

H⁺ VƏ He²⁺ İONLARI İLƏ İMPLANTASIYA OLUNMUŞ TlGaSe₂ KRİSTALININ DİELEKTRİK XASSƏLƏRİNİN TƏDQIQI

S.F. SAMADOV

Azərbaycan Milli Elmlər Akademiyasının Radiasiya Problemləri İnstitutu

Azərbaycan, Bakı, Az-1143, B.Vahabzade küç. 9

Samirsamedov.rpi@gmail.com

Təqdim olunan işdə H⁺ və He²⁺ ionları ilə implantasiya olunmuş TlGaSe₂ kristalının dielektik və elektrik xassələri 300-600K temperatur intervalında tədqiq edilmişdir. Bu temperatur intervalında dielektik sabitinin həqiqi və xəyali hissələri, dielektik itgi bucağı, dielektik nüfuzluğu kimi dielektik parametrləri tədqiq edilmişdir. Dielektik parametrlərinin 25-10⁶Hz tezlik intervalında tədqiqi əsasında, $f < 10$ kHz olduqda, relaksasiya prosesində sərbəst ionların rolu müəyyənləşdirilmişdir. Dielektik nüfuzluğunun həqiqi və xəyali hissələrinin qarşılıqlı asılılıqlarının standartdan kənara çıxması müşahidə olunmuşdur.

Açar sözlər: dielektik xassələr; impedans; TlGaSe₂ kristalları;

PACS: 29.20.dg, 29.27.Ac, 68.37.Ps, 78.30.-j, 61.05.cp

1. GİRİŞ.

Yarımkəçirici materiallar son illərdə geniş elmi və texnoloji marağa səbəb olmuşdur. Bərk cisim elektronikasının inkişafı nanoelektronikada – superkondensatorlar, ionistorlar (ifrat yüksək tutumlu kondensatorlar), elektron çeviricilər kimi cihazların yaradılması üçün tələbləri artırır. Müasir mikroelektronika üçün yeni ion birləşmələrinin alınması və tədqiqi vacibdir. Hazırda yüksək ion keçiriciliyinə malik olan materiallar müxtəlif qurğularda funksional elektrodlar kimi istifadə olunur. Bu materiallardan müxtəlif sensorların tərkibində və Günəş elementlərində kiçik ölçülü enerji tutumlu cərəyan mənbələri kimi də istifadə olunur. Bu materialların tətbiq sahələrinin perspektivlərindən biri də istilik enerjisini elektrik enerjisinə çevirən qurğularda istifadə etməyin mümkünlüyüdür. Müasir mikroelektronikanın inkişafı eyni zamanda həm elektron, həm də ion keçiriciliyinə malik olan yeni yarımkəçirici materialların alınmasına ehtiyacı artırır. İon keçirici birləşmələr nizamsız materiallara aiddirlər.

A³B³C₂⁶ birləşmələr sinfinə daxil olan TlGaTe₂, TlInSe₂, TlInTe₂ birləşmələri son illərdə geniş tədqiq olunmuşdur. [1-7] müəllifləri göstərmişlər ki, otaq temperaturundan yuxarı temperaturalarda bu kristallar ion keçiriciliyə malikdirlər. Həmçinin TlInS₂ və TlGaSe₂ kristalların ion keçiriciliyinə γ -kvantlarının təsiri öyrənilmiş və 470K temperaturda elektron-ion payı hesablanmışdır. Göstərilmişdir ki, qamma kvantların təsirdən sonra elektron payı azalır və ion keçiriciliyi artır [8].

Bu işdə A³B³C₂⁶ birləşmələr sinfinə daxil olan TlGaSe₂ kristalının otaq temperaturdan yuxarı temperaturalarda dielektik, ion keçiriciliyi və kompleks impedans spektri H⁺ və He²⁺ ionları ilə implantasiyasından əvvəl və sonra müqayisəli şəkildə öyrənilmişdir. Yüngül ionlarla implantasiyasından sonra, nümunədə yaratdığı defektlərin tədqiqinə olan maraq həm defektlərin özünün təbiətinin, onların əmələgəlmə mexanizmlərinin, həm də defektlərin kristalın fiziki xassələrinə təsirinə öyrənilməsidir [13].

İon implantasiyası metodu universal və qeyri-spesifikdir, istənilən hədəflərə müxtəlif elementlərin ion-

larını ciddi nəzarət edilən miqdarda daxil etməyə, müxtəlif enerjili ion dozalarının ardıcılığı ilə dərinlik üzrə konsentrasiyaların paylanması qabaqcadan verməyə imkan verir [14]. Metodun ən vacib xüsusiyyəti ionların növünə və onların tətbiqi enerjilərinə bağlı olaraq, materialın strukturunda defektlərin səth qatında və ya nümunənin həcmində yaranması faktıdır

Yarımkəçirici materialların təbiətinin və istifadə sahələrinin inkişaf etdirilməsində bir çox metodlardan istifadə olunur. Bu metodlardan biri ionlarla bombalama (implantasiya) metodudur ki, bunun əsas prinsipi yüksək sürətə malik ionların hədəf daxilinə yeridilməsinə dayanır. İon implantasiya metodu vasitəsi ilə materialların həm fiziki, həm də kimyəvi təbiətini dəyişdirmək mümkündür. Belə ki, bəzi materiallar elektronika və sənayedə saf olaraq müəyyən edilmiş yerlərdə istifadə edilə bilərənkən, ionlarla implantasiya nəticəsində materialların həm istifadə sahəsi, həm də istifadə müddəti mühüm ölçülərdə dəyişdirilə bilər. Bu səbəblə istifadə olunan bu metod texnologiyada, əsasən də yarımkəçiricilər texnologiyasında, nümunələrin xassələrinin yaxşılaşdırılması və inkişaf etdirilməsi üçün xüsusi yollardan biridir.

2. TƏCRÜBƏNİN METODİKASI.

Tədqiq olunan TlGaSe₂ kristalının sintezi Brice-Stokbarqer üsulu ilə aparılmışdır. Experimentlərdə istifadə olunan kristalın geometrik parametrləri 5x2x2mm³ ölçülərində istifadə olunmuşdur. Bu kristalların dielektik xassələrinin tədqiqi zamanı, elektrik kontaktı olaraq gümüş elektrodlarından istifadə olunub. Tədqiqatlar nümunələrin tetraqonal oxuna paralel istiqamətində aparılmışdır. Elektrik və dielektik xassələrinin tədqiqi MNIPI E7-25 impedance analyzer spektrometridə aparılmışdır. Təcrübələr geniş temperatur intervalında (300-600K) və tezlik oblastında (25-10⁶Hz) 300-650K aparılmışdır. TlGaSe₂ kristalının ion implantasiyası Polşanın Lublin şəhərində yerləşən Maria Curie-Sklodovska Universitetinin Fizika institutunun "İon Fizikası və İmplantasiyası kafedra"sında aparılmışdır. İmplantasiya UNİMAS 79 sürətləndiricisində otaq temperaturunda və 10° bucaq altında aparılmışdır.

Nümunə 150 keV enerjiddə və $\Phi=10^{15}$ ion/sm²-sek dozada He²⁺ ionları ilə implantasiya olunmuşdur.

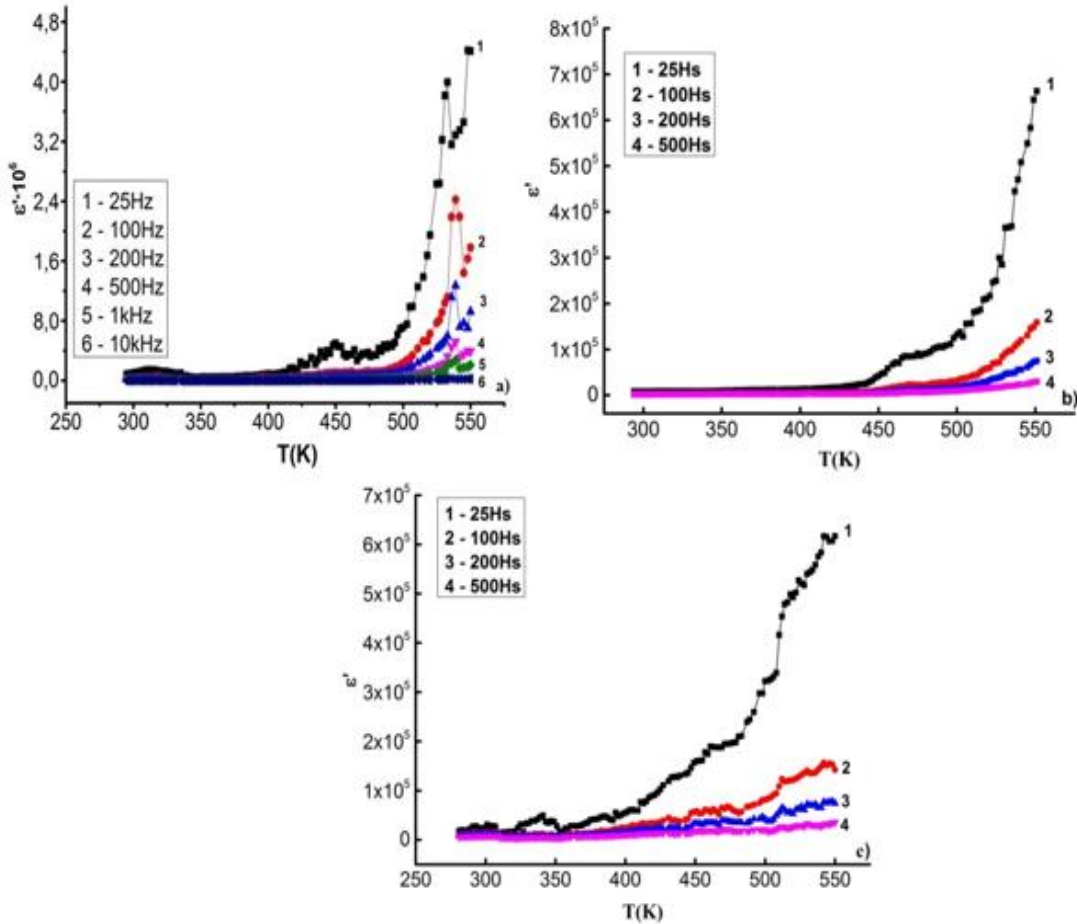
3. TƏCRÜBƏNİN NƏTİCƏLƏRİ VƏ MÜZAKİRƏSİ.

Məlum olduğu kimi TlGaSe₂ birləşməsində ardıcıl qeyri-mütənasib və seqnetoelektrik faza keçidi müşahidə olunur [9-12]. Rentgen və neytronoqrafik tədqiqatların nəticələrinə görə qeyri-mütənasib faza $T_c=201\text{K}<T<T_f=216\text{K}$, temperatur intervalında mövcud olub $k_i = (\delta, \delta, 0.25)$ dalğa vektoru ilə xarakterizə olunur [10-11].

TlGaSe₂ kristallarının dielektrik nüfuzluğu tezliyin 25Hz-1MHz və temperaturun 300-550K intervalında implantasiyadan öncə və sonra müqayisəli şəkildə verilməmişdir (şəkil 1). Ölçmələr tetraqonal oxuna paralel istiqamətdə aparılmışdır. İmplantasiya olunmamış TlGaSe₂ kristalında 415K, 500K, 532K temperaturlarda faza keçidləri müşahidə olunur [15]. Bu faza keçidləri ion xarakterlidir. TlGaSe₂ kristalında ion keçiricilik Tl ionlarının hərəkətliyi ilə bağlı olduğundan Ga-Se birləşməsi, Tl-Se birləşməsindən daha dayanıqlıdır. Hər üç hal üçün $\ln(\epsilon)(1000/T)$ - asılılığı qurularaq aktivləşmə enerjiləri hesablanmışdır. $\ln(\epsilon)(1000/T)$ - asılılığında təcrübü nöqtələr bir düz xətt üzərində yığılır və

xətti dəyişir. $\epsilon'(T)$ asılılığında dielektrik nüfuzluğunun sıçrayış temperaturundan yuxarı temperaturda $\ln(\epsilon)(1000/T)$ -nin xətti dəyişməsinin xarakteri, ϵ -nin ion xarakterli olduğunu göstərir. Bununla yanaşı, TlGaSe₂ kristalının alt qəfəslərində Tl⁺ ionlarının vakansiyalar üzrə diffuziyasına əsaslanır. Bu cür dəyişmə zamanı TlGaSe₂ kristalında faza keçidi nəticəsində Tl alt qəfəsinin əriməsi müşahidə olunur. Bu hal ion keçiricilər üçün xarakterik bir haldır. TlGaSe₂ kristalında dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığının bu cür ifadə olunması böyük ehtimal ionların defektlər üzrə "c" oxuna paralel və perpendikulyar istiqamətdə hərəkəti ilə bağlıdır. TlGaSe₂ aşağı tezliklərdə yuxarı qiymətlər alması ion polarizasiyası mexanizminə əsaslanır. Bu isə Tl⁺ alt qəfəsinin nizamsızlaşması (zəif əlaqəli Tl ionları) hesabına yaranır. Yüngül ionlarla implantasiyadan sonra isə müşahidə olunan faza keçidləri temperaturun artması ilə yuxarı temperatur oblastına sürüşür və dielektrik nüfuzluğunun maksimumları azalır. 550K temperaturdan başlayaraq dielektrik nüfuzluğunun həqiqi hissəsinin sıçrayışlı artımı müşahidə olunur.

Cədvəl 1-də TlGaSe₂ kristalının aktivləşmə enerjisi ionlaşdırıcı şüaların təsirindən əvvəl və sonra müqayisəli şəkildə verilmişdir. Cədvəldən də görüldüyü kimi, TlGaSe₂ kristalında ionlaşdırıcı şüaların təsirindən sonra aktivləşmə enerjisi azalır.

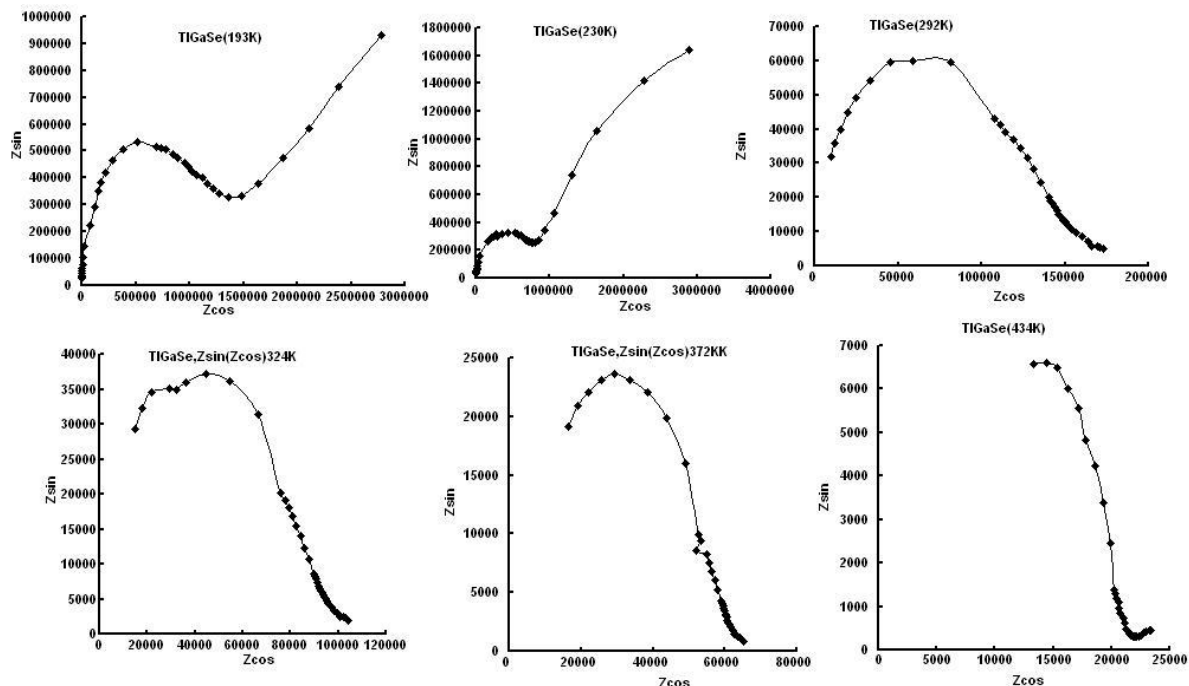


Şəkil 1. TlGaSe₂ kristalının dielektrik nüfuzluğunun temperatur asılılığı (a-şüalanmamış; b-H⁺; c-He²⁺ ionları ilə implantasiya olunmuş)

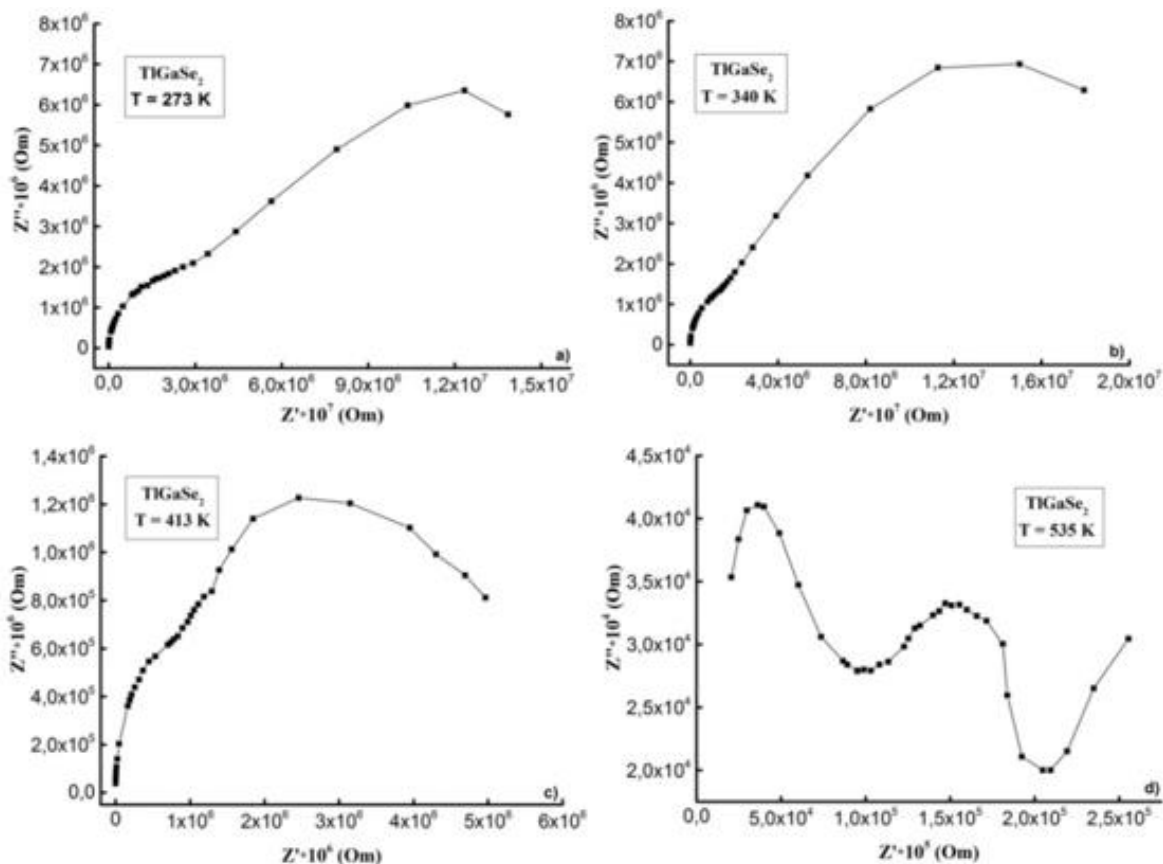
Cədvəl 1.

TlGaSe₂ kristalının aktivləşmə enerjisi

TlGaSe ₂	
Şüalanmamış	$\Delta E_a^1 = 0.54eV, \Delta E_a^2 = 0.4eV$
20Mrad	$\Delta E_a^1 = 0.5eV, \Delta E_a^2 = 0.38eV$
H ⁺ (150 keV)	$\Delta E_a^1 = 0.45eV, \Delta E_a^2 = 0.36eV$
He ²⁺ (150 keV)	$\Delta E_a^1 = 0.4eV, \Delta E_a^2 = 0.32eV$



Şəkil 2. Şüalanmamış TlGaSe₂ kristalı üçün impedans spektrləri. a-195K; b-230K; c-293K; d-320K;e-372K; f-434K.



Şəkil 3. He²⁺ ionları ilə implantasiya olunmuş TlGaSe₂ kristalı üçün impedans spektrləri. a-195K; b-230K; c-293K; d-320K;e-372K; f-434K.

Şəkil 2 və şəkil 3-də He^{2+} ionları ilə implantasiyadan əvvəl və sonra TlGaSe_2 kristalı üçün qodoqrafları $Z''=f(Z')$ verilmişdir. Tədqiqatlar sabit temperaturlarda (195K; 230K; 293K; 320K; 372K; 434K) aparılmışdır. Şəkil 2-dən görüldüyü kimi 324K qədər, spektri iki xarakterik oblasta bölünür: yarımdairə şəklində spektrin yüksək tezlikli hissəsi və qövs şəklində elektrodların təsirinin bloklanmasını xarakterizə edən aşağı tezlikli oblast. Temperatur artdıqca yarımdairənin diametri kiçilir və yüksək tezlikli oblasta sürüşür. Şəkil 3-də He^{2+} ionları ilə implantasiya olunmuş TlGaSe_2 kristalı üçün qodoqraflar verilmişdir. Şəkil 3-dən görüldüyü kimi, temperatur artdıqca spektrdə həm yüksək, həm də aşağı tezliklərdə iki yarımdairə müşahidə olunur. Buradan belə nəticəyə gəlmək olar ki, temperatur artıqca

He^{2+} ionları ilə implantasiya olunmuş TlGaSe_2 kristalında relaksorların sayı artır.

NƏTİCƏ.

TlGaSe_2 kristallarının dielektrik nüfuzluğu və impedansının həqiqi və xəyali hissələrinin qarşılıqlı asılıqları tezliyin 25Hz-1MHz-də və temperaturun 300-550K interalında 150 keV H^+ və He^{2+} ionları ilə implantasiyadan öncə və sonra müqayisəli şəkildə öyrənilmişdir. Göstərilmişdir ki, implantasiya nəticəsində dielektrik nüfuzluğunun ədədi qiymətinin və relaksasiya müddətinin azalmasının əsas səbəbi mobil ionların konsentrasiyasının artmasıdır.

- [1] R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullayev, F.T. Salmanov, A. Urbanovic, F. Carel and J.L. Couta. Jpn. J. Appl. Phys. 50, 2011, 05FC09-1-2.
- [2] R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullayev, F.T. Salmanov, O.Z. Alakbarov, E.K. Huseynov and N. A. Aliyeva. FTP, 2011, 45, 1441.
- [3] R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullayev and F. T. Salmanov, FTT, 2011, 53, 1488.
- [4] R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullayev, E.K. Huseynov, E.M. Gojayev and F.T. Salmanov. FTT, 2011, 45, 1009.
- [5] R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullayev, E.K. Huseynov, F.T. Salmanov, N.A. Aliyeva and R.S. Aghayeva. FTP, 2013, 47, 696.
- [6] R.M. Sardarly, O.A. Samedov, N.A. Aliyev, A.P. Abdullaev, F.T. Salmanov, FTP, 2014, 48, 442.
- [7] O.A. Samedov, O.Z. Alakbarov, S.F. Samadov, N.M. Mehdiyev, E.M. Huseynov. Modern Physics Letters, 2017, B, vol. 31, No. 12, 1750134.
- [8] O.A. Samedov, O.Z. Alekperov, A.I. Nadjafov, S.F. Samedov, M.M. Guliyev, X.Z. Fatalizadeh, N.T. Mosumli, N.I. Huseynov. J. Radiation Research, 2015, vol.2, №1, p.11-17
- [9] A.A. Volkov, Yu.G. Goncharov, G.V. Kozlov, K. R. Allahverdiyev, R. M. Sardarly. Fiz. Tverd. Tela, 1983, 25, 3583.
- [10] R.A. Aliiev, K.R. Allahverdiyev, A.I. Baranov, N.R. Ivanov, R.M. Sardarly. Fiz. Tverd. Tela 26, 1984, 1272.
- [11] S.B. Vakhrushev, V.V. Zhdanova, O.E. Kvyatkovsky, N.M. Okuneva, K.R. Allahverdiyev, R.A. Aliyev, R.M. Sardarly. JETP Letters, 1984, 39, 245.
- [12] O. Z. Alekperov, A. I. Nadjafov. Jpn. J. Appl. Phys., 2011, 50, 05FC0701- 05FC0702.
- [13] W.K. Chu, R.H. Kasti, R.F. Lever, S.Mader, B.J. Masters. Phys.Rev. B., 1977, vol.16, №9, pp.2851-3759.
- [14] Rita E., Wahl U., Lopes A.M.L. et. al. Physica B, 2003, 340, 240-244.
- [15] O. Samadov., O. Alakbarov., A. Najafov. et.al. Modern Physics Letters B. 2017, vol. 31, No. 12, 1750134, 7 pages.

S.F.Samadov

THE INVESTIGATION OF DIELECTRIC AND ELECTRIC PROPERTIES OF TlGaSe_2 CRYSTALS IMPLANTED BY H^+ AND He^{2+} IONS

The dielectric and electric properties of TlGaSe_2 crystal implanted by H^+ and He^{2+} ions in temperature interval 300-600K are presented in the given work. In this temperature interval such dielectric parameters as imaginary and real parts of dielectric constant coefficient, dielectric loss angle and dielectric constant are studied. The role of free ions in relaxation process at $f < 10\text{kHz}$ is defined on the base of investigation of dielectric parameters in frequency range 25-10⁶ Hz. It is shown that interdependence of real and imaginary parts of dielectric constant exceeds the standard one.

С.Ф.Самадов

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КРИСТАЛЛОВ TlGaSe_2 , ИМПЛАНТИРОВАННЫХ ИОНАМИ H^+ И He^{2+}

В настоящей работе представлены диэлектрические и электрические свойства кристалла TlGaSe_2 , имплантированного ионами H^+ и He^{2+} в интервале температур 300-600K. В этом интервале температур изучались такие диэлектрические параметры, как действительная и мнимая части коэффициента диэлектрической проницаемости, угол диэлектрических потерь, диэлектрическая проницаемость. На основании исследования диэлектрических параметров в диапазоне частот 25-10⁶ Гц определена роль свободных ионов в процессе релаксации при $f < 10\text{кГц}$. Было замечено, что взаимозависимость действительной и мнимой частей диэлектрической проницаемости превышает стандартную.

Qəbul olunma tarixi: 25.09.2020