

## МЕТОДИКА СТВОРЕННЯ ОМІЧНИХ КОНТАКТІВ НА СЕЛЕНІДІ ІНДІЮ ТА СЕЛЕНІДІ ГАЛІЮ

Показана можливість створення вплавних омичних контактів для шаруватих напівпровідників селеніду індію та галію *p*-типу провідності. Встановлено оптимальні значення температури, часу вплавлення та типу вплавленого металу чи сплаву для формування омичних контактів у даних матеріалах.

The possibility of making in-melted ohmic contacts for layered semiconductors of indium and gallium selenides of *p*-type conductivity is presented. The optimal values of temperature, time of in-melting and the type of the in-melted metal or alloy for the formation of ohmic contacts of the above-mentioned materials was determined.

### Вступ

Селенід індію і селенід галію належать до широкого класу напівпровідників  $A^3B^6$ , що володіють шаруватою структурою. Вона зумовлена різними типами хімічних зв'язків вздовж шарів (ковалентний зв'язок) та між шарами (Ван-дер-Ваальсовий зв'язок). Дані напівпровідники є перспективними матеріалами для створення перетворювачів сонячної енергії, високочутливих оптичних датчиків інфрачервоного діапазону і твердотільних джерел електричного струму [1-3]. Однією з необхідних умов функціонування таких приладів є наявність невивпалюваних струмових контактів.

Відомо [4], що омичний контакт зазвичай утворюється у випадках, коли:

- потенціальний бар'єр між металом і напівпровідником відсутній;
- присутній тунельно-прозорий потенціальний бар'єр, що досягається шляхом сильного легування приповерхневої області напівпровідника;
- наявна рекомбінація носіїв заряду (у випадку великої кількості дефектів кристалічної ґратки поблизу контакту);
- шар об'ємного заряду закорочений металевими шунтами (цей механізм характерний для вплавних омичних контактів).

Омичний контакт також повинен володіти дуже малим опором як у перпендикулярному, так і в паралельному до площини *p-n*-переходу напрямках, доброю теплопровідністю і адгезією до напівпровідника, не інжектувати неосновних носіїв заряду.

Обмежена кількість досліджень щодо формування електричних контактів для напівпровідників, які володіють яскраво вираженою шаруватою структурою, пов'язана зі специфікою механічних властивостей об'ємних зразків і свідчить про незначну увагу до вивчення даної проблеми. Створення омичних контактів для матеріалів *n*-типу провідності не таке актуальне, адже в більшості випадків використовується паяння чистим індієм. Інша справа з напівпровідниками *p*-типу провідності. У цьому випадку існує можливість підбору металу з достатньо великою роботою виходу для отримання омичного контакту. Однак у більшості випадків положення рівня Фермі повністю або частково зафіксоване під впливом поверхневих станів і формування ідеального омичного контакту стає неможливим [5].

У роботі досліджені контакти, отримані вплавленням на свіжосколоту поверхню InSe і GaSe металу індію або сплавів на його основі: In+Ga, In+Cd, In+Te+Ni. Вибір зумовлювався дешевизною (якщо порівнювати з контактами Ag, Au, Pt, Pd), безпекою використання [6], а сам метод не потребував складної технологічної апаратури.

### Експериментальна частина

Кристали InSe і GaSe вирощувались вертикальним методом Бріджмена. Оскільки InSe напівпровідник *n*-типу провідності, для досягнення діркової провідності він додатково легувався 0,2 ваг.% кадмію. Вихідні кристали *p*-GaSe не легувалися. Анізотропія механічних властивостей досліджуваних напівпровідників дає можливість звичайним сколюванням виготовити плоскопа-

ралельні зразки заданої товщини з дзеркальною поверхнею. Зразки середніх розмірів  $5 \times 5 \times 0,3 \text{ мм}^3$  з нанесеними контактами завантажувались в ампули, які відкачувалися до залишкового тиску  $10^{-3} \text{ мм.рт.ст.}$  Було досліджено наступні варіанти контактів: чистий індій, евтектика  $\text{In}_{0,5}\text{Ga}_{0,5}$ , сплав  $\text{In}_{0,97}\text{Te}_{0,02}\text{Ni}_{0,01}$ , сплав  $\text{In}_{0,98}\text{Cd}_{0,02}$ .

При вплавленні спочатку здійснювалося швидке нагрівання до певної температури, після витримки при цьому значенні здійснювалося рівномірне охолодження. На основі попередніх досліджень було підібрано температури вплавлення  $200\text{--}280^\circ\text{C}$ . Час вплавлення для таких температур знаходився у межах  $60\text{--}180$  хвилин. Вольтамперні характеристики (ВАХ) зразків знімалися до і після термічного вплавлення досліджуваних контактів.

### Результати та обговорення

Всі контакти, отримані паянням металу або сплаву безпосередньо на свіжосколоту поверхню напівпровідника, демонстрували погану омичність. Суттєве поліпшення спостерігалось після їх вплавлення. Оскільки основною метою було отримання омичних контактів із гарною відтворюваністю, то відбраковувались усі зразки, для яких величина опору була різною у двох напрямках. При збігу опору (виміри проводилися з точністю до 5%) знімалася ВАХ. Усі досліджувані контакти мали хороші механічні властивості.

Було підібрано оптимальні режими вплавлення: різке нагрівання до  $210\text{--}250^\circ\text{C}$ , витримка  $60\text{--}120$  хвилин із подальшим охолодженням зі швидкістю  $20^\circ\text{C}$  за хвилину. Дотримання вищезазначених умов дало можливість отримати стабільні квазіомичні контакти.

**Селенід галію.** Для індієвих контактів задовільна омичність досягається вплавленням при температурі  $250^\circ\text{C}$  упродовж 120 хвилин (рис. 1). Встановлено, що при збільшенні часу вплавлення характеристика контакту погіршується. Незначне погіршення омичності спостерігається також із підвищенням та зниженням температури вплавлення до  $280^\circ\text{C}$  і  $210^\circ\text{C}$ .

Для сплавів  $\text{In}_{0,98}\text{Cd}_{0,02}$  та  $\text{In}_{0,97}\text{Te}_{0,02}\text{Ni}_{0,01}$  (рис. 2, 3) отримано омичні контакти при температурі  $250^\circ\text{C}$  упродовж 120 хвилин. Інші температурно-часові режими спричинювали погіршення лінійності ВАХ, хоча при використанні останнього сплаву контакти продемонстрували задовільні характеристики для всіх досліджуваних режимів.

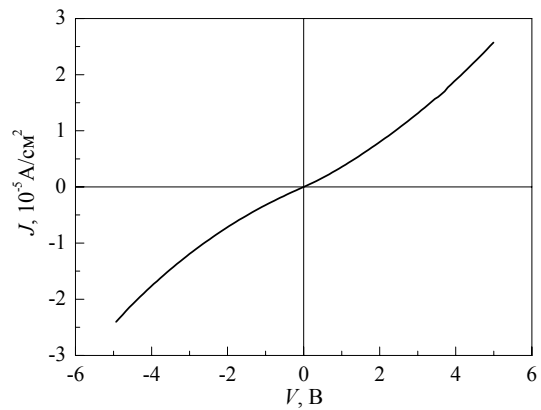


Рис. 1. ВАХ GaSe з In контактом

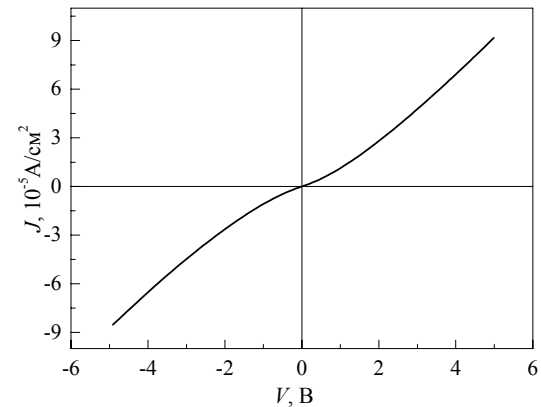


Рис. 2. ВАХ GaSe з  $\text{In}_{0,98}\text{Cd}_{0,02}$  контактом

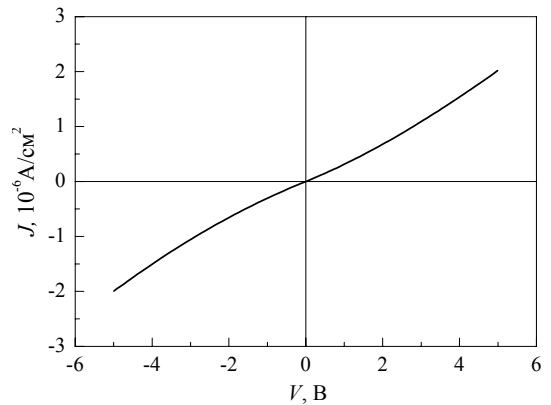


Рис. 3. ВАХ GaSe з  $\text{In}_{0,97}\text{Te}_{0,02}\text{Ni}_{0,01}$  контактом

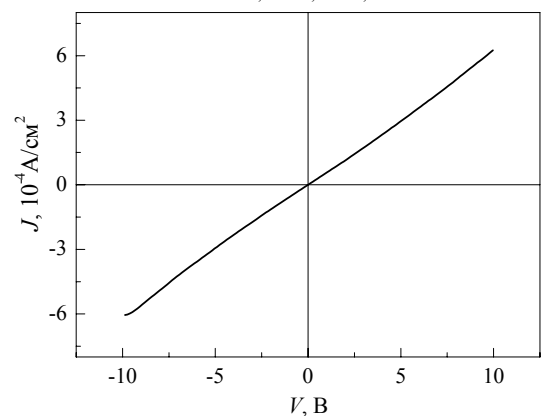


Рис. 4. ВАХ InSe з In контактом

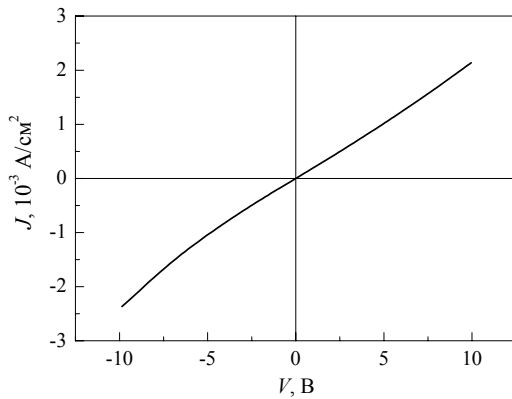


Рис. 5. ВАХ InSe з  $\text{In}_{0,98}\text{Cd}_{0,02}$  контактом

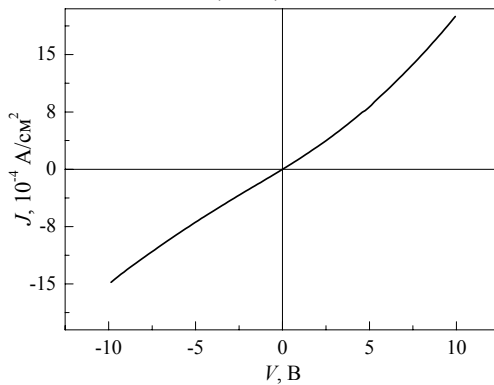


Рис. 6. ВАХ InSe з  $\text{In}_{0,97}\text{Te}_{0,02}\text{Ni}_{0,01}$  контактом

**Селенід індію.** Для чистого індію найкращий результат було досягнуто при  $210^\circ\text{C}$  упродовж 180 хвилин (рис. 4). Помічено, що з підвищенням температури характеристики контакту погіршуються.

Оптимальна температура вплавлення для сплавів  $\text{In}_{0,98}\text{Cd}_{0,02}$  та  $\text{In}_{0,97}\text{Te}_{0,02}\text{Ni}_{0,01}$  становила  $210^\circ\text{C}$ . Часовий режим складав 120–180 і 60 хвилин для першого і другого сплавів відповідно (рис. 5,6).

### Висновки

Паяння чистим індієм і сплавами на його основі не дає омичних контактів для селенідів індію та галію діркової провідності.

Омічність контактів досягається тільки за певних режимів вплавлення контактів.

Для селеніду галію оптимальний режим вплавлення однаковий як для чистого індію, так і для сплавів на його основі:  $250^\circ\text{C}$  упродовж 120 хвилин.

Для селеніду індію оптимальними умовами формування омичних контактів є температура вплавлення  $210^\circ\text{C}$  і час 120–180 хвилин.

Дані контакти механічно надійні і не змінюють своїх електричних властивостей із часом.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. *Martinez-Pastor J., Segura A., Valdes J.L., Chevy A.* Electrical and photovoltaic properties of indium-tin-oxide/p-InSe/Au solar cells // *J. Appl. Phys.* – 1987. – **62**, No.4. – P.1477-1483.
2. *Мехтєєв Н.М., Рудь Ю.В., Салаєв Э.Ю.* Фотоелектрические анализаторы поляризованного излучения (ФАПИ) на слоистых полупроводниках // *ФТП.* – 1978. – **12**, №.8. – С.1566-1570.
3. *Julien C., Jouanne M., Burre P.A., Balkanski M.* Optical studies of the cathode material InSe intercalated with lithium // *Solid State Ionics.* – 1988. – **28-30**, part 2. – P.1167-1171.
4. *Зи С.* Физика полупроводниковых приборов. – М.: Мир, 1984.
5. *Фарснбрех А., Бьюб Р.* Солнечные элементы. Теория и эксперимент. – М.: Энергоатом, 1987.
6. *Лазарев Н. В.* Вредные вещества в промышленности. В 3 т. – Ленинград: Химия, 1976. – Т.3.