

УДК 54.546.6-548.7

TlGaTe₂ KRİSTALININ KEÇİRİCİLİYİN VƏ DIELEKTRİK NÜFUZLUĞUNUN TEMPERATUR ASILILIQLARININ TƏDQIQI

A.İ.NƏCƏFOV ***, N.A.ƏLİEVA**, G.R.MAHMUDOVA*, E.S.TAPDIQOV*

AMEA Fizika İnstitutu*
AZ 1143, Bakı, H.Cavid pr., 131a
AMEA Radiasiya Problemləri İnstitutu**
AZ 1143, Bakı, B.Vahabzadə 9
a.najafov@mail.ru

Daxil olub: 12.06.2019
Çapa verilib: 01.09.2019

Açar sözlər: elektrikkeçiriciliyi, dielektrik nüfuzluluğu, ion keçiriciliyi

REFERAT

TlGaTe₂ kristallarının müxtəlif tezliklərdə 290÷600K temperatur oblastında dielektrik nüfuzluluğunun və elektrikkeçiriciliyinin temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. Dielektrik nüfuzluluğunun və elektrikkeçiriciliyinin temperatur asılılığı ayrılarında 320÷340K və 470÷514K temperaturlarda anomaliyalar müşahidə olunmuşdur. Göstərilmişdir ki, aşağı temperaturlarda müşahidə olunan anomaliyalar kristal quruluşda Tl alt qəfəsinin əriməyə başladığı hala uyğundur, 470÷514K temperaturda keçiriciliyin 4 tərtib artması ilə müşahidə olunan anomaliya isə Tl alt qəfəsinin “əriməsi” nəticəsində ion keçiriciliyinə keçidlə bağlıdır.

GİRİŞ

TlBC₂⁶ tip (B=In, Ga; C-S, Se, Te) üçlü birləşmələr əsasən iki quruluşda kristallaşır: TlGaSe₂, TlInS₂ birləşmələri monoklin Cc; C2/c [1], TlInSe₂, TlInTe₂, TlGaTe₂ birləşmələri isə tetraqonal I4/mcm fəza qrupunda kristallaşır [2].

TlGaSe₂, TlInS₂ birləşmələri aşağı temperaturlarda (T≈180-216 K) seqnetoelektrik xassələrə malikdirlər [3-4], TlInSe₂, TlInTe₂, TlGaTe₂ kristallarında isə yuxarı temperaturlarda (T>300K) ion keçiriciliyi müşahidə olunur [5]. Hər iki halda (seqnetoelektrik və ion keçiriciliyi) dielektrik funksiyasının $\epsilon^*(\omega)$ və keçiriciliyin $\sigma^*(\omega)=i\omega\epsilon^*(\omega)/(4\pi)$ faza keçidlərinə uyğun temperaturlarda (T_f və T_{ic}) anomaliyası müşahidə olunur. Bu zaman aşağı tezlikli impedans ölçmələrindən təyin olunan ion keçiriciliyi temperaturunda dielektrik sabiti seqnetoelektrik faza üçün olan qiymətdən böyük olur $\epsilon_{ic}(\omega, T_{ic}) \gg \epsilon_f(\omega, T_f)$, bu qəfəsdə kationun aktivasiyası zamanı özəyin böyük dipol momentinin yaranması ilə əlaqədardır: $d=q\Delta r$ (burada q-kationun yükü, Δr -kationun sürüşmə məsafəsidir).

Aşağı temperaturlarda ion keçiriciliyinə malik bəzi kristallarda (gümüş xalkogenidlərində Ag₂S və Ag₂Se) ion keçiriciliyi aktivləşdikdə aşağı tezlikli $\epsilon_{ic}(\omega, T_{ic}) \sim 10^{10}\epsilon_0$ qiymətini alır. Yüksək dielektrik nüfuzluluğuna malik belə kristallar praktik olaraq bərk kimyəvi enerji mənbələri kimi əhəmiyyət kəsb edir. İon keçiricilərinin əsas xüsusiyyətlərindən biri bərk fazada keçiriciliyinin yüksək ($1 \cdot 10^{-5} \div 10 \text{ m}^{-1} \cdot \text{sm}^{-1}$), aktivasiya enerjisinin qiymətinin isə kiçik (0.3-0.4 eV) olmasıdır. Belə maddələrdən biri də TlGaTe₂ üçlü birləşməsi sayılır.

TlGaTe₂ tetraqonal sinqoniyada (struktur tipi TlSe, fəza qrupu I4/mcm) kristallaşan TlBC₂⁶ tipli birləşmələrin nümayəndəsidir və aşağıdakı kristalloqrafik parametrlərə malikdir: a=8,429Å; c=6,865Å; Z=4; d=7,21q/sm³ [2]. TlGaTe₂ kristalındakı kimyəvi əlaqə ion-kovalemtip əlaqədir [6]. Quruluşda Tl⁺-Te arasındakı məsafə 3,6 Å, In³⁺-Te isə 2,82 Å-dır. TlGaTe₂ kristalları havada davamlıdırlar, konqruent ərimə xarakterinə malikdirlər və ərimə temperaturu 1046 K təşkil edir.

İon keçiricilərinin xassələri materialın quruluş xüsusiyyətlərindən və qəfəsdə olan vakansiyalarının konsentrasiyasından asılıdır [7]. TlBC₂⁶ bir-

ləşmələr sinifinə daxil olan kristallarda vakansiya tipli defektlər mövcuddur və defektlərin konsentrasiyası $\sim 10^{18} \div 10^{20} \text{sm}^{-3}$ -ə çatır [8], yəni qəfəs düyünlərində boşluqlar var və bu boşluqlar isə aktivasiya olunmuş ionun bir düyündən digərinə sıçramasını asanlaşdırır. Ədəbiyyat nəticələrinə görə TlGaTe₂ kristallarında ion keçirici halına aktivasiya enerjisinin qiyməti kiçikdir və müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə $\Delta E_{a\perp} = 0,092 \text{ eV}$, $\Delta E_{a\parallel} = 0,0165 \text{ eV}$ təşkil edir. Göstərilir ki, ion keçiriciliyi halına keçid TlGaTe₂ kristallarında Tl⁺ alt qəfəsinin “əriməsi” ilə müşayiət olunur [5], lakin bu hala keçidlə bağlı istilik effektləri tədqiq edilməmişdir.

Təqdim olunan işdə TlGaTe₂ kristallarının ion keçiriciliyinin 290÷600K temperatur intervalında müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə və müxtəlif ölçü tezliklərində tədqiqi nəticələri verilmiş və alınan nəticələr müzakirə edilmişdir.

NÜMUNƏLƏRİN ALINMASI VƏ ÖLÇMƏ METODLARI

Elektrik keçiriciliyi və dielektrik nüfuzluğunun tədqiqi monokristallıq kütlədən kəsilmiş nümunələr üzərində aparılmışdır. TlGaTe₂ monokristalları 10²Pa qalıq təzyiqlə qədər vakuumlaşdırılmış kvarts ampullarda istiqamətləndirilmiş kristallaşdırma üsulu ilə yetişdirilmişdir.

Kristallaşma zonasındakı temperatur platin-platinorodium termocütü ilə idarə olunmuşdur. Ərimə zonasında temperatur VTR-3 həssas termotənzimləyicilərin köməyi ilə $\pm 1 \text{ K}$ dəqiqliyi stabiləşdirilmişdir. İlk maddə kimi birbaşa sintez metodu ilə müvafiq elementlərdən sintez edilmiş TlGaTe₂ polikristal nümunələrindən istifadə edilmişdir. Sintez prosesi aşağıdakı qaydada həyata keçirilmişdir. İçərisində maddə olan kvarts ampul elektrik sobasında $\sim 50 \text{ K/saat}$ sürətlə $T = 1150 \text{ K}$ -ə qədər qızdırılmış, bu temperaturda iki saat saxlandıqdan sonra $\sim 100 \text{ K/saat}$ sürətlə otaq temperaturuna qədər soyudulmuşdur.

Nümunələrin rentgenfaza analizi «XRD D8 ADVANCE» qurğusu vasitəsi ilə həyata keçirilmişdir. Qurğuda CuK _{α} şüaları istifadə olunaraq və difraktoqramlar $4^\circ < \theta < 35^\circ$ bucaq intervalında çəkilmiş və qəfəs parametrlərinin təyini $\pm 0,001 \text{ \AA}$ dəqiqliyi ilə həyata keçirilmişdir.

Nümunələrin diferensial-termik analizi (DTA) kalorimetrik dəqiqliyi $\pm 2\%$ olan «Perkin Elmer STA 6000» qurğusunda aparılmışdır. Təcrübələr arqon atmosferində 290÷750K temperatur intervalında qızma və soyuma əyrilərinin çəkilməsi vasitəsi ilə aparılmışdır. Təcrübələr zamanı qızma və soyuma prosesinin sürəti $\sim 20 \text{ K/dəq}$ olmuşdur.

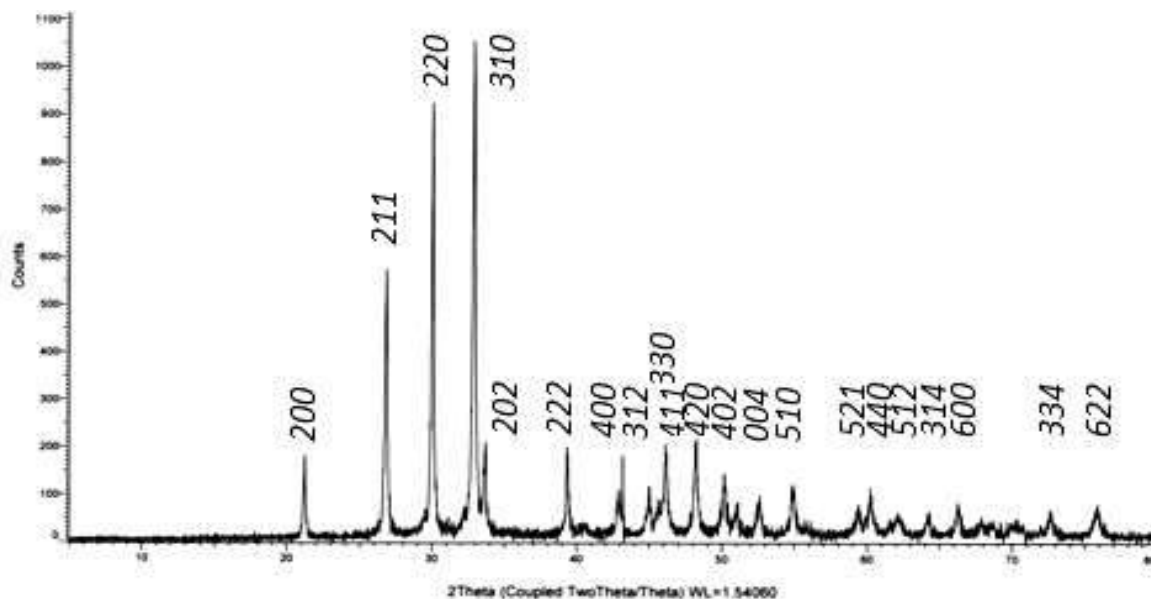
Elektrik və dielektrik xassələri monokristal nümunələrdə $10^3 \div 10^6 \text{ Hz}$ tezlik və 290÷750K temperatur intervallarında öyrənilmişdir. Tədqiqatlar müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə E7-20 rəqəmsal impedans ölçü cihazı vasitəsi ilə aparılmışdır. Tədqiqat üçün hazırlanmış nümunələrə kontaktlar gümüş pastası ilə çəkilmişdir. Kristallara tətbiq olunan elektrik sahəsinin intensivliyi Volt-Amper xarakteristikasının omik hissəsinə uyğun götürülərək $0,1 \text{ V/sm}$ təşkil etmişdir.

TƏCRÜBİ NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

TlGaTe₂ nümunəsinin difraktoqramının (Şəkil 1) təhlili nəticəsində kristal qəfəsin parametrləri müəyyən edilərək ($a = 8,420 \text{ \AA}$; $c = 6,865 \text{ \AA}$) alınan nəticənin ədəbiyyat məlumatları ilə uyğun olduğu müəyyən edilmişdir [2].

TlGaTe₂ polikristal nümunələrindən çəkilmiş termoqramlarının qızma və soyuma əyriləri üzərində bərk fazada istilik effektləri müşahidə olunmuşdur. Qızma əyrisində bərk fazada müəyyən edilmiş endotermik effekt $498 \pm 1 \text{ K}$ temperaturunda baş verir və istilik effekti $\Delta H = 20 \text{ kkal/mol}$ ($85,63 \text{ C/mol}$) təşkil edir.

Soyuma əyrisində isə bu effekt temperatur şkalasında 3-5 dərəcə aşağıya doğru sürüşən ekzotermik effekt şəklində müşahidə olunmuşdur. Bundan başqa termoqramlara əsasən kristalda 673K temperaturda baş verən ikinci endotermik effekt şəkilində faza keçidinin olması da müəyyən edilmişdir. Bu halda istilik effektinin qiyməti 12 kkal/mol ($50,2 \text{ C/mol}$) təşkil edir. Qeyd edək ki, istilik effektləri TlSe strukturunda (*I4/mcm*) kristallaşan TlInTe₂ birləşməsində də müşahidə edilmişdir. Lakin 300÷750K temperatur intervalında TlSe strukturunda (*I4/mcm*) kristallaşan InTe və TlInSe₂ kristallarının DTA əyriləri üzərində hər hansı bir istilik effekti müşahidə olunmamışdır.



Şəkil 1

TlGaTe₂ kristallarının 300K-də çəkilmiş difraktoqramı.

TlGaTe₂ nümunələrinin (həmçinin TlInTe₂) termoqramlarında 498K temperaturda müşahidə edilən termik effektlərin tellur ionları ilə aşağı enerjili ion əlaqəsində olan tallium atomlarının termik aktivləşməsinə gətirib çıxarması və nəticədə Tl alt qəfəsinin pozulmasının baş verdiyini güman etmək olar. Aparılan təcrübələr xarici elektrik sahəsinin tətbiqi zamanı belə kristalın artıq ion keçirici halına keçdiyini göstərir.

TlGaTe₂ kristalının dielektrik nüfuzluluğu və elektrikkeçiriciliyi 100÷600K temperatur intervalında və 10³÷10⁶Hz tezliklər oblastında tədqiq olunmuşdur.

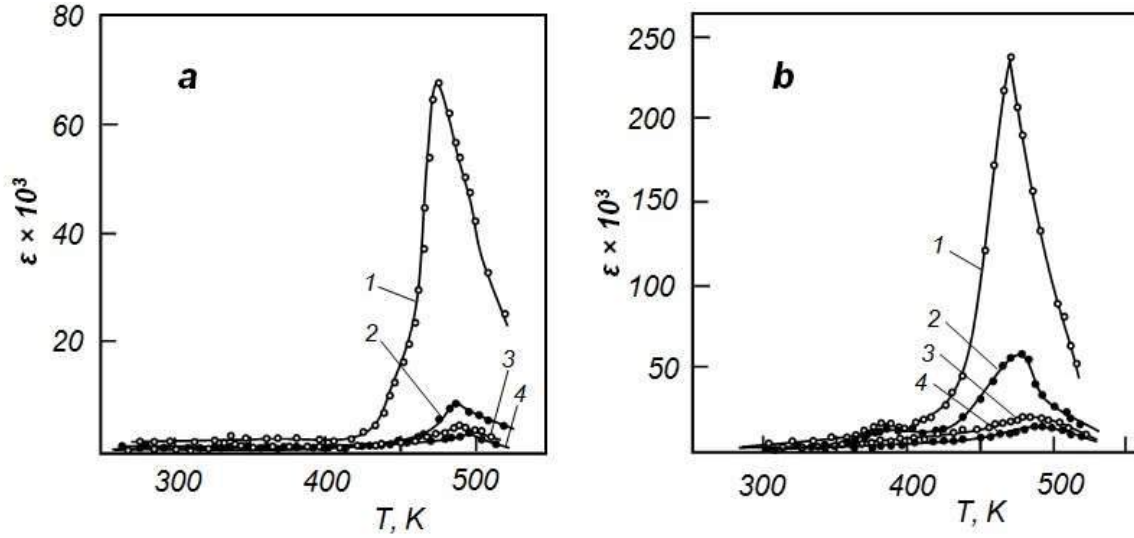
Dielektrik nüfuzluluğunun müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə ölçü tezliyindən və temperaturdan asılılığı Şəkil2-də verilmişdir. Şəkil 2(a,b) görüldüyü kimi, TlGaTe₂ kristalının dielektrik nüfuzluluğunun temperatur asılılığı əyriləri mürəkkəb xarakterlidir və temperaturun artması ilə dielektrik nüfuzluluğunun qiymətində anomaliyalar baş verir. Temperaturun artması ilə dielektrik nüfuzluluğunun qiyməti artır və faza keçidi temperaturunda maksimum qiymətə çatır, temperaturun növbəti artması ilə dielektrik nüfuzluluğunun qiymətində relaksasiya xarakterli azalma müşahidə olunur.

Şəkil 2 (a)-dan görüldüyü kimi, kristalın tetraqonal "c" oxuna perpendikulyar istiqamətdə dielektrik nüfuzluluğunun temperaturdan asılılığın-

da iki maksimum müşahidə olunur. 340K-də müşahidə olunan anomaliyanın intensivliyi ölçü tezliyinin qiyməti artdıqca azalır. Ölçmə sahəsinin tezliyinin artması ilə dielektrik anomaliyasının maksimuma uyğun qiyməti azalır və anomaliyanın maksimumu yuxarı temperatur oblastına tərəf sürüşür. 475K-də baş verən anomaliya üçün isə ölçmə sahəsinin tezliyinin 10kHs-dən 1MHs-dək dəyişdikdə c oxuna perpendikulyar istiqamətdə dielektrik nüfuzluluğu anomaliyalarının maksimumları yuxarı temperatura tərəf 15K sürüşür. Şəkildən görüldüyü kimi, aşağı tezliklərdə dielektrik anomaliyasının qiyməti ~10⁴ tərtibində olur.

Şəkil 2 (b)-də müxtəlif tezliklərdə "c" oxu istiqamətində dielektrik nüfuzluluğunun temperatur asılılıqları əyriləri göstərilmişdir. Şəkildən görüldüyü kimi, bu istiqamətdə baş verən dielektrik anomaliyalarının temperaturu DTA nəticələrinə uyğundur. Dielektrik anomaliyalarının maksimumlarının qiyməti isə uyğun tezliklərdə "c" oxuna perpendikulyar istiqamətdə dielektrik nüfuzluluğunun qiymətindən ~3 dəfə böyükdür. Müxtəlif tezliklərdə "c" oxu istiqamətində baş verən dielektrik anomaliyalarının temperaturları tezliyin 10kHs-dən 1MHs-dək artması ilə 17K artır.

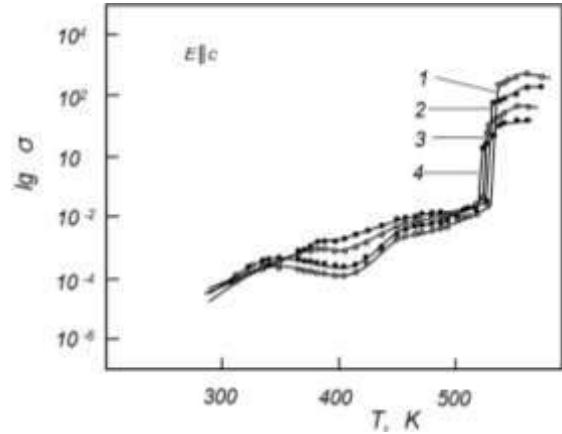
TlGaTe₂ kristalının 290÷600K temperatur intervalında elektrikkeçiriciliyinin temperaturdan ($\sigma(T)$) asılılığı Şəkil 3 və 4-də verilmişdir.



Şəkil 2

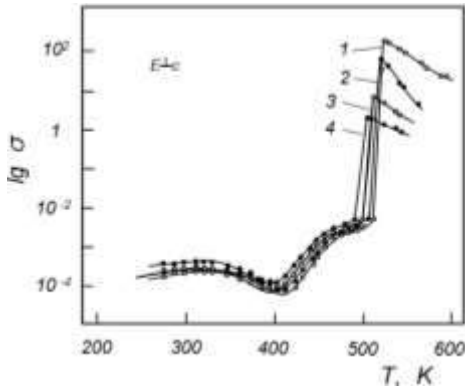
TlGaTe₂ kristalının dielektrik nüfuzluluğunun müxtəlif tezliklərdə temperatur asılılıqları (1-10 kHs, 2- 100 kHs, 3-500 kHs, 4-1 MHs). a- E_⊥c; b- E_{||}c.

Şəkillərdən görüldüyü kimi, keçiriciliyin temperaturdan asılılığında temperaturun müəyyən kritik qiymətində keçiriciliyin qiymətində bir neçə tərtib artma müşahidə olunur. Keçiriciliyin belə xarakterli artımı kritik temperaturdan yuxarıda ion keçiriciliyinin başlanması ilə bağlıdır. Kristalın tetraqonal “c” oxuna perpendikulyar istiqamətdə 490÷514K, “c” oxu istiqamətində isə 519÷527K temperatur oblastlarında ion keçiriciliyi halna faza keçidi baş verir. Şəkil 3 və 4-dən görüldüyü kimi, 10kHs və 100kHs tezliklərdə keçiriciliyin qiymətində 4 tərtib, 500kHs və 1MHs tezliklərdə isə 2 tərtib artma müşahidə olunur.



Şəkil 4

TlGaTe₂ kristalının “c” oxu istiqamətində elektrik keçiriciliyinin müxtəlif tezliklərdə temperatur asılılıqları (1-10kHs; 2- 100kHs; 3-500kHs; 4-1MHs).



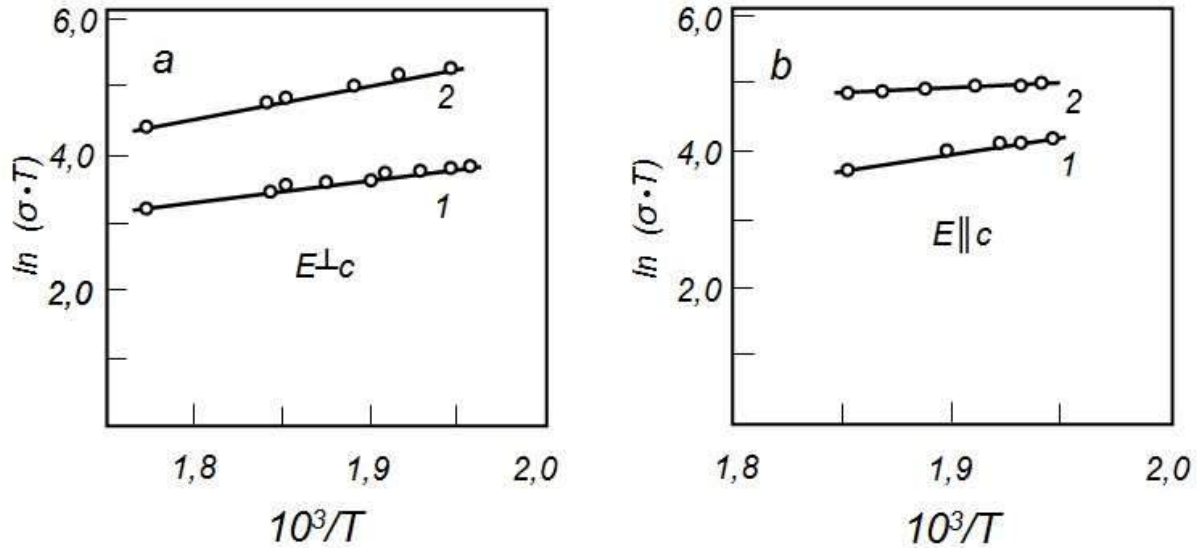
Şəkil 3

TlGaTe₂ kristalının “c” oxuna perpendikulyar istiqamətdə elektrik keçiriciliyinin müxtəlif tezliklərdə temperatur asılılıqları (1-10 kHs; 2- 100 kHs; 3-500 kHs; 4-1 MHs).

Şəkil 5 (a və b)-də ion keçiriciliyi üçün əsas şərt olan ln(σ,T)-nin 1/T asılılığı verilmişdir.

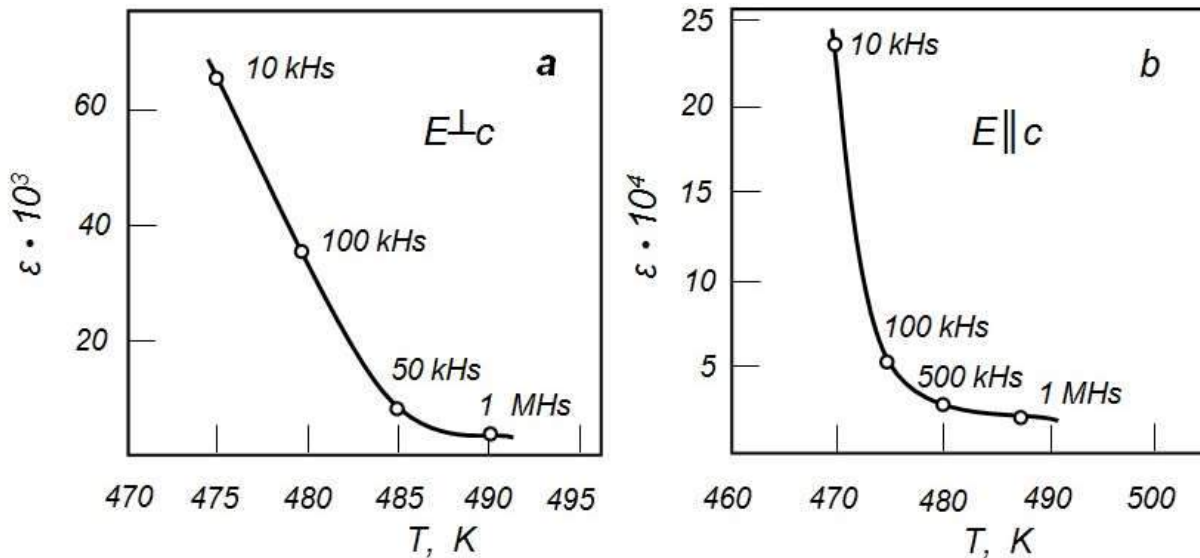
Şəkil 5-dən görüldüyü kimi, ion keçiriciliyinin müşahidə olunduğu oblastda bu asılılıq xətti qanunauyğunluğa tabe olur. Bu da ion keçirici materiallar üçün əsas şərtlərdən biridir.

Şəkil 6(a,b)-da TlGaTe₂ kristalının müxtəlif tezliklərdə dielektrik nüfuzluğu maksimumlarının temperatur asılılıqları göstərilmişdir. Hər iki şəkil-dən görüldüyü kimi, bu asılılıq eksponensial xarakterlidir.



Şəkil 5

TlGaTe₂ kristalının ion keçiriciliyi oblastında ln(σ·T)-nin 1000/T-dən asılılıqları (a-E_⊥c; b-E_∥c; 1-10kHs, 2- 100kHs).



Şəkil 6

TlGaTe₂ kristalının müxtəlif tezliklərdəki dielektrik nüfuzluğu maksimumlarının temperatur asılılıqları. a- E_⊥c; b- E_∥c.

Beləliklə, Şəkil 2 və 3-dən görüldüyü kimi, dielektrik nüfuzluluğunun müxtəlif tezliklərdə temperaturdan asılılığında uyğun olaraq 320÷340K temperaturda müşahidə olunan anomaliyalar elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığında da müşahidə olunmuşdur. Fikrimizcə 320÷340K temperaturda müşahidə olunan anomaliyalar alt qəfəsin eriməyə başladığı hala uyğun olaraq izah oluna bilər [7]. Müxtəlif ölçü tezliklərində elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqlarında 470÷520K temperaturlarda müşahidə olunan keçiriciliyin 4 tərtib

artması isə Tl alt qəfəsinin “əriməsi” nəticəsində kristalın ion keçiriciliyi halına keçidi ilə bağlıdır.

TlGaTe₂ nümunələrinin müxtəlif ölçü tezliyində dielektrik nüfuzluluğunun və elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılıqlarının tədqiqi nəticəsində alınmış nəticələr TlInTe₂ nümunələrində eyni adlı asılılıqların tədqiqi nəticələri ilə oxşardırlar [9]. Bu oxşarlıq hər iki kristalın eyni qəfəs quruluşunda kristallaması, qəfəsin əsasını təşkil edən [GaTe₄] və [InTe₄] tetraedlərinin davamlı olması və ion keçiriciliyi hadisələrində iştirak etməməsi, müşahi-

də etdiyimiz faza keçidlərinin qəfəsdə tomson kublarda yerləşmiş və Te ionları ilə zəif ion əlaqəsində olan Tl atomları ilə əlaqədar olması ilə bağlıdır. Alınan nəticələr göstərir ki, 485K-dən yuxarı temperaturda bu əlaqələr sınır və yaranan Tl ionları keçiriciliyin sıçrayışla artmasına səbəb olur.

Fikrimizcə, TlGaTe₂ və TlInTe₂ kristallarının müxtəlif ölçü tezliklərində $\epsilon(T)$ və $\sigma(T)$ asılı-

lıqlarında 320÷340K temperaturda müxtəlif kristalloqrafik istiqamətlərdə müşahidə edilən anomaliya Tl-Te əlaqələrinin zəifləməsi və polyarlaşması, 475÷490K temperaturlarda baş verən anomaliya isə Tl⁺ ionlarının qəfəs düyünlərini tərk etməsi və kristalın ion keçiriciliyi halına keçməsi ilə əlaqədardır.

1. D.Muller, F.E.Poltman, H.Hahn. *Zur struktur ternäre chalcogenide des Thallium mit Aluminium, Gallium und Indium, Z.Naturforsch*, **29** (1974) 117-118.
2. D.Muller, G.Eulenberger, H.Hahn. *Überternäre Thalliumchalcogenid mit Thallium selenidstruktur, Z. anorg. Allg. Chem.*, **398** (1973) 207-220.
3. А.А.Волков, Ю.Г.Гончаров, Г.В.Козлов и др. *Структурные фазовые переходы в кристалле TlInS₂, ФТТ*, **12** (1983) 25 3583-3585.
4. А.А.Волков, Ю.Г.Гончаров, Г.В.Козлов, Р.М.Сардарлы. *Расщепление мягкой моды в кристалле TlGaSe₂, Письма в ЖЭТФ*, **7** (1984) 39 293-295.
5. Р.М.Сардарлы, О.А.Самедов, А.П.Абдуллаев, Ф.Т.Салманов, И.И.Асланов, Р.Ш.Агаева, С.Ф.Самедов, Н.А.Алиева. *Ионная проводимость кристаллов TlGaTe₂, облученных γ – квантами. Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXXII** №2 (2012) 49-54.
6. Н.Х.Абрикосов, В.Ф.Банкина, Л.В.Порецкая, Е.В.Скуднова, С.Н.Чижевская. *Полупроводниковые халькогениды сплавы на их основе, М. Наука*, (1975) 219.
7. А.К.Иванов-Щиц, И.В.Мурин. *Ионика твердого тела, Изд-во Санкт-Петербургского университета*, **1** (2000) 616.
8. Р.М.Сардарлы, О.А.Самедов, А.И.Наджафов, А.П.Абдуллаев, Э.А.Зейналов, Д.Г.Джаббаров. *Анизотропия прыжковой проводимости в монокристалле TlGaTe₂, Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXV** №5 (2005) 45-50.
9. А.İ.Нəcəfov, О.З.Ələkbərov, N.Ə.Əliyeva, G.R.Mahmudova. *TlInTe₂ kristalının keçiriciliyinin və dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılıqlarının tədqiqi. Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXXVIII** №5 (2018) 35-40.

TEMPERATURE DEPENDENCE OF PERMITTIVITY AND ELECTRIC CONDUCTIVITY OF TlGaTe₂ CRYSTALS

A.I.NAJAFOV, N.A.ALIYEVA, G.R.MAHMUDOVA, E.S.TAPDIQOV

Temperature dependence of permittivity and electric conductivity of TlInTe₂ crystals at different frequencies in the 100÷600K temperature range has been studied. Anomalies have been observed at the temperature of 320÷340K and 530K in the temperature dependence of permittivity and electric conductivity. It has been determined that, the anomalies observed at low temperatures correspond to the state which Tl sublattice beginning to melt in crystalline structure, anomalies at 470÷514K has been connected with ionic conductivity with the transition as a result of the "melting" of Tl sublattice, wherein in conductivity has been observed conduction jump with 4 order increase.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ И
ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ КРИСТАЛЛОВ $TiGaTe_2$**

А.И.НАДЖАФОВ, Н.А.АЛИЕВА, Г. Р.МАХМУДОВА, Э.С.ТАПДЫГОВ

При разных частотах измерительного поля исследована температурная зависимость диэлектрической проницаемости и электропроводности кристаллов $TiGaTe_2$. Обнаружены аномалии в кривых зависимости $\epsilon(T)$ и $\sigma(T)$ при 320÷340К и 470÷514К. Показано, что аномалия $\epsilon(T)$ и $\sigma(T)$ при 320-340К соответствует состоянию «предплавления», а аномалии при температуре 470÷514К состоянию «плавления» подрешетки таллия. При этом наблюдается скачок проводимости кристалла на 4 порядка.