

LAYLI $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Ni}\rangle$ KRİSTALLARINDA OPTİK ƏKSOLUNMA

S.R. ƏZİMOVA, N.M. ABDULLAYEV

AMEA, Fizika İnstitutu, Bakı, Azərbaycan, AZ-1143, H. Cavid pr., 131

E-poçt ünvanı: sevinc_azimova@82mail.ru

Nikellə interkalasiya olunmuş $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ kristallarında optik buraxma və daşıma hadisələri nəzərdən keçirilib, burada öz-özünə təşkili zamanı təbəqələrin səthində nanotellər və zəncirlər əmələ gəlir və $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Ni}\rangle$ kristallarını 0.127- 0.688 kütlə% -da nikellə aşqalanması 1-3 eV oblastında enerjinin buraxma spektrini 20-50% intervalında dəyişməsinə səbəb olur.

Açar sözlər: folqa, kvintet, nanonaqillər, interkalasiya, özünütaşkil.

PACS: 73.22.Pr. 62.20Fe

Məlum olduğu kimi, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ laylı kristal bu gün də termoelektrik istehsalında ən actual və tələb olunan materiallardan biri olaraq qalır.

Birləşmələrin interkalasiyası matrisin parçalanmasına gətirib çıxarır və 50-100 nm, bəzən hətta tək monoatomik təbəqələrdən ibarət hissəciklər almağa imkan verir. Metallar dielektriklərdən həm yüksək əksətdirmə, həm də udma əmsallarına görə fərqlənirlər. Bu, onların tərkibindəki sərbəst elektronların yüksək konsentrasiyası ilə əlaqədardır ki, onlar asanlıqla radiasiyaya məruz qalırlar. Nəticədə, çox güclü əks olunan dalğa yaranır və kristal qəfəsin ionları ilə toqquşan sərbəst elektronlar gələn şüalanmanın enerjisini istiliyə çevirir. Əksolunan işığın təbiəti səpilmə intensivliyindən asılıdır: - qarışıq əksətmə və ötürülmə (istiqamətli səpələnmiş) adətən hissəciklərin ümumi müstəviyə nisbətən fərqli yönümlü olan səthlərdə müşahidə olunur.[1].

Hazırda elektron keçiriciliyə malik $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ bərk məhlulları aşağı temperaturlu termoelektrik təbiiqlər üçün ən yaxşı materiallardan biridir. Bununla belə, bu bərk məhlulların yararlıq termoelektrik göstəricisi də çox yüksək deyil ($ZT \approx 1$), bu da onların geniş istifadə potensialını əhəmiyyətli dərəcədə məhdudlaşdırır. Buna görə də, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ birləşmələrinin termoelektrik yararlığını artırmaq üçün elmi və texnoloji yolların axtarışı həm yarımkeçiricilər fizikası, həm də fiziki materialşünaslıq üçün aktual vəzifədir.

Müxtəlif aşqarlarla leqirə olunması bəzən vismut telluridi əsasında birləşmələrin ZT -nin artmasına kömək edən əsas termoelektrik xüsusiyyətlərin (S, ρ və κ) optimallaşdırılması üçün kifayət qədər təsirli bir üsuldur [2, 3].

Y.Panın tədqiqatlarında $\text{Bi}_2\text{Te}_{1-x}\text{Se}_x$ n -tipli ərintilərin toz şəklində emalı ilə müqayisədə xüsusiyyətlərinin yaxşılaşdırılması imkanları nəzərdən keçirilir. Elektronəqliyyat xüsusiyyətləri Hall ölçmələrinin nəticələri ilə müzakirə edilir. İstilik ötürmə xassələri Raman spektrlərindən istifadə etməklə tədqiq edilmişdir.

Nöqtə defektlərinin fərqli konsentrasiyasının $\text{Bi}_2\text{Te}_{1-x}\text{Se}_x$ -də Se_x tərkibin 0-dan 1.0-a qədər dəyişməsi ilə izah edildiyi göstərilir. Nöqtə defektlərinin və onların qarşılıqlı təsiri yalnız daşıyıcıların konsentrasiyasını və hərəkətliyini əhəmiyyətli dərəcədə dəyişdirmir, həm də fononların səpilməsini gücləndirir, bu da xassələrin artmasına səbəb ola bilər. [3].

Məlum olmuşdur ki, n - $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ bərk məhlulda Bi_2Te_3 -dən fərqli olaraq, effektiv kütlə temperaturla

bir qədər artır və bu, yüksək konsentrasiyalı nümunələrdə daha çox nəzərə çarpır. Bərk məhlulda keçiricilik zolağının doldurulma səviyyəsindən asılı olmayaraq, Fermi səviyyəsində effektiv kütlə Bi_2Te_3 -dən xeyli böyükdür. Bi-Te-Se sistemində bərk məhlullarda Se miqdarının artması ilə zolaq boşluğu ϵ_g artır və temperaturla bir qədər də artır. $\text{Bi}_2\text{Te}_{2-x}\text{Se}_x$ bərk məhlullarında yararlıq Z -nin termoelektrik əmsalının artmasının səbəblərindən biri də budur. Bu halda belə nəticəyə gəlinir ki, Bi_2Te_3 və $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ bərk məhlulunun keçiricilik zolağı qeyri-parabolikdir, vəziyyətlərin sıxlığının effektiv kütləsinin konsentrasiyadan asılılığından təxmin edilən dispersiya qanunu Keyn modelinə yaxındır. [4].

Bu işin məqsədi $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ laylı yarımkeçiricinin daşınma hadisələrinə Ni interkalantının təsirini aşkar etməkdir.

1. $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Ni}\rangle$ NÜMUNƏSİNİN RENTGEN FAZALI ANALİZİ

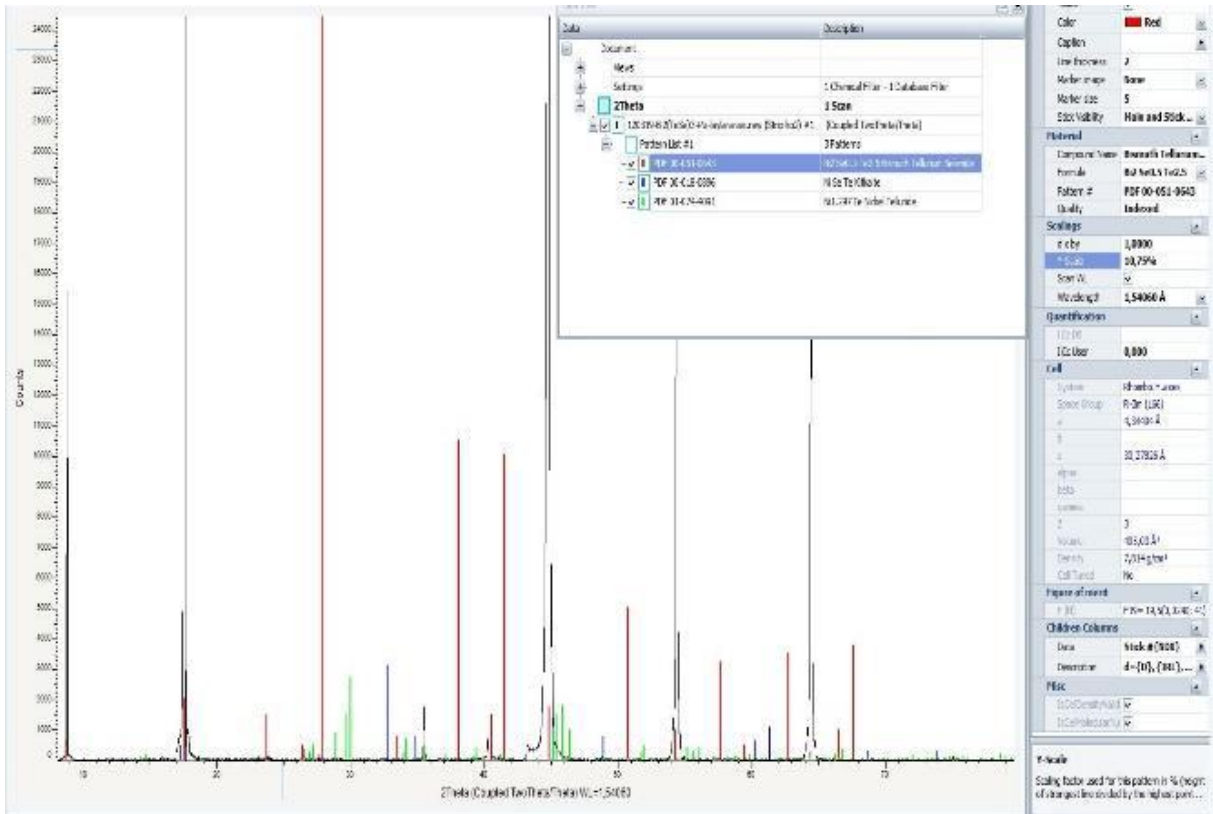
$\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Ni}\rangle$ nümunəsinin tərkibinin rentgen fazalı analizi aparılmışdır. Difraksiya mənzərəsində üç aydın refleks göstərir: interkalasiya prosesindən sonra $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Ni}\rangle$ baza kristalının kristallığı təsdiqlənir; $\text{Ni}_{1.297}\text{Te}$ tərkibinin yeni fazasının dənəciklərin nanokristallığı; və yeni Ni-Se-Te zəncirləri. Sərbəst nikel atomları müşahidə edilməmişdir.

Həmçinin, rentgen analizinin nəticələrinə əsasən iddia etmək olar ki, Ni ionları səthindəki defekt quyularında boş yerləri dolduraraq 1,17% - $\text{Ni}_{1.297}\text{Te}$ və 1,33% Ni-Se-Te tərkibli zəncirlər əmələ gətirə bilər. Tək özək ölçüsü $D-35 \pm 5$ nm olduqda, hissəciklərin birləşmə müstəvilərinə paralel istiqamətdə folqa müstəvi təbəqəsi ilə eyni xəttə yerləşən, ölçüləri 35, 70, 100nm olan ikili, üçlü, dördlü $\text{Ni}_{1.297}\text{Te}$ nanonaqillər əmələ gəlir. [5].

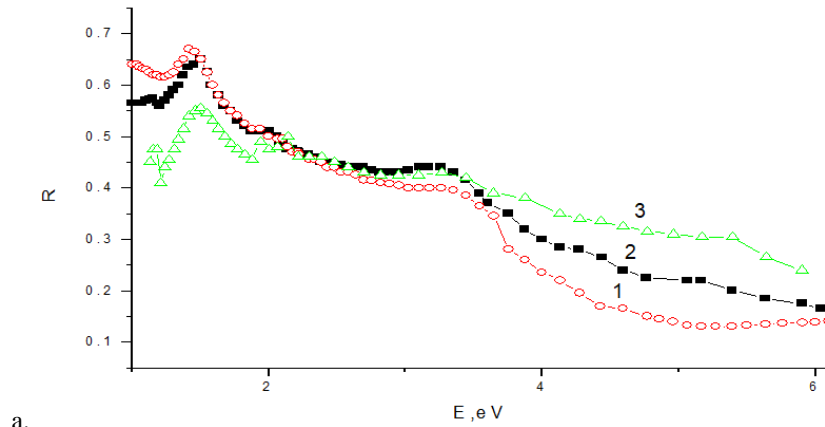
Tədqiqatlarımızda terbiyum və xlorla aşqarlanmış p -tip $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Tb}\rangle$ və n -tip $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Cl}\rangle$ nümunələrin 1-6 eV enerji oblastında R -əksolunması ətraflı öyrənilmişdir n -tip. $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Ni}\rangle$ kristalın təkmilləşdirilməsi üçün n -tip $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ nümunəsi ilə müqayisə edək

Şəkil 2-dən görüldüyü kimi, terbiyum və xlorla aşqarlanmış p -tip $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Tb}\rangle$ və n -tip $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Cl}\rangle$ nümunələrin 1-2 eV enerji oblastında R -əksolunma əmsalı 50-68% və 2-3,5 eV enerji oblastında 40-50% bərabərdir. Piklər zona-zona arası keçidləri xarakterizə edir.

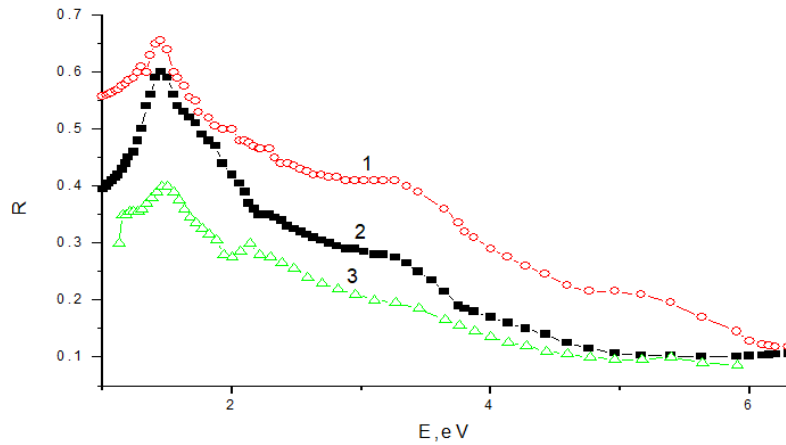
LAYLI $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}<\text{Ni}>$ KRİSTALLARINDA OPTİK ƏXSÖLUNMA



Şəkil 1. $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}<\text{Ni}>$ folqalarında tərkibinin rentgen faza analizi [5].

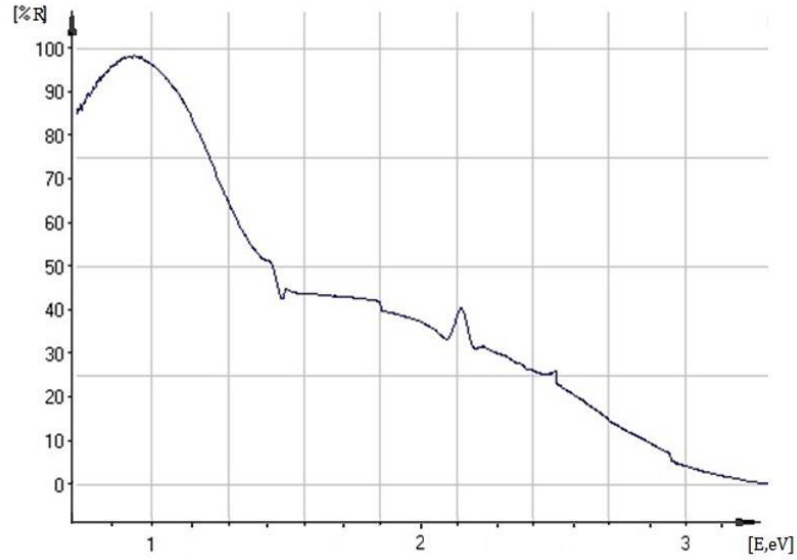


a.

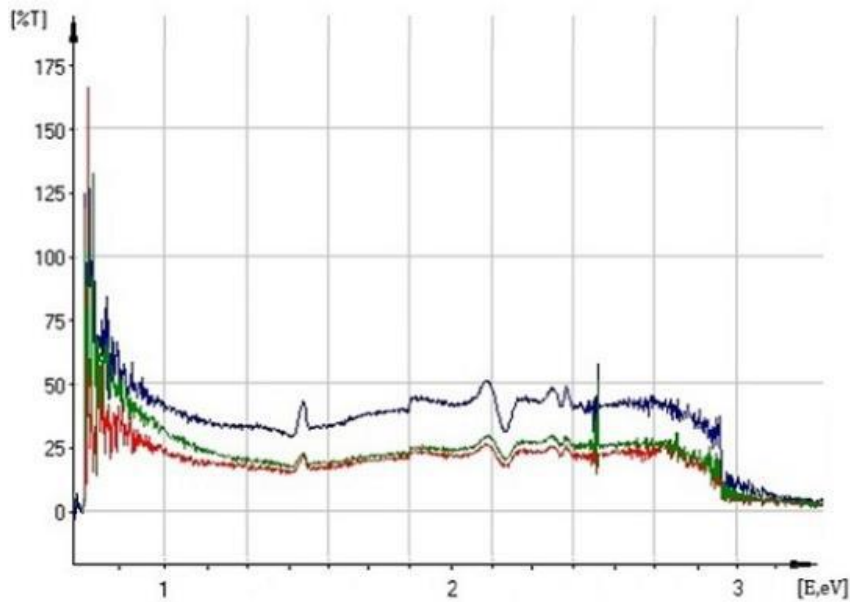


b.

Şəkil 2. Əksölünmə spektrləri: a) p - $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}<\text{Tb}>$, b) n - $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}<\text{Cl}>$:
1. ($E \perp c$), 2. ($E // c$) - monokristal, 3.- nazik təbəqə. [6].



Şəkil 3. $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ nümunəsinin əksölünmə spektri.



Şəkil 4. Nikellə aşqarlanmış $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3} \langle \text{Ni} \rangle$ nümunəsinin enerji buraxma spektri. Nikel aşqarları 1- 0.127 kütlə% (qırmızı), 2- 0.383 kütlə% (yaşıl), 3- 0.688 kütlə% (göy).

Məlumdur, ki kristalın səthinə düşən enerjinin əksölünməsi nə qədər az olsa bir o qədər də, daxili udulmaya sərf olunur.

Şəkil 3-dən görüldüyü kimi, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ nümunələrin 1- eV enerji ətrafında R -əksölünmə əmsalı 50-98% bir qədər çox olsada 1.5-3 eV enerji oblastında 10-50% bərabərdir. Piklər zona-zonaarası keçidləri xarakterizə edir.

Şəkil 4-dən görüldüyü kimi, nikellə aşqarlanmış n - tip $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3} \langle \text{Ni} \rangle$ 1-ci nümundən bütün 1-3 eV enerji oblastında enerjinin buraxma spektri 30- 50%, 2 və 3-cü nümunələrin 20-30% intervalında dəyişməsi müşahidə olunur.

$\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3} \langle \text{Ni} \rangle$ kristallarını 0.127- 0.688 kütlə% -da nikellə aşqarlanması 1-3 eV oblastında enerjinin buraxma spektrini 20-50% intervalında dəyişməsinə səbəb olur.

2. NİKEL İLƏ AŞQARLANMIŞ LAYLI $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ KRİSTALLARDA KÖÇÜRMƏ HADİSƏLƏRİ

Ən yaxşı termoelektrik materiallar aşağı istilik keçiriciliyi və, eyni zamanda, Seebeck əmsalının və elektrik keçiriciliyi yüksək olanlardır. Aşqar maddəsinin nikel qismində seçilməsi onun nisbətən aşağı istilik və yüksək elektrik keçiriciliyə malik olmasıdır. Bu səbəbləri nəzərə alaraq $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ birləşməsi Ni atomları ilə interkalyasiya edilmiş, alınmış tədqiqat obyektlərinin quruluş aspektləri tədqiq edilmişdir

Nikelin elementinin maqnit xassələrinə malik olması, bu materialın həm də spintronikada tətbiq imkanlarını artırır.

Bu işdə, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ kristalı elektrokimyəvi üsulla Ni atomları ilə interkalyasiya edilmişdir.

$1 \times 2 \times 0.05 \text{ cm}^3$ ölçülü $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ nümunəsi Ni ilə 1 dm^3 həcmli menzurka içərisində 0.5%-li məhlulda elektroliz metodu ilə interkalyasiya edilmişdir. Elektrodlardan biri kimi $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ kristalı, ikinci elektrod kimi isə kömür çubuq istifadə olunmuşdur. İnterkalyasiya

prosesində akumulyatordan istifadə etməklə $U = 5 \text{ V}$ gərginlikdə $I \sim 0.7 \text{ A}$ cərəyan buraxılmışdır. Elektroliz prosesi zamanı məhlulun temperaturu 65°C saxlanılmışdır. Nümunələr $t=1-3$ dəq zaman intervalında interkalyasiya olunmuşdur [5].

cədvəl

Nümunələr	p (sm^3)	R (sm^3/Kl)	σ ($\text{Om}^{-1}\text{sm}^{-1}$)	$\alpha S $ mkV/K	μ $\text{sm}^2/\text{V} \times \text{san}$
$\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ ($T \approx 300 \text{ K}$)			1200 [7]	212 [7]	
$\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Ni}\rangle$ ($T=300\text{K}$)	2.26×10^8	2.767	235.4	251	650
$\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ (Ni) ($T=110\text{K}$)	5.5×10^8	1.136	1760	111	2000

İnterkalyasiyadan sonra nümunələrin $T=300\text{K}$ otaq temperaturunda və $T=110\text{K}$ azot temperaturunda uyğun parametrləri – yükdaşıyıcıların (p - tip keçiriciliyə malik) konsentrasiyası, R - Holl əmsalı, elektrik keçiriciliyi, Termoe.h.q.- α və μ - yürüklüyü ölçülmüşdür. Təcrübədən alınan parametrlərin qiyməti cədvəldə verilmişdir.

Beləliklə bu nəticəyə gəlmək olar ki, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Ni}\rangle$ kristallarını 0.127- 0.688 kütlə% -da nikkellə aşqalanması 1-3 eV oblastında enerjinin buraxma spektrini 20-50% intervalında dəyişməsinə səbəb olur.

$\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Ni}\rangle$ kristallarını 0.383 kütlə% -da nikkellə aşqarlanması nəticəsində $\alpha=251 \text{ mkV/K}$, $\sigma=235 \text{ Om}^{-1}\text{sm}^{-1}$ parametrlə material alınmışdır.

1. *A.I. Андреев, С.В. Мухин, В.В. Некрасов, В.А. Никитенко, А.В. Пауткина* Модульная многофункциональная оптоволоконная спектрометрическая система. 2020.
2. *А.Е. Васильев, М.Н. Япрынцев, О.Н. Иванов, М.В. Жежу.* Термоэлектрические свойства твердых растворов $\text{Bi}_2\text{xLuxTe}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$. Физика и техника полупроводников, том 53, вып. 5, 2019.
3. *Y. Pan, T.R. Wei, C.F. Wu, J.F. Li, J. Mater. Chem.* с. 3, 10583, 2015.
4. *С.А. Алиев, Э.И. Зульфигаров.* Термомагнитные и термоэлектрические явления в науке и технике Баку, «ЭЛИМ», 2002.
5. *S.R. Əzimova, N.M. Abdullaev.* АЖР ФІЗІКА volume XXVII №4 ss. 46-50, 2021.
6. *Н.М. Абдуллаев,* Диссертация. «Структура, электрические и оптические свойства пленок твердых растворов $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Tb,Cl}\rangle$ » д.ф.н.наук. Баку, с.180, 2014.
7. *П.П. Константинов, Л.В. Прокофьева, М.И. Федоров и др.* ФТП, том 39, вып. 9, 2005.

S.R. Azimova, N.M. Abdullaev

OPTICAL REFLECTION IN LAYERED $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Ni}\rangle$ CRYSTALS

$\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Ni}\rangle$ crystals intercalated with nickel target optical emission and transport events, where nanotels and chains are formed in the construction of self-organizing plans and $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}\langle\text{Ni}\rangle$ crystals with nickel alloying at 0.127-0.688% change the energy emission spectrum in the range of 20-50% in the range of 1-3 eV.