

*Проведено дослідження електричних властивостей напівпровідникових р-п-переходів, створених при опроміненні кристалів  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  імпульсами потужного лазерного випромінювання. Встановлено, що створені структури відносяться до різних р-п-переходів, ВАХ яких визначається генераційно-рекомбінаційними процесами як в ОПЗ, так і на межі розділу рекристалізованого шару та об'єму напівпровідника*

*Ключові слова: CdTe, р-п-переходи, лазер, випромінювання, випаровування, дифузія, рекомбінація, вакансії, струмопереніс, сигнал*

*Проведено исследование электрических свойств полупроводниковых р-п-переходов, полученных при облучении кристаллов  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  импульсами мощного лазерного излучения. Установлено, что изготовленные структуры относятся к разным р-п-переходам, ВАХ которых определяется генерационно-рекомбинационными процессами как в ОПЗ, так и на границе раздела рекристаллизованного слоя и объема полупроводника*

*Ключевые слова: CdTe, р-п-переходы, лазер, излучение, испарение, диффузия, рекомбинация, вакансии, токоперенос, сигнал*

## ВИГОТОВЛЕННЯ ТА ВЛАСТИВОСТІ Р-П-ПЕРЕХОДІВ НА ОСНОВІ $Cd_{1-x}Zn_xTe$

**В. В. Брус**

Кандидат технічних наук, асистент\*

E-mail: victorbrus@mail.ru

**М. І. Ілащук**

Кандидат фізико-математичних наук, асистент\*

**Б. М. Грицюк**

Кандидат фізико-математичних наук, доцент  
Кафедра радіотехніки і інформаційної безпеки\*\*

**О. А. Парфенюк**

Доктор фізико-математичних наук, професор\*

\*Кафедра електроніки і енергетики\*\*

E-mail: o.parfenyuk@chnu.edu.ua

**П. Д. Мар'янчук**

Доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач  
кафедри

E-mail: p.maryanchuk@chnu.edu.ua

\*\*Чернівецький національний університет

ім. Юрія Федьковича

вул. Коцюбинського, 2, Чернівці, Україна, 58012

### 1. Вступ

Телурид кадмію та тверді розчини на його основі  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  є одними з найбільш перспективних матеріалів для виготовлення приладів напівпровідникової мікроелектроніки [1]. У багатьох випадках практичне використання напівпровідників передбачає створення бар'єрних структур (діодів Шоттки, р-п-переходів, гетеропереходів тощо). Одним з нових перспективних методів виготовлення напівпровідникових р-п-переходів є опромінення матеріалу імпульсами потужного лазерного випромінювання з енергією квантів  $h\nu \geq E_g$ , де  $E_g$  – ширина забороненої зони напівпровідника [2 – 4]. При цьому відбувається сильне поглинання світлової енергії у тонкому приповерхневому шарі матеріалу, що приводить до його швидкого нагрівання та розплавлення [5]. Внаслідок великої швидкості нагріву розплав межує з практично холодним базовим матеріалом. Розподіл власних і домішкових дефектів у рекристалізованому шарі і об'ємі напівпровідника суттєво відмінні.

Досліджуючи дію лазерного опромінення на монокристалічний CdTe, автори [6] встановили, що завдяки більш інтенсивному випаровуванню атомів кадмію рекристалізований шар збагачений телуром і має діркову провідність. Якщо базовий матеріал електронного типу провідності, то на межі розділу фаз утворюється р-п-перехід.

У даній роботі досліджені електричні властивості напівпровідникових р-п-переходів, створених при опроміненні кристалів  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  імпульсами потужного лазерного випромінювання.

### 2. Методика експерименту

Виготовлення бар'єрних структур проводили на основі монокристалічного  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  n-типу провідності, вирощеного методом Бріджмена при контрольному тиску пари кадмію.

Його електричні параметри при температурі 295К були такими:  $\sigma = 1,4 \text{ Ом}^{-1}\text{см}^{-1}$ ,  $n = 9,0 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ,  $\mu = 1012 \text{ см}^2\text{В}^{-1}\text{с}^{-1}$ .

Для створення області р-типу провідності використовували лазер з рубіновою голівкою ( $\lambda = 0,694 \text{ мкм}$ , коефіцієнт поглинання в CdTe  $\alpha = 6 \cdot 10^4 \text{ см}^{-1}$ ). Омичні контакти до області n-типу провідності створювали вплавленням індію, а до області р-типу хімічним осадженням Au з водного розчину хлорного золота.

Електричні властивості отриманих напівпровідникових р-п-переходів досліджували шляхом вимірювання вольт-амперних (ВАХ) та вольт-фарадних (ВФХ) характеристик при різних температурах (295-351К) та частотах змінного сигналу (10-30 кГц) за допомогою комплексу SOLARTRON SI 1286, SI 1255.

### 3. Результати та їх обговорення

Отримані структури володіли чітко вираженими випрямляючими властивостями: висота потенціального бар'єра  $e\phi_k$  при  $T=295$  К становила 0.8 еВ, а діодний коефіцієнт випрямлення –  $4,2 \cdot 10^4$  при напрузі  $V=1.5$  В (рис. 1). Лінійна залежність у координатах  $(S/C)^2 = f(U)$  (рис. 2) дозволяє віднести створені бар'єрні структури до різних р-п-переходів з однорідним розподілом домішок у перехідній області, оцінена товщина якої при нульовому зміщенні дорівнювала 1.1 мкм. Визначена із ВФХ концентрація некомпенсованої домішки становила  $1.1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  і була майже на порядок меншою, ніж концентрація носіїв заряду у базовому матеріалі. Тому можна допустити, що більша частина запірного шару структури зосереджена у дірковій області електричного переходу. Необхідно відмітити, що при опроміненні кристалів CdTe імпульсами випромінювання рубінового лазера з густиною потужності нижче межі руйнування зміна властивостей напівпровідника відбувається у приповерхневій області, товщина якої (~5 мкм) набагато більша, ніж глибина проникнення світла (~ $10^{-5}$  см) [7]. Це пояснює експериментально визначений розмір області просторового заряду (ОПЗ) та можливість її існування у дірковій частині р-п-переходу.

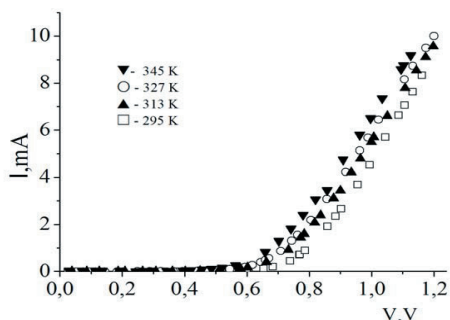


Рис. 1. Прямі гілки ВАХ р-п-переходів, створених лазерним опроміненням  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ , при різних температурах

Порівняння величин висоти потенціального бар'єра, визначених з ВАХ  $e\phi_k = 0.8$  еВ (рис. 1) та ВФХ  $e\phi_k = 1.1$  еВ (рис. 2) показує їх деяке неспівпадання, що може бути пояснене додатковою ємністю зарядових станів на межі розділу п- і р-областей [8].

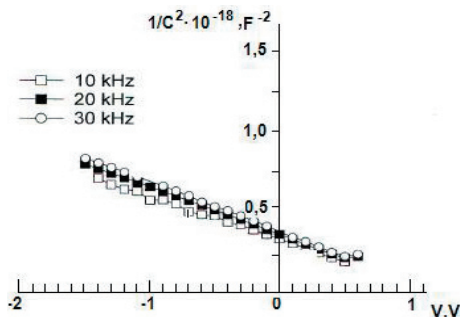


Рис. 2. Вольт-фарадні характеристики р-п-переходів, створених лазерним опроміненням  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ , при різних частотах збуджуючого сигналу

Дійсно, швидкий нагрів приповерхневого шару напівпровідника за час дії імпульса лазерного випромінювання приводить до виникнення термонапруг, які зумовлюють утворення дислокаційних петель на межі розігрітого приповерхневого шару та “холодного” об'єму напівпровідника [7]. Останні можуть бути зарядженими і, відповідно, впливати на величину вимірюваної ємності структури.

Аналіз проходження носіїв заряду крізь енергетичний бар'єр при прямому зміщенні показав, що ВАХ досліджуваних структур в області напруг до 0.8 В добре описуються формулою  $I(V) = I_S [\exp(eV/AkT) - 1]$ . Однак, коефіцієнт неідеальності  $A = 2.6$  і його значення не залежить від  $T$ . Тому можна допустити, що прямий струм визначається рекомбінаційними процесами не тільки в ОПЗ, але й на межі розділу рекристалізованого шару та об'єму напівпровідника. Тут рекомбінація може відбуватися на дислокаційних петлях, причини виникнення яких вже обговорювалися вище. Випромінювальною рекомбінацією на протяжних центрах, які містять декілька атомів (дислокаційні петлі, мікрокластери) були пояснені особливості спектрів фотолюмінесценції кристалів CdTe, які багатократно опромінювали імпульсами рубінового лазера, авторами роботи [9]. Температурна залежність струму насичення, побудована у координатах  $\ln I_S = f(10^3/T)$  була лінійною, що дало можливість визначити глибину залягання рекомбінаційних центрів у забороненій зоні напівпровідника –  $E_T = 0.52$  еВ. Якщо допустити, що визначальною є рекомбінація в ОПЗ, то визначений енергетичний рівень у кристалах  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  з малим значенням  $x$  по аналогії з нелегованим CdTe можна інтерпретувати як складний дефект за участю двократно зарядженої вакансії кадмію і фонові домішки донорного типу ( $V_{\text{Cd}}''D'$ ) [10].

В області зворотних напруг при  $V < 1\text{В}$  визначальною є теплова генерація носіїв заряду, що підтверджується лінійною залежністю  $I(V)$ , побудованою у координатах  $I(V) = f(\phi_k - V)^{1/2}$ . Необхідно відзначити, що виготовлені напівпровідникові р-п-переходи характеризувалися невеликими значеннями зворотних струмів (при  $T=295$  К та  $V=1\text{В}$ ,  $I=0.25$  мкА).

### 4. Висновки

Імпульсами потужного лазерного випромінювання на основі кристалів  $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$  створені різкі напівпровідникові р-п-переходи, які характеризувалися високим коефіцієнтом випрямлення ( $4.2 \cdot 10^4$  при напрузі  $V=1.5$  В). ВАХ отриманих структур добре описуються у рамках генераційно-рекомбінаційної моделі, за участю складних рекомбінаційних центрів ( $V_{\text{Cd}}''D'$ ) та дислокаційних петель, які виникають на межі розділу між рекристалізованим шаром та об'ємом напівпровідника.

Лінійна залежність у координатах  $(S/C)^2 = f(U)$  (рис. 2) свідчить, що створені бар'єрні структури відносяться до різних р-п-переходів з однорідним розподілом домішок у перехідній області, оцінена товщина якої при нульовому зміщенні дорівнювала 1.1 мкм. Визначена із ВФХ концентрація некомпенсованої домішки становила  $1.1 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  і була майже на порядок меншою, ніж концентрація носіїв заряду у базовому матеріалі.

## Література

1. Zanio, K. R. Cadmium telluride [Текст] / K. R. Zanio // Semiconductors and Semimetals. Academic Press, New York, 1978 – V.13. – p. 236.
2. Шкумбатьок, П. С. Формирование барьерных структур при непрерывном лазерном облучении широкозонных материалов АІВVI [Текст] / П.С. Шкумбатьок // Неорганические материалы. – 1999 – Т.35(№9) – С. 1045-1047.
3. Medvid, A. Two-stage model of nanocone formation on a surface of elementary semiconductors by laser radiation [Текст] / A. Medvid, P. Onufrijevs, G. Mozolevs kis, E. Dauksa, R. Rimsa // Nanoscale Research Letter – 2012 – V.7 – P. 428-514.
4. Huang, Y. Multifunctional characteristics of BaNb<sub>0.3</sub>Ti<sub>0.7</sub>O<sub>3</sub>/Si p-n junctions [Текст] / Y.Huang, K. Zhao, H. Lu, K. Jin, M. He, Z. Chen, Y. Zhou, G. Yang // Appl. Phys. Lett. – 2006. – V.88. – P.0619119.
5. Шульпина, И. Л. Тепловое воздействие импульсного лазерного излучения на реальную структуру монокристаллов CdTe [Текст] / И. Л. Шульпина, Н. К. Зеленина, О. А. Матвеев // ФТТ. – 2000. – Т.42(3) – С. 548-552.
6. Байдулаева, А. Динамика развития поверхностных структур в кристаллах p-CdTe при облучении импульсами лазерного излучения [Текст] / А. Байдулаева, М. Б. Булах, А. И. Власенко, А. В., Ломовцев, П. Е. Мозоль // ФТП. – 2004. – Т.38(1). – С.26-29.
7. Байдулаева, А. Изменение структуры дефектов в монокристаллах p-CdTe при прохождении лазерной ударной волны [Текст] / А. Байдулаева, А. И. Власенко, Б. Л. Горковенко, А. В. Ломовцев, П. Е. Мозоль // ФТП – 2000 – Т. 34 (4) – С. 443-446.
8. Зи, С. М. Физика полупроводниковых приборов [Текст] / С. М. Зи – М.: « Энергия », 1973 – 655с.
9. Бабенцов, В. И. Воздействие лазерного облучения на структурные и рекомбинационные свойства монокристаллического теллурида кадмия [Текст] / В. И. Бабенцов, А. Байдулаева, М. Б. Булах, С. И. Горбань, П. Е. Мозоль // Поверхность. Физика, химия, механика –1988.– вып.12.– С. 144-147.
10. Матвеев, О. А. Основные принципы послеростового отжига слитка CdTe:Cl для получения полупроводящих кристаллов [Текст] / О. А. Матвеев, А. И. Терентьев –ФТП.– 2000.–Т. 34(11) – С. 1316-1322.

*В роботі розглянуто: деякі аспекти технічної діагностики комп'ютерних засобів; ієрархічну модель комп'ютерних засобів як об'єктів діагностування із врахуванням особливостей методів та засобів їх діагностування; взаємодія інженера-діагноста із пошуковими системами на різних етапах вирішення задач інтелектуального діагностування, що дає можливість обґрунтувати доцільність та необхідність використання засобів пошуку діагностичної інформації*

*Ключові слова: комп'ютерні засоби, інтелектуальне діагностування, діагностична інформація, пошукові сервіси*

*В работе рассмотрены: некоторые аспекты технической диагностики компьютерных средств; иерархическая модель компьютерных средств как объектов диагностирования с учетом особенностей методов и средств их диагностирования; взаимодействие инженера-диагноста с поисковыми системами на разных этапах решения задач интеллектуального диагностирования, что дает возможность обосновать целесообразность и необходимость использования средств поиска диагностической информации*

*Ключевые слова: компьютерные средства, интеллектуальное диагностирование, диагностическая информация, поисковые сервисы*

УДК 004.78;004.04

## ОСОБЛИВОСТІ ПОШУКУ ДІАГНОСТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО ДІАГНОСТУВАННЯ

В. Я. Ляшкевич

Кандидат технічних наук, доцент\*

E-mail: v.lyashkevych@chnu.edu.ua

Р. І. Макачук

Ассистент\*

E-mail: r.makarchuk@chnu.edu.ua

\*Кафедра комп'ютерних систем та мереж

Чернівецький національний університет

ім. Юрія Федьковича

вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці,

Україна, 58012

## 1. Вступ

Комп'ютерні засоби (КЗ) знайшли широке застосування у всіх сферах діяльності людини, адже вони

допомагають при рутинних обчисленнях, в задачах аналізу і обробки даних, документообігу, фінансових операціях та ін. Тому надалі будемо вести мову про важливість забезпечення надійного функціонування