

Otajonov Salom Madraximovich
Farg'ona davlat universiteti, Professor f.-m.f.d.

Email: otajonov_s@mail.ru

Ergashev Ravshanbek Nazirovich
Farg'ona davlat universiteti, katta o'qituvchi f.-m.f. PhD
rova08@pf.fdu.uz

Botirov Qodir Abdullayevich
Farg'ona davlat universiteti, katta o'qituvchi
botirov_q1969@gmail.com

Ma'rufova Umidaxon Xoliqjon qizi
Farg'ona davlat universiteti, 2-bosqich talabasi
Umidaxon.m24@gmail.com

Ergasheva Lola Erkin qizi
Farg'ona davlat universiteti, 2-bosqich talabasi
Ergasheva_l1995@gmail.com

UO'K 621.315.593.

**Chuqur aralashma satxlari ishtirokida p-CdTe/n-CdS va p-CdTe/n-CdSe
plyonkali geterostrukturalarining shakllanishi va tuzilishining xususiyatlari**

Annotatsiya: Maqolada p-CdTe/n-CdS va p-CdTe/n-CdSe plyonka geterostrukturalarini hosil qilish texnologiyasining xususiyatlari, shuningdek, ularning kristalli va nuqsonli tuzilishi chuqur aralashma satxlarning ta'sirini hisobga olgan holda o'rganiladi. Chegaralar sifatini va qatlamlarning bir xilligini aniqlaydigan cho'kma va issiqlik bilan ishlov berish usullarining tahlili keltirilgan. Chuqur aralashma satxlarning mavjudligi elektron-teshik o'tkazuvchanligi parametrlariga, rekombinatsiya jarayonlariga va geterostrukturalarning spektral xususiyatlariga sezilarli ta'sir ko'rsatishi ko'rsatilgan. Strukturalarning elektr va fotoelektrik xususiyatlarini optimallashtirish uchun chuqur aralashmaning kontsentratsiyasi va taqsimlanishini nazorat qilish imkoniyatlari ko'rib chiqiladi. Olingan natijalardan II-VI guruh birikmalari asosida yuqori samarali fotoelektron qurilmalar va quyosh batareyalarini yaratishda foydalanish mumkin.

Kalit so'zlar: fotosezgir plyonkalar, fotovoltaik effekt, harorat, nopoklik, molibden, kondensatsiya tezligi.

Отажонов Салим Мадрахимович

Ферганский государственный университет, д.ф.-м.н., профессор

Эргашев Равшанбек Назирович

Ферганский государственный университет, стар. препод. PhD ф.-м.н.

Батиров Кадир Абдуллаевич

Ферганский государственный университет, стар. препод.

Маъруфова Умидахон Халикжон кизи

Ферганский государственный университет, студент 2 курса

Эргашева Лола Эркин кизи

Ферганский государственный университет, студент 2 курса

Особенности формирования и строения плёночных гетероструктур $p\text{-CdTe}/n\text{-CdS}$ и $p\text{-CdTe}/n\text{-CdSe}$ с участием глубоких примесных уровней

Аннотация: В работе рассматриваются особенности технологии формирования плёночных гетероструктур $p\text{-CdTe}/n\text{-CdS}$ и $p\text{-CdTe}/n\text{-CdSe}$, а также их кристаллическая и дефектная структура с учётом влияния глубоких примесных уровней. Приведён анализ методов осаждения и термической обработки, определяющих качество границ раздела и однородность слоёв. Показано, что наличие глубоких примесных уровней существенно влияет на параметры электронно-дырочной проводимости, рекомбинационные процессы и спектральные характеристики гетероструктур. Рассмотрены возможности управления концентрацией и распределением глубоких уровней для оптимизации электрических и фотоэлектрических свойств структур. Полученные результаты могут быть использованы при разработке высокоэффективных фотоэлектронных приборов и солнечных элементов на основе соединений II-VI группы.

Ключевые слова: фоточувствительные пленки, фотовольтический-эффект, температура, примесь, молибден, скорость конденсации.

Otajonov Salim Madraximovich
Fergana State University, Doctor of Physical
and Mathematical Sciences, Professor
Ergashev Ravshanbek Nazirovich
Fergana State University, Senior Lecturer,
PhD in Physical and Mathematical Sciences
Batirov Kadir Abdullaevich
Fergana State University, Senior Lecturer
Marufova Umidaxon Xalikjon kizi
Fergana State University, 2nd year student
Ergasheva Lola Erkin kizi
Fergana State University, 2nd year student

Features of the formation and structure of p-CdTe/n-CdS and p-CdTe/n-CdSe film heterostructures with the participation of deep impurity levels

Annotation: The paper considers the features of the technology for the formation of p-CdTe/n-CdS and p-CdTe/n-CdSe film heterostructures, as well as their crystalline and defect structure, taking into account the influence of deep impurity levels. An analysis of the deposition and heat treatment methods that determine the quality of interfaces and the homogeneity of layers is given. It is shown that the presence of deep impurity levels significantly affects the parameters of electron-hole conductivity, recombination processes and spectral characteristics of heterostructures. The possibilities of controlling the concentration and distribution of deep levels for optimizing the electrical and photoelectric properties of the structures are considered. The results can be used in the development of highly efficient photoelectronic devices and solar cells based on II-VI compounds.

Key words: photosensitive films, photovoltaic effect, temperature, impurity, molybdenum, condensation rate.

Введение

Современное развитие полупроводниковой электроники и фотоэнергетики обусловлено необходимостью создания высокоэффективных гетероструктур,

обладающих стабильными электрическими и оптическими характеристиками [1]. Среди широкого круга полупроводниковых соединений особое место занимают материалы группы II-VI, такие как кадмий-теллур (CdTe), кадмий-сульфид (CdS) и кадмий-селенид (CdSe), которые благодаря своим уникальным физико-химическим свойствам активно применяются в производстве солнечных элементов, фотоприёмников и других фотоэлектронных устройств [2, 3, 4, 5].

Формирование тонкоплёночных гетероструктур на основе p-CdTe/n-CdS и p-CdTe/n-CdSe представляет особый интерес, поскольку такие структуры обеспечивают эффективное разделение носителей заряда и обладают высокой фотоотдачей. Однако ключевым фактором, определяющим эксплуатационные параметры этих гетеропереходов, являются глубокие примесные уровни, возникающие в процессе роста плёнок, термообработки и воздействия внешних факторов. Глубокие уровни примесей и дефектов способны существенно изменять электрофизические свойства материалов, влияя на процессы рекомбинации, захвата и генерации носителей, что в свою очередь сказывается на эффективности работы устройств [6].

В связи с этим исследование особенностей технологии получения, кристаллической структуры и дефектных состояний плёночных гетероструктур p-CdTe/n-CdS и p-CdTe/n-CdSe, с учётом формирования глубоких примесных уровней, является актуальной задачей. Понимание этих процессов открывает возможности для целенаправленного управления свойствами материалов и оптимизации характеристик фотоэлектронных приборов нового поколения.

Целью настоящего исследования является изучение взаимосвязи между условиями формирования тонкоплёночных гетероструктур и их структурными, электрическими и оптическими свойствами при участии глубоких примесных уровней

Экспериментальные методы исследования

Для получения контролируемых и активированных фоточувствительных плёнок уже используемая современная рабочая камера, которая представлена

на рис. 1. В рабочей камере установки вакуум достигал порядка 10^{-5} мм. рт. ст. Вакуумная камера представляла собою материалов стекла, кварца или металлический с стеклянным иллюминатором в виде цилиндрического колпака диаметром 15 см и высотой 35 см, где производилось напыление исходного полупроводникового материала и примеси. В рабочей вакуумной камере на расстоянии 15-20 см от её дна располагался держатель, выполненный в виде рамки, на которую крепились подложки [7, 8, 9]. Расстояние между рамкой и тиглем было в пределах 4,5-6,0 см. Путем поворота держателя можно было изменять угол напыления от 0 до 90^0 . Температура подложки поддерживалась с помощью приспособлений, которые держит подложки. С помощью этим приспособлениям можно было менять температуру подложки использовались хромель-алюмелевые термопары. Для испарения полупроводникового материала CdTe и примесей изготавливались тигли из вольфрамовой или молибденовой проволоки диаметром 0,5 мм в виде конусной корзиночки, поверхностная площадь которой равнялась 50 мм². На поверхность корзиночки наносилась водная суспензия окиси бериллия или окиси алюминия [10].

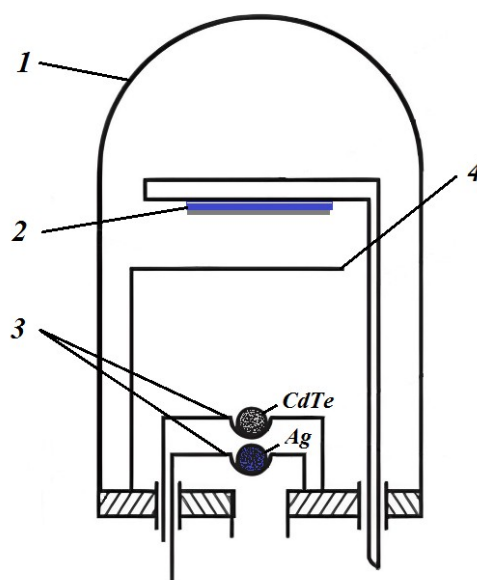


Рис. 1. Рабочая камера испарительной установки для получения гетероструктуры на основе pCdTe – nCdS и pCdTe – nCdSe с глубокими примесными уровнями: 1 - колпак, 2 – пленка, 3 – испарители, 4 – заслонка

После сушки на воздухе они отжигались в высоком вакууме при $T = 1300^{\circ}\text{C}$. Процесс повторялся до тех пор, пока не получился достаточный слой окиси. Затем тигель окончательно отжигался в вакууме при температуре 1600°C в течение 5 часов при постепенном повышении температуры. Тигли, изготовленные таким образом, были очень жаростойкими и удобными в использовании. С целью достижения более постоянного режима испарения в корзиночку загружалась навеска CdTe с таким расчетом, чтобы по окончании нанесения пленки не испаренный остаток шихты в испарителе составлял примерно половину первоначального веса. Кроме того, чтобы поддерживать постоянным состав парового потока, перед каждым напылением навеска прогревалась в течение 5 минут в режиме испарения при закрытой заслонке [11].

Для фоточувствительных пленок CdTe в качестве легирующих примесей, были выбраны нами элементы первой группы: Ag и Cu. Выбор этих металлов в качестве примесей обусловлен следующими обстоятельствами. Во-первых, оптимальная температура диффузии (легирования) Ag и Cu в CdTe, сравнительно низкая и лежит в интервале температур подложки $80 \div 300^{\circ}\text{C}$, при котором лишь можно получить пленки из CdTe с наибольшими фоточувствительностями и стабильными характеристиками. Во-вторых, эти примеси необходимы для нейтрализации поверхностных состояний, а также они влияют на барьер между кристаллитами. Можно предположить, что межкуристаллические барьеры оптимизируются, не уменьшая максимальное значение фотопроводимости и оптимизируются также размер кристаллитов.

Атомы Ag и Cu обладают идентичными электронными конфигурациями для внешних оболочек: $5S^1 4d^{10}$ и $4S^1 3d^{10}$ соответственно. Поэтому естественно ожидать, что примесные атомы Ag и Cu в кристаллах CdTe ведут себя качественно одинаково. Они согласно литературным данным, могут диффундироваться, внедряясь в междоузлия кристаллической решетки в CdTe, а также замещать атомы Cd. Серебро или медь как элементы первой группы, обычно замещают катионы и электрически ведут себя акцепторами, которые

образуют до двух типов глубоких примесных уровней в запрещенной зоне теллурида кадмия.

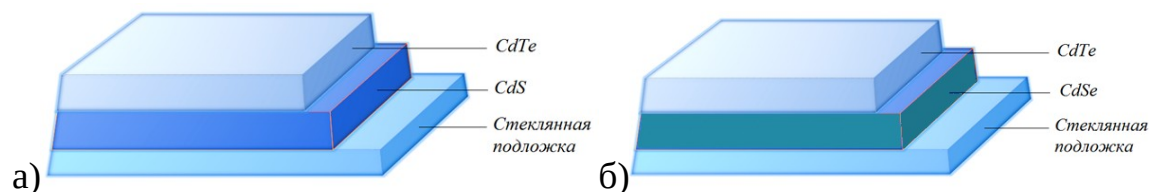


Рис. 2. Структура строения гетероструктуры на основе pCdTe – nCdS а) и pCdTe – nCdSe б) с глубокими примесными уровнями

В качестве подложек использовалось стекло, молибден. Перед началом процесса вакуумного испарения стеклянные подложки промывались 2-3 раза в кипящей дистиллированной воде в течение 20 -25 минут и сушились в сушильном шкафу при температуре 150⁰С в течение 30 минут, затем обжигались при 250-300⁰С в вакууме в течение 10 минут.

Подготовленные подложки помещались в специальный держатель и на поверхность подложки из стекла, молибдена, при температуре 250⁰-300⁰С в вакууме порядка 10⁻⁵ мм. рт. ст. напылялась примесь серебра из отдельного тигля. Масса легиранта обычно составляла 0.3±0.1 вес % от массы основного полупроводникового соединения, которая испарялась из другого тигля. На поверхность при этом осаждался тонкий слой примеси с эффективной толщиной 0.1 нм, т.е. образовывался островковый слой материала, который в дальнейшем диффундировал в слой напыляемой полупроводниковой пленки. Точное количество вводимой примеси установить было невозможно из-за сложности процесса осаждения металла на подложку, а время t , толщина d и v_k скорость напыления CdTe определялись экспериментально для получения наилучший фоточувствительный гетероструктуры: $t \approx 15 \div 20 \text{ мин}$; $v_k = 1.5 \div 1.7 \text{ нм/с}$, $d \approx 1 \text{ мкм}$. Скорость конденсации CdTe, определенная из отношения толщины пленки ко времени напыления, составляла 0.2-2.5 нм/с. Толщина пленок определялась при помощи интерференционного микроскопа МИИ-4 и МИИ-9. Отметим также, что на свойства слоев существенное влияние оказывал и вакуум, при котором слои наносились.

Экспериментальные результаты

По рентгенфлуоресцентным анализом (РФА) было исследовано гетероструктуры с целью получения его элементного состава, то есть его элементного анализа. С помощью него найдены различные элементы от бериллия (Be) до урана (U). Было обнаружено, что в пленках CdTe имеются элементы таких, как Te, Si, Au, Ag, Cd. Метод РФА основан на сборе и последующем анализе спектра, возникающего при облучении исследуемого материала рентгеновским излучением.

На рисунке 3 показан расшифрованный рентгеновский флуоресцентный спектр гетероструктуры pCdTe-nCdS и pCdTe-nCdSe отожжённой при 200°C.

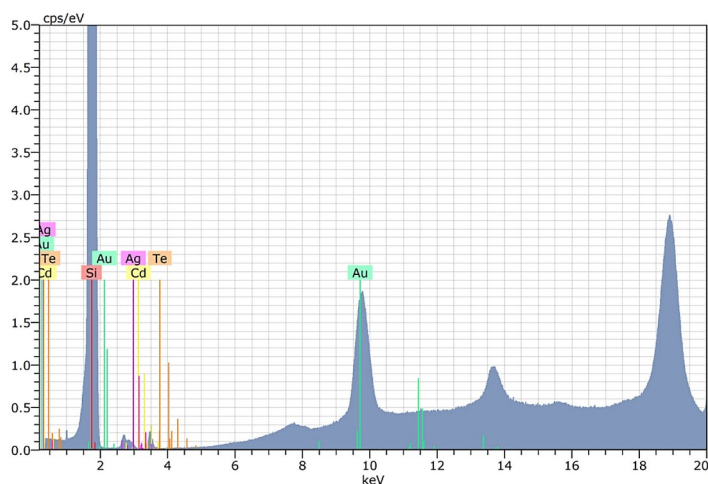


Рис. 3. Расшифрованный рентгеновский флуоресцентный спектр гетероструктуры pCdTe-nCdS и pCdTe-nCdSe

При взаимодействии с высокоэнергичными фотонами атомы вещества переходят в возбуждённое состояние, что проявляется в виде перехода электронов с нижних орбиталей на более высокие энергетические уровни вплоть до ионизации атома. В возбуждённом состоянии атом пребывает крайне малое время, порядка одной микросекунды, после чего возвращается в спокойное положение (основное состояние). При этом электроны с внешних оболочек заполняют образовавшиеся вакантные места, а излишек энергии либо испускается в виде фотона, либо энергия передается другому электрону из внешних оболочек (оже-электрон). В качестве источника излучения могут использоваться как рентгеновские трубки, так и изотопы каких-либо элементов.

Заключение

Таким образом, полученная пленочная гетероструктура имеет диапазон fotocувствительности в пределах 0,4-3,0 eV и характерна особенностями спектральной характеристики пленочной гетероструктуры pCdTe – nCdS и pCdTe – nCdSe с глубокими примесными уровнями является высокая стабильность fotocувствительности в широком диапазоне спектра.

Использованные литературы

1. Mousumi M., Shamima C., Chitra D. and Tahmina B. (2014). Substrate Temperature Dependent Optical and Structural properties of Vacuum Evaporated CdTe Thin films. European Scientific Journal, 10(3): 442-455.
2. Mohammed Taki (2013). Structural and Optical Properties of Cadmium Telluride Thin Film by Evaporate Technique. International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management, 2(5): 413-417.
3. Hussain, K. M. A., Mahmood, Z. H., Ishtiaque, M. Syed, Begum T., Faruque, T. and Parvin J. (2015). Thermal Vacuum Deposition of Cadmium Telluride Thin Films Solar Cell Material. American Journal of Materials Science and Application, 2(6): 91-95.
4. Khan N. A., Rahman K. S., Kamaruzzaman M. I., Haque F., Islam M. A., Alam M. M., Alothman Z. A., Sopian K. and Amin N. (2015). Effect of LASER Annealing on CdTe Thin Film Deposited by Thermal Evaporation. Chalcogenide Letters, 12(4): 191- 201.
5. Найманбоев Р., Хатамов С.О. Исследование фотоэлектретного состояния в полупроводниковых плёнках соединений $A^{II}B^{VI}$. Фотоэлектрические свойства пленок $A^2B^2C^6$, осажденных из раствора. XVIII Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного видения 25-28 мая 2004 Москва, Россия. Стр. 189.
<https://www.orion-ir.ru/upload/iblock/7e5/7e5d709b4fbf65d7264dcbe799db29c6.pdf>
6. Абдинов А.Ш., Джафаров М.А., Насиров Э.Ф. Фотоэлектрические свойства пленок $A^2B^2C^6$, осажденных из раствора. XVIII Международная научно-техническая конференция по фотоэлектронике и приборам ночного

<https://www.orion-ir.ru/upload/iblock/7e5/7e5d709b4fbf65d7264dcbe799db29c6.pdf>

7. Bing Ren, Jijun Zhang, Meiyong Liao, Jian Huang, Liwen Sang, Yasuo Koide, and Linjun Wang. High-performance visible to near-infrared photodetectors by using (Cd,Zn)Te single crystal. Vol. 27, No. 6 | 18 Mar 2019 | OPTICS EXPRESS 8935/ <https://opg.optica.org/oe/fulltext.cfm?uri=oe-27-6-8935&id=407310>

8. S M Otajonov, R N Ergashev, T Axmedov, Ya Usmonov and B Karimov. Photoelectric properties of solar cells based on pCdTe-nCdS and pCdTe-nCdSe heterostructures. 2022 J. Phys.: Conf. Ser. 2388 012062. DOI 10.1088/1742-6596/2388/1/012062

9. SM Otazhonov, RN Ergashev, KA Botirov, BA Qaxxorova, MA Xudoynazarova, NA Abdukarimova. Influence of thickness and temperature on photoelectric properties of p-CdTe-nCdS and pCdTe-CdSe heterostructures. Journal of Physics: Conference Series. & Ismoilova, EM (2022, December). <https://scholar.google.com/scholar?cluster=3980284802233231633&hl=en&oi=scholar>

10. S M Otazhonov, R N Ergashev. Influence of thickness and temperature on photoelectric properties of p-CdTe-nCdS and pCdTe-CdSe heterostructures. 2022 J. Phys.: Conf. Ser. 2388 012001. DOI 10.1088/1742-6596/2388/1/012001

11. Kuddus, Abdul & Ismail, Abu Bakar Md & Hossain, Jaker. (2021). Design of a highly efficient CdTe-based dual-heterojunction solar cell with 44% predicted efficiency. Solar Energy. 221. 488-501. 10.1016/j.solener.2021.04.062. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0038092X21003625>