

UOT 538.975; 537.226.4

FeGaInSe₄-ün DIELEKTRİK İTKİSİNİN TEZLİK VƏ TEMPERATURDAN ASILILIĞI

N.N.NİFTİYEV, F.M.MƏMMƏDOV*, M.B.MURADOV**, E.S.HUSEYNOVA***

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
AZ 1000, Bakı şəh., Ü.Hacıbəyli, 34
*AMEA Kataliz və Qeyri-üzvü Kimya İnstitutu**
AZ 1143, Bakı şəh., H. Cavid pr., 29
*Bakı Dövlət Universiteti***
AZ 1148, Bakı şəh., Z.Xəlilov küç., 23
*Azərbaycan Tibb Universiteti****
AZ 1022, Bakı şəh., Bakixanov, 23
namiq7@bk.ru

Daxil olub: 17.12.2019
Çapa verilib: 28.02.2020

Açar sözlər: kristal, dielektrik itkisi, aktivləşmə enerjisi, tezlik, temperatur, zona və sıçrayış mexanizmi.

REFERAT

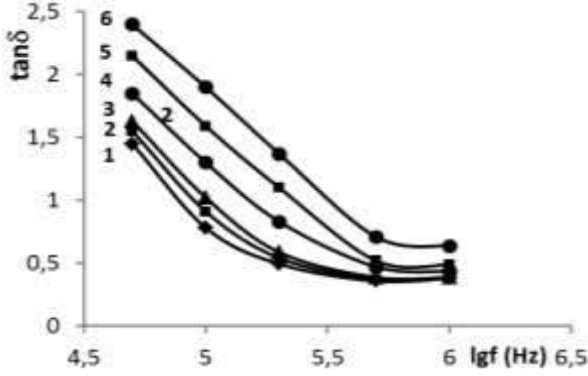
FeGaInSe₄-ün dielektrik itkisinin tangens bucağının tezlik və temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan temperatur intervalında dielektrik itkisi elektrik keçirici mexanizmi ilə əlaqədardır. FeGaInSe₄ kristalı üçün elektrik keçiriciliyi iki mexanizm ilə əlaqədar olur: zona və sıçrayış. $2 \cdot 10^5$ və $5 \cdot 10^5$ Hz tezliklərdə aktivləşmə enerjisi hesablanmış və uyğun olaraq aşağı temperaturlu oblastda 0,05 və 0,013 eV, yuxarı temperaturlu oblastda isə 0,35 və 0,19 eV qiymətləri tapılmışdır.

Yeni funksional imkanlara malik yarım-keçirici cihazların yaradılma biləcəyi fiziki xassələri olan materialların tədqiqi və hazırlanması aktual məsələdir. Belə vacib xassəli materiallara AB₂X₄ (burada A - Mn, Fe, Co, Ni; B - Ga, In; X - S, Se, Te) tipli üçlü halkogenid birləşmələrini aid etmək olar [1-15]. Bu birləşmələrin əsasında lazerlər, işıq modulyatorları, fotodetektorlar, termorezistorlar, düzləndiricilər və s. funksional qurğular yaratmaq perspektivlidir. Bu materialların əsasında fəthəssas sturukturlar hazırlanmışdır [8-11]. FeIn₂S₄ birləşməsindən nanokristal sintez edilmişdir [2]. FeIn₂Se₄ monokristalından istifadə edərək heteroqəçid yaradılmışdır [12]. Hazırkı işdə qeyd edilən birləşmələr sinfinə aid FeGaInSe₄-ün dielektrik itkisinin tezlik və temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. FeGaInSe₄ birləşməsi kubik quruluşlu FeGa₂Se₄ (fəza qrupu F $\bar{4}3m$) və triqonal quruluşlu FeIn₂Se₄ (fəza qrupu R3m)-ün 1:1 münasibətindən alınmışdır. Rentqenoqrafik me-

todla analiz nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, FeGaInSe₄ kristal qəfəs parametrləri $a=0,39290(1)\text{nm}$ və $c=3,8542(6)\text{nm}$ olan triqonal sinqoniyaya (fəza qrupu R3m) kristallaşır [16]. Dielektrik itkisinin tangens bucağını ölçmək üçün qalınlığı $\sim 0,1\text{mm}$ olan FeGaInSe₄ kristal lövhələrə gümüş pastası vuraraq kondensatorlar hazırlanmış və ölçümlər E7-20 ($25 \div 10^6\text{Hz}$) rəqəmli immetans ölçü cihazından istifadə etməklə aparılmışdır. Kristallar $293 \div 400\text{K}$ temperatur intervalında tənzimləmə bilən kriostatda yerləşdirilmişdir. Temperatur ölçmələrinin dəqiqliyi $\pm 0,5\text{K}$ təşkil edir. Nümunəyə 1V gərginlik verilmişdir.

Şəkil 1-də müxtəlif temperaturalarda itki bucağının tangensinin ($tg\delta$) dəyişən elektrik sahəsinin tezliyindən (Igf) asılılıq qrafiki verilmişdir. Şəkildən görünür ki, tədqiq olunan temperaturalarda ($294 \div 343\text{K}$) tezlik artdıqca ($5 \cdot 10^4 \div 10^6\text{Hz}$) itki bucağının tangensinin qiyməti azalır və temperatur yüksəldikdə $tg\delta$ -nın

qiyməti artır. Dielektrik itkisini təsvir etmək üçün itki bucağının tangensindən istifadə edilir. İtki bucağı tangensi ədədi qiymətə keçirici cərəyanın yerdəyişmə cərəyanına nisbətində bərabərdir. tgδ dielektriki xarakterizə etməklə dəyişən elektrik sahəsində fiziki məna kəsb edir.



Şəkil 1

FeGaInSe₄ kristalı üçün müxtəlif temperaturalarda tgδ-İgf asılılığı. T, K; 1-294, 2-303, 3-313, 4-323, 5-333, 6-343.

Dielektriklərdə itki bucağının tangensini belə ifadə etmək olar [17]

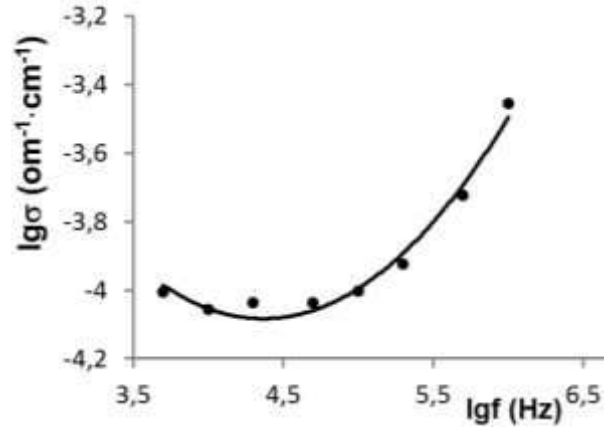
$$tg\delta = \frac{I_a}{I_r} = \frac{I}{\omega C_R R} = \frac{\sigma}{\varepsilon \varepsilon_0 \omega}, \quad (1)$$

burada I_a - R müqavimətinə malik nümunədən keçən aktiv cərəyan, I_r - C tutumlu kondensatordan keçən reaktiv cərəyan, $\omega=2\pi f$ - dairəvi tezlik, σ - elektrik keçiricilik, ε_0 - elektrik sabiti, ε - dielektrik nüfuzlüğüdür.

FeGaInSe₄ birləşməsində itki bucağının tangensinin tezliklə tərs mütənasib $tg\delta \sim 1/\omega$ asılılığı ödənilir. Aktiv keçiricilik kifayət qədər yüksək olduğu üçün qrafikdə relaksasiya maksimumu müşahidə edilmir (Şəkil 1).

Şəkil 2-də FeGaInSe₄ birləşməsinin 294K temperaturda elektrik keçiriciliyinin tezlikdən asılılıq qrafiki təsvir edilmişdir. $\sigma(f)$ asılılığından görünür ki, $5 \cdot 10^4 \div 10^6$ Hz tezlik intervalında $\sigma \sim f^S$ qanunauyğunluğu müşahidə olunur. 294K temperaturda qeyd olunan tezlik intervalında $s = 0,15 \div 0,91$ qiymətlərini alır. Məlumdur ki, kristal və amorf yarı keçiricilərdə elektrik keçiriciliyinin tezlikdən asılı olaraq dəyişməsi $\sigma \sim f^S (0,01 \leq S \leq 1,0)$ qanunu üzrə

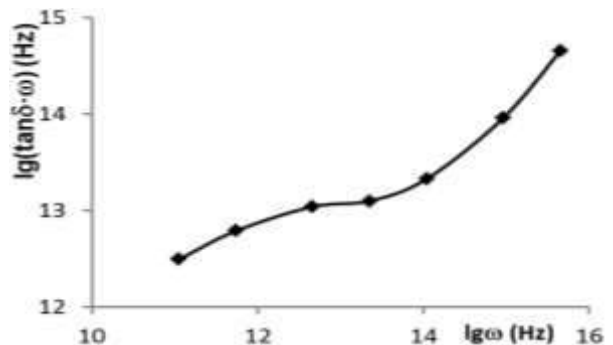
baş verərsə, bu zaman keçiricilikdə sıçrayış mexanizmi baş verir [18].



Şəkil 2

294K temperaturda FeGaInSe₄ kristalının elektrik keçiriciliyinin elektrik sahəsinin tezliyindən asılılığı.

Şəkil 3-də FeGaInSe₄ kristalı üçün 294K temperaturda $lg(tg\delta \cdot \omega)$ -nın $lg\omega$ -dan asılılıq qrafiki qurulmuşdur. Dielektrik itkisinin tezlik asılılığı keçiriciliyin mexanizmindən asılıdır. Keçiricilikdə üstün rol oynayan məlum mexanizmlər üçün dielektrik itkisinin tangens bucağının tezlikdən asılılığı müxtəlifdir. Məsələn, keçiricilikdə üstün rol oynayan zona mexanizmində $tg\delta \cdot \omega = f(\omega)$ koordinatında düz xətt asılılığı müşahidə edilməlidir. Şəkildən görünür ki, 294K temperaturda asılılıq düz xətdən fərqli olur. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, tədqiq olunan temperaturda keçiricilik qarışıq mexanizm ilə əlaqədardır.



Şəkil 3

FeGaInSe₄ kristalı üçün 294K temperaturda $lg(tg\delta \cdot \omega) \sim lg\omega$ asılılığı.

Dielektrik və yarımkəçiricinin elektrik keçiriciliyinin temperatur asılılığı $\sigma \sim \exp(-\Delta E_{\sigma}/kT)$ və polyarizasiyanın relaksasiya müddəti $\tau \sim \exp(\Delta E_{\mu}/kT)$ ilə əlaqəlidir, burada ΔE_{σ} və ΔE_{μ} uyğun olaraq elektrik keçiriciliyinin və yüyürüklüyün aktivləşmə enerjisidir. Dielektrik və ya pis keçirən yarımkəçiricinin dielektrik itkisinin tangens bucağı aşağı tezlikli oblastda $\omega = \text{const}$ olduqda $\Delta E_{\sigma} \neq \Delta E_{\mu}$ olar.

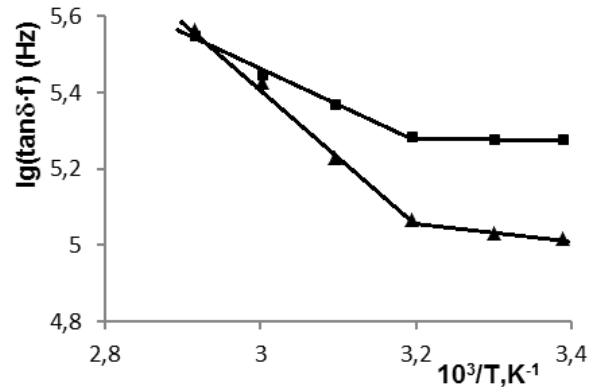
FeGaInSe₄-də temperatur artdıqca $tg\delta$ -nin artması onu göstərir ki, tədqiq olunan temperatur intervalında dielektrik itkisi əsasən keçiricilik cərəyanından təyin olunur. Ona görə də yazmaq olar [4]

$$tg\delta(T) \sim \frac{1}{\omega} \exp(-\Delta E_{\sigma} / kT). \quad (2)$$

(2)-dən görünür ki, aşağı tezlikli oblastda ($\omega\tau \ll 1$) elektrik keçiriciliyinin əsas rol oynadığı dielektrik itkisi $\lg(tg\delta \cdot \omega) \sim f(1/T)$ koordinat sistemində düz xətt asılılığı olmalıdır. Uyğun düz xəttin meyl bucağı keçiriciliyin aktivləşmə enerjisini xarakterizə etməlidir.

Şəkil 4-də FeGaInSe₄ birləşməsi üçün $2 \cdot 10^5$ (1) və $5 \cdot 10^5$ Hz (2) tezliklərdə $\lg(tg\delta \cdot f) \sim f(1/T)$ koordinat sistemində $\lg(tg\delta \cdot f)$ -in $10^3/T$ -dən ($f = \frac{\omega}{2\pi}$) asılılıq qrafiki təsvir edilmişdir. Şəkildən görünür ki, asılılıq müxtəlif meyllərə malik iki düz xətdən ibarətdir. Düz xətt meyllərindən $\Delta E^{tg\delta}$ aktivləşmə enerjisi hesablanmışdır. Aşağı temperaturu oblastda $2 \cdot 10^5$ və $5 \cdot 10^5$ Hz tezliklərdə aktivləşmə enerjisi uyğun olaraq 0,05 və 0,013 eV-a bərabər olur. Yuxarı temperaturu oblastda isə həmin tezliklərdə aktivləşmə enerjisinin qiyməti 0,35 və 0,19 eV olur. Göründüyü kimi hər iki temperatur oblastında tezlik artdıqca aktivləşmə

enerjisinin qiyməti azalır. Bu onu göstərir ki, dielektrik itkisi elektrik keçirici mexanizmi ilə əlaqədardır. Hər iki oblastda aktivləşmə enerjisinin tezlikdən asılı olaraq dəyişməsi və elektrik keçiriciliyinin tezlikdən asılılığının $\sigma \sim f^S$ ($0,1 \leq S \leq 0,91$) qanunu üzrə baş verməsi (Şəkil 2) onu göstərir ki, FeGaInSe₄ kristalı üçün elektrik keçiriciliyi iki mexanizm ilə əlaqədar olur: zona və sıçrayış [4].



Şəkil 4

FeGaInSe₄ kristalı üçün müxtəlif tezliklərdə $\lg(tg\delta \cdot f) \sim 10^3/T$ asılılığı. f , Hz: $1-2 \cdot 10^5$, $2-5 \cdot 10^5$.

Beləliklə, FeGaInSe₄ birləşməsinin dielektrik itkisinin tezlik və temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, tədqiq olunan temperatur intervalında dielektrik itkisi keçiricilik cərəyanından təyin olunur. FeGaInSe₄ kristalı üçün elektrik keçiriciliyi iki mexanizm ilə əlaqədar olur: zona və sıçrayış. $2 \cdot 10^5$ və $5 \cdot 10^5$ Hz tezliklərdə aktivləşmə enerjisi hesablanmış və uyğun olaraq aşağı temperaturu oblastda 0,05 eV və 0,013 eV, yuxarı temperaturu oblastda isə 0,35 və 0,19 eV qiymətləri tapılmışdır.

1. Н.Н.Нифтиев, Ф.М.Мамедов, В.И.Гусейнов, С.Ш.Курбанов. *Электронпроводность монокристаллов FeIn₂Se₄ на переменном токе*, ФТП, **52** (2018) 535-537.
2. H.Kim, A.P.Tiwari, E.Hwang, Y.Cho, H.Hwang, S.Bak, Y.Hong, H.Lee. *FeIn₂S₄ Nanocrystals: A Ternary Metal Chalcogenide*

Material for Ambipolar Field-Effect Transistors, Adv. Sci., **5** (2018) 1800068, www.advancedsciencenews.com.

3. B.R.Myong, J.T.Lim, C.S.Kim. *Investigation of magnetic properties on spin-ordering effects of FeGa₂S₄ and FeIn₂S₄*, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, **438** (2017) 121-125.

4. Ф.М.Мамедов, Н.Н.Нифтиев, *Диэлектрические свойства слоистых монокристаллов FeGaInS₄ в переменном электрическом поле*, *ФТП*, **50** (2016) 1225-1229.
5. S.V.Trukhanova, I.V.Bodnar, M.A.Zhafar. *Magnetic and electrical properties of (FeIn₂S₄)_{1-x}(CuIn₅S₈)_x solid solutions*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **379** (2015) 22-27.
6. C.Rincóna, T.E.Torresbde, V.Sagredo, S.J.Jiménez-Sandovalc, E.Mares-Jacintoc. *The fundamental absorption edge in MnIn₂Se₄ layer semi-magnetic semiconductor*, *Physica B: Condensed Matter*, **477** (2015) 123-128.
7. Н.Н.Нифтиев, О.Б.Тагиев, М.Б.Мурадов, Ф.М.Мамедов. *Электрические свойства FeIn₂S₄ на переменном токе*, *Журнал технической физики*, **82** (2012) 147-149.
8. И.В.Боднар, В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь. *Фоточувствительные структуры на монокристаллах MnIn₂S₄: создание и свойства*, *ФТП*, **43** (2009) 1549-1552.
9. И.В.Боднар, С.А.Павлюковец, В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь. *Выращивание монокристаллов FeIn₂S₄ и создание фоточувствительных структур на их основе*, *ФТП*, **43** (2009) 1553-1556.
10. И.В.Боднар, В.Ю.Рудь, Ю. В.Рудь, Е.И.Теруков. *Выращивание монокристаллов (In₂S₃)_x(FeIn₂S₄)_{1-x} и свойства фоточувствительных структур на их основе*, *ФТП*, **44** (2010) 39-43.
11. В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь, М.А.Осипова, И.В.Боднар. *Обнаружение твердых раст-воров (In₂S₃)_x(MnIn₂S₄)_{1-x} и создание фото-чувствительных структур на их основе*, *ФТП*, **44** (2010) 48-52.
12. З.Д.Ковалюк, В.Н.Катеринчук, В.В.Нетяга, А.В.Заслонкин. *Гетеропереход на основе кристалла FeIn₂Se₄ полученного методом Бриджмена*, *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*, **5** (2007) 43-45.
13. K.Rushchanskii, H.Haeuseler, D.Bercha. *Band structure calculations on the layered compounds FeGa₂S₄ and NiGa₂S₄*, *J. of physics and chemistry of solids*, **63** (2008) 2019-2028.
14. M.Quintero, M.Morocoima, E.Guerrero, J.Ruiz. *Temperature variation of lattice parameters and thermal expansion coefficients of the compound MnGa₂Se₄*, *Physica status solidi (a)*, **146** (2006) 587-593.
15. R.Sharma, A.Rastogi, S.Kohli, et al. *Growth phasses in the formation of semiconducting manganese indium sulphide thin film and their effect on the optical absorption*, *Physica B*, **351** (2004) 45-52.
16. Ф.М.Мамедов, С.З.Имамалиева, И.Р.Амирасланов, М.Б.Бабанлы. *Фазовая диаграмма системы FeGa₂Se₄-FeIn₂Se₄ и кристаллическая структура FeGaInSe₄*, *Конденсированные среды межфазные границы*, **20** (2018) 604-610.
17. Ю.М.Поплавко. *Физика диэлектриков*, М., Высшая школа (1980) 400.
18. Н.Мотт, Э.Дэвис, *Электронные процессы в некристаллических веществах*, М., Мир (1982) 662

THE DEPENDENCE OF DIELECTRIC LOSSES IN FeGaInSe₄ ON THE FREQUENCY AND TEMPERATURE

N.N.NİFTİYEV, F.M.MAMMADOV, M.B.MURADOV, E.S.HUSEYNOVA

The results of studying the dielectric loss tangent in FeGaInSe₄ at different frequencies and temperatures have been presented. It has been found that in the studied temperature range, the dielectric losses were due to the mechanism of conductivity. Conductivity of crystals of FeGaInSe₄ has been associated with two mechanisms: band and hopping. The activation energies were calculated at 2·10⁵ and 5·10⁵ Hz frequencies and, accordingly, a value of 0.05 and 0.013eV has been found in the low-temperature range, 0.35 and 0.19 eV in the high-temperature range.

ЗАВИСИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ В FeGaInSe₄ ОТ ЧАСТОТЫ И ТЕМПЕРАТУРЫ

Н.Н.НИФТИЕВ, Ф.М.МАМЕДОВ, М.Б.МУРАДОВ, Э.С.ГУСЕЙНОВА

Приведены результаты исследования тангенса угла диэлектрических потерь в FeGaInSe₄ при различных частотах и температурах. Установлено, что в исследованном температурном интервале имеют место диэлектрические потери на электропроводность. Электропроводность для кристаллов FeGaInSe₄ связана с двумя механизмами: зонным и прыжковым. Из зависимостей $\lg(\text{tg}\delta \cdot f) \sim f(1/T)$ рассчитаны энергии активации при 2·10⁵ и 5·10⁵Гц частотах и соответственно найдено значение 0,05 и 0,013эВ в области низких температур, и 0,35эВ и 0,19эВ в области высоких температур.