РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

# ПАТЕНТ

НА ПОЛЕЗНУЮ МОДЕЛЬ

**№ 195827**

## ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ СВЕТОДИОД НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТА С МОДИФИКАЦИЕЙ ИНТЕРФЕЙСА

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

Авторы: ***Верхоглядов Григорий Андреевич (RU), Гец Дмитрий Станиславович (RU), Захидов Анвар Абулахадович (RU), Макаров Сергей Владимирович (RU), Даниловский Эдуард Юрьевич (RU), Тигунцева Екатерина Юрьевна (RU)***

Заявка № **2019135258**

Приоритет полезной модели **01 ноября 2019 г.**

Дата государственной регистрации в Государственном реестре полезных моделей Российской Федерации **06 февраля 2020 г.**

Срок действия исключительного права на полезную модель истекает **01 ноября 2029 г.**

*Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности*

*Г.П. Ивлиев*

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

(19) RU (11) 195 827 (13) U1

(51) МПК
*H01L 33/00* (2010.01)

ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

# (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК
*H01L 33/00 (2019.08)*

(21)(22) Заявка: **2019135258, 01.11.2019**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
**01.11.2019**

Дата регистрации:
**06.02.2020**

Приоритет(ы):
(22) Дата подачи заявки: **01.11.2019**

(45) Опубликовано: **06.02.2020** Бюл. № **4**

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

(72) Автор(ы):
**Верхоглядов Григорий Андреевич (RU),**
**Гец Дмитрий Станиславович (RU),**
**Захидов Анвар Абулахадович (RU),**
**Макаров Сергей Владимирович (RU),**
**Даниловский Эдуард Юрьевич (RU),**
**Тигунцева Екатерина Юрьевна (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: **RU 188622 U1, 18.04.2019. RU 2668944 C1, 05.10.2018. RU 2590284 C1, 10.07.2016. RU 2552597 C1, 10.06.2015. CN 108336244 A, 27.07.2018.**

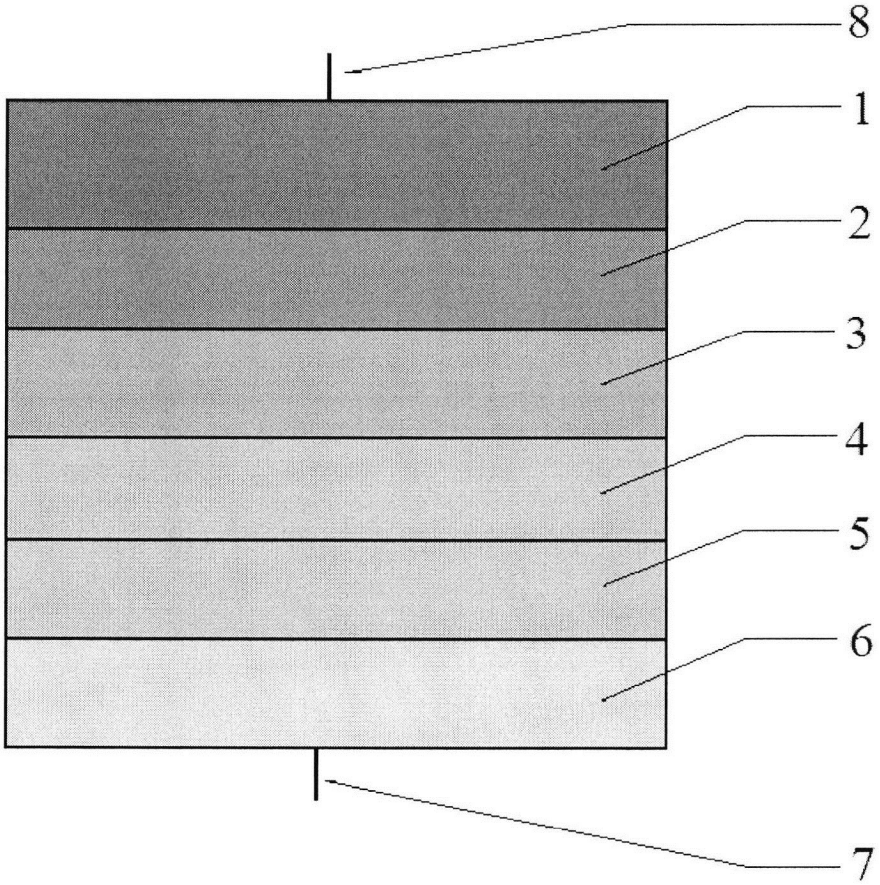
## (54) ПЕРЕСТРАИВАЕМЫЙ СВЕТОДИОД НА ОСНОВЕ ПЕРОВСКИТА С МОДИФИКАЦИЕЙ ИНТЕРФЕЙСА

(57) Реферат:

Полезная модель относится к физике и технологии полупроводниковых приборов, а именно к светоизлучающим устройствам и солнечным элементам на основе перовскита, и модель может быть использована для создания солнечных элементов, светоизлучающих диодов и светоизлучающих солнечных элементов, используемых в энергетике, промышленности и других областях. Перестраиваемый светодиод на основе перовскита с модификацией интерфейса состоит из анода, дырочного транспортного слоя, слоя перовскита с гетерогалогенидом и органическим катионом, электронного транспортного слоя, электронно инженкционного слоя и катода. Техническим результатом является упрощение структуры устройства перестраиваемого светодиода, а также возможность работы данного устройства в двух режимах - светодиода и солнечного элемента за счет использования более простого материала перовскита с гетерогалогенидом и органическим катионом. 2 ил.

RU 195827 U1

RU 195827 U1




**Фиг.** 1

RU 195827 U1

RU 195827 U1

Полезная модель относится к физике и технологии полупроводниковых приборов, а именно к светоизлучающим устройствам и солнечным элементам на основе перовскита и модель может быть использована для создания солнечных элементов, светоизлучающих диодов и светоизлучающих солнечных элементов, используемых в энергетике, промышленности и других областях.

Известно устройство «Перовскитный светодиод и метод его изготовления» (Заявка WO №2019075856 A1, МПК H01L 51/0035; H01L 51/0077; H01L 51/5012; H01L 51/5016; H01L 51/56; дата приоритета 17.10.2017, дата публикации 25.04.2019), «Perovskite light-emitting diode and manufacturing method therefor». Конструкция данного устройства представляет из себя анод, дырочный транспортный слой, перовскитный фотоактивный слой с добавлением полимера, электронный транспортный слой и катод. Все эти слои последовательно наносят на стеклянную подложку. В данной работе дефекты пленки перовскита, вызывающие закоротки нейтрализуются заполнением их полимерными материалами, такими как полиэтиленоксид (PEO) и полиимид (PIP). Однако данные полимеры являются диэлектриками, что приводит к уменьшению тока через устройство.

Известно устройство «Органический светодиод и метод его изготовления методом раствора, управляемых низким напряжением в p-i-n структуре» (Заявка CN №109585698 A, МПК H01L 51/0035; H01L 51/004; H01L 51/506; H01L 51/5076; H01L 51/56; дата приоритета 12.11.2018, дата публикации 05.04.2019), «Method for preparing low-voltage driving organic light-emitting diode in p-i-n structure by solution method». Конструкция данного устройства представляет из себя оксид индия-олова, дырочный транспортный слой, фотоактивный слой, электронный транспортный слой, электронный буферный слой и катод. Все эти слои последовательно наносятся на стеклянную подложку. В данной работе используется p-i-n структура. Ее получают в результате добавления в дырочный транспортный слой композитный материал PTAA:AgNWs, а в электронный транспортный слой добавляют квантовые точки PEI:SnS2. Подготовка и нанесение данных слоев усложняет процесс производства устройств.

Известно устройство «Органо-неорганический перовскитный светодиод и метод его изготовления» (Заявка CN №109411614 A, МПК B82Y 10/00; B82Y 30/00; H01L 51/0077; H01L 51/5024; H01L 51/56; дата приоритета 26.10.2018, дата публикации 01.03.2019), «Organic-inorganic composite perovskite light-emitting diode device and fabrication method thereof». Конструкция данного устройства представляет из себя анод, дырочный инжекционный слой, дырочный транспортный слой, перовскитный фотоактивный слой со смешанным катионом, электронный транспортный слой, слой фторида лития (LiF), и слой алюминия. Все эти слои последовательно наносятся на стеклянную подложку. В данной работе используется перовскиты с двойным катионом - метиаммониевым (MA) и фармамидиниевым (FA). Состав используемого перовскита $FA_xMA_{1-x}PbBr_3$. Варьируя количество MA и FA можно управлять шириной запрещенной зоны. Однако в данном устройстве невозможно управлять инжекцией электронов в фотоактивный слой после изготовления устройства и разница между крайними значениями ширины запрещенной зоны около 0.04 эВ, что является достаточно малой величиной.

Известно устройство «Перовскитный светодиод с модификацией интерфейса и метод его изготовления» (Заявка CN №108336244 A, МПК H01L 51/5237; H01L 51/56; дата приоритета 05.02.2018, дата публикации 27.07.2018), принятое за прототип. Конструкция данного устройства представляет из себя анод, дырочный транспортный слой, перовскитный фотоактивный слой, слой пентафторфенила йода, который используется для модификации интерфейса, электронный транспортный слой, электронно-инжекционный слой и катод. Все эти слои последовательно наносят на стеклянную

подложку. В данной работе используется особый слой - пентафторфенил йода (iPFB), который способен создавать диполи в слое перовскита. Однако увеличение эффективности таких устройств напрямую связаны с наличием данного слоя, что усложняет архитектуру устройства дополнительным слоем.

Техническим результатом заявляемой полезной модели является упрощение структуры устройства перестраиваемого светодиода, а также возможность работы данного устройства в двух режимах - светодиода и солнечного элемента за счет использования более простого материала перовскита с гетерогалогенидом и органическим катионом.

Сущность полезной модели заключается в том, что перестраиваемый светодиод на основе перовскита с модификацией интерфейса состоит из анода, дырочного транспортного слоя, слоя перовскита с гетерогалогенидом и органическим катионом, электронного транспортного слоя, электронно инженкционного слоя и катода.

В данной полезной модели используется архитектура устройства со слоем из перовскита, катион которого состоит из комбинации ионов и органических молекул, обладающих дипольным моментом. Перовскит обладает формулой $ABX_3$, где катион A - метиламмоний (MA), формамединиум (FA), цезий (Cs) катион B - свинец (Pb) или олово (Sn), X - анион, состоящий из комбинации галогенидов йода (I), брома (Br), хлора (O). Перовскит может обладать гетероанионом, в этом случае перовскит будет содержать комбинацию различных катионов (MA, FA, Cs) и галогенидов (I, Br, O). Органические молекулы FA и MA обладают дипольным моментом 0,21 и 2,23 Дебая соответственно. Поскольку ионы перовскита могут двигаться по кристаллической решетке перовскита под действием внешнего облучения или под действием приложенного электрического поля, то возможно их накопление на интерфейсе слоя перовскита и смежными слоями. В результате в слое перовскита образуется слой, состоящий из молекул перовскита, обладающих дипольным моментом. Наличие слоя диполей на интерфейсе перовскита с смежными слоями приводит к модификации свойств самого интерфейса перовскита.

Слой перовскита с гетерогалогенидом и органическим катионом обладает ионной проводимостью катионов и анионов. Ионная проводимость более выражена в перовскитах с гетерогалогенидом, чем с моногалогенидом. В моногалогенидных перовскитах существенна только миграция анионов. Наличие ионной проводимости у молекул и ионов катионов ($MA^+$, $FA^+$) и анионов ($I^-$, $Br^-$, $Cl^-$) перовскита позволяет им двигаться по кристаллической решетке под действием внешнего облучения или приложенного электрического поля. В перовскитном слое с гетерогалогенидом и органическим катионом ионы и молекулы перовскита двигаются к интерфейсам перовскита со смежными слоями. В результате их накопления на интерфейсах перовскита образуются обогащенные этими ионами и/или молекулами области. Поскольку в данном слое все электрические диполи молекул будут сонаправлены, это приведет к возникновению встроенного электрического поля на границе раздела перовскита и других слоев.

Благодаря этой модификации границы слоя улучшаются условия для инжекции зарядов внутрь слоя перовскита, а именно понижается потенциальный барьер.

Сущность заявляемой полезной модели поясняется чертежом, где на фиг. 1 представлена структура устройства, способного работать как солнечный элемент и как светодиод за счет перестроения зонной структуры, который содержит прозрачную подложку с прозрачным анодом, например оксид индия-олова (ITO) 1, над которым последовательно расположены дырочный транспортный слой 2 с проводимостью p-типа, например PEDOT:PSS, слой перовскита с гетерогалогенидом и органическим

катионом 3, электронный транспортный слой 4 с проводимостью n-типа, например $C_{60}$, дырочный блокирующий слой или электронно инжекционный слой, например LiF 5, катод, например серебро 6, а также два электрода 7 и 8.

На фиг. 2 показано перестроение зонной структуры и образование дипольного слоя 9 на интерфейсе слоя перовскита с гетерогалогенидом и органическим катионом 3 и электронного траспортного слоя 4 при миграции органических катионов к этому интерфейсу. Это перестроение происходит при выдерживании устройства под напряжением. На данном рисунке показана зонная структура до (слева) и после (справа) приложенного напряжения.

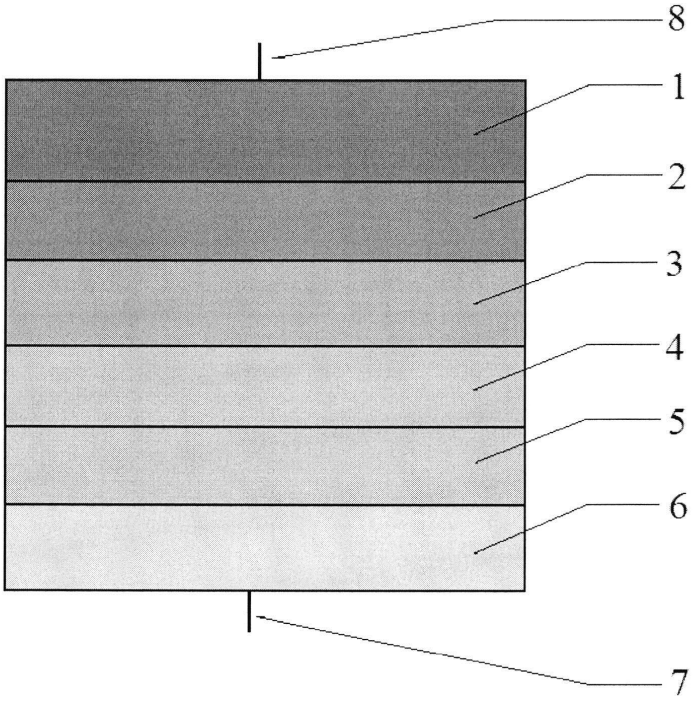
Данная полезная модель может быть реализована в перестраиваемых светодиодах. За основу берется архитектура солнечного элемента на основе перовскита со смешанным анионом и органическим катионом. Выдерживание устройства под напряжением приводит к образованию дипольного слоя на интерфейсе. Диполи создают дополнительное тянущее поле, которое улучшает инжекцию носителей заряда в перовскитный слой с гетерогалогенидом и органическим катионом, понижая потенциальный барьер на границе слоев. Это делает возможным работу устройства в качестве светодиода. То есть устройство с архитектурой солнечного элемента на основе перовскита за счет перестроения зонной структуры начинает работать как светодиод за счет собственных свойств перовскита и приложенного напряжения. Это дает возможность быть независимым от использования определенных транспортных слоев для модификации интерфейса.

Таким образом, слой перовскита с гетерогалогенидом и органическим катионом наиболее перспективным для устройств, способных работать в двух режимах - как солнечный элемент и как светодиод без дополнительных слоев, а также позволяет упростить архитектуру светодиода с модификацией интерфейса.

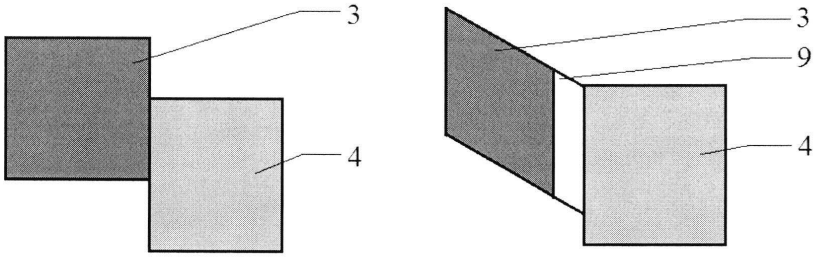
## (57) Формула полезной модели

Перестраиваемый светодиод на основе перовскита с модификацией интерфейса, состоящий из анода, дырочного транспортного слоя, слоя перовскита, электронного транспортного слоя, электронно инженкционного слоя и катода, отличающийся тем, что используют слой перовскита с гетерогалогенидом и органическим катионом.

1




**Фиг.** 1




**Фиг.** 2