

# AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASI

*Əlyazması hüququnda*

## **$\gamma$ -ŞÜALARLA MODİFİKASIYA OLUNMUŞ $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ BƏRK MƏHLULUNUN TERMO VƏ MAQNİTOTERMOELEKTRİK XASSƏLƏRİ**

İxtisas: 2225.01 – Radiasiya materialşünaslığı

Elm sahəsi: Fizika

İddiaçı: **İlahə Adil qızı Abdullayeva**

Fəlsəfə doktoru elmi dərəcəsi  
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

### **AVTOREFERATI**

**BAKI–2025**

Dissertasiya işi Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Nizamsız bərk cismlərin radiasiya fizikası” və Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutunun “Bərk cisim elektronikasi” laboratoriyalarında yerinə yetirilmişdir.

**Elmi rəhbərlər:**

Fizika – riyaziyyat elmləri doktoru,  
professor, AMEA-nın müxbir üzvi  
**Oqtay Əbil oğlu Səmədov**

Fizika elmləri doktoru, professor  
**Mayıl Məsim oğlu Tağıyev**

**Rəsmi opponentlər:**

Fizika – riyaziyyat elmləri doktoru,  
professor, AMEA-nın müxbir üzvi  
**Səlimə İbrahim qızı Mehdiyeva**

Fizika elmləri doktoru, dosent  
**Fərid İbrahim oğlu Əhmədov**

Fizika elmləri doktoru, professor  
**Cahangir İslam oğlu Hüseynov**

Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında Ali Attestasiya Komissiyasının Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən **FD 1.21** Dissertasiya Şurası

Dissertasiya şurasının sədri: Fizika elmləri doktoru, dosent  
**Fəmin Tahir oğlu Salmanov**

Dissertasiya şurasının elmi katibi: Fizika üzrə fəlsəfə doktoru, dosent.  
**Günəl Tələt qızı İmanova**

Elmi seminarın sədri: Fizika – riyaziyyat elmləri doktoru,  
professor  
**Rəhim Səlim oğlu Mədətov**



## **İŞİN ÜMUMİ XARAKTERİSTİKASI**

**Mövzunun aktuallığı və işlənmə dərəcəsi.** Bi-Sb sistemi bərk məhlullarının monokristalları aşağı temperaturlu (~200K-dən aşağı) elektron soyuducular üçün əlverişli materiallardır. Lakin bu materiallar laylı quruluşa malik olduğundan onların mexaniki möhkəmliyi azdır və bu amil onların tətbiq imkanlarını məhdudlaşdırır. Bu sistemlər əsasında yüksək möhkəmliyə və deformasiya teksturasına malik, termoelektrik xassələri monokristal nümunələrə yaxın ekstruziya materialları müxtəlif sistemi bərk məhlulu aşağı temperaturlu enerji çeviricilərinin yaradılması üçün əvəzolunmaz materiallardır. Bi-Sb sistemi əsasında elektron cihazların yüksək texniki göstəriciləri onların texnikanın müxtəlif sahələrində həmçinin radiasiya şəraitində də istifadə olunmasına imkan verir. Radiasiya mühitində həmin cihazların hazırlandığı yarımkeçirici materiallarda radiasiya defektlərinin yaranması istilik və digər fiziki xassələrə, nəticədə cihazların işçi parametrlərinə təsir göstərir.

Təbii və süni mənşəli ionlaşdırıcı şüaların təsiri altında müxtəlif enerji çeviricilərinin iş qabiliyyətinin təmin edilməsi, bu cihazların texnikanın müxtəlif sahələrində tətbiq dairəsinin genişləndirilməsi ilə əlaqədar tədqiqat işləri aktual elmi-praktiki problemlərdəndir.

Belə tədqiqatların aparılması müxtəlif struktur təkmillikli yarımkeçirici materiallarda aşqarların, radiasiya defektlərinin, elektroneytral hissəciklərin paylanması, dənəciklərin ölçülərindən asılı olaraq yaranan tekstura dərəcəsi kimi məlumatların alınmasına imkan verir. Eyni zamanda həcmi nanostrukturlu müxtəlif tekstura dərəcəli, dəmlənmə keçməmiş və optimal termiki dəmlənmiş materiallarda elektrik və istilik xassələrinin tədqiqi, strukturla fiziki xassələr arasında asılılıq, elektron və fononların defektlərdən səpilmə mexanizmləri və s. haqda geniş məlumat almağa imkan verir.

Ədəbiyyat məlumatlarının təhlili zamanı müəyyən edilmişdir ki, Bi-Sb sistemi bərk məhlulu nümunələrinin elektrofiziki xassələrinə qamma kvantların təsiri tədqiq olunmayıb.

Bu səbəbdən radiasiya defektlərinin Bi-Sb sisteminin bərk məhlullarının ekstruziya nümunələrinin elektrik xassələrinə təsirinin öyrənilməsi xüsusi maraq kəsb edir.

Tədqim olunan dissertasiya işi böyük elmi və praktik əhəmiyyətə malik olan yuxarıda göstərilən məsələlərin həlli istiqamətində aparılan elmi tədqiqat işidir.

**Tədqiqatın obyektı və predmeti.** Qamma kvantlarla müxtəlif dozalarda şüalandırılmış akseptor <Pb> və donör <Te> habelə ZrO<sub>2</sub> ilə modifikasiya edilmiş həcmi nanostrukturlu Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub> bərk məhlulu ekstruziya nümunələri tədqiqatın obyektidir. Qeyd olunan Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub> bərk məhlulu ekstruziya nümunələrində yük və istilik daşınma hadisələrinə geniş temperatur və maqnit sahəsi intervalında qamma radiasiyanın təsiri tədqiq edilmişdir.

**Tədqiqatın məqsəd və vəzifələri.** Dissertasiya işinin məqsədi müxtəlif təbiətli aşqarlarla legirə olunmuş Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub> bərk məhlulu ekstruziya nümunələrində geniş temperatur və maqnit sahəsi intensivliyi intervalında istilik və yükdaşınma hadisələrinə radiasiya defektlərinin təsir mexanizmlərinin, habelə optoelektronikanın müxtəlif sahələrində bu materiallar əsasında elektron cihazların yaradılması imkanlarının müəyyənləşdirilməsidir.

**Qarşıya qoyulan məqsədə çatmaq üçün aşağıdakı məsələlərin həll edilməsi nəzərdə tutulmuşdur:**

- aşqarlanmayan və müxtəlif təbiətli aşqarlarla legirə olunmuş Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub> bərk məhlulu ekstruziya nümunələrinin alınma texnologiyasının işlənməsi;
- alınmış nümunələrin qamma kvantların müxtəlif dozaları ilə şüalandırılması texnologiyasının işlənməsi;
- şüalandırılmayan və şüalandırılmış nümunələrdə donör, akseptor və elektroneytral zərrəciklərin, dənəciklərin ölçüsü və termik dəmləmənin, həmçinin radiasiya defektlərinin temperaturun və maqnit sahəsinin intensivliyinin geniş intervalında termo və maqnitotermoelektrik xassələrinə təsirini tədqiq etmək;
- tədqiq olunan materiallarda istilik və yük daşınması hadisələrini temperaturun və maqnit sahəsinin intensivliyinin geniş intervalında öyrənmək;

- əldə edilmiş məlumatlar əsasında  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun ekstruziya nümunələrinin elektron cihazların yaradılmasında tətbiq imkanlarını araşdırmaq.

### **Tədqiqat metodları:**

- Təmiz və müxtəlif təbiətli aşqarlı, elektroneytral hissəcikli ( $\text{ZrO}_2$ ), həcmi nanostrukturlu  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulu ekstruziya nümunələrinin alınma texnologiyasının işlənməsi;

- Termik işləmənin onların termo və maqnitotermoelektrik xassələrinə təsirinin tədqiqi üçün nümunələrin hazırlanması və termik işlənməsi;

- Alınmış nümunələrin müxtəlif dozalı qamma kvantlarla şüalanma metodikasının işlənməsi;

- Elektrik və istilik xassələrinin geniş temperatur və dəyişən maqnit sahəsində tədqiqi üçün nümunələrin hazırlanması;

- Ayrılmış nümunələrdə yük və istilik daşınma hadisələrinin geniş temperatur və maqnit sahəsində tədqiqi.

### **Müdafiəyə çıxarılan əsas elmi müddəalar:**

1. Geniş temperatur və maqnit sahəsi intensivliyi intervalında  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulu ekstruziya nümunələrinin termo və maqnitotermoelektrik xassələrinə müxtəlif dozalı  $\gamma$ - kvantlarla şüalanmanın təsiri mexanizmləri müəyyən edilməsi.

2.  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun həcmi nanostrukturlaşdırılmış ekstruziya nümunələrinin elektrik və istilik parametrlərinin dənəciklərin ölçülərindən və termiki işlənmədən asılılığının dənəciklərin ölçü və sərhədləri ilə bağlı defektlərdən, ekstruziya zamanı dənəciklərin nizamlanma dərəcəsi (tekstura), termiki işlənmə prosesində kristallitlərin rekristalizasiyası və oriyentasiyasının dəyişməsi;

3. Qamma kvantların müxtəlif dozaları ilə şüalanan tellur atomları ilə aşqarlanmış  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}\langle\text{Te}\rangle$  nümunələrində aşağı temperaturlarda xüsusi elektrik keçiriciliyinin əhəmiyyətli dərəcədə artması və həmin tərkib şüalanmamış nümunələrin elektrikkeçiriciliyinin tempertur asılılığına nisbətən asılılığın xarakterinin dəyişməsi. Qamma kvantları ilə şüalanmış tellur aşqarlı nümunələr üçün aşqar keçiriciliyi bölgəsi üçün tipik olan temperatur

asililiqlarının xarakterik olması. Elektrikkeçirmənin temperatur asılılığının yürüklüyün ( $\mu$ ) temperatur asılılığı və yükdaşıyıcılarının konsentrasiyasının ( $n$ ) dəyişməsi ilə müəyyən olunması;

4. Qamma şüalandırılmasının aşağı dozalarında  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}<\text{Pb}>$  bərk məhlulu nümunələrinə ayrı-ayrı düyünlərarası atomlar və vakansiyalar kimi sadə defektlərin yaranması və bu sərbəst elektronların konsentrasiyasının ( $n$ ), elektrikkeçirmənin ( $\sigma$ ), istilikkeçirmənin elektron hissəsinin ( $\chi_e$ ) artması, termo-e.h.q ( $\alpha$ ) və Holl ( $R_H$ ) əmsallarının azalmasının səbəbi, şüalanma dozasının artması ilə, kompleks defektlərin (nöqtəvi defektlərin cəmləşməsi) yaranması və nəticədə yükdaşıyıcılarının konsentrasiyasının azalmasına uyğun  $\sigma$ ,  $\alpha$ ,  $\chi$  və  $R_H$ -in müvafiq dəyişmələri, 0,05 at.% Pb ilə aşqarlanmış və müxtəlif dozalarda şüalanmış nümunələrdə  $\alpha$  və  $R_H$  əmsallarının aşağı temperaturlarla şüalanmamış nümunələrə nisbətən işarəsinin dəyişməməsi;

5. Qurğuşun və tellur atomları ilə mürəkkəb aşqarlanmış nümunələrdə qurğuşunun akseptor təsirlərini kompensasiya edən tellur aşqarları nümunələrdə elektronların konsentrasiyasının dəyişmə səbəbi,  $\sigma$  və  $\alpha$ -nın qiymətlərinin Pb aşqarları olmayan  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  üçün alınan qiymətlərlə müqayisəsi, termiki işlənmənin nümunələrdə struktur defektlərin konsentrasiyasına təsiri, kompleks aşqarlamanın nümunələrin istilikkeçirməsində elektron toplananının ( $\chi_e$ ) həlledici roll oynaması;

6. Optimal elektron konsentrasiyasına malik  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun ekstruziya nümunəsinə 0,5 kütlə %  $\text{ZrO}_2$  modifikatorunun əlavə edilməsi  $\sim 77$  K-də termoelektrik effektivliyinin qiyməti  $\sim 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ -ə bərabər olan materialın alınması və həmin materialın tətbiqi ilə daha effektiv aşağı temperaturlu soyuducuların yaradılması imkanlarını müəyyənləşdirilməsi.

**Tədqiqatın elmi yeniliyi:** Tədqim olunan dissertasiya işində ilk dəfə olaraq:

1. Qamma kvantlarla müxtəlif dozalarda şüalanmış  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlul ekstruziya nümunələrində aşağı dozalarda donor mərkəzləri rolunu oynayan radiasiya defektləri yaranır, nəticədə

sərbəst elektronların konsentrasiyası ( $n$ ) və xüsusi elektrikkeçirmə ( $\sigma$ ) artır, termo e.h.q. əmsalı ( $\alpha$ ) isə azalır. Bu defektlər, yük daşıyıcılarını səpərək, onların yürüklüyünü ( $\mu$ ) azaldır. Şüalanma dozasının artması ilə defektlərin konsentrasiyası da artır, radiasiya defektləri səviyyəsində sərbəst yükdaşıyıcıların tutulması baş verir.

2. Həcmi nanostrukturlaşdırılmış  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulu ekstruziya nümunələrinin elektrik və istilik parametrlərinin dənəciklərin ölçüləri və termiki işlənmədən asılılığının tədqiqindən müəyyən olunmuşdur ki, dənəciklərin ölçüləri, dənəciklərin sərhədləri ilə bağlı defektlər, ekstruziya zamanı yaranan tekstura dərəcəsi, termiki işlənmə prosesində kristallitlərin rekristalizasiyası və oriyentasiyasının pozulması ~77K-də yükdaşıyıcıların və fononların səpilməsində həlledici rol oynayır.

3. Qamma kvantların müxtəlif dozaları ilə şüalanan tellur aşqarlı  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  nümunələrində aşağı temperaturlarda xüsusi elektrik keçiriciliyinin əhəmiyyətli dərəcədə artması şüalanmamış nümunələrin keçiriciliyinə nisbətən asılılığın xarakterinin dəyişməsi, aşqar keçiriciliyi bölgəsi üçün tipik olan temperatur asılılıqlarının xarakterik olması.

4.  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  <Pb> bərk məhlulunun qamma kvantlarla şüalandırılmasının aşağı dozalarında ayrı-ayrı düyünlərə atomlar və vakansiyalar kimi sadə defektlər yaranır ki, bu da sərbəst elektronların konsentrasiyasının ( $n$ ), elektrikkeçirmənin ( $\sigma$ ), istilikkeçirmənin ( $\chi$ ) artmasına, termo-e.h.q ( $\alpha$ ) və Holl ( $R_H$ ) əmsallarının azalmasına səbəb olur. Şüalanma dozasının artması ilə kompleks defektlərin (nöqtəvi defektlərin cəmləşməsi) yaranması nəticəsində yük daşıyıcılarının konsentrasiyasının azalmasına, bu da  $\sigma$ ,  $\alpha$ ,  $\chi$  və  $R_H$ -in müvafiq dəyişikliyinə səbəb olur.

5. Qurğuşun və tellur atomları ilə mürəkkəb aşqarlanmış  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulu nümunələrdə qurğuşunun akseptor təsirlərini kompensasiya edən tellur aşqarları nümunələrdə elektronların konsentrasiyasının artmasına səbəb olur, nəticədə  $\sigma$  və  $\alpha$ -nın qiymətləri Pb aşqarları olmayan  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulu üçün alınan qiymətlərə yaxınlaşır.

6. Müəyyən edilmişdir ki,  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ -ə 0,5 kütlə %  $\text{ZrO}_2$  modifikasiya edici əlavələr daxil edildikdə,  $\sim 77$  K-də istilikkeçirmənin fonon hissəsi azalır, bu da ümumi istilikkeçirmənin azalmasına səbəb olur. İzotermik termiki işlənmə zamanı həm modifikasiya olunmuş, həm də modifikasiya edilməmiş nümunələrdə rekrystalizasiya baş verir və bu plastik deformasiya zamanı yaranan struktur defektlərinin konsentrasiyasının azalmasına və yük daşıyıcılarının yürüklüyünün ( $\mu$ ) artmasına səbəb olur.  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun ekstruziya nümunəsinə 0,5 kütlə %  $\text{ZrO}_2$  modifikatorunun əlavə edilməsi  $\sim 77$  K-də qiyməti  $\sim 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ -ə bərabər olan termoelektrik effektivliyinə malik material əldə etməyə imkan verir ki, bu da həmin materiallar əsasında hazırlanan aşağı temperaturlu soyuducuların parametrlərini yaxşılaşdırır.

**Tədqiqatın nəzəri və praktiki əhəmiyyəti:** Termoelektrik enerji çeviriciləri bir çox hallarda radiasiya şəraitində istifadə olunur. Radiasiya defektlərinin yaranması yarımkeçirici materialın fiziki xassələrinə təsir edir və onun əsasında işləyən cihazların parametrlərini dəyişir. Bu materiallar əsasında olan qurğular təbii və süni mənşəli ionlaşdırıcı şüaların təsiri altında enerji çeviricilərinin iş qabiliyyətini, həmçinin bu cihazların sənayenin müxtəlif sahələrində, xüsusi təyinatlı və kosmik sisemlərdə tətbiq imkanlarını öyrənməyə imkan verir.

#### **Aprobasiyası və tətbiqi:**

Dissertasiya işində əldə edilən elmi nəticələr tədqiqatın müxtəlif istiqamətlərinə uyğun şəkildə bir neçə beynəlxalq və yerli elmi tədbirlərdə təqdim olunmuş, elmi müzakirələrə çıxarılmışdır. Aparılan araşdırmaların nəticələri aşağıdakı fərqli konfranslarda məruzə olunaraq, mütəxəssislər tərəfindən dəyərləndirilmişdir:

✓ Абдинова, Г.Д., Пириева, Т.И., Абдуллаева, И.А., Тагиев, М.М. Электрические и адгезионные свойства поверхности раздела экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  с контактными материалами // Energetika üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri Respublika elmi konfransının materialları. – Sumqayıt: 30–31 may, – 2019, – s. 107–109.

- ✓ Абдуллаева, И.А., Абдинова, Г.Д., Самедов, О.А., Тагиев, М.М. Влияние гамма радиации на электрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // Maqnityumşaq ərintilərin informasiya texnologiyalarında və hərbi sənayedə tətbiqi perspektivləri mövzusunda beynəlxalq elmi-praktik konfrans. – Bakı: 9–10 oktyabr, – 2019, – s. 174–178.
- ✓ Тагиев, М.М., Абдинова, Г.Д., Абдуллаева, И.А. Электрические и тепловые свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ , облученные гамма-радиацией // Şəxsiyyət, səmiyyət, dövlət; Qarşılıqlı münasibətlərə müasir yanaşmalar mövzusunda Respublika elmi konfransı. – Mingəçevir: 6–7 dekabr, – 2019, – s. 502–504.
- ✓ Tagiev, M.M., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A. Thermal conductivity of bulk nanostructured  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solution samples // International Conference PhysicA.SPb. – Sankt-Peterburg: 19–23 October, – 2020, – p. 175–177.
- ✓ Tagiev, M.M., Abdullayeva, I.A. Influence of Gamma Radiation on Electrical Properties of Extruded Samples of  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}\langle\text{Te}\rangle$  Solid Solutions // Electronic Processes in Organic and Inorganic Materials (ICEPOM-12). – Kamianets-Podilskyi, Ukraine: 1–5 June, – 2020, – p. 94–95.
- ✓ Tagiyev, M.M., Barkhalov, B.Sh., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A. Magnetothermoelectric Properties of Extruded Samples of  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15} + 0.01 \text{Pb} + \text{Te}_x (0 \leq x \leq 0.1)$  Solid Solution // ICTPE-2020. The 16th International Conference on Technical and Physical Problems of Engineering. – Istanbul, Turkey: 12–13 October, – 2020, – p. 89–94.
- ✓ Абдинова, Г.Д., Пириева, Т.И., Абдуллаева, И.А., Тагиев, М.М. Влияние гамма-излучения на магнитоэлектрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15} \langle\text{Te}\rangle$  // Tətbiqi fizika və energetikanın aktual məsələləri II beynəlxalq elmi konfransı. – Sumqayıt: 2020, №7, – s. 181–186.
- ✓ Taghiyev, M.M., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A. Влияние термической обработки на гальваномагнитные свойства объемных наноструктурированных образцов твердого раствора

$\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // Физика.СПб. Сборник докладов. – Санкт-Петербург: 18–22 октября, – 2021, – с. 122–123.

✓ Abdullayeva, I.A., Abdinova, G.J., Tagiyev, M.M. Influence of Gamma Radiation on Electrical and Thermal Properties of Extruded Samples of Solid Solution  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  Modified  $\text{ZrO}_2$  // ICTPE-2021. The 17th International Conference on Technical and Physical Problems of Engineering. – Istanbul, Turkey: 18–19 October, – 2021, – p. 72–78.

✓ Tagiyev, M.M., Abdinova, G.J., Abdullayeva, I.A. Influence of  $\gamma$ -radiation on the electrical properties of extruded samples of solid solution  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  <Pb> // Turkish Physical Society. The 37th International Physics Congress. – Bodrum, Turkey: 1–5 September, – 2021, – p. 227.

✓ Тагиев, М.М., Абдинова, Г.Д., Абдуллаева, И.А., Пириева, Т.И., Алиева, Х.Ф. Влияние термообработки на термоэлектрические свойства экструдированных образцов  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // Müasir təbiət və iqtisad elmlərinin aktual problemləri. – Gəncə, Azərbaycan: 6–7 may, – 2021, Vol. 2, – s. 364–367.

✓ Тагиев, М.М., Абдинова, Г.Д., Абдуллаева, И.А. Влияние  $\gamma$ -радиации на магнитоэлектрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // XXVI Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения. – Москва, Россия: 25–27 мая, – 2022, – с. 432–433.

✓ Tagiyev, M.M., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A., Piriyeva, T.I., Əliyeva, X.F. Electrical and thermal properties of nanostructured solid solution  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // 4th International Conference on Innovations in Natural Science and Engineering. – Baku, Azerbaijan: 26–29 October, – 2022, – p. 107.

✓ Tagiyev, M.M., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A., Piriyeva, T.I., Əliyeva, X.F. Anisotropy of electrical properties of samples  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solution doped with tellurium donor impurities// 4th International Conference on Innovations in Natural Science and Engineering. – Baku, Azerbaijan: 26–29 October, – 2022, – p. 106.

✓ Tagiyev, M.M., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A., Piriyeva, T.I., Maharramova, K.I., Əliyeva, X.F. Anisotropy of electrical properties of extruded samples of  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solutions modified with gamma quanta // International Scientific Conference “Educational and Scientific Activity in a New Time: Realities and Challenges”. – 16–17 December, – 2022, – p. 388–390.

✓ Тагиев, М.М., Алиева, Х.Ф., Абдуллаева, И.А.Абдинова, Г.Д., Пириева, Т.И. Анизотропия электрических свойств экструдированных образцов  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ , облученных  $\gamma$ -радиацией // Műasir təbiət və iqtisad elmlərinin aktual problemləri. Ümummilli Lider Heydər Əliyevin 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans. – Gəncə, Azərbaycan. 5–6 may, – 2023. Vol. V, p. 106–109.

✓ Абдуллаева, И.А., Самедов, О.А., Тагиев, М.М. Влияние гамма-облучения на анизотропию электрических свойств образцов твердого раствора на основе  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // Radiasiya Texnologiyaları və onun tətbiqi. Ümummilli Lider Heydər Əliyevin 100 illiyinə həsr olunmuş elmi-texniki konfrans. – Bakı, Azərbaycan: 5 may, – 2023, – s. 65–67.

✓ Тагиев, М.М., Алиева, Х.Ф., Абдинова, Г.Д., Абдуллаева, И.А., Пириева, Т.И. Электрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ , модифицированных  $\gamma$ -квантами // Metal və ərintilər fizikasının aktual problemləri. Respublika Elmi-Praktiki Konfransı. – Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti: 6–7 fevral, – 2025, – s. 114–119.

**Nəşrlər:** Dissertasiya işinin əsas məzmunu və elmi nəticələri xarici jurnallarda dərc olunmuş 13 məqalə və beynəlxalq elmi konfrans materiallarında çap edilmiş 8 tezisdə, eləcə də ölkə daxilində nəşr olunmuş 4 məqalə və 10 tezisdə öz əksini tapmışdır. Ümumilikdə, dissertasiya işinin əsas nəticələri 17 məqalə (məqalələrdən 12-si WOS və Scopus bazalı jurnallarda dərc olunmaqla) və 18 tezis olmaqla 35 elmi əsərdə dərc olunmuşdur.

**Dissertasiya işinin yerinə yetirildiyi təşkilatın adı:** Təqdim olunan dissertasiya işi Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun “Nizamsız bərk

cisimlərin radiasiya fizikası” və Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Fizika İnstitutunun “Bərk cisim elektronikasısı” laboratoriyalarında yerinə yetirilmişdir.

**Aparılan tədqiqatda iddiaçının şəxsi töhfəsi.** Dissertasiya işində iddiaçı ədəbiyyat mənbələrinin öyrənilməsi əsasında tədqiqat işlərinin aktuallığını əsaslandırılmış, tədqiqat metodlarının seçilməsi və onların elmi problemlərin həllində tətbiqini, tədqiqatın bütün mərhələlərində planlaşdırılmış təcrübələrin icrasını, əldə olunan nəticələrin sistemləşdirilməsini həyata keçirmişdir. Bununla yanaşı, təcrübələrin nəticələrinin təhlili, elmi konfranslarda işin müzakirəsi və əldə edilmiş nəticələr əsasında elmi məqalələrin hazırlanması dissertasiyanın tərtibi də iddiaçı tərəfindən yerinə yetirilmişdir.

**Dissertasiya işinin quruluşu və həcmi.** Dissertasiya işi giriş, dörd fəsil, nəticə, istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı və ixtisarlara daxil olmaqla 175 səhifəni əhatə edir. Əsas mətnin həcmi (şəkillər, cədvəllər və istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısı çıxılmaqla) ümumilikdə 196669 işarə təşkil edir. Bu hissələrin işarə sayı aşağıdakı kimidir: giriş – 30179, I fəsil – 33865, II fəsil – 23579, III fəsil – 35847, IV fəsil – 69048, nəticə – 4151. Tədqiqat işində 30 şəkil və 9 cədvəl təqdim edilmiş, həmçinin istifadə edilmiş ədəbiyyat siyahısında 138 adda mənbə yer almışdır.

## İŞİN QISA MƏZMUNU

**Girişdə** təqdim olunan dissertasiya işinin mövzusunun aktuallığı əsaslandırılmış, işin məqsədi, həll olunması üçün qarşıya qoyulan əsas məsələlər, elmi yeniliklər, praktiki əhəmiyyəti göstərilmiş, müdafiəyə çıxarılan əsas müddəalar, tədqiqat obyektləri və metodları verilmişdir. Həmçinin girişdə dissertasiya işinin fəsilər üzrə əsas məzmunu qısa şərhlərlə təsvir edilmişdir.

Dissertasiya işinin **I fəslində** Bi–Sb sistemi əsasında alınmış bərk məhlulların fiziki xassələrinə həsr olunmuş tədqiqatların icmalı verilmişdir. Bu icmalda müxtəlif müəlliflərin apardığı elmi işlər təhlil olunaraq, Bi–Sb əsaslı materialların xüsusiyyətləri, elektron spektri, termoelektrik və maqnit xassələri haqqında məlumatlar ümumiləşdirilmişdir. Xüsusilə, Bi–Sb sistemlərində aşağı

temperaturda yük və istilik daınma hadisələrinin qanunauyğunluqları və perspektivli termoelektrik göstəriciləri vurğulanmışdır.

Eyni zamanda, termoelektrik materialların mexaniki xassələrinin yaxşılaşdırılması, onlar əsasında enerji çevricilərinin etibarlılığının artırılması üsulları təhlil olunmuşdur.<sup>1</sup>

Həyata keçirilmiş təhlillər əsasında dissertasiya işinin məqsədi formalaşdırılmışdır. Bu məqsəd Bi–Sb əsaslı bərk məhlulların struktur, termoelektrik və maqnitotermoelektrik xassələrinin təkmilləşdirilməsi, yüksək effektivliyə malik yeni materialların yaradılması yolları və bu materiallara qamma kvantların təsirinin öyrənilməsindən ibarətdir.

Dissertasiya işinin **II fəslində** tədqiqatlarda istifadə olunmuş eksperimental metodikası ətraflı təsvir edilmişdir. Burada, ilk növbədə, Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub> bərk məhlullarının hazırlanma texnologiyasına, onların şüalanma üsullarına və nümunələrin emalına xüsusi diqqət yetirilmişdir. Nümunələr Bi–Sb sistemi əsasında sintez olunmuş, daha sonra ekstruziya üsulu ilə mexaniki emaldan keçirilmişdir.

Fəsilə göstərilmişdir ki, nümunələr müxtəlif dozalarda  $\gamma$ -kvantlarla şüalandırılmış, həmçinin bəzi hallarda əlavə olaraq müxtəlif kimyəvi elementlərlə aşqarlanmışdır. Bu üsul materiallarda yeni defektlərin formalaşmasına, elektron və fonon sistemlərinin qarşılıqlı təsir mexanizminə və nəticə etibarilə onların elektrik və istilik keçiriciliyinin dəyişməsinə səbəb olur. Müxtəlif şüalanma dozasından istifadə etməklə materialların xassələrində yaranan dəyişikliklərin müqayisəli təhlilini aparmaq mümkün olmuşdur.

Eksperimental metodika çərçivəsində nümunələrin elektrik və istilik parametrləri – elektrik keçiricilik, Zeebek əmsalı, istilik keçiriciliyi və maqnitotermoelektrik effektlər – geniş temperatur intervalında (aşağı və yüksək temperaturlar daxil olmaqla) ölçülmüşdür. Bundan əlavə, nümunələrin xassələri müxtəlif intensivlikli maqnit sahələrində tədqiq edilmişdir. Bu yanaşma Bi–Sb

---

<sup>1</sup> Грабов, В.М., Урюпин, Щ.Н. Влияние дендритной неоднородности на термоэлектрические свойства кристаллов Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub> // Физика и техника полупроводников, – 2022. Т.56, №2, – с. 145–148.

əsaslı materialların enerji daşıyıcılarının kinetikasını daha dərindən öyrənməyə imkan vermişdir.

Dissertasiyanın **III fəslində** aşqarlanmayan və qamma kvantların müxtəlif dozaları ilə modifikasiya edilmiş  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulu ekstruziya nümunələrinin və müxtəlif ölçülü dənəciklərə malik həcmi nanostrukturlu  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulu ekstruziya nümunələrinin termo və maqnitotermoelektrik xassələrinə dənəciklərin ölçüsü və termiki işlənmənin təsirinin temperatur və maqnit sahə intensivliyinin geniş intervalında tədqiqinin nəticələri verilmişdir.

İlk olaraq, təmiz və şüalanmamış  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlullarının elektrik və istilik xassələri geniş temperatur və maqnit sahəsində tədqiq edilmişdir.

Fəsilə təqdim olunan müqayisəli təhlil Bi–Sb əsaslı termoelektrik materialların xassələrinin idarə olunması üçün müxtəlif modifikasiya üsullarının səmərəliliyi aşkar edilmişdir.

Ekstruziyadan sonra 2 saat ərzində  $\sim 503$  K-də termiki işlənmə keçmiş, şüalandırılmamış və müxtəlif dozalarda qamma kvantları ilə şüalandırılmış  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun ekstruziya edilmiş nümunələrin xüsusi elektrikkeçirməsi ( $\sigma$ ), termo-e.h.q ( $\alpha$ ) və Holl ( $R_H$ ) əmsalları  $\sim 77 \div 300$  K temperatur intervalında və  $\sim 74 \times 10^4$  A/m qədər maqnit sahəsində tədqiq edilmişdir. Alınmış nəticələr cədvəl 1-də verilmişdir.

Maqnit sahəsinin intensivliyindən asılı olaraq  $\sim 77$  K-də xüsusi elektrik keçiriciliyinin  $\sim 3$  dəfə azalması, termo-e.h.q əmsalının isə  $\sim 35\%$  artması müəyyən edilmişdir.

Qamma radiasiyasının təsiri altında  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlullarının ekstruziya edilmiş nümunələrində defekt altsisteminin dəyişməsi lokal səviyyələrin spektrində və elektronların səpilmə prosesində dəyişikliyə və nəticədə elektrik parametrlərinin müvafiq dəyişmələrinə gətirib çıxarır.

$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlullarının həcmi nanostrukturlaşdırılmış nümunələrinin elektrik və istilik xassələrinə termiki işlənmənin və nanoölçü effektlərinin təsiri  $\sim 77 \div 300$  K intervalında tədqiq edilmişdir (cədvəl 2).

Cədvəl 1.

Qamma kvantlarla şüalandırılmış  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  nümunələrinin elektrikkeçirmə ( $\sigma$ ), termo-e.h.q ( $\alpha$ ), Holl ( $R_H$ ) əmsallarının, yükdaşıyıcıların konsentrasiyası ( $n$ ) və yürüklüyünün ( $\mu$ ) qiymətləri.

Şüalanma dozası (Mrad)	~77 K					~300 K				
	$\sigma$ ( $\text{Om}^{-1}\cdot\text{sm}^{-1}$ )	$\alpha$ (mkV/K)	$R_H\cdot 10^{-8}$ ( $\text{sm}^3/\text{Kl}$ )	$n\cdot 10^{18}$ ( $\text{sm}^{-3}$ )	$\mu$ ( $\text{sm}^2/\text{V}\cdot\text{san}$ )	$\sigma$ ( $\text{Om}^{-1}\cdot\text{sm}^{-1}$ )	$\alpha$ (mkV/K)	$R_H\cdot 10^{-8}$ ( $\text{sm}^3/\text{Kl}$ )	$n\cdot 10^{18}$ ( $\text{sm}^{-3}$ )	$\mu$ ( $\text{sm}^2/\text{V}\cdot\text{san}$ )
0	5250	-182	-26,5	0,6	139125	7520	95	1,43	10,5	10528
1	8481	-137	-1,26	11,9	10686	6524	89	1,26	11,9	8220
10	4840	-161	-60	2,5	290400	6890	101	17,4	0,9	119886
50	4552	-188	-85	0,2	386920	6448	90	33	0,5	212784

$R_H$  və  $\sigma$ -nın qiymətlərinə əsasən yükdaşıyıcılarının Holl yürüklüyü  $\mu=R_H\cdot\sigma$  hesablanmışdır. Müəyyən edilmişdir ki, nanohissəciklərin ölçüsünün artması və termiki işlənmə ilə  $\mu\sim T^{-m}$  asılılığında  $m$ -in qiyməti termiki işlənmə keçməyən nümunələr üçün  $1,42 \div 1,57$ -dən termiki işlənmə keçmiş həmin nümunələr üçün  $1,81 \div 2,6$ -ya qədər artır. Termiki işlənmədən sonra ~77 K-də  $R_H$  və  $\mu$ -

nün artması, dənəciklərinin ölçüləri  $\sim 2 \cdot 10^5$  nm olan nümunə istisna olmaqla,  $R_H = A/en$  (burada  $e$  elektronun yüküdür) ifadəsində səpilmə mexanizmini xarakterizə edən  $A$  parametrinin və defektlərin konsentrasiyasının dəyişməsi ilə əlaqəlidir.<sup>2</sup>

**Cədvəl 2.**

**Dənəciklərinin ölçüləri müxtəlif olan  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun nanostrukturlaşdırılmış ekstruziya nümunələrində yük daşıyıcılarının konsentrasiyası ( $n$ ), yürüklüyü ( $\mu$ ) və istilikkeçirmənin fonon toplananının ( $\chi_q$ ) qiymətləri.**

Dənəciklərin ölçüləri, (nm)	~77 K temperaturda					
	Termiki işlənmə keçməyən nümunələr			Termiki işlənmə keçən nümunələr		
	$\chi_q$ (Vt/m·K)	$\mu$ ( $\text{sm}^2/\text{V} \cdot \text{san}$ )	$n \cdot 10^{18}$ ( $\text{sm}^{-3}$ )	$\chi_q$ Vt/m·K	$\mu$ ( $\text{sm}^2/\text{V} \cdot \text{san}$ )	$n$ ( $\text{sm}^{-3}$ )
$2 \cdot 10^5$	2,98	31833	0,7	3,54	54799	0,5
950	3,28	6080	5,2	3,33	9458	5,2
650	3,09	3026	15,6	3,39	14966	3,1
400	1,93	5485	12,5	2,14	6329	15,6
32	2,02	4340	15,6	2,68	4996	16,9
15	2,78	1800	31,3	2,25	2213	34,7

Müəyyən edilmişdir ki, aşağı temperaturalarda ( $\sim 200$  K-dən aşağı) ekstruziya edilmiş nümunələrdə dənəciklərin ölçülərinin azalması ilə fonon istilikkeçirməsində ( $\chi_q$ ) azalma müşahidə olunur. İstilikkeçirmənin fonon hissəsinin azalması qeyri-monoton xarakterlidir, yəni termiki işlənmə keçməmiş və keçmiş nümunələrdə dənəciklərin ölçülərinin azalması ilə fonon istilikkeçirməsi azalır və

<sup>2</sup> Крабс, Г. Основы кристаллохимии неорганических соединений // Москва: Мир, – 1971. – 304 с.

sonra artır. Kristallitlərin ölçüsünün azalması ilə sərhədlərin konsentrasiyası artır, bu da yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artmasına və onların sərhədlərindən səpilməsinin artmasına, yəni nümunələrdə elektronların (yükdaşıyıcıların) yürlüklüyünün azalmasına səbəb olur.

$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun həcmi nanostrukturlaşdırılmış ekstruziya nümunələrinin istilikkeçirməsinin dənəciklərin ölçüsündən və termiki işlənmədən asılılığı ekstruziya və termiki işlənmə zamanı nümunələrin strukturunda baş verən dəyişikliklərlə qənaətbəxş şəkildə izah olunur və bu proseslərdə elektrik parametrlərində baş verən dəyişikliklərlə yaxşı uzlaşır. Bu nümunələrdə istiliyin əsasən keçirici elektronlar və fononlar vasitəsilə daşınması müəyyən olunmuşdur.

Dissertasiyanın **IV fəslində** müxtəlif üsullarla modifikasiya olunmuş  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlullarının ekstruziya nümunələrinin kompleks tədqiqat nəticələri təqdim edilmişdir. Bu fəsilə əsasən donor (tellur), akseptor (qurğuşun), aşqarlı, həmçinin Pb və Te-la mürəkkəb aşqarlanmış, elektroneytral hissəciklər  $\text{ZrO}_2$  əlavəli təmiz və tellur aşqarlı nümunələrin elektrik və istilik xassələrinə  $\gamma$ -kvantların müxtəlif dozalarda təsiri geniş temperatur və maqnit sahəsində tədqiq olunmuşdur.

Cədvəl 3-dən görünür ki, 1 Mrad dozada qamma kvantlarla şüalandırılmış nümunə istisna olmaqla, radiasiya dozasının artması ilə aşqarlanmayan nümunələrdə yükdaşıyıcılarının konsentrasiyası azalır və yürlüklük bütün tədqiq olunan temperatur diapazonunda artır; aşağı şüalanma dozalarında (1 Mrad) tellurla aşqarlanmış və aşqarsız nümunələrdə yükdaşıyıcılarının konsentrasiyası ( $n$ ) bir qədər artır və yürlüklük ( $\mu$ ) azalır. Şüalanma dozasının artması ilə nümunələrdə  $n$  əhəmiyyətli dərəcədə azalır və  $\mu$  artır.  $n$  və  $\mu$ -dəki bu dəyişikliklər  $\sigma$  və  $\alpha$ -dakı dəyişmələrlə yaxşı uzlaşır.

Alınmış nəticələrə əsasən hesab edilir ki, aşağı şüalanma dozalarında (1 Mrad)  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}\langle\text{Te}\rangle$  bərk məhlulu nümunələrində donor mərkəzləri kimi çıxış edən radiasiya defektləri yaranır, nəticədə sərbəst elektronların konsentrasiyası ( $n$ ) və uyğun olaraq xüsusi elektrik keçiriciliyi ( $\sigma$ ) artır, Termoehq əmsalı  $\alpha$  isə azalır. Bu

defektlər yükdaşıyıcıları səpərək, onların yürüklüyünü ( $\mu$ ) azaldır. Şüalanma dozasının artması ilə defektlərin konsentrasiyası da artır və radiasiya defektləri səviyyəsində sərbəst yükdaşıyıcıların tutulması baş verir.

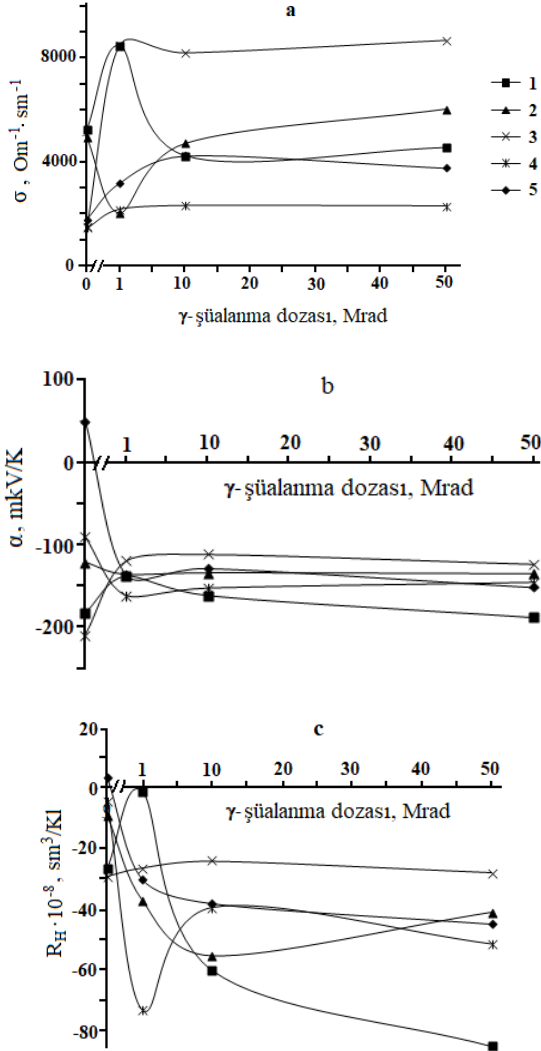
**Cədvəl 3.**

**Qamma şüalanmanın müxtəlif dozaları ilə şüalandırılmış  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}\langle\text{Te}\rangle$  bərk məhlulunun ekstruziya nümunələrinin elektrik parametrlərinin qiymətləri.**

Şüalanma dozası (Mrad)	Tərkiblər	77 K					300 K				
		$\sigma(\text{Om}^{-1}\cdot\text{sm}^{-1})$	$\alpha(\text{mkV/K})$	$R_H \cdot 10^{-8} (\text{sm}^3/\text{Kl})$	$\mu (\text{sm}^2/\text{V}\cdot\text{san})$	$n \cdot 10^{18} (\text{sm}^{-3})$	$\sigma(\text{Om}^{-1}\cdot\text{sm}^{-1})$	$\alpha(\text{mkV/K})$	$R_H \cdot 10^{-8} (\text{sm}^3/\text{Kl})$	$\mu (\text{sm}^2/\text{V}\cdot\text{san})$	$n \cdot 10^{18} (\text{sm}^{-3})$
0	$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$	5250	-182	-26,5	139125	0,24	7520	-95	-1,43	10754	4,4
	$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}\langle\text{Te}\rangle$	7574	-161	-23,97	181549	0,3	9079	-95	-1,15	10441	5,4
1	$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$	8481	-121	-1,26	10686	4,96	6524	-89	-1,26	8220	5
	$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}\langle\text{Te}\rangle$	15477	-50	-1,08	16715	5,79	7035	-80	-1,08	7598	5,8
10	$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$	4240	-161	-60	254400	0,1	6890	-101	-17,4	119886	0,36
	$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}\langle\text{Te}\rangle$	12084	-56	-11,6	140174	0,54	6101	-66	-21,1	128731	0,3
50	$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$	4552	-188	-85	386920	0,07	6448	-90	-34,3	221166	0,18
	$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}\langle\text{Te}\rangle$	15371	-47	-16,2	249010	0,39	7233	-79	-30,1	154381	0,21

Bununla əlaqədar olaraq, yükdaşıyıcıların defektlərlə şərtlənmiş konsentrasiyası ( $n$ ) və nümunənin  $\sigma$ -sı azalır, Fermi səviyyəsi qadağan olunmuş zonanın dərinliyinə sürüşür, Seebek əmsalı və yürüklük artır. Qamma kvantları ilə şüalandırılan  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}\langle\text{Te}\rangle$  bərk məhlulun ekstruziya edilmiş nümunələrinin elektrik parametrlərinin temperatur asılılıqları yükdaşıyıcıların yürüklüyünün ( $\mu$ ) və konsentrasiyasının ( $n$ ) temperatur asılılıqları əsasında izah olunur.

$\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulun ekstruziya olunmuş nümunələrinin elektrik və istilik xassələrinə qurğuşun aşqarlarının və  $\gamma$ -radiasiyasının təsirinin əldə edilmiş eksperimental nəticələri şəkil 1-də verilmişdir. Şüalanma müxtəlif konsentrasiyalarda qurğuşunla aşqarlanmış  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  nümunələrinin elektrik və istilik xassələrinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Görünüyü kimi  $\gamma$ -şüalanma qurğuşun atomlarının konsentrasiyası müxtəlif olan nümunələrin xüsusi elektrik keçiriciliyinə fərqli təsir göstərir. Bu zaman nümunələrin  $\sigma$ -da əsas dəyişiklik şüalanmanın  $\sim 10$  Mrad-a qədər olan dozalarında baş verir. Belə ki,  $\sim 77$  K-də  $\gamma$ -şüalanmanın 1 Mrad dozasında aşqarlanmayan nümunənin  $\sigma$ -sı 5230-dan 8431  $\text{Om}^{-1}\text{sm}^{-1}$ -ə qədər artır, sonra şüalanma dozası 10 Mrad-a qədər artdıqda 4240  $\text{Om}^{-1}\text{sm}^{-1}$ -ə qədər azalır və dozanın 50 Mrad-a qədər sonrakı artımı ilə bir qədər artaraq 4552  $\text{Om}^{-1}\text{sm}^{-1}$ -ə çatır.  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  nümunəsinin 0,001 at.% Pb ilə aşqarlanması  $\sigma$ -nın 4938  $\text{Om}^{-1}\text{sm}^{-1}$ -ə qədər azalmasına gətirir və bu nümunədə 1 Mrad dozada  $\gamma$ -şüalanmanın təsiri altında  $\sigma$  əhəmiyyətli dərəcədə ( $\sim 2,5$  dəfə) artır, radiasiyanın 10 Mrad-a kimi artması ilə  $\sim 2,2$  dəfə artır, sonra isə  $\gamma$ -şüalanmanın dozasının sonrakı artımı (50 Mrad) onun artımının zəifləməsinə ( $\sim 50\%$ ) gətirir. 0,005; 0,01 və 0,05 at.% Pb-la aşqarlanmış nümunələrin xüsusi elektrik keçiriciliyinin şüalanma dozasından asılılığı isə, demək olar ki, eyni xarakterə malik olur – şüalanmanın aşağı dozalarında (10 Mrad-a qədər)  $\sigma$  bir qədər artır, şüalanma dozasının sonrakı artımı ilə isə əhəmiyyətli dərəcədə dəyişmir.  $\sigma$ -dakı bu dəyişikliklər  $\gamma$ -şüalanmanın təsiri altında termo- e.h.q və Holl əmsallarının dəyişməsi ilə qənaətbəxş şəkildə uzlaşır.



**Şəkil 1.** Qurğuşunla aşqarlanmış  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  bərk məhlulu ekstruziya nümunələrinin xüsusi elektrik keçiriciliyi  $\sigma$ (a), termoe.h.q  $\alpha$  (b) və Holl əmsallarının  $R_H$  (c) şüalanma dozasından asılılıqları. 1 – aşqarsız, 2, 3, 4, 5 – müvafiq olaraq 0,001; 0,005; 0,01 və 0,05 at.% Pb aşqarlı nümunələr.

~ 130 K-dən (~77 K-ə qədər) aşağı temperaturda 0,05 at.% Pb aşqarlı şüalanmamış nümunədə  $\alpha$  və  $R_H$  əmsallarının işarələri müsbət olur, yəni nümunə p- tip keçiriciliyə malik olur. Bütün şüalanma dozalarında tədqiq olunan temperatur intervalında (~77 ÷ 300 K) 0,05 at.% Pb aşqarlı  $Bi_{0,85}Sb_{0,15}$  bərk məhlulu nümunələri n tip keçiriciliyə malik olur, yəni  $\alpha$  və  $R_H$  əmsallarının işarəsi dəyişmir.

Mürəkkəb aşqarlamanın  $Bi_{0,85}Sb_{0,15}$  bərk məhlulu kristallarının termo və maqnitotermoelektrik xassələrinə təsirini öyrənmək məqsədi ilə dənəciklərin ölçüləri ~630 mkm olan, akseptor (Pb) və donor (Te) ilə aşqarlanmış ekstriziya nümunələri alınmış və onların elektrik və istilik xassələri tədqiq edilmişdir. Alınmış nəticələr cədvəl 4.-də verilmişdir.

$Bi_{0,85}Sb_{0,15}$ -in ekstruziya nümunələrinə Pb və Te elektroaktiv aşqarları daxil edərkən Lorens ədədi (L) də dəyişə bilər. Lakin hesablamalar göstərir ki,  $\sigma$ -nın dəyişməsi (~3,7 dəfə) ilə müqayisədə bu dəyişiklik kifayət qədər kiçikdir (~10%). Bu isə onu deməyə əsas verir ki,  $Bi_{0,85}Sb_{0,15}$  -in bərk məhlullarının kompleks aşqarlanması zamanı istilikkeçirmənin elektron komponenti  $\chi_e$  onun ümumi istilikkeçirməsinin dəyişməsində əsas rol oynayır.<sup>3</sup>

Müəyyən edilmişdir ki, qurğusunun akseptor təsirini kompensasiya edən tellur aşqarları nümunələrdə elektronların konsentrasiyasının artmasına səbəb olur, bunun nəticəsində  $\sigma$  və  $\alpha$ -nın qiymətləri Pb-la aşqarlanmayan  $Bi_{0,85}Sb_{0,15}$  üçün alınan qiymətlərə yaxınlaşır. Nümunələrdə yükdaşıyıcılarının yürüklüyünə (nəticədə elektrik parametrləri, istilikkeçirmənin elektron toplananı, həmçinin onların temperatur və maqnit sahəsinin intensivliyindən asılılıqları) və istilikkeçirmənin qəfəs toplananına termiki işlənmə ilə "sağlamlaşan" struktur defektləri əhəmiyyətli dərəcədə təsir göstərir. Temperaturun artması ilə fononların struktur defektlərindən və aşqar mərkəzlərindən səpilməsi zəifləyir.

---

<sup>3</sup> Гицу, Д.В., Голбан, И.М., Ланцер, В.Г., Мунтяну, Ф.М. "Явления переноса в висмуте и его сплавах" Кишинев: Штиинца, -1983, -s. 266.

Cədvəl 4.

**Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub>+0,01 at.% Pb ekstruziya edilmiş nümunələrinin ~77 K-də xüsusi elektrikkeçiriciliyi ( $\sigma$ ), termo-e.h.q ( $\alpha$ ), Holl ( $R_H$ ), istilikkeçirmə ( $\chi$ ) əmsallarının, yük daşıyıcılarının yürüklüyünün ( $\mu$ ) və konsentrasiyasının ( $n$ ) tellur aşqarlarının konsentrasiyasından asılılıqlarının qiymətləri.**

№	~77 K-də											
	Termiki işlənmədən əvvəl					Termiki işlənmədən sonra						
	$\sigma$ (Om <sup>-1</sup> ·sm <sup>-1</sup> )	$\alpha$ (mkV/K)	$R_H \cdot 10^{-8}$ (sm <sup>3</sup> /Kl)	$\chi \cdot 10^2$ (t/sm·K)	$\mu$ (sm <sup>2</sup> /V·san)	$n \cdot 10^{18}$ (sm <sup>-3</sup> )	$\sigma$ (Om <sup>-1</sup> ·sm <sup>-1</sup> )	$\alpha$ (mkV/K)	$R_H \cdot 10^{-8}$ (sm <sup>3</sup> /Kl)	$\chi \cdot 10^2$ (Vt/sm·K)	$\mu$ (sm <sup>2</sup> /V·san)	$n \cdot 10^{18}$ (sm <sup>-3</sup> )
1	2393	-173	-14,83	2,9	35488	0,4	5387	-178	-25,3	3,02	136291	0,25
2	1273	-40	-0,69	3,08	878	9,1	1462	-90	-4,33	3,04	6331	1,4
3	1591	-148	-7,4	3,05	11773	0,8	2020	-171	-11,1	3,03	22422	0,56
4	2750	-127	-6,71	3,05	18453	0,9	1604	-154	-10,6	2,39	17002	0,58
5	11823	-44	-0,69	4,42	8158	9,1	13752	-30	-0,72	5	9901	0,7
6	10823	-45	-0,45	4,92	4870	13,9	17026	-57	-0,69	5,3	11748	9,1
7	17506	-8	-0,23	5,6	4026	27,2	15600	-3	-0,1	5,7	1560	62,5

Qeyd: 1 – aşqarlanmayan nümunə; 2 – Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,155</sub>+0,01 at.%Pb; 3 – Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub>+0,01 at.% Pb+0,0001 at.%Te; 4 – Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub>+0,01 at.%Pb+0,0005 at.%Te; 5 – Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub>+0,01 at.% Pb+0,005 at.%Te; 6 – Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub>+0,01 at.% Pb+0,01 at.% Te; 7 – Bi<sub>0,85</sub>Sb<sub>0,15</sub>+0,01 at.% Pb+0,1 at.% Te.

Bi-Sb sisteminin bərk məhlullarının termo və maqnitotermoelektrik xassələrinə modifikasiyanın (kiçik miqdarda) və termiki işlənmənin təsir xüsusiyyətlərini aydınlaşdırmaq məqsədi ilə 0,5 kütlə %  $ZrO_2$  ilə modifikasiya edilmiş  $Bi_{0,85}Sb_{0,15}$  ekstruziya nümunələri alınmış və onların xüsusi elektrik keçiriciliyi ( $\sigma$ ), termo-e.h.q ( $\alpha$ ), Holl ( $R_H$ ) və istilikkeçirmə ( $\chi$ ) əmsalları temperaturun  $\sim 77 \div 300$  K intervalında və maqnit sahəsinin intensivliyinin  $\sim 74 \times 10^4$  A/m-ə qədər qiymətlərində tədqiq edilmişdir. Alınmış nəticələr cədvəl 5 -də verilmişdir.

Müəyyən edilmişdir ki, izotermik termiki işlənmə zamanı modifikasiya edilməmiş nümunələrdə rekristalizasiya baş verir ki, bu da plastik deformasiya zamanı yaranan struktur defektlərinin konsentrasiyasının azalmasına gətirir, bu isə öz növbəsində yükdaşıyıcılarının yürüklüyünün ( $\mu$ ) artmasına səbəb olur.  $Bi_{0,85}Sb_{0,15}$ -ə 0,5 kütlə %  $ZrO_2$  modifikatoru əlavə edildikdə istilikkeçirmənin  $\sim 77$  K-də fonon komponenti azalır ki, bu da ümumi istilikkeçirmənin azalmasına səbəb olur<sup>4</sup>.

Müəyyən edilmişdir ki, termiki işlənmə zamanı modifikasiya edilməmiş və  $ZrO_2$  modifikatoru əlavəli nümunələrdə rekristalizasiya baş verir və bu plastik deformasiya zamanı yaranan struktur defektlərinin konsentrasiyasının azalmasına və yükdaşıyıcıların yürüklüyünün ( $\mu$ ) artmasına səbəb olur.  $Bi_{0,85}Sb_{0,15}$  nümunələrinə 0,5 kütlə %  $ZrO_2$  modifikasiya edici daxil edildikdə,  $\sim 77$  K-də istilikkeçirmənin fonon toplananı azalır, bu isə ümumi istilikkeçirmənin azalmasına səbəb olur.  $\sim 77$  K-də  $ZrO_2$  qatqılı  $Bi_{0,85}Sb_{0,15}$  bərk məhlulun nümunələrində istilik əsasən qəfəsin rəqsəri ilə daşınır.

$Bi_{0,85}Sb_{0,15}$  bərk məhlulunun ekstruziya nümunəsinə 0,5 kütlə %  $ZrO_2$  modifikatorunun əlavə edilməsi  $\sim 77$  K-də  $\sim 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ -ə termoelektrik effektivliyinə malik material əldə etməyə imkan verir

---

<sup>4</sup> Дубровина, А.Н., Круглов, В.В., Рыбина, Л.Н., Тоут, А.С. Влияние условий экструзии на величину коэффициента термоэдс материалов на основе  $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$  // Электронная техника. Материалы, – 1989. №1(238), – с. 33-36.

Cədvəl 5.

$ZrO_2$  ilə modifikasiya edilmiş  $Bi_{0,85}Sb_{0,15}$  bərk məhlulunun ekstruziya nümunələrinin elektrik və istilik parametrlərinin qiymətləri

Tərkiblər	77 K							300 K										
	$\sigma$ ( $Om^{-1} \cdot sm^{-1}$ )	$\alpha$ (mkV/K)	$\gamma$ (Vt/m·K)	$\chi_e 10^{-2}$ (Vt/m·K)	$\chi_g$ (Vt/m·K)	$R_{H} \cdot 10^{-8}$ ( $sm^3/KI$ )	$\mu$ ( $sm^2/V \cdot san$ )	$n \cdot 10^{18}$ ( $sm^{-3}$ )	$Z \cdot 10^{-3}$ ( $K^{-1}$ )	$\sigma$ ( $Om^{-1} \cdot sm^{-1}$ )	$\alpha$ (mkV/K)	$\gamma$ (Vt/m·K)	$\chi_e 10^{-2}$ (Vt/m·K)	$\chi_g$ (Vt/m·K)	$R_{H} \cdot 10^{-8}$ ( $sm^3/KI$ )	$\mu$ ( $sm^2/V \cdot san$ )	$n \cdot 10^{18}$ ( $sm^{-3}$ )	$Z \cdot 10^{-3}$ ( $K^{-1}$ )
Termiki işlənmədən əvvəl																		
$Bi_{0,85}Sb_{0,15}$	2414	172	2,64	0,33	2,64	24,4	58902	0,025	2,7	6456	94	5,26	0,34	5,26	1,06	6843	5,9	1,08
$Bi_{0,85}Sb_{0,15} + 0,5\% ZrO_2$	2985	182	2,54	0,4	2,54	32,1	95819	0,019	3,8	7858	103	4,95	0,41	4,95	1,21	9508	5,1	1,68
Termiki işlənmədən sonra																		
$Bi_{0,85}Sb_{0,15}$	5250	182	3,02	0,7	3,01	26,5	139125	0,023	5,8	8456	95	5,96	0,45	5,92	1,43	12092	4,3	1,28
$Bi_{0,85}Sb_{0,15} + 0,5\% ZrO_2$	4825	194	2,83	0,6	2,82	43,85	211576	0,014	6,42	9205	97	5,31	0,49	5,26	1,67	15372	3,7	1,6

Bu da həmin material əsasında daha effektiv enerji çevricilərinin yaradılması imkan yaradır. Bu qiymət  $\sim 77$  K-də  $Bi_{0,85}Sb_{0,15}$  bərk məhlulunun modifikasiya edilməmiş nümunələrinin termoelektrik effektivliyinin  $Z$  ( $\sim 5,8 \cdot 10^{-3} K^{-1}$ ) qiymətini əhəmiyyətli dərəcədə üstələyir.

Modifikasiya olunmuş  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}\langle\text{Te}\rangle$  ekstruziya nümunələrinin Holl əmsalının ( $R_H$ ) temperaturdan asılılığı göstərir ki, modifikator əlavəli müxtəlif dozalarda qamma kvantlarla şüalanmış nümunələrdə Holl əmsalının ( $R_H$ ) qiyməti şüalanmamış nümunələrlə müqayisədə daha yüksəkdir. Hesab edilir ki, bunun səbəbi yükdaşıyıcıların yürüklüyünün dəyişməsi ilə əlaqədardır. Şüalanmamış nümunələr, xüsusilə leqirlənməmiş və modifikasiya olunmamış nümunələr üçün Holl əmsalında və yükdaşıyıcıların konsentrasiyasında güclü dəyişiklik əsasən 80÷200 K temperatur intervalına təsadüf edir. 200÷300 K temperatur intervalında isə temperatur artdıqca  $R_H$ -dakı dəyişiklik nisbətən zəifləyir.

## ƏSAS NƏTİCƏLƏR

1. Şüalanmanın aşağı dozalarında (1 Mrad)  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlul nümunələrində donor mərkəzləri rolunu oynayan radiasiya defektləri yaranır, nəticədə sərbəst elektronların konsentrasiyası ( $n$ ) və xüsusi elektrikkeçirmə ( $\sigma$ ) artır, termoelektrik əmsalı ( $\alpha$ ) isə azalır. Bu defektlər, yükdaşıyıcılarını səpərək, onların yürüklüyünü ( $\mu$ ) azaldır. Şüalanma dozasının artması ilə defektlərin konsentrasiyası da artır, radiasiya defektlərində sərbəst yükdaşıyıcıların tutulması baş verir. Nəticədə yükdaşıyıcıların konsentrasiyası ( $n$ ) və nümunənin  $\sigma$ -sı azalır, Fermi səviyyəsi qadağan olunmuş zonanın dərinliyinə sürüşür, termo-e.h.q əmsalı və yürüklük artır. Göstərilmişdir ki, şüalanma dozasının artması ilə ümumi istilikkeçirmənin artması istilikkeçirmənin qəfəs toplanmasının artması ilə əlaqədardır.

2.  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun həcmi nanostrukturlaşdırılmış ekstruziya nümunələrinin elektrik və istilik parametrlərinin dənəciklərin ölçülərindən və termiki işlənmədən asılılığından müəyyən edilmişdir ki, dənəciklərin ölçüləri, dənəciklərin sərhədləri ilə bağlı defektlər, ekstruziya zamanı dənəciklərin nizamlanma dərəcəsi (tekstura), termiki işlənmə prosesində kristallitlərin rekristalizasiyası və oriyentasiyasının dəyişməsi ~77K-də nümunələrdə yük daşıyıcılarının və fononların

səpilməsində üstünlük təşkil edir. Termiki işlənmə n-nin azalmasına,  $\mu$ ,  $\chi$ ,  $\chi_e$  və maqnit müqavimətinin artmasına səbəb olur. Dənəciklərin ölçülərinin artması ilə onların dönməsi üçün tələb olunan enerjinin artması nümunələrdə deformasiya hesabına yaranan teksturanın azalmasına və  $\chi_q$ -in dənəciklərin ölçüsündən asılılığının zəifləməsinə səbəb olur. Ekstruziya və termiki işlənmə zamanı nümunələrin strukturunda baş verən dəyişikliklər elektrik və istilik parametrlərin dəyişməsinə səbəb olur.

3. Aşağı temperaturda qamma kvantların müxtəlif dozaları ilə şüalanan tellur atomları ilə aşqarlanmış nümunələrdə aşağı temperaturda xüsusi elektrik keçiriciliyi əhəmiyyətli dərəcədə artır. Bu nümunələrdə temperaturdan asılılığın xarakteri dəyişir və aşqar keçiriciliyi bölgəsi müşahidə olunur. Elektrikkeçirmənin temperaturdan asılılığı yükdaşıyıcıların yürüklüyü və konsentrasiyanın dəyişməsi ilə bağlıdır.

4. Qamma şüalanmanın aşağı dozalarında  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}\langle\text{Pb}\rangle$  bərk məhlulu nümunələrində ayrı-ayrı düyünlərarası atomlar və vakansiyalar kimi sadə defektlər yaranaraq sərbəst elektronların konsentrasiyasının ( $n$ ), elektrikkeçirmənin ( $\sigma$ ), istilikkeçirmənin ( $\chi$ ) artmasına, termo-e.h.q ( $\alpha$ ) və  $R_H$  əmsallarının azalmasına səbəb olur. Şüalanma dozasının sonrakı artması ilə, kompleks defektlərin (nöqtəvi defektlərin cəmləşməsi) yaranması, nəticədə yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının azalması,  $\sigma$ ,  $\alpha$ ,  $\chi$  və  $R_H$ -in müvafiq dəyişmələri baş verir. Müəyyən edilmişdir ki, 0,05 at.% Pb ilə aşqarlanmış  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun şüalanmamış nümunələrində termo e.h.q. ( $\alpha$ ) və  $R_H$  əmsalları  $\sim 130$  K-də işarəsini dəyişməsinə baxmayaraq, müxtəlif dozalarda qamma kvantlarla şüalandırılmış nümunələrdə  $\alpha$  və  $R_H$ -un aşağı temperaturlarda işarəsinin dəyişməsi müşahidə olunmur.

5. Müəyyən edilmişdir ki, qurğuşunun akseptor təsirlərini kompensasiya edən tellur aşqarları nümunələrdə elektronların konsentrasiyasının artmasına səbəb olur, nəticədə  $\sigma$  və  $\alpha$ -nın qiymətləri aşqarlanmamış  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  üçün alınan qiymətlərə yaxınlaşır. Termiki işlənmə struktur defektlərinin azalmasına

gətirərək yük daşıyıcıların yürüklüyü və istilikkeçirmənin qəfəs komponentinə əhəmiyyətli dərəcədə təsir edir.  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun kompleks aşqarlanması zamanı istilikkeçirmənin elektron toplananı  $\chi_e$  nümunələrin ümumi istilikkeçirməsinin dəyişməsində həlledici rol oynayır. Temperaturun artması ilə struktur defektləri və aşqar mərkəzlərindən fononların səpilməsi zəifləyir.

6. Müəyyən edilmişdir ki, izotermik termiki işlənmə zamanı modifikatoru olan modifikasiya edilməmiş nümunələrdə rekristalizasiya, nəticədə plastik deformasiya zamanı yaranan struktur defektlərin konsentrasiyasının azalması və yükdaşıyıcıların yürüklüyünün ( $\mu$ ) artması baş verir.  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$ -ə 0,5 kütlə %  $\text{ZrO}_2$  modifikasiya edici əlavələr daxil edildikdə,  $\sim 77$  K-də istilikkeçirmənin fonon hissəsi azalır, bu da ümumi istilikkeçirmənin azalmasına səbəb olur.  $\sim 77$  K-də  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun  $\text{ZrO}_2$  qatqılı modifikasiya edilməmiş nümunələrdə istilik əsasən qəfəsin rəqsləri ilə daşınır. Yükdaşıyıcıların optimal konsentrasiyasına malik  $\text{Bi}_{0,85}\text{Sb}_{0,15}$  bərk məhlulunun ekstruziya nümunəsinə 0,5 kütlə %  $\text{ZrO}_2$  modifikatorunun əlavə edilməsi  $\sim 77$  K-də termoelektrik effektivliyi  $\sim 6,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$  olan materialın alınmasına, həmin material əsasında daha effektiv aşağı temperaturlu elektron soyuducuların yaradılmasına imkan verir.

## DİSSERTASIYA MÖVZUSU ÜZRƏ ÇAP OLUNMUŞ ELMİ İŞLƏR

1. Абдинова, Г.Д., Пириева, Т.И., Абдуллаева, И.А., Тагиев, М.М. Электрические и адгезионные свойства поверхности раздела экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  с контактными материалами // Energetika üzrə kadr hazırlığının aktual məsələləri Respublika elmi konfransının materialları. – Sumqayıt: 30–31 may, – 2019, – s. 107–109.

2. Абдуллаева, И.А., Абдинова, Г.Д., Самедов, О.А., Тагиев, М.М. Влияние гамма радиации на электрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // Maqniyumuşaq ərintilərin informasiya texnologiyalarında və hərbi sənayedə tətbiqi perspektivləri mövzusunda beynəlxalq elmi-praktik konfrans. – Bakı: 9–10 oktyabr, – 2019, – s. 174–178.

3. Тагиев, М.М., Абдинова, Г.Д., Абдуллаева, И.А. Электрические и тепловые свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ , облученные гамма-радиацией // Şəxsiyyət, səmiiyyət, dövlət; Qarşılıqlı münasibətlərə müasir yanaşmalar mövzusunda Respublika elmi konfransı. – Mingəçevir: 6–7 dekabr, – 2019, – s. 502–504.

4. Абдуллаева, И.А. Влияние гамма радиации на магнитоэлектрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Xəbərləri, Fizika-Texnika və Riyaziyyat Elmləri Seriyası, Fizika və Astronomiya. – Bakı: – 2020, №2, – s. 136–140.

5. Tagiev, M.M., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A. Thermal conductivity of bulk nanostructured  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solution samples // International Conference Physica.SPb. – Sankt-Peterburq: 19–23 October, – 2020, – p. 175–177.

6. Tagiev, M.M., Abdullayeva, I.A. Influence of Gamma Radiation on Electrical Properties of Extruded Samples of  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}<\text{Te}>$  Solid Solutions // Electronic Processes in Organic

and Inorganic Materials (ICEPOM-12). – Kamianets-Podilskyi, Ukraine: 1–5 June, – 2020, – p. 94–95.

7. Tagiyev, M.M., Barkhalov, B.Sh., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A. Magnetothermoelectric Properties of Extruded Samples of  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15} + 0.01 \text{Pb} + \text{Te}_x (0 \leq x \leq 0.1)$  Solid Solution // ICTPE-2020. The 16th International Conference on Technical and Physical Problems of Engineering. – Istanbul, Turkey: 12–13 October, – 2020, – p. 89–94.

8. Абдинова, Г.Д., Пириева, Т.И., Абдуллаева, И.А., Тагиев, М.М. Влияние гамма-излучения на магнитоэлектрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15} <\text{Te}>$  // Təbiiqi fizika və energetikanın aktual məsələləri II beynəlxalq elmi konfransı. – Sumqayıt: 2020, №7, – s. 181–186.

9. Abdullayeva, I.A., Abdinova, G.D., Samedov, O.A., Tagiev, M.M. Effect of  $\gamma$ -radiation on magneto-thermoelectric properties of the extruded samples of  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15} (\text{Te})$  solid solution // International Journal of Modern Physics B. – 2021, Vol. 35, №7, 2150099 (9 pages). <https://doi.org/10.1142/S0217979221500995>

10. Abdullayeva, I.A., Abdinova, G.D., Tagiev, M.M., Barkhalov, B.Sh. Effect of Gamma Irradiation on the Electrical Properties of Extruded  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15} <\text{Te}>$  Samples // Inorganic Materials. – 2021, Vol. 57, №9, – pp. 887–892. doi: 10.1134/S0020168521090016

11. Тагиев, М.М., Абдинова, Г.Д., Абдуллаева, И.А. Теплопроводность объемных наноструктурированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // Известия высших учебных заведений. Физика. – 2021, Т. 64, №10, – с. 91–97. doi:10.17223/00213411/64/10/91

12. Tagiyev, M.M., Abdullayeva, I.A. Influence of gamma radiation on magnetoelectric properties of solid solution  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  modified  $\text{ZrO}_2$  // UNEC Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2021, Vol. 1, №1, – pp. 12–21.

13. Taghiyev, M.M., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A. Влияние термической обработки на гальваномагнитные свойства объемных наноструктурированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // Физика. СПб. Сборник докладов. – Санкт-Петербург: 18–22 октября, – 2021, – с. 122–123.

14. Tagiyev, M.M., Abdinova, G.J., Abdullayeva, I.A. Magneto-thermoelectric properties of  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solution doped with lead and tellurium impurities // International Journal on Technical and Physical Problems of Engineering (IJTPE). – 2021, Vol. 13, №3 (Issue 48), – pp. 110–114.

15. Abdullayeva, I.A., Abdinova, G.J., Tagiyev, M.M. Influence of Gamma Radiation on Electrical and Thermal Properties of Extruded Samples of Solid Solution  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  Modified  $\text{ZrO}_2$  // ICTPE-2021. The 17th International Conference on Technical and Physical Problems of Engineering. – Istanbul, Turkey: 18–19 October, – 2021, – p. 72–78.

16. Tagiyev, M.M., Abdinova, G.J., Abdullayeva, I.A. Influence of  $\gamma$ -radiation on the electrical properties of extruded samples of solid solution  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  <Pb> // Turkish Physical Society. The 37th International Physics Congress. – Bodrum, Turkey: 1–5 September, – 2021, – p. 227.

17. Tagiyev, M.M., Abdinova, G.J., Abdullayeva, I.A. Effect of heat treatment on the galvanomagnetic properties of bulk nanostructured samples of  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solution // Journal of Physics: Conference Series. – 2021, Vol. 2103, 012118, doi:10.1088/1742-6596/2103/1/012118.

18. Тагиев, М.М., Абдинова, Г.Д., Абдуллаева, И.А., Пириева, Т.И., Алиева, Х.Ф. Влияние термообработки на термоэлектрические свойства экструдированных образцов  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // Műasir təbiət və iqtisad elmlərinin aktual problemləri. – Gəncə, Azərbaycan: 6–7 may, – 2021, Vol. 2, – s. 364–367.

19. Тагиев, М.М., Абдинова, Г.Д., Абдуллаева, И.А. Влияние  $\gamma$ -радиации на магнитоэлектрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // XXVI Международная научно-техническая конференция по

фотоэлектронике и приборам ночного видения. – Москва, Россия: 25–27 мая, – 2022, – с. 432–433.

20. Tagiyev, M.M., Abdullayeva, I.A. Influence of gamma radiation on magnetoelectric properties of extruded samples of solid solution  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  <Te> modified  $\text{ZrO}_2$  // International Journal of Modern Physics B. – 2022, Vol. 36, №18, 2250103. <https://doi.org/10.1142/S021797922250103X>

21. Abdullayeva, I.A. Magnetothermoelectric properties of extruded samples of solid solution  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  irradiated with gamma quanta // Journal of Radiation Researches. – Baku: 2022, Vol. 9, №1, – p. 34–44.

22. Tagiyev, M.M., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A. Thermal conductivity of three-dimensional nanostructured  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solution // Russian Physics Journal. – 2022, Vol. 64, – p. 1886–1892. doi: 10.1007/s11182-022-02537-0

23. Abdullayeva, I.A., Abdinova, G.D., Piriyeva, T.I., Tagiyev, M.M., Aliyeva, X.F. Effect of gamma radiation on the electrical properties of a solid solution  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  <Te> modified with  $\text{ZrO}_2$  // AJP Fizika. – 2022, Section C, – p. 64–69

24. Tagiyeva, M.M., Abdullaeva, I.A., Abdinova, G.D. Effect of gamma irradiation on the magnetothermoelectric properties of extruded  $\text{ZrO}_2$ -modified  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // Inorganic Materials. – 2022, Vol. 58, №6, – pp. 561–567. doi:10.1134/S0020168522060140

25. Tagiyev, M.M., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A., Piriyeva, T.I., Əliyeva, X.F. Electrical and thermal properties of nanostructured solid solution  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // 4th International Conference on Innovations in Natural Science and Engineering. – Baku, Azerbaijan: 26–29 October, – 2022, – p. 107.

26. Tagiyev, M.M., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A., Piriyeva, T.I., Əliyeva, X.F. Anisotropy of electrical properties of samples  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solution doped with tellurium donor impurities// 4th International Conference on Innovations in Natural Science and Engineering. – Baku, Azerbaijan: 26–29 October, – 2022, – p. 106.

27. Tagiyev, M.M., Abdinova, G.D., Abdullayeva, I.A., Piriyeva, T.I., Maharramova, K.I., Əliyeva, X.F. Anisotropy of electrical properties of extruded samples of  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solutions modified with gamma quanta // International Scientific Conference “Educational and Scientific Activity in a New Time: Realities and Challenges”. – 16–17 December, – 2022, – p. 388–390.

28. Тагйев, М.М., Алиева, Х.Ф., Абдуллаева, И.А.Абдинова, Г.Д., Пириева, Т.И. Анизотропия электрических свойств экструдированных образцов  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ , облученных  $\gamma$ -радиацией // Műasir təbiət və iqtisad elmlərinin aktual problemləri. Ümummilli Lider Heydər Əliyevin 100 illiyinə həsr olunmuş beynəlxalq konfrans. – Gəncə, Azərbaycan. 5–6 may, – 2023. Vol. V, p. 106–109.

29. Абдуллаева, И.А., Самедов, О.А., Тагйев, М.М. Влияние гамма-облучения на анизотропию электрических свойств образцов твердого раствора на основе  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  // Radiasiya Texnologiyaları və onun tətbiqi. Ümummilli Lider Heydər Əliyevin 100 illiyinə həsr olunmuş elmi-texniki konfrans. – Bakı, Azərbaycan: 5 may, – 2023, – s. 65–67.

30. Tagiyev, M.M., Abdullayeva, I.A., Abdinova, G.D., Aliyeva, K.F. Thermoelectric properties of an extruded  $\text{ZrO}_2$ -modified  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solution // Inorganic Materials. – 2023, Vol. 59, №8, – pp. 805–812. doi: 10.1134/S0020168523080162

31. Tagiyev, M.M., Abdullayeva, I.A., Jafarova, S.G. Influence of  $\gamma$ -radiation on magnetoelectrical properties of  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solution ( $0.001 \leq x \leq 0.05$ ) // Journal of Physics: Conference Series. – 2024, Vol. 2845, №1, 012001. doi:10.1088/1742-6596/2845/1/012001

32. Tagiyev, M.M., Abdullayeva, I.A., Abdinova, G.D. Effect of gamma irradiation on the electrical properties of extruded  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solution samples doped with Pb acceptor impurities // Inorganic Materials. – 2024, Vol. 60, №7, – p. 822–827. doi:10.1134/S0020168524701024.

33. Tagiyev, M.M., Abdullayeva, I.A. Влияние  $\gamma$ -радиации на термоэлектрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ , легированных акцепторной примесью свинца // Известия высших учебных заведений. Физика. -2024, Т. 67, № 3, -с. 115-123. doi: 10.17223/00213411/67/3/13

34. Abdullayeva, I.A., Tagiyev, M.M. Influence of gamma radiation on magnetoelectrical properties of  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$  solid solution doped with lead acceptor impurity // Russian Physics Journal. – 2025, Vol. 68, №1, – pp. 132–141. doi:10.1007/s11182-025-03411-5.

35. Тагиев, М.М., Алиева, Х.Ф., Абдинова, Г.Д., Абдуллаева, И.А., Пириева, Т.И. Электрические свойства экструдированных образцов твердого раствора  $\text{Bi}_{0.85}\text{Sb}_{0.15}$ , модифицированных  $\gamma$ -квантами // Metal və ərintilər fizikasının aktual problemləri. Respublika Elmi-Praktiki Konfransı. – Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti: 6–7 fevral, – 2025, – s. 114–119.



**Həmmüəlliflərlə yerinə yetirilən işlərdə iddiaçının şəxsi əməyi:**

[1-35] – sayılı işlərdə məsələnin qoyuluşu və həlli, təcrübi tədqiqatların aparılması müəllif tərəfindən, tədqiqatlardan əldə olunan nəticələrin təhlili və elmi məqalələrin hazırlanması həmmüəlliflərlə birgə yerinə yetirilmişdir.

Dissertasiyanın müdafiəsi 30 oktyabr 2025-ci il tarixdə, saat 14:30 -da Azərbaycan Respublikasının Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutu nəzdində fəaliyyət göstərən FD 1.21 Dissertasiya Şurasının iclasında keçiriləcək.

Ünvan: AZ 1143, Bakı, B.Vahabzadə küçəsi, 9.

Dissertasiya ilə Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun elmi kitabxanasında tanış olmaq mümkündür.

Dissertasiya və avtoreferatın elektron versiyaları Azərbaycan Respublikası Elm və Təhsil Nazirliyinin Radiasiya Problemləri İnstitutunun rəsmi internet saytında yerləşdirilmişdir.

Avtoreferat «27» Sentyabr 2025-ci il tarixində zəruri ünvanlara göndərilmişdir.

Çapa imzalanıb: 26.09.2025

Kağızın formatı: A5

Həcm: 34859

Tiraj: 100