

Посвящается 75-летнему юбилею академика В. Д. Походенко — выдающегося ученого физико-химика, благодаря которому в Институте физической химии им. Л. В. Писаржевского НАН Украины получил широкое развитие ряд новых научных направлений, в частности исследования фотофизических, фотохимических и фотокаталитических процессов с участием наночастиц полупроводников, наноструктур и нанокмполитов на их основе.

УДК 544.526.2, 544.77:535, 544.174, 544.174.5

Получение и оптические свойства коллоидных квантовых точек CdSe и CdS_xSe_{1-x}, стабилизированных полиэтиленимином

А. Е. Раевская¹, Г. Я. Гродзюк¹, А. В. Коржак¹, А. Л. Строюк¹, С. Я. Кучмий¹,
В. Н. Джаган², М. Я. Валах², В. Ф. Плюснин³, В. П. Гривин^{3,4}, Н. Н. Мельник⁵,
Т. Н. Заварицкая⁵, Т. Н. Кучеренко⁵, О. С. Пляшечник⁵

¹ Институт физической химии им. Л. В. Писаржевского НАН Украины
просп. Науки, 31, Киев 03028, Украина. E-mail: stroyuk@inphyschem-nas.kiev.ua

² Институт физики полупроводников им. В. Е. Лашкарёва НАН Украины
просп. Науки, 45, Киев 03028, Украина. E-mail: dzhagan@isp.kiev.ua

³ Институт химической кинетики и горения СО РАН
ул. Институтская, 3, Новосибирск 630090, Российская Федерация. E-mail: plusnin@kinetics.nsc.ru

⁴ Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 2, Новосибирск 630090, Российская Федерация

⁵ Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН
Ленинский просп., 53, Москва 119991, Российская Федерация

С использованием стабилизатора — неразветвленного полиэтиленимина получены коллоидные водные растворы ультрамалых (1,8—1,9 нм) частиц CdSe, характеризующихся узким распределением по размеру и фотолюминесценцией в видимой области спектра с квантовыми выходами до 12 % и константами затухания в диапазоне 10⁻¹—10² нс. Аналогичный подход был использован для получения коллоидов наночастиц твердого раствора CdS_xSe_{1-x} произвольного состава.

Ключевые слова: ультрамалые наночастицы, селенид кадмия, сульфоселенид кадмия, твердые растворы, полиэтиленимин, фотолюминесценция.

Возрастающий в последние годы интерес к ультрамалым (менее 2—3 нм) частицам халькогенидов кадмия связан с присущей им фотолюминесценцией (ФЛ) в широком спектральном диапазоне, охватывающем большую часть видимого диапазона спектра, и перспективами их применения в электролюминесцентных системах, излучающих «белый» свет [1]. Предложенные на сегодня методы синтеза ультрамалых наночастиц (НЧ) позволяют достигнуть высоких выходов ФЛ, однако такие НЧ характеризуются гидрофобностью, что существенно ограничивает возможности их применения [2]. В то же время методы постсинтезной гидрофилизации НЧ CdS и CdSe или же их синтеза непосредственно в водных растворах

пока не позволили достичь приемлемо высоких выходов ФЛ [2] и требуют дальнейшей разработки.

Как было установлено в [3], при использовании в качестве стабилизатора неразветвленного полиэтиленимина (ПЭИ) удается получить частицы сульфида кадмия размером ~1,8 нм, которым присуща ФЛ в широком спектральном диапазоне с квантовыми выходами порядка 10 %. В настоящей работе в рамках этого подхода получены ультрамалые НЧ селенида и смешанного сульфоселенида кадмия и исследованы их спектральные свойства.

Экспериментальная часть

В работе использовали 50 % мас. водный раствор полиэтиленимина (50000 г/моль), CdSO₄, CdCl₂,

Na_2S , Na_2SeO_3 и селен производства «Aldrich» (reagent grade), NaBH_4 , гидразингидрат и HCl марки «х. ч.», антрацен (extra pure, «Acros Organics»).

Коллоидные растворы CdSe и $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ синтезировали по двум методикам с использованием селенита натрия и селена в качестве прекурсоров. Согласно первой методике Se^{II} получали путем восстановления Na_2SeO_3 боргидридом натрия в водных растворах при комнатной температуре. В типичном синтезе к 10,0 мл 5 % раствора ПЭИ прибавляли 1,0 мл 2,0 моль/л раствора CdSO_4 , 2,0 мл 1,0 моль/л раствора Na_2SeO_3 и 7,0 мл воды. Затем в раствор при перемешивании вносили тщательно измельченный NaBH_4 (0,2 моль/л). Раствор выдерживали в темноте на воздухе до прекращения образования НЧ CdSe (2—3 сут). Во второй методике источником Se^{II} служил раствор элементарного селена в гидразингидрате (0,1 моль/л). В типичном синтезе в ампулу с перетяжкой помещали 8,3 мл воды, к которой прибавляли 1,0 мл 10 % раствора ПЭИ и 0,1 мл 0,5 моль/л раствора CdCl_2 . Полученный раствор продували током аргона в течение 10—15 мин, после чего к нему прибавляли 0,5 мл раствора селена в гидразингидрате и 0,1 мл 1,0 моль/л меркаптоуксусной кислоты (МУК). Ампулу отпаивали и выдерживали в темноте в течение 3—5 сут для вызревания НЧ CdSe .

При синтезе НЧ сульфоселенида кадмия применяли обратный к описанному выше порядок смешивания реагентов. На первом этапе синтеза селенит натрия (селен) восстанавливали избытком боргидрида натрия (гидразингидрата) до Se^{II} , смешивали полученный раствор с раствором Na_2S в необходимой пропорции, после чего при интенсивном перемешивании прибавляли аликвоту раствора комплекса Cd^{II} с ПЭИ. Состав НЧ $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ (величину x) задавали при синтезе как соотношение концентраций $x = [\text{S}^{\text{II}}]/([\text{S}^{\text{II}}] + [\text{Se}^{\text{II}}])$.

Спектры поглощения растворов записывали на спектрофотометрах «Specord 210» и «HP Agilent 8453». Спектры ФЛ и возбуждения ФЛ регистрировали на люминесцентном спектрометре «Perkin-Elmer LS55». Растворы возбуждали светом с $\lambda = 360$ нм, спектр возбуждения ФЛ регистрировали при 500 нм.

Кинетические кривые затухания ФЛ регистрировали методом счета фотонов с помощью спектрофлуориметра FLS920 («Edinburgh Instruments»). Для возбуждения образцов использовали полупроводниковый лазер с длиной волны 375 нм и длительностью импульса 60 пс. Квантовый выход ФЛ ϕ оценивали с использованием твердого антрацена ($\phi = 100$ %) в качестве люминесцентного стандарта [4] при концентрациях НЧ, обеспечивающих полное светопоглощение. Спектры комбинационного рассеяния света (КРС) наночастиц регистрировались на спектрометре

U-1000 («Jobin-Yvon»). Для возбуждения использовалось излучение аргон-криптонового лазера с $\lambda = 457,9$ нм. При исследовании спектров КРС разрешенные прибора составляло $\sim 2 \div 5 \text{ см}^{-1}$.

Результаты и обсуждение

Взаимодействие между селенитом натрия и NaBH_4 в водных растворах ПЭИ в присутствии Cd^{II} приводит к образованию коллоидных НЧ CdSe , характеризующихся полосой поглощения с краем у 2,5 эВ (рис. 1, а, кривая 1) и несколько размытым экситонным максимумом (E_1) при 2,88 эВ (спектральная ширина экситонной полосы $\Gamma = 0,3$ эВ). Средний размер НЧ CdSe (d) может быть определен исходя из спектральных данных и приведенного в [5] эмпирического полинома $E_1(d) = 1,858 + (0,220d^2 + 0,008d + 0,373)^{-1}$, полученного аппроксимацией данных ТЕМ, взятых из различных источников (см. ссылки в [5]). Определенные таким методом средний размер и разброс НЧ CdSe по размеру составили соответственно 1,8 нм и 18—20 %. Ранее было показано, что НЧ сульфида кадмия, синтезированные в водных растворах ПЭИ в оптимальных условиях [3] (рис. 1, а, кривая 5), также характеризуются средним размером $\sim 1,8$ нм. Таким образом, можно заключить, что ПЭИ выполняет роль своеобразного структуронаправляющего агента при формировании НЧ халькогенидов кадмия, способствуя образованию достаточно uniformных НЧ размером порядка 1,8 нм, независимо от природы халькогена.

Следует отметить, что степень превращения Na_2SeO_3 в реакции образования CdSe , о которой судили по поглощению коллоида при 350 нм [6], во всех случаях не превышала 10 %. Одна из возможных причин прекращения накопления селенида кадмия после достижения указанной степени превращения может заключаться в образовании коллоидных частиц труднорастворимой соли CdSeO_3 , поверхность которой, после образования на ней НЧ CdSe , становится недоступной для NaBH_4 и дальнейшего восстановления Se^{IV} .

Установлено, что при использовании прекурсора Se^{II} , компоненты которого не взаимодействуют с Cd^{II} , в частности раствора элементарного селена в гидразингидрате и дополнительного восстановителя (сульфита натрия, NaBH_4 , МУК и др.), происходит количественное превращение исходного Se с образованием ультрамалых частиц CdSe (рис. 1, б, кривая 1). Наиболее устойчивыми по отношению к окислению кислородом воздуха являются НЧ CdSe , полученные в присутствии МУК, что связано, по-видимому, с пассивацией поверхности НЧ меркаптоацетатными комплексами Cd^{II} . Сравнительный анализ кривых 1 (рис. 1, а и б) показывает, что, помимо пассивирующего эффекта, присутствие МУК при синтезе приводит к сужению распределения НЧ CdSe по размеру до

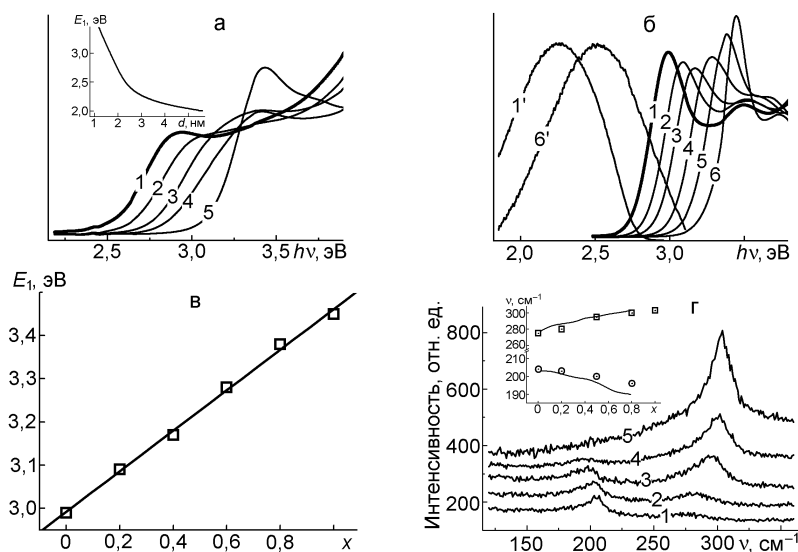


Рис. 1. *a* — Спектры поглощения коллоидных НЧ $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$, стабилизированных ПЭИ и синтезированных исходя из селенита натрия, при $x = 0$ (1), 0,25 (2), 0,50 (3), 0,75 (4) и 1,00 (5); вставка: зависимость E_1-d , построенная с использованием выражения (1); *б* — спектры поглощения коллоидных НЧ $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$, стабилизированных ПЭИ и синтезированных исходя из элементарного селена в присутствии меркаптоуксусной кислоты, при $x = 0$ (1), 0,2 (2), 0,4 (3), 0,6 (4), 0,8 (5) и 1,0 (6); кривые l' и b' отвечают нормированным спектрам фотолюминесценции НЧ CdSe и CdS; *в* — зависимость между составом НЧ $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$, синтезированных из Se в присутствии меркаптоуксусной кислоты, (величиной x) и положением первого экситонного максимума E_1 в их спектрах поглощения; *з* — спектры комбинационного рассеяния коллоидных НЧ $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ при $x = 0$ (1), 0,2 (2), 0,50 (3), 0,8 (4) и 1,00 (5); вставка: сравнение зависимости между составом НЧ $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ (x) и положением пиков LO_{CdS} (\square) и LO_{CdSe} (\circ), полученной в настоящей работе, с данными работы [12] (сплошные линии).

10—12 %, «концентрации» поглощения в первой экситонной полосе и формированию второго экситонного максимума при $\sim 3,4$ эВ, а также сдвигу E_1 в область высоких энергий на $\sim 0,1$ эВ — от 2,88 до 2,98 эВ. Наиболее вероятной причиной данного спектрального сдвига, по-видимому, является уменьшение среднего размера НЧ CdSe (от 1,8 до 1,7 нм). Альтернативная причина увеличения энергии первого экситонного перехода может заключаться во влиянии адсорбированного комплекса Cd^{II} -МУК на электронные свойства НЧ CdSe, аналогично тому как это имеет место при адсорбции других лигандов, например аминов [7] или цианид-анионов [8].

Край полосы поглощения коллоидных НЧ $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$, стабилизированных ПЭИ, претерпевает сдвиг в сторону высоких энергий от положения, характерного для CdSe ($x = 0$, рис. 1, *a* и *б*, кривые 1), до положения, присущего НЧ CdS ($x = 1,0$, рис. 1, *a*, кривая 5 и рис. 1, *б*, кривая 6) [3]. Изменение положения E_1 НЧ сульфоселенида кадмия при увеличении x носит линейный характер (рис. 1, *в*), указывая на то, что рассматриваемые НЧ $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ образованы фазой гомогенного твердого раствора. Такой же вывод можно сделать на основании анализа данных спектроскопии КРС (рис. 1, *з*). Как видно из рисунка, при увеличении содержания селена в НЧ частота основного пика КРС, соответствующего рассеянию на продольном оптическом (ЛО) фоне, смещается от по-

ложения, характерного для CdS, около 300 см^{-1} [9], в низкочастотную сторону. При этом в спектре формируется дополнительный пик, отвечающий колебанию Cd-Se, который при увеличении x смещается в сторону более высоких частот и достигает при $x = 0$ положения, характерного для CdSe, около 200 см^{-1} [10]. Зависимость положения пиков в спектре КРС от состава НЧ $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ близка к линейной (рис. 1, *з*, вставка), что хорошо согласуется с данными КРС-спектроскопии других авторов для НЧ твердых растворов $\text{CdS}_x\text{Se}_{1-x}$ [11, 12] и подтверждает достаточно высокую степень гомогенности твердого раствора в ультрамалых НЧ, полученных в данной работе. Присутствие около 275 см^{-1} малоинтенсивной ЛО-полосы сульфида кадмия в спектре КРС чистого селенида кадмия (рис. 1, *з*, кривая 1 и вставка) связано, скорее всего, с образованием на поверхности НЧ CdSe тонкого слоя CdS в результате гидролиза МУК с выделением сульфид-анионов и их взаимодействия с Cd^{II} .

Наночастицам CdSe, стабилизированным ПЭИ, присуща ФЛ в широком спектральном диапазоне, 1,5—3,0 эВ, с максимумом при 2,2—2,3 эВ, сдвинутым на 0,7—0,8 эВ относительно E_1 (рис. 1, *б*, кривая l'). Судя по спектральным характеристикам (форма и ширина полосы, рис. 1, *б*, ср. кривые l' и b'), происхождение ФЛ НЧ CdSe, по-видимому, аналогично люминесценции НЧ CdS, обсуждаемой в [3, 13], которая связана с участием поверхностных

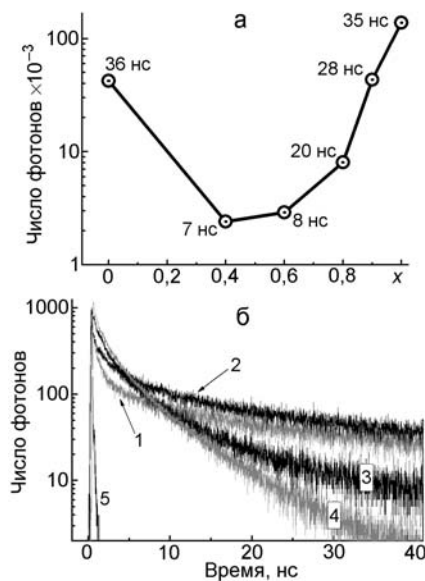


Рис. 2. *a* — Зависимость между составом НЧ CdS_xSe_{1-x} (полученных исходя из Na_2SeO_3) и интенсивностью их фотолюминесценции, измеренной в максимуме соответствующих полос; цифрами на рисунке указаны значения наиболее длительного характеристического времени затухания фотолюминесценции (τ_4); *б* — кинетические кривые затухания фотолюминесценции НЧ $CdSe$ (1), CdS (2), $CdS_{0,8}Se_{0,2}$ (3) и $CdS_{0,6}Se_{0,4}$ (4); 5 — приборная функция.

состояний в излучательной электронно-дырочной рекомбинации.

Как и в случае НЧ сульфида кадмия [3, 13], коллоидные НЧ $CdSe$, стабилизированные ПЭИ, демонстрируют довольно высокие квантовые выходы ФЛ, достигающие в оптимальных условиях синтеза 8—12 %. При контакте коллоидов с воздухом интенсивность ФЛ постепенно снижается, что обусловлено, скорее всего, окислением поверхностного слоя НЧ $CdSe$ до селена, выполняющего роль центров безызлучательной рекомбинации.

Полосы ФЛ наночастиц CdS_xSe_{1-x} (не приведены на рисунке) занимают промежуточное положение между полосами ФЛ наночастиц $CdSe$ (рис. 1, *б*, кривая 1') и CdS (кривая 6'). Следует отметить, что положение максимума ФЛ характеризуется значительно менее выраженной зависимостью от состава НЧ CdS_xSe_{1-x} , чем положение первого экситонного максимума. Этот факт указывает на локальный характер поверхностных центров излучательной рекомбинации, энергия которых слабо зависит от изменений электронной структуры НЧ при переходе от сульфида к селениду кадмия. В то же время эффективность ФЛ обнаруживает сильно выраженную зависимость от состава НЧ CdS_xSe_{1-x} (рис. 2, *а*). Как видно из рисунка, при замещении селеном уже 10—20 % атомов S интенсивность ФЛ уменьшается практически на порядок, достигает минимального

значения в диапазоне $x = 0,4—0,6$ и далее снова повышается при переходе от сульфоселенида к $CdSe$.

Кинетические кривые затухания ФЛ коллоидных НЧ $CdSe$ (рис. 2, *б*, кривая 1), как и в случае НЧ CdS [13] (кривая 2), имеют сложный характер и могут быть аппроксимированы линейными комбинациями четырех экспоненциальных функций с характеристическими временами (в скобках указан вклад компоненты в кинетическую кривую) $\tau_1 = 0,15 \pm 0,02$ нс (5 %), $\tau_2 = 1,5 \pm 0,1$ нс (10 %), $\tau_3 = 5,5 \pm 0,1$ нс (35 %) и $\tau_4 = 36,5 \pm 0,2$ нс (50 %). Как следует из рис. 2, *а*, на котором приведены значения наиболее длительной и интенсивной компоненты, τ_4 , для различных значений x , зависимость скорости затухания ФЛ НЧ CdS_xSe_{1-x} от их состава повторяет зависимость между интенсивностью стационарной ФЛ и величиной x , снижаясь при переходе от сульфида к сульфоселениду кадмия и проходя через минимум при $x = 0,4—0,6$. Рассматриваемые изменения эффективности излучательной рекомбинации в НЧ CdS_xSe_{1-x} , по-видимому, отражают изменения в степени упорядоченности структуры НЧ при объединении в их составе атомов двух различных халькогенов. Так, выполненные в [14] методом рентгеновской микродифракции исследования тонких пленок CdS_xSe_{1-x} выявили разупорядочение кристаллической решетки полупроводника при переходе от индивидуальных халькогенидов к твердому раствору, причем наиболее высокая степень структурного несовершенства приходится на диапазон $x \approx 0,4$. Аналогичные дефекты структуры, по-видимому, присутствуют в рассматриваемых здесь НЧ CdS_xSe_{1-x} и служат центрами безызлучательной рекомбинации фотогенерированных носителей заряда, снижая эффективность люминесценции.

Таким образом, в работе предложен метод синтеза ультрамалых коллоидных наночастиц селенида кадмия, стабилизированных в водных растворах полиэтиленимином. Такие НЧ $CdSe$ характеризуются узким распределением по размеру, широкими полосами фотолюминесценции в видимом спектральном диапазоне и квантовыми выходами излучательной рекомбинации до 12 %. Затухание люминесценции НЧ $CdSe$ характеризуется набором временных констант в диапазоне $10^{-1}—10^2$ нс.

Показано, что предложенный синтетический подход может быть использован для получения НЧ сульфоселенида кадмия произвольного состава. По спектральным данным НЧ CdS_xSe_{1-x} представляют собой гомогенный твердый раствор с определенной степенью разупорядоченности, которая достигает максимума при $x = 0,4—0,6$ и приводит к тушению фотолюминесценции НЧ за счет роста эффективности безызлучательной рекомбинации фотогенерируемых в них носителей заряда.

Работа выполнялась в рамках программы совместных научных проектов НАН Украины, Российского фонда фундаментальных исследований (проекты № 08-03-90425-Укр и 32-08-10-Ukr) при поддержке гранта Президента Украины для молодых ученых № GP/F27/0041.

Литература

1. McBride J. R., Dukes III A. D., Schreuder M. A., Rosenthal S. J. // Chem. Phys. Lett. — 2010. — **498**. — P. 1—9.
2. Rogach A., Gaponik N., Lupton J. M. et al. // Angew. Chem. Int. Ed. — 2008. — **47**, N 35. — P. 6538—6549.
3. Раевская А. Е., Гродзюк Г. Я., Стрюк А. Л. и др. // Теорет. и эксперим. химия. — 2010. — **46**, № 4. — С. 225—229. — [Theor. Exp. Chem. — 2010. — **46**, N 4. — С. 233—238 (Engl. Transl.)].
4. Прингсхейм П., Фогель М. Люминесценция жидких и твердых тел. — М.: Гос. изд-во иностр. лит., 1948.
5. de Mello Donega C., Koole R. // J. Phys. Chem. C. — 2009. — **113**. — P. 6511—6520.
6. Leatherdale C. A., Woo W.-K., Mikulec F. V., Bawendi M. G. // J. Phys. Chem. B. — 2002. — **106**, N 31. — P. 7619—7622.
7. Liu C., Chung S.-Y., Lee S. et al. // J. Chem. Phys. — 2009. — **131**. — P. 174705.
8. Sarkar S. K., Chandrasekharan N., Gorer S., Hodes G. // Appl. Phys. Lett. — 2002. — **81**. — P. 5045—5050.
9. Dzhagan V., Rayevska O., Stroyuk O. et al. // Phys. status solidi (c). — 2009. — **6**. — P. 2043—2046.
10. Dzhagan V. M., Lokteva I., Valakh M. Ya. et al. // J. Appl. Phys. — 2009. — **106**. — P. 084318.
11. Azhniuk Yu. M., Milekhin A. G., Gomonnai A. V. et al. // J. Phys.: Condens. Matter. — 2004. — **16**. — P. 9069—9082.
12. Bersani D., Lotici P. P. // Phys. status solidi (b). — 1992. — **174**, N 2. — P. 575—582.
13. Раевская А. Л., Стрюк А. Л., Гродзюк Г. Я. и др. // Теорет. и эксперим. химия. — 2010. — **46**, № 5. — С. 265—270. — [Theor. Exp. Chem. — 2010. — **46**, N 5. — С. 273—278 (Engl. Transl.)].
14. Pagliara S., Sangaletti L., Depero L. E. et al. // Appl. Surface Sci. — 2002. — **186**, N 1—4. — P. 527—532.

Поступила в редакцию 25 ноября 2010 г.

Одержання та оптичні властивості колоїдних квантових точок CdSe та CdS_xSe_{1-x}, стабілізованих поліетиленіміном

О. Є. Раєвська¹, Г. Я. Гродзюк¹, Г. В. Коржак¹, О. Л. Стрюк¹, С. Я. Кучмій¹, В. М. Джаган², М. Я. Валах², В. Ф. Плюснін³, В. П. Гривін^{3,4}, М. М. Мельник⁵, Т. М. Заварицька⁵, Т. М. Кучеренко⁵, О. С. Пляшечник⁵

¹ Інститут фізичної хімії ім. Л. В. Писаржевського НАН України
просп. Науки, 31, Київ 03028, Україна. E-mail: stroyuk@inphyschem-nas.kiev.ua

² Інститут фізики напівпровідників ім. В. Є. Лашкарьова НАН України
просп. Науки, 45, Київ 03028, Україна. E-mail: dzhagan@isp.kiev.ua

³ Інститут хімічної кінетики і горіння СО РАН
ул. Институтская, 3, Новосибирск 630090, Российская Федерация. E-mail: plusnin@kinetics.nsc.ru

⁴ Новосибирский государственный университет
ул. Пирогова, 2, Новосибирск 630090, Российская Федерация

⁵ Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН
Ленинский просп., 53, Москва 119991, Российская Федерация

З використанням стабілізатора — нерозгалуженого поліетиленіміну одержано колоїдні водні розчини ультрамалих (1,8—1,9 нм) частинок CdSe, що характеризуються вузьким розподілом за розмірами та фотолюмінесценцією у видимій частині спектра з квантовими виходами до 12 % та константами згасання у діапазоні 10⁻¹—10² нс. Аналогічний підхід було використано для одержання колоїдів наночастинок твердого розчину CdS_xSe_{1-x} довільного складу.

Ключові слова: ультрамалі наночастинок, селенід кадмію, сульфоселенід кадмію, тверді розчини, поліетиленімін, фотолюмінесценція.

Preparation and Optical Properties of Polyethyleneimine-Stabilized Colloidal CdSe and CdS_xSe_{1-x} Quantum Dots

A. Ye. Rayevska¹, G. Ya. Grodzyuk¹, A. V. Korzhak¹, A. L. Stroyuk¹, S. Ya. Kuchmy¹,
V. N. Dzhagan², M. Ya. Valakh², V. F. Plyusnin³, V. P. Grivin^{3,4}, N. N. Melnik⁵,
T. N. Zavaritskaya⁵, T. N. Kucherenko⁵, O. S. Plyashechnik⁵

¹ L. V. Pysarzhevsky Institute of Physical Chemistry, National Academy of Sciences of Ukraine
Prosp. Nauky, 31, Kyiv 03028, Ukraine. E-mail: stroyuk@inphyschem-nas.kiev.ua

² V. E. Lashkaryov Institute of Semiconductor Physics, National Academy of Sciences of Ukraine
Prosp. Nauky, 45, Kyiv 03028, Ukraine. E-mail: dzhagan@isp.kiev.ua

³ Institute of Chemical Kinetics and Combustion, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences
Ul. Institutskaya, 3, Novosibirsk 630090, Russian Federation. E-mail: plusnin@kinetics.nsc.ru

⁴ Novosibirsk State University
Ul. Pirogova, 2, Novosibirsk 630090, Russian Federation

⁵ P. N. Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences
Leninsky Prosp., 53, Moscow 119991, Russian Federation

Aqueous colloidal solutions of ultra small (1.8-1.9 nm) CdSe particles have been prepared using a stabilizer – linear polyethyleneimine. The nanoparticles reveal a narrow size distribution and photoluminescence in the visible spectral range with the quantum yields up to 12% and decay constants in the range of 10⁻¹–10² ns. The same approach has been applied for the preparation of nanoparticles of CdS_xSe_{1-x} solid solutions with a tailored composition.

Key words: ultra small nanoparticles, cadmium selenide, cadmium sulfoselenide, solid solutions, polyethyleneimine, photoluminescence.