

Тема

Численное моделирование системы, состоящей из гиперболических метаматериалов (ГММ) двух типов.

Аннотация

В данной работе проведено численное моделирование распространения излучения от точечного источника в системе визуализации, состоящей из гиперболических метаматериалов двух различных типов: слоистой и стержневой структур. Получено изображение источника размером ~80 нм при длине волны 670 нм.

Состав коллектива

В рамках дипломной работы по совместной образовательной программе НГУ-Сколтех. Бронников Кирилл Алексеевич, физический факультет, кафедра квантовой оптики, 2 курс магистратуры, гр. 16364м.

Научные руководители: НГУ — к.ф.-м.н. Достовалов Александр Владимирович, Сколтех — к.ф.-м.н., профессор Драчёв Владимир Прокопьевич.

Описание работы

Необходимо было получить пространственное распределение поля излучения источника видимого света в системе, состоящей из двух граничащих ГММ при различных параметрах моделируемых структур. Оптимизировать набор параметров для получения максимального разрешения и пропускания системы. На данный момент известны результаты расчетов и показана практическая реализуемость отдельных типов ГММ для видимого спектра: в виде чередующихся параллельных слоев металл-диэлектрик [1] и в виде металлических стержней внутри матрицы диэлектрика [2]. Продемонстрированы различные эффекты, такие как, отрицательное преломление и распространение света в объеме в виде плазмона-поляритона [3]. Новизна состоит в комбинации двух типов ГММ для субдифракционного фокусирования, что имеет перспективы в световой микроскопии и нано-литографии.

Необходимость использования ИВЦ заключается в том, что для корректного моделирования необходим расчет в 3D с размером конечных элементов в ~10 раз меньше длины волны, что многократно увеличивает требуемые ресурсы. Для моделирования было использовано ПО COMSOL Multiphysics, как удобный и полноценный инструмент для расчетов.

Полученные результаты

Было осуществлено моделирование распространения излучения от точечного электрического диполя в системе, состоящей из двух типов ГММ. В верхней части системы находилась структура из чередующихся слоев Ag и SiO₂ (размер элементарной ячейки — 10 нм), а в нижней — структура, представляющая собой массив параллельных вертикальных стержней Ag в матрице Al₂O₃ (диаметр стержней — 10 нм). Источник располагался на поверхности верхнего слоя (Рис. 1 а). В результате серии проведенных расчетов были найдены оптимальные геометрические параметры структур (коэффициенты заполнения металлом) и получены распределения интенсивности поля в данной системе (Рис. 1 б, в, г). Показано, что возможно достичь размера изображения источника порядка 80 нм при пропускании около 13% на длине волны 670 нм. Данные результаты включены в текст магистерской диссертации.

Благодаря использованию ресурсов ИВЦ НГУ стало возможным корректно промоделировать распространение света в данной системе со структурными элементами на порядок меньшими, чем длина волны, с приемлемым разрешением.

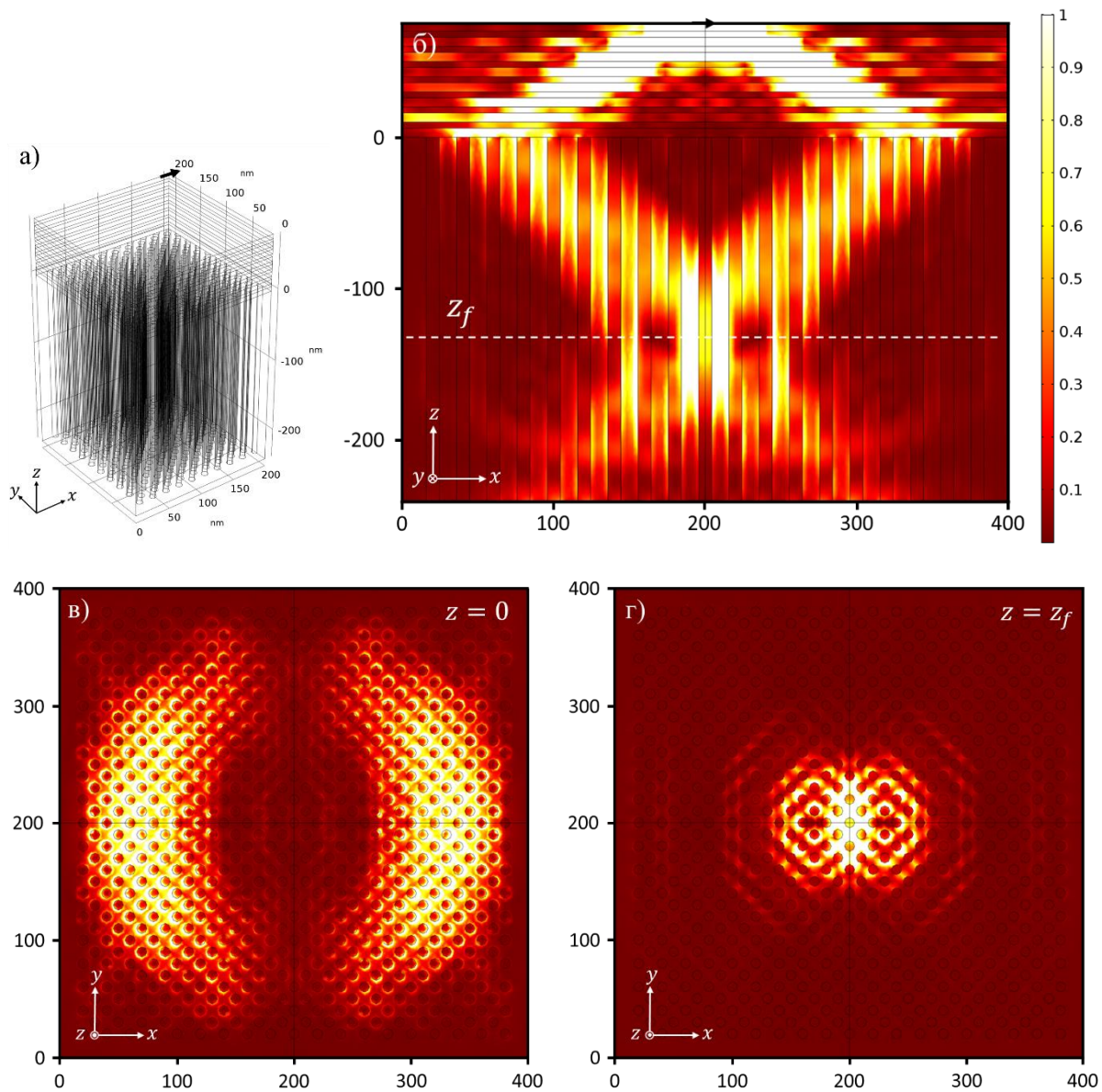


Рис. 1. а) Геометрия моделируемой системы, черной стрелкой показан дипольный источник; б), в), г) — пространственные распределения величины $|\langle \mathbf{S} \rangle|$ (модуль усредненного по времени вектора Пойнтинга): б) сечение в плоскости XZ при $y = 200$ нм; в) сечение в плоскости XY при $z = 0$; г) сечение в плоскости XY при $z = z_f$. Цветовая шкала — для всех рисунков.

- [1] Ishii, S., Kildishev, A. V., Narimanov, E., Shalaev, V. M. and Drachev, V. P. (2013), Sub-wavelength interference pattern from volume plasmon polaritons in a hyperbolic medium. *Laser & Photonics Reviews*, 7: 265–271.
- [2] Jie Yao et al. (2008), Optical Negative Refraction in Bulk Metamaterials of Nanowires. *Science*, Vol. 321, Issue 5891, pp. 930.
- [3] Alexander Poddubny, Ivan Iorsh, Pavel Belov & Yuri Kivshar (2013), Hyperbolic metamaterials. *Nature Photonics* 7, 948–957.