

© 2005 р. О.В. Галочкін, М.М. Рижук, Б.М. Грицюк, З.І. Захарук,  
В.М. Стребжев, І.М. Раренко

Чернівецький національний університет ім. Ю.Федьковича, Чернівці

## БАР'ЄРНІ СТРУКТУРИ НА CdTe ТА Cd<sub>0,8</sub>Mn<sub>0,2</sub>Te, ОТРИМАНІ ЛАЗЕРНОЮ ПЕРЕКРИСТАЛІЗАЦІЄЮ ПОВЕРХНІ

Шляхом лазерної перекристалізації поверхні монокристалічних підкладок CdTe та Cd<sub>0,8</sub>Mn<sub>0,2</sub>Te рубіновим мілісекундним лазером отримано бар'єрні структури. Досліджено морфологію перекристалізованого шару, вольт-амперні та фотоелектричні характеристики одержаних структур.

The barrier structures had been prepared by the ruby millisecond laser recrystallization of single-crystal CdTe and Cd<sub>0,8</sub>Mn<sub>0,2</sub>Te plates. The morphology of recrystallized layer, volt-ampere and photoelectric characteristics of the structures were researched.

Лазерна обробка поверхні кристалів CdTe, CdMnTe дозволяє здійснювати керований вплив на їх структуру як у цілому, так і в локальних областях та отримувати на них випрямляючі структури. Лазерне опромінення при певній густині енергії приводить до зміни реальної структури напівпровідника і може здійснювати вплив на його характеристики [1]. Все це є основою для створення нових та оптимізації існуючих приладів, в яких використовуються кристалічні структури CdTe та його тверді розчини.

Для розширення області застосування CdTe та твердих розчинів CdZnTe, CdMnTe необхідне створення якісних бар'єрних структур на їх основі. Одним із перспективних методів створення таких структур є метод лазерної обробки поверхні. Різні види лазерної обробки матеріалів, в тому числі лазерна проплавка і лазерне впровадження домішок [2], належать до нових технологій створення сучасних пристроїв.

На вирощених методом Бріджмена кристалах CdTe і Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te (0,02 ≤ x ≤ 0,2), які володіли *n*-типом провідності, були створені поверхнево-бар'єрні структури. Особливістю технології вирощування кристалів Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te є висока хімічна активність мангану, що приводить до взаємодії цієї компоненти із загальноприйнятим кварцовим контейнером. Тому вирощування проводили у кварцових контейнерах, покритих графітом.

Із вирощених кристалів струнною різкою вирізували зразки у вигляді шайб 7×7×1 мм<sup>3</sup>, поверхню яких полірували алмазними пастами та проводили травлення поліруючими травниками (травник 1 (HNO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>O:K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>); травник 2 (Br

(8%): метанол). Найбільш якісна поверхня була отримана при використанні фінішної хіміко-механічної обробки в поліруючій суміші колоїдного розчину кремнезему з пероксидом водню і гліцерином. Наявність у травнику модифікованого оксиду кремнію дозволяє отримувати поверхню з мінімально порушеним шаром, оскільки SiO<sub>2</sub> – м'який ультрадисперсний абразивний матеріал і ефективний комплексоутворювач [3].

В даній роботі для виготовлення поверхнево-бар'єрних структур були вибрані монокристалічні пластини *n*-типу CdTe з рухливістю носіїв струму μ=1180 см<sup>2</sup>/(В·с) і питомим опором ρ=10 Ом·см та Cd<sub>0,8</sub>Mn<sub>0,2</sub>Te з ρ=100 Ом·см, μ=470 см<sup>2</sup>/(В·с) (T=300 К).

Лазерну проплавку поверхневого шару зразків проводили за допомогою потужного моноімпульсного оптичного рубінового генератора на ГОР-100М (τ=1,2 мс, λ=0,694 мкм, сумарна енергія в імпульсі 100 Дж). Для уникнення окиснення поверхні зразків під час проплавки та кристалізації, опромінення проводили в об'ємі вакуумованому до тиску 10<sup>-5</sup> тор.

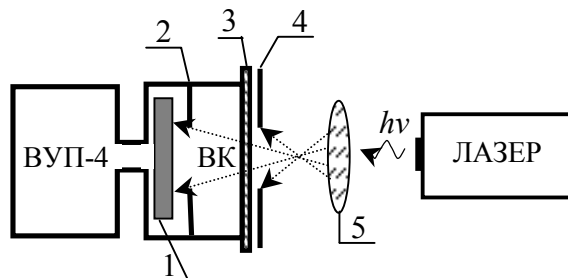


Рис. 1. Структурна схема лазерної установки

Схема установки для отримання поверхнево-бар'єрних структур зображена на рис. 1. Зразок (1) розміщували у вакуумованому об'ємі камери, яка закривалась змінним склом (3) та відкачувалась вакуумною установкою ВУП-4.

З метою оплавлення невеликої частини поверхні зразків було встановлено вольфрамову діафрагму (2) з отвором 3 мм, а для запобігання пошкодження елементів вакуумної камери використовували діафрагму (4) з чорненого заліза. Вакуумна камера, діафрагма (4), фокусуєча лінза (5) та оптична головка лазера ГОР-100М встановлювались на станині оптичної лавки ОСК-2 довжиною 2 м. Зразки опромінювали одиничними імпульсами розфокусованого пучка лазера в інтервалі густини енергій від 3 до 30 Дж/см<sup>2</sup>.

Морфологію оплавленої поверхні CdTe і  $Cd_{0,8}Mn_{0,2}Te$  вивчали за допомогою растрового електронного мікроскопа РЕМ-100У дослідженням у режимі "вторинних електронів". Зображення опроміненої поверхні та поперечний відкол зразка зображені на рис. 2, 3. Після проплавки поверхні імпульсами з густиною енергії  $E=6$  Дж/см<sup>2</sup> утворювались закристалізовані області з різкою границею розділу з матрицею.

В результаті кристалізації проплавленої поверхні CdTe спостерігалось утворення шару з впорядкованою структурою, характерною для лазерної епітаксії. Монокристалічність шарів підтверджується наявністю на їх поверхні картин чіткого ступінчатого кристалічного контрасту при скануванні електронним пучком [4].

Товщина області лазерної проплавки визначалась по поперечних відколах опромінених зразків (рис. 3). Морфологія поверхні відколу в області проплавленого шару 1 та матриці 3 відповідає монокристалічній структурі. На границі розділу 2 проплавленого шару і матриці монокристала утворюються перехідні області епітаксійного шару - підкладки, які характеризуються наявністю напружень, викликаних дією лазерного імпульсу. Товщина проплавленого шару складає 8-12 мкм.

Утворення поверхнево-бар'єрних структур відбувалось завдяки частковому випаровуванню кадмію та виходу його в міжвузля в процесі швидкої лазерної перекристалізації поверхні зразків. Втрата Cd та виникнення його вакансій  $V_{Cd}$ , які у свою чергу утворюють акцепторні рівні в забороненій зоні, приводять до зміни провідності вихідного матеріалу в приповерхневому перекристалізованому шарі на p-тип. Так утворював-

ся бар'єр: підкладка n-типу – перекристалізований шар p-типу.

Для проведення вимірів електричних, фотоелектричних характеристик, утворених поверхнево-бар'єрних структур, наносились омичні контакти.

На опромінену область, яка володіє p-типом провідності, омичні контакти створювались у декілька етапів. Для усунення шару окислів з поверхні проводилась іскрова обробка, яка полягає в забезпеченні іскрового розряду в області нанесення контакту.

На підготовлену таким чином поверхню наносилась металева площадка шляхом хімічного осадження золота з розчину  $AuCl_2$ . Надалі на площадки із золота проводилось електролітичне осадження міді з водного розчину  $Cu_2SO_4$  в присутності індію. До такого контактного шару виконувалась пайка мідного електрода індієвим припоєм із використанням флюсу  $ZnCl_2$ . На протилежну грань зразка (володіє n-типом провідності) омичний контакт створювався шляхом попередньої механічної очистки поверхні (вилучається шар окислу  $TeO_2$ , який має великий послідовний опір), із подальшим осадженням Cu і підпайкою мідного електрода.

Для оцінки якості утворених поверхнево-бар'єрних структур були проведені вимірювання їх вольт-амперних характеристик (рис. 4). Як видно з ВАХ, отримані нами структури володіють випрямляючими властивостями, причому кращі випрямляючі властивості мають бар'єрні структури, створені на CdTe. Коефіцієнт випрямлення  $k$  для таких структур досягає  $10^4$ , а для структур на основі  $Cd_{0,8}Mn_{0,2}Te$   $k \sim 30$ . При перебудові прямої гілки ВАХ у напівлогарифмічних координатах стає видно, що існують як мінімум два механізми переносу носіїв заряду в таких структурах.

Використовуючи спектрофотометр СФ-46 були виміряні спектральні характеристики фотоЕРС отриманих поверхнево-бар'єрних структур, які зображені на рис. 5. Видно, що діодні структури мають максимальний фотовідгук 1,44 еВ для CdTe, і 1,77 еВ для  $Cd_{0,8}Mn_{0,2}Te$ . Ці максимуми відповідають зона-зонним переходам цих матеріалів. Для всіх отриманих структур спостерігаються додаткові піки: для CdTe – 1,5еВ; для  $Cd_{0,8}Mn_{0,2}Te$  – 2,01 і 2,31 еВ. Виникнення їх може бути пов'язане з утворенням гексагональної структури на поверхні підкладок, що має місце при

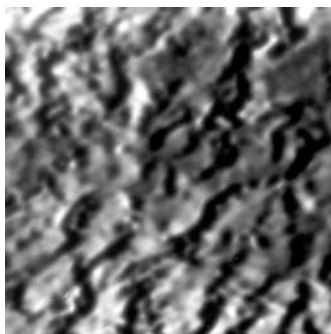


Рис. 2. Морфологія поверхні  $\text{Cd}_{0,8}\text{Mn}_{0,2}\text{Te}$  після лазерної перекристалізації при густині енергії опромінення  $E=30 \text{ Дж/см}^2$  ( $\times 2000$ )

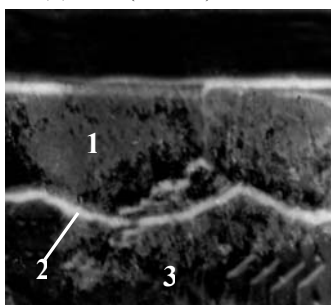


Рис. 3. Поперечний відкол зразка  $\text{CdTe}$  після лазерної перекристалізації при густині енергії опромінення  $E=6 \text{ Дж/см}^2$  ( $\times 3500$ )

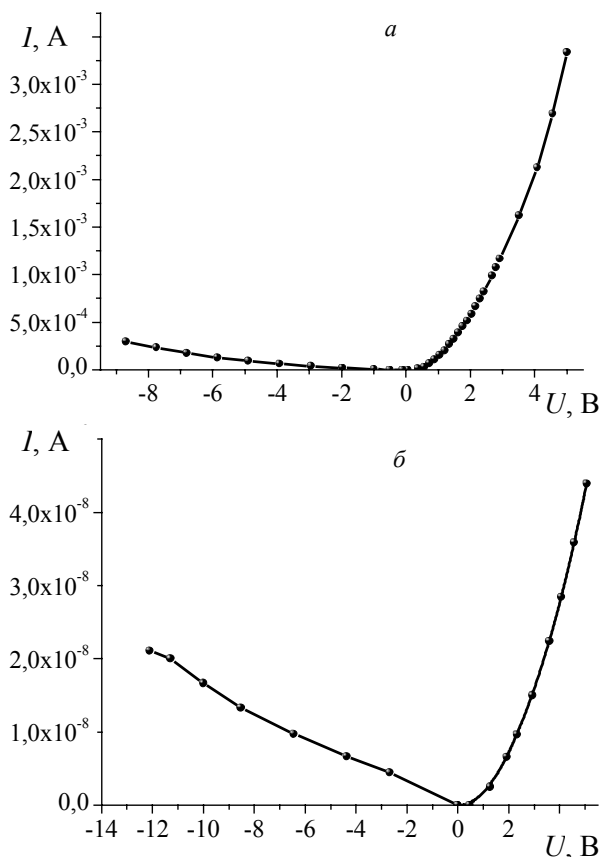


Рис. 4. Вольт-амперні характеристики поверхнево-бар'єрних структур на  $\text{Cd}_{0,8}\text{Mn}_{0,2}\text{Te}$  (а),  $\text{CdTe}$  (б)

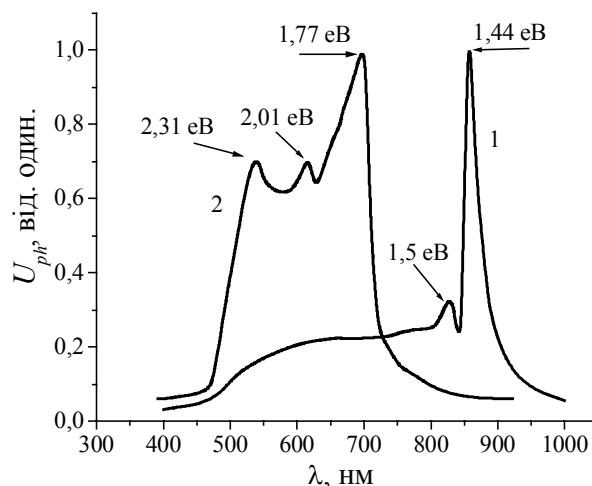


Рис. 5. Спектральна залежність фото-ЕРС для структур на  $\text{CdTe}$  (1),  $\text{Cd}_{0,8}\text{Mn}_{0,2}\text{Te}$  (2)

виготовленні плівок  $\text{CdTe}$  та його твердих розчинів [5]. Така ситуація можлива при лазерній дії на поверхню підкладок, адже епітаксійна плівка кристалізується з великою швидкістю. Для найкращих структур на  $\text{CdTe}$  спектральна чутливість у максимумі складала  $0,38 \text{ А/Вт}$ .

Отже, використовуючи метод лазерної проплавки поверхні підкладки, можна отримувати якісні бар'єрні структури. При опроміненні зразків, починаючи з густини енергії  $5 \text{ Дж/см}^2$ , одержують структури з випрямляючими властивостями. При енергії  $12 \text{ Дж/см}^2$  структури володіли найбільшим коефіцієнтом випрямлення.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шульпина І.Л., Зеленина Н.К., Матвеев О.А. Воздействие импульсного лазерного излучения на реальную структуру монокристаллов  $\text{CdTe}$  // ФТТ. – 1998. – **40**, №1. – С.68-72.
2. Зеленина Н.К., Матвеев О.А. Лазерное внедрение примесей в кристаллы теллурида кадмия // Письма в ЖТФ. – 1998. – **24**, №11. – С 1-6.
3. Dremlyuzhenko S.G., Zakharuk Z.I., Rarenko I.M., Srtebegev V.M., Voloshchuk A.G. and Yuriychuk I.M. State of  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  and  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  surface depending on treatment type // E-MRS Fall Meeting 2002 Symposium G. – Zakopane, 2002. – Abs. 13.
4. Галочкін О.В., Дремлюженко С.Г., Захарук Я.Д., Раренко А.І., Рибак Є.В., Стребезев В.М. Дослідження поверхні і границі розділу структур, сформованих на  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  і  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  лазерною пропалкою // Фізика і хімія твердого тіла. – 2003. – **4**, №4. – С.669-672.
5. Палатник Л.С., Бойко Б.Т., Сорокин В.К., Виноградов В.Б. О гексагональной модификации  $\text{CdTe}$  в конденсированных пленках // Известия АН СССР: Неорганические материалы. – 1971. – **7**, №11. – С.1960-1965.