

## Литература

1. Мамакин С. С., Юнович А. Э., Ваттана А. Б., Маняхин Ф. И. // ФТП. 2003. № 37. С. 1131.
2. Бочкарева Н. И., Журнов Е. А., Ефремов А. А., Ребана Ю. Т., Горбунов Р. И., Шретер Ю. Г. // Там же. 2005. № 39. С. 627.
3. Бочкарева Н. И., Журнов Е. А., Ефремов А. А., Ребана Ю. Т., Горбунов Р. И., Клочков А. В., Лавринович Д. А., Шретер Ю. Г. // Там же. С. 829.
4. Маняхин Ф. И. // Известия вузов. Материалы электронной техники. 2004. № 1. С. 45.
5. Петров С. И., Кайдаш А. П., Красовицкий Д. М., Соколов И. А., Погорельский Ю. В., Чалый В. П., Шкурко А. П., Степанов М. В., Павленко М. В., Баранов Д. А. // Письма в ЖТФ. 2004. № 30. С. 13.
6. Панков Ж. Оптические процессы в полупроводниках. — М.: Мир, 1973.
7. Звягин И. П. // Письма в ЖЭТФ. 1996. № 69. С. 879.
8. Савельев И. В. Курс общей физики. — М.: Наука, 1978. Т. 2.

Статья поступила в редакцию 26 апреля 2006 г.

## Spectra of electroluminescence and the efficiency of light-emitting diodes on the basis of InGaN firm solution

N. S. Grushko, L. N. Potanakhina  
Ulyanovsk State University, Russia

*Investigated were spectra of electroluminescence for structures on the basis of InGaN firm solution ( $\lambda_{max} = 426$  nm) in a range of 3.2—3.6 V. Determined was a dependence of efficiency of investigated structure on a current, on which the maximum is observed at 4 mA. The reasons of reduction of the efficiency and rate of growth of the ampere-brightness characteristic with increase in a current through a sample are explained.*

УДК 537.226.83

## Фотолюминесценция в нанокompозитах на основе поливинилиденфторида и наполнителя CdS

М. А. Рамазанов

Бакинский государственный университет, Республика Азербайджан

*Изложены исследования фотолюминесцентных (ФЛ) свойств композиций на основе поливинилиденфторида (ПВДФ) и наполнителя CdS в интервале длин волн  $\lambda = 350—700$  нм. Получены композиции с размером частиц наполнителя CdS 3—5 мкм и 20—35 нм. Спектры фотолюминесценции исследованы в области длин волн 300—1000 нм. Появление дополнительного максимума для композиции ПВДФ+ CdS с размером 3—5 мкм вызвано, по видимому, слабыми межфазными взаимодействиями. Широкая полоса ФЛ с максимумами при 2,4 эВ образцов, содержащих нанокластеры в матрице, является суперпозицией двух полос: полосы, связанной с рекомбинацией через уровни дефектов в матрице, и полосы, обусловленной состояниями на границе нанокластер—матрица.*

В последнее время появилось множество исследований, посвященных разным аспектам получения полимерных композиционных материалов (КМ), обладающих фотолюминесцентными свойствами. Эти материалы воплощают в себе положительные свойства отдельных компонентов композиции и могут обладать высокими фотолюминесцентными свойствами в сочетании с высокими физико-механическими характеристиками. Также известно, что полупроводниковые материалы в виде кла-

стеров, распределенных в органической или силикатной матрице, вызывают повышенный интерес исследователей, работающих в области физики и химии низкоразмерных систем и нелинейной оптике [1—4]. Данные материалы проявляют необычные по сравнению с объемными материалами оптические и электронные свойства.

В большинстве случаев в указанных работах компоненты композиций рассматривались как механическая смесь и мало внимания уделялось

влиянию граничных межфазных явлений между компонентами композиции на фотолюминесцентные свойства. Отметим, что свойства нанокompозитов определяются химической природой полимерной матрицы, структурой межфазных границ, доля которых в нанокompозитах огромна, а также взаимодействием между наночастицами и матрицей. Одним из видов материалов, где отчетливо проявляются указанные выше особенности, являются нанокompозиты, в которых фотолюминесцентные наночастицы помещены в полимерную матрицу.

Известно, что основными требованиями к люминесцирующим добавкам являются высокий квантовый выход и максимальное перекрытие спектра поглощения со спектром люминесценции полимерной основы [5—6].

### Образцы и методика эксперимента

В данной работе изложены результаты исследований фотолюминесцентных свойств композиций на основе ПВДФ и наполнителя CdS в интервале длин волн  $\lambda = 350—700$  нм. Получены композиции с размером частиц наполнителя CdS 3—5 мкм и 20—35 нм.

Образцы композиции с размером частиц наполнителя 3—5 мкм получены методом горячего прессования, а с размером 5—10 нм — при синтезе с использованием метода многоциклового обработки. Изготовлен 1%-ный раствор полимера с  $\text{CCl}_4$  и проведена реакция окисления  $\text{PCl}_3$  с  $\text{O}_2$ . Методом "течение" получены тонкие слои. Затем осуществлена сорбция ионов  $\text{Cd}^{2+}$  из раствора  $\text{CdCl}_2$ . Нами проведены гидрохимические изменения и получены наночастицы CdS. Спектры ФЛ исследованы на сканирующем спектрофлюориметре Cary Eclipse в области длин волн 300—1000 нм.

### Экспериментальные результаты

Размеры фотолюминесцентных наночастиц изучены на сканирующем атомно-силовом микроскопе (АСМ). На рис. 1, а, б показаны микрофотография наночастиц CdS и их размеры, соответственно. Из рис. 1 видно, что размер наночастиц CdS составляет 25—35 нм. Атомно-силовая микроскопия показала также, что наночастицы CdS распределены однородно в матрице в свободном объеме, т. е. в порах полимера.

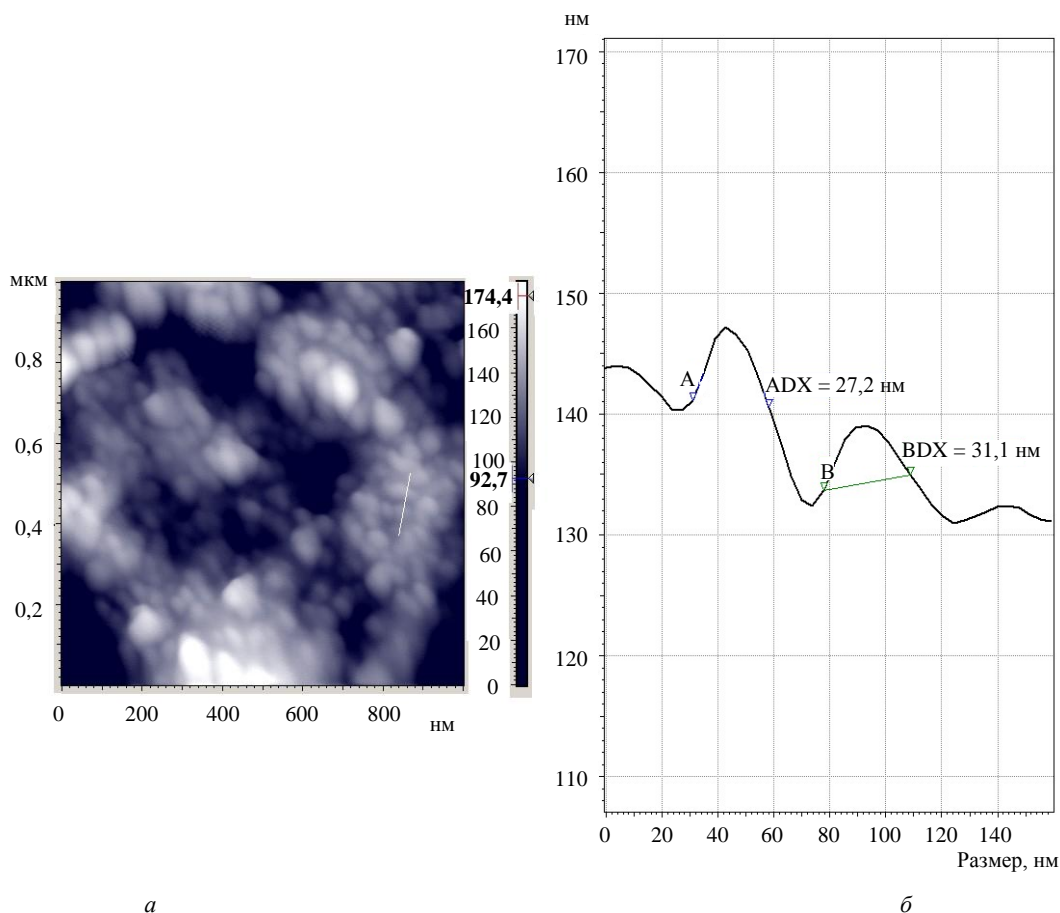


Рис. 1. АСМ-изображение поверхности нанокompозиции ПВДФ+ CdS (а) и размеры (б) наночастиц CdS

На рис. 2, *а* приведены спектры композиции ПВДФ+CdS. Видно, что эта композиция (размер частицы CdS 3—5 мкм) имеет два максимума: в области  $\lambda = 534$  и 580 нм. Полимерная матрица ПВДФ имеет один широкополосный максимум в области 380 нм. Максимум этой полосы соответствует энергии фотонов (3 эВ). Амплитуда максимума для ПВДФ по сравнению с композицией ПВДФ+ CdS очень низкая, а наполнитель CdS с размером 3—5 мкм имеет один максимум при длине волны  $\lambda = 534$  нм. Максимум для CdS с размером 3—5 мкм соответствует энергии фотонов 2,4 эВ, а ширина полосы на полувысоте — 0,6 эВ. Энергия фотонов для максимума композиции на основе ПВДФ+CdS для максимума  $\lambda = 534$  нм соответствует энергии фотонов 2,4 эВ, а для  $\lambda = 580$  нм — 2,2 эВ. Ширина полосы на полувысоте для фотонов с энергией 2,2 эВ, соответственно, равна 0,3 и 0,2 эВ. Из рис. 2 также видно, что амплитуда максимума при  $\lambda = 580$  нм меньше, чем при  $\lambda = 534$  нм.

Исследованы нанокластеры CdS, сформированные в матрице пленки ПВДФ, а также после удаления ПВДФ (см. рис. 2, *б*). Показано, что наноконпозиция ПВДФ+CdS обладает одним максимумом при длине волны  $\lambda = 580$  нм, и ширина ФЛ нанокластеров в матрице ПВДФ состоит из широкой полосы. После удаления матрицы спектр ФЛ составляет  $\lambda = 534$  и 580 нм. Максимум полосы при длине волн 534 нм соответствует энергии

фотонов 2,4 эВ, что меньше значения ширины запрещенной зоны объемного сульфида кадмия, равной 2,5 эВ.

Интегральная интенсивность ФЛ нанокластеров после удаления матрицы сильно уменьшается. Ширина полос, полученная при их аппроксимации функциями Гаусса, составляет  $\Delta E = 0,5$  эВ для наноконпозиции ПВДФ+CdS с максимумами около 2,2 эВ. После удаления полимера эта полоса обладает полушириной 0,2 эВ. Интенсивность амплитуды максимума при  $\lambda = 534$  нм меньше, чем при  $\lambda = 580$  нм. Были также исследованы механические прочностные композиции ПВДФ+ CdS с нано- и микроразмерными частицами. В таблице приведены экспериментальные результаты механической прочности этих композиций.

Из таблицы видно, что значение механической прочности наноконпозиции больше по сравнению с микрокомпозициями. Это, по нашему мнению, связано с высокой адгезией полимеров с наночастицами. Уменьшение размера частицы приводит к увеличению удельной поверхности, что в свою очередь вызывает увеличение площади контактирующей поверхности полимера с частицами. Отметим, что химическая активность для наночастиц огромна, а это может привести к увеличению межфазного взаимодействия между наночастицами и матрицей. Эти экспериментальные результаты хорошо согласуются с литературными данными.

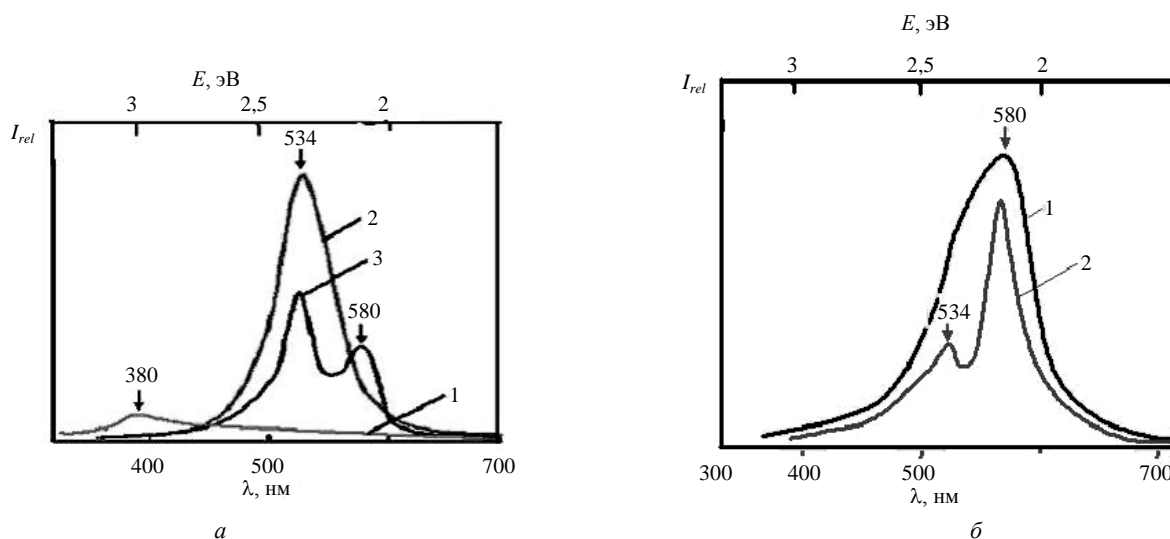


Рис. 2. Спектры люминесценции: композиции ПВДФ+ CdS (размер частиц CdS 3—5 мкм) (*а*); наноконпозиции ПВДФ+CdS (*б*):

1 — ПВДФ исходный; 2 — CdS исходный; 3 — ПВДФ+CdS

Композиция	Объемное содержание CdS в ПВДФ при разных значениях $\varphi^*$ , %			
	3	5	7	10
ПВДФ+ CdS с микроразмерными частицами, МПа	34	31	28	25
ПВДФ+ CdS с наноразмерными частицами, МПа	45	42	36	31

\*  $\varphi$  — интенсивность.

### Обсуждение и заключение

Наблюдаемые изменения спектров для микро- и нанокomпозиций на основе ПВДФ+CdS связаны, по нашему мнению, с изменением межфазного взаимодействия.

Предполагается, что максимум с энергией фотона 2,4 эВ, вероятно, связан с рекомбинацией между уровнями дефектов, расположенными в объеме матрицы. Это предположение согласуется с тем, что интенсивность ФЛ уменьшается после удаления матрицы и что данная полоса имеет меньшую интенсивность.

Полоса максимума 2,2 эВ, наблюдаемая после удаления матрицы, вероятно, связана с ФЛ состояний, расположенных на границе раздела нанокластер—матрица. Возможно, что в нашем случае состояния на границе нанокластер—матрица вызваны присутствием матрицы. Наблюдаемый максимум 2,4 эВ для CdS с размером 3—5 мкм характерен для ширины полосы оптического поглощения, характеризующей объемный CdS. Появление дополнительного максимума для композиции ПВДФ+CdS с размером 3—5 мкм вызвано, очевидно, слабыми межфазными взаимодействиями.

Из проведенного выше анализа следует, что широкая полоса ФЛ с максимумами при 2,4 эВ образцов, содержащих нанокластеры в матрице, является суперпозицией двух полос: полосы, связанной с рекомбинацией через уровни дефектов в

матрице, и полосы, обусловленной состояниями на границе нанокластер—матрица. Также экспериментально установлено, что межфазное взаимодействие для композиций с наноразмерными частицами больше, чем для композиций с микроразмерными частицами.

### Литература

1. Рамазанов М. А., Тагиев О. Б., Исмаилов А. А., Бартоу С., Беналоул П. Новые фотолуминесцентные композиционные материалы на основе полимер—полупроводник// Прикладная физика. 2003. № 2. С. 51—53.
2. Волков А. В., Москвина М. А., Зезин С. Б., Вольинский А. Л., Бакеев Н. Ф. Влияние полимерной матрицы на структуры нанокomпозиций с сульфидом кадмия// Высокомолекулярные соединения. Сер. А. 2003. Т. 45. № 2. С. 283—291.
3. Волков А. В., Москвина М. А., Карачевцев И. В., Лебедева О. В., Вольинский А. Л., Бакеев Н. Ф. Структура и электропроводность высокодисперсных композиций полимер—CuS, получаемых in situ// Там же. 1998. Т. 40. № 6. С. 970—976.
4. Бакеев Е. А., Журавлев К. С., Свешникова Л. Л., Бадамаева И. А., Репинский С. М., Воелсков М. Фотолуминесценция нанокластеров сульфида кадмия, сформированных в матрице пленки Ленгмюра-Блоджетт// Физика и техника полупроводников. 2003. Т. 37. Вып. 11. С. 1358—1362.
5. Leonard D., Krishnamurthy M. K., Reeves C. M., Denhaars S. P., Pethoff P. M.// Appl. Phys. Lett. 1993. № 63. P. 3203.
6. Hasselbarth A., Eychmuller A., Weller H., Snow S., Campbell P. M., Rendet R. W., Buot F. A., Park D., Marian C. R. K., Magno R.// Semicond. Sci. Technol. 1998. № 13. A75.

Статья поступила в редакцию 8 мая 2007 г.

## Photoluminescence in nanocomposite on basis PVDF+CdS

M. A. Ramazanov

Baku State University, Republic of Azerbaijan

*In this work researches of photoluminescent properties of compositions on a basis polyvinylideneflyoride (PVDF) and filler CdS in an interval of lengths of waves  $\lambda = 350—700$  nanometers are stated. Compositions with the size of particles fillers CdS 3—5 mkm and 20—35 nm are received. Spectra of a photoluminescence are investigated in the field of lengths of waves 300—1000 nm. Occurrence of an additional maximum for composition PVDF+ CdS with a size 3—5 mkm is connected, apparently, by weak interphase interactions. Wide strip FL with maxima at 2,4 eV the samples containing nanoclusters in a matrix, is superposition of two strips: strips connected with recombination through levels of defects in a matrix, and the strips caused by statuses on border a nanoclusters—matrix.*