

## ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПЛЕНОК ТЕЛЛУРИДА КАДМИЯ, ПОДВЕРГНУТЫХ ЛАЗЕРНОМУ ОБЛУЧЕНИЮ

А. Байдуллаева, Б. К. Даулетмуратов, А. И. Власенко,  
В. А. Гнатюк, П. Е. Мозоль

Институт полупроводников Академии наук Украины,  
252650, Киев, Украина  
(Получена 11.03.1992. Принята к печати 15.06.1992)

Исследованы электрические и фотоэлектрические свойства пленок CdTe, полученных методом вакуумного напыления и подвергнутых облучению импульсами излучения рубинового лазера длительностью 20 нс с плотностью мощности ниже порогов разрушения или плавления.

Наблюдаемые увеличения фото- и темновой проводимости объясняются появлением слоя Te на поверхности CdTe после облучения. Эффект переключения с памятью и резкий скачок люкс-амперной характеристики при высоких уровнях возбуждения обусловлены образованием межгранульных границ, создающих поверхностно-барьерные структуры CdTe—Te.

При облучении кристаллов  $A^{IV}B^{VI}$ , в частности CdTe, импульсами излучения рубинового лазера наносекундной длительности с плотностью мощности ниже порога разрушения материала наблюдаются существенные изменения электрофизических свойств в приповерхностной области кристалла [ $1-3$ ], что связано с образованием собственных дефектов решетки за счет ее разогрева, возникновения напряжений и возбуждения электронной и фононной подсистем кристалла. Однако до настоящего времени не изучено влияние лазерного облучения на пленки теллурида кадмия, широко применяемые при изготовлении ИК детекторов, солнечных батарей и в качестве буферных слоев для выращивания эпитаксиальных структур  $Cd_xHg_{1-x}Te$ . Поэтому представляет интерес исследовать влияние лазерного облучения на электрические и фотоэлектрические свойства пленок теллурида кадмия.

Пленки CdTe были получены методом вакуумного напыления и имели удельное сопротивление  $\sim 10^{12}-10^{13}$  Ом·см.

Облучение пленок CdTe проводилось излучением многомодового рубинового лазера с длительностью импульса  $2 \cdot 10^{-8}$  с и плотностью мощности ниже порога разрушения материала.

На рис. 1 приведены зависимости удельного сопротивления  $\rho$  пленки CdTe от числа импульсов излучения  $N$  и времени выдержки  $t$  ее после облучения. Наблюдаемые уменьшения удельного сопротивления с увеличением  $N$  и  $t$  в пленках CdTe аналогичны зависимостям  $\rho(N, t)$  монокристаллов CdTe и  $Mg_xCd_{1-x}Te$ , которые связывались с образованием аморфного слоя Te на поверхности кристаллов при облучении и последующей его кристаллизацией после прекращения лазерного воздействия [ $2-4$ ].

Отметим, что в отличие от монокристаллов CdTe [ $1-3$ ] в пленках CdTe изменение  $\rho(N)$  наступает при меньших плотностях мощности излучения лазера и быстрее происходит спад  $\rho(t)$  после прекращения лазерного воздействия.

Образовавшийся при лазерном облучении на поверхности пленки CdTe слой Te оказывает влияние на спектральную зависимость фотопроводимости (ФП)

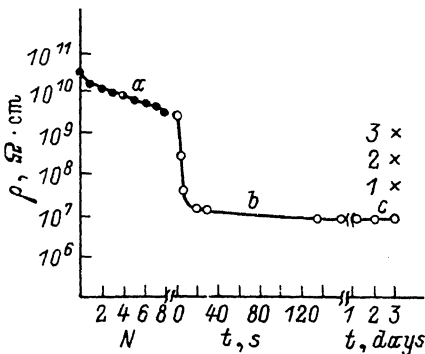


Рис. 1. Изменение удельного сопротивления  $\rho$  пленки CdTe от числа импульсов  $N$  (а), времени выдерживания  $t$  после прекращения действия лазерного излучения (б, с) и после смывки слоя Te в растворе 1 н КОН в метаноле (1—3).

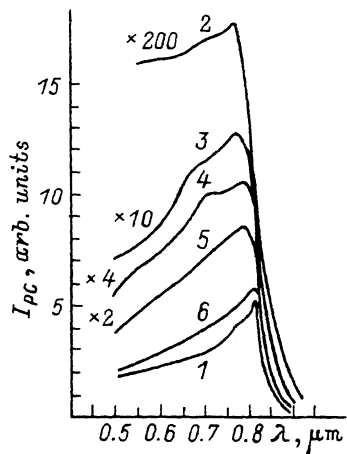


Рис. 2. Спектральные зависимости ФП пленки CdTe до (1), после лазерного облучения (2) и после смывки слоя Te в растворе 1 н КОН в метаноле (3—6).

(рис. 2). Наибольшее увеличение ФП в коротковолновой области спектра может быть связано с уменьшением скорости поверхностной рекомбинации после облучения. Это должно привести к изменению времени жизни неравновесных носителей заряда, что и подтверждается исследованиями кинетики ФП исходных и облученных пленок CdTe при возбуждении их импульсами излучения рубинового лазера наносекундной длительности (рис. 3).

При низких уровнях возбуждения сигнал ФП повторяет форму лазерного импульса, а люкс-амперная характеристика (ЛАХ) имеет линейную зависимость с наклоном  $\alpha = 1$ , что соответствует зона-зонной генерации носителей при линейной их рекомбинации. При интенсивности  $\sim 10^{25}$  см $^{-2}$ ·с $^{-1}$  появляется медленная составляющая в релаксации фототока. Отметим, что появление медленной компоненты фототока соответствует той величине интенсивности излучения, при которой образуется слой Te на поверхности пленки CdTe.

ЛАХ облученных пленок CdTe повторяют ту же зависимость, что имели до облучения, а при интенсивности излучения выше порога образования слоя Te величина фототока резко возрастает (рис. 3).

Для того чтобы выяснить, действительно ли эти изменения связаны с появлением слоя теллура, была проведена последняя смывка облученных пленок теллурида кадмия в растворе 1 н КОН в метаноле. При смывке в течение 10 мин наблюдались уменьшение величины ФП и увеличение  $\rho$ . Трехкратная смывка приводила к полному восстановлению исходных характеристик (рис. 1, крестики 1—3 и рис. 2, кривые 3—6). Поэтому можно заключить, что наблюдаемые изменения  $\rho$  ( $N$ ,  $t$ ) и величины ФП при облучении обусловлены образованием слоя теллура на поверхности пленок CdTe.

Поскольку при облучении пленки CdTe на ее поверхности появляется слой Te, можно предполагать, что образуются межгранульные границы, в свою очередь создающие поверхностно-барьерные структуры. Об этом свидетельствуют спектры ФП облученных пленок CdTe, имеющие широкую область спектральной чувствительности, характерную для поверхностно-барьерных структур, в которых поглощение света происходит в области разделения заряда [5].

При высоких уровнях возбуждения в пленке создается такое большое поле ( $\sim 10^4$ — $10^5$  В/см [6]), способное снять межгранульные барьеры, и полупроводник становится однородным. Это означает, что при таких интенсивностях излучения

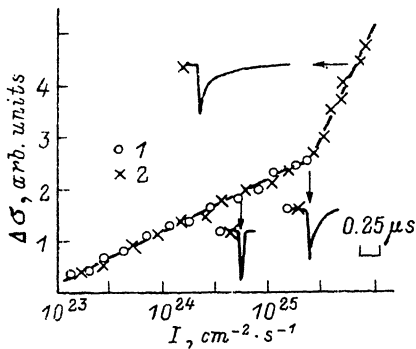


Рис. 3. Люкс-амперные характеристики пленки CdTe до (1) и после облучения (2) импульсами излучения рубинового лазера.

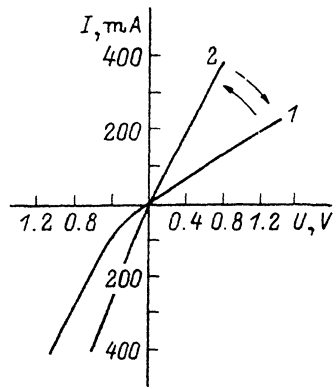


Рис. 4. Вольт-амперные характеристики пленки CdTe, облученной импульсами излучения рубинового лазера: 1 — высокоомное, 2 — низкоомное состояния.

в силу увеличения концентрации неравновесных носителей заряда (наша оценка показывает, что она достигает  $\sim 10^{20} \text{ см}^{-3}$ ) наклон линейной зависимости ЛАХ увеличивается (рис. 3).

Наличие слоя теллура на поверхности облученных пленок CdTe подтверждается также результатами измерений спектров термостимулированной проводимости (ТСП) и вольт-амперных характеристик (ВАХ).

При исследовании спектров ТСП обнаружены такие же изменения, как и в кристаллах CdTe *p*-типа [3], т. е. появлялась только остаточная проводимость после облучения. При смывке облученных пленок CdTe в 1 н КОН в метаноле полностью восстановились их исходные свойства. По аналогии [3, 4] появление остаточной проводимости можно объяснить рекомбинацией неравновесных носителей через барьер. В ВАХ пленок, облученных лазерным излучением, наблюдался эффект переключения с электрической памятью.

Анализ ВАХ показывает, что исходная пленка имеет линейную зависимость тока от приложенного напряжения. Поскольку после облучения образуется CdTe—Te-структура, контакты при измерении ВАХ напылялись как со стороны пленки CdTe, так и со стороны слоя Te. Со стороны CdTe напылялись индиевые контакты, а со стороны Te — контакты сплава 50% Pb + 50% Bi. При приложении к гетероструктуре смещения в прямом направлении происходит переключение структуры из высокоомного состояния 1 в низкоомное состояние 2 (рис. 4). При этом сопротивление структуры падает до десятков Ом. В связи с этим во избежание пробоя структуры In—CdTe—Te—(Pb + Bi) значение тока ограничивалось нагрузочным сопротивлением. Низкоомное состояние сохраняется в течение нескольких месяцев при нулевом смещении и может быть обратимо в высокоомное состояние приложением обратного напряжения, равного порогу переключения в низкоомное состояние.

Удаление слоя теллура с поверхности облученных пленок CdTe приводило к полному исчезновению эффекта переключения. Поэтому можно заключить, что возникновение эффекта переключения с памятью тоже связано с появлением теллуrowого слоя на поверхности CdTe, образующего структуру CdTe—Te. Механизмы эффекта переключения требуют специального исследования.

Таким образом, при облучении пленок CdTe импульсами излучения рубинового лазера наносекундной длительности на их поверхности образуется слой Te, создающий поверхностно-барьерные структуры, в свою очередь отвечающие за наблюдаемые особенности электрических и фотоэлектрических свойств пленок.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] А. Байдуллаева, В. В. Дякин, В. В. Коваль, А. В. Любченко, П. Е. Мозоль, Е. А. Сальков. ФТП, 20, 398 (1986).
- [2] В. В. Артамонов, М. Я. Валах, В. В. Стрельчук, А. Байдуллаева, П. Е. Мозоль. ЖПС, 48, 990 (1989).
- [3] А. Байдуллаева, Б. Р. Джумаев, Н. Е. Корсунская, П. Е. Мозоль, Г. Гарягдыев. УФЖ, 34, 1019 (1989).
- [4] А. П. Ахоян, А. Байдуллаева, Н. Е. Корсунская, П. Е. Мозоль, И. Я. Городецкий, Г. Гарягдыев, О. Нурыгдыев. Поверхность. Физика, химия, механика, вып. 5 (1987).
- [5] Л. П. Круковская, Л. С. Берман, А. Я. Вуль, А. Я. Шик. ФТП, 11, 1893 (1977).
- [6] С. А. Ахманов, В. И. Емельянов, Н. И. Коротеев, В. Н. Семиногов. Успехи физических наук, 147, 675 (1985).

Редактор В. В. Чалдышев

---