

## ГЕТЕРОПЕРЕХОД МЕЖДУ ТЕЛЛУРИД КАДМИЕМ И КРЕМНИЕМ.

И.Б. Сапаев, Б. Сапаев, М.М. Баиев, М.А. Махмудов, М.Б. Сапаева.

Физико-технический Институт, Научно-производственное объединение

«Физика - Солнце» Академия Наук Узбекистана, ул. Бодомзор йули 2Б, 100084, Ташкент, Узбекистан. E-mail: [mohim@inbox.ru](mailto:mohim@inbox.ru).

*Получена гетеропереход между соединениями  $A^2B^6$  (теллуридом кадмием) и кремнием. Исследованы распределение химических компонентов и некоторые фотоэлектрические свойства по поверхности полученных слоев.*

В настоящее время представляет особый интерес получение гетероперехода между CdTe и Si. Положительное решение этого вопроса был бы важным этапом в преобразование солнечной энергии в электрическую энергию. Такой гетеропереход являлся бы важным звеном создания солнечных элементов нового поколения, объединяющих реальную возможность кремниевых солнечных элементов с потенциальным преимуществом теллурида кадмиевых СЭ. Однако в получении CdTe – Si- гетероперехода имеются принципиальные трудности. Постоянные решетки CdTe и Si отличаются на 15%, что и препятствует в получении гетероперехода между ними без поверхностных состояний. Тем не менее, представление получение гетеропереходов в последнее время принципиально изменилось. Здесь имеется в виду, что образование промежуточного слоя при формировании двух любых контактов. Естественно состав промежуточного слоя зависит от свойства контактирующих материалов и технологических условий. Основным требованием здесь является то, что в промежуточном слое должно образоваться твердый раствор приводящей к сглаживанию постоянных решеток. Учитывая выше изложенных нами сделаны попытки получения гетероперехода между CdTe и Si достаточно хорошими свойствами. Основной упор при разработке технологии был сделан на получение твердого раствора такого состава, который максимально обеспечил бы сглаживание постоянных решеток CdTe и Si.

Тонкую пленку можно получить различными способами. Однако, чаще всего, тонкие пленки получают путем осаждения необходимого материала (в нашем случае CdTe) на подложку, атом за атомом. Наиболее распространенным методом является метод конденсации из паровой фазы. Именно этот процесс будет являться предметом данного параграфа, с помощью которого были получены –  $p$ CdTe –  $n$ Si гетероструктуры. С другой стороны получение тонких пленок с помощью вакуумного напыления представляет наибольший интерес с точки зрения практического применения, так как на их основе можно создать различные фоточувствительные структуры, обладающие высоким быстродействием благодаря малому времени жизни неосновных носителей.

К тому же, имеется возможность управления процессом напыления и, таким образом, получения качественных пленок напыляемого материала. Например, в работе [1; С. 36-39] исследовано влияние компенсации дополнительным источником паров Te в процессе роста на морфологию пленок CdTe, полученных вакуумным напылением. Показано, что регулированием температуры основного и компенсирующего источников можно получить пленок CdTe с проводимостью  $n$ - и  $p$ -типа.

Все исследованные гетероструктуры были получены описанным выше методом – путем термического напыления порошков бинарного соединения CdTe (полупроводниковой чистоты). Напыление CdTe производилось медленно, как это было описано в работе [2; С.768] в квазизамкнутой вакуумной системе с остаточным давлением  $10^{-5}$  Torr.

В качестве подложек были использованы кремниевые пластины толщи-ной 300-350  $\mu$ m, вырезанные в кристаллических направлениях (001) и (111) из слитков монокристаллического кремния  $n$ - проводимости с удельными сопротивлениями  $\rho \approx (5 -$

10)  $\Omega \cdot \text{cm}$ . Используемые в экспериментах Si-подложки были заранее подготовлены в заводских условиях согласно ГОСТ, т.е. подложки были получены готовыми. Однако, всетаки, имеющиеся на поверхности кремниевой пластины загрязнения, образованные в результате длительного хранения, требуют удаления их с поверхности подложки и освежения ее. Для чего нами был применен щелочной травитель на основе гидроксида калия [3; С.448], так как подложки были полностью подготовлены для применения, что не требовалось применение других способов очистки. Травитель состоял из 5%-ного водного раствора гидроксида калия. Травление производилось в течение 8 – 10 минут. После чего производилось тщательное промывание, так как гидроксид калия плохо удаляется со смоченной ею поверхности. Промывка проводилась вытеснительным методом [3; С.448] в два этапа: сначала подложки промывались проточной дистиллированной водой в течение 8 – 10 минут, затем деионизованной водой в течение 3 – 5 минут. После чего подложки высушивались в сушильном шкафу с инфракрасной сушкой в течение 15 – 20 минут.

Воспроизводимость образцов полученных на подложках, очищенных вышеописанным способом в 70 – 80% случаях получались с близкими параметрами (фоточувствительность и коэффициент усиления), в остальных 20 – 30% случаях отклонение основных параметров составляло 50 – 80%, а в некоторых случаях доходило до 100 – 120%.

При осаждении пленок температура тигля с источником (CdTe) варьировалась в интервале  $T_{\text{ист}} \approx 800 \div 850^\circ\text{C}$ , а температура подложки (nSi) поддерживалась в пределах  $T_{\text{п}} \approx 250 \div 270^\circ\text{C}$ . При этом для обеспечения воспроизводимости структур была применена заслонка, с помощью которой задавалась время напыления CdTe, что обеспечивало получения одинаковой толщины пленок от эксперимента к эксперименту.

Исследования поверхности образцов полученных пленок CdTe при помощи микроскопа МИИ-4 показали, что пленки CdTe состоят из плотно упакованных столбчатых кристаллитов (зерен) (рис.1), ориентированных в направлении роста пленок и разориентированных по азимуту. Еще при изучении поверхности пленок, анализа состояния ее рельефа, фазового контраста, потенциала и ее структурных изменений, вызванных в ходе технологического процесса и при внешних воздействиях, был применен метод атомно-силовой микроскопии (АСМ).

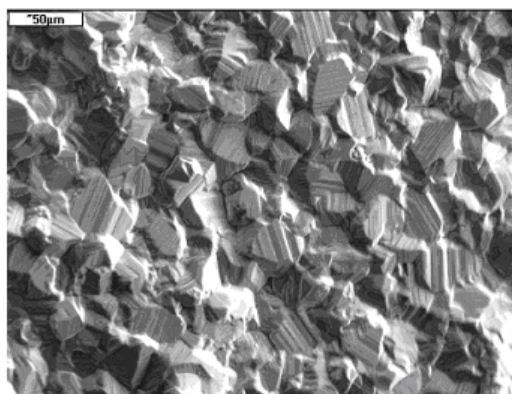


Рис.1. Микроснимок с поверхности слоев.

Морфологическими исследованиями полученных нами пленок, было установлено, что размеры кристаллитов сильно зависят от технологических режимов, прежде всего от температуры подложки  $T_{\text{с}}$ . Например, изготовленные при  $T_{\text{с}} = 300^\circ\text{C}$  пленки CdTe имели размеры кристаллитов  $\sim 8 \div 10 \mu\text{m}$ , полностью пронизывающих пленку толщиной  $w \approx 5$

$\mu\text{m}$ , которые имели проводимость  $p$ -типа с удельным сопротивлением  $\rho \geq (2-3) \cdot 10^6 \Omega \cdot \text{cm}$ .

При изготовлении образцов, контакты к структурам получались напылением индия (In) в вакууме, с тыльной стороны на Si-подложку сплошными.

Известно, что параметры кристаллической решетки CdTe отличается от кристаллической решетки Si почти на 15%. Однако из специальной литературы известно, что для создания гетероперехода с низкой плотностью поверхностных состояний, их различие не должно превышать 7% [4; С.425]. Однако, многочисленные исследования поверхностных состояний на границе раздела между слоем  $p\text{CdTe}$  и  $n\text{Si}$ -подложкой показали, что их плотность оказалась низкой, чем ожидалось в начале эксперимента.

Были получены слои CdTe на Si кремниевых подложках. Исследованы распределение химических элементов по поверхности полученных слоев. Анализы выполнены на микроаналитическом комплексе Jeol – JXA - 8900 с помощью ЭДС LINK ISIS (энергo-дисперсионный спектрометр); погрешность  $\pm 2.0\%$ . Условия съемки:  $V=20 \text{ kV}$ ,  $I=10 \text{ nA}$ . Эталоны: самородные Cd, Te и Si, для S – синтетический FeS. Результаты измерений и микрофотография приведены на рис. 2

Как видно из рис 2 интенсивности вторичных электронный эмиссии элементов кадмия и теллурида выбитых с поверхности слоев максимальная, это означает, что поверхность пленок в основном состоит из теллурида кадмия. Следующий слой состоит из твердого раствора теллурида кадмия и кремния.

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

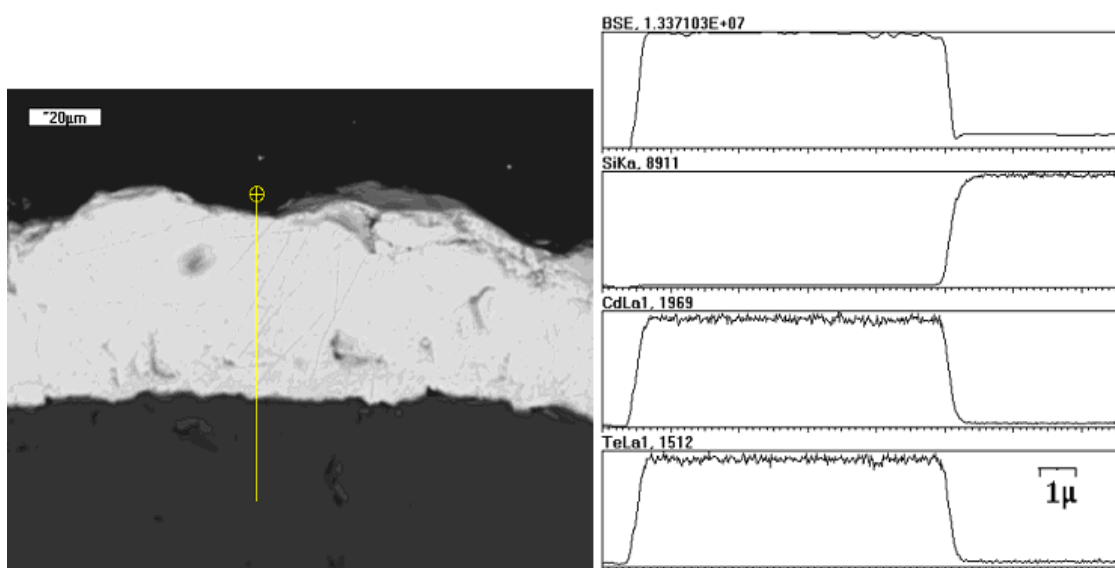


Рис. 2 а) и б). Микроснимок сделанные со скола слоев а) и ход зависимостей распределение химических элементов от толщины пленок б).

Измерение проводилось от нескольких точек. Результаты исследований зависимости химических элементов от толщины показывает, что во всех измеренных направлениях распределение химических элементов почти одинаковые и средний разброс не более  $\sim 5\%$ . Из рис 2б также видно каков ход зависимостей слоев по толщине пленок. Самый верхний микроснимок показывает кремниевый подложек. Следующие микроснимки показывают распределения химических элементов кадмия теллурида в слоях.

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  $a$ .

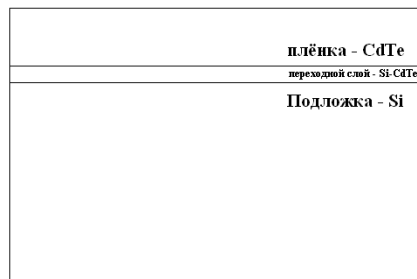


Рис.3. Общий вид слоев и твердых растворов со скола сделанные на основе количественных анализов.

Из выращенных образцов выбирались пластины  $\sim 1\text{см}^2$  для исследование фотоэлектрических свойств. Для этого создавались структуры  $n/Si - p/CdTe$ . Получали 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, которые приведены на рис.4.

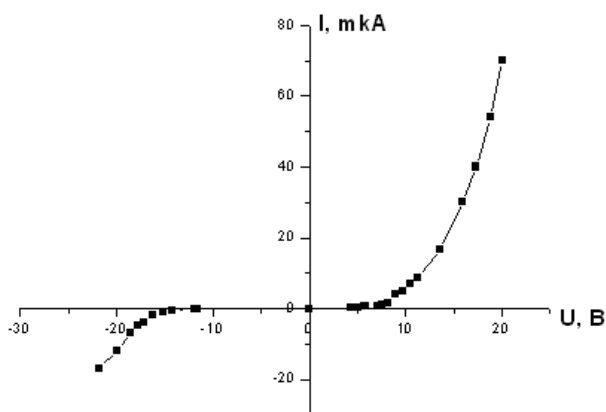


Рис.4. ВАХ структур  $n/Si - p/CdTe$

Также нами было исследовано спектральные характеристики структур  $n/Si - p/CdTe$ .

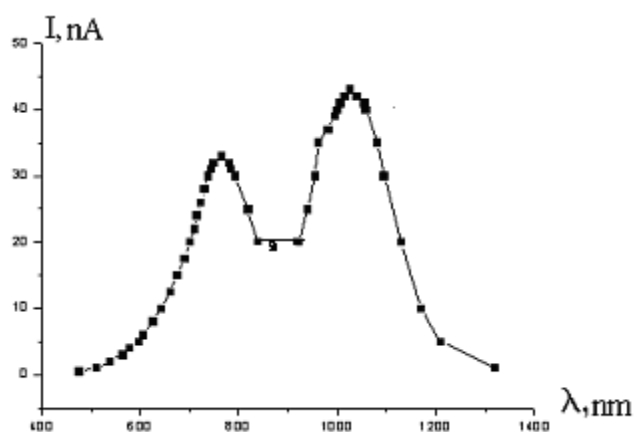


Рис.5. Спектральные характеристики структур  $n/Si - p/CdTe$

Длинноволновый максимум и его спад соответствуют ширине запрещенной зоны кремния. Коротковолновый максимум и его спад соответствуют ширине запрещенной зоны CdTe. Средний часть спектральной зависимости (плато между максимумы соответствующих кремния и теллурида кадмия) соответствуют твердому раствору образованному между кремнием и теллурида кадмия.

#### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нуриев И.Р., Мехрабова М.А., Назаров А.М., Садыгов Р.М., Гасанов Н.Г. Рост, структура и морфология поверхности эпитаксиальных пленок CdTe // ФТП, 2017, том 51, вып.1. –С.36-39.
2. Технология тонких пленок (справочник). Пер. с англ. Под ред. М.И.Елинсона и Г.Г.Смолко. –М.: Сов. радио, 1977. -768 с.
3. Малышева И.А. Технология производства микроэлектронных устройств: Учебное пособие. –М.: Энергия, 1980. -448 с.
4. Милнс А., Фойхт Д. Гетеропереходы и переходы металл-полупровод-ник. Под ред. проф. В.С.Вавилова. –М.: Мир. 1975. -425 с.