

UOT 538.975; 537.226.4

FeGa₂Se₄ KRİSTALININ DIELEKTRİK NÜFUZLUĞUNUN DƏYİŞƏN ELEKTRİK CƏRƏYANININ TEZLİYİNDƏN 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: 07.01.2019
Çapa verilib: 01.03.2019

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

Xülasə

FeGa₂Se₄ 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 $\Delta E_1=0,29\pm 0,11\text{eV}$; $\Delta E_2=0,57\pm 0,20\text{eV}$ qiymətləri tapılmışdır. FeGa₂Se₄ kristalında relaksasiya müddəti hesablanmış və istilik hərəkəti ilə şərtlənən elektron polyarizasiya mexanizminin olması müəyyən edilmişdir.

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 birləşmələrin əsasında lazerlər, işıq modulyatorları, fotodedektorlar, termorezistorlar, düzləndiricilər və s. funksional qurğular yaratmaq perspektivlidir. Bu birləşmələrə müxtəlif aşqarlar daxil etməklə onların fiziki xassələrini dəyişmək olar. Artıq MnIn₂S₄ və FeIn₂S₄ monokristallarından fotorezistor hazırlanmış və hər iki birləşmədən nanostruktur alınmışdır. FeIn₂Se₄ monokristaldan istifadə edərək heteroqəçid yaradılmışdır. Hal-hazırkı işdə qeyd edilən birləşmələr sinfinə aid FeGa₂Se₄ kristalının dielektrik nüfuzluğunun dəyişən elektrik cərəyanının tezliyindən və temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir. FeGa₂Se₄ birləşməsinin bəzi fiziki xassələri [11-16] işlərində öyrənilmişdir. FeGa₂Se₄ kristalı stexiometrik miqdarda yüksək təmizlikli elementlərdən (99,99) alınmışdır. Rentqenoqrafik metodla analiz nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, FeGa₂Se₄ kristalın qəfəs parametri $c=5,54\text{Å}$ olan kubik quruluşa malik olur [16]. 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.

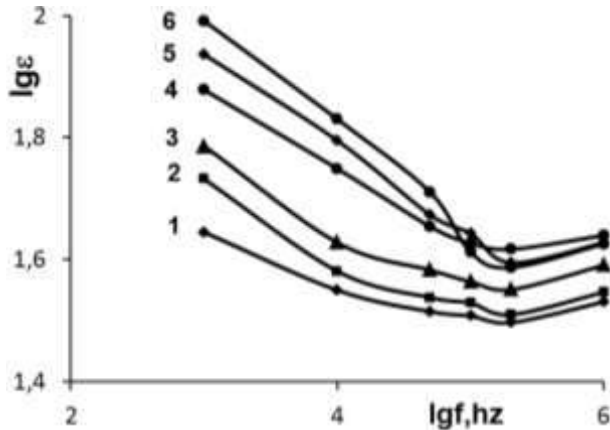
Dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi $\epsilon' = Cd/\epsilon_0 S$, xəyali hissəsi isə $\epsilon'' = \text{tg}\delta \cdot \epsilon'$ ifadələrindən hesablanmışdır.

Şəkil 1-də FeGa₂Se₄ kristalı üçün müxtəlif temperaturlarda dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin tezlikdən asılılıq qrafiki təsvir olunmuşdur. Müəyyən edilmişdir ki, 294÷374K temperatur intervalında $10^3\div 10^6\text{Hz}$ tezliklərdə ϵ' -in qiyməti 30÷100 həddində dəyişir. ϵ' -in böyük olmasının səbəbi kristalda defektlərin konsentrasiyasının kifayət qədər böyük olmasıdır [17]. Şəkildən görünür ki, tədqiq edilən temperaturlarda $10^3\div 10^5\text{Hz}$ tezlik oblastında tezlik artdıqca dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi azalır, yüksək tezliklərdə ($10^5\div 10^6\text{Hz}$) isə tezlik artdıqca başlanğıcda ϵ' sabit qalır, sonra yavaş-yavaş artır. 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 [17]

$$\varepsilon' = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \omega t g \delta}, \quad (1)$$

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

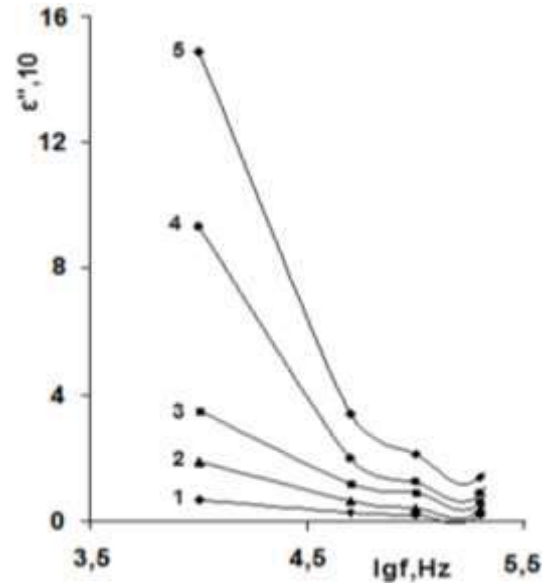


Şəkil 1

FeGa₂Se₄ kristalı üçün müxtəlif temperaturlarda dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin elektrik sahəsinin tezliyindən asılılığı. T, K: 1-294, 2-309, 3-324, 4-339, 5-354, 6-374.

Yarımkəçiricilərdə elektrik keçiriciliyi temperatur artdıqca əsasən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması hesabına artır. Düsturdan göründüyü kimi dielektrik nüfuzluğu σ ilə düz mütənəsbdir və $t g \delta$ 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.

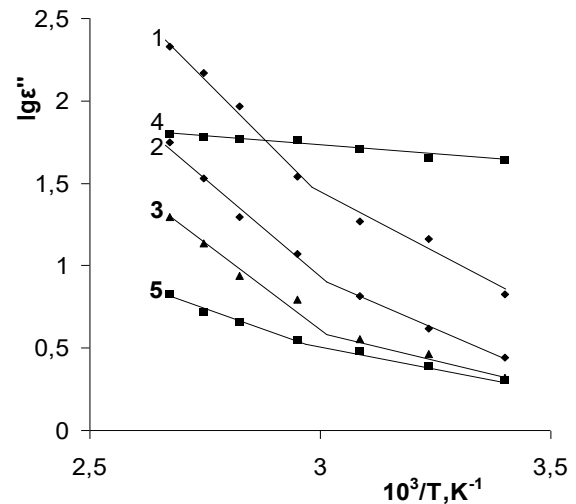
Şəkil 2-də FeGa₂Se₄ kristalı üçün müxtəlif temperaturlarda dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin tezlikdən asılılıq qrafiki təsvir edilmişdir. Şəkildən görünür ki, $10^4 \div 5 \cdot 10^4$ Hz tezlik intervalında tezlik artdıqca ε'' sürətlə azalır, $5 \cdot 10^4 \div 2 \cdot 10^5$ Hz tezlik oblastında isə tezlik yüksəldikcə ε'' nisbətən yavaş sürətlə azalır. Ümumilikdə tədqiq olunan temperaturlarda dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsi tezliklə tərs mütənəsb olaraq azalır.



Şəkil 2

FeGa₂Se₄ kristalı üçün müxtəlif temperaturlarda dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin elektrik sahəsinin tezliyindən asılılığı. T, K: 1-294, 2-309, 3-339, 4-354, 5-364.

Şəkil 3-də FeGa₂Se₄ kristalı üçün müxtəlif tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin temperaturdan asılılıq qrafiki təsvir olunmuşdur. Şəkildən göründüyü kimi $10^4 \div 10^6$ Hz tezliklərdə $lg \varepsilon'' \sim 10^3 / T$ asılılığı əsasən müxtəlif meyllərə malik iki düz xətdən ibarətdir.



Şəkil 3

FeGa₂Se₄ kristalının müxtəlif tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin temperaturdan asılılığı. f, Hz: 1- 10^4 , 2- $5 \cdot 10^4$, 3- $2 \cdot 10^5$, 4- $5 \cdot 10^5$, 5- 10^6 .

Aşağı temperaturlu oblastlarda tezlik artdıqca aktivləşmə enerjisinin qiyməti 0,29÷0,11 eV intervalında azalır, yüksək temperaturlu oblastda da tezlik artdıqca aktivləşmə enerjisinin qiyməti 0,57÷0,20 eV intervalında azalır. Bu birləşmə üçün tezlikdən asılı olaraq dəyişən aktivləşmə enerjisinin qiyməti elektrik keçiriciliyin tədqiqi zamanı da tapılmışdır [13].

Məlumdur ki, dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsi üçün Debay tənlikləri aşağıdakı kimidir [18]

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

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

(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 yarımkəçiricidir. Onda aşağı tezlikli oblast üçün ($\omega\tau \ll 1$) (2) və (3) ifadələrindən alırıq

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

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

(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. Məlumdur ki, ε'' özündə σ və τ -ni ifadə edir. Tədqiq olunan maddələr üçün bu kəmiyyətlər özü temperaturdan asılıdır və həmçinin σ tezlikdən asılı olur. Əgər aktiv keçiricilikdə üstün rol zona mexanizmi oynayarsa, yəni $\sigma \neq \sigma(\omega)$, $\sigma \sim \exp(-\Delta E_{\sigma}/kT)$ və $\tau \sim \exp(\Delta E_{\mu}/kT)$ olarsa, onda (5) dən alırıq

$$\varepsilon'' \approx \frac{1}{\varepsilon_0 \omega} \exp\left(-\frac{\Delta E_{\sigma}}{kT}\right) + (\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}) \cdot \omega \exp\left(\frac{\Delta E_{\mu}}{kT}\right). \quad (6)$$

(6)-ya görə aşağıtezlikli oblastda tezlik artdıqca dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsi bütünlüklə azalmalıdır.

Keçiriciliyin sıçrayışlı mexanizmi zamanı ($\sigma \sim \omega^s$) isə (3) ifadəsindən aşağıdakı alınır

$$\varepsilon'' \approx \frac{1}{\varepsilon_0 \omega^{1-s}} \exp\left(-\frac{\Delta E_{\sigma}}{kT}\right) + \tau_0 (\varepsilon_s - \varepsilon_{\infty}) \omega \exp\left(\frac{\Delta E_{\mu}}{kT}\right). \quad (7)$$

Buradan görünür ki, aşağıtezlikli oblastda keçirici dielektrikin və ya pis keçirən yarımkəçiricinin ε'' -in temperatur və tezlik asılılıqları keçiriciliyin zona və sıçrayış mexanizmi halında bir-birinə oxşayır.

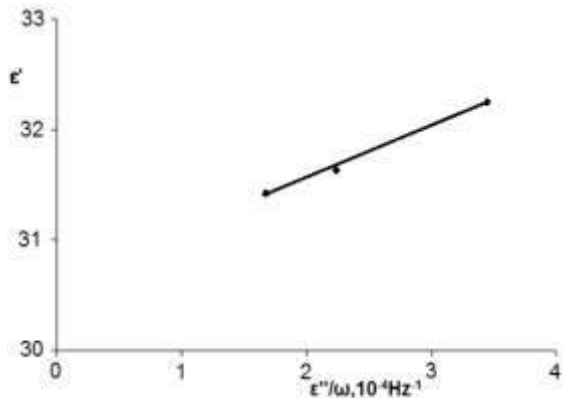
FeGa₂Se₄ kristalının elektrik keçiriciliyinin dəyişən elektrik sahəsində tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu birləşmədə elektrik keçiriciliyi qarışıq, yəni zona və sıçrayış mexanizmi ilə əlaqədardır. Dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin dəyişən cərəyanın tezliyindən asılılıqlarının tədqiqi nəticəsində (Şəkil 2) aşkara çıxarılmışdır ki, aşağı tezliklərdə tezlik artdıqca ε' -in bütünlüklə azalması baş verir. FeGa₂Se₄ kristalının aşağı tezliyin sabit qiymətində dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin temperaturdan asılılığının tədqiqi nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, bu asılılıq eksponensial xarakter daşıyır (Şəkil 3).

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

$$\varepsilon' = \varepsilon_{\infty} + \frac{1}{\tau} \cdot \frac{\varepsilon''}{\omega}, \quad (8)$$

(8) 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 FeGa₂Se₄ kristalı üçün Şəkil 4-də göstərilmişdir. Şəkildən görünür ki, $\varepsilon' = f(\varepsilon''/\omega)$ asılılığında bütövlükdə xəttlilik müşahidə olunur. Bu asılılıqdan ε_{∞} və τ -nin qiymətləri

hesablanmışdır və $\epsilon_{\infty} = 30,7$, $\tau = 2 \cdot 10^{-6}$ san. bərabər olur.



Şəkil 4

FeGa₂Se₄ kristalı üçün otaq temperaturunda $\epsilon' \sim f(\epsilon''/\omega)$ asılılığı.

Relaksasiya müddətini bilməklə bu birləşmədə polyarizasiya mexanizmi haqqında fikir söyləmək olar. Məlumdur ki, istilik hərəkəti ilə şərtlənən elektron polyarizasiyası zamanı relaksa-

siya müddəti $10^{-2} \div 10^{-7}$ saniyəyə bərabər olur. FeGa₂Se₄ kristalında polyarizasiya zamanı relaksasiya müddəti $2 \cdot 10^{-6}$ san. qiymətini alır. Bu da istilik hərəkəti ilə şərtlənən elektron polyarizasiyasına uyğun gəlir. Bu polyarizasiya mexanizmi bərk dielektrlər üçün xarakterikdir [18].

Beləliklə, işdə FeGa₂Se₄ kristalının müxtəlif temperatur və tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsi tədqid edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, temperatur yüksəldikcə dielektrik nüfuzluğunun artması əsasən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə bağlıdır. Tədqiq olunan temperaturlarda FeGa₂Se₄ kristalının dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsi tezliklə tərs mütənəşib olaraq azalır. Bu kristal üçün aktivləşmə enerjisi hesablanmış və $\Delta E_1 = 0,29 \div 0,11 \text{ eV}$ və $\Delta E_2 = 0,57 \div 0,20 \text{ eV}$ qiymətləri tapılmışdır. FeGa₂Se₄ kristalında relaksasiya müddəti hesablanmış və istilik hərəkəti ilə şərtlənən elektron polyarizasiya mexanizminin olması müəyyən edilmişdir.

1. N.N.Niftiev, O.B.Taqiev. *Optical absorption and photoconductivity of MnGaInS₄ single crystals in polarized light*, *Optics and spectroscopy*, **122** (2017) 926-928.
2. Н.Н.Нифтиев, Ф.М.Мамедов. *Диэлектрические свойства монокристаллов FeGaInS₄ в переменном электрическом поле*, *ФТП*, **50** (2016) 1225-1229.
3. И.В.Боднар, М.А.Новикова, С.В.Труханов. *Магнитные свойства монокристаллов твердых растворов (FeIn₂S₄)_{1-x}(In₂S₃)_x*, *ФТП*, **47** (2013) 580-585.
4. И.В.Боднар. *Концентрационная зависимость ширины запрещенной зоны твердых растворов Mn_xFe_{1-x}In₂S₄*, *ФТП*, **46** (2012) 44-47.
5. И.В.Боднар, В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь. *Фоточувствительные структуры на монокристаллах MnIn₂S₄: создание и свойства*, *ФТП*, **43** (2009) 1549-1552.
6. Н.Н.Нифтиев, О.Б.Тагиев, М.Б.Мурадов, Ф.М.Мамедов, Ф.А.Казымова. *Электропроводность монокристаллов MnGa₂S₄ на переменном токе*, *Письма в ЖТФ*, **35** (2009) 79-83.
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.Haeuseler, 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 and et al. *Hydrothermal synthesis of porous FeIn₂S₄ microspheres and their elektrochemical properties*, *J. of Crystal Growth*, **277** (2005) 524-528.
11. М.Р.Аллазов, П.К.Бабаева, П.Г.Рустамов. *Исследование диаграммы состояния и некоторых физических свойств физической системы Ga₂Se₃-FeSe*, *Неорган. матер.*, **15** (1979) 1177-1180.
12. M.Pardo, J.Flahaut. *Systeme Ga₂Se₃-FeSe. Etude cristallographique de phase*, *Mater. Res. Bull.*, **15** (1980) 1043-1048.
13. N.N.Niftiyev, İ.B.Bəxtiyarlı, K.O.Tağiyev, F.M.Məmmədov, M.B.Muradov. *FeGa₂Se₄-ün dəyişən elektrik sahəsində elektrikkeçiriciliyi*, *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXXII** №2 (2012) 101-105.

14. N.N.Niftiyev, O.B.Tağiyev, F.M.Məmmədov. *FeGa₂Se₄-in dielektrik itkisinin tezlik və temperaturdan asılılığı*, *Transactions of National Academy of Science of Azerbaijan, series of physics-mathematical and technical sciences, Physics and Astronomy*, **XXXVII** №2 (2017) 135-138.
15. И.В.Боднар и др. *Инфракрасные спектры отражения монокристаллов FeGa₂Se₄*, *Международная научно-техническая конференция, приуроченная к 50-летию МПТИ-БГУИР* (Минск, 18–19 марта 2014 года) 12-13.
16. İ.Bodnar, S.Pauliukavets, S.Thukhanov. *Structural, mössbauer and magnetic investigations of the FeGa₂Se₄ single crystals*, *Physics, chemistry and application of nanostructures* (2015) 148-151.
17. Ю.М.Поплавко. *Физика диэлектриков*, *Высшая школа*, (1980) 400.
18. П.Г.Орешкин. *Физика полупроводников и диэлектриков М.*, *Высшая школа*, (1977) 448.

DEPENDENCE OF DIELECTRIC CONSTANT OF CRYSTALS FeGa₂Se₄ ON FREQUENCY OF ALTERNATING ELECTRIC CURRENTS AND TEMPERATURE

N.N.NİFTİYEV, F.M.MAMMADOV

The real and imaginary part of the dielectric constant of FeGa₂Se₄ 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 got lower inversely proportionally in the studied temperatures soon. The activation energy for this crystals has been calculated and $\Delta E_1=0,29\div 0,11\text{eV}$; $\Delta E_2=0,57\div 0,20\text{eV}$ values found. The reaction term has been calculated in FeGa₂Se₄ and electronic polarization mechanism conditioned by heating move was determined in this crystal.

ЗАВИСИМОСТЬ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ПРОНИЦАЕМОСТИ КРИСТАЛЛОВ FeGa₂Se₄ ОТ ЧАСТОТЫ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА И ТЕМПЕРАТУРЫ

Н.Н.НИФТИЕВ, Ф.М.МАМЕДОВ

Представлены результаты исследования действительной и мнимой части диэлектрической проницаемости кристаллов FeGa₂Se₄ 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 FeGa₂Se₄ уменьшается обратно пропорционально с частотой. Для этих кристаллов рассчитана энергия активации и найдено значение $\Delta E_1=0,29\div 0,11\text{eV}$ и $\Delta E_2=0,57\div 0,20\text{eV}$. Для FeGa₂Se₄ рассчитано время релаксации и установлено, что в этом кристалле наблюдается механизм электронной поляризации, обусловленный тепловым движением.