərhəddində müəyyən edilmişdir. Dispersiya parametri ölçülmüşdür ki, oradan da static və dinamik sındırma əmsalları hesablanmışdır. Tədqiq olunan təbəqələrin udma əmsalının təhlili iki optik keçid mexanizminin mövcudluğunu aşkar etdi: icazə verilən birbaşa və qadağan olunmuş birbaşa, müvafiq enerjilər qiymətləndirilmişdir.

CdSe kristalında İkivalentli manqanın paramaqnit rezonans spektri 77°K temperaturunda ölçülmüşdür (S. Reuben, 1963). Parametrlər belə olmuşdur:  $g=2.003\pm 0.001$ ,  $A=(-62.7\pm 0.5)\times 10^{-4} \text{ sm}^{-1}$ ,  $D=(15.2\pm 0.5)\times 10^{-4} \text{ sm}^{-1}$ ,  $a=(14.3\pm 1.0)\times 10^{-4} \text{ sm}^{-1}$ ,  $F=(-2,0\pm 1,0)\times 10^{-4} \text{ sm}^{-1}$ . Qeyd etmək lazımdır ki, bu heksoqonal kristalda kub sahəsinin  $a$  parametrinin təsiri aksial sahəsinin parametri  $D$  ilə müqayisə edilə bilər.  $a$ -nın böyük qiyməti kovalentlik effektlərinə aid edilir. Ölçülmüş qiymətlərin digər wurtsit və sinkblend kristallarında tapılan qiymətlərlə müqayisəsi  $a$  qiyməti ilə kovalentliyin miqdarı arasında əlaqə olduğunu göstərir.  $D$ -nin qiyməti ilə kovalentliyin miqdarı arasında korrelyasiya da tapılır və CdSe-də  $D$ -nin aşağı qiymətini təşkil edir.

$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  monokristallarında EPR və maqnit qavrayıcılığı konsentrasiya və temperatur funksiyası kimi ölçülmüşdür. Məlumatlar göstərir ki,  $x\sim 0.22$  kritik konsentrasiya var o da sızma kritik nöqtəsi  $x_c$  ilə müəyyən edilmişdir (Oseroff, Calvo, Fisk & Acker, 1980).

$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ ,  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  və  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{S}$ -də EPR xəttinin forması mübadilədaralma mənzərəsi kontekstində təhlil edilmişdir (Samarth & Furdyna, 1988). EPR xəttinin genişliyini təkcə dipolyar qarşılıqlı əlaqəyə aid etmək mümkün olmadığını görürük və Dzyaloshinski-Moriya qarşılıqlı əlaqəsinin problemin perspektivli həllini təklif etdiyini iddia edilir.

$\text{Cd}_{1-x}\text{TxSe}$  ( $T=\text{Mn}, \text{Co}, \text{Fe}$ ) ESR impulsu yüksək maqnit sahələrində uzaq infraqırmızı diapazonda tədqiq edilmişdir (Adachi, Kido & Anderson, 1990). Yüksək Mn konsentrasiyası olan  $\text{Cd}_{1-x}\text{TxSe}$ -də temperaturun azalması ilə rezonans sahələri azalmışdır.  $\text{Cd}_{0.97}\text{Co}_{0.3}\text{Se}$ -də ESR spektri ilk dəfə müşahidə edilmiş və  $g$  əmsalı 2.30 müəyyən edilmişdir.

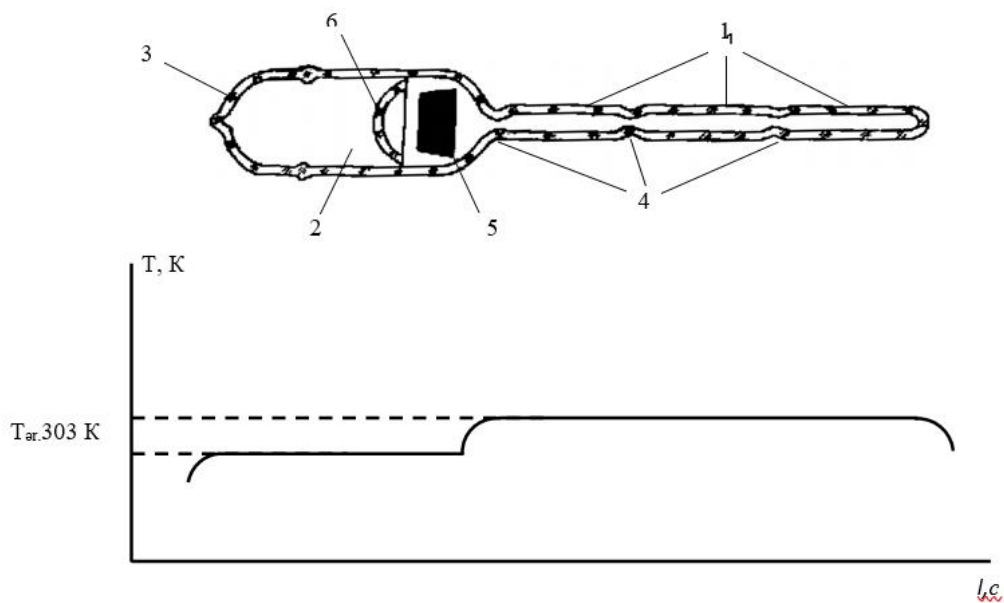
Mn atomları ilə aşqarlanmış CdSe kvant nöqtələrində optik keçidləri öyrənilmişdir (Proshchenko & Dahnovsky, 2015). Aşağı konsentrasiyalarda keçidlər spin qadağandır. Buna baxmayaraq, güclü işığın udulması eksperimental olaraq tapılmışdır. Bu təsiri izah etmək üçün bir-birinə sıx yerləşdirilmiş iki və ya daha çox Mn atomunu ehtiva edən və əks spin proyeksiyalı elektronları ehtiva edən yeni bir mexanizm təklif edilir. Bu vəziyyətdə spin-fırlanmaya ehtiyac yoxdur. Bundan əlavə,

müxtəlif çoxluqlara malik iki Mn atomunu ehtiva edən kvant nöqtələrindən udulma öyrənilib. Tapılmışdır ki, boşluqdan ən güclü udma antiferromaqnit tənzimləmə üçündür. Alınan nəticələr eksperimental konsentrasiyadan asılılıqları təsdiqləyir.

## FƏSİL 2. CdMnSe NAZİK LÖVHƏLƏRİ VƏ ONLAR ƏSASINDA QURULUŞLARIN ALINMA METODLARI

### 2.1. Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Se bərk məhlullarının sintezi

Epitaksial təbəqələrin yetişdirilməsi üçün əsas şərt təmiz buxar mənbəyindən istifadə etməkdir. Əvvəlcə mənbə qismində istifadə ediləcək və sintez olunacaq bərk məhlulların komponentləri xüsusi təmizlənmə prosesindən keçirilir. Qeyd edək ki, Cd, Se, Mn maddələrinin tərkibində müxtəlif qarışıqlar olur və bu da öz növbəsində bu maddələr əsasında hazırlanmış materialların parametrlərinə mənfi təsir göstərir. Buna görə də, mənbənin komponentləri xüsusi üsullarla təmizlənməlidir. Kadmium (Cd) maddəsinin üzərini örtən oksid təbəqəsinin təmizlənməsi üçün kvarts şüşədən hazırlanmış ampuladan istifadə olunmuşdur (şək. 2.1).



Şək. 2.1. Cd maddəsinin üzərindəki oksid təbəqəsinin təmizlənməsi üçün kvarts şüşədən hazırlanmış ampulanın quruluşu; temperaturun ampulanın uzunluğu boyunca paylanması: 1–kollektor; 2–yükləmə kamerası; 3–gövdə; 4–filtr kapilyarları; 5–Cd; 6–kvarts şüşədən hazırlanmış ekran

Təmizlənəcək komponentin yerləşdiriləcəyi ampula uzunluğunun  $\frac{1}{3}$ -ni təşkil edən enli yükləmə kamerasından,  $\frac{2}{3}$ -ni təşkil edən dar kollektor hissəsindən ibarətdir. Ampulanın kollektor hissəsində onun uzunluğu boyunca bir neçə filtr kapilyarları vardır. Hazırlanmış ampula 15-20 dəq «Çar arağı»-nda ( $\text{HJl}:\text{HNO}_3=3:1$ ) saxlanılaraq təmizlənir. Sonra ampula deionizə olunmuş suda təmiz yuyulur və 1 Pa vakuumda 393 K temperaturda 3-4 saat müddətində qurudulur. Daha sonra quruducu şkaflın qızdırıcı sistemi söndürülür və ampula otaq temperaturunadək soyudulur. Bundan sonra təmizlənmiş ampulaya Cd doldurulur.

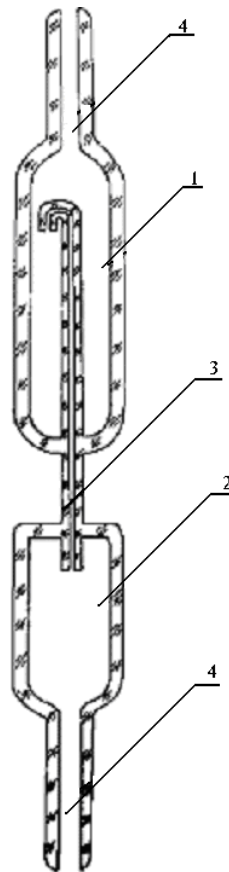
CdMnSe bərk məhlulunun tərkibində olan metal komponentlərlə yanaşı Se halkogeni də təmizləmək lazımdır. Belə ki, sənayedə istehsal olunan halkogenlərin tərkibində kül, sulfat turşusu, üzvi maddələr, mis, rütubət və s. kimi maddələr olur.

Halkogenlərin, o cümlədən, selenin (Se) təmizlənməsi maye-buxar-kristal mexanizmi üzrə baş verir. Bu üsul halkogenləri asan və gec uçan maddələrdən təmizləməyə imkan verir. Təmizləmə prosesini aparmaq üçün müxtəlif çıxışları olan iki zonalı kvars ampuladan istifadə olunur (şək. 2.2). Bu zonalar bir-biri ilə dar boru ilə birləşdirilmişdir ki, onlar da qismən biri digərinin içərisinə yeridilmişdir. Sistem şaquli vəziyyətdə goyulur ki, ərimiş maddələr birinci (yuxarı) zonadan ikinci (aşağı) zonaya keçməsin.

Birinci zonada olan dar borunun ucunun aşağı istiqamətdə əyri olması yüklənən maddənin hissələrinin birbaşa ikinci zonaya keçməsinin qarşısını alır. Ampula, 1:1 nisbətində götürülmüş xlorid (HJl) və azot ( $\text{HNO}_3$ ) turşularının məhlulunda aşındırılır, deionizə olunmuş suda yuyulur və sonra ikinci zonanın çıxışı əridilib lehimlənərək bağlanılır. Daha sonra ampula  $P \leq 5 \cdot 10^{-3}$  Pa vakuumda 1370 K temperaturda 4 saat termiki emal prosesindən keçir. Bundan sonra ampula təmizlənəcək maddə ilə doldurulur,  $P \leq 2 \cdot 10^{-4}$  Pa vakuuma qədər sorulur, əridilib lehimlənərək ağzı bağlanır və şaquli vəziyyətdə iki zonalı sobaya yerləşdirilir (şək.2.3 a, b, c). Əvvəlcə  $T_1 \leq T_{\text{or}}$ ,  $T_1 < T_2$ ,  $T_2 > T_{\text{or}}$  temperatur rejimi alınır və bu rejimdə maddə birinci zonadan ikinciyə daşınır. Bu prosesdə Se çətin uçan komponentlərdən təmizlənir. Maddənin 90-95%-nin birinci zonadan ikinci zonaya daşınmasından



sonra sobanın temperatur rejimi dəyişdirilir (şək. 2.3, c):  $T_1 > T_{\text{ər}}$ ,  $T_1 > T_2$ ,  $T_2 = T_{\text{ər}}$ . Bu temperatur rejimində asan uçan komponentlərin və maddənin bir hissəsi geriyyə, yəni ikinci zonadan birinciyə daşınır. Beləliklə, Se-nin təmizlənməsi təmin edilir. Bundan sonra birinci zonanın qızdırıcısı söndürülür və otaq temperaturunadək soyudulur. Sonra ampula sobadan çıxarılır, iki zonanı birləşdirən hissədə nazik borudan əridilib lehirlənərək ayrılır. Ampulanı təmizlənmiş komponentin istifadəsi zamanı açmaq lazımdır.



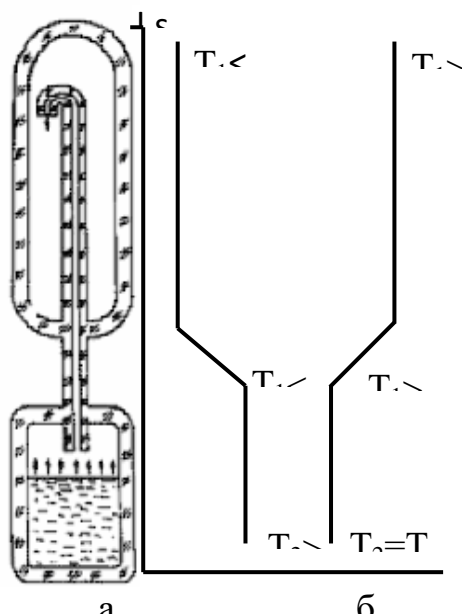
Şək. 2.2. Selenin kimyəvi aşındırmaya qədər çətin və yüngül uçan komponentlərdən təmizləməsi üçün istifadə olunan ampulanın quruluşu: 1–birinci zona; 2–ikinci zona; 3–borucuq; 4–ampulanın daxili hissəsini yumaq və isti soba zonasını sormağ üçün ara boşluq

$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $0 \leq x \leq 0.15$ ) epitaksial təbəqələrini yetişdirmək üçün onların sintez olunmuş nümunələrindən istifadə olunmuşdur. Buxarlanma üçün istifadə olunan  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $0 \leq x \leq 0.15$ ) bərk məhlulları, ilkin komponentlərin yuxarıda göstərilən üsulla

təmizlənməsindən sonra sintez olunmuşdur. Sintezdə yüksək təmizliyə malik Cd, «Ekstra» markalı Se, əlavə təmizlənməyə məruz qalmış Mn istifadə olunmuşdur.

Üzəri oksid təbəqəsi ilə örtülmüş Mn təmizlənmək üçün o, 1:1 nisbətində götürülmüş distilə olunmuş su və azot (HNO<sub>3</sub>) turşusunun məhlulunda aşındırılmış, sonra isə distilə olunmuş suda yuyulmuşdur.

İlkin komponentlər VLA-200 markalı analitik tərəzidə 10<sup>-4</sup> q dəqiqliklə çəkilmişdir. Bərk məhlulun tərkibindəki komponentlərin miqdarları aşağıdakı düsturla hesablanmışdır:



Şək. 2.3. Selenin təmizlənməsi üçün hazırlanmış ampula və temperaturun uzunluq boyunca paylanması: a) maddə doldurulmuş ampula; b) halkogenlərin çətin uçan komponentlərdən təmizlənməsi zamanı temperaturun paylanması; c) halkogenlərin asan uçan komponentlərdən təmizlənməsi zamanı temperaturun paylanması

$$P_{Cd} = P \cdot A_{Cd} \cdot x / (A_{Cd} \cdot x + A_{Mn} \cdot y + A_{Se} \cdot z), \quad (2.1)$$

$$P_{Mn} = P \cdot A_{Mn} \cdot y / (A_{Cd} \cdot x + A_{Mn} \cdot y + A_{Se} \cdot z), \quad (2.2)$$

$$P_{Se} = P \cdot A_{Se} \cdot z / (A_{Cd} \cdot x + A_{Mn} \cdot y + A_{Se} \cdot z), \quad (2.3)$$

burada P-yükləmənin ümumi çəkisi, P<sub>Cd</sub> - Cd çəkisi, P<sub>Mn</sub> -Mn çəkisi, P<sub>Se</sub>-selenin

çəkisi, A-elementin atom çəkisi, x, y, z-uyğun olaraq Cd, Mn və Se -nin atom payıdır.

Hər bir komponentin tərəzidə çəkilməsi aşağıdakı ardıcılıqla aparılmışdır: əvvəlcə Se, Cd, ən sonda isə güclü oksidləşən komponent olan Mn. Qeyd edək ki, tərəzidə çəkilmiş komponentlərin əvvəlcədən təmizlənmiş və termiki emal olunmuş ampulalara doldurulması da bu ardıcılıqla aparılmışdır.

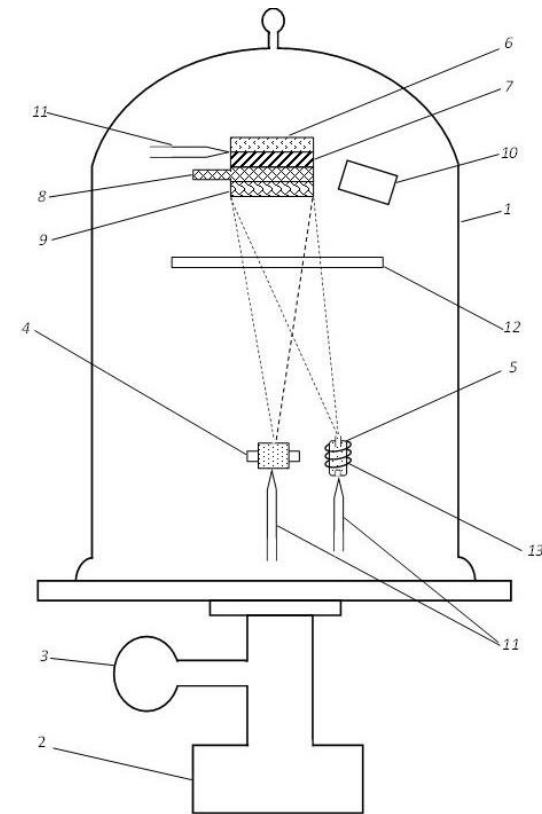
Ampulalarda  $1 \cdot 10^{-4}$  Pa vakuum alındıqdan sonra ampulaların başlığı əridilib lehimlənərək sorma sistemindən ayrılır. Sonra buxarlandırılacaq materialların sintez prosesi yerinə yetirilir. Sobaya üfqi vəziyyətdə yerləşdirilmiş ampula bərk məhlulun ərimə temperaturuna qədər ( $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $0 \leq x \leq 0.15$ ) üçün  $T_{\text{or}}=1200$  K,) 100 dər/saat sürətlə qızdırılır. Ampula bu temperaturda üç saat saxlandıqdan sonra sobanın temperaturu 50 dərəcə artırılır. Lazım olan temperatur ( $T_{\text{or}}+50$ ) əldə edildikdən sonra iki saat ərzində, periodik olaraq, qarışdırın mexanizm işləyir. Sonra temperatur  $T_{\text{or}}$ -yə qədər aşağı salınır. Şixta olan ampula bu temperaturda 24 saat müddətində saxlanılır. Ərintinin yaxşı qarışması üçün bütün sistem periodik olaraq fırlanma hərəkətinə olur. Qeyd edilən zaman müddəti bitdikdən sonra sintez olunmuş materialın süzgəcdən keçirilməsi üçün ampula ilə birlikdə soba şaquli vəziyyətə gətirilir. Sonra, ərintinin bərkiməsi prosesində likvasiyanın qarşısını almaq üçün ampula kəskin şəkildə sobadan çıxarılır və havada soyudulur. Ən nəhayət, sintez olunmuş nümunələr bir həftə ərzində  $873 \div 973$  K temperaturda homogenləşdirici termiki emal olunur.

## **2.2. $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ epitaksial təbəqələri və onlar əsasında quruluşların alınması**

Epitaksial təbəqələrin alınması üçün yüksək təmizliyə malik buxarlanma mənbələrindən istifadə olunması əsas şərtlərdən biridir (Abdullayeva, Mehrabova, Nuriyev, Kerimova, Hasanov & Nazarov, 2021; Нуриев, Оруджев, Керимова & Абдуллаева, 2018; Sung, Park & Jang, 2007). Bu məqsədlə, ilk öncə buxarlandırılan maddənin sintezi üçün istifadə olunan ilkin komponentlər təmizlənir. Buxarlandırılacaq maddələrin sintezi üçün istifadə olunan ilkin komponentlərin (Cd,

Mn, Se.) təmizlənmə texnologiyası, ləvazimatların konstruksiyası §2.1-də verilmişdir. İlk komponentlər təmizləndəndən sonra, lazım olunan miqdarda analitik tərəzidə çəkilib, kvars ampulalara doldurulur və sonra buxarlanma mənbəyi kimi istifadə olunacaq bərk məhlulların sintezi aparılır.

Dissertasiya işində sintez olunmuş  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  ( $0 \leq x \leq 0.15$ ) bərk məhlulları epitaksial təbəqələrin alınması üçün buxarlanma mənbəyi qismində istifadə edilir. Epitaksial təbəqələr YBH-71P-3 markalı vakuüm qurğusunda  $(1 \div 2)10^{-4}$  Pa vakuümdə, molekulyar dəstədən kondensasiya (MDK) üsulu ilə alınmışdır. Şək. 2.4-də bu qurğunun sxematik görünüşü verilmişdir.



Şək. 2.4. YBH-71P3 markalı vakuüm qurğusu və istifadə olunmuş ləvazimatlar: 1–qapaq; 2–yüksək vakuüm nasosu; 3–ion lampası; 4–Knudsen oyuğu; 5–effuziya oyuğu; 6–altlıq qızdırıcısı; 7–altlıq; 8–yerdəyişən maska; 9–maska saxlayan; 10–kvarts qalınlıq ölçən; 11–termocüt; 12–arakesmə; 13–effuziya oyuğunun qızdırıcısı

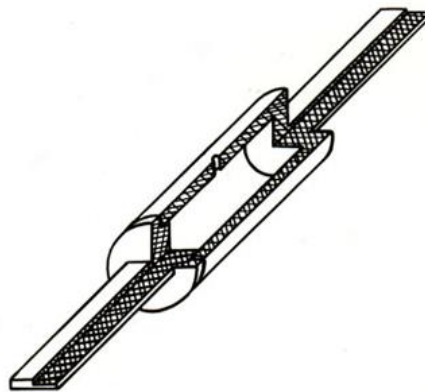
Qeyd edək ki, elektronikanın yeni və çox sürətlə inkişaf edən istiqamətlərindən

biri də mikroelektronikadır. Ona görə də, iqtisadi cəhətdən sərfəli və ölçülərinə görə kiçik mikroelektron sistemlərin yaradılmasında bu metodun rolu əhəmiyyətlidir. Belə ki, bu metodla nazik epitaksial təbəqələr, nazik qəfəslər, müxtəlif strukturlar, o cümlədən nanostrukturlar almaq mümkündür. Vakuumda, yüksək temperaturlarda qızdırılan buxarlanma mənbəyindən çıxan molekullar, konusvari yayılaraq altlığa çökür (belə ki, molekulların sərbəst yolunun uzunluğu buxarlanma qurğusunun kamerasının ölçülərindən qat-qat böyükdür) və orada onların kondensasiyası baş verir.

### 2.3 Molekulyar Dəstədən Kondensasiya metodu

Məlumdur ki,  $A^{II}B^{VI}$  tipli birləşmələrin və onların bərk məhlullarının vakuumda buxarlandırılaraq kondensasiyası və bu zaman asan uçan halkogen komponentlərin (S, Se, Te) itkisi baş verir. Bu səbəbdən, epitaksial təbəqələrin yetişdirilməsi prosesində, kompensəedici əlavə halkogen mənbəyindən istifadə olunmur. Əsas mənbənin buxarlandırıcısı – Knudsen oyuğu MPQ-6 markalı qrafitdən hazırlanmışdır. Bir sıra elmi tədqiqat işlərində (Mehrabova (dissertasiya), 2018; Mehrabova, Nuriyev, Orujov, Kerimova, Abdullayeva, Hasanov & Nazarov, 2019; Oseroff, Calvo, Fisk & Acker, 1980; Mehrabova, Huseynov, Abdullayeva & Sadigov, 2023)  $A^{II}B^{VI}$ ,  $A^{IV}B^{VI}$  tipli birləşmələrin və onların bərk məhlullarının epitaksial təbəqələrinin alınması üçün qrafit buxarlandırıcılar uğurla istifadə olunmuşdur. Deyilən materialların epitaksial təbəqələrinin alınması üçün qrafit buxarlandırıcılarla başqa, volframdan və tantaldan hazırlanmış buxarlandırıcılardan da istifadə olunur. Göstərilmişdir ki, alınmış epitaksial təbəqələrin kristal quruluşu və xassələri kəskin fərqlənmir və tərkibində karbon (C) atomları müşahidə olunmur. Qrafit buxarlandırıcılar istifadə olunmazdan qabaq benzolda təmizlənir, bir neçə saat müddətində «Çar arağı»-nda qaynadılır, distillə olunmuş suda yuyulur və sonra vakuumda  $T_{alt} = 1300$  K temperaturda bir neçə gün termik emal olunur. Əsas mənbənin buxarlandırıcısı cərəyanla qızdırılan, silindr formasında qrafitdən hazırlanmış iki tıxaclı Knudsen oyuğundan ibarətdir (şəkl. 2.5).

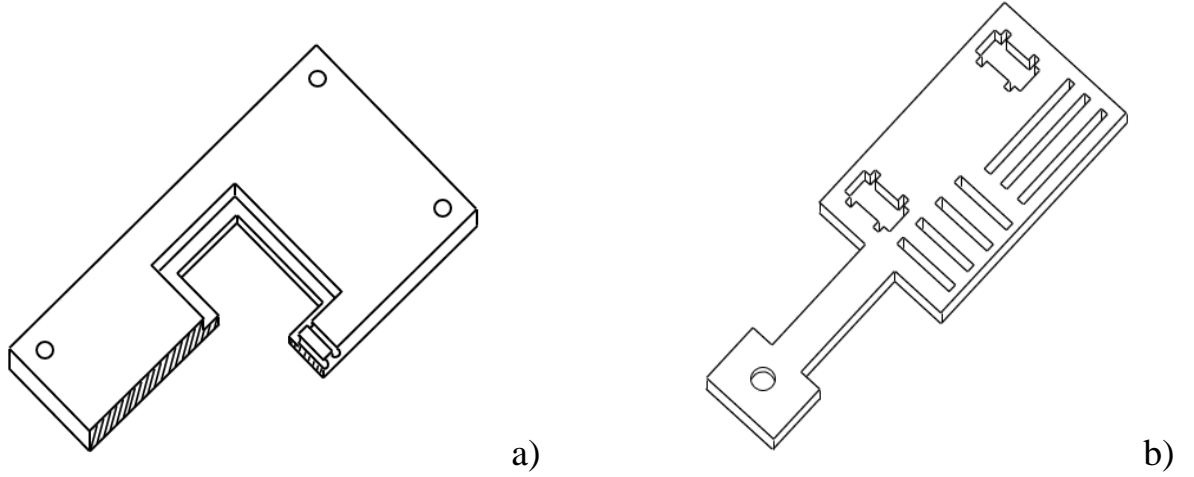
Knudsen oyuqda açılmış deşiyin diametri 0,6 mm-dir. Buxarlandırıcının temperaturu platin-rodium (PR 30/6<sub>68</sub>) termocütü ilə V7-21A tipli rəqəmsal universal millivoltmetr vasitəsilə ölçülür.



Şək. 2.5. Əsas mənbənin buxarlandırıcısı

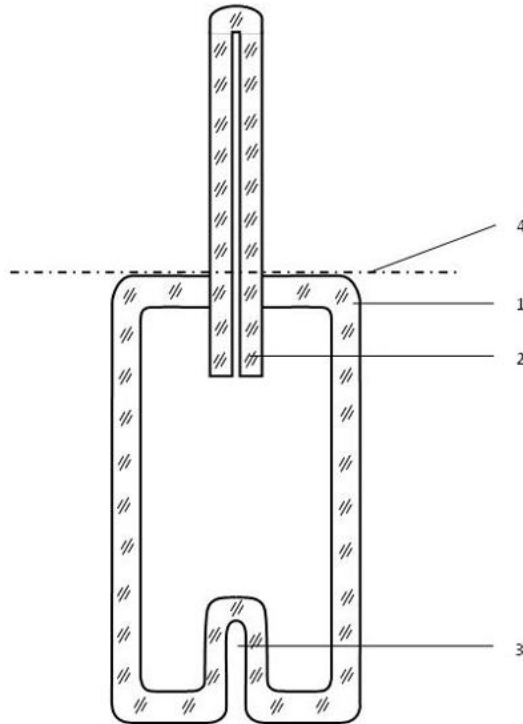
Epitaksial nazik təbəqələr əsasında  $p-n$  keçidlər, çoxelementli strukturlar almaq üçün, paslanmayan poladdan hazırlanmış, iki müxtəlif vəziyyətdə ola bilən maska ilə təchiz olunmuş, altlıq saxlayan çərçivədən istifadə olunur (şək. 2.6). Hərəkət edən maska eni 0,3 mm olan qarşılıqlı perpendikulyar zolaqlar sistemindən və Holl nümunələri almaq üçün xüsusi yarıqlardan ibarət olur. Hərəkət edən maska altlıq saxlayarkən iki vəziyyətdə ola bilər. Bununla da, vahid texnoloji tsikldə perpendikulyar zolaqlar sisteminin və yaxud  $p$  və  $n$ -tip keçiriciliyə malik müxtəlif epitaksial təbəqələrin çökdürülməsi nəticəsində  $p-n$  keçidlərin alınması mümkün olur.

Epitaksial nazik təbəqələrin alınması prosesinə və vaxtına dəqiq nəzarət etmək üçün buxarlandırıcı ilə altlıq arasında, molekulyar dəstənin yolunda, hərəkət edən arakəsmə yerləşdirilir. Arakəsmədən istifadə olunması epitaksial təbəqənin böyümə prosesinin sabit sürətlə aparılmasına imkan yaradır. Buxarlandırılan materialın qismən parçalanmasını nəzərə alaraq, sabit kimyəvi tərkibli təbəqə almaq üçün Knudsen oyuğu hər dəfə yeni materialla doldurulur.



Şək. 2.6.  $p-n$  keçidlərin alınması üçün altlığı saxlayan a) çərçivə; b) maska

Alınmış epitaksial təbəqələrdə kristal mükəmməlliyi, yükdaşıyıcıların tipini və konsentrasiyasını idarə etmək üçün aparılan eksperimentlərdə əlavə kompensəedici Se buxarlandırıcı mənbəyindən istifadə olunmuşdur. Se buxarlandırıcı mənbəyi kvarsdan hazırlanmış effuziya oyuğundan ibarətdir (şək. 2.7).



Şək. 2.7. Kvarsdan effuziya oyuğu: 1 - tellur mənbəyinin oyuğu, 2 - çıxış borusu, 3 - termocüt üçün giriş, 4 - çıxış borusunun açılma yeri

Oyuğun temperaturu  $\pm 0,05^\circ$  dəqiqlikdə RİF–101 markalı cihaz vasitəsilə idarə olunur. Qızdırıldığı müddətdə vakuum sisteminin çirklənməməsi və asan uçan Se komponentinin itməməsi üçün effuziya oyuğu hazırlanır. Oyuğun çıxış deşiyi epitaksial nazik təbəqənin böyümə prosesinin başlaması ilə eyni vaxtda açılır. Effuziya oyuğuna çıxış borusunun daxil edilməsi çıxan buxar dəstəsini altlıq üzərinə doğru istiqamətləndirir. Epitaksial nazik təbəqələrin qalınlığı  $0,5 \div 1,5$  mkm intervalında dəyişir. Alınmış nazik təbəqələrin qalınlığı böyümə prosesində KST-1 cihazı ilə, sonra isə əlavə olaraq Mİİ-4 tipli optik interferensiya mikroskopu ilə ölçülür. Təbəqələrin qalınlığına və böyümə müddətinə görə kondensasiya sürəti hesablanır.

#### 2.4. Altlıqların xarakteristikası

Epitaksial nazik təbəqələrin xassələri əsasən altlığın parametrləri ilə təyin olunur. Ona görə də, altlığın və onun üzərində böyüyən epitaksial nazik təbəqələrin qəfəs sabitlərinin, istidən genişlənmə əmsallarının mümkün qədər yaxın olması və yaxud üst-üstə düşməsi çox vacibdir.

$A^{II}B^{VI}$  tipli yarımkeçiricilərin nazik epitaksial təbəqələrinin alınması üçün adətən istifadə olunan altlıqları iki qrupa bölmək olar:

- $A^{II}B^{VI}$  tipli materiallardan ibarət altlıqlar;
- Dielektrik altlıqlar.

$A^{II}B^{VI}$  tipli yarımkeçirici materiallardan ibarət altlıqlar  $p-n$  strukturlar və onların əsasında cihazların hazırlanmasında üçün daha əlverişlidir. Çoxelementli strukturların hazırlanmasında əsasən dielektrik altlıqlardan istifadə etmək daha münasibdir. Belə olduqda elementlərin hamısının eyni vaxtda və ya ayrı-ayrılıqda istifadə etmək mümkün olur.  $A^{II}B^{VI}$  tipli birləşmələrin və onların bərk məhlullarının monokristal lövhələrini altlıq kimi istifadə edərək, altlıqların bütün parametrləri ilə tam üst-üstə düşə bilən epitaksial nazik təbəqələrin alınması mümkündür. Bu cür altlıqlar, heteroqəçidlər əsasında yüksək parametrlili lazerlərin və fotodiodların yaradılması



üçün geniş istifadə olunmur.

Dissertasiya işində altlıq qismində keçirici təbəqəyə malik şüşə istifadə olunmuşdur. Şüşə altlıqlar üzərində CdMnSe nazik epitaksial təbəqələri alınmışdır.

## **2.5. $Cd_{1-x}Mn_xSe$ epitaksial təbəqələrin kristal quruluşu və səthinin morfolojiyasının tədqiqat metodları**

**Rentgendifraktometriya metodu.** Xarici təsirlərin, o cümlədən təzyiqin, temperaturun və radiasiyanın təsiri nəticəsində bərk cisimlərin kristal quruluşunda dəyişikliklər baş verir. Bərk cisimlərin kristal quruluşunu atom və ya molekul səviyyəsində öyrənən ən etibarlı təcrübi metodlardan biri difraksiya metodudur və onlardan da ən geniş istifadə ediləni Rentgen difraksiya (XRD) metodudur. XRD metodu istənilən növ nümunənin öyrənilməsi üçün ideal analitik metod hesab oluna bilər.

XRD kristallitlərin fazalarını identifikasiya etməyə, onların kəmiyyət analizini aparmağa və kristallitlərin atom strukturunu təyin etməyə imkan verir. Real halda mürəkkəb tərkibli yarımkeçiricilərin yuxarıda qeyd edilən xassələrini başqa metodlarla tədqiq etmək kifayət qədər mürəkkəbdir. Digər tərəfdən, difraktoqrammalar kifayət qədər vacib informasiyaları almağa imkan verir və nümunələrin struktur və tərkib analizlərini aparılmağa şərait yaradır.

Rentgen şüaları ilk dəfə 1895-ci ildə kəşf edilmişdir. Rentgen şüalarının kristalda difraksiyası hadisəsinin kəşfi, rentgen struktur analizi metodunun elm və texnikanın müxtəlif sahələrində daha geniş tətbiqinə imkan yaratmışdır.

XRD metodu ilə həll olunan məsələlər müxtəlifdir, tədqiqatın məqsəd və mahiyyətinə görə onlar bir-birindən kəskin fərqlənən və üç yerə bölünür:

- monokristalların tədqiqi;
- polikristal cisimlərin tədqiqi;
- tam kristal olmayan obyektlərin tədqiqi.

Monokristalların rentgen struktur analizi vasitəsilə atomların üçölçülü sistemdə

bir-birinə nəzərən vəziyyəti barədə dəqiq məlumat almaq olur ki, bu məlumatlar kristallarda atomlararası məsafəni, valent bucaqlarını təyin etməyə, ümumiyyətlə kristal quruluşun mahiyyətini açmağa, imkan yaradır. Müasir fiziki tədqiqat üsulları içərisində, bu üsul öz mürəkkəbliyinə və tədqiqatın çətinliyinə görə fərqlənir.

Polikristalların tədqiqatları maddələrin faza analizi üçün xüsusi əhəmiyyətlidir. Bu üsulun tədqiqat obyektı toz halında maddələrdir. Bunlara metallar, ərintilər, keramika, monokristalları çətin alınan maddələrin təbii birləşmələri və s. misal göstərmək olar. Sənaye və texnikada polikristal maddələr monokristallara nisbətən daha geniş tətbiq olunduğuna görə bu üsulun əhəmiyyəti böyükdür.

Tam kristal olmayan maddələrin, yəni polimerlərin və bioloji obyektlərin tədqiqində XRD metodunun tətbiqi son illərdə xeyli artmışdır.

Elektron dəstəsinin alınma metoduna görə rentgen şüa boruları iki yerə bölünür: elektron və ion. Struktur analizində rentgen şüaları almaq üçün əsasən qapalı elektron şüa borularından istifadə edilir. Elektron borularında elektron dəstəsi vakuumda termoelektron emissiyası hesabına əmələ gəlir. Elektronların mənbəyi volfram sapıdır və o katod rolunu oynayır. Volfram katoddan axan cərəyan hesabına onun ətrafında elektron buludu yaradır. Katodla anod arasında verilən yüksək gərginlik, elektron buludunu anodun səthinə istiqamətləndirir və anodun səthinə bombardman efərək rentgen şüalanması yaradır. Boruda yüksək vakuum olmadıqda katod oksidləşər və tez sıradan çıxı bilər. Bundan başqa elektron dəstəsinin boruda olan qaz molekulları ilə toqquşması nəticəsində ionlaşma baş verir.

Rentgendifraktometriya, kristalın quruluşunu zədələmədən onu tədqiq etməyə imkan verir. Uzun illərdir ki, bu metod öz elmi və praktiki əhəmiyyətini saxlayır.

Müasir mikroelektronikanın əsasını təşkil edən mükəmməl quruluşlu monokristalların və epitaksial təbəqələrin yetişdirilməsi texnologiyasının sürətli inkişafı bu cür kristallarda rentgen tədqiqatların aparılmasına geniş təkan verir. Qismən asanlıqına və eyni zamanda kristal strukturun parametrlərinin müəyyən edilməsində yüksək dəqiqliyinə görə XRD metodu geniş yayılmış və hətta bəzi sahələrdə əvəzəlməzdir. Əsas faktorlardan biri də rentgen difraksiya tədqiqatları üçün lazım olan cihazların istifadəsinin asan və əlverişli olmasıdır. Lakin qeyd edək

ki, bu cihazlar qalınlığı 0,2 mkm-dan az olan təbəqələrin tədqiqatı üçün yararsızdır.

Rentgen şüalarının dalğa uzunluğu, kristallarda atomların ölçüləri və atomlararası məsafə tərtibində olduğundan, kristalları bu şüalar üçün difraksiya şəbəkəsi kimi istifadə etmək olar.

XRD metodunun əsasını, rentgen şüalanmasının tədqiq olunan maddənin elektronları ilə qarşılıqlı təsiri təşkil edir və nəticədə rentgen şüalarının difraksiyası baş verir. Maddə tərəfindən şüalanmanın səpilməsi zamanı enerji itkisi baş vermədən və  $\lambda$  dalğa uzunluğu dəyişmədən elastiki səpilmə və qeyri-elastiki səpilmə baş verir. Əsas rolu elastiki səpilmə oynayır, belə ki, ancaq bu səpilmə difraksiya mənzərəsini təyin edir və bunun nəticəsində kristalların quruluşu haqqında məlumat əldə etmək olur.

Kristallarda difraksiyanı, rentgen şüalarının kristal qəfəsin müstəviləri tərəfindən «əks olunması» kimi başa düşmək olar. Əks olunma o zaman baş verir ki, paralel müstəvilərdən səpilmən dalğaların fazaları eyni olsun və bir-birini gücləndirsin. Əks olan şüa o vaxt güclü sayılır ki, qonşu müstəvilərdən əks olunan şüaların yollar fərqi dalğa uzunluğunun tam qiymətinə bərabər olsun.

Kristalda rentgen şüalarının elastiki səpilməsi zamanı difraksiya maksimumlarının istiqaməti (difraksiya şərti) Vulf-Breqq tənliyi ilə müəyyən olunur.

$$2 d \sin\theta = n \lambda. \quad (2.4)$$

Burada d-müstəvilər arasında məsafə,  $\theta$ -difraksiya bucağı, n-əks olunmanın tərtibi,  $\lambda$ -dalğa ədədidir.

Difraksiya mənzərəsi əsasən istifadə olunan rentgen şüalarının dalğa uzunluğundan və tədqiq olunan nümunənin kristal quruluşundan asılı olur. Maddələrin kristal quruluşunu tədqiq etmək üçün atomların ölçüləri tərtibində  $\sim 1 \text{ \AA}$  dalğa uzunluğuna malik rentgen şüaları istifadə etmək lazımdır. Bu üsuldən istifadə edərək müxtəlif metalların, ərintilərin, mineralların, orqanik və qeyri-üzvi birləşmələrin, polimerlərin, amorf maddələrin, mayələrin, qazların, zülalların və s. quruluşlarını öyrənmək olur.

Difraktoqramma - konkret fazanın xarakteristik şüalanma enerjisindən asılı olaraq müəyyən forma və intensivlikli piklərin paylanmasıdır. Dissertasiya işində D8

ADVANCE difraktometri istifadə edilmişdir. Bu cihazın DIFFRAC.SUITE proqram təminatı vardır. Proqramın son versiyası praktik olaraq bütün analitik məsələləri həll etməyə imkan yaradır. Amorf, polikristall, monokristal yarımkeçiricilərdə XRD fərdi difraktoqramlar verir. Difraktoqram istənilən kristallitdə mütəmadi olan interferensiya dalğalarının nəticəsində əmələ gəlir. Kristall qəfəsdə müstəvilər arasındakı məsafənin qiyməti rentgen diapozonunda dalğa uzunluğuna bərabər olur. Breqq qanunu interferensiyanın istiqamət, dalğa uzunluğu və ölçüləri arasında əlaqə yaradır.

Difraksiya informasiyaları skanedici detektor vasitəsilə qeyd edilir. Detektorun görünüş sahəsi Debay halqasına düşərsə, rentgenoqramda difraksiya piki yaranır. Halqa boyunca difraksiya intensivliklərinin yazılışı üçün nümunə öz oxu ətrafında fırlanır.

**Elektron mikroskopiya metodu.** Elektron mikroskopiyası üsulu yarımkeçiricinin quruluşunun öyrənilməsində böyük əhəmiyyətə malikdir. Elektron mikroskopiya üsulunun inkişafında son illərdə, böyük irəliləyişlər baş vermişdir. Belə ki, yüksək ölçü parametrlərinə malik yeni elektron mikroskoplar yaradılmışdır.

Ayırdetmə qabiliyyəti yüksək olan yeni tipli bu elektron mikroskoplar eksperimental texnikanın güclü inkişafı ilə əlaqədar olaraq daima yenilənir. Mühəndis-konstruktorların son illərdə yaratdıqları bu qurğuların ayırdetmə qabiliyyəti tədricən nəzəri qiymətlərə yaxınlaşır. Əgər əvvəllər kristal qəfəsin müstəvilərini ayırd etmək mümkün idisə, son vaxtlarda ayrılıqda sərbəst atomların və ya atom qruplaşmalarının müşahidə olunması mümkün deyil.

Sürətləndirici gərginliyin meqavoltlara qədər artırılması, tədqiq olunan nümunələrin işıqlandırılma qalınlıqlarının böyüdülməsinə imkan yaratmışdır. Yüksək səviyyəli tədqiqat işləri skanedici elektron mikroskoplarında (SEM) aparılmışdır. Bu mikroskopda nümunələrin kristal quruluşunu və kimyəvi tərkibini yüksək dəqiqliklə tədqiq etmək mümkündür. Skanedici elektron mikroskopunun istifadə olunması bu istiqamətdə əlavə tədqiqat imkanları yaradır.

Mükəmməl və qeyri-mükəmməl kristalların elektron mikroskoplarla tədqiqatında elektronların səpilməsi nəzəriyyəsinin uğurlu tətbiqi vacib məsələlərdən biridir.

Kompüter modelləşdirilməsindən istifadə edərək, elektron mikrofotografiyalar vasitəsilə strukturların və müxtəlif qüsurların təsviri daha dəqiq tədqiq edilə bilər.

Qeyd edilən imkanlar elektron mikroskopiyası metodunu effektiv və əvəzəlməz edir. Bu metodun köməyi ilə kristalları, müxtəlif orqanik və qeyri-orqanik materialları, metal və ərintiləri, polimerləri, preparatları və bioloji mikromolekulları tədqiq etmək olur.

Dissertasiya işində epitaksial təbəqələrin səthinin morfologiyasının öyrənilməsində SEM metodundan istifadə edilmişdir.  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  epitaksial təbəqələrinin tərkib analizi və səthinin morfologiyası elektronmikroskopik üsullarla Carl Zeiss Sigma VP scan electron mikroskopunda öyrənilmişdir.

**Elektrofiziki parametrlərin ölçülməsi metodu.** Nazik təbəqələrin elektrik keçiriciliyi haqqında informasiya almağa imkan verən elektrofiziki xassələrin tədqiqi, digər xassələrin sistematik tədqiqləri ilə birgə naziktəbəqəli strukturların elmi əsaslarının işlənilib hazırlanmasında vacib bir metod sayılır. Dissertasiya işində tədqiq olunan  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  epitaksial təbəqələrinin elektrik xassələri tədqiq edilmişdir. Bu məqsədlə, epitaksial nazik təbəqələrin volt-amper xarakteristikaları (VAX) sabit elektrik sahəsində otaq temperaturunda ölçülmüşdür. Nümunələrin uzunluğunun eninə nisbəti  $16:4=4$  götürülmüş və ölçü effekti hesabına baş verə biləcək xətlər aradan götürülmüşdür.

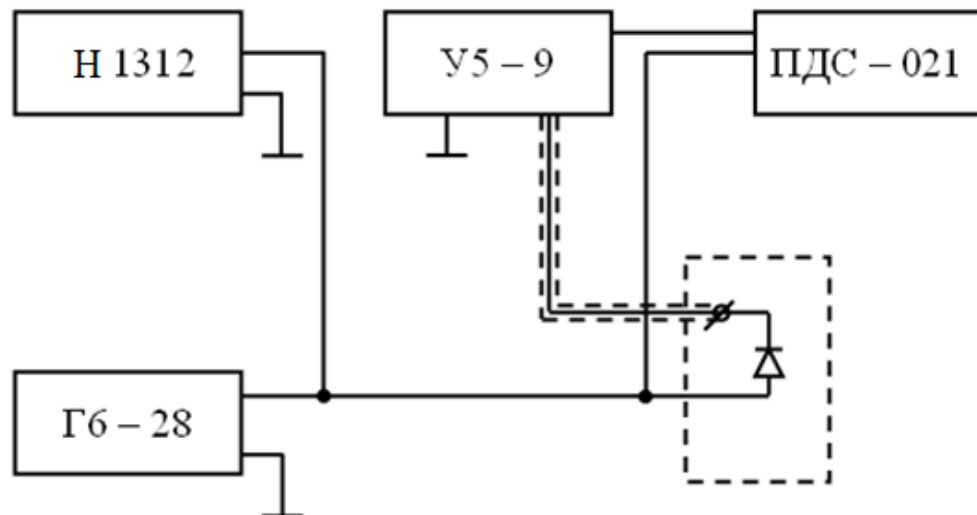
Yarımkəçiricilərin elektrofiziki xassələrinin tədqiqinin dəqiqliyi əsasən etibarlı elektrik kontaktlarının olması ilə müəyyən edilir. Alınmış  $p$  və  $n$ -tip keçiriciliyə malik yarımkəçirici nazik təbəqələrə vakuum buxarlanması metodu ilə nikel (Ni) kontaktları çökdürülmüşdür. Kontaktlar qoyulandan sonra həmin sahələrə 0,05 mm diametr ölçüdə mis naqillər lehimlənmiş və omik kontaktlar qoyulmuşdur.

Kontaktların omikliyi onların VAX-nı ölçərkən təsdiqlənmişdir. Yükdaşıyıcıların tipi termik zond metodu ilə müəttən edilmişdir. Alınmış təbəqələrin elektrofiziki parametrlərinin ölçülməsi üçün, nümunə şüşə və yaxud metal kriostata yerləşdirilmiş, mis naqillərin ucları kriostatın cərəyan keçiriciləri ilə lehimlənərək birləşdirilmişdir.

Ölçmələr aparılan zaman nümunədən keçən cərəyanın sabitliyi V7-21A tipli

rəqəmsal universal millivoltmetr ilə yoxlanmışdır. Bilirik ki, VAX epitaksial təbəqələrin elektrik xassələrini öyrənməklə bərabər, onlar əsasında olan strukturların  $p-n$  oblastlarının ayrılma sərhəddində zonaların əyilmə qiymətini müəyyənləşdirmək üçün istifadə olunur. Digər tərəfdən VAX  $p-n$  keçidin elektrik keçirmə mexanizmini aydınlaşdırmağa imkan verir. Alınmış  $p-n$  strukturların VAX-nı ölçmək üçün istifadə olunan qurğunun blok-sxemi şəx. 2.8-də göstərilmişdir. Qurğu, VAX-ın PDS-021 tipli iki koordinatlı özüyazanla avtomatik yazılmasını həyata keçirir. Q6-28 tipli gərginlik generatoru mənbə kimi istifadə edilir. Gərginliyin qiyməti  $0 \div 10$  V intervalında dəyişir. Lazım olan vaxt VAX-ı ayrı-ayrı nöqtələrə görə ölçüldükdə, mənbə kimi TES-23 tipli standart mənbə də istifadə edilir.

Cərəyanı ölçmək üçün Y5-9 və ya Y5-11 tipli elektrometrik gücləndiricilərdən, gərginliyi ölçmək üçün isə rəqəmsal H1312 voltmetrindən istifadə edilir.



Şək. 2.8. Epitaksial nazik təbəqələrin və onlar əsasında heterokeçidlərin VAX-nı ölçmək üçün blok-sxem

**Optik parametrlərin ölçülməsi metodu.** Nümunələrin optik spektrləri tədqiqatları SPECORD 210 Plus UVvis spektrofotometrində aparılmışdır.

İki atom arasındakı məsafə azalarkən və ya artarsa - valent rəqsləri zamanı atomlar valent rabitə oxunda qalırlar, lakin deformasiya rəqsləri zamanı isə atomlar

valent rabitə oxundan uzaqlaşır. Bu rəqlər müəyyən kvantlanmış tezliklərlə baş verir. Əgər molekula eyni tezlikli işıq düşürsə, o zaman enerji udulur və rəqlərin amplitudu artır.

Optik udma sıxlığı  $D$  belə təyin olunur

$$\lg(I_0/I) = D,$$

burada  $I_0$  - nümunədən keçən işığın intensivliyidir.

Absorbsiya zolaqlarının intensivliyi əsas metoddan istifadə etməklə müəyyən edilmişdir. Udulan işığın zolağının intensivliyi əsas xətt metodu ilə müəyyən olunur. Verilmiş zolaq üçün fon, nəzərə çarpmayan və spektrin iki kənar hissəsi arasında çəkilmiş düz xəttədən hesablanır.

### FƏSİL 3. CdMnSe NAZIK TƏBƏQƏLƏRI ƏSASINDA FOTOHƏSSAS QURULUŞUN YARADILMASI

#### 3.1. CdMnSe nazik təbəqələrinin alınması və səth morfolojiyasının tədqiqi

Son bir neçə il ərzində  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  YMYK-lərinin nazik təbəqələri əsasında hazırlanan günəş elementləri böyük maraq və əhəmiyyət kəsb edir.

Üstün xassələri:

- Otaq temperaturunda yüksək fotohəssaslığa malik olması
- Qadağan olunmuş zonasının eninin geniş olması
- Bir sıra fiziki xassələrinin nümunənin tərkibində keçid metal elementinin konsentrasiyasını dəyişməklə idarə edilməsinin mümkünlüyü
- Geniş spectral oblastda udma qabiliyyətinə malikdirlər
- Alınma texnologiyasının və maya dəyərinin ucuz əmələ gəlməsi
- Temperatura və radiasiya şüalanmasına davamlı olması

$CdMnSe$  nazik təbəqəli heteroqeyidlər əsasında yüksək effektivlikli fotoçeviricilərin alınması imkanlarının öyrənilməsi, fiziki xassələrinin tədqiqi.

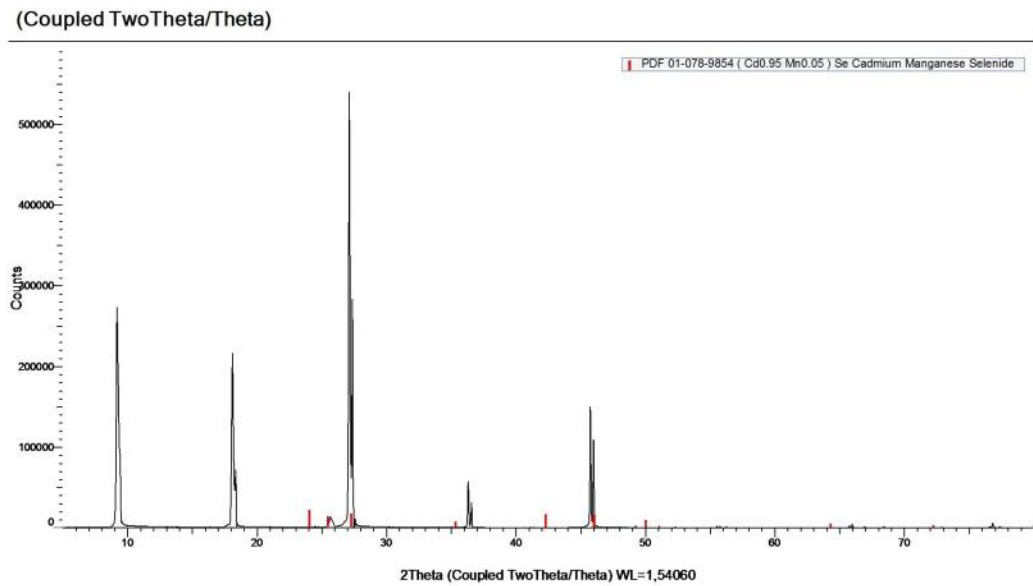
Bu məqsədlə  $CdMnSe$  epitaksial təbəqələrinin alınmasının optimal rejimi müəyyən edilmişdir və onların elektrofiziki, fotoelektrik, optik xassələri təbəqənin öyrənilmişdir.

$Cd_{1-x}Mn_xSe$  nazik təbəqələrinin alınması üçün aşağıdakı işlər görülmüşdür:

1. Tərkibində Mn ionlarının müxtəlif konsentrasiyalarında  $CdMnSe$  bərk məhlullarının sintezi;
2.  $CdMnSe$  epitaksial təbəqələrinin alınması;
4. Səth morfolojiyasının və kristal quruluşun tədqiqi;
5.  $CdMnSe$  epitaksial təbəqələrinin alınması
6. Alınmış nazik təbəqələrin elektrofiziki, fotoelektrik və optik xassələrinin tədqiqi.

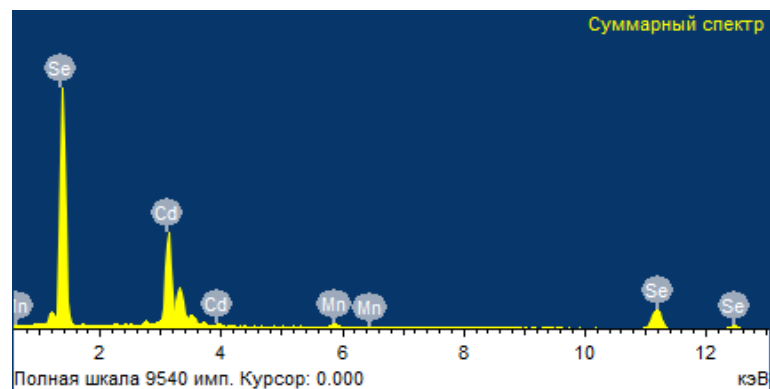
$Cd_{1-x}Mn_xSe$ ,  $x=0.02, 0.05$  bərk məhlulları sintez edilmişdir. Alınmış kristalların XRD spektrləri (şək. 3.1) və EDX analizləri aparılmışdır (şək. 3.2).





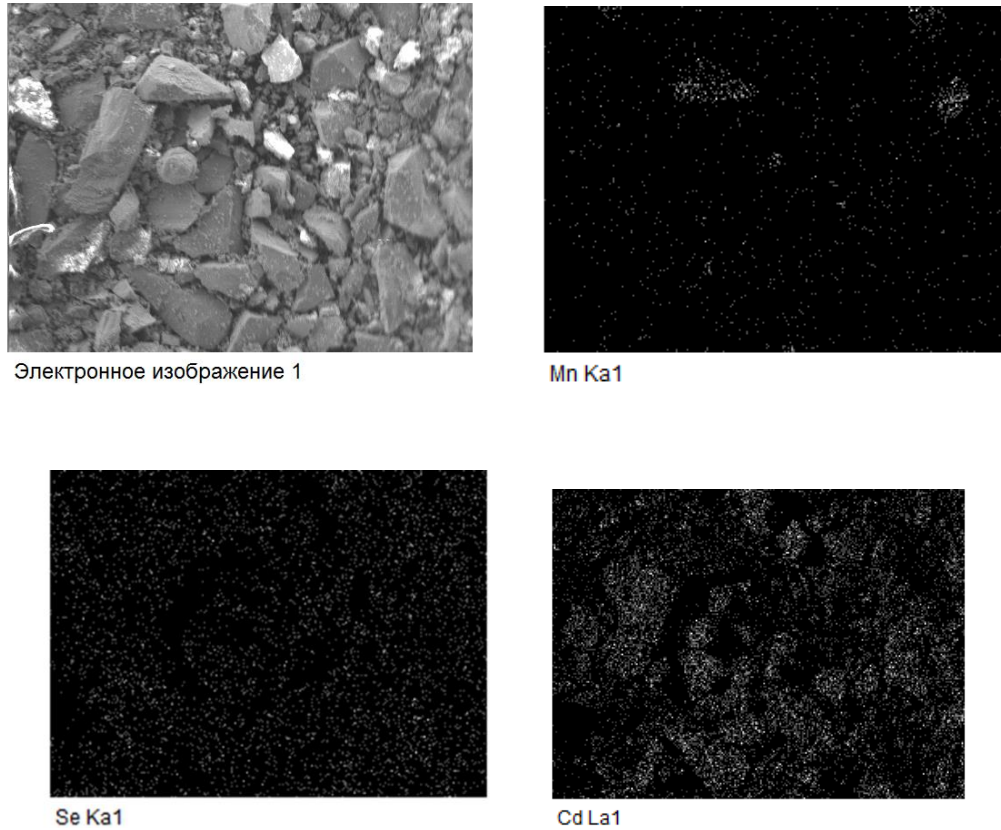
Şək. 3.1.  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  bərk məhlullarının XRD spektri

Элемент	Весовой %	Атомный%
Mn K	1.55	2.53
Se L	56.59	64.14
Cd L	41.86	33.33
Итоги	100.00	



Şək. 3.2.  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $x=0.02$ ) bərk məhlullarının EDX analizləri

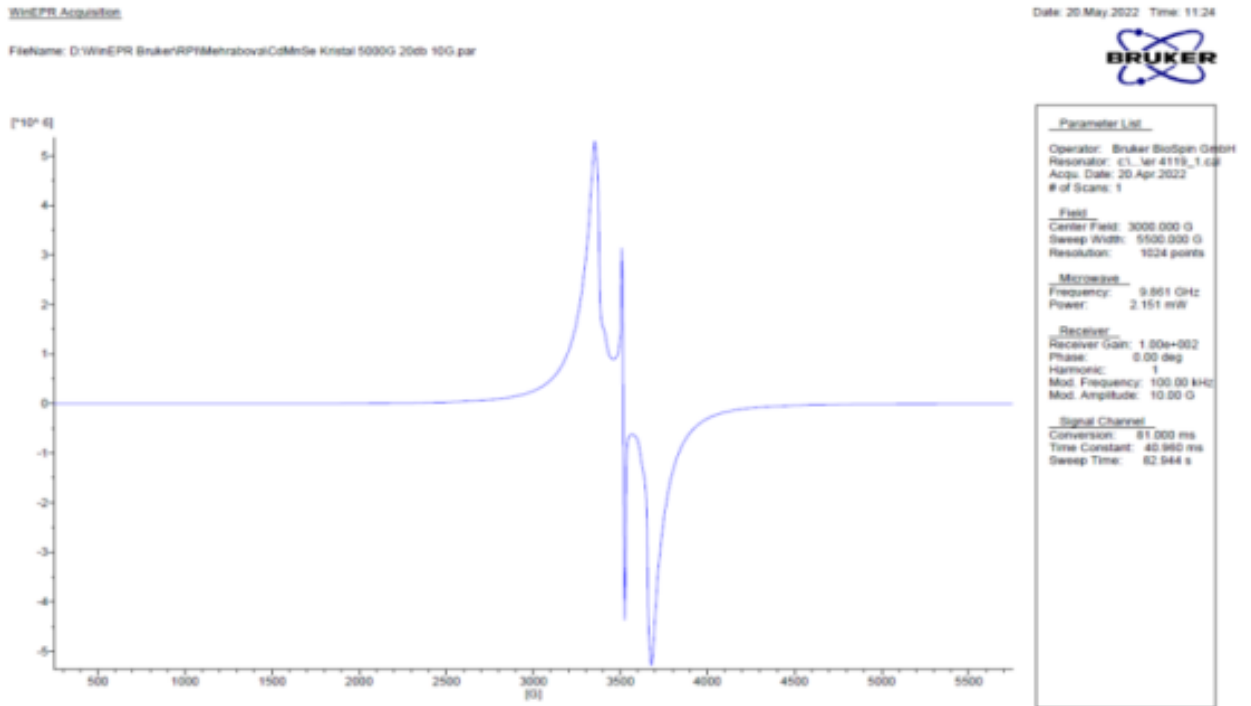
$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  bərk məhlullarının tərkib analizləri aparılmışdır və nəticələr şək. 3.3-də göstərilmişdir.



Şək. 3.3. Tərkib analizinin nəticələri

Beləliklə,  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $x=0.02$ ,  $x=0.05$ ) nazik təbəqələri şüşə altlıqlar üzərində yetişdirilmiş, kristal quruluşu və tərkib analizləri XRD, EDX üsulları ilə öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, şüşə altlıqlar üzərində böyüdülmüş nazik təbəqələr səthə mərkəzləşmiş kubik struktura malikdir.

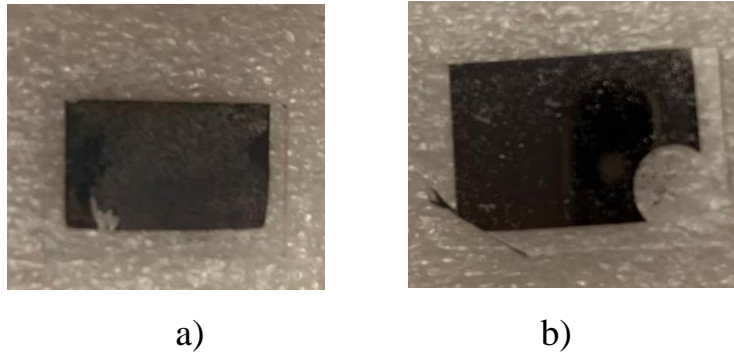
Keçiriciliyin tipləri müəyyən edilmişdir.  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  p-tip keçiriciliyə malik olmuşdur. Elektron paramaqnit rezonansı (EPR) keçid metal ionlarının tədqiqi üçün bir üsuldür və spin-spin qarşılıqlı təsirlərini, eləcə də maqnit faza keçidləri ilə əlaqəli təsirləri öyrənmək üçün əlverişli üsuldür. Bu üsul artıq bəzi Mn tərkibli II-VI birləşmələrinə tətbiq edilmişdir. Layihədə  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ,  $x=0.02$  və  $x=0.05$  bərk məhlulunun EPR spektrləri çəkilmişdir (şək. 3.4). EPR üsulu ilə müəyyən edilmişdir ki,  $\text{Mn}^{3+}$  ionları bərk məhlulun kristal qəfəsinə bərabər şəkildə daxil olmuşlar.



Şək. 3.4.  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  EPR spektrləri

$Cd_{1-x}Mn_xSe$ ,  $x=0.02$ ,  $0.05$  yarımmaqnit yarımkeçiricilərinin nazik epitaksial təbəqələrini almaq üçün sintez olunmuş bərk məhlullardan mənbə kimi istifadə edilmişdir.  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  epitaksial təbəqələr şüşə altlıqlar üzərində molekulyar dəstədən kondensasiya (MDK) üsulu ilə YBH 71Π-3 qurğusunda  $(1-2)10^{-4}$  Pa vakuumda alınmışdır. Şüşə altlığın qalınlığı  $1\div 1.2$  mm,  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  nazik təbəqəsinin qalınlığı isə  $0.5\div 1.0$  mkm təşkil etmişdir. Təbəqələrin qalınlığı MИИ-4 interferensiya mikroskopu vasitəsilə təyin edilmişdir. Kondensasiya sürəti  $v_k = 1\div 10$  Å/s təşkil etmişdir ki, o da yekun qalınlıq və kondensasiya vaxtına əsasən hesablanmışdır. Buxarlandırıcı ilə altlıq arasındakı məsafə  $10$  sm-ə qədər seçilmişdir ki, maksimum temperatura qədər qızdırılan ( $T_m = 1250$  K) buxarlandırıcı altlığın temperaturuna əhəmiyyətli dərəcədə təsir etməsin və çökmüş qatın qalınlığı bütün səth boyunca eyni olsun. Buxarlandırıcının, altlığın və əlavə mənbənin temperaturu platin-platin-rodium termocütü vasitəsilə idarə edilir və  $\pm 0,5$  °C dəqiqliklə VRT-3 və RIF cihazı ilə tənzimlənir. Şüşə altlıqlar üzərində yetişdirilən nazik təbəqələrə Ni istifadə etməklə vakuumda buxarlandırma yolu ilə  $d=2$ mkm qalınlıqlı omik kontaktlar qoyulmuşdur.

Kontaklar üçün Ni uyğun çıxış işinə görə seçilmişdir. Keçiriciliyin növü termo-e.h.q.-yə görə təyin olunmuşdur.  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  p-tip, CdSe – n-tip keçiriciliyə malik olmuşlar.

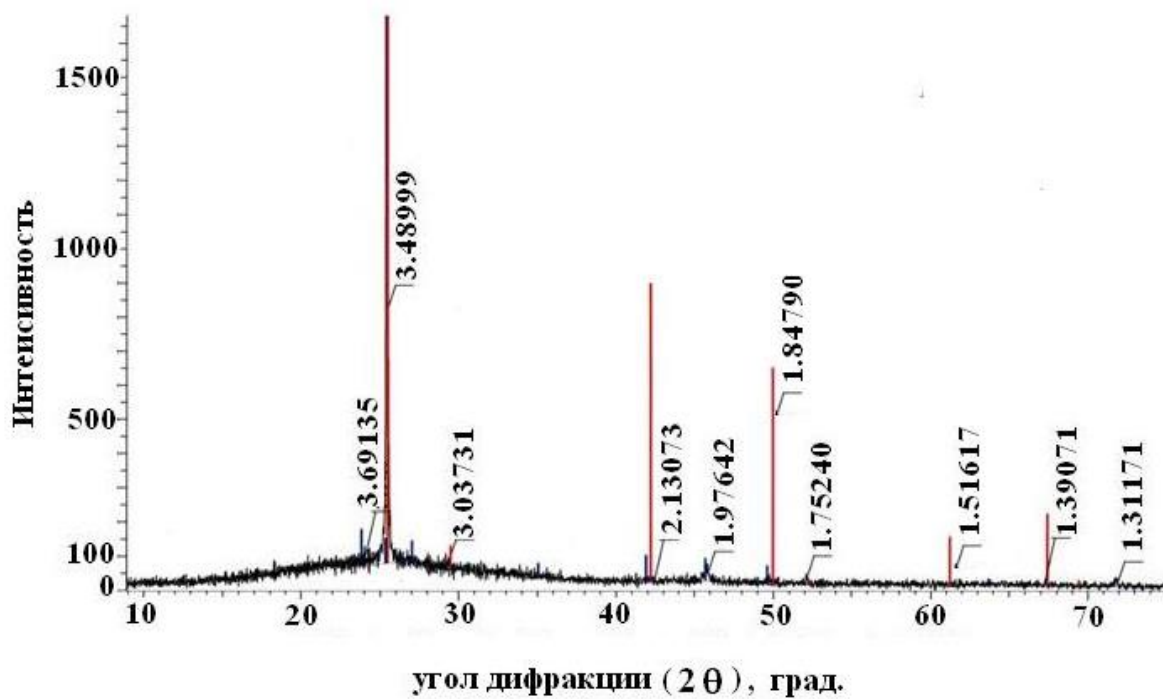


Şək. 3.5.  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  nazik təbəqələri: a)  $x=0.02$ , b)  $0.05$

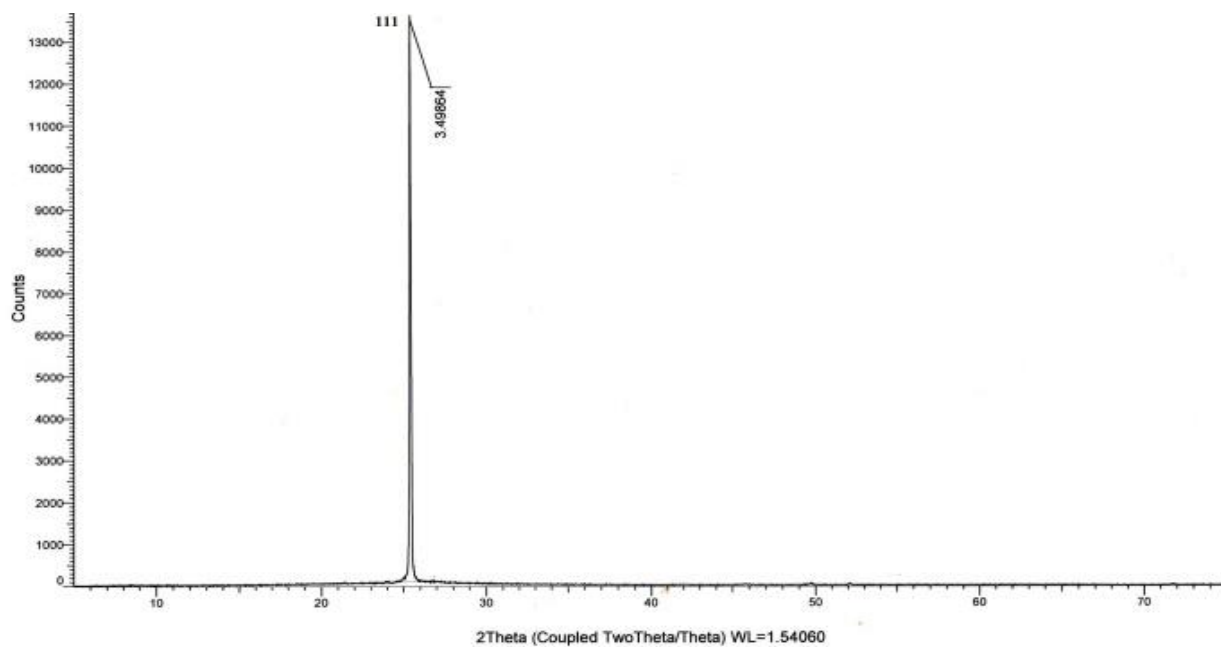
### 3.2. CdMnSe nazik təbəqələrinin rentgendifraktometrik analizi

$Cd_{1-x}Mn_xSe$  nazik təbəqələrinin kristal quruluşu rentgendifraktometrik üsulla BRUKER XRD D8 ADVANCE qurğusunda öyrənilmişdir (şək. 3.6). Göründüyü kimi altlığın temperaturunun  $673\text{ K}$  qiymətində  $[111]$  kristal oxu istiqamətində sfalerit tipli struktura malik nazik təbəqənin epitaksial böyüməsi baş verir. Müəyyən edilmişdir ki, alınmış nazik təbəqələr monokristal quruluşa malikdir.

Spektrlərdən müəyyən edilmişdir ki, altlığın temperaturunun  $T_a=300\text{ K}$  qiymətində şüşə altlıq üzərində alınmış  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  təbəqələri polikristal quruluşa malikdir (şək. 3.6, a).  $T_a$  temperaturunun artması ( $T_a \geq 470\text{ K}$ ) nəticəsində şüşə altlıq üzərində kubik quruluşlu polikristal təbəqələrin alınmasına imkan verir,  $570\text{ K}$ -dən yuxarı temperaturlarda epitaksial böyümə baş verir (şək.3.6,b). Beləliklə, altlığın temperaturunun artması təbəqənin polikristal quruluşdan monokristal quruluşa keçməsinə gətirir. Beləliklə, şüşə altlıq üzərində altlığın temperaturunun  $T_a = 675\text{ K}$  qiymətində alınan  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  nazik təbəqələri səthə mərkəzləşmiş kubun  $(111)$  müstəvisi üzrə böyüyür.



a)

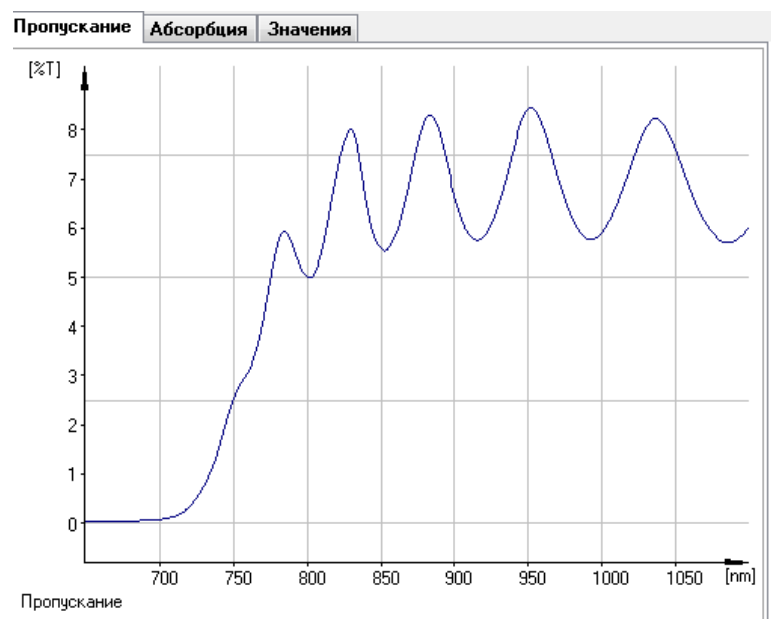


b)

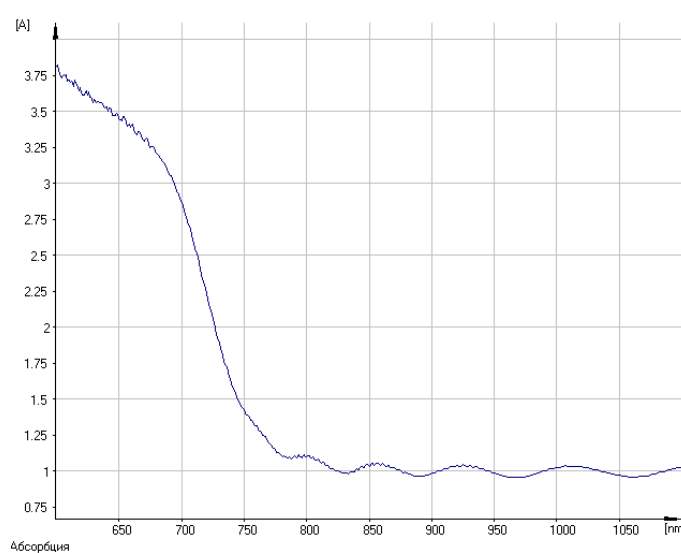
Şək. 3.6.  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ,  $x=0.05$  nazik təbəqəsinin XRD spektrləri:a)  $T_a=470$  K, b)  $T_a=673$  K

### 3.3. CdMnSe epitaksial təbəqələrinin əsasında fotohəssas heteroquruluşun yaradılması

$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $x=0.02$ ,  $x=0.05$ ) epitaksial təbəqələrinin UV-Visible SPECORD 210 PLUS UV-Vis ikiqat şüa spektrofotometrində 190-1100nm dalğa uzunluğu diapazonunda optik udulma və buraxma spektrləri tədqiq edilmişdir (şək. 3.7). Şəkildən görüldüyü kimi, nazik təbəqənin optik buraxma spektri interferensiya hadisələrinin yaratdığı maksimum və minimumlara malikdir ki, bu da nazik təbəqənin yüksək struktur mükəmməlliyə malik olduğunu göstərir.



a)



b)

Şək. 3.7.  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ,  $x=0.05$ : a) optik buraxma, b) optik udma

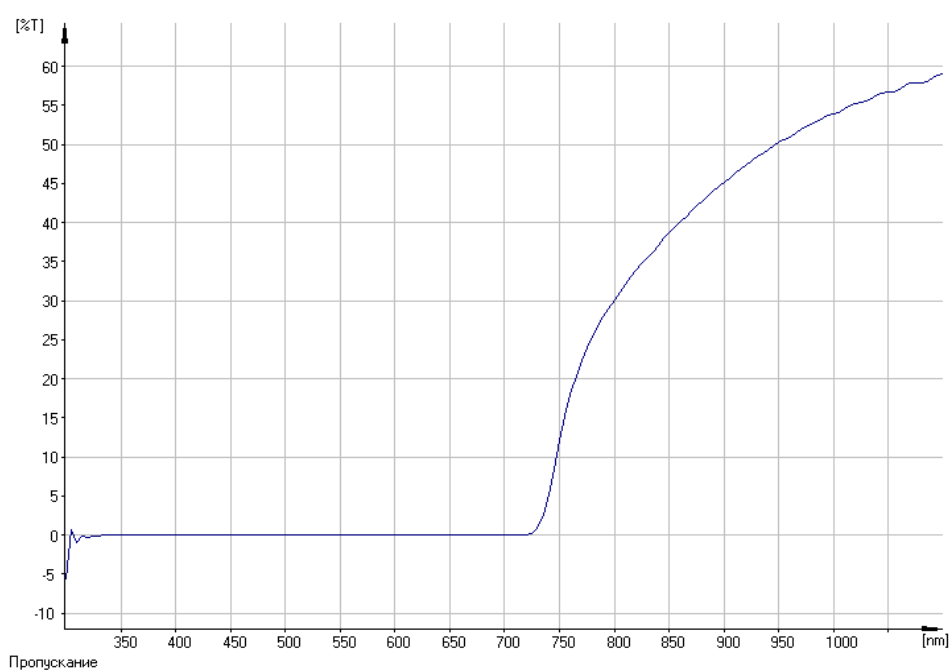
$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $x=0.02$ ) epitaksial təbəqəsinin qadağan olunmuş zonasının eni təyin edilmişdir:  $E_g = 1.72$  eV və tərkibdən asılılığı öyrənilmişdir (Cədvəl 1).

Cədvəl 1.  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ,  $E_g(x)$  asılılığı

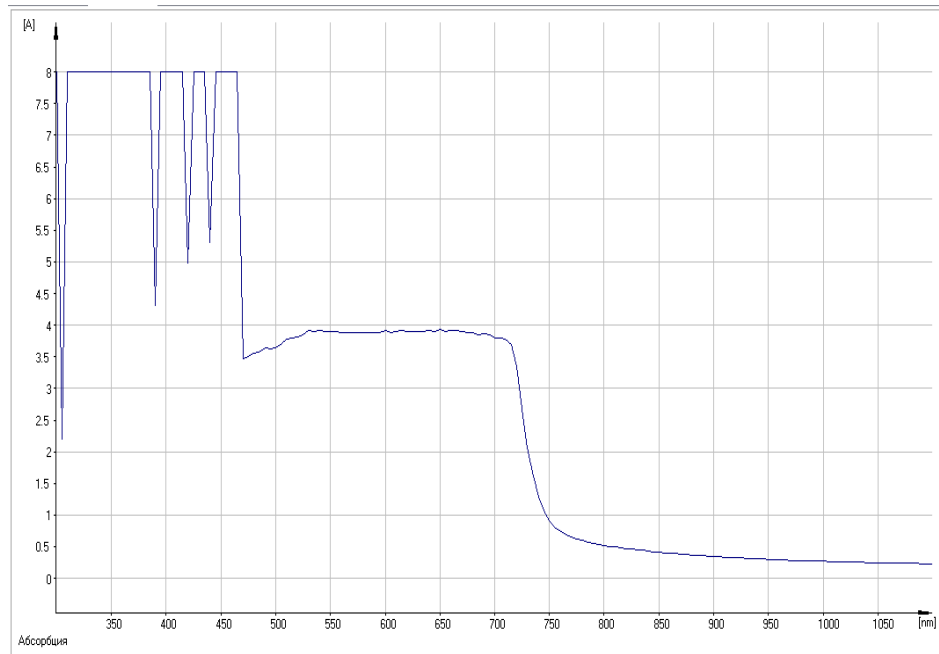
$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$	$x=0$	$x=0.02$	$x=0.05$
$E_g, \text{eV}$	1.74	1.72	1.7

$\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $x=0.02$ ,  $x=0.05$ ) epitaksial təbəqəsinin buraxma və udma oblastları müəyyən edilmişdir (şək. 3.8). Dalğa uzunluğunun  $\lambda=725-750$  nm qiymətlərinə qədər optik udma qeyd edilir ki, bu da yaxın ifraqırmızı oblastı əhatə edir. Bu nəticəyə gəlmək olar ki, tədqiq edilən material fotoelement kimi istifadə edilə bilər.

Prototip hazırlanmış və fotonəzərlilik tədqiq edilmişdir (şək. 3.10).



a)



b)

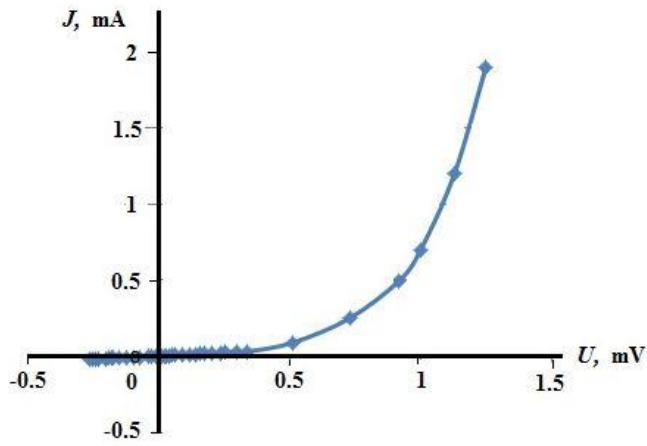
Şək. 3.8.  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$ ,  $x=0.02$  a) optik buraxma, b) optik udma

Keçiriciliyin tipləri müəyyən edilmişdir.  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  p-tip, CdSe n-tip keçiriciliyə malik olmuşdur.

$\text{CdSe} / \text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $x=0.05$ ) nazik təbəqəli heterokeçidi (HK)  $\text{SnO}_2$  keçirici təbəqəli şüşə altlıq üzərində  $10^{-4}$  Pa vakuumda MDK metodu ilə vakuumu pozmadan vahid texnoloji tsikldə teriştirilmişdir. HK-in qalınlığı  $d=6.5$  mkm olmuşdur

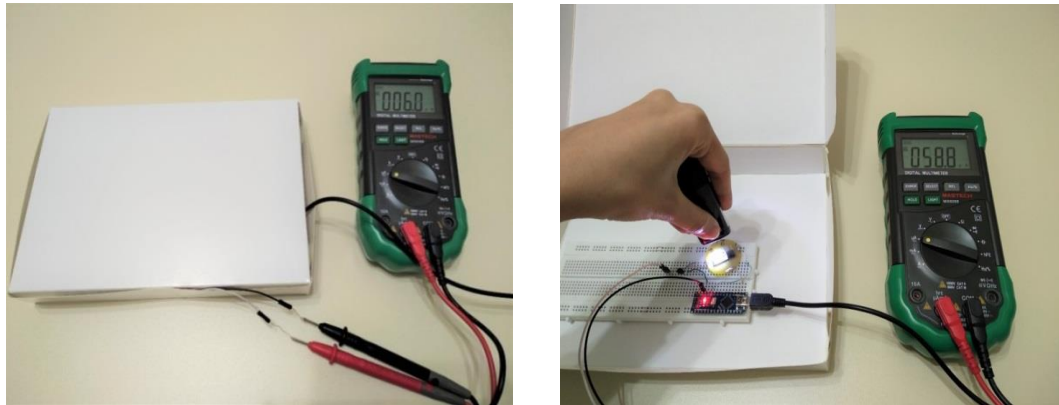
$\text{CdSe} / \text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $x=0.05$ ) nazik təbəqəli hetrokeçidində cərəyanın keçmə mexanizmi öyrənilmiş,  $T=300\text{K}$  temperaturda qaranlıq VAX və fotocərəyan tədqiq edilmişdir. HK-in müqaviməti müəyyən edilmişdir. VAX qeyri-simmetrik olmuşdur, düzünə cərəyanlar 0.5 - 1.2 mV gərginlikdə əks cərəyanları üstələyir (şək. 3.9).





Şək.3.9. CdSe/ Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Se ( $x=0.05$ ) HK-nin VAX

Alınmış təbəqələrin və HK-in işıqlanmaya həssas olduğu müəyyən edilmişdir (şək.3.10).



Şək. 3.10. Fotohəssaslığın yoxlanılması

Beləliklə, tədqiq olunan Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Se ( $x=0.02$ ,  $x=0.05$ ) nazik epitaksial təbəqələr günəş elementlərinin hazırlanmasında istifadə edilə bilər.

## NƏTİCƏLƏR

1.  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $x=0.02$ ,  $x=0.05$ ) nazik təbəqələri şüşə altlıqlar üzərində yetişdirilmiş, kristal quruluşu və tərkib analizləri XRD, EDX üsulları ilə öyrənilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, şüşə altlıqlar üzərində böyüdülmüş nazik təbəqələr səthə mərkəzləşmiş kubik struktura malikdir.
2. Buraxma spektrindən  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $x=0.02$ ,  $x=0.05$ ) nazik təbəqələrinin qadağan olunmuş zonasının eni müəyyən edilmişdir,  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $x=0.02$ ) üçün  $E_g = 1,72$  eV-dir.  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $x=0.05$ ) üçün  $E_g = 1,7$  eV olmuşdur. Bu onu deməyə əsas verir ki,  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  tərkibində  $\text{Mn}^{3+}$  ionlarının artması qadağan olunmuş zonanın eninin azalmasına səbəb olmuşdur.
3. Fotohəssaslığı yoxlanılmış və işıqlanmaya həssas olduğu müəyyən edilmişdir. Beləliklə, tədqiq olunan  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Se}$  ( $x=0.02$ ,  $x=0.05$ ) nazik epitaksial təbəqələr günəş elementlərinin hazırlanmasında istifadə edilə bilər.

## İSTİFADƏ OLUNMUŞ ƏDƏBİYYAT SİYAHISI

1. Mehrabova, M.Ə. (2018).  $A^{II-IV}B^{VI}$  halkogenidlərinin elektron quruluşu, defekt əmələgəlmə enerjisi və ionlaşdırıcı şüaların onların fiziki xassələrinə təsiri / fizika üzrə elmlər doktoru dissertasiyası.
2. Abdullayeva, A.A., Mehrabova, M.A., Nuriyev, H.R., Kerimova, T.I., Hasanov, N.H., Nazarov, A.M. (2021). Electrical Impedance Spectroscopy of  $Cd_{1-x}FexTe$  Semimagnetic Semiconductors. USBIK 2021 Online international congress on natural sciences, 11.
3. Adachi, N., Kido, G., Anderson Y.J.R. (1990). Far-infrared electron spin resonance in  $CdMnSe$  and  $CdCoSe$ . Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 91, 778-780
4. Afaneh, F., Okasha, M., Hamam, K.J., *et al.* (2018) The  $\gamma$ -irradiation Effect on the Optical Properties of  $CdTe$  Thin Films Deposited by Thermal Evaporation Technique. Materials Science (Medžiagotyra), 24(1), 3-9.
5. Bachelet, G., Hamann, D., Schluter, M. (1982). Pseudopotentials that work: from H to Pu. Phys. Rev. B, 26(8), 4199-4228.
6. Bryant, F.J., Uddin, M., Reed, J., Thomas, E. (1982). Hot-wall epitaxial growth of  $Pb_xSn_{1-x}Te$  heterolayers for infrared diode laser device. Infrared Phys., 22(2), 97-107. [https://doi.org/10.1016/0020-0891\(82\)90024-0](https://doi.org/10.1016/0020-0891(82)90024-0)
7. Eid, A.H., Seddek, M.B., Salem, A.M., Dahy, T.M. (2008). Preparation and Characterization of Thermally Evaporated  $Cd_{1-x}Mn_xSe$  Thin Films. Journal of Applied Sciences Research, 4(3), 319-330
8. <http://www.aensiweb.com/old/jasr/jasr/2008/319-330.pdf>
9. Holda, A., Rodzik, M., Melnikow, A.A., *et al.* (1995). Allocation and properties of iron states in  $Cd_{1-x}FexTe$  in forbidden gap energy range. Phys. St. Sol. (b), 87(2), 357-360.
10. Mammadli, S.N., Mehrabova, M.A., Hasanov, N.H. (2023). Crystal structure and surface morphology of  $Cd_{1-x}FexS$  solid solution-based thin films. The Baltic

- scientific journals. Proceedings of the international research, education and training center. 2023, 27(6), 96-101.
11. Mehrabova, M.A., Abdullayeva, A.A., Hasanov, N.H., Huseynov N.I. (2022). Effect of gamma irradiation on electrical and photoelectrical properties of CdFeTe thin films. Selçuk Üniversitesi Sosyal ve Teknik Araştırmalar Dergisi, Özel Sayısı, 20(1), 115-119.
  12. Mehrabova, M.A., Huseynov N.I., Abdullayeva A.A., Sadigov R.M. (2023). Electrical properties of thin-film CdTe:CdFeTe heterojunctions // AJP FIZIKA, Section C, 67-70, [http://physics.gov.az/physart/015\\_2023\\_C-HAA\\_67\\_en.pdf](http://physics.gov.az/physart/015_2023_C-HAA_67_en.pdf)
  13. Mehrabova, M.A., Kerimova, T.I., Nuriev, I.R., *et al.* (2018). Effect of gamma irradiation on dielectric properties of  $Cd_{1-x}Mn_xFe_xTe$  semimagnetic semiconductors. Journal of Radiation Researches, 5(2), 51-54.
  14. Mehrabova, M.A., Mekhrabov, A.O. (2023). Effect of gamma irradiation on electrical and photoelectrical properties of  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  thin films. Machine science, 2, 70-77, <http://dx.doi.org/10.61413/GDKV8772>
  15. Mehrabova, M.A., Nuriyev, H.R., Orujov, H.S., *et al.* (2020). Effect of gamma irradiation on conductivity of  $Cd_{1-x}Fe_xTe$ . Semiconductors, 61(12), 2306-2309.
  16. Mehrabova, M.A., Nuriyev, H.R., Orujov, H.S., Kerimova, T.I., Abdullayeva, A.A., Hasanov, N.H., Nazarov, A.M. (2019). 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”, 158.
  17. Mehrabova, M.A., Orujov, H.S., Nuriyev, H.R., Hasanov, N.H., Abdullayeva, A.A., Suleymanov, Z.I. (2019). Ab-Initio calculations of electronic structure of CdFeTe and optical properties. 11th Conference on Modern Trends In Physics, Dedicated to the 100th anniversary of BSU, 39-42.
  18. Mehrabova, M.A., Sadigov, R.M., Nuriyev, I.K., Nazarov, A.M. (2023). Growth and characterization of epitaxial films based on semimagnetic  $Pb_{1-x}Eu_xTe$  solid solutions on various substrates. International Journal of Modern Physics B.
  19. Oseroff, S.B., Calvo, R., Fisk, Z., Acker, F. (1980). Magnetic behavior of  $Cd_{1-x}Mn_xSe$ . Physics Letters, 80A (8), 311-313.

20. Perdew, J., Zunger, A. (1981). Self interaction correction to density functional. Phys. Rev. B, 23, 5048-5078.
21. Proshchenko, V., Dahnovsky, Y. (2015). Optical spectra of CdMnSe of nano-ferro- and antiferro-magnets. Phys. Chem. Chem. Phys., 17, 26828
22. Reuben, S. (1963). Covalency and the Paramagnetic Resonance of Mn in CdSe Physical Review, 130 (1).
23. Samarth N. and Furdyna J.K. (1988). A Proposed interpretation of epr lnew'idth in diluted magnetic semiconductors. Solid State Communications, 65 (8), 801-804.
24. Subramanyam, J., *et al.* (2015). EPR and magnetic properties of vapour phase grown Cd<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>Te single crystals. Optoelectronics and advanced materials – rapid communications, 9(11), 1425-1428.
25. Sung, N.E., Park, H.Y., Jang, M.S. (2007). EXAFS Analysis of the Local Structure of Cd<sub>(1-x)</sub>M<sub>x</sub>Te (M=Cr, Fe, Ni). AIP Conference Proceedings, 885, 550-551.
26. Абдуллаева, А.А. и др. (2020). Ab initio расчеты дефектов в полумагнитных полупроводниках CdMnSe. Изв. РАН. Механика Твердого Тела, 1, 130-136.
27. Аленберг, В.Б. и др. (1981)/ Особенности структуры пленок Pb<sub>1-x</sub>Sn<sub>x</sub>Te, полученных методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Неорг. материалы, 17 (9), 1591-1593.
28. Жуковски, П. и др. (2007). Проводимость на переменном токе и электронный парамагнитный резонанс соединений Cd<sub>1-x</sub>Fe<sub>x</sub>Te. Физика и техника полупроводников, 41(5), 544-548.
29. Мехрабова, М.А. Влияние  $\gamma$ -излучения на ЭПР спектры твердых растворов Cd<sub>1-x</sub>Mn(Fe)Te / М.А.Мехрабова, И.Р.Нуриев, Т.И.Керимова и др.// Azerbaijan Journal of Physics, – Baku: – 2018. V. XXIV, n. 3, sec: Az., – p. 128-129.
30. Мехрабова, М.А., Оруджев, Г.С., Нуриев, И.Р., Гасанов, Н.Г., Абдуллаева, А.А., Казимова, А.И. (2019). Расчеты из первых принципов энергий дефектообразования в полумагнитных полупроводниках. “Maqnit yumşaq

ərintilərin hərbi sahədə tətbiqi perspektivləri” Beynəlxalq elmi-praktik konfrans, Bakı, 9-10 oktyabr, 22-29.

31. Никитин, П.И., Савчук, А.И. (1990) Эффект Фарадея в полумагнитных полупроводниках. Успехи физических наук, 160(11), 167-196.
32. Нуриев, И.Р. и др. (1999). Перспективный метод получения эпитаксиальных пленок и p-n структур в сверхвысоком вакууме. Прикладная физика, 3, 126-127.
33. Нуриев, И.Р., Мехрабова, М.А., Керимова, Т.И., Касымов, Р.Д., Абдуллаева, А.А. (2018). Влияние  $\gamma$ -излучения на ЭПР спектры твердых растворов  $Cd_{1-x}Mn(Fe)_xTe$ . Modern trends in condensed matter physics, Bakı, 110-111.
34. Нуриев, И.Р., Мехрабова, М.А., Назаров, А.М. (2018). Особенности роста и влияние ионизирующего излучения на фотопроводимость эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Mn(Fe)_xTe$ . Международная НТК и школа по фотоэлектронике и приборам ночного видения, НПО «Орион», 573-575.
35. Нуриев, И.Р., Мехрабова, М.А., Назаров, А.М., Садиков, Р.М., Мирзоев, Э.И., Абдуллаева, А.А., Гулмамедов, К.Д. (2018). Особенности роста и влияние ионизирующего излучения на фотопроводимость эпитаксиальных пленок  $Cd_{1-x}Mn(Fe)_xTe$ . XXV Международная НТК и школа по фотоэлектронике и приборам ночного видения, 2, 573-575.
36. Нуриев, И.Р., Оруджев, Г.С., Керимова, Т.И., Абдуллаева, А.А. (2018). ЭПР исследования твердых растворов  $Cd_{1-x}Mn(Fe)_xTe$ . Azərbaycan Demokratik Respublikasının 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq elmi-texniki konfrans, 174-176.
37. Салаев, Э.Ю. и др. (2003). Изопериодические гетеропереходы  $Pb_{1-x}Sn_xTe(In)$  и  $PbTe_{1-y}Se_y$ , полученные в сверхвысоком вакууме. Прикладная физика, 4, 91-94.
38. Хейне, В. Коэн, М.Л., Уейр, Д. (1973). Теория псевдопотенциала, Мир.