

З.Д. Ковалюк, О.А. Політанська

Створення та дослідження р-п-переходів на р-InSe<Cd> імпульсним лазерним опроміненням

*Інститут проблем матеріалознавства НАН України, Чернівецьке відділення
вул. І. Вільде, 5, Чернівці, Україна 58001
тел: 8(+0372) 52-00-50, E-mail: chimsp@unicom.cv.ua*

Отримані р-п-переходи опроміненням поверхні р-InSe<Cd> потужними лазерними імпульсами тривалістю 2 нс. Обговорюються температурні залежності вольт-амперних характеристик, спектри фотовідклику та інтерпретовано механізми проходження струму досліджуваних гетеропереходів.

Ключові слова: р-InSe<Cd>, р-п-перехід, вольт-амперні характеристики, фотовольтаїчний ефект.

Стаття постуила до редакції 19.09.2004; прийнята до друку 24.11.2004.

Вступ

Інтерес до дослідження взаємодії лазерного випромінювання з шаруватими напівпровідниковими кристалами виник завдяки можливості модифікації їх властивостей [1], оскільки власні дефекти кристалічної структури, що виникають при опроміненні, впливають на властивості сполук $A^{III}B^{VI}$ не менше, ніж легування їх домішками. В залежності від співвідношення ширини забороненої зони E_g і енергії кванта лазерного випромінювання $h\nu$ можлива зміна властивостей приповерхневих шарів ($h\nu \geq E_g$) або об'ємних властивостей ($h\nu < E_g$) у зоні дії випромінювання.

На сьогодні досить активно вивчаються гетеропереходи виготовлені цим методом [1,2], однак аналогічні дослідження на шаруватих кристалах носять епізодичний характер [3], а на основі моноселеніду індію не проводились.

У даній роботі розглянуті електричні і фотоелектричні властивості р-п-переходів на основі моноселеніду індію, отриманих методом розплаву поверхневого шару напівпровідникового матеріалу імпульсом потужного лазерного випромінювання з наступною його рекристалізацією.

Сполука InSe характеризується значною анізотропією властивостей через її багатошарову структуру, де в межах шарів діють переважно ковалентні зв'язки атомів, тоді як взаємодія між шарами є слабкою (Ван-дер-ваальсовою). Кожен окремих шар володіє ромбоєдричною симетрією і включає чотири атомні площини Se – In – In – Se.

Значна частина кристалів InSe, вирощених методом Бріджмена, відноситься до ϵ -політипу

(просторова група D_{3h}^1). Однак введення невеликої кількості домішки призводить до появи γ і δ -політипів (просторова група C_{3v}^5 і C_{6v}^4 , відповідно). Ширина забороненої зони InSe складає 1,2 еВ при температурі 300 К.

І. Експеримент

Шаруваті монокристали InSe вирощували вертикальним методом Бріджмена з попередньо синтезованих зливків. Діркова провідність отримувалась при легуванні домішкою кадмію. Однорідність і електричні параметри монокристалів перевірялись дослідженням кінетичних коефіцієнтів у різних частинах зливку. Концентрація та рухливість носіїв заряду складали при кімнатній температурі $5,0 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ та $35\text{-}50 \text{ см}^2 \text{ V}^{-1} \text{ с}^{-1}$ відповідно.

Пластинки товщиною 300 мкм сколювались вздовж площини зливку (001), при цьому утворювалися ідеальні, дзеркальні поверхні, що не потребували жодних підготовчих обробок при формуванні р-п-переходу. Зразки р-InSe<Cd>, середній розмір яких становив $4 \times 4 \text{ мм}^2$, рівномірно по всій площині опромінювалися лазером ГОС-301, що працював у режимі вільної генерації (тривалість імпульсу $\tau = 2 \text{ нс}$, довжина хвилі $\lambda = 1,06 \text{ мкм}$). Омичний контакт на опроміненій поверхні створювався пайкою чистим індієм, на р-InSe<Cd> – хімічним осадженням золота.

При вивченні механізмів лазерно-стимульованої трансформації дефектної структури шаруватих напівпровідників важливу роль відіграє визначення променевої стійкості напівпровідникового кристала

[4]. Вивчення цієї характеристики дозволяє отримати необхідні дані для визначення оптимальних режимів лазерного впливу і представляє інтерес для розробки прикладних методів у технології напівпровідникової фотоелектроніки. Кількісною характеристикою променевої стійкості є поріг руйнування, під яким у технологічних процесах лазерної обробки розуміють густину енергії імпульсів лазера, при якій починається плавлення поверхні матеріалу [4-6]. Порогова густина енергії лазерного випромінювання, що викликає плавлення поверхневого шару кристалів $p\text{-InSe}<\text{Cd}>$ – 12 Дж/см^2 . При густині потоку $12\text{-}22 \text{ Дж/см}^2$ відбувалося рівномірне плавлення поверхні шаруватого напівпровідника з утворенням після рекристалізації тонкого шару n -типу. При збільшенні густини потоку до 25 Дж/см^2 і більше відбувалося руйнування кристала. Підбором відповідних енергетичних режимів опромінення вдається одержати рівномірний по всій поверхні зразка перекристалізований шар.

II. Результати і обговорення

При освітленні p - n -переходів зі сторони n - $\text{InSe}<\text{Cd}>$ спостерігається фотовольтаїчний ефект. Напруга холостого ходу V_{xx} при освітленні світлом з густиною потоку випромінювання $P = 100 \text{ мВт/см}^2$ сягала $0,3\text{-}0,43 \text{ В}$. Слід відмітити, що величина бар'єру, визначена з вольт-амперних характеристик (ВАХ), задовільно корелює з V_{xx} .

В області низьких температур $236\text{-}277 \text{ К}$, де діючий коефіцієнт $n \approx 2,7$, присутній тунельно-рекомбінаційний механізм струмопереносу (рис. 1). При температурах вищих кімнатної, коли $n \sim 2,3 \div 2,1$ струм є рекомбінаційним. Для температур $T \geq 328 \text{ К}$ проходження струму поступово набирає надбар'єрного характеру, що пов'язано зі зменшенням потенціального бар'єру.

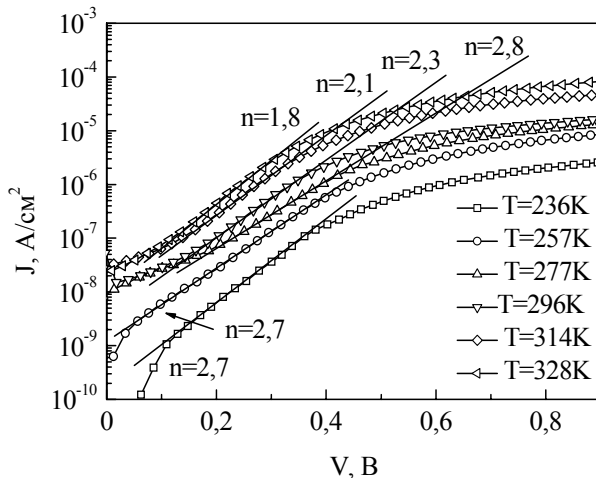


Рис. 1. Прямі вітки ВАХ p - n -переходів, створених лазерним опроміненням на основі $p\text{-InSe}<\text{Cd}>$ при різних температурах, побудовані у напівлогарифмічному масштабі.

Обернені вітки ВАХ, як видно з рис. 2, підпорядковуються закону $J \sim V^m$ в усьому діапазоні напруг та температур і характеризується наступними ділянками: 1) ділянка в інтервалі напруг $0 < V < -1 \text{ В}$, де $J \sim V^{1,2\div 1,7}$, 2) перехідна ділянка в області зміщень $-1 < V < -2 \text{ В}$, 3) ділянка різкого росту струму $J \sim V^{3,2\div 4,2}$ для ще вищих напруг. Такі залежності струму від прикладеної напруги характерні для струмів, обмежених просторовим зарядом.

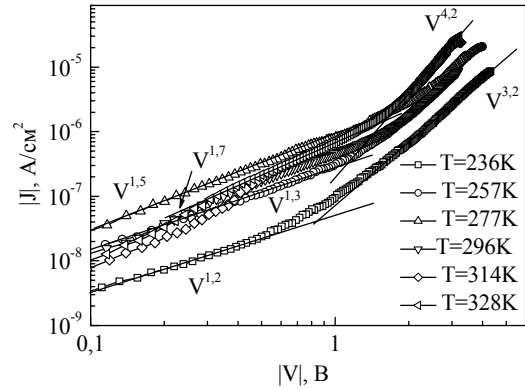


Рис. 2. Обернені вітки ВАХ p - n -переходів, створених лазерним опроміненням на основі $p\text{-InSe}<\text{Cd}>$ при різних температурах, побудовані у логарифмічному масштабі.

На рис. 3 приведено спектральну залежність відносної квантової ефективності фотоперетворення η . Характерною рисою спектральної залежності відносної квантової ефективності фотоперетворення $\eta(h\nu)$, отриманої як відношення фотоструму короткого замикання до числа падаючих фотонів структури p - $p\text{-InSe}<\text{Cd}>$, є відсутність її спаду починаючи від краю фундаментального поглинання і до коротших

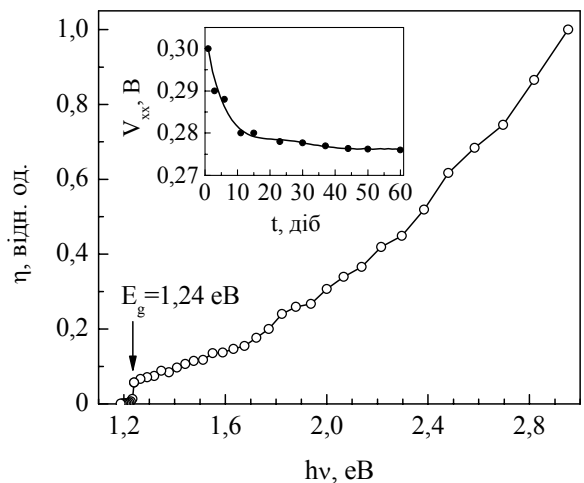


Рис. 3. Залежність відносної квантової ефективності фотоперетворення η від $h\nu$ для p - n -переходів, створених лазерним опроміненням на основі $p\text{-InSe}<\text{Cd}>$. На вставці представлено процес релаксації для p - n -переходів.

довжин хвиль ($h\nu > 3$ eV). Довгохвильовий край залежності $\eta(h\nu)$ при $h\nu \leq 1,2$ eV експоненціальний і характеризується високою крутизною $S = 10$ eV⁻¹. Енергетичне положення краю при енергії фотонів $h\nu = 1,24$ eV відповідає основному екситонному поглинанню і є близьким до величини ширини забороненої зони InSe.

Відмітною рисою створених лазерною технологією p-n-переходів на основі шаруватих кристалів є добра відтворюваність характеристик діодів, виготовлених з одного і того ж злитку, та їх стабільність: не було виявлено істотних змін фотоелектричних параметрів протягом двох місяців після їх виготовлення (вставка на рис. 3). Видно, що напруга холостого ходу V_{xx} стабілізується через 20 діб.

Висновки

Одержали p-n-переходи методом лазерного опромінення поверхні півки монокристалічного p-

InSe<Cd>. Аналіз температурних залежностей ВАХ в області прямих зміщень показує наявність двох основних механізмів струмопереносу: рекомбінаційний та тунельно-рекомбінаційний. Поведінка обернених віток ВАХ характерна для струмів, обмежених просторовим зарядом. Фотовольтаїчні вимірювання свідчать про широкосмуговий характер спектрального контуру фотоструму.

Отримані гетеропереходи та приведені результати експериментальних досліджень показують перспективність даного напрямку. І при інтенсивному дослідженні фізичних основ процесу взаємодії лазерного випромінювання з шаруватими напівпровідниками ця технологія може широко застосовуватись для створення стійких і стабільних p-n-переходів.

Ковалюк З.Д. – докт. фіз.-мат. наук, проф.;
Політанська О.А. – аспірант.

- [1] К.Д. Товстюк, Г.В. Пляцко, В.Б. Орлецкий, С.Г. Кияк, Я.В. Бобицкий. Образование p-n- и n-p-переходов в полупроводниках излучением лазера // *УФЖ*, **21**(11), с.1918-1920 (1976).
- [2] Д.И. Цюцюра, П.С. Шкумбатьюк. Получение p-n-переходов на CdTe<In> лазерным отжигом // *ФТП*, **27**(6), с. 1064-1067 (1993).
- [3] Я.В. Бобицкий, Т.С. Гертович, С.Г. Кияк, Г.В. Пляцко, К.Д. Товстюк. Фотоэлектрические характеристики In₂Se с p-n-переходами, образованными при облучении лазером // *УФЖ*, **22**(4), с.685-687 (1977).
- [4] С.Ю. Карпов, Ю.В. Ковальчук, Ю.В. Погорельский. Плавление полупроводников под действием импульсного лазерного излучения (обзор) // *ФТП*, **20**(11), с.1945-1968 (1986).
- [5] С.В. Пляцко. Генерация объемных дефектов в некоторых полупроводниках лазерным излучением в области прозрачности кристалла // *ФТП*, **34**(9), с. 1046-1052 (2000).
- [6] Р.В. Арутюнян, В.Ю.Баранов, Л.А.Большов, А.Ю. Сербант. *Воздействие лазерного излучения на материал*. Наука. М., 263 с. (1983).

Z.D. Kovalyuk, O.A. Politanska

Creating and Investigation of p-n-junction on p-InSe by Pulse Laser Irradiation

*Chernivtsi Department of the Institute of Materials Science Problems,
the National Academy of Sciences of Ukraine, 5, Iryna Vilde St., 58001 Chernivtsi, Ukraine*

P-n-junctions are obtained by high-power laser pulse irradiation of surface p-InSe<Cd> duration 2 ms. The temperature dependences of current-voltage characteristics and relative quantum efficiencies are discussed; current transport mechanisms of the prepared diodes are interpreted.