

УДК 535.34

**ПОЛУЧЕНИЕ МЕТОДОМ ЗОЛЬ-ГЕЛЬ НАНОЧАСТИЦ Ag И Au С ПЛАЗМОННЫМИ СВОЙСТВАМИ ДЛЯ ПОВЕРХНОСТНО-УСИЛЕННОГО РАМАНОВСКОГО РАССЕЙНИЯ**

**Богданов П.А.** (Университет ИТМО), **Кремлева А.В.** (Университет ИТМО), **Романов А.Е.** (Университет ИТМО),

**Консультант – Сокура Л.А.** (Университет ИТМО)

**Научный руководитель – к. ф.-м. н. Виткин В.В.** (Университет ИТМО)

**Введение.** В настоящее время во многих отраслях науки, в медицине и криминалистике требуется возможность детектирования веществ по малому количеству. Одной из таких методик является поверхностно-усиленная рамановская спектроскопия (SERS). Суть данной методики заключается в нанесении анализируемого вещества на специальные подложки, принцип работы которых основан на локальном усилении электромагнитного поля вблизи наночастиц (НЧ) металлов, обладающих плазмонными свойствами [1].

Плазмонные свойства металлических НЧ зависят от множества факторов, таких как материал НЧ, их форма, размер и расстояние между ними и другие [2-4]. Исходя из этих зависимостей можно управлять спектральным положением пика поглощения таких НЧ. Например, увеличение размера НЧ смещает пик поглощения в длинноволновую часть спектра, интенсивность поглощения увеличивается с увеличением концентрации НЧ, ширина пика поглощения зависит от дисперсии размеров НЧ [5, 6].

Для получения НЧ металлов используются различные методы, например, метод осаждения из коллоидных растворов, метод обратной мицеллы, газофазный синтез и метод ионной имплантации [2, 4]. Данные методы являются дорогостоящими и сложными в реализации и часто не позволяют получать однородные массивы НЧ, в то время как золь-гель метод лишен этих недостатков.

**Основная часть.** Методом золь-гель изготовлены слои наночастиц серебра и золота. Для получения массивов НЧ с различными плазмонными свойствами проводилось варьирование концентрации растворов, режимов синтеза растворов, нанесения и последующей термообработки слоев.

Для получения НЧ серебра и золота растворы нитрата серебра и золотохлористоводородной кислоты, соответственно, наносились на подложку из кварцевого стекла методом двухэтапного центрифугирования капли раствора в 5 слоев с промежуточной сушкой. После нанесения НЧ был проведен отжиг образцов. Для получения смешанных массивов НЧ Ag-Au проводилось последовательное нанесение растворов НЧ серебра и золота на кварцевые подложки с буферным слоем ZnO. На часть подложек перед нанесением НЧ наносился буферный слой оксида цинка (ZnO) аналогичным методом.

Спектры поглощения полученных образцов содержали пики поглощения в диапазоне 500–600 нм, соответствующие плазмонному резонансу в НЧ серебра и золота. Использование буферного слоя оксида цинка, также как и увеличение концентрации металлических прекурсоров вдвое привели к усилению пика поглощения НЧ в два раза.

При сравнении спектров поглощения до и после отжига выявлено, что для НЧ золота с и без буферного слоя оксида цинка такой отжиг не вносит значительных изменений, в то время как для биметаллических НЧ характерно уменьшение и уширение пика поглощения НЧ.

Исследование методом растровой электронной микроскопии показало, что НЧ Au имеют размеры от 50 до 110 нм. НЧ Ag более крупные и достигают размеров 200-400 нм. НЧ располагаются равномерно по поверхности подложки, поверхностная плотность НЧ составила  $5,7 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$  в образце с НЧ Ag и Au и  $33 \cdot 10^{12} \text{ см}^{-2}$  в образце только с НЧ Au. Вероятно, крупные НЧ Ag агломерируют на себе несколько более мелких НЧ Au.

**Выводы.** Методом золь-гель изготовлены однородные массивы наночастиц серебра и золота. Для получения НЧ с различными плазмонными свойствами проводилось варьирование концентрации растворов, режимов синтеза и нанесения растворов. Полученные образцы в спектре поглощения содержали пик в видимой области спектра, соответствующий плазмонному резонансу НЧ Ag и Au. Обнаружено, что длина волны пика плазмонного поглощения НЧ находится в зависимости от условий получения, следовательно, при получении подложек их характеристиками можно управлять. Использование слоев ZnO для осаждения НЧ приводит к увеличению интенсивности поглощения НЧ по сравнению с образцами без матрицы ZnO. Процесс отжига приводит к постепенному уменьшению и уширению пика поглощения биметаллических НЧ. Однако при получении Au НЧ отжиг не влияет на спектр поглощения НЧ.

Работа выполнена в рамках исследовательской программы научной школы «Теория и практика перспективных материалов и устройств оптоэлектроники и электроники» (науч. школа 5082.2022.4).

#### **Список использованных источников:**

1. L. A. Lane, X. Qian, Sh. Nie, Chem. Rev. 2015, 115, 19, 10489–10529 [2] A. S. Indrasekara, S. Meyers, S. Shubeita, L. C. Feldman, T. Gustafsson, L. Fabris, Nanoscale, 2014, 6, 8891-8899
2. Климов, В. В. Наноплазмоника / В. В. Климов. — 2-е изд., испр. — Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 480 с. — ISBN 978-5-9221-1205-5. —
3. Гузатов, Д. В. Использование плазмонного усиления люминесценции для улучшения характеристик светодиодных систем / Д. В. Гузатов, С. В. Гапоненко // Докл. НАН Беларуси. — 2016. — Т. 60, № 6. — С. 37–42.
4. Шамилов, Р.Р & Нуждин, В.И & Валеев, В.Ф & Галяметдинов, Ю.Г & Stepanov, Andrey. (2016). Усиление фотoluminesценции квантовых точек CdSe/CdS на кварцевых подложках с наночастицами серебра. Журнал технической физики. 86. 95. 10.21883/jtf.2016.11.43821.1330.
5. Расмагин С. И., Апресян Л. А. Анализ оптических свойств наночастиц серебра //Оптика и спектроскопия. — 2020. — Т. 128. — №. 3. — С. 339-342
6. Шевцова В. И., Гайдук П. И. Положение полосы поверхностного плазмонного резонанса в коллоидных растворах наночастиц серебра и золота. — 2012.