



РЕСПУБЛИКА КАЗАХСТАН

(19) **KZ** (13) **U** (11) **3854**
(51) **H01L 31/0445** (2014.01)
H01L 31/0392 (2014.01)
H01L 31/055 (2014.01)
H01L 31/0216 (2014.01)

МИНИСТЕРСТВО ЮСТИЦИИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21) 2018/0307.2

(22) 26.04.2018

(45) 12.04.2019, бюл. № 15

(72) Нурахметов Турлыбек Нурахметович;
Кайнарбай Асет Жұмабекұлы; Дауренбеков Дулат
Хайретенович; Салиходжа Жусупбек
Мухамеджанұлы; Жунусбеков Амангельды
Магмурович

(73) Республиканское государственное предприятие
на праве хозяйственного ведения "Евразийский
национальный университет имени Л.Н. Гумилева"
Министерства образования и науки Республики
Казахстан

(56) Дорофеев С.Г., Кононов Н.Н., и др.
Применение тонких пленок из наночастиц кремния
для увеличения эффективности солнечных
элементов // Физика и техника полупроводников. -
2014, том 48, вып.3, с. 375-383.

(54) **СПОСОБ УВЕЛИЧЕНИЯ
КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЕЗНОГО ДЕЙСТВИЯ
(КПД) ДЕЙСТВУЮЩИХ КРЕМНИЕВЫХ
ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ (КФЭП)**

(57) Полезная модель относится к области
солнечной энергетики, в частности использование
коллоидных квантовых точек (ККТ) теллурида
кадмия CdTe и технологии на ее основе.

Полезная модель представляет собой
люминесцентный преобразователь (ЛП) на основе
полимера содержащего ККТ CdTe диаметром
 $7,9 \pm 0,8$ нм. Работа ЛП связана со спектральной
трансформацией солнечного излучения (СИ). СИ
трансформируется в красное и/или ближнее
инфракрасное излучение посредством
переизлучения внедренных ККТ CdTe. Поглощение

такого излучения в образцах действующих КФЭП
эффективно генерирует носителей зарядов. СИ
обратно отраженное в атмосферу лицевой
поверхностью КФЭП значительно уменьшается при
нанесении ЛП. Эти излучения эффективно
поглощаются КФЭП генерируя дополнительные
электронно-дырочные пары (электрические заряды).
Таким образом, КПД КФЭП увеличивается за счет
создания дополнительного светового потока. На
примере полезной модели показано, что увеличение
КПД КФЭП достигается за счет спектральной
трансформаций и уменьшения степени обратного
отражения СИ.

Технической задачей является разработка и
получение люминесцентного преобразователя на
основе ККТ CdTe.

Техническим результатом полезной модели
является увеличение величины V_{oc} на 13,2%, I_{sc} на
20,0%, J_{sc} на 17,3%, I_{max} на 29,6%, V_{max} на 14,5%,
 P_{max} на 48,5%, FF на 11,8%, КПД на 48,5%
относительно первоначальных значений.

Достигнутый результат заключается в
увеличении КПД и улучшении электрических
параметров КФЭП при нанесении на лицевую
поверхность ЛП. Улучшение электрических
параметров КФЭП зависит от количества
наносимых слоев ЛП.

Настоящее полезное изобретение поясняется
конкретными примерами и экспериментальными
исследованиями, которые наглядно демонстрируют
возможность достижения поставленной цели и
решения задач, достижения требуемого
технического результата, однако не является
единственно возможным.

(19) KZ (13) U (11) 3854

Введение. Изобретение относится к области солнечной энергетики, в частности использование наноструктурированных материалов и технологии позволяющих увеличить коэффициент полезного действия (эффективность преобразования) кремниевого фотоэлектрического преобразователя (КФЭП). Данная разработка представляет собой люминесцентный преобразователь на основе коллоидных квантовых точек (ККТ) полупроводников теллурида кадмия CdTe, работа которого связана с трансформацией падающего на лицевую поверхность КФЭП солнечного излучения в красное и инфракрасное излучение.

В представленной работе показан способ увеличения эффективности преобразования или КПД КФЭП за счет спектральной трансформации падающего излучения и уменьшения степени отражения солнечного излучения от лицевой поверхности.

Аналогичные работы производимые в мире. Известно, что преобразование солнечной энергии в электрическую одно из перспективных направлений в области создания экологически чистой и безопасной энергий. Современное производство фотоэлектрических преобразователей на сегодняшний день проходит вторую стадию своего развития и почти полностью основано на поликристаллическом кремний. Первая стадия развития основывалась на монокристаллическом кремний с эффективностью преобразования энергии равным 25% и известна уже более полувека [1 Л.М. Николаенко, В.Ф. Разумов, Успехи химии, 2013, 82(5), 429-448]. Образцы солнечных элементов второго поколения обладают меньшим коэффициентом преобразования энергии и стоимостью технологии ее получения. Малость нынешних параметров присущих поликристаллическим кремниевым фотоэлектрическим преобразователям вынуждает исследователей изыскивать технологии позволяющие существенно увеличить этот важный параметр. Солнечные элементы третьего поколения основаны на использовании наноматериалов, наноструктур, в том числе наночастиц или квантовых точек с прогнозируемым большим коэффициентом преобразования солнечной энергии и меньшей стоимости технологии.

Технология основанная на использовании тонких пленок состоящих из аморфного гидрогенизированного кремния, наночастиц кремния, или наночастиц рассматривается в настоящее как перспективное практическое применение наноматериалов в отрасли солнечной энергетики, материалы способные повысить эффективность преобразования или коэффициент полезного действия (КПД) солнечных элементов (СЭ) [2 Ищенко А.А., Фетисов Г.В., Асланов Л.А. Нанокремний: свойства, получение, применение, методы исследования и контроля. - М.: Физматлит, 2011, -648 с.]. Этому существует ряд физически обоснованных предпосылок. Первая предпосылка

- увеличение эффективности преобразования солнечных ячеек становится возможным благодаря пассивации поверхностных дефектов кристаллического кремния. Большая ширина зоны запрещенной энергии нано- или гидрогенизированного аморфного кремния делает возможным использование пленок как антиотражающих покрытий. Вторая предпосылка

- тонкие пленки пропускают длинноволновое солнечное излучение при заметном поглощении ее высокоэнергетической части. Третья предпосылка кроется в возможности реализации «down conversion», т.е. трансформации высокоэнергетической части солнечного излучения при взаимодействии с пленкой, в результате которого наночастицы будут люминесцировать в низкоэнергетической области спектра.

В работе [3 Stupca M., Alsalthi M., Al Saud T., Almuhanna A., Nayfeh M.N. Enhancement of polycrystalline silicon solar cells using ultrathin films of silicon nanoparticles // Appl.Phys.Lett. - 2007. - Vol.91, P063107 (3p.)] показано, что тонкая пленка содержащая монодисперсные наночастицы кремния диаметром 1 нм, или наночастиц с диаметром 2,85 нм при нанесении на лицевую поверхность СЭ увеличивает ее эффективность преобразования света в ультрафиолетовой и синей области спектра на 60%. Замечено, также увеличение напряжения холостого хода (V_{oc}), мощности (P_{max}) и КПД в области видимого диапазона света возросла на 10 % при использовании нанокремния диаметром 1 нм и на 3% в случае нанокремния 2,85 нм.

В работах [4 Nayfeh M.N., Militas L. Silicon nanoparticles: new photonic and electronic material at the transition between solid and molecule // In: Nanosilicon/ Ed. By V. Kumar. - Elsevier Ltd., - 2008. Ch.I.P.1-78.) использованы тонкие пленки из наночастиц кремния диаметром 2,85 нм люминесцирующие в красной области спектра. Применение тонких пленок позволило увеличить эффективность преобразования СЭ из поликристаллического кремния за счет «down conversion», дополнительной генерации электронно-дырочных пар. Увеличение эффективности преобразования для ультрафиолетового (УФ) диапазона спектра составило 60-70 %, для видимого диапазона 7-13 %.

В работе авторов [5 Дорофеев С.Г., Кононов Н.Н., Звероловлев В.М. и др. Применение тонких пленок из наночастиц кремния для увеличения эффективности солнечных элементов // Физика и техника полупроводников. - 2014, том 48, вып. 3. - с.375-383.] показано увеличение КПД КФЭП на 12% относительно первоначальной величины после нанесения пленки толщиной 400 нм из наночастиц кремния. Увеличение КПД было связано с двумя факторами: пассивация поверхностных состояний и существенное уменьшении степени отражения света от поверхности солнечного элемента. Однако заметного вклада «спектральной трансформации» в увеличение КПД солнечного элемента не было обнаружено. Такие исследования проводятся, однако в промышленном производстве не замечены.

Технической задачей полезной модели является получение люминесцентного преобразователя (ЛП) на основе коллоидных квантовых точек полупроводников теллурида кадмия CdTe наносимого на лицевую поверхность кремниевых фотоэлектрических преобразователей. Предлагаемый способ увеличивает коэффициент преобразования или КПД солнечного элемента, а также улучшает другие фотовольтаические параметры. Методика получения и характеристика коллоидных квантовых точек CdTe приведена в Приложении 1 (Сопроводительные материалы).

Техническим результатом является люминесцентный преобразователь на основе ККТ CdTe, трансформирующий высокоэнергетическое солнечное излучение в красное или ближнее инфракрасное излучение для дополнительной генерации электронно-дырочных пар (электрических зарядов), т.е. переизлучение солнечного излучения в область максимума спектральной чувствительности кремниевых фотоэлектрических преобразователей для дополнительной генерации электронно-дырочных пар приводящих к увеличению вырабатываемой электроэнергии.

Достигнутый результат заключается в увеличении эффективности преобразования или КПД кремниевых фотоэлектрических преобразователей после нанесения на лицевую поверхность люминесцентного преобразователя. Люминесцентный преобразователь представляет собой тонкие пленки определенной толщины. Тонкие пленки получаются при нанесении методом спин-коутинга на лицевую поверхность КФЭП определенного количества заранее приготовленной смеси. Смесь получается при гомогенном размешивании золи квантовых точек CdTe в жидком полиметилметакрилате. Степень увеличения эффективности преобразования или КПД, а также улучшение других электрических параметров КФЭП зависит от количества наносимых слоев ЛП.

На опытно образце полезной модели показано, что нанесение ЛП на лицевую поверхность коммерческого солнечного элемента приводит к увеличению КПД с 13,1 до 19,4% в зависимости от количества наносимых слоев.

Для измерения электрических параметров фрагментов КФЭП определенных размеров при облучении солнечным симулятором наивысшего класса качества SolAAA выбраны стандартные условия: температура 25°C при 1,5 АМ (Солнце находится под углом 45° к горизонту).

Настоящая полезная модель поясняется конкретными примерами и экспериментальными исследованиями которые наглядно демонстрируют возможность достижения поставленной цели и решения задач, требуемого технического результата, однако не является единственно возможным.

Описание патентной разработки. Суть модели. Люминесцентный преобразователь содержащий коллоидные квантовые точки полупроводников теллурида кадмия CdTe, наносится на лицевую поверхность КФЭП методом спин - коутинга при

воздушной атмосфере фиксированного объема однородно разбавленных в жидком полиметилметакрилате золь CdTe с дальнейшим высушиванием на воздухе. Для этого используется устройство спин коутер Polos Spin 150i позволяющий наносить пленки разной толщины и состава. Толщина люминесцентных пленок изменялась последовательно, повторным нанесением после высыхания предыдущего.

ЛП- люминесцентный преобразователь, КФЭП- кремниевый фотоэлектрический преобразователь, ККТ - коллоидная квантовая точка CdTe, 1- падающее первичное солнечное излучение, 2, 3, 4, 5- ход лучей в люминесцентном преобразователе [6 Efthymios Klampaftis, David Ross, Keith R. McIntosh, Bryce S. Richards Enhancing the performance of solar cells via luminescent down-shifting of the incident spectrum: A review//Solar Energy Materials & Solar Cells 93 (2009) 1182—1194]

Фиг. 1 - Схематичное изображение поперечного среза люминесцентного преобразователя, нанесенного на лицевую поверхность

КФЭП

На фиг. 1 показано схематичное изображение люминесцентного преобразователя нанесенного на лицевую поверхность КФЭП. Поглощение высокоэнергетической части солнечного излучения, а также отраженное от поверхности КФЭП излучение возбуждают квантовые точки CdTe в соответствии со спектром возбуждения. После акта возбуждения квантовые точки люминесцируют в области соответствующей максимуму спектральной чувствительности КФЭП, тем самым эффективно генерируя дополнительные электрон-дырочные пары, приводящее к увеличению выходной электрической мощности, электрического тока, напряжения и увеличивая КПД или эффективность преобразования солнечного элемента.

Люминесцентный преобразователь оставаясь прозрачным в широкой области оптического спектра не препятствует прохождению солнечного излучения к поверхности КФЭП, более того, дополнительно создает световой поток за счет люминесценции квантовых точек, который генерирует дополнительные носители электрического заряда улучшающие электрические параметры КФЭП [6Efthymios Klampaftis, David Ross, Keith R. McIntosh, Bryce S. Richards Enhancing the performance of solar cells via luminescent down-shifting of the incident spectrum: A review//Solar Energy Materials & Solar Cells 93 (2009) 1182-1194].

Экспериментальные работы. Оценка КПД КФЭП с люминесцентным преобразователем. Для фрагмента солнечного элемента с лицевой площадью 4,0 кв.см, измерены фотовольтаические параметры при стандартных условиях: 1,5 АМ, 25°C. После нанесения одинарного люминесцентного покрытия толщиной 30 мкм содержащего квантовые точки CdTe на лицевую поверхность солнечного элемента, повторно измерены фотовольтаические параметры. Сравнительная кривая вольт - амперной характеристики для фрагмента СЭ полученная на

комплексной установке на базе солнечного симулятора высшего класса SolAAA (производство Newport, Corp., США) приведена на фиг. 2, в котором исходные образцы СЭ обозначены как кривая 1, СЭ с люминесцентным преобразователем как кривая 2.

1-исходный КФЭП, 2- КФЭП покрытый одним слоем люминесцентного преобразователя

Фиг. 2- Вольт - амперная характеристика фрагмента КФЭП

Как видно из фиг. 2 нанесение люминесцентного преобразователя приводит к

увеличению КПД (η) КФЭП до 19,4%. После нанесения одного слоя ЛП максимальный выдаваемый электрический ток I_{\max} увеличился с 27 мА до 35 мА, напряжение V_{\max} с 428 мВ до 490 мВ, мощность P_{\max} с 11,8 Вт до 17,6 Вт, фактор заполнения FF увеличился с 69,1% до 77,3%, эффективность преобразования η или КПД солнечного элемента поднялось с отметки 13,1% до 19,4%. Как видно из таблицы 1 нанесение люминесцентного преобразователя существенно улучшает электрические параметры.

Таблица 1

Фотовольтаические параметры фрагмента солнечного элемента до и после нанесения люминесцентного преобразователя

V_{oc} , В	I_{sc} , А	J_{\max} , мА/см ²	I_{\max} , А	V_{\max} , А	P_{\max} , Вт	Фактор заполнения, FF	Эффективность, η %	Образец КФЭП
0,478	0,035	8,966	0,027	0,428	11,862	69,152	13,122	Исходный
0,541	0,042	10,51	0,035	0,490	17,611	77,338	19,481	CdTe
13,2	20,0	17,3	29,6	14,5	48,5	11,8	48,5	относительно первоначальных значений, %

Однако нанесение второго слоя такой толщины, когда общая толщина люминесцентного преобразователя становится больше 70 мкм, приводит к значительному ухудшению электрических параметров, намного меньших первоначальных значений. Причина этому кроется в резком уменьшении оптической прозрачности люминесцентного преобразователя, которое приводит к уменьшению светового потока доходящего до поверхности КФЭП несмотря на увеличение интенсивности люминесценции ЛП, фиг. 3 (кривая 1 соответствует оптическому пропусканию исходной полимерной матрицы, 2- пропускание одного слоя ЛП, 3- пропускание двух слоев ЛП).

1 - спектр оптического пропускания исходной полимерной матрицы, 2- спектр оптического пропускания одного слоя ЛП, 3- спектр оптического пропускания двух слоев ЛП

Фиг. 3 - Спектры оптического пропускания люминесцентного преобразователя

При нанесении на КФЭП ЛП содержащего КТ CdTe эффективность преобразования СЭ увеличивалась до 19,48 % при нанесении одного слоя. Несмотря на небольшую величину квантового выхода люминесценции КТ, совпадение полосы люминесценции и области спектральной чувствительности солнечного элемента обеспечивает увеличение эффективности СЭ, фиг. 4.

Интенсивное коротковолновое излучение отраженное от лицевой поверхности СЭ, а также первичный падающий поток излучения поглощается КТ в соответствии со спектром возбуждения квантовых точек CdTe. КТ CdTe после акта

поглощения переизлучают ее в длинноволновой области спектра в соответствии со спектром люминесценции. Таким образом увеличения эффективности преобразования солнечного элемента обеспечивается «спектральной трансформацией» излучения, что соответствует первой причине увеличения КПД КФЭП, фиг. 4.

1- спектр диффузного отражения КФЭП, 2- спектр солнечного излучения при 1,5 АМ, 3- спектр возбуждения КТ CdTe, 4- спектр фотолюминесценции КТ CdTe

Фиг. 4 - Спектры соответствия люминесценции КТ CdTe, диффузного отражения КФЭП и спектра солнечного излучения

Вторая причина кроется в следующем эффекте. Поскольку излучение, отраженное от лицевой поверхности СЭ уменьшает его эффективность, одной из основных задач люминесцентного преобразователя является уменьшения степени ее отражения [5 Дорофеев С.Г, Кононов Н.Н., Звероловлев В.М. и др. Применение тонких пленок из наночастиц кремния для увеличения эффективности солнечных элементов // Физика и техника полупроводников. -2014, том 48, вып. 3. - с.375-383].

На фиг. 5 приведены спектры диффузного отражения исходного образца солнечного элемента и образцов СЭ покрытых одинарным и тройным слоем люминесцентного преобразователя.

1- для исходного образца КФЭП, 2- для образца КФЭП с одним слоем ЛП, 3- для образца КФЭП с тройным слоем ЛП

Фиг. 5 - Спектры диффузного отражения КФЭП

Из приведенных спектров диффузного отражения поверхности СЭ следует, что при нанесении люминесцентного преобразователя на лицевую поверхность исходного СЭ (кривая 1) одного слоя (кривая 2), трех слоев (кривая 3) отражение уменьшается до 27% (для 1 слоя), до 17% (для 3 слоев) в ультрафиолетовой области 300-450 нм, и незначительно в ближней инфракрасной области спектра 1000-2000 нм. Спад отражения в ультрафиолетовой части от КФЭП с нанесенным люминесцентным преобразователем можно объяснить поглощением квантовыми точками излучения с последующим ее переизлучением. Максимум спектра возбуждения люминесценции квантовых точек приходится на УФ область спектра, фиг. 5. Замечено, что люминесцентный преобразователь не искажает контур полосы отражения. Аналогичный эффект замечен в работах авторов [5 Дорофеев С.Г., Кононов Н.Н., Звероловлев В.М. и др. Применение тонких пленок из наночастиц кремния для увеличения эффективности солнечных элементов // Физика и техника полупроводников. — 2014, том 48, вып. 3. - с.375-383].

Таким образом, изучение спектров диффузного отражения от лицевой поверхности солнечного элемента выявило, что второй причиной увеличения эффективности преобразования КФЭП является значительное уменьшение степени отражения падающего излучения от ее поверхности в ультрафиолетовой области спектра 300-450 нм при нанесении люминесцентного преобразователя, содержащего квантовые точки полупроводников CdTe.

Таким образом, нанесение люминесцентного преобразователя содержащего квантовые точки CdTe приводит к увеличению эффективности преобразования или КПД кремниевое солнечного элемента на 6%. Этот эффект обеспечивается протеканием двух процессов: “спектральная трансформация” и уменьшение степени отражения солнечного излучения от лицевой поверхности СЭ.

Использование люминесцентного преобразователя приводит к относительному увеличению, например, напряжения холостого хода (V_{oc}) на 13,2%, тока короткого замыкания (I_{sc}) на 20,0%, плотность тока короткого замыкания (J_{sc}) на 17,3%, максимального тока (I_{max}) на 29,6%, максимального напряжения (V_{max}) на 14,5%, максимальной мощности (P_{max}) на 48,5%, фактора заполнения (FF) на 11,8%, эффективности (η) на 48,5%.

Коллоидные квантовые точки CdTe получены модифицированным методом горячей инъекции по методике предложенной в работе авторов [7 Ekimov A. I., Efros A.L. Nonlinear optics of semiconductor-doped glasses // Phys. Status Solidi, B Basic Res, Vol. 150(2), 1988, P.627-633]. В общем виде квантовые точки теллурида кадмия CdTe получены из предварительно приготовленных прекурсоров олеата кадмия и три-н-октилфосфинтеллурида. На фиг. 6 приведен рисунок экспериментальной

установки для получения коллоидных квантовых точек CdTe.

1 - трёхгорловая кварцевая колба, 2 - магнитная мешалка с подогревом, 3 - теплоизолятор, 4 - обратный холодильник, 5 - термopара соединенная с термоконтроллером, 6 - вход для подачи аргона (газ., осч.), 7 - вход для введения прекурсоров

Фиг. 6 - Экспериментальная установка для получения КТ

Материалы: Дифениловый эфир (99%), кадмий уксуснокислый двухводный (чда), олеиновая кислота (87%), теллур (99,999%), три-н-октилфосфин (97%), тиоацетамид (99,0%) приобретены в Сигма-Олдрих (Sigma Aldrich GmbH, Germany), сера (осч.), гексан (х.ч.), гептан (х.ч.), ацетон (тех.) и др.

Методика синтеза наночастиц. В трехгорловой кварцевой колбе 0,1332 гр. дигидрата ацетата кадмия $Cd(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ растворена в 5,0 мл дифенилового эфира в присутствии 0,56 гр. олеиновой кислоты. Полученная смесь, при постоянном перемешивании с помощью магнитной мешалки, выдержана при 140°C в течение 60 мин в атмосфере аргона для удаления воды и уксусной кислоты для формирования олеата кадмия.

Навеска порошка теллура массой 0,064 гр в отдельной емкости диспергирована в 1,54 мл три-н-октилфосфина (ТОР). При этом происходит образование три-н-октилфосфинтеллурида (ТОРТе) в ТОР.

После образования олеата кадмия температура в трехгорлой колбе установлена на уровне 250°C для инъекции раствора ТОРТе. После инъекции реакционный раствор снят с нагрева по истечении 60 минут. Квантовые точки очищены и осаждены на центрифуге (15 мин., 8000 об/мин) смесью ацетона (тех.) и гептана.

Характеризация КТ CdTe. Фотолюминесцентная спектроскопия.

Наночастицы CdTe представляют собой нанокристаллы сферической формы, ядро которых покрыто оболочкой из олеиновой кислоты. Такие частицы образуют устойчивые золи в неполярных растворителях благодаря стабилизирующему действию органической оболочки, являются полупроводниками и люминесцируют в ближней инфракрасной области спектра.

Изучение фотолюминесцентных свойств образцов КТ CdTe проведено с помощью спектрофлуориметра CM2203. Измерение проведено в режимах сканирования по спектру испускания (при фиксированной длине волны возбуждения определяемой из спектров возбуждения) и сканирования по спектру возбуждения (варьированием длины волны возбуждения и регистрацией изменения интенсивности испускания света с фиксированной длиной волны). Длина волны возбуждающего излучения находится в области 200-800 нм, испущенное излучение регистрируется в диапазоне 200-820 нм (допустимые пределы измерения спектрофлуориметра CM2203).

Для получения спектров люминесценции образцы КТ CdTe облучены фотонами с длиной волны 538 нм. Эта длина волны определена из спектра возбуждения люминесценции, фиг. 7 (кривая 1).

1 - спектр возбуждения, 2- спектр люминесценции

Фиг. 7 - Спектр возбуждения и люминесценции КТ CdTe при 300 К

На фиг. 7 (кривая 2) видно, что образцы КТ CdTe обладают интенсивным свечением в ближней инфракрасной области спектра. В спектре люминесценции наблюдается основной пик при 761 нм и длинноволновое плечо с максимумом при 820 нм.

Измерение спектров оптического поглощения. Измерение спектров оптического поглощения проведено при комнатной температуре с помощью спектрофотометра Jasco V770 после разбавления образцов квантовых точек CdTe в тетрахлорэтилене. Спектры оптического поглощения приведены на фиг. 8. Как видно из фиг. 8 наблюдается полоса экситонного поглощения с максимумом при 680 нм.

Фиг. 8 - Спектр оптического поглощения КТ CdTe

Морфология нанокристаллов, фазовый и элементный состав. Для определения формы и среднестатистического размера образцы КТ CdTe проанализированы методами просвечивающей электронной микроскопии (ПЭМ) с использованием электронного просвечивающего микроскопа JEOLJEM - 2000 FXII (ЦКП, МГУ). На фиг. 9 приведен снимок ПЭМ КТ CdTe, видна ограниченная структура нанокристалла что позволяет судить о высокой кристалличности полученных нанокристаллов. По данным ПЭМ определен средний диаметр КТ равный $7,6 \pm 0,9$ нм.

Фиг. 9 - Снимок ПЭМ высокого разрешения КТ CdTe

Элементный состав нанокристаллов CdTe проанализирован методом энергодисперсионного анализа (фиг. 10). Изображение частиц получено в

режиме элементного контраста High-angle annular dark-field scanning transmission electron microscopy (HAADF-STEM). На картах распределения элементов видно, что кадмий (b) и теллур(c) равномерно распределены по нанокристаллам. Небольшое количество этих элементов в областях вокруг частиц может говорить об остаточном содержании непрореагировавших прекурсоров, абсорбированных лигандной оболочкой. Некоторое содержание серы в нанокристаллах (фиг. 10, d) может быть обусловлено примесью данного элемента в теллуре. Карты распределения других элементов не иллюстрируют соответствия форме частиц в образце, что говорит о фоновом характере излучения данных элементов.

Фиг. 10 - Данные микроанализа для образца нанокристаллов CdTe, полученных при температуре 250°C: (a) общий вид нанокристаллов; карты распределения (b) кадмия, (c) теллура, (d) серы (для квантовых точек

CdTe/CdS)

КТ CdTe изучены методом энергодисперсионного анализа (EDX). Например, данные EDX представленные на фиг. 11 иллюстрируют некоторое отклонение соотношения содержания кадмия и теллура от стехиометрии, что может быть связано с преимущественным содержанием кадмия на поверхности нанокристалла.

Фиг. 11 - Данные энергодисперсионной спектроскопии образцов КТ CdTe синтезированных при 250°C

Энергия экситонного перехода, полученная из максимума первого экситонного пика поглощения использована для оценки среднего диаметра нанокристаллов по эмпирической формуле приведенной в работе [8 W.W. Yu et al., Chem. Mater. 15 (2003) 2854-2860 (DOI: 10.1021/cm034081k)]. Данные приведены в таблице 2.

Таблица 2

Значение физических параметров образцов КТ CdTe

Образцы	Значение
λ_{max} , нм	716,040
D, нм	6,88

Изучение фотостойкости люминесценции НК CdTe.

Полупроводниковые наночастицы, обладая рядом уникальных свойств, успешно конкурируют с традиционными органическими красителями. Они имеют на порядок более высокое по сравнению с красителями значение коэффициента молярной экстинкции, более высокую фотостабильность сохраняющуюся при высоких плотностях мощности возбуждения.

Для сравнения с органическими красителями такими как эозин, родомин 6Ж спектры люминесценции КТ CdTe измерены помощью

спектрометрического комплекса на базе монохроматора МДР-41. Выявлено падение интенсивности люминесценции родамина на 8,2%, эозин 13,2% после непрерывного 4х часового облучения, для КТ CdTe падение интенсивности люминесценции не замечено. Однако замечено увеличение интенсивности свечения КТ. Этот эффект возможно вызван увеличением концентрации квантовых точек вследствие испарения растворителя, фиг. 12.

Фиг. 12 - Фотостабильность люминесценции КТ и органических красителей

Изучение квантового выхода люминесценции образцов КТ CdTe.

Для синтезированных образцов КТ CdTe определен квантовый выход люминесценции (QY) методом сравнения с эталоном обладающим

известным значением квантового выхода люминесценции. Эталонем выбран раствор родамина 6Ж (QY=93%) в этиловом спирте, результаты приведена в таблице 3.

Таблица 3

Квантовый выход НК CdTe

Квантовая точка	Растворитель	λ_{max} , ФЛ, нм	QY, %
CdTe	гексан	761 нм	9,0

ФОРМУЛА ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ

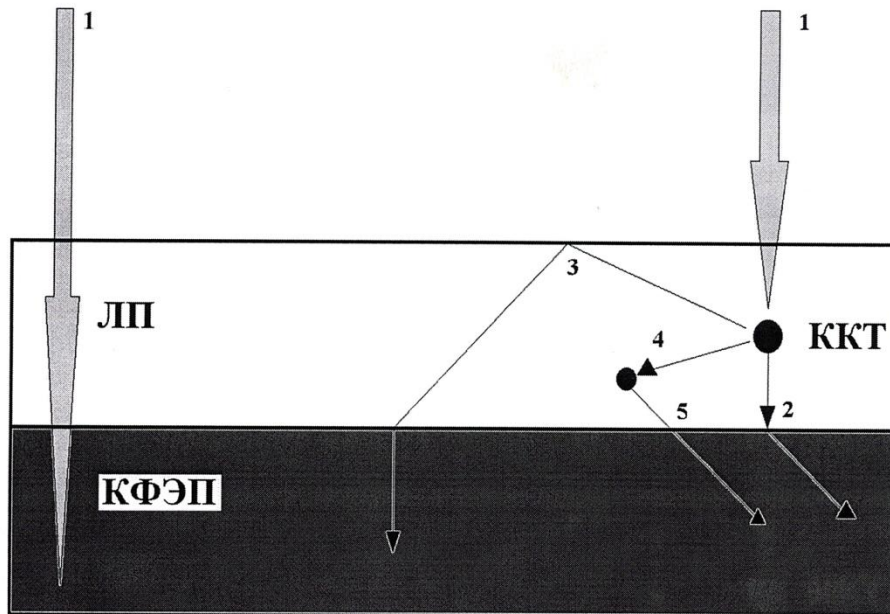
1. Способ увеличения коэффициента полезного действия (КПД) действующих кремниевых фотоэлектрических преобразователей (КФЭП), включающий применение спектральной трансформации уменьшая степень обратного отражения падающего солнечного излучения *отличающийся* тем, что излучают с помощью люминесцентного преобразователя ЛП при спектральной трансформации солнечного излучения, при этом происходит поглощение высокоэнергетической части прямого и отраженного от лицевой поверхности КФЭП солнечного излучения которые возбуждают содержащие в ЛП квантовые точки (КТ) теллурида кадмия CdTe; после акта поглощения КТ люминесцируют в области соответствующей максимуму спектральной чувствительности КФЭП увеличивая световой поток поглощаемый материалом КФЭП, этот процесс генерирует рождение дополнительных электронно-дырочных

пар, приводящей к увеличению выходной мощности, электрического тока, напряжения, увеличению КПД КФЭП.

2. Способ по п.1, *отличающийся* тем, что люминесцентный преобразователь представляет тонкую пленку с толщиной 30 мкм, с внедренными коллоидными квантовыми точками полупроводников CdTe с диаметром $7,9 \pm 0,8$ нм., которые получают при нанесении методом спин-коутинга на лицевую поверхность солнечного элемента (СЭ) смеси квантовых точек и полимера.

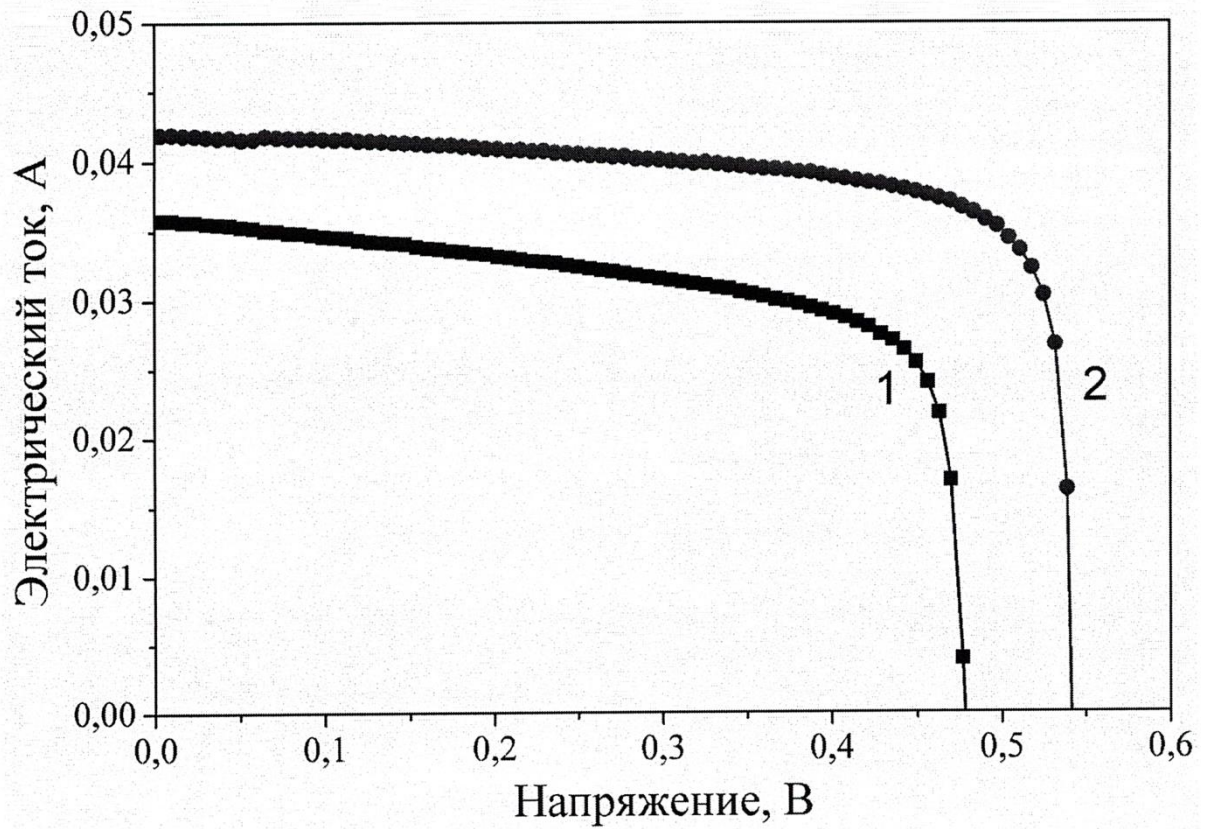
3. Способ по п. 2, *отличающийся* тем, что смесь получена при гомогенном размешивании золи квантовых точек CdTe в хлороформе в жидком полиметилметакрилате.

4. Способ по п. 1, *отличающийся* тем, что используют коллоидные квантовые точки CdTe обладающие широкой полосой люминесценции от 700 нм до 850 нм с максимумом при 760 нм, 820 нм и широкой полосой возбуждения охватывающей ультрафиолетовую и видимую область спектра.



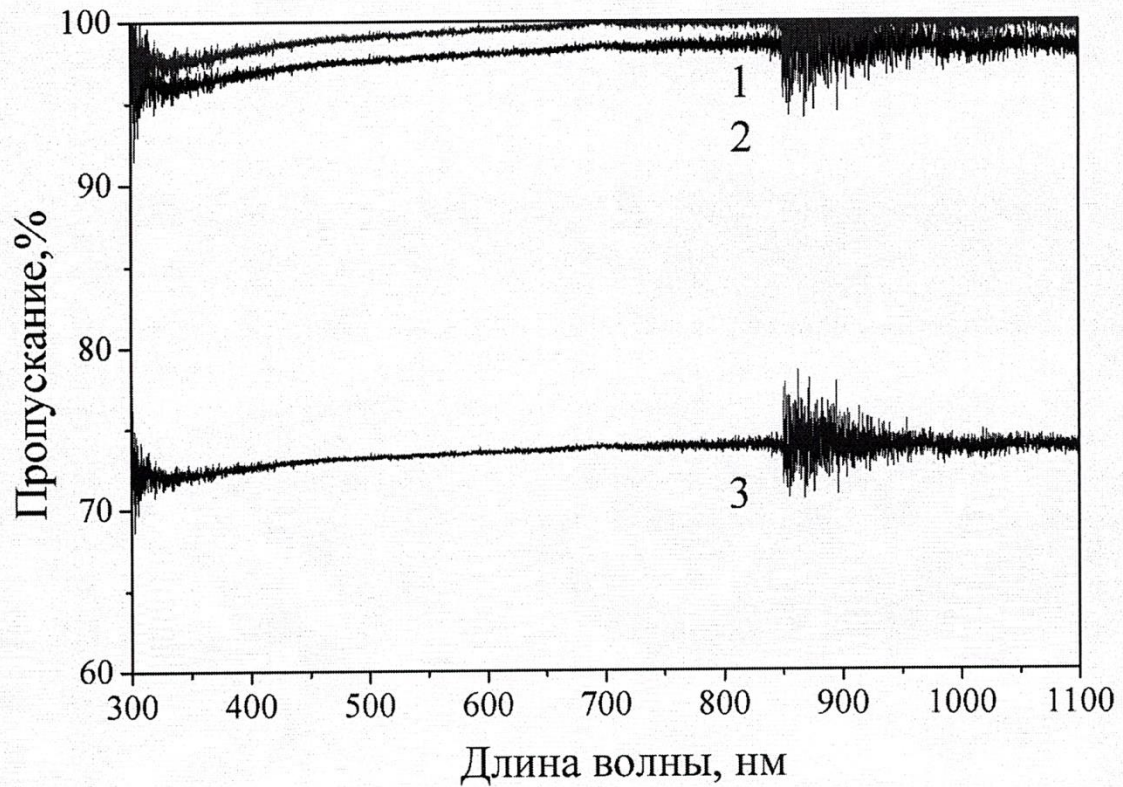
ЛП - люминесцентный преобразователь, ККТ – коллоидная квантовая точка теллурида кадмия CdTe, КФЭП – кремниевый фотоэлектрический преобразователь, 1 – первичное солнечное излучение, 2, 3, 4, 5- ход лучей в люминесцентном преобразователе [6 *Efthymios Klampaftis, David Ross, Keith R. McIntosh, Bryce S. Richards Enhancing the performance of solar cells via luminescent down-shifting of the incident spectrum: A review//Solar Energy Materials & Solar Cells 93 (2009) 1182–1194*]

Фиг.1 - Схематичное изображение поперечного разреза люминесцентного преобразователя нанесенного на лицевую поверхность КФЭП



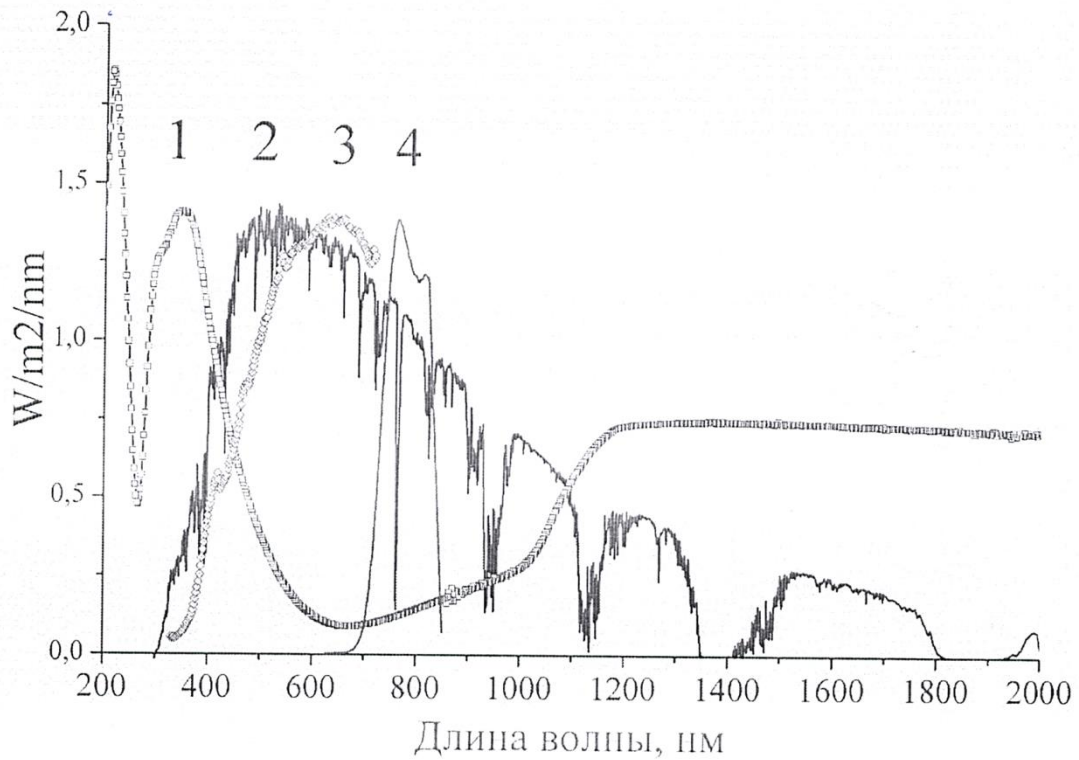
1-исходный КФЭП, 2- КФЭП покрытый одним слоем люминесцентного преобразователя

Фиг.2 - Вольт - амперная характеристика фрагмента КФЭП



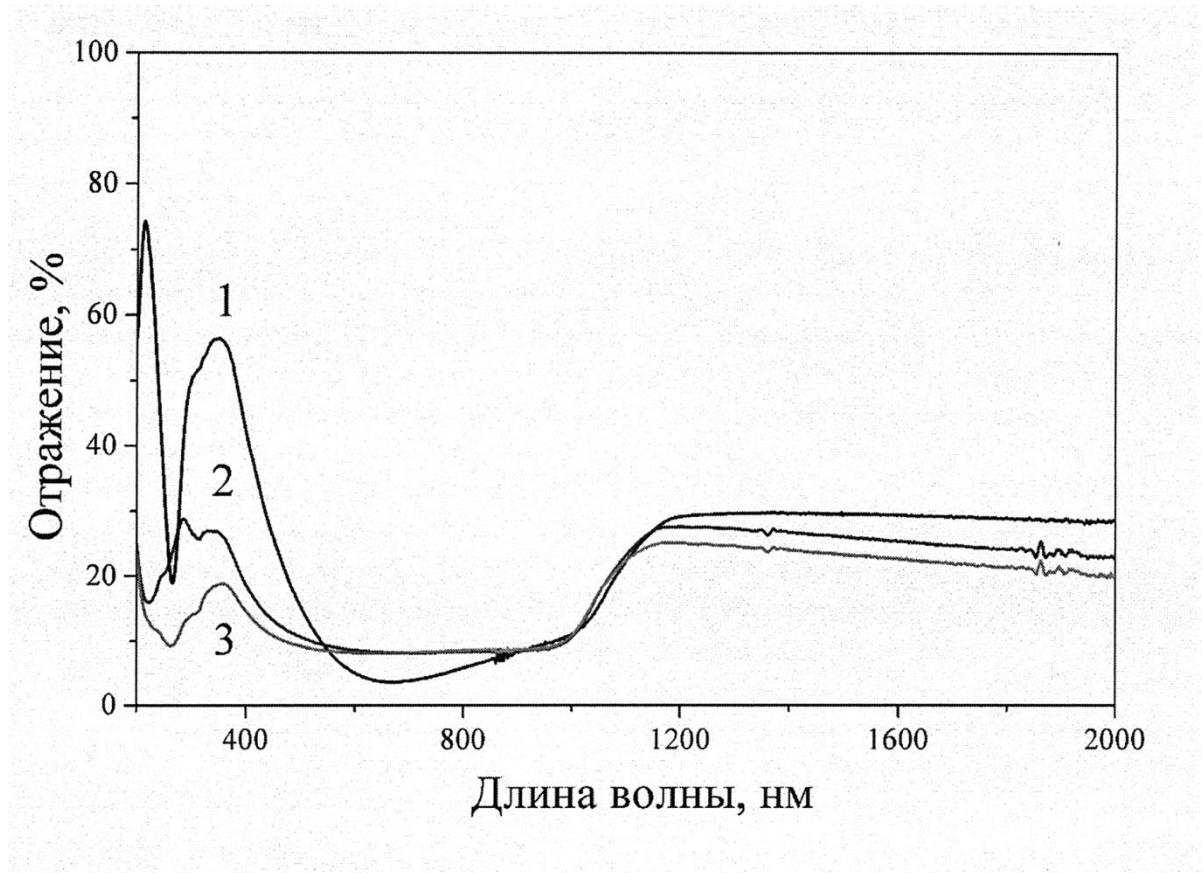
1- спектр оптического пропускания исходной полимерной матрицы, 2- спектр оптического пропускания одного слоя ЛП, 3- спектр оптического пропускания двух слоев ЛП

Фиг.3 – Спектры оптического пропускания люминесцентного преобразователя



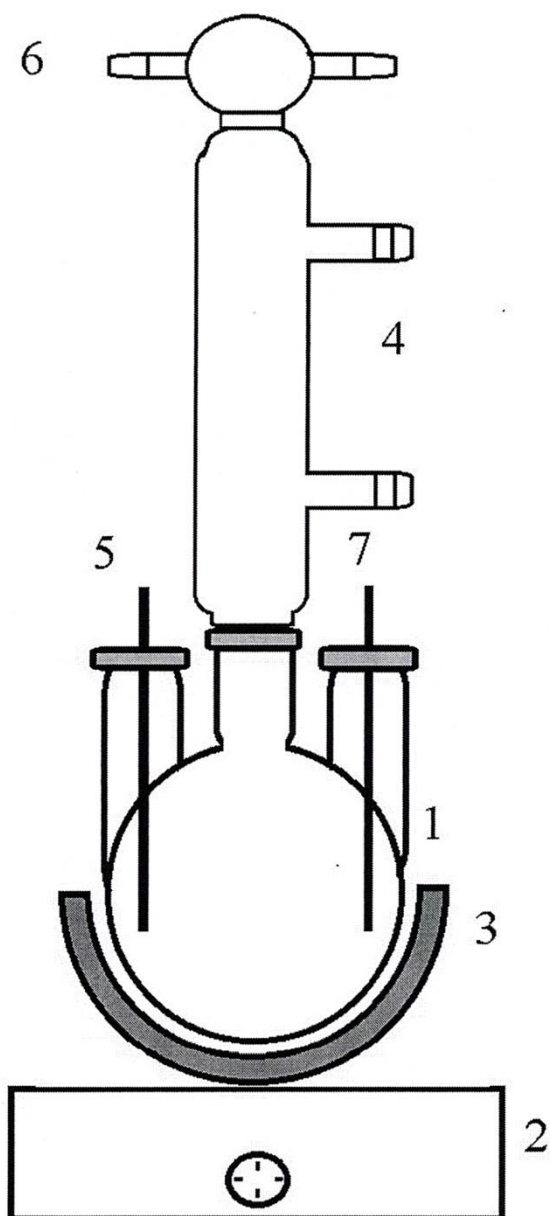
1- спектр диффузного отражения КФЭП, 2- спектр солнечного излучения при 1,5 АМ, 3- спектр возбуждения КТ CdTe, 4- спектр фотолюминесценции КТ CdTe

Фиг.4 – Спектры соответствия люминесценции КТ CdTe, диффузного отражения КФЭП и спектра солнечного излучения



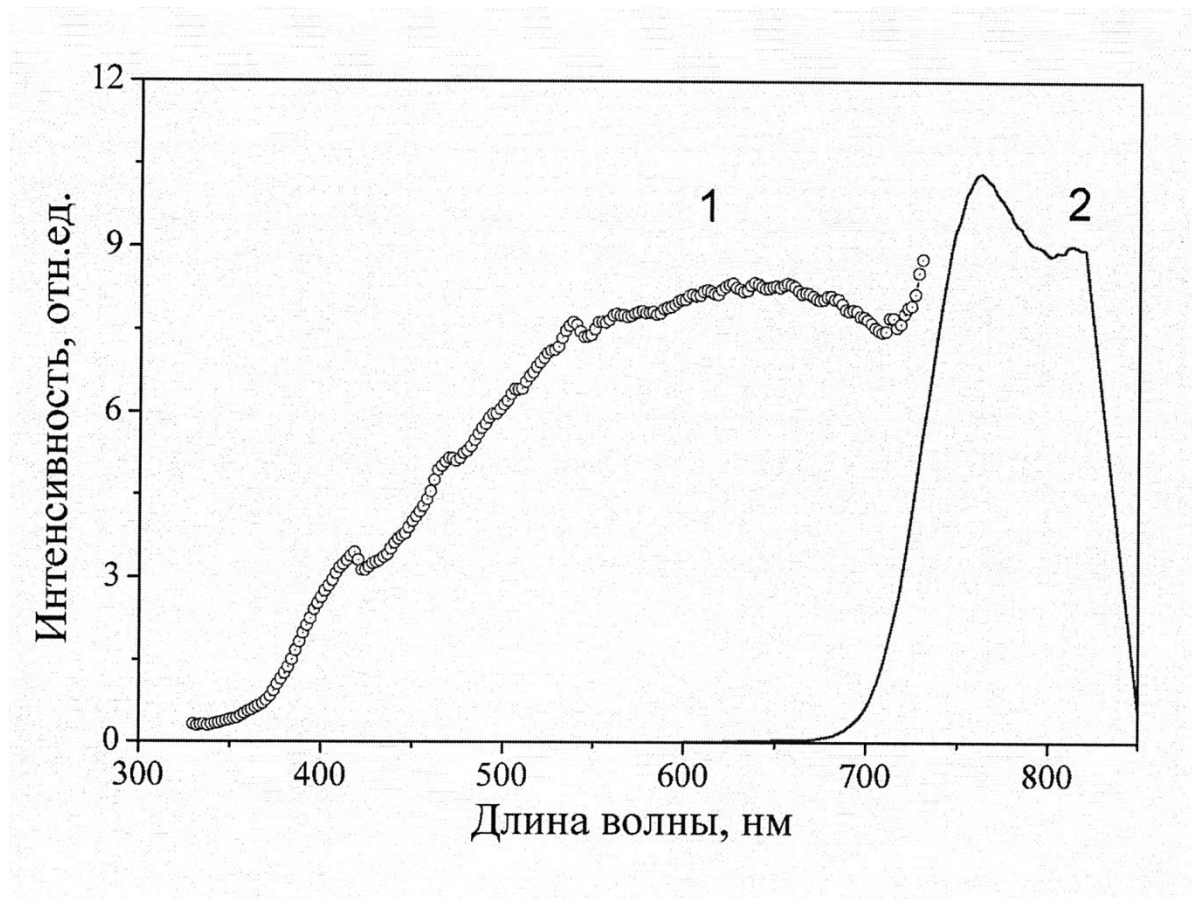
1- для исходного образца КФЭП, 2- для образца КФЭП с одним слоем ЛП, 3- для образца КФЭП с тройным слоем ЛП

Фиг.5 – Спектры диффузного отражения КФЭП



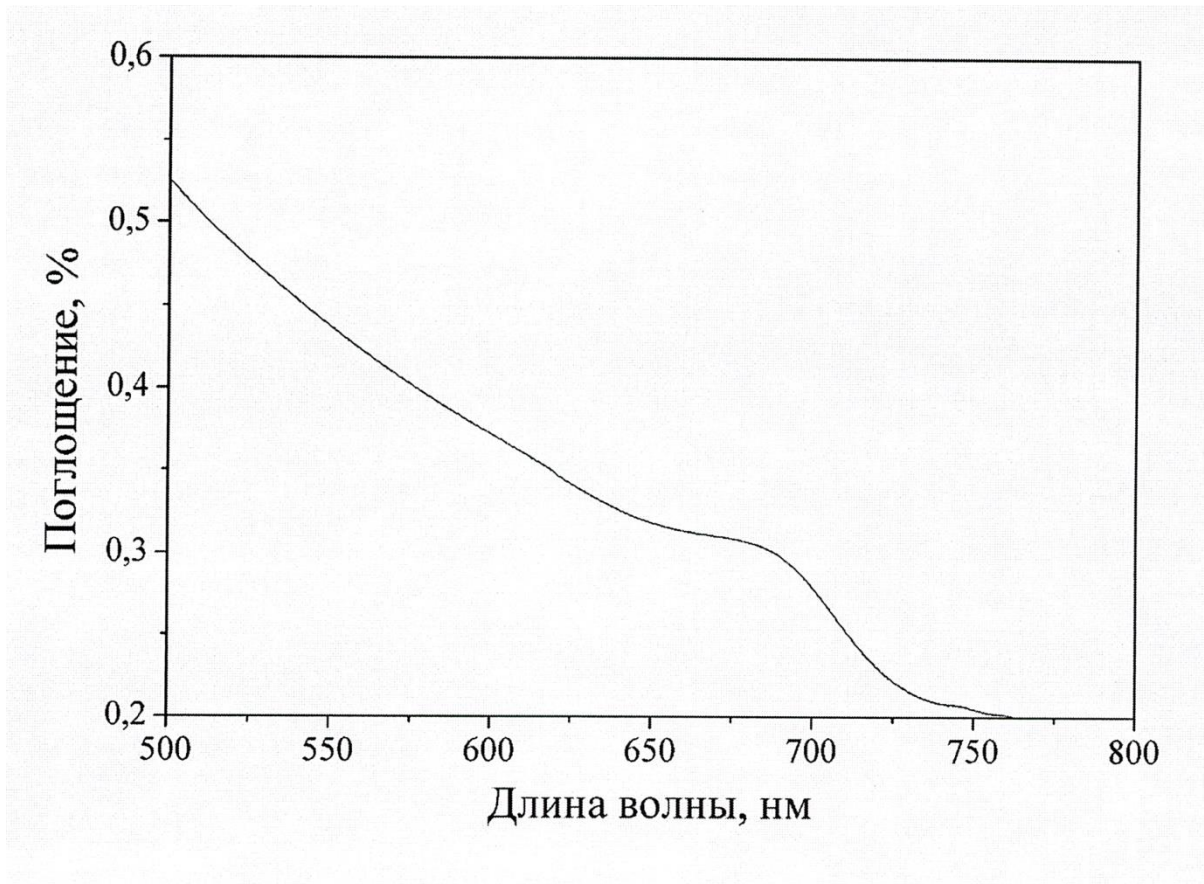
1 - трёхгорловая кварцевая колба, 2 – магнитная мешалка с подогревом, 3 – теплоизолятор, 4 - обратный холодильник, 5 – термопара соединенная с термоконтроллером, 6 – вход для подачи аргона (газ., осч.), 7 – вход для введения прекурсоров

Фиг.6 – Экспериментальная установка для получения КТ

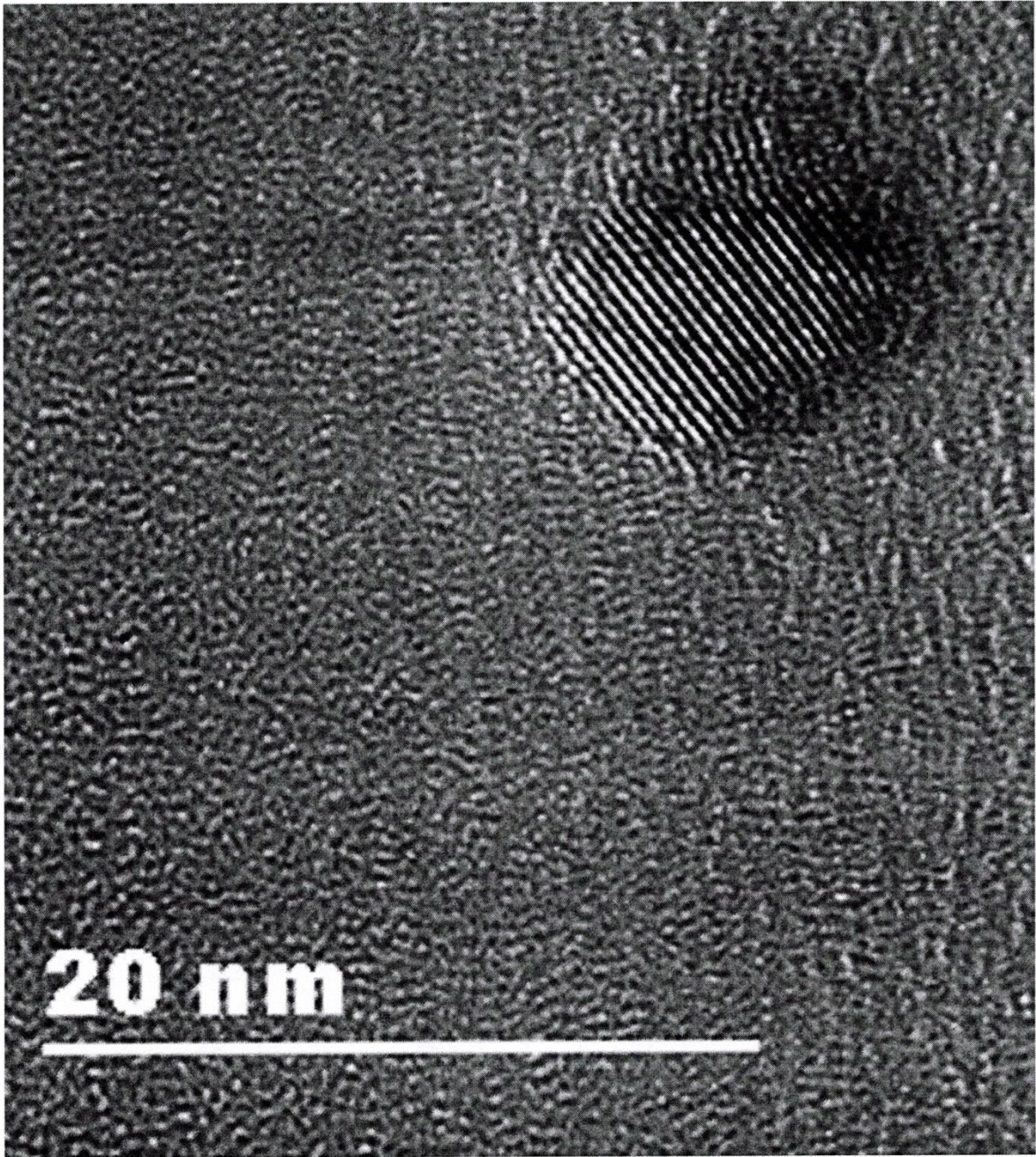


1-спектр возбуждения, 2- спектр люминесценции

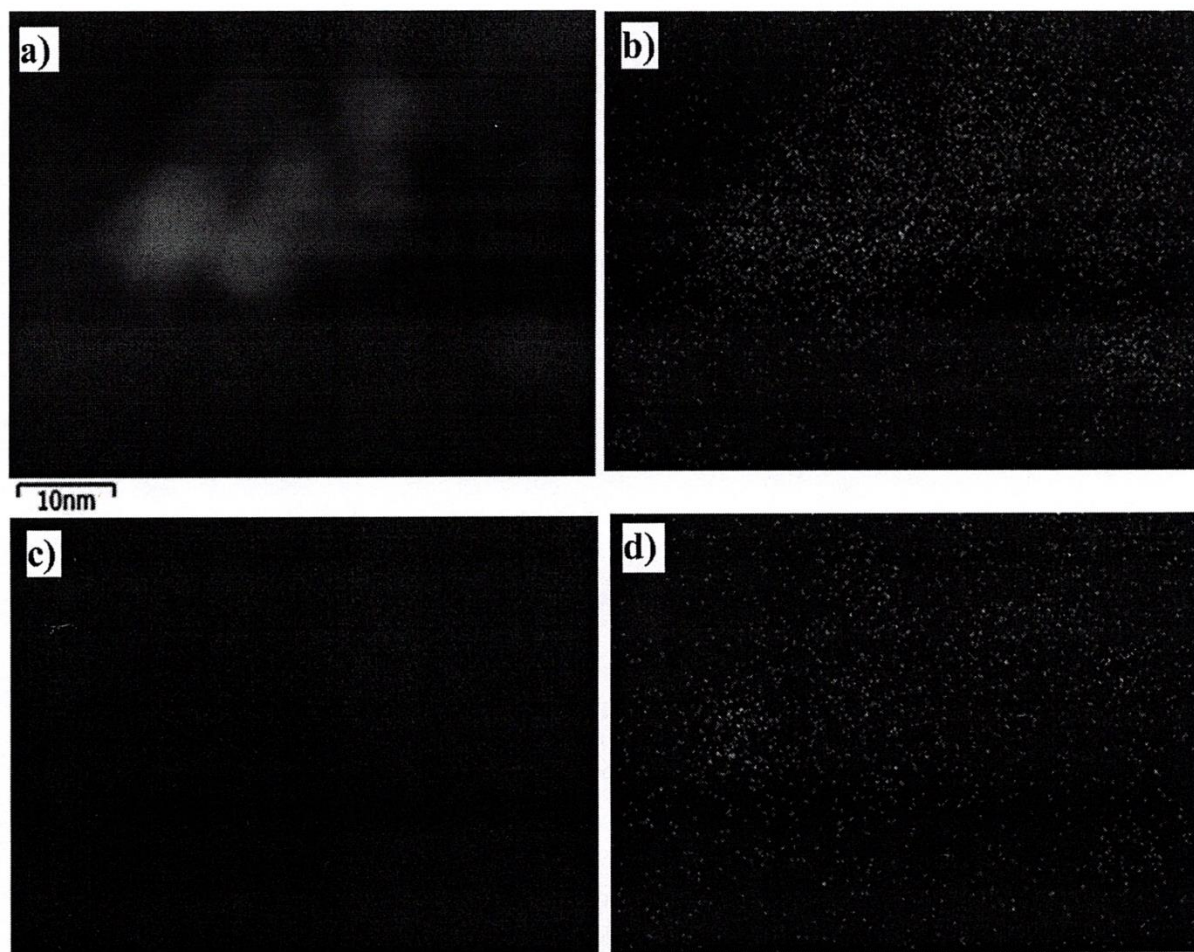
Фиг.7– Спектр возбуждения и люминесценции КТ CdTe при 300 К



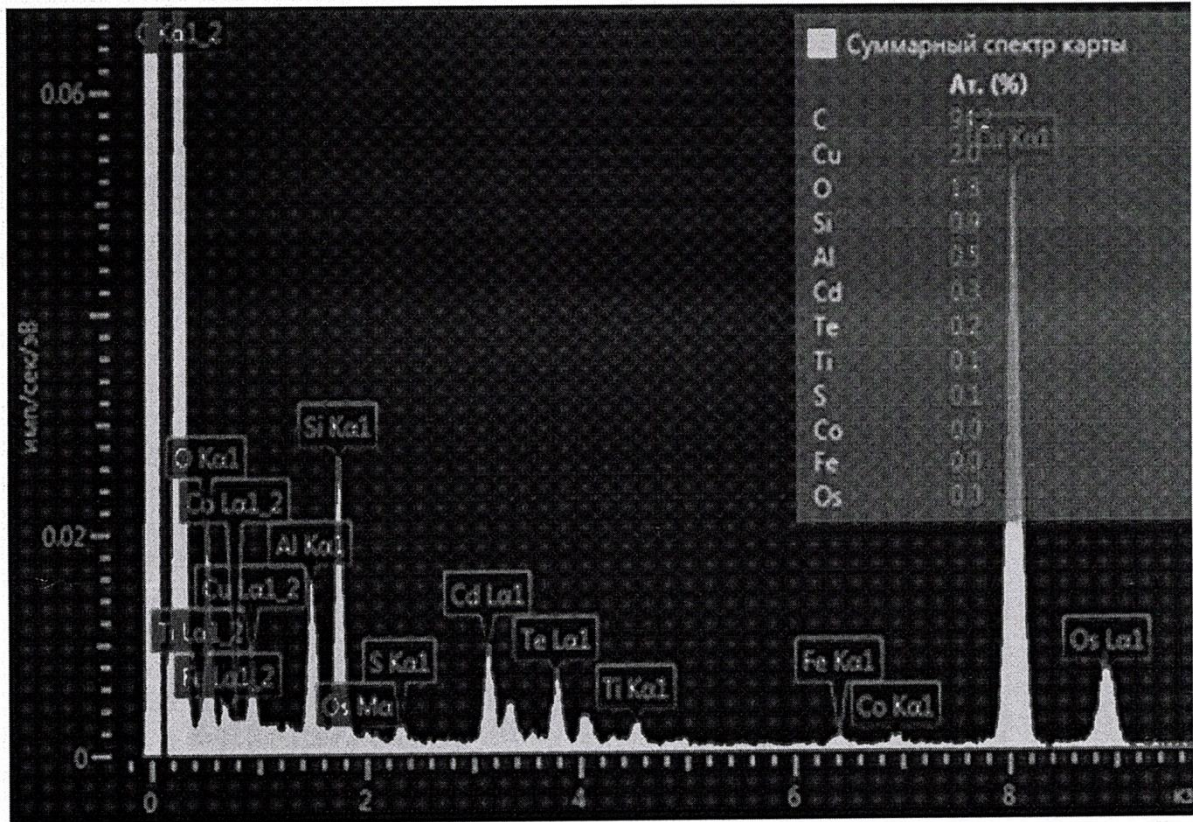
Фиг.8 - Спектр оптического поглощения КТ CdTe



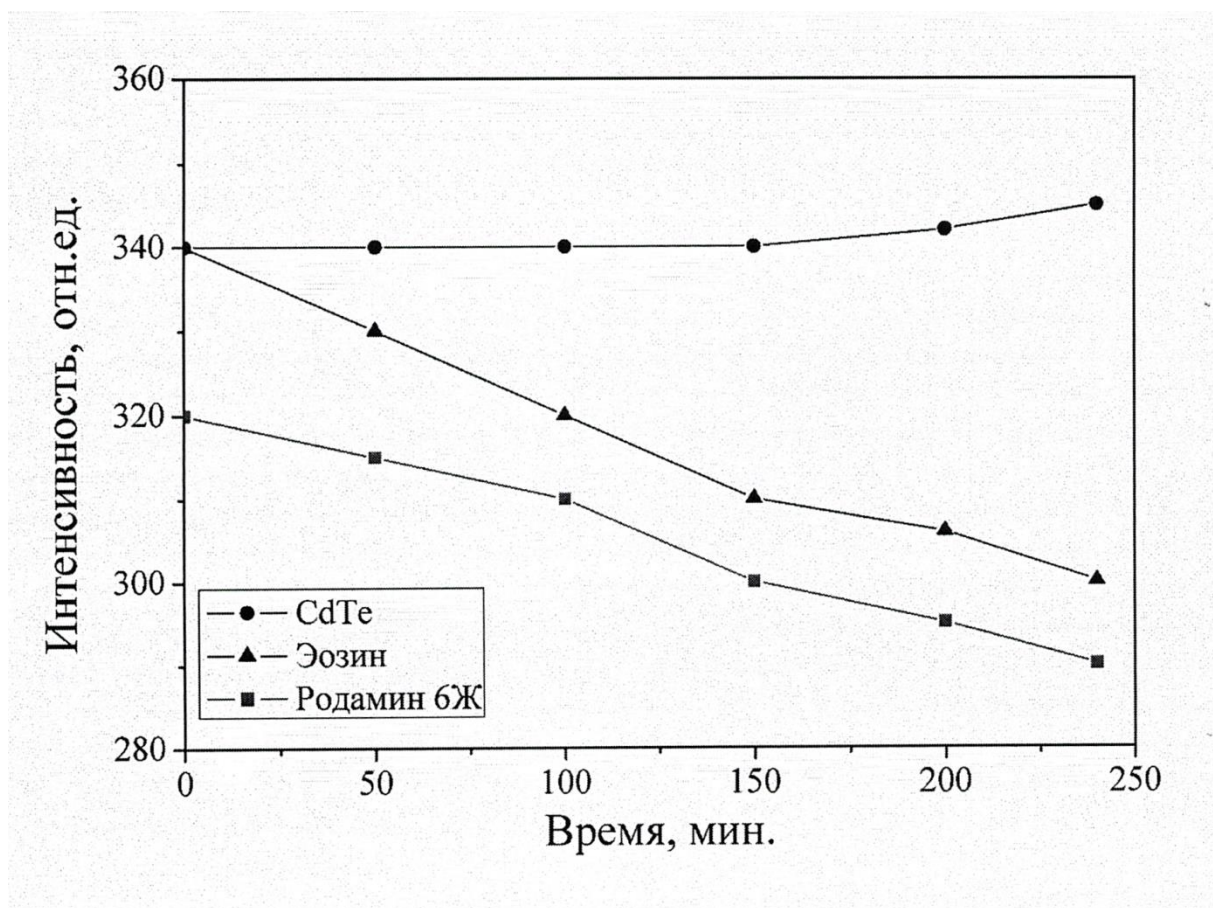
Фиг.9 - Снимок ПЭМ высокого разрешения КТ CdTe



Фиг.10 - Данные микроанализа для образца КТ CdTe, полученных при температуре 250°C: (а) общий вид нанокристаллов; (b) карты распределения кадмия, (с) теллура, (d) серы для КТ CdTe/CdS



Фиг.11- Данные энергодисперсионной спектроскопии образцов КТ CdTe синтезированных при 250°C



Фиг.12 – Фотостабильность люминесценции КТ и органических красителей

