

Влияние различных видов обработки поверхности на фотоэлектрические и оптические свойства CdTe

© А. Байдуллаева, А.И. Власенко, П.Е. Мозоль

Институт физики полупроводников Национальной академии наук Украины,
252650 Киев, Украина

(Получена 10 июня 1996 г. Принята к печати 29 апреля 1997 г.)

Исследованы спектры фотопроводимости и поглощения света в монокристаллах *p*-CdTe при различных обработках. Показано, что в механически полированных и пластически деформированных кристаллах фотопроводимость и край поглощения определяются нарушенным слоем. Выяснена роль дислокаций в формировании края поглощения и спектра фотопроводимости.

Высокоомные монокристаллы CdTe, наряду с традиционными применениями для изготовления детекторов ядерного излучения, фотоприемников, инфракрасных фильтров и других оптических элементов, имеют также применение в качестве подложечного материала для эпитаксиального выращивания пленок $Cd_xHg_{1-x}Te$. В связи с этим высокие требования предъявляются к степени структурного совершенства и качеству обработки поверхности, методам контроля ее состояния, в частности для оптических и фотоэлектрических элементов важны высокая крутизна края поглощения, хорошее пропускание в области прозрачности материала, заданная степень компенсации, устойчивость к внешним воздействиям и деградации. Это зачастую определяется качеством обработки поверхности, степенью структурного совершенства приповерхностных слоев. Улучшение качества обработки может быть достигнуто благодаря использованию безабразивных способов полирования, основанных на процессе химического растворения полупроводника, проводимом в специальных гидродинамических условиях [1]. При этом, как свидетельствуют данные стандартных методов структурной диагностики, например, электронографии на отражение, нарушенный слой в обычном понимании отсутствует. Однако представляет интерес выявление других возможных несовершенств в приповерхностной области кристалла, потенциально ухудшающих качество эпитаксиальных слоев: полей упругих напряжений, продуктов химической обработки, связанных на поверхности, и т. д.

Существующие в настоящее время методы анализа и контроля степени структурного совершенства материала, зондирование электронами и ионами, рентгеновская, оже-, масс-спектроскопия, электронная микроскопия, инфракрасная отражательная адсорбционная спектроскопия и другие дорогостоящие и трудоемкие методы не всегда могут быть применены для экспрессного контроля материала. Учитывая высокую чувствительность оптических и фотоэлектрических свойств полупроводниковых материалов к степени их структурного совершенства, а также принимая во внимание большую доступность этих измерительных средств для целей экспресс-анализа, в настоящей работе исследовалось влияние различных видов обработки поверхности CdTe на оптические и фотоэлектрические свойства.

1. Методика эксперимента

Образцы CdTe *p*-типа проводимости с концентрацией носителей $\sim 10^{15} \text{ см}^{-3}$ и размерами $1 \times 2 \times 5 \text{ мм}^3$ вырезались таким образом, чтобы широкая грань, являющаяся рабочей, имела ориентацию [111], а боковые грани были образованы естественными сколами по плоскостям спайности [110] и [101]. Для получения омических контактов на две свежесколотые торцевые грани химически осаждался слой меди, затем припаивались индиевые контакты. Рабочая грань образцов подвергалась различным обработкам, включая механическое полирование для создания структурно-нарушенного слоя, послойное удаление нарушенного слоя при помощи химико-динамического полирования и свободного травления, а также химическую обработку с целью удаления продуктов травления. Для определения толщины удаляемого материала при послойном исследовании нарушенного слоя участок поверхности защищался хемостойким лаком, а высота образующейся после травления ступеньки измерялась на интерферометре МИИ-4.

Спектральные зависимости фотопроводимости (ФП) и пропускания измерялись на установке, собранной на базе монохроматора МДР-3. В процессе снятия нарушенного слоя проводилось выявление дислокационной структуры путем обработки в селективном травителе, содержащем 50%-й раствор CrO_3 и HF в объемном соотношении 1:2.

Исследовалось также влияние объемных структурных нарушений на спектры пропускания и ФП. Нарушения вводились путем вдавливания алмазного индентора с плотностью уколов $\sim 500 \text{ см}^{-2}$ (среднее расстояние между уколами 400 мкм). Для этого использовался микротвердомер ПМТ-3: нагрузка на индентор равнялась 8 гс, глубина отпечатков составляла при этом около 3 мкм. Перед индентированием поверхностные нарушения, введенные в процессе предыдущих измерений, полностью удалялись путем полирующего травления на большую глубину (200 ÷ 300 мкм).

2. Результаты и их обсуждение

На рис. 1 и 2 представлены соответственно спектры фотопроводимости и поглощения (k) кристалла *p*-CdTe с рабочей поверхностью (111) и контролируемым нару-

шенным слоем, вводимым при различных видах обработки, а также при пластической деформации индентором поверхности образца. В исходном механически полированном образце с диаметром зерна 1 мкм наблюдается селективная полоса ФП (рис. 1, кривая 1).

Измерение оже-спектров показало, что после удаления нарушенного слоя химическим полированием кристалла поверхность последнего обогащается сверхстехиометрическим теллуром, что согласуется с измерениями спектров комбинационного рассеяния света с поверхности CdTe, полученной химико-динамической обработкой [2]. Отмывка пленки Te проводилась в растворе 1 N KOH в метаноле [3]. При удалении 20 мкм нарушенного слоя химическим травлением с последующей отмывкой пленки Te появляется полоса ФП в области фундаментального поглощения (селективная полоса ФП не наблюдается, фоточувствительность возрастает) (рис. 1, кривая 2). При этом происходит уменьшение коэффициента поглощения света в области прозрачности кристалла (рис. 2, кривая 2). Эти изменения наблюдаются до глубины 100 мкм (рис. 1, 2, кривые 3). Дальнейшее удаление слоя химико-динамическим полированием не изменяет вида спектра, величины ФП и поглощения, что указывает на отсутствие нарушенного слоя.

Индентирование этого же образца приводило к уменьшению ФП во всей области спектра и увеличению поглощения света в области прозрачности кристалла

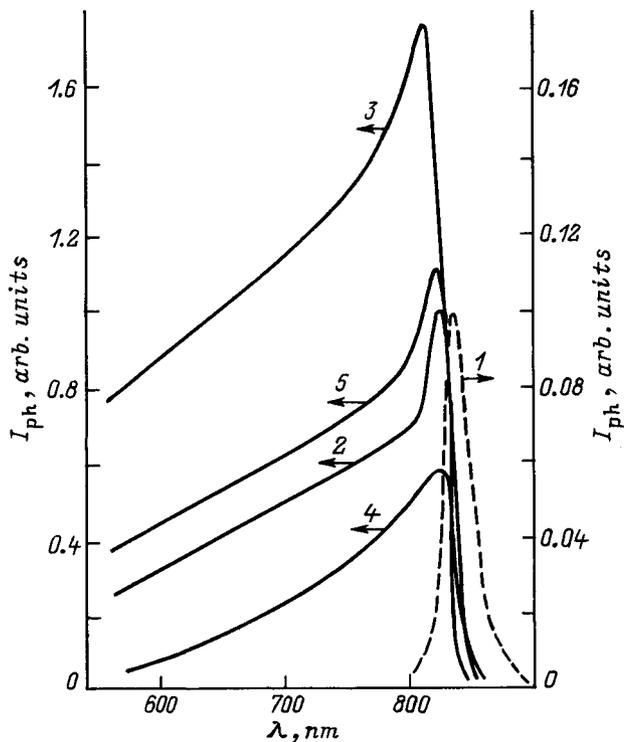


Рис. 1. Спектры ФП (I_{ph}) кристаллов p -CdTe при различных видах обработки поверхности: 1 — механическая полировка (зерно 1 мкм); 2, 3 — свободное химическое травление на глубину 20 и 100 мкм соответственно; 4 — индентирование; 5 — химико-динамическое травление на глубину ~ 200 мкм.

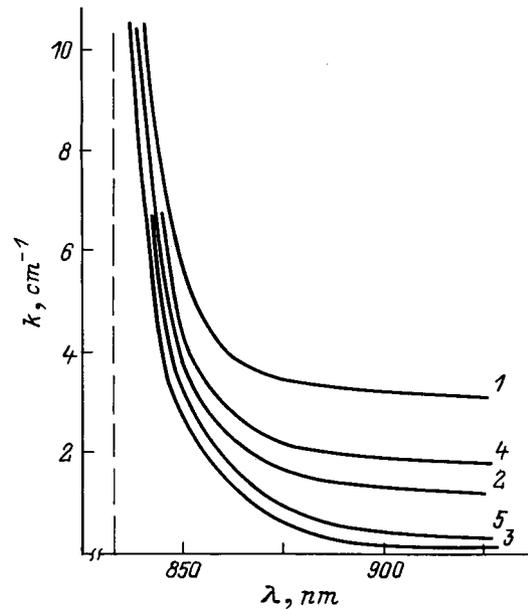


Рис. 2. Спектры оптического поглощения света в кристаллах p -CdTe при различных видах обработки поверхности. Номера кривых соответствуют рис. 1. Штриховая линия указывает на положения края поглощения CdTe.

(рис. 1, 2, кривые 4). Последующее химическое или химико-динамическое полирование приводит к аналогичным выше описанным эффектам, т.е. при удалении индентированно-нарушенного слоя ~ 200 мкм восстанавливаются фотоэлектрические и оптические свойства кристалла (рис. 1, 2, кривые 5).

Послойное травление показало, что изменения ФП и поглощения происходили при стравливании до 200 мкм от обработанной поверхности, что значительно больше глубины поглощения света в области края фундаментального поглощения (для CdTe $k \sim 10^4$ см $^{-1}$). В этом же слое наблюдается увеличение поглощения света в области прозрачности кристалла, которое переходит в экспоненциальный край фундаментального поглощения, сдвинутый относительно края недеформированного кристалла в длинноволновую сторону спектра, что характерно для материала с локальными напряжениями решетки, возникающими за счет введения собственных и примесных дефектов. При $k \simeq 10$ см $^{-1}$ величина смещения составляет $\Delta E = 0.33$ эВ, что хорошо согласуется с расчетами работ [4,5], где рассмотрено влияние плотности введенных дислокаций на спектры фотопроводимости и поглощения света. Коэффициент поглощения механически полированных и индентированных образцов в области прозрачности кристалла составляет 3 и 2 см $^{-1}$ соответственно (рис. 2, кривые 1, 4). Для кристаллов без нарушенного слоя $k \simeq 0.2$ см $^{-1}$ (рис. 2, кривая 5). Поэтому дополнительное поглощение света в области прозрачности кристалла, возможно, связано с деформационными возмущениями кристалла дислокациями, которые появляются при создании в приповерхностной области кристалла нарушенного слоя.

При удалении нарушенного слоя наблюдается уменьшение коэффициента поглощения света, которое сопровождается увеличением ФП в области края фундаментального поглощения и исчезновением селективной полосы. Селективный характер ФП, как было показано нами в [6], обусловлен поглощением света в донорно-акцепторных (ДА) парах. Передача энергии возбуждения от ДА пары центрам чувствительности может осуществляться за счет оже-взаимодействия, когда энергия возбуждения ДА пары идет на возбуждение электрона с центра чувствительности в зону проводимости. Поэтому исчезновение селективной полосы ФП после удаления нарушенного слоя даже в индентированном кристалле можно объяснить уменьшением концентрации собственных дефектов, образующих тройные ассоциаты ДА пара + центр чувствительности. Дислокации являются стоками для дефектов акцепторного типа [7].

Таким образом, исследование характера спектра фотопроводимости и оптического поглощения при различных обработках кристаллов CdTe дают возможность получить сведения о состоянии и степени структурного совершенства поверхности образцов.

Список литературы

- [1] Г.В. Иденбаум, Р.П. Бароненкова, Н.М. Бойных. Физика и химия обраб. материалов, № 2, 55 (1971).
- [2] В.В. Артамонов, М.Я. Валах, В.В. Стрельчук, П.Е. Мозоль, А. Байдуллаева, ЖПС, **48**, 990 (1988).
- [3] P.M. Amirtharaj, Fred U. Pollak. Appl. Phys. Lett., **45**, 789 (1984).
- [4] А.В. Баженов, Ю.А. Осипьян. ФТТ, **22**, 931 (1980).
- [5] А.В. Баженов, Л.Л. Красильников. ФТТ, **26**, 590 (1984).
- [6] А. Байдуллаева, В.В. Дякин, В.В. Коваль, П.Е. Мозоль, Е.А. Сальков. ФТП, **20**, 398 (1986).
- [7] А. Байдуллаева, Н.Е. Корсунская, П.Е. Мозоль и др. ФТП, **26**, 801 (1992).

Редактор Л.В.Шаронова

The influence of various types of surface treatment on photo-electrical and optical properties of cadmium telluride

A. Baidullaeva, A.I. Vlasenko, P.E. Mozol

Institute of Semiconductor Physics,
Academy of Sciences of Ukraine,
252028 Kiev, Ukraine

Abstract The photoconductivity and light absorption spectra in *p*-CdTe single crystals have been investigated at various types of the surface treatment. It is shown that photoconductivity and the absorption edge of mechanically polished and plastically deformed crystals are determined by broken layers due to the surface treatment. The role of dislocations in absorption edge and photoconductivity spectra formation is corroborated.