

УДК 535.36

РАЗЛИЧНЫЕ МУЛЬТИПОЛЬНЫЕ КОМБИНАЦИИ ДЛЯ КОНИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ КРЕМНИЯ

Кузнецов А.В. (Университет ИТМО)

Научный руководитель – д. ф.-м. н., ст. науч. сотр. ФФ, Рыбин М.В., (Университет ИТМО)

Научный консультант – д. ф.-м. н., Шалин А.С., (Университет ИТМО)

В данной работе мы исследуем удобные в изготовлении резонаторы — усеченные конусы, чтобы добиться ряда важных режимов рассеяния за счет присущих конусам свойств — нарушенной симметрии вдоль главной оси без привлечения сложных геометрий или структурированных лучей. Мы показываем, что это нарушение симметрии вызывает различные виды эффектов Керкера, Гибридное анапольное состояние — одновременные анапольные условия для всех мультиполей в частице, приводящие до почти полного подавления рассеяния и т.д. Данная работа за счет более простой геометрической формы рассеивателей поможет значительно упростить процесс изготовления фотонных устройств разного функционала и более того, дополнительные степени свободы, обусловленные конусностью, открывают новые горизонты для тщательной адаптации взаимодействия света и материи на наноуровне.

Введение. В последние годы все больше научных исследований посвящается областям, в которых используются субволновые диэлектрические наночастицы. Дело в том, что такие частицы можно использовать для создания различного рода устройств, характеристики которых либо значительно превышают характеристики существующих, либо даже открывают возможность создания нового класса устройств. Их неоспоримое преимущество заключается в их высокой эффективности и относительной простоте производства.

Огромный импульс развитию высокоиндексной диэлектрической нанофотоники дало открытие возможности отдельного управления мультипольными возбуждениями в рассеивателях и, как следствие, комбинирование мультипольных моментов для получения различных эффектов.

Благодаря этой возможности удалось получить эффект Керкера, который изначально был введен для гипотетической магнитной сферы и не привлек внимания исследователей. Теперь эффект Керкера был значительно расширен благодаря возможностям диэлектрической нанофотоники, где стало возможным получение магнитного момента в малых частицах. Отличным примером этого является обобщенный эффект Керкера, который позволяет получить резонансное возбуждение и интерференцию различных электромагнитных мультиполей или поперечный изотропный эффект Керкера, характеризующийся поперечным изотропным рассеянием на субволновых наночастицах с одновременным подавлением как прямого, так и обратного рассеяния поля.

Еще одно важное открытие, связанное с мультипольными комбинациями, - это возможность получения гибридного анапольного состояния (НАС) нанообъектов. Из таких нанообъектов можно создать метаповерхность, которая будет обладать множеством полезных свойств, например, нулевым сдвигом фазы световой волны при прохождении через метаповерхность, практически полным светопропусканием, возможностью нанесения такой метаповерхности на различные типы подложек. Это открывает невероятные возможности для создания различного рода устройств для плоской оптики.

Все перечисленные случаи были представлены для частиц с элементарной геометрией, например, на сферах или цилиндрах.

Основная часть. Рассеиватели в форме усеченного конуса в настоящее время мало изучены, хотя такая геометрия имеет много преимуществ.

За счет нарушение симметрии вдоль главной оси (добавление дополнительной степени свободы в виде верхнего радиуса усеченного конуса) могут появиться новые непредсказуемые эффекты, которые ранее не исследовались.

Еще одно важное преимущество геометрии конусов состоит в том, что практическое производство элементов для фотонных устройств еще не доведено до совершенства. Например, в процессе изготовления таких рассеивателей практически невозможно получить идеальной формы наноцилиндр с заданными параметрами. На практике гораздо проще создать усеченный конус.

В данной работе для моделирования использовалась экспериментально снятая дисперсия показателя преломления для аморфного кремния. С помощью численного моделирования были получены геометрические параметры нанорассеивателей для различных фотонных эффектов, например, для эффектов Керкера в усеченных наноконусах (обычный, обобщенный и поперечный эффекты Керкера). Для каждого из эффектов была построена мультиполярная декомпозиция, которая позволяет увидеть вклад каждого из мультиполей в общую картину рассеяния, получена разность фаз мультиполей, вклады которых образуют эффекты Керкера, построено распределение полей внутри частиц и диаграммы направленностей нанорассеивателей. Такой комплексный подход позволяет более подробно описать полученные эффект. Также было найдено гибридное анапольное состояние для кремниевых усеченных наноконусов, исследована зависимость от значения конусности.

Выводы. Таким образом в данной работе были получены и исследованы различные мультиполярные комбинации в конических нанорассеивателях. За счет достаточно простой в производстве геометрической формы рассеивателей и появления дополнительных степеней свободы (нарушение симметрии вдоль главной оси) появляется возможность получения основных фотонных эффектов на конических нанорассеивателях, что открывает новые возможности для разработки современных фотонных устройств.

Кузнецов А.В. (автор)

Подпись

Рыбин М.В. (научный руководитель)

Подпись

Шалин А.С. (научный консультант)

Подпись