

ОПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ CdTe-ГЕТЕРОШАРІВ ІЗ САМООРГАНІЗОВАНОЮ ПОВЕРХНЕВОЮ СТРУКТУРОЮ

Виявлені особливості оптичних властивостей гетерошарів телуриду кадмію пояснюються квантово-розмірними ефектами у поверхневій нанокристалічній структурі, яка виникає у результаті процесів самоорганізації.

Exposed features of optical properties of hetero-junctions CdTe are explained quantum-denominate effects in surface nanocrystal structure. It is appear in result process self-organization.

Дослідження процесів самоорганізації у напівпровідникових кристалах мають не лише науковий, але й практичний інтерес, оскільки відкривають шляхи створення матеріалів і приладів з принципово новими властивостями [1]. Зокрема, контакти золота з модифікованою поверхнею *n*-CdTe мають к.к.д. ~13-15% при 300 К в умовах освітлення АМ1,5 [2,3]. Наступні, більш детальні дослідження [4] таких зразків виявили низку особливостей, які не знаходять пояснення у рамках відомих класичних теорій фотоелектричних та оптичних явищ у напівпровідниках і поверхнево-бар'єрних діодів на їх базі. Дана робота присвячена дослідженню основних оптичних властивостей гетерошарів телуриду кадмію, створених методом ізовалентного заміщення [5,3] на монокристалічних підкладках телуриду цинку.

Результати експерименту

Фотолюмінесценція утворених шарів товщиною ~10 мкм, на відміну від інтенсивного зеленого свічення кристалів ZnTe, візуально не сприймається, а її спектр – це асиметрична крива з максимумом в околі 1,5 еВ. Контур цієї *A*-смуги випромінювання, розрахований для міжзонної рекомбінації, непогано узгоджується з експериментальним (рис.1). Спектр оптичного пропускання утвореного шару має різкий "звал" у високоенергетичній області, а точка перетину кривої T_{ω} з віссю абсцис відповідає $\hbar\omega_m=1,5$ еВ, що узгоджується з шириною забороненої зони E_g телуриду кадмію при 300 К.

Відпал гетероструктур *n*-CdTe-*p*-ZnTe при певних умовах призводить до суттєвої зміни оптичних характеристик шарів телуриду кадмію. У першу чергу відзначимо різке зростання ефек-

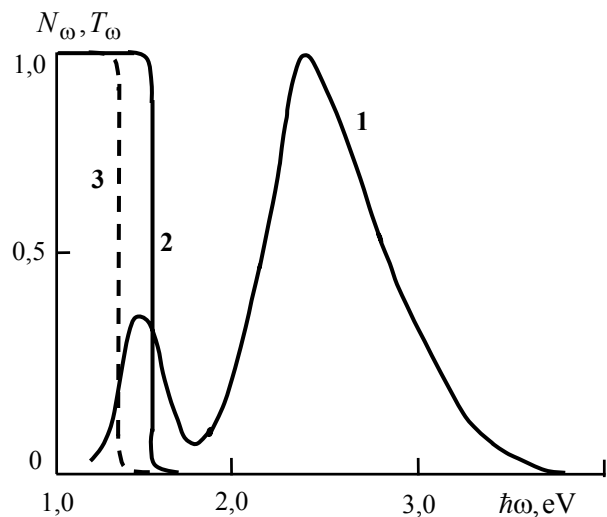


Рис. 1. Спектри фотолюмінесценції (1) та оптичного пропускання (2,3) вихідних (2) та відпалених (1,3) структур

тивності випромінювання, яке візуально сприймається у вигляді сіро-блакитного свічення. Значних змін зазнає також спектр фотолюмінесценції, який для відпалених зразків складається з двох смуг. Перша з них не відрізняється від міжзонної *A*-смуги для невідпалених шарів *n*-CdTe, а друга – це широка безструктурна асиметрична *B*-смуга, обмежена діапазоном енергій фотонів 1,8-3,5 еВ (рис.1). Із плином часу інтенсивність *A*-смуги зменшується, а максимум $\hbar\omega_m$ зміщується у низькоенергетичну область. Зазначимо, що стаціонарні значення інтенсивності і $\hbar\omega_m$ досягаються через декілька хвилин після включення лазерного збудження, а наведений на рис.1 спектр випромінювання заміряно саме за таких умов. Звернемо також увагу на зміщення високоенергетичного краю спектра оптичного поглинання відпалених

зразків у сторону менших енергій (крива 3 на рис.1). Розглянуті особливості оптик-них характеристик об'єктів досліджень можуть бути зумовлені квантово-розмірними ефектами, у зв'язку з чим розглянемо це більш детально.

Обговорення результатів

Насамперед зауважимо, що поверхня відпалених шарів CdTe візуально сприймається матовою, на відміну від дзеркальної поверхні невідпалених зразків. Дослідження мікрорельєфу за допомогою атомно-силового мікроскопу типу *Nanoscope-IIIa* у режимі періодичного контакту свідчать про те, що поверхня відпалених зразків характеризується зернистою структурою з латеральними розмірами зерен 10-50 нм, які можуть об'єднуватися у більш великі (100-300 нм) субзерна (рис.2). Перші з них – це нанокристали, які, власне, і формують *B*-смугу. Розмитість максимуму та велика напівширина спектра пояснюється дисперсією розмірів і форми мілких нанокристалів телуриду кадмію. Зауважимо, що *B*-смуга не може бути зумовленою люмінесценцією плівки CdO, виникнення якої, у принципі, зовсім не виключається при проведенні процесу відпалу. Це підтверджується декількома експериментальними фактами. Перший з них полягає у відсутності помітного видимого свічення у спектрах зразків зі спеціально вирощеною плівкою CdO, яка має дзеркальну поверхню. По-друге, λ -модульований спектр відбивання таких зразків має пік, що відповідає E_g оксиду кадмію, який відсутній у подібних спектрах відпалених гетероструктур. І нарешті, звернемо увагу на те, що високоенергетичне "крило" *B*-смуги затягується набагато далі, ніж того вимагає E_g оксиду кадмію [6].

На завершення зазначимо, що запропонована вище модель квантово-розмірної поверхні адекватно пояснює також спостережувані особливості фотоелектричних характеристик контактів Au-CdTe [2,3]. Достатньо висока ефективність крайової *A*-смуги свідчить про значне зменшення швидкості поверхневої рекомбінації, що приводить до зростання ефективності фотоперетворення. Крім того, поверхня відпалених зразків характеризується більш розвинутим рельєфом, забезпечуючи тим самим більшу ефективну площу фотоелемента, а у кінцевому результаті – і вищий струм короткого замикання. Внаслідок багатократних відбивань збільшується також коефіцієнт поглинання фотонів, особливо низькоенергетичних, що й приводить до зміщення краю спектра поглинання на кривій 3 рис.1.

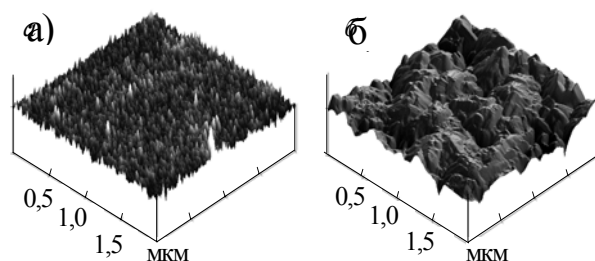


Рис. 2. Топографи поверхонь вихідних (а) та відпалених (б) структур

Висновки

Отже, наведені результати показують, що поверхневий шар відпалених зразків – це нанокристалічна структура, у якій спостерігаються квантово-розмірні ефекти. Утворення самої структури, напевно, зумовлено процесами самоорганізації [7], які є цілком імовірними з врахуванням особливостей відпалу. У першу чергу звернемо увагу на досить вузькі температурний і часовий інтервали відпалу. Крім того, дотримання цих параметрів в інших умовах (інертна атмосфера або вакуум) не приводять до бажаного ефекту, що свідчить про певну роль інгредієнтів атмосфери (насамперед, кисню) у формуванні нанокристалічної структури. У зв'язку з цим кінцеві відповіді на процеси самоорганізації можуть дати лише додаткові експериментальні та теоретичні дослідження, які виходять за рамки даної роботи.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Карпович И.А. Квантовая инженерия: самоорганизованные квантовые точки // Соросовский образовательный журнал. – 2001. – 7, №11. – С.102-108.
2. Горлей П.М., Демич М.В., Махній В.П., Свянтюк З., Уляницький К.С., Цях Р. Фотоелектричні властивості контактів метал-телурид кадмію з модифікованою поверхнею // Науковий вісник ЧДУ. Вип. 63: Фізика. Електроніка. – Чернівці: ЧДУ, 1999. – С.82-84.
3. Gorley P.M., Demich M.V., Makhniy V.P. et al. Photoelements based on CdTe diodes with surface barrier // Thin Solid Films. – 2002. – 403-404. – P.263-266.
4. Демич М.В., Литвин О.С., Махній В.П. та ін. Властивості модифікованих шарів телуриду кадмію // Фізика і хімія твердого тіла. – 2002. – № 3. – С.446-448.
5. Makhniy V.P., Baranyuk V.Ye., Demich N.V. et al. Isovalent substitution: a perspective method of producing heterojunction optoelectronic devices // SPIE. – 2000. – 4425. – P.272-277.
6. Чонра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы. – М.: Мир, 1986.
7. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. – М.: Прогресс, 1986.