

О.В. Галочкін, С.Г. Дремлюженко, Я.Д. Захарук, А.І. Раренко, Є.В. Рибак,  
В.М. Стребежев

## Дослідження поверхні і границі розділу структур, сформованих на $Cd_{1-x}Zn_xTe$ і $Cd_{1-x}Mn_xTe$ лазерною проплавкою

*Чернівецький національний університет імені Ю. Федьковича,  
вул. Коцюбинського 2, м. Чернівці, 58012, Україна, E-mail: microel@chnu.cv.ua*

Методом растрової електронної мікроскопії досліджено морфологію опроміненої рубіновим лазером поверхні та структуру проплавленого шару монокристалів твердих розчинів  $Cd_{1-x}Zn_xTe$ ,  $Cd_{1-x}Mn_xTe$ . Показано можливість створення омичних контактів з використанням лазерної проплавки підконтактної площадки.

**Ключові слова:** тверді розчини телуриду кадмію, лазерне опромінення, омичні контакти, морфологія.

*Стаття поступила до редакції 19.05.2003; прийнята до друку 23.10.2003.*

Телурид кадмію та його тверді розчини широко використовуються в оптичній, оптоелектронній та фотоелектронній техніці при виготовленні приладів і підкладок для вирощування епітаксійних шарів вузькощілинних напівпровідників  $Cd_{1-x}Hg_xTe$ . Однією з проблем широкого застосування даного матеріалу в промисловості є проблема формування омичних контактів, яка частково вирішується створенням підконтактної області з підвищеною густиною структурних дефектів [1].

Перспективним методом направленої модифікації кристалічної структури напівпровідника є лазерне опромінення, яке відрізняється локальністю і короткою тривалістю дії на матеріал [2-5]. Зміни в реальній структурі кристала під впливом імпульсного лазерного випромінювання пов'язані головним чином з великим градієнтом температури, що виникає в тонкому поверхневому шарі, та великою швидкістю кристалізації розплаву. В залежності від густини енергії опромінення ( $0,3 \div 16$  Дж/см<sup>2</sup>) в структурі поверхневого шару кристала спостерігаються зміни [3,5]: її покращення в результаті термічної релаксації мікронапруг; розвиток попередньо існуючих лінійних та кластерних дефектів; проплавка і послідовна рекристалізація впорядкованого епітаксійного шару.

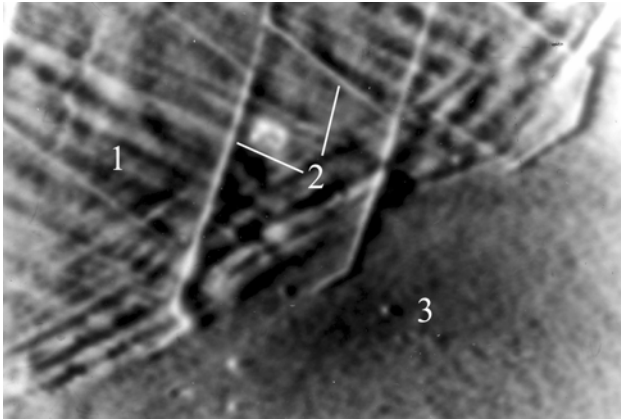
В даній роботі представлені результати дослідження шарів  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  і  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  утворених проплавленням поверхні кристалів лазерним випромінюванням. Лазерну обробку проводили з метою створення підконтактних областей для формування омичних контактів.

Для проведення досліджень методом Бріджмена

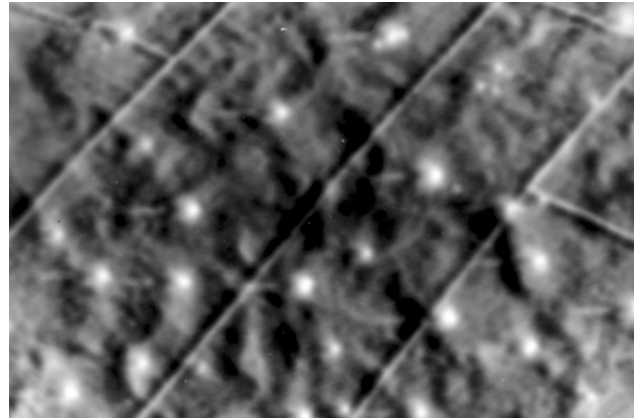
були вирощені кристали  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  ( $0,01 \leq x \leq 0,12$ ) і  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  ( $0,02 \leq x \leq 0,5$ ). Особливістю твердих розчинів  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  є висока хімічна активність мангану в розплаві, що призводить до взаємодії цієї компоненти з матеріалом кварцової ампули. Тому вирощування цих кристалів проводили в спеціальних склографітових контейнерах.

В залежності від технологічних режимів вирощування і співвідношення компонент, одержані кристали  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  і  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  мали р-тип провідності і питомий опір  $10^2 \leq \rho \leq 10^7$  Ом см.

З вирощених кристалів вирізали зразки у вигляді пластинок  $7 \times 7 \times 1$  мм<sup>3</sup>. Їх поверхню механічно шліфували і полірували алмазними пастами з поступовим зменшенням розміру абразивного зерна. Порушений шар, одержаний в процесі механічної обробки, знімався в поліруючому травнику. До вибору складу поліруючої суміші були пред'явлені наступні вимоги: рівномірне видалення порушеного шару та мінімальне забруднення поверхні. Використання поліруючих травників які містять біхромат калію або бром призводить до забруднення поверхневого шару складовими травника [6,7], що може вплинути на електричні характеристики підконтактної області. Крім того, хімічне травлення поверхні зразків  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  та  $Cd_{1-x}Mn_xTe$  в бромметанольному травнику призводить до збагачення приповерхневого шару киснем на глибину 13-15 нм, як і при аналогічній обробці CdTe [8]. Використання порівняно великого часу травлення (більше 20 с) викликає порушення площинності поверхні та появу рельєфу. Найбільш якісна поверхня була отримана при використанні



**Рис. 1.** Морфологія поверхні кристала  $\text{Cd}_{0,95}\text{Zn}_{0,05}\text{Te}$  після лазерного опромінення густиною енергії  $E = 7 \text{ Дж/см}^2$  (1 – епітаксійний шар, 2 – мікротріщини, 3 – матриця;  $\times 260$ ).



**Рис. 2.** Морфологія поверхні кристала  $\text{Cd}_{0,9}\text{Mn}_{0,1}\text{Te}$  після лазерного опромінення густиною енергії  $E = 17 \text{ Дж/см}^2$  ( $\times 250$ ).

фінішної хіміко-механічної обробки в поліруючій суміші колоїдного розчину кремнезему з пероксидом водню і гліцерином. Наявність в травнику модифікованого оксиду кремнію дозволяє отримувати поверхню з мінімально порушеним шаром, оскільки  $\text{SiO}_2$  – м'який ультрадисперсний абразивний матеріал і ефективний комплексотворювач [7].

Лазерну проплавку поверхневого шару зразків проводили за допомогою потужного моноімпульсного оптичного генератора на рубіні ГОР-100М ( $\tau = 1,2 \text{ мс}$ ,  $\lambda = 0,694 \text{ мкм}$ , сумарна енергія в імпульсі 100 Дж). Для того щоб уникнути окиснення поверхні зразків під час проплавки та кристалізації, опромінення проводили в об'ємі вакуумованому до тиску  $10^{-5}$  тор. Зразки опромінювали одиночними імпульсами розфокусованого пучка лазера в інтервалі густини енергій від 3 до 30  $\text{Дж/см}^2$ .

Для визначення області поглинання і пропускання лазерного випромінювання матеріалів різних складів, використовували залежності ширини забороненої зони від вмісту цинку та мангану [9,10]. Визначено, що у всіх досліджуваних складах твердих розчинів, крім  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  ( $x \geq 0,17$ ), довжина хвилі рубінового лазера знаходиться в області поглинання.

Морфологію поверхні, склад і розподіл хімічних елементів в шарах  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  і  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  вивчали за допомогою растрового електронного мікроскопу РЕМ-100У дослідженням у "вторинних електронах" та скануванням у рентгенівських променях.

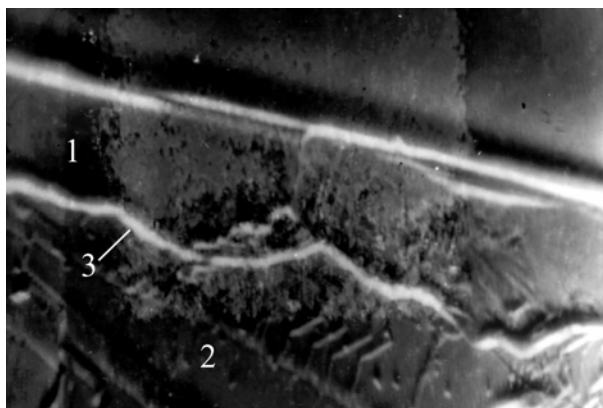
Зображення характерної морфології опромінених поверхонь кристалів представлені на рис. 1-3. Після проплавки поверхні імпульсами густиною енергії  $E = 7 \text{ Дж/см}^2$  утворювались закристалізовані області з різкою границею розділу з матрицею. В результаті перекристалізації поверхні монокристалів  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  спостерігалася утворення шару (1) з впорядкованою структурою, характерною для лазерної епітаксії

(рис. 1). Монокристалічність шарів підтверджується наявністю на їх поверхні картин чіткого ступінчатого кристалічного контрасту при скануванні електронними променями.

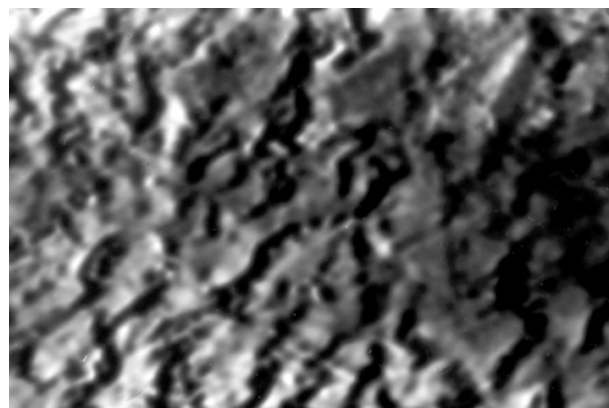
В кристалах  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  при збільшенні густини енергії в імпульсі до величини  $12\div 18 \text{ Дж/см}^2$  в закристалізованому після проплавки шарі спостерігались мікротріщини другої фази (рис. 2). Їх склад визначали лінійним скануванням електронним зондом в рентгенівських променях  $L_{\alpha 1\text{Te}}$ . Виявлено, що це включення телуру, утворення яких можна пояснити збідненням розплаву кадмієм за рахунок його випаровування при лазерній проплавці, яке спостерігали при лазерному опроміненні  $\text{CdTe}$  [11]. В епітаксійних шарах  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  і  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  спостерігалася регулярна сітка мікротріщин. Системи паралельних мікротріщин були розташовані під кутом  $120^\circ$  одна до одної. Їх появу можна пояснити швидкою кристалізацією розплаву на деформованій різким тепловим градієнтом області кристала. При оптимальних енергіях імпульсу тріщини не поширювались за межі області опромінення (рис. 1, рис. 2).

Картина каналювання електронів в епітаксійному шарі співпадала з картиною каналювання на монокристалічній підкладці твердих розчинів  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  і  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ . Це свідчить про ідентичність типу кристалічної ґратки матриці і закристалізованого шару.

Товщина області лазерної проплавки визначалася по поперечних сколах опромінених зразків (рис. 3). Морфологія поверхні сколу в області проплавленого шару (1) та матриці (2) відповідає монокристалічній структурі. На границі розділу (3) проплавленого шару і матриці монокристала утворюються перехідні області епітаксійного шару – підкладки, які характеризуються наявністю напружень та дефектів, викликаних дією лазерного імпульсу. Товщина



**Рис. 3.** Поперечний скол зразка  $\text{Cd}_{0,95}\text{Zn}_{0,05}\text{Te}$  (1 – проплавлений шар, 2 – матриця, 3 – границя розділу проплавленого шару з матрицею;  $E = 6 \text{ Дж/см}^2$ ; ( $\times 3500$ )).



**Рис. 4.** Морфологія поверхні кристала  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  з нанесеною плівкою міді після лазерного опромінення енергією  $E = 30 \text{ Дж/см}^2$  ( $\times 2080$ ).

проплавленого шару складає 8-12 мкм.

Структурна досконалість шарів залежала від способу попередньої обробки поверхні підкладок. Відомо [8], що при механічній обробці поверхні кристалів  $\text{CdTe}$  та його твердих розчинів глибина порушеного шару з великою густиною дислокацій та напружень може досягати величини рівної 4-кратному розміру зерна абразиву. Введені механічною обробкою структурні порушення при тепловому “ударі” під час опромінення можуть розвиватись в глибину і призводити до утворення тріщин та інших дефектів. Найбільш досконалі шари були отримані на зразках після хіміко-механічної поліровки в композиціях колоїдного кремнезему.

Для оплавлення прозорих на довжині хвилі  $\lambda = 0,694 \text{ мкм}$  зразків ( $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$   $x \geq 0,17$ ) на поверхню термічним напиленням наносили плівку міді. Напилення міді на підкладки  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  проводилось на вакуумному посту ВУП-5 при тиску в робочому об’ємі  $\sim 10^{-5}$  тор. Температура підкладки підтримувалась в межах 430-450 К. Товщина плівок міді складала  $0,5 \div 1 \text{ мкм}$ . Опромінення проводили зі сторони напиленої плівки міді. Поглинання лазерного випромінювання відбувалося в плівці, викликаючи нагрів і оплавлення приповерхневого шару зразка, починаючи з густини енергії  $6 \text{ Дж/см}^2$ . При густині енергії  $E = 30 \text{ Дж/см}^2$  спостерігалась

чітка ступінчата морфологія поверхні плівки з перекристалізованим шаром монокристала (рис. 4).

Для створення омичних контактів з використанням свіжеопроміненої області, як підконтактного шару, проводилась пайка мідних електродів двома способами. В першому випадку їх припаювання виконувалось чистим індієм безпосередньо на оплавлені області з плівкою міді. В другому – на опромінену область з водного розчину  $\text{CuSO}_4$  осаджували мідь, з наступним припаюванням електродів контактів індієм. В обох випадках використовувався флюс на основі  $\text{ZnCl}_2$ .

Отримані таким чином контактні структури характеризувалися лінійними вольт-амперними характеристиками, низьким перехідним опором та високою механічною міцністю. Отже, лазерна технологія може бути використана для створення омичних контактів до кристалів твердих розчинів  $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$  та  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  р-типу провідності в широких межах атомарних складів та питомих опорів.

Робота виконана при фінансовій підтримці проекту №1440 НТЦУ.

- [1] Hahnert, M. Wienecke. Relation between dislocation density, bulk electrical properties and ohmic contacts of  $\text{CdTe}$  // *Material Science and Engineering*, В. **16**, pp. 168-171 (1993).
- [2] И.Л. Шульпина, Н.К. Зеленина, О.А. Матвеев. Воздействие импульсного лазерного излучения на реальную структуру монокристаллов  $\text{CdTe}$  // *ФТТ*, **40**(1), сс. 68-72 (1998).
- [3] И.Л. Шульпина, В.В. Ратников, О.А. Матвеев. Рентгенодифракционное исследование изменения реальной структуры монокристаллов  $\text{CdTe}$  в результате лазерного облучения // *ФТТ*, **43**(3), сс. 559-562 (2002).
- [4] Н.К. Зеленина, О.А. Матвеев. Лазерное внедрение примесей в кристаллы теллурида кадмия // *Письма в ЖТФ*, **24**(11), сс. 1-6 (1998).
- [5] И.Л. Шульпина, Н.К. Зеленина, О.А. Матвеев. Тепловое воздействие импульсного лазерного излучения на реальную структуру монокристаллов  $\text{CdTe}$  // *ФТТ*, **42**(1), сс. 548-552 (2000).

- [6] З.И. Захарук, Ю.П. Стецько, И.М. Раренко. Состав включений в твердых растворах на основе CdTe // *Неорганические материалы*, **34**(2), сс. 148-155 (1998)
- [7] S.G. Dremlyuzhenko, Z.I. Zakharuk, I.M. Rarenko, V.M. Srtebegev, A.G. Voloshchuk and I.M. Yuriychuk. State of Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te and Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te surface depending on treatment type // *E-MRS Fall Meeting 2002 Symposium G: Solid Solutions of the II-VI compounds -Growth, Characterization and Applications, Zakopane, 2002* abs. 13
- [8] З.І. Захарук, І.М. Раренко, О.М. Крилюк, С.Г. Дремлюженко, Ю.П. Стецько. Стан поверхні телуриду кадмію після різних способів обробки // *Укр. хім. журнал*, **66**(12), сс. 31-34 (2000).
- [9] W. Stadler, D.M. Hofmann, H.C. Alt, T. Muschik, B.K. Meyer, E. Weigel, G. Müller-Vogt, M. Salk, E. Rupp, K.W. Benz. Optical investigation of defects in Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te // *Phys. Rev. B*, **15**(16), pp. 10619-10631 (1995).
- [10] J.K. Furdyna. Diluted magnetic semiconductors // *J. Appl. Phys.*, **64**(4), pp. R29-R63 (1988).
- [11] А. Байдулаева, А.И. Власенко, П.Е. Мозоль, А.Б. Смирнов. Состояние поверхности поликристаллических слоев CdTe, облученных импульсным лазерным излучением // *ФТП*, **35**(6), сс. 745-748 (2001).

O.V. Galochkin, S.G. Dremluzhenko, Y.D. Zakharuk, A.I. Rarenko, E.V. Rybak,  
V.M. Strebezhev

## Surface and Interface Investigation of Structures Created on Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te and Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te by Laser Melting

Chernivtsi National University by Yuriy Fedkovich,  
2, Kotsyubynskiy Str., Chernivsi, 69063, Ukraine, e-mail: [microel@chnu.cv.ua](mailto:microel@chnu.cv.ua)

The surface morphology and structure of melting layer of Cd<sub>1-x</sub>Zn<sub>x</sub>Te, Cd<sub>1-x</sub>Mn<sub>x</sub>Te solid solution irradiated by ruby laser has been investigated by scanning electron microscope method. It has been shown the possibility of ohmic contacts creation by laser melting of subcontact layer.