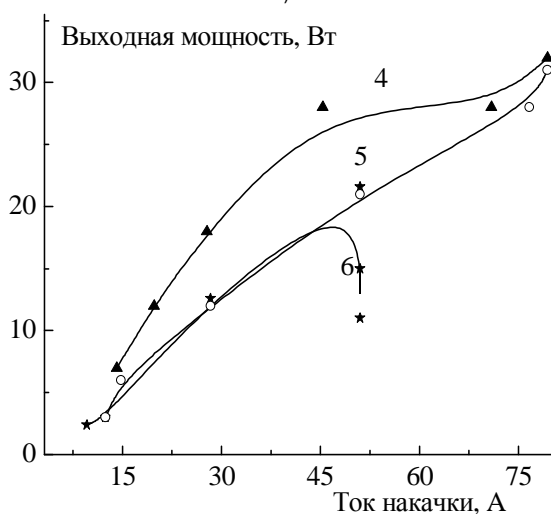


а)



б)

Рис. 3. Ваттамперные характеристики ЛДЛ на медных (а) и алмазных (б) основаниях. Длительность импульсов тока: 30 (1), 50 (2), 100 (3), 500–1000 (4–6) мкс. Кривые 1–4 получены для образцов, не прошедших наработку, 5 и 6 – после наработки

Заключение. Разработана технология формирования высокоадгезионных металлических покрытий, позволяющая создавать лазерные диодные структуры с высокоэффективным теплоотводом на основе искусственных алмазов, обладающие улучшенными базовыми характеристиками. В случае лазерных диодов непрерывного режима на основе АТО достигается увеличение выходной мощности до 2-х раз и существенное расширение линейного (рабочего) участка ваттамперной характеристики. Применение алмазных теплоотводящих оснований для импульсных линеек позволяет расширить рабочую область по току накачки в 2–3 раза и более чем на порядок - по длительности возбуждающих импульсов при частоте следования ≥ 10 Гц в миллисекундном диапазоне.

Работа поддержана Белорусским республиканским фондом фундаментальных исследований и Вьетнамской академией наук и технологий в рамках совместного международного проекта (Ф09ВН-007).

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Природные алмазы России / Под ред. В.Б. Кваскова. – Москва: Полярон, 1997. – 304 с.
2. Anthony T.R, Banholzer W.F., Fleischer T.F et al. Thermal diffusivity of isotopically enriched ^{12}C diamond // Phys. Rev. B., 1990. – V. 42. – No. 2. – P. 1104–1111.
3. Моряков, О.С. Природные алмазы в полупроводниковой электронике // Обзоры по электронной технике / О.С. Моряков, В.Б. Квасков, В.В. Горбачев, Р.Б. Зезин, Т.В. Храброва. – Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1988. – В. 4 (1342), 36 с. – М: ЦНИИ "Электроника".
4. Моряков, О.С. Алмазные теплоотводы в конструкции полупроводниковых приборов // Обзоры по электронной технике. – Сер. 2. Полупроводниковые приборы, 1982. – В. 1(857), 46с. – М: ЦНИИ "Электроника".
5. Баранов, В.В. Особенности микромонтажа мощных лазерных диодов / В.В. Баранов, В.В. Паращук, Г.И. Рябцев [и др.] // Сб. материалов V Международной научно-технической конференции "Проблемы проектирования и производства РЭС" (Новополоцк, 29–30 мая 2008). – ПГУ, 2008. – С. 40–44.
6. Рябцев, Г.И. Теплоотводы на основе искусственных алмазов для мощных лазерных диодов / Г.И. Рябцев, Л.Е. Батай, В.В. Паращук [и др.] // Lithuanian Journal of Physics, 1999. – V. 39. – No.4–5. – P. 389–394.

Материал поступил в редакцию 12.11.09

PARASHCHUK V.V., BELYAEVA A.K., BARANOV V.V., TELESH E.V., RUSAKOV K.I., VU DOAN MIEN, VU VAN LUC, PHAM VAN TRUONG. Optimization of thermal regimes of diode lasers

Are developed chemical and vacuum methods of formation of metal coverings with high adhesion to various surfaces on the basis of multifunction ionic-beam and magnetron evaporation systems, including with reference to the copper and diamond heat sink substrates for diode lasers. Optimum conditions of assembly of the diode lasers and bars are determined on the basis of the developed metallization methods and essential improvement of output characteristics of devices is achieved.

УДК 534.42

Русаков К.И., Пфедфер М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ СТРУКТУР С НАНОКРИСТАЛЛАМИ CdS и CdSe МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

Введение. В последнее время физико-химические свойства полупроводниковых наночастиц привлекают к себе внимание ввиду их непосредственного использования при разработке устройств микроэлектроники, интегральной оптики, спектрального кодирования биомолекулярных процессов. Широкие возможности дизайна нанообъектов на принципах самосборки в процессах коллоидно-химического синтеза позволяют реализовать масштабируемые технологии с массовым выходом наноразмерных продуктов. Одним из методов исследования

структуры наночастиц является атомно-силовая микроскопия [1].

Изучение оптических свойств нанокристаллов (НК) полупроводниковых соединений A_2B_6 представляет большой интерес как с точки зрения исследования фундаментальных физических свойств низкоразмерных систем, так и в связи с возможностью использования НК при разработке нелинейных оптических устройств. Интенсивные экспериментальные и теоретические исследования эффектов в системах наночастиц позволили установить основные механизмы их

Пфедфер Михаэль, проректор по науке и международным связям Hochschule Rawensburg-Weingarten, Вайнгартен, Германия.

Физика, математика, информатика

линейных и нелинейных оптических свойств, продемонстрировать или предсказать их существенное отличие от явлений в объемных кристаллах. При этом структура поверхности нанокристаллов оказывает сильное влияние на их оптические свойства, поэтому параллельно с исследованием поверхностей методом АСМ обычно проводится изучение спектров поглощения и фотолюминесценции от рассматриваемых плотноупакованных наноструктур.

В работе с помощью метода атомно-силовой микроскопии (АСМ) изучены особенности морфологии поверхности структур с нанокристаллами сульфида кадмия и селенида кадмия, изучены спектры поглощения нанокристаллов CdSe в диэлектрической матрице полиметилметакрилата (ПММА).

Методика эксперимента. Нанокристаллы НК CdSe были синтезированы по методу, описанному в [2]. После синтеза коллоидальный раствор НК был подвергнут дефлегмации для получения нанокристаллов с предельно малым разбросом размеров. После этого фаза, содержащая НК CdSe, была осаждена в метаноле при комнатной температуре и перерастворена в хлороформе с соответствующим количеством ПММА. Тонкие пленки ПММА, содержащие НК CdSe, были получены после нанесения раствора на кварцевые подложки и высушивания при комнатной температуре. Объемная фракция f нанокристаллов CdSe в исследованных образцах определялась из соотношения масс реагентов, используемых в процедуре синтеза. Спектры поглощения были измерены спектральным комплексом Shimadzu UV-3101 PC с разрешением 0.3 нм.

Нанокристаллы CdS были приготовлены смешиванием двух равномолярных (10^{-2} М) растворов при комнатной температуре: тiogлицерола кадмиевой соли и сульфида натрия. Оба были растворены в диметилсульфоксиде (ДМСО). Две части коллоидного раствора нанокристаллов CdS были нагреты до 170° С в азоте с избытком ионов кадмия. Для удаления остаточных компонентов полученный коллоидный раствор нанокристаллов был осажден с использованием ацетона и осажден заново в свежем растворе ДМСО.

Для изучения состояния поверхности образцов после завершения процессов самосборки нанокристаллов использовалась портативная установка Nanosurf easyScan 2, позволяющая исследовать образцы как методом атомно-силовой, так и методом сканирующей туннельной микроскопии. Головка АСМ позволяла осуществлять перемещение кантилевера в пределах 70 микрон с шагом разрешения 1,1 нм. Топография поверхности сканировалась при постоянной силе 20 нН.

Результаты и обсуждение. Для плотноупакованных нанокристаллов сульфида кадмия, осажденных на кварцевую и стеклянные подложки, наблюдались элементы самоорганизации, возникшие при самосборке отдельных нанокристаллов (рис. 1 и рис. 2).

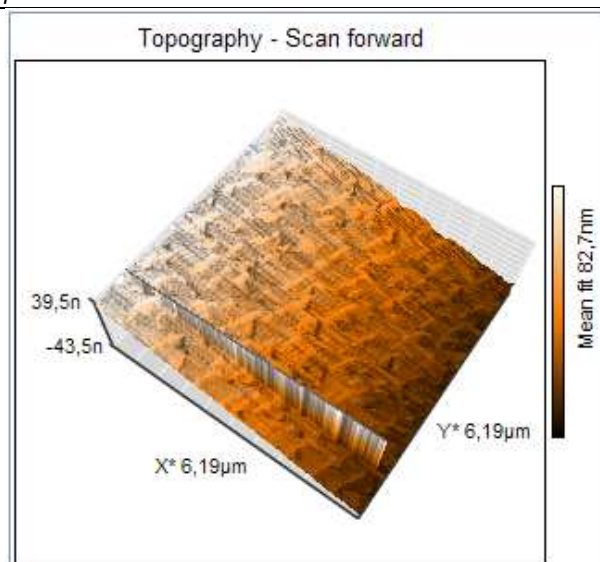


Рис. 1. Нанокристаллы сульфида кадмия на стеклянной подложке с пленкой ПММА. Размер области сканирования 6.19 мкм

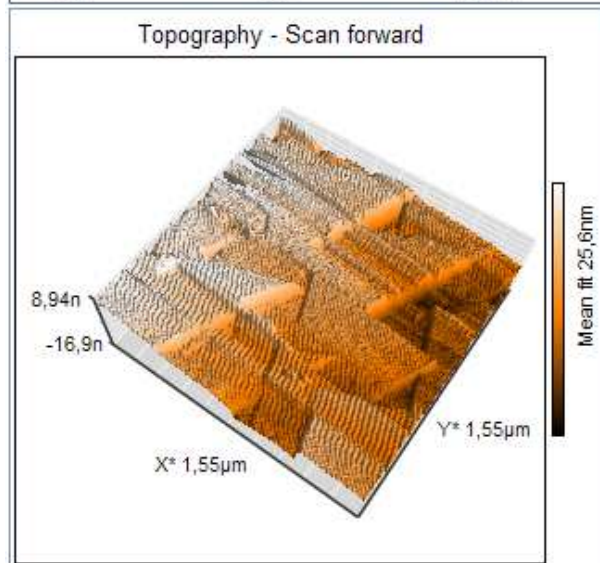
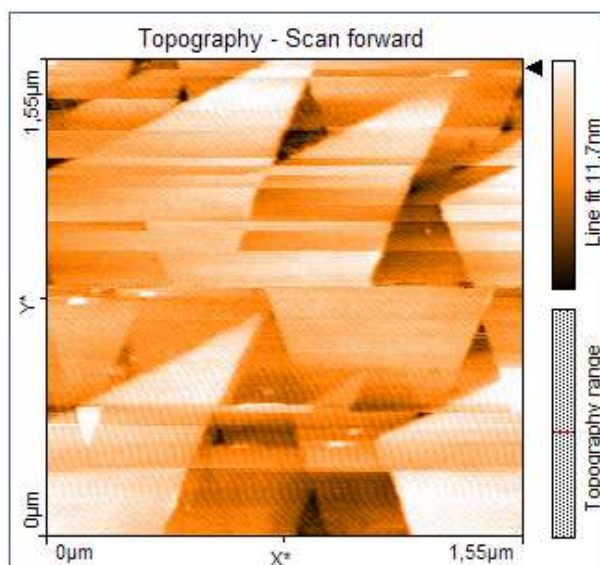
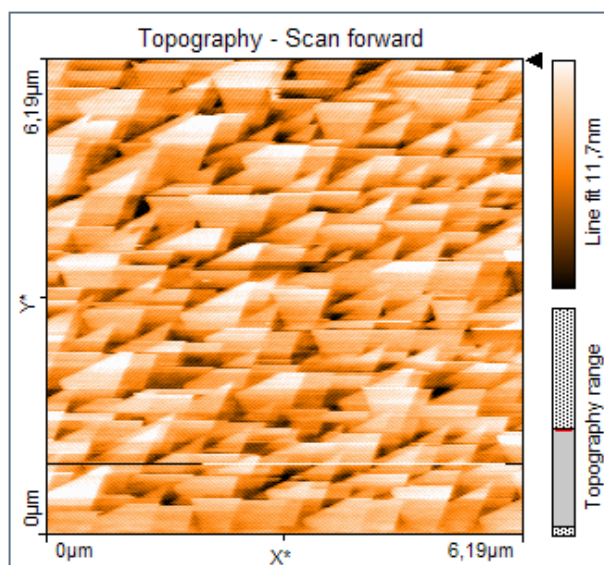


Рис. 2. Нанокристаллы сульфида кадмия на стеклянной подложке с пленкой ПММА. Размер области сканирования: 1.55 мкм



На рис. 2 хорошо видна разориентация соседних нанокристаллов, волнистые линии, заметные при таком разрешении, обусловлены вибрациями, вызванными как внешними факторами, так и работой шагового двигателя установки. Специальная стабилизирующая площадка TS-150, на которой располагается головка АСМ, в этом случае уже малоэффективна.

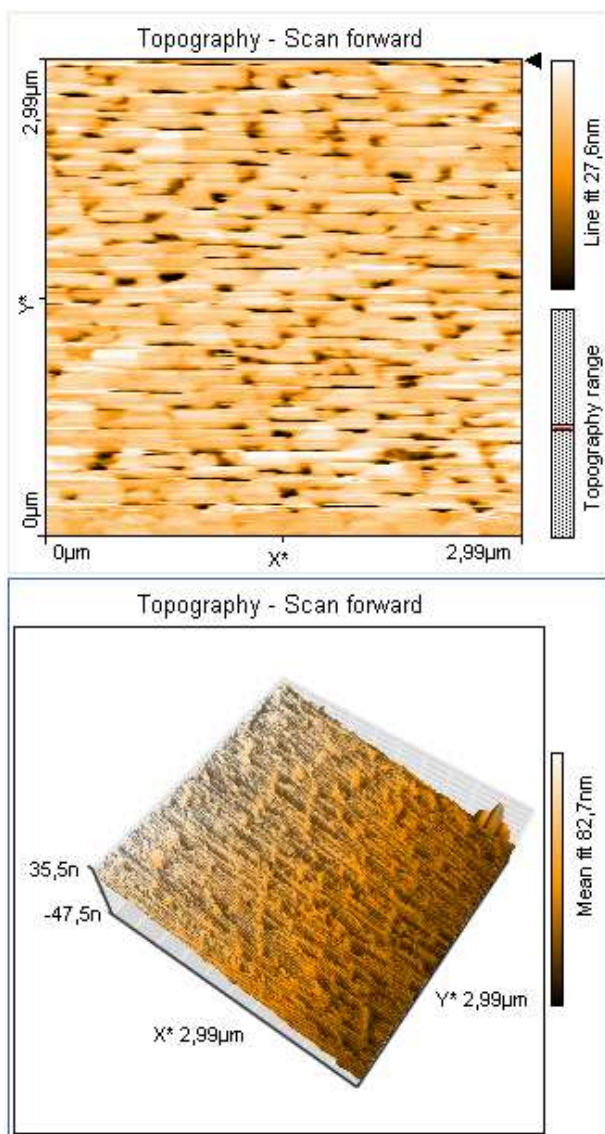


Рис. 3. Нанокристаллы селенида кадмия на стеклянной подложке с пленкой ПВС (поливинилстирола). Размер области сканирования: 2.99 мкм

При синтезе нанокристаллов CdSe их размер варьировался в пределах от 20 до 60 нм, поэтому результаты самосборки не так ярко выражены, как у предыдущего образца CdS, имеется разнородность в размерах вершин и впадин поверхности, не очень проявляется одинаковость кристаллографической ориентации соседних кристаллитов. На рис. 4 с увеличенным масштабом сканирования эти особенности еще более выражены.

Экспериментальные данные, представленные на рис. 4, наглядно демонстрируют, что нанокристаллы CdSe имеют на исследованной поверхности преимущественно сферическую форму, что дает возможность создавать структуры «ядро-оболочка» из разных полупроводников, которые могут являться основой для элементной базы нанoeлектроники. Для дальнейших исследований были синтезированы структуры «ядро-оболочка» CdSe/ZnS.

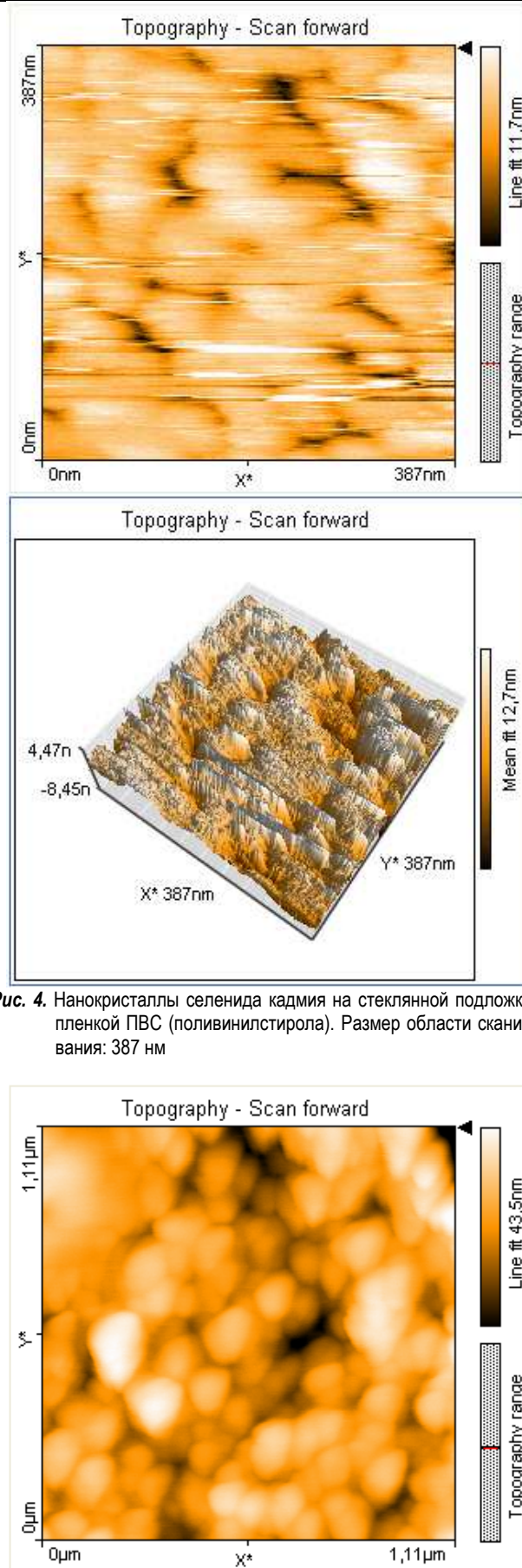


Рис. 4. Нанокристаллы селенида кадмия на стеклянной подложке с пленкой ПВС (поливинилстирола). Размер области сканирования: 387 нм

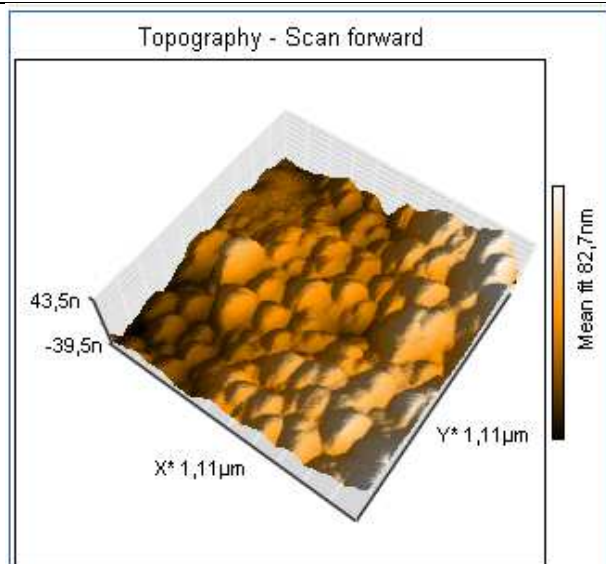


Рис. 5. Структуры «ядро-оболочка» CdSe/ZnS на стеклянной подложке с пленкой ПММА. Размер области сканирования 1.11 мкм

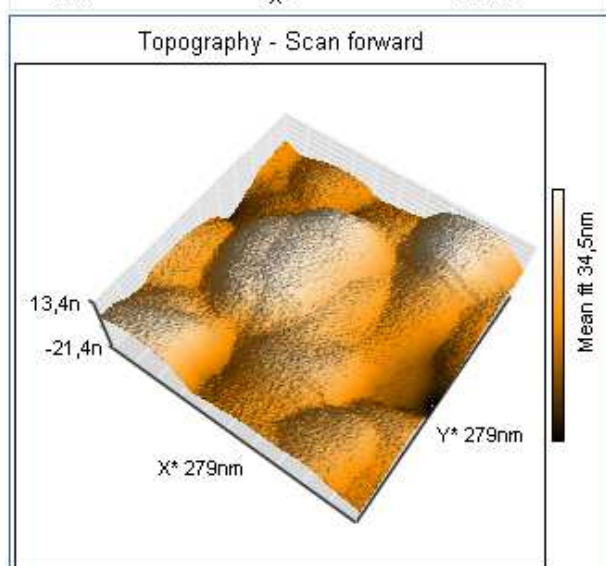
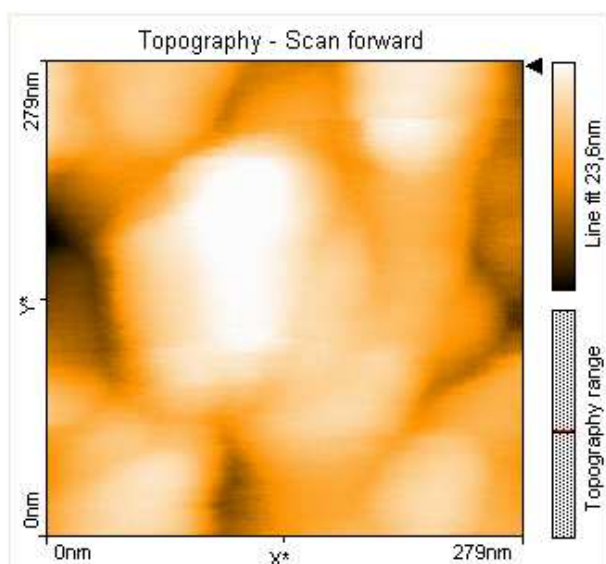


Рис. 6. Структуры «ядро-оболочка» CdSe/ZnS на стеклянной подложке с пленкой ПММА. Размер области сканирования 279 нм

Результаты АСМ-сканирования для подобных структур указывают на отсутствие выделенных направлений на поверхности, бугристость не имеет системы, а изображение в увеличенном масштабе на рис. 6 демонстрирует случайное заполнение впадин разноразмерными сферами типа «ядро-оболочка».

В дополнение к изучению поверхности наноструктур с помощью АСМ нами исследовалась зависимость спектров поглощения нанокристаллов CdSe от их концентрации в матрице. В спектрах поглощения всех исследованных образцов (рис. 7) отчетливо видны узкие полосы резонансов, соответствующие переходам между квантованными электронно-дырочными состояниями. Край поглощения значительно (~ 280 нм) сдвинут в коротковолновую область по сравнению с объемным CdSe, что является следствием эффекта размерного квантования. С ростом концентрации нанокристаллов в матрице от 5% до 35% пики поглощения становятся менее выраженными, т.е. наблюдается постепенный переход от спектра, присущего системе изолированных кластеров CdSe (рис. 7,а), к спектру делокализованных электронных состояний, содержащему только слабо выраженную полосу поглощения с максимумом 416 нм (рис. 7, с).

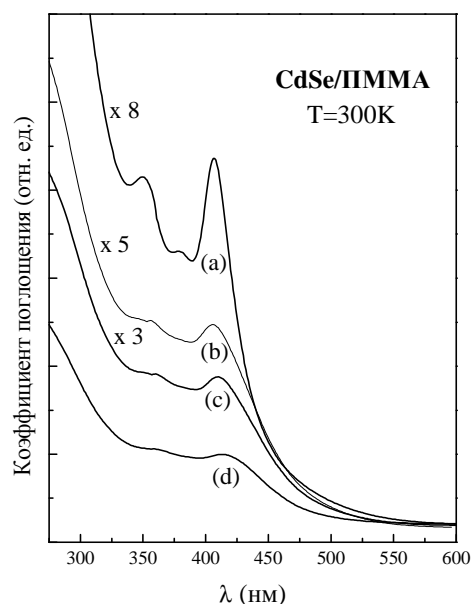


Рис. 7. Спектры поглощения НК CdSe в матрице ПММА с концентрацией наночастиц 3% (а), 14% (b), 25% (с) и 43% (d)

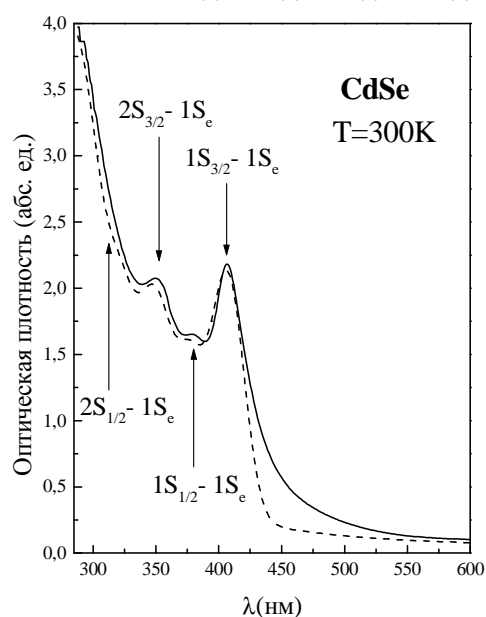


Рис. 8. Экспериментальный (сплошная кривая) и рассчитанный по формуле (1) спектры поглощения НК CdSe

Для того, чтобы оценить средний размер наночастиц \bar{r} и установить соответствие между наблюдаемыми полосами поглощения и электронной структурой нанокристаллов, было проведено моделирование измеренных спектров поглощения, согласно формуле

$$\alpha(\hbar\omega) = A \sum_{ln} (2l+1) \left(\frac{\mu \bar{r}}{\hbar^2 k_{ln}^2} \right) \left(\frac{2\mu(\hbar\omega - E_g)}{\hbar^2 k_{ln}^2} \right)^{\frac{3}{2}} P\left(\frac{r}{\bar{r}}\right), (1)$$

где A – константа, $k_{ln} = \varphi_{ln}/r$, φ_{ln} – корни функции Бесселя, соответствующие значениям орбитального и главного квантовых чисел, μ – приведенная эффективная масса электронно-дырочного состояния, E_g – ширина запрещенной зоны, $P(r/\bar{r})$ – функция распределения нанокристаллов по размерам (распределение Гаусса). Величины E_g и \bar{r} были использованы как параметры в процедуре фиттинга. Результаты моделирования и идентификации оптических переходов представлены на рис. 8. Установлено также, что величина однородного уширения полос поглощения не превышает 20 мэВ.

Заключение. Атомно-силовая микроскопия поверхности нанокристаллов CdSe и CdS позволила обнаружить сильное влияние начальной ориентации нанокристаллов на процессы самосборки кристаллов размером порядка сотни нанометров. Нанокристаллы меньшего размера имеют форму, близкую к сферической, что уменьшает степень самоорганизации поверхности наноструктур.

Работа выполнена в результате исследований по теме: «Новые самоорганизованные кристаллические и молекулярные структуры (коллоидные кристаллы, нанокристаллы, металлические наночастицы) для разработки высокочувствительных методов анализа состава вещества и высокоэффективных источников оптического излучения» (ГКПНИ «Кристаллические и молекулярные структуры»).

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Binnig G., Quate C.F., Gerber Ch. Atomic force microscope // Phys. Rev. Lett. 1986. – Vol. 56. – P. 930–935.
2. Murray C.B., Norris D.J., Bawendi M.G. Synthesis and characterization of nearly monodisperse CdE (E = sulfur, selenium, tellurium) semiconductor nanocrystallites // J. Am. Chem. Soc., 1993. – Vol. 115, Iss. 19. – P. 8706–8715.

Материал поступил в редакцию 27.10.09

RUSAKOV K.I., PFEFFER M. Research of surfaces of structures with nanocrystals CdS and CdSe by a method atomic-power microscopy

The formation and ordering of CdS nanocrystals and agglomeration of the thin single crystalline CdS layer in polymeric film has been investigated using atomic force microscopy. The formation of multi-structure „core-shell” CdSe/ZnS in polymeric film has been investigated using atomic force microscopy.

УДК 539.23; 539.216.1

Ракович Ю.П., Русаков К.И., Гладыщук А.А., Чугунов С.В.

ОСОБЕННОСТИ НАПРАВЛЕННОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СИММЕТРИЧНЫХ ФОТОННЫХ МОЛЕКУЛАХ

Введение. В последние годы вырос интерес к изучению электромагнитных мод в твердых сферических микрорезонаторах, не только с точки зрения потенциальных применений, но и в качестве фундаментальных физических исследований. По сравнению с другими оптическими излучателями, диэлектрические прозрачные микросферы являются трехмерными сферическими микрополостями с высокой добротностью Q и малым объемом мод, что приводит к сильной оптической обратной связи в пределах полости. [1] Оптические резонансы, называемые модами шепчущей галереи (МШГ), вызваны полным внутренним отражением света от внутренней поверхности сферы. Поскольку электромагнитное поле не ограничено полностью в пределах сферы, а является затухающим в среде, окружающей сферическую частицу, этот факт предоставляет уникальные возможности для взаимодействия оптических резонансов с окружающей средой или с объектами, находящимися в непосредственной близости от полости. Между двумя и более микросферами, расположенными близко друг к другу, наблюдается оптическое сцепление мод, которое приводит к сложной перестройке структуры мод в режиме сильной связи, аналогично электронным молекулярным орбиталам в химической молекуле. По этой причине когерентно связанные микросферы называют фотонными молекулами (ФМ) [2, 3]. Экспериментально показано, что оптические моды во взаимодействующих системах микрополостей расщепляются на связанные и несвязанные моды. Таким образом, МШГ в фотонной молекуле, которые занимают весь объем взаимодействующих микрополостей, можно назвать супермоды.

Структуры фотонных молекул, состоящие из трех и более микрополостей, были теоретически изучены различными научными группами относительно супермод в системах с резко увеличивающейся добротностью Q , лазерах с низким порогом излучения и на-

правленной эмиссией [4–7]. Для получения оптимальных результатов, необходимо соблюдение ряда требований к системе, таких как симметрия фотонной молекулы с подобранными размерами микрополостей и оптимизация промежутка между сферами [7, 8]. Помимо фотонных молекул, большой интерес вызывают волноводные свойства цепей, состоящих из множества микросфер [9, 10]. В недавних исследованиях фотонных молекул, образованных из микросфер, были изучены оптические связи бисферической системы. Недавно мы наблюдали тонкую структуру когерентно связанных невырожденных мод [2]. Их оптическое сцепление приводит к расщеплению азимутальных резонансов.

В данной работе исследованы оптические свойства симметрично расположенных микросфер по отношению к направленной узкой эмиссии пучка за счет фотонного нанореактивного эффекта [11]. Появление нанореактивных пучков является результатом микролинзового эффекта. Пучки возникают на теневой стороне поверхности диэлектрической микрополости. Характерной особенностью нанореактивного эффекта является направленность луча, суженная часть которого меньше, чем предел дифракции, вследствие чего луч распространяется в пределах нескольких длин волн без существенного расхождения. Нанореактивный эффект наблюдался в оптически связанных цепочках микросфер [12]. В структурах треугольной формы, состоящих из 5 и из 7 сфер, наблюдалась сильно направленная эмиссия дальнего поля, которая является неотъемлемым признаком фотонного нанореактивного эффекта. Направленная эмиссия из фотонной молекулы соответствует симметрии структуры. Система, состоящая из 7 сфер, дополнительно имеет шестиугольное распределение интенсивности в пределах структуры. Помимо наблюдения направленной эмиссии, был проведен спектральный анализ рассеянного света от структур, состоящих из нескольких сфер. Параллельно исследованиям фотонного нанореактивного эффекта,

Чугунов Сергей Владимирович, преподаватель кафедры физики Брестского государственного технического университета. Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.