

УДК 621:546

## Дефекты и примеси в гетероструктурах на основе КРТ, выращенных из металлоорганических соединений плазмостимулированным осаждением

С. Н. Еришов, Т. И. Бенюшиц

Нижегородский государственный университет им. Н. И. Лобачевского, Н. Новгород, Россия

Л. А. Бовина, В. И. Стафеев

Государственное унитарное предприятие «Научно-производственное объединение «Орбон», Москва, Россия

*Исследованы основные типы дефектов, возникающих в эпитаксиальных слоях при выращивании из металлоорганических соединений (МОС) методом плазмостимулированного разложения. Показано, что вариацией состава и давления компонент МОС и газа-носителя возможно управление типом проводимости и концентрацией дефектов. Микровключения ртути и ее испарение с поверхности — основные причины временной нестабильности слоев теллуридов кадмия-ртути (КРТ). Включения рассасываются при отжиге. Возможность ухода ртути с поверхности слоя устраняется выращиванием на ней пассивирующего слоя CdTe, что обеспечивает получение высокостабильных слоев КРТ.*

Эпитаксиальные слои теллуридов кадмия-ртути являются основными структурами для создания многоэлементных и особенно матричных фотоприемников. Выращивание слоев из металлоорганических соединений (МОС) — один из перспективных методов эпитаксии КРТ. В настоящей работе приведены результаты исследования свойств гетероструктур (ГС)  $Cd_xHg_{1-x}Te/CdTe/GaAs$  и  $CdTe/Cd_xHg_{1-x}Te/CdTe/GaAs$ , выращенных из МОС методом плазмостимулированного осаждения (ПЭМОС) [1, 2].

Рост ГС осуществлялся в проточном горизонтальном реакторе при пониженном давлении газа-носителя (гелиево-водородная смесь). Исходными МОС служили  $Cd(CH_3)_2$ ,  $Te(CH_3)_2$  и  $Hg(C_2H_5)_2$ , а подложками — пластины монокристаллического GaAs с ориентацией (100). Температура роста ( $T_p$ ) буферного слоя CdTe — 360 °С, пленки  $Cd_xHg_{1-x}Te$  — 135 °С, пассивирующего покрытия CdTe — 135–360 °С. Толщина последнего изменялась в пределах 0,1–1,0 мкм.

Выращенные при скорости 3–5 мкм/ч слои КРТ состава  $x = 0,2$  имели хорошие однородность, структуру и морфологию поверхности. При  $T = 77$  К проводимость электронная, концентрация электронов  $n \sim 10^{17}$  см<sup>-3</sup>, подвижность  $\mu_n \sim 2 \cdot 10^4$  см<sup>2</sup>/(В·с).

При росте пленки происходят испарение Ga и As из подложки и их конденсация на стенках реактора. Выключение ВЧ-разряда нарушает сорбционное равновесие и приводит к осаждению Ga и As на поверхность пленки КРТ. Отжиг слоя в парах ртути ( $T = 200$  °С в течение 20 мин) обеспечивает очистку поверхности от этих загрязнений. Естественно, что полной десорбции не происходит. ВИМС — спектр структуры  $Cd_{0,2}Hg_{0,8}/CdTe/GaAs$  после отжига показал, что в КРТ имеется тонкий слой (доли мкм), содержащий продифундировавшие из подложки Ga и As. В объеме Cd, Hg и Te распределены однородно.

Для устранения такого рода загрязнений в едином технологическом процессе на подложку перед нанесением КРТ и на поверхность КРТ наносился слой CdTe. Все гетерограницы резкие, а основные компоненты распределены равномерно. В таких структурах в слое КРТ не обнаружено присутствия мышьяка и галлия.

Образование точечных дефектов возможно из-за отклонения от стехиометрии по легколетучей компоненте — ртути. Вакансии ртути являются акцепторами, а междуузельная ртуть — донором [3]. Вариацией давления диэтилтеллура при постоянстве давления остальных компонент возможно получать слои КРТ ( $x \sim 0,2$ ) как с электронной, так и с дырочной проводимостью. Обогащение теллуром способствует появлению вакансий ртути, а его нехватка — ртути в междуузлиях. Диапазон концентраций носителей менялся от  $n \sim 10^{19} \text{ см}^{-3}$  до  $p \sim 10^{18} \text{ см}^{-3}$ .

Важную роль играют дефекты, “наследуемые” пленкой КРТ от буферного слоя CdTe или обусловленные особенностями свойств псевдобинарного твердого раствора  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ . К таким дефектам относятся включения второй фазы (ртути или теллура), различного рода дислокации, малоугловые границы, объемные флуктуации состава, микродвойники, поверхностные “холмики” и др. Большое количество “холмиков” на поверхности подложки из GaAs наблюдается при ориентации (100) [4, 5]. Количество “холмиков” уменьшается при отклонении от этой ориентации, и при отклонении на  $3^\circ$  они практически отсутствуют. Причины, приводящие к появлению “столбиков”, пока не выяснены.

Плотность микродвойников зависит от состава газа-носителя. В чисто гелиевой атмосфере их плотность достигала  $10^3 \text{ см}^{-2}$ . Добавление водорода позволило снизить их концентрацию до  $(2-4) \cdot 10^1 \text{ см}^{-2}$ . Из этих данных следует, что основной причиной образования микродвойников являются адсорбированные на поверхности растущего слоя КРТ химически активные органические продукты диссоциации молекул исходных МОС. Их нейтрализация водородом позволяет снизить концентрацию до приемлемого уровня.

Плотность ямок травления  $N_s$ , характеризующих плотность дислокаций, в слоях, выращенных с избытком ртути, достигала  $(2-5) \cdot 10^6 \text{ см}^{-2}$ . С ростом концентрации теллура их плотность падает и при стехиометрическом составе снижается до значений  $< 10^4 \text{ см}^{-2}$ . При дальнейшем повышении концентрации теллура плотность дислокаций начинает возрастать. Введение между CdTe и КРТ тонкого варизонного слоя  $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$ , для согласования постоянных решеток, позволило снизить плотность дислокаций в слое КРТ до  $10^2 \text{ см}^{-2}$ .

Низкотемпературный режим ПЭМОС приводит к появлению в выращиваемой пленке микровключений ртути, которые в процессе хранения рассасываются и залечивают вакансии. Это приводит к изменению концентрации носителей и к временной нестабильности свойств эпитаксиальных слоев КРТ.

Для устранения нестабильности после выращивания необходимо проводить отжиг. Отжиг проводился в отпаянной ампуле. Для предотвращения конденсации ртути на поверхности образца температура образца всегда была ниже температуры ртутного резервуара. Для исследования влияния давления паров ртути на свойства слоев при отжиге разность температур менялась в пределах от нескольких градусов до  $200^\circ\text{C}$ . Отжиг проводили в интервале температур  $200-400^\circ\text{C}$ .

Отжиг образцов  $p$ -типа проводимости в насыщенных парах ртути, т. е. при небольшой разности температур слоя и ртути, приводит к уменьшению кон-

центрации и увеличению их подвижности. На рис. 1 представлена зависимость концентрации носителей от времени отжига для двух режимов. Чем выше температура отжига, тем выше скорость изменения концентрации. Отжиг при температуре 240 °С в течение 20 ч образцов *p*-типа состава  $x = 0,2$  привел к повышению подвижности до 300 см<sup>2</sup>/(В·с) и снижению концентрации до  $\sim 2 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>. Она близка к равновесной концентрации ртутных вакансий при этой температуре  $N_v = 1 \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>. Понижение температуры отжига приводит к дальнейшему снижению концентрации дырок. Отжиг в течение 7 сут при температуре 200 °С привел к повышению подвижности до 400 см<sup>2</sup>/(В·с) и снижению концентрации до  $\sim 7 \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup>. Равновесное значение  $N_v \approx 4 \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup>.

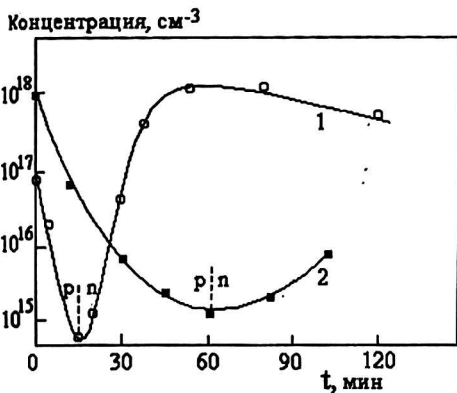


Рис. 1. Зависимость концентрации носителей заряда в слоях КРТ от времени отжига:  
1 – режим отжига 310/290 °С; 2 – режим отжига 250/240 °С

Повышение температуры при нанесении пассивирующего покрытия – слоя CdTe на образцы *n*-типа проводимости также приводит к уменьшению концентрации электронов и повышению их подвижности. Отжиг образцов с исходной электронной проводимостью проводился в ненасыщенных парах ртути. В этих условиях вначале концентрация электронов уменьшается, затем происходит инверсия типа проводимости (рис. 2). Термообработка слоя КРТ электронной проводимости ( $x = 0,23, n = 1,6 \cdot 10^{17}$  см<sup>-3</sup>) непосредственно после нанесения пассивирующего покрытия ( $T_{\text{пас}} = 200$  °С) при  $T = 300$  °С и последующем медленном охлаждении привела к инверсии типа проводимости. Концентрация дырок составила  $(4-6) \cdot 10^{16}$  см<sup>-3</sup>, подвижность 300–400 см<sup>2</sup>/(В·с).

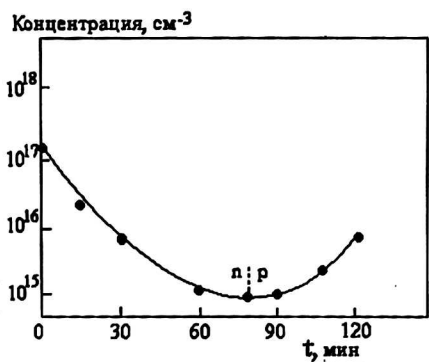


Рис. 2. Зависимость концентрации носителей заряда в слоях КРТ от времени отжига (режим отжига 400/200 °С)

Отожженные эпитаксиальные слои КРТ с пассивирующим покрытием CdTe обладают высокой временной стабильностью. В слоях без пассивирующего покрытия изменения свойств наблюдались уже в первые недели хранения.

**Литература**

1. Василевский М. И., Гурылев Б. В., Еришов С. Н.//ЖТФ. 1995. Т. 65. № 2. С. 76–86.
2. Бенюшис Т. И., Еришов С. Н., Бовина Л. А., Стафеев В. И.//Прикладная физика. 2000. № 1, с. 82.
3. Бовина Л. А., Стафеев В. И. Узкозонные твердые растворы (CdHg)Te: В кн. "Физика соединений  $A^2B^6$ ". — М.: Наука, 1986.
4. Wu O. K., Kameth G. S.// Semicond. Science Techn. 1991. V. 6. С. 6–9.
5. Lansari Y., Yang Z., Hwang S., Reed F. E., Sowers A. T., Cook J. W.// J. Crist. Growth., 1991. V. 111. № 1–4. P. 720–724.

## **Defects and impurities in MCT epitaxial layers grown by metalorganic chemical varop deposition**

*S. N. Ershov, T. I. Benushis*

Nizhny Novgorod State University, Russia

*L. A. Bovina, Y. I. Stafeev*

The State Unitary Enterprise «RD&P Center "Orion"», Moscow, Russia

*Different defect types in MCT epitaxial layers grown by metalorganic chemical vapor deposition (MOCVD) have been investigated. The possibility to control defects concentration and semiconductor conductivity type by the variation of metalorganic components composition and gas-carrier pressure has been shown. The Hg inclusion and Hg leakage from the layer surface are main reasons of temporary instability. CdTe surface passivation eliminates Hg leakage. Further annealing results to inclusion resorption. This provides MCT epitaxial layers stability.*