

ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБЛАСТЬ ПРАКТИЧЕСКИХ ПРИЛОЖЕНИЙ ЭКСИТОН-ПЛАЗМОННЫХ НАНОМАТЕРИАЛОВ, СФОРМИРОВАННЫХ НА ОСНОВЕ НАНОЧАСТИЦ ВОССТАНОВЛЕННОГО ГЕРМАНИЯ

О. А. Титенков

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Беларусь

Научный руководитель А. А. Алексеенко

Исследования технологий получения наноструктурированных веществ, принципы функционирования которых связаны с проявляемыми плазмонными эффектами и экситон-плазмонным взаимодействием, являются актуальным направлением в области создания конструкционных материалов для нанотехнологических решений в оптоэлектронике [1]. Плазмоны представляют собой оптически возбужденные состояния электронной плазмы на границе раздела металла и диэлектрика, а экситоны – электронные возбужденные состояния в полупроводниковых материалах. В ряде частных случаев изучение экситон-плазмонного взаимодействия позволило установить возможность усиления интенсивности люминесценции в нанокристаллах и наночастицах со структурой типа «ядро–оболочка» [1]. Наиболее известные материалы, при-

меняемые для создания оболочки, – тонкие пленки на основе серебра или золота (так как они позволяют возбуждать плазмоны в видимом диапазоне длин волн). В нашем случае ядро наночастицы формировалось на основе наночастиц восстановленного германия, для которых существует зависимость положения максимума пика люминесценции от размеров самих наночастиц, причем люминесценция также наблюдается в видимом спектральном диапазоне длин волн [2]. С другой стороны, известно, что в наночастицах германия хорошо выражены эффекты квантового ограничения, что открывает возможность их потенциального использования в устройствах оптоэлектронной техники [2], [3].

С целью получения эффекта экситон-плазмонного взаимодействия формировались композиционные высококремнеземные материалы, содержащие наночастицы состава «ядро–оболочка». Стандартными методами наночастицы германия получают с помощью технологии ионной имплантации, заключающейся во введении атомов примесей в поверхностный слой подложки или эпитаксиальной пленки на ней, путем бомбардировки внешней поверхности пучком ионов высоких энергии [3]. Также используются методы осаждения сверхстехиометрических слоев оксида или многослойных структур с последующим оксидированием [4]. В таких случаях становится возможным получить пленочные наноструктуры, проявляющие эффекты экситон-плазмонного взаимодействия. В нашем случае решалась задача по формированию объемного материала, содержащего отдельно локализованные микро- и наночастицы Ge° правильной сферической формы, что достигалось с помощью применения методов коллоидной химии и специальных технологических приемов термообработки синтезируемых материалов в контролируемой газовой среде.

Технология получения наночастиц Ge° предполагала использование одного из видов золь-гель метода, в котором матрицей-носителем наночастиц Ge° являлись высокопористые заготовки на основе пирогенного кремнезема (технологическое название – аэросил). На рис. 1 схематически отображена последовательность основных технологических этапов получения описываемых композиционных наноструктурированных материалов. Формирование микро- и наночастиц Ge° проводилось при термообработке матриц состава $\text{SiO}_2:\text{GeO}_2$ в среде водорода при температурах 600–1000 °С. Взаимная химическая инертность исходных веществ в указанном интервале температур позволяет сформировать отдельно локализованные микро- и наночастицы восстановленного германия в SiO_2 -матрицах. С целью получения на поверхности микро- и наночастиц Ge° тонкой металлической пленки или островков металла производилась их температурная обработка в парах меди с последующим инерционным остыванием в присутствии инертной газовой среды (применялся аргон).

Изучение стехиометрического состава микро- и наночастиц Ge° , а также морфологии их поверхности проводилось с помощью методов рентгеновской дифракции и атомно-силовой микроскопии, соответственно.

На рис. 2 приводится изображение состояния поверхности микрочастицы Ge° , полученное с помощью метода атомно-силовой микроскопии. Наблюдается высокая однородность поверхности микрочастицы Ge° , что позволяет применить ее в качестве основы для создания сенсорного элемента, обладающего эффектом экситон-плазмонного взаимодействия, а именно – сферического микрорезонатора [1].



Рис. 1. Основные технологические этапы получения микро- и наночастиц Ge^0 состава «ядро–оболочка»

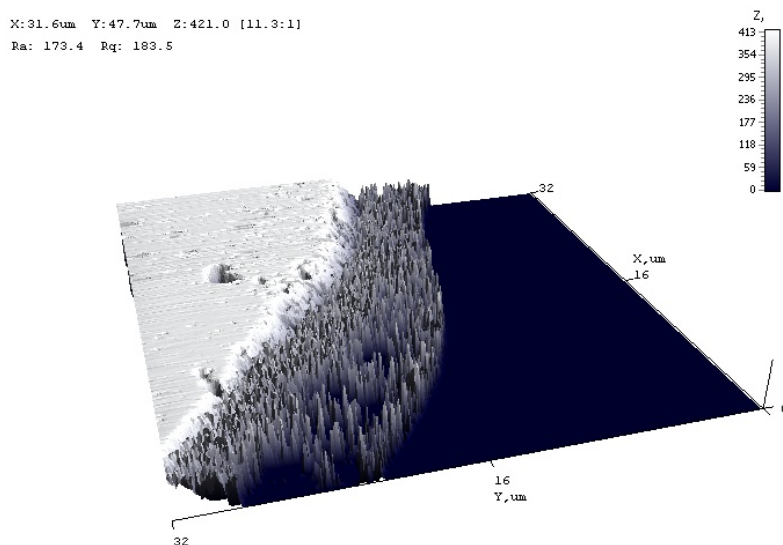


Рис. 2. Изображения наночастицы германия (скол), полученные методом АСМ-микроскопии

Для эффекта плазмонного резонанса условия получения наночастиц дисперсия их размеров и стехиометрический состав позволяют управляемо влиять на положение и интенсивность максимума полосы плазмонного резонанса, что широко применяется для создания оптических и нелинейно-оптических сенсоров, предназначенных для детектирования большого спектра веществ, в основном, биологического происхождения, малых и сверхмалых концентраций [5]. В нашем случае материалы с эффектом экситон-плазмонного взаимодействия могут быть эффективно использованы для непрямого возбуждения поверхностных плазмонов, что достаточно широко применяется в спектральном анализе для усиления сигнала комбинационного рассеяния детектируемых молекул и веществ [1].

В заключение необходимо отметить, что в результате проведенных исследований была показана возможность синтеза отдельно локализованных микро- и наночастиц Ge^o состава «ядро–оболочка», предположительно, способных подавлять или усиливать фотолюминесценцию в зависимости от условий их локализации и структурного состава: описана технология получения микро- и наночастиц восстановленного германия, рассмотрена возможность модификации их поверхности для получения структур состава «ядро–оболочка» и практическое использование синтезированных микро- и наночастиц в оптоэлектронной технике (определены поверхностные эффекты, которые дают возможность применить получаемые экситон-плазмонные наноматериалы в качестве сенсорных устройств). Область дальнейших практических приложений полученных наноструктурированных веществ – создание «бесконтактных» сенсорных устройств на основе наночастиц правильной геометрической формы с модифицированной поверхностью, а также решение задач по получению гибридных материалов в виде чередующихся нанослоев, сформированных из мишеней на основе микро- и наночастиц состава «ядро-оболочка» под действием высокоэнергетических пучков.

Литература

1. Артемьев, М. В. Новые неорганические соединения и материалы на основе микро- и наноразмерных частиц: получения, свойства, применения / М. В. Артемьев. – Минск : БГУ, 2015. – 151 с.
2. Structure and photoluminescence of Ge nanoparticles with different sizes embedded in SiO₂ glasses fabricated by a sol-gel method / Yanga Heqing [et al.] // Journal of Crystal Growth – 2004. – Vol. 261. – P. 549–556.
3. Герасименко, Н. Н. Кремний – материал нанoeлектроники / Н. Н. Герасименко, Ю. Н. Пархоменко. – М. : Техносфера, 2007. – 352 с.
4. Исследование нанокompозитных структур SiO₂:Me, сформированных путем сегрегации металла фронтом окисления кремния в слоях Si:Me / К. Ю. Максимова [и др.] // Перспективные материалы. – 2010. – № 2. – С. 33–38.
5. Мамичев, Д. А. Оптические сенсоры на основе поверхностного плазмонного резонанса для высокочувствительного биохимического анализа / Д. А. Мамичев, И. А. Кузнецов, Н. Е. Маслова // Молекулярная медицина. – 2012. – № 6. – С. 19–27.