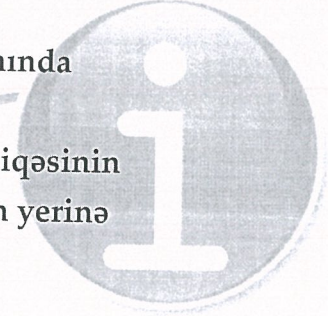




**AZƏRBAYCAN RESPUBLİKASININ PREZİDENTİ YANINDA
ELMİN İNKİŞAFI FONDU**

**Azərbaycan Respublikasının Prezidenti yanında
Elmin İnkişafı Fondunun
Gənc alim və mütəxəssislərin 3-cü qrant müsabiqəsinin
(EIF/GAM-3-2014-6(21)) qalibi olmuş layihənin yerinə
yetirilməsi üzrə**



YEKUN ELMİ-TEXNİKİ HESABAT

Layihənin adı: $A_2^V B_3^VI$ qrup birləşmələrinin nazik təbəqələri əsasında yüksək effektivli, miniatur alternativ enerji mənbələri və termoelektrik çeviricilərinin tədqiqi

Layihə rəhbərinin soyadı, adı və atasının adı: Əliquliyeva Xəyalə Vaqif qızı

Qrantın məbləği: 45 000 manat

Layihənin nömrəsi: EIF/GAM-3-2014-6(21)-24/01/1-M-13

Müqavilənin imzalanma tarixi: 16 dekabr 2015-ci il

Qrant layihəsinin yerinə yetirilmə müddəti: 12 ay

Layihənin icra müddəti (başlama və bitmə tarixi): 01 yanvar 2016-cı il – 01 yanvar 2017-ci il

Diqqət! Bütün məlumatlar 12 ölçülü Arial şrifti ilə, 1 intervalla doldurulmalıdır

Diqqət! Uyğun məlumat olmadığı təqdirdə müvafiq bölmə boş buraxılır

Hesabatda aşağıdakı məsələlər işıqlandırılmalıdır:

1 Layihənin həyata keçirilməsi üzrə yerinə yetirilmiş işlər, istifadə olunmuş üsul və yanaşmalar

1. $Bi_2Te_{1-x}Se_x$ bərk məhlullar sistemindən lazımlı tərkibin seçilməsi.
2. Seçilmiş tərkib elementlərin sintez edilməsi.
3. Altlığın və sintez olunan birləşmənin termovakuum tozlandırılması rejiminin seçilməsi.
4. $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$ bərk məhlulunun tavlınmamış və $200^{\circ}C$ tavlınmış nazik təbəqələrin kristallik quruluşun rentqen difraktometrik analizi.
5. $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$ bərk məhlulunun tavlınmamış və $200^{\circ}C$ tavlınmış nazik təbəqələrin elektronografiya üsulu ilə tədqiq edilməsi.
6. $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$ bərk məhlulunun tavlınmamış və $200^{\circ}C$ tavlınmış nazik təbəqələrin atom güc mikroskopunda nazik təbəqələrin morfolojiyasının tədqiqi.
7. Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 həcmi monokristallarında və $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$ bərk məhlulunda işığın kombinasiyon səpilməsi spektirlərinin tədqiqi.

8. $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulunun tavlınmamış və 200^0 C tavlınmış nazik təbəqələrin işıqın kombinasiya səpilməsi spektirləri tədqiqi.
9. Mapping rejimində fokuslanmış lazer şüalarını $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ nazik təbəqələrinin səthi üzrə addım-addım skan etməklə $100 \times 100 \text{ mkm}^2$ sahədə 1000-dən çox nöqtədə işıqın kombinə olunmuş səpilməsinin spektri öyrənilməsi.
10. Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 həcmi monokristallarında və $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulunda 4 zondlu kombinə olunmuş metodla elektrik keçiriciliyinin anizotropiyasının öyrənilməsi.
11. Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 həcmi monokristallarında və $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulunda elektrik keçiriciliyinin anizotropiyasının temperaturdan asılılığı, həmçinin laylar boyunca və laylara perpendikulyar istiqamətdə yükün daşınma mexanizmi tədqiqi.
12. Geniş temperatur intervalında $4,2-300\text{K}$ $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulunun 200^0 C tavlınmış və tavlınmamış nazik təbəqələrində elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı tədqiqi.
13. Çox aşağı temperaturlarda $1,2-4,2\text{K}$ $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulunun 200^0 C tavlınmış nazik təbəqələrində elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı tədqiqi.
14. Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 və $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun həcmi monokristallarından qalvanomaqnit ölçmələri (Holl effekti, maqnit müqaviməti) aparılması üçün nümunələrin seçilməsi və kontaktların vurulması. Kontaktların Omik olunması nəzərə alınması.
15. Geniş temperatur intervalında ($1,2-200\text{K}$) Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 və $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun həcmi monokristallarından hazırlanmış nümunələrdə Holl effektin ölçmələrinin aparılması.
16. Geniş temperatur intervalında ($1,2-200\text{K}$) Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 və $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun həcmi monokristallarından hazırlanmış nümunələrdə maqnit müqavimətin (Qaus effekti) ölçmələrinin aparılması.
17. Güclü maqnit sahələrdə elektrik ölçmələri aparmaq üçün ifrat keçirici solenoidin hazırlanması və işlənməsi. İfrat keçiricidən yüksək cərəyan işlətmək ilə ekstremal yüksək maqnit sahələri almaq imkan verir.
18. Güclü maqnit sahələrində müqavimətin maqnit sahəsinin qiymətindən asılılıqdan Şubnikov-Haas ossilyasiyasının periodundan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası təyini.
19. Holl effektindən (Holl potensialının maqnit sahəsinin qiymətindən asılılıqdan) yükdaşıyıcıların konsentrasiyası təyini.
20. Zəif maqnit sahələrində müqavimətin maqnit sahəsinin qiymətindən asılılıqdan Bi_2Te_3 tipli kristallar üçün məlum olan zona quruluşundan alınan düsturlardan yükdaşıyıcıların yürüklüyü və Holl-faktoru təyini.
21. Kompüter proqram təminatı yaradmaqla bəzi fiziki parametrlərin (Şubnikov-Haas ossilyasiyasının periodundan yükdaşıyıcıların konsentrasiyası, Xikami-Larkin-Naqaoka düsturundan ikiölçülü yaxınlaşmada faza pozulmasının uzunluğunu təyin olması və s.) hesablanması və qiymətləndirilməsi.
22. $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulunun tavlınmamış və 200^0 C tavlınmış nazik təbəqələrin termoelektrik hərəkət qüvvəsinin tədqiqi və bu ölçülərdən Zeebek koeffisientinin S təyini.
23. $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulunun tavlınmamış və 200^0 C tavlınmış nazik təbəqələrin istilik keçiriciliyinin tədqiqi və bu ölçülərdən istilik keçiriciliyi əmsalinin χ təyini.
24. $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulunun tavlınmamış və 200^0 C tavlınmış nazik təbəqələrin Termoelektrik Effektivliyinin $zT = S^2 \sigma T / \chi$ qiyməti təyin olunub.

Aşağıda göstərilən üsul və yanaşmalar istifadə olunub:

1. İsti divar metodu ilə vakuumda uçurma metodu ilə VUP-3 qurğusunda nümunələrin alınması
2. Rentgen şüalarının difraksiyasının BRUKER D8 ADVANCE rentgen difraktometrə tədqiqi
3. Təbəqələrin morfologiyasının atom güc mikroskopu AIST_NT (Tokyo Instrument, Japan) ilə tədqiqi.
4. Işıqın kombinasiya səpilməsi spektirlərinin tədqiqatı üçün Yaponiya istehsalı olan (Tokyo

Instr) "Nanofinder 30" konfokal lazer mikroskopundan istifadə edilib.

5. Alınmış $Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ nazik təbəqəsinin bircinsliyini tədqiq etmək üçün mapping operasiasından istifadə olunub. $Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ nazik təbəqəsinin səthini lazer şüası ilə addım-addım skan edilməsi və spektr xətlərinin yerləşməsinin reqistrasiyası ,hər nöqtədə skan edilərək onların yarıməni və intensivliyini qeyd edilib.
6. Çox aşağı temperaturlarda (maye geli temperaturundan aşağı – 4,2K) elektrik ölçmələrini aparmaq üçün kreostatda geli parını vakuum sorulması yolu ilə və He^3 izotopundan istifadə etməklə nail olunub.
7. Güclü maqnit sahələrdə elektrik ölçmələri aparmaq üçün ifratkeçirici solenoidin hazırlanması. Solenoid Nb_3Sn ifratkeçirici məftilindən düzəlib. Maqnit sahəsini alınma koeffisienti – 1,3 kiloErsted/Amper.
8. Hüsusi hazırlanmış kompyuter proqramı ilə Holl effektindən (Holl gərginliyin maqnit sahəsindən asılıqdan) bütün nümunələrdə yükdaşıyıcıların konsentrsiyası təyin olunub.
9. Hüsusi hazırlanmış kompyuter proqramı ilə maqnitmüqavimətin güclü maqnit sahələrində Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 və $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$ bərk məhlulun həcmi monokristallarından seçilmiş nümunələrdə Şubnikov-Haas ossilyasiyasının periodundan yükdaşıyıcıların konsentrsiyası təyin olunub.
10. Hüsusi hazırlanmış kompyuter proqramı ilə maqnitmüqavimətin kiçik maqnit sahələrində maqnit sahəsindən asılıqlırından Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 və $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$ bərk məhlulun həcmi monokristallarından seçilmiş nümunələrdə yükdaşıyıcıların yürüklüyü təyin olunub.
11. Hüsusi hazırlanmış kompyuter proqramı ilə Xikami-Larkin-Naqaoka düsturu hesablanıb və vakuumda 200 C temperaturda tavllanmış nazik təbəqələrindən hazırlanmış nümunələrdə maqnitmüqavimətin maqnit sahəsindən assıllığı ilə uzlaşma şərtləri öyrənilib.
12. $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$ bərk məhlulunun tavlınmamış və 200⁰ C tavlınmış nazik təbəqələrin termoelektrik hərəkət qüvvəsi differensial metodu ilə ölçülüb.
13. $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$ bərk məhlulunun tavlınmamış və 200⁰ C tavlınmış nazik təbəqələrin istilik keçiriciliyi stasionar metodu ilə ölçülüb.

2

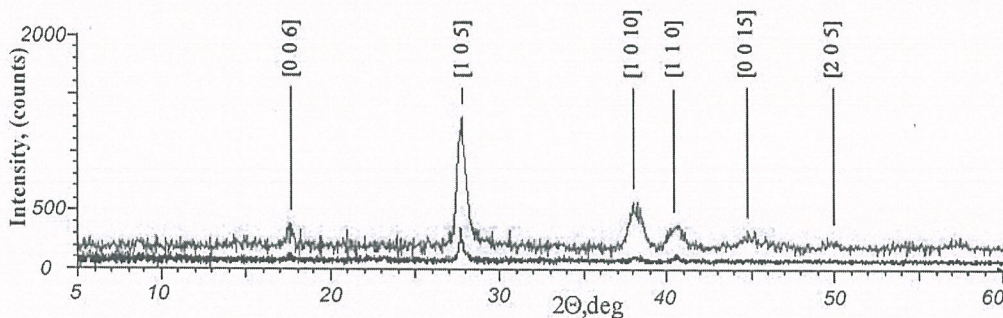
Layihənin həyata keçirilməsi üzrə planda nəzərdə tutulmuş işlərin yerinə yetirilmə dərəcəsi (faizlə qiymətləndirməli)

100%

3

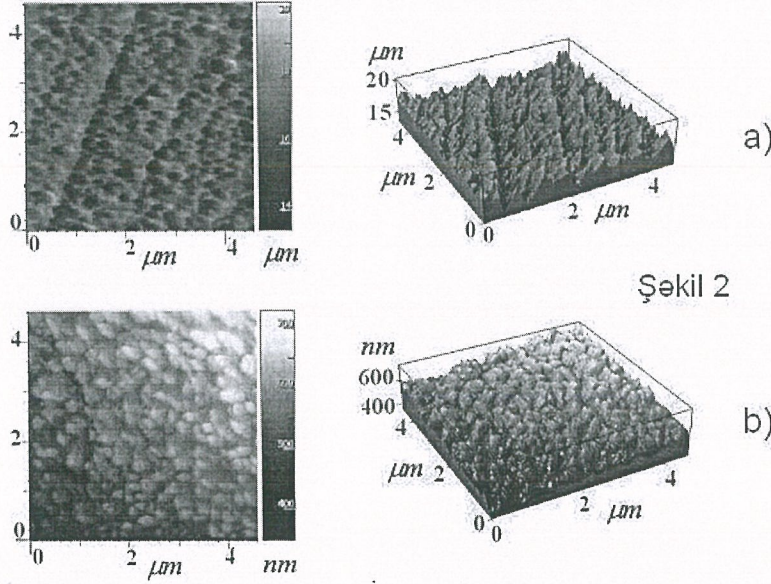
Hesabat dövründə alınmış elmi nəticələr (onların yenilik dərəcəsi, elmi və təcürbi əhəmiyyəti, nəticələrin istifadəsi və tətbiqi mümkün olan sahələr aydın şəkildə göstərilməlidir)

1. Aparılan tədqiqat nəticəsində müəyyən edilib ki, 1 saat müddətində 200⁰C də tavlınmış nazik təbəqələr daha keyfiyyətli kristallik quruluşa malikdirlər.
2. İlk dəfə İsti divar metodu ilə vakuumda uçurma metodu ilə alınmış tavlınmış və tavlınmamış nazik təbəqələrin rəngən difraksiyasının müqayisəsi göstərirk, tavlınmış nazik təbəqələrin rentgen refleksləri daha güclü və aydındır (şəkil 1, yuxarıdakı əyri).



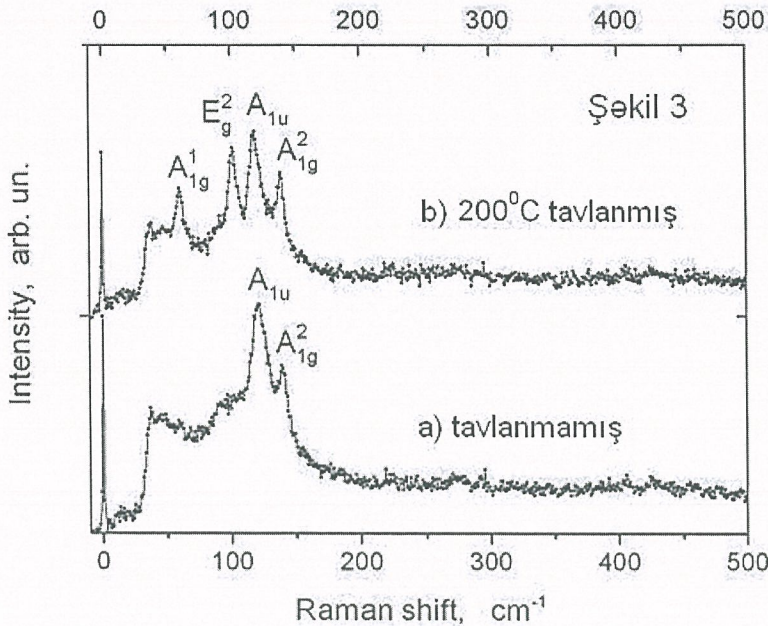
Alınmış nazik təbəqələr monokristallik olsaydı, onda biz yuxarıdakı rentgenogrammada ancaq [003], [006], [009], [0012], [0015], [0018] və s. refleksləri müşahidə edərdik. Lakin [005], [1010], [110], [205] reflekslərin müşahidə edilməsi göstərir ki alınmış nazik təbəqələr polikristallikdirlər.

3. Tavlınmamış (a) və tavlınmış (b) nazik təbəqələrin atom güc mikroskopunda morfoloqiyasının tədqiqi göstərir ki, tavlınmış nazik təbəqələrdə (b) kristallitlərin ölçüləri artır (şəkil 2).



Şəkil 2b-dən məlum olur ki kristallitlərin ölçüləri 100-200 nm arasındadır.

4. "Nanofinder 30" (Tokyo Instr. Yaponiya) konfokal lazer mikrospektrometrdə tədqiqatlardan məlum olub ki, Bi_2Te_3 və Bi_2Se_3 həcmi monokristallarının işığın kombinasion səpilməsi spektirlərində (KRS) KR aktiv modları A_{1g}^1 , E_g^2 və A_{1g}^2 aşkar olunub Bi_2Te_3 üçün tezlikləri $61,5 \text{ sm}^{-1}$, $102,5 \text{ sm}^{-1}$ və 134 sm^{-1} və Bi_2Se_3 üçün 72 sm^{-1} , $131,5 \text{ sm}^{-1}$ və $174,5 \text{ sm}^{-1}$ dir. Qeyd etmək lazımdır ki, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlullu üçün KRS spekterləri Bi_2Te_3 üçün KRS spekterləri ilə üst-üstə düşür.
5. İşığın kombinasion səpilməsi tədqiqatlardan aşkar olunmuşdur ki (şəkil 3), tavlınmamış nazik təbəqələrdə cəmi iki spektral xətlər müşahidə olunur - 121 sm^{-1} və 139 sm^{-1} (şəkil 3a),



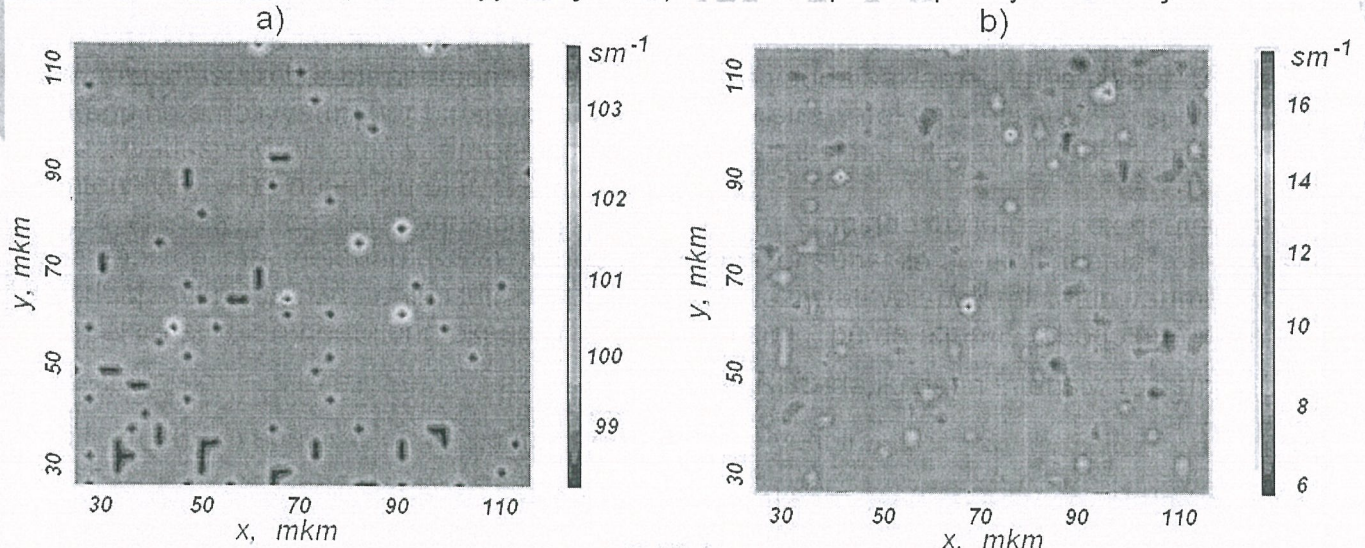
bu da ona uyğubdurki,İK aktiv mod A_{1g}^2 və KR aktiv mod A_{1g}^2 , o zaman ki, 200°C vakuumda termik işlənmədən sonra KRS spektrində iki daha KR aktiv mod – tezlikləri 61 sm^{-1} (A_{1g}^1) və 101 sm^{-1} (E_g^2) müşahidə olunur (şəkil 3b).

6. Göstərilir ki, $Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ nazik təbəqələrində KR aktiv modların tezliyi: 61 cm^{-1} , 101 cm^{-1} və 134 cm^{-1} praktiki olaraq $Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ həcmi monokristalının aktiv modlarının tezliyi ilə A_{1g}^1 , E_g^2 və A_{1g}^2 üst-üstə düşür.
7. Konfokal Raman mikrospektrometriyasının son nailiyyətlərindən biri "mapping" əməliyyatının həyata keçirilmə imkanındır. Müasir texnologiyalar təbəqə səthinin lazer şüası ilə addımlı skanlaşması ilə hər bir nöqtədən spektri almaq və yadda saxlamaq imkanı verir. Bu zaman mapping əməliyyatını hər bir spektral xətt üçün bir sıra xarakteristikalar üzrə: spektral pikin vəziyyəti, spektral xəttin yarıməni, spektral xəttin maksimal intensivliyi, spektral xəttin inteqral intensivliyi və s. aparmaq olar.

$Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ nazik təbəqələrində $100 \times 100 \text{ mkm}^2$ səthində 1000-dən çox nöqtədən işığın raman səpilmə spektrləri (RSS) təbəqə səthinin lazer şüası ilə addımlı skanlaşması vasitəsilə tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, spektral pikin vəziyyəti və spektral xəttin yarıməni kimi xarakteristikaları nöqtələrin əksəriyyəti üçün eynidir ki, bu da alınmış təbəqələrin bircinsliyinin göstəricisidir. $Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ nazik təbəqələrinin RSS-də iki daha intensiv 101 sm^{-1} (E_g^2) və 61 sm^{-1} (A_{1g}^1) spektral xətləri üçün mapping yerinə yetirilmişdir.

Aşağıdakı şəkildə (Şəkil 4) 101 sm^{-1} (E_g^2) spektral xətti üçün mapping nəticələri göstərilir:

- a) 101 sm^{-1} spektral pikin vəziyyəti üçün, b) 101 sm^{-1} spektral pikin yarıməni üçün.

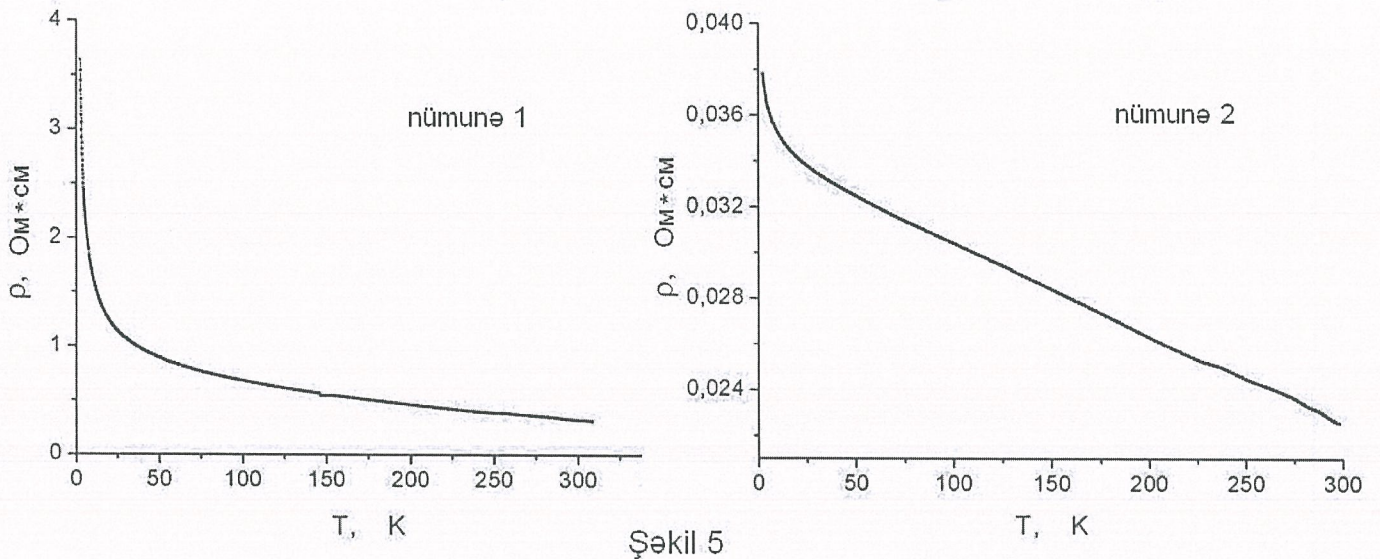


Şəkil 4

8. $A_2^V B_3^{VI} - Bi_2Te_3$, Bi_2Se_3 və Sb_2Te_3 qrupu birləşmələrinin Bi_2Te_3 üçün qadağan olunmuş zonanın eni $\sim 0,15 \text{ eV}$ olan və $Bi_2Te_3 - Bi_2Se_3$ bərk məhlullarında Bi_2Te_2Se -də $0,3 \text{ eV}$ -ə qədər böyüən darzolaqlı yarımkeçiricilər olmasına baxmayaraq, keçiriciliyin temperatur asılılığı "metallik" xarakterə malikdir: temperaturun azalması ilə müqavimət azalır. Bu onunla bağlıdır ki, əritməsindən aşqarlanmamış Bi_2Te_3 monokristalları stexiometrik tərkibli ərintidən sintez olunduğu zaman artıq əvvəlcədən əhəmiyyətli miqdarda məxsusi quruluş defektlərinin mövcud olması ilə səciyyələnir. Bunlar Bi atomlarının Te atomlarının yerinə və əksinə keçməsi ilə bağlıdır (antisirtuktur və ya antisayt defektləri) və onlar özünü akseptor kimi aparır. Buna görə də Bi_2Te_3 monokristalları həmişə deşiklərin konsentrasiyası böyük $p \sim 10^{18} - 10^{19} \text{ sm}^{-3}$ olan

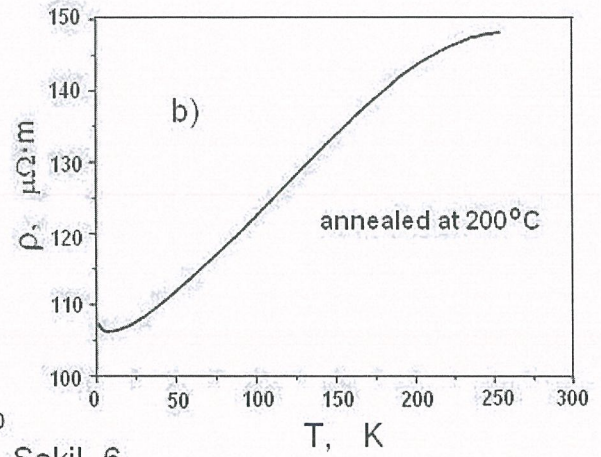
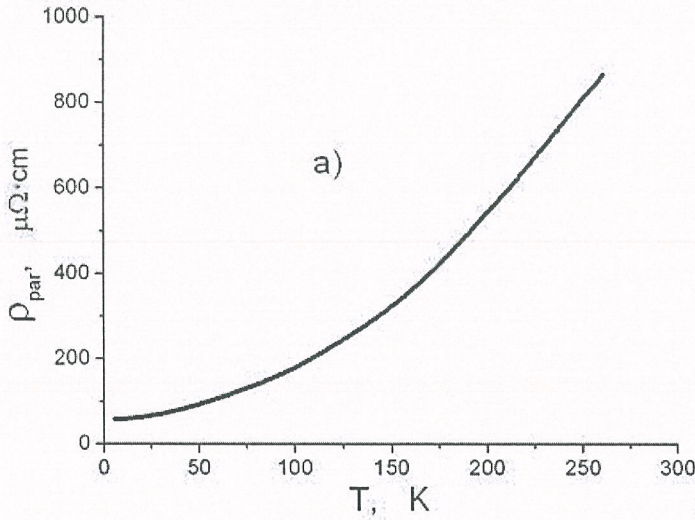
p -tip keçiriciliyə malikdir. Aşqarların belə böyük konsentrasiyası qadağan olunmuş zonada böyük miqdarda lokal hallar yaradır. Onlar təmiz kristalın məxsusi zonası ilə örtülən (üst-üstə düşən) geniş aşqar zona əmələ gətirir. Buna görə Bi_2Te_3 monokristallarının elektrik keçiriciliyinin tədqiqatları zamanı müqavimətin "metallik" temperatur asılılığı müşahidə olunur: temperaturun azalması ilə xüsusi müqavimətin qiyməti bütün temperatur intervalında azalır, aşağı temperaturlarda isə platoya çıxır.

$Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ həcmi monokristalı ilə müqayisədə $Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ tavlınmamış nazik təbəqələrində müşahidə olunan termoaktivasion-tipli keçiricilik və xüsusi müqavimətin yüksək qiymətləri (Şəkil 5) strukturda güclü nizamsızlıqla izah olunur. $Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ bərk məhlullarının tavlınmamış nazik təbəqələrində keçiricilik sıçrayışlı xarakter daşıyır. Ətraflı təhlil göstərir ki, sıçrayışın uzunluğu dəyişən sıçrayışlı keçiricilik – Mott keçiriciliyi baş verir. Lokallaşmış hallar üzrə sıçrayışın uzunluğu dəyişən termik aktivləşmiş sıçrayışlı keçiricilik nizamı güclü surətdə pozulmuş yarımkeçirici kristallarda geniş yayılmış hadisədir, həm də ondan asılı olmayaraq ki, nizamın pozulması quruluşun defektliliyi ilə bağlıdır, yoxsa güclü aşqarlanmanın nəticəsidir. Bizim aldığımız termik işlənmə keçməmiş $Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ nazik təbəqələri polikristallik, nizamı güclü surətdə pozulmuş quruluşlardır. Bunu rentgen difraksiyasının (şəkil 1) və konfokal Raman spektroskopiyasının (şəkil 3) nəticələri təsdiq edir.



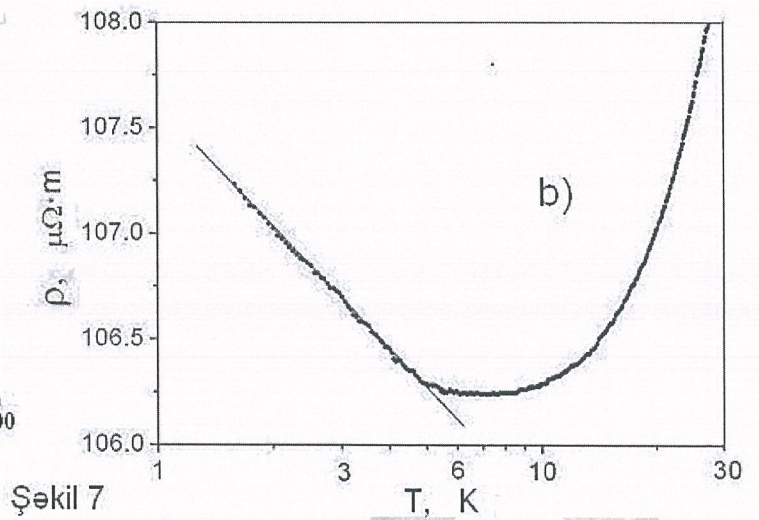
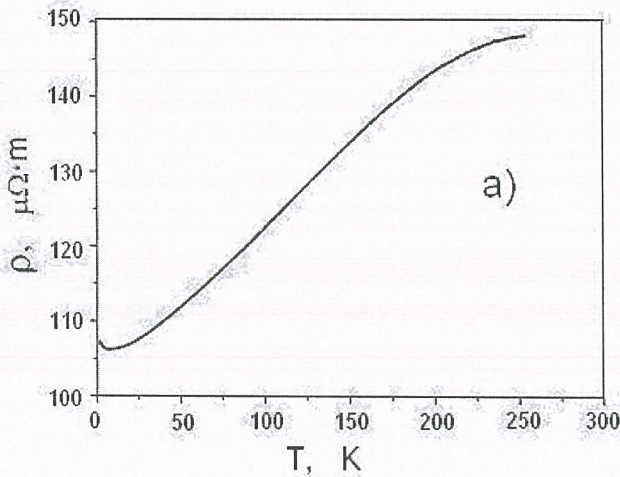
9. Göstərilmişdir ki, vakuumda 200 °C temperaturda tavlınmış $Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ nazik təbəqələrinin əhəmiyyətli dərəcədə kristallaşmasına gətirir və keçiriciliyin temperatur asılılığı isə həcmi monokristallara xas olan "metallik" xarakter nümayiş etdirir (şəkil 6). Şəkil 6-da sol tərəfdə (a) $Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ həcmi monokristalında laylar boyunca xüsusi müqavimətin temperatur asılılığı verilir, sağda isə vakuumda 200 °C temperaturda tavlınmış $Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ nazik təbəqələrinin xüsusi müqavimətin temperatur asılılığı verilir. Müqayisədən aydın görünür ki, hər iki halda xüsusi müqavimətin temperatur asılılığı "metallik" xarakter nümayiş etdirir. Bu fakt onunla bağlıdır ki, sintez olunduğu zaman artıq əvvəlcədən əhəmiyyətli miqdarda məxsusi quruluş defektlərinin mövcud olması ilə səciyyələnir. Bunlar Bi atomlarının Te atomlarının yerinə və əksinə keçməsi ilə bağlıdır (antisirtuktur və ya antisayt defektləri). Aşqarların belə böyük konsentrasiyası qadağan olunmuş zonada böyük miqdarda lokal hallar yaradır. Onlar təmiz kristalın məxsusi zonası ilə örtülən (üst-üstə düşən) geniş aşqar zona əmələ gətirir. Buna görə Bi_2Te_3 monokristallarının elektrik keçiriciliyinin tədqiqatları zamanı müqavimətin "metallik" temperatur asılılığı müşahidə olunur: temperaturun azalması ilə

xüsusi müqavimətin qiyməti bütün temperatur intervalında azalır, aşağı temperaturlarda isə platoya çıxır. Qeyd etmək lazımdır ki, Bi_2Te_3 -dən fərqli olaraq, $Bi_2(Te_{0,9}Se_{0,1})_3$ həcmi monokristalında və nazik təbəqələrində keçiricilik n -tipli bu da o deməkdir ki əsas yükdaşıyıcılar elektronlardır.



Şəkil 6

10. Müəyyən olunmuşdur ki, aşağı temperaturlarda (10K aşağı, Şəkil 7a və b) xüsusi müqavimətin temperatur asılılığı dəyişir və temperatur azaldıqça xüsusi müqavimətin qiyməti artır.



Şəkil 7

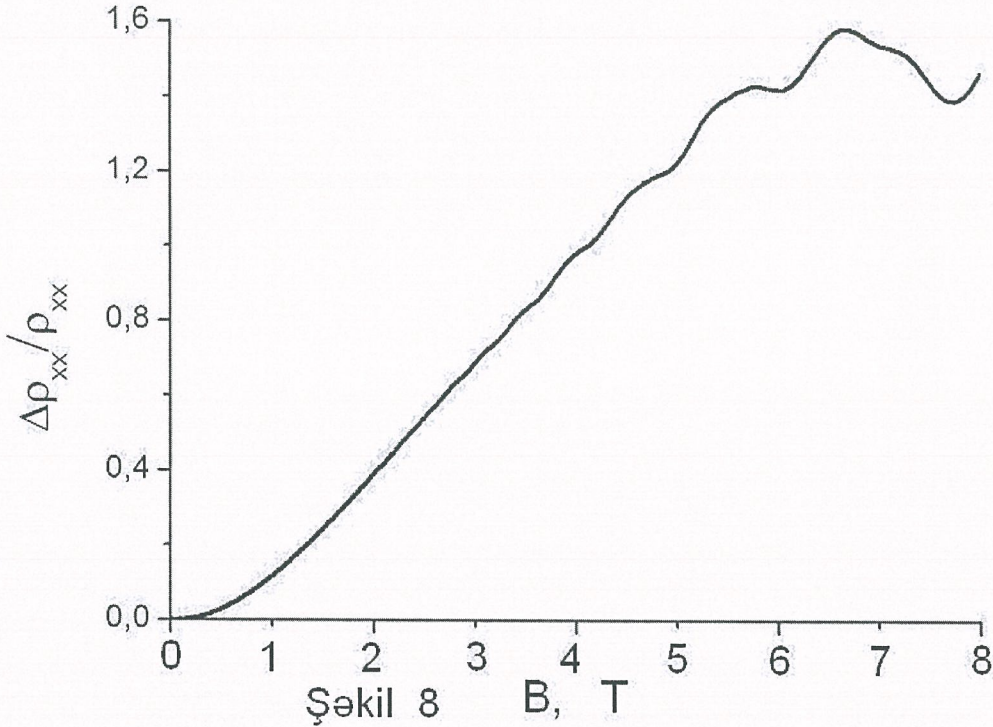
Aşağı temperaturlarda xüsusi müqavimətin temperaturla belə dəyişməsi iki səbəbə ola bilər:

1. dayaz aşqar mərkəzlərinin "donması" ilə;
2. kvant interferensiyon effektləri.

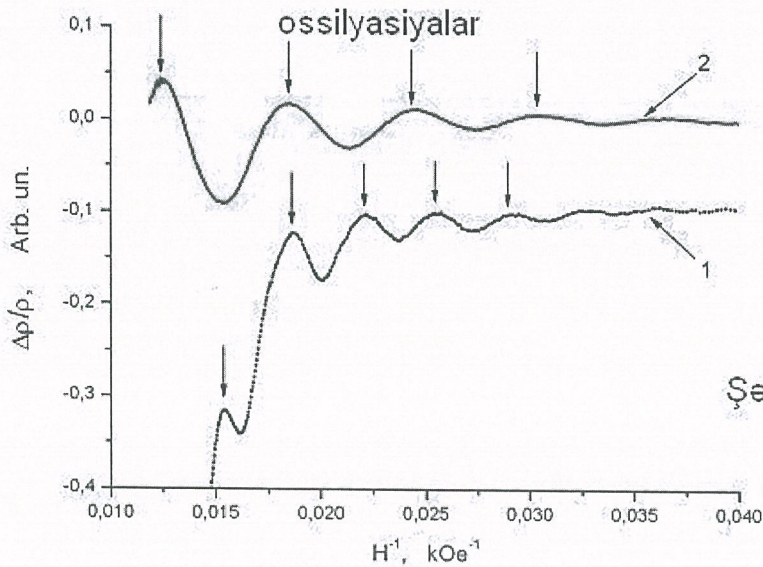
Dayaz aşqar mərkəzlərinin "donması" variantı istisna edilir, çünki 1,4 K və 5 K temperaturlarda Hall effektinin tədqiqatlarının nəticələri göstərir ki, yükdaşıyıcıların konsentrasiyası temperaturun dəyişməsi ilə dəyişmir. Xüsusi müqavimətin temperaturla belə dəyişməsi aşağı temperaturlar oblastında keçiriciliyə zəif lokallaşma və ya elektron-elektron qarşılıqlı təsiri ilə bağlı kvant interferensiyaya düzəlişlərinin üstünlük təşkil etməsi halı üçün səciyyəvidir. Bir halda ki, zəif lokallaşma halında eninə maqnit sahəsi tətbiq edildikdə mənfi maqnit müqaviməti müşahidə olunmalı idi, bizdə isə müsbət maqnit müqaviməti müşahidə olunur, deməli, yükdaşıyıcıların müşahidə edilən lokallaşması elektron-elektron qarşılıqlı təsiri ilə bağlıdır. Xüsusi müqavimətin $T < 8$ K temperaturlarda temperatur asılılığının təhlili göstərdi ki,

müqavimətin temperaturdan ikiölçülü hal üçün səciyyəvi olan loqarifmik asılılığı $\rho(T) \sim \ln T$ müşahidə olunur (düz hətt, şəkil 7b).

11. Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 və $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun həcmi monokristallarında müqavimətin güclü maqnit sahəsindən assılıqlarında Şubnikov-Haas ossilyasiyaları müşahidə edilməsi alınmış monokristalların yüksək keyfiyyətini göstərir. Kiçik maqnit sahələrində (1 T-ya qədər) maqnit sahəsinin böyüməsi ilə klassik Lorens kvadrat asılılığı müşahidə olunur. 1 T-dan böyük maqnit sahələrində isə həcmi monokristallar üçün maqnit müqavimətinin sahədən asılılığında aşağıdakı Şəkil 8-də görüldüyü kimi Şubnikov-Haas ossilyasiyaları müşahidə olunur.



12. Şəkil 8-də müşahidə olunan maqnit müqavimətinin ossilyasiyalarını maqnit sahəsinin əks qiymətindən ($1/B$ və ya $1/H$) grafikdə qursaq onda şəkil 9 görünən kimi periodik müqavimətinin ossilyasiyalarını almaq olar. Belə ossilyasiyaların periodundan P



yükdaşıyıcıların konsentrsiyasını təyin etmək mümkündür.

Məlumdur ki, ossilyasiyaların periodu P aşağıdakı duster ilə təmsillənir:

$$P\left(\frac{1}{H}\right) = \frac{2\pi e}{\hbar c S_F}$$

burada S_F - Fermi səthin maqnit sahəsinə perpendikulyar müstəvi ilə kəsişməsinin sahəsi. Onda 6-ellipsoidli Drabbl-Volf zona quruluşu çərçivəsində enerjinin dalğa vektorundan asılılığı:

$$\varepsilon(\vec{k}) = \frac{\hbar^2}{2m_0} \sum_{i,j} \alpha_{ij} k_i k_j$$

burada α_{ij} - tərs effektiv kütləsinin vektorunun komponentləri. Onda $A_2^V B_3^VI$ qrupu birləşmələri üçün

$$P\left(\frac{1}{H}\right) = \frac{e\hbar}{m_0 c \mu_F} \left[(\alpha_{22}\alpha_{33} - \alpha_{23}^2) \cos^2 \alpha + \alpha_{11}\alpha_{33} \cos^2 \beta + \alpha_{11}\alpha_{22} \cos^2 \gamma + 2\alpha_{11}\alpha_{23} \cos \beta \cos \gamma \right]^{1/2}$$

Ö zaman ki, maqnit sahəsinin istiqaməti C_3 oxu ilə üst üstə düşür $\alpha = \beta = 90^\circ$, $\gamma = 0$, onda

$$P\left(\frac{1}{H}\right) = \frac{e\hbar}{m_0 c \mu_F} \sqrt{\alpha_{11}\alpha_{22}}$$

Nəzərə alsaq

$$\mu_F = \frac{\hbar^2}{2m^*} \left(3\pi^2 \frac{n}{K_\ominus} \right)^{2/3} \quad m^* = \frac{m_0}{\sqrt[3]{\alpha_{11}(\alpha_{22}\alpha_{33} - \alpha_{23}^2)}}$$

burada K_\ominus - ellipsoidlərin sayı, n - yükdaşıyıcıların konsentrsiyası

Bəlləkilə alırıq ossilyasiyaların periodu P:

$$P\left(\frac{1}{H}\right) = \frac{2e\sqrt{\alpha_{11}\alpha_{22}}}{c\hbar \left(3\pi^2 n / K_\ominus \right)^{2/3} \sqrt[3]{\alpha_{11}(\alpha_{22}\alpha_{33} - \alpha_{23}^2)}}$$

Bu dusturu istifadə etməklə müxtəlif Şubnikov-Haas ossilyasiyaları periodundan yükdaşıyıcıların konsentrsiyasını təyin edilmişdir.

Müəyyən olunmuşdur ki, Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 və $Bi_2Te_{2,7}Se_{0,3}$ bərk məhlulun həcmi monokristallarında Holl effektindən təyin olunmuş yükdaşıyıcıların konsentrsiyası Şubnikov-Haas effektindən (maqnitmüqavimət) ossilyasiyasının periodundan təyin olunmuş yükdaşıyıcıların konsentrsiyasından çoxdur. Bu fakt onunla bağlıdır ki, Holl effektində bütün yükdaşıyıcılar iştirak edir, amma Şubnikov-Haas effektində əsasən yükdaşıyıcılar kiçik effektiv kütləsi ilə.

13. Fermi səviyyəsinin μ_F qiymətini hesablamaq üçün aşağıdakı dusturdan istifadə olunub:

$$\mu_F = \left[\frac{\Delta m_c / m_0}{a(b + \Delta m_c / m_0)^{5/2}} \right]^{2/5}$$

burada $a = 2,97 \times 10^{-3} [(meV)^{-5/2}]$, $b = m_c(0) / m_0 = 0,08$, $\Delta m_c = m_c(\mu_F) - m_c(0)$.

Burada nəzərə almaq lazımdır siklotron kütləsinin Fermi səthin ekstremal kəsişməsinin

sahəsindən S_F asılılığından $m_c^* / m_0(S_F)$. S_F aşağıdakı dusturdan alınır: $P\left(\frac{1}{H}\right) = \frac{2\pi e}{\hbar c S_F}$.

Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 və $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun həcmi monokristallarında Qaus effektin ossilyasiyasının periodundan maqnit sahəsin istiqamətinə perpendikular olan müstəvi ilə Fermi səthinin ekstremal kəsişmə sahəsi təyin olunub. Bununla Fermi enerjiyanın qiyməti alınıb $\varepsilon_F = 25meV$.

14. Maqnit müqavimətinin ρ_{xx} maqnit sahədən asılılığı (Qaus effekti) $A_2^V B_3^{VI}$ qrupu birləşmələri üçün 6-ellipsoidli Drabbl-Volf zona quruluşu çərçivəsində maqnit sahəsinin istiqaməti C_3 oxu ilə üst üstə düşən zaman aşağıdakı duster ilə təmsillənir:

$$\frac{\rho_{xx}(B)}{\rho_0} = \frac{1 + (R_0 \sigma_0 B)^2 / f_{II}}{1 + (R_0 \sigma_0 B)^2}$$

burada ρ_0 və σ_0 - xüsusi müqavimət və elektrik keçiricilik maqnit sahəsi $B=0$, f_{II} - Holl faktor. Bu dusturu rahatlıq üçün eksperiment nəticələri ilə müqaisə etmək üçün başqa cür belə yazmaq olar:

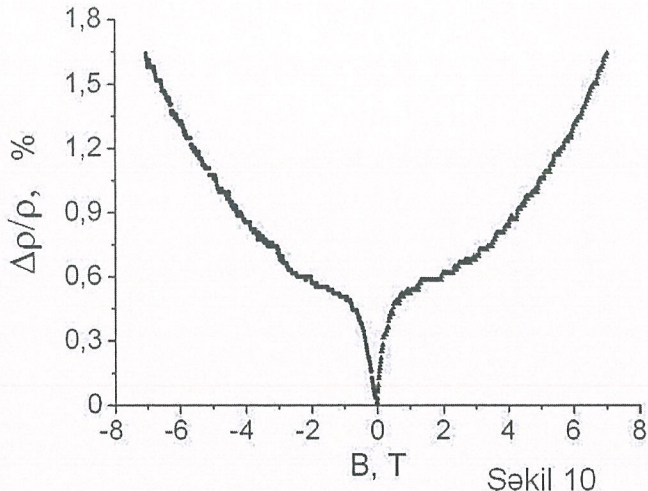
$$\frac{B^2}{(\Delta\rho/\rho_0)} = \frac{1}{\left(\frac{1}{f_{II}} - 1\right)(R_0\sigma_0)^2} + \frac{1}{\left(\frac{1}{f_{II}} - 1\right)} B^2$$

Qrafiki $\frac{B^2}{(\Delta\rho/\rho_0)} - B^2$ koordinatlarında qursa, yuxarıdakı xətt tənlikidir və yüngül Holl

faktoru f_{II} , və sonra yükdaşıyıcıların yürüklüyünü $\mu = R_0\sigma_0$ tapmaq mümkündür.

Beləliklə, müəyyən olunmuşdur ki, Bi_2Te_3 , Bi_2Se_3 və $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun həcmi monokristallarında Holl effektindən təyin olunmuş yükdaşıyıcıların yürüklüyü Qaus effektindən təyin olunmuş yükdaşıyıcıların yürüklüyü ilə üst üstə düşür.

15. $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun tavlınmamış və vakuumda 200 C temperaturda tavlınmış nazik təbəqələrində Holl effektindən (Holl potensialın işarəsinə görə) təyin olunmuşdur ki, əsas yükdaşıyıcıların tipi – elektronlardır.
16. Göstərilmişdir ki, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun 200 C temperaturda tavlınmış nazik təbəqələrin həcmi materialların maqnit müqavimətindən bir əhəmiyyətli fərqi mövcuddur. Kiçik (1 T-ya qədər) maqnit sahələrində maqnit sahəsinin böyüməsi ilə müqavimətin kəskin artması müşahidə olunur (şəkil 10), 1 T-dan böyük maqnit sahələrində isə həcmi monokristallar üçün maqnit müqavimətinin sahədən asılılığına xas olan standart, Lorens kvadrat asılılığı müşahidə olunur. Zəif maqnit sahələrində maqnit sahəsinin böyüməsi ilə müqavimətin belə kəskin artması zəif antilokallaşma effekti üçün səciyyəvidir. Zəif antilokallaşma effektinin müşahidə olunması gözlənilməz deyil, çünki $A_2^V B_3^{VI}$ qrupu birləşmələri üçün güclü spin-orbital qarşılıqlı təsirin mövcud olması səciyyəvidir. Ancaq, qeyd etmək lazımdır ki, $A_2^V B_3^{VI}$ həcmi monokristallarında zəif antilokallaşma müşahidə olunmur və o, yalnız nazik təbəqələr üçün səciyyəvidir. Fərz edilmişdir ki, nazik təbəqələrdə müşahidə olunan zəif antilokallaşma topoloji izolyatorun elektron səth hallarında interferensiya effektlərinin təzahürüdür.



Şəkil 10

17. Yuxarıdakı eksperimental nəticəni müzakirə etmək üçün müqavimətin maqnit sahəsindən asılılığını Xikami-Larkin-Naqaoka düsturundan ikiölçülü yaxınlaşmada istifadə edək:

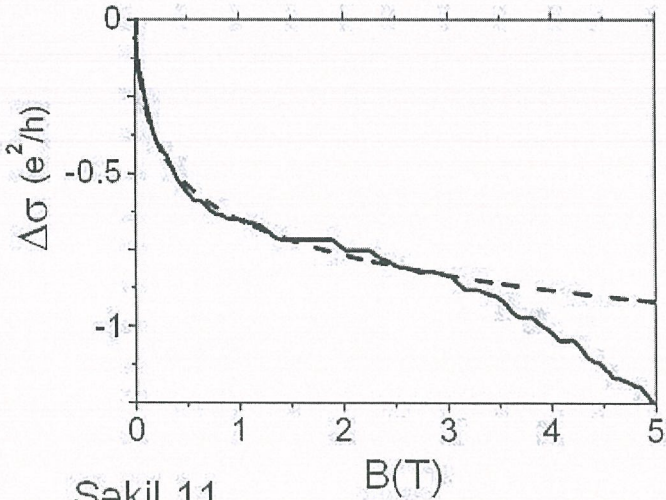
$$\Delta\sigma(B) = \frac{1}{2} \frac{e^2}{2\pi^2\hbar} \left[\psi\left(\frac{1}{2} + \frac{B_\phi}{B}\right) - \ln\left(\frac{B_\phi}{B}\right) \right]$$

burada $\tau_{so}, \tau_e, \tau_\phi$ - spin-orbital qarşılıqlı təsiri, elastik səpilmə və faza pozulmasının vaxtları, xarakteristik maqnit sahəsi $B_\phi = \hbar/4el_\phi$, l_ϕ - faza pozulmasının uzunluğu.

Xikami-Larkin-Naqaoka düsturunu eksperimentdən alınan nəticələrə riyazi yaxınlaşmalarda aşağıdakı düsturdan istifadə olunub:

$$\Delta\sigma(B) = A \frac{1}{2} \frac{e^2}{2\pi^2\hbar} \left[\psi\left(\frac{1}{2} + \frac{B_\phi}{B}\right) - \ln\left(\frac{B_\phi}{B}\right) \right]$$

Hesablamaların nəticələri şəkil 11 verilib: riyazi hesablamalar punktir əyri ilə göstərilib.



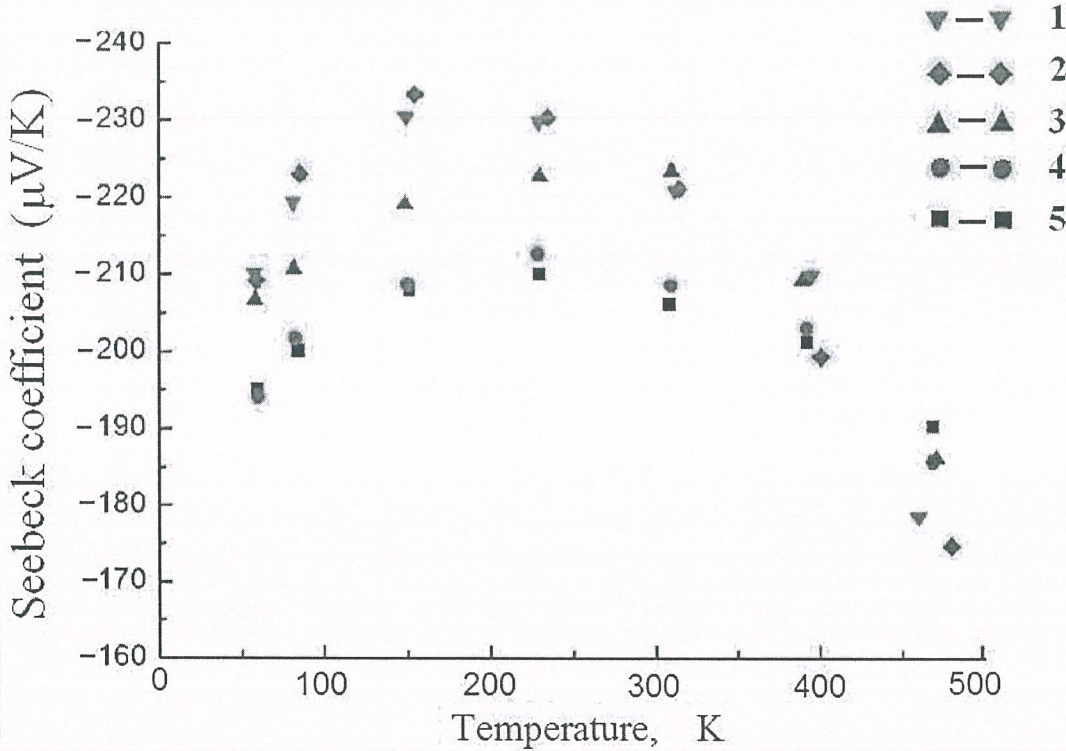
Şəkil 11

Beləliklə, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ bərk məhlulun vakuumda 200 C temperaturda tavlanmış nazik təbəqələrində müqavimətin maqnit sahəsindən asılılığın Xikami-Larkin-Naqaoka düsturundan ikiölçülü yaxınlaşmada faza pozulmasının uzunluğu $L_\phi=200$ nm kimi təyin edilmişdir. Nəzərə alsaq ki, bizim nazik təbəqələrin qalınlığı ~ 500 nm, topoloji izolyatorun səth halları $a\sim 10$ nm dərinlikdə lokallaşır, demək olar ki şərt $a \ll L_\phi$ yerinə yetirilir.

18. Termoelektrik hərəkət qüvvəsini öyrənmək üçün nümunələrə gümüş pasta vasitəsi ilə elektrik kontaktlar vurulub. Termoelektrik hərəkət qüvvəsi ΔE differensial metodu ilə ölçülüb. Ölçü temperaturar T_1 və T_2 mis-konstrantan termoparalar vasitəsi ilə təyin olunub. Ölçüləri geniş temperatur intervalında aparmaq üçün kriostat sistemindən istifadə olunub. Zeebek koeffisienti S aşağıdakı tənliyi vasitəsilə təyin olunub:

$$\Delta E = S \cdot (T_2 - T_1)$$

Alınan nəticələr aşağıdakı şəkil 12-də verilib:



Şəkil 12

Zeebek koeffisientinin S dəyərində “-” mənfi işarəsi göstərirdi, yükdaşıyıcılar elektronlardır. Əyri 1 – 150 °C temperaturunda tavlənmiş $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun nazik təbəqəsinə aiddir, 2 – 200 °C temperaturunda, 3 – 250 °C temperaturunda, 4 – 300 °C temperaturunda və əyri 5 – tavlənməmiş nümunəyə aiddir.

Qeyd etmək lazımdır ki, termoelektrik hərəkət qüvvəsinin yaranması iki səbəbə görə baş verir:

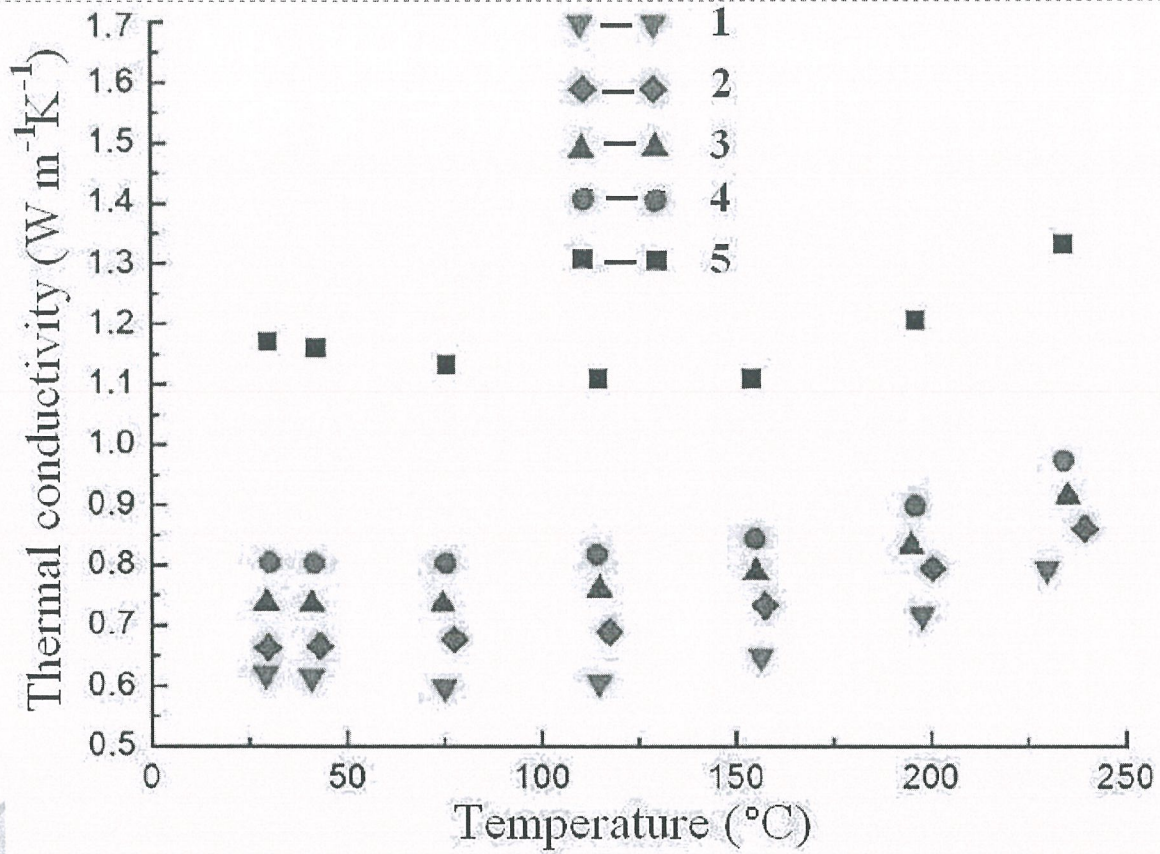
1. – elektroların nümunənin isti oblastından soyuq oblastına diffuziyaya görə,
2. – fononların isti oblastından soyuq oblastı tərəf hərəkət etdiyi zaman elektronları da özünə cəlb etməsi.

Şəkil 12 –dən yaxşı görünür ki ən yüksək Zeebek koeffisientin S qiyməti 200 °C temperaturunda tavlənmiş $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun nazik təbəqələrində 150-250 K alınır.

19. İstilik keçiriciliyi stasionar metodu ilə ölçülüb. Ölçü temperaturar T_1 və T_2 mis-konstrantan termoparalar vasitəsi ilə təyin olunub. İstilik keçiriciliyi əmsalı χ aşağıdakı tənliyi vasitəsilə təyin olunub:

$$\Delta Q = \chi \cdot (T_2 - T_1)$$

Alınan nəticələr aşağıdakı şəkil 13-də verilib:



Şəkil 13

Əyri 1 – 150 °C temperaturunda tavllanmış $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun nazik təbəqəsinə aiddir, 2 – 200 °C temperaturunda, 3 – 250 °C temperaturunda, 4 – 300 °C temperaturunda və əyri 5 – tavlınmamış nümunəyə aiddir.

Şəkildən yaxşı görünür ki, tavllanmış $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun nazik təbəqələrində istilik keçiriciliyi əmsalı χ aşağıdır, bu fakt Termoelektrik Effektivliyinin ($zT = S^2\sigma T / \chi$) qiymətini artırır. Qeyd etmək lazımdır ki, temperatur artdıqca istilik keçiriciliyi əmsalı χ artır. Bu fakt onunla bağlıdır ki, temperatur yüksəldə elektronların konsentrasiyası artır və bununla elektron istilik keçiriciliyinin payı artır.

Beləliklə, müəyyən olunmuşdur ki, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun vakuumda 200 C temperaturda tavlınmış nazik təbəqələrində istilik keçiriciliyi təxminən 2 dəfə tavlınmamış nazik təbəqələrindən azdır.

20. Müəyyən olunmuşdur ki, $\text{Bi}_2\text{Te}_{2,7}\text{Se}_{0,3}$ bərk məhlulun vakuumda 200 C temperaturda tavlınmış nazik təbəqələrində Termoelektrik Effektivliyinin $zT = S^2\sigma T / \chi \sim 1,5$ qiyməti təxminən 3 dəfə tavlınmamış nazik təbəqələrindən artıqdır. Nəzərə alsaq ki, Bi_2Te_3 -tipli həcmi monokristallar üçün adətən $zT \sim 1$, alınmış nəticələr çox mühüm əhəmiyyət kəsb edir, çünki alınmış nazik təbəqələrdə Termoelektrik Effektivliyin qiyməti həcmi monokristallardan artıqdır. Belə bir halda hal hazırda həcmi monokristallar əsasında işləyən termoelektrik generatorlarda və soyuducularda nazik təbəqələr ilə əvəz etmək böyük iqtisadi uduş əldə etmək imkanı verir – həm material qənaiti hesabına, həm də qurğuların miniatyurlaşdırması hesabına.

Aparılmış işlər və alınmış nəticələr göstərir ki tədqiqatları bu istiqamətdə davam etdirmək çox vacibdir.

4	<p>Layihə üzrə elmi nəşrlər (elmi jurnallarda məqalələr, monoqrafiyalar, icmalar, konfrans materiallarında məqalələr, tezlər) (dərç olunmuş, çapa qəbul olunmuş və çapa göndərilmişləri ayrılıqda qeyd etməklə, uyğun məlumat - jurnalın adı, nömrəsi, cildi, səhifələri, nəşriyyat, indeksi, İmpact Factor, həmmüəlliflər və s. bunun kimi məlumatlar - ciddi şəkildə dəqiq olaraq göstərməlidir) (<i>surətlərini kağız üzərində və CD şəkildə əlavə etməli!</i>)</p>
	<ol style="list-style-type: none"> 1. Tezis - "Квантовые интерференцион-ные эффекты в тонких плёнках $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$." Сб. тезисов 50-ой Школы ФГБУ «ПИЯФ» по физике конденсированного сост. 2016 г., с.167, Петербург, Россия, Həmmüəllif – Abdullayev N.A. 2. Məqalə - "Слабая антилокализация в тонких пленках твердого раствора $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$." "Физика твёрдого тела", 2016, том 58, вып. 9, стр.1806 -1811. Impact Factor – 0, 82; Həmmüəlliflər – Abdullayev N.A., Алекперов О.З., Зверев В.Н., Керимова А.М., Мамедов Н.Т.
5	<p>İxtira və patentlər, səmərələşdirici təkliflər (<i>burada doldurmalı</i>)</p>
6	<p>Layihə üzrə ezamiyyətlər (ezamiyyə baş tutmuş təşkilatın adı, şəhər və ölkə, ezamiyyə tarixləri, həmçinin ezamiyyə vaxtı baş tutmuş müzakirələr, görüşlər, seminarlarda çıxışlar və s. dəqiq göstərməlidir)</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Qebze Texnologiya İnstitutu (Türkiyə, İstanbul), prof. Suleymanov R.A. – 10.2016-10.2016 $\text{Bi}_2\text{Te}_{2.7}\text{Se}_{0.3}$ bərk məhlulun vakuumdə tavlənmiş və tavlənməmiş nazik təbəqələrində termoelektrik hərəkət qüvvəsinin və istilik keçiciliyinin ölçüləri.
7	<p>Layihə üzrə elmi ekspedisiyalarda iştirak (əgər varsa) (<i>burada doldurmalı</i>)</p>
8	<p>Layihə üzrə digər tədbirlərdə iştirak (<i>burada doldurmalı</i>)</p>
9	<p>Layihə mövzusu üzrə elmi məruzələr (seminar, dəyirmi masa, konfrans, qurultay, simpozium və s. çıxışlar) (məlumat tam şəkildə göstərməlidir: a) məruzənin növü: plenar, dəvətli, şifahi və ya divar məruzəsi; b) tədbirin kateqoriyası: ölkədaxili, regional, beynəlxalq)</p> <p>Rusiya, Sankt-Peterburq Школа ПИЯФ по Физике Конденсированного Состояния (Школа ФКС-2016) beynəlxalq konfrans-məktəbdə.</p>
10	<p>Layihə üzrə əldə olunmuş cihaz, avadanlıq və qurğular, mal və materiallar, komplektləşdirmə məmulatları (<i>burada doldurmalı</i>)</p>
11	<p>Yerli həmkarlarla əlaqələr (<i>burada doldurmalı</i>)</p>

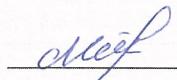
12	Xarici həmkarlarla əlaqələr 1. Qebze Texnologiya İnstitutu (Türkiyə, İstanbul), prof. Suleymanov R.A. 2. Rusiya Elmlər Akademiyasının Bərk Cisimlər Fizikası İnstitutu (Moskva vilayəti, Çernoqolovka), prof. Zverev V.N. 3. Rusiya İ Pyotr adına Politexnik Universiteti (Sankt Petersburg), prof. Nemov S.A. 4. Rusiya Elmlər Akademiyasının Ümumi Fizika İnstitutu (Moskva), Dr.Lyamşev M.L.
13	Layihə mövzusu üzrə kadr hazırlığı (əgər varsa) 1 nəfər – Əliquliyeva Xəyalə Vaqif qızı – fizika üzrə fəlsəfə doktoru
14	Sərgilərdə iştirak (əgər baş tutubsa) (burada doldurmalı)
15	Təcrübəartırmada iştirak və təcrübə mübadiləsi (əgər baş tutubsa) Qebze Texnologiya İnstitutu (Türkiyə, İstanbul), prof. Suleymanov R.A., Bilkent Universiteti UNAM Nano mərkəz (Ankara, Türkiyə), prof. Rusiya Elmlər Akademiyasının Bərk Cisimlər Fizikası İnstitutu, prof. Zverev V.N.
16	Layihə mövzusu ilə bağlı elmi-kütləvi nəşrlər, kütləvi informasiya vasitələrində çıxışlar, yeni yaradılmış internet səhifələri və s. (məlumatı tam şəkildə göstərilməlidir) (burada doldurmalı)

SİFARİŞÇİ:

Elmin İnkişafı Fondu

Baş məsləhətçi

Quliyeva Mülayim Sahib qızı



(imza)

"13" 01 2017-ci il

İCRAÇI:

Layihə rəhbəri

Əliquliyeva Xəyalə Vaqif qızı



(imza)

"13" 01 2017-ci il