

Эти результаты могут быть использованы для применения структур нанопластин в задачах сенсорики, оптических антенн и нанофотоники.

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP19680241).

Литература

1. Maier, S. A. (2007). Plasmonics: Fundamentals and Applications. Springer.
2. Qiao, Zhun, Xinyu Wei, Hongpo Liu, Kai Liu, and Chuanbo Gao. 2023. "Seed-Mediated Synthesis of Thin Gold Nanoplates with Tunable Edge Lengths and Optical Properties" *Nanomaterials* 13, no. 4: 711. <https://doi.org/10.3390/nano13040711>
3. Weiler, M., Quint, S. B., Klenk, S., & Pacholski, C. (2014). Bottom-up fabrication of nanohole arrays loaded with gold nanoparticles: extraordinary plasmonic sensors. *Chem. Commun.*, 50(97), 15419–15422. doi:10.1039/c4cc05208k
4. Taflove, A., Hagness, S. C. (2005). Computational Electrodynamics: The Finite-Difference Time-Domain Method. Artech House.
5. P.B. Johnson, R.W. Christy, Optical constants of the noble metals. *Phys. Rev.* 6 (1972) 4370–4379.

СИНТЕЗ ОСТРОВКОВЫХ ПЛЕНОК СЕРЕБРА И ИХ ЭФФЕКТЫ НА ФЛУОРЕСЦЕНЦИЮ АНТРАЦЕНА

Юсупова Ж.Б.¹, Ибраев Н.Х.²

¹Докторант 2-го курса, Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, г.Караганда, Казахстан, yusupova_zh@mail.ru

²Профессор, Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

В статье рассматривается процесс синтеза островковых пленок серебра, с особым акцентом на роль pH раствора как важного параметра в процессе синтеза. Приведены результаты анализа распределения частиц по периметру, полученные с помощью программы ImageJ. Также исследуется влияние полученных серебряных пленок на люминес-

центные характеристики антрацена, что позволяет оценить их потенциальное применение в области фотоники и сенсорных технологий.

Ключевые слова: островковые пленки серебра, антрацен, pH, ImageJ, синтез наночастиц серебра.

На сегодняшний день исследования по улучшению люминесцентных характеристик люминофоров с использованием плазмонного эффекта демонстрируют успешные результаты, и эта область продолжает активно развиваться. Плазмонный резонанс можно рассматривать как взаимодействие между колебаниями электронов люминофора и резонансными колебаниями электронов в металлических наночастицах (в случае локализованного плазмонного резонанса). Это взаимодействие приводит к увеличению интенсивности люминесценции.

Целью исследования является установление оптимальных условий синтеза для получения серебряных островковых пленок с нужными характеристиками для использования в различных областях фотоники.

Локализованные поверхностные плазмонные резонансы металлических наноструктур могут улавливать и удерживать свет вблизи поверхности металла посредством фотонно-электронных взаимодействий [1]. В то же время генерируемое и усиливаемое локальное электрическое поле позволяет использовать его в различных областях применения, включая оптическую спектроскопию ближнего поля [2], сверхчувствительную биочувствительность, фототермическую терапию, и плазмонно-индуцированные химические реакции.

Для исследования влияния наночастиц серебра на люминесцентные характеристики был выбран антрацен, который обладает высокой интенсивностью флуоресценции и стабильностью. Антрацен широко используется в фотонике благодаря его уникальным свойствам [3] таким как выраженный спектр поглощения и флуоресценции, что делает его идеальным кандидатом для изучения взаимодействия с наночастицами серебра.

Эта работа предлагает результаты детального исследования синтеза наночастиц серебра в приготовлении островковых пленок серебра с диаметром 50-150 нм. В работе представлены этапы синтеза и важные детали, на которые важно обратить внимание.

Синтез сделан на основе метода предложенном [4].

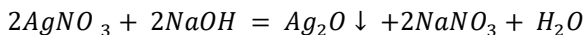
Островковые плёнки серебра готовились методом химического синтеза. Синтез состоит из нескольких этапов:

- отделения частиц серебра от AgNO_3 ;
- растворения частиц;
- восстановления частиц серебра.

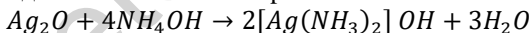
При правильном выполнении синтеза, предполагается, что можно управлять процессом синтеза. Важными факторами оказались, pH воды и количество восстановителя.

Описание процесса синтеза

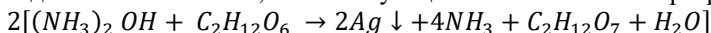
В раствор нитрата серебра (AgNO_3) добавляется 5% гидроксид натрия, в результате чего образуется коричневый осадок – оксид серебра Ag_2O .



Затем в этот раствор добавляется гидроксид аммония (NH_4OH), в котором растворяются осадки серебра, образуя аммиачный комплекс. В синтезе использовался 25% гидроксид аммония. В ранних исследованиях обнаружена зависимость размера НЧ серебра от концентрации аммиака и pH среды в процессе восстановления [5]. При добавлении гидроксида аммония в раствор нитрата серебра pH раствора сначала равнялся 10, что указывает на щелочную среду, характерную для аммиачного раствора. Однако с течением времени pH постепенно снижался до 8 и продолжал уменьшаться, что свидетельствует о высвобождении ионов аммония (NH_4^+) и их реакции с водой. Это может указывать на ослабление буферной способности раствора, что влияет на стабилизацию pH в ходе синтеза. Снижение pH ускоряет синтез наночастиц серебра и способствует образованию качественных серебряных пленок. Возможная причина ускорения реакции заключается в оптимальных условиях аммиачного комплекса серебра и более эффективном восстановлении серебра при pH 8 [5]. Кроме того, постоянное механическое перемешивание на магнитной мешалке могло усилить контакт компонентов и ускорить химические реакции, что также могло повлиять на дальнейшее снижение pH.



Раствор, остающийся прозрачным после растворения, помещается в ванну для охлаждения до температуры -5°C . Это необходимо для того, чтобы синтез наночастиц серебра происходил медленно, до тех пор, пока температура не повысится до 30°C . В таких условиях восстановление наночастиц серебра будет происходить медленно и относительно равномерно. После достижения низкой температуры в раствор погружаются подложки, а также добавляется глюкоза, способствующая восстановлению серебра.



После добавления глюкозы уровень pH оставался 8, что является очень хорошим условием для синтеза. После этого раствор нагревали до 30°C . При достижении температуры $14-16^\circ\text{C}$ раствор начинает менять цвет в золотисто желтый. При достижении $18-19^\circ\text{C}$ раствор окрашивается в темно зеленый цвет. На этом этапе получают пленки с оптической плотностью 0,3-0,5. Если нагревать до $21-25^\circ\text{C}$, то пленка успевает уплотняться, и

оптическая плотность достигает 0,4-0,8. После завершения синтеза, дальнейшие шаги были выполнены в соответствии с методикой, описанной в литературе [4]. В данном исследовании были уточнены ключевые этапы синтеза, в частности, условия для восстановления наночастиц серебра. Отжиг проводился при температуре 200 °С в течение 90 минут.

На рисунке 1 представлены изображение серебряных наночастиц, спектр поглощения и гистограмма распределения частиц по периметру. СЭМ-изображение было получено с помощью сканирующего электронного микроскопа Helios 5 CX.

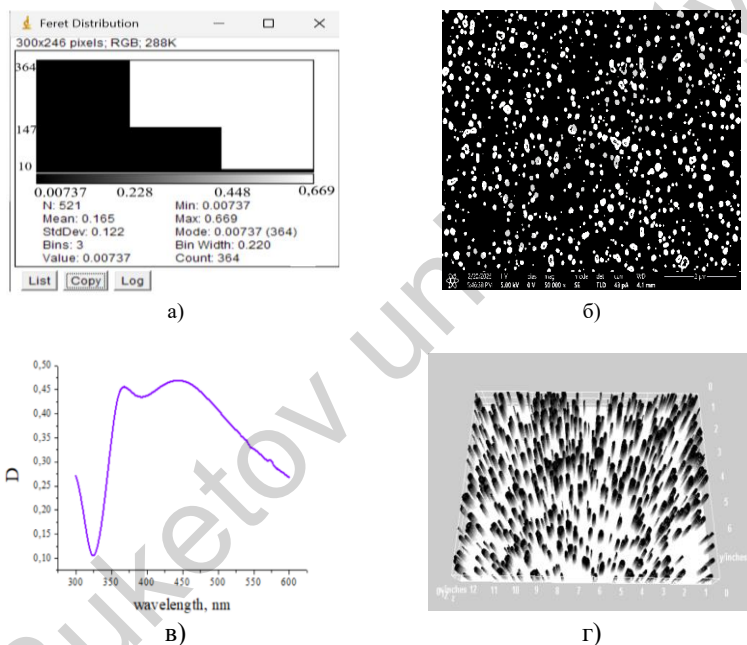


Рисунок 1. Гистограмма (а), СЭМ-изображение (б), спектр поглощения (в), 3D изображение частиц (г)

Для определения размеров частиц в изображении было использовано программное обеспечение ImageJ, которое анализировало изображения, полученные с помощью сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). Программа предоставила данные о распределении частиц по величинам Feret, при этом размеры частиц варьировались в пределах от 36 до 179 нм, что указывает на возможную неоднородность островковой пленки серебра.

Однако важно отметить, что хотя ImageJ эффективно анализирует изображение, полученное с помощью СЭМ, результаты могут зависеть от размера и ориентации частиц, что влияет на их видимость и точность измерений. Поэтому использование СЭМ для получения изображений остается основным методом для детального наблюдения и анализа структуры частиц.

В процессе анализа 500 частиц, найденных на изображении размером $16 \times 11,40$ мкм, были получены следующие результаты: для каждой частицы был измерен диаметр Feret (наибольшее расстояние между двумя точками на внешней границе частицы). Минимальное значение Feret составило 0,00737 мкм, максимальное — 0,669 мкм, что указывает на широкий диапазон размеров частиц. Средний диаметр частиц составил 0,165 мкм, стандартное отклонение — 0,122 мкм, что свидетельствует о значительном разнообразии размеров частиц. Модальное значение для частиц составило 0,00737 мкм (наиболее часто встречающееся значение).

Гистограмма распределения частиц показала, что 364 частицы имеют размер, соответствующий бину 0,00737 мкм (самое частое значение), 147 частиц — бину 0,228 мкм, 10 частиц — бину 0,448 мкм, и менее 10 частиц — размера около 0,669 мкм. Размер бина в гистограмме составил 0,220 мкм, что определяет разрешение гистограммы и позволяет оценить распространение размеров частиц.

Влияние островковых пленок серебра на интенсивность флуоресценции антрацена было изучено в ходе эксперимента. Результаты показали, что присутствие наночастиц серебра привело к увеличению интенсивности флуоресценции антрацена в 2,4 раза, что указывает на усиление эффекта флуоресценции благодаря плазмонному резонансу. В то же время, интенсивность поглощения антрацена практически не изменилась, что свидетельствует о том, что эффект усиления флуоресценции не связан с изменением общей способности молекул антрацена поглощать свет.

В ходе исследования были синтезированы островковые пленки серебра, и проведен анализ их влияния на люминесцентные характеристики антрацена. Использование программы ImageJ для анализа СЭМ-изображений позволило получить данные о распределении частиц по размеру, которые варьировались от 36 до 179 нм, что указывает на неоднородность структуры пленки.

Результаты эксперимента показали, что присутствие серебряных наночастиц в пленке приводит к усилению флуоресценции антрацена в 2,4 раза, что подтверждает важность плазмонного резонанса для повышения оптических характеристик. Эти данные открывают новые возможности для использования островковых пленок серебра в фотонике и сенсорных

технологиях, где усиление люминесценции может быть ключевым фактором.

Также важно отметить, что несмотря на неоднородность структуры пленок, получаемых методом химического синтеза, ориентироваться на единую оптимальную оптическую плотность, равную 0,4, является более надежным подходом для достижения необходимых характеристик. В дальнейшем продолжение исследования в этом направлении позволит более точно контролировать и оптимизировать процессы синтеза для улучшения функциональных свойств материалов.

Список литературы

1. Gellé, A. et al. Applications of plasmon-enhanced nanocatalysis to organic transformations// Chem. Rev. 120, 986–1041 (2020).
2. Guo, L. et al. Strategies for enhancing the sensitivity of plasmonic nanosensors// Nano Today 10, 213–239 (2015).
3. P. J. F. Harris, et al. "Anthracene-based materials for organic solar cells and sensor applications"// Journal of Materials Chemistry C, 2019. [DOI: 10.1039/c9tc02499a]
4. Kadir Aslan, Zoya Leonenko, Joseph R. Lakowicz and Chris D. Geddes. Annealed silver-island films for applications in metal-enhanced fluorescence: interpretation in terms of radiating plasmons// Journal of Fluorescence, 15 (5), 2005 DOI: 10.1007/s10895-005-2970-z
5. Ю. А. Крутяков, А.А. Кудринский, А.Ю. Оленин, Г.В. Личискин. Синтез и свойства наночастиц серебра: достижения и перспективы//Успехи химии 77 (3), 2008

LaFeO₃ ПЕРОВСКИТИНІНҢ ФОТОКАТАЛИТИКАЛЫҚ ҚАСИЕТІН МЕТИЛЕН КӨК БОЯҒЫШЫНЫҢ ҮДІРАУЫ АРҚЫЛЫ ЗЕРТТЕУ

Б.М. Сәулебек¹, Ф.Р. Амет¹, П.А. Жанбирбаева², Т.М. Сериков³

¹Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, студент,
Қарағанды қ., Қазақстан

²Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, докторант,
Қарағанды қ., Қазақстан

³Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, PhD, қауымд.
профессор, Қарағанды қ., Қазақстан

LaFeO₃ перовскиті гидротермалды әдіспен синтезделіп, әртүрлі уақытта термиялық өңдеуге ұшырады (2, 4 және 6 сағат). Перовскиттің фотокаталитикалық белсенділігін анықтау үшін фотодеградация процесі жүргізілді. Органикалық ластаушы ретінде