

УДК 535.343

Исследование оптических свойств золотых нанополумесяцев при понижении их симметрии

Лобанова Екатерина Михайловна^{1,2(*)}

katerina.m.lobanova@gmail.com

Рыжикова Арина Евгеньевна²

arina_ryzhikova@mail.ru

Боченков Владимир Евгеньевич²

vboch@yandex.ru

Шабатина Татьяна Игоревна^{1,2}

tatyashabatina@yandex.ru

¹ МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. В работе исследовано влияние геометрической асимметрии на оптические свойства золотых нанополумесяцев с использованием численного моделирования. Показано, что нарушение симметрии структуры приводит к существенным изменениям плазмонного отклика: сдвигу резонансных мод в длинноволновую область спектра и появлению дополнительных мод возбуждения. Полученные результаты углубляют понимание взаимосвязи между геометрией наночастиц и их оптическими свойствами, что важно как для фундаментальных исследований, так и для прикладных применений.

Ключевые слова: металлические наночастицы, плазмоника, оптические свойства наноматериалов, плазмонный резонанс, коллоидная литография

Investigation of the optical properties of gold nanomonths with decreasing symmetry

Lobanova Ekaterina Mikhailovna^{1,2(*)}

katerina.m.lobanova@gmail.com

Ryzhikova Arina Evgenievna²

arina_ryzhikova@mail.ru

Bochenkov, Vladimir Evgenievich²

vboch@yandex.ru

Shabatina Tatiana Igorevna^{1,2}

tatyashabatina@yandex.ru

¹ Lomonosov MSU, Moscow, Russia² BMSTU, Moscow, Russia

Abstract. The effect of geometric asymmetry on the optical properties of gold nanomonths is investigated using numerical modeling. It is shown that a violation of the symmetry of the structure leads to significant changes in the plasmon response: a shift of resonant modes to the long-wavelength region of the spectrum and the appearance of additional excitation modes. The results obtained deepen the understanding of the relationship between the geometry of nanoparticles and their optical properties, which is important for both basic research and applied applications.

Keywords: metal nanoparticles, plasmonics, optical properties of nanomaterials, plasmon resonance, colloidal lithography

Введение. Уникальные оптические свойства металлических наночастиц, обусловленные локализованным поверхностным плазмонным резонансом (ЛППР), зависят от морфологии частиц (размера, формы, материала), а также от диэлектрической проницаемости окружающей среды [1]. Одним из наиболее интересных примеров таких структур являются наночастицы в форме полумесяца (нанополумесяцы), поскольку их форма способствует локализации электромагнитного поля вблизи острых краев [2]. Несмотря на значительное количество работ, посвященных плазмонным наноструктурам, не проводилось систематического исследования спектральных характеристик нанополумесяцев при нарушении их симметрии. Комплексное изучение их оптических свойств может стать основой для новых технологий в нанофотонике и плазмонных устройствах.

Методы и материалы; результаты. В данной работе было проведено численное моделирование оптических свойств симметричного и асимметричного нанополумесяца из золота. Выбор геометрических параметров частиц для моделирования обусловлен формой экспериментальных частиц, получаемых в ходе модифицированного метода коллоидной литографии [3]. Расчет спектров экстинкции (рис. 1) и карт распределения электрических полей (рис. 2) проводился методом конечных разностей во временной области в программном пакете Ansys Lumerical FDTD.

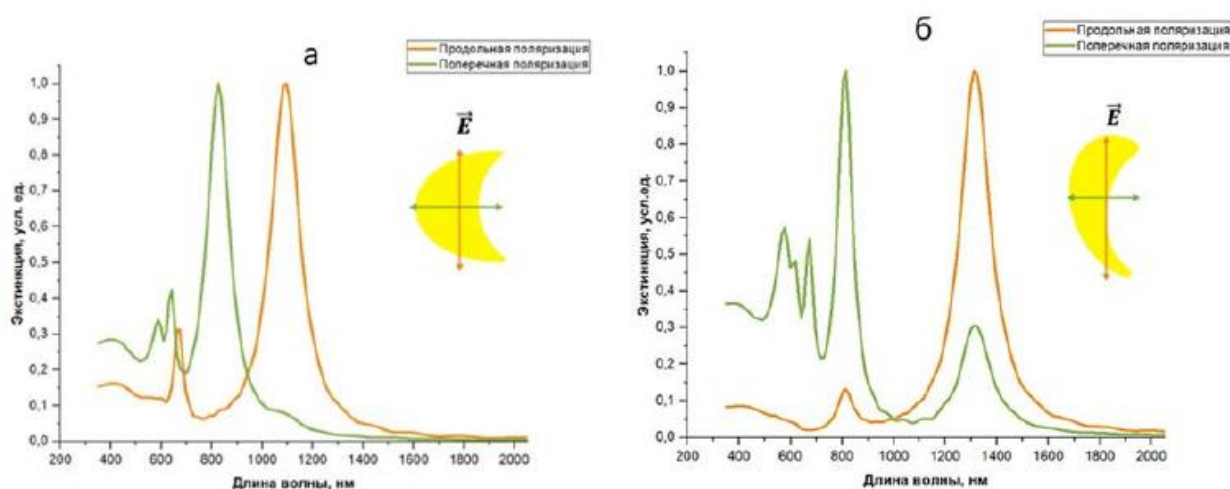


Рис. 1. Спектры экстинкции золотого нанополумесяца:
а — симметричной формы; б — асимметричной формы

Обсуждение. Спектры экстинкции нанополумесяцев (рис. 1) проявляют выраженные резонансные пики в видимой и ближней ИК-областях. При сравнении спектральных характеристик двух различных конфигураций в неполяризованном свете выявлено, что нарушение симметрии нанополумесяца приводит к сдвигу продольной дипольной моды в длинноволновую область, а также незначительному сдвигу полосы поперечной дипольной моды в коротковолновую область и возбуждению плазмонных мод более высокого порядка. При моделировании свойств ассиметричной структуры численный

анализ распределения электрического поля дипольной моды (рис. 2) выявляет максимальное усиление $|E|/|E_0| = 82$ и $|E|/|E_0| = 26$ (для продольной и поперечной поляризации соответственно) при резонансных длинах волн 1350 нм и 1360 нм (рис. 2, а, б), в то время как для симметричной частицы аналогичное усиление соответствует значениям $|E|/|E_0| = 100$ и $|E|/|E_0| = 81,5$ при резонансных длинах волн 1149 нм и 869 нм (рис. 2 в, г), что превышает показатели асимметричной конфигурации. При этом наибольшее усиление напряженности электрического поля асимметричной структуры концентрируется вблизи тонкого заостренного конца, а для симметричной распределено на концах структуры равномерно.

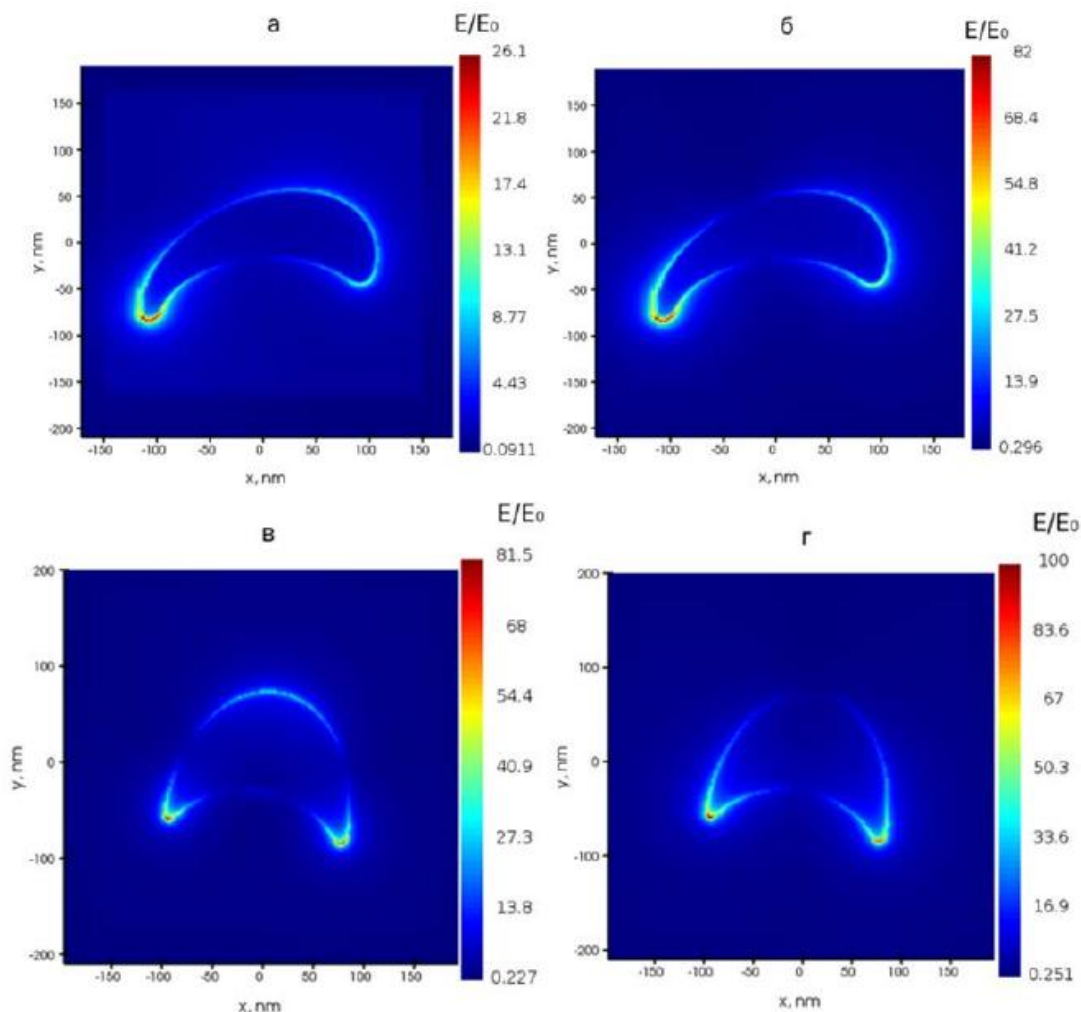


Рис. 2. Карты распределения электрического поля асимметричного и симметричного нанополумесяца для дипольной моды
при а, в — продольной поляризации; б, г — поперечной поляризации

Закключение. С помощью численного моделирования выявлены изменения в спектре экстинкции нанополумесяцев при понижении симметрии: наблюдается сдвиг дипольной моды полосы ЛППР в длинноволновую область и увеличение количества возбуждаемых мод. Также установлено, что в симметричных нанополумесяцах наблюдается на 18 % большее усиление напряженности электрического поля, что создает области экстремального

усиления — «горячие точки», где концентрация заряда приводит к значительному усилению ближнепольных взаимодействий, что важно для ряда практических приложений. Выявленные закономерности углубляют понимание связи геометрии наночастиц с их оптическими свойствами и перспективны для создания функциональных нанофотонных устройств с заданными характеристиками.

Список источников

- [1] Jain P.K. et al. Noble metals on the nanoscale: Optical and photothermal properties and some applications in imaging, sensing, biology, and medicine. *Acc. Chem. Res.*, 2008, vol. 41, no. 12, pp. 1578–1586. <https://doi.org/10.1021/ar7002804>
- [2] Bochenkov V.E., Sutherland D.S. From rings to crescents: a novel fabrication technique uncovers the transition details. *Nano letters.*, 2013, vol. 13, no. 3, pp. 1216–1220. <https://doi.org/10.1021/nl304675w>
- [3] Шевчук С.Л., Татаринцев А.А., Лобанова Е.М., Боченков В.Е. Формирование массивов плазмонных серебряных наномесцев с помощью коллоидной литографии и ионно-лучевого распыления. *Труды ФТИАН: сб. тр.* Москва, Наука, 2023, т. 31, с. 93–99.