

12-30-2019

STRUCTURE AND ELECTRO PHYSICAL PROPERTIES OF SOLID SOLUTION $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CDS})_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$)

Xurshidjon M. Madaminov

Andijan State University, Andijan, 170100, str. University, 129 (Uzbekistan). E-mail: agsu_info@edu.uz

Follow this and additional works at: <https://uzjournals.edu.uz/adu>



Part of the [Physics Commons](#)

Recommended Citation

Madaminov, Xurshidjon M. (2019) "STRUCTURE AND ELECTRO PHYSICAL PROPERTIES OF SOLID SOLUTION $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CDS})_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$)," *Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research*: Vol. 1 : Iss. 2 , Article 5.

Available at: <https://uzjournals.edu.uz/adu/vol1/iss2/5>

This Article is brought to you for free and open access by 2030 Uzbekistan Research Online. It has been accepted for inclusion in Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research by an authorized editor of 2030 Uzbekistan Research Online. For more information, please contact sh.erkinov@edu.uz.

СТРУКТУРА И ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЕРДЫХ РАСТВОРОВ $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x (0 \leq x \leq 0.01)$

Х.М.Мадаминов

Мақолада «кремний-кадмий сульфиди» қаттиқ эритмалари асосидаги диод структуралардаги ток ўтиш жараёнлари ўрганилган. Олинган натижаларнинг кўрсатишича, тадқиқ этилган p-Si-n- $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x (0 \leq x \leq 0.01)$ структуралардаги ток кучининг ортиши турли механизмлар билан асосланар экан. Ток зичлигининг кичик қийматларида ток кучининг ортиши оддий локал марказлар ҳисобига инжекцияланган ток ташувчилар концентрациясининг ортиши билан тушунтирилса, ток зичлигининг катта қийматларида мазкур жараён ичида электрон алмашилиши рўй берадиган мураккаб комплекслар тўғрисида сўз қилинган бўлар экан.

Калит сўзлар: қаттиқ эритма, вольт-ампер характеристика, заряд ташувчилар ҳаракатчанлиги, рекомбинация модели, дрейф механизм.

В данной статье были изучены процессы токопрохождения в диодных структурах на основе твердых растворов «кремний-сульфид кадмия». Полученные результаты показали, что в исследованных образцах p-Si-n- $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x (0 \leq x \leq 0.01)$ структур, процессы токопрохождения определяются различными механизмами. При малых плотностях токов, его рост объясняется увеличением концентрации инжектированных носителей за счет простых локальных центров, а при больших плотностях тока оно определяется сложными комплексами, внутри которых происходит электронный обмен.

Ключевые слова: твердый раствор, вольт-амперная характеристика, подвижность зарядоносителей, модель рекомбинации, дрейфовый механизм.

1. Введение

Известно, что многие соединения A^2B^6 являются дорогостоящими материалами, и использование массивных элементов на их основе в широком масштабе будет ограничено с экономической точки зрения. Учитывая, что активная область оптоэлектронных элементов составляет несколько микрометров, целесообразным является выращивание таких соединений на доступных и дешевых подложках, каковым является, например, монокристаллический кремний. Однако из-за различия параметров решетки и коэффициентов термического расширения кремния и выращиваемых на нем эпитаксиальных пленок соединений A^2B^6 трудно получить качественные пленки непосредственно на кремниевых подложках [1-2]. Эти несоответствия можно исключить, используя промежуточный буферный слой, находящийся между подложкой и эпитаксиальным слоем. В качестве буферного слоя можно использовать варизонные твердые растворы $(\text{Si}_2)_{1-x}(A^2B^6)_x$ с изменяющимся составом ($0 \leq x \leq 1$). Буферный слой, сглаживая параметры решетки, предотвращает механическое напряжение между подложкой и эпитаксиальным слоем. Однако промежуточный слой может существенно влиять на электронные процессы во всей структуре в целом и, следовательно, на работу прибора на его основе [3-4].

Полупроводниковое соединение CdS, принадлежащее к классу A^2B^6 , и его твердые растворы с элементарными полупроводниками являются активными элементами фотопреобразователей и фотодатчиков, работающих как в видимой, так и в инфракрасной области спектра излучения. Выращивание таких твердых растворов на доступных кремниевых (Si) подложках представляет, как фундаментальный, так и практический интерес.

Следует подчеркнуть, что, несмотря на немалое количество работ по исследованию физических свойств полупроводниковых соединений, CdS продолжает оставаться актуальной задачей полупроводниковой микроэлектроники [5-8]. При этом внимание исследователей обращено не только на получение этого материала относительно дешевой технологией, как жидкофазная эпитаксия, но также и на изучение их фотоэлектрических и электрофизических свойств [9-10].

2. Образование твердых растворов на основе $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$

До настоящей работы в литературе мы не обнаружили данных о синтезе твердого раствора замещения на основе кремния и соединений CdS. С учетом зарядового состояния и геометрических факторов компонентов рассмотрим возможности образования твердого раствора на основе $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$.

Наш подход к возможности получения твердых растворов замещения на основе Si и CdS связан с условиями образования не прерывных твердых растворов замещения, основанных на молекулярно-статистических и кристаллохимических представлениях. Эти условия предложены в работе [11] в виде

$$\Delta z = \sum_{i=1}^m z_i^m - \sum_{i=1}^n z_i^n = 0, \quad (1)$$

$$\Delta r = \left| \sum_{i=1}^m r_i^m - \sum_{i=1}^n r_i^n \right| \leq 0.1 \sum_{i=1}^m r_i^m = 0, \quad (2)$$

где z_i^m , z_i^n – валентности, r_i^m , r_i^n – ковалентные радиусы атомов растворяющего m и растворяемого n химических элементов или элементов, образующих молекулы растворяющего и растворяемого соединений соответственно, $i=1, 2, 3, 4$.

Условие (1) предусматривает электро нейтральность, растворяемых химических элементов или соединений в растворяющем полупроводниковом материале. Оно выполняется тогда, когда растворяемые элементы изовалентны относительно растворяющего полупроводника.

Условие (2) предусматривает близость геометрических параметров растворяющего и растворяемого соединений, исключающую возникновение значительных искажений кристаллической решетки в твердых растворах. Чем меньше Δr , тем меньше энергия упругих искажений кристаллической решетки и, следовательно, тем больше кристаллическое совершенство твердого раствора и растворимость в m . Когда различие суммы ковалентных радиусов атомов молекул, образующих раствор, больше 10%, образование твердого раствора замещения этих компонентов незначительно.

Сумма валентностей атомов молекул Si_2 и CdS равна, и для них выполняются условия электронейтральности (1):

$$\Delta z = (z_{\text{Si}} + z_{\text{Si}}) - (z_{\text{Cd}} + z_{\text{S}}) = 0, \quad (1^*)$$

где z_{Si} , z_{Cd} и z_{S} – валентности атомов кремния, кадмия и серы, соответственно.

Суммы ковалентных радиусов атомов молекул Si_2 и CdS имеют близкие значения, тогда из условия (2) можно получить:

$$\Delta r = \left| (r_{\text{Si}} + r_{\text{Si}}) - (r_{\text{Cd}} + r_{\text{S}}) \right| = \left| 2,34 \text{ \AA} - 2,52 \text{ \AA} \right| = 0,18 \text{ \AA} \approx 0,077 \cdot (r_{\text{Si}} + r_{\text{Si}}) < 0,1 \cdot (r_{\text{Si}} + r_{\text{Si}}), \quad (2^*)$$

где r_{Si} , r_{Cd} и r_{S} – ковалентные радиусы атомов кремния, кадмия и серы по Полингу, соответственно. Из (2*) видно, что отличие суммы ковалентных радиусов атомов молекул Si_2 и CdS составляет порядка 7,7%, следовательно, эти компоненты удовлетворяют условию образования непрерывного твердого раствора замещения, представленного в [11].

Замещение Si_2 молекулой CdS сильно деформирует кристаллическую решетку, при этом энергия упругих искажений кристаллической решетки будет незначительной и твердый раствор замещения в виде $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ является стабильной твердой фазой. Пространственная конфигурация двух стабильных тетраэдрических связей твердого раствора $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$ представлена на рис. 1.

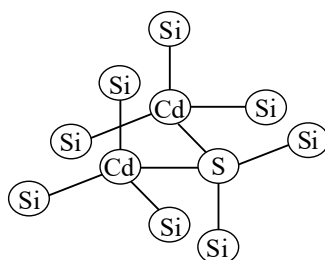


Рис. 1. Пространственная конфигурация двух тетраэдрических связей $(\text{Si}_2)_{1-x}(\text{CdS})_x$.

3. Подготовка образцов

Исходя из вышесказанного, была поставлена задача по изучению некоторых электрических свойств твердого раствора замещения $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$. Слои ТР выращивались описанным в работе [12] методом жидкофазной эпитаксии из ограниченного объема Sn раствора-расплава в атмосфере очищенного палладием водорода. В качестве подложек были использованы монокристаллические Si шайбы КДБ-0.01 с диаметром 20 мм, толщиной 400 мкм и кристаллографической ориентацией (111). При выращивании эпитаксиальных пленок состав раствора-расплава Sn-Si-CdS был определен на основе результатов предварительных опытов по растворимости Si и CdS в растворителе Sn и литературных данных [12-13]. В оптимальных режимах температура начала кристаллизации раствора-расплава составляла 1150 °С, скорость охлаждения - 1 град/мин и расстояние между горизонтально расположенными подложками 1 мм. При выбранных параметрах технологического процесса вся поверхность подложки была покрыта сплошной однородной эпитаксиальной пленкой. Поверхность пленки – гладко-зеркальная, по всей поверхности толщина эпитаксиального слоя была одинаковая и составляла в зависимости от продолжительности процесса 10–25 мкм. Специально нелегированные эпитаксиальные слои имели электронный тип проводимости.

Химический состав, структурное совершенство пленок твердых растворов $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ были проанализированы разными методами. Эпитаксиальные пленки твердых растворов $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$, выращенные на Si подложках при оптимальных технологических условиях исследовались (в ИИПИЛТ АНРУз) на InVia Раманспектрометре («Renishaw», Великобритания). Микрофотографии пленок $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ и подложек монокристаллического Si, полученные на рамановском спектрометре InVia приведены на рис. 2. а и б, соответственно.

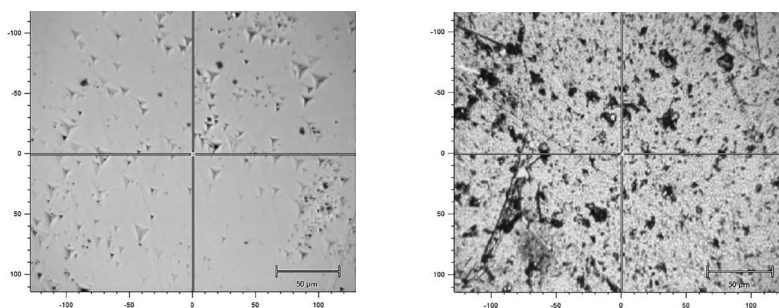


Рис. 2. Микрофотографии поверхностей исследуемых образцов:
а) поверхность подложки б) поверхность эпитаксиального слоя

Анализ рис. 2 показал, что пленки $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ имеют зеркально гладкую, блестящую поверхность, микрорельефы подложек (рис. 2а) и эпитаксиальных пленок (рис. 2б) идентичны, что предварительно свидетельствует об отсутствии макроскопических дефектов и однородности эпитаксиальных пленок.

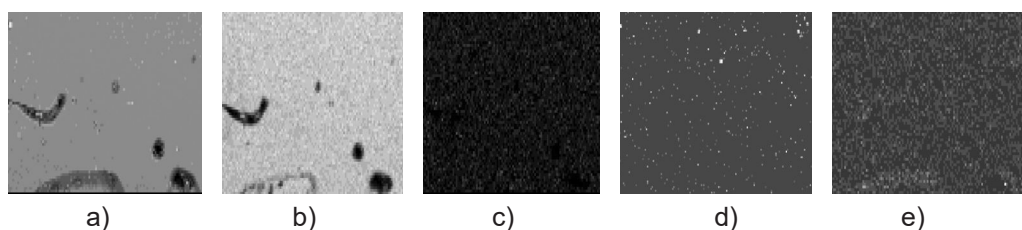


Рис. 3. Растровые картины поверхности эпитаксиального слоя твердого раствора $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$, полученные методами: а-вторичной электронной эмиссии, б- $Si_{K\alpha}$, в- $Sn_{K\alpha}$, д- $Cd_{K\alpha}$, е- $S_{K\alpha}$.

Рентгеноструктурный анализ химического состава поверхности и скола выращенных эпитаксиальных слоев (рис. 3), проведенный на микроанализаторе «Jeol» JSM 5910 LV-Japan, показал, что распределение компонентов по поверхности пленки однородное, а состав твердого раствора $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ по толщине слоя изменяется в пределах $0 \leq x \leq 0.01$.

Выращенные эпитаксиальные слои имели толщину ~ 20 мкм и n-типа проводимости с удельным сопротивлением ~ 0,016 Ом · см.

Как известно, самым лучшим показателем качества электрических свойств полупроводниковых структур является вольт-амперная характеристика (ВАХ) р-п перехода, полученная на основе этих соединений. Вид кривых ВАХ позволяет рассуждать о тех или иных свойствах р-п перехода. Поскольку обычно создания р-п переходов затрудняется образованием различного рода поверхностных состояний, которые резко снижают электрические параметры изготовленных на их основе приборов. Полученный р-п переход в едином технологическом цикле обуславливает уменьшение плотности поверхностных дефектов. Учитывая это обстоятельство, исследуемые р-п структуры были получены в едином технологическом цикле методом жидкофазной эпитаксии.

Следовательно, для определения основных характеристик р-Si-n-(Si₂)_{1-x}(CdS)_x структур были поставлены эксперименты по измерению ВАХ. Для этой цели, были изготовлены р-Si-n-(Si₂)_{1-x}(CdS)_x (0 ≤ x ≤ 0.01) структуры толщиной базового n-слоя W ≈ 20 мкм. При исследовании к структуре создались омические контакты методом вакуумного напыления серебра – сплошные с тыльной стороны и четырехугольные с площадью 4 мм² со стороны эпитаксиального слоя.

4. Экспериментальная часть

В ходе поставленных экспериментов были измерены темновые ВАХ. Измерение ВАХ было проведено при комнатной температуре T = 293 К в режимах прямого и обратного токов. В прямой ветви ВАХ (рис. 4), в диапазоне напряжения до 3.0 В, насыщения по току не наблюдается, что свидетельствует о низкой плотности поверхностных состояний. Из этого можно допустить, что в данной структуре с ростом приложенного напряжения более ярко проявляются выпрямляющие свойства. Для достоверности этого, были определены коэффициенты выпрямления. Из рис. 3. видно, что, структура обладает выпрямляющими свойствами, коэффициент выпрямления которого изменяется в интервале 1.1 – 3.5 при изменении приложенного напряжения к структуре от 0 до 1 В. При малых напряжениях токи, проходящие в обоих направлениях, почти одинаковы, что обусловлено образованием утечки в р-п переходах. От 1.1 до 3 В коэффициенты выпрямления изменяются в интервалах 3.6 – 5.4, т.е. при больших напряжениях улучшаются выпрямляющие свойства структур.

На рис 4. приведена прямая ветвь ВАХ исследованной структуры в двойном логарифмическом масштабе при комнатной температуре. Характерные участки ВАХ в прямом направлении тока имеют следующую последовательность: начальный участок от 0.1 до 0.2 В представляет участок близкий квадратичному с показателем m = 1.8. После участка близкого квадратичному от 0.2 В до 0.84 В наблюдается участок с показателем m = 3.5 и далее при напряжениях от 0.84 В до 4.4 В следует квадратичный участок с показателем m = 2.0.

5. Теоретическая часть

Последовательные участки прямой ветви ВАХ (рис. 4) исследованной структуры можно объяснить, исходя из модели рекомбинации, учитывающей инерционность электронного обмена между рекомбинационными комплексами типа “дефект+примесь” [14].

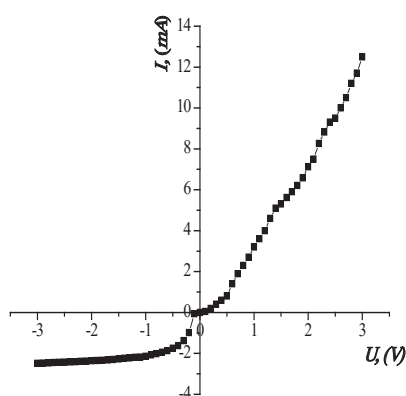


Рис. 4. Темновая вольтамперная характеристика р-Si-n-(Si₂)_{1-x}(CdS)_x (0 ≤ x ≤ 0.01) структур при комнатной температуре

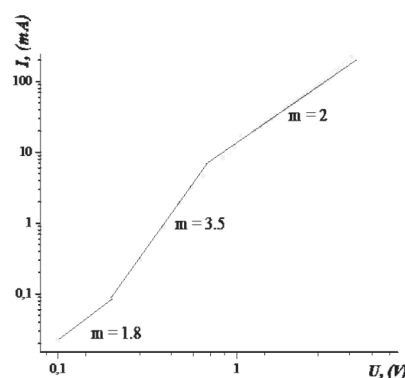


Рис. 5. Последовательность характерных участков прямой ветви ВАХ р-Si-n-(Si₂)_{1-x}(CdS)_x (0 ≤ x ≤ 0.01) структур

В этом случае скорость рекомбинации существенно отличается от скорости рекомбинации по Шокли-Риду, и имеет вид [14]:

$$u = N_R \frac{c_n c_p (np - n_i^2)}{c_n (n + n_1) + c_p (p + p_1) + \alpha \tau_i np}, \quad (3)$$

здесь N_R - концентрация рекомбинационных центров; n , p - концентрация свободных электронов и дырок соответственно; n_i - собственная концентрация носителей заряда в полупроводнике; c_n , c_p - коэффициенты захвата электронов и дырок соответственно; n_1 , p_1 - статистические факторы Шокли-Рида; τ_i - время процесса электронного обмена внутри рекомбинационного комплекса.

Когда рекомбинационные процессы с учетом внутрикомплексного обмена только начинают влиять, т.е. когда $c_n (n + n_1) + c_p (p + p_1) > \alpha \tau_i np$ - решение уравнения

$$D_a \frac{d^2 p}{dx^2} - v_a \frac{dp}{dx} - u = 0, \quad (4)$$

описывающее процесс прохождения тока через р-п переход с достаточно длинной базой дает

$$U \propto M(I) \cdot \sqrt{I}, \quad (5)$$

где $M(I) \approx 1 + 3m \cdot (2 + C(\alpha \tau_i / c_n) \sqrt{I})^2$, m и C - параметры, зависящие от свойств материала, I - плотность тока. С учетом условия $c_n (n + n_1) + c_p (p + p_1) > \alpha \tau_i np$, участок ВАХ от 0.1 В до 0.2 В, где наблюдается зависимость $I \propto U^{1.8}$ можно аппроксимировать по зависимости (5). Иными словами, можно сказать, что на данном участке ВАХ наблюдается режим близкий к квадратичному (Лампертовскому), но отличающийся появлением множителя M , который является функцией тока.

Далее, процесс внутрикомплексного обмена начинает существенно влиять на токопрохождение через структуру с ростом уровня возбуждения, член в знаменателе (3) становится существенным - $\alpha \tau_i np > c_n (n + n_1) + c_p (p + p_1)$ и решение уравнения (4) дает вид ВАХ, описывающий появление следующего участка $I \propto U^{3.5}$ в виде

$$U = A + B \cdot \sqrt{I} - D / \sqrt{I}, \quad (6)$$

где $A = \frac{(b+1)W^2 N_R}{N_D \mu_p \tau_i}$, $B = \frac{W}{q \mu_p (b+1)C}$, $D = \frac{2(b+1)W^2 N_R c_n}{N_D \mu_p \alpha \tau_i^2 C}$ - параметры, зависящие от свойств

материала базы р-п перехода, в данном случае от свойств твердого раствора р-Si-n-(Si₂)_{1-x}(CdS) (0 ≤ x ≤ 0.01).

Предлагаемая модель предсказывает последовательную смену лампертовского закона $U \propto \sqrt{I}$ на более сильную зависимость (6). С нашей точки зрения, она может объяснить наблюдавшиеся многими авторами ВАХ, обычно описываемые эмпирической зависимостью, а затем на новый, квадратичный по напряжению участок ВАХ $I \propto U^m$. Такие ВАХ наблюдаются на диодных структурах, изготавливаемых из самых различных материалов как аморфных, так и кристаллических [15-17].

Когда выполняется условие $c_n (n + n_1) + c_p (p + p_1) \gg \alpha \tau_i np$, решение уравнения (4) дает

$$U = B_0 \cdot \sqrt{I}. \quad (7)$$

Здесь $B_0 = \sqrt{\frac{8W^3}{9q \mu_p \mu_n \tau_p N_D}}$; μ_p , τ_p - подвижность и время жизни дырок, μ_n - подвижность электронов,

I - плотность тока. Иными словами, можно сказать, что на данном участке ВАХ наблюдается квадратичный режим, который обуславливается преобладанием дрейфового режима токопереноса.

Появление наблюдаемых участков быстрого роста прямого тока можно объяснить дрейфовым механизмом токопереноса в условиях омической релаксации объемного заряда с учетом инерционности электронного обмена внутри рекомбинационного комплекса.

6. Заключение

Впервые на монокристаллических *p-Si* подложках с ориентацией (111) методом жидкофазной эпитаксии из оловянного раствора-расплава выращены монокристаллические твердые растворы $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ *n*-типа проводимости. Образование таких твердых растворов замещения обусловлено изovalентностью и близостью сумм ковалентных радиусов атомов молекул компонентов твердых растворов.

Экспериментально показано, что жидкофазная эпитаксия твердого раствора $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ из раствора-расплава *Sn-Si-CdS* сопровождается наращиванием на *Si* подложке последовательных подслоев $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ с плавно изменяющимся составом, т.е. $(0 \leq x \leq 0.01)$. Переход от *Si* подложки к эпитаксиальному слою через переходный слой $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$, обогащенный *Si* слой обусловлен минимизацией энергии искажений кристаллической решетки.

Были изготовлены *p-Si-n-(Si₂)_{1-x}(CdS)_x* $(0 \leq x \leq 0.01)$ структуры с толщиной базового *n*-слоя $W \approx 20$ мкм в едином технологическом цикле методом жидкофазной эпитаксии.

Установлено, что в исследованных *p-Si-n-(Si₂)_{1-x}(CdS)_x* структурах процессы токопрохождения определяются различными механизмами, если учесть, что при малых плотностях тока его рост объясняется увеличением концентрации инжектированных носителей за счет простых локальных центров, а при больших плотностях тока определяется рекомбинационными процессами, происходящими в сложных комплексах, внутри которых происходит электронный обмен. Именно этот факт показывает, что в данной структуре с ростом приложенного напряжения более ярко проявляются выпрямляющие свойства.

Кроме того, показано, что прямая ветвь вольт-амперных характеристик *p-Si-n-(Si₂)_{1-x}(CdS)_x* $(0 \leq x \leq 0.01)$ структур в прямом направлении тока $I \propto U^m$ состоит из нескольких участков, в которых *m* имеет различные значения, которые возникают за счет образования сложных рекомбинационных комплексов типа «отрицательно заряженный акцептор-положительно заряженный ион внедрения» или «положительно заряженный донор-отрицательно заряженная вакансия», что приводит к «задержке» рекомбинационных процессов.

Также определено, что в таких твердых растворах скорость рекомбинации определяется не только природой комплексов и простых заряженных центров, но и локальными центрами нанобразований или одновременным участием комплексов и локальных центров.

Эпитаксиальные пленки твердых растворов $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ $(0 \leq x \leq 0.01)$, полученные на кремниевых подложках, считаются новыми полупроводниковыми материалами и могут быть использованы как фотоактивный элемент для разработки солнечных элементов. Структуры, полученные на их основе, описание механизмов, протекающих в них физических процессов, представляют как теоретический, так и практический интерес для полупроводникового материаловедения.

В итоге можно предположить, что исследуемые в работе эпитаксиальные пленки твердых растворов $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ $(0 \leq x \leq 0.01)$ могут быть перспективными материалами для диодов, выпрямляющих высокие токи.

Автор выражает признательность профессору А.С.Саидову – за предоставление исследуемых образцов, профессору А.Ю.Лейдерману и д.ф.-м.н. Ш.Н.Усманову – за плодотворные дискуссии и оказанную помощь при подготовке статьи.

*Работа выполнена в рамках проекта
Государственной научно-технической программы
(Грант ОТ-Ф2-68).*

Литература

1. Алферов Ж.И. Наука и общество. – Санкт-Петербург: Наука, 2005. – 383 с.
2. Саидов А.С. Жидкостная эпитаксия твердых растворов $(V_2)_{1-x}(A^3B^5)_x$ // Узбекский физический журнал, 1993. – №4. – С.48–51.
3. Herndon M.K., Gupta A., Kaydanov V.I., Collins R.T. Evidence for grain-boundary-assisted diffusion of sulfur in polycrystalline CdS/CdTe heterojunctions // *Applied Physics Letters*, 1999. – Vol. 75. – P. 3503–3508.
4. Ohata K., Sarate J., Tanaka T. Optical Energy Gap of the Mixed Crystal CdS_xTe_{1-x} . // *Japanese Journal of Applied Physics*, 1973. – Vol.12, Issue 10. – P. 1641.
5. Tomakin M., Altunbas M., Bacaksiz E., Polat I. Preparation and characterization of new window material CdS thin films at low substrate temperature (< 300 K) with vacuum deposition // *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2011. – Proc. 14. – P. 120–127.
6. Castro-Rodriguez R., Mendez-Gamboa J., Perez-Quintana I., Medina-Ezquivel R. CdS thin films growth by fast evaporation with substrate rotation // *Applied Surface Science*, 2011. – 257. – P. 9480–9484.
7. Castro-Rodriguez R., Oliva A.I., Sosa V., Caballero-Briones F., Pena J.L. Effect of indium tin oxide substrate roughness on the morphology, structural and optical properties of CdS thin films // *Applied Surface Science*, 2010. – 161. – P. 340–346.
8. Kim M., Min B.K., Kim C.D., Lee S., Kim H.T., Jung S.K., Sohn S. Study of the physical property of the cadmium sulfide thin film depending on the process condition // *Current Applied Physics*, 2010. – №10. – P. S455–S458.
9. Саидов А.С., Лейдерман А.Ю., Усмонов Ш.Н., Холиков К.Т. Вольт-амперная характеристика p-n-структур на основе непрерывного твердого раствора $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ // *Физика и техника полупроводников*, 2009. – Т.43, вып. 4. – С. 436–438.
10. Саидов А.С., Усмонов Ш.Н., Холиков К.Т., Сапаров Д. Спектральная чувствительность твердого раствора $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$. // *Письма в журнал технической физики*, 2007. – Том 33, вып. 20. – С.5–10.
11. Саидов М.С. Твердые растворы многокомпонентных полупроводниковых соединений с нанодфектами и примесные вольтаические эффекты в фотоэлементах // *Гелиотехника*, 2006. – №4. – С.48–54.
12. Saidov A.S., Razzakov A.Sh., Risaeva V.A., Koschanov E.A. Liquid-phase epitaxy of solid solution $(Ge_2)_1-x(ZnSe)_x$ // *Materials Chemistry and Physics*, 2001. – Vol. 68. – P.1–6.
13. Хансен М., Андерко К. Структуры двойных сплавов. – Москва: Металлургиздат, 1962. – 682 с.
14. Лейдерман А.Ю., Минбаева М.К. Механизм быстрого роста прямого тока в полупроводниковых диодных структурах // *Физика и техника полупроводников*, 1996. – Т. 30, Вып. 10. – С. 1729–1738.
15. Зайнабидинов С.З., Мадаминов Х.М. Влияние рекомбинационных процессов на механизм токопрохождения в pSi-nSi_{1-x}Sn_x ($0 \leq x \leq 0.04$) структурах // *Петербургский журнал электроники*, 2017. – №4. – С. 8 – 13.
16. Усмонов Ш.Н., Мирсагатов Ш.А., Лейдерман А.Ю. Исследование вольт-амперной характеристики гетероструктуры n-CdS/p-CdTe в зависимости от температуры // *Физика и техника полупроводников*, 2010. – Т.44, вып. 3. – С. 330–334.
17. Мирсагатов Ш.А., Лейдерман А.Ю. Атабоев О.К. Механизм переноса тока в инжекционном фотодиоде на основе структуры In-n⁺-CdS-n-CdS_xTe_{1-x}-p-ZnCd_{1-x}Te-Mo // *Физика твердого тела*, 2013. – Т.55, вып. 8. – С.1635–1646.

STRUCTURE AND ELECTRO PHYSICAL PROPERTIES OF SOLID SOLUTION $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq X \leq 0.01$)

X.M.Madaminov¹

Ilmiy xabarnoma. Fizika-matematika tadqiqotlari –Scientific Bulletin. Physical and Mathematical Research. 2019. 2. 40 – 48.

¹Andijan State University, Andijan, 170100, str. University, 129 (Uzbekistan). E-mail: agsu_info@edu.uz

Keywords: a solid solution, current-voltage characteristic, charge mobility, model recombination, the mechanism of drift.

This paper shows the possibility of obtaining a single-crystal solid solution for the substitution of p-Si-n- $(Si_2)_{1-x}(CdS)_x$ ($0 \leq x \leq 0.01$) on silicon substrates with a diameter of 20 mm and thickness ≈ 400 , with a crystallographic orientation (111) n-types of conductivity with a specific resistance of 1 Ω cm, by the method of liquid

phase epitaxy from Sn – Si – CdS solution – melt in a hydrogen atmosphere purified by palladium. Perfect epitaxial layers with mirror surfaces and with the best parameters are grown under the following technological conditions: temperatures start crystallization –1150 °C, speed of forced cooling is 1 deg / min. The grown epitaxial films had thicknesses of 20 μm and n was a conductivity type with specific resistances of 0,016 Ω · cm.

In the course of the experiments, the dark *I-V* characteristics were measured. Measurements of the current-voltage characteristics were carried out at room temperature $T = 293\text{ K}$ in the modes of direct and reverse currents. In the direct branch of the *I-V* characteristic, no current saturation is observed in the voltage range up to 3.0 V, which indicates a low density of surface states. From this it can be assumed that with this applied voltage, the rectifying properties are more pronounced in this structure. For the validity of this, rectification coefficients were determined.

Studies of the mechanisms of current transfer in p-Si-n-(Si₂)_{1-x}(CdS)_x structures at room temperature in the forward direction have established that the IVC consists of several characteristic sections. The characteristic sections of the current – voltage characteristic in the forward direction of the current have the following sequence: the initial section from 0.1 to 0.2 V represents the area close to the quadratic with the index $m = 1.8$. After the area close to the quadratic from 0.2 V to 0.84 V there is a sec-

tion with the index $m = 3.5$ and further at voltages from 0.84 V to 4.4 V there follows a quadratic section with the index $m = 2.0$.

In this case, the recombination rate is significantly different from the recombination rate according to Shockley-Read.

The successive sections of the direct branch of the current – voltage characteristics of the structure under study can be explained on the basis of a recombination model that takes into account the inertia of electron exchange between recombination complexes of the “defect + impurity” type.

It has been established that in the studied p-Si-n-(Si₂)_{1-x}(CdS)_x structures, the processes of current passage are determined by various mechanisms. If we take into account that, at low current densities, its growth is explained by an increase in the concentration of injected carriers due to simple local centers, and at high current densities, it is determined by recombination processes occurring in complex complexes, within which electronic exchange occurs. This fact shows that with this applied voltage, the rectifying properties are more pronounced in this structure.

As a result, it can be assumed that the epitaxial films of solid solutions (Si₂)_{1-x}(CdS)_x ($0 \leq x \leq 0.01$) investigated in the work can be promising materials for diodes that rectify their high currents.

References

1. Alferov, Zh.I. (2005) *Nauka i obshchestvo* [Science and society]. Sankt-Peterburg: Nauka.
2. Saidov, A.S. (1993) Zhidkostnaya epitaksiya tverdykh rastvorov (IV₂)_{1-x}(A³B⁵)_x [Liquid epitaxy of solid solutions (IV₂)_{1-x}(A³B⁵)_x]. *Uzbekskii fizicheskii zhurnal*. Issue 4. Pp. 48-51.
3. Herndon, M.K., Gupta, A., Kaydanov, V.I., Collins, R.T. (1999) Evidence for grain-boundary-assisted diffusion of sulfur in polycrystalline CdS/CdTe heterojunctions. *Applied Physics Letters*. Vol. 75. Pp. 3503-3508.
4. Ohata, K., Sarate, J., Tanaka, T. (1973) Optical Energy Gap of the Mixed Crystal CdS_xTe_{1-x}. *Japanese Journal of Applied Physics*. Vol. 12. Issue 10. Pp. 1641.
5. Tomakin, M., Altunbas, M., Bacaksiz, E., Polat, I. (2011) Preparation and characterization of new window material CdS thin films at low substrate temperature (< 300 K) with vacuum deposition. *Materials Science in Semiconductor Processing*. Proc. 14. Pp. 120-127.
6. Castro-Rodriguez, R., Mendez-Gamboa, J., Perez-Quintana, I., Medina-Ezquivel, R. (2011) CdS thin films growth by fast evaporation with substrate rotation. *Applied Surface Science*. 257. Pp. 9480-9484.
7. Castro-Rodriguez, R., Oliva, A.I., Sosa, V., Caballero-Briones, F., Pena, J.L. (2010) Effect of indium tin oxide substrate roughness on the morphology, structural and optical properties of CdS thin films. *Applied Surface Science*. 161. Pp. 340-346.
8. Kim, M., Min, B.K., Kim, C.D., Lee, S., Kim, H.T., Jung, S.K., Sohn, S. (2010) Study of the physical property of the cadmium sulfide thin film depending on the process condition. *Current Applied Physics*. 10. Pp. S455-S458.
9. Saidov, A.S., Leyderman, A.Yu., Usmonov, Sh.N., Kholikov, K.T. (2009) Vol't-ampernaya kharakteristika p-n-struktur na osnove nepreryvnogo tverdogo rastvora (Si₂)_{1-x}(CdS)_x [Current-voltage characteristic of p-n-structures on the base of continuous solid solution (Si₂)_{1-x}(CdS)_x]. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov*. Sankt-Peterburg. Vol. 43. Issue 4. Pp. 436-438.
10. Saidov, A.S., Usmonov, Sh.N., Kholikov, K.T., Saporov, D. (2007) Spektralnaya chuvstvitelnost tverdogo rastvora (Si₂)_{1-x}(CdS)_x [The spectral sensitivity of the solid solution (Si₂)_{1-x}(CdS)_x]. *Pisma v zhurnal tekhnicheskoy fiziki*. Sankt-Peterburg. Vol. 33. Issue 20. Pp. 5-10.

11. Saidov, A.S. (2006) Tverдые rastvory mnogokomponentnyh poluprovodnikovyyh soedinenij s nanodefektami i primesnye vol'taicheskie efekty v fotoelementah [Solid solutions of multicomponent semiconductor compounds with nanodefects and impurity voltaic effects in photovoltaic cells]. *Geliotekhnika*. 4.Pp. 48-54.

12. Saidov, A.S., Razzakov, A.Sh., Risaeva, V.A., Koschanov, E.A. (2001) Liquid-phase epitaxy of solid solution $(\text{Ge}_{2/3}\text{ZnSe})_x$ // *Materials Chemistry and Physics*. Vol. 68.Pp.1-6.

13. Gansen, M., Anderko, K.(1962) *Struktury dvojnyh splavov* [Double alloy structure]. Moscow: Metallurgizdat.

14. Leiderman A.Yu., Minbayeva, M.K. (1996) Mekhanizm bystrogo rosta pryamogo toka v poluprovodnikovyyh diodnyh strukturah [The mechanism of rapid growth of direct current in semiconductor diode structures]. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov*. Vol. 30. Issue 10.Pp. 1729-1738.

15. Zainabidinov, S.Z., Madaminov, Kh.M. (2017) Vliyanie rekombinatsionnyh processsov na mekhanizm tokoprohozheniya v $p\text{Si-nSi}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$) strukturah [The effect of recombination processes on the mechanism of current transport in $p\text{Si-nSi}_{1-x}\text{Sn}_x$ ($0 \leq x \leq 0.04$) structures]. *Peterburgskiy zhurnal elektroniki* Vol. 8. Issue 4. Pp. 8-13.

16. Usmonov, Sh.N., Mirsagatov, Sh.A., Leyderman, A.Yu. (2010) Issledovanie vol't-ampernoï kharakteristiki geterostruktur $n\text{-CdS/p-CdTe}$ v zavisimosti ot temperatury [Investigation of temperate dependence of $n\text{-CdS/p-Cd-Te}$ heterostructure current–voltage characteristic]. *Fizika i tekhnika poluprovodnikov*. Vol. 44. Issue 3.Pp. 330-334.

17. Mirsagatov, Sh.A., Leiderman, A.Yu., Ataboev, O.K. (2013) Mekhanizm perenosa toka v injeksionnom fotodiode na osnove strukturi $[\text{In-n}^+\text{-CdS-n-CdS}_x\text{Te}_{1-x} - p\text{-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te-Mo}]$ [Mechanism of charge transfer in Injection photodiodes based on the $\text{In-n}^+\text{-CdS-n-CdS}_x\text{Te}_{1-x} - p\text{-Zn}_x\text{Cd}_{1-x}\text{Te - Mo}$ structure]. *Fizika tverdogo tela*. Vol. 55. Issue 8. Pp. 1635-1646.

Муаллиф ҳақида маълумот:

Мадаминов Хуршидҷон Мухамедович – Андижон давлат университети физика кафедраси доценти, физика-математика фанлари номзоди. E-mail: khurmad@mail.ru.