ЖУРНАЛ ФІЗИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ
т. 2, № 1 (1997) с. 79–80

JOURNAL OF PHYSICAL STUDIES
v. 2, No 1 (1997) p. 79–80

МЕХАНОЕМІСІЯ КАДМІЮ З ЛЕҐОВАНИХ КРИСТАЛІВ ТЕЛУРИДУ КАДМІЮ

Б. Павлик
Львівський державний університет імені Івана Франка, кафедра фізики напівпровідників, вул. Драгоманова, 50, Львів, UA–290005, Україна

(Отримано 21 лютого 1997, в остаточному вигляді — 23 грудня 1997)

Проаналізовано вплив домішок Cl та Se на ефективність емісії атомів Cd у процесі одновісного стискування кристалів CdTe. Показано, що деформація кристалів підсилює термоемісію атомарного кадмію з поверхні зразків. На початковій стадії деформації в номінально чистих кристалах спостерігається різке збільшення інтенсивности виділення Cd, а в області пластичної деформації — пропорційно ступеневі стискування. Встановлено, що в леґованих кристалах CdTe концентрація дислокацій на порядок менша й інтенсивність виділення також суттєво нижча, ніж з чистих зразків. Отримані результати пояснюємо на підставі дислокаційного механізму масопереносу.

Ключові слова: деформація, домішка, дислокації, виділення кадмію.

PACS number(s): 72.20.Pa, 72.80.-r

Реальні напівпровідникові кристали типу A_2B_6 з їхніми структурними недосконалостями надзвичайно чутливі до дії зовнішніх факторів. Тому одним з основних завдань сучасної електронної техніки є вивчення особливостей фізичних процесів, свідомого керування властивостями кристалів шляхом дії на них деформації, йонізуючого випромінювання і т.п. за певних технологічних умов.

Дослідженням закономірностей зародження, руху дислокацій та їхнього впливу на фізичні параметри кристалів за останні десятиліття приділено значну увагу. У більшості таких робіт розглянуто питання взаємодії рухомих дислокацій з електронною підсистемою кристала [1, 2], особливості структури та ковзання α– і β–дислокацій, наприклад, у монокристалах CdTe [3]. Водночас у науковій літературі відносно мало даних про роль дислокацій у процесі масопереносу компонент сполуки.

У цій роботі проаналізовано експериментальні результати, отримані при дослідженні термо- і механостимульованої емісії Cd і H_2 у вакуум з поверхні номінально чистих кристалів CdTe, а також леґованих домішками Se та Cl. Дослідження проводили на спеціяльно розробленій та виготовленій установці в умовах динамічного вакууму $P < 2 \cdot 10^{-5}$ Па з використанням мас-спектрометра РОМС-4 (діяпазон реєстрації мас 1–250 ат. од. м., чутливість за аргоном $1 \cdot 10^{-9}$ Па). Швидкість одновісної деформації була постійною зі зміною механічного навантаження в напрямку, перпендикулярному до площини (110).

Монокристалічні зразки телуриду ($2.0 \times 2.5 \times 5.0$ мм^3) з питомим опором 10^9–10^{10} Ом·см при 300 К і густиною дислокацій $5 \cdot 10^5$–$1 \cdot 10^6$ см$^{-2}$ обробляли за стандартною технологією розрізування, шліфування, полірування та травлення. У кристалах CdTe:Se, CdTe:Cl електрофізичні параметри співмірні з номінально чистими в межах, які подані вище. Концентрація леґуючої домішки в кристалах була в межах $5 \cdot 10^{17}$–$1 \cdot 10^{19}$ см$^{-3}$. З метою очищення поверхні кристалів від адсорбованих газів та залишків хемічних сполук після обробки поверхні проводили вакуумні імпульсні нагріви зразків до температури на 50 градусів вищої від температури деформації. Така термообробка показала, що відбувається десорбція компонент повітряної атмосфери, а також незначної кількости атомів Cd. Водночас потрібно відзначити, що найбільшу інтенсивність термодесорбції мають молекули H_2, OH, H_2O та CH_4.

При нагріванні до температури 550–600 К ненавантажених кристалів, які вже пройшли вакуумне термоочищення поверхні, на мас-спектрограмі вакуумної системи виявлено незначне збільшення фонового сигналу як молекулярного водню, так і атомарного кадмію. Одновісна деформація при температурі <500 К не приводить до збільшення інтенсивности емісії досліджуваних компонент. На початковій стадії стискування при T=550 К в області пружної деформації спостерігається стрибкоподібне збільшення емісії Cd, а сигнали інших досліджуваних компонент залишаються без змін (рис. 1).

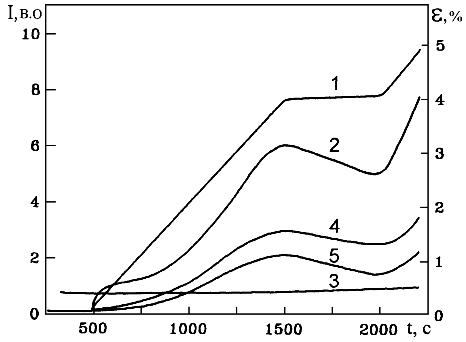

Рис. 1. Залежність інтенсивности емісії Cd і H_2 від величини одновісного стискування кристалів при $T = 550$ K: 1 — деформаційна крива, 2 — Cd з кристала CdTe, 3 — H_2 з кристала CdTe, 4 — Cd з кристала CdTe:Se, 5 — Cd з кристала CdTe:Cl.

В області пластичної деформації закономірність виділення водню практично не змінюється, а інтенсивність виділення кадмію зростає пропорційно величині деформації. Характер механостимульованої емісії атомів кадмію з досліджуваних кристалів зображено кривими 2, 4, 5 на рис. 1.

При температурах деформування 550 K$< T <$620 K різко збільшується термостимульована емісія міжвузельного кадмію [4], а деформація тільки підсилює ефект приблизно на 25–30 % у випадку експериментів з кристалами CdTe і на 10–18 % — у випадку CdTe:Cl і CdTe:Se відповідно. В області температур 630 K інтенсивність виділення атомів Cd у вакуум настільки висока, що завдання точно встановити вклад одновісної деформації в загальному потоці емітованих атомів стає некоректною задачею.

Відомо [5], що домішка селену виявляє в кристалічній ґратці CdTe компенсуючу дію і веде до отримання напівпровідникового кристала зі стабільнішими електрофізичними властивостями в широкому діяпазоні температур. Крім цього, збільшення концентрації вакансій кадмію (V_{Cd}^{-}) повинно вести до інтенсифікації процесів асоціяції заряджених дефектів у леґованих кристалах:

$$V_{Cd}^{2-} + Cl_{Te}^{+} \to [V_{Cd}Cl_{Te}]^{-}, \tag{1}$$

$$[V_{Cd}Cl_{Te}]^{-} + Cl_{Te}^{+} \to [V_{Cd}^{2-}2Cl_{Te}^{+}]^{0}. \tag{2}$$

Комплексові $[V_{Cd}Cl_{Te}]^{-}$ в забороненій зоні відповідає енерґетичний рівень $E_v + 0.15$ еВ, а йонізований комплекс дає або мілкий рівень $E_c - 0.05$ еВ, або рівень, що потрапляє в дозволену зону [6].

Оскільки вакуумний термовідпал проводили до температур ~ 650 K і при цьому в мас-спектрограмі не було виявлено хлору, можна стверджувати, що такі асоціяти є термічно стабільними.

Необхідно також ураховувати, що високотемпературний відпал леґованих кристалів CdTe в парах Cd приводить до взаємодії домішки з власними структурними дефектами і утворення дефектів типу (Cl_{Te}^{+}–V_{Cd}^{-}); (Se_i–V_{Te}).

Невеликої інтенсивности, але досить різке збільшення емісії Cd в області пружної деформації CdTe пояснюємо прогином старих дислокацій, рухомі ядра яких виносять атоми Cd на поверхню кристалів. При температурах > 450 K відбувається їх термодесорбція у вакуум.

При збільшенні числа ґенерованих α–дислокацій руйнуються хмарини точкових та домішкових дефектів навколо дислокацій. При цьому дислокації вивільняються, їхня рухливість значно зростає, що також приводить до збільшення інтенсивности емісії атомів кадмію.

Значно меншу інтенсивність механоемісії Cd з кристалів CdTe:Cl, CdTe:Se можна пояснити гальмуванням руху ядер дислокацій на леґуючих домішкових атомах Cl чи Se. Крім цього, у вихідних леґованих кристалах концентрація дислокацій є на порядок меншою в порівнянні з нелеґованими. Можна стверджувати, що отримані експериментальні результати добре узгоджуються з дислокаційним механізмом масопереносу.

Висловлюю щиру подяку професорові Чернівецького держуніверситету Савицькому А. В. та провідному науковому співробітникові Бурачеку В. Р. за надані експериментальні зразки.

[1] В. Б. Шикин, Н. Н. Шикина, Физ. тверд. тела. **30**, 773 (1987).
[2] Yu. Ossipyan, Microscopic Semicond. Mater. **11**, 23 (1983).
[3] Д. Кокейн, Г. Лу, А. Сикорский, Изв. Акад. Наук СССР, сер. физ. **51**, 123 (1987).
[4] В. Б. Матульский, Б. В. Павлык, А. В. Савицкий, В. Р. Бурачек, Поверхность **3**, 53 (1990).
[5] П. П. Бейсюк, В. Р. Бурачек, Н. И. Руснак, А. В. Савицкий, Электронная техника. Материалы. **3**, 50 (1987).
[6] О. А. Матвеев, А. И. Терентьев, Физ. техн. полупр. **27**, 1894 (1993).

CADMIUM MECHANOEMISSION FROM DOPED CADMIUM TELLURIDE CRYSTALS

B. Pavlyk
Lviv State University, Chair of Semiconductor Physics
50 Drahomanov Str., Lviv, UA–290005, Ukraine

The regularities of cadmium atoms emission from CdTe monocrystal surfaces which was stimulated by uniaxial squeezing at steady temperature were studied. It was found that the sample deformations at 550 K cause an increase in the Cd emission intensity. A sharp increase of atomic cadmium signal is observed at the initial stage of the CdTe crystal squeezing. This is caused by a motion in the direction to the prior existing surface dislocations at which nonstoichiometric cadmium is localized. The Se, Cl doping of the CdTe crystals causes the dislocation concentration decrease and also the Cd deposition intensity decrease as compared with the nominally purified crystals. The obtained experimental results are explained in terms of the dislocation masstransfer mechanism.