

QAMMA KVANTLARLA ŞÜALANDIRILMIŞ (TlInSe₂)_{0.9}(TlGaTe₂)_{0.1} BƏRK MƏHLULUNUN LOKALLAŞMIŞ HALLAR ÜZRƏ KEÇİRİCİLİYİ

^{1,2,3} R.M. SƏRDARLI, ^{1,4} N.Ə. ƏLİYEVƏ, ³ R.Ş. RƏHİMOV, ³ C.H. CABBAROV,
^{1,2} F.T. SALMANOV, ¹ R.A. MƏMMƏDOV, ² İ.X. MƏMMƏDOV,
¹ G.E. MƏMMƏDOVA

¹ETN Radiasiya Problemləri İnstitutu, Bakı, Azərbaycan

²Milli Aviasiya Akademiyası, Bakı, Azərbaycan

³Bakı Dövlət Universiteti, Bakı, Azərbaycan

⁴Azərbaycan Memarlıq və İnşaat Universiteti, Bakı, Azərbaycan

nuranaalislam@gmail.com, mob: +994509831028

0; 0.1; 0.25 və 0.5 MQR dozalarında qamma kvantları ilə şüalandırılan (TlInSe₂)_{0.9}(TlGaTe₂)_{0.1} sistemi bərk məhlulun *dc* keçiriciliyi 100-300 K temperatur diapazonunda öyrənilmişdir. Radiasiyaya məruz qalmadan əvvəl və sonra lokal vəziyyətlər üçün keçiriciliyin temperatur intervalları müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, radiasiyaya məruz qalma dozasının artması ilə (0 – 0.5 MQR) lokal vəziyyətlərdə keçiriciliyin temperatur intervalı genişlənir ki, bu da, radiasiya defektlərinin artması ilə əlaqələndirilir.

Acar sözlər: *dc* keçiriciliyi, bərk məhlul, qamma kvant, sıçrayışlı keçiricilik.

DOI:10.70784/azip.2.2025432

Giriş

A^{III}B^{III}C₂^{IV} qrup birləşmələri sinfinə aid yarımkəçirici materiallar praktik tətbiq baxımından çox əlverişli materiallardır. Bu birləşmələr ailəsinə aid kristallar yüksək anizotrop kristal quruluşuna və kristal qəfəsinin xarici təsirlərə qarşı qeyri-sabitliyinə görə tədqiqatçıların diqqətini cəlb edir; bu kristallar həmçinin fotoelektrik çeviricilərin, gərginlik ölçən cihazların, rentgen və neytron şüalanma detektorlarının istehsalında perspektivli obyektlərdir [1-3].

Bu yarımkəçirici materiallara zəncirvari quruluşa malik TlInSe₂ və TlGaTe₂ birləşmələrində daxildir [4,5]. TlInSe₂ və TlGaTe₂ yarımkəçirici birləşmələri A³B³C₆² qrup birləşmələri sinfinə məxsusdur və qəfəsin periodları TlGaTe₂ üçün a=8,420 Å; c=6,865 Å və TlInSe₂ üçün a=8,075 Å; c=6,847 Å olmaqla tetraqonal sinqoniyada (fəza qrupu I4/mcm, quruluş tipi TlSe) kristallaşır [4,5].

Zəncirli quruluşa malik üçlü yarımkəçirici kristallar TlInSe₂ və TlGaTe₂ son illər tədqiqatçıları tərəfindən fəal şəkildə öyrənilir. Əvvəllər [6-9], müəlliflər tərəfindən TlInSe₂ və TlGaTe₂ kristallarında elektrik keçiriciliyinin $\sigma(T)$ və dielektrik nüfuzluğunun $\varepsilon(T)$ temperaturdan asılılıqları öyrənilmişdir. Çevrilmə və yaddaş effekti, superion keçiriciliyi, nəhəng dielektrik relaksasiyanın mövcudluğu aşkar edilmiş, mürəkkəb impedans spektrləri tədqiq edilmişdir. Göstərilmişdir ki, ion keçiriciliyi bölgəsində TlInSe₂ və TlGaTe₂ elektrik xassələri tallium ionlarının sıçrayışları ilə müəyyən edilir, həqiqi və xəyali keçiriciliyin (Koul-Koul əyriləri) tezlik asılılıqları tədqiq edilmişdir. Struktur xüsusiyyətləri, həddindən artıq anizotrop kristal quruluşu, kristal qəfəsinin xarici təsirlərə qarşı qeyri-sabitliyi ilə bağlı olan A³B³C₆² ailəsinin kristallarına böyük elmi maraqla yanaşı, bu kristallar həm də fotoelektrik çeviricilərin, gərginlikölçənlərin və detektorların istehsalında perspektivli obyektlərdir [6-9].

Şeşək və b. dəyişən elektrik sahələrində TlInSe₂ və TlGaTe₂ monokristallarının keçiriciliyinin və temperaturdan asılılıqları tədqiq edilmişdir [10]. Məlum olmuşdur ki, TlInSe₂ və TlGaTe₂-də aşağı temperatur bölgəsində faza keçidlərinin ardıcılığı mövcuddur. Qeyd olunan yarımkəçirici materiallar sinfini genişləndirmək, onların fiziki parametrlərini dəyişmək və idarə etmək son illər tədqiqatçıların diqqətindədir.

[11] işində TlInSe₂ monokristalı üçün rentgen diffraksiyasında istifadə oluna bilən elektrik, fotoelektrik xassələri və litium ionları ilə interkalasiyanın bu monokristallara təsiri tədqiq edilmişdir. [12]-də Ag, Cu və Au aşqarların TlInSe₂ monokristallarının elektrik xassələrinə təsiri öyrənilmişdir. Həmçinin, son illər tədqiqatçıların marağı üçlü birləşmələr əsasında anion-anion, anion-kation əvəzetmə imkanlarının öyrənilməsi və əmələ gələn bərk məhlulların xüsusiyyətlərinin geniş tədqiq olunmasına yönəlmişdir [13-32].

Belə yarımkəçirici materiallardan olan tetraqonal quruluşa malik TlInSe₂ və TlGaTe₂ birləşmələrində əsasən yaranan anion-kation əvəzetmə bərk məhlullarının fiziki xassələrinin öyrənilməsi maraqlıdır.

[33] işində müəlliflər tərəfindən TlInSe₂-TlGaTe₂ sisteminin xətilələri hazırlanmış və fiziki-kimyəvi xassələrin kompleks tədqiqatı aparılmışdır. Göstərilmişdir ki, o, komponentləri bərk halda məhdud həll olunan ektetik tipli kvazibinar diaqramdan ibarətdir və TlInSe₂ əsasında həllolma 30,0 mol.% TlGaTe₂, TlGaTe₂ əsasında isə 25,0 mol.% TlInSe₂ təşkil edir. Sistemdə eutektika 55,0 mol.% TlGaTe₂ və 973 K temperaturda yaranır [33].

Müəlliflər [34] işində (TlInSe₂)_{1-x}(TlGaTe₂)_x (x=0-1.0) bərk məhlul nümunələrinin 100-300 K temperaturda elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığını öyrənmişlər və sabit elektrik sahəsində yükdaşımın Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşdırılmış vəziyyətlər boyunca dəyişən sıçrayış uzunluğu ilə sıçrayışlı keçiricilik ilə baş verdiyini müəyyən etmişlər. Sıçrayışlı keçiriciliyin parametrlərinin qiymətləri hesablanmış,

konsentrasiyadan asılı olaraq dəyişməsi müəyyən edilmişdir və bərk məhlul halında enerji hallarının lokallaşmasına gətirən əlavə səbəblər nəzərdən keçirilmişdir.

Bu tədqiqatın məqsədi, müxtəlif dozalarda şüalandırılmış (TlInSe₂)_{1-x}(TlGaTe₂)_x (x=0; 0,1; 0,2; 0,8; 0,9; 1,0) sistemi bərk məhlulların 90-300K temperatur intervalında keçiriciliyinin xüsusiyyətinin və bu xüsusiyyətlərə qamma şüalarının təsirinin öyrənilməsindən ibarətdir.

Kristalların alınması və eksperiment

(TlInSe₂)_{1-x}(TlGaTe₂)_x, xüsusilə təmiz kimyəvi elementlərdən iki temperaturu sintez üsulu ilə əldə edildi (Tl - 99.999%, In - 99.9999%, Se - 99.99%, Ga - 99.9999%, Te - 99.99%). Sintez, bərk məhlulun tərkibinə uyğun stexiometrik miqdarda götürülmüş komponentlərin birbaşa ərintiləri ilə 10⁻³ Pa-ya qədər təmizlənmiş kvars ampullalarında aparıldı. Sintezin tamlığı və əldə edilən tərkibin bircinsliyi, eləcə də xüsusiyyətləri diferensial termik analiz və rentgen faza analizi (DTA və rentgen fazası təhlili) ilə idarə olundu. Əldə edilən külçələr toza çevrildi və kvars ampulasına yükləndi. Bundan sonra ampul vakumlaşdırıldı, möhürləndi və Bricman metodundan istifadə edərək tək kristalların böyüməsi üçün montaj zonalarının müstəqil temperatur nəzarəti ilə şaquli iki zonalı sobaya yerləşdirildi. Quraşdırma zamanı ampula temperatur qradienti zonasından 0,15 mm/saat sürətlə keçdi. Əldə edilən bərk məhlul tərkiblərinin homogenləşdirilməsi sobanın aşağı zonasında 700 K-yə qədər soyudulmaqla həyata keçirildi, sonra soba söndürüldü və otaq temperaturuna qədər soyuduldu.

(TlInSe₂)_{1-x}(TlGaTe₂)_x (x=0; 0.1; 0.2; 0.8; 0.9; 1) bərk məhlul birləşməsinin nümunələri, təmizlənmiş kvars ampullalarında stexiometrik nisbətlərdə götürülmüş müvafiq komponentlərdən sintez edilmişdir. Monokristallar modifikasiya edilmiş Bricman metodu ilə yetişdirilmişdir. Kristalın "c" oxunun parçalanma müstəvisində istiqamətləndirildiyi tədqiqat üçün hazırlanmış təzə parçalanmış nümunələr düzbucaqlı formaya və təxminən 0,5 mm qalınlığa malik idi. Nümunələrə gümüş kontaktları tətbiq edilmişdir. Hər ölçmədən əvvəl kontaktların omlikliyi izlənilmişdir.

Elektrik keçiriciliyi tədqiqatları rəqəmsal immittans ölçmə cihazı E7-25-də aparılmışdır. Ölçmələr, azot kriostatında, kristalın kvazi-stasionar davamlı qızdırılması (soyudulması) rejimində ≈ 0,1 K/dəq sürətlə dörd zondlu metodla aparılmışdır. Ölçmələr tetragonal "c" oxuna perpendikulyar kəsilmiş nümunələr üzərində aparılmışdır. Nümunələr otaq temperaturunda (Co⁶⁰ mənbəyində) şüalandırılmışdır.

Nəticələr və müzakirə

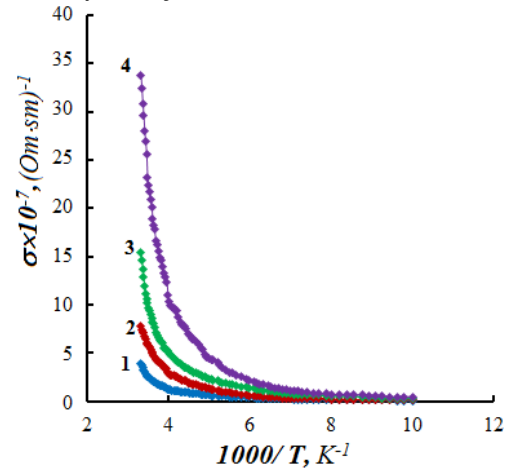
γ- kvantlarla şüalandırılmış (TlInSe₂)_{0.9}(TlGaTe₂)_{0.1} sistemli bərk məhlulun dc-keçiriciliyinin xüsusiyyətləri.

Təqdim olunan işdə ilkin və müxtəlif dozalarda qamma kvantlarla şüalandırılmış

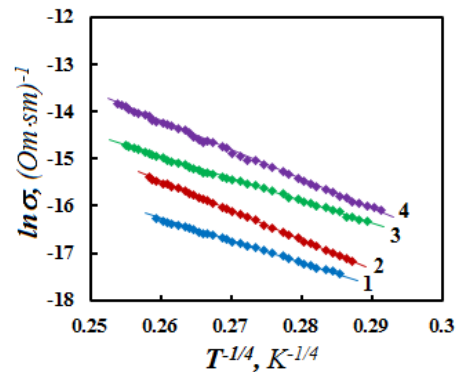
(TlInSe₂)_{0.9}(TlGaTe₂)_{0.1} sistemli bərk məhlulun 110-300 K temperatur intervalında dc-keçiriciliyinin xüsusiyyətləri öyrənilmişdir.

0; 0.1; 0.25 və 0.5 MQr dozalarda qamma kvantlarla şüalandırılmış (TlInSe₂)_{0.9}(TlGaTe₂)_{0.1} sistemli bərk məhlulun 110-300K temperatur intervalında keçiriciliyinin temperatur asılılıqları şəkil 1-də verilmişdir. Şəkillərdən görüldüyü kimi, (TlInSe₂)_{0.9}(TlGaTe₂)_{0.1} birləşməsində şüalanma dozasının artması ilə elektrik keçiriciliyinin qiymətinin artması müşahidə olunur.

Şəkil 1-dən görüldüyü kimi, $\sigma(T)$ asılılığında 0 MGy- 151-221 K; 0.1 MGy -147-225 K; 0.25 MGy- 143-237 K; 0.5 MGy – 139-241 K oblastları eksponensial səciyyə daşıyır. Bu temperatur intervalında istiliklə həyəcanlandırılmış (aktivləşdirilmiş) yükdaşıyıcıların icazəli zonada keçiriciliyi üstünlük təşkil edir [35-38]. Sabit cərəyan keçiriciliyinin aşağı temperaturda bu cür davranışı bizə onu deməyə imkan verir ki, 139÷241 K temperaturalarda tədqiq olunan nümunələrdə yük ötürülməsi Fermi səviyyəsinin yaxınlığında lokallaşdırılmış hallar boyunca müxtəlif hoppanma uzunluğuna malik daşıyıcıların sıçrayıçlı keçiriciliyi ilə baş verir. [39, 40]. Keçiriciliyin sıçrayıçlı mexanizmi yükdaşıyıcıların kiçik yüklüklü ilə səciyyədir. Belə ki, yükdaşıyıcıların sıçrayışları yaxınlıqda yerləşən akseptor səviyyələrinin dalğa funksiyalarının quyruq hissələrinin zəif örtülmələri üzrə həyata keçirilir [39].



Şəkil 1. Müxtəlif dozalarda qamma kvantlarla şüalandırılmış (TlInSe₂)_{0.9}(TlGaTe₂)_{0.1} sistemli bərk məhlulun keçiriciliyinin temperatur asılılıqları: 1- 0MQr; 2- 0.1MQr; 3-0.25MQr və 4-0.5MQr.



Şəkil 2. Mott yaxınlaşmasında $\ln\sigma$ -nın $T^{-1/4}$ -dən asılılığı: 1- 0MQr; 2- 0.1MQr; 3-0.25MQr və 4-0.5MQr.

Bu hal $lg\sigma$ -nın $T^{-1/4}$ –dən asılılığının xətti asılığa tabe olması ilə də öz təsdiqini tapır [39]. Şəkil 2-də tədqiq olunan bərk məhlullarda $139 < T < 241$ K temperatur oblastında Mott koordinatlarında $ln\sigma$ -nın $T^{-1/4}$ -dən asılılığı verilmişdir və görüldüyü kimi, qeyd olunan temperatur intervallarında $ln\sigma$ -nın $T^{-1/4}$ -dən asılılığı xətti qanuna tabedir.

Bu halda elektrik keçiriciliyi fonon tezlikləri ($\approx 10^{12}$ Hz) ilə müqayisədə ölçü sahəsinin tezliyi nəzərə alınmamaqla məlum Mott münasibəti ilə təsvir olunur [39].

$$\sigma \sim \exp \left[- \left(\frac{T_0}{T} \right)^{1/4} \right], \quad T_0 = \frac{\beta}{k N_F a^3} \quad (1)$$

burada N_F – Fermi səviyyəsinin ətrafında lokallaşmış halların sıxlığı, a – Fermi səviyyəsinin ətrafında halın lokallaşma radiusu, k – Bolsman sabiti, β – məsələnin ölçüsündən asılı olan ədəddir.

Fermi səviyyəsinə yaxın lokallaşdırılmış halların sıxlığını (N_F) aşağıdakı düsturdan qiymətləndirmək mümkündür.

$$N_F = \frac{16}{T_0 k a^3} \quad (2)$$

Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının N_F qiyməti hesablanarkən bərk məhlulların lokalizasiya radiusu $a = 30$ Å dəyərindən istifadə edilmişdir və $\nu_{ph} = 10^{12}$ Hz kimi qəbul edilmişdir [34, 35].

Baxılan model çərçivəsində verilmiş T temperaturu üçün Fermi səviyyəsinin yaxınlığında lokallaşmış hallar üzrə yükdaşıyıcıların sıçrayışının orta uzunluğu

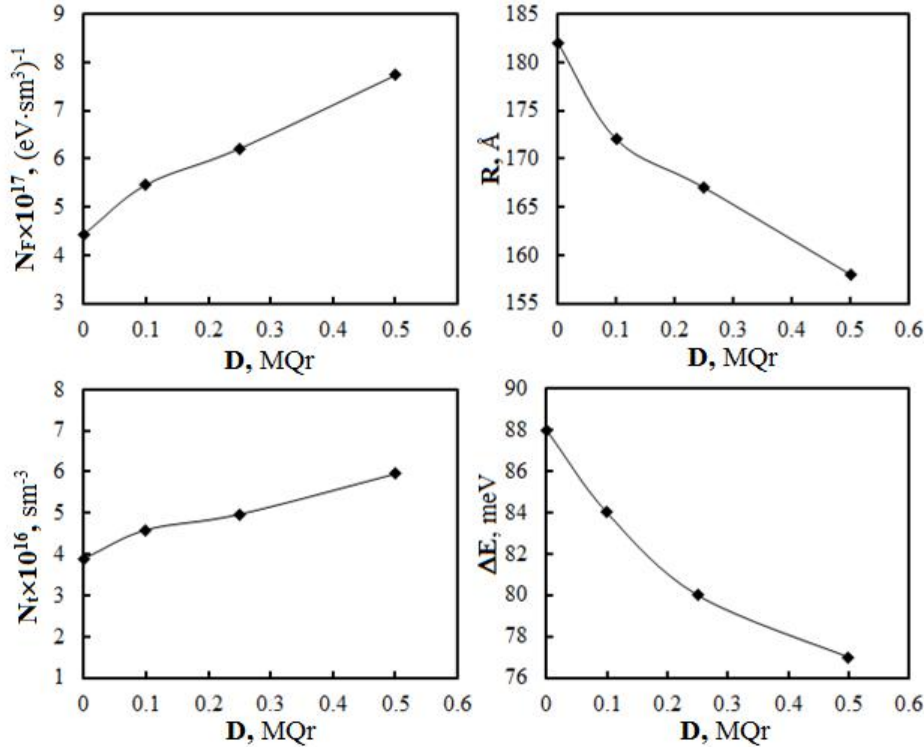
$$R = 3/8 a (T_0/T)^{1/4} \quad (3)$$

ifadəsindən tapılır. Bu ifadədən görünür ki, temperatur azaldıqda R parametrisinin qiyməti böyüyür. Bu halda qadağan olunmuş zonada lokal səviyyələrin boşalması baş verir və elektrik keçiriciliyində əsas rolü yükdaşıyıcıların ayrı-ayrı aşqar səviyyələrindən keçirici zonaya sıçrayışı oynayır. Nəticədə yükdaşıyıcıların məkanca daha uzaqda yerləşən, lakin enerji cəhətdən daha yaxın lokallaşma mərkəzlərinə sıçrayışlarının ehtimalı artır və bu, sıçrayışın aktivləşmə enerjisinin azalmasına səbəb olur. Elektrik keçiriciliyinin belə xarakterini həmçinin sıçrayışın aktivləşmə enerjisi monoton azalan elektrik keçiriciliyi də adlandırırırlar.

ΔE - Fermi səviyyəsinin yaxınlığında enerjilərin optimal zolağının enidir və o, verilən temperaturda elektrik daşınmasının praktiki olaraq bütün enerji oblastını əhatə edir və aşağıdakı münasibətdən təyin edilir: $\Delta E = 3/4 \pi R^3 N_F$.

Tədqiq olunan bərk məhlul üçün Fermi səviyyəsinin ətrafında lokallaşmış hallar üzrə elektrikdaşınması üçün məsul olan tələlərin konsentrasiyası $N_t = N_F \Delta E$ düsturundan təyin edilmişdir.

Şüalanmadan əvvəl və müxtəlif dozalarda şüalandırılmış $(\text{TlInSe}_2)_{0.9}(\text{TlGaTe}_2)_{0.1}$ bərk məhlulların Mott yaxınlaşması çərçivəsində Fermi səviyyəsi ətrafında lokallaşmış halların sıxlığı (N_F), dərin tələlərin konsentrasiyası (N_t), eləcə də lokallaşmış halların enerji fərqi (ΔE) və sıçrayışın uzunluğunun (R) qiymətləri hesablanmışdır. Hesablamadan alınmış qiymətlərin dozadan asılı olaraq dəyişməsi cədvəl 1-də və şəkil 3-də verilmişdir.



Şəkil 3. İlk və müxtəlif dozalarda şüalandırılmış $(\text{TlInSe}_2)_{0.9}(\text{TlGaTe}_2)_{0.1}$ sistemli bərk məhlulların Fermi səviyyəsi yaxınlığında a-lokallaşmış halların sıxlığının (N_F), b-lokallaşmış halların enerji fərqi (ΔE), c-dərin tələlərin konsentrasiyası (N_t), d-sıçrayışın uzunluğunun (R) şüalanma dozəsindən asılılığı.

Cədvəl 1.

(TlInSe₂)_{0.1}(TlGaTe₂)_{0.9} sistemi bərk məhlulların Mott yaxınlaşmasında keçiriciliyinin hesablanmış parametrləri (225 K).

D (MQr)	N _F (eV ⁻¹ ·sm ⁻³)	R (Å)	ΔE (meV)	N _t (sm ⁻³)
0	4.43·10 ¹⁷	182	88	3.89·10 ¹⁶
0.1	5.46·10 ¹⁷	172	84	4.58·10 ¹⁶
0.25	6.21·10 ¹⁷	167	80	4.96·10 ¹⁶
0.5	7.73·10 ¹⁷	158	77	5.95·10 ¹⁶

Şəkil 3-dən və cədvəl 1-dən göründüyü kimi, (TlInSe₂)_{0.9}(TlGaTe₂)_{0.1} sıçrayışlı keçiriciliyin parametrlərinin qiymətləri şüalanma dozasından asılı olaraq əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir, lakin keçiriciliyin mexanizmi sıçrayışlı olaraq qalır.

Nəticə

100-300 K temperatur diapazonunda 0; 0.1; 0.25 və 0.5 MQr dozalarında qamma kvantları ilə şüalandırılmış (TlInSe₂)_{0.9}(TlGaTe₂)_{0.1} sisteminin bərk məhlulunun dc keçiriciliyi öyrənilmişdir. Radiasiyaya məruz qalmadan əvvəl və sonra lokal vəziyyətlər üçün keçiriciliyin temperatur intervalları təyin edilmişdir. Göstərilmişdir ki, radiasiyaya dozasının artması ilə (0–

0.5MQr) sıçrayışlı keçiriciliyin temperatur oblastı genişlənir: belə ki, 0MQr- 151-221K; 0.1MQr-147-225K; 0.25 MQr- 143-237 K; 0.5 MQr – 139-241 K. Həmçinin, Mott modeli çərçivəsində şüalanmadan əvvəl və sonra sıçrayışlı keçiriciliyin parametrləri hesablanmışdır. Göstərilmişdir ki, radiasiya dozasının artması ilə Fermi səviyyəsinə yaxın lokal vəziyyətlərin sıxlığının (N_F) və tələlərin konsentrasiyasının (N_t) qiymətlərində artım müşahidə olunur, enerji fərqi (ΔE) və sıçrayışın uzunluğunun (R) qiymətləri isə azalır. Əldə edilən təcrübə nəticələri radiasiya qüsurlarının artması ilə əlaqələndirilir.

- [1] S.A.Al-Ghamdi, A.A.A.Darwish, T.A. Hamdalla, A.O.M. Alzahrani, S. Khasim, S.I. Qashou, K.F.A. El-Rahman. Optical Materials, 129, 112514, 2022.
- [2] E.M. Gojaev, E.A. Allakhyarov, A.M. Nazarov, K.D. Gyl'mamedov, Kh.S. Khalilova, E.M. Mamedov. Inorg. Mater., 43, 1059–1064, 2007.
- [3] Y.G. Shim, T. Asahi, K. Wakita, N.T. Mamedov, E.N. Alieva, N.A. Abdullaev. Tech. Phys. Lett. 44, 643–645, 2018.
- [4] A.M. Panic. J. Phys. Condens. Matter, 20, 29, 293202, 2008.
- [5] D. Muller, G. Eulenberger, H. Hahn. Z. anorg. Allg. Chem., 398, 207-220, 1973.
- [6] R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullaev, F.T. Salmanov, O.Z. Alekperov, E.K. Huseynov, N.A. Aliyeva. Semiconductors, 45, 11, 1387, 2011.
- [7] R.M. Sardarly, O.A. Samedov, A.P. Abdullaev, E.K. Huseynov, F.T. Salmanov, N.A. Aliyeva, R.Sh.Agaeva. Semiconductors, 47, 5, 707, 2013.
- [8] Rauf Sardarly, Oktay Samedov, Nurana Aliyeva, Arzu Sardarli. Inter. J. of Theoretical and App. Nanotechnology. 1, 1, 21-29, 2012.
- [9] R.M. Sardarly, O.A. Samedov, N.A. Aliyeva, E.K. Huseynov, A.P. Abdullayev, I.S. Gasanov, Y.Q. Nurullayev, F.T. Salmanov. TRANSACTIONS of ANAS (phys. and astronomy), XXXIII, 2, 57-65, 2013.
- [10] A.U. Sheleg, V.G. Gurtovoy, S.N. Mustafayeva, E.M. Kerimova. Phys. Sol. State, 53, 3, 472-475, 2011.
- [11] S.N. Mustafaeva, V.A. Ramazanzade, M.M. Asadov. Mater. Chem. Phys. 40, 2, 142, 1995.
- [12] E.M. Kerimova, S.N. Mustafaeva, A.B. Magerramov. Inorg. Mater., 33, 11, 1121, 1997.
- [13] R.M. Sardarly, A.P. Abdullayev, N.A. Aliyeva, F.T. Salmanov, M.Y. Yusifov, A.A. Orudjeva. Semiconductors, 52, 1111-1117, 2018.
- [14] R.M.Sardarly, G.M. Ashirov, L.F. Mashadiyeva, N.A. Aliyeva, F.T. Salmanov, R.Sh. Agayeva, R.A. Mamedov and M.B. Babanly. Modern Physics Letters B, 36, 32n33, 2250171, 2022.
- [15] R.M. Sardarly, N.N. Gadzhieva, N.A. Aliyeva, S.M. Gakhramanova, R.A. Mammadov. Problems of Atomic Science and Technology (PAST), 152, 4, 23-28, 2024.
- [16] M.M. Asadov, S.N. Mustafaeva. 2014 Tenth International Vacuum Electron Sources Conference (IVESC), St. Petersburg, Russia, 1.
- [17] M.M. Asadov, S.N. Mustafaeva, A.N. Mamedov. Inorg. Mater., 51, 772–778, 2015.
- [18] N.N. Gadzhieva, G.B. Akhmedova, R.A.Mammadov. Problems of Atomic Science and Technology (PAST), 159, 5, 28-32, 2025.
- [19] N.N. Gadzhieva, G.B. Akhmedova, R.A. Mammadov. Problems of Atomic Science and Technology (PAST), 152, 4, 20-22, 2024.
- [20] R.M. Sardarly, F.T. Salmanov, N.A. Alieva. Opt. Spectrosc., 127, 454–458, 2019.
- [21] R.M. Sardarly, O.A. Samedov, F.T. Salmanov, N.A. Alieva. Problems of Atomic Science and Technology, 120, 2, 30-33, 2019.
- [22] R.M. Sardarly, F.T. Salmanov, N.A. Aliyeva, R.M. Abbasli. Modern physics letters b, 34, 11, 2050113, 2020.
- [23] R.M. Sardarly, M.B. Babanly, N.A. Aliyeva, L.F.Mashadiyeva, R.A.Mamadov, G.M. Ashirov,

- A.A. Saddinova, S.Z. Damirova. East European Journal of Physics, 1, 233-239, 2025.
- [24] FT Salmanov, RM Sardarly, RM Mukhtarov, N.A. Aliyeva, R.A. Mammadov, Z.Q. Zeynalova. Problems of Atomic Science and Technology (PAST), 156, 2, 49-52, 2025.
- [25] R.M. Sardarly, N.A. Aliyeva, R.A. Mammadov, R.Sh. Rahimov, J.H. Jabbarov. Journal of Radiation Researches, 11, 2, 5-10, 2024.
- [26] R.M. Sardarly, O.A. Samedov, N.A. Aliyeva, A.P. Abdullayev, F.T. Salmanov, A.A. Orucova. Journal of Radiation Researches, 3, 1, 5-13, 2016.
- [27] S.N. Mustafaeva, M.M. Asadov, S.S. Huseynova, N.Z. Hasanov, V.F. Lukichev. Phys. Solid State, 64, 6, 617-627, 2022.
- [28] O.Z. Alekperov, A.I. Najafov, E. Nakhmedov, O.A. Samedov, N.A. Aliyeva, G. Jafarova. Journal of Applied Physics, 2018, 123 (13), 135701-1-135701-9.
- [29] R.M. Sərdarlı, F.T. Salmanov, N.Ə. Əliyeva. γ -kvantlarla şüalanmış $(\text{TlGaSe}_2)_{1-x}(\text{TlInS}_2)_x$ bərk məhlullarının impedans xarakteristikaları. AJP Fizika section: Az, 2019, v.XXV, №2, s.34-35.
- [30] R.M. Sərdarlı, O.Ə. Səmədov, A.P. Abdullayev, N.Ə. Əliyeva, E.K. Hüseynov, İ.S. Həsənov, F.T. Salmanov. TlInSe_2 kristalında həcmi yüklərin yaratdığı polyarlaşma və ion keçiriciliyi. AJP Fizika section: Az, 2015, v.XXI, №1, s.23-26.
- [31] I. Nuritdinov, U.O. Khodzhaev, F.K. Hallokov, N.Z. Gasanov, S.Kh. Umarov. Semiconductor Physics and Microelectronics. 4, 3-4, 60-67, 2022.
- [32] F.K. Khallokov, G.T. Imanova, S.Kh. Umarov, M.Yu. Tashmetov, N.Z. Gasanov, Z.U. Esanov, I.R. Bekpulatov. Materials Research Innovations, 29, 1, 46-50, 2024.
- [33] N.A. Alieva, A.I. Najafov, T.G. Mamedov. Inorg. Mater. 51, 877-883, 2015.
- [34] R.M. Sardarly, O.A. Samedov, N.A. Aliyeva, E.K. Huseynov, A.P. Abdullayev, F.T. Salmanov, E.M. Kerimova. Semiconductors, 49, 1655-1660, 2015.
- [35] S.N. Mustafaeva, M.M. Asadov, E.M. Kerimova. Phys. Sol. State, 55, 12, 2466-2470, 2013.
- [36] F.N. Abdullaev, T.G. Kerimova, N.A. Abdullaev. Phys. Sol. State, 47, 7, 1221-1224, 2005.
- [37] S.N. Mustafayeva, V.A. Aliyev, M.M. Asadov. Phys. Sol. State, 40, 4, 561-563, 1998.
- [38] G.P. Belenkiy, N.A. Abdullaev, V.N. Zverev, V.Ya. Shteinshraiber. Letters to JETP, 47, 10, 584-587, 1988.
- [39] N.F. Mott, E.A. Davis. Electronic processes in non-crystalline materials. Clarendon, Oxford, 1971, 472 p.
- [40] N.F. Mott. Electrons in disordered structures. Advances in Physics. 2001, 50 (7), pp.865.

**R.M. Sardarly, N.A. Aliyeva, R.Sh. Rahimov, J.H. Jabbarov,
F.T. Salmanov, R.A. Mammadov, I.X. Mammadov, G.E. Mamedova**

CONDUCTIVITY OF $(\text{TlInSe}_2)_{0.9}(\text{TlGaTe}_2)_{0.1}$ SOLID SOLUTION IRRADIATED WITH GAMMA QUANTUMS ON LOCALIZED STATES

The *dc* conductivity of the solid solution of the $(\text{TlInSe}_2)_{0.9}(\text{TlGaTe}_2)_{0.1}$ system irradiated with gamma quanta at doses of 0; 0.1; 0.25 and 0.5 MGy was studied in the temperature range of 100-300 K. The temperature intervals of conductivity for local states before and after radiation exposure were determined. It was shown that with an increase in the radiation exposure dose (0 – 0.5 MGy) the temperature interval of conductivity in local states expands, which is associated with an increase in radiation defects.

Qəbul olunma tarixi: 09.12.2025