

УДК 621.315.562

PACS number(s): 72.20.Mу, 81.05.Hd

## АНІЗОТРОПІЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШАРУВАТИХ МОНОКРИСТАЛІВ InSe

В. Дуплавий

Чернівецьке відділення Інституту  
проблем матеріалознавства імені І. М. Францевича НАН України  
вул. Ірини Вільде, 5, 58001 Чернівці, Україна  
e-mail: [chimsp@ukrpost.ua](mailto:chimsp@ukrpost.ua)

У діапазоні температур 80–400 К були досліджені електрофізичні характеристики та їх анізотропія в монокристалі *InSe*, вирощеному методом Бріджмена з полікристалічного зливка, синтезованого при 600°C. Проведено порівняння концентрації вільних носіїв заряду, їхньої холлівської рухливості та провідності для зразків із різних частин злиwkів. За допомогою чотирьохзондового методу проведено вимірювання електропровідності між шарами. Розраховано анізотропію електропровідності. З'ясовано, що ці умови синтезу і вирощування дають змогу отримати монокристали з однорідністю електрофізичних властивостей по довжині зливка.

*Ключові слова:* анізотропія провідності, селенід індію, шаруватий кристал.

Моносенід індію належить до шаруватих кристалів, класу напівпровідників що досліджується останнім часом дедалі інтенсивніше. *InSe* є досить перспективним матеріалом, оскільки може використовуватися як матриця для отримання сполук впровадження шляхом інтеркаляції іонами, атомами або молекулами [1-2], а також для виготовлення радіаційно стійких фотоперетворювачів та інших приладів електроніки. Проте отримати досконалі кристали *InSe* є досить складно, зазвичай для монокристалічного зливку цієї сполуки була характерною значна неоднорідність електричних властивостей, що зумовлювалась наявністю великої кількості дефектів.

Досліджувані кристали моноселеніду індію були вирощені із розплаву нестехіометричного складу  $\text{In}_{1.03}\text{Se}_{0.97}$  методом Бріджмена, вони мали структуру  $\gamma$ -політипу (просторова група  $\tilde{N}_{3V}^5$ ) та володіли електронним типом провідності. Вирощування і синтез цих кристалів здійснювали за температури 600°C, раніше дану сполуку синтезували при вищих температурах (близько 700°C).

Також досить важливо визначити як вплинуло використання нових умов синтезу та вирощування на зміну електричних властивостей матеріалу вздовж злиwkів, оскільки необхідно з'ясувати можливість отримання монокристалів із значною однорідністю параметрів.

Зразки для вимірів отримували шляхом сколювання шайб із різних частин монокристалічного зливка (початок, кінець та середина), із подальшою обробкою до заданих розмірів. На установці Холла напрям магнітної індукції був орієнтований вздовж кристалографічної осі  $C$ , а самі експерименти здійснювались при постійних струмі та магнітному полі для стандартної геометрії шести контактів з чистого індію.

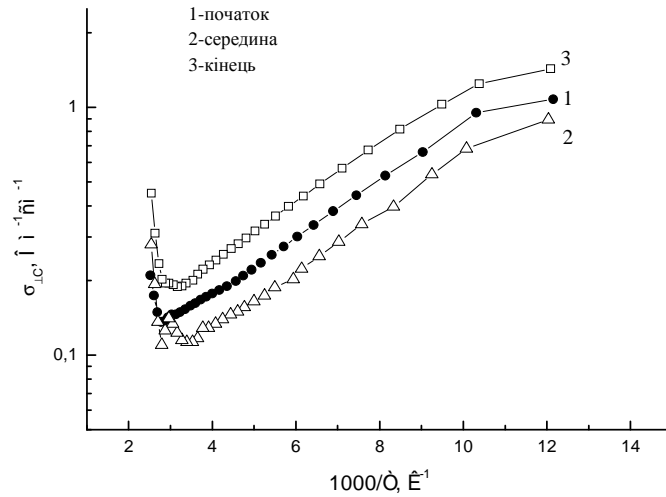


Рис. 1. Температурні залежності  $\sigma_{\perp C}$  для зразків із різних частин зливка

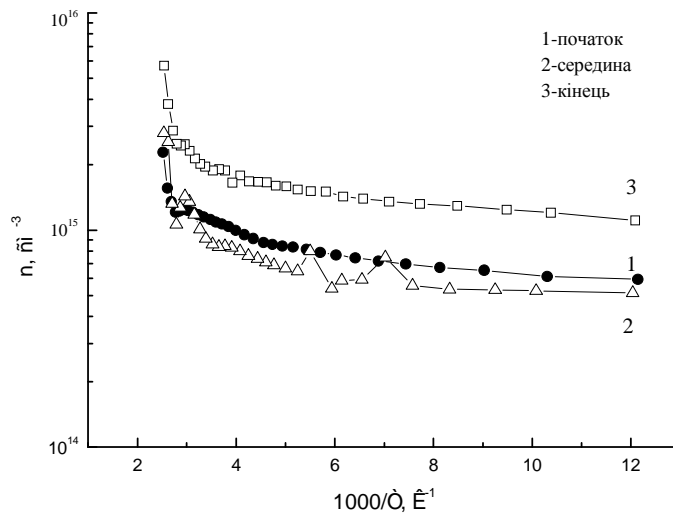


Рис. 2. Температурні залежності концентрації вільних носіїв заряду

Температурні залежності провідності  $\sigma_{\perp C}$  перпендикулярно до кристалографічної осі  $C$  наводяться на рис. 1. Для всіх досліджуваних зразків в області температур 80–300 К простежується залежність  $\sigma_{\perp C}(T)$ , яка має металічний характер, що зумовлено сильнішою температурною залежністю холлівської рухливості ( $\mu_{\perp C} \sim T^{-\gamma}$  де  $\gamma=2,2-1,5$  при

розсіюванні носіїв гомополярними оптичними фононами  $A_{1g}^1$ ) порівняно із ростом  $n$  унаслідок іонізації власного донора  $E_C=0,015$  еВ, за температури  $T>300$  К залежність набуває вигляду, характерного для напівпровідників.

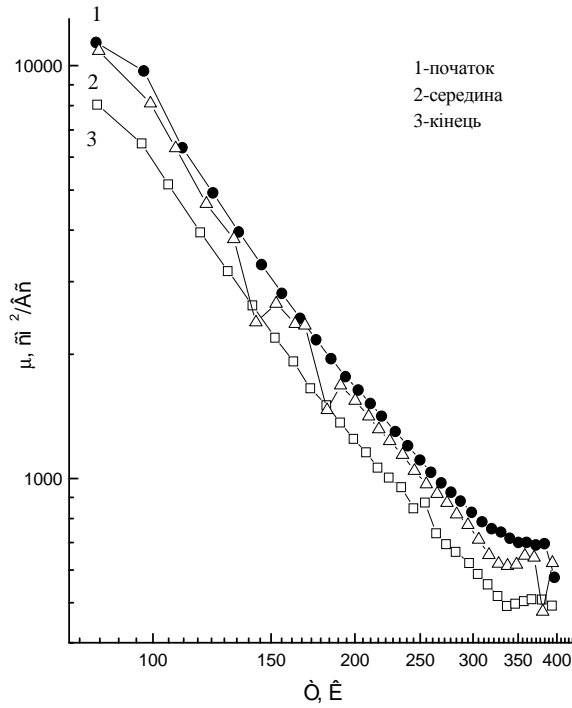


Рис. 3. Температурні залежності холлівської рухливості

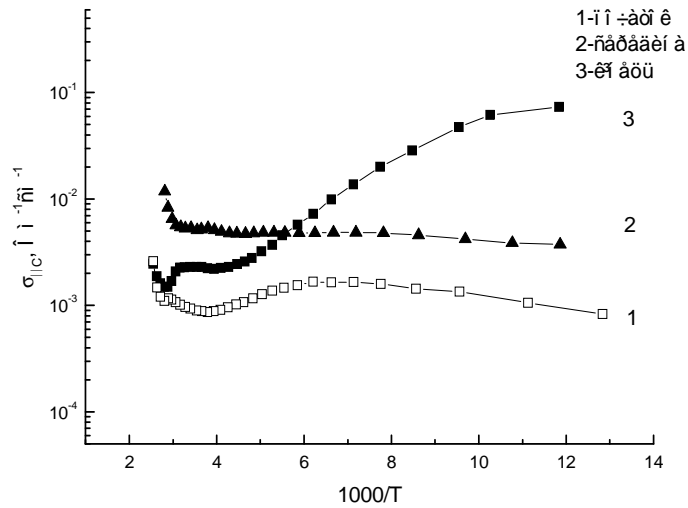


Рис. 4. Температурні залежності електропровідності між шарами  $\sigma_{||C}$

Із наведених на рис. 2 температурних залежностей концентрації вільних носіїв заряду бачили, що  $n$  зростає до кінця зливка, це зумовлено тим, що в процесі синтезу відбувається витіснення індію до верхньої частини кристала, проте зростання концентрації є незначним і всі зразки характеризуються одним порядком концентрації  $n \sim 10^{14} - 10^{15}$ .

Холлівська рухливість вздовж шарів знижується з підвищенням температури (рис. 3), що визначається переважною взаємодією носіїв з гомополярними оптичними фононами ( $\hbar\omega = 14,3$  еВ), поляризованими вздовж нормалі до шарів.

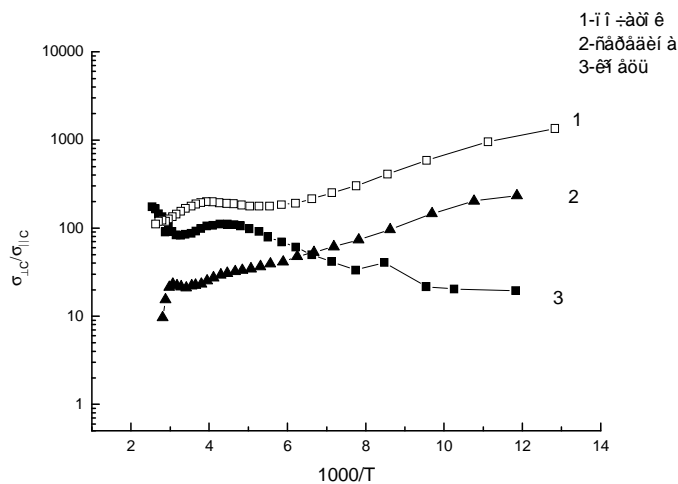


Рис. 5. Температурні залежності анізотропії електропровідності

Для вимірів  $\sigma_{//C}$  був використаний чотирьохзондовий метод з контактами, розташованими на протилежних сколотих поверхнях: два з них займали переважну частину площі та використовувались як струмові, а два інші – потенційні.

Отримані температурні залежності електропровідності між шарами  $\sigma_{//C}$  (рис. 4) та анізотропії електропровідності (рис. 5) свідчать про збільшення вмісту індію в просторі між шарами для зразка із кінця зливка, внаслідок чого  $\sigma_{//C}$  для цього зразка найбільша.

1. Ковалюк З. Д. Электрические свойства монокристаллов InSe при интеркаляции теллура / З. Д. Ковалюк, П. И. Савицкий, К. Д. Товстюк // Изв. АН СССР. – Неорганические материалы. – 1982. – Т. 18, № 2. – С. 209–210.
2. Ковалюк З. Д. Электрические свойства InSe интеркалированного молекулами антрацена / З. Д. Ковалюк, И. В. Минтянский // Укр. физ. журн. – 1982. – Т. 27, № 4. – С. 616–617.
3. Savitskii P.I. Annealing Effect on Conductivity Anisotropy in Indium Selenide Single Crystals / P. I. Savitskii, I. V. Mintyanski, Z. D. Kovalyuk // Phys. Status Solidi A. – 1996. – Vol. 155, N 2. – P. 451–460.

**ANISOTROPY OF ELECTRICAL PROPERTIES OF LAYERED InSe SINGLE CRYSTALS****V. Duplavyi**

*Chernivtsi Department of the I.M. Frantsevich  
Institute for Problems of Materials Science, National Acad. Sci. of Ukraine  
Iryna Vilde Str., 5, 58001 Chernivtsi, Ukraine  
e-mail: [chimsp@ukrpost.ua](mailto:chimsp@ukrpost.ua)*

In the temperatures range 80–400 K electrophysical characteristics and their anisotropy are investigated for *InSe* single crystals grown by the Bridgman method from a polycrystalline ingot synthesized at a temperature of 600 K. A comparison of the concentration of free carriers, their Hall mobility and conductivity for samples obtained from different parts of the ingot are performed. The measurements of conductivity across the layers were performed by means of a four probe method. The anisotropy ratio is calculated. It is revealed that the used conditions of synthesis make it possible to gain monocrystals with homogeneous electrophysical properties along the ingot.

*Key words:* conductivity anisotropy, indium selenide, layered crystals.

**АНИЗОТРОПИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СЛОИСТЫХ МОНОКРИСТАЛЛОВ InSe****В. Дуплавый**

*Черновицкое отделение института  
проблем материаловедения имени И.Н. Францевича НАН Украины  
ул. Ирины Вильде 5, 58001 Черновцы, Украина  
e-mail: [chimsp@ukrpost.ua](mailto:chimsp@ukrpost.ua)*

В диапазоне температур 80–400 К исследовались электрофизические характеристики и их анизотропия в монокристалле *InSe*, выращенного методом Бриджмена из поликристаллического слитка. Синтез соединения проводился при  $t=600^{\circ}\text{C}$ . Проведено сравнение концентрации свободных носителей, их холловской подвижности и проводимости для образцов из разных частей слитка. С помощью четырехзондового метода проведено измерение электропроводимости между слоями и рассчитана ее анизотропия. Установлено, что использованные условия синтеза и выращивания дали возможность получить монокристаллы с однородным распределением электрофизических параметров вдоль слитка.

*Ключевые слова:* анизотропия проводимости, селенид индия, слоистый кристалл.

Стаття надійшла до редколегії 29.05.2009

Прийнята до друку 07.06.2010