

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СЛОЁВ ДИОДА С БАРЬЕРОМ ШОТТКИ Al-pCdTe-Mo

Ш.А. Мирсагатов, С.А. Музафарова, А.С. Ачилов, А.А. Мовлонов

Физико-технический Институт АН РУз (Ташкент)

Узбекистан

Поступила в редакцию 03.01.2012

В данной работе исследован промежуточный слой в структуре барьера Шоттки Al-pCdTe. Рентгенофазный анализ и фотоэлектрический метод исследования показали, что промежуточный слой между Al и pCdTe достаточно сложен по составу. В нем имеются все три α - β - γ модификации Al_2O_3 и тонкий слой композитного материала с составом $(C_{60})_{1-x}-(CdTe)_x$ с $x \geq 0.5$. Общая толщина промежуточного слоя согласно емкостным и рентгеноструктурным измерениям составляет не более $\sim 200 \text{ \AA}$. Показано, что в структуре Al-pCdTe базовый материал, в основном, состоит из однородного слоя CdTe кубической модификации.

Ключевые слова: промежуточный слой, емкостные и рентгеноструктурные измерения, базовый материал.

У даній роботі досліджений проміжний шар у структурі бар'єра Шоттки Al-pCdTe. Рентгенофазний аналіз і фотоелектричний метод дослідження показали, що проміжний шар між Al і pCdTe досить складний за складом. У ньому є всі три α - β - γ модифікації Al_2O_3 і тонкий шар композитного матеріалу із складом $(C_{60})_{1-x}-(CdTe)_x$ з $x \geq 0.5$. Загальна товщина проміжного шару відповідно до ємнісних і рентгеноструктурних вимірів становить не більше $\sim 200 \text{ \AA}$. Показано, що в структурі Al-pCdTe базовий матеріал, в основному, складається з однорідного шару CdTe кубічної модифікації.

Ключові слова: проміжний шар, ємнісні та рентгеноструктурні виміри, базовий матеріал.

In the given work the intermediate layer in structure of barrier Шоттки Al-pCdTe is investigated. Рентгенофазный the analysis and a photo-electric method of research have shown, that the intermediate layer between Al and pCdTe is combined enough on structure. In it there are all three α - β - γ updatings Al_2O_3 and a thin layer of a composit material c structure $(C_{60})_{1-x}-(CdTe)_x$ with $x \geq 0.5$. The general thickness of an intermediate layer according to capacitor and roentgenostructuring to measurements makes no more than $\sim 200 \text{ \AA}$. It is shown, that in structure Al-pCdTe a base material, basically, consists of homogeneous layer CdTe of cubic updating.

Keywords: intermediate layer, capacitor and roentgenostructuring measurements, base material.

ВВЕДЕНИЕ

Теллурид кадмия является основным материалом для создания детекторов жесткого рентгеновского и γ -излучения, которые широко применяются в науке, технике, медицине и других областях. Большие атомные номера компонент материала $Z = 48$ (Cd) и $Z = 52$ (Te) обеспечивают более высокую эффективность по сравнению с детекторами на основе кремния. Большая ширина запрещенной зоны теллурида кадмия (1.5 эВ) обеспечивает работу без криогенного охлаждения. Применение в детекторе CdTe предполагает высокое удельное сопротивление материала, значить его высокую чистоту и совершенство кристаллической структуры. Эти требования в значительной степени ослабляются, если один

из омических контактов к CdTe заменить контактом Шоттки [1 – 3]. Бесспорным преимуществом CdTe детекторов с диодом Шоттки являются малые темновые токи и благоприятные условия для собирания зарядов, генерированных при поглощении высокоэнергетических квантов.

Несмотря на достигнутые технические успехи в создании диодов Шоттки [1 – 4], ряд физических вопросов соответствующих к диодам Шоттки, изготовленных на основе CdTe, остаются невыясненными. Как показали, исследования последних лет, что в гетерогенной системе металл-полупроводник образуется промежуточный слой [5 – 7], который значительной степени может повлиять на выходные параметры структуры. При этом ато-

мая и электронная структура металла существенно влияет на физико-химические процессы, протекающие на границе раздела: металл-полупроводник. Так как, взаимодействие между металлом и полупроводником определяется не только от типа химической связи полупроводника, но значительной степени определяется структурно-морфологическими характеристиками тонкого металлического слоя барьера Шоттки и омического контакта типа рCdTe-Мо. В результате, они влияют на интенсивность диффузионных процессов и фазообразование в переходных слоях в диодной структуре. Поэтому исследование реального строения диода с барьером Шоттки Al-pCdTe и омического контакта рCdTe-Мо.представляет не только научно-фундаментальный, но и практический интерес.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Образцы и методики исследования. Диоды Шоттки изготовлены способом напыления тонкого металлического слоя из чистого алюминия Al в вакууме $\sim 10^{-5}$ Торр на поверхность крупноблочных пленок теллурида кадмия рCdTe со столбчатой структурой зерен. Тыльным контактом служил молибденовая Мо подложка особой чистоты. Пленки рCdTe имели удельное сопротивление $\rho \approx 10^5 - 10^7$ ВЧсм и время жизни неосновных носителей порядка $\tau = 10^{-7} - 10^{-6}$ с. Толщина пленок рCdTe составляла ~ 30 нм. Размеры зерен поликристаллического рCdTe находятся в пределах от 100 до 150 нм, зерна охватывают всю толщину пленки.

Активационный анализ [8] и измерение оже-спектроскопии [9] показывают, что на поверхности таких пленок рCdTe, выращенных методом сублимации в потоке водорода имеются избыток атома углерода С, вероятно, которые на поверхности пленок рCdTe поступают из графитового тигля, откуда испаряется порошок теллурид кадмия в процессе синтеза в потоке водорода [10]. Установлено, что с повышением температуры испарения порошка из тигля увеличивается количество атомов углерода С на поверхности пленок рCdTe. Верхний контакт Al имел площадь от $S \approx 4$ мм² до $S \approx 1$ см². Такая структура с

верхним металлическим слоем с площадью $S \approx 7$ мм² имела обратный ток $\sim (2 \div 5) \cdot 10^{-9}$ А и коэффициент выпрямления $k = I_{\text{пр}}/I_{\text{обр}} = 10^3 \div 10^4$ (при $V = 10$ В) с толщиной верхнего контакта Al $d \sim 0,1$ мм.

Для выяснения реального строения барьера Шоттки Al-pCdTe проводились рентгеноструктурный фазовый анализ. Спектральное распределение фоточувствительности и вольт-фарадные характеристики сняты в прямом и обратном направлениях тока. Рентгеноструктурный анализ проводился на установке ДРОН-2 (Cu-излучение, Ni-фильтр) Информационная глубина которого составляет 300 нм. Чувствительность метода рентгенофазного анализа составляла $\sim 5\%$.

Фазовый состав переходного слоя диода Шоттки исследован также фотоэлектрическим, неразрушающим методом [11]. Спектральная зависимость фоточувствительности структуры измерялась на монохроматоре ЗМР-3 при комнатной температуре. Погрешность измерения составляла не более $2 \div 3\%$. Источником излучения служила ксеноновая лампа типа ДКСШ-1000, работающая в режиме минимально допустимой мощности, которая обеспечивала световой поток 53000 лм и яркость до 120 Мкд/м² с центральным световым пятном.

Вольт-фарадной характеристикой определены концентрация равновесных носителей тока в рCdTe и оценена толщина оксидного слоя Al₂O₃ между слоем Al и рCdTe. С(V)-характеристика измерялась при частоте $f \approx 465$ кГц при комнатной температуре, которая по форме идентична в области частот 100 кГц – 5 МГц.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Рентгеноструктурный анализ. С целью выяснения реального строения структур барьера Шоттки Al/pCdTe проводился рентгеноструктурный фазовый анализ на установке ДРОН-2 (Cu-излучение, Ni-фильтр). Информационная глубина, которого составляет 300 нм. Чувствительность метода рентгенофазного анализа составляла $\sim 5\%$.

Параметры решетки CdTe вычислены по формуле:

$$d^2 = \frac{a^2}{h^2 + k^2 + l^2} = \frac{a^2}{N} \quad (1)$$

и формуле Вульфа-Брегга:

$$\sin \theta = \frac{\pi}{2a} N, \quad (2)$$

где, θ – брегговский угол, определенный по рентгенограмме $N = h^2 + k^2 + l^2$ – индексы Миллера, θ составлял: 6.485 Å, 6.486 Å, 6.487 Å. Относительная погрешность при вычислении составлял соответственно 0.062, 0.077, 0.093%. Размер кристаллитов возрастает до 1 – 2 мкм и имеет ярко выраженную треугольную форму (характерную для кубической фазы). Результаты рентгеноструктурного анализа структур Al/pCdTe сопоставлении с данным работы [12] представлены на дифрактограмме (рис. 1).

Пленки CdTe. На дифрактограмме (рис. 1) ярко выделяются рефлексы углов Брэгга, соответствующих в основном теллурида кадмия кубической модификации.

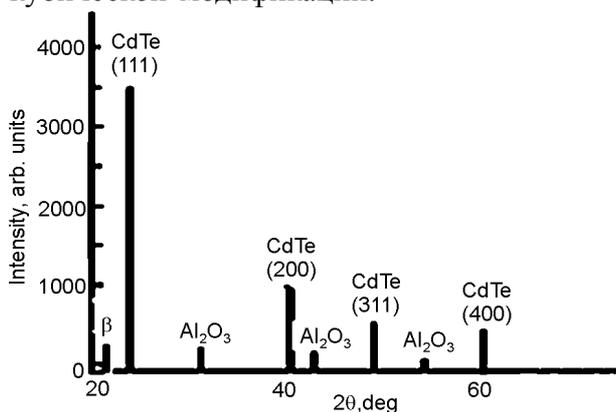


Рис. 1. Дифрактограмма структуры барьера Шоттки Al-pCdTe CdTe в излучении медного анода при фокусировке по Бреггу-Брентано.

По рентгенограмме видно, что пленки CdTe синтезируются в кристаллографических направлениях (111), (220), (311), (400). Аналогичные данные рентгенограммы, были получены также авторами других работ, в которых пленки выращивались методами электроосаждения [13], лазерного парового осаждения [14], сублимации в замкнутом объеме [16]. Рефлексы с индексами (111) в рентгенограмме являются самыми интенсивными. Это означает, что данная плоскость ориентирует структуру пленок CdTe как сфалеритная. Наличие других пиков с рефлексами (220), (311) и (400) свидетельс-

твует о том, что пленки CdTe имеют кубическую, гранецентрированную решетку с координационным числом 12 [16, 17]. Результаты проведенного индексирования и дактилоскопического сравнения с набором эталонных рентгенограмм ASTM [12], показывают, что выращенные пленки CdTe кубической модификации и однородны. Это также подтверждает вычисленные индексы Миллера: 6.486 Å, 6.485 Å и 6.487 Å по формуле $N = h^2 + k^2 + l^2$ для трех больших пиков на рентгенограмме, которые хорошо совпадают с величиной постоянной решетки $a = 6.482$ Å теллурида кадмия кубической модификации. Относительная погрешность вычисления индексов Миллера составляла соответственно 0,062; 0,077 и 0,093% для указанных пиков на рентгенограмме.

Оксид Al₂O₃. В результате сопоставления стандартных ASTM [12] с экспериментальными, выясняется, что наряду с основным веществом – CdTe, имеется оксид алюминия – Al₂O₃ и его различные устойчивые модификация: α -Al₂O₃, β -Al₂O₃, γ -Al₂O₃ [18]. Вероятно, они образуются в процессе вакуумного нанесения алюминия на поверхность pCdTe. Анализ диаграммы состояния системы Al-O [19] показывает (рис. 3), что твердофазный Al вполне может образовать оксид Al₂O₃ в вакууме 10^{-5} – 10^{-4} торр сравнительно при невысоких температурах. Соединение α -Al₂O₃ является полупроводниковым материалом *n*-типа проводимости шириной запрещенной зоны $E_g = 2.5$ эВ [18]. Этот полупроводник имеет весьма высокое удельное сопротивление $\rho \approx 10^{12}$ Ом·см при комнатной температуре. Различные модификации соединения Al₂O₃, вероятно, отличаются между собой по оптическим и электрофизическим свойствам. Оценки рентгеноструктурного анализа показывают, что общая толщина окисных слоев алюминия составляет $d \approx 150 - 200$.

На рис. 2 приведено спектральное распределение фоточувствительности диода с барьером Шоттки Al-pCdTe в коротковолновой, а на рис. 3 – в длинноволновой области спектра при комнатной температуре. На рис. 2, 3 четко проявляются пики при следующих длинах волн: $\lambda_2 = 460,2$ нм (2), $\lambda_3 = 485$ нм (3), $\lambda_4 = 665,4$ нм (4), $\lambda_5 = 733,4$ нм (5), $\lambda_6 = 790,6$ нм

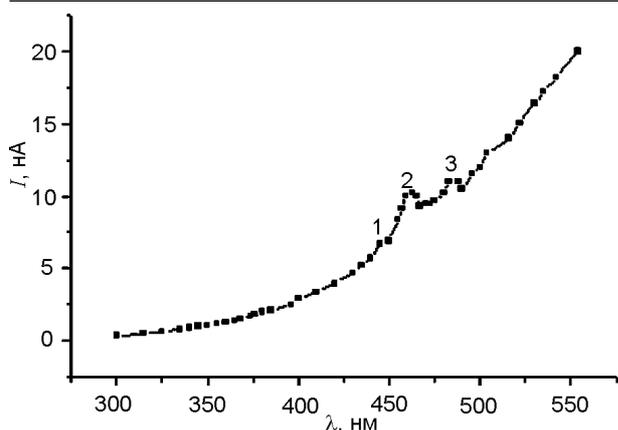


Рис. 2. Спектральное распределение фоточувствительности барьера Шоттки Al- pCdTe в коротковолновой области спектра.

(6). Кроме этого в области длин волн $\Delta\lambda = 444 - 450$ нм (1) наблюдается плечо, т.е. постоянство фоточувствительности.

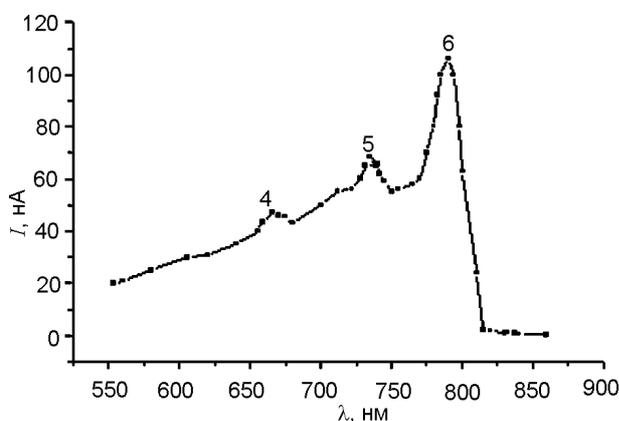


Рис. 3. Спектральное распределение фоточувствительности барьера Шоттки Al-pCdTe в длинноволновой области спектра.

Для обнаруженных пиков и плечо в спектральной зависимости распределения фоточувствительности, кроме пика (5) при $\lambda_5 = 733,4$ нм, определены края фундаментального поглощения $\lambda_{к.ф.п}$ с помощью экстраполяции длинноволнового края максимумов фоточувствительности на ось λ . Для этих краев фундаментального поглощения вычислены ширины запрещенных зон E_{g^i} , как в [11], которые оказались равные: $E_{g^1} = 2.56$ эВ (плечо), $E_{g^2} = 2.41$ эВ, $E_{g^3} = 2.25$ эВ, $E_{g^4} = 1.62$ эВ, и $E_{g^6} = 1.51$ эВ соответственно. Разумеется, эти значения ширины запрещенных зон относятся химическим соединениям, присутствующим на границе раздела Al-pCdTe. Значение $E_{g^1} = 2.56$ эВ практически совпадает со значением ширины запрещенной зоны E_g α -Al₂O₃, которая равна $\sim 2,5$ эВ [19]. Отличие

между значениями E_{g^i} , определенных фотоэлектрическим методом и литературными данными составляет 0.06 эВ. Это объясняется тем, что при экстраполяции длинноволнового края плеча на ось λ допускается определенная погрешность. Так как поглощение фотонов происходит не только в указанном материале (α -Al₂O₃), но и также происходит поглощение фотонов с ним стыкующем материале. Поэтому происходит неточность в определении края фундаментального поглощения, которая в свою очередь приводит к погрешности в определении E_g для оксида алюминия. Предполагается, что значения $E_{g^2} = 2.41$ эВ, $E_{g^3} = 2.25$ эВ, относятся к β - и γ -модификациям соединения оксида Al₂O₃ [19].

Пик $\lambda_3 = 665,4$ нм соответствует CdTe гексагональной модификации, так как по значению краю фундаментального поглощения ($\lambda_{к.ф.п} \approx 764,5$ нм) этого пика определенная ширина запрещенной зоны $E_{g^4} = 1.62$ эВ хорошо совпадает с шириной запрещенной зоны данной модификации теллурида кадмия, определенной по измерениям фотолюминесценции [20]. Пик $\lambda_4 = 733,4$ нм относится, по видимому, композитному материалу (C₆₀)_{1-x}(CdTe)_x при $x = 0.5$. Согласно [10] в спектре фотолюминесценции пленки состава (C₆₀)_{1-x}(CdTe)_x при $x = 0.5$ начинает доминировать линия 730 нм. Вероятно, атомы углерода C находящиеся на поверхности пленки теллурида кадмия формируют тонкий слой такого композитного материала. Что касается пика при $\lambda_5 = 790,6$ нм, то он соответствует, теллурида кадмия кубической модификации, так как его край фундаментального поглощения дает значение ширины запрещенной зоны равной $E_{g^6} = 1.51$ эВ [20].

Промежуточный слой Mo-pCdTe. Как показано в [9] В диодах Шоттки Al/pCdTe между металлическим контактом Mo и полупроводником pCdTe образуется также промежуточный слой, который значительно определяет выходных параметров структуры (прибора). Для изучения строения границы Mo-CdTe пленку теллурида кадмия отделяли от молибденовой подложки и изучали отдельно поверхность пленки, прилегающей к подложке и подложки, прилегающей к пленке (рис. 4).

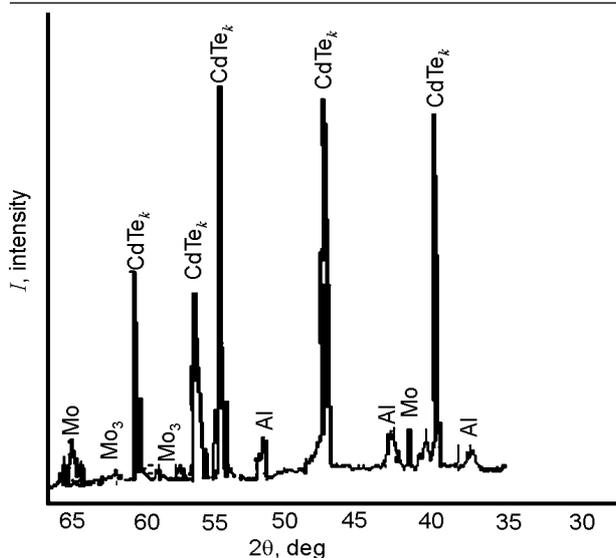


Рис. 4. Рентгенограмма строения границы Mo-CdTe на молибденовой подложке.

Получено, что исходная молибденовая подложка не содержит на своей поверхности оксидов. Оксиды молибдена MoO₃ и появляются в процессе синтеза, в результате контакта нагретой молибденовой подложки остаточным O₂ кислородом в системе. Оксид MoO₃ также проявляет себя как высокоомный полупроводник *n*-типа [18, 19].

Из выше изложенных данных следует, что промежуточный слой на границе раздела Al-pCdTe по составу разнообразный и достаточно сложный. Однако можно утверждать с уверенностью, что в этом слое определяющую роль играют окиси алюминия разной модификации. Поскольку α-β-γ-Al₂O₃ являются высокоомными материалами то, структура Al-pCdTe практически должна проявлять себя как МОП-структура.

На рис. 5 показано схема строения структуры Al-pCdTe.

Исследования показывают реальное строение структур барьера Шоттки Al/pCdTe с по-

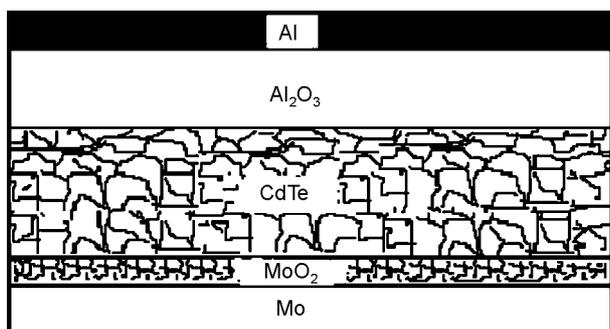


Рис. 5. Схема реального строения структур барьера Шоттки Al-pCdTe Mo + MoO₃ + CdTe + Al₂O₃ + Al.

мощью рентгеновского фазового анализа, и построена их схема строения, которая имеет следующую последовательность: Mo + MoO₂ + CdTe + Al₂O₃ + Al.

Это, несомненно, должно отражаться и на вольт-фарадной характеристике исследуемой структуры. Действительно вольт-фарадная характеристика Al-pCdTe структуры, снятая при частоте $f = 465$ кГц подобна C(V)-характеристике МОП-структуры (рис. 6) с полупроводником *p*-типа проводимости [22]. Известно, что по вольт-фарадной характеристике МОП-структуры в режиме обогащения можно оценить толщину окисного слоя по величине емкости на плато, и концентрацию равновесных основных носителей заряда в приповерхностном слое полупроводника в режиме объединения. Таким путем проведенная оценка дает, для толщины окисного слоя $d \approx 200$ Å, которая неплохо согласуется с данными рентгеноструктурного метода. При оценке толщин d использована формула плоского конденсатора $C = (\epsilon S/d)$ и взято значение диэлектрической проницаемости ϵ окиси алюминия Al₂O₃ = 10,5 [18].

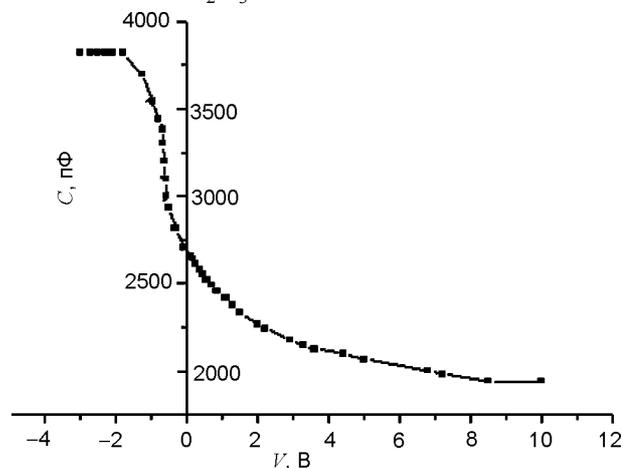


Рис. 6. Вольт-фарадная характеристика барьера Шоттки Al-pCdTe при частоте $f = 465$ кГц.

Разумеется, что величина $d \approx 200$ Å характеризует толщину всех модификаций Al₂O₃, так как они по данным фотоэлектрического измерения являются широкозонные и по величине E_g не так сильно отличаются. Эффективная концентрация равновесных носителей заряда определенная по C(V)-характеристике оказалась $N_{эфф} \approx 1.2 \cdot 10^{14} \text{ нм}^{-3}$, которая практически совпадает с концентрацией дырок исходной пленки pCdTe.

Дальнейшее исследование влияния выявленных оксидов на границах структур на параметры электрофизических и фотоэлектрических свойств имеет большой научный интерес сточки зрения по обеспечению стабильности полупроводниковых приборов на их основе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный рентгенофазный анализ и исследование спектрального распределения фоточувствительности структуры барьера Шоттки Al-pCdTe показали, что в структуре образуются промежуточные слои, между металлической подложкой молибдена Mo-CdTe в основном полупроводниковый оксид MoO₃ и на границе раздела Al-CdTe имеются все три α-β-γ-модификации оксида Al₂O₃, которые достаточно сложные по составу, также тонкий слой композитного материала с составом (C₆₀)_{1-x}-(CdTe)_x с x ≥ 0.5. Согласно по емкостным и рентгеноструктурным измерениям общая толщина промежуточного слоя не более d ≈ 200 Å. Показано, что базовый материал преимущественно состоит из CdTe кубической модификации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Takahashi T., Watanabe S.//IEEE Trans. Nucl. Sci. – 2001. – Vol. 48. – P. 950.
2. Watanabe S., Takahashi T., Okada Y., Sato G., Kouda M., Mitani T., Kabayashi Y., Nakazawa K., Kuroda Y., Onishi M.//IEEE Trans. Nucl. Sci – 2002. – Vol. 49. – P. 210.
3. Tanaka T., Kabayashi T., Mitani T., Nakazawa K., Oonuki K., Sato G., Takahashi T., Watanabe S.//New Astronomy Reviews. – 2004. – Vol. 48. – P. 309.
4. Косяченко Л., Склярчук В., Маслянчук О., Грушко Е., Гнатятюк В., Аоки Т., Натананака Y.//Письма ЖТФ. – 2006. – Т. 32, Вып. 24. – С. 29-36.
5. Стриха В.И., Бузанева Е.В. Физические основы надежности контактов металл-полупроводник в интегральной электронике//М. Радио и связь. – 1987. – С. 254.
6. Брежа Ю., Венгер Е., Конакова Р. Кудрик Я., Литвин О., Литвин П., В.В. Миленин//Поверхность. – Т. 19-98, № 5. – С. 110-127.
7. Беляев А.Е., Болтовец Н.С., Иванов В.Н и др.//ФТП.–2009.– Т. 43, № 11. – С. 1468-1472.

8. Мирсагатов Ш.А., Шамирзаев С.Х., Махмудов М.А., Садыков С.И.//Гелиотехника. – 1998. – № 5. – С. 20-25.
9. Алиев А., Мирсагатов Ш., Музафарова С., Абдувайитов А.А.//Сб. трудов междунар. конф. “Фундаментальные и прикладные вопросы физики” (Ташкент). – 2004. –С. 211-214.
10. Когновицкий С., Нащекин А., Соколов Р., Сошников И., Конников С.//Письма в ЖТФ. 2003. – Т. 29, Вып. 11. – С. 79-85.
11. Музафарова С., Айтбаев Б., Мирсагатов Ш., Дуршимбетов Ж., Жанабергенов Ж.//ФТП. – 2008. – Т. 42, Вып.12. – С. 1409-1414.
12. American Society for Testing of Materials. ASTM-Powder diffraction tile search manner alphabetical listing and search section of frequently Encountered phase’s inorganic. – USA, 1976.
13. Silvia Bonilla, Enrique A. Dachiele A. Electrochemical deposition and characterization of CdTe polycrystalline thin films//Thin solid films. – 1991. – Т. 204, № 2. – P. 397-403.
14. Compaon Bhat A., Tabory C., Liu S., Nquyen M., Audinli A., Tsien L.H., Bohn R.G. Fabrication of CdTe solar cells by laser-drivin physical vapor deposition. Solar Cells. – 1991. – Vol. 30, № 1. – P.79-88.
15. Gil Yong Chung Sung Chan Park, Kurn Cuo, Byung Tae Aim. Electrical properties of CdTe films prepared by close-spaced sublimation with screen printed source layers//J. Appl. Phys. – 1995. – Vol. 78, № 9. – P. 5493-5498.
16. Ормонт Б.Ф. Введение в физ. химию и кристаллохимию полупроводников. – М.: Высшая школа, 1968. – 203 с.
17. Ежовский Ю.К, Калинин И.П, Муравьева К.К, Алексовский В.Б. Синтез эпитаксиальных пленок CdTe//Известия АН СССР. Неорганические материалы. – 1973. – Т. 9, № 7. – С. 1115-1120.
18. Кристаллохимические и физические свойства полупроводниковых веществ. Справочник. – М.: Из-во стандартов, 1973. – 102 с.
19. Физико-химические свойства окислов. Справочник/Под. ред. Самсонова Г.В. – М.: Металлургия, 1978.
20. Chadi D.J.//Appl. Phys. Lett.– 1991. – Vol. 59, No. 27. – P. 3589 .
21. Винчелл А.Н. Оптические свойства искусственных минералов/Пер. с англ. – М.: Мир, 1972. – 526 с.
22. Зи С. Физика полупроводниковых приборов. Т. 2. – М.: Мир, 1984. – 455 с.

LITERATURA

1. Takahashi T., Watanabe S.//IEEE Trans. Nucl. Sci. – 2001. – Vol. 48. – P. 950.
2. Watanabe S., Takahashi T., Okada Y., Sato G., Kouda M., Mitani T., Kabayashi Y., Nakazawa K., Kuroda Y., Onishi M.//IEEE Trans. Nucl. Sci. – 2002. – Vol. 49. – P. 210.
3. Tanaka T., Kabayashi T., Mitani T., Nakazawa K., Oonuki K., Sato G., Takahashi T., Watanabe S.//New Astronomy Reviews. – 2004. – Vol. 48. – P. 309.
4. Kosyachenko L., Sklyarchuk V., Maslyanchuk O., Grushko E., Gnatyatyuk V., Aoki T., Hatananaka. Y.//Pisma ZhTF. – 2006. – T. 32, Vyp. 24. – S. 29-36.
5. Striha V.I., Buzaneva E.V. Fizicheskie osnovy nadezhnosti kontaktov metall-poluprovodnik v integralnoj ‘elektronike//M. Radio i svyaz. – 1987. – C. 254.
6. Breza Yu., Venger E., Konakova R. Kudrik Ya., Litvin O., Litvin P., Milenin V.V.//Poverhnost. – T. 19-98, № 5. – S. 110-127.
7. Belyaev A.E., Boltovec N.S., Ivanov V.N i dr.//FTP. – 2009. – T. 43, № 11. – C. 1468-1472.
8. Mirsagatov Sh.A., Shamirzaev S.H., Mahmudov M.A., Sadykov S.I.//Geliotehnika. – 1998. – № 5. – S. 20-25.
9. Aliev A., Mirsagatov Sh., Muzafarova S., Abdvajitov A.A.//Sb. trudov mezhdunar. konf. “Fundamentalnye i prikladnye voprosy fiziki” (Tashkent). – 2004. – S. 211-214.
10. Kognovickij C., Naschekin A., Sokolov R., Soshnikov I., Konnikov S.//Pisma v ZhTF. 2003. – T. 29, Vyp. 11. – S. 79-85.
11. Muzafarova C., Ajtbaev B., Mirsagatov Sh., Durshimbetov Zh., Zhanabergenov Zh.//FTP. – 2008. – T. 42, Vyp. 12. – S. 1409-1414.
12. American Society for Testing of Materials. ASTM-Powder diffraction tile search manner alphabetical listing and search section of frequently Encountered phase’s inorganic. – USA, 1976.
13. Silvia Bonilla, Enrique A. Dachiele A. Electrochemical deposition and characterization of CdTe polycrystalline thin films//Thin solid films. – 1991. – T. 204, № 2. – P. 397-403.
14. Compaon Bhat A., Tabory C., Liu S., Nquyen M., Audinli A., Tsien L.H., Bohn R.G. Fabrication of CdTe solar cells by laser-drivin physical vapor deposition. Solar Cells. – 1991. – Vol. 30, № 1. – P. 79-88.
15. Gil Yong Chung Sung Chan Park, Kurn Cuo, Byung Tae Aim. Electrical properties of CdTe films prepared by close-spaced sublimation with screen printed source layers//J. Appl. Phys. – 1995. – Vol. 78, № 9. – P. 5493-5498.
16. Ormont B.F. Vvedenie v fiz. himiyu i kristallohimiyu poluprovodnikov. – M.: Vysshaya shkola, 1968. – 203 s.
17. Ezhovskij Yu.K., Kalinkin I.P., Muraveva K.K., Aleksovskij V.B. Sintez epitaksialnyh plenok CdTe//Izvestiya ANSSSR. Neorganicheskie materialy. – 1973. – T. 9, № 7. – S. 1115-1120.
18. Kristallohimicheskie i fizicheskie svojstva poluprovodnikovyh veschestv. Spravochnik. – M.: Iz-vo standartov, 1973. – 102 s.
19. Fiziko-himicheskie svojstva okislov. Spravochnik/ Pod. red. Samsonova G.V. – M.: Metallurgiya, 1978.
20. Chadi D.J.//Appl. Phys. Lett.– 1991. – Vol. 59, No. 27. – P. 3589 .
21. Vinchell A.N. Opticheskie svojstva iskusstvennyh mineralov/Per. s angl. – M.: Mir, 1972. – 526 s.
22. Zi S. Fizika poluprovodnikovyh priborov. T. 2. – M.: Mir, 1984. – 455 s.