

# РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



## ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

№ 176397

### Активный оптический элемент на основе перовскита с резонансными наночастицами

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

Авторы: *Чебыкин Александр Васильевич (RU), Макаров Сергей Владимирович (RU), Тигунцева Екатерина Юрьевна (RU), Захидов Анвар Абдулахадович (RU)*

Заявка № 2017114471

Приоритет полезной модели 25 апреля 2017 г.

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации 17 января 2018 г.

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает 25 апреля 2027 г.

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев







ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
G02F 1/035 (2017.08)

(21)(22) Заявка: 2017114471, 25.04.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
25.04.2017

Дата регистрации:  
17.01.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 25.04.2017

(45) Опубликовано: 17.01.2018 Бюл. № 2

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

(72) Автор(ы):

Чебыкин Александр Васильевич (RU),  
Макаров Сергей Владимирович (RU),  
Тигунцева Екатерина Юрьевна (RU),  
Захидов Анвар Абдулахадович (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 2474009 C2, 27.01.2013. US  
8902115 B1, 02.12.2014. US 20160139476 A1,  
19.05.2016. WO 2011023946 A1, 03.03.2011.

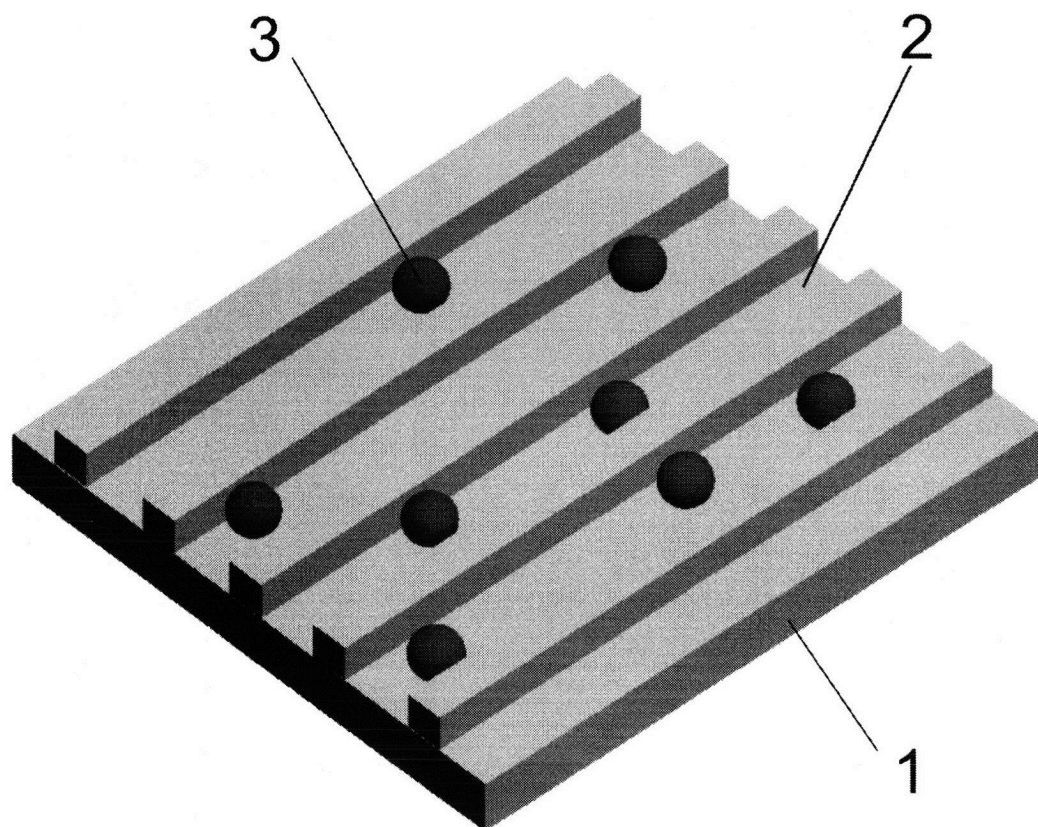
(54) Активный оптический элемент на основе перовскита с резонансными наночастицами

(57) Реферат:

Полезная модель относится к области физики и служит для достижения усиления фотолюминесценции. Активный оптический элемент на основе перовскита с резонансными наночастицами состоит из нанесённого на стеклянную подложку перовскита с наночастицами сферической формы. Наночастицы выполнены из диэлектрика с высоким показателем преломления  $n$  и размещены в

бороздах на поверхности перовскита. Борозды выполнены с периодом " $a$ ", лежащим в пределах  $\lambda > a \geq d + 50$  нм, глубиной  $h_2 \geq 2R_1$  нм и шириной " $d$ ", лежащей в пределах  $2R_1 < d \leq 2R_1 + 40$  нм, а радиус наночастиц  $R_1 = \lambda(2n) \pm 20$  нм, где  $\lambda$  - длина волны падающего излучения. Технический результат заключается в обеспечении возможности усиления фотолюминесценции в плёнке из перовскита. 1 ил.

RU 176397 U 1



RU 176397 U 1

Полезная модель относится к области физики и служит для достижения усиления фотолюминесценции. Она может быть использована для улучшения характеристик светодиодов и лазеров на основе перовскитов.

Известен активный оптический элемент из перовскита с осажденными серебряными, золотыми и алюминиевыми наночастицами [J.-Y. Wang et al., "Efficiency and stability enhancement of inverted perovskite solar cells via the addition of metal nanoparticles in the hole transport layer", *RCS Advances*, vol. 7, 12998-13002 (2017)]. Металлические наночастицы приводят к увеличению поглощения в перовските и росту эффективности солнечного элемента. Такой эффект достигается за счет возбуждения плазмонных резонансов в металлических наночастицах. Недостатком приведенного оптического элемента из перовскита является то, что он не позволяет усиливать фотолюминесценцию. Наблюдается ослабление интенсивности фотолюминесценции в 1.2, 2.3, 3.2 раза при наличии алюминиевых, золотых и серебряных наночастиц соответственно. Такой эффект достигается за счет того, что присутствующие в перовските металлические наночастицы обладают высокими потерями в оптической области спектра. Это приводит к тепловым потерям энергии и вызывает уменьшение энергии связи экситонов, что ведет к их более быстрому безызлучательному распаду и ослаблению фотолюминесценции.

Наиболее близким аналогом предлагаемой полезной модели и выбранным в качестве прототипа является активный оптический элемент из перовскита с внедренными резонансными золотыми наночастицами, покрытыми оксидом кремния [W. Zhang et al. "Enhancement of Perovskite-Based Solar Cells Employing Core-Shell Metal Nanoparticles", *NanoLetters*, vol. 13, 4505-4510 (2013)]. Прототип состоит из нанесенного на стеклянную подложку перовскита с внедренными золотыми наночастицами сферической формы, покрытыми оксидом кремния. Оксид кремния обеспечивает химическую стабильность золотых наночастиц в перовските. Недостатком известного оптического элемента из перовскита с внедренными золотыми наночастицами являются высокие потери в золоте на оптических частотах, что не позволяет достигнуть эффекта усиления фотолюминесценции.

Задачей, на решение которой направлена данная полезная модель, является усиление фотолюминесценции в пленке из перовскита.

Поставленная задача решается за счет достижения технического результата, заключающегося в повышении эффективности при использовании активного оптического элемента из перовскита в качестве активной среды в лазерах и светодиодах.

Данный технический результат достигается тем, что активный оптический элемент на основе перовскита с резонансными наночастицами состоит из нанесенного на стеклянную подложку перовскита с наночастицами сферической формы, отличается тем, что наночастицы выполнены из диэлектрика с высоким показателем преломления  $n$  и размещены в борозды на поверхности перовскита, при этом борозды выполнены с периодом " $a$ ", лежащим в пределах  $\lambda > a \geq d + 20$  нм, глубиной  $h_2 \geq 2R_1$  нм и шириной " $d$ " лежащей в пределах  $2R_1 < d < 2R_1 + 40$  нм, а радиус наночастиц  $R_1 = \lambda / (2n) \pm 20$  нм, где  $\lambda$  - длина волны падающего излучения). Такая конфигурация оптического элемента обеспечивает возбуждение магнитных дипольных резонансов в частицах и более эффективную передачу энергии в материал перовскита. При этом значительно увеличивается число электронов, переведенных в возбужденное состояние в перовските, что в итоге позволяет усилить фотолюминесценцию по сравнению с пленкой перовскита без наночастиц на поверхности, а также по сравнению с пленкой с металлическими наночастицами. Для достижения данного результата необходимо использовать диэлектрик с высоким показателем преломления  $n$  ( $n > 3$ ).

Сущность полезной модели поясняется на Фиг., где приведена геометрическая структура активного оптического элемента. Активный оптический элемент представляет собой пленку из перовскита 1 толщиной  $h_1$  нанесенную на стеклянную подложку (на фиг. не показана), с бороздами 2 на своей поверхности с периодом  $a$ , глубиной  $h_2$  и шириной  $d$ , в которых располагаются частицы сферической формы 3 с радиусом  $R_1$ . В качестве возможных материалов пленки и частиц могут использоваться органо-металлический перовскит  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  и кристаллический кремний, соответственно.

Активный оптический элемент на основе перовскита с резонансными диэлектрическими наночастицами работает следующим образом. Падающая по нормали на данную структуру электромагнитная волна возбуждает в сферических наночастицах 3, находящихся в бороздах 2 пленки 1 из перовскита магнитный дипольный резонанс. За счет этого резонанса локальное электромагнитное поле усиливается вблизи данных частиц 3. Многочисленные экспериментальные измерения показали, что при периоде "a" борозд 2, лежащем в пределах  $\lambda > a \geq d + 20$  нм, их глубине  $h_2 \geq 2R_1$  нм и ширине "d", лежащей в пределах  $2R_1 < d \leq 2R_1 + 40$  нм, и радиусе  $R_1 = \lambda / (2n) \pm 20$  нм наночастиц 3, где  $\lambda$  - длина волны падающего излучения, происходит увеличение концентрации энергии в материале пленки 1, а также усиление фотолюминесценции по сравнению с пленкой перовскита без борозд 2 и наночастиц 3 на поверхности 1, а также по сравнению с активным оптическим элементом с внедренными золотыми наночастицами, окруженными оксидом кремния, и без борозд на поверхности, в том числе по сравнению с прототипом.

В качестве материальной составляющей диэлектрических наночастиц субволнового размера на поверхности перовскита используются диэлектрические материалы с высоким значением показателя преломления  $n > 3$ . В качестве примера таких материалов можно указать кристаллический кремний. Условие выбора показателя преломления диэлектрического материала обосновывается необходимостью возбуждения в наночастице резонанса Ми в видимом диапазоне длин волн с сохранением субволнового размера частицы. При взаимодействии этих частиц с падающей электромагнитной волной возбуждается магнитный дипольный резонанс. Интенсивность электрического поля на резонансной частоте возле частиц усиливается в десятки раз. При этом в отличие от металлических частиц не происходит потери энергии на нагрев, т.к. диэлектрики обладают крайне низкими потерями в оптическом диапазоне. Наличие периодических борозд на пленке перовскита, в которых находятся данные частицы, приводит к более эффективной концентрации электромагнитного поля в материале пленки перовскита и более эффективному поглощению энергии в перовските. Более эффективная концентрация поля в перовските достигается тем, что частицы физически оказываются расположены ближе к перовскиту с трех сторон в отличие от случая без борозд, когда частицы просто находятся на поверхности. Однако, частицы должны быть расположены именно в бороздах, а не внедрены в слой перовскита, т.к. для большего усиления поля необходим больший контраст в показателях преломления частиц и окружающей среды, а перовскит обладает на оптических частотах показателем преломления около 2.5. Известно, что фотолюминесценция линейно зависит от энергии поглощенного света. Измерения показали, что интенсивность фотолюминесценции в активном оптическом элементе из перовскита усиливается в 3 раза в сравнении с интенсивностью фотолюминесценции активного оптического элемента из перовскита без наночастиц, в то время как в прототипе фотолюминесценция еще меньше.

В качестве примера конкретной реализации предлагается пленка из органо-

металлического перовскита  $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{PbI}_3$  толщиной 800 нм с расположенными на поверхности в хаотическом порядке наночастицами кристаллического кремния с радиусом  $R_1$  130 нм. Сверху на пленке имеются борозды с периодом 600 нм, глубиной 350 нм и шириной 300 нм. Данные параметры подобраны для наиболее эффективного усиления фотолюминесценции в диапазоне 700-800 нм.

(57) Формула полезной модели

Активный оптический элемент на основе перовскита с резонансными наночастицами, состоящий из нанесенного на стеклянную подложку перовскита с наночастицами сферической формы, отличающийся тем, что наночастицы выполнены из диэлектрика с высоким показателем преломления  $n$  и размещены в борозды на поверхности перовскита, при этом борозды выполнены с периодом " $a$ ", лежащим в пределах  $\lambda > a \geq d + 50$  нм, глубиной  $h_2 \geq 2R_1$  нм и шириной " $d$ ", лежащей в пределах  $2R_1 < d \leq 2R_1 + 40$  нм, а радиус наночастиц  $R_1 = \lambda / (2n) \pm 20$  нм, где  $\lambda$  - длина волны падающего излучения.

Активный оптический элемент на основе перовскита с резонансными наночастицами

