

УДК 542.61:546.47/49'24

Р.О. Денисюк ^a, В.М. Томашик ^b, Є.Є. Гвоздієвський ^a

ВЗАЄМОДІЯ МОНОКРИСТАЛІВ ТВЕРДИХ РОЗЧИНІВ $Zn_xCd_{1-x}Te$ ТА $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ З ТРАВІЛЬНИМИ КОМПОЗИЦІЯМИ I_2-HI

^a Житомирський державний університет імені Івана Франка, м. Житомир
^b Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України, м. Київ

Досліджено процеси хімічного травлення монокристалів CdTe і твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ ($0,04 < x < 0,1$) та $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ в розчинах йоду в йодидній кислоті. Визначено залежності швидкості взаємодії вказаних матеріалів від концентрації йоду в суміші, а також від складу монокристалу. Встановлено кінетичні закономірності хімічного полірування поверхонь напівпровідників від температури та швидкості обертання диска та показано, що полірування відбувається за змішаним механізмом. Оптимізовано склади поліруючих травників і режими хіміко-динамічного оброблення поверхні досліджуваних монокристалів. Визначено залежність значення електродних потенціалів процесу розчинення вказаних напівпровідників від концентрації окисника в травільному розчині. Показано, що зі збільшенням вмісту цинку в складі напівпровідника зростає швидкість розчинення та електродний потенціал взаємодії.

Ключові слова: напівпровідник, твердий розчин, кадмій телурид, хіміко-динамічне полірування, хімічне травлення, енергія активації, електродний потенціал.

Вступ

Хімічне оброблення поверхні напівпровідникових матеріалів і плівок є невід'ємною складовою технології виготовлення різноманітних приладів сучасної електроніки. Характеристики напівпровідникових приладів залежать від технологічних особливостей їх виготовлення і властивостей поверхонь робочих елементів на основі CdTe та твердих розчинів на його основі. Наявність на поверхнях дислокацій, забруднень або мікротріщин призводить до утворення структурних дефектів в епітаксійних шарах, що впливає на надійність роботи приладів та їх якість [1]. Для різних оброблень поверхні CdTe, $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ та $Zn_xCd_{1-x}Te$ перспективне використання йодовмісних розчинів, які володіють хорошими полірувальними властивостями і характеризуються низькими швидкостями травлення, що дозволяє контролювати процес оброблення напівпровідникових матеріалів.

Для хімічного полірування поверхні монокристалів твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ найчастіше використовуються бромовмісні суміші: розчини броду в метанолі [2] або в ДМФА [3]. Такі травники розчиняють поверхню з великою швидкістю, характеризуються високою токсичністю, а на поверхні іноді утворюються нероз-

чинні продукти реакції, які важко видалити, внаслідок чого якість полірування погіршується.

Для оброблення поверхні використовується також розчини броду в бромидній кислоті причому взаємодія CdTe з Br_2 відбувається за змішаним механізмом [4]. При травленні такими розчинами поверхня кадмій телуриду заряджається позитивно, що свідчить про її збагачення телуром.

Як окисник елементарний йод використовується досить часто в тих випадках, коли необхідно використовувати травники з відносно низькими швидкостями розчинення [5]. Для хіміко-динамічного полірування (ХДП) використовують переважно розчини йоду в органічних розчинниках [6–8] причому низька концентрація йоду не дозволяє одержати досить якісну поліровану поверхню. Збільшення масової частки йоду понад 9 мас.% підвищує швидкість розчинення та покращує якість полірування, яке відбувається за дифузійним механізмом.

В літературі немає відомостей про використання травільних сумішей I_2-HI для хімічного оброблення здійснені монокристалів твердих розчинів $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ та $Zn_xCd_{1-x}Te$, але здійснені нами попередні дослідження показали їх пер-

спективність для ХДП вказаних напівпровідників. Автори [9] використовували розчини йоду в йодидній кислоті для ХДП $Cd_{1-x}Mn_xTe$. Встановлено, що в цьому випадку полірування відбувається за змішаним дифузійно-кінетичним механізмом.

Експериментальна частина

Для дослідження використовували монокристалічні зразки CdTe *n*-типу провідності, вирощені методом Бріджмена і орієнтовані в напрямі [10], а також тверді розчини $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$, $Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$ та $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$. Площа пластин становила приблизно $0,5 \text{ см}^2$, а товщина – $1,5\text{--}2,0 \text{ мм}$. Перед травленням зразки механічно шліфували водними суспензіями абразивних порошків, поступово зменшуючи діаметр зерна абразиву від 10 до 1 мкм, а потім полірували алмазними пастами. Після кожного оброблення пластини ретельно відмивали теплою водою з додаванням мийного засобу та обезжирювали етиловим спиртом. Зразки приклеювали пінцетом неробочою поверхнею на кварцові підкладки та закріплювали в тримач установки для ХДП, що дозволяє здійснювати процес розчинення в хіміко-динамічних умовах з використанням методу диска, що обертається. Перед вивченням процесів травлення з поверхні напівпровідників видаляли порушений при механічному обробленні шар товщиною $60\text{--}100 \text{ мкм}$ оброблення розчином того ж складу, в якому здійснювалось дослідження. Лімітуючі стадії процесу розчинення матеріалів визначали з залежностей швидкості травлення від температури ($T=283\text{--}303 \text{ К}$) та від швидкості обертання диску ($22\text{--}122 \text{ хв}^{-1}$) [10]. Для приготування травильних сумішей використовували йод, 57%-ву йодидну кислоту та 1 н. водний розчин натрій тіосульфату (всі реактиви марки “х.ч.”).

Швидкість розчинення зразків визначали за зменшенням їх товщини за допомогою годинникового індикатора ІМІГП з точністю $\pm 0,5 \text{ мкм}$. Мікроструктуру одержаних після травлення поверхонь досліджували з використанням універсального контрольного мікроскопа ZEISS JENATECH INSPECTION з цифровою відеокамерою при збільшенні від $25\times$ до $1600\times$. Для вивчення мікрорельєфу і структури поверхні пластин після травлення використовували механічний контактний метод визначення шорсткості поверхні. Виміри виконували за допомогою профілографа ДЕКТАК 3030 AUTO II, який дозволяє точно визначати вертикальні відхилення від середньої лінії – мікронерівності, що знаходяться в межах висот від 100 мкм до 50 \AA .

Травильні суміші, що досліджувалися, готували безпосередньо перед розчиненням і витримували 120 хв для встановлення в них хімічної рівноваги. Після закінчення процесу травлення

зразки промивали спочатку в 1 н. водному розчині $Na_2S_2O_3$ для повного видалення залишків травника, потім декілька разів великою кількістю дистильованої води і висушували в потоці сухого повітря.

Для потенціометричного дослідження використовували зразки, з яких готували точкові електроди за допомогою індієвої пайки. Особливу увагу приділяли омичності контакту і надійності його ізоляції. Місце контакту і поверхню електрода, що не бере участь в експерименті, ізолювали хімічно стійким композитом EVICROL®. При вимірюванні потенціалів електродом порівняння слугував насичений хлорсрібний електрод. Електродні потенціали вимірювали та записували на персональний комп'ютер з інтервалом 2 с протягом 2 хв за допомогою іонометра І-160М при температурі $293,0 \pm 0,5 \text{ К}$ в статичному режимі.

Результати та їх обговорення

Концентраційна залежність швидкості розчинення монокристалів CdTe та твердих розчинів $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$, $Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$ та $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ в травильних сумішах $I_2\text{--}HI$ надана на рис. 1. Дослідження здійснювали з використанням установки для ХДП при швидкості обертання диска $80,0 \pm 0,1 \text{ хв}^{-1}$ та температурі $293,0 \pm 0,5 \text{ К}$ в інтервалі концентрацій йоду в йодидній кислоті $3\text{--}15 \text{ мас.}\%$. Встановлено, що швидкість травлення кадмій телуриду та твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ та $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ зростає зі збільшенням концентрації йоду в йодидній кислоті. При обробленні в 3%-вому розчині йоду в йодидній кислоті поверхня CdTe покривалась тонким оксидним шаром, а швидкість розчинення при цьому була найменшою. При використанні більш концентрованих розчинів ($6\text{--}15 \text{ мас.}\% I_2$ в HI) швидкість травлення зростає до 13 мкм/хв , а поверхня стає полірованою. У випадку розчинення та $Zn_xCd_{1-x}Te$ всі досліджувані травники володіють поліруючими властивостями зі швидкістю розчинення від 5 до $14,3 \text{ мкм/хв}$. Полірування поверхні $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ відбувається лише при використанні більш концентрованих розчинів йоду ($9\text{--}15 \text{ мас.}\%$) в HI, а швидкість розчинення становить $7\text{--}11,5 \text{ мкм/хв}$. Помітно, що CdTe має дещо вищі швидкості розчинення, ніж $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$, але нижчі, ніж тверді розчини $Zn_xCd_{1-x}Te$, причому швидкість травлення зростає зі збільшенням вмісту Zn в цих твердих розчинах.

В результаті вимірювання електродних потенціалів процесу розчинення CdTe та твердих розчинів на його основі у всіх травильних композиціях системи $I_2\text{--}HI$ побудовано залежності зміни електродних потенціалів від концентрації I_2 (рис. 2). Встановлено, що зі збільшенням концентрації йоду в травильній композиції зро-

стають електродні потенціалів розчинення кадмій телуриду та твердих розчинів на його основі, при цьому, відповідно, відбувається зростання швидкості травлення. При підвищенні електрорушійної сили процесу розчинення відбувається покращення якості поверхні, що обробляється.

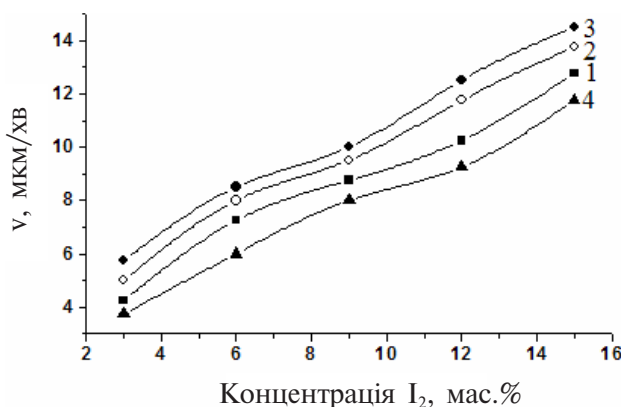


Рис. 1. Концентраційні залежності швидкості травлення CdTe (1), $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$ (2), $Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$ (3), $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ (4) в розчинах I_2 –HI ($T=293\text{ K}$, $\gamma=80\text{ хв}^{-1}$)

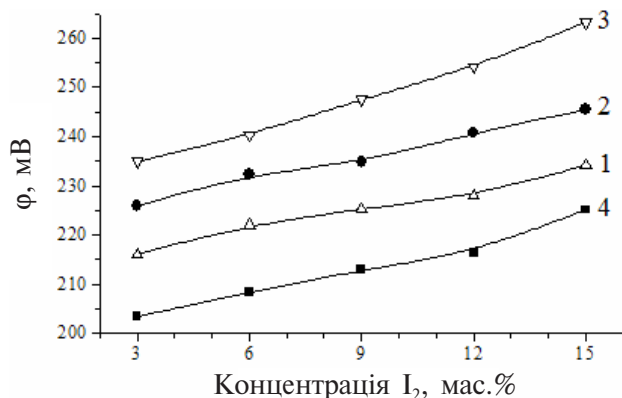


Рис. 2. Залежність зміни електродних потенціалів CdTe (1), $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$ (2), $Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$ (3), $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ (4) від концентрації окисника в травильному розчині системи I_2 –HI

При заміщенні атомів кадмію на атоми цинку має збільшуватись значення електродних потенціалів розчинення, оскільки цинк більш активний в порівнянні з кадмієм, і чим більше цинку, тим більшим повинна бути електрорушійна сила даної системи, що і спостерігається в

експерименті. Цим пояснюється збільшення швидкості травлення твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ в порівнянні з CdTe. Альтернативна ситуація спостерігається з появою Hg у складі твердого розчину. Твердий розчин $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ має найменші електродні потенціали розчинення, оскільки меркурій є менш активним ніж кадмій. Цим пояснюються низькі швидкості травлення (3,75–11,5 мкм/хв), і зменшення якості полірованої поверхні $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ в порівнянні з CdTe та $Zn_xCd_{1-x}Te$.

Для 9%-вого розчину I_2 в HI побудовано залежності швидкості розчинення CdTe, $Zn_xCd_{1-x}Te$ та $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ (v) від швидкості обертання диска (γ) в координатах $v^{-1}-\gamma^{-1/2}$ (рис. 3,а). З отриманих залежностей встановлено, що процес розчинення CdTe у вказаному травнику відбувається за змішаним механізмом, оскільки пряма відтинає відрізок на осі ординат. Для перевірки цього висновку визначено температурну залежність швидкості розчинення кадмій телуриду при швидкості обертання диска 80 хв^{-1} (рис. 3,б). З цієї залежності розраховано уявну енергію активації (E_a) процесу полірування досліджуваних зразків (табл. 1), що також свідчить про змішаний дифузійно-кінетичний механізм з переважанням дифузійних стадій, оскільки уявна енергія активації має значення близькі до 40 кДж/моль [10,11].

За отриманими експериментальними результатами визначено склади травильних композицій, що можуть бути використані для формування полірованих поверхонь монокристалічних зразків CdTe, $Zn_xCd_{1-x}Te$ та $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ (табл. 2). Розроблено також методику хімічного оброблення поверхні напівпровідників, яка включає очищення органічними розчинниками, процес травлення та фінішне промивання в розчинах, що розчиняють залишки травильних сумішей. Встановлено, що для отримання якісної полірованої поверхні досліджуваних напівпровідників методом ХДП процес необхідно здійснювати в інтервалі температур $295\text{--}298\text{ K}$ при швидкості обертання диска 80 хв^{-1} . Після хімічної оброблення пластини необхідно промивати в 1 н. водному розчині $Na_2S_2O_3$ та дистильованій воді.

Висновки

Досліджено особливості фізико-хімічної взаємодії монокристалів CdTe та твердих роз-

Таблиця 1
Уявна енергія активації (E_a) та логарифми передекспоненційного множника ($\ln C_E$) в полірувальному 9%-вому розчині I_2 в HI ($\gamma=80\text{ хв}^{-1}$)

Напівпровідник	CdTe	$Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$	$Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$	$Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$
\bar{A}_a , кДж/моль	38,4	37,7	37,1	46,2
$\ln C_E$	18,1	17,8	17,5	21,0

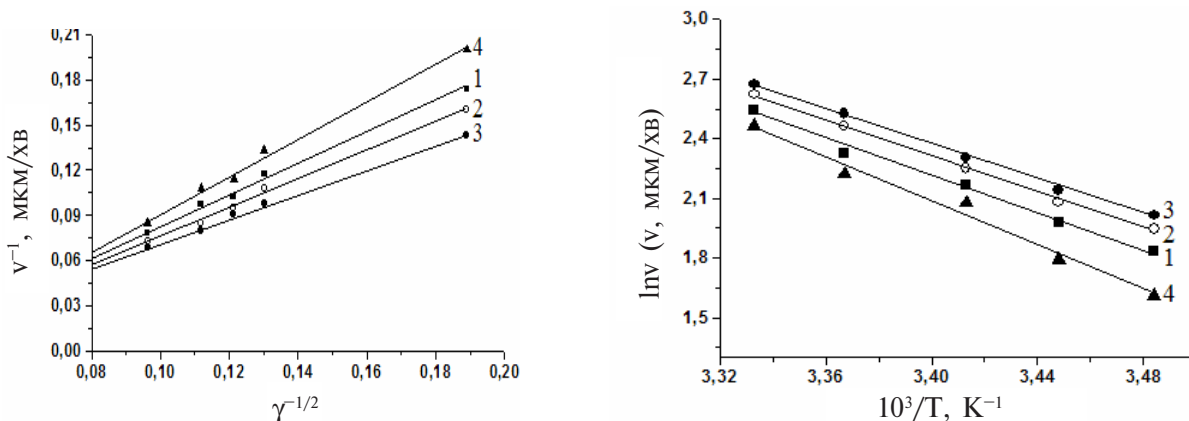


Рис. 3. Залежність швидкості розчинення CdTe (1), Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te (2), Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te (3) та Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te (4) від швидкості перемішування (T=293 K) (а) та від температури ($\gamma=82$ хв⁻¹) (б) в 9%-вому розчині I₂ в HI

Таблиця 2
Склади полірувальних травильних композицій системи I₂–HI

Напівпровідник	Вміст I ₂ в HI, мас.%	v полірування, мкм/хв
CdTe	6–15	7,25–12,50
Zn _{0,04} Cd _{0,96} Te	3–15	5,00–13,50
Zn _{0,1} Cd _{0,9} Te	3–15	5,75–14,25
Cd _{0,2} Hg _{0,8} Te	9–15	7,00–11,5

чинів Cd_{1-x}Zn_xTe і Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te з травильними композиціями I₂–HI. Визначено вплив концентрації окисника на кінетику хімічної взаємодії та якість полірованої поверхні CdTe і твердих розчинів Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te, Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te та Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te в розчинах системи I₂–HI. Встановлено, що розчинення всіх досліджуваних напівпровідників в поліруючих травниках відбувається за змішаним дифузійно-кінетичним механізмом. Визначено електродні потенціали розчинення зразків CdTe та твердих розчинів Zn_xCd_{1-x}Te і Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te в полірувальних травних композиціях системи I₂–HI та встановлено, що чим більша концентрація окисника у травильних розчинах, тим вищі значення електродних потенціалів. Показано, що збільшення вмісту Zn у складі твердого розчину призводить до зростання ЕРС розчинення, при цьому спостерігається підвищення швидкості травлення зразків напівпровідника та покращення якості обробленої поверхні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Білевич Є.О. Формування полірованої поверхні монокристалів телуриду кадмію та твердих розчинів на його основі в травильних композиціях HNO₃–HNaI–комплексотворювач для приладів електронної техніки: дис...канд. техн. наук: 05.27.06 / Є.О. Білевич – К., 2002. – 176 с.
- Томашик В.Н., Томашик З.Ф. Полирующее травле-

ние полупроводниковых соединений типа A^{II}B^{VI} // Неорган. материалы. – 1997. – Т.33. – № 12. – С.1451-1455.

3. Исследование состояния поверхности CdTe / А.К. Гутаковский, В.М. Елисеев, Р.И. Любинская, Н.В. Лях и др. // Поверхность. Физика, химия, механика. – 1988. – № 9. – С.80-88.

4. Венгель П.Ф., Томашик В.Н., Фомин А.В. Химическое травление теллурида кадмия растворами брома в бромисто-водородной кислоте // Журн. прикл. химии. – 1992. – Т.65. – № 4. – С.923-925.

5. Перевощиков В.А. Процессы химико-динамического полирования поверхности полупроводников // Высоко-чистые вещества. – 1995. – № 2. – С.5-29.

6. Взаємодія монокристалічного CdTe різної кристалграфічної орієнтації з розчинами системи I₂–CH₃OH / В.Г. Іваницька, З.Ф. Томашик, П.І. Фейчук та ін. // Вопр. химии и хим. технологии. – 2006. – № 3. – С.15-18.

7. Томашик З.Ф., Гуменюк О.Р., Томашик В.Н. Химическое травление теллурида кадмия и твердых растворов на его основе в йодметанольных травильных композициях // Конденсированные среды и межфазные границы. – 2002. – Т.4. – № 2. – С.159-161.

8. Влияние кристаллографической ориентации монокристаллов CdTe на закономерности их химического травления в растворах иода в диметилфосфамиде / З.Ф. Томашик, В.Г. Иваницкая, В.Н. Томашик и др. // Журн. неорган. химии. – 2005. – Т.50. – № 11. – С.1765-1768.

9. Хімічне розчинення монокристалів CdTe та твердих розчинів Cd_{1-x}Mn_xTe в травильних сумішах I₂–HI / Р.О. Денисюк, З.Ф. Томашик, О.С. Чернюк та ін. // Фізика і хімія твердого тіла. – 2009. – Т.10. – № 1. – С.134-137.

10. Физико-химические методы обработки поверхности полупроводников / Б.Д. Луфт, В.А. Перевощиков, Л.Н. Возмилова и др. – М.: Радио и связь. – 1982. – 136 с.

11. Изидинов С.О., Блохина А.П. Кинетика параллельно-последовательных реакций в процессах формирования пленки на кремнии в HF с добавками HNO₃ // Журн. прикл. химии. – 1978. – Т.51. – № 12. – С.2645-2648.

Надійшла до редакції 8.02.2016

THE INTERACTIONS OF $Zn_xCd_{1-x}Te$ AND $Cd_{0.2}Hg_{0.8}Te$ SOLID SOLUTIONS SINGLE CRYSTALS WITH I_2-HI ETCHING COMPOSITIONR.O. Denysyuk ^a, V.M. Tomashyk ^b, Y.Y. Gvozdiyevskiy ^a^a Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr, Ukraine^b V.Ye. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NAS of Ukraine, Kiev, Ukraine

The chemical etching of CdTe and $Zn_xCd_{1-x}Te$ ($x=0.04; 0.1$) and $Cd_{0.2}Hg_{0.8}Te$ solid solutions by the mixtures of iodine in iodide acid has been investigated. The dependences of an interaction rate of mentioned above materials on the iodine content and the composition of the solid solution single crystals has been studied using a rotating disk. It was found that as the amount of iodine increases the rate of dissolution also increases and the treated surface quality improves. The temperature dependence of the dissolution rate was used to determine the apparent activation energy and it was found that the polishing occurs via a mixed mechanism. The polishing etchant compositions and modes of the chemical dynamic polishing of the CdTe and $Zn_xCd_{1-x}Te$ ($x=0.04; 0.1$) and $Cd_{0.2}Hg_{0.8}Te$ surfaces have been optimized. The electrode potential dependence of these semiconductors dissolution versus the oxidant concentration in the etching solution has been determined. It has been shown that increasing the zinc content in the solid solution increases the rate of dissolution and dissolution electrode potential.

Keywords: semiconductor; solid solution; cadmium telluride; chemical dynamic polishing; chemical etching; apparent activation energy; electrode potential.

REFERENCES

1. Bilevych E.O., *Formuvannya polirivanoi poverkhny monokrystaliv telurydu kadmiyu ta tverdych rozchyniv na yogo osnovi v travyl'nykh kompozytsiyakh HNO_3-HHal -kompleksoutvoruvach dl'ya prykladiv elektronnoi tekhniki* [Formation of the polished surface of cadmium telluride and solid solutions based on its single crystals in etching compositions HNO_3-HHal -complexing agent for electronic equipment devices]: thesis for the degree of Candidate of Technical Sciences, V.Ye. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics of NAS of Ukraine, Kyiv, 2002. (in Ukrainian).
2. Tomashyk V.N. Tomashyk Z.F. Poliruyushchee travleniye poluprovodnikovyykh soedineniy tipa A^IVB^VI [Polishing etching of II-VI semiconductor compounds]. *Inorganic Materials*, 1997, vol. 33, no. 12, pp. 1451-1455. (in Russian).
3. Hutakovskyy A.K., Eliseeva V.M. Lyubynskaya R.I., Lyakh N.V. Issledovanie sostoyaniya poverhnosti CdTe [Investigation of the CdTe surface]. *Poverkhnost'. Fizika, Khimiya, Mekhanika*, 1988, vol. 9, pp. 80-88. (in Russian).
4. Vengel P.F., Tomashyk V.N., Fomin A.V. Khimicheskoe travleniye telluryda kadmiya rastvoramy broma v bromystovodorodnoi kyslote [Chemical etching of the cadmium telluride by the solutions of bromine in hydrobromic acid]. *Zhurnal Prikladnoi Khimii*, 1992, vol. 65, no. 4, pp. 923-925. (in Russian).
5. Perevoshchikov V.A. Protsessy khimiko-dinamicheskogo polirovaniya poverkhnosti poluprovodnykov [The processes of chemical dynamic polishing of semiconductor surfaces]. *Vysokochistye Veshchestva*, 1995, vol. 2, pp. 5-29. (in Russian).
6. Ivanits'ka V.G. Tomashyk Z.F., Feychuk P.I., Shcherbak L.P., Tomashyk V.M. Vzayemodiya monokrystalichnogo CdTe riznoi krystalografichnoi orientatsii z rozchynamy systemy I_2-CH_3OH [Interaction of CdTe single crystals of different crystallographic orientation with I_2-CH_3OH solutions]. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2006, vol. 3, pp. 15-18. (in Ukrainian).
7. Tomashyk Z.F., Gumenyuk O.R., Tomashyk V.N. Khimicheskoe travleniye tellurida kadmiya i tverdych rastvorov na yego osnove v iodmetanol'nykh travyl'nykh kompozitsiyakh [Chemical etching of cadmium telluride and solid solutions based on it by iodine-methanol etching compositions]. *Kondensirovannyye Sredy i Mezhfaznyye Granitsy*, 2002, vol. 4, no. 2, pp. 159-161. (in Russian).
8. Tomashyk Z.F., Ivanytskaya V.G., Tomashyk V.N., Feychuk P.I., Shcherbak L.P. Vliyaniye krystalograficheskoi orientatsii monokrystallov CdTe na zakonmernosti ikh khimicheskogo travleniya v rastvorakh ioda v dimetilfomamide [Influence of CdTe single crystals orientation on the peculiarities of their chemical etching in the solutions of iodine in dimethyl formamide]. *Zhurnal Neorganicheskoi Khimii*, 2005, vol. 50, no. 11, pp. 1-4. (in Russian).
9. Denysyuk R.O., Tomashyk Z.F., Chernyuk O.S., Tomashyk V.M., Gnativ I.I. Khimichne rozchynnennya monokrystaliv CdTe ta tverdych rozchyniv $Cd_{1-x}Mn_xTe$ v travyl'nykh sumishchakh I_2-HI [Chemical dissolution of CdTe and $Cd_{1-x}Mn_xTe$ solid solutions single crystals in I_2-HI etching compositions]. *Fizyka i Khimiya Tverdogo Tila*, 2009, vol. 10, no. 1, pp. 134-137. (in Ukrainian).
10. Luft B.D., Perevoshchikov V.A., Vozmylova L.N., *Fiziko-khimicheskiye metody obrabotki poverkhnosti poluprovodnikov* [Physical and chemical methods of semiconductors surface treatment]. Radio i Sviaz' Publishers, Moscow, 1982. 136 p. (in Russian).
11. Izidinov S.O., Blokhin A.P. Kinetika paralel'no-posledovatel'nykh reaktsii v protsessakh formirovaniya plenki na kremnii v HF s dobavkami HNO_3 [Kinetics of parallel and sequential reactions in the formation of films on silicon in HF containing HNO_3 additives]. *Zhurnal Prikladnoi Khimii*, 1978, vol. 51, no. 12, pp. 2645-2648. (in Russian).