

ОСОБЕННОСТИ ПОВЕДЕНИЯ ПЛАЗМОН-ПОЛЯРИТОНОВ В ОДНО- И ДВУСТЕННЫХ УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБКАХ*

С. А. Афанасьев¹, В. А. Зайцев¹, С. Г. Моисеев^{1,2},
И. А. Рожлейс¹, Д. Г. Санников¹, ✉ Г. В. Тертышникова¹

¹ Ульяновский государственный университет, Ульяновск, Россия

² Ульяновский филиал Института радиотехники и электроники
им. В. А. Котельникова РАН, Ульяновск, Россия

✉ tertyshnikovag@mail.ru

Поверхностные плазмон-поляритоны (ППП) — это электромагнитные возбуждения, распространяющиеся вдоль границы раздела между металлом и диэлектриком. Углеродные нанотрубки (УНТ) являются перспективным классом структур, которые могут служить для возбуждения ППП. Механические, транспортные, оптические и другие свойства УНТ зависят от количества оболочек и хиральных индексов. Наиболее простыми для изучения, но сложными по технологии получения являются одностенные УНТ (ОУНТ). Свойство усиливать замедленную ППП-волну протекающим в УНТ дрейфовым током можно использовать в схеме генератора терагерцевого излучения на основе массива параллельных двустенных УНТ (ДУНТ) [1]. В связи с этим актуальной задачей является изучение условий возбуждения ППП в УНТ и исследование пространственного распределения их волновых полей.

Для описания плазмонных свойств нанотрубок используется гидродинамический подход [2], учитываются анизотропия электропроводности стенок и омические потери. Решение уравнения Гельмгольца для продольных компонент электрического E_z и магнитного H_z полей с учетом соответствующих граничных условий можно получить методом разделения переменных. Данные решения позволяют найти дисперсионные соотношения и зависимости компонент электромагнитного поля от координат для ОУНТ и ДУНТ. В работе мы получаем и анализируем дисперсионные кривые ППП и распределения модуля электрического поля в поперечном сечении УНТ обоих видов.

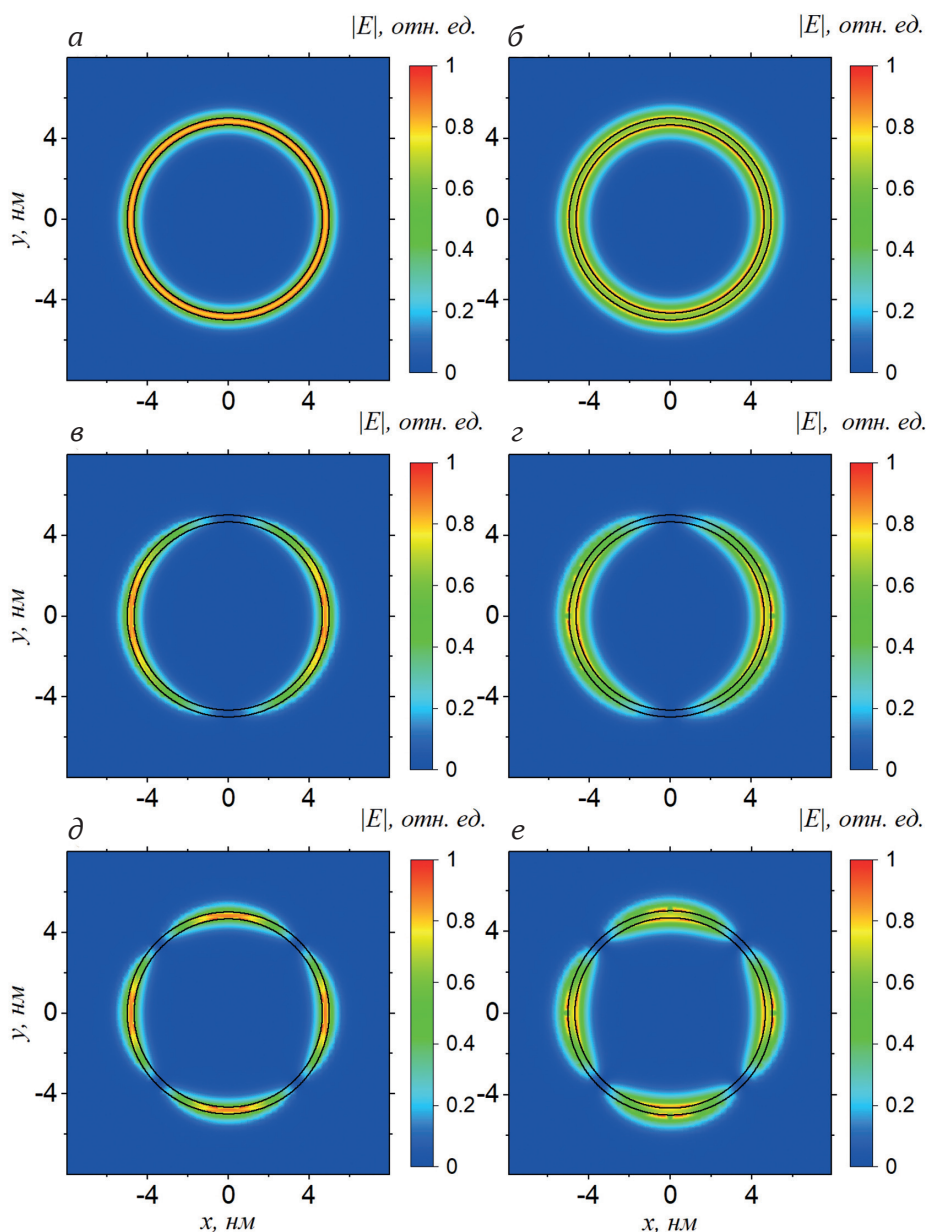
Моделирование проводилось для ОУНТ радиусом a и ДУНТ с внутренним и внешним радиусами a_1 и a_2 . Дисперсионные кривые для всех мод, за исключением нулевой (азимутальное модовое число $m = 0$), имеют режим отсечки, в котором действительная часть константы распространения q' становится на порядок меньше мнимой части q'' (большое затухание). Для ДУНТ характерно наличие двух ветвей: низкочастотной и высокочастотной для каждого значения m .

На рисунке в качестве примера показаны модули электрического поля в поперечном сечении ДУНТ для трех первых мод ($m = 0, 1, 2$), соответствующих высокочастотным и низкочастотным ветвям. Из рисунка следует, что для мод, соответствующих низкочастотным ветвям, электрическое поле плазмон-поляритонов локализуется главным образом в зазоре между стенками ДУНТ. А для мод, соответствующих высокочастотным ветвям, поле сосредоточено на поверхности оболочки ДУНТ меньшего радиуса. Также следует отметить, что максимальное значение модуля поля падает с ростом азимутального модового числа m . Видно, что в дан-

* Исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда (проект № 23-19-00880).

ном случае ДУНТ практически не влияют друг на друга на расстоянии $d \geq 12$ нм между их центрами.

Результаты исследования могут быть полезны для создания замедляющих систем на основе как одиночных нанотрубок, так и разреженных массивов УНТ.



Распределение модуля электрического поля ППП-мод порядков $m = 0, 1$ и 2 (a и b , v и z , d и e соответственно) в поперечном сечении ДУНТ с радиусами стенок $4,66$ и 5 нм на частоте $\omega \approx 1$ ПГц; a, v, d соответствуют низкочастотным ветвям дисперсионных кривых, b, z, e — высокочастотным ветвям

Литература

1. Afanas'ev S. A., Fotiadi A.A., Kadochkin A. S. et al. Terahertz Generation through Coherent Excitation of Slow Surface Waves in an Array of Carbon Nanotubes // Photonics. 2023. Vol. 10 (12). P. 1317.
2. Moradi A. Light conduction of metallic two-walled carbon nanotubes // Appl. Phys. A — Mater. Sci. Process. 2013. Vol. 113 (1). P. 97.