

З.Ф. Томашик, А.С. Кравцова, И.Б. Стратийчук, В.Н. Томашик, С.Н. Галкин

## ОПТИМИЗАЦИЯ БРОМВЫДЕЛЯЮЩИХ ТРАВИТЕЛЕЙ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ КРИСТАЛЛОВ НЕЛЕГИРОВАННОГО И ЛЕГИРОВАННОГО ZnSe

Институт физики полупроводников им. В.Е. Лашкарева НАН Украины, г. Киев  
Институт скантillationных материалов НАН Украины, г. Харьков

В воспроизводимых гидродинамических условиях исследовано химическое взаимодействие поверхности кристаллов нелегированного и легированного ZnSe с бромвыделяющими растворами  $H_2O_2-HBr$ . Изучены зависимости скорости растворения от состава травителей, их перемешивания и температуры, а также легирования кристаллов. Определены концентрационные границы полирующих растворов и состояние поверхности после химического травления. Оптимизированы составы полирующих травителей для химического полирования этих полупроводников.

### Вступление

Кристаллы ZnSe находят применение в процессах изготовления оптических элементов (окон, призм, линз, зеркал), а также составляющих для оптических приборов. Важным этапом при изготовлении оптических элементов из селенида цинка является получение бездефектной полированной поверхности высокого качества. Механическая обработка кристаллов (резка, шлифование и механическое полирование) формирует на поверхности полупроводниковых пластин нарушенный слой, удаление которого является сложной технологической задачей. Химическая обработка поверхности кристаллов полупроводниковых соединений типа  $A^{II}B^{VI}$  является неотъемлемой частью технологии производства рабочих элементов различных полупроводниковых приборов [1–6], при этом обеспечивается надежность и воспроизводимость результатов при низких затратах. Процесс травления пластин и подложек состоит в растворении их поверхности при взаимодействии с соответствующими химическими реагентами (щелочами, кислотами, их смесями и солями), в результате удаляются приповерхностный слой и поверхностные загрязнения. При анализе литературных данных не обнаружено систематических и комплексных исследований закономерностей химического травления кристаллов нелегированного и легированного ZnSe. Приведенные сведения носят в основном эмпирический характер, в них не принимается во внимание связь кинетических закономерностей растворения кристаллов с природой и свойствами компонентов травителей, влияние легирующих примесей в материале на процесс травления. Не исследовано влияние состава травителей и гидродинамических

условий проведения процессов полирования на морфологию полученной поверхности и параметры ее шероховатости.

Для химического травления кристаллов селенида цинка преимущественно используют водные растворы солей  $K_2Cr_2O_7$  [7–9] или  $KMnO_4$  [10] в минеральных кислотах, смеси кислот  $HCl$ ,  $HNO_3$ ,  $H_2SO_4$  [10–11], а также водные растворы  $NaOH$  [10].

Так, в [7] при использовании 30%-ного водного раствора  $K_2CrO_3$  ( $T=363$  К,  $\tau=1$  мин) на плоскости (111) пластин ZnSe наблюдали образование треугольных ямок травления. Авторы [8] перед химической обработкой образцов ZnSe проводили механическое шлифование алюминиевой пастой зернистостью 0,3 мкм, затем травили их раствором  $H_2SO_4:K_2Cr_2O_7$  в мольном соотношении 3:7. Травитель состава  $H_2SO_4:K_2Cr_2O_7=40:60$  использовали для химического травления механически полированных кристаллов ZnSe с ориентацией (111) при  $T=369$  К,  $\tau=1$  мин. Затем проводили химическое травление в кипящем 25%-ном растворе  $NaOH$  и повторно очищали поверхность травлением в 35%-ном растворе  $NaOH$ . После травления раствором состава: 200 г хромовой кислоты+15 г  $Na_2SO_4$ +50 мл  $HNO_3$ +900 мл  $H_2O$  на поверхности кристаллов ZnSe образуются ямки размером до 150 мкм [9]. В работе [10] кристаллы ZnSe полировали водным раствором  $KMnO_4:H_2SO_4=5:7$  при  $T=315$  К в несколько циклов продолжительностью от 4 мин до 30 с, при этом наблюдали линейную зависимость толщины удаляемого слоя от времени травления (скорости травления изменялись от 1 до 8–14 мкм/мин). Для химического полирования ZnSe использова-

ли водные растворы 30, 50 и 66,6%-ного NaOH при  $T=353-423$  К [10]. Авторы [11] полировали кристаллы ZnSe высокой чистоты, полученные химическим парофазным осаждением, раствором HCl при комнатной температуре. По данным [8] химическое травление ZnSe смесью кислот  $\text{HNO}_3:\text{HCl}=1:4$  позволяет удалять нарушенный поверхностный слой, однако после извлечения блестящего кристалла из травителя он мутнеет и приобретает темно-бурый цвет. Раствор  $\text{H}_2\text{SO}_4:\text{H}_2\text{O}_2:\text{H}_2\text{O}=4:1:1$  полирует поверхность ZnSe со скоростью 2–3 мкм/мин [7], а процесс проводится поэтапно: сначала на нагретом до  $T=773$  К кристалле, затем на протяжении 1–2 мин при 443 К, после чего в течение 1 мин при 543 К.

Однако эффективное применения указанных травителей для получения высококачественной полированной поверхности кристаллов ZnSe ограничивается рядом причин: получением поверхности невысокого качества (образование ямок травления или нерастворимых соединений на поверхности кристаллов); сложными технологическими операциями (необходимостью дополнительного нагревания растворов или самого кристалла); отсутствием технологических режимов и условий процессов обработки, а также межоперационной и финишной очистки поверхности.

Химическую модификацию поверхности полупроводниковых соединений типа  $\text{A}^{\text{II}}\text{B}^{\text{VI}}$  чаще всего осуществляют при помощи бромсодержащих травителей, в частности растворами, содержащими 0,4–10%  $\text{Br}_2$  в метаноле или этаноле [8,12–17]. Однако значительная токсичность исходных компонентов и низкая технологичность таких растворов вызывают необходимость поиска новых травителей. Альтернативной заменой бромсодержащим травителям могут быть бромвыделяющие травильные композиции, такие, как растворы на основе  $\text{H}_2\text{O}_2-\text{HBr}$  [18–19], в которых бром образуется в процессе взаимодействия компонентов травителя:  $\text{H}_2\text{O}_2+2\text{HBr}=\text{Br}_2+2\text{H}_2\text{O}$ .

В научной литературе не обнаружено информации по использованию бромвыделяющих травителей для химической обработки кристаллов ZnSe, в связи с чем возникает необходимость проведения таких комплексных исследований для разработки соответствующих процессов травления этих материалов.

Целью настоящей работы является исследование физико-химического взаимодействия кристаллов нелегированного и легированного ZnSe с растворами  $\text{H}_2\text{O}_2-\text{HBr}$ , установление концентрационных границ полирующих растворов, исследование морфологии поверхности после травления, разработка и оптимизация на основе полученных данных травильных композиций для химико-механического (ХМП) и химико-динамического полирования (ХДП) кристаллов при формировании высококачественной поверхности рабочих эле-

ментов приборов.

#### **Экспериментальная часть**

Для экспериментальных исследований использовали выращенные методом Бриджмена под давлением кристаллы нелегированного ZnSe (I) – без термического отжига, ZnSe (II) – после термического отжига, а также легированные ZnSe (Al) после термического отжига и ZnSe (Te) без термической обработки. С помощью алмазного круга с внутренней режущей кромкой (АКВР), который в процессе резки смачивали дистиллированной водой для охлаждения, из кристаллических слитков вырезали цилиндры диаметром 51 мм и высотой 44–50 мм, а затем разделяли их на пластины размером 1 см×1 см и толщиной 1–2 мм. Для проведения экспериментальных исследований указанные пластины разрезали при помощи струны с алмазным напылением на образцы площадью  $\approx 25$  мм<sup>2</sup>.

Резка полупроводников сопровождается интенсивным механическим воздействием на кристалл, в результате чего в зависимости от природы материалов полученная поверхность содержит неровности и деформированный слой различной толщины, который можно частично удалить механическим шлифованием. Так, в [18] показано, что в результате резки алмазным кругом кристаллов ZnSe нарушенный слой составляет 100–150 мкм. Нарушенный слой, образующийся в процессе струнной резки слитков, частично удаляли механическим шлифованием пластин водными суспензиями абразивных порошков. Процесс проводили на стеклянном шлифовальнике, поочередно обрабатывая пластины с обеих сторон шлифовальной смесью каждого из абразивов. Далее пластины тщательно промывали теплой водой с добавлением небольшого количества моющего средства, затем несколько раз дистиллированной водой и высушивали на воздухе.

Химико-динамическое полирование полупроводников ZnSe (I), ZnSe (II), ZnSe (Al), ZnSe (Te) проводили на установке для ХДП методом вращающегося диска, что обеспечивает сохранение геометрических параметров и достижение гладкой поверхности подложки и определяется гидродинамическими условиями режима травления. Закрепленные во фторопластовом диске на стеклянных подложках кристаллы вращались в емкости с травителем со скоростью 86 мин<sup>-1</sup> при 293 К в течение 2 мин. Травильные композиции готовили с использованием HBr (“ос.ч.”),  $\text{H}_2\text{O}_2$  (“х.ч.”) и этиленгликоля (ЭГ) марки “ч.д.а.”, соблюдая порядок смешивания, и выдерживали их перед началом травления в течение двух часов для полного взаимодействия компонентов смеси.

Скорость растворения определяли по уменьшению толщины кристалла до и после травления с помощью электронного индикатора TESA DIGICO 400 с точностью  $\pm 0,2$  мкм. Исследова-

ния состояния поверхности полупроводниковых кристаллов ZnSe после различных видов обработки проводили с помощью настольного электронного микроскопа JEOL JCM-5000 NeoScore при увеличении  $\times 10000$ .

**Результаты и их обсуждение**

После резки слитков кристаллов полупроводника перед операцией ХДП необходимо проводить механическую обработку поверхности пластин. Разработанная нами методика включает два этапа предварительной обработки пластин селенида цинка – шлифование абразивами и процесс ХМП.

Механическое шлифование кристаллов ZnSe (I), ZnSe (II), ZnSe (Al), ZnSe (Te) проводили в течение 1–2 мин, обрабатывая пластины с применением водных суспензий абразивных порошков М10–М5–М1 в порядке уменьшения их зернистости (таблица). По данным работы [20] после механического шлифования толщина нарушенного слоя для нелегированного и легированного ZnSe составляет порядка 10–30 мкм.

**Скорости удаления слоя материала с поверхности кристаллов нелегированного и легированного ZnSe после механического шлифования и ХМП**

Кристаллы	Скорость удаления поверхностного слоя, мкм/мин		
	Механическое шлифование абразивами		Химико-механическое полирование
	М10	М5	
ZnSe(I)	154,5	47	17,1
ZnSe(II)	145,5	30	14,5
ZnSe(Al)	109	67	13,8
ZnSe(Te)	89,5	71	18,2

Для удаления образовавшегося нарушенного слоя и подготовки пластин к операции ХДП с рабочей поверхности пластин нелегированного и легированного ZnSe методом ХМП удаляли слой материала толщиной 100–150 мкм с использованием разработанного нами универсального травителя состава (об. %):  $10\text{H}_2\text{O}_2 - 10\text{HBr} - 80\text{ЭГ}$ . Применение в его составе ЭГ способствует повышению вязкости раствора, что позволяет несколько замедлить скорость химического полирования, которая при ХМП всегда выше за счет механической составляющей процесса (трения пластин о поверхность полировальника). Процесс ХМП кристаллов ZnSe (I), ZnSe (II), ZnSe (Al), ZnSe (Te) проводили на стеклянном полировальнике, обтянутом батистовой тканью, на который подавали приготовленный травильный раствор со скоростью 2 мл/мин. Кристаллы полировали в течение 5 мин при  $T=291\text{ K}$ , затем промывали 0,01 М водным раствором  $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$  для полного удаления остатков травителя, дистиллированной водой и высушивали на воздухе.

Как видно из таблицы, значения скорости

удаления слоя материала с поверхности каждого из исследуемых полупроводниковых кристаллов в процессах шлифования и ХМП выше в случае образцов ZnSe (I) и ZnSe (Te), которые не подвергали термическому отжигу. Приведенные в таблице данные использовали для утонения пластин нелегированного и легированного селенида цинка до необходимой толщины.

Зависимости скорости травления (V) кристаллов ZnSe (I), ZnSe (II), ZnSe (Al), ZnSe (Te) от состава травителей  $\text{H}_2\text{O}_2 - \text{HBr}$  исследовали в растворах, содержащих 2–22 об. %  $\text{H}_2\text{O}_2$  в HBr. По результатам экспериментов построены графики зависимости скорости травления (V) исследуемых материалов от объемной концентрации перекиси водорода в растворе  $\text{H}_2\text{O}_2 - \text{HBr}$  (рис. 1). Как видно из рисунка, в указанном концентрационном интервале характер изменения скоростей травления поверхности всех исследуемых образцов практически одинаков. Так, сначала скорость травления пластин в растворе 2 об. %  $\text{H}_2\text{O}_2$  в HBr составляет 0–1,5 мкм/мин, затем возрастает, достигая максимального значения 20–23 мкм/мин в травителях, содержащих 16+ об. %  $\text{H}_2\text{O}_2$  в HBr. При дальнейшем увеличении количества окислителя в смеси до 22 об. %  $\text{H}_2\text{O}_2$  в HBr отмечается небольшое снижение скоростей травления исследуемых материалов до 18–20 мкм/мин.

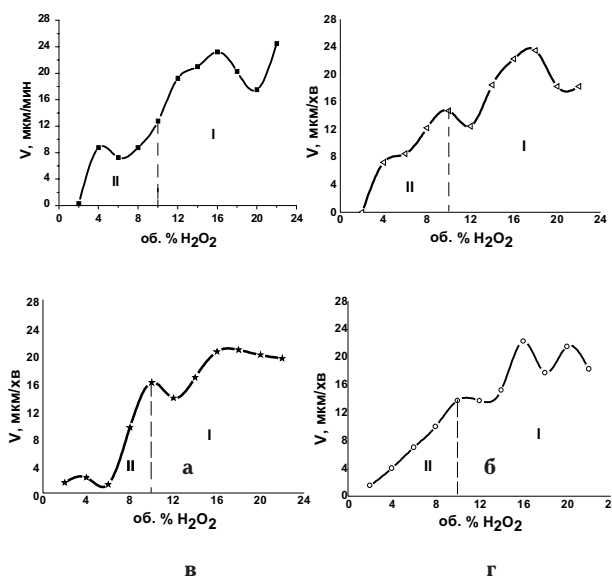


Рис. 1. Концентрационная зависимость скорости травления (мкм/мин): а – ZnSe (I); б – ZnSe (II); в – ZnSe (Al); г – ZnSe (Te) растворами  $\text{H}_2\text{O}_2 - \text{HBr}$  при  $T=293\text{ K}$  и  $g=86\text{ мин}^{-1}$  (I – область полирующих и II – неполирующих растворов)

Морфология поверхности кристаллов после травления растворами указанного концентрационного интервала во многом зависит от объемного содержания  $\text{H}_2\text{O}_2$  в HBr. В случае травителей, содержащих 2–8 об. %  $\text{H}_2\text{O}_2$  в HBr, поверхность кристаллов ZnSe (I), ZnSe (II), ZnSe (Al),

ZnSe (Te) после травления покрывается темно-бурой пятнистой пленкой, которая не растворяется в органических растворителях (ацетон, этиловый и изопропиловый спирты) и затрудняет проведение последующих этапов процесса ХДП. Для ее удаления дополнительно проводили ХМП универсальным травителем  $H_2O_2$ –HBr–ЭГ. При химическом травлении растворами, содержащими 10–16 об. %  $H_2O_2$  в HBr, наблюдается формирование блестящей полированной поверхности на всех кристаллах ZnSe (I), ZnSe (II), ZnSe (Al), ZnSe (Te), причем скорости ХДП изменяются в интервале значений 12–22 мкм/мин (рис. 1). После травления изучаемых образцов травителями состава 18–22 об. %  $H_2O_2$  в HBr их поверхность поначалу характеризуется зеркальным блеском, однако в течение суток на всех без исключения кристаллах появляется матовая пленка. Можно предположить, что поверхность окисляется кислородом воздуха с образованием оксида цинка, что ограничивает использование этих травителей для обработки кристаллов селенида цинка.

Зависимость скоростей растворения ( $V$ ) поверхности кристаллов ZnSe (I), ZnSe (II), ZnSe (Al), ZnSe (Te) от температуры ( $T$ ) и скорости вращения диска ( $g$ ) изучали в полирующем растворе состава (об. %): 10 $H_2O_2$ –90HBr. На рис. 2,а и 2,б представлены графические зависимости скоростей растворения указанных материалов, построенные в координатах  $v^{-1} \sim \gamma^{-1/2}$  при  $\gamma=36$ –120 мин<sup>-1</sup> ( $T=293$  К) и  $\ln v \sim 1/T$  в интервале  $T=283$ –308 К (при  $\gamma=86$  мин<sup>-1</sup>), из анализа которых можно получить информацию о характере протекания процесса химического травления. Поскольку соответствующие прямые для кристаллов ZnSe (I), ZnSe (II), ZnSe (Al) (рис. 2,а, кривые 1–3) можно экстраполировать в начало координат – это свидетельствует о лимитировании процесса их растворения стадиями диффузии. Для образца ZnSe (Te) соответствующая прямая отсекает отрезок на оси ординат (рис. 2,а, кривая 4), что свидетельствует о смешанном лимитировании процесса растворения этого материала в данном травителе. Эти данные подтверждаются изучением температурных зависимостей скорости растворения, поскольку рассчитанная из полученных соответствующих графических зависимостей (рис. 2,б, кривые 1–4) кажущаяся энергия активации  $E_a$  во всех случаях не превышает 25 кДж/моль. Можно отметить, что с уменьшением температуры скорость полирования поверхности ZnSe (I), ZnSe (II), ZnSe (Al), ZnSe (Te) незначительно спадает, однако качество получаемой поверхности образцов во всех случаях высокое.

Микроструктурным и профилографическим анализом поверхности образцов установлено, что растворы, содержащие 10–16 об. %  $H_2O_2$  в HBr, являются наиболее перспективными для формирования на их основе полирующих травителей для

ХДП кристаллов селенида цинка при 293 К. На рис. 3 представлены результаты электронной микроскопии образцов после различных этапов механической и химической обработки, а именно после резки АКВР и механического шлифования абразивными порошками (рис. 3,а) и после ХДП по разработанной нами методике (рис. 3,б). Как видно из рисунка, после химической обработки поверхности образцов имеют характерный для полированных вид.

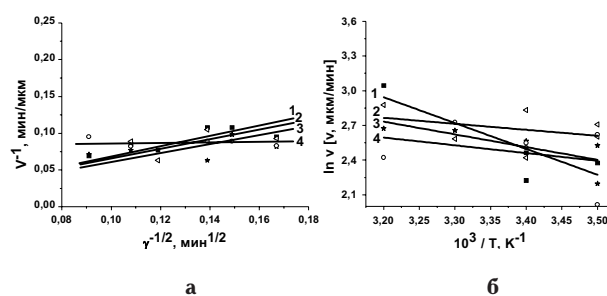


Рис. 2. Зависимость скорости растворения (мкм/мин) поверхности кристаллов: 1 – ZnSe (I); 2 – ZnSe (II); 3 – ZnSe (Al); 4 – ZnSe (Te): а – от скорости перемешивания травителя ( $T=293$  К) и б – от температуры ( $\gamma=86$  мин<sup>-1</sup>) в растворе состава (об. %): 16 $H_2O_2$ –84HBr

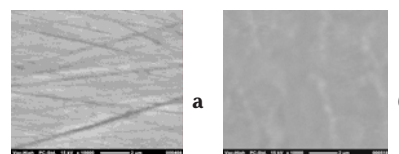
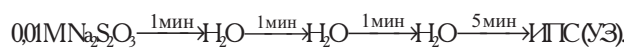


Рис. 3. Морфология поверхности кристаллов ZnSe: а – после резки АКВР и механического шлифования абразивными порошками и б – с последующим ХМП раствором состава (об. %): 10 $H_2O_2$ –10HBr–80ЭГ и ХДП раствором (об. %): 16 $H_2O_2$ :84HBr

После операции химического полирования (ХДП) образцы необходимо промывать в 0,01 М водном растворе  $Na_2S_2O_3$ , дистиллированной водой, затем изопропиловым спиртом (ИПС) с использованием ультразвука (УЗ) при  $T=308$  К по разработанной нами схеме:



Таким образом, разработанные на основе экспериментальных исследований травильные композиции  $H_2O_2$ –HBr и  $H_2O_2$ –HBr–ЭГ характеризуются высокой полирующей способностью и могут быть рекомендованы для химической обработки (ХМП и ХДП) кристаллов ZnSe, ZnSe (Al) и ZnSe (Te). Такие композиции имеют ряд преимуществ по сравнению с традиционными бромсодержащими травителями, поскольку их применение позволяет избежать необходимости использования токсичного  $Br_2$ , упрощает процесс пригото-

ления композиций, приводит к уменьшению скорости растворения полупроводников путем регулирования вводом разного количества третьего компонента (ЭГ). Контролируемая скорость полирования исследованных материалов в пределах 12–22 мкм/мин позволяет использовать разработанные полирующие травители для утонения пластин до заданных размеров, при этом параметры шероховатости поверхности не превышают 20–80 нм.

### Выводы

На основе экспериментальных исследований разработана методика формирования полированной поверхности кристаллов нелегированного и легированного ZnSe, включающая механическое шлифование абразивами и последующее двухэтапное химическое полирование. Исследовано химическое взаимодействие поверхности ZnSe, ZnSe (Al) и ZnSe (Te) с растворами  $H_2O_2-HBr$ , установлены зависимости скорости химического растворения материалов от состава растворов, их перемешивания и температуры, определены концентрационные границы полирующих травителей. Впервые для получения полированной поверхности кристаллов ZnSe, ZnSe (Al) и ZnSe (Te) предложено использовать бромвыделяющие травильные композиции  $H_2O_2-HBr$  и  $H_2O_2-HBr-ЭГ$ , оптимизированы их составы и режимы проведения операций химико-динамического и химико-механического полирования. Методами микроструктурного анализа и электронной микроскопии изучено состояние поверхности кристаллов после различных этапов механической и химической обработки разработанными травителями и подтверждено высокое качество полирования поверхности.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Томашик В.Н., Томашик З.Ф. Химическое травление полупроводниковых соединений типа  $A^{II}B^{VI}$  // Неорган. материалы. 1993. – Т.29. – № 5. – С.717-718.
2. Томашик В.Н., Томашик З.Ф. Механическая и химико-механическая обработка полупроводниковых соединений типа  $A^{II}B^{VI}$  // Неорган. материалы. 1994. – Т.30. – № 12. – С.1498-1503.
3. Жидкофазное травление полупроводниковых соединений типа  $A^{II}B^{VI}$  и физико-химические процессы на границе раздела (обзор) / В.Н. Томашик, З.Ф. Томашик, А.В. Любченко, А.В. Фомин // Оптоэлектроника и полупроводниковая техника. – 1994. – Вып.28. – С.3-15.
4. Томашик В.Н. Селективное травление халькогенидов цинка, кадмия и ртути // Неорган. материалы. – 1995. – Т.31. – № 3. – С.313-317.
5. Томашик В.Н., Томашик З.Ф. Полирующее травление полупроводниковых соединений типа  $A^{II}B^{VI}$  // Неорган. материалы. – 1997. – Т.33. – № 12. – С.1451-1455.
6. Томашик З.Ф., Томашик В.Н. Физико-химическое взаимодействие полупроводников типа  $A^{II}B^{VI}$  и  $A^{III}B^{V}$  с жидкими травильными композициями // Конденсир. среды и межфаз. границы. – 2002. – Т.4. – № 4. – С.336-341.
7. Etch pit studies of II–VI wide bandgap semiconductor materials ZnSe, ZnCdSe and ZnCdMgSe grown on InP / Semendy F., Bambha N, Tamargo M.C. et al. // US Army Res. Lab., 1999.
8. Tenne R., Flaisher H., Triboulet R. photoelectrochemical etching of zincselenide and nonuniform charge flow in Schottky barriers // Phys. Rev. B: Condens. Matter. – 1984. – № 10. – P.5799-5804.
9. Jonathan Salem A. Mechanical characterization of ZnSe windows for use with the flow enclosure accommodating novel investigations in combustion of solids (FEANICS) module // National Aeronautics and Space Administration. – 2006.
10. Wet treatment adapted for mirror etching ZnSe / Y. Okuno, H. Tamura, T. Maruyama // US Patent (1995).
11. Etching behavior of CVD zincselenide in inorganic acid solutions / E.M. Gavrishchuk, E.Yu. Vilkova, O.V. Timofeev et al. // Inorganic Materials. – 2007. – Vol.43. – № 6. – P.579-583.
12. Surface preparation of ZnSe substrates for MBE growth of V–VI light emitters / Hughes W.C., Boney C., Johnson M.A.L. et al. // J. Cryst. Growth. – Vol.175/176. – 1997. – P.546-551.
13. Tenne R. Electrochemical photocapacitance of zincselenide: effect of photoelectrochemical etching / R. Tenne, R. Haak, R. Triboulet // Ber. Bunsen-Ges. Phys. Chem. – 1987. – Vol. 91. – № 6. – 597-599.
14. Ternary chalcogenide-based photo-electrochemical cells. II. The  $n-CdIn_2Se_4$ /aqueous polysulfide system / R. Tenne, Y. Mirovsky, Y. Greenstein, D. Cahen // J. Electrochem. Soc. – 1982. – Vol.129. – № 7. – P.1506-1512.
15. Sagar A., Lehmann W., Faust I.W. Etchants for ZnSe // J. Appl. Phys. – 1968. – Vol.11. – P.5336-5338.
16. Gautron J., Raisin C., Lemagson P. Optical and electro-optical behaviour of polished and etched zinc selenide single crystals // J. Phys. D. Appl. Phys. – 1982. – Vol.15. – P.153-161.
17. Sankar N., Ramachandran K., Sanjeeviraja C. Growth and characterization of ZnSe and phosphorus-doped ZnSe single crystals // J. Cryst. Growth. – 2002. – Vol.235. – P.195-200.
18. Влияние легирования теллурида кадмия на химическое взаимодействие с растворами системы  $H_2O_2-HBr$  / И.Б. Стратийчук, З.Ф. Томашик, В.Н. Томашик, П.И. Фейчук // Журн. неорган. химии. – 2004. – Т.49. – № 12. – С.153-156.
19. Хімічне травлення монокристалів CdTe та  $Cd_{1-x}Zn_xTe$  травильними розчинами системи  $H_2O_2-HBr$  / І.І. Гнатів, З.Ф. Томашик, В.М. Томашик, І.Б. Стратийчук // Фізика і хімія твердого тіла. – 2005. – Т.6. – № 4. – С.618-621.
20. Физико-химические методы обработки поверхности полупроводников / Луфт Б.Д., Перевошиков В.А., Возмилова Л.Н. и др. – М.: Радио и связь, 1982. – 200 с.

Поступила в редакцию 22.06.2012