УДК 621.794:546.47'49/24

© Коров'янко О.О., Наконечний І.Й., Щербак Л.П., Фочук П.М., 2014
Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича

ВИЯВЛЕННЯ ВПЛИВУ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ УМОВ ВІДПАЛУ НА ДИСЛОКАЦІЙНУ СТРУКТУРУ КРИСТАЛІВ CdTe СЕЛЕКТИВНИМ ТРАВЛЕННЯМ

Проведено вивчення впливу термообробки на дефектну структуру кадмій телуриду методом селективного травлення. Використано травники срібловмісні та на основі хром (VI) оксиду. Методом інфрачервоної мікроскопії досліджено характер вкраплень у кристалах, вплив термообробки на їх міграцію, а також оцінено вплив відпалів на дислокаційну структуру матеріалу методом селективного травлення. Установлено, що міграція вкраплень у кристалах CdTe відбувається за дислокаційним механізмом. Розчинення преципітатів сприяє візуалізації дислокацій на поверхні кристалів селективним травленням. Травники E-Ag2 та Біссолі – взаємодоповнюючі та найбільш ефективні для (111) зорієнтованих кристалів CdTe.

Ключові слова: *кадмію телурид, селективне травлення, дефекти, дислокації.*

1. Вступ

Ретельне вивчення дефектної структури напівпровідників важливе для розуміння кореляції між умовами вирощування та густиною дефектів, поліпшення характеристик матеріалу та продуктивності пристроїв на їх основі. Поліпшення властивостей кадмій телуриду шляхом післяростової обробки кристалів – актуальне завдання хімії напівпровідників і напівпровідникової промисловості. З цією метою розробляються серії методик післяростових відпалів кристалів за визначених термодинамічних параметрів (тиску компонента, температури, часу витримки та швидкості охолодження). Для характеристики дислокаційної структури досліджуваних зразків зручний та наочний метод селективного травлення. За цією тематикою опубліковано велику кількість публікацій, серед яких праці [1-9] найбільш ґрунтовні, проаналізовано дію травників різного типу та їх модифікації.

На основі літературних даних у таблиці 1 систематизовано відомості про оптимальний складу селективних травників для CdTe та CdZnTe та характеристики їх дії.

Для Cd(Zn)Te найбільш уживаними за останні 10 років селективними травниками, що гарантовано дають ямки травлення, вважають травники Еверсона [1-5,9] та Іну [1,5,7,10]. У роботі [2] на поверхні (111) монокристалів Cd(Zn)Te селективним травленням травником Еверсона виявлено шість типів пірамідальних ямок травлення. Автори ідентифікують різні типи ямок як результат різних конфігурацій кристалографічної орієнтації поверхні. Зроблено висновок про складність дислокаційної структури матеріалу на основі Cd(Zn)Te та доцільність подальших більш глибоких досліджень. Автори наголошують на необхідності досліджень механізму взаємозв'язку між типом дислокацій як функції термодинамічних умов їх формування та механізму утворення фігур травлення при взаємодії з травником.

У [5] травленням за Еверсоном на поверхні кристалів Cd(Zn)Te отримано пірамідальні ямки травлення різного типу, серед них є розетки з пірамідальними ямками (центральною ямкою і променями), загальну густину дислокацій у зразках оцінено $2\text{-}4\cdot10^4$ см^2. Зазначено, що хімічний склад злитків також відіграє важливу роль у концентрації ямок травлення, причому, характер ямок відрізняється для CdTe і Cd(Zn)Te.

За результатами інших досліджень [6] травленням за Еверсоном оцінено морфологію поверхні кристалів CdZnTe, збагачених кадмієм чи телуром. На поверхні зразків, збагачених телуром, ямки травлення пірамідальні або октаедричні. На зразках із преципітатами кадмію в місцях преципітатів спостерігаються зіркоподібні скупчення тригональних ямок травлення. Зазначено, що густина дислокацій унаслідок надлишкового розчинення преципітатів у кристалі практично не змінювалася.

Комплексні дослідження фігур селективного травлення за Еверсоном для кристалів Cd(Zn)Te (111), збагачених преципітатами кадмію чи телуру, та їх взаємозв'язок з густиною дислокацій у кристалах проведено у [14]. Автори розрізняють кілька видів ямок травлення, що відповідають вкрапленням кадмію чи телуру, поєднуючи дані оптичної та ІЧ-мікроскопії. Опубліковані мікрофотографії ілюструють вкраплення преципітатів

Таблиця 1

Селективні травники для CdTe та CdZnTe, ефект травлення поверхні

№, познач.	Автор	Склад травильних композицій	Cd (111)	Te(111)
1. E-Ag1	Inoue [1,5,7,8,10]	10мл ($4г K_2Cr_2O_7$+20млHNO_3+40мл H_2O) + 0,5мг$AgNO_3$	Δ ямки, дрібні	Великі Δ ямки
2. E-Ag2	Inoue [1,5,7, 8,10], 1962	10мл ($4г K_2Cr_2O_7$+20млHNO_3+40млH_2O)+ 10мг$AgNO_3$	-	Дрібні Δ пірам.
3. N1	Nakagawa 1979 [1,9,10]	3:2:2 $HF:H_2O_2:H_2O$	Полірована	ямки
4. M1	Meyers [в 1]	1:1:1 HF: HNO_3: лактатна кислота	Сяюча, пощерблена.	Чорне покр.
5. M2	Meyers 1983 [в 1]	1:1:1 HF: HNO_3: ацетатна кислота	Матова чорна поверхня	Сяюча поверх.
6. W1	Watson [в 1]	$FeCl_3$+ H_2O		
7. N1	Fewster and Whiffin 1983 [в 1]	Nakagawa	Ямки	-
8. Ev-Ag	Everson [1-5,10,14]	1:4:20 HF: HCl: лактатна к-та (+ $AgNO_3$) 6 мл 48% HF:24 млHNO_3:150мл лактатна к-та	Пірамідальні ямки	ямки
9. DSL	Bissoli 2005 [11]	10мл{5мл[20гCrO_3:40млH_2O]:25млHF}+ 40млH_2O	6-променеві розетки	
10. CrO_3	Інденбаум 1971 [12]	HF+50%CrO_3 (2:3)	Круглі ямки, 6-променеві розетки	

телуру різної форми в досліджуваних зразках. Густину дислокацій оцінено 10^4-10^5 $см^{-2}$. Мікрофотографії зразків Cd(Zn)Te, збагачених преципітатами кадмію, після селективного травлення являють собою чіткій малюнок симетричних вкраплень, оточених дислокаційними петлями (подібно до зірчастих розеток [11,13]), що викликані стресом між вкрапленнями та матрицею кристала.

Основною особливістю травників Еверсона, Інденбаум та Біссолі є селективність щодо кристалографічної орієнтації поверхні (111).

Універсальним селективним травником для монокристалів на основі CdTe, що дає ямки травлення на поверхнях усіх кристалографічних орієнтацій, вважають срібловмісний травник Іну (E-Ag1, E-Ag-2) [7,8,10]. У [7] обґрунтовано різні форми ямок травлення залежно від кристалографічного напрямку протравленої поверхні. Отже, травлення дає змогу непрямим методом ідентифікувати кристалографічну орієнтацію зразків.

У [10] досліджено селективне травлення Cd(Zn)Te паралельно травниками Еверсона, Накагава та Іну. Показано, що густина ямок травлення, отриманих дією травників Еверсона і Накагава, практично однакові. Проте картини травлення травником E1 сильно відрізняються, зокрема, густина ямок травлення цього виду у 5-50 разів менша. Зроблено висновок про селективність до дислокацій різного типу.

Наразі, крім класичних селективних травників, що утворюють пірамідальні ямки травлення, інформативними є травники на основі хром (VI) оксиду [11-13]. Ця серія травників дає круглі ямки травлення на Cd поверхні (111). У праці Біссолі [11] досліджено ефект селективного травлення поверхні (111) зразків CdTe. На низькоомних зразках отримано зіркоподібні картини травлення з дислокаційними променями навколо вкраплень телуру. На високоомних зразках у результаті дії DSL фігури травлення вкраплень телуру не декоруються дислокаційними ямками. Крім того, отримані мікрофотографії поверхні сильно відмінні від аналогічних результатів, отриманих унаслідок травлення в темноті. Травильні композиції з більшим вмістом хром (VI) оксиду запропоновано значно раніше Інденбаум [12]. У [13] опубліковано результати досліджень локальної дефектної структури кристалів CdTe-Ge за використання травника Інденбаум. Отримано дислокаційну розетку поблизу відбитка індентора, подібну до наведеної в [11]. Автори [13] оцінили структуру дислокаційного ансамблю навколо відбитка індентора як нерівноважну, зі спонтанним подовженням дислокацій (α і β).

У [15] оцінено природу термічних ямок травлення. Зафіксовано чотири види ямок травлення на телуровій поверхні (111), і лише два види на кадмієвій. Зроблено висновок, що механізм формування теплових ямок травлення у процесі відпалу пов'язаний з дефектами кристалів, тобто дислокаціями, бар'єром Ломер-Котрела, преципітатами Te, домішками і вкрапленнями Te. Різну поведінку термічних ямок травлення на (111) Te поверхні та (111) Cd поверхні пояснено тим, що дефекти різних поверхонь (111) Cd(Zn)Te можуть сильно відрізнятися.

Отже, селективне травлення – важливе джерело інформації про структуру матеріалу на основі CdTe. Результати опублікованих досліджень указують на відкритість і актуальність цієї теми. Аналіз складу травильних композицій та отриманих результатів приводить до висновку, що найбільш перспективні травники Еверсона, Іну та Інденбаум (або Біссолі). Травник Іну дозволяє непрямим шляхом установити або підтвердити кристалографічний напрям поверхні. Саме цим травником ідентифіковано найбільше видів ямок травлення за різних умов. Проте травлення срібним травником призводить до осідання срібла на поверхні зразка, що перешкоджає подальшим дослідженням. Різні ямки травлення можуть бути пов'язані з різними дефектами та порушеннями в кристалі, а не лише з дислокаціями. Як показано результатами численних досліджень, саме наявність преципітатів різного типу може бути причиною утворення дислокаційних петель, що викликані стресом між вкрапленнями та матрицею кристала. Тому важливо комплексно дослідити високотемпературну міграцію вкраплень у кристалах за різних термодинамічних умов у взаємозв'язку зі зміною густини дислокацій у матеріалі, з наступною ідентифікацією походження ямок селективного травлення. Таку інформацію можна отримати за допомогою травників Інденбаума або Біссолі.

Тому метою роботи було: оцінити експериментально можливості селективного травлення кадмій телуриду за допомогою травників Еверсона, Іну, Біссолі, Інденбаум; запропонувати можливе удосконалення рецептури травильних композицій; дослідити вплив граничних термодинамічних умов циклічних відпалів (температури 700-900 ^{o}C, тиск пари кадмію чи телуру) на дефектну структуру CdTe та CdZnTe методом селективного травлення.

2. Експериментальна частина

Для досліджень підготовлено серію попередньо відшліфованих і відполірованих зразків CdTe та CdZnTe, вирощених методом Бріджмена, товщиною 2-2,5 мм. Сортовано кристали, збагачені окремо кадмієм, чи телуром, з кристалографічною орієнтацією (110), (111). Відомості попередніх даних щодо досліджуваних зразків з відповідними умовами відпалу наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Характеристики умов відпалу зразків і вкраплень та картин селективного травлення

№	Шифр зразка	Характеристика включень	Умови відпалу, тривалість 12 год.	Результат селективного травлення
1.	КТ-1а (110)	дрібні, розсіяні	невідпалений	Е-Ag2:трикутні ямки на (110)
2.	КТ-4-88 (110)	Дрібні, неоднорідні пластинчасті	Цикл P(Cd), 900^{o}C, P(Te_2), 700 ^{o}C	Е-Ag2:трикутні ямки на (110) до та після відпалів, термічні ямки травлення
3.	КТ-15-22 (111) Модельне пошкодження	Дрібні симетричні преципітати телуру	Цикл P(Cd), 700^{o}C, P(Te_2), 700^{o}C	DSL: круглі, симетричні, Е-Ag2: лише після відпалу в атмосфері Te_2
4.	КТ-15-22 (111)	Дрібні симетричні преципітати телуру	Цикл P(Cd), 700 ^{o}C, P(Te_2), 700 ^{o}C	DSL: круглі, симетричні, Е-Ag2: лише після відпалу в атмосфері Te_2
5.	ОКТ-5 (111)	Несиметричні преципітати Cd, можливі включення SiO_2	P(Te_2), 700 ^{o}C	Е-Ag2: лише після відпалу в атмосфері Te_2
6	КЦТ-2^{o} (111)	Включення різної форми та розмірів	Невідпалений	Інденбаум: круглі, симетричні, Е виявляє матову поверхню.

Селективне травлення здійснювали за допомогою серії травників: Іну, Еверсона, Інденбаум, Біссолі (таблиця 1). Ідентифікацію вкраплень у зразках підтверджено шляхом ІЧ-мікроскопії. Для дослідження ямок селективного травлення використано комплексний аналіз даних оптичної та ІЧ-мікроскопії зразків (мікроскоп Leitz). Кореляцію зміни опору зразків унаслідок післяростових відпалів за різних термодинамічних умов оцінено на основі вольт-амперних характеристик відповідних зразків. З метою можливої порівняльної оцінки впливу умов відпалу на густину ростових чи механічних дислокацій у кристалах для одного з досліджуваних зразків створено модельне пошкодження поверхні шляхом наколювання з наступним селективним травленням і аналогічною циклічною термообробкою. Оцінку розмірів ямок травлення здійснено за допомогою програми ImageJ.

3. Результати й обговорення

Попередні дослідження селективного травлення модельних зразків кадмій телуриду травником Еверсона виявилися невдалими, поверхня зразків вкривалася непрозорою плівкою (можливо, кадмій фториду), що перешкоджало подальшим дослідженням. Тому надалі травник Еверсона не використовували. Аналіз праці Стоян з досліджень серії поліруючих і селективних травильних композицій [16] однозначно вказує на перевагу амоній дихромату перед аналогічною сіллю калію. Попередні дослідження селективного травлення на основі травника Іну, у складі якого сіль калію замінено амоній дихроматом із покраплинним уведенням аргентум нітрату з водного розчину, виявили більш відтворювані результати із формуванням чіткіших ямок травлення трикутної форми. Варіюючи концентрацію іонів срібла можна, регулювати швидкість селективного травлення. Відповідно, для подальших досліджень використано травник Іну на основі амоній дихромату, а сіль срібла вводили покраплинно з розчину.

Порівняльні мікрофотографії зразка КТ-1а до та після селективного травлення Е-Ag2, наведені на рис. 1, ілюструють ямки травлення різної форми для різних кристалографічних поверхонь. Отже, підтверджено інформативність травлення Е-Ag2 щодо кристалографічної орієнтації зразків.

Для наступної серії зразків КТ-4-88 (110), що містили дрібні пластинчасті вкраплення здійснили 2 серії відпалів в атмосфері кадмію (900^oC), телуру (700^oC), а також у вакуумі (900^oC) (таблиця 2). Зразок після відпалу у вакуумі виявився оплавленим і непридатним для подальшого травлення. Для інших зразків селективне травлення реалізували на свіжих сколах поверхні (110). Результати селективного травлення Е-Ag першої серії відпалених зразків виявили, що внаслідок відпалу в атмосфері кадмію візуалізуються трикутні ямки травлення двох видів з довжиною ребра 21 мкм та 16 мкм.

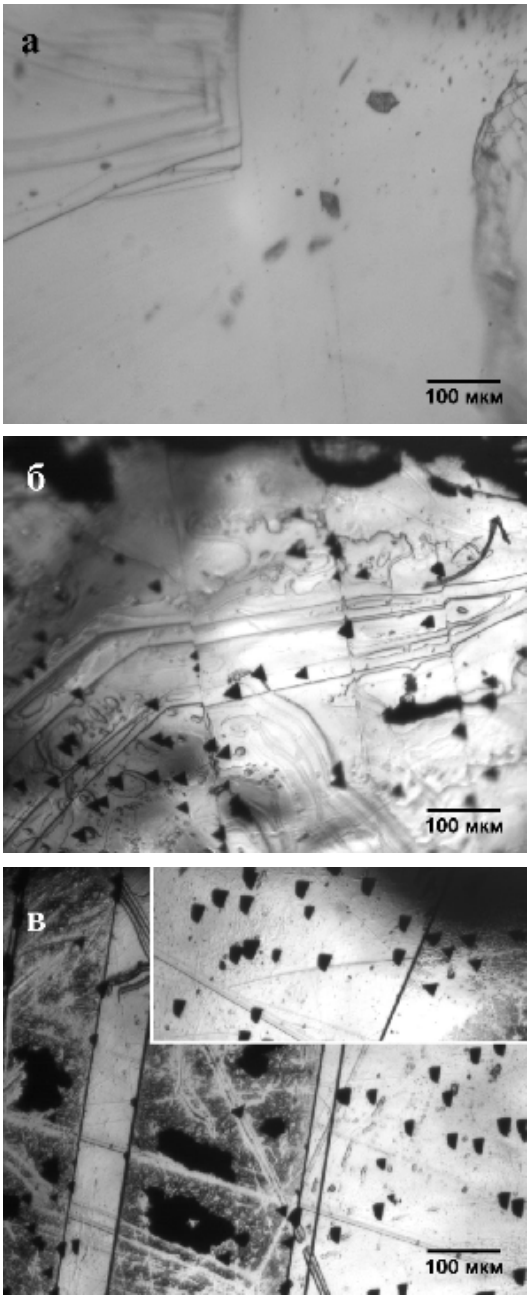

Рис.1. ІЧ-мікроскопія зразка КТ1А до та після травлення: а) до селективного травлення; б) після травлення (110); в) площини, перпендикулярні до (110)

Проте відповідні невідпалені зразки до селективного травлення виявилися нечутливими. Поодинокі трикутні ямки травлення формувалися при збільшенні часу до 2-х хвилин, лише на межах сколів довжина сторони трикутника сягала 42 мкм.

Результати мікроскопії поверхні зразків після другої серії відпалів наведено на рис. 2. Як видно з рисунка, у всіх випадках візуалізуються трикутні фігури травлення, проте їх форма та розміри дещо різняться, що може бути спричинено зміною дефектної структури зразка.

Наступну серію досліджуваних зразків КТ-15-22 (111), які містили симетричні вкраплення телуру, розподілені у пластині під кутом 60^o до поверхні (111), поділено на три групи. Усі три групи досліджуваних пластин піддали послідовному циклічному відпалу в атмосфері кадмію з наступним відпалом в атмосфері телуру (Таблиця 2). Дві пластини протравили попередньо травником Біссолі з метою ідентифікації кадмієвої та телурової поверхонь. Причому на одну з них перед травленням нанесли модельне пошкодження у вигляді наколювання алмазною пірамідкою при навантаженні 10 г з метою створити розетку механічних дислокацій. На іншу пластину наносили пошкодження безпосередньо перед селективним травленням E-Ag2.

На рис. 3 наведено мікрофотографії пластини з модельним пошкодженням невідпаленої (а), відпаленої в атмосфері кадмію (б) та після циклічного відпалу в атмосфері телуру (в).

Як видно з рисунка 3, на досліджуваному модельному зразку створено дислокації в зоні зсуву. Темні плями на рис 3 б, в візуалізують наскрізні порушення структури кристала внаслідок відпалу та зменшення товщини пластини.

Зазначимо, що округлі фігури травлення (травник Біссолі) загалом поглиблювалися внаслідок циклічної серії відпалів для всіх досліджуваних зразків, поверхня деформувалася. Але селективне травлення E-Ag2 виявилося ефективним лише для кристалів після відпалу в атмосфері телуру. Причому фігури термічного травлення, сформовані внаслідок високотемпературної витримки в атмосфері телуру (подібні до результатів [15]), чітко корелюють з фігурами селективного травлення, отриманими для серії цих зразків шляхом травлення E-Ag2 (рис.4), проте поблизу механічної дислокації на зразках КТ-15-22 після відпалу в атмосфері телуру такі фігури травлення практично відсутні.

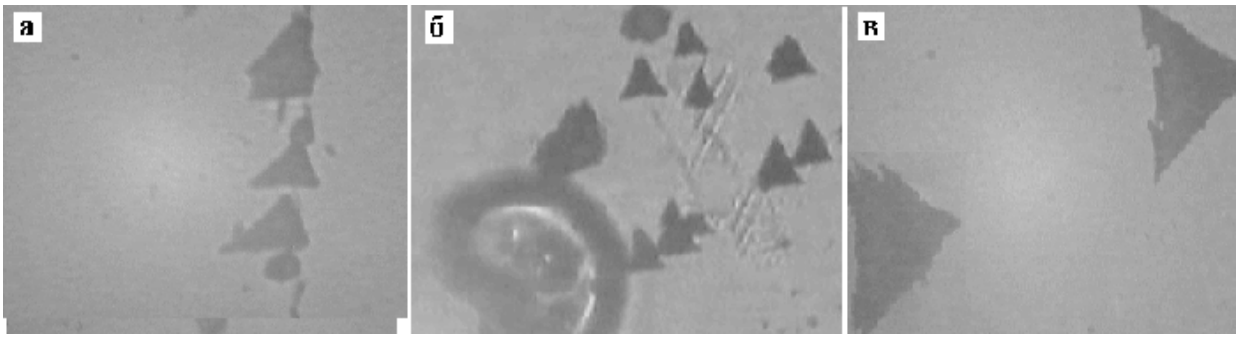

Рис.2. Мікрофотографії поверхні зразка КТ-4-88 (110), протравленого травником E-Ag2 до та після відпалу: а) до відпалу; б) після відпалу в атмосфері кадмію; в)після відпалу в атмосфері телуру. На рисунках використано різний масштаб з метою кращої візуалізації відмінності у формі фігур травлення

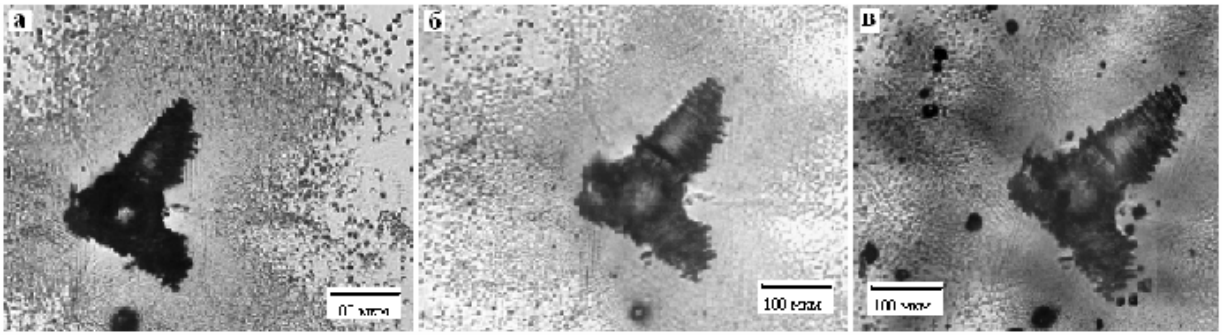

Рис.3. Мікрофотографії модельно пошкодженого зразка КТ-15-22 (111), протравленого травником Біссолі до та після відпалу: а) поверхня зразка до відпалу; б) ІЧ-знімок після відпалу в атмосфері кадмію; в)ІЧ-знімок після відпалу в атмосфері телуру.

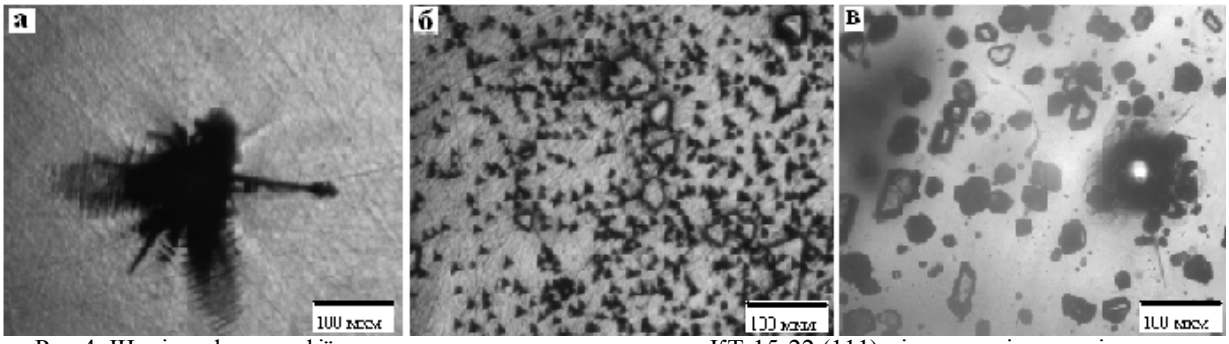

Рис.4. ІЧ-мікрофотографії модельно пошкодженого зразка КТ-15-22 (111) після циклічного відпалу в атмосфері кадмію та телуру: а) поверхня зразка, протравленого E-Ag2 поблизу механічного уколу; б) поверхня зразка, протравленого E-Ag2, віддаленої від механічного уколу; в) фігури термічного травлення на зворотній стороні після відпалу в атмосфері телуру

Дещо інша картина спостерігалася у випадку досліджень зразка ОКТ-5, вирощеного в атмосфері кадмію і, відповідно, із вкрапленнями кадмію, а також, імовірно, крупнішими вкрапленнями SiO_2. Враховуючи особливості «біографії» кристалу цей зразок відпалювали лише в атмосфері телуру. Після відпалу кристал виявився практично прозорим в ІЧ-світлі, вкраплення не візуалізуються. Проте, на відміну від невідпаленого зразка, після відпалу на поверхні кристала шляхом селективного травлення E-Ag2 формуються чіткі тригональні фігури травлення. Їх розташування рівномірне по всій поверхні зразка, враховуючи місце механічного пошкодження шляхом сколювання перед безпосереднім травленням (рис.5).

Виходячи з попередніх результатів дослідження впливу умов відпалу на структуру фігур селективного травлення, отриманих на зразках кадмій телуриду, відібрано для досліджень кристали CdZnTe (шифр КЦТ-2^o(111) відповідно до таблиці 2), які містили вкраплення різного виду (рис. 6, а). Частина б рисунка 6 ілюструє можливість ідентифікації кадмієвої поверхні (111) кристала селективним травленням на основі травника Інденбаум. Проте ідентифікувати створену модельну дислокаційну петлю після такого травлення не вдалося. Травлення поліруючим травником не дає позитивних результатів, унаслідок чого використання E-Ag для цих зразків неможливе.

Отже, попереднє поліруюче, а також селективне травлення зразків КЦТ-2^o виявилося ускладненим унаслідок наявності у них великих вкраплень різного виду. Тому відпал цих зразків не проводили.

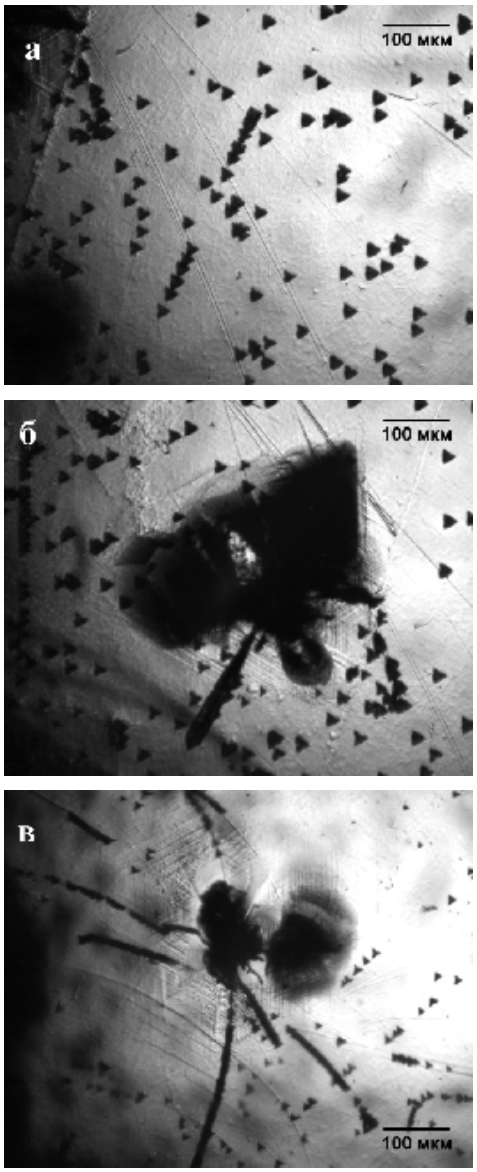

Рис.5. ІЧ-знімок поверхні зразка ОКТ-5(111), протравленого E-Ag2 після відпалу в атмосфері телуру: а) не деформована поверхня, б) Cd-площина поблизу механічного уколу, в) Te-площина поблизу механічного уколу

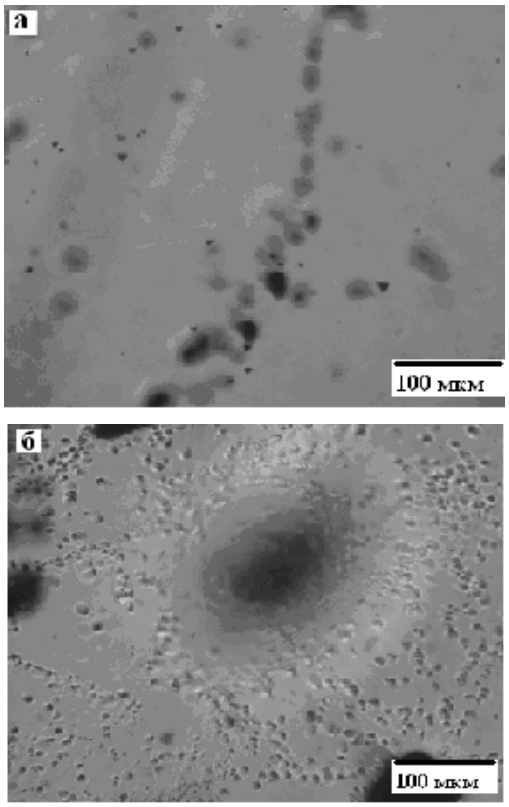

Рис.6. ІЧ-знімок зразка КЦТ-2^{o}(111): а) аналіз вкраплень у кристалі; б) результати селективного травлення травником Інденбаум

4. Заключення

Проведена серія досліджень впливу термодинамічних умов відпалу на дислокаційну структуру CdTe та CdZnTe вказує на тісний взаємозв'язок між дислокаціями та вкрапленнями у кристалах. Ростові дислокації, що формуються під час росту монокристалів, локалізуються навколо включень різного виду, оскільки саме у цих місцях виникають напруження у кристалі, викликані невідповідністю структури вкраплень матриці кристалу [14]. Тому вплив на дислокаційну структуру матеріалу потрібно передбачати у сукупності зі спектром вкраплень у них. Причому міграція вкраплень із можливим їх рівноважним розчиненням і кристалі відбувається за дислокаційним механізмом, унаслідок чого дислокації після розчинення преципітатів легше візуалізуються шляхом селективного травлення, тоді як вкраплення практично зникають. Так, на зразках із вкрапленнями кадмію ямки селективного травлення до відпалу не візуалізуються. Проте після відпалу в атмосфері телуру зразок практично прозорий в ІЧ-світлі, а ямки селективного травлення візуалізуються. Аналогічно на зразках із вкрапленнями телуру ямки селективного травлення візуалізуються лише після циклічного відпалу кристалів в атмосфері кадмію з наступним відпалом в атмосфері телуру.

Кореляція ямок селективного травлення дією E-Ag2 із термічними пірамідальними ямками вказує на можливий рух ростових дислокацій до країв зразка, що спричинений його частковою сублімацією в атмосфері телуру. Імовірно, у приповерхневому шарі залишаються надлишкові напруження у кристалах.

Травники Інденбаум і Біссолі дають подібну цінну інформацію про кадмієву чи телурову поверхню (111) зразків, дозволяють ідентифікувати напруження у кристалах, дислокаційні розетки із променями дислокацій різного типу [11-13]. Проте міграція ямок травлення для моделі створених у цій роботі механічних дислокацій не виявлена. Очевидно, що механічні дислокації врівноважуються відносно швидко (за кілька годин), унаслідок чого виявлення їх зміщення після високотемпературних відпалів ускладнене. Для більш повної характеристики впливу післяростової термообробки на дислокаційну структуру кадмій телуриду необхідне проведення подальших системних досліджень.

Список літератури

1. P.D.Brown, K.Durose, G.J.Russel, J.Woods. The Absolute Determination of CdTe Crystal Polarity // J.Cryst. Growth. – 1990. – V. 101. – P. 211-215.
2. X.P. Cui, W.Z. Fang, S.W. Sun, C.J. Zhang, H.L. Xu, J.R. Yang. Characteristics of the dislocations in CdZnTe crystals revealed by etch pits // J.Cryst. Growth. – 2011. – V. 321, N 1. – P. 40–44.
3. W. J. Everson, C. K. Ard, J. L. Sepich, B. E. Dean, G. T. Neugebauer, H. F. Schaake. Etch pit characterization of CdTe and CdZnTe substrates for use in mercury cadmium telluride epitaxy // J. Electron. Mater. – 1995. – V 24, N 5. – P. 505-510.
4. Teague, Lucile C.; Duff, Martine C.; Cadieux, James R.; Soundararajan, Raji; Shick, Charles R.; Lynn, Kelvin G. Characterization of etch pit formation via the Everson-etching method on CdZnTe crystal surfaces from the bulk to the nanoscale // Nuclear Instr. Meth. Phys. Res. – 2010. – V. 652, N 1. – P. 178-182.
5. Cody J. Havrilak, Kelly A. Jones and Kelvin G. Lynn. Etch Pit Density in Single Crystal CdZnTe and CdTe Correlated with Growth

Parameters//Proc. SPIE. – 2011. – V. 8142. – P. 1-10.
6. F.F. Sheng n, X.P. Cui, S.W. Sun, J.R. Yang . Etch pits of precipitates in CdZnTe crystals on (111) B surface // J.Cryst. Growth. – 2012. – V. 354. – P. 76–80.
7. M. Inoue, I. Teramoto, S. Takayanagi. Etch Pits and Polarity in CdTe Crystals // J. Appl. Phys. – 1962. – V. 34. – P. 2578-2582.
8. M. Inoue, I. Teramoto, S. Takayanagi, Cd and Te Dislocations in CdTe // J. Appl. Phys.. – 1963. – V. 34. – P. 404.
9. K. Nakagawa, K. Maeda, S. Takeuchi. Observation of dislocations in CdTe by cathodoluminescence microscopy // J. Appl. Phys. Lett. – 1979. – V. 34, N 9. – P.574-575.
10. Y. Jianrong , G. Huiming, C. Xinqiang, F. Weizheng, H. Li. Dislocation assessment of CdZnTe by chemical etching on both {111}B and {211}B faces// CdTe. J.Cryst. Growth. – 2002. – V. 234. – P. 337–342.
11. F. Bissoli, J. L. Weyher, A. Zappettini, M. Zha and L. Zanotti. Revealing of defects in CdTe crystals by DSL etching // Cryst. Res. Technol. – 2005. – V. 40, N 10–11. – P. 1060 – 1063.
12. Г. Инденбаум Г.И., Бароненкова Р.П., Бойных Н.М. Травление дислокаций в монокристаллах CdTe // Физика и химия обработки материалов. – 1971. – №2. – С.91-96.
13. Фоменко Л.С. Лубенец С.В., Фейчук П.И., Щербак Л.П. Изучение локальной дефектной структуры кристаллов CdTe-Ge методом микроиндентирования // ФТТ. – 1998. – Т.40, №2. – С.264-268.
14. F.F. Sheng, X.P.Cui, S.W. Sun, J.R. Yang. Etch pits of precipitates in CdZnTe crystals on (111)B surface // // J.Cryst. Growth.. – 2012. – V. 354. – P. 76–80.
15. D. Zeng, W. Jie, T. Wang, J. Zhang, G. Zha. Type and formation mechanism of thermal etch pit on annealed (111) CdZnTe surface // Thin Solid Films. – 2009. – V. 517. – P. 2896–2899.
16. Чухненко П.С., Іваніцька В.Г., Томашик З.Ф., Майданик І.М., Томашик В.М., Стратійчук І.Б. Формування полірованої поверхні нелегованого та легованого елементами IV групи CdTe травильними композиціями $(NH_4)_2Cr_2O_7$-HCl-цитратна кислота // Фізика і хімія твердого тіла. – 2012. – Т.13, №1. – С.171-175.

Summary

Korovyanko O. O., Nakonechnyi I. J., Shcherbak L. P. Fochuk P. M.
Yuriy Fedkovych Chernivtsi National University

INFLUENCE OF ANNEALING REVEAL ON DISLOCATION STRUCTURE OF THE CdTe CRYSTALS BY SELECTIVE ETCHING

The effect of thermal treatment on the defect structure of cadmium telluride by selective etching was studied. Etchtants based on silver ions and chromium (VI) oxide were used. Impurities character in crystals was investigated by infrared microscopy. The effect of thermal treatment influence on impurities migration and dislocation structure of the material was studied by selective etching. It was determined that migration of inclusions in CdTe crystals occurs by dislocation mechanism. Precipitates dissolution is appropriate for dislocations visualization on the crystal surface by selective etching. It is shown that E-Ag2 and Bissoli etchtants are complementary and they are the most effective for (111) oriented CdTe crystals.

Keywords: cadmium telluride, selective etching, defects, dislocations.