

Исследование фазовых спектров спуф локализованных плазмонных резонансов, возбуждаемых на спиральных двумерных метаматериалах с тонкими диэлектрическими покрытиями в терагерцовом диапазоне частот

О. Э. Камешков, В. В. Герасимов

Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера, Новосибирск, Россия
Новосибирский Государственный Университет, Новосибирск, Россия

Терагерцовые плазмонные сенсоры считаются перспективной технологией в области биомедицины благодаря их сверхчувствительным функциям мониторинга в режиме реального времени без использования меток. Их широкое применение по-прежнему ограничено веществами с малыми потерями, методом характеристики вещества на одной резонансной частоте и низкой чувствительностью сенсоров. В данной работе проводится исследование сенсоров на основе спиральных алюминиевых дисков на полипропиленовой подложке, которые позволяют возбуждать спуф локализованные плазмонные резонансы (ЛПР) в терагерцовом диапазоне частот аналогичные по свойствам классическим ЛПР. В работе показано численно и экспериментально, что использование частотного фазового спектра вместо амплитудного позволяет увеличить добротность данного вида сенсора при измерении показателя преломления тонких диэлектрических покрытий.

Ключевые слова: Терагерцовые сенсоры, Спиральные метаматериалы, Спуф локализованный плазмонный резонанс, Тонкие пленки.

Цитирование: Камешков, О. Э. Исследование фазовых спектров спуф локализованных плазмонных резонансов, возбуждаемых на спиральных двумерных метаматериалах с тонкими диэлектрическими покрытиями в терагерцовом диапазоне частот / О. Э. Камешков, В. В. Герасимов // НОЛОEXPO 2022: XIX Международная конференция по голографии и прикладным оптическим технологиям : Тезисы докладов. — Барнаул: ИП Колмогоров И. А., 2022. — С. 388–390.

В видимом диапазоне локализованные поверхностные плазмонные резонансы (ЛППР) представляют собой локализованные колебания свободных электронов в металлических наночастицах. ЛППР позволяют концентрировать и усиливать электромагнитное излучение на поверхности частицы в наномасштабе. В терагерцовом диапазоне частот классические ЛППР не возбуждаются из-за высоких значений диэлектрических проницаемостей металла, но их свойства можно воспроизвести, используя специальные двумерные метаматериалы.

В 2012 году Pors и др. [1] показали, что электромагнитные резонансы, поддерживаемые закрытыми 2D гофрированными металлическими цилиндрами с идеальной проводимостью, имитируют ЛППР видимого диапазона, названные спуф ЛППР (СЛППР). В 2014 г. Cui et.al. продемонстрировали экспериментально, что субволновая решетка, сжатая и свернутая в замкнутую спиральную поверхность, также поддерживают магнитные СЛППР [2]. За этими двумя работами последовало большое количество работ, посвященных спуф локализованным плазмонам в терагерцовом и микроволновом диапазонах частот. Существует около 36 статей,

в которых разные авторы описывают модификации и улучшения металлических цилиндрических метаматериалов, и 13 статей о спиральных метаматериалах. Из всех этих работ нам интересны те, что посвящены их сенсорным возможностям и таких экспериментальных работ только две [3-4]. Zhou и др. численно и экспериментально сравнивали чувствительность различных мод, возбуждаемых на гофрированных металлических цилиндрах с помощью плоского волновода [3]. В работе [4] исследованы модифицированные спиральные структуры, темные моды которых возбуждаются С-резонатором. Было показано, что предлагаемый двумерный спиральный метаматериал обладает высокой чувствительностью, сравнимой с сенсорами оптического диапазона частот.

В данной работе продолжается исследование спиральных 2D метаматериалов для сенсорных приложений. Используя алюминиевые спиральные диски, нанесенные на 15 мкм полипропиленовую пленку, с такими же параметрами как в статье [4] были проведены измерения фазовых спектров с помощью квазиоптического спектрометра на лампе обратной волны. Фазовые спектры обладают более узкими провалами, что позволило улучшить такой параметр сенсора как добротность (FOM). Например, для симметричной спиральной структуры с С-резонатором с внешним радиусом $R = 192$ мкм, внутренним радиусом $r = 18$ мкм, периодом $p = 786$ мкм, шириной плеча $w = 8$ мкм и количеством плеч $n = 12$ удалось увеличить максимальный FOM с $1662 \text{ (RUI мм)}^{-1}$ при измерении амплитудного частотного спектра до $4908 \text{ (RUI мм)}^{-1}$ при измерении фазовых спектров (рис. 1), т.е. примерно в три раза. Подробные экспериментальные и численные результаты работы будут представлены на конференции.

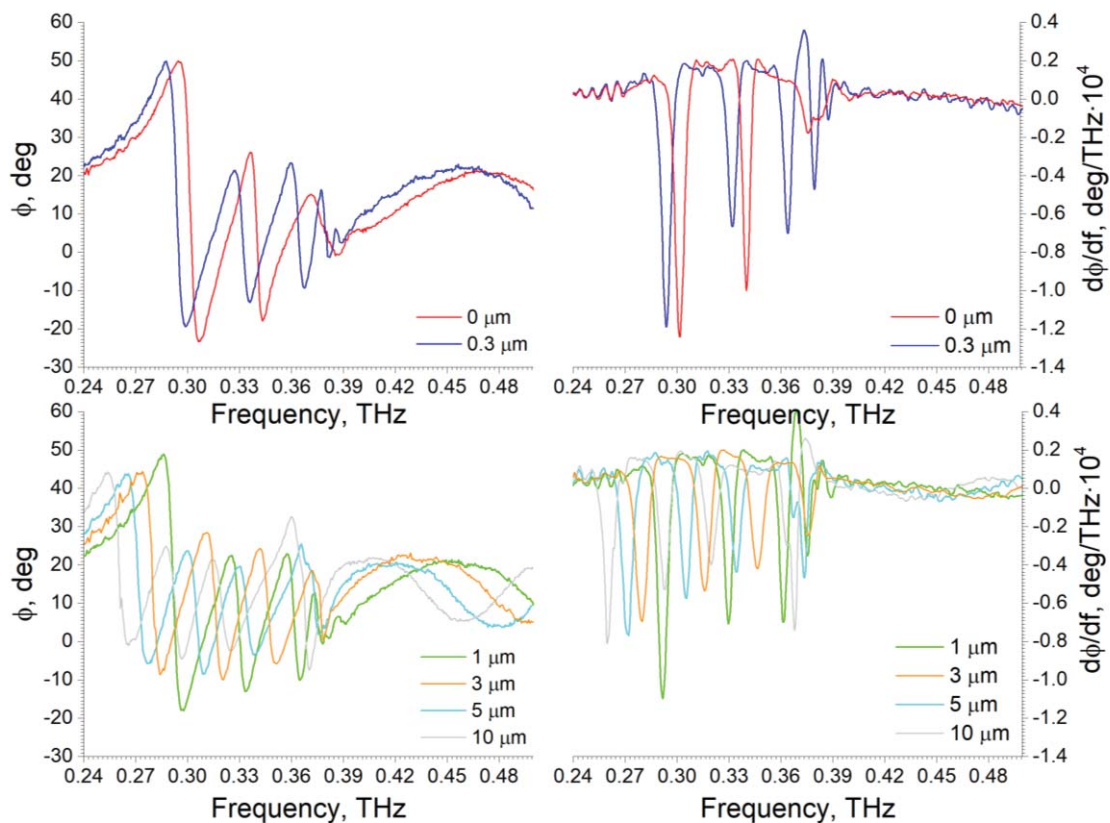


Рис. 1. Пример фазовых спектров (графики слева) для спирального метаматериала и их производные (справа). Параметры структуры см. в тексте.

Благодарность

В работе использовалось оборудование ЦКП «СЦСТИ» на базе УНУ "Новосибирский ЛСЭ" в ИЯФ СО РАН. Авторы благодарят ЦКП ВТАН НГУ за проведение измерений на научном оборудовании.

Список источников

- [1] **Pors A. et al.** Localized Spoof Plasmons Arise while Texturing Closed Surfaces // Phys. Rev. Lett. 2012. Vol. 108, № 22. P. 223905.
- [2] **Huidobro P.A. et al.** Magnetic Localized Surface Plasmons // Phys. Rev. X. 2014. Vol. 4, № 2. P. 021003.
- [3] **Zhou J. et al.** Terahertz on-chip sensing by exciting higher radial order spoof localized surface plasmons // Appl. Phys. Express. 2020. Vol. 13, № 1. P. 012014.
- [4] **Gerasimov V.V. et al.** Exploiting Localized Surface Plasmon Resonances in Subwavelength Spi-ral Disks for THz Thin Film Sensing // Applied Sciences. 2020. Vol. 10, № 10. P. 3595.

Studying phase spectra of spoof localized plasmon resonances excited on spiral 2D metamaterials with thin dielectric coatings in the terahertz frequency range

O. E. Kameshkov^{1,2}, V. V. Gerasimov^{1,2}

¹ Budker Institute of Nuclear Physics, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

Terahertz plasmonic sensors are considered a promising technology in the field of biomedicine due to their real-time, label-free, and ultrasensitive monitoring features. Their widespread use is still limited to low-loss materials, single amplitude characterization method, and low sensor sensitivity. In this paper, we study sensors based on spiral metamaterials, which enable to excite spoof localized plasmon resonances (LPR) in the terahertz frequency range, similar in properties to classical LPR. It was shown numerically and experimentally that the use of the frequency phase spectrum instead of the amplitude one makes it possible to increase the figure of merit of this type of sensor when measuring the refractive index of thin dielectric coatings.

Keywords: Terahertz sensors, Spiral metamaterials, Phase spectrum, Spoof localized plasmon resonance.