

УДК 548.4:548.734

КЛАДЬКО В. П., ГУРЕЕВ А. Н., ДАЦЕНКО Л. И.,
КУРБАНОВ К. Р., ФОМИН А. В.ДИНАМИЧЕСКОЕ РАССЕЯНИЕ РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ
В КРИСТАЛЛАХ CdTe С МАКРОВЫДЕЛЕНИЯМИ
ФАЗ ТЕЛЛУРА И КАДМИЯ

С помощью однокристалльного спектрометра исследованы закономерности поведения интенсивностей динамического рассеяния рентгеновских лучей с длинами волн вблизи K -краев поглощения, а также их скачки S в кристаллах CdTe с выделениями фаз составляющих компонент в условиях слабого поглощения ($\mu t < 1$). Предложен метод контроля образцов на наличие выделений фаз.

Из анализа толщинных зависимостей логарифмов скачков интегральных интенсивностей (ИИ) $\ln S = f(t)$ рентгеновских лучей, измеренных вблизи K -краев поглощения λ_K атомов решетки в толстом кристалле ($\mu t > 10$), можно получить информацию о параметрах структурного совершенства кристаллов [1]. Однако в ряде бинарных монокристаллов, какими являются и CdTe, наряду с дефектами первого и второго классов [2], оказывающими влияние на рассеяние рентгеновских лучей, возможно выделение фаз теллура и кадмия, а также отклонение от стехиометрии за счет ухода атомов из своей подрешетки. Поскольку в толстом кристалле $\ln S$ является функцией как параметров структурного совершенства кристаллов, так и концентрации s компонент, это обстоятельство делает невозможным контроль кристаллов на присутствие выделений фаз компонент.

Рассмотрение зависимостей $\ln S = f(t)$ в условиях слабого поглощения ($\mu t < 1$) показало, что эта величина не зависит от искажений структуры кристалла, хотя на ИИ дефекты и оказывают влияние [3]. Выражения для $\ln S$ в этом случае принимают вид

$$\ln S = \ln i_2/i_1 = (\mu_1 - \mu_2)t = p_2 [(\mu/\rho)_1 - (\mu/\rho)_2]ct, \quad (1)$$

где i_2/i_1 — отношение ИИ лауэ-дифрагированных пучков, измеренных соответственно в длинноволновой и коротковолновой областях длин волн вблизи K -края, ρ_2 — плотность соединений, $(\mu/\rho)_i$ — массовый коэффициент поглощения i -го компонента, t — толщина образца.

Однако наличие в кристаллах таких грубых искажений структуры как выделения фаз компонент, которые вследствие различия атомных объемов преципитатов и матрицы должны быть окруженными зоной пластической деформации, в конечном итоге может приводить к изменению характера толщинных зависимостей ИИ и их скачков вблизи K -края в приближении тонкого кристалла.

Поэтому цель работы — исследование особенностей динамического рассеяния рентгеновских лучей, характера изменения интенсивностей и их скачков в тонких кристаллах теллурида кадмия с выделениями фаз и выяснение возможности определения величины отклонения средней концентрации компонент от стехиометрической.

Измерения ИИ (220) лауэ-дифрагированных пучков проводились на длинах волн $\lambda_1 = 0,454 \text{ \AA}$ и $\lambda_2 = 0,475 \text{ \AA}$ вблизи K -края поглощения атомов Cd и $\lambda_1 = 0,381 \text{ \AA}$ и $\lambda_2 = 0,401 \text{ \AA}$ вблизи K -края атомов Te с помощью однокристалльного спектрометра (ОКС) [4]. Кроме того, измерялись величины $\ln S$ в абсорбционном опыте, когда тонкие пластины CdTe помещались на входное окно счетчика, а с помощью кристалла кремния, установленного на оси гониометра, выделялись отдельные интервалы длин волн $\Delta\lambda$

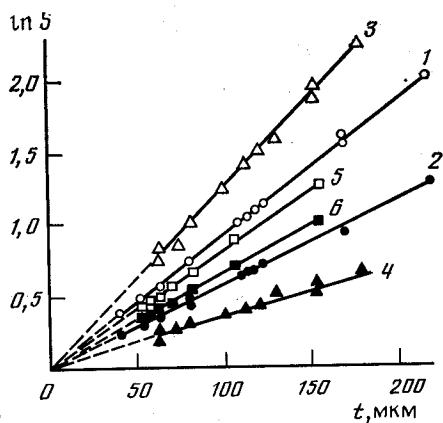


Рис. 2. Зависимости $\lg S=f(t)$ для кристаллов CdTe, измеренные вблизи К-краев поглощения Cd (1, 3, 5) и Te (2, 4, 6)
1, 2 — стехиометрического состава; 3, 4 — с выделением фазы Cd; 5, 6 — с выделением фазы Te

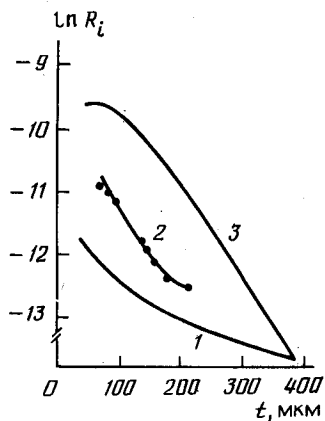


Рис. 3. Зависимости $\ln R_i=f(t)$ для кристалла CdTe с выделением фазы Te
1 — рассчитанная для идеального кристалла, 2 — измеренная вблизи К-краев Te, 3 — рассчитанная для идеального стехиометрического кристалла

ностей, делающих невозможным определение c из соотношения (1). Во-первых, с изменением c меняется и ρ_x . Во-вторых, отсутствуют точные значения массовых коэффициентов поглощения для широкой области длин волн непрерывного спектра РЛ. Покажем, однако, что существует возможность преодоления указанных трудностей.

Запишем (1) для К-краев поглощения Cd и Te для образцов различного состава (с выделениями фаз — индекс N , стехиометрического — s) и составим соответствующие отношения:

$$\ln S_N^{\text{Cd}} / \ln S_s^{\text{Cd}} = \rho_x^N c_N^{\text{Cd}} / \rho_x^s c_s^{\text{Cd}}, \quad (2)$$

$$\ln S_N^{\text{Te}} / \ln S_s^{\text{Te}} = \rho_x^N c_N^{\text{Te}} / \rho_x^s c_s^{\text{Te}}. \quad (2a)$$

Легко видеть, что при измерениях вблизи К-края только одного из компонент возникает необходимость проведения дополнительных пикнометрических измерений. Указанной процедуры можно избежать, если провести измерения вблизи обоих К-краев. Тогда из (2) и (2a) получим отношение скачков

$$k = \frac{\ln S_N^{\text{Cd}} / \ln S_s^{\text{Cd}}}{\ln S_N^{\text{Te}} / \ln S_s^{\text{Te}}} = \frac{c_N^{\text{Cd}} / c_s^{\text{Cd}}}{c_N^{\text{Te}} / c_s^{\text{Te}}}, \quad (3)$$

которое уже не зависит от плотности вещества. Введя следующие обозначения: $c_s^{\text{Cd}}=a$, $c_s^{\text{Te}}=b$ и принимая во внимание, что $c_N^{\text{Cd}}=1-c_N^{\text{Te}}$, получим

$$c_N^{\text{Te}} = b / (ka + b), \quad (4)$$

$$c_N^{\text{Cd}} = ka / (ka + b). \quad (5)$$

Из (4) и (5) следует, что для определения c необходимо иметь только экспериментальные значения $\ln S$, измеренные вблизи К-краев поглощения обоих компонент в кристаллах стехиометрического состава, а также в образцах с преципитатами.

Концентрация компонент, определенная на основании измерения соответствующих $\ln S$, для исследовавшихся образцов с выделениями Cd и Te составляет соответственно $c_N^{\text{Cd}}=0,67$ и $c_N^{\text{Te}}=0,61$, в то время как $c_s^{\text{Cd}}=0,47$, а $c_s^{\text{Te}}=0,53$. Для сравнения приведем значение $c_N^{\text{Te}}=0,56$ в образце с выделением Te, полученное на микроанализаторе «Самбах». Видно, что наблюдается удовлетворительная корреляция между значениями концентрации компонент, определенной двумя методами. В последнем

**Сравнение интенсивностей, измеренных вблизи К-края
поглощения Cd в дифракционном и абсорбционном
экспериментах**

Отраже- ние	Дифракционный		Абсорбционный	
	i_1	i_2	i_1	i_2
220	318	1890	59	357
311	148	873		
111	669	3884		

случае значение c_N^{Te} оказалось несколько заниженным. Этот факт может быть объяснен отклонением поверхностной концентрации одной из компонент от объемного значения, что связано со спецификой процессов травления вещества [5, 6].

Остается обсудить вопрос о возможностях дифракционного и абсорбционного опытов.

Как уже отмечалось ранее, измерение скачков интенсивностей с целью определения c проводилось и в абсорбционном опыте. По сравнению с последним преимущество дифракционного эксперимента состояло в значительном выигрыше в величине интенсивностей i_1 и i_2 за счет присутствия дефектов, создающих кинематические всплески ИИ в исследуемых кристаллах. В таблице приведено сравнение результатов измерения соответствующих интенсивностей i_1 и i_2 для двух вышеуказанных случаев.

В заключение была проведена оценка точности определения концентрации выделений. Поскольку в (4, 5) входят только экспериментальные значения $\ln S$, то указанная точность определяется ошибкой в измерениях ИИ

$$\Delta c_{Te}/c_{Te} = c_{Cd} \Delta k/k = (1 - c_{Te}) \Delta k/k, \quad (6)$$

где $\Delta k/k \approx 4 \Delta \ln S / \ln S$.

Расчет и анализ ошибок, согласно (6), с учетом экспериментальных погрешностей измерения ИИ показывает, что точность определения c составляет 1,5–2%.

Резюмируя полученные результаты, отметим, что экспериментальные значения ИИ в кристаллах с выделениями значительно выше, чем для идеального кристалла, несмотря на наличие недифрагирующих областей (преципитатов) за счет кинематической компоненты рассеяния. Зависимости $\ln S = f(t)$ носят линейный характер, как и в кристаллах стехиометрического состава, что позволило разработать методику контроля образцов на присутствие преципитатов в бинарных и тройных соединениях полупроводников.

Литература

1. Даценко Л. И. // Укр. физ. журн. 1979. Т. 24. С. 577.
2. Кривоглаз М. А. Теория рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами. М.: Наука, 1967. С. 336.
3. Даценко Л. И., Кладько В. П., Кисловский Е. Н., Хрупа В. И. // Кристаллография. 1984. Т. 29. С. 1066.
4. Скоруход М. Я., Даценко Л. И., Гуреев А. Н., Васильковский А. С. // Укр. физ. журн. 1970. Т. 15. С. 787.
5. Haring J. P., Werthen J. P., Bube R. H. // J. Vac. Sci. and Technol. 1983. V. 1. P. 1469.
6. Patterson M. H., Williams R. H. // J. Phys. D. 1978. V. 11. P. L83.

Институт полупроводников АН УССР

Поступила в редакцию
3.V.1985
С доработки
5.XI.1985