

Облучение высокоэнергетическими электронами и гамма-квантами эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных методом молекулярно-лучевой эпитаксии

А. В. Войцеховский, А. П. Коханенко, А. Г. Коротаев, Д. В. Григорьев
Сибирский физико-технический институт при ТГУ, г. Томск, Россия

В. С. Варавин, С. А. Дворецкий, Ю. Г. Сидоров, Н. Н. Михайлов
Институт физики полупроводников СО РАН, г. Новосибирск, Россия

Представлены первые результаты по исследованию радиационной стойкости гетероэпитаксиальных структур КРТ, выращенных методом МЛЭ, к облучению высокоэнергетическими электронами (1–2 МэВ) при дозах облучения до 10^{16} см⁻² и при воздействии гамма-квантами Co^{60} ($E \sim 1,25$ МэВ, $\Phi = 10^5–10^7$ Р). Полученные предварительные результаты позволяют говорить о высоком качестве исследуемых эпитаксиальных пленок КРТ.

Особенностью радиационного дефектообразования в кристаллах теллурида кадмия ртути (КРТ) при воздействии высокоэнергетическими частицами (электронами, гамма-квантами) является генерация в результате процесса облучения стабильных радиационных дефектов с донорными свойствами [1–4]. Поэтому по зависимости концентрации, времени жизни, подвижности носителей заряда от дозы дефектообразующих частиц можно судить о радиационной стойкости данного материала и определить концентрацию радиационных дефектов в процессе облучения. В последнее время наилучшие результаты по получению материала КРТ дает метод молекулярно-лучевой эпитаксии (МЛЭ). Эпитаксиальные пленки КРТ, выращенные этим методом, характеризуются высокой степенью однородности и заданными профилями состава.

Исследование воздействия высокоэнергетическими легкими частицами на гетероэпитаксиальные структуры КРТ, выращенные методом МЛЭ (ГЭС КРТ МЛЭ), представляет особый интерес в силу того, что при этом образуются в основном простейшие дефекты типа пар Френкеля, а также отсутствуют эффекты, связанные с вводимыми примесями, т. е. имеется возможность наблюдать радиационное дефектообразование в “чистом” виде. Изменение параметров ГЭС КРТ МЛЭ будет определяться только скоростью введения стабильных радиационных де-

фектов донорного типа и перестройкой исходных дефектов под действием облучения. Ниже представлены первые результаты по экспериментальному исследованию воздействия малыми потоками высокоэнергетических частиц в различных режимах на электрофизические и фотоэлектрические параметры ГЭС КРТ МЛЭ.

Облучение ГЭС КРТ МЛЭ мощными импульсными пучками

Облучение сильноточным пучком электронов проводилось на ускорителе типа “Темп” в НИИ ЯФ при ТГУ. Параметры электронного облучения: энергия электронов $E = 400$ кэВ, плотность тока электронов в пучке $j = 200$ А/см², длительность импульса $\tau = 50$ нс. Облучение проводилось в диапазоне флюенсов $\Phi = 6 \cdot 10^{14}–1,8 \cdot 10^{16}$ см⁻².

Предварительно был проведен расчет температурного профиля в образце после окончания действия импульса электронов, который показал, что максимум температурного профиля лежит на глубине ~ 60 мкм, а температура в максимуме достигает 370 °С. При таких температурах и временах воздействия можно считать, что стехиометрический состав образцов в процессе облучения остается неизменным. Результаты измерений электрофизических параметров образцов до и после облучения представлены в таблице.

Электрофизические параметры образцов КРТ n-типа проводимости до и после облучения пучком электронов ($E = 400$ кэВ, $j = 200$ А·см⁻², $\tau = 50$ нс)

№	Тип	До облучения		Φ , см ⁻²	После облучения	
		μ_{77} , см ² ·В ⁻¹ ·с ⁻¹	n_{77} , см ⁻³		μ_{77} , см ² ·В ⁻¹ ·с ⁻¹	n_{77} , см ⁻³
1	МЛЭ КРТ	$0,1 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^{15}$	$6,0 \cdot 10^{14}$	$0,1 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^{15}$
2	МЛЭ КРТ	$0,8 \cdot 10^5$	$2,0 \cdot 10^{15}$	$1,8 \cdot 10^{16}$	$0,9 \cdot 10^5$	$1,7 \cdot 10^{15}$
3	КРТ	$1,2 \cdot 10^5$	$4,0 \cdot 10^{14}$	$6,0 \cdot 10^{14}$	$1,4 \cdot 10^5$	$3,8 \cdot 10^{14}$
4	КРТ	$2,4 \cdot 10^5$	$1,4 \cdot 10^{14}$	$1,8 \cdot 10^{16}$	$2,7 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^{14}$

Видно, что параметры образцов после облучения не изменились. Таким образом, облучение эпитаксиальных пленок и объемного материала КРТ *n*-типа проводимости в диапазоне потоков $6 \cdot 10^{14} \div 1,8 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$ (в данных режимах облучения) не приводит к образованию высоких концентраций электрически активных дефектов или к перестройке исходных дефектов.

Облучение ГЭС КРТ МЛЭ высокоэнергетическими электронами

Эпитаксиальные пленки КРТ, выращенные методом МЛЭ, облучались на импульсном ускорителе электронов с энергией 1–2 МэВ при длительности импульсов 4 мкс и частоте повторения 0,25 кГц. Средняя плотность тока электронов при облучении составляла $j_e \leq 1 \text{ мкА/см}^2$. Облучение проводилось в диапазоне флюенсов $\Phi = 1 \cdot 10^{15} \div 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-2}$.

Измерения электрофизических и фотоэлектрических свойств ГЭС КРТ МЛЭ *n*- и *p*-типов проводимости, а также образцов КРТ, изготовленных из полупроводникового материала, выращенного объемными методами, проводились до и после облучения. Обнаружено, что при используемых в работе потоках высокоэнергетических электронов нет заметных изменений электрофизических и фотоэлектрических параметров ГЭС КРТ МЛЭ. Типичные зависимости коэффициента Холла (R_H) от индукции магнитного поля (B) для разных доз облучения высокоэнергетическими электронами эпитаксиальных пленок КРТ представлены на рис. 1, а, б. Видно, что для потоков облучения до $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ разброс значений коэффициента Холла образцов КРТ до и после облучения лежит в интервале ошибки измерения. Следовательно, облучение эпитаксиальных пленок и объемного материала КРТ в диапазоне потоков $1 \cdot 10^{15} \div 5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ не приводит к образованию высоких концентраций электрически активных дефектов или к перестройке исходных дефектов, и можно констатировать совпадение процессов радиационного дефектообразования при облучении высокоэнергетическими электронами эпитаксиального материала, выращенного методом МЛЭ, и образцов КРТ, выращенных объемными методами.

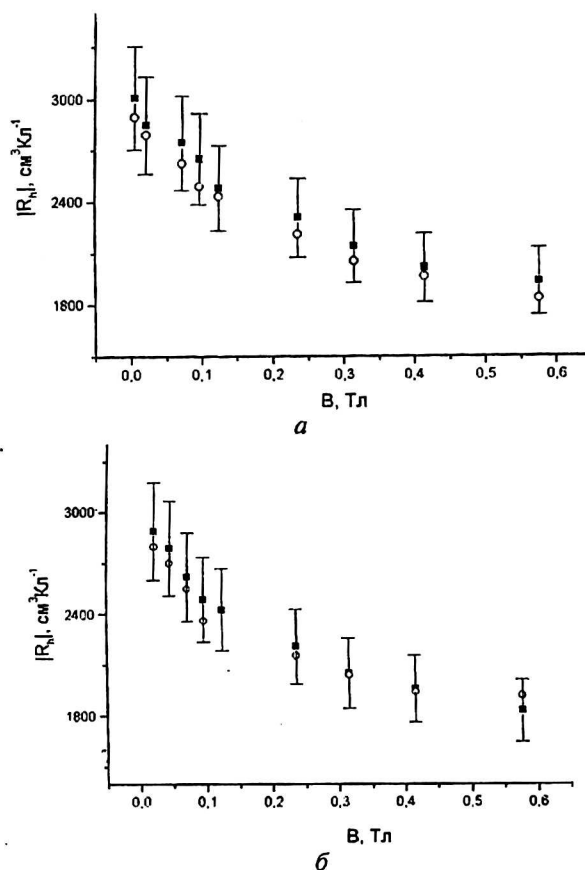


Рис. 1. Зависимость коэффициента Холла от индукции магнитного поля для образца *n*-типа ГЭС КРТ МЛЭ: а — до облучения (○); облученного электронами дозой 10^{15} см^{-2} (■); б — до облучения (○); облученного электронами дозой $5 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-2}$ (■)

Облучение ГЭС КРТ МЛЭ гамма-квантами

Облучение проводилось на стандартной установке (энергия гамма-квантов $\text{Co}^{60} E \sim 1,25 \text{ МэВ}$, $\Phi = 10^5 \text{—} 10^7 \text{ Р}$). Необходимо отметить, что при используемых в работе потоках облучения гамма-квантами нет заметных изменений электрофизических и фотоэлектрических параметров эпитаксиальных пленок КРТ. Это видно и на рис. 2, 3, где представлены зависимости коэффициента Холла от магнитной индукции для образцов *p*- и *n*-типов проводимости. Подобные результаты получались ранее и для объемного материала КРТ. Так, для кристаллов *n*-типа проводимости отсутствуют изменения электрофизических параметров после облучения дозами до $1 \cdot 10^9 \text{ Р}$. Аналогичным образом ведут себя кристаллы *p*-типа проводимости с высокой исходной концентрацией дырок свыше $2 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$, для которых также не зарегистрированы изменения концентрации носителей заряда для тех же доз облучения. Изменения при воздействии гамма-квантами наблюдались в образцах со смешанной проводимостью и с высоким уровнем исходной дефектности.

Заключение

Показана высокая радиационная стойкость (отсутствие заметных изменений в значениях электрофизических и фотоэлектрических параметров) эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных методом МЛЭ, к облучению высокоэнергетическими электронами (1–2 МэВ) при дозах облучения до 10^{16} см⁻² и при воздействии гамма-квантами ⁶⁰Со ($E \sim 1,25$ МэВ, $\Phi = 10^5$ – 10^7 Р). Полученные предварительные результаты позволяют говорить о высоком качестве исследуемых эпитаксиальных пленок КРТ, выращенных методом МЛЭ.

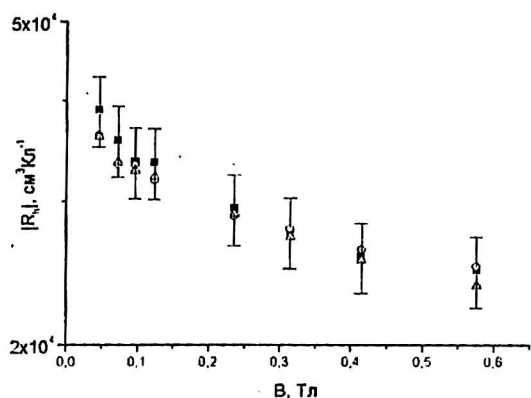


Рис. 2. Зависимость коэффициента Холла от индукции магнитного поля при облучении γ -квантами образца n-типа ГЭС КРТ МЛЭ:

■ — до облучения; ○ — доза облучения 10^6 Р; Δ — 10^7 Р

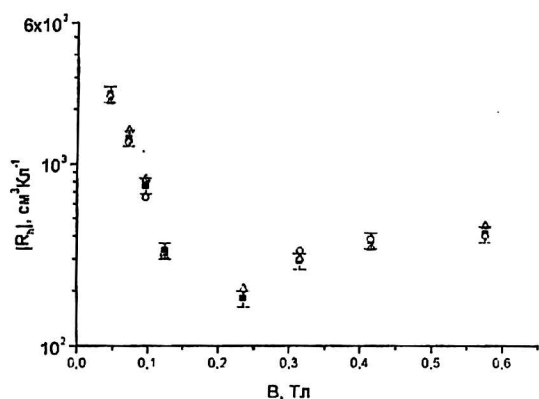


Рис. 3. Зависимость коэффициента Холла от индукции магнитного поля при облучении γ -квантами образца p-типа ГЭС КРТ МЛЭ:

■ — до облучения; ○ — доза облучения 10^6 Р; Δ — 10^7 Р

Литература

1. Войцеховский А. В., Коханенко А. П., Лиленко Ю. В., Петров А. С. // ФТП. 1981. Т. 15. № 4. С. 676–681.
2. Войцеховский А. В., Коханенко А. П., Лиленко Ю. В. и др. // Там же. № 8. С. 1606–1608.
3. Войцеховский А. В., Коханенко А. П., Лиленко Ю. В., Саламатин Б. В. // Физическая электроника. 1983. № 26. С. 48–52.
4. Войцеховский А. В., Волошин В. О., Гольман М. Б., Коханенко А. П. Радиационная физика узкозонных полупроводников. — г. Алматы: Гылым (Наука), Казахстан, 1998.

Electron and gamma irradiation of MBE grown MCT films

A. V. Voitsekhovskiy, A. P. Kokhanenko, A. G. Korotaev, D. V. Grigor'ev
Siberian Physiko-Technical Institute, Tomsk, Russia

V. S. Varavin, S. A. Dvoretzkiy, Yu. G. Sidorov, N. N. Mikhailov
Institute of Semiconductor Physics, Novosibirsk, Russia

In this work the first results on a radiation stability investigation of mercury cadmium telluride (MCT) epitaxial films, grown by molecular beam epitaxy, represented. MBE films of MCT have the high radiation stability (absence of noticeable changes in values of electrophysical and photoelectric parameters) to an irradiation by high energy electrons ($E \sim 1$ – 2 MeV, Φ up to 10^{16} cm⁻²) and ⁶⁰Co gamma rays ($E \sim 1.25$ MeV, $\Phi = 10^5$ – 10^7 R). The obtained preliminary results allow us to speak about high quality of explored MCT epifilms.