

- aminopyrrole-2,5-dions. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2012, vol. 5, pp. 12-21.
3. Weinholt F., *Natural bond orbital analysis programs. NBO 5.0 program manual*. University of Wisconsin, Madison, 1996-2001. Available at: <http://www.chem.wisc.edu/~nbo5>.
4. De Feo R.J., Strickler P.D. An improved method of synthesis of secondary amides from carboxylic esters. *Journal of Organic Chemistry*, 1963, vol. 28, no. 10, pp. 2915-2917.
5. Gordon A., Ford R., *Sputnik khimika* [Guide to Chemistry]. Mir, Moscow, 1976. 541 p.
6. Zymon A.D., *Physical Chemistry*, Agar Publishers, Moscow, 2003. 320 p.
7. Electronic resource, *ACD/pKa DB: ChemSketch Version: 4.5/2014*. Available at: <http://www.acdlabs.com/products/percepta/predictors/pka>.
8. Markov V.I., Prosyanyk A.V., Fedosenko D.V. (Arylimino) malonic esters. *Zhurnal Organicheskoi Khimii*, 1984, vol. 20, no. 11, pp. 2424-2431.
9. Fegley M.F., Bortnick N.M., McKeever C.H., Farnum F.B. Chemistry of 1,4-diamino-1,3-butadienes. III. Transamination with secondary amines. *Journal of the American Chemical Society*, 1957, vol. 79, no. 17, pp. 4734-4736.
10. Chepyishev S.V., Chepyisheva J.N., Cherniy I.V., Prosyanyk A.V. Substitution derivatives aminofumaric acid in N-nucleophiles. *Ukrainskii Khimicheskii Zhurnal*, 2008, vol. 74, no. 6, pp. 120-125.
11. Lebed O.S., Kutsik N.V., Tretyakov N.S., Chepyishev S.V., Prosyanyk A.V. Aminopyrrole-2,5-diones. 6. The reaction of 1-alkyl-3-3-aminopyrrole-2,5-diones with amine. *Voprosy khimii i khimicheskoi tekhnologii*, 2011, vol. 1, pp. 9-14.
12. Arai A., Kado M., Chiyomaru I. Esters obtained from acetylenedicarboxylic acid with methanol in the presence of sulfuric acid and their amidation products. *Yuki Gosei Kagaku Kyokaishi*, 1965, vol. 23, no. 5, pp. 435-442.
13. Ylyel E., Allynzher N., Enzhial S., Morrison H., *Conformational analysis*. Mir, Moscow, 1969. 592 p.

УДК 621.794.4 : 546.681/682'19/86

И.В. Левченко, И.Б. Стратийчук, В.Н. Томашик, Г.П. Маланич, А.А. Корчевой

ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО ПОЛИРОВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ InAs, GaAs, InSb И GaSb В РАСТВОРАХ $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--HBr--CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})$

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

Исследованы закономерности химико-динамического полирования полупроводников типа $\text{A}^{\text{III}}\text{V}^{\text{V}}$ в травителях $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--HBr}$ –этиленгликоль. Показано, что увеличение концентрации $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ от 2 до 22 об.% способствует увеличению скорости химической реакции между подложкой и компонентами травителя. Определены составы полирующих и неполирующих растворов. Установлено, что лимитирующим фактором реакции взаимодействия кристаллов с растворами является стадия диффузии. Установлено, что с увеличением скорости вращения диска и температуры раствора скорость растворения кристаллов возрастает. Показано, что увеличение количества этиленгликоля в составе травильной смеси уменьшает скорость травления подложек и улучшает полирующие способности травильных композиций $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--HBr}$ –этиленгликоль. Установлено, что химико-динамическое полирование полупроводников InAs, InSb, GaAs и GaSb растворами состава $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--HBr}$ –этиленгликоль способствует уменьшению структурных нарушений подложек и получению качественной полированной поверхности.

Ключевые слова: химико-динамическое полирование, бромвыделяющие травители, полупроводники, диффузия, химическое травление.

Введение

Полупроводники типа $\text{A}^{\text{III}}\text{V}^{\text{V}}$ широко применяются в различных отраслях промышленности. Благодаря узкой ширине запрещенной зоны и очень высокой подвижности электронов InAs используют для химического зондирования, изготовления высокопроизводительных транзисторов, а также применяют в оптической промышленности. Полупроводниковые устройства на основе GaAs являются ключевым элементом многих беспроводных и Wi-Fi бытовых электронных приборов. Работая в диапазоне длин

волн 3–12 мкм ИК-спектра, GaSb является привлекательным материалом в изготовлении ИК-фотоприемников, которые используются для зондирования и визуализации приложений [1–3].

Применение химического травления для создания текстуры поверхности полупроводников способствует увеличению эффективности работы устройств на их основе. Бромвыделяющие травильные смеси являются одними из наиболее эффективных полирующих растворов.

Авторы работы [4] характеризуют раство-

ры на основе HBr как более стабильные и менее токсичные травители, по сравнению с бромсодержащими. Предлагается использовать этиленгликоль (ЭГ) в качестве растворителя выделяющегося свободного брома. Скорость травления кристаллов изменяется при увеличении концентрации ЭГ в составе травителя следующим образом: для GaAs – от 1,2 до 5,7 мкм/мин, для GaSb – от 1,5 до 10 мкм/мин, для InAs – в пределах 1,8–7,0 мкм/мин и для InSb – от 2,0 до 12,7 мкм/мин. Смеси, обогащенные этиленгликолем, характеризуются наименьшей скоростью травления, в то же время, растворы, обогащенные H₂O₂, имеют наивысшую скорость растворения исследуемых кристаллов. Для InAs все составы травильных композиций были полирующими. Исследования кинетики процесса взаимодействия полупроводников с травильными растворами показали, что лимитирующей стадией процесса растворения является стадия диффузии.

Бромвыделяющие растворы также исследовались в работе [5], причем в качестве окислителя использовали H₂Cr₂O₇. Свободный бром как основной активный компонент травителя является мягким окислителем. Он легко вступает во взаимодействие с полупроводниками типа A^{III}B^V и обеспечивает не только высокую скорость окислительно-восстановительной реакции, но и диффузионную лимитацию процесса травления и равномерное травление слоев InAs. Гладкая поверхность была получена при полировании в травильной композиции состава HBr–H₂Cr₂O₇–H₃PO₄ (4:1:0,5) при комнатной температуре. Было отмечено, что перемешивание ухудшает качество получаемой поверхности.

Изучению свойств травильных растворов HBr–K₂Cr₂O₇–CH₃COOH посвящен ряд работ [6–8]. Такие смеси являются селективными и изотропными, а также способствуют формированию гладкой поверхности GaAs. Скорость растворения приповерхностных слоев составляла 0,44–2,00 мкм/мин.

Существует также множество теоретических работ, посвященных процессам травления, но на практике возникают факторы, усложняющие воспроизводимость скорости и профиля травления. Как известно, полупроводники типа A^{III}B^V являются относительно хрупкими, а, следовательно, легко поддаются повреждениям при обработке поверхности. Химико-динамическое полирование является эффективным методом получения полированной поверхности, который основан на более мягком удалении нарушенных слоев с поверхности подложки без дополнительного механического влияния.

Благодаря экзотермическому характеру реакций, кислотные травители приводят к изот-

ропному травлению, способствующему формированию гладкой поверхности. Высокая вязкость травильных смесей также позитивно влияет на полирующие свойства растворов [9]. Учитывая это, нами использован кислотосодержащий травитель с относительно вязким органическим компонентом. Целью работы является исследование травильных свойств растворов состава (NH₄)₂Cr₂O₇–HBr–ЭГ, установление концентрационной и температурной зависимости скорости травления, а также определение зависимости процесса растворения полупроводников InAs, GaAs, InSb и GaSb от скорости перемешивания травителя и установление роли ЭГ в составе композиций.

Методика эксперимента

Исследования полирующих характеристик травильных растворов проводили с использованием монокристаллов InAs, GaAs, InSb и GaSb площадью 5×5 мм и толщиной 2 мм, которые вырезали с помощью струнной резки с алмазным напылением из монокристаллических слитков. Полученные пластины предварительно механически шлифовали. Использование водных суспензий абразивных порошков марок АСМ 10/7, АСМ 5/3 и АСМ 1/0 позволяет удалить толщину нарушенного слоя порядка 10–32 мкм. Поверхностные структурно-дефектные слои удаляли с помощью химико-механического полирования.

Основные характеристики травления изучали методом химико-динамического полирования (ХДП) с помощью методики вращающегося диска. Для приготовления травильных растворов состава (NH₄)₂Cr₂O₇–HBr–ЭГ смешивали следующие выходные компоненты: 26% (NH₄)₂Cr₂O₇ «ч.д.а.», 42% HBr «ос.ч.» и ЭГ «ч.д.а.». В данном случае бихромат аммония выступает в роли окислителя, а HBr – в качестве восстановителя:



Бромоводородная кислота не только обеспечивает кислую среду, но и участвует в образовании активного окислителя – Br₂. Подобные растворы относят к бромвыделяющим, поскольку активный компонент травителя, выделяется непосредственно при взаимодействии исходных реагентов. Таким образом, его количество в растворе сохраняется в максимально возможном объеме.

Как известно, органический компонент способен улучшать полирующие способности травильного раствора и переводить продукты реакции в растворимые формы. Благодаря относительно высокой вязкости ЭГ может влиять на скорость химического взаимодействия меж-

ду полупроводником и компонентами травильной смеси. Это связано с тем, что введение в состав травителя ЭГ может частично регулировать процесс образования свободного брома.

Исследования ХДП подложек проводили в гидродинамических условиях изотермического режима ($T=292\text{--}294\text{ K}$). Гидродинамические условия реализовались с помощью устройства с вращающимся диском, на котором крепились подложки. Скорость вращения подложек в травителе составляла $\gamma=78\text{ мин}^{-1}$.

Скорость травления исследуемых полупроводников измеряли по изменению их толщины до и после химического растворения с помощью электронного индикатора TESA DIGICO 400 с точностью $\pm 0,02\text{ мкм}$. За конечный результат принимали среднее значение изменения толщины нескольких точек поверхности.

Контроль состояния поверхности полупроводников проводили после каждого этапа обработки. С помощью металлографического анализа изучали морфологию поверхности подложек. Исследования проводили в белом свете с использованием микроскопа МИМ-7 с цифровой видеокамерой eTREK DCM800 и кратностью увеличения от $25\times$ до $1600\times$. Контроль качества полированных поверхностей проводили также с помощью сканирующего зондового микроскопа NanoScope IIIa Dimension 3000TM (Digital Instruments, США) методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) в режиме периодического контакта.

Результаты и их обсуждение

Для изучения зависимости скорости травления от состава травильной композиции использовали метод математического планирования эксперимента на симплексе. При этом содержание компонентов в составе травителя изменялось следующим образом, об. %: (2–22)

$(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$: (10–98) HBr : (0–80) ЭГ.

Анализируя полученные диаграммы “состав травителя – скорость травления” можно выделить два типа скоростей травления: высокую (в случае незначительной вязкости раствора и быстрого взаимодействия реагентов) и низкую (при высокой вязкости раствора и низкой скорости реакции).

Рассмотрим результаты процесса взаимодействия кристаллов InAs и GaAs с исследуемыми травильными композициями (рис. 1).

Из приведенных диаграмм видно, что расположение линий одинаковой скорости растворения кристаллов в обоих случаях аналогично. Увеличение количества HBr способствует увеличению скорости растворения кристаллов ($v=0,9\text{--}7,5\text{ мкм/мин}$). Такая тенденция сохраняется, когда в травителе содержится небольшое количество ЭГ и возрастает количество $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$. При увеличении количества органического компонента наблюдается значительное уменьшение скорости травления полупроводников (до $0,1\text{ мкм/мин}$). После растворения во всех травильных композициях формировалась гладкая зеркальная поверхность арсенидов индия и галлия.

Для InSb и GaSb скорость травления изменяется аналогичным образом (рис. 2).

Скорость растворения подложек с увеличением содержания бихромата аммония возрастает от $1,5$ до $7,9\text{ мкм/мин}$ в случае InSb и от $1,8$ до $8,4\text{ мкм/мин}$ для GaSb. При максимальном содержании окислителя скорость резко падает до $2,0$ и $4,8\text{ мкм/мин}$, соответственно, что может быть связано с пассивацией поверхности. Сурьма характеризуется как металлическими, так и неметаллическими свойствами. При содержании в травильном растворе избытка ионов $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ могут образовываться нерастворимые

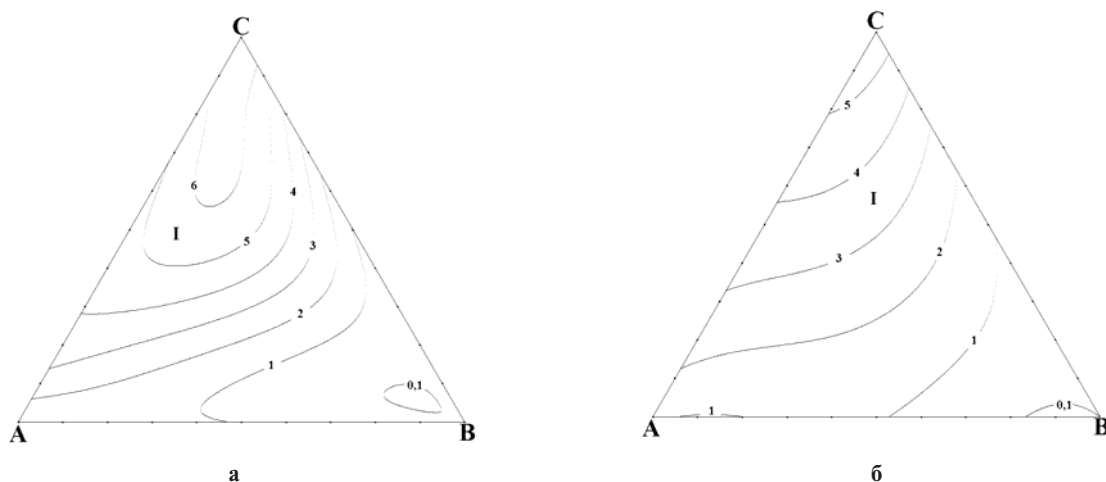


Рис. 1. Концентрационные зависимости скорости растворения (мкм/мин) кристаллов (а) InAs и (б) GaAs от состава травителя $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--HBr--ЭГ}$ при объемном соотношении $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{:HBr:ЭГ}$ в вершинах А, В, С, об. %: А – (2:98:0); В – (10:10:80); С – (22:78:0); I – полирующие растворы, II – неполирующие растворы

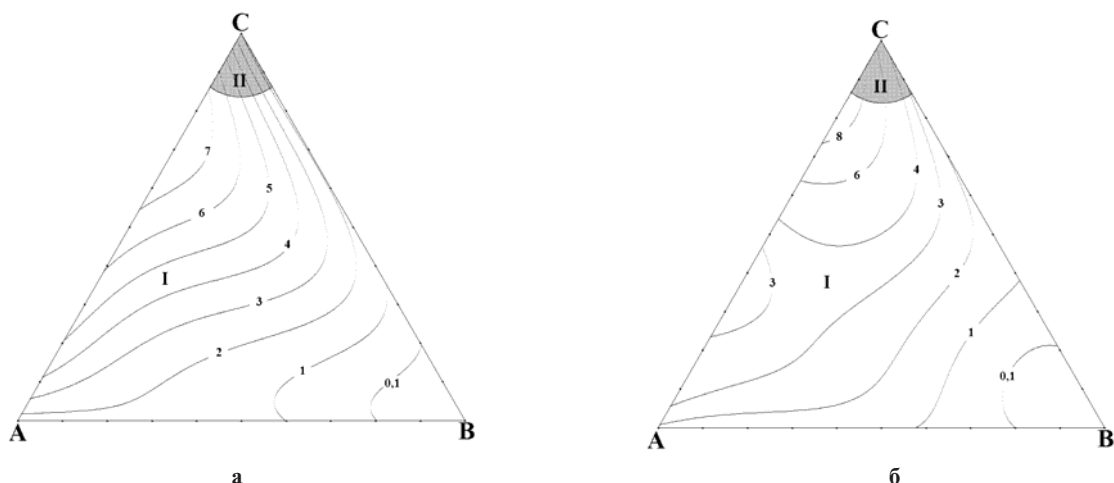


Рис. 2. Диаграммы “состав травителя – скорость травления” полупроводников (а) InSb и (б) GaSb в системе $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{–HBr–ЭГ}$, при объемном соотношении $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{:HBr:ЭГ}$ в вершинах А, В, С, об. %: А – (2:98:0); В – (10:10:80); С – (22:78:0); I – полирующие растворы, II – неполирующие растворы ($T=292\text{–}294\text{ К}$, $\gamma=78\text{ мин}^{-1}$)

соединения сурьмы, которые пассивируют поверхность. Как и в случае растворения InAs и GaAs, насыщение травителя ЭГ приводит к уменьшению скорости растворения InSb и GaSb.

На полученных диаграммах можно выделить область полирующих (I) и не полирующих (II) растворов. В исследуемой системе травителей полирующую поверхность (область I) обеспечивают композиции, содержащие, об. %: (2–19) $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, (10–98) HBr и (0–80) ЭГ в случае травления антимоноидов индия и галлия. Для поверхности InAs и GaAs все соотношения компонентов травильной смеси в изученном интервале являются полирующими. Образование белой пленки (область II) наблюдали, когда содержание реагентов варьировали в диапазоне, об. %: (19–22) $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, (69–81) HBr и (0–11) ЭГ.

Подбор состава травильного раствора способствует образованию соответствующих продуктов взаимодействия. В зависимости от соотношения окислителя и восстановителя могут образовываться растворимые или нерастворимые соединения сурьмы [10].

Согласно [11] в области с максимальным количеством комплексообразователя процесс травления определяется реакцией окисления подложки. В то же время, в области, насыщенной окисляющим реагентом, скорость растворения определяется диффузией комплексообразующего агента.

Важно учитывать тот факт, что на скорость травления влияет не только состав травильной композиции, но и поверхность полупроводника. Авторы [12] утверждают, что большая скорость травления арсенидов, по сравнению с антимонодами, обусловлена большей ионностью ковалентных связей метал-мышьяк в арсенидах.

При травлении полупроводников травильными растворами состава $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{–HBr–ЭГ}$ антимоноиды характеризуются большей скоростью травления. Поэтому можно утверждать, что в данном случае ионность связей металл-неметалл не играет основополагающей роли в процессе растворения исследуемых кристаллов.

Исследования кинетических закономерностей процесса растворения InAs, InSb и GaAs, GaSb характеризуются показателями зависимости скорости травления полупроводников от температуры и скорости перемешивания раствора. Графическая интерпретация результатов зависимости скорости растворения кристаллов от скорости перемешивания раствора представлена на рис. 3. Видно, что увеличение скорости перемешивания травильного раствора в исследуемой системе приводит к увеличению скорости травления.

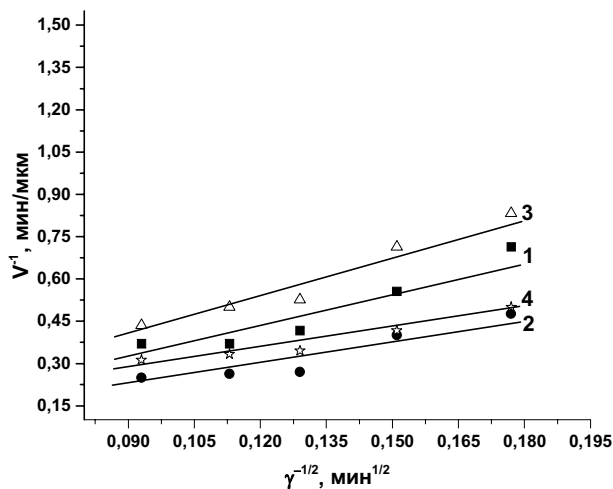


Рис. 3. Зависимость скорости травления (мкм/мин) InAs (1), InSb (2), GaAs (3) и GaSb (4) от скорости перемешивания раствора состава, об. %: 9 $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – 71 HBr – 20 ЭГ

дуюмом интервале ($\gamma=32\text{--}116\text{ мин}^{-1}$) способствует увеличению скорости химического травления.

Таким образом, можно утверждать, что регулирование гидродинамических условий имеет прямое влияние на скорость взаимодействия компонентов травильной смеси с поверхностью полупроводниковых кристаллов. Из рис. 3 также видно, что линии исследуемой зависимости для кристаллов InAs, InSb и GaAs, GaSb можно экстраполировать в начало координат. Это свидетельствует о том, что процесс травления этих кристаллов протекает в диффузионной области [13].

Реакции, в которых скорость взаимодействия лимитируется стадией диффузии, можно контролировать изменением концентрации реагентов или температуры. Исследования зависимости скорости растворения кристаллов от температуры подтверждают наши предположения о характере процесса травления. Скорость травления всех кристаллов в интервале $T=288\text{--}304\text{ К}$ возрастает с увеличением температуры раствора (рис. 4).

Таким образом, скорость процесса растворения исследуемых полупроводников меняется

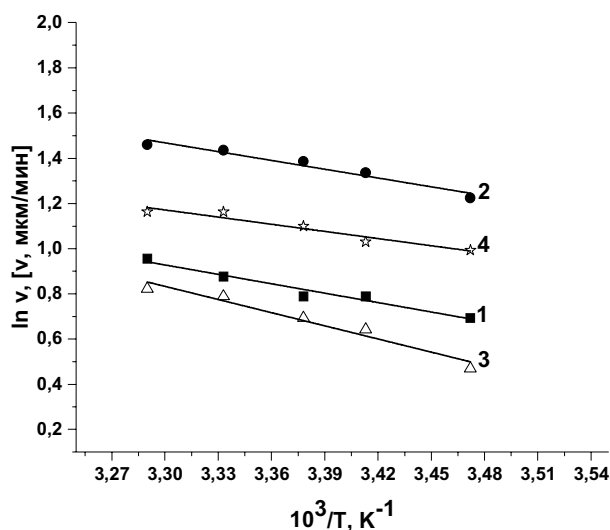


Рис. 4. Зависимости скорости взаимодействия (мкм/мин) InAs (1), InSb (2), GaAs (3), GaSb (4) от температуры травильной композиции состава, об. %: 9 $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ – 71 HBr – 20 ЭГ ($\gamma=78\text{ мин}^{-1}$)

в соответствии с уравнением Аррениуса. Как видно из рис. 4, скорости травления с повышением температуры изменяются незначительно. Это объясняется тем, что хотя стадия диффузии и принадлежит к активационным процессам и на нее распространяются основные положения об энергии активации, энергетический барьер для диффузии обычно меньше, чем для стадии химической реакции.

По наклону прямых $\ln v=f(1/T)$ были рассчитаны значения кажущейся энергии активации (E_a). Низкие значения E_a , в пределах 8,1–9,7 кДж/моль, свидетельствуют о диффузионном контроле процесса растворения исследуемых полупроводников [11].

О качестве полученной поверхности после всех этапов обработки можно судить из рис. 5.

По данным металлографического анализа можно утверждать, что ХДП подложек InAs, InSb, GaAs и GaSb травильными композициями состава $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--HBr--ЭГ}$ способствует уменьшению структурных нарушений поверхности. Методом АСМ получены данные о структуре поверхности исследуемых образцов после ХДП на наноуровне. Параметры шероховатости поверхности исследуемых кристаллов после ХДП следующие: средняя арифметическая шероховатость поверхности $R_a=0,3\text{ нм}$, $R_{ms}=0,4\text{ нм}$ (рис. 6). Следует отметить, что согласно требованиям, предъявляемым к сверхгладким полированным поверхностям полупроводников, значения R_a не должны превышать 10 нм [14].

Выводы

Разработаны травильные композиции состава $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--HBr--ЭГ}$ для полирования поверхности InAs, GaAs, InSb и GaSb и определены основные характеристики процесса растворения полупроводников в бромвыделяющих травителях. Установлено, что увеличение содержания окислителя способствует увеличению скорости травления кристаллов, а разведение смесей этиленгликолем приводит к противоположному эффекту. Область полирующих растворов содержит, об. %: (2–22) $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, (10–98) HBr и (0–80) ЭГ – для кристаллов InAs, GaAs, в при полирования InSb и GaSb – (2–19) $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$,

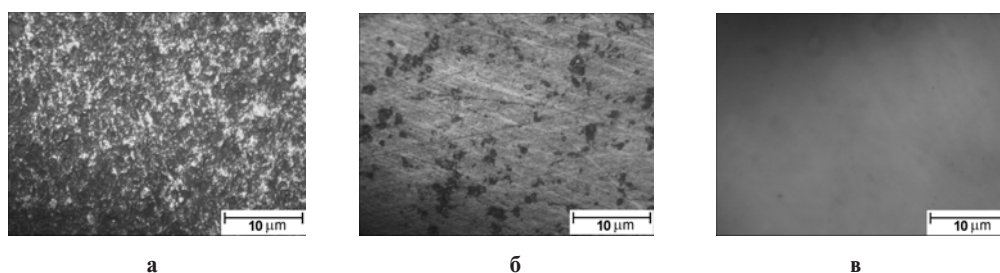


Рис. 5. Морфология поверхности InAs после (а) резки, (б) шлифования и (в) ХДП в растворе состава, об. %: 10 $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--}10\text{ HBr--}80\text{ ЭГ}$

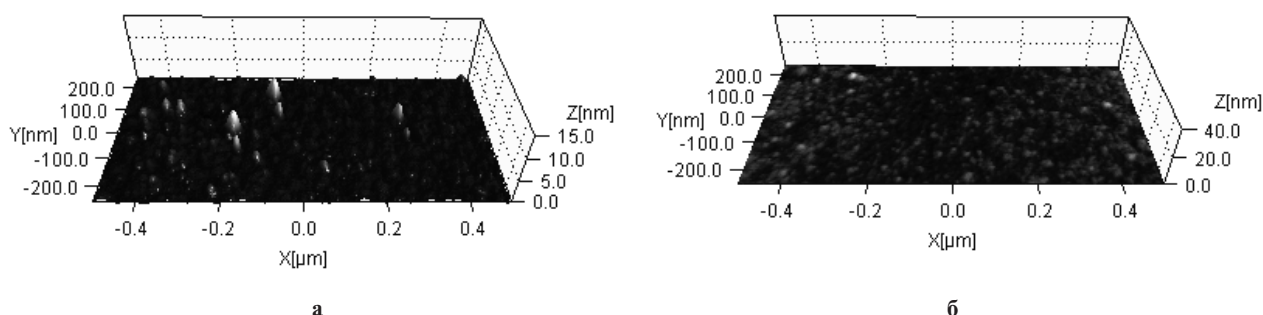


Рис. 6. Трехмерное АСМ-изображение поверхности кристаллов (а) InAs и (б) InSb после ХДП в полирующем растворе $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-HBr-ЭГ}$

(10–98) HBr и (0–80) ЭГ. Составы неполирующих растворов установлены только для подложек InSb и GaSb и содержат, об. %: (19–22) $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, (10–98) HBr и (0–80) ЭГ. Установлено, что повышение температуры раствора и скорости его перемешивания приводит к увеличению скорости травления. Процесс растворения кристаллов InAs, GaAs, InSb, GaSb в исследуемых травителях лимитируется стадией диффузии. Химико-динамическое полирование полупроводниковых материалов в гидродинамических условиях вращающегося диска способствует контролю процессу травления и воспроизводимости результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. <http://docs.lib.purdue.edu/dissertations/AAI3545279/> от 09.11.2016.
2. A study of doping influences on transmission of large diameter gallium antimonide substrates for long wave (LWIR) to very long wave length (VLWIR) infra-red applications / Martinez R., Tybjerg M., Smith B., Mowbray A., Furlong M.J. // Proc. of SPIE. – 2015. – Vol.9451. – P.94510U_1-94510U_11.
3. Wassweiler E., Toor F. Gallium antimonide texturing for enhanced light extraction from infrared optoelectronics devices // AIP advances. – 2016. – Vol.6. – P.065018.1-065018.6.
4. Etching behavior of GaAs, GaSb, InAs and InSb in aqueous $\text{H}_2\text{O}_2\text{-HBr}$ -ethylene glycol solutions / Shelyuk I.A., Tomashik Z.F., Tomashik V.N., Okrepka G.M., Moravec P., Stratiichuk I.B. // Inorg. Mater. – 2012. – Vol.48. – № 9. – P.867-871.
5. Creating disk-shaped cavity with a vertical side surface for an infrared whispering-gallery-mode laser ($\lambda \sim 3\mu\text{m}$) / Grebenshchikova E.A., Sherstnev V.V., Kizhaev S.S., Popova T.B., Yakovlev Y.P. // Techn. Phys. Lett. – 2008. – Vol.34. – № 11. – P.953-955.
6. Fabrication and characterization of microdisk resonators with In(Ga)As/GaAs quantum dots / Rastelli A., Ulhaq A., Deneke Ch., Wang L., Benyoucef M., Coric E., Winter W., Mendach S., Horton F., Cavallo F., Merdzhanova T., Kiravittaya S., Schmidt O.G. // Phys. stat. sol. (c). – 2006. – Vol.3. – № 11. – P.3641-3645.
7. Measuring friedel pairs in nanomembranes of GaAs (001)

/ Freitas R.O., Deneke C.F., Malachias A., Darin G., Morelhaio S.L. // J. Nanopart. Res. – 2013. – Vol.15. – P.1527_1-1527_7.

8. Wang S., Ye J., Luo L. Fabrication of deep vias/grooves as interconnection path by wet etching for wafer level packaging of GaAs based image sensor // Electronic Components & Technology Conference. – 2013. – P.2361-2365.

9. Kadhim N.J., Laurie S.H. and Mukherjee D. Chemical etching of group III–V semiconductors // J. Chem. Educ. – 1998. – Vol.75. – № 7. – P.840-843.

10. Papis-Polakowska E. Surface treatments of GaSb and related materials for the processing of mid-infrared semiconductor devices // Electron Technology – Internet Journal. – 2005/2006. – Vol.37/38. – № 4. – P.1-34.

11. Сангал К. Травление кристаллов: теория, эксперимент, применение. – М.: Мир, 1990. – 492 с.

12. Kutty M.N. Novel etch studies and passivation techniques on InAs/GaSb superlattice based infrared detectors. – Ph.D. thesis. – New Mexico, 2013. – 225 p.

13. Перевоицков В.А. Процессы химико-динамического полирования поверхности полупроводников // Высококачественные вещества. – 1995. – № 2. – С.5-29.

14. Пон С.С., Шароді І.С. Фізична електроніка. – Львів: ЄвроСвіт, 2001. – 250 с.

Поступила в редакцию 21.02.2017

FEATURES OF THE CHEMICAL POLISHING OF InAs, GaAs, InSb AND GaSb CRYSTALS IN THE $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-HBr-CH}_2(\text{OH})\text{CH}_2(\text{OH})$ SOLUTIONS

I.V. Levchenko, I.B. Stratiychuk, V.M. Tomashyk, G.P. Malanych, A.A. Korchovi

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

The chemical-dynamic polishing of the III–V semiconductors in the $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-HBr}$ -ethylene glycol etchant has been studied. It was established that the rate of the chemical reaction increases with increasing $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ concentration from 2 to 22 vol.%. The etchants have been classified into polishing and unpolishing solutions. The kinetics of the dissolution process has been analyzed. It was shown that the diffusion stage is the limiting factor of the reaction. It was established that the crystals dissolution rate grows with increasing the disk rotation speed and the etchant temperature. It was found that the semiconductors etching rate decreases and the polishing features of the $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{-HBr}$ -ethylene glycol etching composition improve when the ethylene glycol concentration increases. It was

established that chemical-dynamic polishing of the InAs, InSb, GaAs and GaSb by $(\text{NH}_4)_2\text{Cr}_2\text{O}_7\text{--HBr}$ -ethylene glycol solutions promotes increasing the structural damages of the substrate and obtaining the high-quality polishing surface.

Keywords: chemical-dynamic polishing; bromine emerging etchants; semiconductors; diffusion; chemical etching.

REFERENCES

1. *Electronic resource*. Available at: <http://docs.lib.purdue.edu/dissertations/AAI3545279>.
2. Martinez R., Tybjerg M., Smith B., Mowbray A., Furlong M.J. A study of doping influences on transmission of large diameter gallium antimonide substrates for long wave (LWIR) to very long wave length (VLWIR) infra-red applications. *Proceedings of SPIE – The International Society for Optical Engineering*, 2015, vol. 9451, pp. 94510U-1–94510U-11.
3. Wassweiler E., Toor F. Gallium antimonide texturing for enhanced light extraction from infrared optoelectronics devices. *AIP Advances*, 2016, vol. 6, pp. 065018-1–065018-6.
4. Shelyuk I.A., Tomashik Z.F., Tomashik V.N., Okrepka G.M., Moravec P., Stratiichuk I.B. Etching behavior of GaAs, GaSb, InAs and InSb in aqueous $\text{H}_2\text{O}_2\text{--HBr}$ -ethylene glycol solutions. *Inorganic Materials*, 2012, vol. 48, no. 9, pp. 867-871.
5. Grebenshchikova E.A., Sherstnev V.V., Kizhaev S.S., Popova T.B., Yakovlev Y.P. Creating disk-shaped cavity with a vertical side surface for an infrared whispering-gallery-mode laser ($\lambda\sim 3\mu\text{m}$). *Technical Physics Letters*, 2008, vol. 34, no. 11, pp. 953-955.
6. Rastelli A., Ulhaq A., Deneke Ch., Wang L., Benyoucef M., Coric E., Winter W., Mendach S., Horton F., Cavallo F., Merdzhanova T., Kiravittaya S., Schmidt O.G. Fabrication and characterization of microdisk resonators with In(Ga)As/GaAs quantum dots. *Physica Status Solidi C: Current Topics in Solid State Physics*, 2006, vol. 3, no. 11, pp. 3641-3645.
7. Freitas R.O., Deneke C.F., Malachias A., Darin G., Morelhaio S.L. Measuring friedel pairs in nanomembranes of GaAs (001). *Journal of Nanoparticle Research*, 2013, vol. 15, pp. 1527-1–1527-7.
8. Wang S., Ye J., Luo L. Fabrication of deep vias/grooves as interconnection path by wet etching for wafer level packaging of GaAs based image sensor. *Electronic Components & Technology Conference*, 2013, pp. 2361-2365.
9. Kadhim N.J., Laurie S.H., Mukherjee D. Chemical etching of group III–V semiconductors. *Journal of Chemical Education*, 1998, vol. 75, no. 7, pp. 840-843.
10. Papis-Polakowska E. Surface treatments of GaSb and related materials for the processing of mid-infrared semiconductor devices. *Electron Technology – Internet Journal*, 2005/2006, vol. 37/38, no. 4, pp. 1-34.
11. Sangval K., *Travlenie kristallov: teoriya, eksperiment, primeneniye* [Crystals etching: theory, experiment, application]. Mir, Moscow, 1990. 494 p. (in Russian).
12. Kutty M.N., *Novel etch studies and passivation techniques on InAs/GaSb superlattice based infrared detectors*: Ph.D. thesis, New Mexico, 2013.
13. Pervoshchikov V.A. Processy khimiko-dinamicheskogo polirowaniya poverkhnosti poluprovodnikov. [Chemical-dynamic polishing process of the semiconductors surface]. *Vysokochistye Veshchestva*, 1995, no. 2, pp. 5-29. (in Russian).
14. Pop S.S., Sharodi I.S., *Fizychna elektronika* [Physical Electronics]. Evrosvit Publishers, Lviv, 2001. 250 p. (in Ukrainian).