

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **KİMYƏVİ ÇÖKDÜRMƏ YOLU İLƏ ALINMIŞ PbS(Se) NAZİK TƏBƏQƏLƏRİNDƏ ELEKTRON VƏ FONON PROSESLƏRİ**

İxtisas: 2220.01-Yarımkeçiricilər fizikası

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **Sara Nadir qızı Yasinova**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi almaq üçün təqdim edilmiş  
dissertasiyanın

### **AVTOREFERATI**

**Bakı – 2024**

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutunun “Qeyri-kristallik yarımqeçiricilərin fizikası və elektronikası” və Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Təbii Ehtiyatlar İnstitutu Fiziki tədqiqatlar laboratoriyalarında yerinə yetirilmişdir.

Elmi rəhbər: AMEA-nın müxbir üzvü, fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Səlimə İbrahim qızı Mehdiyeva**

Rəsmi opponentlər: AMEA-nın həqiqi üzvü, fizika - riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Cavad Şahvələd oğlu Abdinov**

fizika - riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Yusif Quşu oğlu Nurullayev**

fizika - riyaziyyat elmləri doktoru, professor  
**Rauf Mədət oğlu Sərdarlı**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya şurası.



Dissertasiya şurasının sədri  
**Akademik Arif Məmməd oğlu Həşimov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi  
**fizika elmləri doktoru, dosent Rəfiqə Zabil qızı Mehdiyeva**

Elmi seminarın sədri: **fizika-riyaziyyat elmləri doktoru, professor Hüseyn Behbud oğlu İbrahimov**

## İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI

### **Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.**

Son zamanlar qurğusun xalkogenidləri əsasında yeni nanoquruluşlu yarımkeçirici funksional materialların alınmasına və tədqiqinə maraq intensiv şəkildə artmaqdadır. Bunun başlıca səbəbi müxtəlif innovativ metodlarla alınan qurğusun xalkogenidlərinin qeyri-xətti optik xassələrə, kimyəvi sensorlar üçün selektiv və passiv fiber ötürücü xüsusiyyətlərə, spektrin infraqırmızı (İQ) oblastında yüksək fotehəssaslığa malik olması ilə əlaqədardır.

İnfraqırmızı texnikanın sürətli inkişafı spektrin bu oblastına həssas yarımkeçirici materialların sintezi və alınma texnologiyasının təkmilləşdirilməsi ilə sıx bağlıdır. Oudur ki, funksional yarımkeçirici birləşmələr və onların nazik təbəqələri elektron və optik xassələrinə görə müxtəlif cihaz və qurğuların hazırlanmasında xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Nazik təbəqələrin və nanostrukturların İQ texnikada geniş tətbiqi son zamanlar bu sahədə elmi tədqiqatlara diqqəti artırmış, spektrin İQ oblastına həssas olan yeni yarımkeçirici nazik təbəqələrin alınması, struktur və fiziki xassələrinin öyrənilməsi yarımkeçiricilər fizikasının ən aktual məsələlərindən olmuşdur.  $A^4B^6$  qrupuna məxsus darzolaqlı yarımkeçiricilər İQ optika üçün ən qiymətli materiallardır. Bu həmin materiallar əsasında hazırlanan çeviricilərin çoxfunksiyalı olmaları ilə bağlıdır. Yüksək texnoloji üsulların tətbiqi nəticəsində qeyd olunan materiallardan kvant nöqtələrinin, kvant məftillərinin və digər aşağıölçülü obyektlərin yaradılmasına marağın artması onların opto- və nanoelektronika qurğularında və alternativ enerji sistemlərində tətbiqi ilə də bağlıdır. Yarımkeçiricilər fizikası və texnikasının müasir mərhələsində polikristallik strukturlardan nanostrukturulara keçdikdə ölçülərdən asılı olaraq fiziki xassələrin dəyişməsinə xüsusi diqqət verilir. Nanostrukturlu qurğusun xalkogenidlərinə artan marağın səbəblərindən biri də onların İQ oblastda işləyən çevik, kompakt və aşağı enerji sərfiyyatlı olmasıdır. Elmi ədəbiyyatda kvant nöqtələrinə malik darzolaqlı yarımkeçiricilərin optik xassələrinin tədqiqinə aid materiallar geniş təhlil olunur. Araşdırmalar göstərir ki, bu yarımkeçiricilərdə kvant nöqtələrinin olmasını və xüsusiyyətlərini bilmək üçün spektrin İQ

oblastında qeyri-xətti optik xassələrin tədqiqi əhəmiyyətlidir. Məlum olmuşdur ki, IV-VI qrupa aid darzolaqlı yarımkeçiricilər olan PbS, PbSe, PbSe<sub>x</sub>S<sub>1-x</sub> qeyri-xətti optik xassələrə malik və spektrin yaxın və orta İQ oblastında ikifotonlu udma xüsusiyyətlərinə malik olub aşağı maliyyə dəyərli optik qurğularda uğurla tətbiq oluna bilər. Bu qəbildən olan tədqiqatların nəticələrinin təhlili göstərir ki, tərkibində nanoçubuqlar olan qurğuşun xalkogenidlərinin sintezi, optik və quruluş xassələrinin öyrənilməsi elmi-praktiki aktualıq kəsb edir. Müəyyən olunmuşdur ki, tərkibdən asılı olaraq tədqiq olunan nümunələrdə keçiriciliyin tipi dəyişir. Yarımkeçirici materiallar içərisində metal sulfidlərə və onlar əsasında bərk məhlullara çoxfunksiyalı xassələrinə görə tələbat yüksək səviyyədədir. Qurğuşun sulfid əsasında hazırlanan fotoqəbuledicilər 50 ildən artıq bir müddətdə məlum olmalarına baxmayaraq bu gün də öz aktuallığını saxlayır. Ədəbiyyat materiallarının araşdırılması göstərir ki, Pb(S, Se, Te) sistemləri əsasında alınan həcmi və nanostrukturulu maddələrin quruluşunun identifikasiyası və səpilmə mexanizmlərinin müəyyənəşdirilməsi üçün işığın kombinasiyalı səpilməsi metodundan geniş istifadə olunur.

Darzolaqlı qurğuşun xalkogenidləri (PbX, X=S, Se, Te) özlərinin geniş tətbiqinə, maraqlı fiziki xassələrinə görə son illər ən çox öyrənilən birləşmələrdəndir. Bu birləşmələrin nazik təbəqələri İQ oblastda işləyən detektorların, qaz sensorlarının, fotodiodların, İQ-lazerlərin, termoelektrik çeviricilərinin hazırlanmasında istifadəsinə görə böyük maraqa səbəb olur<sup>1</sup>.

Bərk cisimlər əsasında hazırlanan lazerlərə olan funksional tələblərin artması iki-fotonlu udma xüsusiyyətlərinə malik darzolaqlı yarımkeçiricilərin optik xassələrinin geniş tədqiqinə səbəb olmuşdur<sup>2</sup>. Aparılan tədqiqatlardan belə nəticəyə gəlinir ki, qurğuşun xalkogenidlərinin (PbSe və PbS) optoelektron xassələrini termik emalla, tərkibə daxil olan xalkogen komponentlərinin nisbi

---

<sup>1</sup> Маскаева, Л.Н. Технология тонких пленок и покрытий / Л.Н.Маскаева, Е.А.Федорова, В.Ф.Марков учебное пособие, –2019, –236 с.

<sup>2</sup> Wawrzynczyk, D. Third-order nonlinear optical properties of infrared emitting PbS and PbSe quantum dots / D.Wawrzynczyk, J.Szeremeta, M.Samoc et al. // The Journal of Physical Chemistry C., –2016. –Т.120, № 38, –р.21939-21945.

konsentrasiyasını və eləcə də idarə oluna bilən kvant nöqtələrinin diametral ölçülərini (8.1÷16.1 nm intervalında) dəyişməklə tənzimləmək mümkündür<sup>3</sup>. Bu qəbildən olan digər tədqiqatlar göstərir ki, qaynar injeksiya metodu ilə alınan PbS(PbSe) maddələrində texnoloji rejimdən asılı olaraq nanohissəciklərin ölçülərinin 1.32 ±2.26 nm və 1.28–2.48 nm intervallarında idarə olunması quruluş, optik və elektrik xassələrinin məqsədyönlü idarə edilməsinə zəmin yaradır<sup>4</sup>.

Eksitonun bor radiusunun böyük olmasına görə (8nm) qurğuşun xalkogenidləri əsasında olan birləşmələrin nanohissəciklərində nəzərə çarpacaq dərəcədə kvant ölçü effektlərini təcrübi müşahidə etmək mümkün olur<sup>5</sup>.

Müəlliflər əksər hallarda işığın kombinasiyalı səpilməsi zamanı müşahidə olunan daha intensiv zolaqları eninə (TO) və uzununa (LO) fononlara aid edirlər. Qurğuşun xalkogenidlərində fotooksidləşmə proseslərini minimum hala gətirmək üçün həyəcənlaşma intensivliyi aşağı səviyyədə olan optik tədqiqatların aparılması zəruridir. Qeyd olunan təhlillər göstərir ki, nəticələrin düzgün identifikasiyası əlavə kompleks məlumatların olmasını tələb edir. Beləliklə, dissertasiyada qarşıya qoyulan məqsəd və aparılan tədqiqatlar kifayət qədər aktualdır.

### **Tədqiqatın obyektı və predmeti:**

Tədqiqatın obyektı otaq temperaturunda trietanolamin komponentli (və trietanolaminsiz) mühitdə kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınan PbS, PbSe, PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələri və onların tozşəkili nümunələri, predmeti isə alınmış maddələrdə elektron və fonon proseslərinin tədqiqidir.

---

<sup>3</sup>Liu, J. Precipitation and optical properties of PbSexS1-x quantum dots in glasses / J.Liu, J.Liu, W. Zhang et al. // Journal of Non-Crystalline Solids, –2023. –T. 604, –p.122156-122160.

<sup>4</sup>El-Menyawy, E.M. Structural, optical and electrical properties of PbS and PbSe quantum dot thin films / E.M.El-Menyawy, G.M.Mahmoud, R.S. Ibrahim et al. // Journal of Materials Science: Materials in Electronics, –2016, –T.27., –p. 10070-10077.

<sup>5</sup> Мараева, Е.В. Получение и исследование наноструктурированных поликристаллических слоев и систем с квантовыми точками на основе халькогенидов свинца / Е.В. Мараева // Фундаментальные проблемы радиоэлектронного приборостроения, –2014. –Т. 14, № 3, –с. 47-50.

### **Tədqiqatın məqsədi və vəzifələri:**

Kimyəvi çökdürmə üsulu ilə müxtəlif temperaturalarda nanostrukturulu PbS(Se), PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin və tozların alınması, strukturdan asılı olaraq elektron xassələrinin dəyişmə qanunauyğunluqlarının və infraqırmızı texnikada tətbiq imkanlarının müəyyənləşdirilməsindən ibarətdir.

### **Qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı işlər görülmüşdür:**

- Kimyəvi çökdürmə yolu ilə 60 °C və otaq temperaturalarında PbSe nazik təbəqəsi və tozu alınmış, trietanolamin komponentinin reaksiyanın gedişatına təsiri müəyyən edilmişdir;

- 40°C temperaturda və otaq temperaturunda PbS nazik təbəqəsi və tozu alınmışdır;

- Otaq temperaturunda və 50°C temperaturda PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub>-nin nazik təbəqələri və tozu alınmışdır ;

- Müxtəlif temperaturalarda alınmış PbS, PbSe, PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin, tozlarının Rentgen və Raman spektrləri çəkilmişdir;

- Skanedicci atom qüvvə mikroskopunda PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin və tozlarının səth morfologiyası öyrənilmişdir;

- PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı öyrənilmişdir;

- PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin Ellipsometriya metodu ilə optik parametrləri tədqiq edilmiş və nəticələr “Graphycal analysis” proqramı vasitəsilə araşdırılmışdır;

- PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin spektrin infraqırmızı oblastında optik udulma əmsalları ölçülmüşdür;

- Rentgen difraksiya səpilməsindən nanohissəciklərin optimal ölçüləri təyin olunmuş və onların Raman səpilməsinə təsirləri analiz olunmuşdur;

- PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> tozlarının 20-800°C temperatur intervalında termogravimetrik analizləri aparılmışdır.

### **Tədqiqat metodları:**

Aparılan tədqiqatlarda PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> maddələrinin ellipsometrik ölçmələri, nano quruluşunun, fonon spektrinin və elektron xassələrinin tədqiqi üçün Rentgen şüalarının difraksiyası, Raman spektroskopiyası, optik spektroskopiya, diferensial skanlayıcı

kalorimetriya (DSK) metodları tətbiq olunmuşdur.

**Müdafiyyə çıxarılan əsas elmi müddəalar:**

1. Müxtəlif temperaturlarda kimyəvi çökdürmə yolu ilə qurğuşun xalkogenidlərinin (PbS, PbSe və  $PbS_{0,5}Se_{0,5}$ ) nazik təbəqələrinin alınma texnologiyasının işlənib hazırlanması və sintezi;

2. Sintez zamanı qarışıq məhlulda trietanolamin komponentinin miqdarı artdıqca PbS nazik təbəqəsinin qadağan zonasının kiçilməsi və trietanolaminin olmadığı halda maksimum qiymət alması;

3. Məhlulda trietanolamin komponenti əlavə olunmadan alınan PbSe tozunda eni 376 nm, uzunluğu 3-4 mkm, əlavə olunduqda isə uzunluğu 5-6 mkm, eni 150 nm olan nanoçubuqların aşkar olunması;

4. Nanostrukturulu PbSe nazik təbəqəsinin dielektrik funksiyasının həqiqi və xəyali hissələrinin spektral asılılıqlarından alınan ən yaxşı fitinq halının 2D formalı kritik nöqtə halına uyğun olması;

5. PbSe nazik təbəqəsi üçün tapılan  $E=2,5$  eV qiymətinin nəzəri hesablanmış  $E=2,3$  eV qiymətinə yaxın olub kritik nöqtənin  $m=0$  ikiölçülü (2D) halına və  $L_4 \rightarrow L_6$  keçidinə uyğunluğu;

6. PbS, PbSe və  $PbS_{0,5}Se_{0,5}$  nümunələrinin Raman səpilmə spektrlərində müşahidə olunan piklərin eninə və uzununa optik fononlarla əlaqədar olması;

7. PbS, PbSe və  $PbS_{0,5}Se_{0,5}$  nümunələrinin buraxma spektrlərinin infraqırmızı oblastında müşahidə olunan müxtəlif tezlikləri piklərin aid olduqları funksional qrupların müəyyən edilməsi qadağan zonanın eninin  $0,35 \div 0,39$  eV arasında dəyişməsi;

**Tədqiqatın elmi yeniliyi:**

1. Müxtəlif temperaturlarda kimyəvi çökdürmə yolu ilə qarışıq məhlulda qurğuşun xalkogenidlərinin (PbS, PbSe və  $PbS_{0,5}Se_{0,5}$ ) nazik təbəqələrinin və tozlarının alınma texnologiyası işlənib hazırlanmış, qalınlıqları  $\approx 200$  nm olan nazik təbəqələr və narın tozları alınmışdır.

2. Məhlulda trietanolamin komponenti əlavə olunmadan alınan PbSe tozunda eni 376 nm, uzunluğu 3-4 mkm, əlavə olunduqda isə uzunluğu 5-6 mkm, eni 150 nm olan nanoçubuqlar müşahidə olunmuşdur.

3. PbS, PbSe və  $PbS_{0,5}Se_{0,5}$  nazik təbəqələrinin ellipsometrik

ölçmələrinin nəticələri "Graphical analysis" proqramı ilə araşdırılmış və PbSe üçün tapılan  $E=2,5$  eV qiymətinin nəzəri hesablanmış  $E=2,3$  eV qiymətinə yaxın olub  $m=0$  ikiölçülü (2D) halına və Brüller zonasının  $L_4 \rightarrow L_6-a$ ,  $PbS_{0,5}Se_{0,5}$  üçün isə  $E=3,5$  eV olub  $L_5 \rightarrow L_6$  keçidinə uyğunluqları göstərilmişdir.

4. Rentgen difraksiya spektrlərində PbSe və  $PbS_{0,5}Se_{0,5}$  –də 2 $\theta$  bucaqları üst-üstə düşür, PbS-də isə bu nisbətən kiçik bucaqlara tərəf yerini dəyişir.  $PbS_{0,5}Se_{0,5}$  və PbS-də (111) müstəvilərindən əksolmaya uyğun piklərin bucaqları arasındakı fərq  $2\theta \approx 0,9^\circ$  olduğu halda, bucaqlar böyüdükcə bu fərq tədricən arataraq (422) müstəvilərindən əksolma üçün  $2\theta \approx 3^\circ$  olmuşdur.

5. Selenin kükürlə yarı əvəzlənməsi nəticəsində Raman səpilmə spektrində müşahidə olunan piklərin nisbətən böyük tezliklərə ( $70 \text{ sm}^{-1}$ ) doğru sürüşməsinin (111) müstəvisində səpilməyə zəmin yaradan nanohissəciklərin kristallit ölçülərinin artması ilə bağlılığı göstərilmişdir. Spektrin  $\sim 254 \text{ sm}^{-1}$  –də müşahidə olunan maksimumu elmi ədəbiyyatda  $Se_8$  halqalarının mövcudluğu ilə əlaqələndirilir.  $120 \div 122 \text{ sm}^{-1}$  –də müşahidə olunan piklər isə həm eninə, həm də uzununa fononların birgə iştirakı olduğu haldakı səpilməni göstərir.

6. PbS, PbSe və  $PbS_{0,5}Se_{0,5}$  nümunələrində spektrin infraqırmızı oblastında müşahidə olunan müxtəlif tezliklərə uyğun piklərin aid olduğu funksional qruplar identifikasiya olunmuş və həmin təbəqələr üçün Taus formuluna əsasən təyin olunan qadağan zonanın eninin qiymətlərinin  $0,3 \div 0,39$  eV arasında dəyişməsi və ədəbiyyatda göstərilən qiymətlərlə uyğunluğu müəyyən edilmişdir. Qarışıq məhlulda trietanolaminin miqdarı artdıqca alınan PbS nazik təbəqəsinin qadağan zonası azalır trietanolaminin iştirak etmədiyi halda bu kəmiyyət özünün maksimum qiymətini alır.

#### **Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:**

Təqdim olunan dissertasiyada kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınan PbS, PbSe və  $PbS_{0,5}Se_{0,5}$  nazik təbəqələrinin optik udulma spektrlərinin analizi göstərir ki, fundamental udulma kənarı və o cümlədən optik qadağan zonalarının eni  $E_g \sim 0,347 \div 0,392$  eV intervalında dəyişərək spektrin infraqırmızı oblastına düşür. Bu nəticələr göstərir ki, tədqiq olunan nümunələr dar zolaqlı yarımkəçirici olub, sadə alınma



texnologiyası ilə yanaşı, infraqırmızı detektorlarda perspektiv tətbiq imkanlarına malikdir. Aparılan tədqiqatlar göstərir ki, qeyd olunan metodla alınan PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nanohissəciklərinin effektiv ölçülərini məqsədyönlü idarə etməklə tələb olunan qeyri-xətti optik xassələrə, ion selektiv sensor xüsusiyyətlərinə malik optik çeviricilərin və sensorların aktiv işçi elementlərini almaq mümkündür. Kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınan PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nanohissəcikli nazik təbəqələr spektrin orta infraqırmızı oblastında nisbətən zəif udulma əmsalına malik olduğundan passiv fiber ötürücülərdə tətbiq oluna bilər.

### **Aprobasiyası və tətbiqi:**

Dissertasiyanın nəticələri aşağıdakı elmi konfranslarda məruzə edilmişdir:

- Elektrik mühəndisliyinin texniki və fiziki problemləri 15-ci Beynəlxalq Konfrans ( İstanbul, 2019) ;

- Elektrik mühəndisliyinin texniki və fiziki problemləri 16-cı Beynəlxalq Konfrans ( İstanbul, 2020) ;

- Elektrik mühəndisliyinin texniki və fiziki problemləri 19-cu Beynəlxalq Konfrans ( İstanbul, 2023) ;

- Fizikanın aktual problemləri Beynəlxalq elmi konfransı (Naxçıvan, 2024) ;

- Advanced Laser Technologies, International Conference ALT24, 23-27 September 2024, Vladivostok, Russia;

- Naxçıvan Muxtar Respublikasının 100 illiyi və Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu alimlərinin yubileyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans (Naxçıvan 2024);

“Dissertasiya işinin mövzusunə dair yerli və xarici elmi nəşrlərdə 15 elmi əsər çap olunmuşdur. Bunların 9-u məqalə 6-sı isə beynəlxalq konfrans materialıdır.

### **Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı:**

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutunda və Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Təbii Ehtiyatlar İnstitutunda yerinə yetirilmişdir.

**Dissertasiyanın strukturu və həcmi.** Dissertasiya işi giriş, 5 fəsil, nəticələr və 124 adda istinad edilmiş ədəbiyyatın biblioqrafik siyahısından ibarət olmaqla, 132 səhifədə şərh olunmuşdur. Dissertasiya işində 59 şəkil, 7 cədvəl vardır. Giriş – 24204 işarə

sayı, I fəsil – 48381 işarə sayı, II fəsil – 30235 işarə sayı, III fəsil – 22870 işarə sayı, IV fəsil – 9608 işarə sayı, V fəsil – 23859, Nəticə – 3742 işarə sayından ibarətdir.

Dissertasiya işinin ümumi həcmi cədvəl, şəkil, ədəbiyyat siyahısı istisna olunmaqla 162899 işarədən ibarətdir.

## DİSSERTASIYANIN ƏSAS MƏZMUNU

**Girişdə** dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, elmi yeniliyi, praktiki əhəmiyyəti göstərilmiş, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, aprobasiya dərəcəsi, nəşrlər barədə məlumat verilmiş, həmçinin fəsillər üzrə əsas məzmunu qıscaca şərh olunmuşdur.

**Birinci fəsilə** PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin tədqiqi ilə bağlı ədəbiyyat icmalısı araşdırılır. Kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınmış PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin və tozlarının texnikada geniş tətbiq imkanları, strukturu, fiziki xassələri, ədəbiyyat materiallarından əldə edilən məlumat əsasında müqayisəli təhlil edilmişdir. Kimyəvi çökdürmə üsulunun tətbiq baxımından daha keyfiyyətli və əlverişli üsul olmasından geniş bəhs edilmişdir. Ədəbiyyat materiallarının araşdırılmasından belə bir nəticəyə gəlmək mümkündür ki, kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınmış PbX(S,Se,Te) yarımkeçirici nazik təbəqələri elektrotexnikada daha geniş tətbiq olunur. Qeyd edilir ki, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> yarımkeçirici nazik təbəqələrinin optik xassələri lazımcıca öyrənilməmişdir. Ədəbiyyat materiallarından belə nəticəyə gəlinir ki, Raman ölçmələrində eninə və səth fonon modları adətən simmetriya məhdudiyyətləri ucbatından müşahidə olunmur. Bu qəbildən olan tədqiqatlar göstərir ki, PbS, PbSe, PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrində səth layları və laylarla bağlı yaranan defektlər fiziki parametrlərin idarə olunmasında mühüm rol oynayır. Həmçinin ədəbiyyat materiallarından məlum olur ki, PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin kvant məhdudlanma effektləri aşağı ölçülü yarımkeçiricilərin dielektrik funksiyasına ciddi təsir edir.

Beləliklə, elmi ədəbiyyatın geniş təhlili göstərir ki, dissertasiya işində aparılan tədqiqatlar həm elmi, həm də praktiki cəhətdən qarşıya qoyulan mühüm problemin həllinə tövə verəcəkdir.

**İkinci fəsildə** Ədəbiyyat materiallarına istinadən PbS, PbSe, PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınma texnologiyası və onun üstünlüklərindən qısaca bəhs edilir. Sonra isə dissertasiya işində istifadə olunan materialların (PbS, PbSe, PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub>) nazik təbəqələrinin alınma texnologiyası haqqında nəticələr şərh olunur. Kimyəvi çökdürmə yolu ilə 40°C temperaturda PbS nazik təbəqəsinin və tozunun alınması üçün trietanolamin komponentinin miqdarına əsasən nazik təbəqələrin keyfiyyətləri araşdırılmışdır. Məhlulda qurğuşun asetat komponentinə əsasən PbS birləşməsinin çıxımı təyin olunmuşdur.

PbS nazik təbəqəsinin kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınması üçün istifadə olunan məhlul aşağıdakı qaydada hazırlanmış məhlulların hər birindən eyni qədər (həcm ölçüsü ilə) götürməklə alınır: qurğuşun asetat Pb(CH<sub>3</sub>COO)<sub>2</sub> - 0,07 M; natrium hidroksid (NaOH)-0,3 M; trietanolamin N(CH<sub>2</sub>CH<sub>2</sub>OH)<sub>3</sub>-0,06 M; tiomoçevina (NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CS-0,17 M. Kimyəvi çökdürmə prosesi 60 ml-lik laboratoriya stəkanının içərisində 40°C-də aparılmışdır<sup>6</sup>. Həmçinin otaq temperaturunda həmin məhlullar eyni miqdarda götürülməklə otaq temperaturunda PbS nazik təbəqəsi və tozu alınmışdır.

Trietanolaminin məhluldakı miqdarının alınan PbS nazik təbəqəsinin xassələrinə təsirlərini aydınlaşdırmaq üçün üç müxtəlif nümunə hazırlanmışdır:

N- trietanolamin məhlulundan 0,06 mol götürməklə hazırlanan nazik təbəqə;

T4- trietanolamin məhlulundan 0,24 mol götürməklə hazırlanan nazik təbəqə;

T0- qarışıq məhlulda trietanolaminin iştirak etmədiyi halda alınan nazik təbəqə.

Hər üç halda şüşə üzərində bircins və yaxşı adgeziyaya malik PbS nazik təbəqələri alınmışdır.

PbSe nazik təbəqəsinin kimyəvi çökdürmə yolu ilə 60°C temperaturda alınması üçün istifadə olunan məhlul aşağıdakı qaydada

---

<sup>6</sup> Hüseyinliyev, M.H. / Kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınmış PbS nazik təbəqələrinin optik xassələrinə trietanolamin komponentinin təsiri / M.H.Hüseyinliyev, S.N.Yasinova, L.N. İbrahimova // AMEA Naxçıvan Bölməsi, “Xəbər”, 2018, №2, s.254-258.

hazırlanmış məhlulların hər birindən eyni qədər (həcm ölçüsü ilə) götürülməklə alınır: qurğuşun asetat  $Pb(CH_3COO)_2$  - 0,07 M; natrium hidroksid (NaOH)-0,3 M; trietanolamin  $N(CH_2CH_2OH)_3$ -0,06 M; natrium selenosulfat ( $Na_2SSeO_3$ )-0,17 M. Məhlula selen komponentinin daxil olunması üçün istifadə olunan natrium selenosulfat məhlulu 0,425 q metal selen tozu və 1,245 q natrium sulfidin 100 ml distillə suyunda 90<sup>0</sup>C temperaturda əks soyuducuda 7 saat müddətində qaynadılması yolu ilə alınmışdır<sup>7</sup>.

Bu prosedən sonra şüşə altlıq üzərində və istifadə olunan laboratoriya stəkanının divarlarında tünd qəhvəyi rəngli, yaxşı adgeziyaya malik, bircins, qalınlığı 183,41 nm olan PbSe nazik təbəqəsi alınır<sup>8</sup>.

Həmçinin PbSe nazik təbəqəsi və tozu otaq temperaturunda da həmin məhlullardan eyni miqdarda əlavə etməklə alınmışdır. Nəticədə şüşə üzərində 239,36 nm qalınlığında PbSe nazik təbəqəsi alınır.

PbSe tozuna uyğun ədəbiyyat materiallarından götürülmüş termodinamik parametrlərin entalpiya, entropiya və Gibbs enerjisi qiymətlərindən istifadə etməklə aparılmış reaksiyanın yekun təaliyinə əsasən reaksiyanın termodinamik parametrləri hesablanmışdır. PbSe tozunun kimyəvi və mineroloji tərkibi göstərilmiş, həmçinin qurğuşun yodametrik metodla da təyin edilmişdir.

Kimyəvi çökdürmə üsulu ən çox istifadə olunan və idarə oluna bilən metod hesab edilir. Buna görə də bu metod sadə və səmərəlidir. Ölçüləri idarə olunan və morfologiyaya görə təhlil edilmə imkanına malik olan nanoölçülü materialların hazırlanması potensial əhəmiyyət kəsb edir. Bundan başqa, nanostrukturlu materiallar fiziki-kimyəvi xassələrinin unikallığına görə geniş tədqiq edilmişlər<sup>9</sup>.

---

<sup>7</sup> Luther, J.M. Schottky solar cells based on colloidal nanocrystal films / J.M.Luther, M.Law, M.C.Beard et al. // Nano letters., –2008. T.8, № 10, – p.3488-3492.

<sup>8</sup> Mehdiyeva, S.I. Spectroscopic ellipsometry study of nanostructured PbSe thin films / S.I.Mehdiyeva, M.H.Huseynaliyev, S.N.Yasinova // International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” Iss.48, Vol.13, No.3, – September, –2021. IJTPE-2021, –p.95-98.

<sup>9</sup>Nəsirov, E.F. Kimyəvi çökdürmə üsulu ilə ZnSe nano və mikro hissəciklərinin sintezi / E.F.Nəsirov // AJP FİZİKA, –2019. volume XXV, №3, –s.50-54.

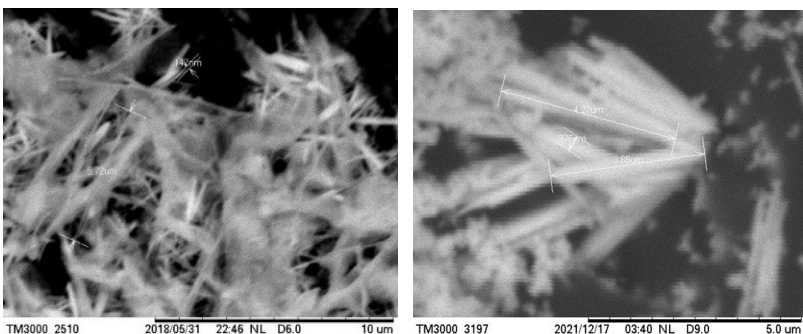
Kimyəvi çökdürmə yolu ilə PbS, PbSe və  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  nazik təbəqələri həm trietanolamin komponentli məhlulda, həm də trietanolamin komponentsiz məhlulda, PbS, PbSe və  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  nazik təbəqələri otaq temperaturunda, həm də  $60^\circ\text{C}$  (PbSe),  $50^\circ\text{C}$  ( $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$ ) və  $40^\circ\text{C}$  temperaturda isə (PbS) nazik təbəqələri və tozları alınmışdır.

Bu fəsilə həmçinin tədqiqat obyektini kimi seçilən PbS, PbSe və  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  birləşmələrinin ölçmələrində istifadə olunan metodlar şərh olunmuşdur. Birləşmələrin Rentgen spektrləri "D-8 ADVANCE" və Miniflex 600 difraktometrində çəkilmiş, Raman spektrləri *Nanofinder 30* Konfokal Raman mikrospektrometrində (Tokio Instr., Yaponiya) ölçülmüşdü. Həyəcanlandırıcı mənbə kimi dalğa uzunluğu 532 nm və maksimum gücü 10 mVt olan Nd:YAG lazerindən istifadə edilmişdir. Spektral ayırdetmə  $0,5 \text{ sm}^{-1}$ -dir. Səpilmiş şüanın detektoru fotonları toplama rejimində işləyən (termoelektrik yolla  $-100^\circ\text{C}$  temperatúra qədər soyudula bilən) CCD kamera olmuşdur. Raman spektrləri əksolunma həndəsəsində ölçülmüşdür. Alınmış tozşəkilli nümunələrin  $20\text{-}800^\circ\text{C}$  temperatur intervalında termogravimetrik analizləri "NETZSCH STA 449 F3" qurğusunda yerinə yetirilmişdir. PbS, PbSe və  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  nazik təbəqələrində optik xassələrin tədqiqi diffuz əksolma (otaq temperaturunda) metodu ilə "Nikolet İS-10" və "Vertex 70v" FTİR infraqırmızı spektrofotometrində, PbSe nazik təbəqəsinə məxsus difraksiya səpilməsi tədqiqatları isə "D-8 ADVANCE" Rentgen difraktometrində yerinə yetirilmişdir.

Şüşə altlıq üzərində alınmış PbS, PbSe və  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  birləşmələrinə məxsus nazik təbəqələrin TM-3000 Hitachi skanedici elektron mikroskopu vasitəsilə morfoloji xüsusiyyətləri araşdırılmış və element analizi aparılmışdır.

Optik ölçmələr "J. A. WOOLLAM COMPANY – M 2000 ELLİPSOMETER" cihazında yerinə yetirilmişdir. Bu cihazla  $0,74\text{-}6,45 \text{ eV}$  spektral diapozonda ölçmələr aparmaq mümkündür.

Şəkil 1.-də kimyəvi çökdürmə yolu ilə dördkomponentli məhlulda  $60^\circ\text{C}$  temperaturda alınmış PbSe nazik təbəqəsinin və üçkomponentli məhlulda  $60^\circ\text{C}$  temperaturda alınmış PbSe tozunun nanostrukturunu göstərilmişdir.



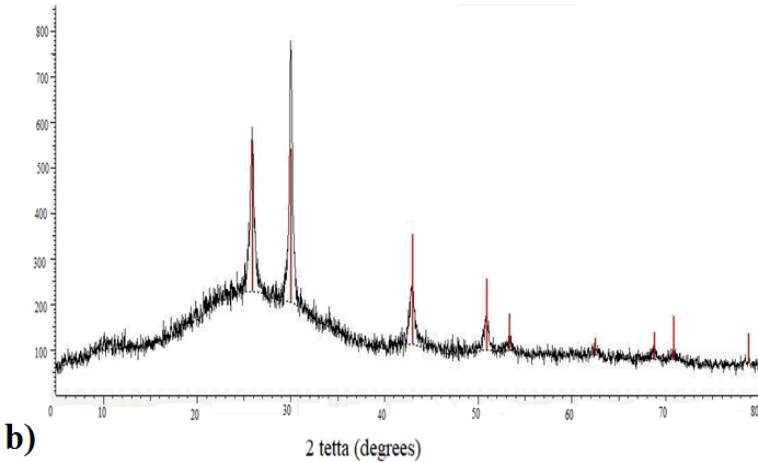
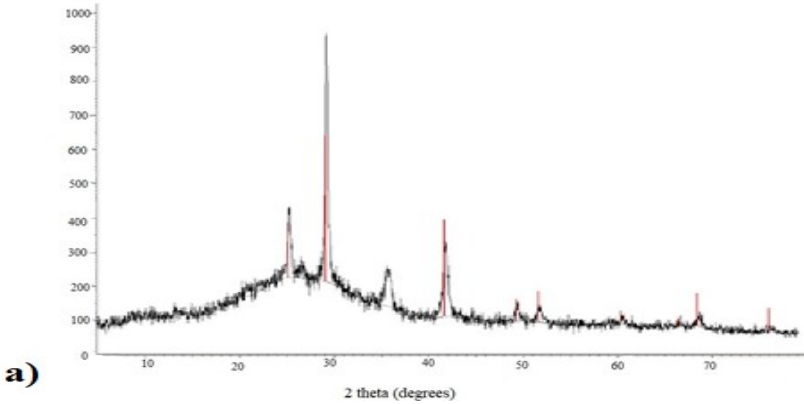
**Şəkil 1. Dördkomponentli məhlulda 60°C temperaturda alınmış PbSe nazik təbəqəsinin və üçkomponentli məhlulda 60°C temperaturda alınmış PbSe tozunun nanostrukturuları**

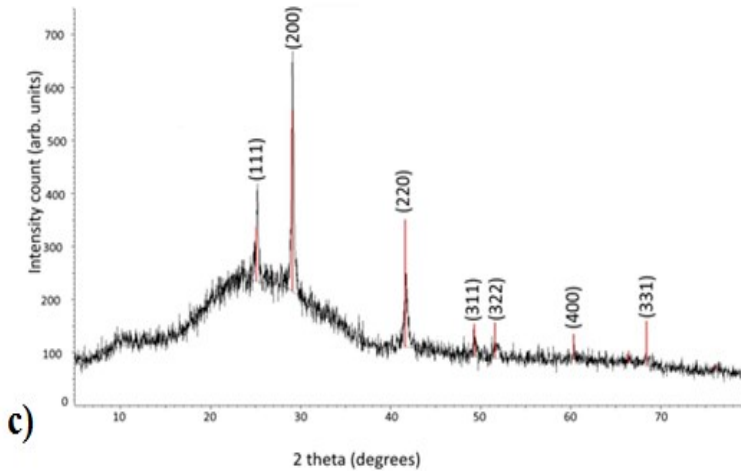
PbSe məhlulunda trietanolamin komponenti olan zaman nanostruktur yalnız PbSe nazik təbəqəsində müşahidə olunur, tozda isə heç bir nanaoquruluş müşahidə olunmur. Kimyəvi çökdürmə yolu ilə PbSe nazik təbəqəsi və tozunun alındığı məhluldan trietanolamin komponentini çıxardıqda PbSe nazik təbəqəsi çox nazik alınır və tozunda isə enləri 376 nm, uzunluqları isə 3-4 mkm olan nanoçubuqlar müşahidə olunur.

**Cədvəl 1  
PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> tozlarının kimyəvi tərkibi**

	<b>Pb</b>	<b>S</b>	<b>Se</b>
40°C temperaturda alınmış PbS tozu	40,81%	59,19 %	-
Trietanolamin komponenti olmayan məhlulda otaq temperaturunda alınmış PbSe tozu	68,7%	-	31,3%
Otaq temperaturunda alınmış PbSe tozu	52,95%	-	47,05%
Otaq temperaturunda alınmış PbS <sub>0,5</sub> Se <sub>0,5</sub> tozu	44,13%	33,14%	22,73%
Otaq temperaturunda Trietanolamin komponenti olmayan məhlulda alınmış PbS <sub>0,5</sub> Se <sub>0,5</sub> tozu	52,78 %	25,66 %	21,56 %

Dissertasiyanın **Üçüncü fəslində** kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınan qurğuşun xalkogenidlərinə (PbSe və PbS) məxsus nazik təbəqələrin quruluş xüsusiyyətlərində baş verən dəyişikliklər və Raman səpilməsinə təsir mexanizmləri aydınlaşdırılmışdır. PbS, PbSe və PbS<sub>0.5</sub>Se<sub>0.5</sub> nazik təbəqələrinin tərkibindəki kristallitlərin ölçüləri Debye-Scherrer düsturu vasitəsilə hesablanmışdır.





**Şəkil 2. Otaq temperaturunda kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınan PbSe(a), PbS(b) və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> (c) nazik təbəqələrinin Rentgen difraksiya əyriyələri**

Şəkil 2.-də alınan nəticələrə Debye-Scherrer düsturunu tətbiq edərək **PbSe**, **PbS** və **PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub>** -ə məxsus nanohissəciklərin kristallit ölçüləri hesablanmış və alınan nəticələr Cədvəl 2.-də göstərilmişdir.

**Cədvəl 2**

Parametrlər	PbS	PbSe	PbSe <sub>0,5</sub> S <sub>0,5</sub>
$2\theta_1$	25,91°	25.24°	25.22°
$\beta_1$	0,67	0.55	0.44
$d_1$	12,1 nm	14.8 nm	18 nm
$2\theta_2$	29,98°	29.31°	29.15°
$\beta_2$	0,7	0.77	0.46
$d_2$	11,7 nm	10.7 nm	17.9 nm
$2\theta_3$	42,98°	35.65°	41.65°
$\beta_3$	0,61	0.72	0.45
$d_3$	14,1 nm	11.6 nm	30.8 nm

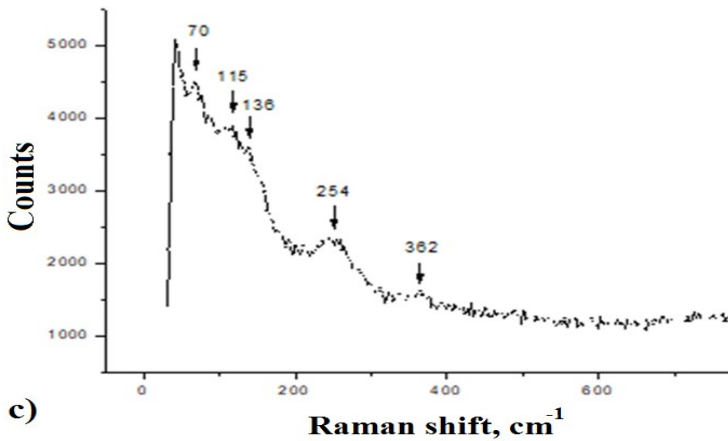
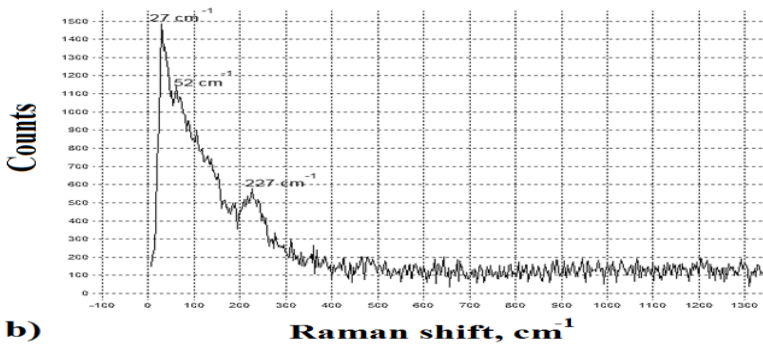
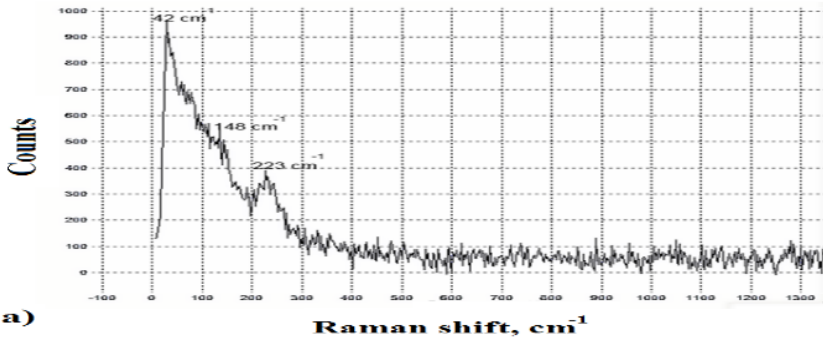


Səpilmə bucağının (20) Cədvəl 2.-də göstərilən qiymətləri Miller indeksləri müvafiq olaraq (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0), (3 1 1), (3 2 2) –ə uyğun müstəvilərdən difraksiya səpilmələrinə uyğun gəlir. Cədvəl 2.-dən görüldüyü kimi, PbSe, PbS və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> -nin nazik təbəqələrində aşkar olunan kristallitlərin ölçüləri nanometrlər tərtibində olub 10.7 ÷ 30.8 nm intervalında dəyişir. Digər tərəfdən alınan nəticələrdən məlum olur ki, tədqiq olunan maddələri tərkib modifikasiyasına məruz etdikdə nanohissəciklərin kristallit ölçüləri nəzərəçarpan səviyyədə dəyişir. Müəyyən olunmuşdur ki, kükürdün (S) selenlə(Se) əvəz olunması (tam nisbətdə) zamanı əsasən səpilmə bucağının (20) qiymətlərinə görə hesablanan kristallitlərin ölçüləri artır. Lakin kükürdün(S) selenlə(Se) yarı nisbətdə əvəz olunması səpilmə bucağının (20) bütün qiymətlərinə (20<sub>1</sub> , 20<sub>2</sub>, 20<sub>3</sub>) görə hesablanan kristallit ölçülərini artırır.

İşığın Raman səpilməsi atomlararası rabitələr, fononların xarakteristik tezlikləri, atomlararası güc əmsalları, fonon-fonon, fonon-elektron qarşılıqlı təsirləri haqqında məlumat verir.

Ədəbiyyat mənbələrinin araşdırılması göstərir ki, qurğuşun xalkogenidlərinin həcmi və nanostrukturlu nümunələrində tədqiqatçılar işığın Raman səpilməsi üsulunu tətbiq edərək sistemdə fononların enerjisini müəyyən edir və onun maddənin kimyəvi tərkibi, həmçinin strukturunun xüsusiyyətləri ilə bağlılığını göstəriirlər.

Tədqiqatların müqayisəli təhlillərindən belə qənaətə gəlinir ki, qurğuşun xalkogenidlərinin (PbSe və PbS) nazik təbəqələrini almaq üçün kimyəvi çökdürmə üsulunu tətbiq edərək məhlulun pH-nı, temperatur və konsentrasiyasını dəyişdirərək, kristallitlərin nano ölçülərini, nazik təbəqələrin qalınlığını, keyfiyyətini, çökmə sürətini və bunların hesabına alınan maddələrin quruluş və Raman səpilmə xüsusiyyətlərini məqsədyönlü idarə etmək mümkündür.



Şəkil 3. PbSe(a), PbS(b) və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> (c) nazik təbəqələrinin Raman spektrləri

Qeyd edək ki, eninə optik fononlarla bağlı olan səpilmə pikinin nisbətən böyük tezliyə ( $70 \text{ sm}^{-1}$ ) doğru sürüşməsi nanohissəciklər daxilində kükürd atomlarının nisbi payının artması (selenlə müqayisədə), yəni optik modun kütləsinin ( $\mu$ ) azalmasına səbəb olması ilə əlaqədardır. Raman səpilmə spektrlərinin  $\sim 254 \text{ sm}^{-1}$ -də müşahidə olunan maksimumu elmi ədəbiyyatda  $\text{Se}_8$  halqalarının mövcudluğu ilə əlaqələndirilir<sup>10</sup>.  $120 \text{ sm}^{-1} \div 122 \text{ sm}^{-1}$  intervalında müşahidə olunan piklər isə həm eninə, həm də uzununa optik fononların birgə iştirakı olduğu haldaki səpilməni göstərir. Epitaksiya metodu ilə alınan PbS nazik təbəqələri üçün ikiqat eninə optik fononlarla bağlı səpilmə, tezliyin  $186 \text{ sm}^{-1} \div 197 \text{ sm}^{-1}$  intervalında müşahidə edilmişdir<sup>11</sup>. Alınan nümunələrdə nanohissəciklərin ölçülərindən asılı olaraq yuxarıda qeyd olunan səpilmə zolağı zəif müşahidə olunaraq nisbətən yüksək tezliklər oblastına doğru sürüşür ( $223 \text{ cm}^{-1} \div 227 \text{ cm}^{-1}$ ). Beləliklə nəticələr göstərir ki, istər tərkibin modifikasiyası, istərsə də nanohissəciklərin ölçüləri alınan nazik təbəqələrin səthində baş verən fotooksidləşmə proseslərinə və ayrı-ayrı oblastlarda müşahidə olunan səpilmə zolaqlarına ciddi təsir göstərir.

**Dördüncü fəsilə** tədqiqatlar göstərir ki, qurğuşun xalkogenidlərində orta və aşağı yüksəxanlıq halların iştirakı olduğu halda yükdaşınma hadisələrinin mexanizmlərinin araşdırılması elmi-nəzəri və praktiki baxımdan xüsusi əhəmiyyət daşıyır. Müəyyən olunmuşdur ki, qurğuşun xalkogenidlərində keçirici zona hallarının dolması tamamlanmadığı halda yükdaşınma qonşu nanokristallit laylar arasında tunellənmə və ya sıçrayışlı keçiricilik mexanizmi ilə baş verir. Xüsusilə müəyyən olunmuşdur ki, nanoölçülü kristallitlərin ölçülərindən və onların idarə olunma mexanizmlərindən, qurğuşun xalkogenidlərinin nazik təbəqələrinin alınma şəraitindən (kimyəvi çökdürmənin müddətindən,

---

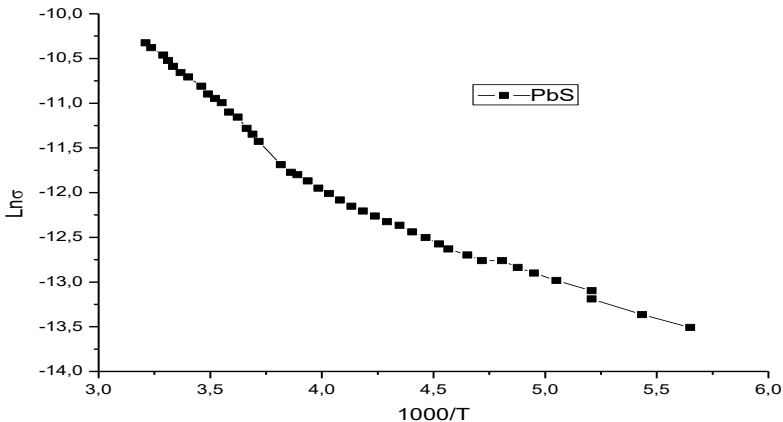
<sup>10</sup> Iovu, M.S. Raman spectra of  $\text{As}_x\text{Se}_{100-x}$  and  $\text{As}_{40}\text{Se}_{60}$  glasses doped with metals / M.S.Iovu, E.I.Kamitsos, C.P. Varsamis et al. // Chalcogenide Lett, – 2005. –T.2, № 3, –p.21-25.

<sup>11</sup> Etchegoin, P.G. Temperature dependent Raman scattering of natural and isotopically substituted PbS / P.G.Etchegoin, M.Cardona, R.Lauck et al. // Physica status solidi (b)., –2008. –T.245, № 6, –p.1125-1132.

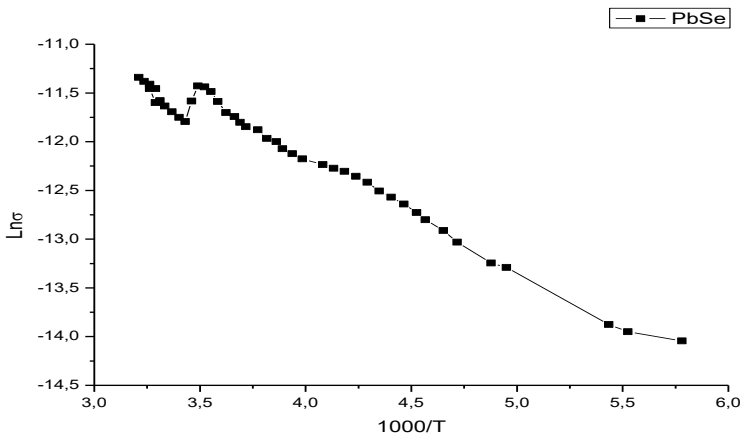
temperaturdan, təzyiqdən, təbiiq olunan katalizatorların və o cümlədən həlledicilərin kimyəvi tərkibi və miqdarından) asılı olaraq tələb olunan keçiricilik xüsusiyyətlərinə malik olan təbəqələr almaq mümkündür ki, bu da təqdim olunan dissertasiyanın əsas istiqamətlərindən biri hesab olunur.

Beləliklə dissertasiyanın təqdim olunan paraqrafında əsas məqsəd kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınan qurğuşun xalkogenidlərinin nazik təbəqələrinin nanoölçülü kristallitlərin ölçülərindən və o cümlədən tərkibə daxil olan xalkogenidlərin miqdarından asılı olaraq keçiricilik xüsusiyyətlərinin dəyişmə mexanizmləri araşdırılmasıdır. Bu məqsədlə qurğuşun xalkogenidlərinin (PbS, PbSe, PbSSe) nazik təbəqələrinə elektrik keçiriciliyinin  $\sigma(T)$  temperaturdan asılılığı  $T=177\div 311$  K temperatur intervalında ölçülmüş və alınan nəticələr Şəkil 4. və 6-da təsvir olunmuşdur. Elektrik keçiriciliyinin loqarifmik qiymətinin temperaturdan asılılığının ( $\ln\sigma$ -nın  $1000/T$ -dən asılılığı) xətti qanuna tabe olması göstərir ki, elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı yarımkeçirici maddələrə məxsus eksponensial qanunla ifadə oluna bilər.

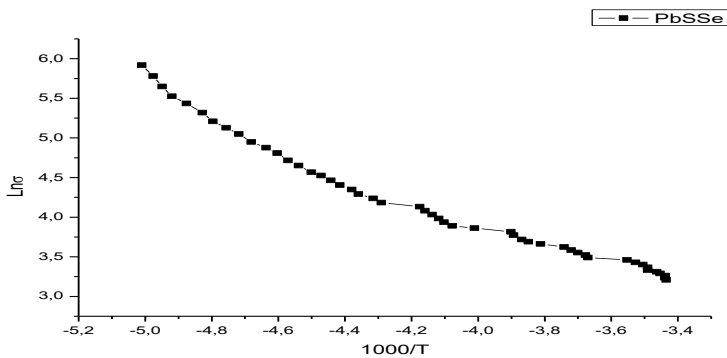
$$\sigma = \sigma_0 \exp(-E_g / kT) \quad (1)$$



**Şəkil 4. PbS nazik təbəqəsinin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı**



**Şəkil 5. PbSe nazik təbəqəsinin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı**



**Şəkil 6. PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqəsinin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı**

(1)-düsturunun loqarifmlənməsi nəticəsində alınan  $\text{Ln}\sigma$ -nın  $1000/T$ -dən asılılığının meyl bucağının  $tg\alpha$ -ni bilərək tədqiq olunan maddələrin qadağan zonalarının eni( $E_g$ ) təcrübi olaraq təyin edilmiş və alınan nəticələr Cədvəl. 3.-də təsvir edilmişdir. Kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınan qurğuşun xalkogenidlərinin nazik təbəqələrinə məxsus

nanoölçülü kristallitlərin ölçülərindən asılı olaraq qadağan zonalarının eninin təcrübi olaraq təyin edilmiş qiymətlərinin dəyişmə mexanizmlərini müqayisəli təhlil etmək üçün Fəsil 1.-də uyğun tərkiblərin Rentgen difraksiya səpilmə əyrilərindən hesablanan nanoölçülü kristallitlərin ölçülərinə dair nəticələr də Cədvəl 2.-yə daxil edilmişdir. Cədvəl 3.-də  $\beta$ - nümunələrin Rentgen difraksiya səpilmə əyrilərində təsvir olunan kəskin maksimumların yarım eni,  $\theta$  -isə Breqq əksolma bucağıdır. Yuxarıdakılardan birmənalı olaraq belə nəticəyə gəlmək olur ki, maddələrin tərkib modifikasiyasına məruz edilməsi, yəni kükürdün (S) selenlə (Se) əvəz olunması  $Ln\sigma$ -nın  $1000/T$ -dən asılılığından təyin olunan qadağan zonanın eni və nanohissəciklərin kristallit ölçülərini əhəmiyyətli dəyişir. Qeyd olunan nəticələrin müqayisəli təhlili göstərir ki, kükürdün (S) selenlə(Se) yarı nisbətdə əvəz olunması nümunələrin Rentgen difraksiya səpilmə əyrilərində təsvir olunan kəskin maksimumların yarı eninin ( $\beta$ ) azalmasına, nanoölçülü kristallitlərin ölçülərinin və qadağan zonanın eninin ( $E_g$ ) isə artmasına səbəb olur.

**Cədvəl 3.**

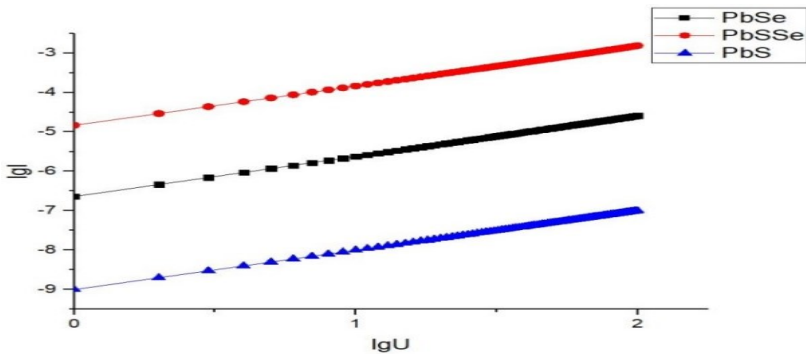
Parametrlər	PbS	PbSe	PbSe <sub>0.5</sub> S <sub>0.5</sub>
$E_g$	0,366 eV	0,292 eV	0,39 eV
$\beta_1$	0,67	0.55	0.44
$d_1$	12,1 nm	14.8 nm	18 nm
$\beta_2$	0,7	0.77	0.46
$d_2$	11,7 nm	10.7 nm	17.9 nm
$\beta_3$	0,61	0.72	0.45
$d_3$	14,1 nm	11.6 nm	30.8 nm

$$E_{A-B} = (E_{A-A} E_{B-B})^{1/2} + 30 (\chi_A - \chi_B)^2 \quad (2)$$

$$KD = 100 \exp \left[ - \frac{(\chi_A - \chi_B)^2}{4} \right] \quad (3)$$

Yuxarıda qeyd olunan düsturlarda  $E_{A-A}$  və  $E_{B-B}$  tərkibə daxil olan atomların (A və B) homopolyar rabitələrinin enerjisi,  $\chi_A$  və  $\chi_B$  isə onların elektromənfilikləridir. Qeyd olunan hesablamalar nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, qurğuşun xalkogenidlərinin tərkibinə daxil olan Se-Se, Se-S və S-S rabitələrinin enerjisi uyğun olaraq 44 [kcal/mol], 47,4 [kcal/mol] və 50,9 [kcal/mol], heteropolyar Se-S rabitəsinin kovalentlik dərəcəsi isə yüksək olub  $KD=99,84\%$  -təşkil edir. Yuxarıda qeyd olunan nəticələri Cədvəl 3.-də təsvir olunan nəticələr ilə müqayisəli təhlil etdikdə belə qənaətə gəlinir ki, qurğuşun xalkogenidlərinin tərkibində kükürlə əlaqəli olan istər homo, istərsə də heteropolyar rabitələrin konsentrasiyasının artması nanoölçülü kristallitlər daxilində orta rabitə enerjisinin və heteropolyar rabitələrin kovalentlik dərəcəsinin artmasına gətirəcəkdir. Kimyəvi rabitə əlaqəliliyinin və o cümlədən rabitə uzunluğunun artması nəticəsində nanoölçülü kristallitlərin ölçüsü artır ki, bu da Şəkil 4. və 6. -dəki  $L_{\text{ns}}-n$ ın  $1000/T$ -dən asılılığından təyin olunan qadağan zonaların eninin artmasına gətirir.

**Şəkil 7.-də** PbS, PbSe, PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin loqarifmik miqyasda Volt-Amper xarakteristikası təsvir olunmuşdur.



**Şəkil 7. Kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınmış PbS, PbSe, PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin Volt-Amper xarakteristikaları**

Şəkil 7.-dən də görüldüyü kimi bu birləşmələrin Volt-Amper xarakteristikaları xətti (Omik) qanunla dəyişir ( $I \sim U$ ).

PbS, PbSe, PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrin müqavimətləri uyğun olaraq aşağıdakı kimi olmuşdur.

$$R_{\text{PbS}} = 10^9 \text{ Om}$$

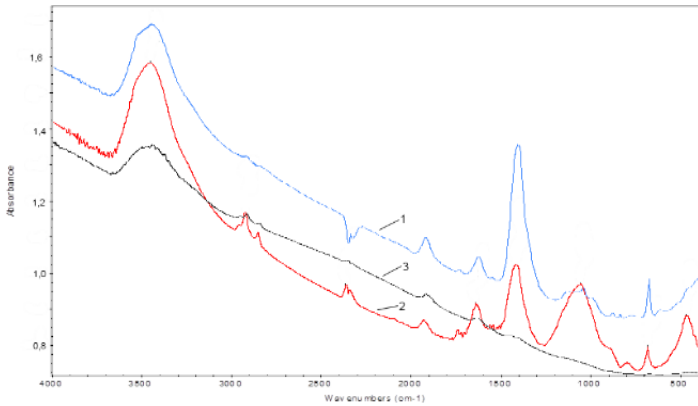
$$R_{\text{PbSe}} = 4 \cdot 10^6 \text{ Om}$$

$$R_{\text{PbSSe}} = 6,7 \cdot 10^4 \text{ Om}$$

Dissertasiyanın **Beşinci fəslində** PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin udma spektrləri verilmiş, kimyəvi çökdürmə prosesində məhlulda trietanolaminin miqdarını dəyişdikdə alınmış PbS nazik təbəqələrinin optik xassələri müqayisəli şəkildə təhlil olunmuşdur.

Hər üç birləşmənin  $(ahv)^2 \sim f(hv)$  asılılıqları qurularaq, Taus düsturu vasitəsilə PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin qadağan zonalarının eni müəyyən edilmişdir.

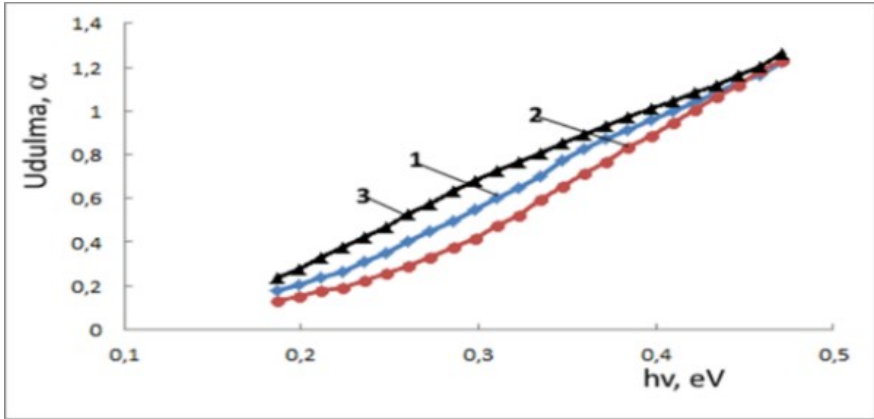
**Şəkil 8.**–də kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınmış T4, N və T0 (şəkildə uyğun olaraq 1, 2 və 3 ilə işarələnmişdir) PbS nazik təbəqələrinin infraqırmızı spektr oblastında mövcud olan funksional qrupların pikləri fonunda optik udma spektrləri göstərilmişdir (T4- trietanolamin məhlulunun 0,24 M, N- trietanolamin məhlulunun 0,06 M və T0- qarışıq məhlulda trietanolaminin iştirak etmədiyi halda alınan nazik təbəqələr).



**Şəkil 8. T4 (1), N (2), T0 (3) PbS nazik təbəqələrinin optik udma spektrləri (İK)**



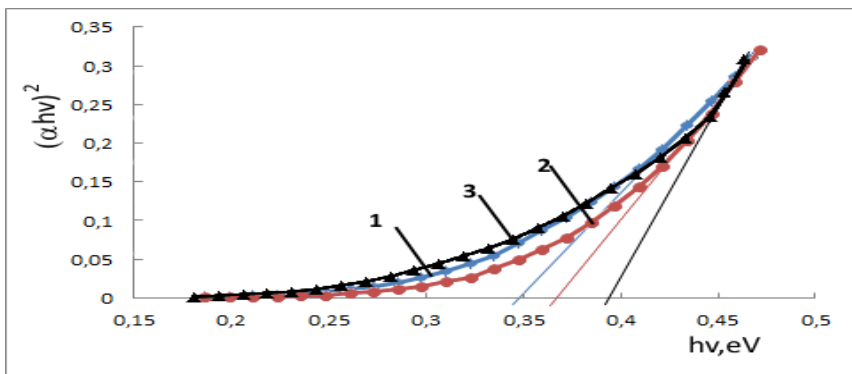
Bu piklərin fonundan yalnız PbS birləşmələrinə aid olan udulma ayırd edildikdən sonra PbS nazik təbəqələri üçün  $\alpha(h\nu)$  asılılıqları qurulmuşdur (şəkil 9.)



**Şəkil 9. T4 (1), N (2), T0 (3) PbS nazik təbəqələrinin spektrin infraqırmızı oblastında mövcud olan funksional qrupların piklərin fonundan alınmış optik udma spektrləri**

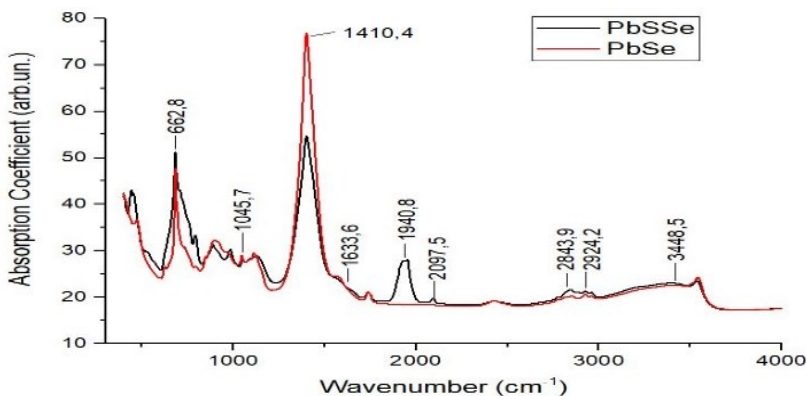
PbS düzzonalı yarımkəçirici olduğundan<sup>12</sup> bu birləşmə üçün  $(\alpha h\nu)^{1/n} = A(h\nu - E_g)$  düsturundan  $n = 1/2$  münasibəti doğrudur. Bu birləşmənin qadağan zonasının enini tapmaq üçün  $(\alpha h\nu)^2$ -nin  $h\nu$ -dən asılılıq əyriləri qurulmuşdur (şəkil 10.). Bu əyrilərdən düz xətt oblastının absis ( $h\nu$ ) oxu ilə kəsişməsinə əsasən T4 (1), N (2), T0 (3) nazik təbəqələrinin qadağan zonalarının eni müəyyən edilmişdir.

<sup>12</sup> Valenzuela-Jauregui, J.J. Optical properties of PbS thin films chemically deposited at different temperatures / J.J. Valenzuela-Jauregui, R.Ramirez-Bon, A. Mendoza-Galvan et al. // Thin Solid Films, –2003. –T.441, № 1-2, – p. 104-110.



**Şəkil 10. T4 (1), N (2), T0 (3) PbS nazik təbəqələrinin hesablanmış  $(\alpha h\nu)^2 \sim f(h\nu)$  asılılıqları**

Bu qiymətlər uyğun olaraq  $E(T4)=0,347$  eV,  $E(N)=0,366$  eV və  $E(T0)=0,392$  eV olmuşdur.



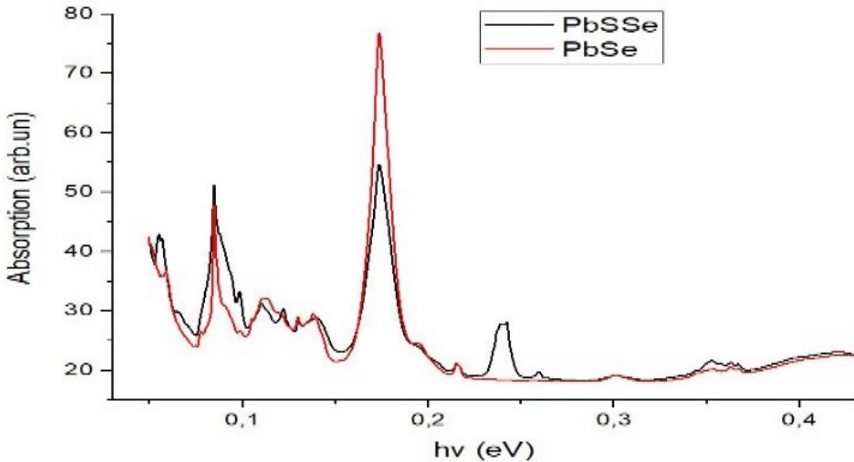
**Şəkil 11. 300 K-də alınan PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin spektrin infraqırmızı oblastında mövcud olan funksional qrupların pikləri fonunda optik udma spektrləri**

Məlum olduğu kimi spektrin infraqırmızı oblastında bir sıra funksional qrupların mövcudluğu udma spektrində müəyyən piklərin ortaya çıxmasına səbəb olur. Şəkildən görüldüyü kimi hər iki asılılıqda demək olar ki, eyni funksional qruplar müşahidə olunur. Böyük enerjilər oblastında aşkar şəkildə müşahidə olunan 3448,5

$\text{sm}^{-1}$ -ə uyğun pik PbSe və PbSSe nazik təbəqələr tərəfindən udulan suyun O-H qrupuna uyğundur və suyun səth tərəfindən udulması faktı həm də bu qrupun  $1633,6 \text{ sm}^{-1}$ -ə uyğun pikin olması ilə təsdiq olunmuşdur.  $1410,4 \text{ sm}^{-1}$  ətrafında müşahidə edilən intensiv pik prosesdə istifadə edilən metanolun  $\text{CH}_3$  rəqsləri hesabına ortaya çıxır. Bu fikir həm də  $2924,2 \text{ sm}^{-1}$  və  $2843,9 \text{ sm}^{-1}$  qiymətlərində metanolun  $\text{CH}_3$  rəqslərinə aid piklərin olması ilə təsdiq olunmuşdur. Metanol qrupunun C-O rəqsləri intensiv  $1045,7 \text{ sm}^{-1}$  pikini verir.

Lakin bu iki nazik təbəqənin udulma spektrləri arasında müəyyən bir fərqin olduğu da nəzərə çarpır. Belə ki,  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  üçün  $1940,8 \text{ sm}^{-1}$ -də müşahidə olunan kifayət qədər intensiv pik və ona yaxın olan  $2097,5 \text{ sm}^{-1}$ -dəki pik PbSe-də müşahidə olunmur. Qeyd etmək lazımdır ki, bu iki pik PbS birləşmələrində də müşahidə edilmişdir və çox güman ki, kükürd komponenti ilə əlaqədardır.

Bu piklərin fonunda PbSe və  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  nazik təbəqələrinin  $\alpha(\hbar\nu)$  asılılıqları qurulmuşdur (**şəkil 12.**)

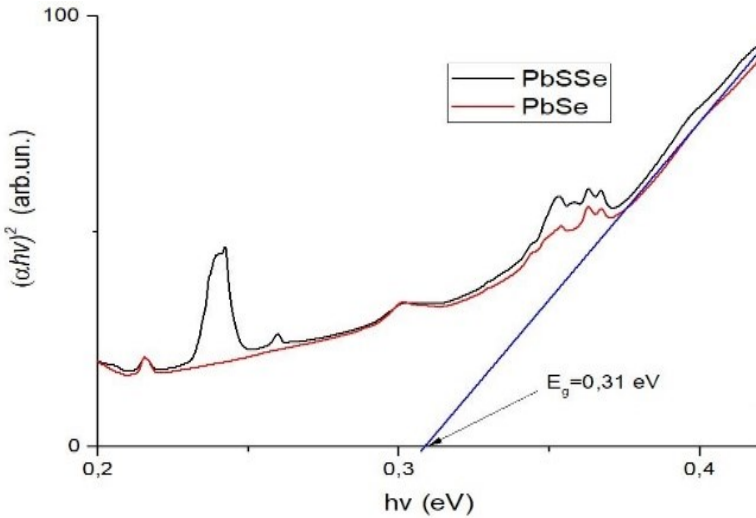


**Şəkil 12. PbSe və  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  nazik təbəqələrinin spektrin infraqırmızı oblastında mövcud olan funksional qrupların pikləri fonunda  $\alpha(\hbar\nu)$  asılılıqları**

Taus düsturundan istifadə edərək belə nəticəyə gəlinir ki, PbS və PbSe düzzonalı yarımkeçiricilər olduğundan<sup>13</sup>bu birləşmələr və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələr üçün  $n = \frac{1}{2}$  münasibəti doğrudur.

Bu birləşmələrin qadağan zonasının enini tapmaq üçün  $(\alpha\hbar\nu)^2$ -nin  $\hbar\nu$ -dən asılılıq əyriləri qurulmuşdur (şəkil 13.).

Mövcud olan funksional qrupların pikləri nəzərə alınmazsa bu asılılıqlar demək olar ki, tamamilə üst-üstə düşürlər.



**Şəkil 13. Otaq temperaturunda alınmış PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> və PbSe nazik təbəqələrinin  $(\alpha\hbar\nu)^2 \sim f(\hbar\nu)$  asılılıqları**

Bu asılılıqlardan düz xətt oblastının absis ( $\hbar\nu$ ) oxu ilə kəsişməsinə əsasən müəyyən edilmişdir ki, kimyəvi çökdürmə yolu ilə otaq temperaturunda alınmış PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin qadağan zonalarının eni eyni olub  $E_g = 0,31$  eV-dur.

Bu fəsiildə həmçinin PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin ellipsometriya metodu ilə optik ölçmələrinin nəticələri şərh olunur. Zonalararası keçidlərin strukturunu daha yaxşı ayırd etmək və kritik

<sup>13</sup> Tsai, W.T. Environmental risk assessment of hydrofluoroethers (HFEs) / W.T. Tsai// Journal of hazardous materials, –2005. –T.119, №1-3, –p.69-78.

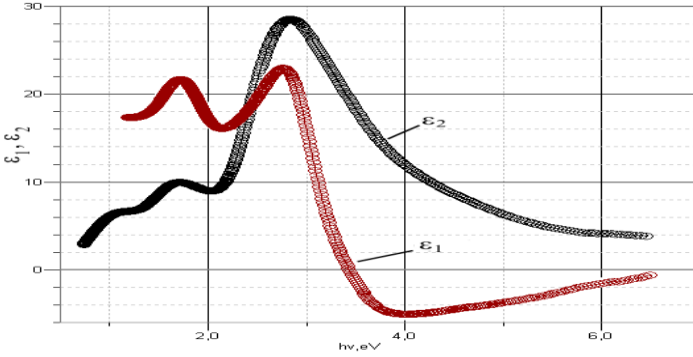
nöqtələri təyin etmək üçün dielektrik funksiyasının eksperimental qiymətlərinin diferensiallanması istifadə edilmişdir. Nəzəri fitting prosesi "Graphical Analysis" proqramı vasitəsilə yerinə yetirilmişdir. Hər iki nazik təbəqə üçün kompleks dielektrik funksiyanın həqiqi və xəyalı hissələrinin birinci və ikinci tərtib törəmələrinin spektral asılılıqları qurulmuşdur. PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələri üçün fitting edilərək mövcud ədəbiyyata uyğun kritik nöqtələr təyin edilmişdir. PbS, PbSe və PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nümunələrində spektrin infraqırmızı oblastında müşahidə olunan müxtəlif qruplar tezliklərə uyğun piklərin aid olduqları funksional tapılmışdır.

Ellipsometrik ölçmələrin nəticəsi olaraq alınan kompleks dielektrik funksiyasının  $\varepsilon(\omega)$  enerjiden asılılığının eksperimental qiymətləri onun həqiqi və xəyalı hissələrinin enerjiden asılılığının koordinatları şəklində verilir. Bu koordinatlara əsasən "Graphical Analysis" proqramından istifadə etməklə, kompleks dielektrik funksiyasının həqiqi və xəyalı hissələrinin enerjiden asılılıq qrafikləri qurulur.

Bu asılılıqların və ya onların müəyyən oblastlarının maksimal dərəcədə nəzəriyyənin verdiyi analitik ifadəyə uyğunluğunu araşdırmaq üçün onların ikinci tərtib törəmələrindən istifadə olunur ki, bu proseslər bütünlüklə "Graphical Analysis" proqramı vasitəsilə yerinə yetirilir. Nəticədə bu funksiyalara daxil olan sabitlər (4 sabit) təyin olunur. Bu sabitlərdən biri də  $E$ - kritik nöqtədir ki, bu da yarımkeçiricilər nəzəriyyəsi üçün çox mühüm kəmiyyətdir.

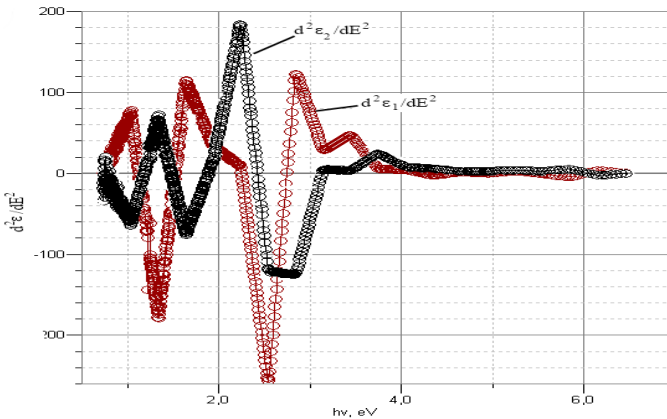
Əlbəttə, həqiqi və xəyalı hissələrin ikinci tərtib törəmələri üzərində fitting prosesini yerinə yetirmək sadəcə olaraq iki ayrıca asılılıq üzərində fitting aparmaq və hər biri üçün ayrıca 4 sabit tapmaq demək deyil. Bu iki funksiya eyni bir kompleks kəmiyyətin həqiqi və xəyalı hissələri olduqlarından fitting prosesində onlar üçün axtarılan 4 sabit də eyni olmalıdır.

Nanostrukturulu PbSe nazik təbəqəsi üçün ellipsometrik ölçmələr otaq temperaturunda 60° bucaq altında yerinə yetirilmişdir.



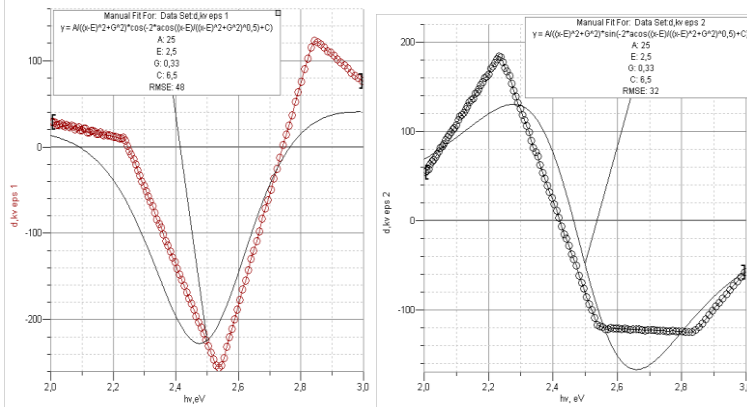
**Şəkil 14. Nanostrukturulu PbSe nazik təbəqəsinin kompleks dielektrik funksiyasının  $\epsilon_1(\omega)$ -həqiqi və  $\epsilon_2(\omega)$ -xəyali hissələrinin spektral asılılıqları**

Nəzəri asılılığa fitinqi yerinə yetirmək üçün eksperimental  $\epsilon_1(\omega)$  və  $\epsilon_2(\omega)$  asılılıqlarının "Graphical analisys" proqramında ikinci tərtib  $d^2\epsilon_1(\omega)/d\omega^2$  və  $d^2\epsilon_2(\omega)/d\omega^2$  törəmələri alınmış və onların enerjiddən asılılıq qrafikləri qurulmuşdur (şəkil 15.).



**Şəkil 15. Nanostrukturulu PbSe nazik təbəqəsində kompleks dielektrik funksiyasının ikinci tərtib törəməsinin  $d^2\epsilon_1(\omega)/d\omega^2$ -həqiqi və  $d^2\epsilon_2(\omega)/d\omega^2$ -xəyali hissələrinin spektral asılılıqları**

16-ci şəkildə 2-3 eV aralığında  $\varepsilon(\omega)$  kompleks dielektrik funksiyasının həqiqi  $\varepsilon_1(\omega)$  və xəyali  $\varepsilon_2(\omega)$  eksperimental qiymətlərinin differensiallanmasıdan alınan  $d^2\varepsilon_1(\omega)/d\omega^2$  və  $d^2\varepsilon_2(\omega)/d\omega^2$  kəmiyyətlərinin enerjidən asılılıq spektrləri (nöqtələr) göstərilmişdir. Burada həmçinin, "Graphical analysis" proqramı əsasında (6) ifadəsindən alınan nəzəri fitting əyriləri (bütöv xətt) göstərilmişdir.

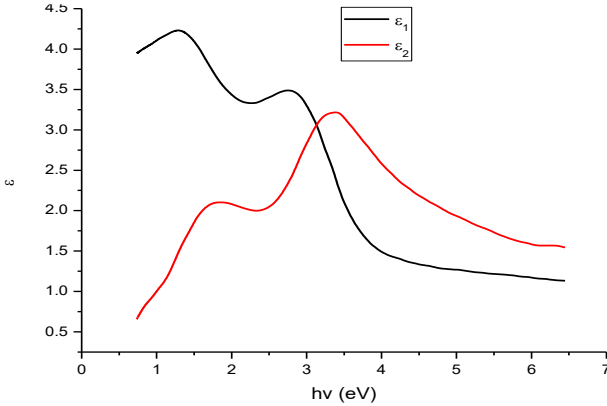


**Şəkil 16. PbSe nazik təbəqəsinin 2÷3 eV enerji oblastı üçün  $\varepsilon_1(\omega)$  və  $\varepsilon_2(\omega)$  eksperimental asılılıqlarının "Graphical analysis" proqramı əsasında qurulmuş ikinci tərtib törəmələri və ən yaxşı fitting əyriləri**

Ən yaxşı fitting halı nəzəri ifadəyə daxil olan sabitlərin  $A=25$ ,  $E=2,5$ ,  $\Gamma=0,33$  və  $\theta=0,5$  qiymətlərində alınmışdır. Fitting nəticəsində PbSe nazik təbəqəsi üçün kritik nöqtə olaraq tapılan  $E=2,5$  eV qiyməti ədəbiyyatda nəzəri olaraq hesablanmış  $E=2,3$  eV qiymətinə çox yaxındır və kritik nöqtənin  $m=0$  ikiölçülü (2D) halına və  $L_4 \rightarrow L_6$  keçidinə uyğundur<sup>14</sup>.

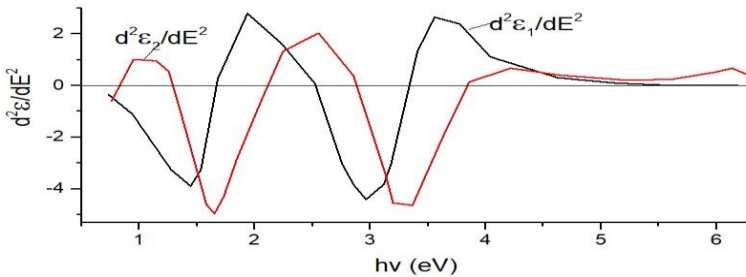
<sup>14</sup> Кабышев, А.В., Конусов, Ф.В., Ложников, С.Н. и др. Осаждение пленок арсенида галлия на кремнии импульсной ионной абляцией и их свойства // 9-ая Международная конференция «Взаимодействие излучений с твердым телом», –20-22 сентября –2011 г., Минск, Беларусь, –с.306-309.

Şəkil 17.-də  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  nazik təbəqəsinin kompleks dielektrik funksiyasının ellipsometrik ölçmələr nəticəsində 700-dən çox nöqtənin koordinatı şəklində verilmiş  $\varepsilon_1(\omega)$  və  $\varepsilon_2(\omega)$  spektral asılılıqları göstərilmişdir.



**Şəkil 17.  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  nazik təbəqəsinin kompleks dielektrik funksiyasının  $\varepsilon_1(\omega)$ -həqiqi və  $\varepsilon_2(\omega)$  -xəyali hissələrinin spektral asılılıqları**

Nəzəri asılılıqda fitinqi yerinə yetirmək üçün eksperimental  $\varepsilon_1(\omega)$  və  $\varepsilon_2(\omega)$  asılılıqlarının ikinci tərtib  $d^2\varepsilon_1(\omega)/d\omega^2$  və  $d^2\varepsilon_2(\omega)/d\omega^2$  törəmələri alınmış və onların enerjidən asılılıq qrafikləri qurulmuşdur (şəkil 18.).

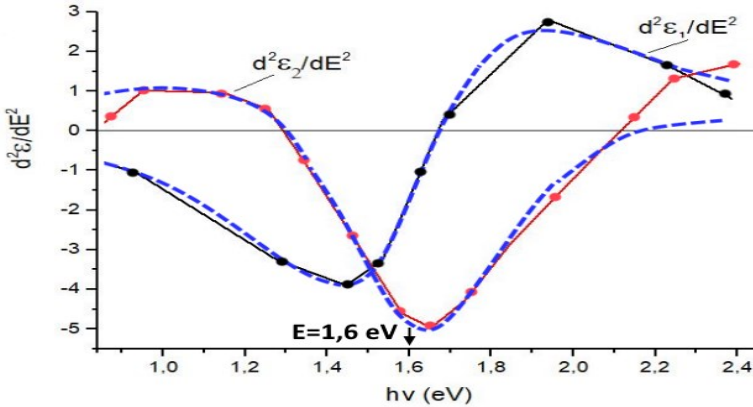


**Şəkil 18.  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  nazik təbəqəsinin kompleks dielektrik funksiyasının  $d^2\varepsilon_1(\omega)/d\omega^2$ -həqiqi və  $d^2\varepsilon_2(\omega)/d\omega^2$  -xəyali hissələrinin ikinci tərtib törəmələrinin spektral asılılıqları**



Bu asılılıqlara diqqətlə baxdıqda  $E=0,9\div 2,4$  eV və  $E=2,5\div 3,8$  eV aralıqlarında fitting aparmağın mümkün olduğunu görmək olar. Çünki  $d^2\varepsilon_2(\omega)/d\omega^2$  və  $d^2\varepsilon_1(\omega)/d\omega^2$  asılılıqları uyğun olaraq eyni bir kompleks funksiyanın xəyali və həqiqi hissələri olduqlarından onların dəyişmə qanunlarında sinus və kosinus münasibətləri gözlənilməlidir, yəni  $d^2\varepsilon_2(\omega)/d\omega^2$  asılılığı  $d^2\varepsilon_1(\omega)/d\omega^2$  asılılığını  $\pi/2$  qədər qabaqlamalıdır, bu şərt isə həmin aralıqlarda ödənilir.

“Graphical analysis” proqramında yerinə yetirilmiş fitting nəticəsində  $E=0,9\div 2,4$  eV oblastı üçün ən yaxşı fitting halı 2D formalı kritik nöqtə halına ( $m=0$ ) uyğun olmuşdur (şəkil 19.).



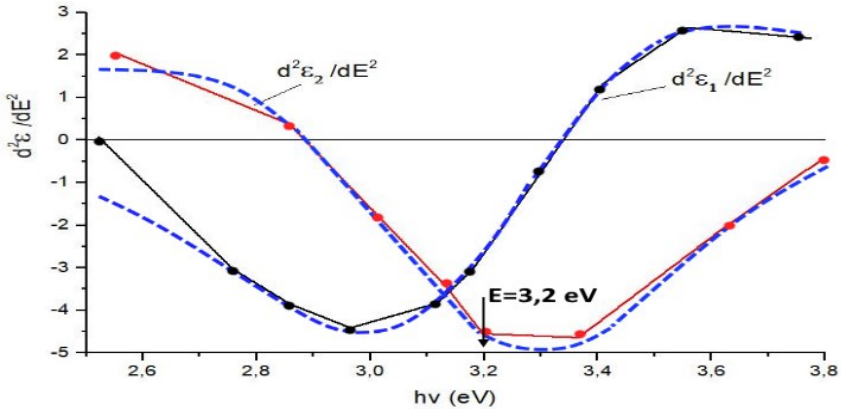
**Şəkil 19. PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqəsinin  $E=0,9\div 2,4$  eV enerji oblastı üçün  $\varepsilon_1(\omega)$  və  $\varepsilon_2(\omega)$  eksperimental asılılıqların “Graphical analysis” proqramı əsasında qurulmuş ikinci tərtib törəmələri (nöqtələr) və ən yaxşı fitting əyriləri (qırıq xətlər)**

Bu oblast üçün analitik funksiyanın sabitləri üçün aşağıdakı qiymətlər alınmışdır:  $A=0,89$ ;  $E=1,6$  eV;  $\Gamma=0,42$ ;  $\theta=1,22$ . RMSE xətalrı  $d^2\varepsilon_1(\omega)/d\omega^2$  üçün 0,202,  $d^2\varepsilon_2(\omega)/d\omega^2$  üçün isə 0,846 olmuşdur.

PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqələrinin zona quruluşunda kritik nöqtənin  $E=1,6$  eV enerji halına bərabər olan bu qiyməti istər PbS,

istərsə də PbSe birləşmələri üçün nəzəri olaraq hesablanmış qiymətləri ilə tamamilə üst-üstə düşür [15 c.127], və bu birləşmələrdə kritik nöqtənin bu qiyməti  $L_5 \rightarrow L_7$  keçidi kimi xarakterizə olunmuşdur. Deməli, PbSSe nazik təbəqələrində kritik nöqtənin  $E=1,6$  eV qiyməti də  $L_5 \rightarrow L_7$  keçidi hesabına yaranır.

$E=2,5 \div 3,8$  eV oblastı üçün ən yaxşı fitting halı 1D formalı ( $m = -\frac{1}{2}$ ) kritik nöqtə halına aid olmuşdur (şəkil 18.) və bu oblastda analitik funksiyanın sabitləri üçün alınan qiymətlər aşağıdakı kimidir:  $A=2,5$ ;  $E=3,2$  eV;  $\Gamma=0,66$ ;  $\theta=5$ . RMSE xətaları  $d^2\varepsilon_1(\omega)/d\omega^2$  üçün 0,625,  $d^2\varepsilon_2(\omega)/d\omega^2$  üçün isə 0,345 olmuşdur.



**Şəkil 20. PbS<sub>0,5</sub>Se<sub>0,5</sub> nazik təbəqəsinin  $E=2,5 \div 3,8$  eV enerji oblastı üçün  $\varepsilon_1(\omega)$  və  $\varepsilon_2(\omega)$  eksperimental asılılıqların "Graphical analysis" proqramı əsasında qurulmuş ikinci tərtib törəmələri (nöqtələr) və ən yaxşı fitting ayriləri (qırıq xətlər)**

Ədəbiyyat məlumatları və nəzəri hesablamalara əsasən PbS və PbSe -də M2 halına uyğun olan enerjinin  $E=3,5$  eV və  $E=2,9$  eV qiymətləri müəyyən edilərək göstərilmişdir ki, bu qiymətlər  $\Delta_5 \rightarrow \Delta_6$  keçidinə uyğun gəlir<sup>14</sup>.

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Məhlulda trietanolaminin miqdarından və temperaturdan asılı olaraq kimyəvi çökdürmə üsulu ilə qurğuşun xalkogenidlərinin (PbS, PbSe və  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$ ) nazik təbəqələrinin alınma texnologiyası işlənib hazırlanmış və mikroskopik tədqiqatlar nəticəsində nümunələrdə optimal ölçüləri  $L \sim 5 \div 6$  mkm,  $d \sim 150 \div 376$  nm olan nanoçubuqların mövcudluğu aşkar olunmuşdur.

2. Ellipsometrik spektroskopiya metodu ilə PbS, PbSe və  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  –də dielektrik əmsalının həqiqi, xəyali hissələri ölçülmüş və "Graphical analysis" proqramının köməyi ilə kritik nöqtələrin analizi aparılaraq göstərilmişdir ki, ən yaxşı fitting  $2 \div 3$  eV intervalında ikiölçülü (2D) tip kritik nöqtədə ( $m=0$ ) baş verir. Kritik nöqtəyə uyğun təcrübi təyin olunan enerjinin  $E \sim 2,38$  eV qiyməti nəzəri hesablama ilə alınan  $E \sim 2,30$  eV-a yaxın olub, Brüllen zonasının  $L_4 \rightarrow L_6$  keçidinə uyğundur.

3. Müəyyən olunmuşdur ki, PbS, PbSe və  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  nazik təbəqələrinə məxsus rentgen difraksiya spektrlərində  $2\theta$  bucaqları üst-üstə düşür. PbS-də isə bu nisbətən kiçik bucaqlar tərəfə yerinin dəyişir.  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  ilə PbS-in (111) müstəvilərindən əksolmaya uyğun piklərin bucaqları arasındakı fərq  $2\theta = 0,9^\circ$  olduğu halda, bucaqlar böyüdükcə bu fərq tədricən artaraq (422) müstəvilərindən əksolma üçün  $2\theta = 3^\circ$  olmuşdur.

4. Göstərmişdir ki, PbSe-nin Raman səpilmə spektrinin  $135 \text{ sm}^{-1}$  və  $47,6 \text{ sm}^{-1}$  tezliklərində müşahidə olunan piklər uzununa və eninə optik fononlarla,  $42 \text{ sm}^{-1} \div 52 \text{ sm}^{-1}$  tezliklərdə isə (111) müstəvisində səpilmə baxımından Raman aktiv eninə optik fononlarla izah olunur.

Selenin kükürlə yarı əvəzlənməsi nəticəsində Raman səpilmə spektrində qeyd olunan piklərin nisbətən böyük tezliklərə ( $70 \text{ sm}^{-1}$ ) doğru sürüşməsi (111) müstəvisində səpilməyə zəmin yaradan nanohissəciklərin kristalit ölçülərinin artması ilə bağlıdır. Bununla yanaşı kükürd atomlarının kimyəvi aktivliyi və rabitə enerjisinin yüksək olması səbəbindən nanohissəciklər daxilində rabitə əlaqəliliyi güclənir, nəticədə elastiklik qüvvə sabiti ( $k$ ) artdığından molekulyar quruluş modelinə əsasən Raman aktiv rəqs modlarının

tezliyi artır ki, bu da eninə optik fononlarla bağlı olan səpilmə pikinin nisbətən böyük tezliklərə doğru sürüşməsi ilə nəticələnir.

5. Göstərilmişdir ki,  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  nümunələrinə məxsus Raman səpilmə spektrində müşahidə olunan  $\sim 254 \text{ sm}^{-1}$ -tezliyinə uyğun maksimum  $\text{Se}_8$  halqalarının virtual rəqs hallarından, tezlikləri  $120 \text{ sm}^{-1} \div 122 \text{ sm}^{-1}$  intervalında müşahidə olunan piklər isə eninə və uzununa fononların birgə iştirakı ilə baş verən rəqslərdən səpilmə ilə əlaqədardır.

6. Müəyyən olunmuşdur ki, selenin küküdlə yarı əvəzlənməsi nəticəsində nanohissəciklərin ölçülərinin böyüməsi ilə bərabər, kükürd atomlarının kimyəvi aktivliyi və rabitə enerjisinin yüksək olması səbəbindən nanohissəciklər daxilində rabitə əlaqəliliyi və elastiklik qüvvə sabiti ( $k$ ) güclənir ki, bu da Raman aktiv rəqs modlarının tezliyinin ( $42 \text{ sm}^{-1}$  –dən  $70 \text{ sm}^{-1}$ -ə qədər) artmasına gətirir.

7. Müəyyən olunmuşdur ki, qurğuşun xalkogenidlərinin tərkibində kükürd əlaqəli homo və heteropolyar rabitələrin konsentrasiyasının artması nanoölçülü kristallitlər daxilində orta rabitə enerjisinin, heteropolyar rabitələrin kovalentlik dərəcəsinin, kimyəvi rabitə əlaqəliliyinin, rabitə uzunluğunun, nanoölçülü kristallitlərin ölçüsünün ( $d=10.7 \text{ nm} \div 30.8 \text{ nm}$ ) və o cümlədən qadağan zonanın eninin ( $E_g=0,292 \text{ eV} \div 0.39 \text{ eV}$ ) artmasına gətirir.

8. Göstərilmişdir ki, kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınan  $\text{PbS}$ ,  $\text{PbSe}$  və  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  nanohissəcikli nazik təbəqələr spektrin orta infraqırmızı oblastında nisbətən zəif udulma əmsalına malik olduğundan passiv fiber ötürücülərdə tətbiq imkanlarına malikdir.

## **Dissertasiyanın mövzusu üzrə dərc olunmuş işlərin siyahısı**

1. Hüseynəliyev M.H. Kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınmış  $\text{PbS}$  nazik təbəqələrinin optik xassələrinə trietanolamin komponentinin təsiri / M.H.Hüseynəliyev, S.N.Yasinova, L.N.İbrahimova // AMEA Naxçıvan Bölməsi, “Xəbərlər”, 2018, ISSN 2218-4791, №2, s.254-258.
2. Hüseynəliyev M.H. Kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınmış

- qurğusun selenid nazik təbəqələrinin optik xassələri/ M.H.Hüseynəliyev, S.N. Yasinova //Naxçıvan Dövlət Universiteti, Elmi əsərlər, 2018, №7, ISSN 2223-5124, s.127-131.
3. Mehdiyeva S.İ. Ellipsometrik ölçmələrdən PbSSe nazik təbəqəsinin kritik nöqtələrinin təyini/ S.İ.Mehdiyeva, H.S.Seyidli, M.H. Hüseynəliyev,S.N.Yasinova //AMEA, Xəbərlər, 2023, ISSN 2304-7453, №5, section:Az. s. 8-15.
  4. Hüseynəliyev M.H. Kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınmış  $PbS_{0,5}Se_{0,5}$  nazik təbəqəsində fotokeçiriciliyin tədqiqi / M.H.Hüseynəliyev, S.N.Yasinova // AMEA Naxçıvan Bölməsi, Elmi əsərlər, 2022, ISSN 2218-4791№4, s.238-242.
  5. Yasinova S.N. Üçkomponentli məhlulda alınmış PbSe narın tozunun xassələri / S.N. Yasinova // Elmi əsərlər, 2022, ISSN 2218-4791,№2, s.245-249.
  6. Yasinova S.N. Kimyəvi çökdürmə yolu ilə alınmış PbSe nazik təbəqəsinə və narın tozuna trietanolamin komponentinin təsiri/ S.N.Yasinova // AJP Fizika, 2022, vol.XXVIII №1, section:Az, s.47-51.
  7. Мехтиева С.И. Оптические свойства и критические точки наноструктурированныхтонких пленок PbSe /С.И.Мехтиева, М.Г.Гусейналиев, С.Н.Ясинова, Д.Н.Джалилли, //Физика и техника полупроводников,2020, том 54, вып. 6, с.527-532.
  8. Mehdiyeva S.I. Spectroscopic ellipsometry study of nanostructured PbSe thin films/ S.I.Mehdiyeva, Huseynaliyev, S.N.Yasinova // International Journal on “Technical and Physical Problems of Engineering” IJTPE-2021, Iss. 48, Vol. 13, No. 3, Sep. 2021, p.95-98.
  9. Mehdiyeva S.I., Huseynaliyev M.H., Yasinova S.N. Spectroscopic ellipsometry study of PbSSe thin films obtained by CBD method // 19th International Conference on “Technical and Physical Problems of Electrical Engineering”, İstanbul :ICTPE-2023, 31 October 2023, p. 69-73.
  10. Mehdiyeva S.I.Dielectric function spectra and critical points of OF PbSSe thin films measured by spectroscopic ellipsometry /

- S.I.Mehdiyeva, M.H.Huseynaliyev, S.N.Yasinova // Issue 58, Volume 16, Number 1, IJTPE-2024 p.149-153.
11. Mehdiyeva S.I., Huseynaliyev M.H., Yasinova S.N. Optical characterization of nanostructured PbSe thin films preparation using chemical bath deposition technique // İstanbul: ICTPE-2019, p.87-89.
  12. Yasinova S.N. Properties of X-ray diffraction and Raman scattering in PbSe, PbS and  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  thin films / S.N.Yasinova, S.I.Mehdiyeva, R.İ.Alekberov, M.H.Huseynaliyev // Chalcogenide letters, Ruminia, Vol.21, No. 5, May 2024, p.377-383.
  13. Mehdiyeva S.I., Huseynaliyev M.H., Yasinova S.N. Dielectric function and critical points of nanostructured PbSe thin films // İstanbul: ICTPE-2020, p.61-65.
  14. Mekhtiyeva S.I. Optical Properties and Critical Points of PbSe Nanostructured Thin Films / S.I.Mekhtiyeva, M.N.Huseynaliyev, S.N.Yasinova, D.N.Jalilli // ISSN 1063-7826, Semiconductors, 2020, Vol. 54, No. 6, p. 630–633.
  15. Mekhtiyeva S.İ., Ələkbərov R.İ., Hüseynəliyev M.H., Yasinova S.N. Structural and optical properties of PbSe(S) thin films // Vladivostok, Russia: International Conference Advanced Laser Technologies (ALT24), 23-27 September 2024, p.180.
  16. Mehdiyeva S.İ., Ələkbərov R.İ., Hüseynəliyev M.H., Yasinova S.N. Kimyəvi çökdürmə üsulu ilə alınan PbS, PbSe və  $\text{PbS}_{0,5}\text{Se}_{0,5}$  nazik təbəqələrinin elektrik xassələri // Naxçıvan: AJP Fizika, NM Respublikasının 100 illiyi və Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutu alimlərinin yubileyinə həsr olunmuş Beynəlxalq konfrans, AJP Fizika, Section.C, 5-8 iyun, 2024, ISSN 1028-8546, s.68-70.



Dissertasiyanın müdafiəsi 04 dekabr 2024-cü il tarixində saat 09:30 -da Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutunun nəzdində fəaliyyət göstərən ED 1.14 Dissertasiya şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ1073, Bakı şəh., H. Cavid pr.131.

Dissertasiya işi ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutunun Kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və Avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyi Fizika İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat 25 oktyabr 2024-cü il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 25.10.2024

Kağızın formatı: A5

Həcm: 42820

Tiraj: 100