Дополнительные резонансы гигантского усиления рамановского рассеяния света в слоистых структурах с несколькими металлическими слоями

Гришина Я.В.¹, Кукушкин В.И.^{1,2}, Соловьев В.В.¹, Кукушкин И.В.¹

¹ ИФТТ РАН, 142432, Черноголовка, ул. Академика Осипяна, 2

² НИИВС им. Мечникова, 105064, Москва, Малый Казенный пер., 5А

DOI 10.34077/Semicond2019-403

Обнаружено, что в слоистых структурах с двумя металлическими слоями, разделенными слоем диэлектрика определенной толщины, помимо основного плазмон-поляритонного резонанса гигантского усиления рамановского рассеяния (SERS), находящегося в области 480 - 530 нм, имеется дополнительный SERS-резонанс, который сдвинут в сторону больших длин волн и имеет сравнимую амплитуду. Установлено, что положение этого дополнительного SERS-резонанса определяется толщиной диэлектрической прослойки, разделяющей металлические слои, что позволяет изменять спектральное положение дополнительного резонанса в довольно широких пределах. Показано, что обнаруженный SERS-резонанс связан с дополнительной плазмон-поляритонной модой, возникающей в структурах с несколькими металлическими слоями.

Поверхностные плазмон-поляритонные возбуждения в тонких металлических пленках приводят к сильной локализации электромагнитного поля вблизи поверхности такой пленки, что обеспечивает гигантское усиление оптического отклика. Для тонкой серебряной пленки толщиной 5-7 нм (гранулы серебра имеют характерный размер 30-40 нм при такой толщине пленки) резонансная плазменная частота гранул оказывается в диапазоне длин волн 450 нм - 550 нм, а максимум усиления оптического отклика на этих подложках отвечает длине волны лазера близкой к 500 нм. Вместе с тем, при фотовозбуждении органических молекул на длине волны 450 нм - 550 нм помимо усиленного рамановского сигнала в этой же области спектра возникает интенсивная люминесценция, препятствующая надежному измерению рамановского рассеяния.

Нашей задачей было найти такую реализацию структур, изготовленных на основе серебряных гранулированных пленок, в которых появляются дополнительные плазменные моды с резонансными частотами, заметно сдвинутыми в красную или инфракрасную область. Основная идея, использованная для решения поставленной задачи, заключается в том, что в отличие от одиночной металлической пленки, окруженной диэлектриком, где реализуется лишь одна плазмон-поляритонная мода, в многослойной структуре с множественными металлическими слоями появляются дополнительные поверхностные плазмон-поляритонные моды (рис. 1). Таким образом, добавляя к основному гранулированному серебряному слою дополнительные слои толстого серебра и, варьируя толщину диэлектриков, разделяющие металлические слои, можно управлять скоростью плазменных мод и тем самым получать резонансы в более красной области спектра.

Рис.1. Спектральные зависимости коэффициента гигантского усиления рамановского рассеяния, измеренные как для тестовой структуры, без дополнительного зеркала (а), так и для трех структур с дополнительным зеркалом, отдаленным от верхнего SERS-слоя на расстояние $d_{ins} = 30$ нм (b), $d_{ins} = 50$ нм (c) и $d_{ins} = 100$ нм (d).