

**ПОЛУЧЕНИЕ ГЕТЕРОПЕРЕХОД И ИССЛЕДОВАНИЯ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТРУКТУРЫ НА
ОСНОВЕ $pSi-pCdTe-nCdS$.**

Сапаев Байрамдурды

АННОТАЦИЯ

Создано гетероструктура на основе $pSi-pCdTe-nCdS$, чувствительная к световым сигналам. Исследованы фотоэлектрические свойства по поверхности полученных слоев

Большую часть солнечных элементов (СЭ) изготавливаемых в мире является кремниевых. Кроме этого наиболее возможные материалы для фотоэлектрических систем преобразования солнечной энергии в настоящее время наряду с кремнием рассматриваются некоторые соединений A^3B^5 , A^2B^6 например, теллурида кадмия и арсенид галлий ($CdTe$, $GaAs$), причем в последнем случае речь идет о гетерофотопреобразователе (ГФП) со структурой $AlGaAs-GaAs$, $CdS/CdTe$.

Разработка тонкопленочных солнечных элементов с $p-n$ -гетероструктурой $CdS/CdTe$ вышли на стадию внедрения в массовое производство [1]. В США, Германии, Испании уже построены солнечные электростанции мощностью от нескольких мегаватт до нескольких десятков мегаватт [2]. Вкладываются значительные средства в строительство новых заводов, что позволит расширить объемы производства солнечных модулей (панелей) $CdS/CdTe$. Это происходит несмотря на то, что коэффициент полезного действия (эффективность) модулей, составляющих солнечную электростанцию, не превышает 10%, в то время как на лабораторных образцах солнечных элементов достигнута эффективность 16 – 17%, а ее теоретический предел составляет 28 – 30% [1,3]. В этих условиях проблема повышения эффективности солнечных элементов $CdS/CdTe$ остается особенно актуальной, и во многих лабораториях мира предпринимаются попытки решать проблему, варьируя технологические условия изготовления устройств.

Поэтому расширение классов полупроводниковых материалов в виде соединений, твердых растворов на основе кремния, несомненно, играют решающую роль в физику полупроводников и полупроводниковых приборостроений.

В работе [4] показано, что теллурид кадмия p -типа проводимости является оптимальным материалом для создания базовых слоев высокоэффективных пленочных солнечных элементов (СЭ). Поэтому СЭ с базовым слоем теллурида кадмия имеют самый высокий среди однопереходных фотоэлектрических преобразователей теоретический коэффициент полезного действия – 29%. В настоящее время эффективность лучших лабораторных образцов пленочных солнечных элементов на основе $CdS/CdTe$ приближается к эффективности традиционно используемых СЭ на основе монокристаллического кремния [5].

Выращивание слоев этих соединений на кремниевых подложках и создание гетеропереход между элементами с $p-n$ переходом увеличивает эффект преобразование СЭ и одновременно является новым модельным объектом для фундаментального исследования. Ширина запрещенной зоны силицида кадмия, теллурида кадмия и кремния составляет $\sim 2,48$ эВ, $\sim 1,47$ эВ и $1,08$ эВ при 300 К соответственно [6].

Первый слой (CdS) играет роль, как окна и последующие слои $CdTe$ и Si играют роль поглощающего слоя.

В данной работе приводятся результаты выращивания слоев $CdTe/CdS$ на Si - кремниевых подложках и их рентгеноструктурных анализов. Кроме этого приводятся результаты некоторые электрофизические и фотоэлектрические исследований.

Получение пленочных слоев силицида кадмия и теллурида кадмия на моно- и поли- кристаллических кремниевых подложках разного типа проводимости осуществлялось методом вакуумного испарения при давлениях $\sim 10^{-4}$ Торр.

Для получения первого слоя теллурида кадмия и второго слоя силицида кадмия на кремниевых подложках экспериментальным путем подобраны технологические условия (температурные интервалы подложки и источника, расстояние между источником и подложкой и другие параметры, а также весовые соотношения материалов источника и легирующих примесей). До процесса выращивания подложки как поликристаллические так и монокристаллические кремниевые подложки проходили соответствующих механических и химических обработках. В качестве подложек использовались как n - так и p -типа проводимости с различными удельными сопротивлениями.

В данном случае полупроводниковая подложка (моно- или поликристаллический кремний), кремний является составной частью структур и полупроводниковых приборов на его основе.

Поэтому образованная во время роста межфазная граница раздела кремниевая подложка и пленка соединений группы A^2B^6 (переходной область) является наиболее ответственным слоем по отношению подложки и растущего слоя, тоес оно определяется дальнейших характеристик получаемых пленок.

В практическом плане использование структур $Si/CdTe/CdS$ на наш взгляд чрезвычайно перспективно для создания высокоэффективных радиационно-стойких фотопреобразователей и детекторов ядерных излучений. В сравнении полупроводниками (например, Si , $GaAs$, GaP , InP и др) данная структура обладают повышенной стойкостью в жесткой радиации (высокоэнергетические электроны и нейтроны, γ - облучение) поскольку существенное изменение фундаментальных параметров материалов или структур на их основе должно происходит при высоких дозах так как активный часть структура состоит из широкозонного теллурида кадмия и сульфида цинка и твердых растворов на их основе.

В работе [7] исследовано влияние γ - облучения (Co^{60}) на фотопреобразование тонкопленочных гетерофотоэлементов $ZnO/CdS/Cu(In, Ga)Se_2$ в естественном и линейно поляризованном излучении. Показано, что проникающее γ – облучение структур при комнатной температуре практически не оказывает влияния на фотоэлектрические параметры тонкопленочных гетерофотоэлементов вплоть до потоков $\Phi \approx 1.1 \cdot 10^{18}$ квант/см². Авторы пришли к выводу, что гетерофотоэлементов $ZnO/CdS/Cu(In, Ga)Se_2$ можно использовать в условиях высокого радиационного фона. Действительно, именно на тонкопленочных гетерофотоэлементах $ZnO/CdS/Cu(In, Ga)Se_2$ были установлены рекордные для этого типа значения квантовой эффективности ($\sim 19.2\%$) [8].

Были получены слои $CdTe-CdS$ на Si кремниевых подложках с диаметром 20 мм моно кристаллического типа с удельным сопротивлением \sim Ом ·см. Исследованы распределение химических элементов по поверхности полученных слоев. Анализы выполнены на микроаналитическом комплексе Jeol – JXA - 8900 с помощью ЭДС LINK ISIS (энерго - дисперсионный спектрометр); погрешность $\pm 2.0\%$. Условия съемки: $V=20$ kV, $I=10$ nA. Эталоны: самородные Cd, Te и Si, для S – синтетический FeS. Результаты измерений и микрофотография приведены на рис. 1 а) и б).

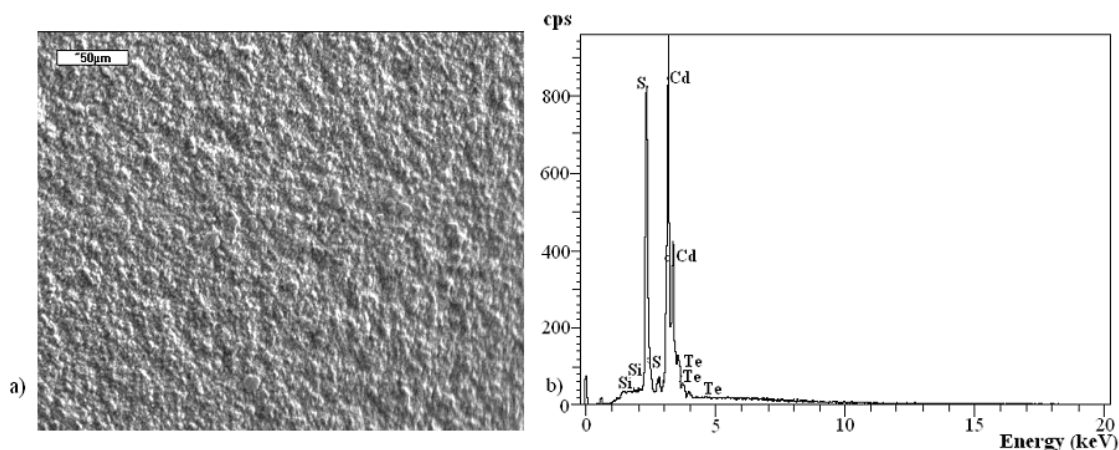


Рис .1 а) и б). Микроснимок с поверхности слоев а) и распределения химических элементов по поверхности слоев б).

На рис 2 а) и б) приведены микроснимок сделанные со скола слоев, а также зависимостей распределения химических элементов от толщины слоев.

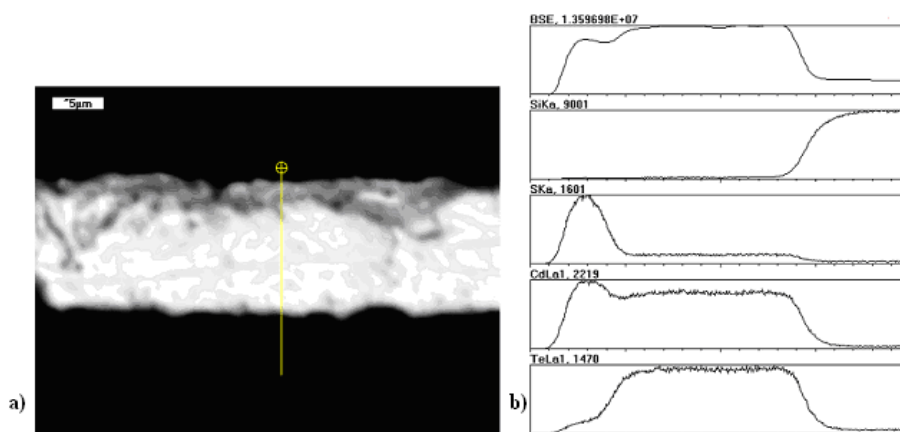


Рис. 2 а) и б). Микроснимок сделанные со скола слоев а) и ход зависимостей распределение химических элементов от толщины пленок б).

Измерение проводилось от нескольких точек. Результаты исследований зависимости химических элементов от толщины показывает, что во всех измеренных направлениях распределение химических элементов почти одинаковые средний разброс не более $\sim 5\%$.

Анализ полученных результатов показывают, что между кремнием и теллуридом кадмием, а также теллурида кадмия и сернистый кадмия образуется твердый раствор с толщиной \sim до 2 мкм и \sim до 1 мкм соответственно рис.3. По данным авторов [6], на основе соединений A^2B^6 в системах $A^2 - B^6$ образуются области твердых растворов (области гомогенности), протяженность которых может быть значительно больше, чем у соединений A^3B^5 .

Составом твердых растворов на основе соединений A^2B^6 можно управлять, задавая условия их получения или обработки. Физические и физико-химические свойства твердых растворов меняются с изменением состава, причем характер изменения может быть как линейным, так и нелинейным. Экспериментальное определение протяженности области гомогенности на основе A^2B^6 в системах $A^2 - B^6$, а также типов твердых растворов требует использования прецизионных методов исследования, в частности прецизионной (с высокой точностью) определения плотности d и периода решетки a .

пленка - CdS	
d ~ 0,5-1,0 мкм	переходной слой - CdTe - CdS
пленка - CdTe	
d ~ 1-2 мкм	переходной слой - Si-CdTe
Подложка - Si	

Рис.3. Общий вид слоев и твердых растворов со скола сделанные на основе количественных анализов.

Из выращенных образцов выбирались пластины $\sim 1\text{см}^2$ для исследование фотоэлектрических свойств. Для этого создавались структуры $p/\text{Si} - p/\text{CdTe} - n/\text{CdS}$. Получались омические точечные контакты с двух сторон на основе индия (площадь контактов $S \sim 1\text{мм}^2$). Исследовались темновые вольтамперные характеристики (ВАХ) структур при комнатной температуре, зависимости которых приведены на рис.4. Как видно из рисунка ВАХ наблюдается

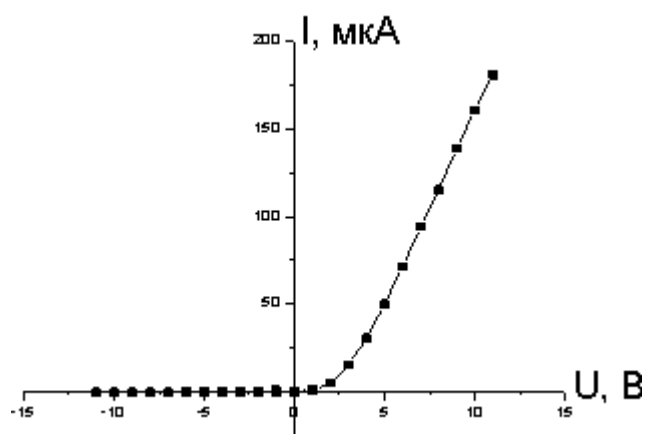


Рис.4. ВАХ структур $p/\text{Si} - p/\text{CdTe} - n/\text{CdS}$.

Также нами было исследовано спектральные характеристики структур рис. 5.

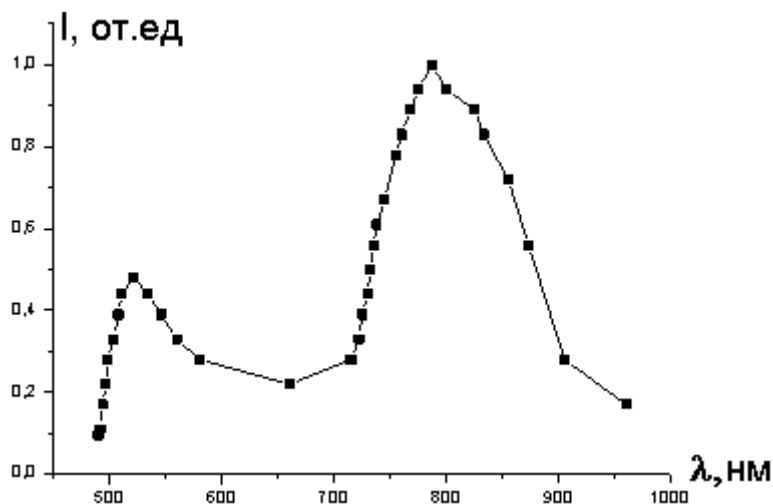


Рис.5. Спектральные характеристики структур $p/\text{Si} - p/\text{CdTe} - n/\text{CdS}$.

Из рис.5. видно, что спектральной характеристике наблюдается две максимума тоес максимумы структур раздваивается. Максимум в коротковолновой области соответствует силицида кадмия, а максимум в длинноволновой области относится к кремнию (твердому раствору кремния теллурида кадмия). Плато между максимумами соответствуют твердому раствору силицида кадмия – теллурида кадмия.

Также нами была исследована зависимости тока короткого замыкания от напряжения холостого хода рис. 6.

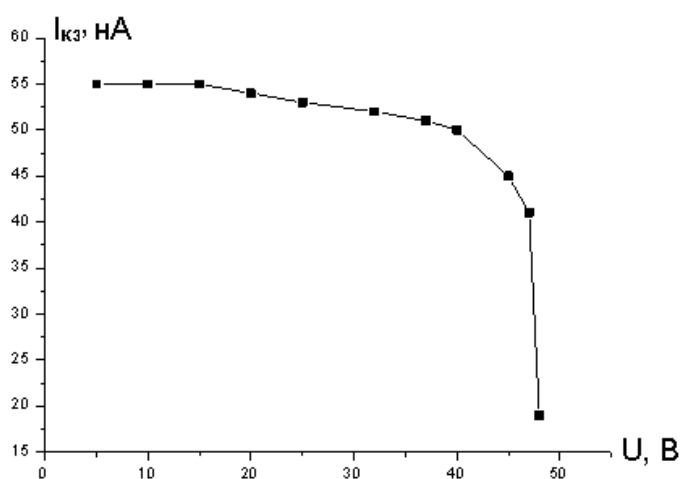


Рис.6. Зависимости $I_{кз} \sim U_{хх}$

Литература

1. R.W. Birkmire. Proc. 33rd IEEE Photovoltaic Specialists Conference (San Diego, 2008) p. 47.
2. http://www.firstsolar.com/large_scale_power_plants.php
3. С. Зи. *Физика полупроводниковых приборов*. (М., Мир, 1984) [Пер. с англ.: S.Sze. *Physics of Semiconductor Devies* (N.Y., Wiley, 1981)]
4. Г.С. Хрипунов. Влияние тыльного контакта на электрические свойства пленочных солнечных элементов на основе *CdS/CdTe*. *Физика и техника полупроводников*, 2006, том 40, вып.1. С. 117-121.
5. Г.С. Хрипунов. Структурные механизмы оптимизации фотоэлектрических свойств пленочных гетеросистем *CdS/CdTe*. *Физика и техника полупроводников*, 2005, том 39, вып.10, С. 1266-1270.
6. С.С. Горелик, М.Я. Дашевский. *Материаловедение полупроводников и диэлектриков*. Москва. «МИСИС». 2003.
7. В.В. Емцов, Ю.А. Николаев, Д.С. Полоскин, В.Ю.Рудь, Ю.В. Рудь, Е. И. Теруков, М.В. Якушев. *Фоточувствительность гетерофотоэлементов*

ZnO/CdS/Cu(In, Ga)Se₂ при γ – облучении. Физика и техника полупроводников, 2005. том 39, вып 12. С.1455-1458.

8. O. Landberg, M. Edoff, L. Stolt. ISES 2003. Abstract Book. Solar Word Congress. June 14-19, 2003 (Goteborg, Sweden,2003), p.57.