



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
G02F 1/0102 (2019.08); B82B 1/005 (2019.08)

(21)(22) Заявка: 2019124774, 01.08.2019

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
01.08.2019

Дата регистрации:
25.11.2019

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: 01.08.2019

(45) Опубликовано: 25.11.2019 Бюл. № 33

Адрес для переписки:
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр.,
49, Университет ИТМО, ОИС и НТИ

(72) Автор(ы):
Зуев Дмитрий Александрович (RU),
Агеев Эдуард Игоревич (RU),
Залогина Анастасия Сергеевна (RU),
Савельев Роман Сергеевич (RU),
Макаров Сергей Владимирович (RU),
Шадринов Илья Владимирович (RU),
Ларин Артем Олегович (RU)

(73) Патентообладатель(и):
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Национальный
исследовательский университет ИТМО"
(Университет ИТМО) (RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: US 2012091365 A1, 19.04.2012. RU
132573 U1, 20.09.2013. RU 177658 U1, 05.03.2018.
WO 2016154657 A1, 06.10.2016.

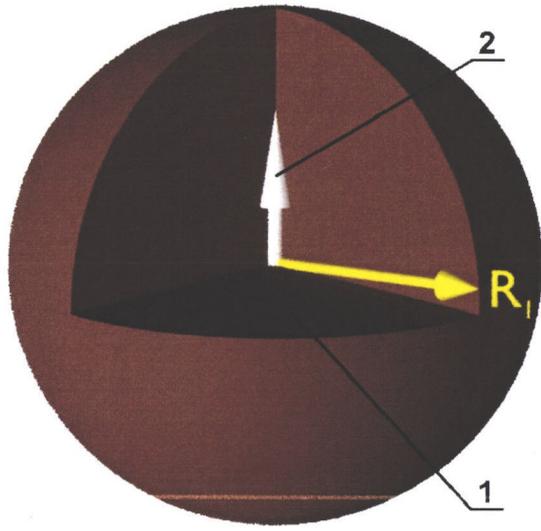
(54) Активная диэлектрическая наноантенна

(57) Реферат:

Активная диэлектрическая наноантенна относится к области физики и служит для усиления излучения точечного источника и может быть использована для управления излучением источника одиночных фотонов. Наноантенна состоит из оптически резонансного нанообъекта, выполненного в виде шара радиусом R_1 , где 100

$\text{nm} < R_1 < 500$ нм, резонатор выполнен из материала с высоким показателем преломления $n > 2,4$ со встроенным точечным излучателем для эффективного усиления и контроля излучения. Заявляемая полезная модель решает задачу по повышению фактора Парселла квантового излучателя. 1 ил.

RU 194033 U1



RU 194033 U1

Активная диэлектрическая наноантенна относится к области физики и служит для усиления электромагнитного (ЭМ) излучения точечного источника, например, инфракрасного излучения или излучения видимого диапазона, и может быть использована для создания различных устройств квантовой обработки информации, сверхбыстрых оптических переключателей и сенсорных наносистем, обеспечивающих наномасштабную оптическую диагностику температурных процессов и состояния веществ в режиме реального времени.

Известна нелинейная диэлектрическая наноантенна (патент РФ 177658 U1, МПК G02B 27/00, B82B 1/00, дата приоритета 26.12.2016, дата публикации 05.03.2018). Данная наноантенна состоит из диэлектрического резонатора, выполненного в виде шара радиусом R_1 , где $60 \text{ нм} < R_1 < 200 \text{ нм}$, резонатор выполнен из материала с высоким показателем преломления $n > 3$ и помещен в однородный сферический металлический слой с внешним радиусом R_2 , оболочка выполнена из материала с отрицательной действительной частью диэлектрической проницаемости и низкой мнимой ее частью, а величина R_2 лежит в пределах $R_1 < R_2 < 2R_1$. Однако приведенная нелинейная диэлектрическая наноантенна обеспечивает повышение коэффициента преобразования энергии падающего излучения в излучение на других частотах и увеличение спектра генерируемых длин волн, но не позволяет усиливать излучение точечного источника.

Известна оптическая диэлектрическая наноантенна (патент РФ 132573 U1, МПК G02B 27/00, B82B 1/00, дата приоритета 07.05.2013, дата публикации 20.09.2013). Данная наноантенна состоит из точечного оптического источника и наночастицы, выполненной в виде шара с радиусом R_s субволновой величины, изготовленной из диэлектрического

материала с показателем преломления $n \geq \frac{\lambda}{2R_s}$, где λ - длина волны излучения,

источник расположен в выемке на поверхности шара, выполненной в виде полусферы радиуса R_n . Данная оптическая диэлектрическая наноантенна обеспечивает трансформацию ближнего поля излучения квантового источника в свободно распространяющееся ЭМ, но не дает возможности усиления излучения точечного источника.

Известно устройство для усиления излучения точечного источника (отдельных молекул) на основе оптических наноантенн, совпадающее с заявляемым техническим решением по наибольшему числу существенных признаков и принятое за прототип (патент США №20120091365 A1, МПК G01N 21/64, дата приоритета 17.10.2011, дата публикации 19.04.2012). Указанное устройство представляет собой резонатор, выполненный в виде наноантенны типа «галстук-бабочка», состоящей из металлических (золотых ($n=0,2-1,0$ в диапазоне $\lambda=0,5-1,0$ мкм), алюминиевых ($n=0,8-1,4$), серебряных ($n < 0,1$), медных ($n=0,3-1,2$) или их сплавов) электродов, в 50 нм промежутке между которыми помещается точечный источник. Электрическое поле, возникающее между электродами при их облучении лазерным пучком, увеличивает интенсивность излучения (уменьшает время жизни возбужденного состояния) точечного источника (флуоресцентной молекулы). Недостатком прототипа является то, что точечный источник расположен снаружи наноантенны, что приводит к дополнительным потерям излучения источника.

Задачей, на решение которой направлена данная полезная модель, является увеличение интенсивности излучения (повышение фактора Парселла) точечного источника.

Поставленная задача решается за счет достижения технического результата,

закключающегося в оптимизации геометрических параметров и используемых материалов для активной диэлектрической наноантенны, соответствующей сокращению времени жизни возбужденного состояния и/или повышению интенсивности излучения. Данный технический результат достигается вследствие того, что активная диэлектрическая наноантенна представляет собой диэлектрический резонатор, выполненный в виде шара радиусом R_1 , где $100 \text{ нм} < R_1 < 500 \text{ нм}$, резонатор выполнен из материала с высоким показателем преломления $n > 2,4$ со встроенным точечным источником.

Конфигурация активной диэлектрической наноантенны приводит к эффективному усилению возбуждаемых внутри диэлектрического резонатора низших и высших дипольных и мультипольных моментов ЭМ поля (резонансов Ми). Размер и форма активной диэлектрической наноантенны подобраны для наиболее эффективного возбуждения магнитной дипольной моды диэлектрического резонатора, а также для того, чтобы и лазерное излучение накачки, и спектр излучения (фотолюминесценции) точечного источника спектрально перекрывались с внутренними электрическими или магнитными резонансами Ми наноантенны. За счет положительной интерференций мод ЭМ полей резонатора достигается значительное усиление излучения точечного источника.

Сущность заявляемой полезной модели поясняется следующим. В качестве материальной составляющей сферического резонатора субволнового размера используются диэлектрические материалы с высоким значением показателя преломления $n > 2,4$. В качестве примера таких материалов можно указать алмаз. При взаимодействии такого резонатора с падающей ЭМ волной возбуждаются электрический (ЭД) и магнитный (МД) дипольные моменты (моды Ми). Усиление полей на резонансных значениях частот для ЭД и МД может достигать нескольких десятков. За счет пространственного перекрытия между положением точечного излучателя, расположенного внутри резонатора, и электрическим полем дипольных моментов (мод Ми) достигается усиление излучения точечного источника. Спонтанное излучение максимально усиливается в случае, когда излучающий диполь располагается в максимуме поля моды, и ориентация диполя совпадает с поляризацией электрического поля.

Условие выбора показателя преломления диэлектрического материала обосновывается необходимостью возбуждения в резонаторе резонанса Ми в видимом диапазоне длин волн с сохранением субволнового размера наноантенны. Высокий показатель преломления таких диэлектрических наноантенн также позволяет контролировать излучение не только за счет электрической, но и магнитной компоненты с низкими диссипативными потерями. Другими словами, параметры активной диэлектрической наноантенны подбираются таким образом, чтобы обеспечить спектральное и пространственное перекрытие между лазерным излучением накачки, спектром излучения (фотолюминесценции) точечного источника и внутренними электрическими или магнитными резонансами Ми наноантенны, что приводит к увеличению фактора Парселла такой системы, и, следовательно, усилению излучения точечного источника.

Сущность полезной модели поясняется на фиг., где показана геометрическая структура активной диэлектрической наноантенны. Активная диэлектрическая наноантенна включает в себя резонатор 1 из диэлектрического материала, выполненный в виде шара радиусом R_1 , где $100 \text{ нм} < R_1 < 5000 \text{ нм}$, и точечный (квантовый) источник 2, расположенный внутри резонатора. Для удобства восприятия геометрии из резонатора и внешнего слоя вырезан прямоугольный сектор.

Активная диэлектрическая наноантенна работает следующим образом. Падающий на наноантенну лазерный импульс одновременно осуществляет оптическую накачку точечного источника 2, расположенного внутри наноантенны, и возбуждение в резонаторе 1 электрических и магнитных дипольных моментов (мод Ми). В свою очередь, МД и ЭД усиливают ЭМ поле внутри резонатора 1, тем самым усиливая излучение точечного источника 2.

В качестве примера конкретной реализации предлагается наноантенна, состоящая из оптически резонансного наноалмаза радиусом 150 нм со встроенным точечным излучателем, в качестве которого выступают оптически активные центры (центры окраски) азот-вакансия. (NV-центры). Данные параметры подобраны для наиболее эффективной накачки точечного излучателя лазерным излучением на длинах волн в диапазоне 750-1500 нм. Усиление электрического поля и положения резонансов были рассчитаны в профессиональном программном пакете для электродинамических численных вычислений CST Microwave Studio 2015.

Таким образом, заявляемая полезная модель решает задачу усиления излучения (повышение фактора Парселла) точечного излучателя.

(57) Формула полезной модели

Активная оптическая наноантенна, усиливающая излучение точечного излучателя и состоящая из резонансного нанообъекта, отличающаяся тем, что резонатор выполнен в виде шара радиусом R_1 , где $100 \text{ нм} < R_1 < 500 \text{ нм}$, и изготовлен из материала с высоким показателем преломления $n > 2,4$, а величина R_1 лежит в диапазоне $100 \text{ нм} < R_1 < 500 \text{ нм}$, и тем, что при этом встроенный точечный излучатель расположен произвольно внутри резонатора.

