

Исследование температурной зависимости спектров люминесценции нанокompозитов с квантовыми точками CdSe

К. А. Магарян^{1,*}, М. А. Михайлов^{2,†}, К. Р. Каримуллин^{2,3,‡}, И. А. Васильева^{1,§}, Г. В. Климушева^{4,¶}

¹Московский педагогический государственный университет
Россия, 119992, Москва, ул. Малая Пироговская, д. 29

²Институт спектроскопии Российской академии наук
Россия, 142190, Москва, Троицк, ул. Физическая, д. 5

³Казанский физико-технический институт имени Е. К. Завойского
Россия, 420029, Казань, ул. Сибирский тракт, д. 10/7

⁴Институт физики Национальной академии наук Украины
Украина, 03028, Киев, пр-т Науки, 46

Исследование квантовых точек селенида кадмия легированных в ЖК матрицу каприлата кадмия. Методом конфокальной люминесцентной микроскопии получены спектры люминесценции при $T = 77\text{--}300\text{ К}$. Исследована зависимость спектров от температуры, размера квантовых точек, и неоднородности самих объектов изучения.

PACS: 33.50.Dg.

УДК: 535.372.

Ключевые слова: квантовые точки CdSe, жидкокристаллическая матрица, конфокальная люминесцентная микроскопия.

Проведено спектральное исследование квантовых точек селенида кадмия (CdSe), легированных в жидкокристаллическую матрицу каприлата кадмия CdC8, в широком диапазоне низких температур. Образцы изготовлены по методике выращивания нанокристаллов непосредственно в жидкокристаллической матрице [1].

Спектры люминесценции при комнатной температуре были измерены с использованием конфокального люминесцентного микроскопа с дополнительной засветкой (рис. 1а). Данный метод возбуждения и сбора люминесценции образца характеризуется высокой эффективностью и большим пространственным разрешением. Использование дополнительной схемы визуализации позволило исследовать зависимость спектров люминесценции от структурных особенностей образца. Нами были исследованы спектры образцов в разных точках вблизи неоднородностей на поверхности образца, в частности, различных трещин и сколов (см. рис. 2а). Наличие таких неоднородностей приводит к уменьшению интенсивности полос в спектре, отвечающих за рекомбинацию свободных экситонов; и к увеличению интенсивности полос, ответственных за локализацию экситонов на дефектных уровнях.

Спектральные исследования в широком диапазоне низких температур были выполнены при помощи заливного азотного криостата. Использование последнего было сопряжено с необходимостью использовать отличную от конфокальной схему возбуждения и сбора сигналов люминесценции. Для регистрации спектров люминесценции была использована оптическая схема,

изображенная на рис. 1б, что связано с невозможностью использовать микрообъектив с коротким передним отрезком для фокусировки лазерного пучка на образце, который находился в криостате.

Спектры люминесценции с использованием обеих схем получены при накачке твердотельным DPSS лазером с длиной волны $\lambda = 405\text{ нм}$ и мощностью 23–35 мВт. В качестве системы регистрации использовали компактный эшелле-спектрометр высокого разрешения. Регулировку и измерение температуры производили при помощи схемы термостабилизации на основе контроллера LakeShore в диапазоне температур от 77,3 К до комнатной с шагом 5 К.

Ранее было показано [2], что при переходе в диапазоне температур от 77,3 К и ниже (вплоть до температуры жидкого гелия) не наблюдается сдвиг экситонных полос. По этой причине регистрацию спектров люминесценции проводили в диапазоне температур 77–300 К. Исследовали зависимость спектров люминесценции от структуры образца (рис. 2а), температуры (рис. 2б) и размера квантовых точек.

Теоретический анализ полученных результатов был выполнен в рамках динамического подхода, основанного на использовании гамильтониана исследуемых систем в основном и возбужденных состояниях и уравнений для элементов матрицы плотности системы с учетом взаимодействия примесных центров с дефектами кристаллической решетки.

Простейшая схема энергетических уровней, описывающая процессы в кристаллической среде, показана на рис. 3, где а) — валентная зона, которая предполагается полностью заполненной; б) — зона проводимости; в) — запрещенная зона. При возбуждении системы внешним излучением образуется связанная пара электрон-дырка (экситон). Электрон и дырка притягиваются за счет кулоновского взаимодействия. В согласии с этим уровни экситона оказываются ниже зоны

*E-mail: xmagaros@gmail.com

†E-mail: mmihail66@yandex.ru

‡E-mail: kamil_karimullin@mail.ru

§E-mail: irina.vasilieva@gmail.com

¶E-mail: klimusha@iop.kiev.ua

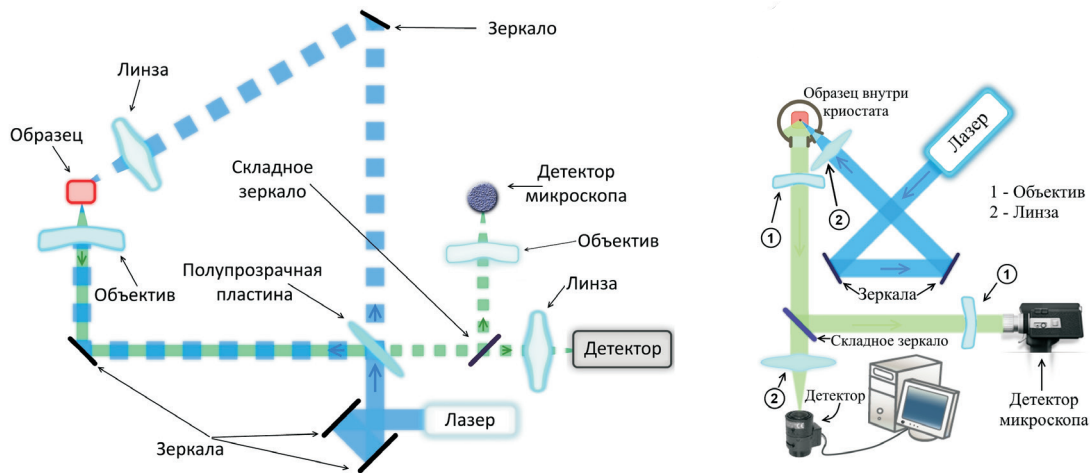


Рис. 1: Схема возбуждения и сбора люминесценции: конфокальная (слева), с боковой засветкой (справа)

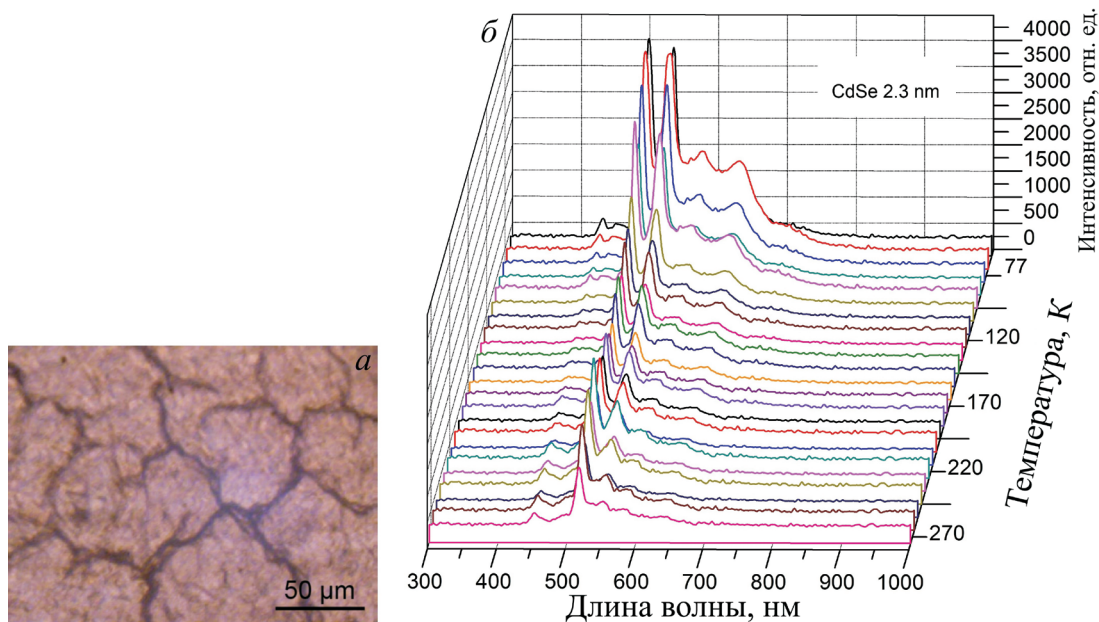


Рис. 2: Изображение образца при засветке белым светом, полученное в схеме визуализации с большим увеличением, $T = 300\text{ K}$ (слева). Спектры люминесценции нанокompозита с характеристическим размером квантовых точек селенида кадмия в широком диапазоне низких температур (справа)

проводимости. На рис. 3 показан один (основной) энергетический уровень: ε).

Вертикальные стрелки 1 отвечают резонансным линиям поглощения и излучения. Из состояния ε) за счет взаимодействия экситона с «дефектом» кристалла, т. е. с экситонами, локализованными на дефектах в объеме наночастиц или на их поверхностях (эффект ограничения) сразу после поглощения возможен процесс передачи энергии «дефекта» экситону. В результате такой передачи энергии экситон оказывается либо на одном из своих возбужденных уровней, либо переходит в зону проводимости. В дальнейшем возможны переходы 2 и 3. Они формируют две дополнительные линии по-

глощения, смещенные относительно резонансной линии вправо или влево в шкале частот. Таким образом, в спектре излучения наблюдаются три линии различной интенсивности. Линия 3 обладает меньшей интенсивностью (вероятность перехода мала по сравнению с переходом 2).

Как видно из рис. 2б, интенсивность трех рассматриваемых полос излучения существенно зависит от температуры. Анализ данной зависимости наиболее результативно проводить на основе динамической теории, так как данный подход позволяет учитывать влияние различных факторов на оптические спектры квантовых точек. Преимущества динамического подхода

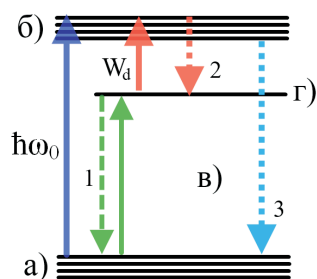


Рис. 3: Энергетическая схема уровней в кристаллической среде

позволяют использовать его для описания широкого круга экспериментальных данных.

Работа выполнена при финансовой поддержке гран-

тов Президента РФ № МК–2328.2014.2 и № НШ–134.2014.2.

[1] *Lyashchova A., Dmytruk A., Dmitruk I., Klimusheva G., Mirnaya T., Asaula V.* *Nanoscale Res Lett.* **9**(1). P.88. (2014).

[2] *Magarian K.A., Fedyanin V.V., Karimullin K.R., Vasilieva*

I.A., Klimusheva G.V. *J. Phys.: Conf. Ser.* **478**. P.012007. (2013).

The Study of the Temperature Dependence of the Luminescence Spectra of the Nanocomposites with CdSe Quantum Dots

K. A. Magaryan^{1,a}, M. A. Mikhailov^{1,b}, K. R. Karimullin^{2,3,c}, I. A. Vasilieva^{1,d}, G. V. Klimusheva^{4,e}

¹*Moscow Pedagogical State University, Moscow 119992, Russia*

²*Institute for Spectroscopy, Russian Academy of Science, Moscow, Troitsk 142190 Russia*

³*Zavoisky Physical-Technical Institute, Russian Academy of Science, Kazan 420029, Russia*

⁴*Institute of Physics, NAS of Ukraine, Kiev, 03028, Ukraine*

E-mail: ^axmagaros@gmail.com, ^bmmihail66@yandex.ru, ^ckamil_karimullin@mail.ru, ^dirina.vasilieva@gmail.com, ^eklimush@iop.kiev.ua

The paper is devoted to investigation of cadmium selenide quantum dots doped in the liquid crystalline matrix of cadmium caprylate. Fluorescence spectra were obtained using epi-luminescent luminescence microscopy technique at temperatures ranging from 77 K to 300 K. We studied how fluorescence spectra depend on the temperature, on the size of the quantum dots, and the inhomogeneity of the objects of the investigation.

PACS:33.50.Dq.

Keywords: quantum dots CdSe, liquid crystalline matrix, epiluminescence microscopy.

Сведения об авторах

1. Магарян Константин Арутюнович — аспирант; тел.: (903) 138-24-32, e-mail: xmagaros@gmail.com.
2. Михайлов Михаил Анатольевич — канд. физ.-мат. наук, доцент, профессор; тел.: (916) 067-95-81, e-mail: mmihail66@yandex.ru.
3. Каримуллин Камиль Равкатович — канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник; тел.: (916) 556-09-37, e-mail: kamil_karimullin@mail.ru.
4. Васильева Ирина Александровна — докт. физ.-мат. наук, доцент, профессор; тел.: (916) 577-28-91, e-mail: irina.vasilieva@gmail.com.
5. Климушева Гертруда Васильевна — докт. физ.-мат. наук, профессор, ведущий научный сотрудник; тел.: +38 (044) 525-78-41, e-mail: klimush@iop.kiev.ua.