

**ИССЛЕДОВАНИЕ SERS-СУБСТРАТА НА ОСНОВЕ САМОСОБИРАЮЩИХСЯ ПЛЕНОК ПЛАЗМОННЫХ НАНОЧАСТИЦ**

**Малеева К.А.** (Университет ИТМО)

**Научный руководитель – к.ф.-м.н. Богданов К.В.**

(Университет ИТМО)

В данной работе изучалось приготовление подложки SERS на основе самособирающейся пленки плазмонных наночастиц. Для этого исследуются несколько параметров синтеза самособирающейся пленки плазмонных наночастиц, таких как размер частиц, составляющих пленку, концентрация и тип самособирающего агента. Результаты исследований содержат оптимальные параметры синтеза самособирающейся пленки плазмонных наночастиц, при которых достигается наилучшее усиление SERS сигнала.

**Введение.** Поверхностно-усиленная спектроскопия комбинационного рассеяния (SERS) считается универсальным инструментом для изучения состава и структуры вещества. В настоящее время появляется множество статей, посвященных получению SERS-субстратов. Под хорошим SERS-субстратом понимается эффективный и воспроизводимо усиливающий субстрат, который может использоваться в потоковых исследованиях. Таким потенциальным SERS-субстратом могут выступать субстраты на основе самособирающихся пленок плазмонных наночастиц. Самособирающиеся пленки плазмонных наночастиц - это металлические пленки на границе раздела водного коллоида металлических частиц и раствора самособирающего агента в органическом растворителе. У них нет недостатков коллоидных SERS-субстратов – зависимости факторов усиления от времени и они имеют плотную упаковку частиц, которая может позволить воспроизводимо усиливать рамановский сигнал аналита по всей поверхности SERS-субстрата. Синтез подобных SERS-субстратов является простым, что может в будущем удешевить производство усиливающих субстратов для SERS исследований. SERS-субстраты на основе подобных пленок уже были получены, однако параметры синтеза исследователями подбирались самостоятельно и нет работ по выявлению оптимальных параметров синтеза. В настоящей работе будет проведено комплексное исследование большинства параметров синтеза SERS-субстратов на основе самособирающейся пленки плазмонных наночастиц.

**Основная часть.** Для исследования параметров синтеза были получены несколько коллоидов золотых наночастиц с разным размером и формой частиц. Это коллоиды со сферическими частицами размером 10, 20 и 40 нм. Один коллоид содержал пластинчатые частицы с примерными размерами частиц 60x40x20 нм. Для каждого коллоида были получены образцы самособирающихся пленок при варьировании концентрации самособирающих агентов от  $10^{-2}$  до  $10^{-7}$  моль/л. Самособирающимися агентами были бромид тетраоктиламмония (TOABr), нитрат тетрабутиламмония (TBAN), также был рассмотрен 1-додекантиол (DDT). Было приведено картирование образцов SERS-субстратов с нанесенным аналитом (йодид псевдоизоционина), карты получены с 81 точки поверхности субстрата. Нами были рассчитаны для каждого образца средняя интенсивность линии  $1364\text{ см}^{-1}$  в полученной карте (СИ). Данная величина пропорциональна фактору усиления. Также был рассчитан размах выборки (РВ) для каждой карты распределения интенсивности с учетом выбросов (10%). Значение размаха интенсивности показывает воспроизводимость сигнала SERS в полученном субстрате. Зависимости СИ SERS сигнала от концентрации самособирающего агента имеют максимум, и концентрация, соответствующая максимуму СИ названа оптимальной концентрацией. Оптимальная концентрация для DDT 0,52 моль/л. Кроме того, что оптимальная концентрация DDT намного выше, чем TOABr и TBAN, качество получаемых SERS-субстратов с DDT в роли самособирающего агента было плохим, потому что образовавшиеся островки самособирающейся пленки увеличиваются в высоту,

но не увеличиваются в плоскости. От этого самособирающегося агента было решено отказаться при дальнейших исследованиях.

Оптимальная концентрация TOABr и TBAN для всех исследуемых размеров и форм золотых наночастиц равна  $10^{-5}$  моль/л. Наибольшее значение СИ было получено для образцов SERS-субстратов, которые синтезировались из сферических частиц 20 нм. Субстраты SERS должны воспроизводить усиливающие факторы на своей поверхности. Это важно для рутинных исследований SERS, поскольку место нанесения аналита на подложке SERS не должно влиять на эффективность усиления сигнала аналита. Минимальное значение РВ означает наилучшую воспроизводимость сигнала SERS на поверхности образцов самособирающейся пленки плазмонных наночастиц. Образец SERS-субстрата, приготовленный из частиц золота размером 20 нм и раствора TOABr, имеет минимальный РВ равный 28%. Для SERS-субстратов, для которых использовались TOABr и TBAN в качестве самособирающихся агентов, с максимальными значениями СИ и минимальными значениями РВ были проведены SEM и AFM исследования.

Пленка золотых частиц, при синтезе которой использовался TBAN, состояла из большого числа островков, которые состоят из нескольких слоев золотых частиц. Пленка золотых частиц, полученная при добавлении раствора TOABr, имеет загибы на краях пленки, и состоит из нескольких слоев и включает в себя агрегаты частиц, которые наблюдаются и при SEM исследовании коллоида.

**Выводы.** Проведено исследование параметров синтеза самособирающейся пленки плазмонных наночастиц. Исследовано влияние размера частиц золота, входящих в состав самособирающейся пленки плазмонных наночастиц. Образцы самособирающейся пленки плазмонных наночастиц с размером частиц золота 20 нм показали лучшее усиление. Изучены различные самособирающиеся агенты. TOABr оказался лучшим для синтеза SERS-субстратов. Концентрация, при которой синтезируются пленки с более высокой интенсивностью SERS сигнала, составляет  $10^{-5}$  моль/л.

Эта работа была поддержана Российским научным фондом (соглашение 20-72-00114).

Малеева К.А. (автор)

Богданов К.В. (научный руководитель)