

UOT 538.975; 537.226.4

MnIn₂Se₄ MONOKRİSTALININ DİELEKTRİK XASSƏLƏRİ

N.N.NİFTİYEV, F.M.MƏMMƏDOV*, M.B.MURADOV**

Azərbaycan Dövlət Pedaqoji Universiteti
AZ 1000, Azərbaycan, Bakı, Ü.Hacıbəyov, 68
*Elm və Təhsil Nazirliyi, Kataliz və Qeyri-üzvi Kimya İnstitutu**
AZ 1143, Azərbaycan, Bakı, H.Cavid pr., 129
*Bakı Dövlət Universiteti***
AZ 1148, Azərbaycan, Bakı, Z.Xəlilov küç., 23
namiq7@bk.ru

Daxil olub: 06.01.2023
Çapa verilib: 16.03.2023

Açar sözlər: monokristal, dielektrik nüfuzluğu, dielektrik itki bucağı tangensi, tezlik, aktivləşmə enerjisi, zona və sıçrayış mexanizmi

REFERAT

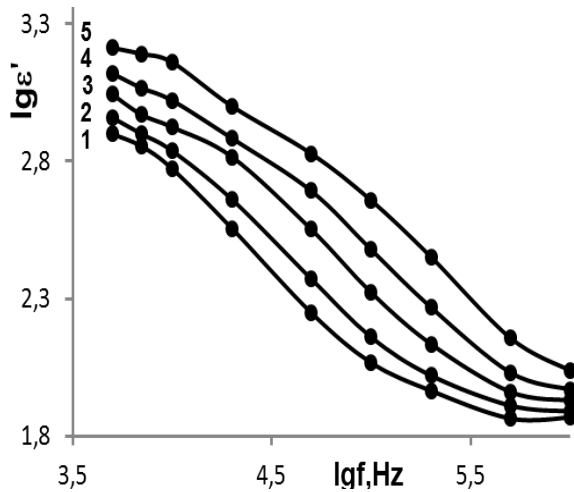
MnIn₂Se₄ monokristalının müxtəlif temperatur və elektrik sahəsi tezliklərində dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsi və dielektrik itki bucağı tangensi tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin tezlikdən asılılığı əhəmiyyətli dərəcədə dispersiyaya məruz qalır. Temperatur yüksəldikcə ϵ' -in artması əsasən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə bağlıdır. Müəyyən edilmişdir ki, MnIn₂Se₄ monokristalında $5 \cdot 10^3 \div 10^6$ Hz tezlik intervalında dielektrik itkisi elektrik keçiriciliyi ilə əlaqədardır və keçiricilik zona-sıçrayış mexanizmi ilə xarakterizə olunur. MnIn₂Se₄ monokristalı üçün aktivləşmə enerjisi hesablanmış və $\Delta E = 0,18 \div 0,23$ eV qiymətləri tapılmışdır.

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 [1-15]. Bu birləşmələr əsasında lazerlər, işıq modulyatorları, fotodedektorlar və digər funksional qurğular yaratmaq perspektivlidir. AB₂X₄ birləşmələr sinfinə aid olan MnIn₂Se₄-ün bəzi fiziki xassələri [16-25] işlərində tədqiq edilmişdir. [16-18] işlərində MnIn₂Se₄ birləşməsinin və monokristalının alınması və onların kristal quruluşu haqqında məlumat verilmişdir. [19-21]-də MnIn₂Se₄-ün maqnit xassələri tədqiq edilmişdir. [21-23] işlərində MnIn₂Se₄-də optik udulma spektrləri tədqiq edilərək onların qadağan olunmuş zonasının eninin temperaturdan asılılığı təyin edilmiş və optik keçidlərin xarakteri müəy-

yən edilmişdir. [24-25] işləri MnIn₂Se₄ birləşməsinin sabit və dəyişən elektrik sahəsində elektrikkeçiriciliyinin tədqiqinə həsr olunmuşdur. Bu işlərdə keçiriciliyin mexanizmi aşkara çıxarılmışdır. Hal-hazırkı işdə MnIn₂Se₄ monokristalının dielektrik nüfuzluğunun və dielektrik itkisinin dəyişən elektrik sahəsinin tezliyindən və temperaturdan asılılığı tədqiq edilmişdir.

MnIn₂Se₄-ün monokristalları Bricmen üsulu ilə sintez edilmişdir. Rentqenoqrafik metodla analiz nəticəsində müəyyən edilmişdir ki, MnIn₂Se₄ birləşməsi kristal qəfəs parametrləri $a=4,05525 \text{ \AA}$, $c=39,4915 \text{ \AA}$, $c/a=4,65$ olan heksaqonal quruluşa malik olur [18]. Elektrik tutumunu ölçmək üçün qalınlığı $\sim 0,3$ mm olan monokristal lövhələrə gümüş pastası vuraraq kondensatorlar hazırlanmış və ölçülmələr E7-20 ($25 \div 10^6$ Hz) rəqəmli immetans ölçü cihazının köməyi ilə aparılmışdır. Nümunəyə 1 V ölçmə gərginliyi verilmişdir. Dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi $\epsilon' = Cd/\epsilon_0 S$, xəyali hissəsi isə $\epsilon'' = tg\delta \cdot \epsilon'$ ifadələrindən hesablanmışdır.

Şəkil 1-də müxtəlif temperaturlarda MnIn₂Se₄ monokristalları üçün dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin (ϵ') tezlik asılılıqları göstərilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, 297÷383K temperatur intervalında $5 \cdot 10^3 \div 10^6$ Hz tezliklərdə ϵ' -in qiyməti 74÷1630 intervalında dəyişir. Şəkildən görünür ki, ϵ' -in tezlikdən asılılığı əhəmiyyətli dərəcədə dispersiyaya məruz qalır. Dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsi tədqiq olunan temperaturlarda $5 \cdot 10^3 \div 10^4$ Hz tezlik oblastında yavaş-yavaş azalır, sonra $2 \cdot 10^4 \div 5 \cdot 10^5$ Hz tezlik diapazonunda sürətlə azalır. Daha sonra $5 \cdot 10^5 \div 10^6$ Hz tezlik intervalında yüksək temperaturlarda (353÷383K) ϵ' yavaş azalır, aşağı temperaturda (297÷333K) demək olar ki, sabit qalır. Tədqiq olunan tezliklərdə isə temperatur yüksəldikcə ϵ' -nin artması müşahidə edilir. Temperatur yüksəldikcə dielektrik nüfuzluğunun artması əsasən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə bağlıdır [26].

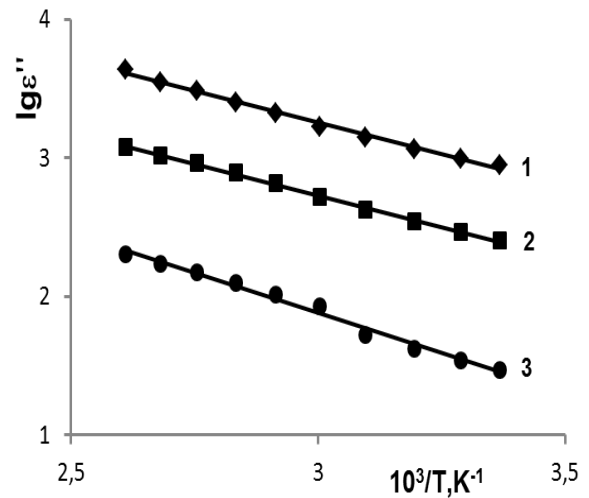


Şəkil 1

MnIn₂Se₄ monokristalı üçün müxtəlif temperaturlarda ϵ' -in tezlik asılılığı; T, K: 1-297, 2-313, 3-333, 4-353, 5-383.

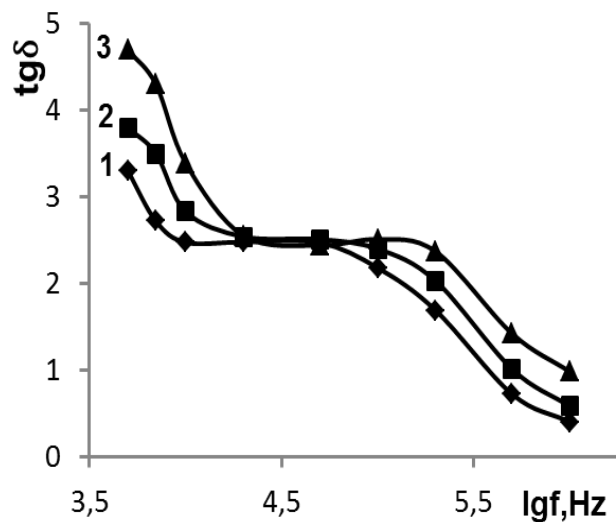
Şəkil 2-də müxtəlif tezliklərdə MnIn₂Se₄ monokristallarının dielektrik nüfuzluğunun xəyali hissəsinin temperaturdan asılılıqları göstərilmişdir. Şəkildən görünür ki, $2 \cdot 10^4 \div 10^6$ Hz tezliklərdə $\lg \epsilon''$ -in $10^3/T$ -dən asılılığı müxtəlif meyilli bir xəttəndən ibarətdir. Bu asılılıq meyllərindən aktivləşmə enerjiləri təyin edilmiş və müəyyən edilmişdir ki, onların qiymətləri 0,18÷0,23 eV intervalında dəyişir. Qeyd edək ki, MnIn₂Se₄ monokristalı üçün aktivləşmə enerjisinin bu qiyməti dəyişən elektrik sahə-

sində elektrik keçiriciliyinin temperatur aşılığın- dan da təyin edilmişdir [25]. Buradan görünür ki, aktivləşmə enerjisinin qiyməti tezliyin funksiyasıdır. Aktivləşmə enerjisinin tezlikdən asılı olaraq dəyişməsi sıçrayış mexanizmindən istifadə etməklə izah edilə bilər. Məlumdur ki, MnIn₂Se₄ kristallarında elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı aktivləşmə xarakteri daşıyır [24]. Deməli, MnIn₂Se₄-monokristalında keçiricilik zona-sıçrayış mexanizmləri ilə xarakterizə olunur.



Şəkil 2

MnIn₂Se₄ monokristalı üçün müxtəlif tezliklərdə ϵ'' -in temperaturdan aşılılığı; f, Hz: 1 - $2 \cdot 10^4$, 2 - 10^5 , 3 - 10^6 .



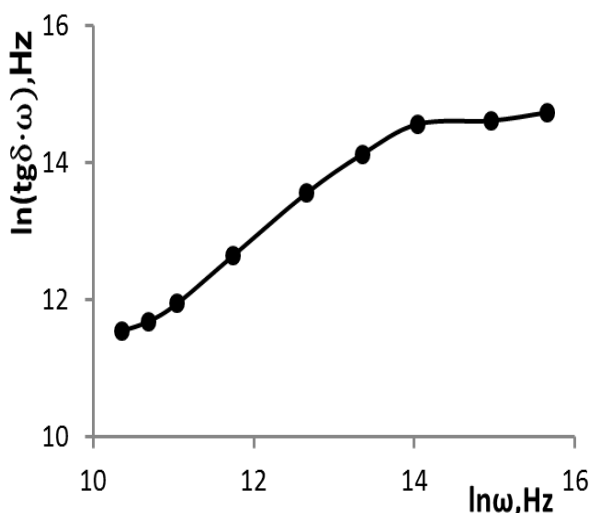
Şəkil 3

MnIn₂Se₄ monokristalı üçün müxtəlif temperaturlarda dielektrik itkisinin tangens bucağının tezlikdən asılılığı; T, K: 1 - 297, 2 - 313, 3 - 333.

Şəkil 3-də $MnIn_2Se_4$ monokristalı üçün müxtəlif temperaturalarda dielektrik itki bucağı tangensinin ($tg\delta$) tezlikdən asılılıq qrafiki təsvir edilmişdir.

Şəkildən görünür ki, tədqiq olunan temperaturalarda başlanğıcda tezlik artdıqca itki bucağının qiyməti azalır, sonra müxtəlif temperaturalarda fərqli tezliklərdən başlayaraq müəyyən tezlik intervallarında dielektrik itki bucağı tangensinin qiyməti sabit qalır. Daha sonra tezlik artdıqca $tg\delta$ -nin qiyməti azalır. Şəkildən görünür ki, yuxarı və aşağı tezliklərdə temperatur yüksəldikcə dielektrik itki bucağı tangensinin qiyməti artır. Bu onu göstərir ki, dielektrik itkisi elektrik keçirici mexanizmi ilə əlaqədardır.

Şəkil 4-də $MnIn_2Se_4$ monokristalı üçün 297K temperaturalarda $\ln(tg\delta \cdot \omega)$ -nin $\ln\omega$ -dan asılılıq qrafiki verilmişdir.



Şəkil 4

$MnIn_2Se_4$ monokristalı üçün 297K temperaturda $\ln(tg\delta \cdot \omega) \sim \ln\omega$ asılılığı.

Məlumdur ki, dielektrik itkisinin tezlik asılılığı keçiriciliyin mexanizmindən asılıdır. Belə ki, elektrik keçiriciliyi özü tezlikdən asılı ola bilər. Sıçrayış mexanizmində $\sigma \sim \omega^s$ ($s < 1$) olur. Keçiricilikdə üstün rol oynayan müxtəlif mexanizmlər üçün dielektrik itkisinin tangens bucağının tezlikdən asılılığını aşağıdakı kimi ifadə etmək olar [27]

$$tg\delta(\omega) \sim (\omega^{-1} + \omega) \text{ zona mexanizmi,} \quad (1)$$

$$tg\delta(\omega) \sim \omega(\omega^{s-2} + 1) \text{ sıçrayış mexanizmi.} \quad (2)$$

(1)-dən görünür ki, keçiricilikdə üstün rol oynayan zona mexanizmində $\ln(tg\delta \omega) \sim \ln\omega$ koordinatında düz xətt asılılığı müşahidə edilməlidir. Şəkildən görünür ki, tədqiq olunan temperaturda (297K) asılılıq düz xətdən fərqli olur. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, 297K temperaturda keçiricilik qarışıq - zona və sıçrayış mexanizmi ilə əlaqədardır.

Beləliklə, işdə $MnIn_2Se_4$ monokristalının müxtəlif temperatur və tezliklərdə dielektrik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissəsi, dielektrik itki bucağı tangensini tədqiq edilmişdir. Müəyyən edilmişdir ki, dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin tezlikdən asılılığı əhəmiyyətli dərəcədə dispersiyaya məruz qalır. Temperatur yüksəldikcə dielektrik nüfuzluğunun artması əsasən yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının artması ilə bağlıdır. Müəyyən edilmişdir ki, $MnIn_2Se_4$ monokristalında $5 \cdot 10^3 \div 10^6 \text{Hz}$ tezlik intervalında dielektrik itkisi elektrik keçiriciliyi ilə əlaqədardır və keçiricilik zona-sıçrayış mexanizmi ilə xarakterizə olunur. $MnIn_2Se_4$ monokristalı üçün aktivləşmə enerjisi hesablanmış və $\Delta E = 0,18 \div 0,23 \text{eV}$ qiymətləri tapılmışdır.

1. Y.Wang, Y.Liu, F.Tian, Sh.Bao, Ch.Sun, W.Yang, Y.Yu. *MnIn₂S₄ nanosheets growing on rods-like β -MnO₂ via covalent bonds as high-performance photocatalyst for boosting Cr(VI) photocatalytic reduction under visible light irradiation: Behavior and mechanism study*, *Journal of Colloid and Interface Science*, **625** (2022) 264-277, DOI: 10.1016/j.jcis.2022.06.015
2. N.N.Niftiyev. *Photoelectric properties of MnIn₂S₄ crystals*, *Journal of Applied Spectroscopy*, **88** (2022) 1234-1236.
3. C.Zeng and Y.Hu. *Hydrothermal synthesis of a CoIn₂S₄/g-C₃N₄ heterojunctional photocatalyst with enhanced photocatalytic H₂ evolution activity under visible light illumination*, *Nanotechnology*, **31** (2020) DOI: 10.1088/1361-6528/abb72c
4. Y.Hwang, J.Choi, Y.Ha, S.Cho, H.Park. *Electronic and optical properties of layered*

- chalcogenide FeIn₂Se₄*, *Current Applied Physics*, **20** (2020) 212-218.
5. 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
 6. 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.
 7. И.В.Боднар, С.А.Детков, Ю.В.Касюк, Ю.А.Федотова. *Выращивание монокристаллов FeIn₂S₂Se₂ и исследование их свойств*, *ФТП*, **52** (2018) 1203-1206.
 8. 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.
 9. И.В.Боднар, С.А.Павлюковец, С.В.Труханов, Ю.А.Федотова. *Мессбауэровские и магнитные исследования тройного соединения FeIn₂Se₄*, *ФТП*, **46** (2012) 624-628.
 10. 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.
 11. 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.
 12. В.Ю.Рудь, Ю.В.Рудь, М.А.Осипова, И.В.Боднар. *Обнаружение твердых растворов (In₂S₃)_x(MnIn₂S₄)_{1-x} и создание фоточувствительных структур на их основе*, *ФТП*, **44** (2010) 48-52.
 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 phases in the formation of semiconducting manganese indium sulphide thin film and their effect on the optical absorption*, *Physica B*, **351** (2004) 45-52.
 16. В.К.Бабаева, М.Р.Аллазов. *Диаграмма состояния системы MnSe-In₂Se₃*. В кн.: *Исследования в области неорганической и физической химии*. Баку, изд. ЭЛМ, (1977) 70-73.
 17. K.Range, U.Klement, G.Döll, E.Bucher, J.R.Baumann. *The crystal structure of MnIn₂Se₄ a ternary layered Semiconductor*, *Z. Naturforsch.*, **46b** (1991) 1122-1124.
 18. G.Doll, M.Ch.Lux-Steiner, Ch.Kloc, J.R.Baumann, E.Bucher. *Chemical vapour transport and structural characterization of layered MnIn₂Se₄ single crystals*, *Jour. of Crystal Growth*, **104** (1990) 593-600.
 19. J.Yang, Z.Zhou, J.Fang, H.Wen, Z.Lou, G.Shen, Z.Weï. *Magnetic and transport properties of a ferromagnetic layered semiconductor MnIn₂Se₄*, *Applied Physics Letters*, **IF 3.971** (2019) DOI: 10.1063/1.5126233
 20. J.C.Mantilla Ochoa, V.Bindilatti, E.ter Haar, J.A.H.Coaquira, G.E.de Souza Brito, X.Gratens, V.Sagredo. *Spin glass behavior in MnIn₂Se₄ and Zn_{1-x}Mn_xIn₂Se₄ magnetic semiconductors*, *Journal of Magnetism and Magnetic Materials*, **272-276** (2004) 1308-1309.
 21. J.Choi, S.Choi, J.Choi, Y.H.Hwang, Y.H.Um, S.C.Hong, S.Cho. *Magnetic and optical properties of MnIn₂Se₄ single crystal*, *Journal Korean Physical Society* **45** (2004) 672-674.
 22. H.Neumann, C.Bellabarba, A.Khan, V.Riede. *Optical Properties of MnIn₂Se₄*, *Crystal Research and Technology*, **21** (1986) K21-K24.
 23. C.Rincón, T.E.Torres, V.Sagredo, S.J.Jiménez-Sandoval, E.Mares-Jacinto. *The fundamental absorption edge in MnIn₂Se₄ layer semi-magnetic semiconductor*, *Physica B: Condensed Matter*, **477** (2015) 123-128.
 24. Н.Н.Нифтиев, М.А.Алиджанов, О.Б.Тагиев, Ф.М.Мамедов, М.Б.Мурадов. *Электрические свойства MnIn₂Se₄*, *ФТП*, **38** (2004) 550-552.
 25. Н.Н.Нифтиев, Ф.М.Мамедов, М.Б.Мурадов. *Электропроводность монокристаллов MnIn₂Se₄ в переменном электрическом поле*, *Прикладная физика*, **2** (2022) 24-27.
 26. Н.Н.Нифтиев, О.Б.Тагиев, М.Б.Мурадов. *Электрические свойства слоистых монокристаллов FeIn₂Se₄ на переменном токе*, *ФТП*, **42** (2008) 268-270.
 27. Н.Мотт, Э.Дэвис. *Электронные процессы в некристаллических веществах*, М., Мир (1982) 662.

DIELECTRIC PROPERTIES OF MnIn₂Se₄ MONOCRYSTAL

N.N.NİFTİYEV, F.M.MAMMADOV, M.B.MURADOV

The real and imaginary parts of the permittivity and the dielectric loss tangent of a MnIn₂Se₄ single crystal are studied at various temperatures and electric field frequencies. It was found that the real part of the permittivity underwent significant dispersion. With increasing temperature, the increase in ϵ' occurs mainly due to an increase in the concentration of charge carriers. It has been established that dielectric losses in the frequency range $5 \cdot 10^3 \div 10^6$ Hz in a MnIn₂Se₄ single crystal are associated with electrical conductivity, and the conductivity is characterized by a zone-hopping mechanism. The activation energy of the MnIn₂Se₄ single crystal was calculated and the values $\Delta E = 0.18 \div 0.23$ eV were found.

ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МОНОКРИСТАЛЛОВ MnIn₂Se₄

Н.Н.НИФТИЕВ, Ф.М.МАМЕДОВ, М.Б.МУРАДОВ

Исследованы действительная и мнимая части диэлектрической проницаемости и тангенс угла диэлектрических потерь монокристалла MnIn₂Se₄ при различных температурах и частотах электрического поля. Обнаружено, что действительной части диэлектрической проницаемости претерпевала значительную дисперсию. С повышением температуры увеличение ϵ' происходит в основном за счет увеличения концентрации носителей заряда. Установлено, что диэлектрические потери в диапазоне частот $5 \cdot 10^3 \div 10^6$ Гц в монокристалле MnIn₂Se₄ связаны с электропроводностью, а проводимость характеризуется зонно-прыжковым механизмом. Рассчитана энергия активации монокристалла MnIn₂Se₄ и найдены значения $\Delta E = 0,18 \div 0,23$ эВ.