

ПОЛНОСТЬЮ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ МЕТАПОВЕРХНОСТИ В ГИБРИДНОМ АНАПОЛЬНОМ РЕЖИМЕ С КВАЗИ-ССК*

✉ А. В. Кузнецов, А. С. Шалин

Московский физико-технический институт (МФТИ), Долгопрудный, Россия

✉ alexey.kuznetsov98@gmail.com

Использование полностью диэлектрической нанофотоники позволяет расширить возможности в разработке передовых устройств нового поколения, которые превосходят существующие аналоги по эффективности и компактности, открывая новые перспективы [1–3]. Особый интерес вызывают разнообразные формы нанорассеивателей, чья нестандартная геометрия позволяет достичь новых эффектов, в частности за счет нарушения симметрии объекта. Это открывает возможности для получения ряда новых полезных эффектов в области нанофотоники [4]. Благодаря использованию таких нанорассеивателей можно создавать метаповерхности, способные управлять светом на наноуровне. Одним из таких применений является использование квази-связанных состояний в континууме (квази-ССК), с помощью которых удастся получить высокодобротные резонансы в различных фотонных структурах. Это открывает новые возможности для разработки эффективных оптических систем и устройств с расширенным функционалом [5].

Мультипольное разложение широко используется для описания оптических свойств нанорассеивателей. Оно позволяет получать различные эффекты путем комбинирования мультиполей [6]. Например, гибридный анапольный режим обладает возможностью управлять фазой проходящего через метаповерхность излучения, при этом сохраняя единичную пропускательную способность структуры и не накладывая ограничений на положение метаатомов и материал подложки. Такие комбинации мультиполей открывают новые перспективы для создания высокоэффективных оптических устройств и систем с расширенными функциональными возможностями [7, 8].

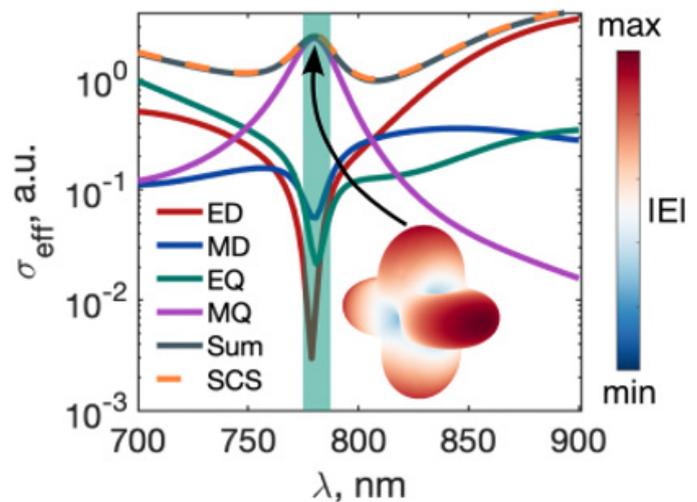
В данной работе мы демонстрируем возможность получения высокодобротного квази-ССК на магнитном квадрупольном резонансе с использованием кремниевых наночастиц в форме усеченного конуса, где квадрупольный резонанс находится на частоте, совпадающей с гибридным анапольным режимом. Остальные мультипольные вклады на данной частоте пренебрежимо малы (см. рисунок).

Благодаря такому уникальному сочетанию нескольких эффектов можно создать высокодобротные метаповерхности, оптические свойства которых чувствительны к изменению показателя преломления окружающей среды. Например, спектр пропускания на частоте квази-ССК в гибридном анаполе имеет резонансный минимум, который при изменении показателя преломления окружающей среды сдвигается по частоте, что открывает возможности для разработки сверхтонких и чувствительных оптических сенсоров, способных определять изменение показателя преломления среды.

* Авторы выражают благодарность Министерству науки и высшего образования Российской Федерации за финансовую поддержку (договор № 075-15-2022-1150). Исследование гибридных анапольных режимов частично поддержано РНФ (грант № 21-12-00151).

© А. В. Кузнецов, А. С. Шалин, 2023

Таким образом, в данной работе был обнаружен уникальный режим рассеяния, комбинирующий высокодобротный квази-ССК и гибридный анаполь на одной длине волны, исследован модовый и мультипольный состав такого нанорезонатора. Метаповерхности, состоящие из частиц в описанном режиме, имеют чистый магнитный квадрупольный отклик. Была исследована зависимость пропускания такой метаповерхности от расстояния между метаатомами и найдена оптимальная конфигурация положения метаатомов для получения магнитного квадрупольного отклика. Такие метаповерхности могут быть использованы для создания сверхкомпактных сенсоров, наноплазмонных или различных нелинейных эффектов.



Общее сечение рассеяния и мультипольная декомпозиция для кремниевой наночастицы в форме усеченного наноконуса. На вставке показано дальнее поле для частицы, рассчитанное численно на длине волны гибридного анапольного состояния с магнитным квадрупольным резонансом

Список литературы

1. Shamkhi H. K., Sayanskiy A., Canós Valero A. et al. Transparency and perfect absorption of all-dielectric resonant metasurfaces governed by the transverse Kerker effect // *Phys. Rev. Mater.* 2019. Vol. 3. P. 1–10.
2. Novitsky D. V., Karabchevsky A., Lavrinenko A. V. et al. PT symmetry breaking in multilayers with resonant loss and gain locks light propagation direction // *Phys Rev B.* 2018. Vol. 98. P. 125102.
3. Kostina N. A., Kislov D. A., Ivinskaya A. N. et al. Nanoscale Tunable Optical Binding Mediated by Hyperbolic Metamaterials // *ACS Photonics.* 2020. Vol. 7. P. 425–433.
4. Kuznetsov A. V., Canós Valero A., Shamkhi H. K. et al. Special scattering regimes for conical all-dielectric nanoparticles // *Sci. rep.* 2022. Vol. 12. P. 21904.
5. Rybin M. V., Koshelev K. L., Sadrieva Z. F. et al. High-Q Supercavity Modes in Subwavelength Dielectric Resonators // *Phys. Rev. Lett.* 2017. Vol. 119. P. 243901.
6. Terekhov P. D., Evlyukhin A.B., Redka D. et al. Magnetic Octupole Response of Dielectric Quadrupoles // *Laser Photon. Rev.* 2020. Vol. 14. P. 1900331.
7. Canós Valero A., Gurvitz E.A., Benimetskiy F.A. et al. Theory, Observation, and Ultrafast Response of the Hybrid Anapole Regime in Light Scattering // *Laser Photon. Rev.* 2021. Vol. 15. P. 2100114.
8. Kuznetsov A. V., Canós Valero A., Tarkhov M. et al. Transparent hybrid anapole metasurfaces with negligible electromagnetic coupling for phase engineering // *Nanophotonics.* 2021. Vol. 10. P. 4385–4398.