

УДК 621.794.4 : 546.47/49'24

© *Чайка М. В.^{1,2}, Томашик З. Ф.², Томашик В. М.², Маланич Г. П.², Денисюк Р. О.¹, 2018

¹ Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир

² Інститут фізики напівпровідників ім. В.Є. Лашкарьова НАН України, м. Київ

*e-mail: laridae92@gmail.com

ХІМІЧНЕ ТРАВЛЕННЯ МОНОКРИСТАЛІВ CdTe, Zn_xCd_{1-x}Te ТА Cd_xHg_{1-x}Te ВОДНИМИ РОЗЧИНАМИ K₂Cr₂O₇ – HBr – АЦЕТАТНА КИСЛОТА

У відтворюваних гідродинамічних умовах досліджено характер хімічного розчинення монокристалів CdTe та твердих розчинів Zn_xCd_{1-x}Te і Cd_xHg_{1-x}Te у водних розчинах K₂Cr₂O₇ – HBr – CH₃COOH. Побудовано діаграми "склад розчину – швидкість розчинення" та визначено концентраційні межі поліруючих і неполіруючих розчинів, виявлено вплив природи органічного компонента на швидкість і характер хімічного розчинення. Кінетичними дослідженнями процесу розчинення встановлено, що він лімітується дифузійними стадіями. Методами металографічного аналізу й атомно-силової мікроскопії вивчено стан поверхні монокристалів після хіміко-динамічного полірування новими розробленими й оптимізованими травниками із низькими швидкостями хімічного полірування.

Ключові слова: хімічне розчинення, кадмій телурид, травлення, монокристали, швидкість розчинення, хіміко-динамічне полірування.

Вступ

Важливу роль у сучасній технології виробництва електронних пристроїв відіграє хімічне травлення напівпровідників типу A^{IV}B^{VI}, яке широко застосовується при виготовленні різноманітних напівпровідникових приладів [1-4]. Для ефективного застосування хімічних методів обробки поверхні та достовірної інтерпретації одержаних результатів необхідне знання кінетичних закономірностей, механізму та характеру перебігу процесів хімічного розчинення напівпровідників, ролі основних компонентів травників, їх взаємодії. При цьому важливо розробляти травильні розчини, які можна застосовувати на різних етапах виготовлення підкладок лише змінюючи співвідношення компонентів травників. Розроблені травильні суміші повинні характеризуватися відповідною швидкістю хімічного розчинення матеріалу, висотою мікронерівностей полірованої поверхні та мінімальним забрудненням її компонентами хімічної взаємодії травника.

Авторами [5] на основі рентгенівських досліджень встановлено, що глибина порушеного шару монокристалів CdTe та Cd_xZn_{1-x}Te після різання дорівнює 90 ± 10 мкм. Проте після шліфування абразивами M10 і M5 вона вже становить відповідно 40 ± 10 мкм, і 22 ± 5 мкм, а після механічного полірування алмазними пастами 3/2 і 1/0 досягає 8 ± 3 мкм і 3 ± 2 мкм відповідно. Для зменшення товщини дефектного шару застосовуються різні методи травлення, з яких одним із найбільш перспективних є хіміко-динамічне полірування

(ХДП) напівпровідникових пластин у відтворюваних гідродинамічних умовах. Для цього донедавна найчастіше використовували бромвмісні суміші (зокрема, розчини Br₂ у CH₃OH, етанолі, ДМФА або в HBr) [6-8]. Однак такі травники нестабільні, мають велику швидкість зняття матеріалу, а їх компоненти токсичні. У бромовиділяючих травниках при взаємодії вихідних компонентів – HBr та окисників (HNO₃, H₂O₂, K₂Cr₂O₇ та ін.), виділяється бром, який розчиняється в надлишку HBr, утворюючи травильні суміші, схожі за своїми властивостями та складом на розчини Br₂ у HBr. Для поліпшення якості травильних композицій зазвичай до їх складу додатково вводять третій компонент (органічний розчинник). Це дозволяє частково регулювати процес взаємодії вихідних компонентів травника, сприяє розчиненню броду, що виділяється, а також переводить у розчинну форму продукти взаємодії поверхні монокристалів з травильними сумішами.

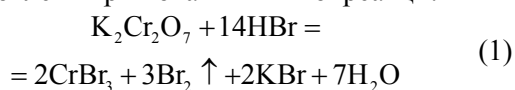
Експериментальними дослідженнями [9-11] встановлено вплив природи органічної кислоти у складі травильних композицій (NH₄)₂Cr₂O₇ – HBr – органічна кислота на швидкість хімічного розчинення та стан полірованої поверхні монокристалів нелегованого та легovanого CdTe. Так, авторами [9, 10] виявлено, що при максимальному вмісті в травильній суміші трьохосновної цитратної кислоти (C₆H₈O₇) швидкість розчинення монокристалів змінюється в межах 8-1 мкм/хв та погіршується якість полірування, при

цьому процес розчинення лімітується стадією дифузії, а при використанні двоосновної тар-тратної кислоти ($C_4H_6O_6$) вдається зменшити швидкість травлення до 0,1 мкм/хв і збільшити області поліруючих розчинів, при цьому процес розчинення відбувається за змішаним механізмом. Це, ймовірно, зумовлено кислотністю травника: найвищою кислотністю володіють травильні розчини з $C_6H_8O_7$, а найменшою – травники, що розведені $C_4H_6O_6$. Тож чим вища кислотність травника, тим швидкість травлення у ньому кристалів вища. Керуючись цими факторами, виявляється доцільним з практичної точки зору дослідити вплив одноосновної ацетатної кислоти на полірувальні властивості травильних сумішей $K_2Cr_2O_7 - HBr - CH_3COOH$.

Метою даної роботи є експериментальне дослідження хімічного розчинення монокристалів CdTe та твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ та $Cd_xHg_{1-x}Te$ в травильних композиціях $K_2Cr_2O_7 - HBr - CH_3COOH$, побудова діаграм “склад розчину – швидкість хімічного розчинення”, визначення концентраційних меж поліруючих та неполіруючих розчинів, вивчення кінетичних закономірностей процесу розчинення і встановлення його лімітуючих стадій, дослідження стану поверхні монокристалів після ХДП новими розробленими і оптимізованими травниками з низькими швидкостями хімічного полірування методами металографічного і профілографічного аналізу.

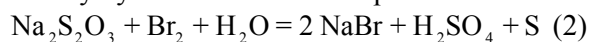
Методика експерименту

Експериментальні дослідження хімічної взаємодії нелегованих монокристалів CdTe, $Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$ і $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$, вирощених методом Бріджмена, та $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$, отриманого з газової фази, проводили у відтворюваних гідродинамічних умовах на установці для ХДП згідно з методикою, наведеною в [12, 13]. Травильні розчини готували з використанням 10,9 %-го водного розчину $K_2Cr_2O_7$ (х.ч.), 40 % HBr (ос.ч) та льодяної CH_3COOH (х.ч). Перед травленням всі розчини витримували протягом двох годин для встановлення рівноваги хімічної реакції:



Після проведення ХДП поліровані зразки промивали спочатку 0,1 М водним розчином $Na_2S_2O_3$ для видалення з їх поверхні залишків непрореагованого бромиду (за реакцією 2), а

потім великою кількістю дистильованої води та висушували потоком повітря.

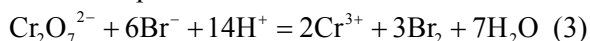


Мікроструктуру поверхні зразків після механічної обробки та процесів травлення досліджували в білому світлі металографічним мікроскопом МИМ-7 з цифровою відеокамерою eTRек DCM800 (8Mpix). Механічним контактним методом визначали шорсткість поверхні за допомогою профілографа HOMMEL-ETAMIC W5, який дозволяє визначати висоту мікронерівностей ≥ 5 нм у діапазоні вимірювань $-210 \div +110$ мкм, клас точності за DIN 4772 = 1 (3 %).

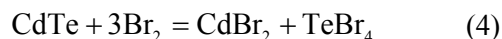
Результати експерименту та їх обговорення

Склад травника є одним із найважливіших чинників, який впливає на процес розчинення кристалів. Під час дослідження процесу ХДП монокристалів CdTe та твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ і $Cd_xHg_{1-x}Te$ травильними композиціями $K_2Cr_2O_7 - HBr$ у концентраційному інтервалі 5-60 об.% $K_2Cr_2O_7$ у HBr виявлено, що поліруючі властивості травників з'являються при вмісті (30-50) об.% $K_2Cr_2O_7$ у HBr [12]. Цей інтервал і став робочим для підбору третього – органічного компонента. У таких травильних розчинах спостерігаються невисокі швидкості хімічного розчинення у межах 5-8 мкм/хв, поверхня протравлених монокристалів у яких полірована і має дзеркальний блиск.

У сумішах $K_2Cr_2O_7 + HBr$ вихідні компоненти взаємодіють між собою з виділенням бромиду, тобто формуються так звані бромовиділяючі розчини:



Активними компонентами травника є як йони $Cr_2O_7^{2-}$, так і Br^- , і залежно від їх об'ємного співвідношення може виділятися вільний бром, що розчиняється в надлишку HBr та утворює травильні композиції, подібні за складом і властивостями до розчинів $Br_2 - HBr$. У таких розчинах, як зазначають автори [14], спочатку відбувається взаємодія CdTe з Br_2 (реакція 4), внаслідок якої на поверхневих шарах напівпровідника утворюються добре розчинні у воді та різних органічних розчинниках броміди. Це сприяє проходженню процесу хімічного розчинення в дифузійній області.



Однак, враховуючи той факт, що поверхня CdTe, яка обробляється навіть 1 об. % Br₂ у HBr, збагачується елементарним телуrom, можна зробити висновок, що механізм взаємодії CdTe з Br₂ дещо складніший. Він змішаного характеру і охоплює перебіг двох процесів: хімічного та електрохімічного, який проходить за рівнянням:



Телур, що утворюється на поверхні CdTe, не пасивує її, адже при надходженні свіжих порцій травника він розчиняється. Зауважимо, що для запобігання інтенсивного виділення Te на поверхні CdTe треба використовувати свіжі травники, а промивку полірованих монокристалів проводити швидко, уникаючи затримки непрореагованих залишків травильних розчинів на поверхні. Зменшити виділення Te на поверхні напівпровідника можна шляхом зв'язування Te⁴⁺ в комплексні сполуки.

Саме тому важливим етапом процесу хімічного травлення є переведення в розчинні форми продуктів хімічної взаємодії травника з поверхнею напівпровідника, адже це забезпечує відсутність областей пасивації. При формуванні повільних поліруючих травильних композицій K₂Cr₂O₇ – HBr – органічний розчинник як розчинник нами використовувалась ацетатна кислота, що характеризується доброю розчинністю у водних розчинах і добре розчиняє оксиди та галогеніди Cd і Te. Через це введення органічних кислот до складу травників широко застосовується при обробці поверхні напівпровідникових матеріалів.

Для встановлення ролі ацетатної кислоти в процесі хімічного розчинення та створення нових поліруючих травників досліджено концентраційну залежність швидкості розчинення, а також основні закономірності процесу розчинення CdTe та Zn_xCd_{1-x}Te і Cd_xHg_{1-x}Te в сумішах K₂Cr₂O₇ – HBr – CH₃COOH. Хімічну взаємодію цих монокристалів вивчали в інтервалі розчинів, обмеженому концентраційним трикутником ABC, у вершинах якого співвідношення компонентів у травильних композиціях K₂Cr₂O₇/HBr/CH₃COOH складає відповідно (об. %): А – 20:80:0; В – 20:20:60; С – 50:50:0. На основі отриманих експериментальних даних, використовуючи математичне планування експерименту на симплексі [15], побудовано діаграми “склад розчину – швидкість розчинення” при T = 294 К та швидкості обертання диска γ = 82 хв⁻¹ (рис. 1).

Відзначимо, що в межах вибраного концентраційного інтервалу є області з поліруючими (область I) та неpolіруючими (область II) розчинами по відношенню до досліджуваних монокристалів. З рис. 1 видно, що максимальні швидкості розчинення (7-8 мкм/хв) всіх монокристалів спостерігаються у розчинах, збагачених K₂Cr₂O₇ (біля кута С). Це можна пояснити тим, що при даному співвідношенні вихідних компонентів виділяється найбільша кількість активного компонента травника – бром, який розчиняється в надлишку HBr та утворює розчини із вмістом (17,5-33) об.% Br₂ в HBr. Поступове введення CH₃COOH до складу травильних сумішей (сторона СВ концентраційного трикутника) призводить до утворення меншої кількості бром, в результаті чого швидкість розчинення CdTe, Zn_xCd_{1-x}Te і Cd_xHg_{1-x}Te зменшується до 1,7-2 мкм/хв. Цей ефект можна також пояснити утворенням тонкої плівки на поверхні напівпровідників, яка перешкоджає взаємодії травника з досліджуваними монокристаліями. При цьому простежується закономірність зміни швидкості ХДП монокристалів CdTe та Zn_xCd_{1-x}Te від складу твердих розчинів: із підвищенням вмісту Zn у твердому розчині в усіх травниках швидкість хімічного розчинення збільшується, а якість полірованої поверхні покращується. Розташування ізоліній швидкостей розчинення монокристалів на всіх трикутниках подібні, що підтверджує однотипний механізм їх взаємодії з компонентами травильних розчинів, що, ймовірно, визначається розчиненням аніонної підґратки телуру. Склади поліруючих травників і режими проведення процесу ХДП поверхні CdTe, Zn_xCd_{1-x}Te і Cd_xHg_{1-x}Te в розчинах K₂Cr₂O₇ – HBr – CH₃COOH наведені в табл. 1.

Для вивчення процесів, які відбуваються під час розчинення досліджуваних монокристалів у бромовиділяючих травниках K₂Cr₂O₇ – HBr – CH₃COOH, проведено вивчення кінетичних закономірностей процесу хімічного розчинення і побудовано залежності швидкості розчинення (ν) від швидкості перемішування розчину (γ) в координатах ν⁻¹ – γ^{-1/2}, та від температури в координатах ln ν – 1/T у поліруючому травнику складу (об.%): 35 K₂Cr₂O₇ + 50 HBr + 15 CH₃COOH.

З рис. 2а видно, що відповідні прямі залежності швидкості розчинення від інтенсивності перемішування (γ = 27-110 хв⁻¹) при T = 295 К можна екстраполювати у початок

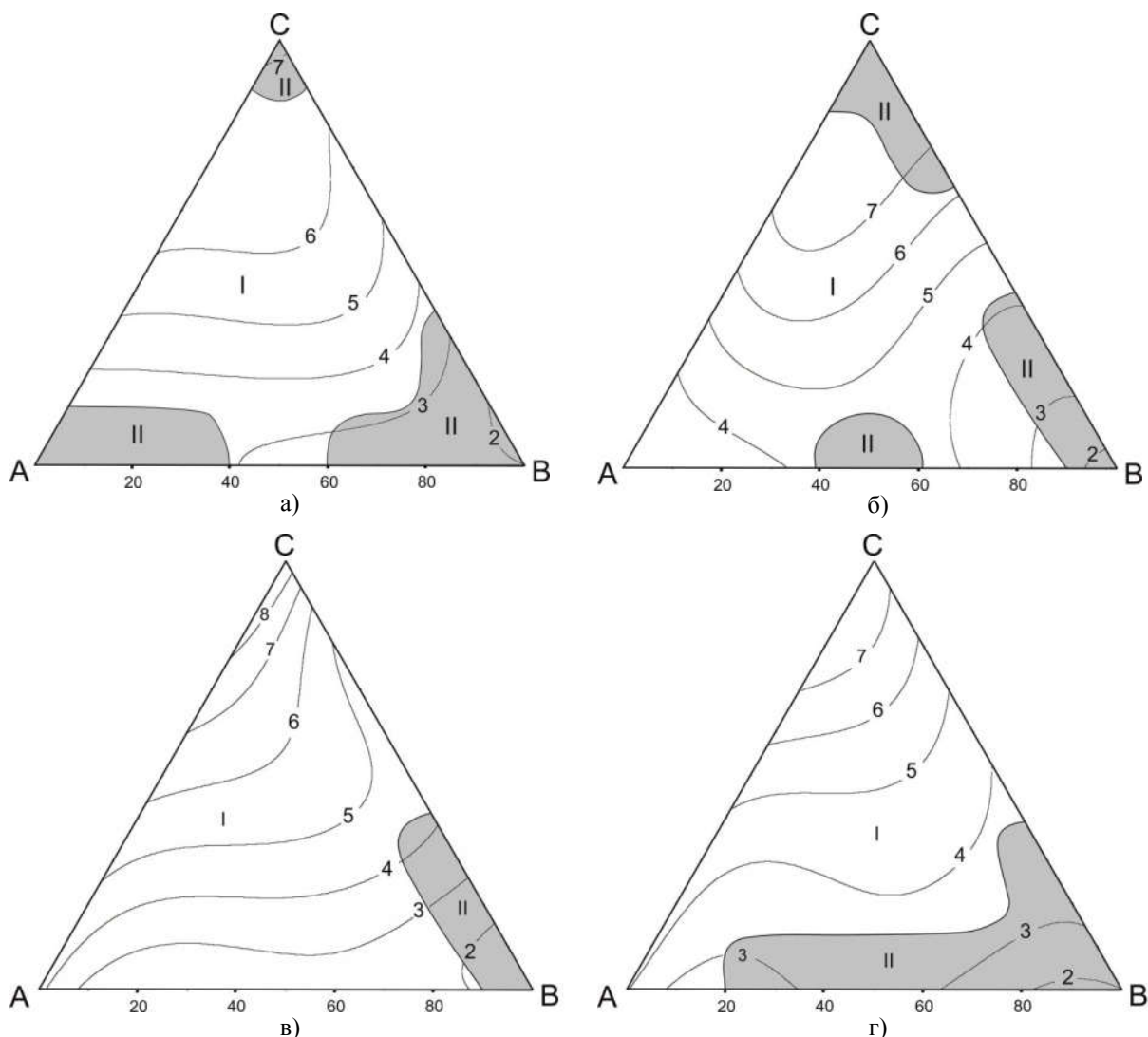


Рис. 1. Концентраційні залежності ($T = 294 \text{ K}$, $\gamma = 82 \text{ хв}^{-1}$) швидкості хімічного розчинення (мкм/хв) CdTe (а) і твердих розчинів $\text{Zn}_{0,04}\text{Cd}_{0,96}\text{Te}$ (б), $\text{Zn}_{0,1}\text{Cd}_{0,9}\text{Te}$ (в) та $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$ (г) при об'ємному співвідношенні компонентів $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7/\text{HBr}/\text{CH}_3\text{COOH}$ у вершинах А, В, С відповідно: А – 20:80:0; В – 20:20:60; С – 50:50:0 (область I – поліруючі і II – неpolіруючі травники).

Таблиця 1

Склади поліруючих композицій $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 - \text{HBr} - \text{CH}_3\text{COOH}$ для монокристалів ($T = 293-295 \text{ K}$, $\gamma = 82 \text{ хв}^{-1}$)

Напівпровідник	Склад травника (об. %)	$v_{\text{полд}}$ МКМ/ХВ
CdTe	(24-46) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: (32-76) HBr : (0-37) CH_3COOH	2,8-6,8
$\text{Zn}_{0,04}\text{Cd}_{0,96}\text{Te}$	(20-46) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: (46-80) HBr : (0-15) CH_3COOH	3,4-7,5
	(24-46) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: (32-47) HBr : (22-47) CH_3COOH	2,4-4,6
$\text{Zn}_{0,1}\text{Cd}_{0,9}\text{Te}$	(20-50) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: (32-80) HBr : (0-52) CH_3COOH	2,5-7,9
	(24-50) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: (32-80) HBr : (0-37) CH_3COOH	3,8-7,2
$\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$	(20-50) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: (20-80) HBr : (0-7) CH_3COOH	2,6-3,7

координат, що свідчить про домінуючий вплив стадії дифузії на загальну швидкість хімічного розчинення монокристалів. Зростання швидкості обертання диска зміщує відповідні прями вгору по осі ординат,

причому всі вони (крім CdTe) майже паралельні одна одній, що доводить однотипність механізму розчинення цих напівпровідників при вказаній температурі.

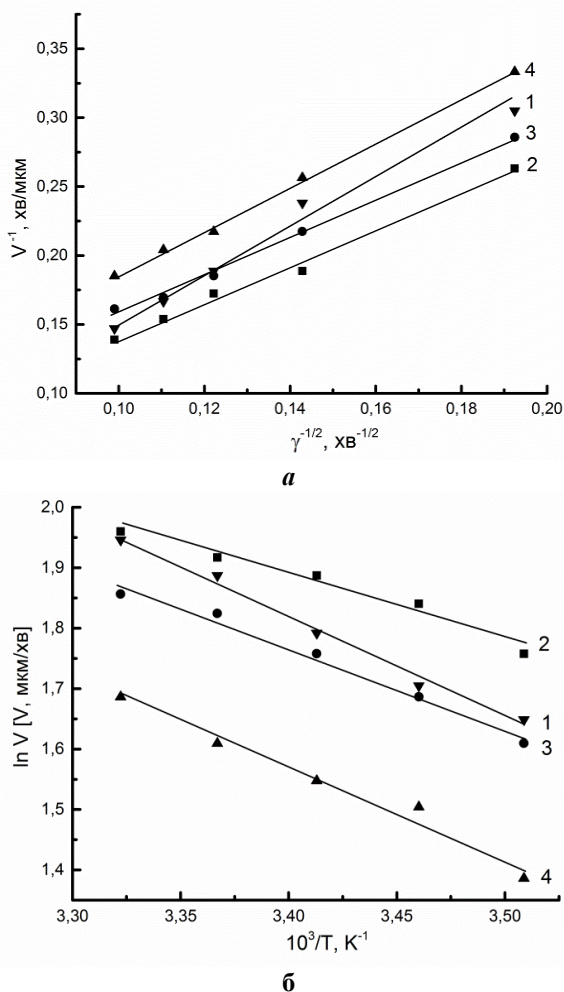


Рис. 2. Залежність швидкості розчинення (мкм/хв) CdTe (1), Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te (2), Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te (3), Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te (4) від швидкості обертання диску (T = 294 K) (а) і температури ($\gamma = 82$ хв⁻¹) (б) у розчині, що містить (в об. %): 35 K₂Cr₂O₇ + 50 HBr + 15 CH₃COOH

Для підтвердження цих припущень додатково досліджено вплив температури на швидкість ХДП та розраховано значення уявної енергії активації процесу хімічного розчинення (E_a) CdTe, Zn_xCd_{1-x}Te і Cd_xHg_{1-x}Te і логарифма передекспоненційного множника ($\ln C_E$) (табл. 2). Залежність швидкості розчинення від температури описується рівнянням Арреніуса:

$$k = C_E e^{-E_a/RT}$$

де k – константа швидкості реакції, C_E – передекспоненційний множник – частота зіткнень частинок, E_a – енергія активації процесу.

Як видно з табл. 2, розраховані значення E_a процесу розчинення всіх монокристалів перебувають у межах 8,6-13,8 кДж/моль, тобто не перевищують 30 кДж/моль, що згідно з прийнятою класифікацією лімітуючих стадій

Таблиця 2

Уявна енергія активації (E_a) та передекспоненційний множник ($\ln C_E$) процесу розчинення напівпровідників у поліруючому розчині складу (об. %): 35 K₂Cr₂O₇ + 50 HBr + 15 CH₃COOH.

Напів-провідник	E_a , кДж/моль	$\ln C_E$	Механізм розчинення
CdTe	13,8	7,5	дифузійний
Zn _{0,04} Cd _{0,96} Te	8,6	5,4	дифузійний
Zn _{0,1} Cd _{0,9} Te	11,3	6,4	дифузійний
Cd _{0,2} Hg _{0,8} Te	12,6	6,7	дифузійний

процесу хімічного травлення [16] свідчить про лімітування процесу розчинення дифузійними стадіями. Підсумовуючи проведені кінетичні дослідження, можна стверджувати, що температура та гідродинамічні умови відіграють важливу роль у процесі ХДП напівпровідників і впливають на якість полірованої поверхні.

Основні параметри шорсткості поверхні R_a , R_z та R_{max} пластин CdTe після різки та наступного етапу обробки – шліфування, наведені в табл. 3, вимірювання проводили на базовій довжині 0.25 мм при довжині трасування 1.5 мм.

За даними експериментальних досліджень встановлено, що для одержання високоякісної полірованої поверхні монокристалів CdTe, Zn_xCd_{1-x}Te та Cd_xHg_{1-x}Te процес ХДП необхідно проводити в розчинах K₂Cr₂O₇ – HBr – CH₃COOH, складу яких наведені у табл. 1, в інтервалі температур 293-296 K при швидкості обертання диска $\gamma = 82$ хв⁻¹. Після проведення ХДП поліровані пластини потрібно негайно промивати спочатку 0,1 M водним розчином Na₂S₂O₃, щоб видалити з поверхні непрореаговані залишки травника, а потім великою кількістю дистильованої води.

Висновки

Методом хіміко-динамічного полірування у відтворюваних гідродинамічних умовах експериментально досліджено хімічне розчинення монокристалів CdTe та твердих розчинів Zn_xCd_{1-x}Te і Cd_{1-x}Hg_xTe у водних розчинах K₂Cr₂O₇ – HBr – CH₃COOH, побудовано діаграми “склад розчину – швидкість розчинення” цих напівпровідників, визначено концентраційний інтервал поліруючих розчинів та встановлено, що процес розчинення лімітується дифузійними стадіями. Виявлено, що додавання ацетатної кислоти призводить до формування травильних композицій з невеликою швидкістю ХДП – в межах 1,7-

Таблиця 3

Параметри шорсткості поверхні зразків CdTe після різних етапів механічної обробки, отримані за допомогою профілометра HOMMEL-ETAMIC W5.

Етапи обробки	$R_a, \mu\text{m}$	$R_z, \mu\text{m}$	$R_{\text{max}}, \mu\text{m}$	Стан поверхні*
струнна різка	1,21	5,95	7,87	хвиляста, рельєфна поверхня зі слідами різки (поздовжні полоси, невеликі виступи)
струнна різка + шліфування вільним абразивом АСМ 10/7	0,53	2,87	3,68	матова зі структурними дефектами, шорстка
струнна різка + шліфування вільним абразивом АСМ 10/7 + АСМ 5/3	0,18	1,33	1,66	
струнна різка + шліфування вільним абразивом АСМ 10/7 + АСМ 5/3 + АСМ 1/0	0,05	0,43	0,54	

Примітка: R_a – середнє арифметичне відхилення профілю в межах базової довжини; R_z – сума середніх абсолютних значень висот п'яти найбільших виступів профілю та глибини п'яти найбільших впадин профілю; R_{max} – максимальна висота профілю.

*МІМ-7 з цифровою відеокамерою eTREK DCM800 (8 Мріх)

7,5 мкм/хв. Оптимізовані склади повільних поліруючих травників, розроблені режими проведення процесу ХДП та операції ефективної відмивки полірованих зразків після травлення, можуть бути рекомендовані для контрольованого зменшення товщини напівпровідникових пластин до заданих розмірів, фінішної обробки плівок та формування полірованої поверхні монокристалів CdTe, $Zn_xCd_{1-x}Te$ і $Cd_{1-x}Hg_xTe$.

Список літератури

1. Takahashi T. Recent Progress in CdTe and CdZnTe Detectors / T. Takahashi, S. Watanabe // IEEE Trans. Nucl. Sci. – 2001. – Vol. 48, Issue 4. – P. 950-959. doi: 10.1109/23.958705
2. Szeles C. CdZnTe and CdTe materials for X-ray and gamma ray radiation detector applications / C. Szeles // Physica status solidi (b). – 2004. – Vol. 241, Issue 3. – P. 783-790. doi: 10.1002/pssb.200304296
3. Grill R. Semi-insulating Te-saturated CdTe / R. Grill, J. Franc, P. Hoschl, I. Turkevych, E. Belas, P. Moravec // IEEE Trans. Nucl. Sci. – 2005. – Vol. 52, Issue 5. – P. 1924-1931. doi:10.1109/TNS.2005.856801
4. Duff M.C. Characterization of Detector Grade CdZnTe Material from Redlen Technologies / M.C Duff, A. Burger, M. Groza, V. Buliga, J.P. Bradley, Z.R. Dai, N. Teslich, D.R. Black, S.A. Awadalla, J. Mackenzie, H. Chen // Proc. of SPIE. – 2008. – Vol. 7079, Article 70790T. doi:10.1117/12.798921
5. Захарук З.І. Стан поверхні телуриду кадмію після різних способів обробки / З.І. Захарук, І.М. Раренко, О.М. Крилюк, С.Г. Дремлюженко, Ю.П. Стецько // Укр. хім. журн. – 2000. – Т. 66, № 12. – С.97-99.
6. Hossain A. Effect of chemical etching on the surface roughness of CdZnTe and CdMnTe gamma radiation detectors / A. Hossain, S. Babalola, A.E. Bolotnikov, G.S. Camarda, Y. Cui, G. Yang, M. Guo, D. Kochanowska, A. Mychilski, A. Burger, R.B. James // Proc. of SPIE. – 2008. – Vol. 7079, Article 70791E. doi:10.1117/12.796797
7. Kotina I.M. Study of CdTe etching process in alcoholic solutions of bromine / I.M. Kotina, M. Tuhkonen, G.V. Patsekina, A.V. Shchukarev // Semicond. Sci. Technol. – 1998. – Vol. 13. – P. 890-894.
8. Wright G. The effects of chemical etching on the charge collection efficiency of {111} oriented $Cd_{0,9}Zn_{0,1}Te$ nuclear radiation detectors / G. Wright, Y. Cui, U.N. Roy, C. Barnett, K. Reed, A. Burger, F. Lu, L. Li, R.B. James // IEEE Trans. Nucl. Sci. – 2002. Vol. 49. Issue 5. – P. 2521-2525. doi:10.1109/TNS.2002.803852
9. Томашик З.Ф. Травлення монокристалів CdTe, CdTe(Ge), CdTe(Sn), CdTe(Pb) водними растворами $(NH_4)_2Cr_2O_7$ + HBr + лимонная кислота / З.Ф. Томашик, П.С. Чухненко, В.Г. Иваницкая, В.Н. Томашик., Г.М. Окрепка, И.Б. Стратийчук // Неорган. матер. – 2012. – Т. 48, № 2. – С. 157-161.
10. Чухненко П.С. Взаємодія нелегованого та легованого CdTe із травильними композиціями $(NH_4)_2Cr_2O_7$ – HNaI – органічна кислота: дис. ... канд. хім. наук: 02.00.21 / Чухненко Поліна Сергіївна. – Київ, 2013. – 148 с.
11. Чухненко П.С. Хімічне травлення легованих елементами IV групи монокристалів

- CdTe водними розчинами $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ –HBr / П.С. Чухненко, В.Г. Іваніцька, З.Ф. Томашик, В.М. Томашик, І.Б. Стратійчук // Наук. вісник Чернів. ун-ту. – 2009. – Вип. 473. – С. 43-46.
12. Чайка М.В. Хімічна взаємодія CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ та $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ з водними розчинами $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ –HBr (HCl) / М.В. Чайка, Р.О. Денисюк, З.Ф. Томашик, В.М. Томашик // Вопросы химии и хим. технологии. – 2018. – № 1. – С. 51-56
13. Чайка М.В. Особливості хімічного розчинення монокристалів CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ та $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ у водних розчинах $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ –HBr – $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_6$ / М.В. Чайка, З.Ф. Томашик, В.М. Томашик, Г.П. Маланич, А.А. Корчовий // Вопросы химии и хим. технологии. — 2018. — № 6. — С. 99–106.
14. Венгель П.Ф. Химическое травление теллурида кадмия растворами брома в бромистоводородной кислоте / П.Ф. Венгель, В.Н. Томашик, А.В. Фомин // Журн. прикл. химии. – 1992. – Т. 65, № 4. – С. 923-925.
15. Томашик В.Н. Применение математического планирования эксперимента для жидкостного травления полупроводников / В.Н. Томашик, А.А. Сава // Заводск. лаборатория. – 1987. – Т. 53, № 7. – С. 65.
16. Перевошиков В.А. Процессы химико-динамического полирования поверхности полупроводников / В.А. Перевошиков // Высокочистые вещества. – 1995. – № 2. – С. 5-29.

Summary

*Chayka M.V.^{1,2}, Tomashyk Z.F.², Tomashyk V.M.², Malanych G.P.², Denysyuk R.O.¹

¹ Ivan Franko Zhytomyr State University, vul. Velyka Berdychivska 40, 10008 Zhytomyr, Ukraine;

² V. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, pr. Nauki 41, 03028 Kyiv, Ukraine,

*e-mail: laridae92@gmail.com

THE CHEMICAL ETCHING OF THE CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ AND $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ SINGLE CRYSTALS WITH THE $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – HBr – ACETIC ACID AQUEOUS SOLUTIONS

The nature of the chemical dissolution of the CdTe single crystals and $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ and $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ solid solutions in $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ –HBr – CH_3COOH aqueous solutions has been investigated under reproducible hydrodynamics conditions. The diagrams “*solution composition vs. dissolution rate*” have been plotted and the concentration limits of the polishing and non-polishing solutions have been determined, the effects of the nature of organic component on the rate and character of chemical dissolution have been revealed. According to the results of kinetics study of the dissolution process, it is limited by diffusion stages. The surface state of the single crystals after chemical-dynamic polishing using newly developed and optimized etchants with low rates of chemical polishing was characterized by means of metallography and profilometry.

Keywords: chemical etching, cadmium telluride, etchant, single crystals, dissolution rate, chemical-dynamic polishing.