

Нанопериодические оптические сенсоры с гигантским усилением Рамановского рассеяния света при ИК-возбуждении

А.С. Астраханцева^{1,2}, В.И. Кукушкин¹

¹Институт физики твердого тела РАН, Академика Осипяна 2, Черноголовка, Россия, 142432

²Московский физико-технический институт (национальный исследовательский университет), Институтский переулок 9, Долгопрудный, Россия, 141701

Аннотация

С целью гигантского усиления сигнала Рамановского рассеяния света были разработаны наноструктуры типа "фотонный кристалл", представляющие собой периодический массив диэлектрических столбиков из SiO₂, покрытый толстым слоем металла. В результате оптимизации геометрии наноструктур были исследованы столбики с профилями в виде квадратов, кругов, прямоугольников и треугольников. Планарный размер столбиков варьировался в диапазоне 400-600 нм, зазор между ними - в диапазоне 400-600 нм, высота столбиков - от 50 до 3000 нм, а также изменялась толщина серебра от 40 до 400 нм. Продемонстрирована возможность плавной подстройки резонанса плазмонного поглощения комбинированной металл-диэлектрической структуры под длины волн лазерного излучения 785 и 1064 нм.

Ключевые слова

Рамановская спектроскопия, SERS, наноструктуры, оптический сенсор

1. Введение

В настоящее время во всем мире наблюдается стремительная динамика развития SERS-методов (SERS - surface-enhanced Raman scattering) для детектирования химических или биологических субстанций в следовых количествах [1]. В связи с этим проблема усиления локального электромагнитного поля вблизи границы раздела наноструктурированных металлических и диэлектрических слоев имеет принципиально важное значение. Следует отметить, что в видимом диапазоне частот методы управления контурами плазмонного поглощения позволяют достигать усиления интенсивности Рамановского рассеяния света в десятки миллионов раз [2,3]. Однако кроме сигнала Рамановского рассеяния в этом спектральном диапазоне усиливается и фотолюминесценция, которая затрудняет детекцию SERS-сигнала. Решением этой проблемы является переход на более низкочастотные лазерные источники света. Кроме того, в ИК-диапазоне уменьшается затухание плазменных волн в серебре [4], что приводит к увеличению их параметра добротности. Хорошо известно [4], что при увеличении длины волны лазерного излучения от 500 до 1500 нм добротность плазменных волн в серебре изменяется на порядок, что компенсирует потери в интенсивности объемного Рамановского рассеяния (интенсивность Рамановского рассеяния пропорциональна четвертой степени частоты возбуждения). Таким образом, усиление в ИК-области может быть значительно больше, чем в видимой области спектра.

2. Материалы и методы

В настоящей работе использовалось лазерное излучением с длинами волн 785 и 1064 нм, и изучались зависимости коэффициента усиления интенсивности Рамановского рассеяния света от геометрии (высоты, планарных размеров, форм и зазоров) диэлектрических столбиков SiO₂ в периодических структурах, а также от толщины серебряного слоя. С помощью методов

электронной литографии и плазмохимического травления изготавливались периодические диэлектрические структуры с квадратными, круглыми, прямоугольными и треугольными столбиками (Рис. 1). Их планарный размер изменялся в диапазоне 400-600 нм, зазор между ними - в диапазоне 400-600 нм, высота столбиков - от 50 до 3000 нм. Затем с помощью установки вакуумного термического напыления поверх изготовленных диэлектрических структур наносился толстый слой серебра. Толщина серебра варьировалась от 40 до 400 нм. Исследования по пространственному распределению интенсивности SERS на изготовленных структурах проводились с помощью оптического сканирующего микроскопа Olympus BX51 на базе Рамановских спектрометров EnSpectr R785 (мощность излучения составляла 100 мВт) и EnSpectr R1064 (мощность излучения составляла 100 мВт). Диаметр пятна сфокусированного лазерного луча для обоих спектрометров составлял 10 мкм, шаг сканирования при этом также составлял 10 мкм.

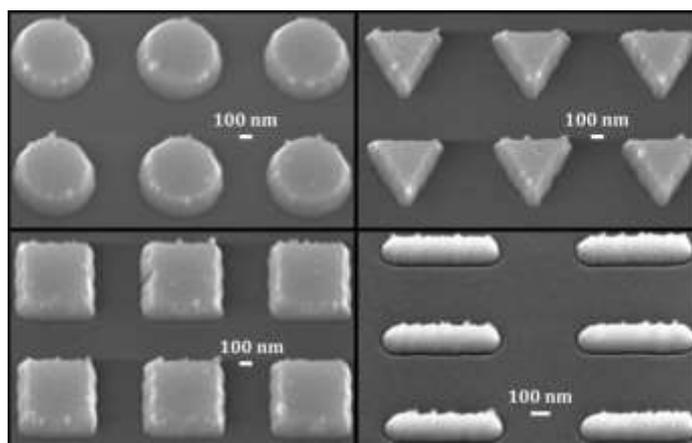


Рисунок 1: Фотографии структур с различными формами диэлектрических наностолбиков, полученные на электронном микроскопе

3. Заключение

В данном исследовании было показано, что в ближней ИК-области спектра могут быть достигнуты рекордно большие коэффициенты усиления Рамановского рассеяния света (более чем на восемь порядков), что связано с высокой добротностью плазменных волн в серебре при этих частотах.

Установлено, что вклад в эффект SERS в ближней ИК-области кроме плазмонного резонанса обеспечивает геометрический резонанс, возникающий при согласовании размеров диэлектрической структуры и длины волны лазерного излучения.

4. Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 20-04-60077).

5. Литература

- [1] Ambartsumyan, O. SERS-Based Biosensors for Virus Determination with Oligonucleotides as Recognition Elements/ O. Ambartsumyan, D. Gribanyov, V. Kukushkin // *Int. J. Mol. Sci.* – 2020. – Vol. 21. – P. 3373.
- [2] Fleischmann, M. Raman spectra of pyridine adsorbed at a silver electrode / M. Fleischmann, P.J. Hendra, A.J. McQuillan // *Chem. Phys. Lett.* – 1974. – Vol. 26(2). – P. 163-166.
- [3] Homola, J. *Surface Plasmon Resonance Based Sensors* / J. Homola. – Berlin: Springer, 2006.
- [4] Johnson, P.B. Optical Constants of the Noble Metals/ P. B. Johnson, R.W. Christy // *Phys. Rev. B.* – 1972. – Vol. 6. – P. 4370.