

ИЗУЧЕНИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ЭФФЕКТОВ В НАНОКРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ АКТИВИРОВАННЫХ ТОНКИХ ПЛЕНКАХ p -CdTe

Н. Э. Алимов, К. Ботиров, П. Мовлонов¹, С. М. Отажонов, М. М. Халилов¹,
О. Эргашев, Ш. Якубова

Ферганский государственный университет,

¹ТУИТ Ферганского филала

Поступила в редакцию 11.04.2016

Изучено фото- и тензочувствительность нанокристаллических тонких пленок p -CdTe при различных деформациях. Наблюдалось увеличение фото- и тензочувствительности в зависимости от деформации-растяжения. Установлено, что деформация растяжения увеличивает не только высоты микропотенциальных барьеров, но и их асимметрию на границах кристаллитов, которые благоприятствуют образованию высокой фото- и тензочувствительности в тонких пленках. Это объясняется изменением высоты потенциальных барьеров на границах кристаллитов за счет изменения поверхностных состояний.

Ключевые слова: фоточувствительность, тензочувствительность, ток короткого замыкания, микропотенциальный барьер, деформация растяжения, напряжения, спектральная чувствительность, потенциальный барьер, глубокий уровень.

ВИВЧЕННЯ ДЕФОРМАЦІЙНИХ ЕФЕКТІВ В НАНОКРИСТАЛІЧНИХ ФОТОЧУТЛИВИХ АКТИВОВАНИХ ТОНКИХ ПЛІВКАХ p -CdTe

Н. Е. Алімов, К. Ботіров, П. Мовлонов, С. М. Отажонов, М. М. Халілов,
О. Ергашев, Ш. Якубова

Вивчено фото- і тензочутливість нанокристалічних тонких плівок p -CdTe при різних деформаціях. Спостерігалось збільшення фото- і тензочутливості в залежності від деформації розтягування. Встановлено, що деформація розтягування збільшує не лише висоти мікропотенціальних бар'єрів, але і їх асиметрію на границях кристалітів, які сприяють утворенню високої фото- і тензочутливості в тонких плівках. Це пояснюється зміною висоти потенціальних бар'єрів на границях кристалітів за рахунок змінювання поверхневих станів.

Ключові слова: фоточутливість, тензочутливість, струм короткого замикання, мікропотенціальний бар'єр, деформація розтягування, напруги, спектральна чутливість, потенційний бар'єр, глибокий рівень.

STUDY DEFORMATION EFFECT OF NANOCRYSTALLINE PHOTSENSITIVITY ACTIVATED THIN FILMS p -CdTe

N. Alimov, K. Botirov, P. Movlonov, S. Otajonov, M. Khalilov,
O. Ergashev, Sh. Yakubova

Studied photo and tensosensitivity nanocrystalline thin films of p -CdTe under various deformations. There was an increase in photographic sensitivity and tensor depending on the strain, tension. It was found that the tensile strain increases not only the height of micro-potential barriers, but their asymmetry on the boundaries of the crystallites which favors the formation of a high photo and tensosensitivity in thin films. This is due to a change in the height of the potential barriers at the boundaries of the crystallites due to changes in surface states.

Keywords: photosensitivity, tensosensitivity, short circuit current, micro-potential barrier, deformation-tension, stress, spectral sensitivity, potential barrier, deep level.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время изучение эффекта тензочувствительности в фоточувствительных полупроводниковых материалах и создание на их основе приемников звука, датчиков давления, фотоприемников ИК-излучения и фото-тензодатчиков в широком спектральном диапазоне определяет новую область физики и техники полупроводников — полупроводниковую тензометрию. Создание оригинальных тензооптоэлектронных устройств стимулирует дальнейшее изучение новых тензометрических явлений в активированных пленочных элементах.

Актуальной задачей является поиск новых полупроводниковых материалов, обладающих высокими фото- и тензометрическими параметрами, исследование деформационных эффектов в широкозонных, полупроводниковых соединениях, легированных элементами серебра или меди.

Цель данной работы заключается в изучении новых фото- и тензочувствительных свойств активированных тонких пленок CdTe при деформации.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе изучены фоточувствительные тонкие пленки *p*-CdTe, нанесенные на прозрачные подложки (толщиной 0,1 мм) из органического стекла. Проведено рентгеноструктурные исследования и установлено, что в этих пленках размеры кристаллических зерен составляют (0,05–0,1) мкм. Толщина пленок находится в пределах (0,3–0,7) мкм. Фоточувствительные пленки обладают значительной тензочувствительностью, зависящей от технологии получения и размеров пленочных элементов. Технология получения тонких фоточувствительных пленок приведена в работе [1]. К краям пленок наносились электроды из серебра или аквадага. Фотонапряжение, генерируемое при освещении пленок монохроматическим светом, измерялось электрометром ЭД-0,5М. Фоточувствительные пленки *p*-CdTe активировались при легировании элементами одиннадцатой группы — серебром и медью.

Для изучения влияния внешней механической деформации на вольт-амперную

(ВАХ), люкс-амперную (ЛАХ) характеристики, а также на спектральную чувствительность фоточувствительных элементов, было собрано устройство (описание устройства изложено в работе [2]), которое одновременно с деформацией (растяжения или сжатия) давало возможность освещать исследуемый образец монохроматическим светом.

Исследования показали, что при сжатии пленок CdTe:Ag значение напряжения (V) уменьшается, а при растяжении растет (рис. 1), причем деформационная характеристика при сжатии носит нелинейный характер. Это обусловлено тем, что из-за различия межатомных расстояний у подложки и пленки, в последней возникают внутренние механические напряжения сжатия.

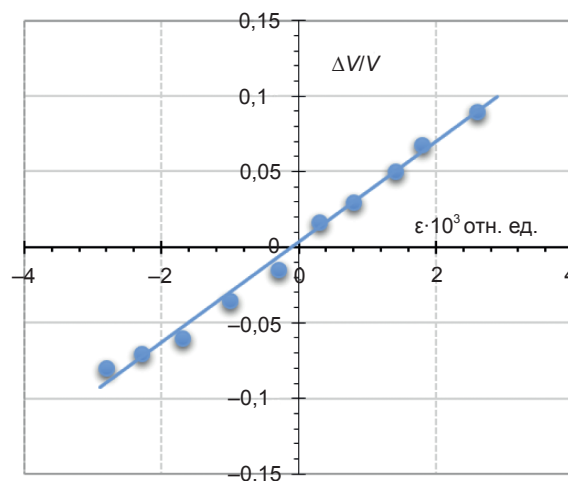


Рис. 1. Относительное изменение напряжения (V) при механической деформации пленок CdTe. Естественное освещение $L = 3 \times 10^2$ лк., $T = 300$ К

Коэффициент тензочувствительности (КТЧ) фоточувствительных пленок определяют по формуле

$$K_{\text{АФН}} = \frac{\Delta J}{J_0 \varepsilon},$$

где $\Delta J = J - J_0$ — абсолютное значение изменения силы тока при деформации;

J_0 — начальное значение силы тока; ε — величина относительной деформации.

Тензочувствительность связывается с наличием в пленке микропотенциальных барьеров, чувствительных к деформации [3].

Изучено влияние механического воздействия на люкс-амперные характеристики деформированной фоточувствительной пленки

CdTe:Ag (рис. 2.). Видно, что при сжатии пленки (кривая 2) значение тока растет, а при растяжении уменьшается (кривая 3).

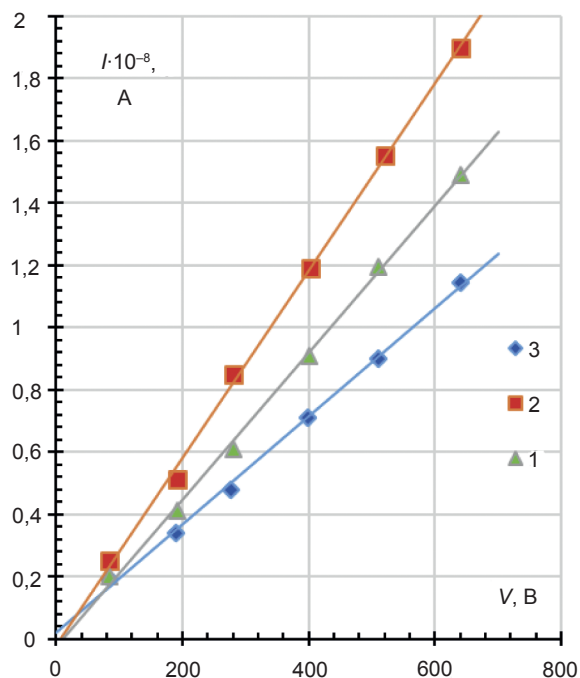


Рис. 2. ЛАХ пленок CdTe (кривая 1) и изменение ее под действием механической деформации (кривая 2 — сжатие, 3 — растяжение).
1 — $\varepsilon = 0$; 2 — $\varepsilon = -3 \cdot 10^{-3}$ отн. ед.
3 — $\varepsilon = +3 \cdot 10^{-3}$ отн. ед.

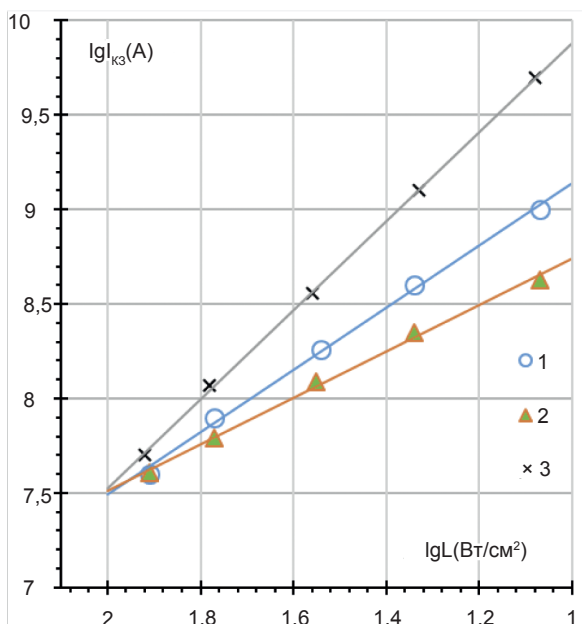


Рис. 3. Темновая ВАХ пленки CdTe (кривая 1) и изменение ее под действием механической деформации (кривая 2 — сжатие, 3 — растяжение).
1 — $\varepsilon = 0$; 2 — $\varepsilon = -3 \cdot 10^{-3}$ отн. ед.
3 — $\varepsilon = +3 \cdot 10^{-3}$ отн. ед.

Наблюдается аналогичная зависимость ЛАХ от механической деформации (рис. 2.); фототок короткого замыкания ($I_{кз}$), генерируемый пленкой и пропорциональный V , при сжатии (кривая 2) уменьшается, а при растяжении (кривая 3) растет.

Как следует из ВАХ и ЛАХ при одноосной деформации растяжения в фото чувствительных пленках CdTe наблюдается увеличение темнового сопротивления и напряжения фотосигнала. Это объясняется изменением высоты потенциальных барьеров на границах кристаллитов за счет изменения концентрации поверхностных состояний.

Теперь приведем результаты экспериментального исследования спектральной зависимости фото-ЭДС, отнесенной к единице энергии падающего излучения, при деформациях: $\varepsilon = 0$ и $\varepsilon = \pm 2 \cdot 10^{-3}$ отн. ед.

На рис. 4. приведены спектральные зависимости $I_{кз}$ от энергии кванта света ($h\nu$).

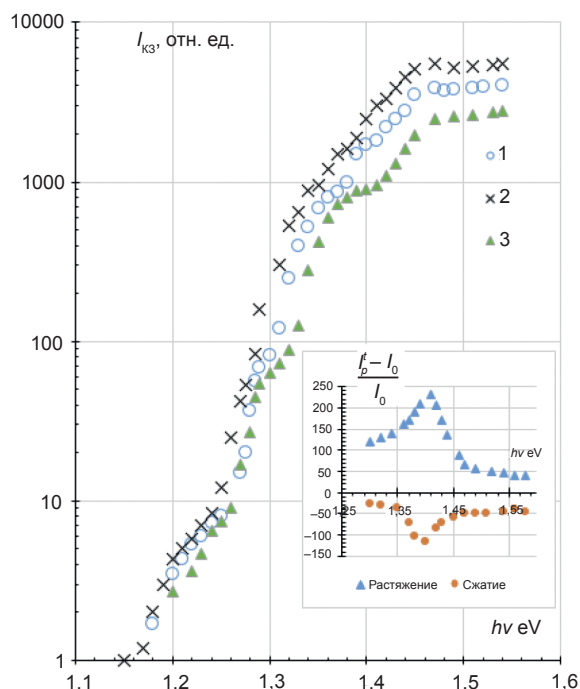


Рис. 4. Спектр $I_{кз}$ фото чувствительных пленок CdTe под механической деформацией $\varepsilon = \pm 2 \cdot 10^{-3}$ отн. ед. На вставке показаны изменения коэффициента фототензочувствительности пленок при растяжении и сжатии: 1 — $\varepsilon = 0$; 2 — растяжение; 3 — сжатие

Видно, что при растяжении фототок короткого замыкания растет, а при сжатии уменьшается.

Можно ввести понятие спектрального коэффициента K_v тензо-чувствительности пленки по V

$$K_v = \frac{\Delta V(v)}{V^0(v)\varepsilon},$$

где $\Delta V = V - V^0$ — изменение напряжения при деформации, V^0 — значение напряжения пленки при отсутствии деформации. Тогда величина K_v , естественно, зависит от длины волны возбуждающего света.

Наибольшее значение K_v обнаруживается в области края поглощения вблизи энергии $h\nu = 1,4$ эВ (см. вставку на рис. 4.), причем это значение несколько отличается для деформации растяжения и сжатия при $\varepsilon = \pm 2 \times 10^{-3}$ отн. ед. Такая асимметрия наблюдается также и для K при освещении пленок естественном светом (рис. 1), т. е. для величины

$$K = \int_0^{\infty} K_v(v) dv,$$

что, по-видимому, свойственно для всех фоточувствительных пленок, причем она имеет обратный знак у обычных фоточувствительных пленочных элементов. Экспериментальный спектр K_v имеет максимум в области края собственного поглощения вблизи энергии фотона $h\nu = 1,3$ эВ при деформации растяжения $\varepsilon = \pm 2 \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($K_v \approx 800$) и $h\nu = 1,37$ эВ при сжатии $\varepsilon = -2 \cdot 10^{-3}$ отн. ед. ($K_v \approx 300$). Высокая фото-тензочувствительность пленок CdTe:Ag, по-видимому, обусловлена обратимой миграцией ионов Ag^+ и вакансий кадмия (V_{Cd}^-, V_{Cd}^{--}) в области потенциальных барьеров, так как атомы Ag, находясь в области потенциальных барьеров, образуют глубокие уровни оптической энергии активации $E_{\text{опт}} = 1,15$ эВ, участвующих в генерации примесной фото-ЭДС [4]. Глубокий уровень энергии активации $E_{\text{опт}} = 1,30$ эВ, определяемый вакансиями кадмия [4], также участвует в генерации фото-ЭДС и является доминирующим.

Деформация растяжения увеличивает не только высоты микропотенциальных барьеров, но и их асимметрию на границах кристаллитов, и тем самым, благоприятствует образованию фото-ЭДС. Максимум спектра K_v в окрестности энергии активации Ag, Cu лишний раз подтверждает то, что активные

примесные центры Ag преимущественно находятся в барьерных областях кристаллических зерен. При деформации сжатия они частично уходят в глубь кристаллита, что приводит к уменьшению высоты барьеров и частично снятию их асимметрий. Изменение высоты барьера от деформации зависит от изменения спектра энергии носителей заряда.

Таким образом, здесь отмечены наиболее существенные моменты, характерные для проводимости неоднородных пленок, изменения их проводимости при деформации. Полученные результаты могут применяться в различных конкретных случаях исследования фотоэлектрических явлений в неоднородных полупроводниковых пленках, в частности, могут применяться при создании фотоприемников ИК излучения и фототензодатчиков в спектральном диапазоне (1,0–2,5) мкм.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итоги по результатам настоящей работы можно сделать следующие выводы.

1. На ВАХ и ЛАХ при одноосной деформации растяжения в фоточувствительных пленках CdTe, легированных Ag, Cu, наблюдается увеличение темнового сопротивления и напряжения фотосигнала. Это объясняется изменением высоты потенциальных барьеров на границах кристаллитов за счет изменения поверхностных состояний.

2. Разориентация кристаллитов, зависящая от условий напыления слоев CdTe: Ag, Cu, существенно влияет на природу потенциального барьера структуры. При этом изменение свойств пленок не только в глубине, но и на поверхности слоя зависит от скорости наращивания на разных подложках.

3. Основываясь на экспериментальных данных можно сказать, что при деформации растяжения увеличивается высота микропотенциальных барьеров, которые стимулируют образование высокой фото- и тензочувствительности в тонких пленках CdTe.

4. Эти результаты показывают, что активированные тонкие пленки CdTe могут быть использованы как фотоприемники ИК излучения и фототензодатчики в широком спектральном диапазоне (1,0–2,5) мкм.

ЛИТЕРАТУРА

1. Отажонов С. М. // Физическая инженерия поверхности. — 2004. — Т. 2, № 1–2. — С. 28–31.
2. Отажонов С. М. Усмонов Я. Устройство для деформирования образцов при освещении монохроматическим светом // Патент IDP РУз 2000450. — 2002. — 5 с.
3. Каримов М., Султонов Ш. Д. // ФерПИ научно-технический журнал. — 2004. — Т. 2. — С. 20–23.
4. Боброва Е. А., Клевков Ю. В., Медведев С. А., Плотников А. Ф. Исследование глубоких электронных состояний в текстурированных поликристаллах *p*-CdTe стехиометрического состава методом DLTS // ФТП. — 2002. — Т. 36, вып. 12. — С. 1426–1431.

LITERATURA

1. Otazhonov S. M. // Fizicheskaya inzheneriya poverhnosti. — 2004. — Vol. 2, No. 1–2. — P. 28–31.
2. Otazhonov S. M. Usmonov Ya. Ustrojstvo dlya deformirovaniya obrazcov pri osveschenii monohromaticheskim svetom // Patent IDP RUz 2000450. — 2002. — 5 p.
3. Karimov M., Sultonov Sh. D. // FerPI nauchno-tehnicheskij zhurnal. — 2004. — Vol. 2. — P. 20–23.
4. Bobrova E. A., Klevkov Yu. V., Medvedev S. A., Plotnikov A. F. Issledovanie glubokih elektronnyh sostoyanij v teksturirovannyh polikristallah *p*-CdTe stehiometricheskogo sostava metodom DLTS // FTP. — 2002. — Vol. 36, vyp. 12. — P. 1426–1431.