

UOT 538.975; 537.226.4

FeGa₂S₄ KRİSTALININ DİELEKTRİK NÜFUZLUĞUNUN DƏYİŞƏN ELEKTRİK CƏRƏYANININ TEZLIYINDƏN VƏ TEMPERATURDAN ASILILIĞI

N.N.NİFTİYEV, F.M.MƏMMƏDOV*

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
Az-1000, Bakı, Ü. Hacıbəyov, 34
AMEA Kataliz və Qeyri – üzvi Kimya İnstitutu*
Az-1143, Bakı, H. Cavid pr., 113
namiq7@bk.ru

Daxil olub: 21.05.2019
Çapa verilib: 01.09.2019

Açar sözlər: kristal, dielektrik nüfuzluğu, aktivləşmə enerjisi, tezlik, temperatur, relaksasiya müddəti, polyarizasiya mexanizmi

REFERAT

FeGa₂S₄ kristalının müxtəlif temperatur və tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsi tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, temperatur yüksəldikcə dielektrik nüfuzluğunun artması əsasən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə bağlıdır. Tədqiq olunan temperaturlarda dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsi tezliklə tərs mütənasib olaraq azalır. Bu kristal üçün aktivləşmə enerjisi hesablanmış və $\Delta E_1=0,13\pm 0,03\text{eV}$ və $\Delta E_2=0,20\pm 0,14\text{eV}$ qiymətləri tapılmışdır. FeGa₂S₄ kristalında relaksasiya müddəti hesablanmış və istilik hərəkəti ilə şərtlənən elektron polyarizasiya mexanizminin olması müəyyən edilmişdir.

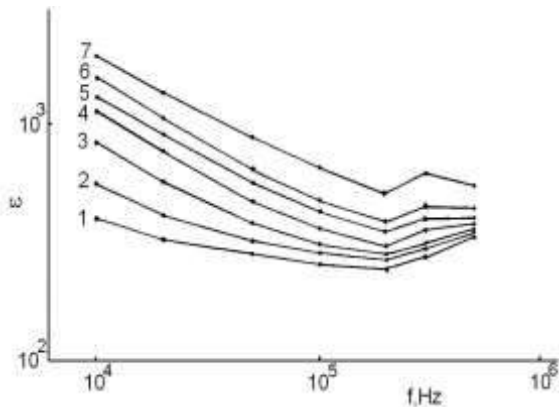
Son illər qeyri-adi fiziki xassələri və praktik tətbiqləri sayəsində d və f təbəqələri tamamilə dolmayan elementlər daxil olan üçlü xalkoqenit birləşmələr intensiv tədqiqatların obyektinə çevrilmişdir. Bu birləşmələr içərisində müasir yarımkeçiricilər elektronikasının funksional imkanlarını genişləndirən əsas mənbələrdən biri kimi AB₂X₄ (A: Mn, Fe, Co, Ni; B-Ga, In; X: S, Se, Te) tipli birləşmələri göstərmək olar [1-10]. Bu birləşmələr müxtəlif təyinatlı elektron qurğuların yaradılması üçün perspektivlidir. Hal-hazırkı işdə qeyd edilən birləşmələr sinfinə aid FeGa₂S₄ kristalının dielektrik nüfuzluğunun dəyişən elektrik cərəyanının tezliyindən və temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. FeGa₂S₄-ün bəzi elektrofiziki xassələri [2,8,11-13] işlərində öyrənilmişdir. FeGa₂S₄ kristalı stexiometrik miqdarda yüksək təmizlikli elementlərdən (99,99) alınmışdır. Rentgenoqrafik tədqiqatlar nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, FeGa₂S₄ kristal qəfəs parametrləri $a=3,67$ və $c=12,07\text{Å}$ olan triqonal (α -Fe₂Ga₂S₄) quruluşa malikdir [14]. Elektrik tutumunu ölçmək üçün qalınlığı $\sim 0,5\text{mm}$ olan

kristal lövhələrə gümüş pastası vuraraq kondensatorlar hazırlanmış və ölçülmələr E7-20 ($25\div 10^6\text{Hz}$) rəqəmli immetans ölçü cihazının köməyi ilə aparılmışdır. Nümunəyə 1V ölçmə gərginliyi verilmişdir.

Şəkil 1-də FeGa₂S₄ üçün müxtəlif temperaturlarda dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin tezlikdən asılılıq qrafiki verilmişdir. Buradan görünür ki, $294\div 380\text{K}$ temperatur intervalında $10^4\div 2\cdot 10^5\text{Hz}$ tezlik oblastında tezlik artdıqca ε' azalır. $2\cdot 10^5\text{Hz}$ tezlikdən başlayaraq ε' tezlik yüksəldikcə artır. 359K temperaturdan başlayaraq $3\cdot 10^5\div 5\cdot 10^5\text{Hz}$ tezlik oblastında əvvəlcə ε' sabit qalır, sonra isə temperatur artdıqca yavaş-yavaş azalır. Tədqiq olunan tezliklərdə isə temperatur yüksəldikcə ε' -nin artması müşahidə edilir. Bunu belə izah etmək olar: məlumdur ki, dielektrik və yarımkeçiricinin elektrik keçiriciliyi yüksək olarsa paralel dövrə ilə birləşən zaman ε' aşağıdakı düsturla xarakterizə olunur [15]

$$\varepsilon' = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega \tan \delta}, \quad (1)$$

burada $\omega = 2\pi f$ dairəvi tezlik, $tg\delta$ dielektrik itki bucağıdır.

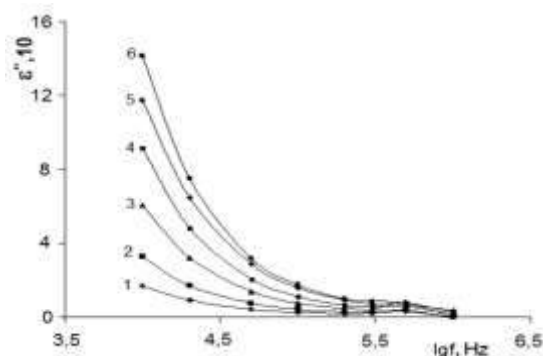


Şəkil 1

FeGa₂S₄ kristalı üçün müxtəlif temperaturalarda dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin elektrik sahəsinin tezliyindən asılılığı. T, K:
1-294, 2-314, 3-334, 4-349, 5-359, 6-369, 7-379.

Yarımkəçiricilərdə elektrik keçiriciliyi temperatur artdıqca əsasən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması hesabına artır. Düsturdan görünüyü kimi dielektrik nüfuzluğu σ ilə düz mütənəsbdir və $tg\delta$ temperaturdan asılı olaraq zəif dəyişir. Ona görə də temperatur artdıqca σ artır və ona uyğun ϵ' -da artır. Deməli, temperatur yüksəldikcə dielektrik nüfuzluğunun artması əsasən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə bağlıdır.

Şəkil 2-də FeGa₂S₄ kristalı üçün 294÷369K temperatur intervalında dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin (ϵ'') tezlikdən asılılıq qrafiki təsvir edilmişdir.



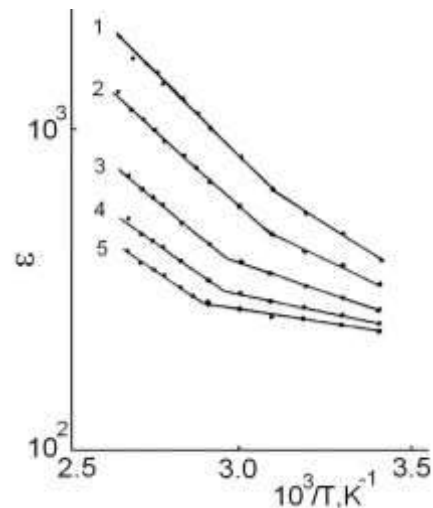
Şəkil 2

FeGa₂S₄ kristalı üçün müxtəlif temperaturalarda dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin elektrik sahəsinin tezliyindən asılılığı. T, K:
1-294, 2-314, 3-334, 4-349, 5-359, 6-369.

Şəkildən görünür ki, tədqiq olunan temperaturalarda $10^4 \div 2 \cdot 10^5$ Hz tezlik intervalında tezlik artdıqca ϵ'' sürətlə azalır. $2 \cdot 10^5 \div 5 \cdot 10^5$ Hz tezliklərində isə ϵ'' demək olar ki, sabit qalır.

$\epsilon' \sim F(f)$ və $\epsilon'' \sim F(f)$ asılılıqlarından görünür ki, müxtəlif temperaturalarda hər iki asılılıq üçün ayrı-ayrılıqları bir-birinə bənzərsə də aşağı tezliklərdə ϵ' tezlikdən asılı olaraq daha sürətlə azalır və $tg\delta \sim F(f)$ [13] asılılığına daha çox oxşayır.

Şəkil 3-də FeGa₂S₄ kristalında müxtəlif tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin temperaturdan asılılıq qrafiki təsvir edilmişdir. Şəkildən görünür ki, tədqiq olunan maddədə termik aktivləşmə ilə ϵ' -in artımı müşahidə edilir. 294÷380K temperatur intervalında və $10^4 \div 5 \cdot 10^5$ Hz tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin qiyməti 240÷2000 həddində dəyişir. Şəkildən görünür ki, $lg\epsilon' \sim 10^3/T$ asılılığı müxtəlif meyllərə malik iki düz xətdən ibarətdir. Aşağı temperaturu və yüksək temperaturu oblastlarda tezlik artdıqca ayrı-ayrılıqları meylliliyi azalır. Bu meyllərdən tapılmış aktivləşmə enerjiləri də həmçinin uyğun olaraq 0,13÷0,03eV və 0,20÷0,14eV intervalında azalır.



Şəkil 3

FeGa₂S₄ kristalı üçün elektrik sahəsinin müxtəlif tezliklərində dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin temperaturdan asılılığı. f, Hz:
1- 10^4 , 2- $2 \cdot 10^4$, 3- $5 \cdot 10^4$, 4- 10^5 , 5- $2 \cdot 10^5$.

Məlumdur ki, dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsi üçün Debay tənlikləri aşağıdakı kimidir [16]

$$\varepsilon' = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \tau^2}, \quad (2)$$

$$\varepsilon'' = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \cdot \omega} + \frac{(\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty})\omega\tau}{1 + \omega^2 \tau^2}. \quad (3)$$

(2) və (3) ifadələrindəki ε' və ε'' -in temperatur asılılığı tədqiq olunan maddələrin relaksasiya müddətinin (τ) və elektrik keçiriciliyinin (σ) temperatur asılılığından təyin olunur. ε' və ε'' -in tezlik asılılığı elektrik keçiriciliyin mexanizmindən asılı olur (keçiriciliyin zona mexanizmi zamanı $\sigma \neq \sigma(\omega)$ və sıçrayış mexanizmi zamanı isə $\sigma = \sigma(\omega)$ olur).

Keyfiyyət tərəfdən ε' və ε'' -in temperatur və tezlik asılılıqlarına nəzər yetirək. Fərz edək tədqiq olunan material keçirici dielektrik və pis keçirən yarımkeçiricidir. Onda aşağı tezlikli oblast üçün ($\omega\tau \ll 1$) (2) və (3) ifadələrindən alarıq

$$\varepsilon' = \varepsilon_s = const \quad (4)$$

$$\varepsilon'' = (\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty})\omega\tau + \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \cdot \omega}. \quad (5)$$

(4)-dən görünür ki, aşağı tezlikli oblastda həqiqi dielektrik nüfuzluğu (ε') sabit olur və statik dielektrik nüfuzluğuna (ε_s) bərabər olur.

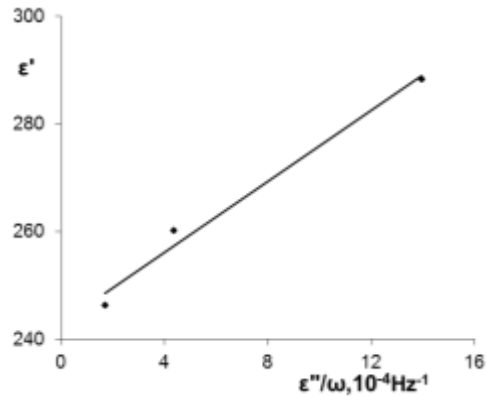
Dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsi (5) ifadəsinin II həddinə görə tezlik artdıqca azalmalıdır. Dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin dəyişən cərəyanın tezliyindən asılılıqlarının tədqiqi nəticəsində (Şəkil 2) aşkara çıxarılmışdır ki, aşağı tezliklərdə tezlik artdıqca ε' -in bütünlüklə azalması baş verir.

Debay tənliklərinin təqribiliyinə baxmayaraq onlardan relaksasiya müddətinin qiymətini hesablamaq olar. Doğrudan da (4) və (5)-də sadə çevrilmələr aparmaqla olar

$$\varepsilon' = \varepsilon_{\infty} + \frac{1}{\tau} \cdot \frac{\varepsilon''}{\omega}. \quad (6)$$

(6) ifadəsindən görünür ki, ε_{∞} yüksək tezlikli dielektrik nüfuzluğunun qiymətini və τ relaksasiya müddətini $\varepsilon' = f(\varepsilon''/\omega)$ asılılığından alınan düz xəttin ordinat oxu ilə kəsişməsindən və bu düz

xəttin tangens bucağından təyin etmək olar. Otaq temperaturunda $\varepsilon' = f(\varepsilon''/\omega)$ təcrübi asılılığı FeGa_2S_4 kristalı üçün Şəkil 4-də göstərilmişdir. Şəkildən görünür ki, $\varepsilon' = f(\varepsilon''/\omega)$ asılılığında bütövlükdə xəttilik müşahidə olunur. Bu asılılıqdan ε_{∞} və τ -nin qiymətləri hesablanmışdır və $\varepsilon_{\infty} = 243$, $\tau = 6 \cdot 10^{-5}$ san bərabər olur.



Şəkil 4

FeGa_2S_4 kristalı üçün otaq temperaturunda $\varepsilon' \sim f(\varepsilon''/\omega)$ asılılığı.

Relaksasiya müddətini bilməklə bu birləşmədə polarizasiya mexanizmi haqqında fikir söyləmək olar. Məlumdur ki, istilik hərəkəti ilə şərtlənən elektron polarizasiyası zamanı relaksasiya müddəti $10^{-2} \div 10^{-7}$ saniyəyə bərabər olur. FeGa_2S_4 kristalında polarizasiya zamanı relaksasiya müddəti $6 \cdot 10^{-5}$ san. qiymətini alır. Bu da istilik hərəkəti ilə şərtlənən elektron polarizasiyasına uyğun gəlir. Bu polarizasiya mexanizmi bərk dielektriklər üçün xarakterikdir [16].

Beləliklə, işdə FeGa_2S_4 kristalının müxtəlif temperatur və tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsi tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, temperatur yüksəldikcə dielektrik nüfuzluğunun artması əsasən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə bağlıdır. Tədqiq olunan temperaturlarda FeGa_2S_4 kristalının dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsi tezliklə tərs mütənəssib olaraq azalır. Bu kristal üçün aktivləşmə enerjisi hesablanmış və $\Delta E_1 = 0,13 \div 0,03 \text{eV}$ və $\Delta E_2 = 0,20 \div 0,14 \text{eV}$ qiymətləri tapılmışdır. FeGa_2S_4 kristalında relaksasiya müddəti hesablanmış və istilik hərəkəti ilə şərtlənən elektron polarizasiya mexanizminin olması müəyyən edilmişdir.

1. Н.Н.Нифтиев, Ф.М.Мамедов, В.И.Гусейнов, С.Ш.Курбанов. *Электропроводность монокристаллов FeIn₂Se₄ на переменном токе*, *ФТП*, **52** (2018) 535-537.
2. B.R.Myoung, 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.
3. N.N.Niftiev, O.B.Tagiev. *Optical absorption and photoconductivity of MnGaInS₄ single crystals in polarized light*, *Optics and spectroscopy*, **122** (2017) 926-928.
4. 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.
5. C.Rincóna, T.E.Torresbde, V.Sagredo, S.J.Jiménez-Sandovalc, E.Mares-Jacintoc. *The fundamental absorption edge in MnIn₂Se₄ layer semimagnetic semiconductor*, *Physica B: Condensed Matter*, **477** (2015) 123-128.
6. Н.Н.Нифтиев, М.Б.Мурадов, Ф.М.Мамедов О.Б.Тагиев, *Электрические свойства FeIn₂S₄ на переменном токе*, *Журнал технической физики*, **82** (2012) 147-149.
7. V.Sagredo, G.Attolini, N.Musayeva. *Mn_{1-x}Fe_xIn₂Se₄ single crystals and their electrical Properties*, *Materials Engineering and Technology*, **2** (2009) 29-37.
8. K.Rushchanskii, H.Haueseler, D.Bercha. *Band structure calculations on the layered compounds FeGa₂S₄ and NiGa₂S₄*, *J. of physics and chemistry of solids*, **63** (2008) 2019-2028.
9. 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.
10. C.Xiangying, Z.Zhongjie, Z.Xingta, et al. *Hydrothermal synthesis of porous FeIn₂S₄ microspheres and their elektrochemical properties*, *J. of Crystal Growth*, **277** (2005) 524-528.
11. N.N.Niftiev, M.A.Alidzhanov, O.B.Tagiev, M.B.Muradov, F.M.Mamedov. *Elektrical properties of FeGa₂S₄*, *Ukr. C. Phys.*, **49** (2004) 579-581.
12. N.N.Niftiyev, O.B.Tağiyev, Z.F.Hacıyeva, F.M.Məmmədov. *FeGa₂S₄-ün dəyişən elektrik sahəsində elektrik keçiriciliyi*, *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXX** №5 (2010) 166-168.
13. N.N.Niftiyev, O.B.Tağiyev, A.A.Nəbiyev, Ф.М.Мəммədov, F.A.Kazımova. *FeGa₂S₄-ün dielektrik itkisinin tezlik və temperaturdan asılılığı*, *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXXI** №2 (2011) 78-81.
14. L.Dogguy-Smiri, M.Pardo, N.Dung. *Etude cristallographique du système FeS-Ga₂S₃*, *C. R. Akad. Sc.*, **287** (1978) 415-418.
15. Ю.М.Поплавко. *Физика диэлектриков*, *Высшая школа*, (1980) 400.
16. П.Г.Орешкин. *Физика полупроводников и диэлектриков М.*, *Высшая школа*, (1977) 448.

DEPENDENCE OF DIELEKTRIK CONSTANT OF CRISTALS FeGa₂S₄ ON FREQUENCY OF ALTERNATING ELECTRIC CURRENTS AND TEMPERATURE

N.N.NIFTIYEV, F.M. MAMMADOV

The real and imaginary part of the dielectric constant of FeGa₂S₄ crystals at various temperatures and frequencies has been studied. It was found that as temperature gets higher, increase of dielectric influence was mainly connected to rise of concentration of charge carriers. The imaginary part of the dielectric influence gets lower inversely proportionally in the studied temperatures soon. The activation energy for these crystals has been calculated and $\Delta E_1 = 0,13 \div 0,03 \text{ eV}$ və $\Delta E_2 = 0,20 \div 0,14 \text{ eV}$ values found. The reaction term has been calculated in FeGa₂S₄ and electronic polarization mechanism conditioned by heating move was determined in this crystal.

ЗАВИСИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КРИСТАЛЛОВ FeGa₂S₄ ОТ ЧАСТОТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И ТЕМПЕРАТУРЫ

Н.Н.НИФТИЕВ, Ф.М.МАМЕДОВ

Приведены результаты исследования действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости кристаллов FeGa₂S₄ при различных частотах и температурах. Установлено, что рост диэлектрической проницаемости связан с ростом концентрации носителей тока при возрастании температуры. При исследуемых температурах мнимая часть диэлектрической проницаемости кристаллов FeGa₂S₄ уменьшается обратно пропорционально с частотой. Для этих кристаллов рассчитана энергия активации и найдено значение $\Delta E_1=0,13\pm 0,03$ эВ и $\Delta E_2=0,20\pm 0,14$ эВ. Для FeGa₂S₄ рассчитано время релаксации и установлено, что в этом кристалле наблюдается механизм электронной поляризации, обусловленная тепловым движением.