

ЭПИТАКСИАЛЬНЫЕ СЛОИ И МНОГОСЛОЙНЫЕ КОМПОЗИЦИИ

EPITAXIAL LAYERS AND MULTILAYERED COMPOSITIONS

Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2018. Т. 21, № 1. С. 43—47.

DOI: 10.17073/1609-3577-2018-1-43-47

УДК 621.315.592

Влияние травления теллурида кадмия на качество поверхности эпитаксиальных структур

© 2018 г. В. В. Парамонов¹, О. В. Новикова², В. Г. Косушкин^{1,§}

¹ *Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана (Калужский филиал),
ул. Баженова, д. 2, Калуга, 248000, Россия*

² *ООО «Мега Эпитех»,
2-й Академический проезд, д. 19, Калуга, 248033, Россия*

Аннотация. Исследовано травление подложек теллурида кадмия в водных и неводных растворах перед процессом эпитаксиального наращивания структур $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ и его влияние на качество поверхности эпитаксиальных слоев. В качестве травителей использовали 2—20%-ные растворы брома в изобутиловом спирте, 5%-ные растворы брома в метаноле, диметилсульфоксиде, этиленгликоле, растворы брома в бромистоводородной кислоте и смеси с глицерином, насыщенный раствор бихромата калия в серной кислоте. Скорости травления изменялись от 0,2 до 9 мкм/мин. Установлен полирующий характер травления подложек теллурида кадмия в 5%-ном растворе брома в изобутаноле. Процесс растворения носит диффузионный характер, лимитирован массопереносом реагентов в интервале температур 10—60 °С и зависит от концентрации брома и вязкости раствора.

Исследованы морфология и высота микронеровностей эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ в зависимости от способа травления исходной подложки. Найдены оптимальные составы травителей для предэпитаксиальной обработки с целью получения структур с высотой микронеровностей поверхности на уровне 0,1 мкм.

Ключевые слова: химическое травление, подложки теллурида кадмия, бром, изобутиловый спирт, эпитаксиальные структуры

Введение

Получение эпитаксиальных слоев твердых растворов $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ обладающих высоким структурным совершенством и электрофизическими параметрами, которые могут быть использованы для разработки приемников излучения ИК-диапазона — важная практическая задача [1, 2]. Качество эпитаксиальных слоев определяется как плотностью дефектов, ориентацией, морфологией поверхности подложек CdTe , так и способом, видом, качеством химической обработки перед процессом эпитаксиального наращивания [3—5].

Образцы и методы исследования

Исследовали влияние процесса химической обработки, состава травителя на качество (морфологию поверхности) эпитаксиальных структур

$\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$. Для исследования использовали монокристаллические подложки CdTe с ориентацией (111). Подложки после химико-механической полировки обрабатывали в различных травителях, содержащих бром. После промывки и сушки на подложках методом жидкофазной эпитаксии из теллуридов раствора — расплава выращивали эпитаксиальные слои $\text{Cd}_{0,2}\text{Hg}_{0,8}\text{Te}$.

Морфологию поверхности определяли с помощью профилографа — профилометра модели М-201. Металлографическое исследование структур проводили на микроскопе МИИ-4 при увеличении $\times 370$. Скорость травления и толщину травливаемого

Парамонов Виктор Васильевич¹ — канд. хим. наук, доцент, e-mail: victorparamonov@yandex.ru; **Новикова О. В.**² — научный сотрудник; **Косушкин Виктор Григорьевич**^{1,§} — доктор техн. наук, профессор, e-mail: kosushkin@gmail.com

§ Автор для переписки

слоя определяли расчетным путем по измерению массы подложек за время травления. Плотность $\text{CdTe} = 5,85 \text{ г/см}^3$, $\rho_{\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}} = (3,628 - x)/0,44924$ [2, 6]. Концентрацию брома определяли методом обратного титрования йода по классической методике, описанной в работе [7].

Результаты и их обсуждение

При химической обработке кристаллов CdTe в качестве полирующих травителей используют растворы на основе HNO_3 , бихромата калия, брома [8—15]. Однако не все травители могут быть с успехом применены для удаления нарушенного слоя после химико-механической полировки [16—18].

При использовании растворов, содержащих ион, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ происходит загрязнение кристалла примесью хрома, причем стравливание каждого последующего слоя приводит к переходу хрома в раствор, но он тут же связывается вновь образовавшейся поверхностью. Это механизм действует эффективно при десятках последовательных операций стравливания слоев. При последующей термической обработке концентрация примеси в объеме кристалла может достигать значений 10^{17} см^{-3} и более. Поскольку, необходимы слои $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ с концентрацией примеси 10^{16} см^{-3} и менее, то нежелательно использование травителей, содержащих калий и хром для предэпитаксиальной подготовки подложек CdTe .

Травители на основе азотной кислоты, как правило, имеют высокие скорости растворения и характеризуются низкой воспроизводимостью картины

травления, причем процесс травления сопровождается интенсивным окислением поверхности.

Наиболее распространенными травителями для контролируемого удаления материала и полировки являются растворы брома в HBr , в органических растворителях, таких как метиловый, этиловый и изобутиловые спирты.

В табл. 1 приведены данные по скоростям травления приведенных выше травителей при температуре 25°C .

Скорость травления в таких растворах зависит от концентрации свободного брома, которая, в свою очередь, определяется скоростью бромирования растворителя, летучестью брома.

Поскольку при травлении CdTe активным агентом является свободный бром, то наиболее оптимальными растворителями для обработки подложек следует признать этиленгликоль, метиловый и изобутиловые спирты.

Количество брома в растворе заметно уменьшается уже в первые часы после приготовления раствора. Поэтому целесообразно использовать травитель для химической обработки подложек CdTe в течение 1 ч.

Ниже рассмотрен характер воздействия брома в изобутиловом спирте на поверхность подложек CdTe . Установлено, что 5%-ный раствор брома является полирующим для подложек CdTe (111) в интервале температур $10\text{—}60^\circ\text{C}$.

При более высокой температуре начинает проявляться селективный характер действия травителя, что сопровождается появлением ямок травления, изменением морфологии поверхности, вплоть до ее матирования. При травлении в 5%-ном растворе брома в изобутаноле на глубину 4—5 мкм высота микронеровностей составляет не более 0,05 мкм. При 70°C и аналогичной глубине травления высота микронеровностей составляет уже 0,1—0,2 мкм. Увеличение глубины травления в обоих случаях способствует ухудшению морфологии поверхности. Минимальная толщина слоя, необходимого для удаления нарушенного слоя с подложки после химико-механической обработки, должна составлять не менее 1 мкм.

Скорость травления CdTe пропорциональна концентрации брома в травителе и зависит от температуры (табл. 2).

Анализ термокинетических данных (рисунок) показал, что растворение в бром-изобутаноле протекает по диффузионному закону и определяется доставкой реагента к поверхности подложки и отводом продуктов реакции.

Энергия активации процесса растворения, рассчитанная по прямолинейному участку в интервале температур $283\text{—}333 \text{ К}$ и уравнению Аррениуса составляет $\sim 1 \text{ кДж/моль}$, что полностью соответствует такому типу процессов.

Таблица 1

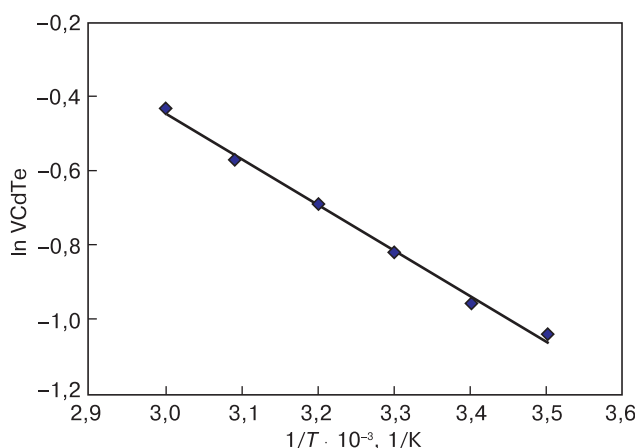
Скорости травления подложек CdTe (111) в зависимости от состава травителя
[Etching rates of CdTe (111) substrates, depending on the composition of the etchant]

№ п/п	Состав травителя	Скорость травления, мкм/мин
1	2 % Br_2 в изобутаноле	0,2
2	5 % Br_2 в изобутаноле	0,4
3	10 % Br_2 в изобутаноле	0,5
4	20 % Br_2 в изобутаноле	0,9
5	5 % Br_2 в метаноле	4,3
6	5 % Br_2 в диметилсульфоксиде	1,2
7	5 % Br_2 в этиленгликоле	0,2
8	Насыщенный раствор $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 7 : 3$	4,1
9	8 % Br_2 в HBr : глицерин = 1 : 2	0,3
10	8 % Br_2 в HBr	9,0

Таблица 2

Зависимость скорости травления подложек CdTe от температуры [Dependence of the etching rate of CdTe substrates on temperature]

№ п/п	T, К	V_{CdTe} , мкм/мин
1	283	0,35
2	293	0,38
3	303	0,44
4	313	0,5
5	323	0,56
6	333	0,65



Зависимость логарифма скорости травления от обратной температуры

The dependence of the logarithm of the etching rate on the inverse temperature

Очевидно, что процесс растворения CdTe в других бром-содержащих спиртах протекает по аналогичному механизму.

В табл. 3 приведены данные по скоростям травления с учетом концентрации брома в растворе во время травления и вязкости растворителя.

Из данных табл. 3 видно, что среднее значение скорости травления отличается от крайних значений не более чем на 20 %, т. е. находится в пределах

ошибки измерения значений скоростей. Постоянство скоростей травления согласуется с теорией диффузионных процессов, согласно которой скорость растворения определяется массопереносом реагентов и продуктов реакции и пропорциональна вязкости среды.

Установлено, что характерной особенностью эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, выращенных после обработки подложек CdTe в различных травителях, является сильная зависимость морфологии слоев от присутствия воды в травителе. В табл. 4 приведены данные по микрошероховатости поверхности эпитаксиальных слоев после обработки в различных травителях.

Из данных, приведенных в табл. 4, следует, что в зависимости от того, происходит ли травление CdTe в водной или безводной среде изменяется характер роста эпитаксиальных слоев. В одном случае (опыты 1, 2 табл. 3) это террасовидный рельеф с большим количеством шаровидных включений, пор, с наличием большого количества раствора—расплава теллура. При травлении в Br_2 -спиртовых средах (см. табл. 4, опыты 4 и 5) наблюдается более гладкий рельеф, количество капель расплава теллура значительно меньше.

Важно отметить, что присутствие воды на этапе промывки подложек от продуктов травления также приводит к ухудшению морфологии поверхности (см. табл. 4, опыты 4б и 5б)

К аналогичному результату приводит и длительное хранение подложек CdTe на воздухе, несмотря на то, что травление проводили полностью в спиртовой среде. Использование на этапе промывки подложек изопропилового или этилового спирта (см. табл. 4, опыты 3, 4а и 5а) не приводило к значительному улучшению морфологии поверхности эпитаксиальных слоев. Вероятно, во всех случаях ухудшение морфологии поверхности эпитаксиальных слоев связано с наличием на поверхности подложек окидных слоев, которые влияют на характер эпитаксиального роста. По данным работы [10] поверхность после химического травления в изобутаноле обогащена теллуром, что способствует послойному эпитаксиальному росту, поскольку

Таблица 3

Приведенные скорости травления CdTe (111) в средах различной вязкости [Reduced CdTe (111) etching rate in media of different viscosity]

Состав травителя	Скорость травления, мкм/мин	Вязкость, Па · с	Приведенная скорость травления, мкм/мин	Концентрация Br_2 через 5 мин, моль/л
5 % Br_2 в изобутиловом спирте	0,40	3,950	1,60	0,17
5 % Br_2 в метиловом спирте	4,30	0,597	2,56	0,2
5 % Br_2 в этиленгликоле	0,16	19,900	3,18	0,22

Высота микронеровностей поверхности эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ в зависимости от вида предэпитаксиальной обработки [The height of the asperities of the surface of the epitaxial layers of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, depending on the type of pre-epitaxial processing]

№ опыта	Схема химической обработки перед эпитаксией	Высота микронеровностей эпитаксиальных слоев, мкм
1	8% Br_2 в $\text{HBr} \rightarrow \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ центрифугирование	0,6—0,8
2	Насыщенный раствор $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7 : \text{H}_2\text{SO}_4 = 7 : 3 \rightarrow \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ центрифугирование	0,6—0,8
3	5 % Br_2 в этаноле \rightarrow этанол \rightarrow сушка в парах этанола	0,5—0,6
4	5 % Br_2 в изобутаноле \rightarrow изобутанол \rightarrow сушка в парах изобутанола	0,1
4a	5 % Br_2 в изобутаноле \rightarrow изопропанол \rightarrow сушка в парах изопропанола	0,5—0,6
4б	5 % Br_2 в изобутаноле $\rightarrow \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ центрифугирование	0,6—0,8
5	5% Br_2 в метаноле \rightarrow метанол \rightarrow сушка в парах метанола	0,1
5a	5% Br_2 в метаноле \rightarrow изопропанол \rightarrow сушка в парах изопропанола	0,5—0,6
5б	5% Br_2 в метаноле $\rightarrow \text{H}_2\text{O} \rightarrow$ центрифугирование	0,6—0,8

застройка решетки начинается со слоев теллура. Это и обеспечивает формирование более совершенной по морфологии поверхности эпитаксиальных слоев.

Заключение

Исследовано влияние химической обработки подложек теллурида кадмия на морфологию эпитаксиальных слоев $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ и показано, что травление подложек теллурида кадмия в бром-изобутаноле обеспечивает получение эпитаксиальных структур методом жидкофазной эпитаксии с высотой микронеровностей поверхности на уровне 0,1 мкм.

Библиографический список

- Пономаренко В. П. Теллурид кадмия-ртути и новое поколение приборов инфракрасной фотоэлектроники // Успехи физических наук. 2003. Т. 173, № 6. С. 649—665. DOI: 10.3367/UFNr.0173.200306c.0649
- Кожитов Л. В., Косушкин В. Г., Крапунин В. В., Пархоменко Ю. Н. Технология материалов микро- и нанoeлектроники. М.: МИСиС, 2007. 544 с.
- Atuchin V. V., Borisov S. V., Magarill S. A., Pervukhina N. V. Crystal structural premises to epitaxial contacts for a series of mercury-containing compounds // J. Crystal Growth. 2011. V. 318, Iss. 1. P. 1125—1128. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2010.08.059
- Jiang Q., Mullins J. T., Toman J., Hase T. P., Cantwell B. J., Lloyd G., Basu A., Brinkman A. W., Hetero-epitaxial crystal growth of CdTe on GaAs substrates // J. Crystal Growth. 2008. V. 310, Iss. 7–9. P. 1652—1656. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2007.11.171
- Nouruzi-Khorasani A., Lunn M. A., Jones I. P., Dobson P. S., Williams D. J., Astles M. G. Surface damage of CdTe by mechanical polishing investigated by cross-sectional TEM // J. Crystal Growth. 1990. V. 102, Iss. 4. P. 1069—1073. DOI: 10.1016/0022-0248(90)90877-N
- Косушкин В. Г., Кожитов Л. В., Головатый Ю. П., Емельянов С. Г., Червяков Л. М., Муратов Д. Г. Модели и алгоритмы решения задач технологии материалов микро- и нанoeлектроники. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2018. 359 с.
- Кольтоф И. М., Сендэл Е. Б. Количественный анализ. М.: Госхимиздат, 1948. С. 635—657.
- Иваницкая В. Г., Томашик З. Ф., Томашик В. Н., Фейчук П. И., Моравец П., Франц Я. Влияние кристаллографической ориентации CdTe на его травление иодвыделяющими смесями H_2O_2 -HI- $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ /этиленгликоль // Конденсир. среды и межфаз. границы. 2007. Т. 9, № 1. С. 47—52. URL: http://www.kcmf.vsu.ru/resources/t_09_1_2007_008.pdf
- Изобретение № 0002542894. Способ полирующего травителя для теллурида кадмия ртути / А. С. Кашуба, Е. В. Пермикина, 2015. URL: <https://edrid.ru/rid/216.013.2ca2.html>
- Изобретение № 0002611211. Способ пассивации поверхности теллурида кадмия ртути / А. С. Кашуба, С. В. Головин, 2017. URL: <https://edrid.ru/rid/217.015.a8db.html>
- Изобретение № 0002619423. Способ селективного травителя для теллурида кадмия ртути / А. С. Кашуба, Е. В. Пермикина, П. Р. Петрова, 2017.
- Парамонов В. В., Новикова О. В., Косушкин В. Г. Химическое травление и термообработка структур теллурида кадмия-ртути // Нелинейный мир. 2017. Т. 15, № 4. С. 64—68.
- Пат. 2004130554А (РФ). Способ химического травления теллурида кадмия / Н. Н. Колесников, В. В. Кведер, Е. Б. Борисенко, Д. Н. Борисенко, В. К. Гартман, 2006.
- Томашик З. Ф., Денисюк Р. А., Томашик В. Н., Чернюк А. С., Паренко И. М. Химическое травление монокристаллов твердых растворов $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ растворами иода в метаноле // Журнал неорганической химии. 2009. Т. 54, № 6. С. 945—949.
- Положева А. В., Головин С. В., Лакманова М. Р., Захаров Э. Ф., Кашуба А. С. Химико-механическая обработка поверхности теллурида кадмия-цинка с использованием травителя на основе серной кислоты // Прикладная физика. 2015. № 5. С. 80—83.
- Воротынцев В. М., Скупов В. Д. Базовые технологии микро- и нанoeлектроники : учебное пособие. Москва: Проспект, 2017. 520 с. (С. 156).
- Ivanits'ka V. G., Moravec P., Franc J., Tomashik Z. F., Feychuk P. I., Tomashik V. M., Shcherbak L. P., Mašek K., Höschl P. Chemical etching of CdTe in aqueous solutions of H_2O_2 - HF - citric acid // J. of Electronic Materials. 2007. V. 36, Iss. 8. P. 1921—1924. DOI: 10.1007/s11664-007-0166-9
- Gangash P., Milnes A. G. Etching of Cadmium Telluride // J. of Electrochem. Soc. 1981. V. 128, N 4. P. 924—926. DOI: 10.1149/1.2127534

Статья поступила в редакцию 28 июля 2018 г.

Izvestiya vuzov. Materialy elektronnoi tekhniki = Materials of Electronics Engineering. 2018, vol. 21, no. 1, pp. 43—47.
DOI: 10.17073/1609-3577-2018-1-43-47

The effect chemical treatment of the substrate cadmium telluride on the quality of epitaxial structures

V. V. Paramonov¹, O. V. Novikova², V. G. Kosushkin^{1,§}

¹ *Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, 2 Bazhenova Str, Kaluga 248000, Russia*

² *JSC «MeGa Epitech», 19 2nd Akademicheskii Proezd, Kaluga 248033, Russia*

Abstract. The etching of wafers of cadmium telluride in aqueous and nonaqueous solutions before the epitaxial process of building structures $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ and its influence on the surface quality of epitaxial layers. As the etchants investigated 2—20 % solution of bromine in isobutyl alcohol, 5 % solution of bromine in methanol, dimethylsulfoxide, ethylene glycol, solutions of bromine in hydrobromic acid and mixed with glycerin, a saturated solution of potassium dichromate in sulfuric acid. The speed of etching was varied from 0.2 to 9 $\mu\text{m}/\text{min}$. Polishing Set nature of the etching substrate of cadmium telluride in 5 % solution of bromine in *i*-butanol, the dissolution process is diffusion in nature and is limited by the mass transfer of the reactants in the temperature range of 10—60 °C, depending on the concentration of bromine and the viscosity of the solution. Studied the morphology and surface finish of epitaxial layers of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, depending on the method of etching the original substrate. Found the optimal compositions of etchants for precipitations processing of obtaining structures with a height of asperities of the surface at 0.1 atm.

Keywords: chemical etching, of the substrate of cadmium telluride, bromine, isobutyl alcohol, epitaxial structures

References

1. Ponomarenko V. P. Cadmium mercury telluride and the new generation of photoelectronic devices. *Physics—Uspekhi*, 2003, vol. 46, no. 6, pp. 629—644. DOI: 10.1070/PU2003v046n06ABEH001372
2. Kozhitov L. V., Kosushkin V. G., Krapuhin V. V., Parkhomenko Yu. N. *Tekhnologiya materialov mikro- i nanoelektroniki* [Materials technology micro- and nanotechnology]. Moscow: MISiS, 2007, 544 p. (In Russ.)
3. Atuchin V. V., Borisov S. V., Magarill S. A., Pervukhina N. V. Crystal structural premises to epitaxial contacts for a series of mercury-containing compounds. *J. Crystal Growth*, 2011, vol. 318, no. 1, pp. 1125—1128. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2010.08.059
4. Jiang Q., Mullins J. T., Toman J., Hase T. P., Cantwell B. J., Lloyd G., Basu A., Brinkman A. W., Hetero-epitaxial crystal growth of CdTe on GaAs substrates. *J. Crystal Growth*, 2008, vol. 310, no. 7–9, pp. 1652—1656. DOI: 10.1016/j.jcrysgro.2007.11.171
5. Nouruzi-Khorasani A., Lunn M. A., Jones I. P., Dobson P. S., Williams D. J., Astles M. G. Surface damage of CdTe by mechanical polishing investigated by cross-sectional TEM. *J. Crystal Growth*, 1990, vol. 102, no. 4, pp. 1069—1073. DOI: 10.1016/0022-0248(90)90877-N
6. Kosushkin V. G., Kozhitov L. V., Golovaty Yu. P., Emel'yanov S. G., Chervyakov L. M., Muratov D. G. *Modeli i algoritmy resheniya zadach tekhnologii materialov mikro- i nanoelektroniki* [Models and algorithms for solving problems of the technology of materials of micro- and nanoelectronics]. Kursk: Yugo-Zap. gos. un-t., 2018, 359 p. (In Russ.)
7. Kol'tgof I. M., Sendel E. B. *Kolichestvennyi analiz* [Quantitative Analysis]. Moscow: Goschimizdat, 1948, pp. 635—657. (In Russ.)
8. Ivanits'ka V. G., Tomashik Z. F., Tomashik V. M., Feychuk P. I., Moravec P., Franc J. The influence of the CdTe crystallographic orientation on its etching with iodine-separating mixtures H_2O_2 -HI- $\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_7$ /ethylene glycol. *Kondensirovannye sredy i mezhfaznyye granitsy*, 2007, vol. 9, no. 1, pp. 47—52. (In Russ.). URL: http://www.kcmf.vsu.ru/resources/t_09_1_2007_008.pdf
9. Invention No. 0002542894. *Sposob poliruyushchego travitelya dlya tellurida kadmiya rtuti* [Polishing etchant method for cadmium mercury telluride]. A. S. Kashuba, E. V. Permikina, 2015. URL: <https://edrid.ru/rid/216.013.2ca2.html>
10. Invention No. 0002611211. *Sposob passivatsii poverkhnosti tellurida kadmiya rtuti* [Method for passivation of mercury cadmium telluride surface]. A. S. Kashuba, S. V. Golovin, 2017. URL: <https://edrid.ru/rid/216.013.2ca2.html>
11. Invention No. 0002619423. *Sposob selektivnogo travitelya dlya tellurida kadmiya rtuti* [Method of selective etchant for cadmium telluride mercury]. A. S. Kashuba, E. V. Permikina, P. R. Petrova, 2017.
12. Paramonov V. V., Novikova O. V., Kosushkin V. G. Chemical etching and thermal treatment of cadmium-mercury telluride structures. *Nelineinyi mir = Nonlinear World*, 2017, vol. 15, no. 4, pp. 64—68. (In Russ.)
13. Pat. 2004130554A (RF). *Sposob khimicheskogo travleniya tellurida kadmiya* [Method of chemical etching of cadmium telluride]. N. N. Kolesnikov, V. V. Kveder, E. B. Borisenko, D. N. Borisenko, V. K. Gartman, 2006. (In Russ.)
14. Tomashik Z. F., Tomashik V. N., Denisjuk R. A., Chernyuk A. S., Rarenko I. M. Chemical etching of $\text{Cd}_{1-x}\text{Mn}_x\text{Te}$ solid solution single crystals with iodine solutions in methanol. *Russian Journal of Inorganic Chemistry*, 2009, vol. 54, no. 6, pp. 881—884. DOI: 10.1134/S0036023609060102
15. Pogozheva A. V., Golovin S. V., Lakmanova M. R., Zaharov E. F., Kashuba A. S. Chemical-mechanical treatment of the cadmium-zinc-telluride surface using the sulfuric acid as an etching agent. *Prikladnaya fizika*, 2015, no. 5, pp. 80—83. (In Russ.)
16. Vorotyntsev V. M., Skupov V. D. *Bazovye tekhnologii mikro- i nanoelektroniki* [Basic technologies of micro- and nanoelectronics]. Moscow: Prospekt, 2017, 520 p. (In Russ.)
17. Ivanits'ka V. G., Moravec P., Franc J., Tomashik Z. F., Feychuk P. I., Tomashik V. M., Shcherbak L. P., Mašek K., Höschl P. Chemical etching of CdTe in aqueous solutions of H_2O_2 -HF-citric acid. *J. of Electronic Materials*, 2007, vol. 36, no. 8, pp. 1921—1924. DOI: 10.1007/s11664-007-0166-9
18. Gangash P., Milnes A. G. Etching of Cadmium Telluride. *J. Electrochem. Soc.*, 1981, vol. 128, no. 4, pp. 924—926. DOI: 10.1149/1.2127534

Information about authors:

Victor V. Paramonov¹: Cand. Sci. (Chim.), Associate Professor (victorparamonov@yandex.ru); **O. V. Novikova²:** Engineer (and-viro@gmail.com); **Victor G. Kosushkin^{1,§}:** Dr. Sci. (Eng.), Professor (kosushkin@gmail.com)

§ Corresponding author

Received July 28, 2018

* * *