

## Ag<sub>8</sub>Ge<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te<sub>6</sub> BƏRK MƏHLULLARININ İSTİLİK VƏ MAQNİT XASSƏLƏRİ

<sup>1</sup>R.N. RƏHİMOV, <sup>1</sup>A.S. QƏHRƏMANOVA, <sup>1</sup>D.H. ARASLI,

<sup>1</sup>A.Ə. XƏLİLOVA, <sup>2</sup>İ.X. MƏMMƏDOV, <sup>3</sup>A. M. JİVULKO, <sup>3</sup>V.İ. MİTYUK

<sup>1</sup>Azərbaycan Elm və Təhsil Nazirliyi, Fizika İnstitutu, AZ 1073 Bakı, H.Cavid ave, 131,

<sup>2</sup>Azərbaycan Milli Aviasiya Akademiyası, Az 1045 Bakı, Bina st. 25

<sup>3</sup>"Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Materials Science", Minsk, 220072, Belarus

Ag<sub>8</sub>Ge<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te<sub>6</sub> (x=0, 0,05, 0,1, 0,2) bərk məhlulları 1250 K temperaturda ərinti üsulu ilə alındıqdan sonra üyüdülməklə toz halına salınıb və 2x4x15 sm<sup>3</sup> ölçülü qəlibdə 0,6 GPa təzyiq altında sıxılaraq paralelepiped şəkilli nümunələr hazırlanıb. Alınan nümunələr 900 K temperaturda 50 saat saxlanaraq tablanıb. Nümunələrin temperatur keçirməsi işıq impulsu ilə ölçülüb və alınan qiymətlər əsasında istilik keçiriciliyi hesablanıb. Kristallarda fononun orta sərbəst qaçış yolu  $l=4.7-5.2 \text{ \AA}$  qəfəs sabitindən (11,58 Å) 2-3 dəfə az olduğuna görə, istiliyin əsasən qonşu atomlar arasında enerji mübadiləsi hesabına ötürüldüyü və temperaturdan asılı olaraq istilik keçirmədə müşahidə olunan artımın yük daşıyıcının verdiyi payın hesabına yarandığı göstərilib. Ag<sub>8</sub>Ge<sub>0,8</sub>Mn<sub>0,2</sub>Te<sub>6</sub> tərkibli kristalda xüsusi maqnitlənmə 80–750 K temperatur bölmündə, həmçinin 5, 40, 80 və 300 K temperaturlarda maqnit sahəsindən asılılığı ( $\sigma=f(B)$ ) öyrənilib. "Maqnit nizamdan - maqnit nizamsızlığa" faza keçidin temperaturu müəyyən edilib.

**Açar sözlər:** rentgen analiz, istilik keçirmə, xüsusi maqnitlənmə, maqnit qavrayıcılığı, koersitiv qüvvə

**DOI:**10.70784/azip.2.2024436

### Giriş

Kristal və elektron zolaq quruluşunun xüsusiyyətlərinə görə maqnit, elektrik və optik xassələri bir-biri ilə əlaqəli olan mürəkkəb tərkibli yeni maqnit materialların sintezi kondensə olunmuş maddələr fizikasının aktual problemidir. Həm temperaturdan, həm də konsentrasiyadan asılı olaraq metal-dielektrik və maqnit tipli faza keçidlərinə məruz qalan yarımkeçiricilər yeni nəsil mikro-elektron cihazların yaranmasında perspektivli materiallar sayılır [1]. Mürəkkəb kristal quruluşu və nisbətən böyük elementar qəfəsə malik olan üçlü Ag<sub>8</sub>GeTe<sub>6</sub> birləşməsi aşağı istilik keçiriciliyə (0,25Vt/mK) və 0,4 eV qadağan zolağına malikdir [2-5]. Bu birləşmənin elementar qəfəsi  $F4\bar{3}m$  fəza qrupuna aid olub, kubşəkilli sinqoniyada parametrləri  $a=11,58\pm 0,02 \text{ \AA}$  [2] kimidir. Ag<sub>8</sub>GeTe<sub>6</sub>-da dörd faza keçidi müşahidə olunub: 223 K və 245 K-də iki dənə birinci növ (struktur) keçid və 156 K və 170 K-də ikinci növ keçid [6] müşahidə olunub. Bir çox tədqiqatçılar [6-9] faza keçidlərini ya kub quruluşu, ya da psevdokubik struktur keçidləri ilə əlaqəli olduğunu göstərir və Ag<sup>+</sup> ionlarının kristalın qəfəs boşluğunda qeyri-bərabər paylanması ilə izah edirlər. Polimorf çevrilmələr zamanı əsas kinetik parametrlərin dəyişməsi belə kompozitlərin elektrik açarlarında, gərginlik gücləndiricilərində, istilik enerjisini elektrik enerjisinə çevirən cihazlarda, həmçinin akkumulyator batareyalarında enerjinin saxlanması üçün istifadəsinə imkan yaradır [5, 10, 11].

Məlumdur ki, bərk məhlulun tərkibini dəyişməklə kristal strukturun parametrlərinə və faza keçidlərinin temperaturuna nəzarət etmək mümkündür. Əvəzədiçi aşqar elementləri kristalda potensial sahənin və periodikliyin pozuntusuna gətirib çıxarır. Defektlərin və aşqar atomların ətrafında kristal qəfəsləri təhrif edən deformasiya bölgəsi əmələ gəlir. İon kristallarda belə defektlər fononların sərbəst yolunu əhəmiyyətli dərəcədə azaldır və bu aşağı istilik keçiriciliyə səbəb olur.

Ag<sub>8</sub>GeTe<sub>6</sub> birləşməsində germaniumu manqanla əvəzlədikdə əvəzədiçi ion kimi manqan atomları bir tərəfdən  $p$ -tipli keçiricilik yaradır, digər tərəfdən isə, maqnit aşqar kimi kristal qəfəsin daha əhəmiyyətli deformasiyasını yaradaraq istilik keçirmənin azalmasına səbəb olur.

[12] sayılı işdə biz Ag<sub>8</sub>GeTe<sub>6</sub> üçlü birləşməyə manqan əlavə etməklə alınan Ag<sub>8</sub>Ge<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te<sub>6</sub> bərk məhlullarda Rentgen-quruluş tədqiqatları aparmış, manqan kationların miqdarı artdıqca rentgen reflekslərin daha kiçik bucaqlara doğru sürüşdüyü və əsas fazada elementar qəfəsin deformasiyası müşahidə olunub. Bütün  $p$  tipli nümunələr 180-220 K temperatur bölmündə yüksək müqavimətli olur, 220-300 K bölmündə elektrik keçiriciliyi sıçrayış mexanizmi hesabına artır və  $T>320 \text{ K}$  temperaturda yarımkeçirici xassə kəsb edir. Nümunələrin impedans spektrləri öyrənilərək, 80K-də bərk məhlulların bircins dielektrik material kimi davrandığı müəyyən edilib. Yüksək temperaturlarında və xarici elektrik sahəsinin yüksək tezliyində dənəvarı bölgələrin sərhədlərinin keçiricilikdə əhəmiyyətli rolu aşkar edilib. Aşağı tezlikdə baş verən dielektrik anomaliya da həmçinin dənəvarı bölgələrin sərhədlərində yaranan təsirlə bağlı olduğu göstərilib [12].

Hazırkı işdə Ag<sub>8</sub>Ge<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te<sub>6</sub> (x=0, 0,05, 0,1, 0,2) məhlulların istilik xassələri tədqiq edilib. Daha kiçik tərkibli ərintilərdə maqnitlənmə zəif olduğuna görə, yalnız Ag<sub>8</sub>Ge<sub>0,8</sub>Mn<sub>0,2</sub>Te<sub>6</sub> kristalında xüsusi maqnitlənmə və maqnit həssaslığı  $B=\pm 14 \text{ Tesla}$  induksiya maqnit sahələrində və 5-600 K temperatur bölmündə tədqiq edilib.

### Nümunə sintezi və aparılan eksperimental üsullar

Müxtəlif tərkibli Ag<sub>8</sub>Ge<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te<sub>6</sub> (x=0; 0,05; 0,1; 0,2) bərk məhlullar iki mərhələdə sintez olunub. Birinci mərhələdə stexiometrik nisbətdə Ag, Ge, Te və Mn elementləri ampula doldurulur, sonra 1,3 mPa təzyiq qədər havası sovrulur və ağzı kiplənir. Ampul vibrasiya

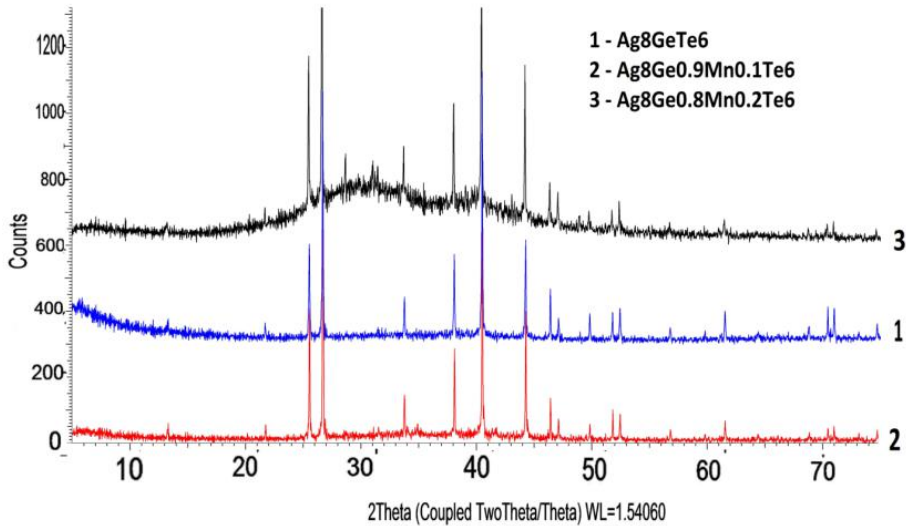
edilir və tədricən 1250 K temperatara qədər qızdırılır, bu temperaturda 4-5 saat saxlanılır və sonra 50 saat ərzində 900 K-də tablanır. İkinci mərhələdə sintez edilmiş material aqat həvəngində əzilərək 100mkm-lik ələkdən keçirilib. Ovuntu tozu paralelepiped formalı qəlibə doldurulur və 0,6 GPa təzyiqlə sıxılır. Alman nümunələr ~ 800 K temperaturda 50 saat tablanaraq homogenləşir.

Nümunələrin attestasiyası üçün rentgen quruluş və diferensial darayıcı kalorimetr analizi aparılıb. Rentgen-faza analizi Bruker D2 Phaser cihazında 5-80° dərəcə bucaq bölümündə aparılıb (şəkil 1).

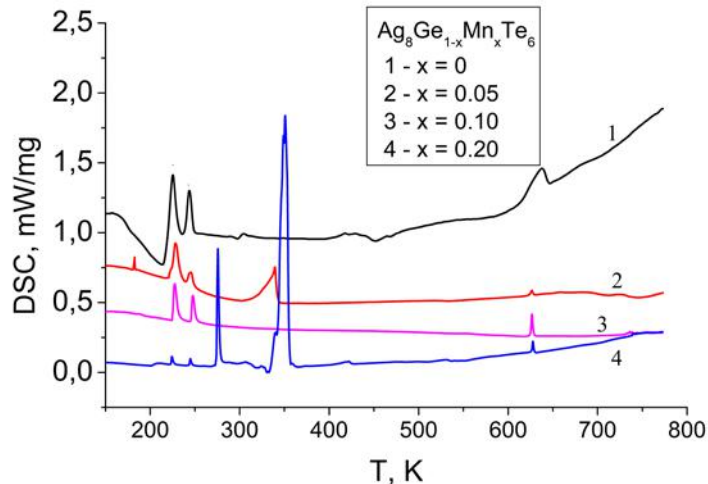
Kalorimetrik tədqiqatlar arqon atmosferində NETZSCH DSC 204F1 darayıcı diferensial kalorimetrdə (DSC) (Almaniya) 100 - 900 K temperatur bölümündə aparılıb (şəkil 2). Etalon maddə kimi safir seçilmiş, qızma sürəti 10 K/dəqiqə, inert qaz kimi istifadə olunan arqonun axma sürəti 20 ml/dəqiqə olub. Mikrostruktur və element analizi EDX enerji-dispersiv rentgen spektroskopiyası ilə təchiz edilmiş SEM JEOL 6610 LV elektron mikroskopunda aparılıb [12].

Nümunələrin 300-550 K bölümündə temperatur kəçirməsi (və ya temperatur diffuziyası) işıq impulsu üsulu ilə ölçülüb [13]. Ölçülən nümunələr 5x5x2 mm<sup>3</sup> ölçüdə hazırlanıb. İmpulsun davam etmə müddəti 10<sup>-3</sup> saniyə, enerjisi 120 Coul olub. İynə şəkilli termocütün ucları nümunənin gümüş pasta çəkilmiş arxa səthi ilə qapanır. Ön səthdə termoelektrik effektin yaranmaması üçün onun üzərinə his çəkilir. Aparılan ölçülərdə yaranan xəta 5-7 faiz olur.

Ag<sub>8</sub>Ge<sub>0,8</sub>Mn<sub>0,2</sub>Te<sub>6</sub> bərk məhlulun xüsusi maqnitlənmə və maqnit həssaslığı 5-750 K temperatur bölümündə ponderomotiv üsulla ölçülüb. Ponderomotiv metodla ölçmə zamanı sertifikatlı qurğu istifadə edilib [14]. Xüsusi maqnitlənmə ölçülərində xəta  $\sigma_m \sim 0,05 A \cdot m^2 \cdot kg$  və xüsusi maqnit qavrayıcılığın xətası  $\chi = 10^{-11} m^3/kq$  olub. Termostat qurğusunda 5-1400 K temperatur bölümündə davamlı ölçmə apararaq  $\chi = f(T)$  və  $\sigma_m = f(B)$  asılılıqları almaq olar. Cryogenic Ltd tərəfindən yaradılmış ölçmə kompleksindən istifadə etməklə  $\sigma_m = f(B)$  asılılığı 4,6, 40, 80 və 300 K temperaturlarda və  $\pm 14$  Tesla induksiya maqnit sahəsində tədqiq edilib.



Şəkil 1. Ag<sub>8</sub>Ge<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te<sub>6</sub> məhlulların rentgen spektrləri.



Şəkil 2. Ag<sub>8</sub>Ge<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te<sub>6</sub> (x = 0; 0,05; 0,1; 0,2) məhlullarda DSC analizi.

## Eksperimentin nəticələri və analizi

### a) İstilik xassələri.

$\text{Ag}_8\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}_6$  ( $x=0; 0,05; 0,1; 0,2$ ) bərk məhlulun istilik keçiriciliyi aşağı olduğuna görə onu stasionar üsulla ölçükdə xəta böyük olur. Ona görə də bərk məhlulun temperatur keçiriciliyi işıq impulsu üsulu ilə ölçülüb (şəkil 3a). Temperatur keçirmənin qiymətləri əsasında istilik keçirmə aşağıdakı formulla hesablanıb (şəkil 3b):

$$k = a\rho C_p \quad (1)$$

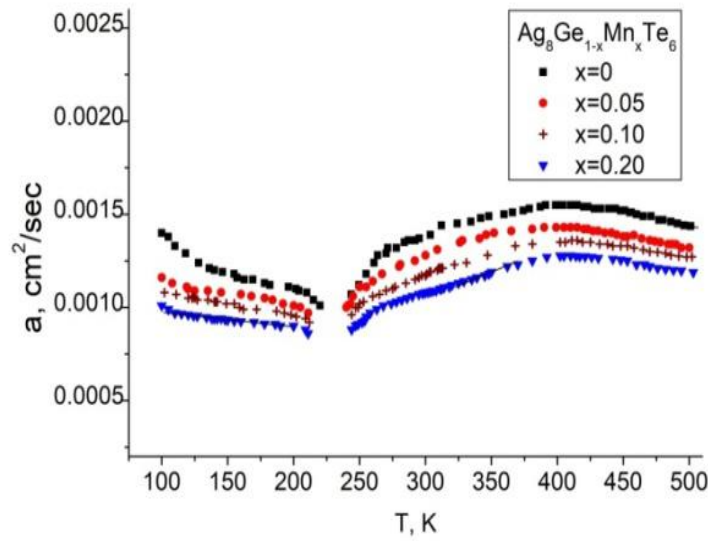
burada  $a$  - temperatur keçirmə,  $\rho$  - maddənin sıxlığı,  $C_p$  - nümunənin istilik tutumudur. 3b şəkildən görüldüyü kimi 200-250 K temperatur bölümündə faza keçidləri

baş verir və istilik keçirmə 250 - 400 K temperatur bölümündə cüzi artır,  $T > 400 \text{ K}$  temperaturlarda isə azalır. Yükdaşıyıcıların payına düşən istilik keçirmə Videman-Franz düsturu ilə hesablanıb:

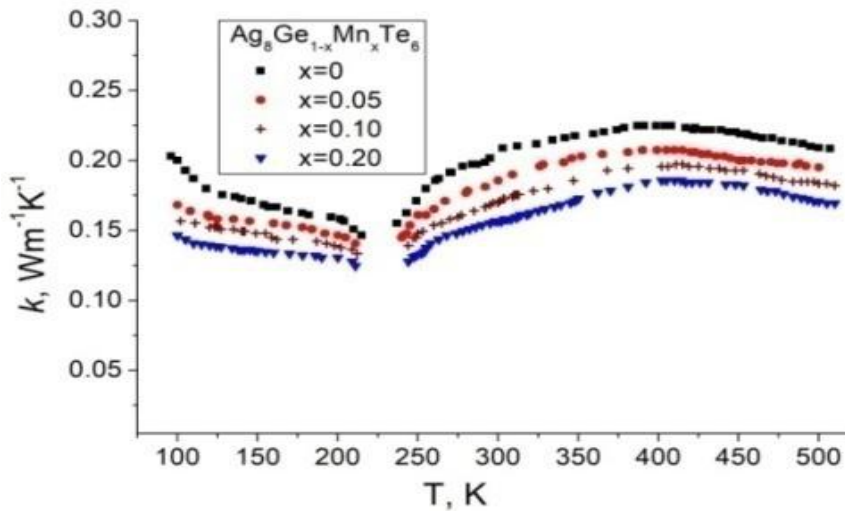
$$k_{el} = \left(\frac{k_B}{e}\right)^2 \frac{\pi^2}{3} \sigma T, \quad (2)$$

burada  $k_{el}$  yükdaşıyıcılar hesabına daşınan istilik keçirmə,  $k_B$  - Bolsman sabiti  $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$ ,  $\sigma$  - elektrik keçirmə və  $e = 1.6 \times 10^{-19} \text{ J}$  - yük daşıyıcının enerjisidir.

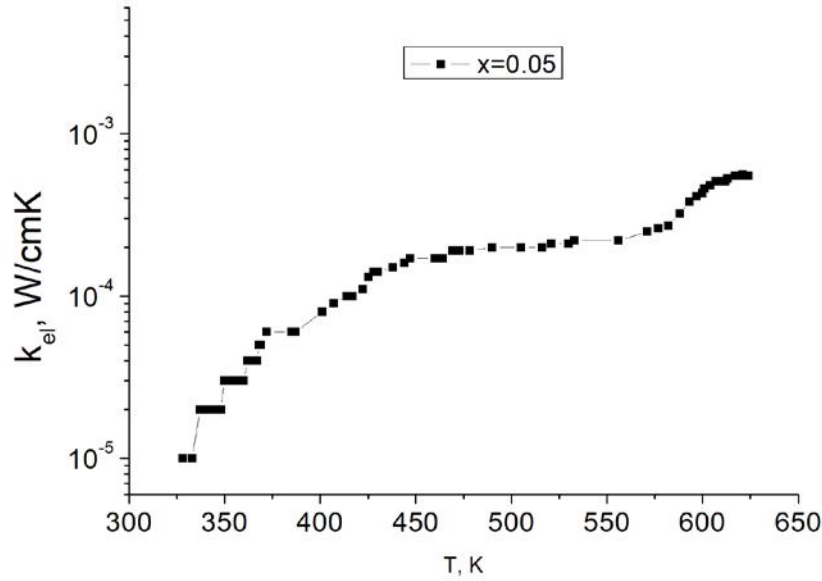
(2) ifadəsi ilə aparılan hesablamalar yükdaşıyıcıların istilik keçirməyə verdiyi payın  $10^{-3}$ -dən  $6 \cdot 10^{-2} \text{ W/(m.K)}$  -ə qədər artdığını göstərir. Hesablamada müşahidə olunan artımın qiyməti istilik keçirmənin artımına çox yaxın olduğu görünür (şəkil 4).



Şəkil 3a.  $\text{Ag}_8\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}_6$  ( $x=0; 0,05; 0,1; 0,2$ ) bərk məhlulun temperatur keçiriciliyi.



Şəkil 3b.  $\text{Ag}_8\text{Ge}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}_6$  ( $x=0; 0,05; 0,1; 0,2$ ) bərk məhlulun istilik keçiriciliyi.



Şəkil 4. Ag<sub>8</sub>Ge<sub>0.95</sub>Mn<sub>0.05</sub>Te<sub>6</sub> kristalda elektron istilik keçiriciliyi.

Ag<sub>8</sub>Ge<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te<sub>6</sub> bərk məhlullarda elementar özək-də çox sayda atom (60 atom) olduğuna görə, fonon spektrində optik fononların miqdarı yüksək temperaturda daha çox olur. Məlumdur ki, rəqslərin harmonikliyi kristal qəfəsin ekvivalent nöqtələrində atomların və atom dəstlərin hərəkətinin korrelyasiyasına səbəb olur. Bunun nəticəsində kristalda rəqslərin yayılma mexanizmi pozulur, hər bir atom digərindən asılı olmayaraq rəqs edir və yüksək tezlikli rəqslərin lokallaşması baş verir. Qeyd etmək lazımdır ki, “fonon şüşə - elektron kristal” modelində istilik keçiriciliyi kristal quruluşundan və əlaqə qüvvəsindən asılıdır [15]. Elementar özək böyük, atomların orta kütləsi çox olduqda aşağı istilik keçirmə gözlənilir. Fononun orta sərbəst qaçış yolun düsturundan

$$l = 3k/C_p v \quad (3)$$

və Dyülonq-Pti qanunundan

$$C_p (JK^{-1}) = 3nR \quad (4)$$

istifadə edərək sərbəst qaçış yolu hesablanıb. Burada  $n$ -atomların sayı,  $R=8,314 JK^{-1}mol^{-1}$  Ridberq sabitidir. İstilik keçirmənin otaq temperaturundakı qiymətini  $k=0.15-0.2 Vt.K^{-1}m^{-1}$  və kristalda səsin sürətini  $1750m.s^{-1}$  [10] götürsək, (3, 4) formullarına görə  $l=4.7-5.2 \text{ \AA}$  alınır. Göründüyü kimi, fononun orta sərbəst qaçış yolu qəfəs sabitindən ( $11,58 \text{ \AA}$  [11]) 2-3 dəfə azdır, Bir maddədə fononun orta sərbəst yolu qəfəs sabiti həddində və ya daha azdırsa, istilik əsasən qonşu atomlar arasında enerji mübadiləsi hesabına ötürülür. Buna görə də. belə kristallarda istilik keçirmənin tem-

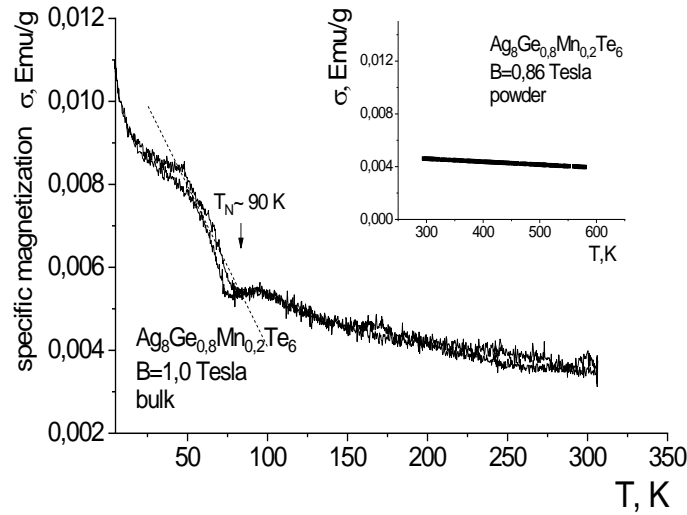
peratur asılılığı daha yüksək temperaturda amorf maddələrlə eynidir və onun temperaturla artması yük daşıyıcının verdiyi payla bağlıdır.

#### b) Maqnit xassələri.

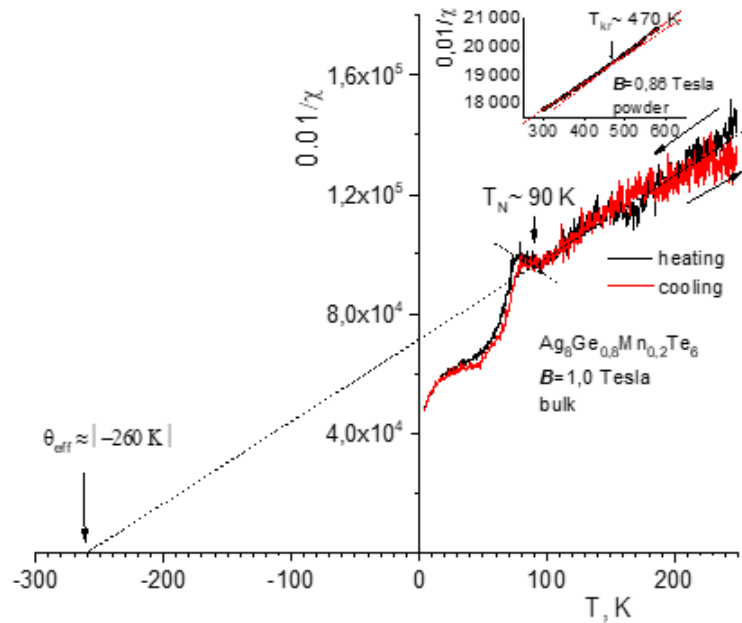
Ag<sub>8</sub>Ge<sub>0.8</sub>Mn<sub>0.2</sub>Te<sub>6</sub> bərk məhlulun 5-300K və 300-600 K temperatur bölümündə xüsusi maqnitlənməsi  $\sigma_m = f(T)$  və maqnit həssaslığı ( $10^{-2}\chi = f(T)$ ) 5 və 6-cı şəkildə verilib. 6-cı şəkilin küncündə həmin asılılıq 300-600 K temperatur bölümü üçün verilib. 65-600 K temperatur bölümündə  $0.01/\chi=f(T)$  asılılığın gedişi aşağı temperaturu antiferromaqnit nizamlamanın mövcudluğunu deməyə əsas verir.  $T_N \sim 90$  K temperaturda faza çevrilməsi baş verir: maqnit nizamlılığı - maqnit nizamsızlığa keçir. Ag<sub>8</sub>Ge<sub>0.8</sub>Mn<sub>0.2</sub>Te<sub>6</sub> tərkibli nümunənin effektiv Kuri-Veys temperaturu modula görə  $\theta_{eff} \sim 260$ K olur, antiferromaqnit qərarlaşmanın effektiv maqnit momenti isə  $\mu_{eff} \sim 0,7\mu_B$  alınır. Bor maqnetronuna uyğun olaraq effektiv maqnit momenti belə ifadə olunur:

$$\mu_{eff} = 2,83\sqrt{MC}\mu_B, \quad C = \frac{1}{tg\alpha} \quad (5)$$

burada,  $M$ - molekul çəkisi,  $\alpha$  bucağı  $0,01/\chi = f(T)$  asılılığın paramaqnit toplananın  $T_N$  qiymətindən yuxarı düzxətli hissəsinin  $\theta_{eff}$  Kuri-Veys temperatur oxuna kimi ekstrapolyasiyasının meyl bucağıdır. Həm xüsusi maqnitlənmə ( $\sigma_m = f(T)$ ), həm də maqnit qavrayıcılığın tərs qiymətinin temperatur asılılığı ( $0,01/\chi = f(T)$ ) Ag<sub>8</sub>Ge<sub>0.8</sub>Mn<sub>0.2</sub>Te<sub>6</sub> tərkibli kristalda  $T_N \sim 90$  K temperaturda paramaqnit hala keçidin baş verdiyini göstərir.  $0,01/\chi = f(T)$  asılılığın 300 – 600 K temperatur bölümün 470 K nöqtəsində meylin azca dəyişdiyi müşahidə olunur. Bu dəyişiklik  $T \sim 500$ K temperaturda Ag<sub>8</sub>GeTe<sub>6</sub> birləşməsinə xas olan rombik siqnoniyadan kub siqnoniyaya polimorf çevrilmənin nəticəsi kimi xarakterizə olunur.



Şəkil 5.  $Ag_8Ge_{0.8}Mn_{0.2}Te_6$  məhlulda xüsusi maqnitlənmənin temperatur asılılığı.



Şəkil 6.  $Ag_8Ge_{0.8}Mn_{0.2}Te_6$  məhlulda maqnit qavrayıcılığın tərs qiymətinin temperatur asılılığı.

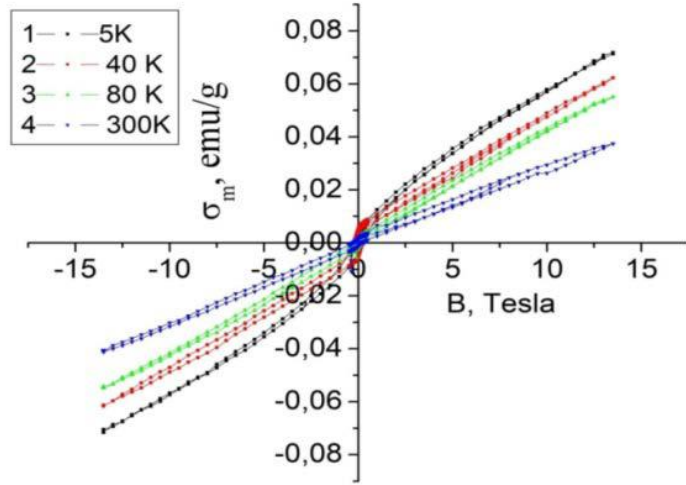
7-ci şəkildə 5, 40, 80 və 300 K temperaturalarda  $Ag_8Ge_{0.8}Mn_{0.2}Te_6$  bərk məhlul üçün xüsusi maqnitlənmənin sahədən asılılığı -  $\sigma_m = f(B)$  verilib. Maqnit sahənin 0,05 Tesla qədər qiymətində 0,01 Emu/q-a qədər maqnitlənmə və 0.03 Tesla koersitiv qüvvə ilə kiçik ölçüdə histerezis effekti baş verir. Təcrübə göstərir ki,  $B=15$  Tesla induksiya sahədə belə maqnitlənmə doyma halına çatmır. Ona görə də,  $Ag_8Ge_{0.8}Mn_{0.2}Te_6$  bərk məhlulu təşkil edən komponentlərdə kiçik maqnit momentlərin ciddi nizamlanmış, uzun diapazonlu maqnit nizamının isə yaranmadığını deməyə əsas verir.

Təcrübə  $T < 90$  K temperaturda  $Ag_8Ge_{0.8}Mn_{0.2}Te_6$  bərk məhlulun zəif yaxın maqnit nizamının üstünlük

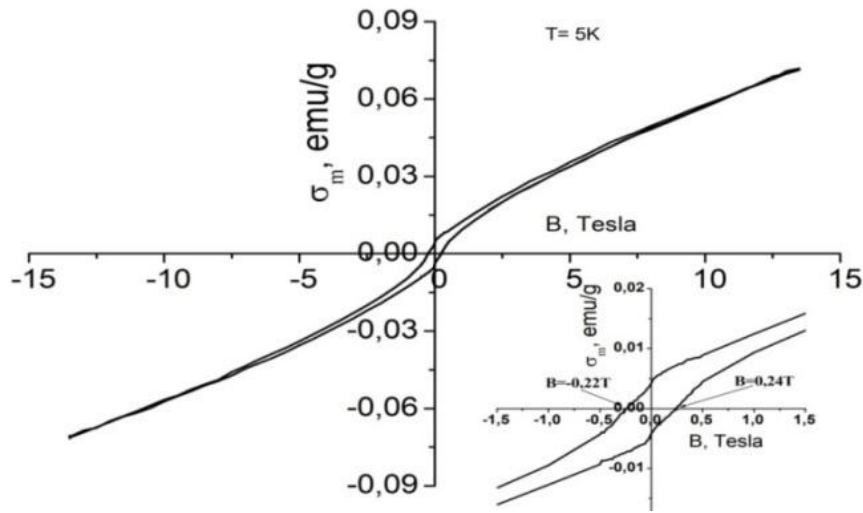
təşkil etməsi ilə və kompensasiya olunmamış antiferromaqnit halın paramaqnit toplanana nisbətən üstünlüyü ilə xarakterizə olunduğunu göstərir.

Həm xüsusi maqnitlənmənin -  $\sigma_m = f(T)$ , həm də maqnit qavrayıcılığın tərs qiymətinin temperatur asılılığı -  $0,01/\chi = f(T)$  kristalda  $T_N \sim 90$  K temperaturda paramaqnit hala keçidin baş verdiyini göstərir.

8-ci şəkildə 5K temperaturda  $Ag_8Ge_{0.8}Mn_{0.2}Te_6$  məhlulun sahədən asılılığında histerezis və koersitiv qüvvə göstərilib. Cədvəl 1-də 5, 40, 80 və 300 K temperaturalarda  $Ag_8Ge_{0.8}Mn_{0.2}Te_6$  bərk məhlul üçün xüsusi qalıq maqnitlənmə və maqnit hilgəyin koersitiv qüvvəsi verilib.



Şəkil 7. Ag<sub>8</sub>Ge<sub>0,8</sub>Mn<sub>0,2</sub>Te<sub>6</sub> məhlulda xüsusi maqnitlənmənin 5, 40, 80, 300 K temperaturlarda maqnit sahəsindən asılılığı.



Şəkil 8. 5K temperaturda Ag<sub>8</sub>Ge<sub>0,8</sub>Mn<sub>0,2</sub>Te<sub>6</sub> məhlulun sahədən asılılığında histerezis və koersitiv qüvvə.

Cədvəl 5.

5, 40, 80 və 300 K temperaturlarda qalıq maqnitlənmə və maqnit hilgəyin koersitiv qüvvəsi

Temperatur, K	5 K	40 K	80 K	300 K
Xüsusi maqnitlənmə qalığı, Emu/g	$4,2 \cdot 10^{-3}$	$5,0 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$
Koersitiv qüvvə, kOe	2,4	2,2	2	1,4

### Nəticə

Ərinti üsulu ilə alınmış Ag<sub>8</sub>Ge<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te<sub>6</sub> (x=0; 0,05; 0,1; 0,2) kristallarda fononların orta sərbəst qaçış yolu qəfəs sabitindən 2-3 dəfə az olduğuna görə istilik əsasən qonşu atomlar arasında enerji mübadiləsi hesabına ötürülür. Buna görə də, belə kristallarda istilik keçirmənin temperaturdan asılılığı daha yüksək temperaturda amorf maddələrlə eynidir və onun temperaturla artması yük daşıyıcıların verdiyi payla bağlıdır.

5-600 K temperatur bölümündə  $0,01/\chi=f(T)$  asılılığın gedişi aşağı temperaturlu antiferromaqnit nizamlamanın mövcudluğunu deməyə əsas verir.  $T_N \sim 90$  K

temperaturda faza çevrilməsi baş verir: maqnit nizamlılığı - maqnit nizamsızlığa keçir. Ag<sub>8</sub>Ge<sub>0,8</sub>Mn<sub>0,2</sub>Te<sub>6</sub> tərkib üçün effektiv Kuri-Weys temperaturu modula görə  $\theta_{eff} \approx -260$  K olur, antiferromaqnit qərarlaşmanın effektiv maqnit momenti isə  $\mu_{ef} \approx 0,7\mu_B$  olur. Xüsusi maqnitlənmənin -  $\sigma_m = f(T)$  və həm də maqnit qavrayıcılığın tərs qiymətinin temperatur asılılığı -  $0,01/\chi = f(T)$  Ag<sub>8</sub>Ge<sub>0,8</sub>Mn<sub>0,2</sub>Te<sub>6</sub> tərkibli kristalda  $T_N \sim 90$  K temperaturda paramaqnit hala keçidin baş verdiyini göstərir.  $0,01/\chi = f(T)$  asılılığın 300 – 600 K temperatur bölümün 470 K nöqtəsində meylin azca dəyişməsi  $T \sim 500$  K temperaturda Ag<sub>8</sub>GeTe<sub>6</sub> birləşməsinə xas olan rombik signoniyadan kub signoniyaya polimorf çevrilmənin nəticəsi kimi xarakterizə olunur.

- [1] *O.B.Romanova, S.S.Aplesnin, M.N.Sitnikov, L.V.Udod, A.V.Shabanov, K.I. Yanushkevich, A.I.Galyas, A.M.Zhivulko.* Structural and electronic transitions in thulium-substituted manganese selenide. *Ceramics International*. 2022, vol. 48, Is. 20, pp. 29822-29828.
- [2] *R.Bendorius, A.Irzikevicius, A.Kindurys, E.V.Tsvetkova.* The absorption spectra of  $Ag_8M_4Se_6$  and  $Ag_8GeX_6$  VI compounds. *PhysicaStat. Sol. A*, 28, 1975, K125-K127.
- [3] *N.Rysanek, P.Laruelle, A.Katty.* Structure cristalline de  $Ag_8GeTe_6$  ( $\gamma$ ), *ActaCrystallogr.*, B32, 1976, 692-696.
- [4] *S.Geller.* The crystal structure of  $\gamma$   $Ag_8GeTe_6$ , a potential mixed electronic-ionic conductor, *ZeitschriftfürKristallographie*, 149, 1979, 31-4.
- [5] *M.Fujikane, K.Kurosaki, H.Muta, S.Yamanaka.* Thermoelectric properties of  $Ag_8GeTe_6$ . *Journal of Alloys and Compounds*, 396, 2005, 280-282.
- [6] *H.Kawaji, T.Atake.* Heat capacity measurement and thermodynamic study of  $Ag_8GeTe_6$ , *Sol. State Ionics*, 70/71, 1994, 518-521.
- [7] *M.Evain, E.Gaudin, F.Boucher, V.Petricek, F.Taulelle.* Structures and phase transitions of the  $A_7PSe_6$  ( $A=Ag,Cu$ ) argyrodite-type ionic conductors. I.  $Ag_7PSe_6$ , *ActaCryst. B*, 54, 1998, 376-383.
- [8] *E.Gaudin, F.Boucher, V.Petricek, F.Taulelle, M.Evain.* Structures and phase transitions of the  $A_7PSe_6$  ( $A=Ag, Cu$ ) argyrodite-type ionic conductors. II.  $\beta$ - and  $\gamma$ - $Cu_7PSe_6$ , *ActaCryst. B*, 56, 2000, 402-408.
- [9] *E.Gaudin, F.Boucher, V.Petricek, F.Taulelle, M.Evain.* Structures and phase transitions of the  $A_7PSe_6$  ( $A=Ag,Cu$ ) argyrodite-type ionic conductors. III.  $\alpha$ - $Cu_7PSe_6$ , *ActaCryst. B*, 56, 2000, 972-979.
- [10] *A.Charoenphakdee, K.Kurosaki, H.Muta, M.Uno, S.Yamanaka.* Reinvestigation of the thermoelectric properties of  $Ag_8GeTe_6$ , *Phys. Status Solidi*, RRL 2. 2008, 65-67.
- [11] *T.J.Zhu, S.N.Zhang, S.H.Yang, X.B. Zhao.* Improved thermoelectric figure of merit of self-doped  $Ag_{8-x}GeTe_6$  compounds with glass-like thermal conductivity, *Phys. Status Solidi*, RRL 4 (2010) 317-319.
- [12] *R.Rahimov, A.Gahramanova, D.Arasly, A.Halilova, I.Mammadov.* Features of the Conductivity of the  $Ag_8Ge_{1-x}Mn_xTe_6$  Solid Solutions. *Journal of Materials Science and Chemical Engineering*, 2022, 10, 16-28.
- [13] *W.J.Parker., R.J.Jenkins., C.P.Butler, G.L.Abbott.* Flash method of determining thermal diffusivity. Heat capacity and conductivity. *J.Appl.Phys.* 1961, v.32, № 9, p.1679-1684.
- [14] *A.M.Zhivulko, K.I.Yanushkevich, E.G.Danilenko, F.V.Zelenov, O.N.Bandurina.* Magnetizing properties of  $Mn_{1-x}Ge_xSe$  Solid Solutions. *Siberian Aerospace Journal*, 23, 2022, 4, 748-755.
- [15] *Glen A. Slack.* The Thermal Conductivity of Nonmetallic Crystals *Solid State Physics*, vol. 34, 1979, p.1-74.

**R.N. Rahimov, A.S. Kahramanova, D.G. Arasly, A.A. Khalilova, I.Kh. Mamedov, A.M. Jivulko, V.I. Mityuk**

### **THERMAL AND MAGNETIC PROPERTIES OF THE $Ag_8Ge_{1-x}Mn_xTe_6$ SOLID SOLUTION**

$Ag_8Ge_{1-x}Mn_xTe_6$  ( $x=0, 0.05, 0.1, 0.2$ ) solid solutions were obtained by alloying at a temperature of 1250 K and then ground into powder. Parallelepiped-shaped samples were obtained by pressing them in a  $2 \times 4 \times 15$  cm<sup>3</sup> mold under a pressure of 0.6 GPa. The obtained samples were aged by keeping them at a temperature of 900 K for 50 hours. X-ray diffraction and calorimetric analyses of the samples were performed. The thermal diffusivity of the samples was measured by light pulse and the thermal conductivity was calculated based on the obtained values. Since the phonon mean free path in crystals is 2-3 times less than the lattice constant (11.58 Å), heat is mainly transferred through energy exchange between neighboring atoms, and the observed increase in thermal conductivity depending on temperature is due to the contribution of the charge carrier. In the  $Ag_8Ge_{0.8}Mn_{0.2}Te_6$  crystal the specific magnetization in the temperature range of 80–750 K, as well as at temperatures of 5, 40, 80 and 300 K, the dependence of the specific magnetization on the magnetic field ( $\sigma_m=f(M)$ ) have been studied. The temperature of the phase transition "Magnetic order – magnetic disorder" was determined.

*Qəbul olunma tarixi: 20.12.2024*