

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdS–Ag₂S

© 2017 Ю. С. Бездетко¹, В. Г. Ключев², А. А. Седых²

¹ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю. А. Гагарина»,
ул. Старых Большевиков, 54 «а», 394064 Воронеж, Россия

²Воронежский государственный университет, Университетская пл., 1, 394018 Воронеж, Россия
e-mail: vgklyuev@rambler.ru

Поступила в редакцию 10.04.2017 г.

Аннотация. В работе приведены результаты исследования систем, состоящих из двух типов квантовых точек: CdS и Ag₂S, имеющих разный тип кристаллических решеток. Синтезированы квантовые точки сульфида кадмия в желатиновой матрице с помощью золь-гель технологии. Средний размер квантовых точек CdS с кристаллической решеткой кубической модификации составил 2–4 нм. В процессе синтеза квантовых точек CdS в реактор добавлялись ионы серебра в концентрациях с соотношением мольных долей относительно ионов кадмия равных $C_{Ag} = 10^{-2}, 2.2 \cdot 10^{-2}, 4.6 \cdot 10^{-2}, 10^{-1}, 2.2 \cdot 10^{-1}, 4.6 \cdot 10^{-1}, 1:1$. Начиная с концентрации $C_{Ag} = 10^{-2}$, образуются квантовые точки Ag₂S, имеющие моноклинную кристаллическую решетку и люминесценцию в области спектра 1100–1300 нм, интенсивность которой увеличивается при увеличении C_{Ag} . В диапазоне $C_{Ag} = 10^{-2}–2.2 \cdot 10^{-1}$ часть ионов серебра входит легирующей добавкой в квантовые точки CdS, образует центры люминесценции, увеличивая интенсивность общей полосы люминесценции в области спектра 550–650 нм. Сделан вывод о том, что в результате присутствия в реакторе во время синтеза ионов серы, кадмия и серебра образуются квантовые точки двух типов: CdS и Ag₂S. Данная система имеет две полосы люминесценции в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Такие материалы могут найти применение в качестве излучающих приборов, имеющих полосы люминесценции в двух разных областях спектра.

Ключевые слова: квантовые точки, сульфид кадмия, примесь серебра, спектры поглощения и люминесценции.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием нанотехнологий открываются новые возможности получения и использования материалов на основе нанокристаллов A₂B₆, которые по ряду характеристик превосходят характеристики монокристаллов этих соединений. Эти материалы имеют большой технологический потенциал, так как многие их электрические и термодинамические свойства зависят от их размеров, и, следовательно, могут контролироваться во время технологического процесса. К наиболее изученным наноматериалам относится сульфид кадмия [1–6]. При уменьшении размера наночастицы CdS от 8 до 3 нм ширина запрещенной зоны увеличивается с 2.5 до 3.4 эВ [1–2]. Это открывает новые возможности применения оптических свойств наноструктурированного CdS в видимом и ультрафиолетовом диапазоне оптического спектра.

В то время как у моно- и микрокристаллов этого соединения самоактивированная люминесцен-

ция весьма слаба, высокая интенсивность классических люминофоров обеспечивается введением в объем примесей таких металлов, как серебро, медь, алюминий, марганец и т.д. Легирование нанокристаллов является одним из способов контролируемого формирования спектра свечения в нужном спектральном диапазоне. Методы легирования и свойства полупроводниковых нанокристаллов, легированных различными примесями, до конца не изучены и нуждаются в дополнительном исследовании.

Интенсивность люминесценции может быть увеличена как за счет уменьшения размеров нанокристаллов, так и за счет внедрения примеси. В данной работе приведены люминесцентные свойства квантовых точек (КТ) CdS, синтезированных в присутствии атомов серебра в различном отношении мольных концентраций серебра и кадмия

$$C_{Ag} = v_{Ag}/v_{Cd}$$

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Исследуемые образцы системы квантовых точек CdS–Ag₂S

Исследованы структурные и оптические свойства системы КТ CdS–Ag₂S, стабилизированных в желатине. Образцы синтезировали по золь-гель технологии путем трехструйного сливания водных растворов исходных реагентов AgNO₃, Na₂S и CdBr₂ с помощью перистальтического насоса в реактор с поддерживаемой температурой 70 °С, содержащий 2 %-й раствор инертной фотографической желатины. Смешивание вышеупомянутых компонентов происходило роторной мешалкой, вращающейся со скоростью 300 об/мин. Скорость поступления растворов была постоянной и составляла 40 мл/мин.

Серебро вводилось относительно сульфида кадмия в мольных долях (моль.д.) $C_{Ag} = \nu(\text{Ag})/\nu(\text{CdS})$. C_{Ag} менялось в диапазоне от 10^{-2} до 1:1. Синтезированы следующие 7 образцов с соотношением мольных долей: $C_{Ag} = 10^{-2}$, $2.2 \cdot 10^{-2}$, $4.6 \cdot 10^{-2}$, 10^{-1} , $2.2 \cdot 10^{-1}$, $4.6 \cdot 10^{-1}$, 1 : 1.

Методики исследований

Сведения о кристаллической структуре синтезированных образцов получали на дифрактометре Empyrean V.V. (PANalytical, Нидерланды) с использованием излучения $K_{\alpha 1}$ меди.

Средние размеры КТ, их дисперсию в ансамбле определяли по данным электронной микроскопии, полученным с помощью просвечивающего электронного микроскопа Libra 120 (Carl Zeiss, Германия).

Для измерения спектров оптического поглощения системы КТ CdS–Ag₂S использовали спек-

трофотометр USB2000+ с источником излучения USB-DT (OceanOptics, USA).

Люминесцентные исследования проводились с помощью автоматизированного спектрального комплекса на базе дифракционного монохроматора МДР-23 (ЛОМО). В качестве фотоприемника в ближней ИК области использовали высокостабильный малощумящий фотодиод PDF10C/M (ThorlabsInc., USA) с встроенным усилителем. Управление работой комплекса осуществлялось автоматически РС Celeron-433 с помощью блока сопряжения. Источником возбуждения фотолюминесценции в ИК области служил лазерный диод LD-66201TU с излучением на длине волны 660 нм. Источником возбуждения фотолюминесценции в видимой области служил светодиодный модуль HPL-H77GV1BT-V1 с излучением на длине волны 380 нм.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Структурные характеристики системы квантовых точек CdS–Ag₂S

Полученные образцы охарактеризованы методами просвечивающей электронной микроскопии ПЭМ (рис. 1) и рентгеновской дифракции (рис. 2). На рис. 1б представлено ПЭМ-изображение образца $C_{Ag} = \nu(\text{Ag})/\nu(\text{CdS}) = 1:1$, на котором видны ансамбли системы коллоидных КТ CdS–Ag₂S. Гистограмма, приведенная на рис. 1а, свидетельствует о формировании КТ со средним размером от 2 до 4 нм.

По данным рентгеновской дифракции установлена кристаллическая структура синтезированных КТ Ag₂S и КТ CdS (рис. 2). Кривая представляет собой уширенные рефлексы, соответствующие моно-

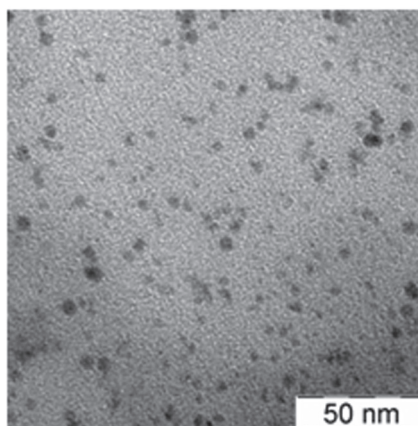
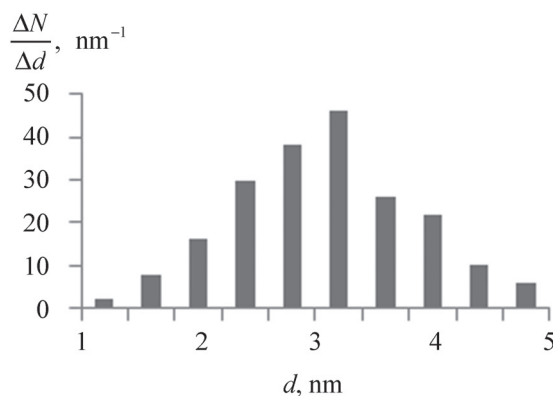


Рис. 1. ПЭМ-изображение системы КТ CdS–Ag₂S (б) и результаты анализа (а) для образца $C_{Ag} = \nu(\text{Ag})/\nu(\text{CdS}) = 1:1$

[Fig. 1. The TEM image of the QDs system CdS–Ag₂S (б) and the results of their analysis (а) for the sample $C_{Ag} = \nu(\text{Ag})/\nu(\text{CdS}) = 1:1$]

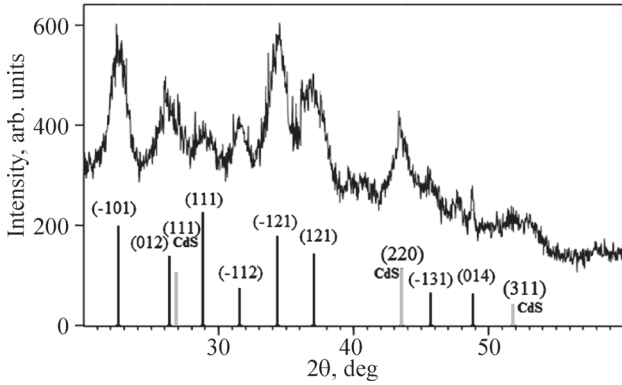


Рис. 2. Дифрактограмма системы КТ CdS–Ag₂S для образца $C_{Ag} = v(Ag)/v(CdS) = 1:1$ (черные полосы – Ag₂S, серые полосы – CdS)

[**Fig. 2.** Diffractogram of the QDs system CdS–Ag₂S for the sample $C_{Ag} = v(Ag)/v(CdS) = 1:1$ (black lines – Ag₂S, gray lines – CdS)]

клинной кристаллической решетке Ag₂S и кубической решетке CdS. Уширение рефлексов рентгеновской дифракции вызвано малым размером частиц в исследуемых ансамблях. Анализ кривой по формуле Шеррера $d = 0.89\lambda/(\beta \cos \theta_B)$ [7], где d – средний диаметр наночастиц, λ – длина волны излучения CuK_{α1} (1.54056 Å), β (в радианах) – полуширина пика и θ_B – брэгговский угол рефлексов рентгеновской дифракции, подтверждает, что кристаллиты имеют средний размер ~ (3–4) нм.

Оптические свойства системы квантовых точек CdS–Ag₂S

На рис. 3 представлены спектры поглощения исследуемых систем КТ CdS–Ag₂S (кривые 3–9), КТ CdS (кривая 1) и КТ Ag₂S (кривая 2), записанные в области 350–560 нм (2.2–3.5 эВ).

Видно, что при увеличении концентрации примеси серебра увеличивается поглощение образцов в диапазоне 2.4–3.4 эВ. Начиная с образца (7) при концентрации $2.2 \cdot 10^{-1}$, появляется перегиб в области 2.8 эВ, что соответствует ширине запрещенной зоны для КТ Ag₂S, при этом сохраняется перегиб в области 3.3 эВ, что соответствует ширине запрещенной зоны КТ CdS.

По минимуму вторых производных спектров поглощения по энергии $d^2D/d(\hbar\omega)^2$ определяли положение характерных особенностей для каждого образца, которые соответствуют значениям энергий экситонных переходов или ширинам эффективных зон проводимости КТ CdS и Ag₂S.

Для исследованных образцов экситонные пики поглощения сдвинуты в коротковолновую область относительно краёв запрещенных зон соответству-

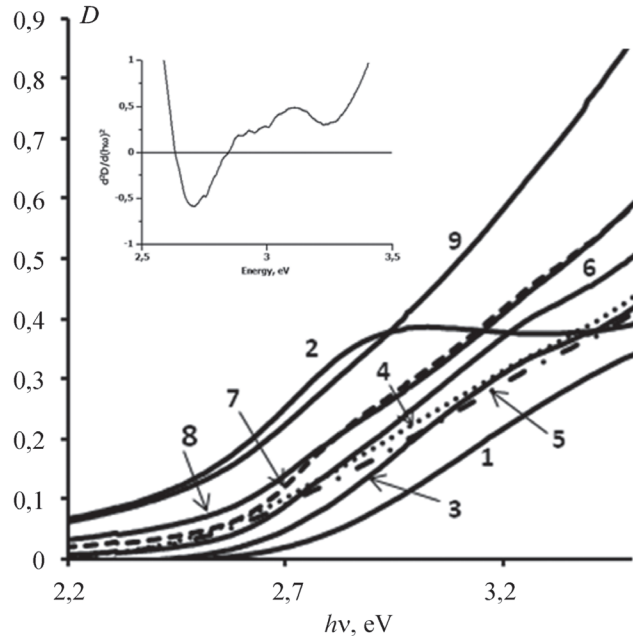


Рис. 3. Спектры поглощения образцов: КТ CdS (1), КТ Ag₂S (2), КТ CdS с примесью Ag в соотношении мольных долей $C_{Ag} = 10^{-2}$ (3), $2.2 \cdot 10^{-2}$ (4), $4.6 \cdot 10^{-2}$ (5), 10^{-1} (6), $2.2 \cdot 10^{-1}$ (7), $4.6 \cdot 10^{-1}$ (8), 1 : 1 (9). На вставке представлена вторая производная спектра поглощения 9-го образца

[**Fig. 3.** Absorption spectra of the samples: QDs CdS (1), QDs Ag₂S (2), QDs CdS with an admixture of Ag in the ratio of mole fractions $C_{Ag} = 10^{-2}$ (3), $2.2 \cdot 10^{-2}$ (4), $4.6 \cdot 10^{-2}$ (5), 10^{-1} (6), $2.2 \cdot 10^{-1}$ (7), $4.6 \cdot 10^{-1}$ (8), 1 : 1 (9). The inset shows the second derivative of the absorption spectrum by the 9th sample]

ющих монокристаллов: для КТ Ag₂S на 1.7 эВ, для КТ CdS на 0.75 эВ. Эти данные позволили оценить средние размеры квантовых точек с использованием формулы Брюса [8]:

$$\Delta E = \frac{\hbar^2 \pi^2}{2\mu R^2} - \frac{1.78e^2}{\epsilon R} - 0.248E_{Ry}^*$$

где $\Delta E = \hbar\omega - E_g$, $E_g = 1.0$ (для Ag₂S) [11, 12] и $E_g = 2.4$ (для CdS) [10], R – радиус КТ, $m_e^* = 0.22m_0$ и $m_h^* = 1.096m_0$ – эффективные массы электрона и дырки для Ag₂S [7], $m_e^* = 0.19m_0$ и $m_h^* = 1.16m_0$ – эффективные массы электрона и дырки для CdS [10], $\epsilon = 5.95$ для Ag₂S, $\epsilon = 5.7$ для CdS [10], $E_{Ry}^* = e^4 / 2\epsilon^2 \hbar^2 (m_e^{*-1} + m_h^{*-1})$ [10] – эффективная энергия Ридберга.

Рост КТ в желатиновой матрице останавливается на размере диаметра частиц в 3 нм. Значит уменьшение поглощения в области 3.3 эВ – ширина запрещенной зоны КТ CdS – говорит об уменьшении количества образуемых КТ. Уменьшение поглощения в этой области происходит за счет

увеличения поглощения в области 2.7 эВ – ширина запрещенной зоны КТ Ag_2S . Таким образом, получаем, что при больших концентрациях примеси образуются как КТ CdS, так и КТ Ag_2S . О том, что при большой концентрации образуются именно КТ Ag_2S , свидетельствует спектр поглощения чистых КТ Ag_2S . На спектре видно, что перегиб – ширина запрещенной зоны – соответствует 2.7 эВ. Это так же согласуется с литературными данными [8, 9].

Начиная с образца с $C_{\text{Ag}} = 10^{-2}$ количества примеси серебра достаточно для образования КТ Ag_2S при параллельном образовании КТ CdS.

При возбуждении системы квантовых точек CdS- Ag_2S излучением с длиной волны 380 нм наблюдали широкие полосы люминесценции в видимой области спектра: 400–800 нм (рис. 4а).

При возбуждении системы квантовых точек CdS- Ag_2S излучением с длиной волны 660 нм наблюдали широкие полосы люминесценции в ближней инфракрасной области спектра: 800–1500 нм (рис. 4б).

С увеличением концентрации Ag максимум интенсивности люминесценции сдвигается в длинноволновую область (рис. 5а). Спектр люминесцен-

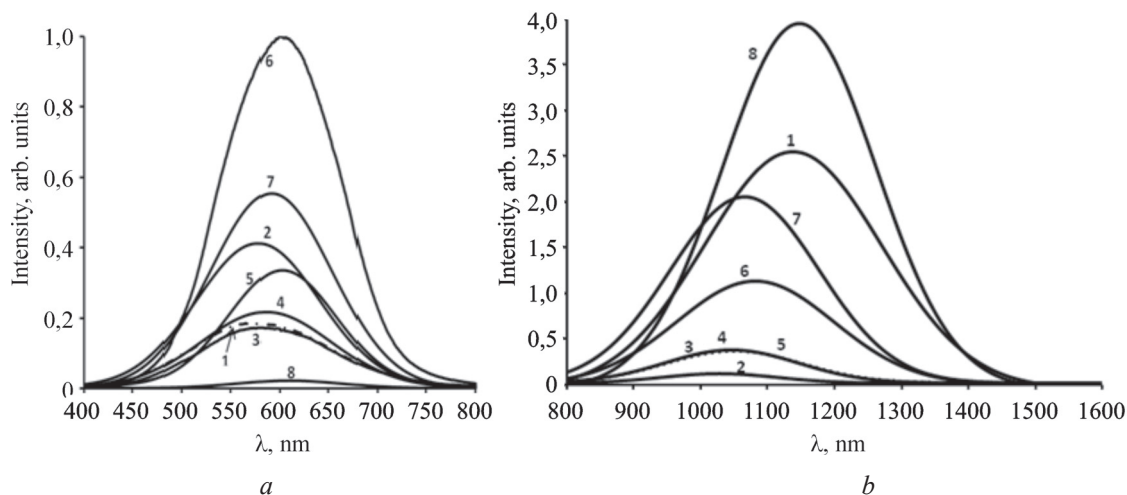


Рис. 4. Спектры люминесценции образцов: КТ CdS (1а), КТ Ag_2S (1б), КТ CdS с примесью Ag в соотношении мольных долей $C_{\text{Ag}} = 10^{-2}$ (2), $2.2 \cdot 10^{-2}$ (3), $4.6 \cdot 10^{-2}$ (4), 10^{-1} (5), $2.2 \cdot 10^{-1}$ (6), $4.6 \cdot 10^{-1}$ (7), 1 : 1 (8) в видимой области спектра (а) и в инфракрасной области спектра (б)

[**Fig. 4.** The luminescence spectra of the samples: QDs CdS (1a), QDs Ag_2S (1b), QDs CdS with Ag impurity in the ratio of mole fractions of $C_{\text{Ag}} = 10^{-2}$ (2), $2.2 \cdot 10^{-2}$ (3), $4.6 \cdot 10^{-2}$ (4), 10^{-1} (5), $2.2 \cdot 10^{-1}$ (6), $4.6 \cdot 10^{-1}$ (7), 1 : 1 (8) in the visible region of the spectrum (a) and in the infrared region of the spectrum (b)]

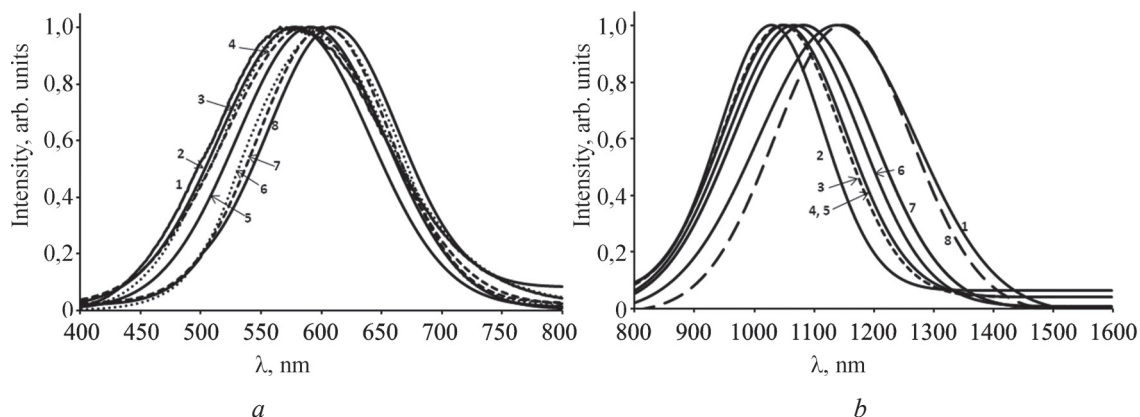


Рис. 5. Нормированные спектры люминесценции образцов: КТ CdS (1а), КТ Ag_2S (1б), КТ CdS с примесью Ag в соотношении мольных долей $C_{\text{Ag}} = 10^{-2}$ (2), $2.2 \cdot 10^{-2}$ (3), $4.6 \cdot 10^{-2}$ (4), 10^{-1} (5), $2.2 \cdot 10^{-1}$ (6), $4.6 \cdot 10^{-1}$ (7), 1 : 1 (8) в видимой области спектра (а) и в инфракрасной области спектра (б)

[**Fig. 5.** Standardized luminescence spectra of the samples: QDs CdS (1a), QDs Ag_2S (1b), QDs CdS with Ag impurity in the ratio of mole fractions of $C_{\text{Ag}} = 10^{-2}$ (2), $2.2 \cdot 10^{-2}$ (3), $4.6 \cdot 10^{-2}$ (4), 10^{-1} (5), $2.2 \cdot 10^{-1}$ (6), $4.6 \cdot 10^{-1}$ (7), 1 : 1 (8) in the visible region of the spectrum (a) and in the infrared region Spectrum (b)]

ции образца с концентрацией $C_{Ag} = 1:1$ по форме практически совпадает со спектром люминесценции Ag₂S (рис. 5b).

Следовательно, возникновение и увеличение интенсивности люминесценции в ближней ИК области спектра (рис. 6) подтверждает вывод о том, что с увеличением концентрации серебра одновременно с КТ CdS начинают формироваться КТ Ag₂S, сделанный из анализа спектров поглощения об образовании нанокристаллов двух типов: CdS и Ag₂S.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Введение примеси серебра во время синтеза квантовых точек сульфида кадмия приводит к результатам, позволяющим сделать следующие выводы.

Синтезированы квантовые точки сульфида кадмия в желатиновой матрице с помощью золь-гель технологии. Средний размер КТ CdS с кристаллической решеткой кубической модификации составил 2–4 нм. В процессе синтеза КТ CdS в реактор добавлялись ионы серебра в концентрациях с соотношением мольных долей относительно ионов кадмия равных $C_{Ag} = 10^{-2}$, $2.2 \cdot 10^{-2}$, $4.6 \cdot 10^{-2}$, 10^{-1} , $2.2 \cdot 10^{-1}$, $4.6 \cdot 10^{-1}$, 1:1. Начиная с концентрации $C_{Ag} = 10^{-2}$, образуются КТ Ag₂S, имеющие моноклинную кристаллическую решетку и люминесценцию в области спектра 1100–1300 нм, интенсивность которой увеличивается при увеличении C_{Ag} . В диапазоне $C_{Ag} = 10^{-2}$ – $2.2 \cdot 10^{-1}$ часть ионов серебра входит легирующей добавкой в КТ CdS, образует центры люминесценции, увеличивая интенсивность общей полосы люминесценции в области спектра 550–650 нм. Сделан вывод о том, что в результате присутствия в реакторе во время синтеза ионов серы, кадмия и серебра образуются системы, содержащие квантовые точки двух типов: CdS и Ag₂S. Данные системы имеет две полосы люминесценции: в видимой и ближней инфракрасной областях спектра. Такие материалы могут найти применение в качестве элементов, имеющих полосы люминесценции в двух разных областях спектра.

Спектры поглощения, изображения квантовых точек, полученные с помощью ПЭМ, и рентгеновские дифрактограммы измерены на оборудовании ЦКП НО ВГУ.

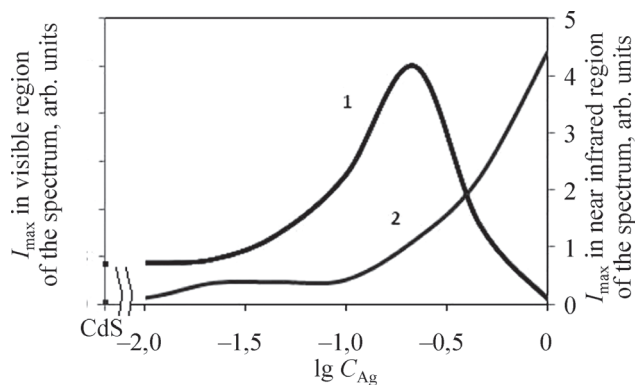


Рис. 6. Зависимость интенсивности в максимуме спектра люминесценции от $\lg C_{Ag}$ в видимой области спектра (кривая 1) и в ИК области спектра (кривая 2)

[Fig. 6. The intensity dependence at the maximum of the luminescence spectrum on $\lg C_{Ag}$ in the visible region of the spectrum (curve 1) and in the near infrared region of the spectrum (curve 2)]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Клюев В. Г., Фам Тхи Хаи Мьен, Бездетко Ю. С. // *Конденсированные среды и межфазные границы*, 2014. т. 16, № 1, с. 27–31.
2. Wuister S.F, Meijerink A. *J. of Luminescence*, 2003, vol. 102–103, pp. 338–343.
3. Nanda J., Beena Annie Kuruvilla, Sarma D. D. // *Phys. Rev. B*. 1999, vol.59, № 11. pp. 7473–7479.
4. Lee H. L. // *J. of Nanomaterials*, 2009, vol. 2009, ID 914501, pp. 1–9.
5. Kim D. // *J. Phys. Chem. C*, 2008, vol. 112, pp. 10668–10673.
6. Rayevska O. E. // *J. Phys. Chem C*, 2010, vol. 114, pp. 22478–22486.
7. Овчинников О. В., Смирнов М. С., Шапиро Б. И., Шатских Т. С., Перепелица А. С., Королев Н. В. // *ФТП*, 2015, т. 49, № 3, с. 385–391.
8. Алиев Ф. Ф., Джафаров М. Б., Эминова В. И. // *ФТП*, 2010, т. 44, № 6, с.749.
9. Гоглидзе Т., Дементьев И., Задорожный А., Соболевская Р. // *Revista Stiintifica Universitatii de Statd in Moldova*, 2011, nr.7(47), с.5.
10. Brus L. E. // *J. Chtm. Phys.*, 1984, vol. 80, pp. 4403–4409.
11. Chen R., Nuhfer N. T., Moussa L., Morris H. R., Whitmore P. M. // *Nanotechnology*, 2008, vol. 19, № 45, 455604 (11 pp).
12. Akamatsu K., Takei Sh., Mizuhata M., Kajinami A., Deki Sh., Takeoka Sh., Fujii M., Hayashi Sh., Yamamoto K. // *Thin Sol. Films*, 2000, vol. 359 № 1, p. 55.

OPTICAL PROPERTIES OF CdS–Ag₂S QUANTUM DOT SYSTEM© 2017 Yu. S. Bezdetko¹, V. G. Klyuev², A. A. Sedykh²¹Russian Air Force Military Educational and Scientific Centre “Zhukovsky and Gagarin Air Force Academy”, 54 “a” Starykh Bol'shevikov str., 394064 Voronezh, Russia²Voronezh State University, 1 Universitetskaya sq, 394018 Voronezh, Russia

e-mail: vgklyuev@rambler.ru

Received 10.04.2017

Abstract. The paper presents the results of a study of systems with quantum dots of two types: CdS and Ag₂S, which have different types of crystal lattices. CdS quantum dots were synthesized in the gelatin matrix by means of the sol-gel method. The average size of CdS quantum dots with a cubic crystal lattice was 2–4 nm. During the synthesis of CdS quantum dots, silver ions were added into the reactor. The concentrations of their mole fractions per cadmium ions were as follows: $C_{Ag} = 10^{-2}$, $2.2 \cdot 10^{-2}$, $4.6 \cdot 10^{-2}$, 10^{-1} , $2.2 \cdot 10^{-1}$, $4.6 \cdot 10^{-1}$, 1 : 1. Starting with a concentration of $C_{Ag} = 10^{-2}$ and increasing it leads to the formation of Ag₂S quantum dots with a monoclinic crystal lattice and luminescence in the 1100–1300 nm spectral range. The intensity of this spectra increases with the increase in C_{Ag} . Within the range of $C_{Ag} = 10^{-2}$ – $2.2 \cdot 10^{-1}$, a number of silver ions enter the CdS quantum dots in the form of a doping additive and create luminescence centres. This results in an increase in the intensity of the total luminescence band in the spectral region of 550–650 nm. A conclusion has been drawn that presence of sulphur, cadmium, and silver ions in the reactor during the synthesis leads to the formation of quantum dots of two types: CdS and Ag₂S. This system has two luminescence bands in visible and in near-infrared regions of the spectrum. Such materials can be used as emitting devices with luminescence bands in two different spectral regions.

Keywords: quantum dots, cadmium sulphide, silver impurity, absorption and luminescence spectra.

ACKNOWLEDGMENTS

Quantum dots absorption spectra and images were obtained by means of TEM and X-ray diffraction patterns and were measured using the equipment of the Centre for Collective Use of Scientific Equipment of Voronezh State University.

REFERENCES

1. Klyuev V. G., Fam Thi Hai M'en, Bezdetko Yu. S. *Condensed Matter and Interphases*, 2014. vol. 16, no. 1, pp. 27–31. Available at: http://www.kcmf.vsu.ru/resources/t_16_1_2014_005.pdf
2. Wuister S. F, Meijerink A. *J. of Luminescence*, 2003, vol. 102–103, pp. 338–343. [http://doi.org/10.1016/S0022-2313\(02\)00525-2](http://doi.org/10.1016/S0022-2313(02)00525-2)
3. Nanda J., Beena Annie Kuruvilla, Sarma D. D. *Phys. Rev. B*. 1999, vol.59, no. 11. pp. 7473–7479. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevB.59.7473>
4. Lee H. L. *J. of Nanomaterials*, 2009, vol. 2009, ID 914501, pp. 1–9. DOI: <http://dx.doi.org/10.1155/2009/914501>
5. Kim D. *J. Phys. Chem. C*, 2008, vol. 112, pp. 10668–10673. DOI: 10.1021/jp8009172
6. Rayevska O. E. *J. Phys. Chem. C*, 2010, vol. 114, pp. 22478–22486. DOI: 10.1021/jp108561u
7. Ovchinnikov O. V., Smirnov M. S., Shapiro B. I., Shatskih T. S., Perepelica A. S., Korolev N. V. *Semiconductors*, 2015, vol. 49, № 3, pp. 385–391. DOI: 10.1134/S1063782615030173
8. Aliev F. F., Dzhafarov M. B., Jeminova V. I. *Semiconductors*, 2010, vol. 44, № 6, pp.749. DOI: 10.1134/S1063782610060059
9. Goglidze T., Dement'ev I., Zadorozhnyj A., Sobolevskaja R. *Revista Stiintifica a Universitatii de Stat din Moldova*, 2011, nr. 7(47), p. 5.
10. Brus L. E. *J. Chtm. Phys.*, 1984, vol. 80, pp. 4403–4409. DOI: <http://dx.doi.org/10.1063/1.447218>
11. Chen R., Nuhfer N. T., Moussa L., Morris H. R., Whitmore P. M. *Nanotechnology*, 2008, vol. 19, no. 45, 455604 (11 pp). DOI: <http://iopscience.iop.org/0957-4484/19/45/455604>
12. Akamatsu K., Takei Sh., Mizuhata M., Kajinami A., Deki Sh., Takeoka Sh., Fujii M., Hayashi Sh., Yamamoto K. *Thin Sol. Films*, 2000, vol. 359 no. 1, p. 55. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0040-6090\(99\)00684-7](http://doi.org/10.1016/S0040-6090(99)00684-7)

ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СИСТЕМЫ КВАНТОВЫХ ТОЧЕК CdS–Ag₂S

Бездетко Юлия Сергеевна – преподаватель кафедры физики и химии, ВУНЦ ВВС «ВВА им. проф. Н. Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина»; тел.: +7(920) 4655944, e-mail: julfiz@yandex.ru

Клюев Виктор Григорьевич – д.ф.-м.н., профессор кафедры оптики и спектроскопии, Воронежский государственный университет; тел.: +7(919) 2320338, e-mail: vgklyuev@rambler.ru

Седых Анастасия Алексеевна – магистр кафедры оптики и спектроскопии, Воронежский государственный университет; тел.: +7(473) 2208780

Bezdetko Yulia S. – Lecturer of the Physics and Chemistry Department, MESC AF “N. E. Zhukovshky and Y. A. Gagarin Air Force Academy”; ph.: +7(920) 4655944, e-mail: julfiz@yandex.ru

KlyuevVictor G. – Dr. Sci. (Phys.-Math.), Professor of the Optics and Spectroscopy Department, Voronezh State University; ph.: +7(919) 2320338, e-mail: vgklyuev@rambler.ru

Sedykh Anastasiya A. – the competitor for science degree of Master Science, Optics and Spectroscopy Department, Voronezh State University, ph.: +7(473) 2208780