

М.С. ШЕСТОПАЛОВА^{1,2}, Д.С. КОРЖОВ^{1,2}, А.К. САРЫЧЕВ³, А.В. ИВАНОВ³, А.Ф. СМЫК⁴, А.В. ШУРЫГИН⁴, И.В. БЫКОВ³, В.А. ОЛЕЙНИКОВ^{1,2}, К.Е. МОЧАЛОВ^{2,5}

¹Национальный исследовательский ядерный университет МИФИ, Москва, Россия

²Институт биоорганической химии им. академиков М.М. Шемякина и Ю.А. Овчинникова РАН, Москва, Россия

³Институт теоретической и прикладной электродинамики РАН, Москва, Россия

⁴ООО «James River Branch», Москва, Россия

⁵Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

ГИБКИЕ МЕТАПОВЕРХНОСТИ ДЛЯ ВЫСОКОЧУВСТВИТЕЛЬНОЙ ГКР-СПЕКТРОСКОПИИ

Рассмотрены особенности формирования и локализации плазмонных резонансов в гибких метал–диэлектрических метаповерхностях с тонким серебряным покрытием, используемых в качестве подложек для гигантского комбинационного рассеяния (ГКР). Показано, что геометрия рельефа и неоднородность толщины металла определяют формирование «горячих точек» и величину ГКР-усиления. Выполнена оценка степени локального усиления поля и влияния геометрии на чувствительность сигнала ГКР, предложены подходы к оптимизации структуры для получения стабильных и воспроизводимых спектров от отдельных нанообъектов.

M.S. SHESTOPALOVA^{1,2}, A.K. SARYCHEV³, A.V. IVANOV³, A.F. SMYK⁴, A.V. SHURYGIN⁴, I.V. BYKOV³, V.A. OLEINIKOV^{1,2}, K.E. MOCHALOV^{2,5}

¹National Research Nuclear University MEPhI (Moscow Engineering Physics Institute), Moscow, Russia

²Shemyakin-Ovchinnikov Institute of Bioorganic Chemistry, RAS, Moscow, Russia

³Institute of Theoretical and Applied Electrodynamics, RAS, Moscow, Russia

⁴James River Branch LLC, Moscow, Russia

⁵RUDN University, Moscow, Russia

FLEXIBLE METASURFACES FOR HIGH-SENSITIVITY SERS-SPECTROSCOPY

The formation and localization of plasmonic resonances in flexible metal–dielectric metasurfaces with a thin silver coating, employed as substrates for Surface-Enhanced Raman scattering (SERS), are investigated. It is demonstrated that the surface relief geometry and inhomogeneity of the metal thickness govern the emergence of localized “hot spots” and determine the overall SERS enhancement. A quantitative assessment of the local electromagnetic field amplification and the influence of structural geometry on the sensitivity of the SERS signal is carried out. Approaches to optimizing the metasurface architecture are proposed in order to achieve stable and reproducible spectra from individual nano-objects.

Актуальная задача в области ГКР-спектроскопии состоит в обеспечении контролируемого возбуждения плазмонных резонансов при сохранении воспроизводимости усиления и неизменности спектрального профиля. Для её решения требуется создание метал–диэлектрических метаповерхностей, в которых геометрия нанорельефа и толщина металлического слоя позволяют управлять пространственным распределением электромагнитного поля и условиями возбуждения плазмонных мод [1, 2]. Такие структуры дают возможность существенно повышать интенсивность комбинационного рассеяния от отдельных нанообъектов при сохранении исходного вида КР-спектра.

В работе методом голографической интерференционной литографии созданы высокоупорядоченные металл–диэлектрические метаповерхности с тонким нанослоем серебра, характеризующиеся значительной воспроизводимостью усиления рамановского рассеяния без искажения спектральных характеристик. Показано, что геометрическая комплементарность рельефа обеспечивает формирование локализованных плазмонных мод, сопровождающееся возникновением выраженных максимумов электрического поля в углублениях метаповерхности. На основе численного моделирования и экспериментальных данных установлено, что локализация оптического возбуждения происходит в субволновых областях, где формируются «горячие точки» с максимальной амплитудой поля. Проанализировано влияние периода рельефа, глубины модуляции и толщины нанослоя на эффективность усиления и воспроизводимость ГКР-сигналов. Использование таких структур позволило идентифицировать отдельные внеклеточные везикулы и зарегистрировать их ГКР-спектры.

Полученные результаты показывают, что локализация плазмонных мод в гибких метал–диэлектрических метаповерхностях обеспечивает высокую чувствительность и хорошую воспроизводимость ГКР-сигналов, а также позволяет регистрировать спектры от отдельных нанообъектов. Одним из направлений дальнейших исследований является использование разработанных метаповерхностей для развития методов спектрального анализа везикулоподобных биообъектов и полимерных аналитов, таких как внеклеточные везикулы и нанопластик, с последующей интеграцией в аналитические платформы формата Lab-on-a-Chip.

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (грант № 23-19-00788).

Список литературы

1. Ou K., Wan H., Wang G. and others // *Nanomaterials*. 2023. Vol. 13. №7. P. 1235.
2. Palermo G., Rippl M., Conti Y. and others // *ACS Appl. Mater. Interfaces*. 2021. Vol. 13. №36. P. 43715–43725.