

УДК 546.49

М.В. Демич, О.С. Литвин¹, В.П. Махній, М.М. Сльотов, О.В. Стець Властивості модифікованих шарів телуриду кадмію

Чернівецький національний університет ім. Ю. Федьковича,
вул. Коцюбинського, 2, м. Чернівці, 58012 (03722)44221, oe-dpt@chnu.cv.ua

¹Інститут фізики напівпровідників НАН України, просп. Науки, 45, м. Київ

Досліджено структурні, фотоелектричні та оптичні властивості телуриду кадмію. Показано, що відпал кристалів n-CdTe призводить до зміни мікроструктури поверхні зразків, не впливаючи при цьому на основні зонні параметри матеріалу.

Ключові слова: телурид кадмію, мікроструктура, λ -модульовані спектри, фоточутливість, оптичне відбивання, зонна структура.

Стаття поступила до редакції 15.07.2002; прийнята до друку 26.08.2002

Перспективність телуриду кадмію для сонячної енергетики стимулює дослідження, які спрямовані на пошук технологічних принципів покращання параметрів матеріалу та випрямляючих структур на його основі. Нещодавно були створені поверхнево-бар'єрні діоди з ефективністю $\sim 13\%$ при 300 K в умовах сонячного освітлення AM 2 [1]. Сутність технології полягає в попередньому відпалі

знайдених з температурних залежностей провідності, складає 0,14 і 0,33 eV. Зауважимо, що відпал призводить тільки до зменшення електропровідності, не змінюючи при цьому її тип [2]. В даній роботі вивчаються фізичні причини можливих змін кристалічної та енергетичної структури модифікованого шару порівняно з базовими кристалами.

Для досліджень вибрано зразки, на базі яких

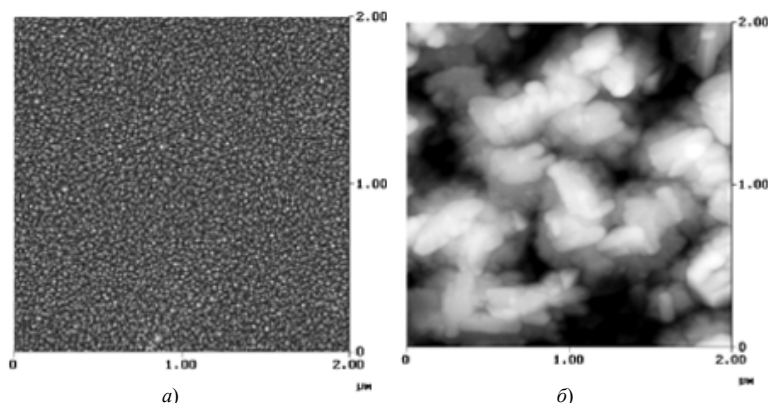


Рис. 1. Мікроструктура поверхонь вихідних (а) та відпалених (б) кристалів n-CdTe.

низькоомних підкладинок n-CdTe при певних умовах на повітрі. В результаті даної операції виникає приповерхневий модифікований шар, який суттєво покращує фотоелектричні параметри діодних структур. В роботі [2] було показано, що питомий опір утвореного шару значно більший ніж аналогічний параметр вихідної підкладинки. Глибина залягання електрично активних донорних рівнів,

сонячні елементи мають максимальну ефективність фотоперетворення. Вивчення мікроструктури поверхні проводилось за допомогою атомно-силового мікроскопу серії Nanoscope IIIa у режимі періодичного контакту. Для визначення особливостей енергетичної структури використано метод модуляції довжини хвилі (λ -модуляція), який дозволяє значно підвищити чутливість та роздільну

здатність вимірювань [3].

Хімічно оброблена поверхня вихідних підкладинок сприймається дзеркальною при розгляданні її неозброєним оком, а також за допомогою оптичного мікроскопу при 100-кратному збільшенні. При цих же умовах спостереження модифікована поверхня виглядає матовою, без помітних макроскопічних порушень. Дослідження за допомогою атомно-силового мікроскопу свідчать про суттєву відмінність поверхонь вихідних та відпалених кристалів, рис. 1. Відпал призводить до значного укрупнення зерен, які для базових зразків відносно малі, а їх розміри змінюються в межах 6-30 нм. Модифікована ж поверхня складається з

матеріалу при $\hbar\omega \geq E_g$. Оскільки товщина досліджуваних зразків становить $d \approx 0,5$ см, то із врахуванням коефіцієнта поглинання $\alpha \approx 10^4$ см⁻¹ при $\hbar\omega = E_g$ [4] отримаємо, що після проходження світло ослабиться в $\exp(\alpha d) = \exp(500) \approx 10^{217}$ раз. Отже, дослідження спектрів поглинання в діапазоні енергій $\hbar\omega > E_g$ виявляється принципово неможливим. Разом з тим, поглинуте світло призводить до генерації нерівноважних електронно-діркових пар, які приймають участь у створенні фотоструму. Таким чином, у першому наближенні спектральний розподіл fotocутливості може бути використаний для вивчення енергетичної структури матеріалу при $\hbar\omega > E_g$. На рис. 2 наведено λ -модульований

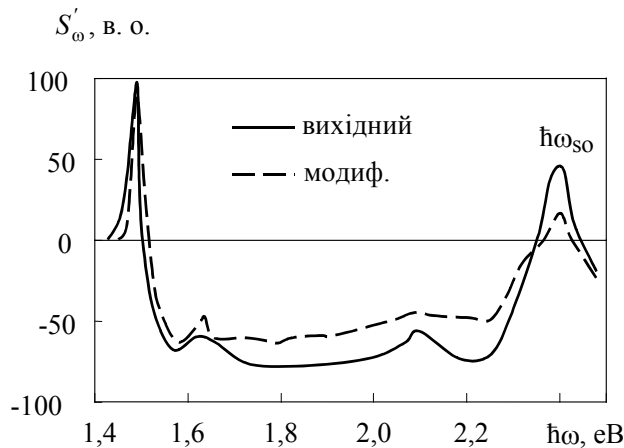


Рис. 2. λ -модульовані спектри fotocутливості контактів Au-CdTe при 300 К.

хаотично орієнтованих крупномасштабних блоків, діаметр яких може досягати 800 нм, рис. 1,б. Для з'ясування природи цих змін необхідні окремі дослідження, які виходять за рамки даної роботи.

Згідно [2] відпал призводить до генерації

спектральний розподіл струму короткого замикання двох діодів, які виготовлені на вихідних та відпалених кристалах n-CdTe. Напівпрозорий золотий контакт, через який проводиться освітлення у досліджуваному діапазоні спектра практично

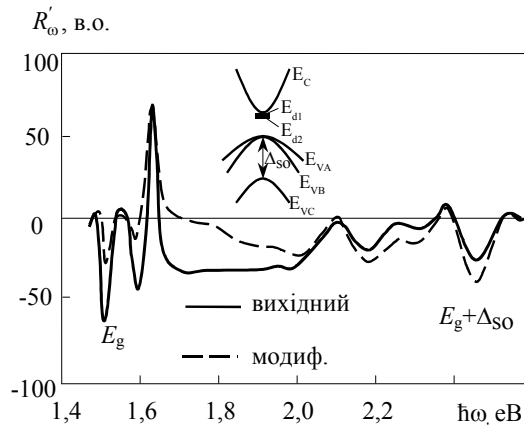


Рис. 3. λ -модульовані спектри оптичного відбивання контактів Au-CdTe при 300 К.

дефектів донорного типу з глибиною залягання $\sim 0,13$ eV. Про це свідчать не тільки дослідження електропровідності, але й спектри оптичного поглинання в області енергій фотонів $\hbar\omega$ менших за ширину забороненої зони E_g телуриду кадмію. Разом з тим, результати роботи [3] не дають відповіді на питання про вплив відпалу на енергетичну структуру

рівномірний [5]. У зв'язку з цим, особливості у диференціальних спектрах S'_ω зумовлені тільки сингулярностями енергетичної структури телуриду кадмію. Так, зокрема, перетин S'_ω з віссю абсцис дорівнює 1,5 eV і узгоджується з шириною забороненої зони CdTe при 300 К [4]. Додатний пік

при $\hbar\omega_{so} \approx 2,4$ еВ зумовлений переходами електронів з валентної підзони, відщепленої за рахунок спин-орбітальної взаємодії, у зону провідності. Різниця $\hbar\omega_{so} - E_g = 0,9$ еВ і відповідає величині спин-орбітального розщеплення Δ_{so} телуриду кадмію [4]. Невеликі перегини на кривих S'_ω при $\hbar\omega < E_g$ можуть бути викликані переходами електронів з основної валентної зони на мілкі донорні рівні, які іонізовані при 300 К. Енергетична відстань цих перегинів від E_g близька до глибини залягання рівнів $E_{d1} = 0,05$ еВ і $E_{d2} = 0,08$ еВ, які у достатній кількості є у вихідних підкладках [2].

Розглянуті вище сингулярності зонної структури виявляються також у λ -модульованих спектрах оптичного відбивання R'_ω , рис. 3. Від'ємний пік з $\hbar\omega \approx 1,5$ еВ присутній у спектрах вихідних та відпалених кристалів і відповідає E_g CdTe. Таким чином, можна ствердувати, що відпал змінюючи мікроструктуру поверхні не призводить до зміни ширини забороненої зони матеріалу. Крім того, інший від'ємний пік на кривих R'_ω розташований на енергетичній відстані $\sim 0,9$ еВ від E_g , що узгоджується з величиною Δ_{so} [4]. Зауважимо, що інтенсивність розглянутих піків залежить від умов обробки поверхні зразків. Вияснення цих причин, а також природи інших особливостей на кривих R'_ω потребує подальших більш детальних досліджень.

Енергетична структура дозволених зон та локальних рівнів, які формують оптичне поглинання CdTe у центрі зони Бріллоена зображена на врізці рис. 3.

Таким чином, наведені результати свідчать про те, що відпал кристалів n-CdTe призводить до зміни мікроструктури поверхні та ансамблю власних точкових дефектів, не впливаючи на фундаментальні зонні параметри матеріалу. Крім того, незмінність ширини забороненої зони є побічним доказом однакової постійної кристалічної ґратки базових підкладок та модифікованого шару.

М.В. Демич – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри оптоелектроніки;
О.С. Литвин – аспірант кафедри оптоелектроніки;
В.П. Махній – доктор фізико-математичних наук, професор кафедри оптоелектроніки;
М.М. Сльотов – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри оптоелектроніки;
О.В. Стець – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри оптоелектроніки.

- [1] П.М. Горлей, М.В. Демич, В.П. Махній, З. Святюк, К.С. Ульяницький, Р. Цях. Фотоелектричні властивості контактів метал-телурид кадмію з модифікованою поверхнею // *Науковий вісник ЧДУ: Фізика. Електроніка*, 333 **63**, сс. 82-84 (1999).
- [2] М.В. Демич, О.С. Литвин, В.П. Махній, І.В. Прокопенко, О.В. Стець Фізичні властивості шарів CdTe<O> // *Науковий вісник ЧНУ: Фізика. Електроніка* **102**, сс. 95-97 (2001).
- [3] В.П. Махній. *Принципи та методи модуляційної спектроскопії*, Рута, Чернівці, с.101, (2001).
- [4] *Фізика и химия соединений A²B⁶* // Пер. с англ. под ред. С.А. Медведева, Мир, М., с.624, (1970).
- [5] С. Зи. *Фізика напівпровідникових приборів*/ Пер. с англ. под ред. Суриса Р.А. – Мир, М. т.2, с.420, (1984).

M.V. Demych, O.S. Lytvyn*, V.P. Makhniy, M.M. Slyotov, O.V. Stetsj

The Properties of Cadmium Telluride Modify Layers

Yriy Fedkovych Chernivtsy National University,
 2, Kotsubynskyy St., Chernivtsy, 58012, Ukraine, tel, (03722) 44221, oe-dpt@chnu.cv.ua
 Institute of semiconductor physics of NAS Ukraine, 45, Nauky Av., Kyiv

Structure, photoelectric and optic properties of the cadmium telluride is investigated. Is shown, that annealing of n-CdTe crystal lead to change of microstructure of the samples surface without influence to main material band parameters.