

PACS: 71.20.Eh, 72.20.Jv, 72.40.+W, 71.35.Cc.

TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,005) KRISTALLARININ ELEKTRİK VƏ DİELEKTRİK XARAKTERİSTİKALARI

K.M.HÜSEYNOVA

AMEA Fizika İnstitutu
AZ 1143, Bakı, H.Cavid prospekti, 131
kama.mag@rambler.ru

Daxil olub: 21.05.2019
Çapa verilib: 01.09.2019

REFERAT

Dəyişən elektrik sahəsində TlGa_{1-x}Er_xSe₂ bərk məhlullarının dielektrik nüfuzluğu, keçiriciliyi və dielektrik itgi bucağının tangensi 150-300K temperatur intervalında öyrənilmişdir. Tədqiq olunmuş kristallarda temperaturdan asılı olaraq dielektrik nüfuzluğunun dəyişməsi kiçik tezliklərdə relaksasiya polyarizasiyasının olması ilə əlaqədardır. TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,005) bərk məhlulun $\sigma_{ac}(f)$ asılılıq ayrılarında 10^2 - 10^4 Hz tezliklərdə $\sigma_{ac} \sim f^{0.8}$ qanuna tabe olur. Bu da onu göstərir ki, öyrənilən kristallarda Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar üzrə sıçrayışlı keçiricilik baş verir. TlGaSe₂ kristalının Er ilə aşqarlanması Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığını artırır, energetik səpilməni daraldır.

Açar sözlər: bərk məhlullar, dielektrik nüfuzluğu, dielektrik itgi bucağının tangensi, elektrik keçiriciliyi.

GİRİŞ

TlGaSe₂ kristalı tallium halkogenid A^{III}B^{III}C^{VI}₂ tipli birləşmələrinə aid laylı quruluşa malikdir. Geniş zonalı yarımkəçiricilər ailəsinə daxil olan TlGaSe₂ kristalı perspektivli materialdır. Bunun əsasında fotoelektrik keçiricilər, spektr analizatoru və rentgen neytron şüalanma detektorları hazırlanır [1]. TlGaSe₂ kristalları monoklin struktura malik olub, fəza qrupu C2/c-C⁶_{2h}-dir və elementar qəfəs parametrləri a=10.772Å, b=10.771Å, c=15.636Å, β=100,6° [2].

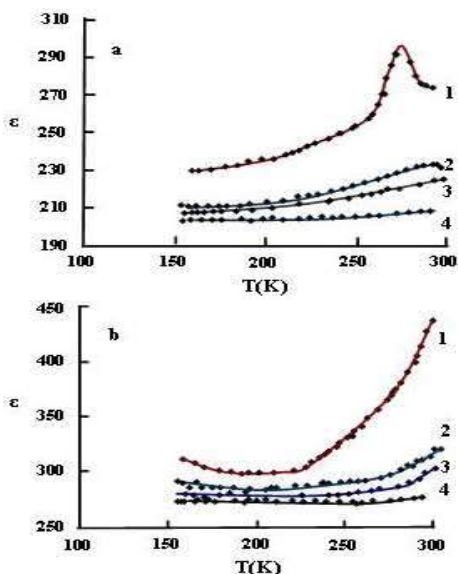
A^{III}B^{III}C^{VI}₂ tip ailəyə məxsus kristalların spesifik xüsusiyyəti ondan ibarətdir ki, bu yarımkəçiricilər həm də seqnetoelektrik xassələrə malikdirlər. Laylı quruluşlu olduğundan politip modifikasiyalar əmələ gəlir və buda onların fiziki xassələrinin dəyişməsinə səbəb olur [3]. Bundan başqa bu tip kristalların çox saylı nümayəndəsi ardıcıl fəza keçidinin olması ilə fərqlənir. Bu onlarda uzunperiodlu ölçüyə gələn və ölçüyə gəlməyən modullaşmış ifratstrukturlu olması ilə və onların temperaturun dəyişməsi ilə nəticələnir [4]. Bu kristallar praktik tətbiqə görə də əhəmiyyətliyərlər.

TƏCRÜBİ HİSSƏ

Dielektrik nüfuzluğunun (ϵ), elektrik keçiriciliyin (σ) və dielektrik itgi bucağının tangensinin tədölçmələri, müstəvi kondensator metodu ilə TlGaSe₂ monokristallik lövhələrdə aparılmışdır. Nümunələrin qalınlığı 0,2-0,3mm idi. Ölçmə E7-25 rəqəmli cihazı ilə 25 - 10^6 Hz tezliklərdə və 150-300K-də aparılmışdır. Təcrübələr TlGa_(1-x)Er_xSe₂ (x=0; 0,005) nümunələrində aparılmışdır. Nümunələrə omik kontakt olaraq gümüş pastası çəkilmişdir.

NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

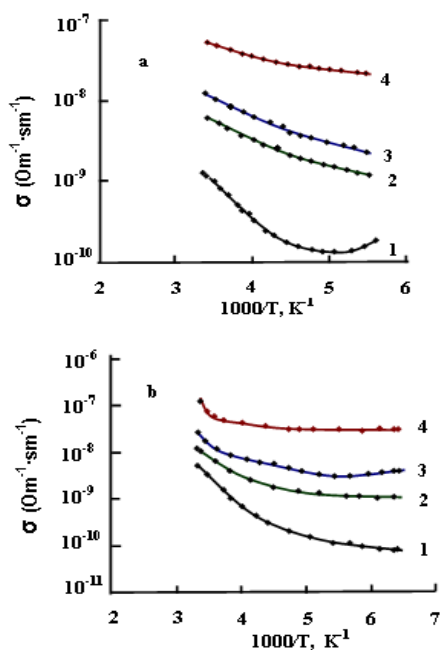
TlGa_(1-x)Er_xSe₂ (x=0; 0,005) kristalların dielektrik xassələrinin tədqiqi 150-300K temperatur intervalında müxtəlif tezliklərdə aparılmışdır. Şəkil 1(a) (TlGaSe₂) və 1(b) (Er 0,5%-də ϵ -dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılıqları verilmişdir. TlGa_{0,995}Er_{0,005}Se₂ nümunə üçün şəkildən görünüyü kimi ϵ qiyməti temperatur artıqca artır.



Şəkil 1

TlGa_{1-x}Er_xSe₂ kristallarının dielektrik nüfuzluğunun temperaturdan asılılığı: a) x=0; b) x=0,005 (1-1kHs, 2-10 kHs, 3-100kHs, 4-1MHs).

Şəkil 2(a) və 2(b)-də elektrik keçiriciliyinin (σ) temperatur asılılığı verilmişdir.

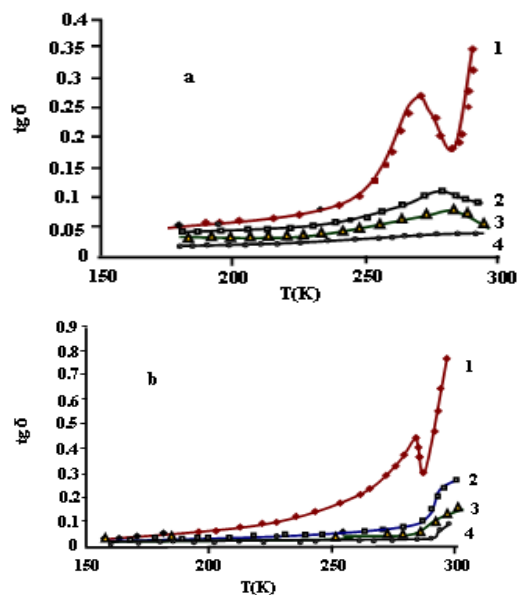


Şəkil 2

TlGa_{1-x}Er_xSe₂ kristallarının elektrik keçiriciliyinin temperaturun tərs qiymətindən asılılığı: a) x=0, b) x=0,005; (1-1kHs, 2-10 kHs, 3-100kHs, 4-1MHs).

TlGa_{0,995}Er_{0,005}Se₂ nümunələr üçün şəkildən görüldüyü kimi dielektrik nüfuzluğunda olduğu kimi elektrik keçiriciliyinin qiyməti də temperatur artıqca artır. σ -ın mütləq qiyməti ölçü sahəsinin tezliyindən asılıdır ki, bu da aşağı temperaturlarda daha kəskin görünür. σ -ın qiyməti tezlik artıqca bir neçə tərtib artır. Aşağı temperaturlarda keçiricilik praktik olaraq temperaturdan asılı olmur. Yüksək temperatur oblastında keçiricilik $\sigma \sim e^{1/T}$ qanunu ilə eksponensial artır. Bu onu göstərir ki, yüksək temperaturlarda σ əsasən əsas yükdaşıyıcıların konsentrasiyasından asılı olur.

Şəkil 3(a) və 3(b) dielektrik itgi bucağının tangensinin ($\text{tg}\delta$) temperatur asılılığı verilmişdir. Şəkillərdən görüldüyü kimi TlGa_{0,995}Er_{0,005}Se₂ kristalının dielektrik itgi bucağının tangensinin qiymətləri TlGaSe₂ ilə müqayisədə temperatur artıqca artır. Bu artımı sərbəst yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə əlaqələndirmək olar.

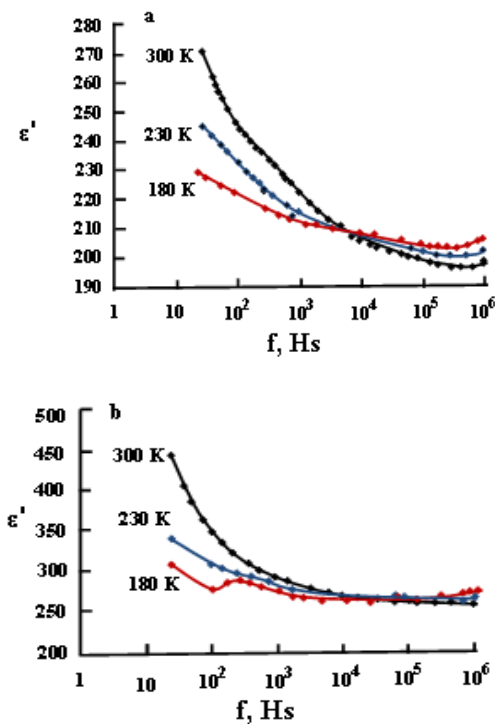


Şəkil 3

TlGa_{1-x}Er_xSe₂ kristallarının dielektrik itgi bucağının temperaturdan asılılığı: a) x=0; b) x=0,005 (1-1kHs, 2-10 kHs, 3-100kHs, 4-1MHs).

Şəkil 4-dən görünür ki tezliyin artması ilə TlGa_{1-x}Er_xSe₂ bərk məhlullarının dielektrik nüfuzluğunun qiyməti azalır. Tədqiq olunan kristallarda dielektrik nüfuzluğunun belə gedişi kiçik tezliklərdə relaksasiya polarizasiyasının olması ilə əlaqədardır və aşağı tezliklərdə dielektrik itgisi əmələ

gətirir. Dielektrik itgi bucağının tgδ(T) ayrılırlarında yarımkəçiricilərə məxsus maksimumlar görünür və ölçü sahəsinin tezliyinin 1kHs-dən 1MHs-ə qədər artması zamanı maksimum bir qədər yayılır. Hansı ki, bu maksimumlar dielektrik nüfuzluğunun qiymətinin kəskin artdığı temperatur oblastında yerləşir. Bu anomaliyanın olması TlGaSe₂-də seqnetoelektrik faza keçidinin olması hesabınadır və bir də bu temperatur oblastında ölçüyə gəlməyən fazanın olması hesabınadır [5]. TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,005) nümunələrin müxtəlif temperaturlarda kompleks dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin (ε') tezlikdən asılılığı Şəkil 4-də verilmişdir.



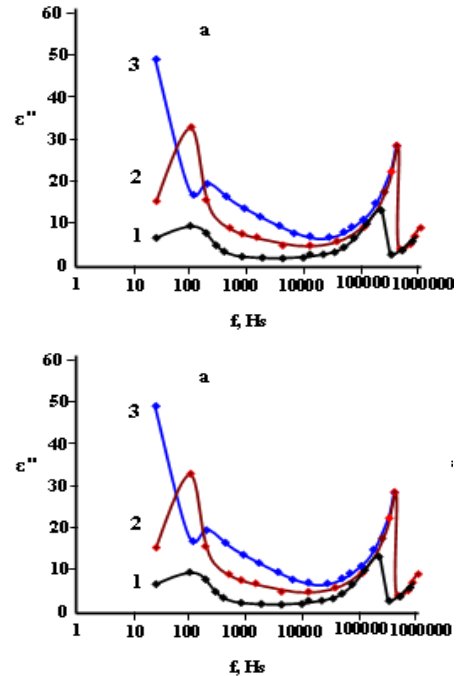
Şəkil 4

TlGa_{1-x}Er_xSe₂ kristallarının dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin tezlikdən asılılığı:
a) x=0; b) x=0,005 T=180, 230, 300K.

Şəkildən görünür ki, bütün ölçülən tezlik diapazonunda (ε') TlGaSe₂ və TlGa_{0,995}Er_{0,005}Se₂ üçün azalma müşahidə olunur. Temperaturun artması və həmçinin TlGaSe₂ kristalında 0,5% Er aşqarlandığında dielektrik nüfuzluğunun (ε') həqiqi hissəsinin qiymətini nəzərə çarpacaq dərəcədə artır.

TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,05) kristallarının müxtəlif temperaturalarda kompleks dielektrik nüfuzlu-

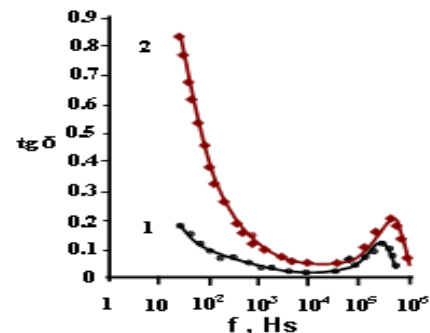
ğunun xəyali ε'' hissəsinin tezlikdən asılılığı Şəkil 5-də verilmişdir. Kompleks dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin tezlikdən asılılığının relaksasiya xarakteri daşdığı müəyyən edilmişdir.



Şəkil 5

TlGa_{1-x}Er_xSe₂ kristallarının dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin tezlikdən asılılığı: a) x=0; b) x=0,005; 1-180K, 2-230K, 3-300K.

Şəkil 6-da TlGaSe₂ (əyri 1) və TlGa_{0,995}Er_{0,005}Se₂ (əyri 2) kristallarının dielektrik itgisinin tangensinin (tgδ) tezlikdən asılılıqlarının müqayisəsi verilmişdir.

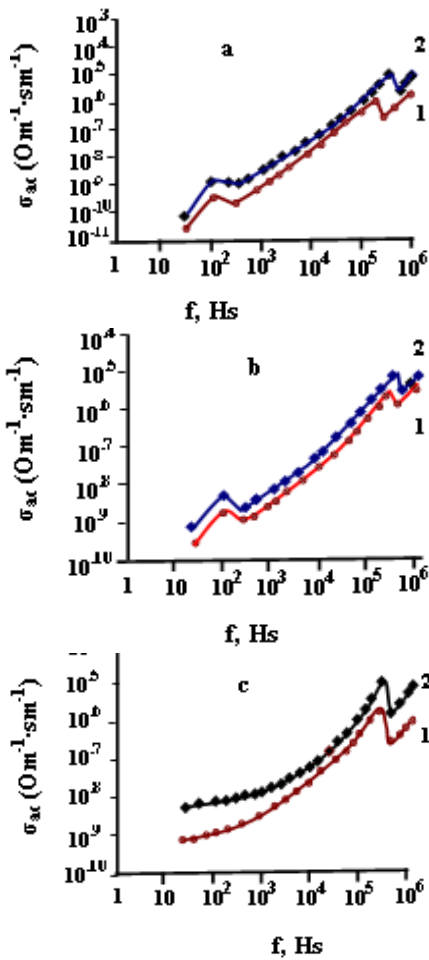


Şəkil 6

TlGa_{1-x}Er_xSe₂ kristallarının dielektrik itgi bucağının tangensinin (tgδ) tezlikdən asılılığı: 1) x=0; 2) x=0,005, T=300K.

Göründüyü kimi bu asılılıq hiperbolik azalma ilə xarakterizə olunur, buda keçiriciliyin itgisi ilə əlaqədardır. Yüksək tezliklərdə $\tau\delta$ -nın artması relaksasiya itgilərin olmasını göstərir. TlGaSe_2 -yə nisbətən $\text{TlGa}_{0,995}\text{Er}_{0,005}\text{Se}_2$ kristalının dielektrik itgisinin tangens bucağının qiyməti nəzərə çarpacaq dərəcədə artır.

Həmçinin $\text{TlGa}_{1-x}\text{Er}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,005$) kristallarının (Şəkil 7) ac-keçiriciliyinin tezlikdən asılılığı öyrənilmişdir. $\text{TlGa}_{0,995}\text{Er}_{0,005}\text{Se}_2$ bərk məhlulu üçün σ_{ac} qiyməti TlGaSe_2 kristalı ilə müqayisədə daha yüksək olur.



Şəkil 7

$\text{TlGa}_{1-x}\text{Er}_x\text{Se}_2$ kristallarının keçiriciliyinin tezlikdən asılılığı: 1) $x=0$ və 2) $x=0,005$; (a-180 K, b-230 K, c-300K).

$\text{TlGa}_{1-x}\text{Er}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,005$) bərk məhlul $\sigma_{ac}(f)$ asılılıq ayrılərində 3 hissə müşahidə olunur: 1-ci halda $\sigma_{ac} \sim f^{0,6}$ müşahidə edilirdi sonra isə $\sigma_{ac} \sim f^{0,8}$ ($10^2 \div 10^4$ Hz-də) qanunu ilə artırdı. Tezliyin

qiymətinin 1 MHz-ə qədər artdıqda isə $\sigma_{ac} \sim f^{1,2}$ qədər əvəz olunurdu. Biz tərəfdən alınan $\sigma_{ac} \sim f^{0,8}$ qanuna tabe olması Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar üzrə sıçrayışlı keçiriciliyin baş verməsini göstərir [6].

$\text{TlGa}_{1-x}\text{Er}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,005$) bərk məhlulların Mott yaxınlaşması çərcivəsində hesablanmış parametrləri ($f=10^4$ Hz) cədvəldə verilmişdir. Tezliyin $10^2 \div 10^4$ Hz intervalında tədqiq olunan kristallarda $\sigma_{ac} \sim f^{0,8}$ asılılığı müşahidə edilir. $\text{TlGa}_{1-x}\text{Er}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,005$) bərk məhlulları üçün Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar sıxlığı (N_F) Mott nəzəriyyəsinə görə aşağıdakı düsturla tapılmışdır

$$\sigma_{ac}(f) = \frac{\pi^3}{96} e^2 k T N_F^2 a^5 f \left[\ln \left(\frac{v_{ph}}{f} \right) \right]^4, \quad (1)$$

burada e - elektrik yükü, k - Bolsman sabiti, N_F - Fermi səviyyəsi yaxınlığındakı hallar sıxlığı, $a=1/\alpha$ - lokallaşma radiusu, α isə lokallaşmış yük daşıyıcıların dalğa funksiyasıdır $\psi \sim e^{-\alpha r}$; v_{ph} - fonon tezliyidir. Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar sıxlığının qiymətini hesablayarkən TlGaSe_2 kristalı üçün lokallaşma radiusu $a=34 \text{ \AA}$ götürülmüşdür [7]. Mott nəzəriyyəsinə əsasən hesablanmış Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar sıxlığının (N_F) qiyməti cədvəldə verilmişdir. Cədvəldən göründüyü kimi, temperaturun artması və 0,5% Er olan nümunələrdə Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar sıxlığının qiyməti artır ($x=0$ olduqda $N_F=2,23 \times 10^{18} \text{ eV}^{-1} \text{ sm}^{-3}$, $x=0,005$ olduqda isə $N_F=3,08 \times 10^{18} \text{ eV}^{-1} \text{ sm}^{-3}$). Dəyişən cərəyanda sıçrayışlı keçiricilik nəzəriyyəsinə görə sıçrayışlar arası məsafəsi (R)

$$R = \frac{1}{2\alpha} \ln \left(\frac{v_{ph}}{f} \right) \quad (2)$$

ifadəsinə əsasən təyin olunur.

$\text{TlGa}_{1-x}\text{Er}_x\text{Se}_2$ ($x=0; 0,005$) kristalları üçün sıçrayışın uzunluğunun (R -in) qiyməti hesablanmış və 10^4 Hz tezlikdə 312 \AA alınmışdır.

$$\Delta E = \frac{3}{2\pi R^3 \cdot N_F}. \quad (3)$$

Cədvəl 1

Yüksək tezlikli dielektrik ölçülərindən alınmış TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,005) kristalların Mott yaxınlaşması çərçivəsində hesablanmış parametrləri.

Kristalın tərkibi TlGa _{1-x} Er _x Se ₂	T (K)	N _F , eV ⁻¹ sm ⁻³	ΔE, meV	N _t , sm ⁻³
x=0	180	1,54 · 10 ¹⁸	10	1,54 · 10 ¹⁶
	230	1,76 · 10 ¹⁸	9	1,56 · 10 ¹⁶
	300	2,23 · 10 ¹⁸	7	1,57 · 10 ¹⁶
x=0,005	180	2,48 · 10 ¹⁸	6,7	1,66 · 10 ¹⁶
	230	2,58 · 10 ¹⁸	6,3	1,62 · 10 ¹⁶
	300	3,08 · 10 ¹⁸	5	1,54 · 10 ¹⁶

(3) ifadəsinə əsasən TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,005)-də Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların energetik səpilməsini ΔE qiymətləndirmək olar.

Cədvəl 1-dən görünür ki, temperaturun artması və Er nümunələrdə olması Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığını artırır, energetik səpilməni ΔE daraldır, və lokal səviyyələrin konsentrasiyasının qiymətini dəyişir. Beləliklə, müəyyən edilmişdir ki, TlGaSe₂ kristalına erbiyum daxil edəndə onun fiziki xassələri modifikasiya olunur.

- И.В.Алексеев. *Semiconductor detector of neutron radiation based on TlInSe₂, Приборы и техника эксперимента*, **3** (2008) 9-13.
- D.Muller, H.Hahn. *Zur Struktur des TlGaSe₂*, *Z. Anorg. Allgem. Chem.*, **438** (1979) 258-272.
- A.M.Panich. *Electronic Properties and Phase Transitions in Low-demensional Semiconductors*, *J.Phys.: Condens. Matter.*, **20** (2008) 1-70.
- A.D.Beliaev, Yu.P.Gololobov, K.S.Dubrova. *About phase transitions in TlGaSe₂ crystals*, *UFZh*, **36** (1991) 1258-1261.
- H.D.Hochheimer, E.Gmelin, W.Bauhofer. *Study of the ferroelectric phase transition of TlGaSe₂ by dielectric, calorimetric infrared and X-ray diffraction measurements*, *Z. Phys. B. Condens. Matter.*, **73** (1988) 257-263.
- Н.Мотт, Э.Дэвис. *Электронные процессы в некристаллических веществах*, М.: Мир, (1982) 368.
- С.Н.Мустафаева, В.А.Алиев, М.М.Асадов. *Анизотропия прыжковой проводимости в монокристаллах TlGaSe₂*, *ФТТ*, **40** (1998) 48–51.

ELECTRICAL AND DIELECTRIC CHARACTERISTICS OF TlGa_{1-x}Er_xSe₂ CRYSTALS (x=0; 0.005)

K.M.HUSEYNOVA

The electrical conductivity, dielectric constant, and dielectric loss tangent of the TlGa_{1-x}Er_xSe₂ solid solution in an alternating electric field have been investigated. The change in the dielectric constant as a function of temperature (150÷300K) at low frequencies was associated with the presence of relaxation polarization. From the curves of σ_{ac}(f) in TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0.005) crystals it has been seen that at frequencies of 10²÷10⁴Hz, it obeyed the law σ_{ac}~f^{0.8}. This indicated the presence of a hopping mechanism of charge transfer in states localized near the Fermi level. Doping the TlGaSe₂ crystal with erbium increased the density of states localized near the Fermi level and reduced their spread.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КРИСТАЛЛОВ TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,005)

K.M.ГУСЕЙНОВА

Исследована электропроводность, диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь твердого раствора TlGa_{1-x}Er_xSe₂ в переменном электрическом поле. В исследованных кристаллах изменение диэлектрической проницаемости в зависимости от температуры (150-300K) при низких частотах связано с наличием релаксационной поляризации. Из кривых зависимости σ_{ac}(f) в кристаллах TlGa_{1-x}Er_xSe₂ (x=0; 0,005) видно, что при частотах 10²÷10⁴Гц она подчиняется закону σ_{ac}~f^{0.8}, а это указывает на наличие прыжкового механизма переноса заряда по локализованным вблизи уровня Ферми состояниям. Легирование кристалла TlGaSe₂ эрбием увеличивает плотность локализованных вблизи уровня Ферми состояний и уменьшает их разброс.