



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2013119408/28, 26.04.2013

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
26.04.2013

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 26.04.2013

(45) Опубликовано: 10.09.2014 Бюл. № 25

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 8114698 B2, 14.02.2012. US 8227820 B2, 24.07.2012. US 7915622 B2, 29.03.2011. US 7956371 B2, 07.06.2011. US 2007/0166862 A1, 19.07.2007. WO 2012/024299 A1, 23.02.2012. RU 2011132814 A, 10.02.2013

Адрес для переписки:

115409, Москва, Каширское ш., 31, НИЯУ
МИФИ, ОУИС УНИ, Бейгул Г.В.

(72) Автор(ы):

**Каргин Николай Иванович (RU),
Пашков Виктор Семенович (RU),
Стриханов Михаил Николаевич (RU)**

(73) Патентообладатель(и):

**федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
"Национальный исследовательский ядерный
университет "МИФИ" (НИЯУ МИФИ) (RU)**

(54) УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫЙ СВЕТОДИОД НА НИТРИДНЫХ ГЕТЕРОСТРУКТУРАХ

(57) Реферат:

Изобретение относится к полупроводниковым нитридным наногетероструктурам и может быть использовано для изготовления светодиодов ультрафиолетового диапазона с длинами волн в диапазоне 260-380 нм. Ультрафиолетовый светодиод на нитридных гетероструктурах включает металлические электроды р-типа, нитридный слой р-типа, III-нитридную активную область, III-нитридный слой n-типа, сапфировую подложку с текстурированной полуполярной или неполярной поверхностью III-нитридного слоя. При этом текстурированная поверхность полуполярной или неполярной плоскости III-

нитридного слоя выполнена в виде щетки нанотрубок, размеры которых и расстояние между которыми сравнимы с длиной волны излучения. Изобретение позволяет увеличить внешний квантовый выход устройства за счет создания текстурированной поверхности с увеличенным выводом излучения такого типа, чтобы она позволяла выводить большой световой поток, не внося при этом нежелательную поляризацию, значительно уменьшить внутреннее отражение, улучшить эффективность рекомбинации носителей. 3 з.п. ф-лы, 1 ил.

RU
2 528 112
С 1

RU
2 528 112
С 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.
H01L 33/32 (2010.01)
B82B 1/00 (2006.01)

(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2013119408/28, 26.04.2013**(24) Effective date for property rights:
26.04.2013

Priority:

(22) Date of filing: **26.04.2013**(45) Date of publication: **10.09.2014** Bull. № 25

Mail address:

**115409, Moskva, Kashirskoe sh., 31, NIJaU MIFI,
OUI UNI, Bejgul G.V.**

(72) Inventor(s):

**Kargin Nikolaj Ivanovich (RU),
Pashkov Viktor Semenovich (RU),
Strikhanov Mikhail Nikolaevich (RU)**

(73) Proprietor(s):

**federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe
obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego
professional'nogo obrazovanija "Natsional'nyj
issledovatel'skij jadernyj universitet "MIFI"
(NIJaU MIFI) (RU)**(54) **ULTRAVIOLET NITRIDE HETEROSTRUCTURE LIGHT-EMITTING DIODE**

(57) Abstract:

FIELD: chemistry.

SUBSTANCE: ultraviolet nitride heterostructure light-emitting diode includes metal electrodes of p-type, a nitride layer of a p-type, a III-nitride active area, a III-nitride layer of an n-type, a sapphire substrate with a textured semi-polar or non-polar surface of the III-nitride layer. The textured surface of the semi-polar or non-polar plane of the III-nitride layer is made in the form of a brush of nanotubes, dimensions of which and a distance between which are comparable with a

radiation wavelength.

EFFECT: invention makes it possible to increase an external quantum output of the device due to creation of the textured surface with an increased output of radiation of such a type that it makes it possible to put out a large light flow without creation of undesirable polarisation, considerably reduce internal reflection, improve efficiency of the carrier recombination.

4 cl, 1 dwg

Изобретение относится к полупроводниковым нитридным наногетероструктурам и может быть использовано для изготовления светодиодов ультрафиолетового диапазона с длинами волн в диапазоне 260-380 нм.

5 Данное изобретение описывает структуру ультрафиолетового (УФ) чипа со структурированной поверхностью для увеличения вывода излучения. Структурирование может осуществляться путем фотолитографии с применением сухого плазмохимического травления. Результатом увеличения вывода излучения из УФ чипа является увеличение его общей эффективности (КПД).

10 Известен ряд разработок в этой области, среди которых следует отметить техническое решение, описанное в патенте США №7915622 [1]. Целью данного изобретения было создание высокоэффективной текстурированной структуры светоизлучающего диода (СИД) с коэффициентом заполнения больше единицы для достижения высокого светового выхода на полупроводниках 3-5 и 2-6 групп. Структура СИД с высоким коэффициентом заполнения включает в себя:

15 первый текстурированный слой и контактный слой, состоящий из легированных III-V или II-VI соединений полупроводников или сплава таких полупроводников, полученных осаждением методом ELOG (epitaxial lateral overgrowth) на подложке, текстурированной множеством областей, которые инициировали быстрый рост упомянутого первого текстурированного слоя и контактного слоя; текстурированный
20 нелегированный или легированный активный слой, состоящий из III-V или II-VI соединений полупроводников или сплава таких полупроводников, в котором происходит или излучательная рекомбинация электронов и дырок, или межзонные переходы; второй текстурированный слой и контактный слой, состоящий из легированных III-V или II-VI соединений полупроводников или сплава таких полупроводников.

25 Структура может включать проводящую или изолирующую подложку, III-V или II-VI соединений полупроводников или сплава таких полупроводников, выращенных на подложке с помощью какого-либо вида эпитаксии (например, МЛЭ, МOCVD), рисунок на подложке, созданный с помощью масочного или безмасочного метода
30 (фотолитография, прямое вырезание рисунка электронным или ионным лучом, СТМ, голография, наноимпринт, анодирование пористого оксида алюминия, влажное травление или другой подходящий метод). Каждый текстурированный и контактный слой, текстурированный дырочный слой, контактный слой p-типа, текстурированный p-слой могут быть в форме единого слоя, совокупности слоев или сверхрешеток. Текстурированный активный слой может быть легированной или нелегированной
35 гетероструктурой, единичной квантовой ямы или совокупности квантовых ям. Проводящая подложка может состоять из GaN, AlN, SiC, Si, GaAs, InP, ZnSe или иных металоксидных материалов. Изолирующая подложка может состоять из сапфира, AlN, GaN, ZnO или иных металоксидных материалов. Изобретение дает возможность получить СИД с трехмерным выпуклым или бороздчатым узором. Узор в виде треугольных,
40 шестиугольных, выпуклых, вогнутых или трапециевидных объектов увеличивает коэффициент заполнения СИД структуры до значения, превышающего единицу, как результат увеличения активной области светоизлучения.

В то же самое время, текстурированная поверхность уменьшает внутреннее отражение устройства и снижает глубину абсорбции полупроводников или их сплавов, вследствие
45 чего вывод света может быть значительно увеличен. Однако следует отметить, что все упомянутые выше типы текстурирования приводят к переотражению излучения, что, хотя и увеличивает вывод излучения, но приводит к его поляризации, что отрицательно сказывается на эффекте излучательной рекомбинации и снижает внутреннюю квантовую

эффективность. Поэтому следует стремиться к созданию текстурированных поверхностей, разрушающих поляризацию, каковыми являются диффузно рассеивающие поверхности.

5 Известно также нитридное светоизлучающее устройство по патенту США №7714340 [2]. Изобретение представляет собой СИД на основе полупроводниковых нитридов, который излучает вниз (bottom-emitting), с повышенным выводом света. Повышенный вывод света обеспечивается за счет отражателя, который перенаправляет вниз свет, излученный вверх, в зону выхода света. Сетчатая контактная область позволяет распределить ток через всю область инъекции носителей, не занимая всю верхнюю
10 поверхность устройства.

Известно также техническое решение, позволяющее повысить вывод излучения из чипа [3]. Исследователи сообщают, что некоторое улучшение вывода света дает утонение внешней поверхности чипа. Снижение рассеяния света по мнению исследователей может быть достигнуто за счет воздушных карманов, полученных методом PLOG слоя AlN.
15 Существенное увеличение вывода света может быть достигнуто также за счет устранения механизмов рассеяния света при совокупном эффекте сруктурирования задней поверхности и сбора направляемого излучения за счет эффекта волновода «waveguided». Направляемым излучением «waveguided light» называют световое излучение, распространяющееся вдоль плоскостей слоев (световой волновод) и выходящее через
20 край чипа, а не в нужном направлении.

Наиболее близким к заявленному изобретению является устройство по патенту США №8114698 [4]. Суть данного изобретения сводится к следующему. Заявлена конструкция и способ изготовления светодиода на базе нитридов III группы, в которой, по крайней мере, одна поверхность полуполярной или неполярной плоскости слоя III нитридного
25 полупроводника является структурированной (текстурированной) с тем, чтобы увеличить вывод излучения. Текстурирование может быть выполнено с помощью плазмохимического травления, последующей фотолитографии или нанопечати. Недостатки прототипа заключаются в том, что структурированная поверхность не позволяет полностью собрать световой поток, который распространяется вдоль
30 плоскостей слоев (световых волнопроводов), а также в том, что световое излучение выводится за счет эффектов отражения от структурированных поверхностей. Отраженное излучение всегда становится поляризованным, что весьма нежелательно при прохождении излучения через активную область, поскольку поляризованное излучение негативно влияет на эффекты рекомбинации носителей внутри активной
35 области.

Существует ряд возможностей для повышения вывода излучения. Для светодиодного чипа на базе нитридов из-за большой разницы между коэффициентами преломления GaN ($n=2.5$) и воздуха ($n=1$), пространственный угол (при вершине конуса) расхождения светового излучения составляет всего 23 градуса, что приводит к низкой эффективности
40 вывода светового излучения, составляющей 4,18%. Излучение за пределами конуса претерпевает многократные отражения и, в конечном счете, поглощается активной областью или электродами. Для уменьшения внутренних потерь света и способствования выводу света может быть использована технология текстурирования поверхности. Хотя текстурирование поверхности с помощью травления является неизменным
45 условием увеличения вывода излучения из нитридных структур световодов, все же его условием увеличения вывода излучения из нитридных структур светодиодов, все же его результат зависит от ориентации кристаллов и полярности поверхности, подвергаемой текстурированию, особенно N-поверхности с-полярного [0001] GaN.

Поэтому данная методика травления не применима для кристаллов GaN другой ориентации и полярности, включая а-поверхность (11-20), неполярную m-поверхность (1-100) и большинство неполярных поверхностей.

5 Задачей заявляемого изобретения является увеличение внешнего квантового выхода устройства за счет создания текстурированной поверхности с увеличенным выводом излучения такого типа, чтобы она позволяла выводить большой световой поток, не внося при этом нежелательную поляризацию, значительно уменьшить внутреннее отражение, улучшить эффективность рекомбинации носителей.

10 Поставленная задача создания УФ светодиода на нитридных гетероструктурах решена путем создания чипа, содержащего металлические электроды р-типа, нитридный слой р-типа, III-нитридную активную область, III-нитридный слой n-типа, сапфировую подложку с текстурированной полуполярной или неполярной поверхностью, выполненной в виде щетки нанотрубок, которые являются практически идеальным диффузором, не вносящим поляризацию в рассеиваемое излучение. Данные нанотрубки
15 могут быть выполнены как в виде наноцилиндров, так и в виде наноконусов или нанопирамид, размеры которых и расстояние между которыми сравнимы с длиной волны излучения.

УФ светодиод выполнен на основе нитридных гетероструктур, представленный на Фиг.1, где:

- 20 1, 2 - металлические электроды,
3 - нитридный слой р-типа,
4 - нитридный слой n-типа,
5 - III-нитридная активная область,
6 - текстурированная полуполярная или неполярная поверхность,
25 7 - блокирующий слой,
8 - сапфировая подложка.

30 Структура кристалла содержит металлический электрод р-типа 1, нитридный слой р-типа 3, блокирующие слои AlGaIn 7, III-нитридную активную область 5, содержащую квантовые ямы InGaIn, барьеры GaIn или AlGaIn, III-нитридный слой n-типа 4, буферный слой GaIn 7, сапфировую подложку 8 с текстурированной полуполярной или неполярной плоскостью III-нитридного слоя 9 кристалла. При этом текстурированная поверхность выполнена в виде щетки наноцилиндров или наноконусов или нанопирамид. Излучение выходит через сапфировую подложку 9.

35 Наиболее значимое преимущество данного изобретения состоит в том, что оно значительно увеличивает вывод УФ излучения, что для устройств данного типа является наиболее узким местом. Кроме того, данное изобретение позволяет более простым способом увеличивать вывод излучения по сравнению с использованием фотонного кристалла. Текстурированная поверхность имеет микронеровности конечной высоты. Микрорельеф приводит к нерегулярному рассеянию света по разным направлениям.
40 Если высота микронеровностей $h \geq 0.2\lambda$, то отражение диффузное, что справедливо в нашем случае, при $h \leq 0.003\lambda$ отражение зеркальное. Диффузное отражение света представляет собой рассеивание света во всевозможных направлениях шероховатой поверхностью, представляющей собой совокупность различным образом ориентированных площадок с размерами $\geq \lambda$, сводится к отражению света этими
45 площадками в соответствии с формулами Френеля; угловое распределение яркости и поляризации диффузно отраженного света целиком определяется характером стохастического распределения площадок по ориентациям.

Особый случай рассеяния света макроскопическими неоднородностями представляет

рассеяние шероховатыми поверхностями. При многократном рассеянии света на текстурированной шероховатой поверхности, представляющей собой щетки наноцилиндров, наноконусов, нанопирамид диффузная составляющая становится почти изотропной, а зеркальная - исчезает. В этом случае поверхность выглядит матовой.

5 Принцип действия светодиода основан на использовании явления излучательной рекомбинации. Через р-п-переход протекает прямой ток между электродами 1 и 2, при этом происходит рекомбинация носителей, то есть заполнение свободного энергетического уровня в валентной зоне электроном, находящимся в зоне проводимости, что сопровождается выделением энергии. Эта энергия выделяется в виде квантов лучистой энергии. Обычно это наблюдается в полупроводниках, представляющих собой двойные и тройные соединения. По существу светодиод - это диод полупроводникового типа-р-п-переход, и является соединением двух частей полупроводника с разными типами проводимости. Один из них обладает избытком электронов (п-тип), а второй - избытком дырок (р-тип). Если к р-части такого диода присоединить плюс источника тока, то через него пойдет ток. В светодиоде наиболее важным является процесс, происходящий при прохождении тока. В этот момент осуществляется рекомбинация носителей электрического заряда. Отрицательно заряженные электроны занимают место в положительно заряженных ионах кристаллической решетки полупроводника. И когда электрон и дырка встречаются, происходит выделение энергии, излучается фотон, квант света. Если излучение не происходит, высвобожденная энергия переходит в тепловую, нагревая вещество.

Величина энергии квантов, выделяемых при рекомбинации, зависит от разницы энергетических уровней электронов в возбужденном и нейтральных атомах, то есть от ширины запрещенной зоны. Кванты излучения распространяются во всех направлениях.

25 Конкретная реализация структуры УФ светодиода, представленная на Фиг.1, имеет следующие характеристики: площадь поверхности кристалла, от 0.13 до 2 мм², диапазоны длин волн: 1. 280±20 нм, 2. 360±20 нм, рабочее напряжение от 5,5 до 12 В, рабочий ток от 20 до 500 мА, мощность излучения: 1.4, 8.6 мВт, срок службы: 700-1000 часов.

30 Данное изобретение является универсальным, поскольку применимо к различным структурам чипов независимо от их кристаллических структур.

Источники информации

1. Патент США №7915622.
2. Патент США №7714340.
- 35 3. Lateral conduction, substrate-free deep UV nitride semiconductor LEDs Vol.6 - Issue 3 - April/May 2011 (Seongmo Hwang et al., Appl. Phys. Express), vol. 4, p 032102, 2011.
4. Патент США №8114698 - прототип.

Формула изобретения

40 1. Ультрафиолетовый светодиод на нитридных гетероструктурах, включающий металлические электроды р-типа, нитридный слой р-типа, III-нитридную активную область, III-нитридный слой п-типа, сапфировую подложку с текстурированной полуполярной или неполярной поверхностью III-нитридного слоя, отличающийся тем, что текстурированная полуполярная или неполярная поверхность III-нитридного слоя выполнена в виде щетки нанотрубок, размеры которых и расстояние между которыми сравнимы с длиной волны излучения.

2. Ультрафиолетовый светодиод по п.1, отличающийся тем, что нанотрубки выполнены в виде наноцилиндров.

3. Ультрафиолетовый светодиод по п.1, отличающийся тем, что нанотрубки выполнены в виде наноконусов.

4. Ультрафиолетовый светодиод по п.1, отличающийся тем, что нанотрубки выполнены в виде нанопирамид.

5

10

15

20

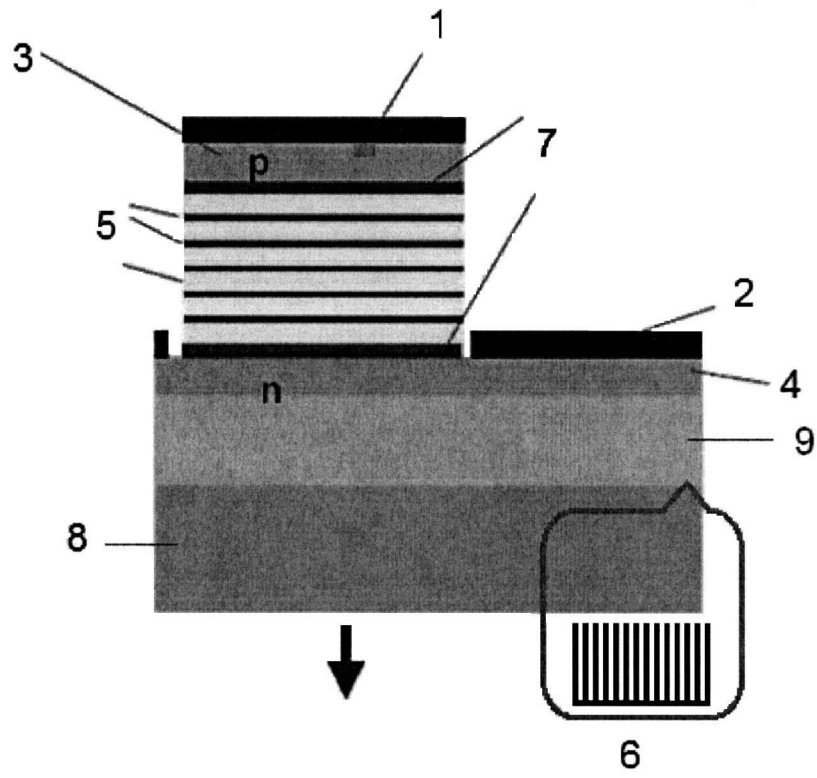
25

30

35

40

45



Фиг.1