

УДК 546.48'24

*Е.Е. Гвоздиевский^а, Р.А. Денисюк^а, В.Н. Томашик^б, Г.П. Маланич^б, З.Ф. Томашик^б,
А.А. Корчевой^б*

ЖИДКОФАЗНОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ $CdTe$, $Zn_xCd_{1-x}Te$ ($x=0,04; 0,1$) И $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ С ТРАВИЛЬНЫМИ КОМПОЗИЦИЯМИ $HNO_3-HI-C_2H_4(OH)_2$

^а Житомирский государственный университет имени Ивана Франка, г. Житомир, Украина

^б Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарёва Национальной академии наук Украины, г. Киев, Украина

В воспроизводимых гидродинамических условиях при использовании методики вращающегося диска (ламинарное течение) исследован характер химического растворения монокристаллов $CdTe$ и твёрдых растворов $Zn_xCd_{1-x}Te$ ($x=0,04; 0,1$) и $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ в водных растворах HNO_3-HI -этиленгликоль. Построены диаграммы «состав травителя – скорость травления», определены границы областей полирующих растворов, изучены зависимости скоростей растворения кристаллов от температуры, скорости перемешивания травителей и состава твердых растворов. Определены лимитирующие стадии процесса химического травления. Показано, что исследуемые смеси, в которых йод выделяется в результате взаимодействия исходных компонентов травителя, характеризуются средними скоростями травления. Установлено, что увеличение концентрации этиленгликоля в составе травителя способствует уменьшению скорости растворения полупроводников и улучшению полирующих способностей травильных растворов HNO_3-HI -этиленгликоль. Минимальные значения скоростей травления достигаются при максимальном насыщении смеси органическим компонентом (60 об.%). Изучено состояние поверхности кристаллов после травления методами микроструктурного анализа и профилометрии, оптимизированы составы полирующих травителей и режимы химико-динамического полирования поверхности указанных полупроводников. Установлено, что химико-динамическое полирование монокристаллических полупроводников растворами состава HNO_3-HI -этиленгликоль способствует уменьшению структурных дефектов подложек и получению качественной полированной поверхности.

Ключевые слова: теллурид кадмия, твердые растворы, скорость травления, поверхность, химико-динамическое полирование.

DOI: 10.32434/0321-4095-2019-127-6-31-38

Введение

Полупроводники типа $A^{II}B^{VI}$, в частности, $CdTe$ и твердые растворы $Zn_xCd_{1-x}Te$ и $Cd_xHg_{1-x}Te$, находят широкое применение в электронике при создании устройств специального назначения. Изготовленные на основе $CdTe$ и $Zn_xCd_{1-x}Te$ полупроводниковые детекторы ионизирующего излучения обладают рядом преимуществ по сравнению с аналогичными приборами, в которых в качестве активных элементов использованы кремниевые $p-i-n$ -диоды, в частности, низкой (до 20 кэВ) границей диапазона регистрируемых

энергий и большей чувствительностью [1]. Эпитаксиальные слои $Cd_xHg_{1-x}Te$ являются основным материалом для получения многоэлементных фотоприемников инфракрасной области спектра [2].

Однако, несмотря на широкое практическое использование этих материалов, существуют определенные технологические проблемы при выборе оптимальных составов полирующих травителей как для химико-механического (ХМП), так и для химико-динамического полирования (ХДП). В связи с этим возникает необ-

ходимость проведения комплексных исследований процессов, происходящих на границе раздела указанных полупроводников с различными активными средами с целью создания новых травильных композиций и режимов обработки поверхности полупроводниковых материалов типа A^{IV}B^{VI}.

Для химической обработки поверхностей полупроводников CdTe, Zn_xCd_{1-x}Te и Cd_xHg_{1-x}Te наиболее распространенными являются растворы брома в метаноле. Чаще всего используют травители составов 0,05, 1, 2 и 5 об.% Br₂ в метаноле [3–6], которые эффективно удаляют нарушенный слой с поверхности указанных материалов. Кроме травителей Br₂+метанол применяют также растворы Br₂ в этаноле и пропаноле [5]. Однако после обработки такими растворами поверхность обогащена Te, который легко окисляется при воздействии воздуха. Кроме того, травление бромсодержащими растворами приводит к общей неровности поверхности, которая, по мнению авторов [6], отражает неоднородную скорость травления поверхности образцов. Бром в травителе также обуславливает прилипание микроосколков Zn_xCd_{1-x}Te, остающихся после предварительной обработки поверхности, что в свою очередь делает ее более проводимой.

Для финишной обработки поверхности монокристаллов на основе CdTe часто используют так называемые галогенвыделяющие травильные композиции, в которых галоген (Cl, Br, I) выделяется в процессе взаимодействия исходных компонентов. Наиболее медленные скорости полирования среди них присущи йодвыделяющим и йодсодержащим травителям, которые одновременно обладают меньшей токсичностью и сравнительно высоким качеством полирования, поэтому их рекомендуется использовать для разных этапов химической обработки монокристаллов CdTe и твердых растворов Cd_{1-x}Mn_xTe [7–10]. Так, авторами работы [11] показано, что добавление в йодвыделяющие растворы на основе H₂O₂–HI водного раствора молочной кислоты, имеющей довольно большую вязкость, позволяет в некоторой степени контролировать выделение свободного йода, который подводится к поверхности пластин Cd_{1-x}Mn_xTe при ХДП. При этом можно контролировать и скорость растворения исследуемых образцов. Травители с максимальным содержанием органической кислоты (60 об.% C₃H₆O₃) замедляют скорость полирования полупроводников, улучшая качество обрабатываемой повер-

ности. В то же время, увеличение содержания окислителя в растворе также замедляет скорость взаимодействия с кристаллами полупроводников.

Целью данной работы является исследование физико-химического взаимодействия монокристаллов CdTe и твердых растворов Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te, Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te и Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te с йодвыделяющими растворами HNO₃–HI–этиленгликоль, определение концентрационных границ травильных композиций по их воздействию на поверхность полупроводника, установление кинетических закономерностей процесса, разработка и оптимизация составов полирующих травителей и создание методик и режимов обработки исследуемых полупроводников для получения высококачественной полированной поверхности.

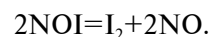
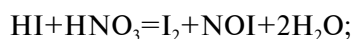
Методика эксперимента

Для проведения экспериментальных исследований использовали монокристаллические неориентированные образцы нелегированного CdTe *n*-типа проводимости, выращенного методом Бриджмена, а также твердых растворов Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te, Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te и Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te. Площадь пластин составляла ≈0,5 см², а толщина – 1,5–2,0 мм. Исследования проводили на установке для химико-динамического полирования (ХДП) [12], причем одновременно растворяли 3–4 образца.

Лимитирующие стадии процесса растворения материалов определяли из зависимостей скорости травления от температуры (T=283–303 K) и от скорости вращения диска (γ=22–122 мин⁻¹). Для приготовления травильных смесей использовали 54 %-ную йодистоводородную и 70 %-ную азотную кислоты, а также этиленгликоль (ЭГ) (реактивы марки “х.ч.” и “ос.ч.”).

Травильные композиции готовили, соблюдая определенный порядок смешивания. В первую очередь добавляли йодистоводородную кислоту, после этого – этиленгликоль, окислитель добавляли по каплям в последнюю очередь, что исключало возможность бурного протекания реакции с выделением свободного йода.

После приготовления йодвыделяющих растворов их выдерживали примерно 2 часа для полного установления химического равновесия взаимодействия между компонентами смеси согласно реакции:



Протравленные пластины промывали сначала водным раствором тиосульфата натрия для полного удаления йода с поверхности, а затем дистиллированной водой и высушивали на воздухе.

Скорость растворения определяли по уменьшению толщины кристалла до и после травления часовым индикатором ИЧ-1 с точностью $\pm 0,5$ мкм, причем различия в измеряемой толщине, как правило, не превышало 5%.

Для изучения микрорельефа и структуры поверхности пластин после травления использовали универсальный контрольный микроскоп ZEISS JENATECH INSPECTION с цифровой видеокамерой при увеличении от $25\times$ до $1600\times$ и механический контактный метод определения шероховатости поверхности с помощью профилографа ДЕКТАК 3030 AUTO II.

Морфологические исследования полированных поверхностей монокристаллов проводили методом атомно-силовой микроскопии (АСМ), используя микроскоп NanoScope IIIa Dimension 3000 (Digital Instruments/Bruker Corp.) в режиме периодического контакта (tapping mode) при комнатных условиях с использованием серийных кремниевых зондов NCH с номинальным радиусом округления острия до 10 нм (NanoWorld).

Результаты и их обсуждение

По результатам предыдущих исследований были выбраны концентрационные интервалы растворов, в которых травильные композиции $\text{HNO}_3\text{--HI--C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ являются гомогенными, а скорости травления монокристаллов CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ ($x=0,04; 0,1$) и $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$ не падали до нулевых значений. Изучение взаимодействия полупроводниковых материалов с растворами системы $\text{HNO}_3\text{--HI--C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ проводили в кон-

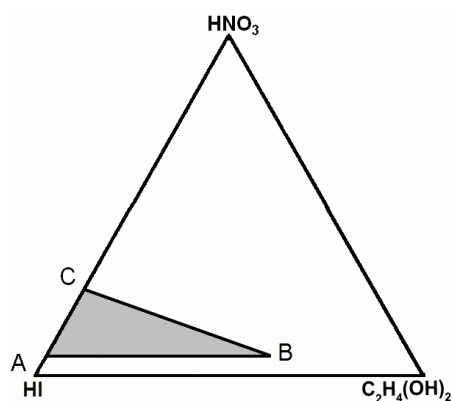


Рис. 1. Исследуемая область растворов системы $\text{HNO}_3\text{--HI--C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$

центрационном интервале с соотношением компонентов (в об.%): (5–25) HNO_3 :(35–95) HI :(0–60) $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ при $T=297\pm 0,5$ К и $\gamma=82$ мин⁻¹ (рис. 1).

Концентрационные зависимости скорости травления CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ ($x=0,04; 0,1$) и $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$ в водных растворах $\text{HNO}_3\text{--HI--C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ построены с использованием математического планирования эксперимента на симплексах (рис. 2). Как видно из рисунка, скорость растворения полупроводниковых материалов в исследованном интервале растворов изменяется от 2 до 13 мкм/мин. Максимальные значения скорости травления характерны для растворов с большим содержанием HI (угол А концентрационного треугольника), а минимальные – размещены в углу В – областях, максимально обогащенных ЭГ. При этом были выявлены области растворов с полирующими (область I) и неполирующими (область II) свойствами по отношению к поверхности исследуемых полупроводников (рис. 2). В неполирующих растворах на поверхности образцов образуется налет серого цвета, что приводит к пассивации поверхности и снижению скорости травления до 1 мкм/мин.

Анализируя диаграммы «состав травителя – скорость травления» CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ ($x=0,04; 0,1$) и $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$ в травильных композициях $\text{HNO}_3\text{--HI--C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ видно (рис. 1), что они похожи между собой, что свидетельствует об однотипном механизме растворения указанных полупроводников. Установлено, что для ХДП может быть использовано большинство исследованных растворов (табл. 1).

Таблица 1
Составы полирующих травителей $\text{HNO}_3\text{--HI--ЭГ}$ для ХДП кристаллов CdTe, $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ и $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$

Полупроводник	Состав травителя HNO_3 : HI :ЭГ, об.%	Скорость ХДП, мкм/мин
CdTe	(5–25):(42–95):(0–51)	2–11
$\text{Zn}_{0,04}\text{Cd}_{0,96}\text{Te}$	(5–25):(51–95):(0–36)	2–10
$\text{Zn}_{0,1}\text{Cd}_{0,9}\text{Te}$	(5–25):(51–95):(0–36)	2–13
$\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$	(5–25):(42–95):(0–51)	3–11

Зависимости скорости растворения CdTe, $\text{Zn}_{0,04}\text{Cd}_{0,96}\text{Te}$, $\text{Zn}_{0,1}\text{Cd}_{0,9}\text{Te}$ и $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$ от скорости вращения диска ($T=293\pm 0,5$ К) в полирующем растворе состава (об.%): 10 HNO_3 +75 HI +15 $\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ представлены на рис. 3,а. Видно, что соответствующие прямые могут быть экстраполированы в начало координат, что сви-

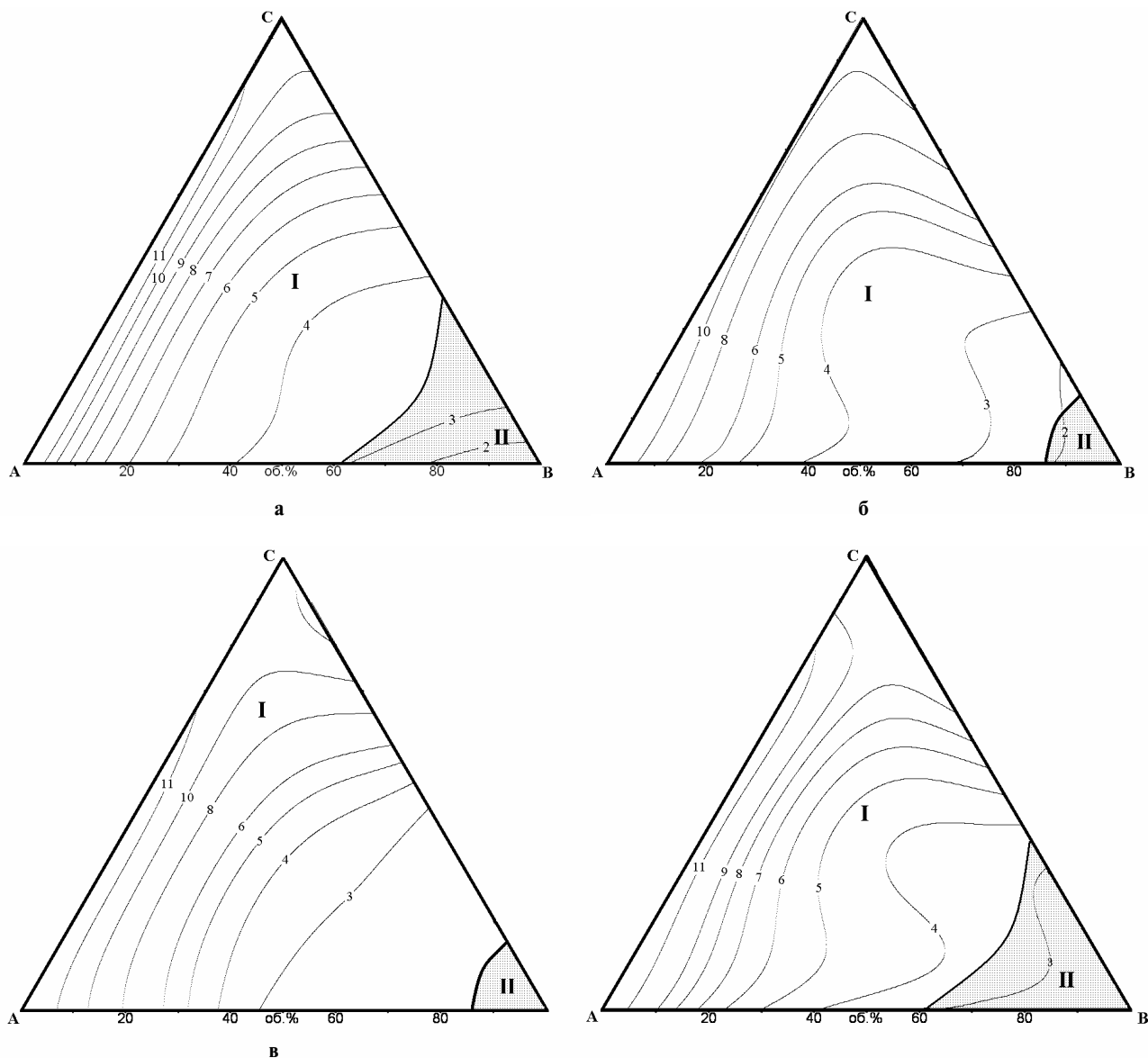


Рис. 2. Концентрационные зависимости скорости травления (мкм/мин) CdTe (а), $Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$ (б), $Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$ (в), $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ (г) ($T=297\text{ K}$, $\gamma=82\text{ мин}^{-1}$) при объемном соотношении $HNO_3:HI:C_2H_4(OH)_2$ в вершинах А, В, С, соответственно: А – 5:95:0; В – 5:35:60; С – 25:75:0 (I – область полирующих и II – неполирующих растворов)

детельствует о лимитировании процесса растворения диффузионными стадиями.

Температурная зависимость скорости растворения указанных полупроводников, построенная в координатах $\ln v$, $1/T$ (рис. 3,б) с использованием уравнения Аррениуса, дала возможность рассчитать значения кажущейся энергии активации процесса (E_a), (табл. 2), которая подтвердила выводы о диффузионном механизме процесса полирования [13].

На основании полученных экспериментальных результатов определены составы травильных композиций, обладающих полирующими свойствами по отношению к поверхности мо-

нокристаллов CdTe и твердых растворов $Zn_xCd_{1-x}Te$ ($x=0,04; 0,1$), а также $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$. С помощью металлографического анализа контролировали качество исследуемых образцов после

Таблица 2

Значения кажущейся энергии активации процесса растворения исследуемых полупроводников в растворе (об.%) : 10 HNO_3 +75 HI +15 $C_2H_4(OH)_2$ ($\gamma=82\text{ мин}^{-1}$)

Полупроводник	E_a , кДж/моль
CdTe	18,2
$Zn_{0,04}Cd_{0,96}Te$	20,0
$Zn_{0,1}Cd_{0,9}Te$	21,8
$Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$	19,8

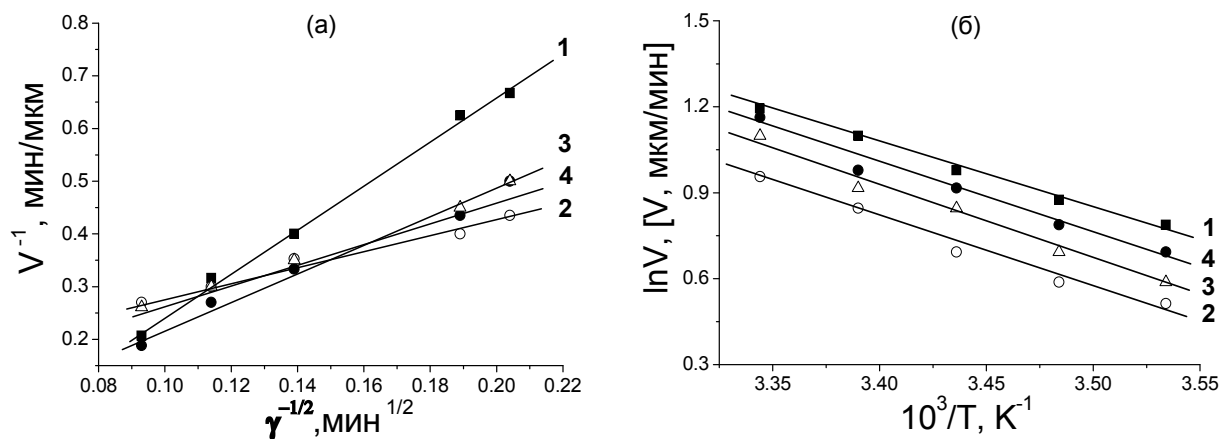


Рис. 3. Зависимость скорости растворения CdTe (1), Zn_{0.04}Cd_{0.96}Te (2), Zn_{0.1}Cd_{0.9}Te (3) и Cd_{0.2}Hg_{0.8}Te (4) от скорости вращения диска (T=293 К) (а) и от температуры ($\gamma=82$ мин⁻¹) (б) в растворе (об.%): 10 HNO₃+75 HI+15 C₂H₄(OH)₂

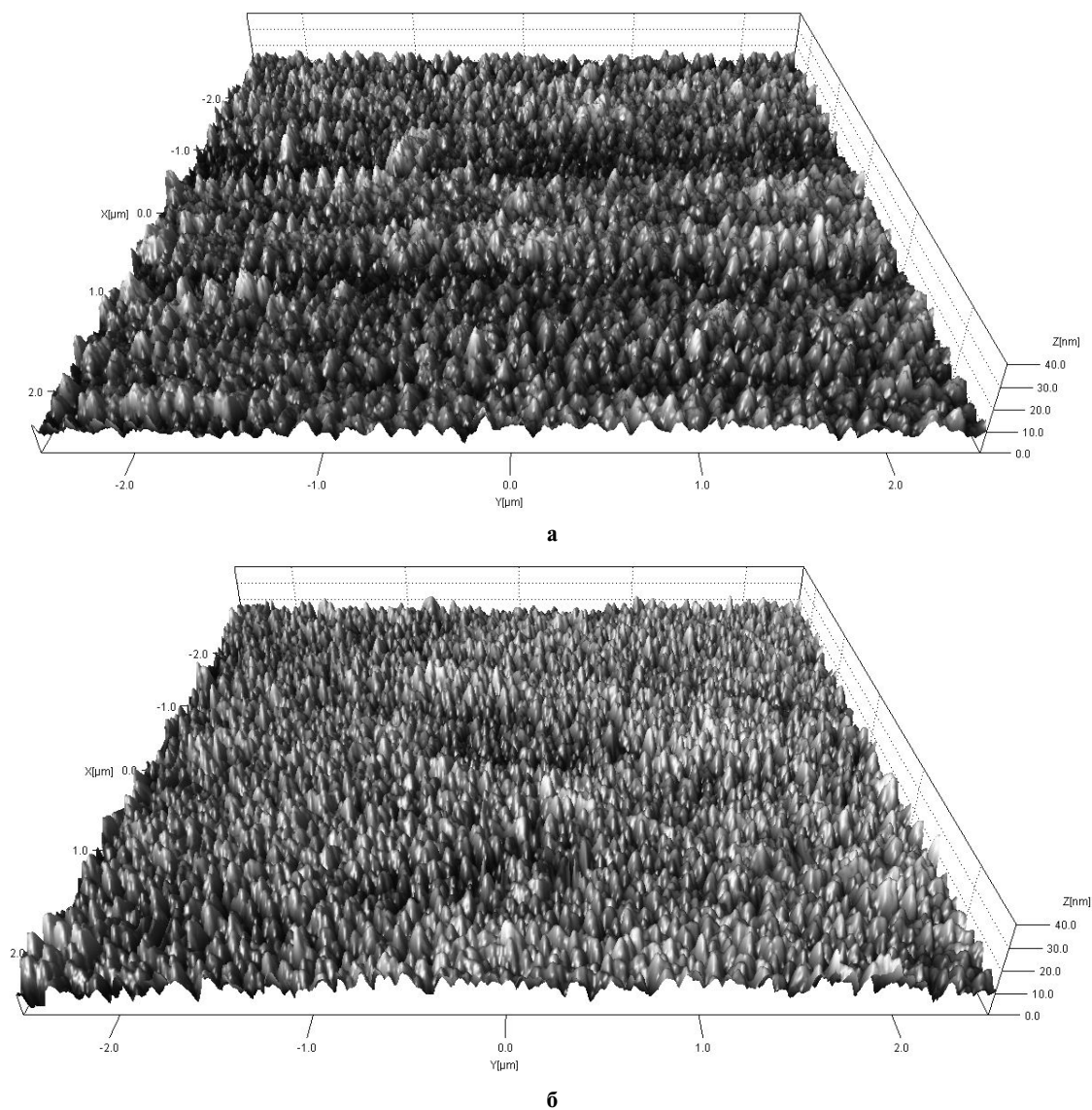


Рис. 4. Трехмерное АСМ-изображение поверхности монокристаллов Zn_{0.04}Cd_{0.96}Te (а) и Cd_{0.2}Hg_{0.8}Te (б) после ХДП (процесс проводили полирующим раствором HNO₃-HI-C₂H₄(OH)₂ в течение 5 мин, T=297 К, $\gamma=82$ мин⁻¹)

всех этапов обработки поверхности пластин (резки, шлифования, ХМП и ХДП). Методом АСМ исследовали только полированные поверхности. Были получены данные о состоянии поверхности исследуемых полупроводников после ХДП обработки на наноуровне (рис. 4). Параметры шероховатости поверхности исследуемых кристаллов после полирования травильными композициями $\text{HNO}_3\text{--HI--C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ следующие: средняя арифметическая шероховатость поверхности $R_a \approx 3,6$ нм, а $R_{ms} \approx 4,5$ нм (здесь и далее площадь анализируемого фрагмента составляла 5×5 мкм). Следует отметить, что согласно требованиям, предъявляемым к сверхгладким полированным поверхностям полупроводников, значения R_a не должны превышать 10 нм [14].

Для ХДП указанных полупроводников можно использовать полирующие травители $\text{HNO}_3\text{--HI--C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$ при $T=293 \pm 0,5$ К и $\gamma=82$ мин⁻¹. Протравленные пластины необходимо немедленно извлекать из травильной смеси и сразу же промывать сначала в 0,2 М растворе $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$ для полного удаления йода с поверхности, а затем несколько раз дистиллированной водой и высушивать потоком сухого воздуха. В случае необходимости длительного хранения образцов после обработки рекомендуется сохранять пластины в изопропанол или ДМФА с целью недопущения окисления кислородом воздуха полированной поверхности полупроводников.

При длительном хранении травильных композиций (более 7 дней) полирующие свойства ухудшаются. Это связано с тем, что йод постепенно выпадает из раствора в осадок.

Выводы

Исследован характер химического взаимодействия монокристаллов CdTe , $\text{Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te}$ ($x=0,04; 0,1$) и $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$ с растворами системы $\text{HNO}_3\text{--HI--C}_2\text{H}_4(\text{OH})_2$. Построены диаграммы «состав травителя–скорость травления», найдены области полирующих и неполирующих растворов. Установлено влияние состава твердых растворов на характер растворения этих материалов и показано, что кристаллы твердых растворов травятся несколько быстрее, чем CdTe , а величина областей неполирующих растворов изменяется следующим образом: $\text{Zn}_{0,04}\text{Cd}_{0,96}\text{Te} \approx \text{Zn}_{0,1}\text{Cd}_{0,9}\text{Te} < \text{CdTe} \approx \text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$. Исследованы кинетические закономерности процесса их растворения: зависимости скорости растворения от вращения диска и температуры. Показано, что введение этиленгликоля в состав травителей приводит к формированию полирующих растворов со скоростями травле-

ния 1–13 мкм/мин практически во всем исследуемом интервале концентраций. Это позволяет получать полированные поверхности указанных материалов с параметром $R_a \leq 10$ нм и применять их для финишного полирования указанных полупроводников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Особенности изготовления $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ -детектора ионизирующего излучения / Томашик З.Ф., Стратийчук И.Б., Томашик В.Н., Будзуляк С.И., Гнатив И.И., Комар В.К., Дубина Н.Г., Лоцько А.П., Корбутяк Д.В., Демчина Л.А., Вахняк Н.Д. // *Технология и конструирование в электронной аппаратуре*. – 2013. – № 1. – С.42-44.
2. Сизов Ф.Ф. Фотоэлектроника для систем видения в «невидимых» участках спектра. – К.: Академперіодика, 2008. – 458 с.
3. *Studies on surface processing and passivation of p-Hg_{1-x}Cd_xTe* / Singh R.R., Kaushik D., Sharma M., Gupta D.K., Pandey R.K. // *Semicond. Sci. Technol.* – 2008. – Vol.23. – Article No. 015016.
4. Qiang L., Wanqi J. Surface passivation and electrical properties of p-CdZnTe crystal // *Semicond. Sci. Technol.* – 2006. – Vol.21. – P.72-75.
5. Influence of surface preparation on CdZnTe nuclear radiation detectors / Zheng Q., Dierre F., Crocco J., Carcelen V., Bensalah H., Plaza J.L., Dieguez E. // *App. Surf. Science.* – 2011. – Vol.257. – P.8742-8746.
6. Novel approach to surface processing for improving the efficiency of CdZnTe detectors / Hossain A., Bolotnikov A.E., Camarda G.S., Cui Y., Jones D., Hall J., Kim K.H., Mwachhi J., Tong X., Yang G., James R.B. // *J. Electron. Mater.* – 2014 – Vol.43. – No. 8. – P.2771-2777.
7. Томашик В.Н., Томашик З.Ф. Полирующее травление полупроводниковых соединений типа $\text{A}^{\text{IV}}\text{B}^{\text{VI}}$ // *Неорган. материалы*. – 1997. – Т.33. – № 12. – С.1451-1455.
8. Химическое растворение монокристаллов CdTe и твердых растворов $\text{Cd}_{1-x}\text{Zn}_x\text{Te}$ в бромвыделяющих травильных композициях системы $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HBr}$ –этиленгликоль / З.Ф. Томашик, И.И. Гнатив, В.Н. Томашик, И.Б. Стратийчук // *Журн. неорган. химии*. – 2006. – Т.51. – № 8. – С.1406-1409.
9. Томашик З.Ф., Стратийчук И.Б., Томашик В.М. Взаємодія нелегованого та легovanого CdTe з травильними розчинами системи $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HBr}$ –тарtratна кислота // *Фізика і хімія твердого тіла*. – 2005. – Т.6. – № 1. – С.99-103.
10. Томашик З.Ф., Гуменюк О.Р., Томашик В.Н. Химическое травление теллурида кадмия и твердых растворов на его основе в йодметанольных травильных композициях // *Конденсир. среды и межфаз. границы*. – 2002. – Т.4. – № 2. – С.159-161.

11. Хімічна взаємодія $Cd_{1-x}Mn_xTe$ з травильними композиціями H_2O_2 –HI–лактатна кислота / Р.О. Денисюк, В.М. Томашик, З.Ф. Томашик, В.І. Гриців // Фізика і хімія твердого тіла. – 2012. – Т.13. – № 2. – С.410-414.

12. Хімічне полірування $CdTe$ та твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ і $Cd_{1-x}Hg_xTe$ водними розчинами HNO_3 –HI–тарtratна кислота / Гвоздієвський Є.Є., Денисюк Р.О., Томашик В.М., Томашик З.Ф., Гриців В.І. // Науковий вісник ЧНУ. Хімія. – 2013. – Вип.658. – С.136-140.

13. Сангвал К. Травление кристаллов: теория, эксперимент, применение. – М.: Мир, 1990. – 492 с.

14. Поп С.С., Шароді І.С. Фізична електроніка. – Львів: Євросвіт, 2001. – 250 с.

Поступила в редакцію 06.07.2018

РІДКОФАЗНА ВЗАЄМОДІЯ $CdTe$, $Zn_xCd_{1-x}Te$ ($x=0,04; 0,1$) ТА $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ З ТРАВІЛЬНИМИ КОМПОНЕНТАМИ HNO_3 –HI– $C_2H_4(OH)_2$

Є.Є. Гвоздієвський, Р.О. Денисюк, В.М. Томашик, Г.П. Маланич, З.Ф. Томашик, А.А. Корчовий

У відтворених гідродинамічних умовах з використанням методики диска, що обертається (ламінарна течія) вивчено характер хімічного розчинення монокристалів $CdTe$ та твердих розчинів $Zn_xCd_{1-x}Te$ ($x=0,04; 0,1$) і $Cd_{0,2}Hg_{0,8}Te$ у водних розчинах HNO_3 –HI–етиленгліколь. Побудовано діаграми «склад травника – швидкість травлення», встановлено межі ділянок поліруючих розчинів, вивчено залежності швидкості розчинення кристалів від температури, швидкості перемішування травників і складу твердих розчинів. Визначено лімітувальні стадії процесу хімічного травлення. Показано, що досліджувані суміші, в яких йод виділяється в результаті взаємодії вихідних компонентів травника, характеризуються середніми швидкостями травлення. Встановлено, що збільшення концентрації етиленгліколю в складі травника сприяє зменшенню швидкості розчинення напівпровідників та покращенню поліруючих властивостей травильних розчинів HNO_3 –HI–етиленгліколь. Мінімальні значення швидкостей травлення досягаються при максимальному насиченні суміші органічним компонентом (60 об.%). Вивчено стан поверхні кристалів після травлення методами мікроструктурного та профілографічного аналізів, оптимізовані склади поліруючих травників і режими хіміко-динамічного полірування поверхні вказаних напівпровідників. Встановлено, що хіміко-динамічне полірування монокристалічних напівпровідників розчинами складу HNO_3 –HI–етиленгліколь сприяє зменшенню структурних дефектів підкладки та отриманню якісної полірованої поверхні.

Ключові слова: телурид кадмію, тверді розчини, швидкість травлення, поверхня, хіміко-динамічне полірування.

LIQUID-PHASE INTERACTION OF $CdTe$, $Zn_xCd_{1-x}Te$ ($x=0.04; 0.1$) AND $Cd_{0.2}Hg_{0.8}Te$ WITH HNO_3 –HI– $C_2H_4(OH)_2$ ETCHING COMPOSITIONS

Ye.Ye. Hvozdiyevskiy^a, R.O. Denysyuk^a, V.M. Tomashyk^{b,*}, G.P. Malanych^b, Z.F. Tomashyk^b, A.A. Korchoviy^b

^a Zhytomyr Ivan Franko State University, Zhytomyr, Ukraine

^b V.Ye. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

* e-mail: tomashyk@isp.kiev.ua

The nature of chemical dissolution of $CdTe$ single crystals and $Zn_xCd_{1-x}Te$ solid solutions (where $x=0.04$ or 0.1) and $Cd_{0.2}Hg_{0.8}Te$ in aqueous solutions of HNO_3 –HI–ethylene glycol was investigated under reproducible hydrodynamic conditions using the method of a rotating disk (laminar flow). The diagrams «etching rate vs. composition of the etchant» have been constructed, the boundary compositions of the polishing solutions have been determined and the dependences of crystals dissolutions on temperature, stirring of the etchant and the composition of the solid solutions have been studied. The rate-determining steps of the process of chemical etching were established. It was shown that the studied mixtures, in which iodine was released due to the interaction of the initial components of the etchant, were characterized by average etching rates. It was established that an increase of the content of ethylene glycol promoted a decrease of the dissolution rate of semiconductors and enhanced the polishing properties of the HNO_3 –HI–ethylene glycol etching solutions. Minimum values of etching rates were achieved at a maximal saturation of the mixture by the organic component (60 vol.%). The polished surface of crystals after polishing was characterized by metallography and profilometry techniques. The compositions of polishing solutions and the conditions of the chemical-dynamic polishing of the surfaces of semiconductors under consideration have been optimized. It was established that chemical-dynamic polishing of the semiconductors by the HNO_3 –HI–ethylene glycol solutions ensured the reduction of the structural damages of the substrate and the formation of high-quality polished surfaces.

Keywords: cadmium telluride; solid solution; etching rate; surface; chemical-dynamic polishing.

REFERENCES

1. Tomashyk Z.F., Stratiichuk I.B., Tomashyk V.N., Budzulyak S.I., Gnativ I.I., Komar V.K., Dubina N.G., Lots'ko A.P., Korbutyak D.V., Demchina L.A., Vakhnyak N.D. Osobnosti izgotovleniya $Cd_{1-x}Zn_xTe$ -detektora ioniziruyushhego izlucheniya [Features of manufacturing $Cd_{1-x}Zn_xTe$ ionizing radiation detector]. *Tekhnologiya i Konstruirovaniye v Elektronnoi Apparature*, 2013, no. 1, pp. 42-44. (in Ukrainian).
2. Sizov F.F., Fotoelektronika dl'ya sistem videniya v «nevidimyykh» uchastkakh spektra [Photoelectronics for vision systems in «invisible» spectrum range]. Akademyvodyka Publishers, Kyiv, 2008. 458 p. (in Ukrainian).
3. Singh R.R., Kaushik D., Sharma M., Gupta D.K., Pandey R.K. Studies on surface processing and passivation of p- $Hg_{1-x}Cd_xTe$. *Semiconductor Science and Technology*, 2008, vol. 23, article no. 015016-1.
4. Qiang L., Wanqi J. Surface passivation and electrical properties of p-CdZnTe crystal. *Semiconductor Science and Technology*, 2006, vol. 21, article no. 72.

5. Zheng Q., Dierre F., Crocco J., Carcelen V., Bensalah H., Plaza J.L., Dieguez E. Influence of surface preparation on CdZnTe nuclear radiation detectors. *Applied Surface Science*, 2011, vol. 257, pp. 8742-8746.
6. Hossain A., Bolotnikov A.E., Camarda G.S., Cui Y., Jones D., Hall J., Kim K.H., Mwathi J., Tong X., Yang G., James R.B. Novel approach to surface processing for improving the efficiency of CdZnTe detectors. *Journal of Electronic Materials*, 2014, vol. 43, pp. 2771-2777.
7. Tomashik V.N., Tomashik Z.F. Poliruyushchee travlenie poluprovodnikovyykh soedineniy tipa A^{II}B^{VI} [Polishing etching of II-VI semiconductor compounds]. *Neorganicheskie Materialy*, 1997, vol. 33, no. 12, pp. 1451-1455. (in Russian).
8. Tomashik Z.F., Hnativ I.I., Tomashik V.N., Stratiichuk I.B. Chemical dissolution of CdTe and Cd_{1-x}Zn_xTe solid solution single crystals in bromine etchants of the H₂O₂-HBr-ethylene glycol system. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 2006, vol. 51, pp. 1320-1323.
9. Tomashik Z.F., Stratiichuk I.B., Tomashik V.M. Vzaemodiya nelegovanogo ta legovanogo CdTe z travyl'nymy rozchynamy systemy H₂O₂-HBr-tartratna kyslota [Interaction of undoped and doped CdTe with the solutions of the H₂O₂-HBr-tartaric acid system]. *Fizyka i Khimiya Tverdogo Tila*, 2005, vol. 6, no. 1, pp. 99-103. (in Ukrainian).
10. Tomashik Z.F., Gumenyuk O.R., Tomashik V.N. Khimicheskoe travlenie tellurida kadmiya i tverdykh rastvorov na ego osnove v yodmetanol'nykh travyl'nykh kompozitsiyakh [Chemical etching of cadmium telluride and solid solutions based on it in iodine-methanol etching compositions]. *Kondensirovannye Sredy i Mezhfaznye Granitsy*, 2002, vol. 4, no. 2, pp. 159-161. (in Russian).
11. Denysyuk R.O., Tomashik V.M., Tomashik Z.F., Grytsiv V.I. Khimichna vzaemodiya Cd_{1-x}Mn_xTe z travyl'nymy kompozitsiyamy H₂O₂-HI-laktatna kyslota [Chemical interaction of Cd_{1-x}Mn_xTe with H₂O₂-HI-lactic acid (C₃H₆O₃) etchant compositions]. *Fizyka i Khimiya Tverdogo Tila*, 2012, vol. 13, no. 2, pp. 410-414. (in Ukrainian).
12. Hvozdiyevskiy E.E., Denysyuk R.O., Tomashik V.M., Tomashik Z.F., Grytsiv V.I. Khimichne poliruvannya CdTe ta tverdykh rozchyniv Zn_xCd_{1-x}Te i Cd_{1-x}Hg_xTe vodnymy rozchynamy HNO₃-HI-tartratna kyslota [Chemical polishing of CdTe and Zn_xCd_{1-x}Te and Cd_{1-x}Hg_xTe solid solutions by the HNO₃-HI-tartaric acid aqueous solutions]. *Naukovyi Visnyk Chernivets'kogo Natsional'nogo Universytetu. Khimiya*, 2013, vol. 658, pp. 136-140. (in Ukrainian).
13. Sangval K., *Travlenie kristallov: teoriya, eksperiment, primenenie* [Crystals etching: theory, experiment, and application]. Mir Publishers, Moscow, 1990. 494 p. (in Russian).
14. Pop S.S., Sharodi I.S., *Fizychna elektronika* [Physical electronics]. Yevrosvit Publishers, Lviv, 2001. 250 p. (in Ukrainian).