

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] И. Б. Ермолович и др. Опт. и спектр., 68, 855 (1990).
- [2] А. Л. Эфрос, А. Л. Эфрос. ФТП, 16, 1209 (1982).
- [3] А. И. Екимов, А. А. Онушенко. ФТП, 16, 1215 (1982).
- [4] I. S. Rap, H. V. Rap. Phys. St. Sol. B, 148, 129 (1988).
- [5] С. И. Пекар. Исследования по электронной теории кристаллов, 256. М. (1951).
- [6] Ю. Е. Перлин. УФН, 80, 553 (1963).
- [7] И. М. Лифшиц, В. В. Слезов. ЖЭТФ, 64, 479 (1958).
- [8] Н. П. Кулиш, В. П. Кунец, М. П. Лисица. УФЖ, 53, 1817 (1990).

Редактор: В. В. Чалдышев

ФТП, том 26, вып. 10, 1992

ВРЕМЯ ЖИЗНИ НЕОСНОВНЫХ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В ЭПИТАКСИАЛЬНЫХ СЛОЯХ $Cd_xHg_{1-x}Te$ p -ТИПА ПРОВОДИМОСТИ

А. М. Мухитдинов, В. И. Стафеев

Научно-производственное объединение «Орион», 111123, Москва, Россия
(Получено 6.04.1992. Принято к печати 10.04.1992)

Несмотря на то что узкозонный полупроводник $Cd_xHg_{1-x}Te$ p -типа проводимости широко используется для изготовления фотодиодов ИК диапазона, число работ, посвященных изучению механизмов рекомбинации в объемных монокристаллах, невелико [1-14]. Часть из них выполнена методами спектроскопии глубоких уровней [8, 9, 11] и переключением $p-n$ -переходов и барьеров Шоттки [3, 10], что предполагает наличие выпрямляющего контакта и накладывает ограничение на температурный диапазон измерений. Публикаций по эпитаксиальным слоям и того меньше [15].

В настоящей работе исследованы эпитаксиальные слои $Cd_xHg_{1-x}Te$ с $x \approx 0.2$ и 0.3 , выращенные на подложке $CdTe$ методом жидкофазной эпитаксии. Время жизни неосновных носителей заряда измерялось по спаду фотопроводимости при импульсном освещении лазером на $GaAs$ типа ЛПИ-10. Параметры исследованных образцов приведены в таблице.

Полученные результаты хорошо описываются теорией рекомбинации Шокли—Рида [1] через локальные центры в запрещенной зоне при низком уровне возбуждения.

Параметры образцов

№ образца	Состав, x	$T = 77$ К		Толщина d , мкм
		Концентрация $(N_A - N_D) \cdot 10^{-15}$, $см^{-3}$	Подвижность μ_p , $см^2/V \cdot с$	
1	0.21	10	470	32
2	0.22	10	530	37
3	0.22	6.3	500	25
4	0.30	1.1	450	22
5	0.30	7.4	470	18

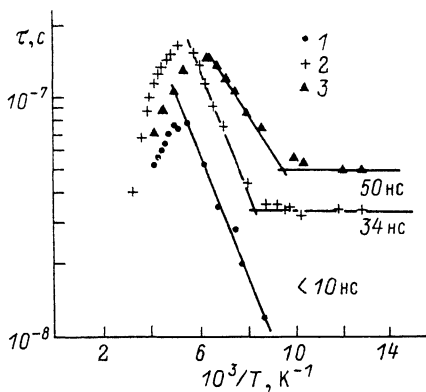


Рис. 1. Температурные зависимости времени жизни неосновных носителей заряда в эпитаксиальных слоях $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, $x \approx 0.2$. Указаны номера образцов и значения τ_{D0} .

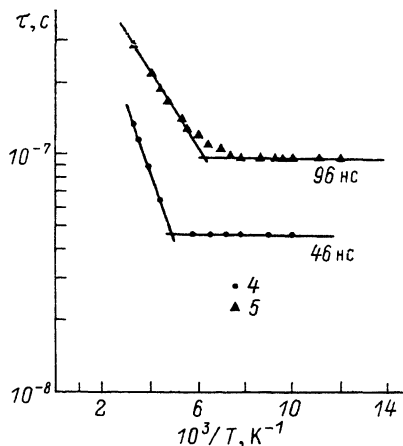


Рис. 2. Температурные зависимости времени жизни неосновных носителей заряда в эпитаксиальных слоях $\text{Cd}_x\text{Hg}_{1-x}\text{Te}$, $x \approx 0.3$, p-тип проводимости. Указаны номера образцов и значения τ_{D0} .

Температурная зависимость времени жизни неосновных носителей заряда в образцах с $x \approx 0.2$ изображена на рис. 1. На зависимости можно выделить по крайней мере два прямолинейных участка при $T < 200$ К. Как показано в работе [2], по наклону прямой на участке, где τ растет с увеличением T , можно определить энергию активации рекомбинационных центров, а горизонтальный участок соответствует времени жизни электронов τ_{D0} по отношению к захвату акцепторными центрами рекомбинации полностью свободными от электронов, если только не предполагать резкой асимметрии коэффициентов захвата дырок и электронов.

Энергия активации центров рекомбинации оценивалась и по температуре перехода на горизонтальный участок по формуле

$$E = kT_n \ln \left(\frac{N_v}{p_0} \right),$$

где T_n — температура перехода на горизонтальный участок, N_v — эффективная плотность состояний в валентной зоне, p_0 — равновесная концентрация основных носителей в области полной ионизации примесей [2]. Экстраполируя прямую участка, где τ растет с температурой, до оси ординат, найдем величину $\ln \left(\tau_{D0} \frac{N_v}{p_0} \right)$, и, зная τ_{D0} по горизонтальному участку, окончательно находим $E = 0.05$ эВ для образцов 1, 2 и $E = 0.03$ эВ для образца 3.

Уменьшение времени жизни при $T > 200$ К обусловлено межзонными механизмами рекомбинации.

На рис. 2 приведены результаты для образцов, где $x \approx 0.3$. Здесь, в отличие от случая $x \approx 0.2$, в области высоких температур не наблюдается уменьшения времени жизни неосновных носителей заряда вплоть до $T = 300$ К. Следовательно, основным каналом рекомбинации в этом случае является рекомбинация на центрах Шокли—Рида с энергиями активации $E = 0.06$ и 0.03 эВ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

[1] W. Sockley, W. T. Read. Phys. Rev., 87, 835 (1952).

- [2] С. М. Рывкин. Фотозлектрические явления в полупроводниках, 496. М. (1963).
- [3] D. L. Polla, A. K. Sood. *J. Appl. Phys.*, **51**, 4908 (1980).
- [4] А. В. Войцеховский, Ю. В. Лиленко, Л. Н. Лимаренко, Е. П. Лопатинская. Матер. V Всес. симп. по полупроводникам с узкой запрещенной зоной и полуметаллам, 111. Львов (1980).
- [5] А. В. Войцеховский, А. П. Коханенко, Ю. В. Лиленко, А. С. Петров. *ФТП*, **15**, 676 (1981).
- [6] А. В. Войцеховский, А. П. Коханенко, Ю. В. Лиленко, А. С. Петров, В. И. Стафеев. *ФТП*, **15**, 1606 (1981).
- [7] А. В. Войцеховский, Ю. В. Лиленко. *ФТП*, **15**, 1457 (1981).
- [8] D. L. Polla, C. E. Jones. *J. Appl. Phys.*, **52**, 5118 (1981).
- [9] D. L. Polla, M. B. Reine, C. E. Jones. *J. Appl. Phys.*, **52**, 5132 (1981).
- [10] D. L. Polla, S. P. Tobin, M. B. Reine, A. K. Sood. *J. Appl. Phys.*, **52**, 5182 (1981).
- [11] C. E. Jones, V. Nair, D. L. Polla. *Appl. Phys. Lett.*, **39**, 248 (1981).
- [12] J. A. Mroczkowski, J. F. Shanley, M. B. Reine, P. Lo Vecchio, D. L. Polla. *Appl. Phys. Lett.*, **38**, 261 (1981).
- [13] S. E. Schacham, E. Finkman. *J. Appl. Phys.*, **57**, 2001 (1985).
- [14] Н. С. Барышев, М. И. Ибрагимова, И. Б. Хайбуллин. Матер. VII Всес. симп. по полупроводникам с узкой запрещенной зоной и полуметаллам, 54. Львов (1986):
- [15] В. Г. Савицкий, В. К. Писаревский, М. И. Лозинская. Матер. VII Всес. симп. по полупроводникам с узкой запрещенной зоной и полуметаллам, 153. Львов (1986).

Редактор: Л. В. Шаронова

ФТП, том 26, вып. 10, 1992

ИНТЕРПРЕТАЦИЯ НЕРАВНОВЕСНЫХ ЕМКОСТНЫХ СПЕКТРОВ А-ЦЕНТРОВ, ВВОДИМЫХ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ФОТОННОЙ ОБРАБОТКЕ КРЕМНИЯ

В. И. Белявский, Ю. А. Капустин, В. В. Свиридов

Воронежский государственный педагогический институт, 396611, Воронеж, Россия
(Получено 1.10.1991. Принято к печати 27.04.1992)

Обнаруженные впервые в экспериментах по исследованию ЭПР в кремнии, облученном частицами высоких энергий, комплексы кислород—вакансия (А-центры [¹]) имеют энергию ионизации 0.17 эВ, сечение захвата электрона около 10^{-14} см² и энергию отжига 1.1—1.7 эВ [^{2, 3}]. Многочисленные исследования А-центров методом нестационарной емкостной спектроскопии глубоких уровней (НЕСГУ) показали, что обусловленный ими максимум в спектре НЕСГУ находится при температуре 80 К для времени релаксации 10 мс [²]. Импульсная фотонная обработка (ИФО) излучением ксеноновых ламп с плотностью потока $\sim 10^2$ Вт/см² и длительностью импульса ~ 0.1 с приводит к образованию глубоких центров с энергией термоионизации, сечением захвата и энергией диссоциации такими же, что и у А-центров [⁴]. Сравнение данных [²] и [⁴] приводится на рисунке.

Возникающим при ИФО центрам (локализованным в приповерхностном слое толщиной ~ 1 мкм) в отличие от А-центров, создаваемых облучением частицами высоких энергий, соответствует максимум НЕСГУ при температуре около 200 К при том же времени релаксации. Поэтому вывод об идентичности этих центров, в пользу которого, кроме совпадения основных параметров, свидетельствует их возникновение в результате механической обработки поверхности [⁵] и при окислении [⁶], а также анализ процесса их образования [⁷], требует дополнительной аргументации, которая приводится в настоящей работе.

Энергия термоионизации электрона с глубокого уровня в зону проводимости может быть определена как химический потенциал, т. е. потенциал Гиббса G в расчете на один электрон [^{8, 9}]. Принцип детального