

М.М. Сльотов, Я.М. Барасюк, М.В. Демич, А.Г. Бужняк, В.Г. Томін

Оптичні властивості поверхневих модифікованих шарів CdTe<O>

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

Досліджено оптичні властивості поверхневих шарів телуриду кадмію. Показано, що відпал кристалів призводить до утворення модифікованого шару, геометричні параметри і фізичні властивості якого визначаються ізовалентною домішкою кисню.

Key words: телурид кадмію, ізовалентна домішка, фотолюмінесценція, λ -модульовані спектри, оптичне відбивання.

Стаття поступила до редакції 19.03.2004; прийнята до друку 30.08.2004.

Вступ

Телурид кадмію залишається одним з перспективних матеріалів для виготовлення детекторів різного роду випромінювання – світлового, X- та γ -діапазонів спектра, електронів, протонів, α -часток тощо [1]. Серед таких приладів важливу роль відіграють діодні структури з поверхневим бар'єром, які можуть бути використані при виготовленні сонячних елементів [2]. Активною областю в них є тонкі шари, які фактично і визначають фізико-технічні характеристики приладів. Тому важливою постає проблема зведення до мінімуму концентрації дефектів на межі поділу випростовуючий контакт – напівпровідник [3]. Ці дефекти утворюють поверхневі рівні, які можуть бути ефективними центрами рекомбінації, що у кінцевому результаті призводить до збільшення струмів втрат та рівнів шумів, зменшення напруги пробою, виникнення різного роду нестабільностей тощо. Ефективним технологічним заходом для зменшення ролі цих рівнів є створення поверхневих модифікованих шарів, які суттєво покращують фотоелектричні параметри діодних структур [4]. При цьому особливого значення набуває одночасне введення ізовалентної домішки (ІВД), яка обумовлює ряд специфічних властивостей матеріалу [5]. У даній роботі розглядається саме процес отримання модифікованих легованих ІВД кисню шарів CdTe і наводяться основні результати досліджень їх оптичних властивостей.

I. Об'єкти і методи досліджень

В якості базового матеріалу використовувалися монокристали n-CdTe з питомим опором близько 40 Ом·см при 300 К. Такі монокристали отримувалися методом Бріджмена. У подальшому вони розрізалися за допомогою струнної різки на пластини типорозміром 4×4×1 мм і шліфувалися та полірувалися. З метою вилучення порушень кристалічної ґратки поверхні підкладинок проводилася їх відповідна хімічна обробка [6].

Досліджувані модифіковані шари CdTe<O> отримувалися легуванням домішкою кисню при відпалі зразків CdTe на повітрі при температурах 700-1000 К. Стан поверхні вихідних підкладинок і легованого шару контролювався за допомогою атомно-силового мікроскопу Nanoscope-III а у режимі періодичного контакту [2,4], а також за дослідженнями оптичного відбивання (ОВ) і фотолюмінесценції (ФЛ). Вони здійснювалися на універсальній оптичній установці, яка вміщує дифракційний монохроматор МДР-23 і стандартну систему синхродетектування. Ця установка дозволяє проводити запис звичайних та диференційних спектрів в автоматичному режимі, а конструкція тримача зразка допускає вимірювання спектрів відбивання (або пропускання) при одночасному збудженні ФЛ. Останнє здійснювалося випромінюванням азотного лазера з $\lambda_m = 0,337$ мкм. Спектри ФЛ побудовані з урахуванням апаратної функції установки і наведені в координатах: по вісі ординат – кількість фотонів в одиничному інтервалі

енергій N_{ω} , а по вісі абсцис – енергія фотонів $\hbar\omega$.

II. Обговорення результатів досліджень

Відпал вихідних пластин n-CdTe призводить до утворення на їх поверхні шару CdTe<O>. При цьому мікроструктура його поверхні змінюється (модифікується). До відпалу вона є дзеркальною на вигляд, а після нього стає матовою. Дослідження за допомогою атомно-силового мікроскопу дозволили виявити після термообробки CdTe на його поверхні довільним чином орієнтовані крупні блоки розміром до 800 нм. Ці результати узгоджуються з аналогічними попередніми спостереженнями впливу відпалу на стан поверхні [4]. Разом з тим, оптичні властивості отриманих модифікованих шарів CdTe<O> також зазнають істотних змін. Розглянемо основні з них.

Важливим для теоретичного дослідження і практичного використання є поява високоефективної люмінесценції шарів CdTe<O> при 300 К. Зауважимо, що вона не спостерігалась на вихідних монокристалах. Випромінювання, що виникає, домінує в крайовій області, рис. 1. Йому притаманні наступні властивості: а) наявність фотонів з енергією більшою за ширину забороненої зони E_g ; б) розташування максимуму спектра випромінювання при $\hbar\omega_m$ трохи більших за E_g ; в) незалежність положення $\hbar\omega_m$ від інтенсивності фотозбудження при його зміні на три порядки величини; г) подібність температурної залежності $\hbar\omega_m$ в області $T=77-450$ К до зміни E_g від T ; д) асиметричність форми спектра з стрімким зростанням інтенсивності в області малих $\hbar\omega$ і повільним її зменшенням при великих $\hbar\omega$. Вказані особливості притаманні рекомбінації за участю міжзонних переходів [8]. У цьому випадку спектр випромінювання описується відомим виразом

$$N_{\omega} \approx (\hbar\omega)^2 (\hbar\omega - E_g)^{1/2} \exp\left(-\frac{\hbar\omega - E_g}{kt}\right) \quad (1)$$

Розрахований при $E_g = 1,5$ еВ за формулою (1) спектр ФЛ (крива 2) наведено на рис. 1. Спостерігається добре узгодження експериментальних результатів з теоретичними. Це є ще одним підтвердженням домінуючої ролі міжзонних переходів у формуванні люмінесценції шарів CdTe<O>.

Встановлений характер рекомбінаційних процесів, що обумовлюють випромінювання, пояснюються присутністю ізовалентної домішки (ІВД) кисню. Як відомо, при входженні ІВД в кристалічну ґратку нею істотно стимулюється випромінювання в крайовій області [5,9]. Це обумовлено тим, що ІВД змінюють ансамбль власних точкових дефектів (ВТД), які істотно впливають на фізичні властивості матеріалу. Такі зміни підтверджується проведеними дослідженнями λ -

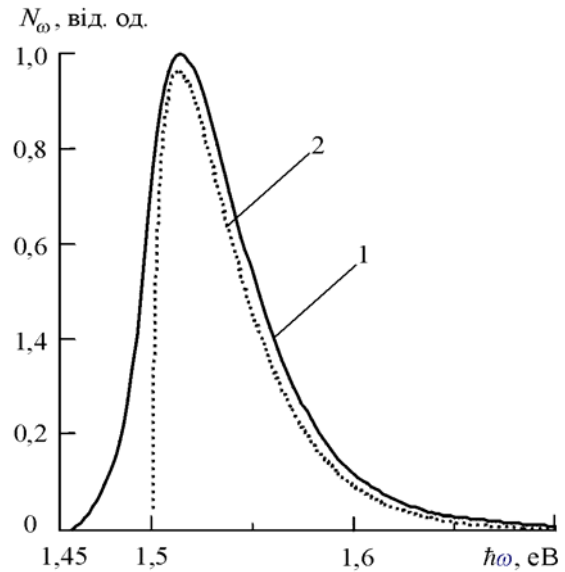


Рис. 1. Спектр ФЛ шарів CdTe<O> (1) і розрахований за виразом (1) спектр міжзонної рекомбінації (2).

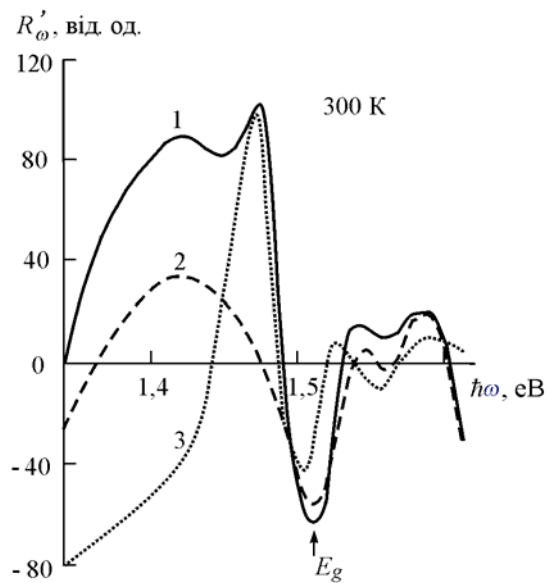


Рис. 2. λ -модульовані спектри оптичного відбивання вихідних кристалів CdTe (1) і відпалених при 750 К (2) та 850 К (3) шарів CdTe<O>.

модульованого оптичного відбивання (ОВ).

На рис. 2. наведено типові спектри ОВ вихідних кристалів CdTe (крива 1) і відпалених при 750 К (крива 2) та 850 К (крива 3) шарів CdTe<O>. Внаслідок легування CdTe ІВД кисню має місце перерозподіл вкладу складових спектра ОВ. Основними з них є смуги з $\hbar\omega_1 = 1,475$ еВ і $\hbar\omega_2 = 1,4227$ еВ. Їм відповідають енергетичні рівні з енергією іонізації $E_{d1} = 0,025$ еВ і $E_{d2} = 0,077$ еВ [1,10]. Можливо припустити, що за формування

складових відповідають генераційно-рекомбінаційні процеси за участю зазначених мілких донорних рівнів. Необхідно зазначити, що відпал при цьому не впливає на ширину забороненої зони $E_g = 1,5$ eV матеріалу. Також важливим є те, що результати досліджень оптичного відбивання узгоджуються з попередньо проведеними дослідженнями λ -модульованих спектрів фоточутливості цих зразків.

Висновки

Відпал монокристалів CdTe супроводжується утворенням поверхневого шару, легovanого домішкою кисню. Її ізовалентний характер викликає появу інтенсивної люмінесценції при 300 К, обумовленої міжзонною рекомбінацією вільних носіїв заряду. Результати досліджень оптичного

відбивання вказують на те, що зміни властивостей поверхневого шару викликані перерозподілом ансамблю власних точкових дефектів кристалічної ґратки.

Сльотов М.М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри оптоелектроніки;
Барасюк Я.М. – кандидат фізико-математичних наук, старший викладач кафедри оптоелектроніки;
Демич М.В. – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник кафедри оптоелектроніки;
Бужняк А.Г. – студент 5 курсу кафедри оптоелектроніки;
Томін В.Г. – студент 5 курсу кафедри оптоелектроніки.

- [1] Д.В. Корбутяк, С.В. Мельничук, Є.В. Корбут, М.М. Борисюк. *Телурид кадмію: домішково-дефектні стани та детекторні властивості*. Іван Федоров, Київ, 198 с. (2000).
- [2] 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*, **63**, сс. 82-84 (1999).
- [3] Ю.К. Валиев, Ю.И. Пашенцев, Г.В. Петров. *Применение контакта металл-полупроводник в электронике*. Радио, М., 304 с. (1981).
- [4] М.В. Демич, О.С. Литвин, В.П. Махній, М.М. Сльотов, О.В. Стець. Властивості модифікованих шарів телуриду кадмію // *Фізика і хімія твердого тіла*, **3**(3), сс. 446-448 (2002).
- [5] В.К. Баженов, В.И. Фистуль. Изозлектронные примеси в полупроводниках. Состояние проблемы // *ФТП*, **18**(8), сс.1345-1362 (1984).
- [6] Ю.П. Пшеничнов. *Выявление тонкой структуры кристаллов*. Металлургия, М., 340 с. (1974).
- [7] В.В. Брайловський, В.П. Махній, М.М. Сльотов, Б.М. Собіщанський, О.В. Стець, І.В. Ткаченко. Використання модуляційної спектроскопії для визначення параметрів рекомбінаційних центрів // *Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах*, **1**(9), сс. 71-73 (2002).
- [8] В.П. Грибковський. *Теория поглощения и испускания света в полупроводниках*. Наука и техника, Минск, 464 с. (1975).
- [9] В.П. Махній, М.Д. Раранський. *Точкові дефекти в алмазоподібних напівпровідниках*. Рута, Чернівці, 112 с. (2002).
- [10] М.В. Демид, 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).

М.М. Slyotov, Ya.N. Barasyuk, M.V. Demych, A.G. Buzhnyak, V.G. Tomin

Optical Properties of the Surface Modified Layers CdTe<O>

Yriy Fedkovych Chernivtsy National University, 2, Korsubynskyy St., Chernivtsy, 58012, Ukraine,
tel, (03722) 44221, oe-dpt@chnu.cv.ua

Optical properties of the surface layers of cadmium telluride is investigated. It is shown that the annealing of the crystals lead to the emerging of the modified layers. The geometrical and the physical properties of the layers determine by the isovalent impurity of the oxygen.