

ВПЛИВ РЕНТГЕНІВСЬКОГО ОПРОМІНЮВАННЯ НА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ ПОЛІТИПІВ КРИСТАЛІВ β -TlInS₂

Гололобов Ю.П., доктор фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна, «Yuriy Gololobov» gololo@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3360-6669

Боровий М.О., доктор фізико-математичних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна, borovoy@univ.kiev.ua, orcid.org/0000-0002-2435-2620

INFLUENCE OF THE X-RAY IRRADIATION ON A CRYSTALS β -TlInS₂ POLITIPES CONDUCTIVITY

Gololobov Yu.P., doctor of sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine, «Yuriy Gololobov» gololo@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3360-6669

Borovoy N.A., doctor of sciences, professor, Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine, borovoy@univ.kiev.ua, orcid.org/0000-0002-2435-2620

ВЛИЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ОБЛУЧЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТЬ ПОЛИТИПОВ КРИСТАЛЛОВ β -TlInS₂

Гололобов Ю.П., доктор физико-математических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина, gololo@ukr.net, orcid.org/0000-0003-3360-6669

Боровой Н.А., доктор физико-математических наук, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина, borovoy@univ.kiev.ua, orcid.org/0000-0002-2435-2620

Постановка проблеми.

Кристали широкозонного напівпровідника-сегнетоелектрика β -TlInS₂ при нормальних умовах належать до класу низько симетричних потрійних халькогенідних сполук TlMX₂ (M = Ga, In; X = Se, S, Te) просторової групи симетрії C_{2h}⁶ з параметрами елементарної комірки : a = 10.90 Å, b = 10.94 Å, c = 15.18 Å, β = 100.21° [1]. Зазначені кристали є перспективними матеріалами для створення детекторів електромагнітного випромінювання в інфрачервоному діапазоні, тому їх діелектричні, оптичні, пружні властивості, а також електропровідність активно вивчаються в численних роботах (див., наприклад, огляд [2]). Виявлені раніше рядом авторів аномалії фотопровідності, питомої електропровідності, швидкості поширення ультразвукових хвиль і питомої теплоємності кристалів β -TlInS₂ свідчать про наявність в них фазових переходів (ФП), що супроводжуються існуванням неспівмірно модульованої структури в температурному інтервалі T=170-240 К [3-6].

Проте, незважаючи на численні експериментальні дослідження, дані про характеристики і механізми ФП в β -TlInS₂ «параелектрична – неспівмірна фаза» і «неспівмірна-співмірна фаза» є дуже суперечними. Наприклад, згідно з результатами [7], в кристалах β -TlInS₂ можна спостерігати два структурних ФП: перший (T_i=213 К), пов'язаний з виникненням довгоперіодичної модуляції структури, а другий – сегнетоелектричний при T_c=189 К. В свою чергу нейтронодифракційні дослідження [8] виявили в кристалах β -TlInS₂ іншу послідовність структурних перетворень: ФП-1 (T_i ≈ 220 К) – перехід у неспівмірну фазу з вектором $\mathbf{q}_{inc}=(\delta, \delta, 0.25)$, де $\delta = 0.012 \pm 0.003$, ФП-2 (T_{ic} ≈ 200 К) супроводжується виникненням спонтанної поляризації та появою нової модуляції структури (величину та напрямок якої авторам встановити не вдалося); ФП-3 (T_c ≈ 170 К) – перехід у співмірну фазу (lock-in перехід). З іншого боку, рентгеноструктурні дані свідчать про існування в температурному інтервалі T=194-214 К модульованої структури з вектором модуляції $q(\mp\delta, 0, \pm 0.25)$ ($\delta = 0.04$) [9, 10].

Не тільки зазначені протиріччя, але й чимало інших знайшли пояснення після виявлення різних політипів кристалів β -TlInS₂: С, 2С, 4С і 8С, що відрізняються пакуванням шарів уздовж осі С [11-13]. Зокрема, для 2С-політипу кристалів β -TlInS₂, на відміну від С-політипу, дослідження за допомогою рентгенівського дифрактометра з чотириковою гоніометричною приставкою не

виявили наявність модуляційних рефлексів в температурному інтервалі $T=170-300$ К [5, 10]. Тому, виникла необхідність провести порівняльні дослідження електропровідності зазначених політипів кристалів β -TlInS₂ в інтервалі температур $T=100-300$ К. Оскільки, провідність β -TlInS₂ дуже чутлива до змін концентрації різного роду дефектів [14-16], уявляється важливим дослідити також зміни у поведінці з температурою електропровідності зразків С- і 2С-політипів β -TlInS₂ до і після опромінення значною дозою рентгенівського опромінення. Вирішенню поставлених питань і присвячена дана стаття.

Для вимірювання електропровідності використовувалися монокристалічні зразки β -TlInS₂ С- та 2С-політипів. Стехіометрія зразків перевірялася за допомогою рентгенівського спектроскопа JEOL JEM-2100F TEM. Ідентифікація С- і 2С-політипів проводилися на дифрактометрі ДРОН-4-07 з гоніометричною приставкою ГП-15. Типовий розмір зразків складав $5 \times 7 \times 1$ мм³. Поверхня 5×7 мм² була паралельна площинам (001). Для забезпечення омичних контактів використовувалася індій-галієва паста, яка наносилася на попередньо очищені грані площею 7×1 мм², вимірювали електропровідність вздовж шарів. Електрична напруга формувалася 12-и бітним цифро-аналоговим перетворювачем та через буферний підсилювач подавалася на зразок. Постійний електричний струм, що проходив через зразок, за допомогою перетворювача «струм-напруга» перетворювався на напругу, яка вимірювалася за допомогою 16-бітного аналого-цифрового перетворювача та у цифровому вигляді передавалася до комп'ютера. При кожній температурі визначалася вольт-амперна характеристика зразка, на якій виділялася лінійна ділянка, що відповідала омичному опору. Напруги на цій ділянці не перевищували 0,2 В. Для визначення опору зразка використовувалася напруга 0,1В.

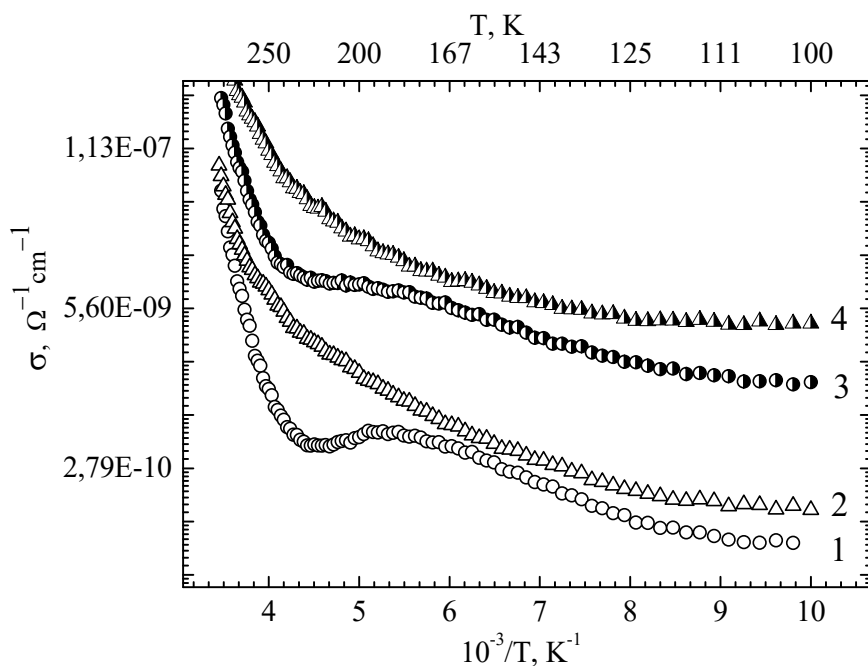


Рисунок 1 – Температурні залежності електропровідності для двох політипів β -TlInS₂ до і після опромінення рентгенівським випромінюванням дозою $D = 2.7 \times 10^3$ Гр.: С-політип (1 – до; 3 – після) і 2С-політип (2 – до; 4 – після).

Figure 1 – Temperature dependences of conductivity for two polytypes of β -TlInS₂ crystal before and after x-ray irradiation by the dose of $D = 2.7 \times 10^3$ Gy: С- polytype (1 – before; 3 – after) and 2С-політип (2 – before; 4 – after).

Зразок розміщувався у камері кріостата CS204AEX1-AL. Керування температурою кріостата здійснювалося за допомогою контролера «Lake Shore 331S» через цифровий порт RS232 комп'ютера. Точність підтримування температури складала 0,1К. Швидкість зміни температури 1 К/хв. Вимірювання проводили у режимі охолодження. Більш детально методика вимірювань електропровідності на постійному струмі наведена в [17].

На рис. 1 наведено температурні залежності електропровідності $\sigma(T)$ для двох політипів β -TlInS₂ до і після опромінення. Як видно, для С-політипу в області температур $T=216-290$ К при охолодженні зразків спостерігається характерне для напівпровідників зменшення електропровідності

(залежність 1). Цікаво, що подальше охолодження супроводжується збільшенням провідності, але вже при температурі $T=196$ К залежність досягає максимуму. Нарешті, при температурах $T < 195$ К електрична провідність знову монотонно зменшується при охолодженні. Отже, області температур $T= 196-216$ К, де, як показано нами раніше [10], кристали β -TlInS₂ С-політипу знаходяться у неспівмірній фазі, залежність $\sigma(T)$ показує аномальну для напівпровідників поведінку з температурою.

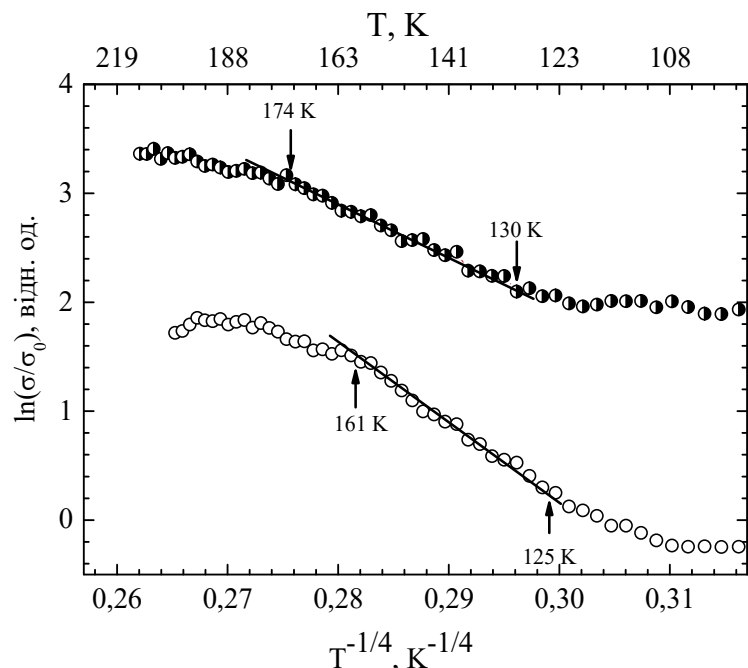


Рисунок 2 – Температурні залежності електропровідності для С-політипу кристалів β -TlInS₂: \circ – до опромінення; \bullet – після опромінення
 Figure 2 – Temperature dependences of conductivity for C-polytype of crystals β -TlInS₂: \circ – before an irradiation; \bullet – after an irradiation

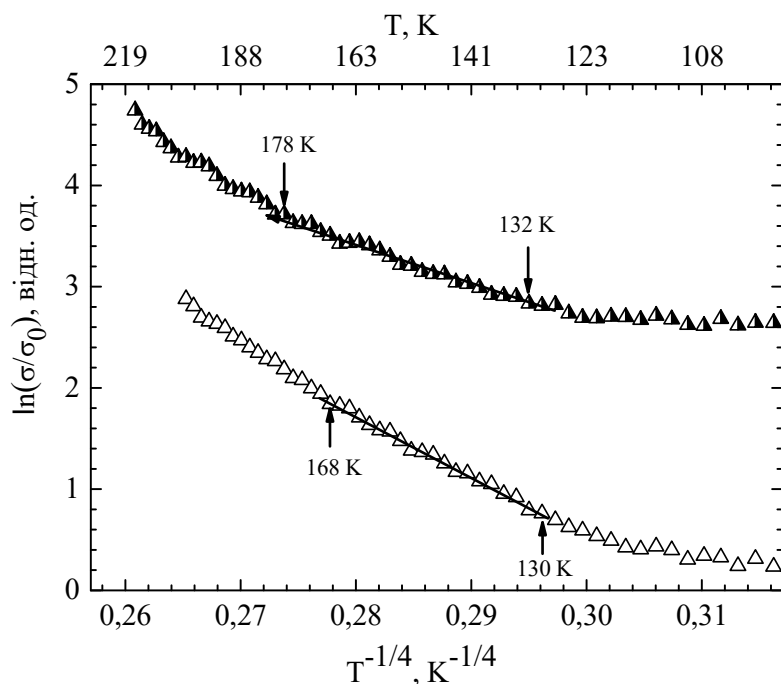


Рисунок 3 – Температурні залежності електропровідності для С-політипу кристалів β -TlInS₂: Δ – до опромінення; \blacktriangle – після опромінення
 Figure 3 – Temperature dependences of conductivity for 2C-polytype of crystals β -TlInS₂: Δ – before an irradiation; \blacktriangle – after an irradiation

Як видно з рис.1, температурна залежність електропровідності для зразків 2С-політипу (залежність 2) є типовою для напівпровідників: при охолодженні у всьому дослідженому інтервалі температур спостерігається тільки монотонне зменшення провідності, у тому числі в інтервалі температур $T=195-217$ К.

Виявлено, що доза рентгенівського опромінення $D = 2.7 \times 10^3$ Гр для зразів С-політипу призводить до значного підвищення електропровідності при кімнатній температурі, а також до майже повного зникнення аномалії на залежності $\sigma(T)$ в інтервалі температур $T= 195-214$ К, при цьому залежність $\sigma(T)$ залишається близькою до експоненціальної (залежність 3). Як видно з рис.1 опромінення зразків 2С-політипу також значно підвищує величину електропровідності, але практичне не змінює вид залежності $\sigma(T)$ (залежність 4).

Оскільки раніше було показано, що для кристалів $TlInS_2$ характерною є стрибова провідність зі змінною довжиною стрибка [6,14,18], спробуємо проаналізувати наведені на рис. 1 залежності $\sigma(T)$ з точки зору реалізації саме такого механізму провідності. Як відомо, зазначений тип провідності реалізується, якщо біля рівня Фермі в забороненій зоні існує область з кінцевою густиною локалізованих станів N_F . Для такого типу провідності залежність питомої електропровідності σ від температури задається рівнянням Мотта [19]:

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-BT^{-1/4}) \quad (1)$$

де $B=2a^{-3/4} (kN_F)^{-1/4}$, a – радіус локалізації електрона, k – стала Больцмана, тобто в координатах $\ln(\sigma/\sigma_0)=f(T^{-1/4})$ залежність електропровідності від температури має вигляд прямої лінії. Тому для аналізу отриманих температурних залежностей електропровідності $\sigma(T)$ вони на рис.2 і рис.3 представлені в координатах $\ln(\sigma/\sigma_0)=f(T^{-1/4})$. На зазначених рисунках прямі лінії наближення проведено з використанням метода найменших квадратів.

Як видно з рис.2, для неопромінених і опромінених зразків С-політипу залежності мають лінійний характер в інтервалах температур $T_c=161-125$ К і $T_c^{\circ}=174-130$ К, відповідно. В свою чергу, аналогічні залежності для зразків 2С-політипу є лінійними в інтервалах температур $T_{2c}=168-130$ К і $T_{2c}^{\circ}=178-132$ К (рисунок 3). Отже, опромінення призводить до розширення інтервалу температур, в якому для обох політипів спостерігається стрибова провідність зі змінною довжиною стрибка. За кутом нахилу відповідної прямої було визначено значення B . Далі з приведеного вище рівняння для параметра B було оцінено N_F густину станів біля рівня Фермі, для цього було використано значення радіуса локалізації $a=4,1 \times 10^{-10}$ м [18]. Отримані значення наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Параметри провідності С- і 2С-політипів кристалів $\beta-TlInS_2$

Доза опромінення, 10^3 Гр	Політип	$\sigma(300 \text{ К}), 10^{-6} \text{ Ом}^{-1} \text{ м}^{-1}$	$B, \text{ К}^{1/4}$	$N_F, 10^{18} \text{ eB}^{-1} \text{ см}^{-3}$
0	С	5.1	65 ± 3	3.7
2.7	С	29.3	47 ± 3	14.0
0	2С	8.2	56 ± 3	6.9
2.7	2С	78.1	42 ± 3	21.1

Висновки.

Обчислено густину станів біля рівня Фермі, як для неопромінених, так і опромінених дозою 2.7×10^3 Гр зразків С- і 2С-політипів кристалів $\beta-TlInS_2$. Показано, що основним механізмом переносу заряду в інтервалі температур $T=130-165$ К для зразків обох політипів є стрибова провідність зі змінною довжиною стрибка, при цьому для опромінених зразків спостерігається розширення такого температурного інтервалу. Виявлено, що опромінення зазначеною дозою рентгенівського випромінювання зразків як С-, так і 2С-політипів кристалів $\beta-TlInS_2$ призводить до суттєвого, майже на порядок, збільшення їх електропровідності, крім того таке опромінення супроводжується зникненням для зразків С-політипу в інтервалі температур $T=196-214$ К незвичайної для

напівпровідників зміни з температурою електропровідності, що потребує подальших досліджень для пояснення механізму виявленого ефекту.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Seyidov M. Yu. Photoelectric activity of defects in La-doped layered TlInS₂ crystals / M. Yu. Seyidov, R.A. Suleymanov, E. Acar et al.// *Low Temperature Physics*. – 2014. V.40. No 9. P.1062–1070.
2. A.M.Panich. Electronic properties and phase transitions in low-dimentional semiconductors /// *J. Phys. C*. – 2008. – V. 20. –P. 293202-293242.
3. Panich A. Phase transitions and Incommensurability in the layered semiconductor TlInS₂ – an NMR study / A.Panich, D. Mogilyansky, R. Sardarly // *J. Phys. C*. – 2012. – V.24. –P. 135901–135905.
4. Ashraf I.M. Photoelectrical Properties of TlInS₂ Layered Single Crystals *International Journal of Modern Physics B*. – January 2019. – V. 22 (17). – P.2701-2712.
5. Боровий М.О. Виникнення та трансформація нерозмірно модульованої структури в політипах напівпровідників TlInS₂ / М.О. Боровий, Ю.П. Гололобов, А.В. Ніколаєнко та інші // *Вісник Національного транспортного університету*. – 2016. – No1(34). – С. 60-69.
6. El-Nahass M.M. Characteristics of dielectric properties and conduction mechanism of TlInS₂:Cu single crystals /M.M. El-Nahass, H.A.M. Alin, E.F.M. El-Zaidia// *Physica B*. – 2013. – V. 431. – P.54-57.
7. Volkov A. A. Structure phase transitions in TlInS₂ crystal. / A. A. Volkov, Yu. G. Goncharov, G. V. Kozlov et al.// *Sov. Phys. Solid State*. – 1983. – V.25. – P.2061-2064.
8. Vakhrushev S. B. Incommensurate phase transition in a TlInS₂ crystal / S. B. Vakhrushev, V. V. Zhdanova, Kvyatkovskii B. E. et al.//*JETP Letters*. – 1984. – V. 39. – No. 6. – P. 291.
9. Kashida S. X-ray study of the incommensurate phase of TlInS₂ / S. Kashida, Y. Kobayashi // *J. Phys. C*. – 1999. – V. 11. – P. 1027-1035.
10. Salnik A. The incommensurate phase transformation in TlInS₂ ferroelectric / A. Salnik, Yu. Gololobov, N. Borovoi // *Ferroelectrics*. – 2015. V. 484. – P. 62-68.
11. Alekperov O.Z. and Nadjafov A. I. Dielectric anomalies in monoclinic TlInS₂ polytypes. *Inorg. Mater.* – 2004. – V.40. – P.1248-1251.
12. Borovoi N. A. About the Ferroelectric Phase Transition in Polytypes of β-TlInS₂ Crystals./ N. A. Borovoi, Yu. P. Gololobov, A. N. Gorb et al. // *Phys. Sol. State*. 2008, 50, 1946.
13. Gololobov Yu.P. Ferroelectric phases in the polytypes of TlInS₂ ternary compound / Yu.P. Gololobov, N. A. Borovoy, A.I.Polovina et al.// *Phys. Status Solidi C*. – 2009. –V.6, No 5. – P. 989–992.
14. Sardarly R. M. Relaxor properties and the mechanism of conduction in TlInS₂ crystals exposed to gamma irradiation/ R. M. Sardarly, O. A. Samedov, I. Sh. Sadykhov et al. // *Physics of the Solid State*. – 2005. – V. 47. – No. 9. – P. 1729–1733.
15. Sheleg A.U., Gurtovoi V.G., Shevtsova V.V., Mustafaeva S.N. and Kerimova E.M.. Effect of ionizing radiation on the dielectric characteristics of TlInS₂ and TlGaS₂ single crystals. *Phys. Sol. State*. – 2012. – V.54. – No. 9. – P. 1870-1874.
16. Sheleg A. U. Low Temperature X-Ray Investigations of TlInS₂, TlGaS₂ and TlGaSe₂ Single Crystals. / A. U. Sheleg, V. V. Shevtsova, V. G. Hurtavy et al. // *Journal of Surface Investigation X-ray Synchrotron and Neutron Techniques*. – 2013. – V.7. – No.11. – P.39-42/
17. Боровий М.О. Електропровідність на постійному струмі політипів кристалів TlInS₂ /М.О. Боровий, Ю.П. Гололобов, А.В. Ніколаєнко та інші // *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки»*. Науково-технічний збірник. – 2017. –Вип. 1 (37). – С.26-34.
18. Mustafaeva S.N. Investigation of dc hopping conduction in TlGaS₂ and TlInS₂ single crystals./ S.N.Mustafaeva, V.A. Aliev, M.M. Asadov// *Phys. Sol. State*. – 1998. – V.40. – No.4. – P.561-563.
19. N. F. Mott, E.A. Davis. *Electronic Processes in Non-Crystalline materials*. New York, USA: Oxford University Press Inc, 1979. – 605 p.

REFERENCES

1. Seyidov M. Yu. Photoelectric activity of defects in La-doped layered TlInS₂ crystals / M. Yu. Seyidov, R.A. Suleymanov, E. Acaret al// *Low Temperature Physics*. – 2014. V.40. No 9. P.1062–1070.
2. A.M.Panich. Electronic properties and phase transitions in low-dimentional semiconductors /// *J. Phys. C*. – 2008. – V. 20. –P. 293202-293242.

3. Panich A. Phase transitions and Incommensurability in the layered semiconductor TlInS_2 – an NMR study / A. Panich, D. Mogilyansky, R. Sardarly // *J. Phys. C.* – 2012. – V.24. – P. 135901–135905.
4. Ashraf I.M. Photoelectrical Properties of TlInS_2 Layered Single Crystals *International Journal of Modern Physics B.* – January 2019. – V. 22 (17). – P.2701-2712.
5. Borovoy N.A. The appearance and transformation of an incommensurate modulated structure in the polytypes of semiconductors TlInS_2 / N.A. Borovoy, Yu.P. Gololobov, A.V. Nikolaienko et al. // *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection.* – Kyiv: National Transport University. – 2016. – No1(34). – P. 60-69. (Ukr).
6. El-Nahass M.M. Characteristics of dielectric properties and conduction mechanism of TlInS_2 :Cu single crystals / M.M. El-Nahass, H.A.M. Alin, E.F.M. El-Zaidia // *Physica B.* – 2013. – V. 431. – P.54-57.
7. Volkov A. A. Structure phase transitions in TlInS_2 crystal. / A. A. Volkov, Yu. G. Goncharov, G. V. Kozlov et al. // *Sov. Phys. Solid State.* – 1983. – V.25. – P.2061-2064.
8. Vakhrushev S. B. Incommensurate phase transition in a TlInS_2 crystal / S. B. Vakhrushev, V. V. Zhdanova, Kvyatkovskii B. E. et al. // *JETP Letters.* – 1984. – V. 39. – No. 6. – P. 291.
9. Kashida S. X-ray study of the incommensurate phase of TlInS_2 / S. Kashida, Y. Kobayashi // *J. Phys. C.* – 1999. – V. 11. – P. 1027-1035.
10. Salnik A. The incommensurate phase transformation in TlInS_2 ferroelectric / A. Salnik, Yu. Gololobov, N. Borovoi // *Ferroelectrics.* – 2015. V. 484. – P. 62-68.
11. Alekperov O.Z. and Nadjafov A. I. Dielectric anomalies in monoclinic TlInS_2 polytypes. *Inorg. Mater.* – 2004. – V.40. – P.1248-1251.
12. Borovoi N. A. About the Ferroelectric Phase Transition in Polytypes of β - TlInS_2 Crystals. / N. A. Borovoi, Yu. P. Gololobov, A. N. Gorb et al. // *Phys. Sol. State.* 2008, 50, 1946.
13. Gololobov Yu.P. Ferroelectric phases in the polytypes of TlInS_2 ternary compound / Yu.P. Gololobov, N. A. Borovoy, A.I. Polovina et al. // *Phys. Status Solidi C.* – 2009. – V.6, No 5. – P. 989–992.
14. Sardarly R. M. Relaxor properties and the mechanism of conduction in TlInS_2 crystals exposed to gamma irradiation / R. M. Sardarly, O. A. Samedov, I. Sh. Sadykhov et al. // *Physics of the Solid State.* – 2005. – V. 47. – No. 9. – P. 1729–1733.
15. Sheleg A.U., Gurtovoi V.G., Shevtsova V.V., Mustafaeva S.N. and Kerimova E.M.. Effect of ionizing radiation on the dielectric characteristics of TlInS_2 and TlGaS_2 single crystals. *Phys. Sol. State.* – 2012. – V.54. – No. 9. – P. 1870-1874.
16. Sheleg A. U. Low Temperature X-Ray Investigations of TlInS_2 , TlGaS_2 and TlGaSe_2 Single Crystals. / A. U. Sheleg, V. V. Shevtsova, V. G. Hurtavy et al. // *Journal of Surface Investigation X-ray Synchrotron and Neutron Techniques.* – 2013. – V.7. – No.11. – P.39-42/
17. Borovoy N.A. A conductivity on the direct current of crystals TlInS_2 polytypes / N.A. Borovoy, Yu.P. Gololobov, A.V. Nikolaienko et al. // *Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection.* – Kyiv: National Transport University. – 2017. – No1(37). – P. 26-34. (Ukr).
18. Mustafaeva S.N. Investigation of dc hopping conduction in TlGaS_2 and TlInS_2 single crystals. / S.N. Mustafaeva, V.A. Aliev, M.M. Asadov // *Phys. Sol. State.* – 1998. – V.40. – No.4. – P.561-563.
19. N. F. Mott, E.A. Davis. *Electronic Processes in Non-Crystalline materials.* New York, USA: Oxford University Press Inc, 1979. – 605 p.

РЕФЕРАТ

Гололобов Ю.П. Вплив рентгенівського опроміювання на електропровідність політипів кристалів β - TlInS_2 / Ю.П. Гололобов, М.О. Боровий // *Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник.* – К. НТУ, 2021. – Вип. 1 (48).

Досліджено вплив температури на питому електропровідність неопромінених і опромінених зразків С- та 2С-політипів кристалів β - TlInS_2 .

Об'єкт дослідження – неопромінені та опромінені рентгенівським випромінюванням політипи кристалів β - TlInS_2 .

Мета роботи – експериментальні дослідження температурних залежностей питомої електропровідності на постійному струмі неопромінених і опромінених зразків С- та 2С-політипів кристалів β - TlInS_2 .

Метод дослідження – питома електропровідність кристалів TlInS_2 визначалася з використанням їх вольт-амперних характеристик.

Показано, що основним механізмом переносу заряду в інтервалі температур $T=130-165$ К для зразків обох політипів є стрибова провідність зі змінною довжиною стрибка, при цьому для опромінених зразків спостерігається розширення зазначеного температурного інтервалу. Обчислено густину локалізованих станів біля рівня Фермі, як для неопромінених, так і опромінених дозою 2.7×10^3 Гр зразків С- і 2С-політипів кристалів $\beta\text{-TlInS}_2$. Виявлено, що опромінення зазначеною дозою рентгенівського випромінювання зразків обох політипів кристалів $\beta\text{-TlInS}_2$ призводить до суттєвого, майже на порядок, збільшення їх електропровідності, а також супроводжується зникненням для зразків С-політипу в інтервалі температур $T=196-214$ К незвичайної для напівпровідників зміни електропровідності з температурою.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПОЛІТИПИ, РЕНТГЕНІВСЬКЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, ПИТОМА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ, НАПІВПРОВІДНИКИ, СТРИБКОВА ПРОВІДНІСТЬ.

ABSTRACT

Gololobov Yu.P., Borovoy N.A. An influence of the x-ray irradiation on a crystals $\beta\text{-TlInS}_2$ polytypes conductivity. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2021. – Issue 1 (48).

It was investigated the influence of temperature changes on conductivity of a non-irradiated and X-ray radiated samples of $\beta\text{-TlInS}_2$ crystals polytypes.

Object of the study – irradiated and radiated samples of $\beta\text{-TlInS}_2$ crystals polytypes.

Purpose of the study – experimental investigation conductivity temperature dependences on the DC (direct current) $\beta\text{-TlInS}_2$ crystals irradiated and X-ray radiated C- and 2C- polytypes.

Method of the study – the temperature dependence of electrical conductivity on DC was experimentally investigated in temperature range $T = 100-300$ K for the non-irradiated and X-ray radiated C- and 2C-polytypes of $\beta\text{-TlInS}_2$ crystals. It is shown that the basic mechanism of transfer of charge in the temperatures interval $T=130-165$ K for both $\beta\text{-TlInS}_2$ crystals polytypes is variable range hopping conduction and such temperature intervals are wider in case of the radiated samples. The densities of localized states near the Fermi level were calculated, for both non-irradiated and X-ray radiated (dose 2.7×10^3 Gy) samples of $\beta\text{-TlInS}_2$ crystals polytypes. It was discovered that irradiation by the indicated dose of X-ray radiation of the samples both crystals $\beta\text{-TlInS}_2$ polytypes increase of their conductivity, almost on an order, and also is accompanied by disappearance for non-irradiated sample of C-polytype unusual for semiconductors temperatures change of conductivity in the interval $T=196-214$ K.

KEYWORDS: POLYTYPES, X-RAYS RADIATION, CONDUCTIVITY, SEMICONDUCTORS, HOPPING CONDUCTIVITY

РЕФЕРАТ

Гололобов Ю.П. Влияние рентгеновского облучения на электропроводимость политипов кристаллов $\beta\text{-TlInS}_2$ / Ю.П. Гололобов, Н.А. Боровой // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К.: НТУ, 2021. – Вып. 1 (48).

Исследовано влияние температуры на удельную электропроводимость необлученных и облученных образцов С- и 2С-политипов кристаллов $\beta\text{-TlInS}_2$.

Объект исследования – необлученные и облученные рентгеновским излучением политипы кристаллов $\beta\text{-TlInS}_2$.

Цель работы – экспериментальные исследования температурных зависимостей удельной электропроводимости на постоянном токе необлученных и облученных образцов С- и 2С-политипов кристаллов $\beta\text{-TlInS}_2$.

Метод исследования – удельная электропроводимость кристаллов $\beta\text{-TlInS}_2$ определялась с использованием их вольт-амперных характеристик.

Показано, что основным механизмом переноса заряда в интервале температур $T=130-165$ К для образцов обоих политипов является прыжковая проводимость с переменной длиной прыжка, при этом для облученных образцов наблюдается расширение отмеченного выше температурного интервала. Вычислена плотность локализованных состояний около уровня Ферми, как для

необлученных, так и облученных дозой 2.7×10^3 Гр образцов С- и 2С-политипов кристаллов β -TlInS₂. Обнаружено, что облучение указанной дозой рентгеновского излучения образцов обоих политипов кристаллов β -TlInS₂ приводит к существенному, почти на порядок, увеличению их электропроводности, а также сопровождается исчезновением для образцов С-политипа в интервале температур $T=196-214$ К необычного для полупроводников изменения электропроводности с температурой.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ПОЛИТИПЫ, РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ, УДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТЬ, ПОЛУПРОВОДНИКИ, ПРЫЖКОВАЯ ПРОВОДИМОСТЬ.

АВТОРИ:

Гололобов Юрий Павлович, доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, професор кафедри, e-mail: «Yuriy Gololobov» <gololo@ukr.net>, тел. +380442846709, Україна, 01103, м. Київ, вул. М. Бойчука, 42, к. 406, orcid.org/0000-0003-3360-6669.

Боровий Микола Олександрович, доктор фізико-математичних наук, професор, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, завідувач кафедри загальної фізики, e-mail: borovoy@univ.kiev.ua, тел. +380445262288, Україна, 03680, м. Київ, просп. Акад. Глушкова 2, корпус No1, к. 225, orcid.org/0000-0002-2435-2620.

AUTHORS:

Gololobov Yuriy P., doctor of sciences, professor, National Transport University, professor of department, Kyiv, e-mail: «Yuriy Gololobov» <gololo@ukr.net>, tel. +380442846709, Ukraine, 01103, Kyiv, M. Boychuk str., 42, of. 406, orcid.org/0000-0003-3360-6669.

Borovoy Mykola O., doctor of sciences, professor, Kyiv Taras Shevchenko National University, head department of general physics, e-mail: borovoy@univ.kiev.ua, tel. +380445262288, Ukraine, 03680, Kyiv, Acad. Glushkoa Prosp.2, build. 1, of. 225, orcid.org/0000-0002-2435-2620.

АВТОРЫ:

Гололобов Юрий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, Национальный транспортный университет, профессор кафедры, e-mail: «Yuriy Gololobov» <gololo@ukr.net>, тел. +380442846709, Украина, 01103, г. Киев, ул. М. Бойчука, 42, к. 406, orcid.org/0000-0003-3360-6669.

Боровой Николай Александрович, доктор физико-математических наук, профессор, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, заведующий кафедры общей физики, e-mail: borovoy@univ.kiev.ua, тел. +380445262288, Украина, 03680, г. Киев, просп. Акад. Глушкова 2, корпус No1, к. 225, orcid.org/0000-0002-2435-2620.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гуляев В.И., доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри математики, Київ, Україна.

Ільїн П.П., кандидат фізико-математичних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, доцент кафедри фізики, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Gulyayev V.I., Engineering sciences (Dr.), professor, National Transport University, head department of mathematics, Kyiv, Ukraine.

Ilin P.P., Ph. D., associate professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, associate professor department of physics, Kyiv, Ukraine.