

УДК 621.315.59

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЙОНІЗУВАЛЬНОГО ОПРОМІНЕННЯ НА СТРУКТУРУ І ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ CdHgTe

К. т. н. В. А. Завадський<sup>1</sup>, к. т. н. С. М. Дранчук<sup>1</sup>, д. т. н. В. А. Мокрицький<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Одеська національна морська академія,

<sup>2</sup>Одеський національний політехнічний університет

Україна, м. Одеса

vaaz@ukr.net

*Розглянуто механізми впливу опромінення високоенергетичними частками – електронами, протонами та гама-квантами на електрофізичні параметри потрійних (CdHgTe) напівпровідників. На базі цього доведено можливість управління деякими параметрами фотоелектричних приладів (ФЕП) та їх модифікації.*

*Ключові слова: опромінення, епітаксія, електрони, протони, гама-кванти.*

Майбутнє твердотільної електроніки пов'язане із багатокомпонентними напівпровідниковими твердими розчинами на базі сполук  $A_2B_6$  і  $A_3B_5$ . Ці матеріали виготовляють як у вигляді злитків, так і шарів або плівок різної товщини. Сьогодні досить повно вивчено методи їх отримання, електричні і структурні властивості, розроблено основи їх використання в квантовій nano- і оптоелектроніці. Разом з тим, радіаційна фізика і технологія багатокомпонентних матеріалів далекі від рівня, необхідного для їх широкого використання в nano- і оптоелектроніці.

Мета даної роботи – довести можливості використання радіаційних методів для управління електрофізичними параметрами монокристалів та епітаксійних шарів сполук CdHgTe на базі узагальнення отриманих авторами результатів.

В доповіді наведено результати досліджень по використанню іонізуючого опромінення в практиці матеріалознавства твердих розчинів кадмій-ртуть-телур (КРТ), які використовуються як приймачі ІЧ-випромінювання і перспективні для створення напівпровідникових формувачів сигналів зображення і приладів з зарядовим зв'язком [1]. Виконано аналіз взаємодії характерних для КРТ дефектів (одномірні, двомірні, домішки) для різних рівнів радіаційного опромінення. Зразки КРТ опромінювались швидкими електронами, нейтронами, гама-квантами.

Узагальнюючи отримані результати, автори вважають за можливе зробити наступні висновки. Основним результатом впливу іонізуючого опромінення на CdHgTe є зростання концентрації електронів. Під час низькоенергетичного опромінення це відбувається за рахунок зростання концентрації пар Френкеля. Під час високоенергетичного опромінення – за рахунок утворення некомпенсованих однократно заряджених міжвузольних атомів Hg. У першому випадку дефекти зазвичай стійкі при відносно низьких температурах і не викликають зміни механізму розсіювання у вихідному матеріалі. В другому випадку температурна стійкість дефектів значно вище. Крім того, опромінення матеріалу великими потоками при кімнатній температурі може призвести до утворення вакансійних кластерів  $(V_{Hg})_n^x$  [2], що суттєво впливають на механізм розсіювання носіїв заряду.

Вважаючи актуальною проблему еволюції радіаційних дефектів після опромінення напівпровідникових структур, автори довели, що неоднорідність розподілу радіаційних дефектів визначає термодинамічну нерівновагу кристалічної системи. Вона довільно переходить з цього стану у термодинамічно більш можливий при температурі, яка спроможна забезпечити можливість дифузії нерівноважних дефектів. Зняття радіаційних порушень в кристалі здійснюється їх відпадом і безпосередньо пов'язане з дифузійними процесами. Час релаксації кристалічних ґрат до нової конфігурації значно підвищує час первинного процесу зміщення атомів під впливом йонізуючого опромінення. Кристалічні ґрати релаксують довкола вакансії і міжвузольного атому і розсіюють коливання, що виникають, у вигляді тепла, причому основна частина енергії, витраченої на зміщення атома,

переходить в теплову, і лише мала частина (порядка 5 eV) зберігається у вигляді потенційної енергії утвореного дефекту. Ця енергія звільнюється в процесі відпалу кристалу при більш високій температурі.

Так, між вакансією і міжвузольним атомом виникає протягування внаслідок поля внутрішніх напруг, і дефект Френкеля зникає навіть при таких низьких температурах, які виключають дифузію будь-якого дефекту. В результаті спонтанної рекомбінації може не залишитись ніяких зміщень [3].

Вакансія або міжвузольний атом можуть покинути так званий міжрекомбінаційний об'єм нестійкості дефекту. В такому разі опромінення в напрямку атомних рядів утворює більш стабільні дефекти Френкеля із-за сфокусованих зіткнень, які передаються по ланцюгу атомів. В багатоатомних кристалах з незначною різницею маси атомів при зіткненнях заміщення виникає ефект разупорядкування. В багатоатомних структурах з атомами різної маси навіть при центральному зіткненні двох атомів може бути передана тільки частина кінетичної енергії [4]. Опромінення високоенергетичними частинками викликає каскадні процеси атомних зіткнень, які призводять до утворення кластерів – областей підвищеної концентрації вакансій і міжвузольних атомів. Дифузійні процеси спрямовані на вирівнювання концентрації дефектів. Вакансії і міжвузольні атоми, що мігрують у кристалі, зустрічаються один з одним та з різними стоками (домішковими атомами, дислокаціями, поверхнею кристалу) і утворюють при даній температурі стійки другорядні дефекти [3].

Таким чином, формування і еволюція радіаційних дефектів пов'язані зі складними явищами утворення комплексів рухомих дефектів.

Обґрунтовано теоретично і підтверджено експериментально можливість модифікації і регулювання деяких структурних і фотоелектричних властивостей епітаксійних шарів твердого розчину КРТ під впливом різних типів опромінення. Так, опромінення фотоприймачів на базі КРТ змінює їх характеристики: порогову чутливість (для її підвищення необхідно зменшувати концентрацію основних носіїв заряду і підвищувати квантову ефективність), інерційність (для її зниження треба зменшити час життя носіїв заряду) і область спектральної чутливості фотоприймача.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Zavadsky V. A., Mokritsky V. A. CdHgTe grown by LPE for photoreceivers. // PHOTOELECTRONICS. Inter- universities scientific articles.– 2001.– N 10. P. 29 – 30.
2. Зайтов Ф. А., Мухина О. В., Поляков А. Я. Облучение твердого раствора CdTe – HgTe электронами с энергией 25 МэВ. // Сб. «Техника радиационного эксперимента».– Москва: Атомиздат, 1977.– Вып. 5.– С. 34.
3. Ленков С. В., Мокрицкий В. А., Гаркавенко А. С., Зубарев В. В., Завадский В. А. Радиационное управление свойствами материалов и изделий опто- и микроэлектроники.– Одесса: Друк, 2003.
4. Дранчук С. Н., Завадский В. А., Мокрицкий В. А. и др. Теория и практика жидкофазной эпитаксии и радиационной технологии полупроводников.– Одесса: Астропринт, 2013.

---

V. A. Zavadsky, S. M. Dranchuk, V. A. Mokritsky

#### **Study of ionizing irradiation influence on structure and photovoltaic properties of CdHgTe.**

The mechanism of influence of high-energy exposure particles — electrons, protons and gamma quanta — on electrophysical parameters of triple (CdHgTe) semiconductors. This makes it possible to control and modify some of the parameters of photovoltaic devices (solar cells).

Key words: *irradiation, epitaxy, electrons, protons, gamma quanta.*

---