

2. Baek S., Sung H.J. Numerical simulation of the flow behind a rotary oscillating circular cylinder // Phys. Fluids. – 1998. – Vol.10, №4. – P. 869 – 893.

3. Белов И. А., Исаев С. А. Моделирование турбулентных течений: учебное пособие. – С–Пб.: Балтийский гос. ун–т, 2001. – 34 с.

4. Батурич О.В. Построение расчетных моделей в препроцессоре Гамбит универсального программного комплекса Флуент: учебное пособие. – Самара: Изд–во Самар. гос. аэрокосм. университета, 2009. – 172 с.

5. Jansuya Ph., Kumsuwan Y. Design of MATLAB/Simulink Modeling of Fixed-pitch Angle Wind Turbine Simulator // Energy Procedia. – 2013. – V. 34. - P.362-370.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ СВОЙСТВ ЗОЛОТЫХ НАНОПЛАСТИН С ОТВЕРСТИЯМИ РАЗЛИЧНОГО ДИАМЕТРА

Шарапов И.А., Селиверстова Е.В., Омарова Г.С.

Карагандинский университет имени академика Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан, ivan.sharapov.2001@mail.ru

Проведено теоретическое исследование влияния диаметра отверстий в нанопластинах Au на их оптоэлектронные свойства. Исследование проведено при помощи численного моделирования методом конечных разностей во временной области (FDTD), которое позволило проанализировать спектры пропускания и распределение локального электрического поля. Показано, что увеличение диаметра отверстий в нанопластинах приводит к усилению локализованных плазмонных мод, что может быть использовано в разработке сенсоров и нанофотонных устройств.

Ключевые слова: нанопластины золота, локализованный плазмонный резонанс, FDTD, оптические свойства, распределение напряженности поля.

Исследование оптических свойств металлических наноструктур представляет собой одно из наиболее перспективных направлений современной нанофотоники и плазмоники. Известно, что свойства локализованного плазмонного резонанса (ЛПР) металлических наночастиц (НЧ) определяются их материалом, формой и размером [1]. Поэтому сейчас активно ведутся исследования в области дизайна и синтеза плаз-

монных НЧ с перестраиваемыми полосами ЛПР в видимой и ИК-области спектра. Одними из таких объектов являются золотые нанопластины. В частности, нанопластины золота с отверстиями различного диаметра демонстрируют полосы поглощения в ближней ИК области спектра, что совпадает по положению с терапевтическим окном для их использования в фототермической терапии онкологических новообразований [2], а также для применения в сенсорике и SERS спектроскопии, биомедицине и нанофотонике [3].

В настоящей работе проведено исследование оптических и оптоэлектронных свойств золотых нанопластин с отверстиями различного диаметра.

Для моделирования свойств нанопластин Au был использован метод FDTD (метод finite-difference time-domain), реализованный в программном пакете Ansys Lumerical. Метод FDTD является одним из наиболее точных численных методов моделирования распространения электромагнитных волн в наноструктурах [4]. Он позволяет учитывать сложную геометрию объектов и граничные условия, обеспечивая детальное описание процессов усиления локальных полей и плазмонных резонансов вблизи наноструктур.

Расчетная область для метода FDTD задавалась декартовой системой координат, с граничными условиями PML. Для выполнения расчетов с наибольшей точностью была задана сетка с максимальным индексом, равным 8 нм, и шагом равным 0,5 нм, методом уточнения сетки выступил conformal0. Для расчета были установлены следующие параметры: 1000 фс и 300 К. Внутри области моделирования помещались нанопластины Au размером 100x100x10 нм с отверстиями различного диаметра (0, 15, 30, 45, 60, 75 нм). Внешний вид заданной структуры представлен на рисунке 1.

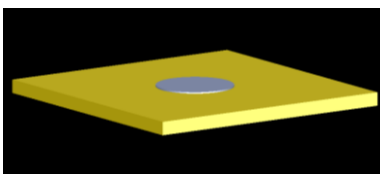
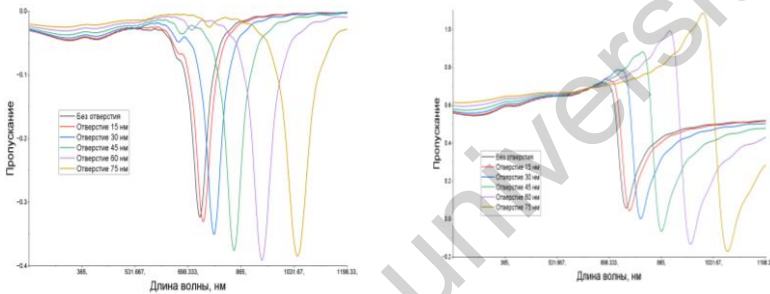


Рис. 1 – Изображение заданной структуры нанопластины золота с отверстием

Данные для моделирования оптических характеристик Au задавались на результатах, опубликованных в работе [5], расчет проводили для нанопластин, помещенных в вакуум. В качестве источника излуче-

ния устанавливался источник TF-SF, представляющий собой р-поляризованную плоскую волну. Излучение направлялось как в плоскости нахождения пластины, так и поперек нее, в интервале длин волн от 300 до 1200 нм.

Моделирование позволило получить спектры пропускания для рассматриваемых структур, представленных на рисунке 2. Из данных спектров видно, что максимум спектра пропускания рассматриваемых нанопластин без отверстия при их продольном возбуждении приходится на ~ 710 нм. В присутствии отверстий максимум спектра пропускания смещается на 10 нм. С ростом диаметра отверстия спектр поглощения испытывает батохромное смещение.



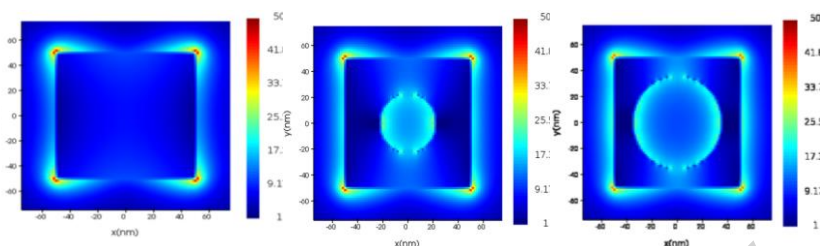
Продольное возбуждение

Поперечное возбуждение

Рис. 2 – Рассчитанные спектры пропускание для нанопластин с отверстием различного размера

Расчет распределения электрических полей вблизи нанопластины без отверстия и с отверстиями в 45 и 75 нм, возникающих при их облучении длиной волны около максимума поглощения, представлены на рисунках 3 и 4.

При этом значение величин суммарных поле равняются для поперечного облучения без отверстия равно $6,90 \times 10^4$ В/м, с отверстием 45 нм $7,73 \times 10^4$ В/м, и с отверстием 75 нм $8,25 \times 10^4$ В/м, а для продольного облучения Без отверстия $6,37 \times 10^4$ В/м, отверстие 45 нм $7,52 \times 10^4$ В/м, отверстие 75 нм $8,06 \times 10^4$ В/м. Можно сказать, что наличие отверстий в нанопластине приводит к усилению поля E. Причем увеличение диаметра отверстия способствует еще большему усилению.

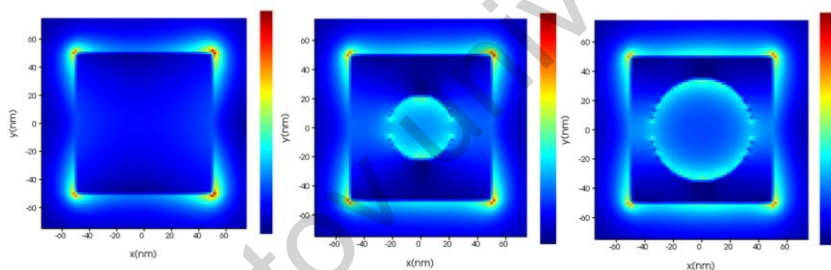


Диаметр отверстия
0 нм

Диаметр отверстия
45 нм

Диаметр отверстия
75 нм

Рис. 3 – 2D картины распределения поля вблизи поверхности нанопластин с отверстиями различного диаметра для случая поперечного распространения возбуждающего излучения



Диаметр отверстия
0 нм

Диаметр отверстия
45 нм

Диаметр отверстия
75 нм

Рис. 4 – 2D картины распределения поля вблизи поверхности нанопластин с отверстиями различного диаметра для случая продольного распространения возбуждающего излучения

Наблюдаемые эффекты могут быть связаны с локальным перераспределением заряженных частиц и усилением плазмонных резонансов вблизи краев отверстий. Большое увеличение значений E при продольном распространении возбуждающего излучения (по сравнению с поперечным) может указывать на анизотропный характер плазмонных колебаний, что требует дополнительного анализа в дальнейших исследованиях.

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-