



γ -KVANTLARLA ŞÜALANDIRILMIŞ $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) BƏRK MƏHLULLARININ LOKALLAŞMIŞ HALLAR ÜZRƏ KEÇİRİCİLİYİ

**Nuranə Əlislam qızı Əliyeva, Famin Tahir oğlu Salmanov, Ramil Azad oğlu Məmmədov,
Aysel Ələddin qızı Rəsulova, Sevinc Dadaş qızı Dadaşova**

Radiasiya Problemləri İnstitutu

E-mail: ramil.m.azadoglu@gmail.com

Təqdim olunan işdə sabit elektrik sahəsində $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlulunun lokallaşmış hallar üzrə keçiriciliyə qamma şüaların təsiri öyrənilmişdir. Tədqiqat E7-25 İmmitans ölçü cihazı vasitəsi ilə aparılmışdır. Qamma kvantlarla şüalandırılmış $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlullarının elektrikkeçiriciliyi 100-300 K temperatur intervalında tədqiq olunmuş və sıçrayışlı keçiriciliyin temperatur intervalları müəyyən edilmişdir. Göstərilmişdir ki, şüalanmadan əvvəl və sonra müəyyən olunmuş temperatur intervallarında keçiricilik Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar üzrə baş verir. Mott yaxınlaşmasına əsasən keçiriciliyin parametrləri hesablanmışdır: Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığı (N_F), dərin tələlərin konsentrasiyası (N_t) lokallaşmış halların enerji fərqi (ΔE), eləcə də yükdaşıyıcıların sıçrayışlarının orta uzunluğunun (R) qiymətləri hesablanmış və müqayisə edilmişdir.

Açar sözlər: *sıçrayışlı keçiricilik, qamma şüalanma, lokallaşmış halların sıxlığı, dərin tələlərin konsentrasiyası, lokallaşmış halların enerji fərqi, sıçrayışın orta uzunluğu*

GİRİŞ

A^3B^6 qruplu ikiqat halkogenid birləşmələr fotoelektrik, elektrik və lüminisensiya hadisələrinin araşdırılması üçün maraqlı yarımkeçiricilər hesab olunurlar. Bu qrupdan olan zəncirvari quruluşa malik TlS və TlSe kristalları struktur xüsusiyyətlərinə görə tədqiqatçıların diqqətini cəlb edir. Yarımkeçirici birləşmələr arasında yaranan bərk məhlulların fiziki xassələri dəyişmək imkanı yaratdığından son illər geniş tədqiq olunur.

$\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0-1,0$) sistemli bərk məhlullarının əmələ gəldiyi TlS və TlSe monokristalları A^3B^6 tip yarımkeçirici birləşmələr sinifinə aid olub zəncirvari (tetraqonal) modifikasiyada kristallaşır. TlS monokristalı TlSe -ilə izostrukturudur və tetraqonal simetriyada kristallaşır. TlSe üçün qəfəs parametrləri $a = b = 8,020 \text{ Å}$, $c = 6,7910 \text{ Å}$, $Z = 4$, TlS kristalı üçün isə $a=b=7,785 \text{ Å}$, $c=6,802 \text{ Å}$, $Z=8$ [1,2].

Həcmə mərkəzləşmiş zəncirvari strukturlu tetraqonal sinqoniyalı TlS və TlSe kristallarının əsas xüsusiyyətlərindən biri ondan ibarətdir ki, strukturda Tl atomları bir və üç valentli hallarda və iki kristalloqrafik vəziyyətlərdə olur. Ona görə də bu birləşmələrinin formulunu $\text{Tl}^{1+}\text{Tl}^{3+}(\text{S}^{2-})_2$ və $\text{Tl}^{1+}\text{Tl}^{3+}(\text{Se}^{2-})_2$ şəkildə də yazmaq olar. Üçvalentli və bir valentli tallium ionları iki qeyri-ekvivalent kristalloqrafik yeri tutur. Tl^{3+} kationları kovalent (sp^3) Tl-Se rabitələri yaradır və $\text{Tl}^{3+}\text{Se}_4^{2-}$ tetraedrinin mərkəzlərində yerləşir ki, onlar ümumi tillər ilə bağlıdır və "c"-oxu boyunca xətti zəncirlər yaradırlar.

Təqdim olunan işdə, qamma kvantlarla şüalandırılmış $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ bərk məhlulunun 100-300K temperatur intervalında elektrikkeçiriciliyinin xüsusiyyətləri öyrənilmiş və Mott yaxınlaşması çərçivəsində [3] keçiriciliyin təhlili aparılmışdır.

MATERIAL VƏ METODLAR

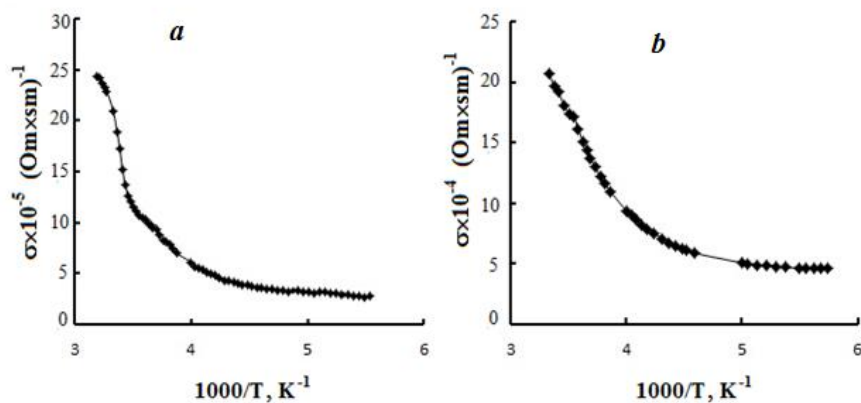
$\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0-1,0$) bərk məhlul nümunələri vakuumlaşdırılmış kvarts ampulada ilkin komponentlərin (təmizlik dərəcəsi 99.999%) ərintilərindən sintez edilmiş və onların monokristalları Bricsmen metodu ilə yetişdirilmişdir. Tədqiqat üçün nümunələr kristalın "c" oxuna perpendikulyar istiqə-

mətdə düzbucaqlı formada kəsilmişdir. $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0-1,0$) bərk məhlul kristal nümunələrinin elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığını ölçmək üçün tədqiq olunan materiallardan kondensator hazırlanmışdır. $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0-1,0$) bərk məhlul nümunələrinin elektrik keçiriciliyi $25 \div 10^6$ Hs tezlik intervalında impedans spektroskopiyası metodu ilə tədqiq edilmişdir. Elektrik keçiriciliyinin tədqiqatları E7-25 rəqəmsal immittas ölçü cihazı vasitəsi ilə aparılmışdır, ölçmənin dəqiqliyi 0,1 % -dir.

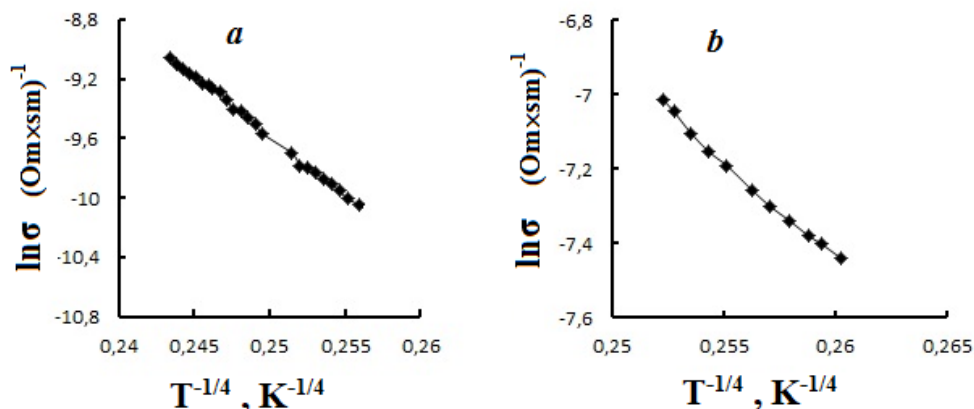
NƏTİCƏLƏR VƏ ONLARIN MÜZAKİRƏSİ

Təqdim olunmuş işdə $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlulunun 100-300K temperatur intervalında keçiriciliyinin xüsusiyyətinin öyrənilmiş və Mott yaxınlaşması çərçivəsində [3] keçiricilik mexanizminin təhlili aparılmışdır. Həmçinin γ - kvantlarının bu xassələrə təsiri öyrənilmişdir.

Şüalanmamış və 0.1 MQR dozada şüalandırılmış $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlullarının elektrik keçiriciliyinin Arrenius koordinatlarında temperatur asılılıqları şəkil 1 –də (a və b) verilmişdir. Şəkillərdən göründüyü kimi, $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlulunun 0.1 MQR dozada şüalanmadan sonra keçiriciliyin qiymətində artma müşahidə olunmuşdur.



Şəkil 1. Şüalanmamış və 0.1 MQR dozada şüalandırılmış $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlulunun elektrik keçiriciliyinin temperaturdan asılılığı. a- 0 MQR, b- 0.1 MQR



Şəkil 2. Şüalanmamış və 0.1 MQR dozada şüalandırılmış $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlulunun Mott koordinatlarında $\ln \sigma$ -nın $T^{-1/4}$ -dən asılılığı. a-0MQR, b-0.1 MQR

Şəkillərdən göründüyü kimi, elektrikkeçiriciliyinin temperaturdan asılılıqlarında xüsusi keçiriciliyin dəyişməsinə iki hissə mövcuddur. Bu asılılığın 200÷285 K temperatur oblastı eksponensial xarakter daşıyır. Bu temperatur intervalında istiliklə həyəcanlaşdırılmış yükdaşıyıcıların icazəli zonada keçiriciliyi üstünlük təşkil edir. Temperaturun aşağı düşməsi ilə aşqar yükdaşıyıcıların konsentrasiyasının sürətlə azalması müşahidə olunur, yəni tədqiq olunan bərk məhlullar üçün 200 K-dən aşağı temperatur oblastları yükdaşıyıcıların donma oblastlarıdır. $A^3B^3C^6_2$ və A^3B^6 qrup kristallarının tədqiqi zamanı müşahidə olunan $\lg\sigma$ -nın $(T^{-1/4})$ -dən asılılığında əyrinin meylinin rəvan dəyişməsi lokallaşmış hallar üzrə sıçrayışlı keçiricilik üçün xarakterikdir [4, 5]. Elektrikkeçiriciliyinin qiymətinin temperaturun dəyişməsinə qarşı yüksək həssaslığa malik olması tədqiq olunan materiallar üçün səciyyəvidir.

Şəkil 2-də $200 < T < 260$ K temperatur oblastında Mott koordinatlarında $\ln\sigma$ -nın $T^{-1/4}$ -dən asılılığı verilmişdir. Şəkillərdən göründüyü kimi, göstərilən koordinatlarda eksperimental nöqtələr düz xətt boyunca yığılır. Bu da onu göstərir ki, tədqiq edilən materiallarda 200÷285K temperatur oblastında yükün daşınması Fermi səviyyəsinin yaxınlığında dar enerji zolağında yerləşən lokallaşmış hallar üzrə yükdaşıyıcıların sıçrayışlı hərəkəti vasitəsilə həyata keçirilir. Bu halda elektrikkeçiriciliyi məlum Mott münasibəti ilə təsvir olunur [3]:

$$\sigma \sim \exp \left[- \left(\frac{T_0}{T} \right)^{1/4} \right],$$

$$T_0 = \frac{\beta}{k N_F a^3} \quad (1)$$

burada N_F – Fermi səviyyəsi ətrafında lokallaşmış halların sıxlığı, a – Fermi səviyyəsi ətrafında halların lokallaşma radiusu, k – Bolsman sabitidir.

Beləliklə, temperaturun azalması ilə keçirici zonada yükdaşıyıcıların sürətlə aşağı energetik səviyyələrə keçməsi müşahidə olunur və nəticədə elektrikkeçiriciliyində üstün rolu yükdaşıyıcıların keçirici zonaya aktivləşdirilmədən, ayrı-ayrı aşqar halları üzrə sıçrayışları yük daşınması başlayır.

Keçiriciliyin sıçrayışlı mexanizmi yükdaşıyıcıların kiçik yürüklüyü ilə səciyyələnir. Belə ki, yükdaşıyıcıların sıçrayışları yaxınlıqda yerləşən akseptor səviyyələrinin dalğa funksiyalarının quyruq hissələrinin zəif örtülmələri üzrə həyata keçirilir [3].

Bununla yanaşı, ayrılardan da göründüyü kimi, lokallaşmış hallar üzrə keçiricilik zona keçiriciliyini üstələyir. Keçiriciliyin bu xüsusiyyəti üçün demək olar ki, əgər nəzərə alsaq lokallaşmış hallar üzrə keçiricilik aşqar səviyyələrdə olan bütün daşıyıcılar tərəfindən həyata keçirilir, zona keçiriciliyinin əlavəsi isə valent zonada daşıyıcıların donması səbəbindən əhəmiyyətli dərəcədə zəifləmiş olur.

[3] ədəbiyyat məlumatlarına əsasən sıçrayışlı keçiricilik modelinə əsasən $\lg\sigma$ – nın $T^{-1/4}$ koordinatlarında xəttildən gözə çarpan kənaraçıxma $T_x \approx T_D/2$ -dən (burada T_D -Debay temperaturudur) aşağı temperaturlarda müşahidə olunmalıdır. Bu kristallar üçün Debay temperaturunu $T_D \approx 290K$ (200 sm^{-1}) fonon spektrlərindən qiymətləndirmək olar. Baxılan modeldə qəbul edilir ki, Debay temperaturundan yuxarı temperaturlarda yükün daşınması çoxfononlu qeyri-elastik toqquşmalar vasitəsilə yükdaşıyıcıların termoaktivləşməsi ilə həyata keçirilir. Aşağı temperaturlar oblastında ($T < T_D/2$) isə sıçrayışının uzunluğu dəyişən sıçrayışlı keçiricilik mexanizmi üstünlük təşkil edir və bu, $\sigma = A \exp[(T_0/T)^{1/(1+d)}]$ tip temperatur asılılığına gətirir; burada üçölçülü sistem üçün $d=3$, ikiölçülü sistem üçün isə $d=2$. Şəkil 1 və 2-dən göründüyü kimi, $TlSe_{1-x}S_x$ ($x=0,1$) bərk məhlulu üçün xüsusi keçiriciliyin təcrübi nöqtələri Mott koordinatlarında $\sigma = A \exp[(T_0/T)^{1/(1+d)}]$ -də $d=3$ olduqda düz xəttin üzərinə düşür.



Mott yaxınlaşmasına əsasən keçiriciliyin parametrlərinin qiymətlərini hesablamaq mümkündür. Baxılan model çərçivəsində verilmiş T temperaturu üçün Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış hallar üzrə yükdaşıyıcıların sıçrayışının orta uzunluğu

$$R = 3/8a(T_0/T)^{1/4} \quad (2)$$

ifadəsindən tapılır. Bu ifadədən görünür ki, temperatur azaldıqda R parametrlərinin qiyməti böyüyür. Bu halda qadağan olunmuş zonada lokal səviyyələrin boşalması baş verir və elektrikkeçiriciliyində əsas rolu 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. Elektrikkeçiriciliyinin belə xarakterini həmçinin sıçrayışın aktivləşmə enerjisi monoton azalan elektrikkeçiriciliyi də adlandırırlar.

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:

$$\Delta E = 3/4\pi R^3 N_F \quad (3)$$

Tədqiq olunan $\text{TiSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlullarının üçün Fermi səviyyəsi ətrafında lokallaşmış hallar üzrə elektrik yükünün daşınması üçün cavabdeh olan tələlərin konsentrasiyası: $N_t = N_F \Delta E$ düsturundan təyin edilmişdir.

Şüalanmadan əvvəl və 0.1 MQr dozada şüalanmış $\text{TiSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlulunun Mott yaxınlaşması çərçivəsində parametrlərin qiymətləri hesablanmışdır və cədvəl 1-də verilmişdir.

Cədvəl 1-də göstəriləndiyi kimi, tədqiq olunan $\text{TiSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlulunun sıçrayışlı keçiriciliyin parametrlərinin qiymətləri qamma şüalanmadan sonra əhəmiyyətli dərəcədə dəyişir. Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının (N_F), tələlərinin konsentrasiyasının (N_t) qiymətlərinin şüalanmadan sonra bir qədər artması, enerji fərqi (ΔE) və sıçrayışın uzunluğunun (R) azalması müşahidə olunur.

γ -kvantlarla şüalanmış $\text{TiSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlulunun 100-300K temperatur oblastında elektrikkeçiriciliyi tədqiq olunmuş və sıçrayışlı keçiriciliyin mövcudluğunun temperatur intervalları müəyyən edilmişdir. Keçiriciliyin sıçrayışlı xarakteri üçün məsul olan əlavə səbəblər nəzərdən keçirilmişdir. Tədqiq olunan $\text{TiSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlulu üçün lokallaşmış halların parametrlərinin qiymətləri şüalanmadan əvvəl [6] və 0.1 MQr dozada şüalanmadan sonra hesablanmışdır və cədvəldə göstərilmişdir. Qamma kvantlarla şüalanmadan sonra Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının (N_F), tələlərinin konsentrasiyasının (N_t) qiymətlərinin şüalanmadan sonra bir qədər artması, enerji fərqi (ΔE) və sıçrayışın uzunluğunun (R) azalması müşahidə olunur.

Cədvəl 1

$\text{TiSe}_{1-x}\text{S}_x$ bərk məhlullarının şüalanmadan əvvəl [6] və 0,1 MQr şüalanmadan sonra Mott yaxınlaşmasında keçiriciliyinin hesablanmış parametrləri. ($T=240\text{K}$)

	N_F	R	ΔE	N_t
$\text{TiSe}_{0.9}\text{S}_{0.1}$ (0 MQr)	$9,68 \cdot 10^{18}$	$7,61 \cdot 10^{-7}$	0,055	$5,32 \cdot 10^{17}$
$\text{TiSe}_{0.9}\text{S}_{0.1}$ (0.1 MQr)	$3,49 \cdot 10^{19}$	$5,55 \cdot 10^{-7}$	0,039	$1,36 \cdot 10^{18}$



YEKUN NƏTİCƏ

γ -kvantlarla şüalanmış $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlulunun 100-300K temperatur oblastında elektrikkeçiriciliyi tədqiq olunmuş və sıçrayışlı keçiriciliyin mövcudluğunun temperatur intervalları müəyyən edilmişdir. Keçiriciliyin sıçrayışlı xarakteri üçün məsul olan əlavə səbəblər nəzərdən keçirilmişdir. Tədqiq olunan $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) bərk məhlulu üçün lokallaşmış halların parametrlərinin qiymətləri şüalanmadan əvvəl və 0.1 MQr dazada şüalanmadan sonra hesablanmışdır. Qamma kvantlarla şüalanmadan sonra Fermi səviyyəsi yaxınlığında lokallaşmış halların sıxlığının (N_F), tələlərinin konsentrasiyasının (N_t) qiymətlərinin şüalanmadan sonra bir qədər artması, enerji fərqi (ΔE) və sıçrayışın uzunluğunun (R) azalması müşahidə olunur.

ƏDƏBİYYAT

1. Hahn H. Röntgenographische beitrage zu den systemen Thallium- Selen and Thallium - Tellur. / H. Hahn, W. Kleingler // Zeitseh. Anorg chem., -1949, -260, -p. 110-119.
2. Kahsida S. Ferroelectric phase transition in monoclinic TlS. / S.Kahsida, K.Nakamura, S.Katayama // SolidSt. Commun, -1992, -82, -p. 127-130.
3. Mott N.F..Electronic Processesin Noncrystallinematter / N.F. Mott, E.A. Davis. Moscow: Mir, - 1982, -368 p.
4. Мустафаева С.Н. Влияние состава Кристаллов $\text{TlGa}_{1-x}\text{Er}_x\text{Se}_2$ на их диэлектрические характеристики и парамет / Мустафаева С.Н., Асадов М.М., Керимова Э.М. // ФТТ, -2013, 55 (23), -p. 46.
5. Сардарлы Р.М.. Особенности проводимости γ -облученных Кристаллов TlGaTe_2 с нанопочечной структурой. / Р.М.Сардарлы, О.А.Самедов, А.П.Абдуллаев [и др.] ФТП, - 2010, 44 (5), -p. 610-614.
6. Salmanov F.T. $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0; 0,1$) bərk məhlulların lokallaşmış hallar üzrə keçiriciliyi. / F.T.Salmanov, N.A. Aliyeva, R.A. Mammadov [və b.] // Gənc Tədqiqatçı elmi-praktiki jurnal, № 2, -2021, -p. 11-16.

CONDUCTIVITY OVER LOCALIZED STATES OF SOLID SOLUTIONS $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x = 0.1$) IRRADIATED WITH γ -QUANTA

N.A. Aliyeva, F.T. Salmanov, R.A. Mammadov, A.A. Rasulova, S.D. Dadashova

In the presented study, the effect of gamma rays on the conductivity of the $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0.1$) solid solution in localized states in a constant electric field was studied. The study was carried out using an E7-25 impedance meter. The electrical conductivity of $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0.1$) solid solutions irradiated with gamma quanta was studied in the temperature interval of 100-300 K and the temperature intervals of the jump conductivity were determined. It has been shown that in certain temperature intervals before and after irradiation, conduction occurs in localized states near the Fermi level. Based on the Mott approximation, the conductivity parameters were calculated: the density of localized states (N_F) near the Fermi level, the concentration of deep traps (N_t), the energy difference of localized states (ΔE), as well as the values of the average length of charge carrier jumps (R) were calculated and compared.

Keywords: *hopping conductivity, gamma radiation, density of localized states, concentration of deep traps, energy difference of localized states, average hop length*



ПРОВОДИМОСТЬ ПО ЛОКАЛИЗОВАННЫМ СОСТОЯНИЯМ ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x = 0,1$), ОБЛУЧЕННЫХ γ - КВАНТАМИ

Н.А. Алиева, Ф.Т. Салманов, Р.А. Мамедов, А.А. Расулова, С. Д. Дадашева

В представленной работе изучено влияние гамма-квантов на проводимость твердого раствора $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$) в локализованных состояниях в постоянном электрическом поле. Исследование проводилось с помощью импедансометра Е7-25. Исследована электропроводность твердых растворов $\text{TlSe}_{1-x}\text{S}_x$ ($x=0,1$), облученных гамма-квантами, в интервале температур 100-300 К и определены температурные интервалы скачкообразной проводимости. Показано, что в определенных температурных интервалах до и после облучения проводимость реализуется в локализованных состояниях вблизи уровня Ферми. На основе приближения Мотта рассчитаны параметры проводимости: плотность локализованных состояний (N_F) вблизи уровня Ферми, концентрация глубоких ловушек (N_t), разность энергий локализованных состояний (ΔE), а также значения рассчитаны и сопоставлены значения средней длины прыжков носителей заряда (R).

Ключевые слова: прыжковая проводимость, гамма-излучение, плотность локализованных состояний, концентрация глубоких ловушек, разность энергий локализованных состояний, средняя длина прыжка