

ВЛИЯНИЕ ДЕФОРМАЦИИ НА МИГРАЦИИ ДЕФЕКТОВ В ФОТОЧУВСТВИТЕЛЬНЫХ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНКАХ

<https://doi.org/10.5281/zenodo.7392007>



Отажонов Салим Мадрахимович

Доктор физика-математических наук, профессор Ферганского Государственного университета, e-mail: otajonov_s@mail.ru,

Телефон: +998936431433

Ботиров Кодир Абдуллаевич

преподаватель Ферганского Государственного университета,

Телефон: +998911168708

Алимов Нодир Эсоналиевич

преподаватель Ферганского Государственного университета,

Телефон: +998936404183



Abstract: Разработано устройство для изучения тензосвойства фотоочувствительных полупроводниковых тонких пленок и опробовано тензочувствительности фотоочувствительных пленок теллурида кадмия. Выяснено, что фотоочувствительные пленки обладают значительной тензочувствительностью в области края поглощения вблизи энергии $h\nu = 1,4$ эВ, который зависит от технологии получения и размеров пленочных элементов.

Keywords: Тензочувствительность, Фотоочувствительность, Деформация, Полупроводниковая Плёнка, Растяжения, Сжатия, Фототензодатчик.

About: FARS Publishers has been established with the aim of spreading quality scientific information to the research community throughout the universe. Open Access process eliminates the barriers associated with the older publication models, thus matching up with the rapidity of the twenty-first century.

Received: 01-12-2022

Accepted: 02-12-2022

Published: 22-12-2022

INFLUENCE OF DEFORMATION ON MIGRATION OF DEFECTS IN PHOTSENSITIVE SEMICONDUCTOR THIN FILMS

Otazhonov Salim Madrahimovich,

Doctor of physics and mathematics, professor of ferghana state university, e-mail: otajonov_s@mail.ru,

Phone: +998936431433

Botirov Kodir Abdullaevich,

Lecturer, Ferghana State University, Phone: +998911168708

Alimov nodir esonalievich,

Lecturer, Ferghana State University, Telephone: +998936404183



Abstract: . A device has been developed for studying the tensile properties of photosensitive semiconductor thin films and the strain sensitivity of photosensitive cadmium telluride films has been tested. It has been found that photosensitive films have significant strain sensitivity in the region of the absorption edge near the energy $h = 1.4$ ev, which depends on the production technology and the size of the film elements.

Keywords: Strain Sensitivity, Photosensitivity, Deformation, Semiconductor Film, Tension, Compression, Phototensor.

About: FARS Publishers has been established with the aim of spreading quality scientific information to the research community throughout the universe. Open Access process eliminates the barriers associated with the older publication models, thus matching up with the rapidity of the twenty-first century.

Received: 01-12-2022

Accepted: 02-12-2022

Published: 22-12-2022

1. ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время изучение эффекта тензочувствительности в фотоочувствительных 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- полупроводниковой тензометрии[1-8]. Создание оригинальных тензооптоэлектронных устройств стимулирует дальнейшее изучение новых тензометрических и фотоэлектрических явлений в активированных пленочных элементах[4-18].

В данной статье рассмотрена тензочувствительность фоточувствительных пленок теллурида кадмия. Выяснено, что фоточувствительные пленки обладают значительной тензочувствительностью, зависящей от технологии получения и размеров пленочных элементов. Тензочувствительность связывается с наличием в пленке микропотенциальных барьеров, чувствительных к деформации [1, 2].

2. Образцы и методика эксперимента

Фоточувствительные пленки CdTe: Ag с толщиной $0,9 \div 1,2$ мкм наносились на тонкие подложки (с толщиной 0,1 мм) из органического стекла. К краям пленок наносились электроды из серебра или аквадага.

Фотонапряжение, генерируемое при освещении пленок монохроматическим светом, измерялось электрометром ЭД - 0,5М.

Для изучения влияния внешней механической деформации на вольтамперную характеристику(ВАХ), люкс-амперную характеристику(ЛАХ), а также на спектральную чувствительность фоточувствительных элементов, было собрано устройство (рис.1.описание устройства изложены ниже), которое одновременно с деформацией (растяжения или сжатия) давало возможность освещать исследуемый образец монохроматическим светом.

3. Экспериментальные результаты и их обсуждения

РАЗРАБОТАНО УПРОЩЕННОГО, БОЛЕЕ ТОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ДЕФОРМАЦИИ ОБРАЗЦОВ, ИЗ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ТОНКИХ ПЛЕНОК ПРИ ОСВЕЩЕНИИ МОНОХРОМАТИЧЕСКИМ СВЕТОМ (РИС.1).

В устройстве для деформирования полупроводниковых тонких пленок при освещении монохроматическим светом, содержанием размещенные в корпусе консольную закрепленную подложку, зеркало, осветитель и фокусирующую систему, в верхней стенке корпуса выполнено отверстие для токопроводов, подсоединенных к электрометру, в одной из боковых стенок корпуса выполнены отверстия для микрометра, заостренный конец которого направлен к свободному концу подложки, и для руки регулятора поворота зеркала, подпружиненного к корпусу, а в другой боковой стенке корпуса – отверстие для прохождения излучения от монохроматора через линзу.

Предлагаемое устройство для деформирования образцов полупроводниковых тонких пленок при освещении монохроматическим светом обладает простым компоновочным решением, быстротой и точностью

замера и высокой чувствительностью. Отсутствуют дополнительные технологические приемы и сложные перерасчеты.

На рис.1. схематично показано устройство, а рис. 2. – Г-образная стойка. Устройство для деформирования образцов полупроводниковых тонких пленок при освещении монохроматическим светом содержит размещенные в корпусе 1 с крышкой, 2 Г-образную стойку, 3 с консольное отверстие 11. В одной из боковых стенок корпуса 1 находится отверстие 12 для микрометра 13 с рукояткой 14. Заостренный конец 15 микрометра направлен к свободному концу подложки 4. В этой же стенке корпуса 1 выполнено отверстие 16 для ручки 17 поворота расположенного в корпусе 1 зеркала 18 с пружиной 19, а в другой боковой стенке корпуса 1-отверстие 20 для прохождения излучения от монохроматора 21 через линзу 22.

Устройство для деформирования образцов полупроводниковых тонких пленок при освещении монохроматическом светом работает следующим образом. На подложку 4-стеклянную пластину приклеивают образец 5-полупроводниковую фоточувствительную пленку. Подложку 4 подкладывают под планку 8, которую прикрепляют винтами 9 к Г-образной стойке 3., закрепленными подложкой 4 и образцом 5 – полупроводников фоточувствительной пленкой.

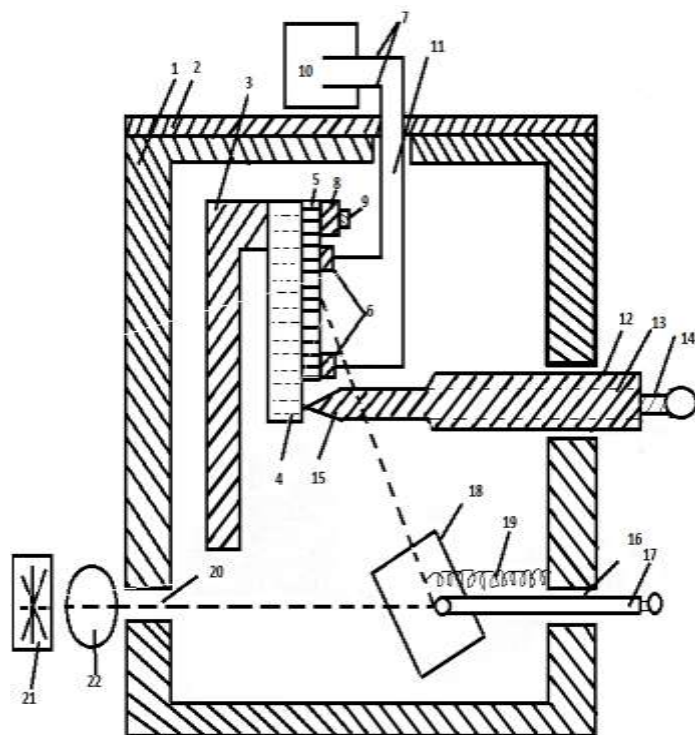


Рис. 1. Устройство для деформирование тонких полупроводниковых пленок и измерение при монохроматическим светом.

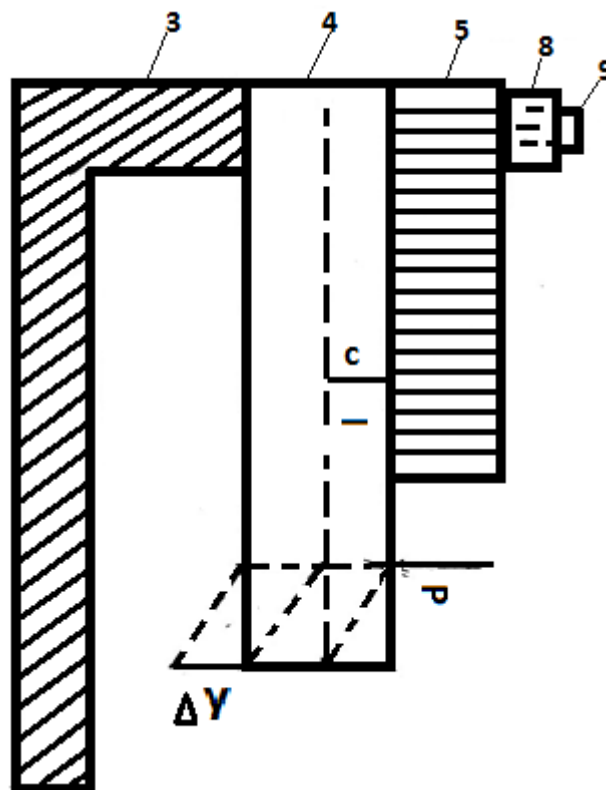


Рис. 2. Г-образная стойка для подкрепления образцов.

На противоположных концах фоточувствительные пленки выполнены контакты 6 с токопроводами 7. К стойке 3 крепится планка винтами 9. В верхней стенке корпуса 1 выполнено для подсоединения токопроводов 7 к электрометру 10.

Монохроматический свет от монохроматора 21 через линзу 22 поступает на зеркало 18. Угол поворота 18 регулируют вручную ручкой 17. Отраженный от зеркала 18 монохроматический свет направляет на полупроводниковую фоточувствительную пленку 5. Одновременно к нижней части подложки 4 перпендикулярно ее плоскости вращением рукоятки 14 микрометра 13 подводят заостренный конец 15 до упора. Микрометром 13 измеряют величину относительного удлинения растяжения образца 5 путем изгиба. Одновременно измеряют величину фотонапряжения электрометром 10. Затем монохроматор 21 отключают, заостренный конец 15 микрометра 13 отодвигают от подложки 4 вращением рукоятки 14.

Откручивают винты 9, снимают планку 8, подложку 4 с образцом 5 поворачивают на 180° , планку 8 снова прикручивают винтами 9, включают монохроматор 21 и на тыльную сторону подложки 4 направляют монохроматический свет от монохроматора 21 и далее процесс повторяют.

Микрометром 13 измеряют укорочение – сжатие подложки 4 и рассчитывают величину относительной деформации полупроводниковой фоточувствительной пленки по формуле

$$E_{cp} = \frac{3}{2} \cdot \frac{c}{l^2} \Delta y ,$$

где c – расстояние от нейтральной оси подложки до пленки; l – длина подложки между опорой и точкой приложения силы; Δy – прогиб свободного конца подложки в точке приложения силы.

Деформация находится в интервале от $-2 \cdot 10^{-3}$ до $2 \cdot 10^{-3}$ отн.ед. Это позволяет одну и ту же пленку деформировать многократно без ее разрушения.

Устройство для деформирования образцов полупроводниковых тонких пленок, отличающееся тем, что в верхней стенке корпуса выполнено отверстие для токопроводов подсоединенных к электрометру, в одной из боковых стенок корпуса-отверстия для микрометра, заостренный конец которого направлен к свободному концу подложки, и для ручки регулятора поворота зеркала, подпружинного к корпусу, а в другой боковой стенке корпуса – отверстие для прохождения излучения от монохроматора через линзу.

Исследования показали, что при сжатии пленок CdTe: Ag значение напряжения (V) уменьшается, а при растяжении растет (рис. 3), причем деформационная характеристика при сжатии носит нелинейный характер. А это обусловлена тем, что из-за различия межатомных расстояний у подложки и пленки, в последней возникает внутренние механические напряжения сжатия.

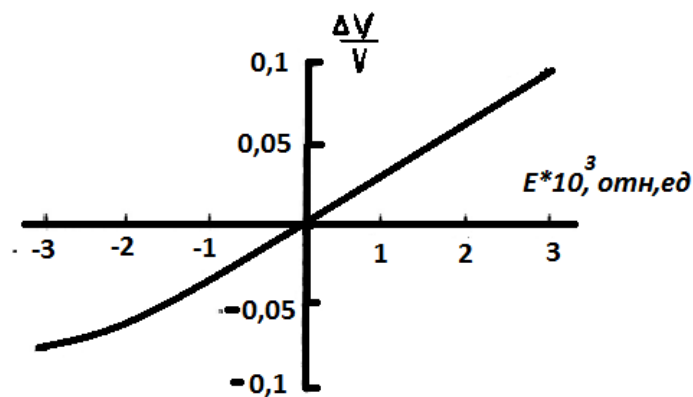


Рис. 3. Относительное изменение V при механической деформации пленок CdTe:Ag. Естественное освещение $L = 3 \cdot 10^2 \text{лк}$. $T = 300\text{K}$

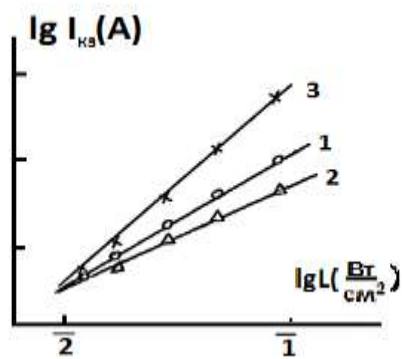


Рис. 4. Темновая ВАХ фоточувствительной пленки CdTe:Ag (кривая 1) и изменение ее под действием механической деформации (кривая 2-сжатие, 3-растяжение)
 $1 - \varepsilon = 0$; $2 - \varepsilon = -3 \cdot 10^{-3} \text{отн.ед.}$
 $3 - \varepsilon = +3 \cdot 10^{-3} \text{отн.ед.}$

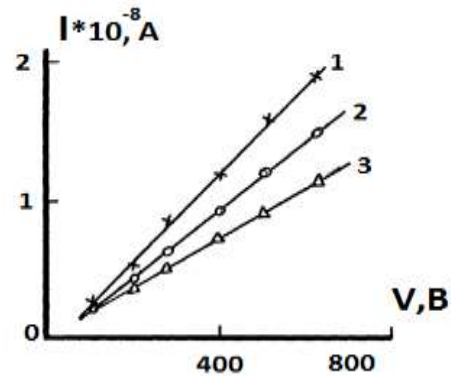


Рис. 5. ЛАХ фоточувствительной пленки CdTe:Ag (кривая 1) и изменение ее под действием механической деформации (кривая 2-сжатие, 3-растяжение)
 $1 - \varepsilon = 0$; $2 - \varepsilon = -3 \cdot 10^{-3} \text{отн.ед.}$
 $3 - \varepsilon = +3 \cdot 10^{-3} \text{отн.ед.}$

Коэффициент тензочувствительности (КТЧ)
 фоточувствительных пленок определяют по формуле

$$K = \frac{\Delta J}{J_0 \varepsilon},$$

где $\Delta J = J - J_0$ – абсолютные значение изменения силу тока при деформации;

J_0 – начальное значение силу тока; ε – величина относительной деформации.

Изучено также влияние механического воздействия на люкс – амперные характеристики полученных пленок CdTe: Ag (рис.5).

На рис.4. представлена ВАХ деформированной пленки CdTe:Ag. Видно, что при сжатии пленки (кривая 2) значение тока растет, а при растяжении уменьшается (3). Наблюдается аналогичная зависимость ЛАХ от механической деформации (рис. 5.); фототок короткого замыкания ($I_{кз}$) генерируемой пленкой и пропорциональной фоточувствительностью, при сжатии (кривая 2) уменьшается, а при растяжении (кривая 3) растет.

Как видно из ВАХ и ЛАХ при одноосной деформации растяжения в пленках CdTe наблюдается увеличение темного сопротивления и напряжения фотосигнала. Это объясняется изменением высоты потенциальных барьеров на границах кристаллитов за счет изменения концентрации поверхностных состояний [6].

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

На рис. 6. приведены спектральные зависимости $I_{кз}$ от энергии кванта света ($h\nu$). Видно, что при растяжении фототок короткого замыкания растет, а при сжатии уменьшается.

Можно ввести понятие спектрального коэффициента K_v тензочувствительности пленки по V

$$K_v = \frac{\Delta V(\nu)}{V(\nu) \varepsilon},$$

где $\Delta V = V - V^0$ – изменение фотоэдспри деформации, V^0 – значение фотоэдс 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. 6.), причем это значение несколько отличается для деформации растяжения и сжатия при $\varepsilon = \pm 2 \cdot 10^{-3}$ отн.ед.

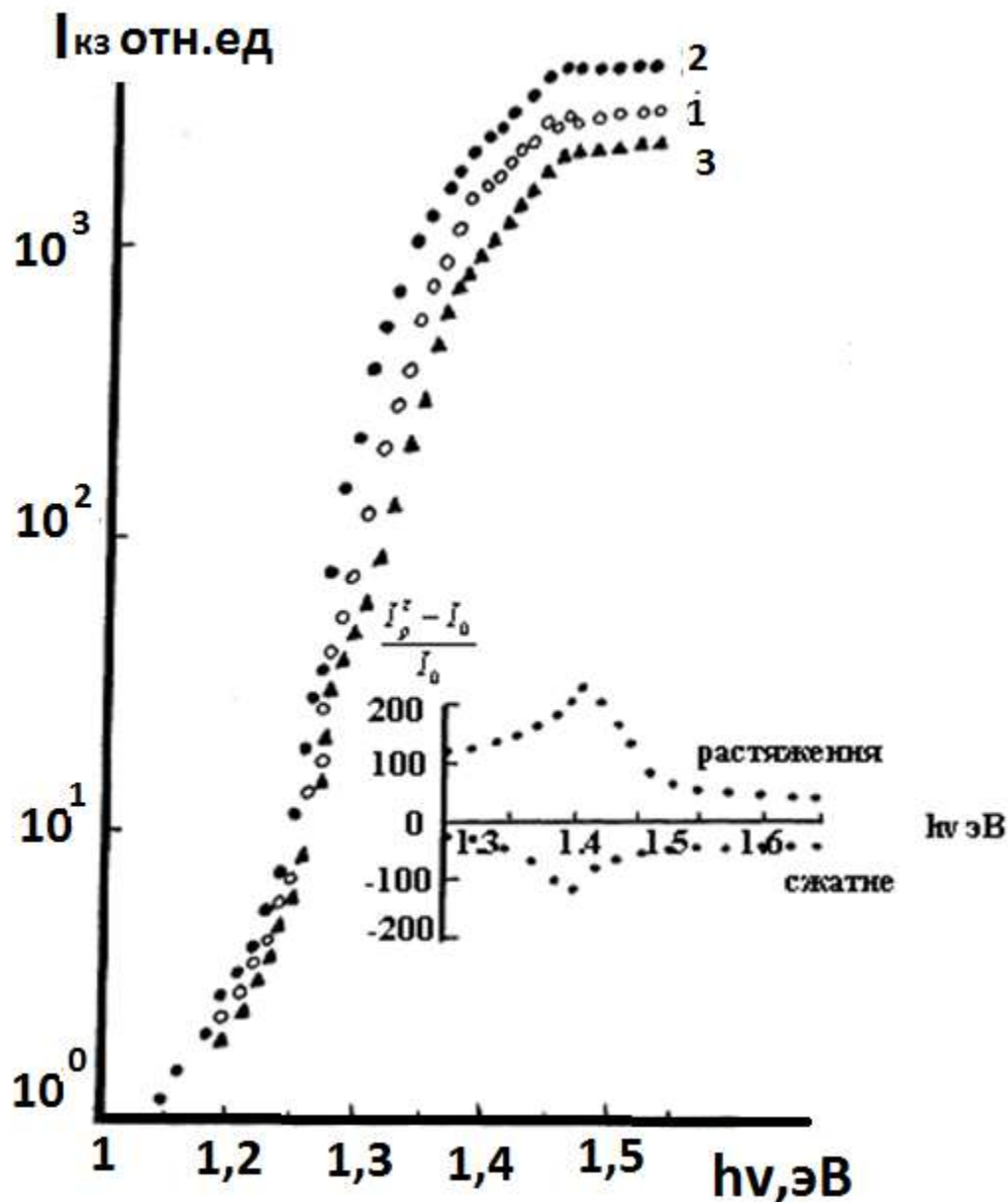


Рис.6. Спектр I_{Kz} пленок CdTe:Ag под механической деформации $\varepsilon = \pm 2 \cdot 10^{-3}$ отн.ед.

На вставке показаны изменение коэффициента фототензочувствительности пленок при растяжение и сжатие.

Такая асимметрия наблюдается также и для К при освещении пленок естественным светом (рис.4.), т.е. для величины

$$K = \int_0^{\infty} K_v(\nu) d\nu, \quad ,$$

что по-видимому, свойственно для всех пленок, причем она имеет обратного знака у обычных фоточувствительных пленочных элементов [8]. Экспериментальный спектр K_v имеет максимум в области края собственного

поглощения вблизи энергии фотона $h\nu=1,3$ эВ при деформации растяжения $\varepsilon = +2 \cdot 10^{-3}$ 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 фототензочувствительность пленок CdTe:Ag, по-видимому, обусловлена обратимой миграцией ионов Ag^+ и вакансий кадмия (V_{Cd}^-, V_{Cd}^{--}) в области потенциальных барьеров. Так как, Ag находясь в области потенциальных барьеров образуют глубокие уровни с оптической энергии активации $E_{opt}=1,15$ эВ, участвующих в генерации примесной фотоэдс [9]. Глубокий уровень с энергии активации $E_{opt}=1.30$ эВ, связываются вакансий кадмия, также участвуют в генерации фотоэдс и считается доминирующим [10].

Деформация растяжения увеличивает не только высоты микропотенциальных барьеров, но их асимметрию на границах кристаллитов, и тем самым, благоприятствует образованию фото-ЭДС. Максимум спектра K_v в окрестности энергии активации Ag лишний раз подтверждает того, 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 частичному снятию их асимметрий. Изменение высоты барьера от деформации зависит от изменения спектра энергии носителей заряда.

4. Заключение

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.

Это устройство можно использовать в других полупроводниковых фоточувствительных тонких пленках, для выяснения фототензочувствительности при деформации.

ИзВАХ и ЛАХ при одноосной деформации растяжения в фоточувствительных пленках наблюдается увелечение темного сопротивления и напряжения фотосигнала. Это объясняется, изменением высоты потенциальных барьеров на границах кристаллитов за счет изменения поверхностных состояний.

Таким образом, здесь отмечены наиболее существенные моменты, характерные для проводимости неоднородных пленок, изменение их проводимости при деформации. Полученные результаты могут применяться для различных конкретных случаев исследования фотоэлектрических явлений в неоднородных полупроводниковых пленках, в частности, могут быть применены как фотоприемник ИК излучения и фототензодатчик в спектральном диапазоне (0,9 -2,5) мкм.

REFERENCES:

1. Mokrov Ye.A. Integral'nye datchiki. Sostoyanie razrabotok i proizvodstva. Napravleniya razvitiya. [Integrated sensors. The state of development and production. Directions of development.] // Datchiki i sistemq. [Sensors and systems] 2000. No.1. pp.28-30.
2. Kolg'man Ye.M., Beklemio'ev A.I., Lipesonkov A.I. Tenzometricheskaya sistema. // Datchiki i sistemq. [Strain gauge system. // Sensors and systems.] 2004. No.3. pp.18-20.
3. Zuev V.A. Neravnovesnye pripoverynostnye protsessy v poluprovodnikax i poluprovodnikovyx priborax. [Nonequilibrium surface processes in semiconductors and semiconductor devices.]// Sov. Radio.Moskva. [Sov. Radio.Moscow.] 1977. 256 s.
4. E Gaubas, T Čeponis, D Dobrovolskas, J Mickevičius, J Pavlov, Otazhonov, S.M, N Alimov, // Study of polycrystalline CdTe films by contact and contactless pulsed photo-ionization spectroscopy // Thin Solid Films 2018, 660, pp.231-235.
5. Otazhonov, S.M., Khalilov, M.M., ...Mamadzhonov, U., Zhuraev, N.M. // Effective dielectric permeability and electrical conductivity of polycrystalline PbTe films with disturbed stoichiometry // Journal of Physics: Conference Series, 2021, 2131(5), 052008
6. Vaitkus, I.I., Rasulov, R.Ya., Otazhonov, S.M., Oripov, U.I. // Structure features and photoelectric properties of polycrystalline CdTe:Ag films // Surface Investigation X-Ray, Synchrotron and Neutron Techniques, 1999, 15(3), pp. 515-520
7. Vaitkus, Yu.Yu., Rasulov, R.Ya., Otazhonov, S.M. // Photoconductivity of polycrystalline CdTe:Ag films in the impurity optical absorption region // Semiconductors, 1996, 30(9), pp. 817-820
8. Vaitkus, Yu.Yu., Senulis, F.D., Otazhonov, S.M. // Effect of boron implantation in CdTe on the spectrum of deep levels in intercrystalline barriers // Soviet Physics Journal, 1988, 31(8), pp. 635-638
9. Akhmedov, T., Otajonov, S.M., Usmonov, Y., ...Yunusov, N., Amonov, A.K. // Optical properties of polycrystalline films of lead telluride with distributed stoichiometry // Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1889(2), 022052
10. Ш.Б.Атакулов, С.М.Отажонов, Р.Т.Расулов, Н.Розиохунова, // Термоэлектрическая эффективность пленок теллурида свинца при легировании элементами V группы // Фізична інженерія поверхні, 2009 №2 с. 119-122
11. Ю.Ю Вайткус, СМ Отажонов // Взаимосвязь структуры и фотоэлектрических свойств пленок CdTe, обладающих примесным аномальным фотонапряжением // Кристаллография 1992, 37 (2), с.474-478.

12. Вайткус Ю.Ю. Сенулис Ф.Д. Отажонов С.М. Влияние имплантации бора на спектр глубоких уровней в CdTe, // ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ "ФИЗИКА".

№ 8.1988 г. с. 35-39

13. Вайткус Ю.Ю. Отажонов С.М. Взаимосвязь фотоэлектрических свойств пленок CdTe со структурой, обладающей примесной аномальным фотонапряжением, // КРИСТАЛЛОГРАФИЯ № 2 1992 г. С 474-478

14. Вайткус Ю.Ю. Расулов Р.Я, Отажонов С.М. Фотопроводимость поликристаллических пленок CdTe в области примесного поглощения света, // ФТП № 9, 1996 г. стр. 1558 -1564

15. Vaitkus J. Rasulov R. Otajonov S. Photoconductivity of polycrystalline CdTe-Ag films in the impurity optical absorption region, // AMERICAN INSTITUTE OF PHYSICS S 1063-7826 (96) 02808-6, 1996 г. P-817-820.

16. Вайткус Ю.Ю. Расулов Р.Я. Отажонов С.М. Особенности структуры и фотоэлектрические свойства поликристаллических пленок CdTe:Ag, // "ПОВЕРХНОСТЬ" Рентгеновские синхротронные и нейтронные исследования АН РОССИЯ, МОСКВА "Наука", № 3 1999, с. 44-49.

17. Отажонов С.М. Фотоприемник в ближней ИК-области поглощения на основе CdTe-SiO₂-Si, // Прикладная физика. Научно-технический журнал. Москва, Россия 2005, № 1. С. 95-97

18. Отажонов С.М. Фотодетектор для регистрации рентгеновского и ультрафиолетового излучений на основе гетероструктур CdTe-ZnSe, // Прикладная физика. Научно-технический журнал. Москва, Россия 2005, № 2. С. 42-45.