

## ЛИТЕРАТУРА

1. Kruk, Mikalai M. Solvent-Dependent Deprotonation of meso-Pyrimidinylcorroles: Absorption and Fluorescence Studies / Mikalai M. Kruk [et al.] // Journal of Physical Chemistry, A. – 2012. - Vol. 116, № 44. - P. 10704 - 10711.
2. Katritzky, A. R. Quantitative measures of solvent polarity / A. R. Katritzky [et al.] // Chem. Rev. - 2014. V. 104, №1. - P. 175 – 198.

УДК 66.087

О.А. Титенков  
ГГТУ им. П.О.Сухого, Гомель

## ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ НАНОЧАСТИЦ ВОССТАНОВЛЕННОГО ГЕРМАНИЯ

Установленные свойства ряда наночастиц различных соединений и наноразмерные эффекты, связанные с особенностями их локализации в диэлектрических матрицах, открывают возможности по созданию на их основе новых функциональных элементов для современной нанoeлектроники, а также позволяют использовать в качестве наносенсоров при получении информации о структурном и функциональном состоянии биологически активных объектов [1, 2]. Отдельно необходимо отметить, что технологии создания нанокристаллов полупроводников в матрицах оксида кремния вызывает достаточно большой интерес в связи с их хорошей совместимостью с существующими планарными технологиями.

Правильные корректировки состава, размера и формы ядра и оболочки таких материалов позволяют получать наноматериалы с изменяемыми свойствами, которые могут играть важную роль в различных каталитических процессах, а также имеют потенциал использования в сенсорных «бесконтактных» элементах.

Одна из причин интереса к подобным наноматериалам заключается в их оптических свойствах, а также возможности настраивать эти свойства, меняя форму, размер и стехиометрический состав наночастиц. Толщина оболочки наночастицы (в случае ее присутствия) влияет не только на положение, но и на интенсивность интегрального спектра поглощения формируемого композиционного материала. Например, в работе [3] было показано, что при увеличении толщины оболочки  $\text{SiO}_2$  на частицах золота увеличивается и интенсивность поглощения  $\text{Au/SiO}_2$ . Интенсивность максимальна для

толщины 100 нм. Хотя в этом случае положение пика не изменяется при изменении толщины оболочки, это может происходить в других случаях. В общем случае, фотолюминесценция определяется как излучение света от наночастиц после поглощения фотона. Обычно ширина запрещенной зоны фиксирована, поэтому длина волны излучения становится характерным свойством материала, но этот факт действителен для объемных материалов. На наноуровне ширина запрещенной зоны и, следовательно, характерная длина волны излучения могут быть настроены на широкий диапазон спектра. На рассеяние света в случае наночастиц «ядро-оболочки» оказывают влияние размеры наночастиц [4]. Максимумы и минимумы картины рассеяния сдвигаются с изменением размера ядра. Так, в работе [5] было описано рассеяние света диэлектрических материалов типа «ядро-оболочка» (рассмотрены антисвязывающий и связывающий резонансы). В частности, в случае наноматериалов класса «ядро-оболочка», путем изменения, например, толщины оболочки и ширины запрещенной зоны (как ядра, так и оболочки), можно добиться управления длиной волны фотолюминесценции формируемой композиционной наноструктуры.

Синтез наночастиц «ядро-оболочка» как правило, происходит с использованием двухступенчатого процесса. Сначала проводится синтез ядра, а затем синтез самой оболочки. Методы синтеза наночастиц могут быть классифицированы на два типа в зависимости от наличия частицы ядра: ядро синтезируется и отдельно включается в систему с соответствующей модификацией поверхности для покрытия материалом оболочки; частицы ядра синтезируются «in situ», то есть в реакционной смеси. Особенностью второго подхода является риск образования примесей между слоями ядра и оболочки, тогда как при первом подходе наночастицы ядра доступны в чистом виде и, следовательно, уменьшается вероятность появления примесей.

Для получения наночастиц германия использовались высокопористые SiO<sub>2</sub>-матрицы, синтезированный с помощью золь-гель метода. Преимущество применяемого метода заключается в его простоте, он не требует сложного, дорогостоящего оборудования и при этом позволяет получать наноматериалы с низкой размерностью зерен. Благодаря химической инертности восстановленного Ge и SiO<sub>2</sub>-ксерогеля уже при небольшой массовой концентрации SiO<sub>2</sub>-ксерогеля наблюдалось формирование отдельно локализованных наночастиц Ge<sup>0</sup> - после термообработки в водороде при температуре 800 °С. Для получения оболочки металла предлагается температурная обработка полученных материалов в парах меди с последующим инерционным

остыванием в присутствии инертной газовой среды (аргон).

Методом РЭМ был произведен анализ полученных микро- и наночастиц Ge°. Было установлено, что частицы германия имеют практически правильную сферообразную форму, образовавшуюся в процессе конденсации из расплавленного состояния при их инерционном остывании. Дисперсия формируемых частиц находилась в интервале от 50 мкм до 50 нм, причем внешняя область микрочастиц восстановленного германия оказалась структурирована поверхностными доменами размерностью порядка 500 нм.

Так как FCC структура германия имеет восемь атомов на кубическую ячейку объема  $n^3$ , число атомов в единице объема  $N = 8/n^3$ . Тогда учитывая параметр кристаллической решетки  $a = 0,566$  нм, число атомов в одном нанометре кубическом равно  $N = 8/(0,566)^3 = 44,12$  атома или  $4,4 \cdot 10^{28}$  атомов в метре кубическом. Объем поверхностного слоя частицы  $V_{\text{пов}} = 4/3 \pi r_{\text{нч}}^3 - 4/3 \pi (r_{\text{нч}} - 2r_{\text{ат}})^3 = 63781250 - 63594680,7101 = 186569,29$  нм<sup>3</sup>. Учитывая это, количество атомов в объеме поверхностного слоя равно  $N = 186569,29 \cdot 44,19 = 8,2 \cdot 10^6$ . Полученная величина позволяет предположить, что при создании системы ядро-оболочка при покрытии наночастицы восстановленного германия островковыми металлическими образованиями (не в виде сплошного покрытия), становится возможным проявление эффективных плазмон-экситонных взаимодействий, проявляющихся в преобразовании спектрального максимума и времени фотолюминесценции, зависящих от размера наночастиц.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Наноэлектроника. Состояние и перспективы развития [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.Н. Игнатов. — М. : ФЛИНТА, 2012. — 360 с.
2. Усанов Д. А., Скрипаль А. В. Физические основы наноэлектроники. Учебное пособие для студентов факультета нано- и биомедицинских технологий. – Саратов, 2013 – 128 с.
3. Y. Lu, Y. Yin, Z.-Y. Li, Y. Xia, Synthesis and self-assembly of Au@SiO<sub>2</sub> core-shell colloids, Nano Lett. 2 (7) (2002) 785–788.
4. A. Manzur, Light scattering from core-shell spherical particles, J. Colloid Interface Sci. 162 (1) (1994) 197–202.
5. E. Thiessen, F.X. Bronold, R.L. Heinisch, H. Fehske, Scattering of infrared light by dielectric core-shell particles, Phys. Rev. A—At. Mol. Opt. Phys. 91 (4) (2015) 1–16.