

УДК 535.21

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЛАЗМОННОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ НАНОСТРУКТУРЫ ЗОЛОТА ТИПА ПАРАБОЛИЧЕСКОЙ НАНОАНТЕННЫ

Н. И. Буслеев, С. И. Кудряшов, А. А. Ионин

Были рассмотрены экспериментально полученные наноструктуры в виде сквозного отверстия с частицей в центре. С помощью методов численного моделирования были изучены их электродинамические параметры. Было показано, что такие структуры действуют подобно параболическим антеннам.

Ключевые слова: наноструктурирование тонких пленок, параболические наноантенны, численное моделирование электродинамики.

На рис. 1 представлен массив отдельных структурированных кольцеобразных микроотверстий с золотыми нанодисками, оставшимися в их центрах, создаваемыми одиночными кольцеобразными лазерными пучками [1]. Концептуально, топографии структурированных микроотверстий напоминают параболическую микроантенну со сквозным отверстием/кратером как фокусирующим ближнее поле плазмонным зеркалом [2] и центральным нанодиском как его наноантенной.

Было проведено численное моделирование на основе FDTD-расчетов для характеристики плазмонных особенностей и соответствующих распределений электрического поля в подобных структурах (рис. 2).

В нашей модели линейно-поляризованная электромагнитная плоская волна в воздухе падает по нормали на сквозное кольцеобразное отверстие (внешний радиус $R_h = 1.5$ мкм, внутренний радиус $r_h = 0.5$ мкм) в золотой пленке толщиной 50 нм на полубесконечной подложке из стекла с периодическими граничными условиями (период соответствует размеру ячейки).

Расчетные распределения амплитуды электрического поля $|E|$ в структурированном отверстии на разных длинах волн представлены на рис. 3. Результаты нашего моделирования показывают, что ниже 500 нм (длины волны отсечки интенсивных межзонных

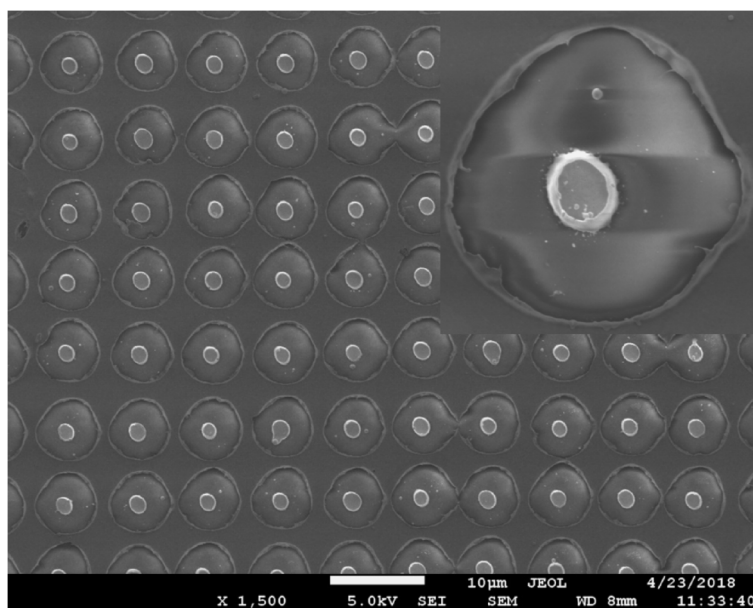


Рис. 1: SEM-изображение массива структурированных микроотверстий (вставка: отдельное микроотверстие в увеличенном масштабе) (внизу шкала – 10 мкм).

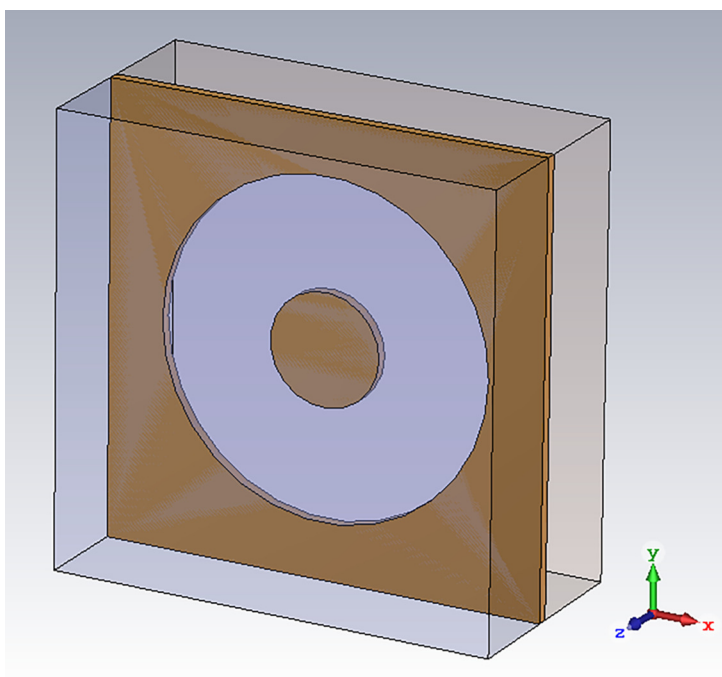


Рис. 2: Вид модели в 3D. Электромагнитная волна распространяется противоположно направлению оси Z.

переходов в золоте [3]) для линейной поляризации есть только стоячие волны в слое воздуха между центральным нанодиском и краем микроотверстия (рис. 3, случай 200 нм). Причина заключается в том, что поверхностные плазмоны сильно затухают в золоте из-за очень больших потерь в этом спектральном диапазоне. Однако выше длины волны отсечки – в области выше 700 нм – потери в золоте становятся малы, а гибридные плазмонные моды микроотверстия и нанодиска обеспечивают значительное усиление электрического поля на их краях вдоль диаметра отверстия, совпадающего с поляризацией лазера (рис. 3, случай 700 нм). На более длинных волнах оптическая связь между краями микроотверстия и центральным нанодиском становится значительно менее эффективной, переходя от волноводной моды к туннельной [4, 5].

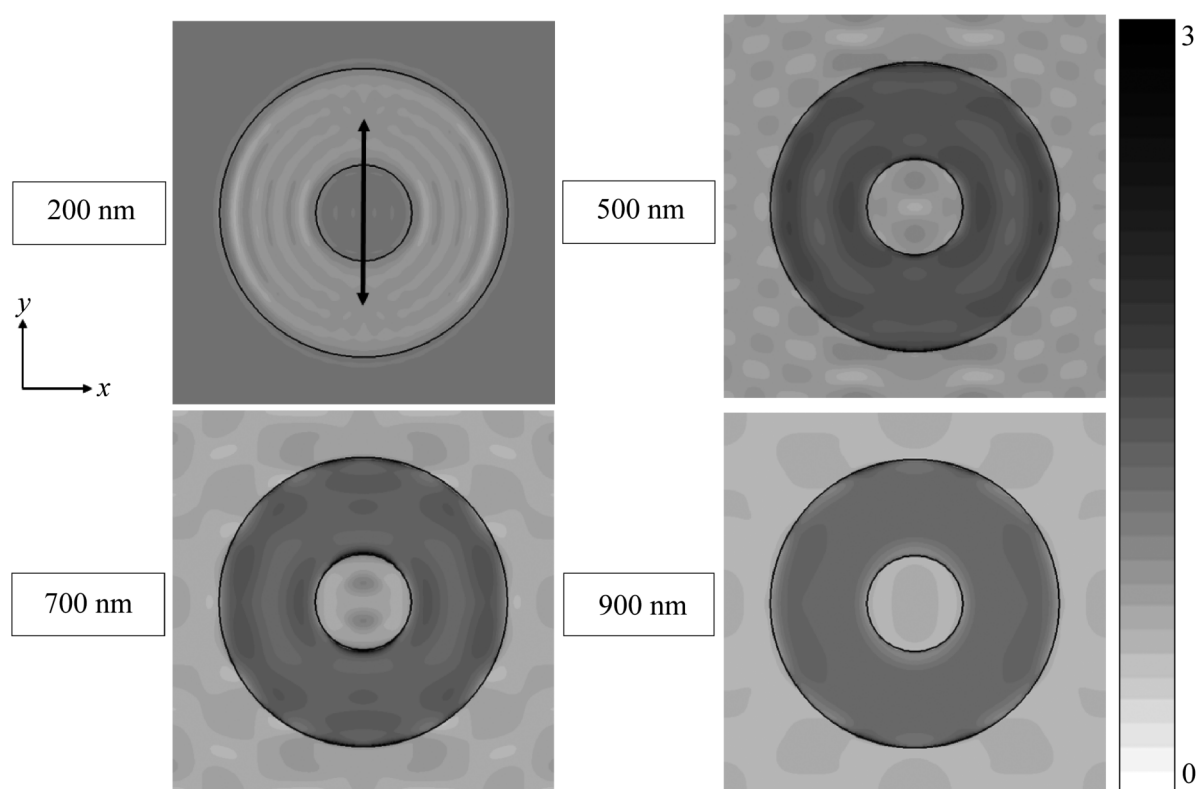


Рис. 3: Рассчитанное пространственное распределение амплитуды электрического поля $|E|$ линейно-поляризованной плоской волны в структурированном отверстии с $R_h = 1.5$ мкм и $r_h = 0.5$ мкм на разных длинах волн. Стрелка указывает направление поляризации. Цветовая шкала указана в относительных величинах: за единицу принята амплитуда исходной падающей волны. При $\lambda = 700$ нм видно увеличение амплитуды поля на краях нанодиска, сонаправленных поляризации.

При рассмотрении распределения электрического поля в подобных структурах при виде “в разрезе” при определенных длинах волн видно, как структура обеспечивает фокусировку поля над центральным нанодиском и возникновение области высокого значения амплитуды (рис. 4).

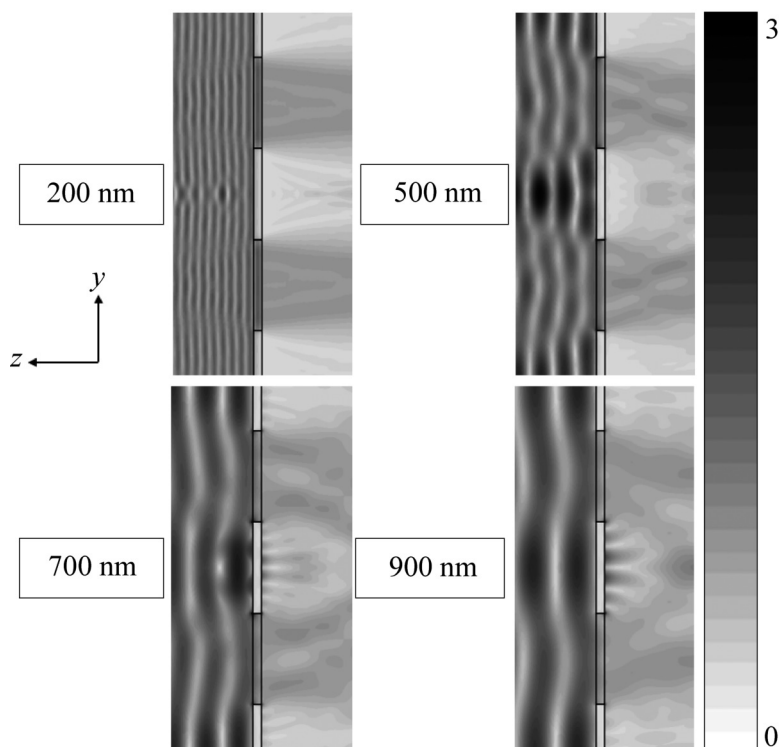


Рис. 4: Рассчитанное пространственное распределение амплитуды электрического поля $|E|$ линейно-поляризованной плоской волны в структурированном отверстии с $R_h = 1.5$ мкм и $r_h = 0.5$ мкм на разных длинах волн (вид в разрезе). Цветовая шкала указана в относительных величинах амплитуды исходной падающей волны. При $\lambda = 500$ нм видно увеличение амплитуды поля в области над нанодиском.

Таким образом, в нашей работе с помощью методов численного моделирования был исследован электромагнитный отклик наноструктур, представляющих собой параболические антенны.

Расчетная часть работы была поддержана Российским научным фондом (проект № 17-12-01258). Модель параболической наноантенны экспериментально реализована С.И.К. и А.А.И. при поддержке программы Президиума РАН № 32: “Наноструктуры: физика, химия, биология, основы технологий”.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- [1] S. I. Kudryashov, P. A. Danilov, A. P. Porfirev, et al., Optics Letters (in press).
- [2] M. A. Gubko, W. Husinsky, A. A. Ionin, et al., Las. Phys. Lett. **11**, 065301 (2014).
- [3] E. D. Palik, *Handbook of optical constants of solids* (Academic, Orlando, 1985).
- [4] T. W. Ebbesen, H. J. Lezec, H. F. Ghaemi, et al., Nature **391**(6668), 667 (1998).
- [5] H. Liu, P. Lalanne, Nature **452**(7188), 728 (2008).

Поступила в редакцию 17 октября 2018 г.

Печатается по материалам конференции “UltrafastLight-2018” (Москва, ФИАН, 2018).