

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 172982

ОПТИЧЕСКИЙ ОТВЕТВИТЕЛЬ

Патентообладатель: *федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования "Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики" (Университет ИТМО) (RU)*

Авторы: *Ли Сергей Вадимович (RU), Краснок Александр Евгеньевич (RU), Белов Павел Александрович (RU)*

Заявка № 2016151226

Приоритет полезной модели 26 декабря 2016 г.

Дата государственной регистрации в

Государственном реестре полезных

моделей Российской Федерации 02 августа 2017 г.

Срок действия исключительного права

на полезную модель истекает 26 декабря 2026 г.

Руководитель Федеральной службы
по интеллектуальной собственности

 Г.П. Иевлев





ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2016151226, 26.12.2016

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.12.2016Дата регистрации:
02.08.2017

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.12.2016

(45) Опубликовано: 02.08.2017 Бюл. № 22

Адрес для переписки:

197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49,
Университет ИТМО, ОИС и НТИ

(72) Автор(ы):

Ли Сергей Вадимович (RU),
Краснок Александр Евгеньевич (RU),
Белов Павел Александрович (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования "Санкт-Петербургский
национальный исследовательский
университет информационных технологий,
механики и оптики" (Университет ИТМО)
(RU)(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: RU 2531900 С2, 27.10.2014. US
7604049 В2, 20.10.2009. SU 1760494 А1,
07.09.1992. Краснок А. Е. и др. "Оптические
элементы Гюйгенса и наномантенны Яги-
Уда на основе диэлектрических
наночастиц", Письма в Журнал
экспериментальной и теоретической физики,
Т 94, N 8, 2011 г. стр. 635-640.

(54) ОПТИЧЕСКИЙ ОТВЕТВИТЕЛЬ

(57) Реферат:

Полезная модель относится к устройствам, служащим для возбуждения однонаправленных мод в диэлектрическом и плазмонном волноводах. Оптический ответвитель содержит источник излучения и диэлектрическую наночастицу, расположенную над волноводом, при этом наночастица имеет форму сферы радиуса R , а дипольный источник излучения размещен в выемке, выполненной в виде полусферы радиуса r на поверхности наночастицы, наночастица изготовлена из

материала с высоким показателем преломления $n > 0.9\lambda/R$, где λ - длина волны излучения, лежащая в диапазоне видимого излучения, а величина

отношения $\frac{R}{r}$ лежит в пределах

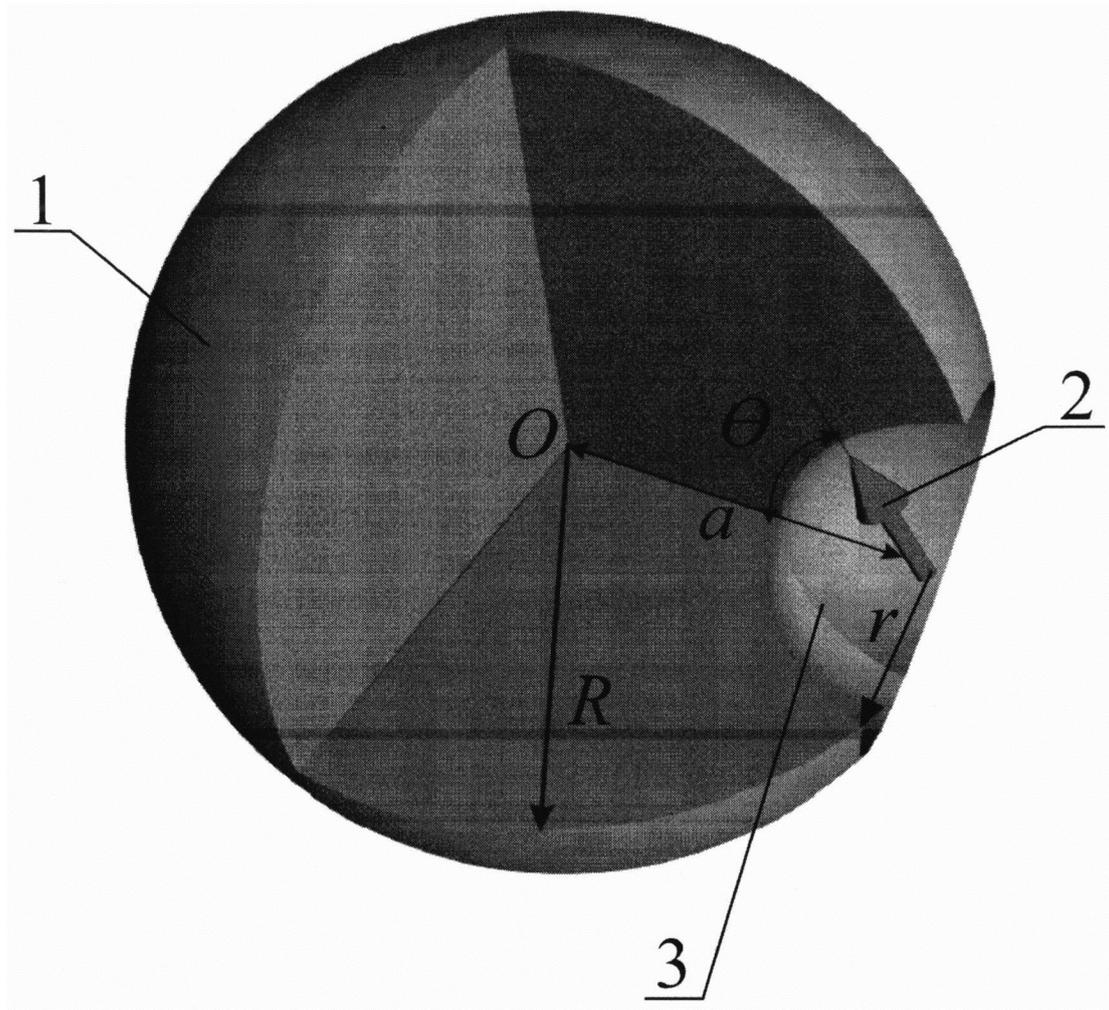
$1.5 \leq \frac{R}{r} \leq 2.5$. Технический результат

заключается в обеспечении возможности возбуждения однонаправленных мод как в диэлектрическом, так и в плазмонном волноводе с уменьшением энергетических потерь.

RU 172982 U1

RU 172982 U1

RU 172982 U1



RU 172982 U1

Оптический ответвитель относится к области физики и служит для возбуждения однонаправленных мод в диэлектрическом и плазмонном волноводах и может быть использован для создания эффективных систем управления сигналами в оптических интегральных схемах.

5 Известен ответвитель на основе плазмонной частицы (S.B. Wang, C.T. Chan, “Lateral optical force on chiral particles near a surface”, Nature Communications, vol. 5, 3307, 2014 г.). Ответвитель представляет собой резонатор, расположенный над подложкой (металлической или диэлектрической). Резонатор выполнен из золота в виде спирали с периодом 300 нм и радиусом витка 150 нм. При падении на данную спираль плоской
10 линейно поляризованной волны возбуждаются однонаправленные волны на подложке, причем, при изменении левой спирали на правую меняется направление возбуждающейся волны. Недостатком данной геометрии являются энергетические потери, возникающие в металлической спирали.

Наиболее близким аналогом предлагаемой полезной модели и выбранным в качестве
15 прототипа является ответвитель на основе диэлектрического рассеивателя (Francisco J. Rodríguez-Fortuño, Daniel Puerto, Amadeu Griol, Laurent Bellieres, Javier Martí, Alejandro Martínez, “Sorting linearly polarized photons with a single scatterer”, Optics Letters, vol. 39, 1394, 2014 г.). Ответвитель состоит из источника излучения и рассеивателя, выполненного
20 из диэлектрика в форме прямоугольника размером 300 на 400 нм, который крепится к волноводу. Такая прямоугольная наночастица связана с фундаментальной TE модой волновода. При падении линейной поляризованной волны в волноводе возникает волна только в одном направлении. Ответвитель работает на основе интерференции ближних
25 полей и направление возбуждающей моды зависит от угла поляризации падающей волны. Недостатками известного ответвителя является рабочая длина волны, которая лежит в инфракрасном диапазоне (длина волны излучения 1550 нм), а также то, что возбуждение однонаправленных мод возможно только для диэлектрических волноводов.

30 Задачей, на решение которой направлена данная полезная модель, является возбуждение однонаправленных мод, как в диэлектрическом, так и плазмонном волноводах в оптическом диапазоне, а также создание геометрии с более низкими энергетическими потерями.

Сущность заключается в том, что оптический ответвитель состоит из дипольного источника излучения и диэлектрической наночастицы, выполненной в виде шара радиуса R, а дипольный источник излучения размещен в выемке, выполненной на поверхности
35 наночастицы в виде полусферы радиуса r, при этом наночастица изготовлена из материала с высоким значением показателя преломления $n > 0.9\lambda/R$, где λ - длина волны излучения, которая лежит в диапазоне видимого излучения, а величина отношения $\frac{R}{r}$

40 лежит в пределах $1.5 \leq \frac{R}{r} \leq 2.5$.

Частица, выполненная из материала с высоким показателем преломления n, характеризуется серией мультипольных резонансов на длинах волн λ , сравнимых с оптическим диаметром частицы $2nR$. Добротность каждого резонанса зависит от его типа (электрический или магнитный) и от его порядка, при этом добротность выше у резонансов более высокого порядка. Так, добротность магнитного октупольного
45 резонанса выше магнитного квадрупольного в 6 раз. Расположение источника излучения внутри частицы приводит к эффективному возбуждению высших мультипольных моментов. За счет возбуждения высших мультипольных моментов поля формируется киральное ближнее электрическое поле. В свою очередь такое распределение поля

приводит к возбуждению однонаправленных мод в волноводе.

Сущность заявляемой полезной модели поясняется следующим. В качестве материальной составляющей диэлектрической наночастицы субволнового размера используются диэлектрические материалы с высоким значением показателя преломления $n > 0.9\lambda/R$. В качестве примера таких материалов можно указать кремний. При взаимодействии диэлектрической наночастицы с дипольным источником излучения в ней наводятся колеблющиеся магнитные и электрические мультипольные моменты различных порядков, которые создают рассеянное электромагнитное поле. При этом на расстояниях от наночастицы много меньших длины волны излучения (в ближней зоне) существенные значения напряженности поля имеют только затухающие электромагнитные волны (эванесцентное поле). Эффективность возбуждения определенного мультипольного момента в наночастице зависит от свойств возбуждающей его моды, а характер рассеяния наночастицей электромагнитного поля зависит от ее окружения. При несимметричном размещении дипольного источника внутри наночастицы, возбуждаются высшие мультипольные резонансы, благодаря которым вблизи наночастицы возникает ближнее киральное электрическое поле. Киральное поле появляется на частотах магнитного октупольного резонанса и магнитного квадрупольного резонанса. За счет такого распределения поля удается запустить моды как в диэлектрическом, так и в плазмонном волноводе, которые распространяются преимущественно в одном направлении. В таком режиме наночастица функционирует как ответвитель, запускающий распространение волноводных мод на частотах магнитных резонансов наночастицы. Благодаря использованию диэлектрических материалов с высоким показателем преломления, а также использованию магнитных резонансных откликов наночастицы, добротность данного оптического ответвителя значительно больше, чем у плазмонного аналога. Соотношение, накладывающее ограничение на радиус наночастицы и показатель преломления материала, из которого она изготовлена, $R = 0.9\lambda/n$ обосновывается условием возбуждения резонанса M_i , соответствующего магнитному октупольному моменту, в диэлектрической частице сферической формы и заданными значениями длин волн в рабочем спектральном диапазоне. При этом показатель преломления материала должен превышать значение $n=2$. В качестве примера такого материала можно привести кремний Si с показателем преломления $n=3.8$ на длине волны 680 нм. Условие $R = 0.9\lambda/n$, наложенное на радиус сферической наночастицы R и показатель преломления n , определяется известными решениями M_i для рассеяния электромагнитного излучения на сферической частице. Условие, накладываемое на максимальное значение расстояния между наночастицей и волноводом $d < \lambda/2$ следует из необходимости рассеяния наночастицей излучения в одну из мод волновода, нежели в окружающее пространство.

Условие $1.5 \leq \frac{R}{r} \leq 2.5$, наложенное на величину отношения радиуса наночастицы R к радиусу выемки r , определено многочисленными численными расчетами.

Сущность полезной модели поясняется на Фиг., где приведена геометрическая структура оптического ответвителя. Оптический ответвитель включает диэлектрическую наночастицу 1, выполненную в виде шара радиуса R и дипольный источник излучения 2, который размещен в выемке 3 на поверхности диэлектрической наночастицы 1. Для удобства восприятия геометрии и расположения дипольного источника излучения 2, из наночастицы 1 вырезан прямоугольный сектор. Выемка 3 имеет форму полусферы радиуса r . Дипольный источник излучения 2 расположен под углом θ и на расстоянии a от центра O наночастицы 1.

Оптический ответвитель для волновода работает следующим образом. В зависимости от длины волны излучения дипольного источника 2, который помещен внутрь выемки 3, в наночастице 1 возбуждается магнитная квадрупольная или магнитная октупольная мода. Возбуждение этих мод приводит к созданию особого ближнего электрического поля вокруг наночастицы 1, которое представляет собой киральное поле, вращающееся с частотой возбуждения. При помещении наночастицы 1 над волноводом в нем запускается однонаправленная мода. Выбор радиусов R и r определяет положение рабочей длины волны оптического ответвителя.

В качестве примера конкретной реализации предлагается оптический ответвитель, состоящий из дипольного источника излучения и наночастицы, выполненной из кристаллического кремния. В оптическом диапазоне спектра кремний имеет показатель преломления от 3.75 до 4.5. В этом случае возможные параметры системы: радиус наночастицы $R=100$ нм, радиус выемки $r=60$ нм, расстояние от центра наночастицы до расположения источника излучения $a=70$ нм. При данных параметрах конкретная реализация оптического ответвителя будет функционировать на длинах волн возбуждения октупольного ($\lambda=680$ нм) и квадрупольного магнитных ($\lambda=470$ нм) резонансов. Возбуждение однонаправленных мод в волноводе в данной реализации достигается с значительно меньшими энергетическими потерями по сравнению с аналогом.

Таким образом, заявляемая полезная модель решает задачу возбуждения однонаправленных мод как в диэлектрическом, так и в плазмонном волноводе, за счет возбуждения высших мультипольных моментов, с уменьшением энергетических потерь.

(57) Формула полезной модели

Оптический ответвитель, содержащий источник излучения и диэлектрическую наночастицу, расположенную над волноводом, отличающийся тем, что наночастица имеет форму сферы радиуса R , а дипольный источник излучения размещен в выемке, выполненной на поверхности наночастицы в виде полусферы радиуса r , при этом наночастица изготовлена из материала с высоким показателем преломления $n > 0.9\lambda/R$, где λ - длина волны излучения, которая лежит в диапазоне видимого излучения, а величина отношения $\frac{R}{r}$ лежит в пределах $1.5 \leq \frac{R}{r} \leq 2.5$.

Оптический ответвитель

