

УДК 621.315.592
UDC 621.315.592

ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ НА ПОСТІЙНОМУ СТРУМІ ПОЛІТИПІВ КРИСТАЛІВ $TlInS_2$

Боровий М.О., доктор фізико-математичних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Гололобов Ю.П., доктор фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Исаєнко Г.Л., кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, Київ, Україна

Надточій А.Б., кандидат фізико-математичних наук, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

Николаєнко А.В., Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна

THE CONDUCTIVITY ON DC CRYSTALS $TlInS_2$ POLYTYPES

Borovoy N.A., doctor of sciences, associate professor, Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine

Gololobov Yu.P., doctor of sciences, professor, National Transport University, Kyiv, Ukraine

Isaienko G.L., Ph.D., National Transport University, Kyiv, Ukraine

Nadtochii A.B., Ph.D., Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine

Nikolaïenko A.V., Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ ПОЛИТИПОВ КРИСТАЛЛОВ $TlInS_2$

Боровой Н.А., доктор физико-математических наук, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

Гололобов Ю.П., доктор физико-математических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Исаенко Г.Л., кандидат физико-математических наук, Национальный транспортный университет, Киев, Украина

Надточий А.Б., кандидат физико-математических наук, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

Николаенко А.В., Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, Киев, Украина

Постановка проблеми.

В інтервалі температур $T = 170 - 300$ К виявлено аномальна поведінка фізичних властивостей кристалів $TlInS_2$, що свідчать про існування температурних фазових переходів [1]. Особливістю структурних перетворень в $TlInS_2$ є формування модульованих просторових структур, які можуть бути як співрозмірними, так і неспіврозмірними [2]. Незважаючи на численні дослідження, існуючі дані про механізми і температури переходів з парафази до неспіврозмірної фази (НФ) і, відповідно, з НФ до співрозмірної фази (СФ), досить суперечливі [3]. Такі розбіжності можуть бути зумовленими політипією кристалів $TlInS_2$, яка обумовлена їх шаруватою структурою, у якій паралельні шари укладаються вздовж напрямку $[001]$. Зокрема, було встановлено, що у спектрах рентгенівської дифракції кристалів політипу $2C$, на відміну від кристалів політипу C , (для C -політипу параметр комірки $c = 1,516$ нм) не спостерігаються характерні для НФ модуляційні сателіти [4]. На основі рентгеноструктурних даних було висловлено припущення, що кристали $2C$ -політипу мають вищу концентрацію дефектів пакування вздовж осі OZ у порівнянні з C -політипом, завдяки чому в них пригнічується утворення довгоперіодичних модуляцій в цьому напрямку [5]. Наскільки відомо авторам, у літературі відсутні експериментальні дані про електропровідність кристалів $TlInS_2$ $2C$ -політипу, які дозволили б визначити механізми переносу заряду та роль підсистеми дефектів в таких процесах у порівнянні з кристалами C -політипу. Тому в даній роботі представлено результати

дослідження електропровідності на постійному струмі *C*- та *2C*-політипів кристалів $TlInS_2$ в області температур $T = 100\text{ К} - 300\text{ К}$.

Для вимірювання електропровідності використовувалися монокристалічні зразки $TlInS_2$ *C*- та *2C*-політипів. Типовий розмір зразків складав $5 \times 7 \times 1\text{ мм}^3$. Поверхня $5 \times 7\text{ мм}^2$ була паралельна площинам $(00l)$. Досліджувалася питома електропровідність вздовж шарів (σ_{\perp}) . Для забезпечення омичних контактів використовувалася індій-галієва паста, яка наносилася на попередньо очищені грані площею $7 \times 1\text{ мм}^2$. Зразок розміщувався у камері кріостата CS204AEX1-AL. Електрична напруга формувалася 12-и бітним цифро-аналоговим перетворювачем та через буферний підсилювач подавалася на зразок. 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. Діапазон зміни напруги на зразку: від -10 В до $+10\text{ В}$. Діапазон виміру струму залежав від опору перетворювача "струм-напруга" і для опору 30 МОм максимальний струм складав близько 35 нА , а мінімальний визначався вхідним струмом мікросхеми перетворювача (2 пА). Керування температурою кріостата здійснювалося за допомогою контролера "Lake Shore 331S" через цифровий порт RS232 комп'ютера. Точність підтримування температури складала $0,1\text{ К}$. Швидкість зміни температури 1 К/хв . Вимірювання виконувалися в режимі охолодження з кроком по температурі 2 К . При кожній температурі визначалася вольт-амперна характеристика зразка $I(U)$, на якій виділялася лінійна ділянка, що відповідала омичному опору. Напруги на цій ділянці не перевищували $0,2\text{ В}$. Для визначення опору зразка $R = U/I$ використовувалася напруга $0,1\text{ В}$.

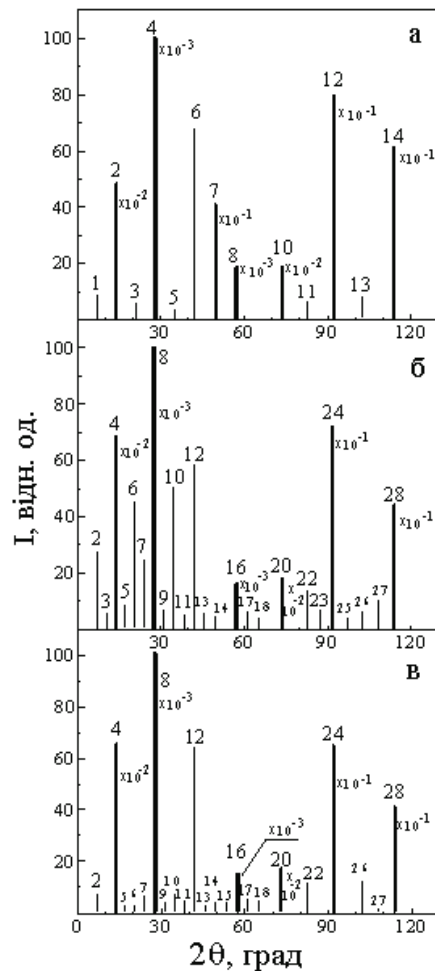


Рисунок 1 – Штрихдіаграми зразків монокристалів $TlInS_2$: а – політип *C*; б – політип *2C*; в – політип *2C* при повороті на кут 45° відносно осі, що перпендикулярна до відбиваючої площини кристала. Цифри над лініями відповідають значенням l структурних рефлексів типу $(00l)$

Аналіз рентгенівських дифрактограм різних зливків TlInS_2 дозволив виділити зразки двох політипів, які істотно відрізнялися за кількістю рефлексів типу $(00l)$ (див. Рис.1). Як видно, для другого політипу в діапазоні кутів $2\theta=(0\div 120)^\circ$ спостерігається вдвічі більша кількість структурних ліній типу $(00l)$, ніж для першого. Отже, для таких політипних кристалів величина параметру c відрізняється вдвічі, тому позначимо їх для подальшого: перший як «C-політип», а другий – «2C-політип». Величину параметру c та належність зразків до відповідного політипу можна визначити за допомогою формули:

$$c = \frac{m l \lambda}{2 \sin \beta \sin \theta}, \quad (1)$$

де m – порядок відбивання; l – мілерівський індекс плоскої атомної сітки; λ – довжина хвилі джерела випромінювання; β – кут між площиною ab та віссю C ; θ – кут ковзання.

Експериментально визначені значення кутів θ наведено у таблиці 1. Ідентифікація структурних ліній була проведена з урахуванням результатів [6], згідно з якими для реальних кристалів TlInS_2 , завдяки частковому порушенню порядку пакування шарів, спостерігаються малоінтенсивні рефлекси типу $(00l)$ з непарними значеннями l . Розглянемо отримані експериментальні результати по вимірюванню провідності. На рис. 2 представлено типові температурні залежності провідності σ_{\perp} для політипу C (крива 1) та політипу $2C$ (крива 2).

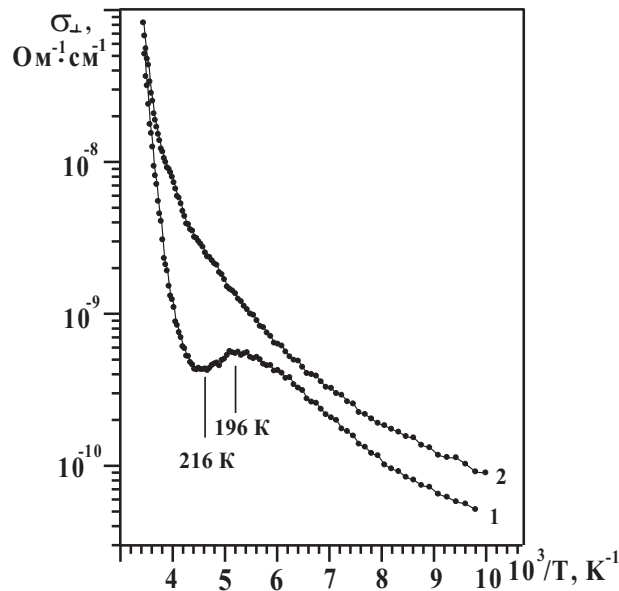


Рисунок 2 – Залежність електропровідності кристалів TlInS_2 від температури:
1 – C-політип; 2 – 2C-політип

У випадку політипу C при охолодженні зразків в області температур $T=255 \text{ К}–290 \text{ К}$ спостерігається експоненційна ділянка залежності $\sigma_{\perp}(T)$ з енергією активації носіїв струму $0,65 \text{ eV}$. При подальшому зменшенні температури енергія активації монотонно зменшується і при температурах $T_i=214 \text{ К}–217 \text{ К}$ вона дорівнює нулю (горизонтальна ділянка на кривій 1). Важливо відзначити, що саме при цих температурах, як показано в [4], починається активне формування НФ в усьому об'ємі кристалу. Подальше охолодження супроводжується зростанням провідності з енергією активації $E=-0,06 \text{ eV}$ і при $T_c = 195 \text{ К}–200 \text{ К}$ залежність $\sigma_{\perp}(T)$ знову виходить на горизонтальну ділянку. Вказані температури T_c відповідають фазовому переходу з НФ до СФ [3]. Таким чином, зростання провідності зразків C -політипу спостерігається саме в області існування НФ. Про подібне збільшення провідності кристалів TlInS_2 повідомлялося раніше [7], але відповідна температурна область складала $T=226 \text{ К}–260 \text{ К}$, що відповідає стану кристалу TlInS_2 у парафазі. Охолодження зразків від $T = 196 \text{ К}$ супроводжується зменшенням провідності, при цьому енергія активації носіїв струму монотонно зростає до $0,04 \text{ eV}$ при $T \approx 160 \text{ К}$. Далі вниз по температурі помітних змін енергії

активації не відбувається аж до $T \approx 120$ К. Оскільки раніше повідомлялося про можливість у кристалах $TlInS_2$ стрибкової провідності зі змінною довжиною стрибка [8], спробуємо проаналізувати залежність $\sigma_{\perp}(T)$ в діапазоні $T = 100$ К – 200 К з точки зору реалізації такого механізму провідності.

Таблиця 1 – Кутове положення та відносні інтенсивності структурних ліній двох політипів кристалів $TlInS$

N	C-TlInS ₂			2C-TlInS ₂			Теорет.
	<i>l</i>	$2\theta, ^\circ$	I, відн. од	<i>l</i>	$2\theta, ^\circ$	I, відн. од	$2\theta, ^\circ$
1.	1	6.93	8.9×10^{-5}	2	6.91	31.1×10^{-5}	6.876
2.				3	10.34	6.4×10^{-5}	10.322
3.	2	13.80	0.05	4	13.79	0.07	13.778
4.				5	17.25	9.1×10^{-5}	17.246
5.	3	20.77	2.3×10^{-5}	6	20.71	4.6×10^{-4}	20.730
6.				7	24.23	2.6×10^{-4}	24.233
7.	4	27.77	1	8	27.76	1	27.760
8.				9	31.32	7.1×10^{-5}	31.314
9.	5	34.99	1.3×10^{-4}	10	34.92	5.1×10^{-4}	34.898
10.				11	38.55	1.3×10^{-5}	38.519
11.	6	42.20	6.8×10^{-4}	12	42.20	5.9×10^{-4}	42.180
12.				13	45.92	1.7×10^{-5}	45.886
13.	7	49.65	0.004	14	49.68	5.1×10^{-5}	49.644
14.				15			53.460
15.	8	57.33	0.2	16	57.37	0.2	57.341
16.				17	61.19	1.1×10^{-5}	61.296
17.	9	67	0.7×10^{-5}	18	65.43	3.7×10^{-5}	65.333
18.				19			69.463
19.	10	73.67	0.02	20	73.70	0.02	73.700
20.				21			78.057
21.	11	82.80	2.8×10^{-5}	22	82.55	1.4×10^{-4}	82.553
22.				23	87.22	2.4×10^{-5}	87.209
23.	12	92.01	0.008	24	92.06	0.07	92.053
24.				25	96.92	0.7×10^{-5}	97.120
25.	13	102.43	3.3×10^{-4}	26	102.59	0.7×10^{-5}	102.454
26.				27	108.12	1.1×10^{-5}	108.118
27.	14	114.13	0.007	28	114.18	0.005	114.197

Як відомо, стрибкова провідність зі змінною довжиною стрибка відбувається тоді, коли біля рівня Фермі в забороненій зоні існує область з кінцевою густиною локалізованих станів $N(E_F)$. Для такого типу провідності залежність питомої електропровідності від температури має вигляд [9].

$$\sigma = \sigma_0 \exp(-BT^{-1/4}), \quad (2)$$

де

$$B = 2 \left(\frac{\alpha^3}{kN(E_F)} \right)^{1/4}, \quad (3)$$

α - стала спаду хвильової функції електрона, $\psi \propto \exp(-\alpha r)$, k - стала Больцмана. Стала спаду є оберненою до радіусу локалізації електрона $a = 1/\alpha$. Приймається, що густина локалізованих станів біля рівня Фермі $N(E_F)$ залишається сталою в інтервалі енергій порядку kT . На рис. 3 експериментальні значення провідності $\ln(\sigma_{\perp})$ зразків *C*-політипу представлені залежно від $T^{-1/4}$ в області температур 100 К – 200 К (крива 1). Як видно, в інтервалі температур 120 К – 160 К спостерігається лінійна ділянка такої залежності, що свідчить саме про стрибкову провідність зі змінною довжиною стрибка. За кутом нахилу відповідної прямої визначено $B = (68 \pm 3) \text{ K}^{-1/4}$. Тоді з рівняння (3) було оцінено густина станів біля рівня Фермі. Приймаючи радіус локалізації $a = 1,4 \text{ нм}$ [7], отримано $N(E_F) = 3,7 \cdot 10^{18} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{см}^{-3}$. Таке значення густини станів добре корелює з результатами [10], отриманими при вимірюваннях на змінному струмі. При подальшому охолодженні від $T = 120 \text{ К}$ до $T = 100 \text{ К}$ енергія активації зменшується і при $T = 100 \text{ К}$ складає 0,01 еВ – 0,02 еВ.

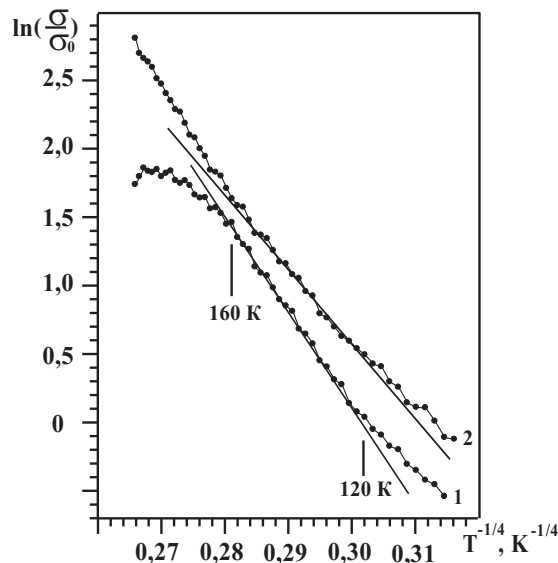


Рисунок 3 – Відносна електропровідність кристалів TIInS_2 як функція $T^{-1/4}$:
1 – *C*-політип; 2 – *2C*-політип

Розглянемо залежність питомої електропровідності від температури для зразків *2C*-політипу TIInS_2 (рис. 3, крива 2). На відміну від зразків *C*-політипу, тут при охолодженні можна виділити три експоненційні ділянки: 1) $T = 255 \text{ К} - 290 \text{ К}$, енергія активації $E = 0,52 \text{ eV}$; 2) $T = 235 \text{ К} - 250 \text{ К}$, $E = 0,21 \text{ eV}$; 3) $T = 170 \text{ К} - 230 \text{ К}$, $E = 0,09 \text{ eV}$. Важливо відзначити, що в області температур $T = 190 \text{ К} - 220 \text{ К}$, в якій для політипу *C* спостерігалася складна форма залежності $\sigma_{\perp}(T)$, питома провідність зразків *2C*-політипу монотонно спадає, а будь-які аномалії не спостерігаються. Цей результат добре узгоджується з раніш встановленими фактом того, що в зразках *2C*-політипу в області температур існування НФ та СФ відсутні модуляційні рентгенівські сателіти, характерні для цих фаз [4]. Отже, на основі як рентгеноструктурних даних, так і отриманих в даній роботі результатів по електропровідності, можна стверджувати, що в *2C*-політипі TIInS_2 довгоперіодичні модульовані структури в області температур $T = 220 \text{ К} - 190 \text{ К}$ відсутні.

Для зразків 2C-політипу також було перевірено можливість існування стрибкової провідності зі змінною довжиною стрибка. На рис. 3 наведено експериментальну залежність провідності від температури в координатах $\ln(\sigma_{\perp})$ та $T^{-1/4}$ (крива 2). Очевидно, і для цього політипу спостерігається лінійна ділянка (інтервал температур $T = 126 \text{ K} - 162 \text{ K}$). Величина нахилу прямої виявилася дещо меншою, а ніж для C-політипу, а саме $B = (56 \pm 3) \text{ K}^{-1/4}$. Оцінка за формулою (3) дає $N(E_F) = 6,9 \cdot 10^{18} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{см}^{-3}$. При подальшому охолодженні до $T = 100 \text{ K}$ енергія активації, як і для C-політипу, зменшується до $0,01 \text{ eV} - 0,02 \text{ eV}$.

Висновки.

Таким чином, в кристалах TlInS₂ C- та 2C-політипів в області температур $T = 120 \text{ K} - 160 \text{ K}$ реалізується стрибкова провідність зі змінною довжиною стрибка, зумовлена наявністю локалізованих станів біля рівня Фермі. Висока густина таких станів ($\propto 10^{18} \text{ eV}^{-1} \cdot \text{см}^{-3}$) свідчить про значну концентрацію дефектів структури в політипах TlInS₂ і за будовою енергетичних зон наближає ці кристали до аморфних напівпровідників. Дефектами можуть виступати катіонні та аніонні вакансії, розірвані атомні зв'язки, комплекси точкових дефектів, дефекти упаковки. Порівнюючи C- та 2C-політипи, необхідно відзначити, що вища густина $N(E_F)$ у 2C-політипі свідчить і про більшу концентрацію дефектів у таких кристалах, зокрема, дефектів упакування вздовж напрямку [001]. Тоді, відсутність хвиль статичних зміщень в цьому напрямку в кристалах 2C-політипу може бути зумовлена демпфуючою дією дефектів упакування шарів, що узгоджується з даними рентгеноструктурних досліджень [4].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Panich. Phase transitions and Incommensurability in the layered semiconductor TlInS₂ - an NMR study / Panich, D. Mogilyansky, R. Sardarly // J. Phys. C. – 2012. – V.24. – P. 135901–135905.
2. Kashida S. X-ray study of the incommensurate phase of TlInS₂ / S. Kashida, Y. Kobayashi // J. Phys. C. – 1999. – V. 11. – P. 1027-1035.
3. Panich. Electronic properties and phase transitions in low-dimentional semiconductors / Panich // J. Phys. C. – 2008. – V. 20. – P. 293202-293242.
4. Salnik A. The incommensurate phase transformation in TlInS₂ ferroelectric / A. Salnik, Yu. Gololobov, N. Borovoi // Ferroelectrics. – 2015. V. 484. – P. 62-68.
5. Боровий М.О. Виникнення та трансформація нерозмірно модульованої структури в політипах напівпровідників TlInS₂ / М.О. Боровий, Ю.П. Гололобов, Г.Л. Ісаєнко, А.В. Ніколаєнко // Вісник Національного транспортного університету. – 2016. – №1(34). – С. 60-69.
6. Шелег, А.У. Политипизм и фазовые переходы в кристаллах TlInS₂ и TlGaSe₂ / А.У. Шелег, О.Б. Плющ, В.А. Алиев // Кристаллография. – 1999. – Т.44, № 5. – С. 873-877.
7. Mustafaeva S. N. Investigation of dc hopping conduction in TlGaS₂ and TlInS₂ single crystal / S.N. Mustafaeva and M.M. Asadov A // Physics of the Solid State. – V. 40(4). – P. 561–563.
8. Sardarly R. M. Relaxor properties and the mechanism of conduction in TlInS₂ crystals exposed to gamma irradiation / R.M. Sardarly, O.A. Samedov // Physics of the Solid State. – 2005. – V. 47(9). – P. 1729–1733.
9. Mott N. E. Electron processes in non-crystalline materials / N. E. Mott and E. A. Davis // Oxford: Clarendon Press. – 1979.
10. Mustafaeva S. N. Effect of gamma irradiation on the dielectric properties and electrical conductivity of the TlInS₂ single crystal / S.N. Mustafaeva and M.M. Asadov A // Physics of the Solid State. – 2009. – V. 51(11). – P. 2269–2273.

REFERENCES

1. Panich. Phase transitions and Incommensurability in the layered semiconductor TlInS₂ - an NMR study / Panich, D. Mogilyansky, R. Sardarly // J. Phys. C. – 2012. – V.24. – P. 135901–135905.
2. Kashida S. X-ray study of the incommensurate phase of TlInS₂ / S. Kashida, Y. Kobayashi // J. Phys. C. – 1999. – V. 11. – P. 1027-1035.

3. Panich. Electronic properties and phase transitions in low-dimensional semiconductors / Panich // J. Phys. C. – 2008. – V. 20. – P. 293202-293242.
4. Salnik A. The incommensurate phase transformation in TlInS_2 ferroelectric / A. Salnik, Yu. Gololobov, N. Borovoy // Ferroelectrics. – 2015. V. 484. – P. 62-68.
5. Borovoy N.A., Gololobov Yu.P., Isaienko G.L., Nikolaienko A.V. The appearance and transformation of an incommensurate modulated structure in the polytypes of semiconductors TlInS_2 / N.A. Borovoy, Yu.P. Gololobov, G.L. Isaienko, A.V. Nikolaienko // Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University. – 2016. – №1(34). – P. 60-69. (Ukr)
6. Sheleg, A.U. Polytypism and phase transitions in kristalah TlInS_2 and TlGaSe_2 / A.U. Sheleg, O.B. Plysh, V.A. Aliyev // Crystallography. – 1999. – V.44, № 5. – P. 873-877. (Rus)
7. Mustafaeva S. N. Investigation of dc hopping conduction in TlGaS_2 and TlInS_2 single crystal / S.N. Mustafaeva and M.M. Asadov A // Physics of the Solid State. – V. 40(4). – P. 561–563.
8. Sardarly R. M. Relaxor properties and the mechanism of conduction in TlInS_2 crystals exposed to gamma irradiation / R.M. Sardarly, O.A. Samedov // Physics of the Solid State. – 2005. – V. 47(9). – P. 1729–1733.
9. Mott N. E. Electron processes in non-crystalline materials / N. E. Mott and E. A. Davis // Oxford: Claredon Press. – 1979.
10. Mustafaeva S. N. Effect of gamma irradiation on the dielectric properties and electrical conductivity of the TlInS_2 single crystal / S.N. Mustafaeva and M.M. Asadov A // Physics of the Solid State. – 2009. – V. 51(11). – P. 2269–2273.

РЕФЕРАТ

Боровий М.О. Електропровідність на постійному струмі політипів кристалів TlInS_2 М.О. Боровий, Ю.П. Гололобов, Г.Л. Ісаєнко, А.Б. Надточій, А.В. Ніколаєнко // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К. НТУ, 2017. – Вип. 1 (37).

Досліджено вплив температури на питому електропровідність політипів кристалів TlInS_2 .

Об'єкт дослідження – політипи кристалів TlInS_2 .

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

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

Експериментально досліджено температурні залежності питомої електропровідності на постійному струмі С- та 2С-політипів кристалів TlInS_2 при охолодженні в області температур 100 К – 300 К. Виявлено, що температурні залежності для таких політипів демонструють суттєві відмінності. У зразках С-політипу спостерігається зростання провідності при охолодженні в температурній області існування НФ, тоді як в зразках 2С-політипу в усьому температурному інтервалі провідність монотонно спадає. Для обох політипів визначено енергії активації провідності на експоненційних ділянках температурних залежностей питомої електропровідності. Показано, що в області температур 120 К – 160 К для С- та 2С-політипів спостерігається стрибкова провідність зі змінною довжиною стрибка. Визначено густину локалізованих станів біля рівня Фермі, яка для 2С-політипу є майже у 2 рази є вищою, ніж у С-політипу.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ПИТОМА ЕЛЕКТРОПРОВІДНІСТЬ, МОДУЛЬОВАНІ СТРУКТУРИ, СТРИБКОВА ПРОВІДНІСТЬ, ЛОКАЛІЗОВАНІ СТАНИ.

ABSTRACT

Borovoy N.A., Gololobov Yu.P., Isaienko G.L., Nadtochii A.B., Nikolaienko A.V. The conductivity on DC crystals TlInS_2 polytypes. Visnyk National Transport University. Series «Technical sciences». Scientific and Technical Collection. – Kyiv: National Transport University, 2017. – Issue 1 (37).

It was investigated the influence of temperature on conductivity of crystals TlInS_2 polytypes.

Object of the study - polytypes of TlInS_2 crystals.

Purpose of the study is to investigate experimental conductivity temperature dependences on the direct current of C- and 2C- polytypes of TlInS_2 crystals.

Method of the study - TlInS₂ crystals conductivity was determined with the use of their volt-ampere descriptions

The temperature dependence of electrical conductivity on DC for C- and 2C-polytypes of TlInS₂ crystals was experimentally investigated in temperature range T = 100–300 K. It was revealed that temperature dependences for such polytypes demonstrate significant differences. The increasing of the conductivity during the cooling in the temperature interval of the incommensurate phase existence was observed for C-polytype, meanwhile for 2C-polytype the conductivity monotonically decreases. For both polytypes there were determined the activation energies of conductivity in exponential areas of temperature dependences of electrical conductivity. It was shown that in temperature range T = 120–160 K for C- and 2C-polytype observed the hopping conductivity with a variable jump length. It was determined the density of localized states near the Fermi level, which for 2C-polytype was almost twice higher. The main types of defects which provide the appearance of localized states in the band gap were considered. There were qualitatively considered the possible reasons of absence of the modulated structures and the mechanism of conductivity growth in region of the incommensurate phase existence in 2C-polytype crystals.

KEY WORDS: ELECTRICAL CONDUCTIVITY, MODULATED STRUCTURES, HOPPING CONDUCTIVITY, LOCALIZED STATES

РЕФЕРАТ

Боровой Н.А. Электропроводимость на постоянном токе политипов кристаллов TlInS₂ / Н.А. Боровой, Ю.П. Гололобов, Г.Л. Исаенко, А.Б.Надточий, А.В. Николаенко // Вестник Национального транспортного университета. Серия «Технические науки». Научно-технический сборник. – К. : НТУ, 2017. – Вып. 1 (37).

Исследовано влияние температуры на удельную электропроводимость политипов кристаллов TlInS₂.

Объект исследования – политипы кристаллов TlInS₂.

Цель работы - экспериментальные исследования температурных зависимостей удельной электропроводимости на постоянном токе C- и 2C- политипов кристаллов TlInS₂.

Метод исследования - удельная электропроводимость кристаллов TlInS₂ определялась с использованием их вольт-амперных характеристик.

Экспериментально исследованы температурные зависимости удельной электропроводимости на постоянном токе C- и 2C-политипов кристаллов TlInS₂ при охлаждении в области температур T=100-300 К. Обнаружено, что температурные зависимости для таких политипов демонстрируют существенные отличия. В образцах C-политипа наблюдается рост проводимости при охлаждении в температурной области существования НФ, тогда как в образцах 2C-политипа во всем температурном интервале проводимость монотонно спадает. Для обоих политипов определены энергии активации проводимости на экспоненциальных участках температурных зависимостей удельной электропроводимости. Показано, что в области температур T=120-160 К для C- и 2C-политипов наблюдается прыжковая проводимость с переменной длиной прыжка. Определена плотность локализованных состояний около уровня Ферме, которая для 2C-политипа почти в 2 раза выше, чем для C-политипа.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: УДЕЛЬНАЯ ЭЛЕКТРОПРОВОДИМОСТЬ, МОДУЛИРОВАННЫЕ СТРУКТУРЫ, ПРЫЖКОВАЯ ПРОВОДИМОСТЬ, ЛОКАЛИЗОВАННЫЕ СОСТОЯНИЯ.

АВТОРИ:

Боровий Микола Олександрович, доктор фізико-математичних наук, професор, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, завідувач кафедри загальної фізики, e-mail: bogovoy@univ.kiev.ua, тел. +380445262288, Україна, 03680, м. Київ, просп. Акад. Глушкова 2, корпус №1, к. 225.

Гололобов Юрій Павлович, доктор фізико-математичних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри фізики, e-mail: "Yuriy Gololobov" <gololo@ukr.net>, тел. +380442846709, Україна, 01103, м. Київ, вул. Кіквідзе, 42, к. 406.

Исаенко Галина Леонідівна, кандидат фізико-математичних наук, Національний транспортний університет, доцент кафедри фізики, e-mail: gl_isayenko@ukr.net, тел. +380442846709, +380973387759, Україна, 01103, м. Київ, вул. Кіквідзе, 42, к. 410.

Надточій Андрій Борисович, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, старший науковий

співробітник кафедри загальної фізики, тел. +380445262288, Україна, 03680, м. Київ, просп. Акад. Глушкова 2, корпус №1, к. 225.

Ніколаєнко А.В., Київський національний університет імені Тараса Шевченка, інженер кафедри загальної фізики, e-mail: alina.salnik@gmail.com, тел. +380969512897, Україна, 03680, м. Київ, просп. Акад. Глушкова 2, корпус №1, к. 225.

AUTHOR:

Borovoy Mikola O., doctor of sciences, associate professor, Kyiv Taras Shevchenko National University, head department of general physics, e-mail: borovoy@univ.kiev.ua, tel. +380445262288, Ukraine, 03680, Kyiv, Acad. Glushkova Prosp.2, build. 1, of. 225.

Gololobov Yuriy P., doctor of sciences, professor, National Transport University, head department of physics, Kyiv, e-mail: "Yuriy Gololobov" <gololo@ukr.net>, tel. +380442846709, Ukraine, 01103, Kyiv, Kikvidze str. 42, of. 406.

Isaienko Galina L., Ph. D., National Transport University, associate professor department of physics, e-mail: gl_isayenko@ukr.net, tel. +380442846709, +380973387759, Ukraine, 01103, Kyiv, Kikvidze str. 42, of. 410

Nadtochii Andrii B., PhD., Taras Shevchenko Kyiv National University, postgraduate, department of general physics, tel. +380969512897, Ukraine, 03680, Kyiv, Acad. Glushkova Prosp.2, build. 1, of. 225.

Nikolaienko Alina V., Taras Shevchenko Kyiv National University, postgraduate, department of general physics, e-mail: alina.salnik@gmail.com, tel. +380969512897, Ukraine, 03680, Kyiv, Acad. Glushkova Prosp.2, build. 1, of. 225.

АВТОРЫ:

Боровой Николай Александрович, доктор физико-математических наук, доцент, 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 №1, к. 225.

Гололобов Юрий Павлович, доктор физико-математических наук, профессор, Национальный транспортный университет, заведующий кафедры физики, e-mail: "Yuriy Gololobov" <gololo@ukr.net>, тел. +380442846709, Украина, 01103, г. Киев, ул. Киквидзе, 42, к. 406.

Исаенко Галина Леонидовна, кандидат физико-математических наук, Национальный транспортный университет, доцент кафедры физики, e-mail: gl_isayenko@ukr.net, тел. +380442846709, +380973387759, Украина, 01103, г. Киев, ул. Киквидзе, 42, к. 410.

Надточий Андрей Борисович, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, старший научный сотрудник кафедры общей физики, тел. +380445262288, Украина, 03680, г. Киев, просп. Акад. Глушкова 2, корпус №1, к. 225.

Николаенко Алина Владимировна, Киевский национальный университет имени Тараса Шевченко, инженер кафедры общей физики, e-mail: alina.salnik@gmail.com, тел. +380969512897, Украина, 03680, г. Киев, просп. Акад. Глушкова 2, корпус №1, к. 225.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гуляев В.І., 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.

REVIEWER:

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

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