

УДК 621.315.5

Исследование влияния термообработки на электрофизические характеристики эпитаксиальных слоев гетероструктур теллурида кадмия-ртути

А. С. Кашуба, С. В. Головин, К. О. Болтарь, Е. В. Пермикина, А. С. Атрашков

Приведены результаты исследования влияния термообработки на электрофизические характеристики гетероструктур теллурида кадмия-ртути р-типа проводимости, выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией. Показано, что при термической обработке в атмосфере инертного газа ГЭС КРТ концентрация дырок возрастает до $3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, а концентрация электронов в приповерхностном слое резко уменьшается.

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

Ключевые слова: гетероэпитаксиальные структуры, теллурид кадмия-ртути, ГЭС КРТ, электрофизические характеристики.

Введение

В настоящее время теллурид кадмия-ртути (КРТ) продолжает оставаться одним из наиболее востребованных материалов для производства крупноформатных и высокочувствительных многоспектральных матричных фотоприемных устройств (МФПУ) [1—7]. На данный момент для изготовления МФПУ используются эпитаксиальные структуры КРТ, выращенные методами жидкофазной и молекулярно-лучевой эпитаксии, а также полученные осаждением из металлоорганических соединений. Фотоэлектрические характеристики МФПУ, изготовленных на основе эпитаксиальных структур, непосредственно определяются электрофизическими свойствами материала.

Следует отметить, что наряду с такими положительными особенностями фундаментальных свойств материала КРТ, как высокий коэффициент поглощения и относительно небольшая диэлектрическая проницаемость, существуют и некото-

рые отрицательные характеристики материала. Например, высокая подвижность и летучесть ртути (вследствие слабой химической связи Hg-Te) приводят к образованию собственных точечных дефектов, негативно влияющих на характеристики приборов на базе этого материала [8].

Низкий энергетический порог образования собственных дефектов в КРТ затрудняет применение для этого материала традиционных методов получения заданных электрофизических свойств. Но, несмотря на это, легкость генерации собственных точечных дефектов делает возможным управление электрофизическими свойствами материала КРТ только за счет изменения концентрации таких дефектов, без введения примесей. Так, вакансии ртути способствуют получению КРТ р-типа проводимости путем термической обработки гетероструктур, не прибегая к легированию материала. Вследствие диффузии точечные дефекты могут изменять электрофизические характеристики слоев КРТ в процессе изготовления МФПУ [8, 9].

В работах [10, 11] отмечалось, что диффузия атомов ртути, взаимодействующих с другими точечными и протяженными дефектами, может приводить к инверсной проводимости в приповерхностных областях гетероструктур КРТ р-типа проводимости. Изменение числа точечных дефектов, а также их комплексов возможно путем термической обработки.

В данной работе представлены результаты проведенных нами исследований электрофизических характеристик эпитаксиальных гетероструктур теллурида кадмия-ртути, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии, в зависимости от продолжительности термообработок в среде инертного газа.

Кашуба Алексей Сергеевич, начальник участка¹.
Головин Сергей Вадимович, ст. научный сотрудник¹.
Болтарь Константин Олегович, начальник НТК¹, профессор².

Пермикина Елена Вячеславовна, вед. инженер¹.
Атрашков Антон Сергеевич, инженер НТК¹.

¹ОАО «НПО «Орион».

Россия, 111396, Москва, шоссе Энтузиастов, 46/2.

Тел. (499) 374-81-30. E-mail: orion@orion-ir.ru

²Московский физико-технический институт

(государственный университет).

Россия, 141700, Московская обл., г. Долгопрудный, Институтский пер., 9.

Статья поступила в редакцию 17 августа 2014 г.

© Кашуба А. С., Головин С. В., Болтарь К. О.,
Пермикина Е. В., Атрашков А. С., 2014

Методика исследования

Исследовались эпитаксиальные гетероструктуры $Cd_xHg_{1-x}Te$ p -типа проводимости, выращенные в ИФП СО РАН методом молекулярно-лучевой эпитаксии на подложках GaAs по техническим условиям 1778-333/0-0198396-11ТУ. Образцы имели следующие исходные параметры рабочего слоя: состав $x = 0,224 \pm 0,002$, толщина $d = 8 \div 9$ мкм, концентрация основных носителей заряда $p = 7,0 \cdot 10^{15} \div 1,3 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$ и их подвижность $\mu = 400 \div 550 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$. Для защиты узкозонного рабочего слоя и уменьшения поверхностной рекомбинации на его поверхности выращивался верхний варизонный слой толщиной $d_0 = 0,35 \div 0,45$ мкм с увеличением состава x до $0,35 \div 0,45$. Варизонный слой на поверхности гетероэпитаксиальных структур КРТ позволяет проводить термообработку гетероструктур в атмосфере инертного газа при относительно небольшом давлении.

Термическая обработка гетероэпитаксиальных структур КРТ проводилась в атмосфере аргона при давлении 1,5 атм. при температуре около 230°C в течение пяти, семи и восьми часов.

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. Электрофизические характеристики ГЭС КРТ, в том числе значения концентрации и подвижности электронов и дырок, определялись методом Ван-дер-Пау по методике, предложен-

ной в [12]. Характеристики образцов после термической обработки сравнивались с характеристиками этих же образцов до термообработки. Было исследовано десять образцов.

Результаты и обсуждение

В процессе проведенных нами исследований оказалось, что электрофизические характеристики исходных образцов заметно различаются между собой. Сравнивая графические изображения зависимостей коэффициента Холла от величины магнитного поля (рис. 1, а) и полученные в результате обработки данных значения исходной концентрации электронов в приповерхностном слое (таблица), мы выделили образцы двух типов:

1) образцы с концентрацией электронов порядка более 10^9 см^{-2} ; в этом случае на поверхности гетероэпитаксиального слоя КРТ p -типа проводимости имеется тонкий слой инверсной проводимости n -типа [12, 13].

2) образцы с концентрацией электронов порядка менее 10^9 см^{-2} .

В статье приведены наиболее характерные результаты исследований электрофизических характеристик образцов на примере двух гетероэпитаксиальных структур: КРТ091020С1 и КРТ130628. На рис. 1 показаны экспериментальные R_h и расчетные R_s зависимости коэффициента Холла от магнитного поля, приложенного к гетероструктурам до и после термообработок различной временной продолжительности.

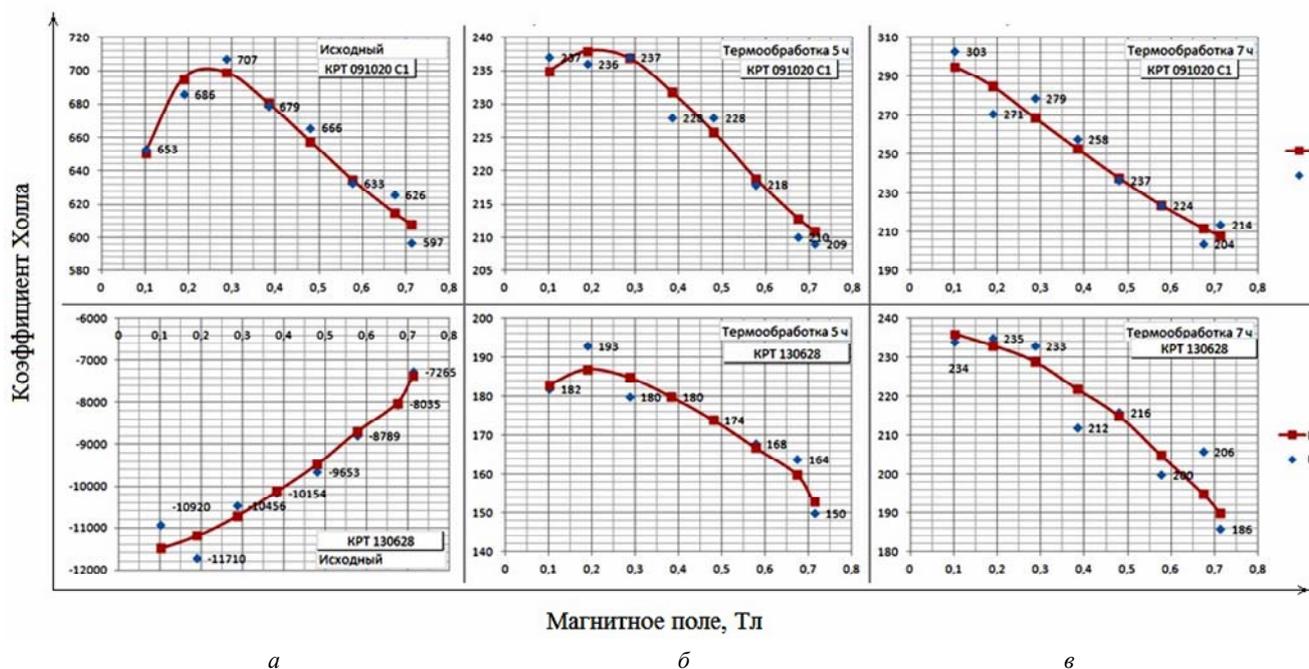


Рис. 1. Экспериментальная (R_h) и расчетная (R_s) зависимости коэффициента Холла от магнитного поля для гетероструктур КРТ091020 С1 и КРТ 130628: исходный образец (а); после термообработки в течение 5 часов (б); после термообработки в течение 7 часов (в)

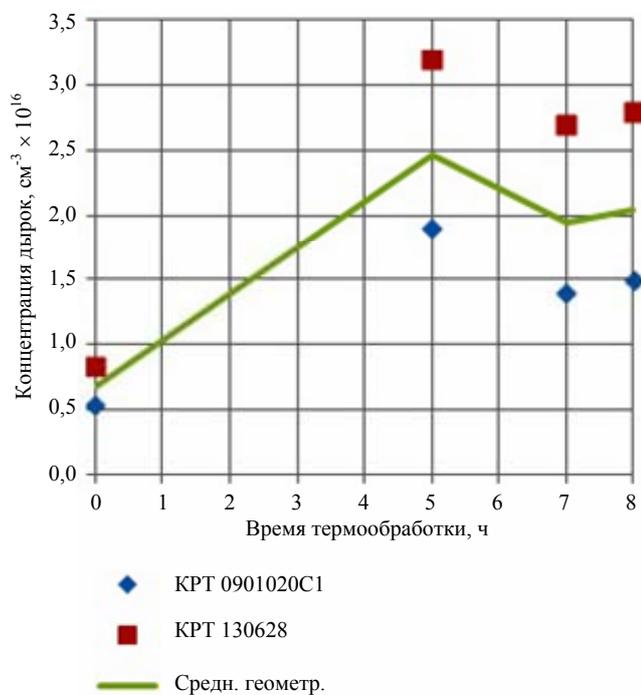
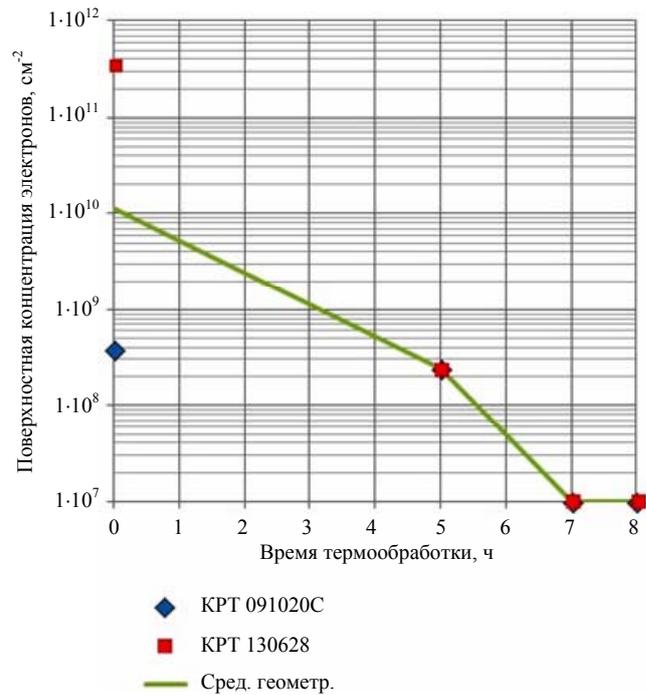
Таблица

Сравнительная характеристика электрофизических параметров образцов ГЭС КРТ МЛЭ до и после термообработок

Электрофизический параметр	Исходный		5 часов термообработки		7 часов термообработки		8 часов термообработки	
	КРТ 091020С1	КРТ 130628	КРТ 091020С1	КРТ 130628	КРТ 091020С1	КРТ 130628	КРТ 091020С1	КРТ 130628
$N_s, \text{см}^{-2}$	$3,8 \cdot 10^8$	$3,5 \cdot 10^{11}$	$2,4 \cdot 10^8$	$2,4 \cdot 10^8$	$< 10^7$	$< 10^7$	$< 10^7$	$< 10^7$
$\rho, \text{см}^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{15}$	$8,4 \cdot 10^{15}$	$1,9 \cdot 10^{16}$	$3,2 \cdot 10^{16}$	$1,4 \cdot 10^{16}$	$2,7 \cdot 10^{16}$	$1,5 \cdot 10^{16}$	$2,8 \cdot 10^{16}$
$\mu_n, \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	63 220	55 526	58 969	62 000	—	—	—	—
$\mu_p, \text{см}^2/(\text{В} \cdot \text{с})$	544	410	431	530	385	557	410	560

После проведения термообработок концентрация электронов в приповерхностном слое уменьшилась до значений меньше погрешности измерений на установке «Кремний-1», которая составляет порядка 10^7см^{-2} (рис. 1). В таблице представлены численные значения электрофизических характеристик гетероэпитаксиальных структур КРТ091020 С1 и КРТ 130628 до и после термообработок.

Из данных таблицы и графиков на рис. 2 и 3 заметно, что после термообработки образцов в течение семи—восьми часов концентрация дырок в объеме увеличивается от $(5 \div 8) \cdot 10^{15}$ до $(1,5 \div 3) \cdot 10^{16} \text{см}^{-3}$, а концентрация электронов в приповерхностном слое, наоборот, резко уменьшается. Подвижности основных носителей заряда и электронов практически не изменяются.

Рис. 2. Зависимость концентрации дырок в объеме (ρ) от времени термообработкиРис. 3. Зависимость концентрации электронов в приповерхностном слое (N_s) от времени термообработки

Заключение

Проведенные исследования показали, что с увеличением времени термической обработки гетероструктур КРТ p -типа проводимости в атмосфере инертного газа концентрация дырок увеличивается. После семи—восьми часов термообработки концентрация электронов в приповерхностном слое приближается к нулю независимо от её исходного значения, в том числе и в случае наличия слоя инверсной проводимости у поверхности до термообработки.

Работа выполнена по гранту Президента Российской Федерации НШ-2787.2014.9

Литература

1. Boltar K. O., Burlakov I. D., Ponomarenko V. P., Filachev A. M. // Proceedings of SPIE. 2009. V. 4298. P. 72982P.
2. Филачев А. М., Таубкин И. И., Трищенко М. А. Твердотельная фотоэлектроника. — М.: Физматкнига, 2011.
3. Болтарь К. О., Бовина Л. А., Бурлаков И. Д. и др. // Прикладная физика. 1999. № 3. С. 32.
4. Boltar K. O., Bovina L. A., Burlakov I. D., et al. // Proceedings of SPIE. 2000. V. 4340. P. 23.
5. Boltar K. O., Burlakov I. D., Golovin S. V., et al. // Proceedings of SPIE. 2005. V. 5957. P. 59570H1.
6. Capper P., Garland J. A John Wiley and Sons, Ltd., Publication. 2011.
7. Сидоров Ю. Г., Сабина И. В., Сидоров Г. Ю. и др. // Тезисы докладов XXIII Международной научно-технической конференции по фотоэлектронике и приборам ночного видения, Москва, 2014. С. 159.
8. Michael A. Kinch. // J. of Electronic Materials. 2000. V. 29. No. 6. P. 809.
9. Логинов Ю. Ю., Браун П. Д., Дьюроуз. Закономерности образования структурных дефектов в полупроводниках A^2B^6 . — М: Логос, 2003.
10. Богобоьяшчуй В. В., Герасименко С. А., Емец В. В. // Прикладная физика. 2006. № 1. С. 56.
11. Bogoboyashchuy V. V., Elizarov A. I., Kurbanov K. R. // Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics. 2003. V. 6, No. 1. P. 47.
12. Болтарь К. О. // Прикладная физика. 1999. № 6. С. 65.
13. Болтарь К. О., Корольков В. В., Фролов А. В. и др. // Материалы VIII всесоюзного симпозиума «Полупроводники с узкой запрещенной зоной и полуметаллы», часть II, г. Львов, 1990 г. С. 14.

Investigation of influence the heat processing time on electrophysical characteristics of $Cd_xHg_{1-x}Te$ multilayered structures

A. S. Kashuba, C. V. Golovin, K. O. Boltar, E. V. Permikina and A. S. Atrashkov

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

Received August 17, 2014

Investigation of influence of heat processing on electrophysical characteristics of HgCdTe epilayers of p-type conductivity growing by molecular beam epitaxy was represented. It is demonstrated that a long period of heat processing reduces density of electrons of surface to null. The density of holes of surface increases three times as much.

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

Keywords: heteroepitaxial structures, HgCdTe, electrophysical characteristics.

References

1. K. O. Boltar, I. D. Burlakov, V. P. Ponomarenko and A. M. Filachev, Proceedings of SPIE **4298**, 72982P (2009).
2. A. M. Filachev, I. I. Taubkin and M. A. Trishenkov, *Solid-State Photoelectronics. Photodiodes*. (Fizmatkniга, Moscow, 2011) [in Russian].
3. K. O. Boltar, L. A. Bovina, I. D. Burlakov, et al., *Prikladnaya Fizika*, No. 3, 32 (1999).
4. K. O. Boltar, L. A. Bovina, I. D. Burlakov, et al., Proceedings of SPIE **4340**, 23 (2000).
5. K. O. Boltar, I. D. Burlakov, S. V. Golovin, et al., Proceedings of SPIE **5957**, 59570H1 (2005).
6. P. Capper and J. Garland, (A John Wiley and Sons, Ltd., Publication. 2011).
7. Yu. G. Sidorov, I. V. Sabinina, G. Yu. Sidorov, et al., in *Proc. XXIII Intern. Conf. on Photoelectronics* (Orion, Moscow, 2014), p. 159.
8. Michael A. Kinch, *J. of Electronic Materials* **29**, 809 (2000).
9. Yu. Yu. Loginov, P. D. Brown, P. D. Dyurovs, *Physical Laws of Structural Defects Formation in the A^2B^6 Semiconductors* (Logos, Moscow, 2003) [in Russian].
10. V. V. Bogoboyashchuy, S. A. Gerasimenko and V. V. Elets, *Prikladnaya Fizika*, No. 1, 56 (2006).
11. V. V. Bogoboyashchuy, A. I. Elizarov and K. R. Kurbanov, *Semiconductor Physics, Quantum Electronics & Optoelectronics* **6**, 47 (2003).
12. K. O. Boltar, *Prikladnaya Fizika*, No. 6, 65 (1999).
13. K. O. Boltar, V. V. Korol'kov, A. V. Frolov, et al., in *Proc. VIII All-Union Symposium «Semiconductors with a narrow forbidden band and semimetals»*, Patr II (Lvov, 1990), p. 14.