

УДК 621.315.5

Исследование поверхности эпитаксиальных гетероструктур $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ после полирующего травления

А. С. Кашуба, Е. В. Пермикина, С.В. Головин

В работе приведены результаты исследований гетероструктур теллурида кадмия-ртути ориентации [310] после полирующего травления. Измерения электрофизических характеристик и визуальный контроль методом атомно-силовой микроскопии показали, что травление ГЭС КРТ в системе H_2O_2 - HBr -этиленгликоль с добавлением метанола улучшает структуру поверхности CdHgTe по сравнению с травлением в данной системе без метанола. При этом значения концентрации поверхностных электронов, рассчитанные по зависимости коэффициента Холла от величины магнитного поля, уменьшаются на порядок, шероховатость поверхности снижается не менее чем в три раза.

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz, 07.57.Kp, 85.60.Dw

Ключевые слова: эпитаксиальные структуры, ГЭС КРТ, атомно-силовая микроскопия, электрофизические параметры, шероховатости поверхности CdHgTe , метанол CH_3OH .

Введение

На данный момент остаются актуальными вопросы, связанные с производством крупноформатных инфракрасных фотодиодных матриц для матричных фотоприемных устройств (МФПУ) на основе узкозонного полупроводникового твёрдого раствора теллурида кадмия-ртути [1—5]. При изготовлении матричных фотодиодных элементов с целью уменьшения поверхностной рекомбинации эпитаксиальные структуры CdHgTe покрывают пассивирующим слоем [6, 7]. Состояние поверхности CdHgTe влияет на качество пассивации и стабильность границы раздела КРТ—пассивирующий слой. Для того чтобы минимизировать токи утечки фотодиодов, изготовленных в ГЭС КРТ, обеспечить отсутствие инверсии проводимости у поверхности CdTe и сократить плотность поверхностных состояний на границе раздела CdHgTe —пассивирующий слой, перед проведением пассивации необходимо обработать поверхность ГЭС КРТ полирующим травителем.

Одним из индикаторов уменьшения плотности поверхностных состояний является уменьшение шероховатостей поверхности после полирующего

травления и, как следствие, понижение концентрации поверхностных электронов [8].

Для теллурида кадмия-ртути наиболее распространены травители на основе брома в метаноле или бромистоводородной кислоты с добавлением этиленгликоля или глицерина. Известны составы для травления теллурида кадмия-цинка и теллурида кадмия, которые также применяются и для травления теллурида кадмия-ртути, содержащие метанол, молочную кислоту, бром и этиленгликоль в различных соотношениях [5, 9]. Для случая полирующего травления поверхности ГЭС КРТ с ориентацией [310] травители составов, приведенных в [5, 9], неприемлемы, так как характеризуются высокими скоростями травления (3—9, 9—15 мкм/мин).

Наиболее распространенным для обработки эпитаксиальной поверхности КРТ является раствор для травления, представляющий систему H_2O_2 - HBr -этиленгликоль.

Для травителей, обогащенных HBr , максимальное значение скорости травления около 23 мкм/мин, а минимальное — около 1 мкм/мин (в растворах, содержащих наибольшее количество растворителя) [10]. Недостатком такого раствора для травления является то, что при обработке в нем КРТ шероховатость поверхности составляет в среднем около 6—12 нм. Это не позволяет достичь наиболее высоких электрофизических параметров на границе раздела CdHgTe —пассивирующий слой.

В данной работе проведено исследование поверхности гетероструктур $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ ориентации [310] в процессе их травления с целью подбо-

Кашуба Алексей Сергеевич, начальник участка.
Пермикина Елена Вячеславовна, вед. инженер.
Головин Сергей Вадимович, ст. научный сотрудник.
ОАО «НПО «Орион».

Россия, Москва, 111123, ш. Энтузиастов, 46/2.
Тел. (499) 374-94-00. E-mail: orion@orion-ir.ru

Статья поступила в редакцию 27 сентября 2014 г.

© Кашуба А. С., Пермикина Е. В., Головин С. В., 2014

ра оптимального состава травителя для минимизации шероховатости поверхности.

Методика исследования

Исследовались гетероструктуры $Cd_xHg_{1-x}Te$ (ГЭС КРТ) p -типа проводимости, ориентированные в направлении [310] и выращенные методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) на оптически прозрачных подложках из GaAs в Институте физики полупроводников СО РАН (г. Новосибирск). Для оценки эффективности полирующего травления в зависимости от состава травящего раствора применялся метод атомно-силовой микроскопии и проводились измерения электрофизических характеристик образцов ГЭС КРТ. Шероховатость поверхности ГЭС КРТ исследовалась на атомно-силовом микроскопе (АСМ) Integra Maximus. Определение зависимостей коэффициента Холла от величины магнитного поля проводилось на установке измерений электрофизических параметров «Кремний-1» в области магнитных полей 0,1—0,7 Тл, а затем определялись электрофизические характеристики по методу Ван-дер-Пау.

Сравнивались две системы растворов для травления:

1. H_2O_2 -HBr-этиленгликоль (травитель № 1);
2. H_2O_2 -HBr-этиленгликоль-метанол (травитель № 2).

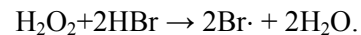
Для достижения наибольшего полирующего эффекта содержание растворителя уменьшалось по сравнению с окислителем, в раствор добавлялся комплексообразователь. Раствор для травления тщательно перемешивали.

Особенности процесса полирующего травления $Cd_xHg_{1-x}Te$

Процесс растворения полупроводникового материала при полирующем травлении протекает в диффузионном режиме, при этом вблизи поверхности образуется вязкая пленка из продуктов растворения полупроводника. При диффузионном режиме радиус кривизны неровностей намного меньше толщины диффузионного слоя и подача реагента производится из глубины раствора, поэтому искривление растворяющейся поверхности не будет оказывать существенного влияния на скорость переноса вещества внутри диффузионного слоя.

Растворение теллурида-кадмия ртути в системе кислот зависит от стадии окисления поверхности и последующего растворения окисла. Для обработки эпитаксиальной поверхности КРТ наиболее часто применяют раствор для травления, представляющий систему H_2O_2 -HBr-этиленгликоль. В случае применения такого травителя растворе-

ние происходит за счет появления активного атомарного брома в процессе реакции взаимодействия



Для растворения образующихся на поверхности оксидов целесообразно добавлять в травитель комплексообразователь. Роль комплексообразователей в данном случае выполняют спирты. Комплексообразователь способствует растворению продуктов реакции окисления путем образования хорошо растворимых комплексных соединений. Различные многоосновные спирты (например, этиленгликоль, глицерин) благодаря высокой вязкости и малой константе ионизации уменьшают скорость растворения, что очень важно при полирующем травлении. Таким образом, процессы растворения КРТ, как и других полупроводниковых материалов, в области полирующих составов протекают по окислительно-гидротационному механизму.

Результаты и обсуждение

Для улучшения качества поверхности $CdHgTe$ после травления (уменьшение высоты шероховатостей и сокращение концентрации поверхностных электронов) в систему для травления H_2O_2 -HBr-этиленгликоль (травитель № 1), описанную в [11], был добавлен метанол CH_3OH и опробовано травление поверхности ГЭС КРТ МЛЭ. Оптимальные результаты были получены при добавлении от трех до шести объемных долей метанола. Максимальная скорость полирующего травления поверхности теллурида-кадмия ртути ориентации [310] в системе H_2O_2 -HBr-этиленгликоль-метанол (травитель № 2), v_{max} составила около 0,7 мкм/мин.

Скорость травления определялась при помощи анализа АСМ-изображений профилей образцов, поверхность которых перед травлением частично покрывалась фоторезистом. Сопоставление изображений «ступенек» на рис. 1 и рис. 2 показало, что при добавлении к системе H_2O_2 -HBr-этиленгликоль метанола скорость травления уменьшается (время травления — 2 минуты).

Уменьшение скорости травления способствует достижению лучшего качества поверхности образцов ГЭС КРТ. Как показано на рис. 4, высота шероховатостей значительно уменьшается после травления в растворе с метанолом. После травления в системе H_2O_2 -HBr-этиленгликоль-метанол шероховатость снижается не менее чем в три раза (среднее значение шероховатости 1,6 нм) по сравнению с травлением в системе H_2O_2 -HBr-этиленгликоль (среднее значение шероховатости 6,339 нм) (рис. 3 и 4).

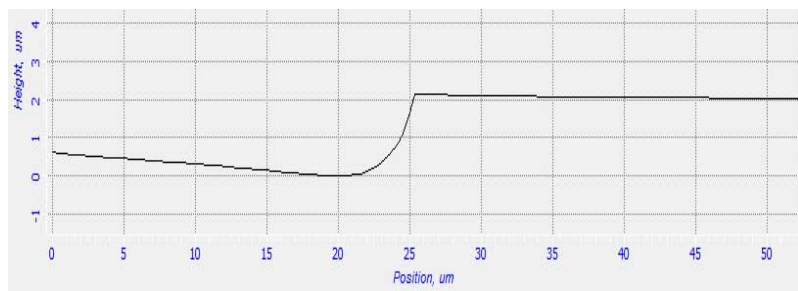


Рис. 1. Изображение профиля поверхности эпитаксиальной структуры $Cd_xHg_{1-x}Te$ после полирующего травления в течение двух минут в системе H_2O_2 - HBr -этиленгликоль при покрытии фоторезистом правой части образца, полученное на атомно-силовом микроскопе «Integra Maximus»



Рис. 2. Изображение профиля поверхности эпитаксиальной структуры $Cd_xHg_{1-x}Te$ после полирующего травления в течение двух минут в системе H_2O_2 - HBr -этиленгликоль-метанол при покрытии фоторезистом левой части образца, полученное на атомно-силовом микроскопе Integra Maximus

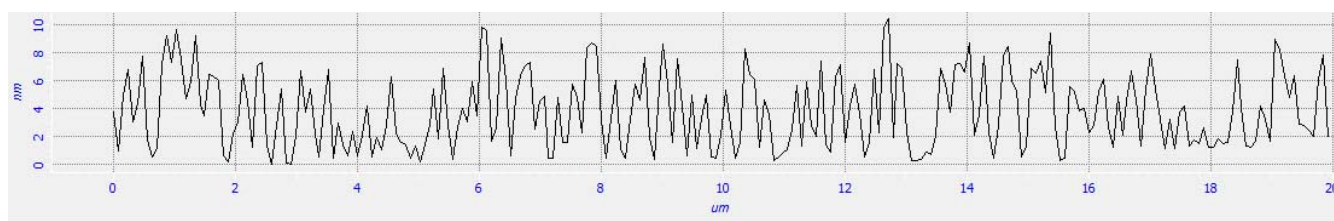


Рис. 3. Изображение профиля поверхности эпитаксиальной структуры $Cd_xHg_{1-x}Te$ после полирующего травления в системе H_2O_2 - HBr -этиленгликоль, полученное на атомно-силовом микроскопе Integra Maximus

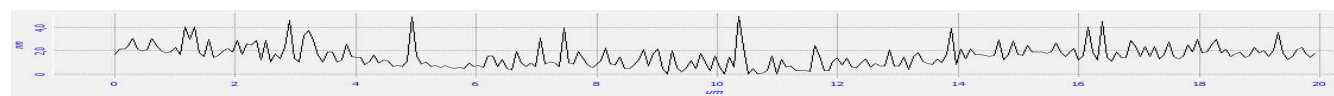


Рис. 4. Изображение профиля поверхности эпитаксиальной структуры $Cd_xHg_{1-x}Te$ после полирующего травления в системе H_2O_2 - HBr -этиленгликоль-метанол, полученное на атомно-силовом микроскопе Integra Maximus

Улучшение структуры поверхности КРТ при травлении в системе H_2O_2 - HBr -этиленгликоль-метанол приводит к уменьшению концентрации

поверхностных электронов на порядок по сравнению с травлением в данной системе без добавления метанол (рис. 5 и таблица).

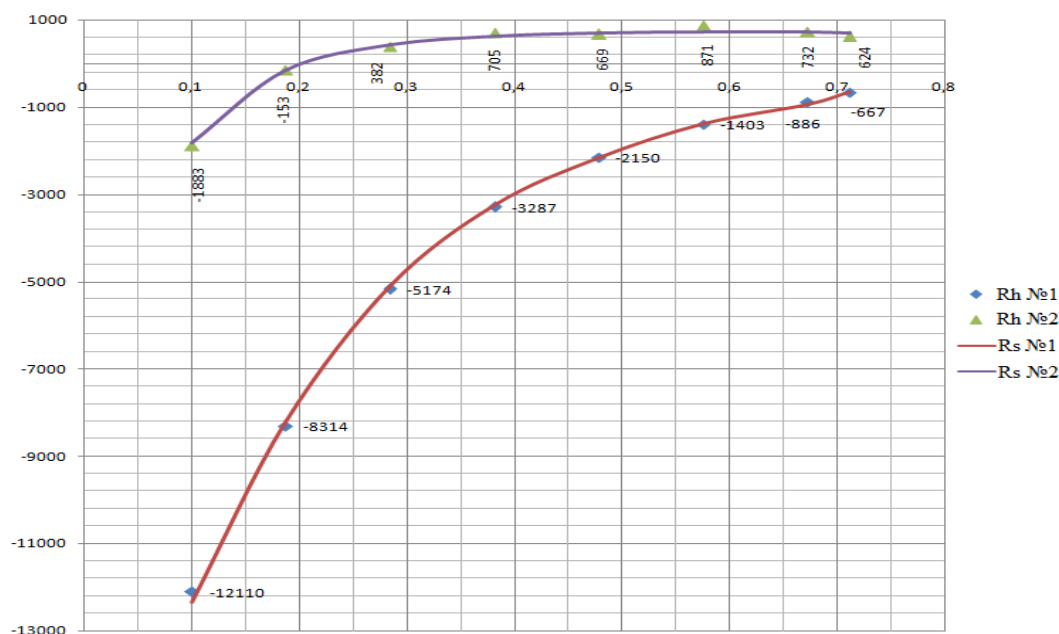


Рис. 5. Сравнительная характеристика электрофизических параметров образца КРТ МЛЭ после травления в травителях № 1 и № 2. Rh — экспериментальная, Rs — расчетная зависимости коэффициентов Холла от магнитного поля

Таблица

Сравнительная характеристика электрофизических параметров образца КРТ МЛЭ после травления в травителях № 1 и № 2

Электрофизические параметры	КРТ после травления в травителе без метанола	КРТ после травления в травителе с метанолом
	№ 1	№ 2
$N_s, \text{см}^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{10}$	$1,4 \cdot 10^9$
$n, \text{см}^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{13}$	$1,8 \cdot 10^{12}$
$P_s, \text{см}^{-2}$	$8,7 \cdot 10^{12}$	$4,6 \cdot 10^{12}$
$p, \text{см}^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{16}$	$5,8 \cdot 10^{15}$
$\mu_n, \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	50686	82624
$\mu_p, \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	367	620

Улучшение структуры поверхности КРТ при травлении в системе H_2O_2 -НВг-этиленгликоль-метанол, по-видимому, обусловлено тем, что метанол, выполняя функции комплексообразователя, способствует растворению продуктов реакции окисления поверхности КРТ путем образования хорошо растворимых комплексных соединений. Это позволяет избежать загрязнений поверхности теллурида кадмия-ртути продуктами реакций. Метанол высокоактивен, смешивается в любых соотношениях с водой и органическими растворителями, что связано с малыми размерами молекул. Уменьшение шероховатости поверхности теллурида-кадмия ртути способствовало сокращению концентрации поверхностных электронов, что позволило, тем самым, уменьшить плотность поверхностных состояний на границе раздела.

Заключение

Раствор для травления H_2O_2 -НВг-этиленгликоль-метанол позволяет получать лучший полирующий эффект при обработке поверхности ГЭС КРТ p -типа проводимости с кристаллографической ориентацией [310]. Уменьшение шероховатости поверхности теллурида-кадмия ртути способствует сокращению токов утечки фотодиодов на границе раздела CdHgTe—пассивирующий слой.

Литература

1. Boltar K. O., Burlakov I. D., Ponomarenko V. P., et al. // Proceedings of SPIE. 2009. V. 4298. P. 72982P.
2. Болтарь К. О., Бовина Л. А., Бурлаков И. Д. и др. // Прикладная физика. 1999. № 3. С. 32.
3. Boltar K. O., Bovina L. A., Burlakov I. D., et al. // Proceedings of SPIE. 2000. V. 4340. P. 23.
4. Boltar K. O., Burlakov I. D., Golovin S. V., et al. // Proceedings of SPIE. 2005. V. 5957. P. 59570H1.
5. Burger A., Chang H., Kuo-Tong Chen, et al. Method for surface treatment of a cadmium zinc telluride crystal, US 55933706 A, 1999.
6. Арбенина В. В., Данилова Т. В., Кацуба А. С. и др. // Вестник МИТХТ. 2007. Т. 2. № 5. С. 51.
7. Бурлаков И. Д., Кацуба А. С., Пермикина Е. В. и др. // Вестник МИТХТ. 2009. Т. 4. № 4. С. 78.
8. Болтарь К. О. // Прикладная физика. 1999. № 6. С. 65.
9. Томашик З. Ф., Иваницкая В. Г., Томашик В. Н. и др. / Тезисы докладов XIX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 2006. С. 147.
10. Томашик З. Ф., Гнатий И. И., Томашик В. Н. и др. / Тезисы докладов XIX Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 2006. С. 148.
11. Стратийчук И. Б. // Оптоэлектрон. и полупровод. техн. 2011. № 46. С. 134.

Investigation of the surfaces of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ epitaxial heterostructures after etching

A. S. Kashuba, E. V. Permikina, and S. V. Golovin

Orion R&P Association
46/2 Entuziastov shosse, Moscow, 111123, Russia
E-mail: orion@orion-ir.ru

Received September 27, 2014

In this work, results of research of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ surface of oriented (310) epitaxial heterostructures after polish etching is considered. The research by atomic force microscopy of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ surface have been indicate that etching of bromic solution with methanol reduces roughness on surface three times the size as compared with etching of bromic solution not methanol. The investigation by atomic force microscopy of $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ oriented (310) epitaxial

heterostructures have been indicate that etching the surface of bromic solution with methanol reduces roughness of the surface and leakage surface currents.

PACS: 42.79.Pw, 85.60.Gz, 07.57.Kp, 85.60.Dw

Keywords: MCT heteroepitaxial structure, atomic force microscopy, roughness of the surface, methanol.

References

1. K. O. Boltar, I. D. Burlakov, V. P. Ponomarenko, et al., Proc. SPIE **4298**, 72982P (2009).
2. K. O. Boltar, L. A. Bovina, I. D. Burlakov, et al., Prikladnaya Fizika, No. 3, 32 (1999).
3. K. O. Boltar, L. A. Bovina, I. D. Burlakov, et al., Proc. SPIE **4340**, 23 (2003).
4. K. O. Boltar, I. D. Burlakov, S. V. Golovin, et al., Proc. SPIE **5957**, 59570H1 (2005).
5. A. Burger, H. Chang, Chen Kuo-Tong, et al., US Patent 55933706 A, 1999.
6. V. V. Arbenina, T. V. Danilova, A. S. Kashuba, et al., Vestnik MITKhT **2** (5). 51 (2007).
7. I. D. Burlakov, A. S. Kashuba, E. V. Permikina, et al., Vestnik MITKhT **4** (4). 78 (2009).
8. K. O. Boltar, Prikladnaya Fizika, No. 6, 65 (1999).
9. Z. F. Tomashik, V. G. Ivanitskaya, V. N. Tomashik, et al., in Proc. XIX Intern. Conf. Photoelectronics (NPO Orion, Moscow, 2006), pp. 147—148.
10. Z. F. Tomashik, I. I. Gnatiy, V. N. Tomashik, et al., in Proc. XIX Intern. Conf. Photoelectronics (NPO Orion, Moscow, 2006), pp. 148—149.
11. I. B. Stratiychuk, Стратійчук, І. Б. Оптиелектрон. і Полупроводн. Tekhn., No. 46, 134 (2011).