

# КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМИРОВАННОГО СЛОЯ МОНОКРИСТАЛЛИЧЕСКОГО ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ

В. Н. БАБЕНЦОВ, С. И. ГОРБАНЬ,  
В. П. КЛАДЬКО, А. В. ФОМИН

Знание параметров нарушенного слоя (НС) монокристаллического теллурида кадмия, необходимых для оптимизации методов его обработки, представляет особый интерес в связи с использованием этого материала в качестве подложки для получения эпитаксиальных слоев узкозонных твердых растворов кадмий—ртуть—теллур [1].

Для определения глубины и структуры НС в полупроводниках эффективным является комплексное исследование рассеяния рентгеновских лучей, избирательного травления и рекомбинационных явлений, определяющих фотолуминесценцию (ФЛ) и фотопроводимость (ФП) в НС.

Целью данной работы было проведение на примере теллурида кадмия сравнительного анализа возможностей рентгенодифракционных металлографических и рекомбинационных методов определения параметров НС, возникшего в процессе абразивной обработки пластин материала.

**Подготовка образцов и методика измерений.** Из слитка теллурида кадмия выделялся крупный монокристаллический блок, который затем ориентировали и обрабатывали таким образом, чтобы сформировался прямоугольный параллелепипед, ограниченный низкоиндексными плоскостями. В дальнейшем из него по плоскости (111) проволочной резкой с абразивом вырезались пластинчатые образцы толщиной  $\sim 1$  мм. Поверхностные нарушения на пластинках удалялись полирующим травлением на большую глубину (100...200 мкм). Дальнейшая обработка образцов проводилась шлифовкой на стеклянном полировальнике абразивными порошками М10 и М20 при одинаковом удельном давлении. Кроме этого исследовались образцы непосредственно после проволочной резки, не подвергавшиеся полирующему травлению.

Глубина НС исследовалась при послойном стравливании пластин тремя методами: рентгеновским — по кривым дифракционного отражения (КДО); металлографическим — по плотности ямок травления; рекомбинационным — по интенсивности низкотемпературной фотолуминесценции. Травление велось при комнатной температуре в растворе, содержащем 50%-ный  $\text{CrO}_3 + \text{HF}$  (2:3). Толщина стравленного слоя измерялась механиче-

ским стрелочным индикатором с погрешностью  $\pm 1$  мкм и интерференционным микроскопом МИИ-4.

КДО были получены с помощью двухкристалльного спектрометра в параллельном положении ( $\vec{n}$ ,  $-\vec{n}$ ). В качестве монохроматора применялся образец антимонида индия с отражающей поверхностью (112) для уменьшения влияния дисперсии. Использовалось  $\text{CuK}_{\alpha 1}$ -излучение, отражение (111) [2].

ФЛ в материале возбуждалась излучением гелий-неонового лазера при температуре  $T = 4,2$  К для получения информативных структурных спектров.

За глубину НС принималось расстояние от поверхности до того места в глубине образца, начиная с которого спектр ФЛ, полуширина КДО, плотность фигур травления не изменяются при послойном стравливании пластин.

**Экспериментальные результаты.** Из рис. 1 видно, что спектр ФЛ ненарушенного материала (кривая 1) содержит линии излучения связанных экситонов ( $\sim 780$  нм) и структурные полосы ФЛ в областях длин волн 800...830 нм и 850...900 нм. Эти полосы ФЛ в литературе часто связывают с рекомбинацией на комплексах собственных и примесных дефектов решетки [3].

В области сильно разупорядоченного обработкой материала толщиной 3...5 мкм (см. рис. 1, кривая 2) доминирует полоса ФЛ 840 нм, известная как полоса, обусловленная рекомбинацией на микродефектах типа дислокаций [4].

На рис. 2, где представлены зависимости интенсивностей наблюдавшихся полос ФЛ от толщины стравленного поверхностного слоя

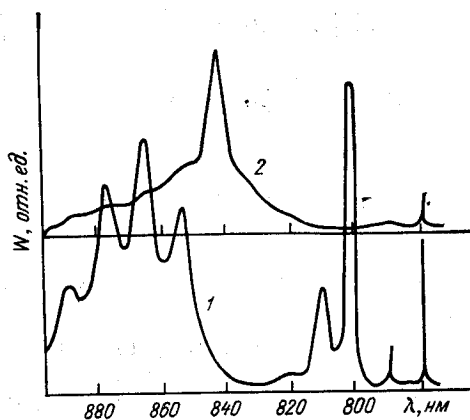


Рис. 1. Спектры ФЛ теллурида кадмия при температуре 4,2 К для исходного материала (1) и подвергнутого шлифовке (2) с глубины 1 мкм.

Вид обработки	Избирательное травление	КДО	ФЛ
Шлифовка абразивным порошком М10	17±6	35±5	25±4
То же М20	24±8	50±8	50±8
Резка струной с порошком М10	15±5	30±4	22±4

(а), можно выделить четыре участка (I—IV). Участок I характеризуется тем, что в спектре доминирует полоса ФЛ 840 нм (см. рис. 2, кривая 4). Соотношение интенсивностей излучения 800 нм — 2 и 780 нм — 1 здесь больше единицы. Линия излучения связанных экситонов уширена.

На участке II сильно ослабевает излучение до 840 нм, а интенсивности полос 800... 830 нм, 850... 900 нм (кривые 2, 3) возрастают до своего значения в ненарушенном материале (участок IV). Рост интенсивности этих полос происходит при убывании до плотности в ненарушенном материале дислокаций в области пластической деформации (см. рис. 2, в). Это свидетельствует о перераспределении рекомбинационного потока с центров, введенных в материал абразивной обработкой, на центры свечения, исходно имевшиеся в кристалле.

Участок III, где имеет место только упругая деформация, отличается от участка II тем, что на нем достигается насыщения интенсивность излучения связанных экситонов (780 нм). Значение относительной полуширины

ны КДО ( $b/b_0$ ) здесь также достигает постоянного значения, присущего ненарушенному материалу (см. рис. 2, б).

Наибольшие значения глубины НС, измеренные тремя описанными выше методами (таблица), получены из измерений полуширины КДО и интенсивности ФЛ связанных экситонов, что показывает примерно одинаковую чувствительность этих параметров к упругим напряжениям матрицы.

Полуширина КДО определяется средним по кристаллу значением постоянной решетки, которое различно в упругодеформированной и недеформированной областях материала. Рекомбинация же связанного экситона происходит в областях кристалла вблизи центра связывания объемом в сотни атомов решетки. Упругое напряжение в этих областях, по-видимому, вызывает безызлучательный распад экситона в сопутствующих деформации электрических полях, что приводит к уменьшению интенсивности ФЛ (780 нм).

Таким образом, особенности низкотемпературной ФЛ, ход зависимостей КДО и  $Nd$  от толщины стравленного слоя свидетельствуют о неоднородности НС, возникающего при шлифовке. Можно заключить, что НС обработанного теллурида кадмия содержит три зоны: сильных нарушений материала (I), пластических (II) и упругих (III) деформаций. Соотношение протяженностей этих зон может изменяться от конкретных условий обработки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Wald F. V. // Rev. Phys. Appl.—1977.—Vol. 12, № 1—2.—Р. 277.
2. Джеймс Р. Оптические принципы дифракции рентгеновских лучей.—М.: Иностран. лит., 1950.
3. Noblanc J. P., Loudette J., Durafford G. // Phys. Stat. Sol.—1969.—Vol. 32, № 1.—Р. 281.
4. Dean P. J., Williams G. M., Blackmore G. // J. Phys. D.: Appl. Phys.—1984.—Vol. 17, № 11.—Р. 2291.

Поступила в редакцию 4.04.88.

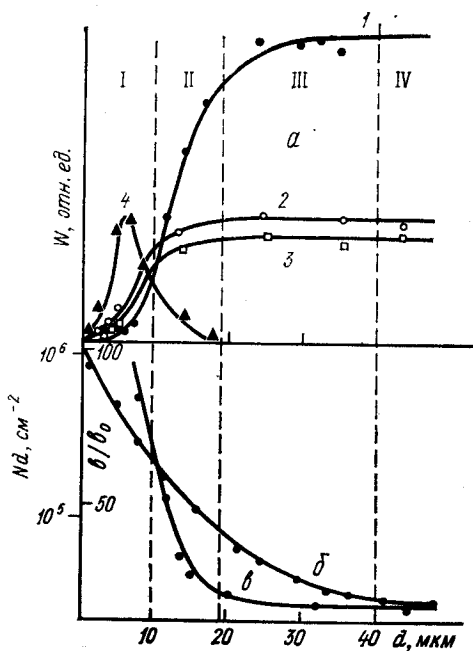


Рис. 2. Зависимости от глубины травления деформированного слоя: а — интенсивностей полос ФЛ (1 — 780 нм, 2 — 800 нм, 3 — 850 нм, 4 — 840 нм); б — полуширины КДО; в — плотности дислокаций  $Nd$