

## Электрические и оптические свойства пленок CdHgTe, выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией на кремниевых подложках

© И.И. Ижнин<sup>+</sup>, К.Д. Мынбаев<sup>#¶</sup>, М.В. Якушев<sup>\*</sup>, А.И. Ижнин<sup>+</sup>, Е.И. Фицыч<sup>\*</sup>,  
Н.Л. Баженов<sup>#</sup>, А.В. Шилияев<sup>#</sup>, Г.В. Савицкий<sup>+</sup>, R. Jakiela<sup>‡</sup>,  
А.В. Сорочкин<sup>\*</sup>, В.С. Варавин<sup>\*</sup>, С.А. Дворецкий<sup>\*</sup>

<sup>+</sup> Научно-исследовательский институт материалов НПП „Карат“,  
79031 Львов, Украина

<sup>#</sup> Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук,  
194021 Санкт-Петербург, Россия

<sup>\*</sup> Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова Сибирского отделения Российской академии наук,  
632090 Новосибирск, Россия

<sup>\*</sup> Львовский национальный университет им. И. Франко,  
79000 Львов, Украина

<sup>‡</sup> Institute of Physics, Polish Academy of Sciences,  
02-668 Warsaw, Poland

(Получена 27 марта 2012 г. Принята к печати 2 апреля 2012 г.)

Исследованы электрические и оптические свойства эпитаксиальных пленок CdHgTe, выращенных на кремниевых подложках методом молекулярно-лучевой эпитаксии. Данные измерений фотолюминесценции указывают на высокое структурное совершенство пленок, а данные исследования эффекта Холла в сочетании с низкоэнергетической ионной обработкой — на низкую концентрацию остаточных доноров ( $\sim 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ ). В пленках выявлено наличие акцепторных состояний, предположительно связанных с захватом примесей на структурные дефекты, типичные для сильно рассогласованных гетероэпитаксиальных структур.

### 1. Введение

Перспективы быстрой интеграции новых устройств с кремниевой электроникой, устоявшаяся технология и низкая цена кремниевых пластин большого диаметра способствуют развитию технологий выращивания полупроводниковых гетероструктур различного химического состава на подложках из Si. Эта тенденция в полной мере относится и к твердым растворам CdHgTe (кадмий–ртуть–теллур, КРТ), — одним из основных материалов инфракрасной фотоэлектроники. Технология КРТ/Si обеспечивает практически идеальное сопряжение фоточувствительных структур с кремниевыми системами считывания сигналов при гибридной сборке [1]. Однако вследствие большого рассогласования параметров кристаллической решетки выращиваемых эпитаксиальных пленок и подложки структуры КРТ/Si характеризуются большой плотностью морфологических и структурных дефектов. Считается, что эти дефекты снижают время жизни носителей в пленках и ведут к избыточным темновым токам в фотодиодах [2].

Из-за большой концентрации структурных дефектов характеристика эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных на подложках из Si, часто сводилась лишь к определению плотности дислокаций [2,3]. С развитием технологии КРТ/Si актуальным становится более подробное исследование дефектно-примесной структуры материала. При изучении электрических свойств КРТ/Si ранее также в основном исследовалась их корреляция с плотностью дислокаций [4–6]. Об оптических свойствах КРТ/Si имеются лишь отдельные сообщения [7,8].

Настоящая работа посвящена исследованию электрических и оптических свойств эпитаксиальных пленок CdHgTe, выращенных на подложках из Si, в диапазоне составов (мольной доли CdTe  $x$ ), актуальном для устройств фотоэлектроники среднего (длины волн 3–5 мкм) и дальнего (8–11 мкм) инфракрасного диапазона.

### 2. Эксперимент

Исследовались гетероэпитаксиальные структуры (ГЭС) на основе КРТ, в которых однородные по составу пленки с  $x = 0.23–0.43$  были защищены тонкими (до 1 мкм) варизонными широкозонными слоями на поверхности, до  $x = 0.54$ . ГЭС были выращены методом молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ) на подложках Si(310) с буферными слоями ZnTe и CdTe [3]. Плотность дислокаций в пленках после выращивания, по данным селективного травления, не превышала  $5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ , плотность дефектов упаковки —  $10^6 \text{ см}^{-2}$ . Непосредственно после роста структуры имели электронный тип проводимости. Часть выращенных ГЭС отжигалась в атмосфере He (245–265°C, 4–5 ч) для получения  $p$ -типа в процессе конверсии типа проводимости. Параметры образцов (концентрации  $n_{77}$ ,  $p_{77}$ , подвижности  $\mu_{n77}$ ,  $\mu_{p77}$  электронов и дырок соответственно) приведены в таблице, где  $h$  — толщина однородной по составу эпитаксиальной пленки КРТ.

Электрические свойства структур изучались путем измерения при температуре  $T = 77 \text{ К}$  зависимостей коэффициента Холла  $R_H$  и проводимости  $\sigma$  от магнитного

¶ E-mail: mynkad@mail.ioffe.ru

Параметры исследованных гетероэпитаксиальных структур на основе Cd<sub>x</sub>Hg<sub>1-x</sub>Te

Образец	x	h, мкм	После роста		После отжига	
			n <sub>77</sub> , см <sup>-3</sup>	μ <sub>n77</sub> , см <sup>2</sup> /В · с	p <sub>77</sub> , см <sup>-3</sup>	μ <sub>p77</sub> , см <sup>2</sup> /В · с
#0414	0.23	8.4	2.0 · 10 <sup>14</sup>	105000	2.2 · 10 <sup>16</sup>	390
#0122	0.25	8.0	5.6 · 10 <sup>14</sup>	50500	7.1 · 10 <sup>15</sup>	410
#0911	0.29	8.0	4.4 · 10 <sup>13</sup>	38400	7.7 · 10 <sup>15</sup>	320
#1103	0.32	6.0	1.8 · 10 <sup>12</sup>	25600	1.1 · 10 <sup>16</sup>	260
#1030	0.33	6.4	3.8 · 10 <sup>14</sup>	25390	1.1 · 10 <sup>16</sup>	300
#0119	0.35	4.4	—	—	—	—
#0928	0.37	4.6	1.0 · 10 <sup>15</sup>	14400	1.4 · 10 <sup>16</sup>	210
#0930	0.38	5.7	1.1 · 10 <sup>15</sup>	14600	1.3 · 10 <sup>16</sup>	210
#0916	0.43	4.6	—	—	5.0 · 10 <sup>15</sup>	100

поля. Измерения проводились в сочетании с низкоэнергетической ионной обработкой (НИО). Высвобождаемые при НИО атомы межузельной ртути Hg<sub>i</sub> активно взаимодействуют с точечными и протяженными дефектами в КРТ, изменяя электрические параметры материала. Измеряя эти параметры до и после НИО, а также во время релаксации, когда созданные обработкой дефекты постепенно распадаются, можно подробно исследовать дефектно-примесную структуру КРТ [9,10]. Методика измерений электрических свойств образцов включала анализ спектров подвижности носителей, что позволяло, во-первых, исследовать свойства собственно эпитаксиальных пленок, входивших в состав ГЭС, а во-вторых, учитывать наличие радиационно-нарушенного слоя после ионной обработки. Подробно методика подобных измерений и режимы НИО, использующиеся для изучения дефектно-примесной структуры КРТ, описаны в работе [9].

Оптические свойства пленок исследовались путем регистрации спектров оптического пропускания и фотолюминесценции (ФЛ). Спектры пропускания записывались при температуре T = 300 К на фурье-спектрометре Shimadzu 8400S. Спектры ФЛ регистрировались в диапазоне температур T = 4.2–300 К по методике, описанной в работе [8], и при фиксированной температуре T = 84 К до и после НИО [9].

### 3. Результаты и обсуждение

Электрические свойства были исследованы для пленок с x = 0.23–0.33, оптические — для пленок с x = 0.29–0.43.

Низкая концентрация n<sub>77</sub> и низкая подвижность μ<sub>n77</sub> носителей при 77 К в исходных (после роста) пленках (см. таблицу) позволяли предположить значительную электрическую компенсацию. НИО обычно приводит к уменьшению степени компенсации в КРТ n-типа проводимости, а материал p-типа конвертируется в материал n-типа [9,10]; это произошло и в исследованных пленках. При старении обработанных образцов, в ходе распада созданных НИО дефектов, наблюдалось уменьшение σ

и возрастание R<sub>H</sub> с увеличением времени t выдержки образцов при комнатной температуре, что отражало релаксацию n<sub>77</sub> и μ<sub>n77</sub>. На рис. 1 представлена релаксация n<sub>77</sub> во времени t в пленках с x = 0.23 и 0.32. Для всех исследованных пленок КРТ/Si релаксация происходила по близкому сценарию и носила экспоненциальный характер с двумя характеристическими временами. Существенное изменение n<sub>77</sub> происходило в течение первых ~ 3000 мин, после чего кривая n<sub>77</sub>(t) выходила на насыщение. Величина n<sub>77</sub> сразу после НИО составляла ~ 10<sup>17</sup> см<sup>-3</sup> и не зависела от состава пленок. Это было вызвано, очевидно, присутствием в выращенных структурах нейтральных дефектов, активируемых НИО [9,10]. После релаксации величина n<sub>77</sub> выходила на уровень ~ (3–7) · 10<sup>14</sup> см<sup>-3</sup>, что предполагало низкую концентрацию остаточных доноров.

На рис. 2 представлены значения подвижности μ<sub>n77</sub> для исходных пленок n-типа проводимости и для всех пленок непосредственно после НИО и после релаксации. Здесь же представлены лучшие на сегодняшний день значения μ<sub>n77</sub> в КРТ, выращенном методом МЛЭ,

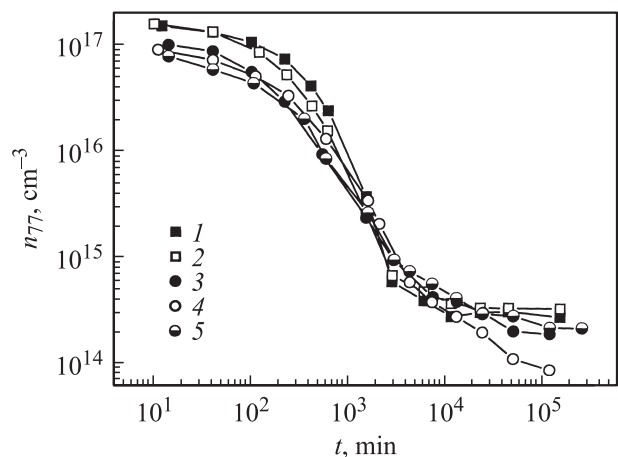
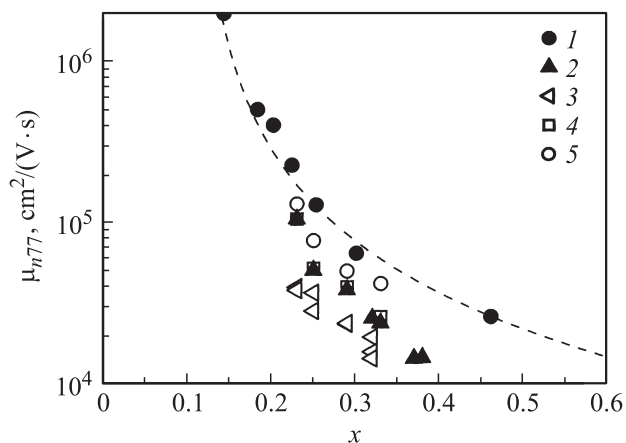


Рис. 1. Релаксация концентрации электронов при 77 К после НИО пленок КРТ/Si #0414 (1, 2) и #1103 (3, 4, 5); 1, 3 — без отжига, 2, 4 — с отжигом в атмосфере He, 5 — с отжигом в парах ртути (230°С, 20 ч).



**Рис. 2.** Зависимость подвижности электронов при 77 К от состава пленок КРТ: 1 — максимальные значения по данным [11]; (2–5) — исследованные пленки КРТ после роста (2), после НИО (3), после релаксации, без отжига пленок (4), после релаксации, с отжигом в атмосфере He перед НИО (5). Штриховая линия — подгоночная кривая для данных 1 [11].

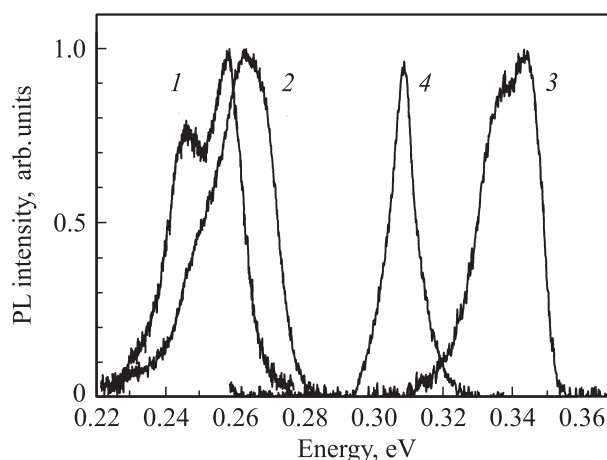
и эмпирическая подгоночная кривая для них из обзорной работы [11]. Как видно, для исходных пленок КРТ, исследованных в настоящей работе,  $\mu_{n77}$  действительно была значительно меньше максимальных значений. Сразу после НИО подвижность падала, что подтверждало формирование дополнительных центров рассеяния с концентрацией  $\sim 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . После релаксации величина  $\mu_{n77}$  возрастала, и в образцах, не проходивших отжиг, она выходила на уровень, характерный для исходных пленок. В образцах, прошедших перед НИО термический отжиг, после релаксации  $\mu_{n77}$  приближалась к максимальным значениям, зафиксированным в работе [11]. Согласно наблюдениям, сделанным ранее для КРТ/Si с  $x = 0.30-0.35$  [12], мы можем принять, что дополнительными центрами рассеяния в исходных пленках являлись содержащиеся в них дефекты упаковки. Режим отжига, конвертировавшего проводимость образцов в *p*-тип, близок в режиме отжига, оптимизированного для аннигиляции этих дефектов [3], так что после отжига и НИО, переводящей проводимость пленки обратно в *n*-тип, величина  $\mu_{n77}$  возрастает. Это подтверждается и тем, что значение  $\mu_{n77}$  после релаксации в пленке #1103, прошедшей перед НИО отжиг в парах ртути, оказалось промежуточным ( $3.3 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ ) между значениями подвижности в исходной пленке ( $2.6 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ ) и пленке, отожженной перед НИО в атмосфере He ( $4.2 \cdot 10^4 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ ).

На рис. 3 представлены спектры ФЛ при  $T = 4.2 \text{ К}$  ряда структур после роста. Типичная ширина на полувысоте линии „краевой“ ФЛ, ассоциируемой в КРТ с рекомбинацией экситона, локализованного флукуациями состава (LE) [8], изменялась от 7 до 12 мэВ, что свидетельствует о высоком структурном совершенстве пленок. Сдвиг максимума полосы LE в коротковолновую область после отжига в атмосфере He, измеренный при

$T = 4.2 \text{ К}$ , составил от 5 до 9 мэВ; сдвиг пропускания по уровню 50% при  $T = 300 \text{ К}$  составил от 4 до 8 мэВ. Эти данные подтверждают вывод работы [8] о том, что оптимизация условий выращивания ГЭС КРТ/Si позволяет добиваться в них минимального нарушения дальнего порядка в кристаллической решетке, вызванного неравновесным характером МЛЭ. Таким образом, разупорядочение твердого раствора в пленках КРТ/Si незначительно и не должно оказывать влияния на подвижность носителей.

В низкотемпературных спектрах ( $4.2 < T < 100 \text{ К}$ ) ФЛ большинства исследованных пленок КРТ/Si наблюдались полосы, связанные с акцепторными состояниями. Регистрация спектров в различные моменты после прекращения возбуждения, а также при различной мощности возбуждения позволила идентифицировать в образцах #1030, #1103 и #0930 непосредственно после роста (см. рис. 3) полосы ФЛ, связанные с донорно-акцепторной рекомбинацией. В образцах #0928, #0119 и #0116 присутствовали полосы, которые можно было связать с переходами „зона проводимости–акцептор“ с энергиями залегания акцептора  $E_a$  от 20 до 40 мэВ. Эти полосы не связаны с вакансией ртути — хорошо известным акцептором в КРТ. Для полосы, связанной с вакансиями ртути, характерна величина  $E_a \approx 15 \text{ мэВ}$  [8], и эта полоса четко проявлялась в спектрах после термического отжига образцов в атмосфере He, в ходе которого и происходит генерация вакансий.

Межузельные атомы Hg, генерируемые при НИО, способны не только заполнять вакансии, но и трансформировать примесные акцепторные центры в донорные, вытесняя атомы I группы Периодической системы в междоузлия и образуя с атомами V группы донорные комплексы [13]. Распад таких донорных центров иногда позволяет идентифицировать примеси по характеристическим временам релаксации  $\tau$ . Однако процесс релаксации донорных центров может маскироваться распа-

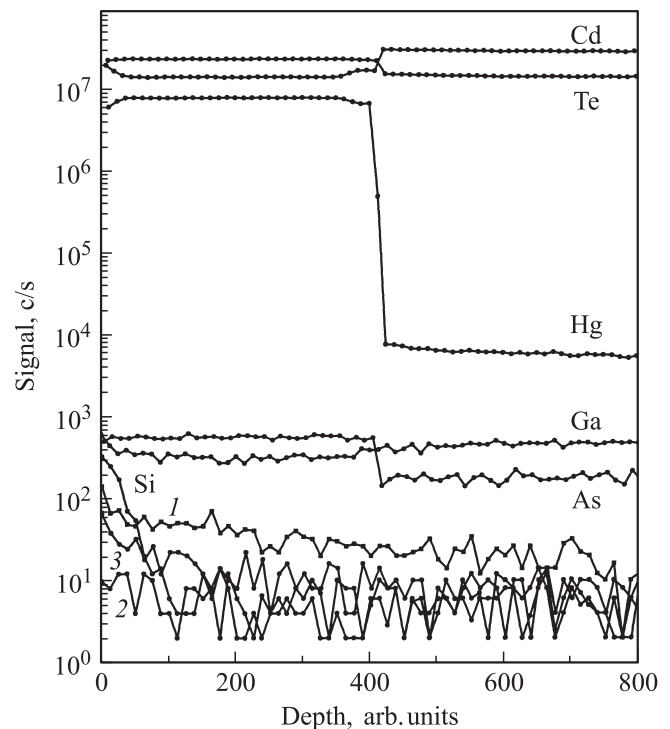


**Рис. 3.** Спектры фотолуминесценции (PL) после роста ГЭС #1103 (1), #1030 (2), #0930 (3) и КРТ/GaAs (4) при  $T = 4.2 \text{ К}$ . Форма длинноволновой части спектра 4 несколько искажена линией поглощения в атмосфере.

дом нейтральных дефектов, которые предположительно связывают с нановключениями Те (см., например, [9]). В частности, для первой стадии релаксации, показанной на рис. 1, была характерна величина  $\tau \approx 200$  мин, в то время как для акцепторных примесей I и II групп на этой стадии релаксации типично  $\tau \approx 60$  мин [13]. Для второй стадии релаксации для всех дефектов, созданных НИО в КРТ, оказывается характерным время  $\sim 1000$  мин. Для примесей V группы часто имеет место третья стадия релаксации, которая в нашем случае не наблюдалась. В любом случае распад не ведет к обратной конверсии проводимости  $n$ -типа в  $p$ -тип и, таким образом, можно считать, что большинство акцепторов в КРТ после НИО перестает проявлять электрическую активность и получающиеся образцы  $n$ -типа обычно компенсированы слабо. Тем не менее известно, что компенсация в КРТ после НИО может сохраняться и с некоторыми акцепторами атомы Hg, при НИО не взаимодействуют [14]. По-видимому, такие акцепторы присутствовали и в исследованных пленках. Об этом, во-первых, говорит тот факт, что, несмотря на очень низкую концентрацию носителей после релаксации, подвижность в пленках, прошедших отжиг и НИО, хотя и существенно возросла, но не достигала максимальных значений. Во-вторых, форма спектров ФЛ исследованных пленок (исходной структуры и ее отожженных частей) после НИО не изменялась, и в них оставались явно выраженные акцепторные полосы. Заметим, что эти полосы несколько сдвигались относительно линии LE при  $T = 84$  К в результате отжига. Например, для ГЭС #1103 в исходном образце акцепторная полоса отстояла от линии LE на 18 мэВ. После отжига в парах Hg (230°C, 20 ч) она смещалась в коротковолновую сторону еще на  $\sim 3$  мэВ, а после отжига в атмосфере He — на  $\sim 12$  мэВ. Аналогичные сдвиги акцепторных полос для КРТ/Si с  $x \approx 0.3$  после отжига наблюдались ранее при  $T = 4.2$  К [8].

На рис. 3 также представлен типичный спектр ФЛ образца КРТ на подложке из GaAs, выращенного в той же установке и в тех же условиях, что и исследованные пленки КРТ/Si. Как видно, данный спектр содержит только одну полосу; такие спектры типичны для ГЭС КРТ/GaAs, выращенных с использованием данной технологии [8]. Таким образом, наблюдаемое различие спектров ФЛ ГЭС на подложках из GaAs и Si и появление акцепторных состояний в пленках КРТ/Si должны быть связаны с материалом подложки.

Для проверки этого предположения были проведены исследования ГЭС #0122 методом масс-спектропии вторичных ионов (ВИМС). Результаты исследований представлены на рис. 4. Видно, что концентрация Si в пленке КРТ находится на уровне фона и меньше фоновой концентрации мышьяка (As используется в технологии МЛЭ КРТ для предростовой обработки подложек [3]) и галлия, содержащегося в подложках GaAs, также использовавшихся для выращивания КРТ в данной установке. На этом же рисунке представлено распределение Si в ГЭС #0911 (кривая 1), а также ГЭС КРТ/GaAs



**Рис. 4.** Распределение компонентов твердого раствора КРТ, а также примесей (Ga, As, Si) в ГЭС #0122. Для примера также показано распределение Si в других типичных образцах КРТ (1–3, пояснения в тексте).

(кривая 2, электрические свойства этой структуры М10 описаны в работе [15]) и пленки КРТ, выращенной жидкофазной эпитаксией на подложке CdZnTe (кривая 3, образец #2 из работы [9]). Все измерения ВИМС были проведены в одном цикле, что позволяет сравнивать относительный уровень содержания примесей. Как видно, для пленки МЛЭ КРТ/Si характерно лишь незначительное увеличение концентрации кремния вблизи поверхности, само же содержание Si в пленке сравнимо с таковым в образцах, выращенных на других подложках. При этом более низкие значения  $n_{77}$  после релаксации в КРТ/Si в сравнении с КРТ/GaAs ( $\sim 3 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$  [10]) позволяют утверждать, что Si не участвует в формировании донорного фона. Таким образом, кремний из подложки непосредственно не проявляет себя в электрических свойствах МЛЭ КРТ.

Совокупность представленных данных позволяет предположить, что акцепторные состояния, проявляющиеся в электрических и оптических свойствах КРТ/Si, связаны с захватом неконтролируемых акцепторных примесей на структурные дефекты (в том числе дислокации и дефекты упаковки), специфичные для границ раздела CdHgTe/CdTe/ZnTe/Si. Этот эффект, а также дальнейшее проникновение примесей от подложки к поверхности растущей пленки по каналу диффузии, предположительно образуемым дислокациями и их кластерами, активно изучается в настоящее время [5]. Постростовой отжиг, в ходе которого дефекты упаковки аннигилируют,

может приводить к перераспределению примесей в ГЭС, а также их дополнительной диффузии от подложки к поверхности, так что спектры ФЛ несколько трансформируются, но акцепторные полосы в них сохраняются. Отметим при этом совпадение остаточной концентрации донорных дефектов после релаксации для структур *n*- и *p*-типа проводимости одинакового состава (рис. 1), из которого следует, что отжиг не приводит к изменениям в системе донорных примесей.

#### 4. Заключение

Результаты исследований электрических и оптических свойств пленок КРТ, выращенных молекулярно-лучевой эпитаксией на подложках из Si, говорят о высоком качестве материала. Измеренная ширина экситонных линий низкотемпературной фотолуминесценции характерна для КРТ высокого структурного совершенства. Данные исследований электрических свойств свидетельствуют о низкой концентрации остаточных доноров,  $\sim (3-7) \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ . Однако для пленок КРТ/Si, выращенных МЛЭ, характерен акцепторный фон. Предположительно, этот фон связан с захватом акцепторных примесей на структурные дефекты, типичные для сильно рассогласованных по параметру кристаллической решетки гетероэпитаксиальных структур.

Работа выполнена в рамках совместного российско-украинского проекта фондов фундаментальных исследований (грант РФФИ № 11-02-90434 и ГФФИ Украины № 40.2.65).

#### Список литературы

- [1] М.В. Якушев, Д.В. Брунев, В.С. Варавин, В.В. Васильев, С.А. Дворецкий, И.В. Марчишин, А.В. Предеин, И.В. Сабинина, Ю.Г. Сидоров, А.В. Сорочкин. ФТП, **45**, 396 (2011).
- [2] S. Farrell, G. Brill, Y. Chen, P.S. Wijewarnasuriya, M.V. Rao, N. Dhar, K. Harris. J. Electron. Mater., **39**, 43 (2010).
- [3] М.В. Якушев, А.К. Гутаковский, И.В. Сабинина, Ю.Г. Сидоров. ФТП, **45**, 956 (2011).
- [4] L. Bubulac, J. Benson, R. Jacobs, A. Stoltz, M. Jaime-Vasquez, L. Almerida, A. Wang, L. Wang, R. Hellmer, T. Golding, J. Dinan, M. Carmody, P. Wijewarnasuriya, M. Lee, M. Vilela, J. Peterson, S. Johnson, D. Lofgreen, D. Rhiger. J. Electron. Mater., **40**, 280 (2011).
- [5] P. Boieriu, C.H. Grein, S. Velicu, J. Garland, C. Fulk, S. Sivananthan. Appl. Phys. Lett., **88**, 062106 (2006).
- [6] M. Carmody, D. Edwall, J. Ellsworth, J. Arias, M. Groenert, R. Jacobs, L.A. Almeida, J.H. Dinan, Y. Chen, G. Brill, N.K. Dhar. J. Electron. Mater., **36**, 1098 (2007).
- [7] А.А. Андронов, Ю.Н. Ноздрин, А.В. Окомельков, А.А. Бабенко, В.С. Варавин, Д.Г. Икусов, Р.Н. Смирнов. ФТП, **42**, 177 (2008).
- [8] К.Д. Мынбаев, Н.Л. Баженов, В.И. Иванов-Омский, Н.Н. Михайлов, М.В. Якушев, А.В. Сорочкин, В.Г. Ремесник, С.А. Дворецкий, В.С. Варавин, Ю.Г. Сидоров. ФТП, **45**, 900 (2011).
- [9] И.И. Ижнин, А.И. Ижнин, Е.И. Фицыч, Н.А. Смирнова, И.А. Денисов, М. Поцяк, К.Д. Мынбаев. ФТП, **45**, 1166 (2011).
- [10] M. Pociask, I.I. Izhnin, E.S. Ilyina, S.A. Dvoretzky, N.N. Mikhailov, Yu.G. Sidorov, V.S. Varavin, K.D. Mynbaev. Acta Phys. Polon. A, **114**, 1191 (2008).
- [11] C.R. Becker, T.N. Casselman, C.H. Grein, S. Sivananthan. In: *Molecular Beam Epitaxy of HgCdTe Materials and Detectors*, vol. 6: *Devices and Applications of Comprehensive Semiconductor Science and Technology*, ed. by P. Bhattacharya, R. Formari, H. Kamimura (Amsterdam, Elsevier, 2011) p. 141.
- [12] M.V. Yakushev, A.A. Babenko, V.S. Varavin, V.V. Vasil'ev, L.V. Mironova, D.N. Pridachin, V.G. Remesnik, I.V. Sabinina, Yu.G. Sidorov, A.O. Suslyakov. Proc. SPIE, **6636**, 663 611 (2007).
- [13] I.I. Izhnin, K.D. Mynbaev, M. Pociask, R.Ya. Mudryy, A.V. Voitsekhovskii, N.Kh. Talipov. Physica B, **404**, 5025 (2009).
- [14] I. Izhnin, V. Bogoboyashchyy, A. Kotkov, A. Moiseev, N. Grishnova. Proc. SPIE, **5957**, 595 716 (2005).
- [15] I.I. Izhnin, S.A. Dvoretzky, K.D. Mynbaev, N.N. Mikhailov, Yu.G. Sidorov, V.S. Varavin, R. Jakiela, M. Pociask, G. Savitsky. Phys. Status Solidi C, **7**, 1618 (2010).

Редактор Л.В. Шаронова

#### Electrical and optical properties of CdHgTe films grown by molecular-beam epitaxy on silicon substrates

I.I. Izhnin<sup>+</sup>, K.D. Mynbaev<sup>#</sup>, M.V. Yakushev<sup>\*</sup>,  
A.I. Izhnin<sup>+</sup>, E.I. Fitych<sup>•</sup>, N.L. Bazhenov<sup>#</sup>,  
A.V. Shilyaev<sup>#</sup>, H.V. Savitsky<sup>+</sup>, R. Jakiela<sup>‡</sup>,  
A.V. Sorochkin<sup>\*</sup>, V.S. Varavin<sup>\*</sup>, S.A. Dvoretzky<sup>\*</sup>

<sup>+</sup> R&D Institute for Materials SRC „Carat“,  
79031 Lviv, Ukraine

<sup>#</sup> Ioffe Physicotechnical Institute,  
Russian Academy of Sciences,  
194021 St. Petersburg, Russia

<sup>\*</sup> A.V. Rzhanov Institute of Semiconductor Physics,  
Siberian Branch of Russian Academy of Sciences,  
630090 Novosibirsk, Russia

<sup>•</sup> I. Franko Lviv National University,  
79000 Lviv, Ukraine

<sup>‡</sup> Institute of Physics,  
Polish Academy of Sciences,  
02-668 Warsaw, Poland

**Abstract** Electrical and optical properties of CdHgTe films grown by molecular-beam epitaxy on silicon substrates were studied. Photoluminescence data pointed out to structural perfection of the films, while the Hall effect measurements combined with low-energy ion treatment revealed low concentration of residual donors ( $\sim 5 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ ). The films appeared to contain acceptor states, which can be tentatively attributed to gettering of impurities by structural defects typical of strongly-mismatched heteroepitaxial structures.