



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(52) СПК

H01L 33/02 (2018.01); H01L 33/50 (2018.01)

(21) (22) Заявка: 2015134352, 02.01.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
02.01.2014

Дата регистрации:
06.05.2019

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
16.01.2013 US 61/753,175;
05.06.2013 US 61/831,244

(43) Дата публикации заявки: 21.02.2017 Бюл. № 6

(45) Опубликовано: 06.05.2019 Бюл. № 13

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на
национальной фазе: 17.08.2015

(86) Заявка РСТ:
IB 2014/058016 (02.01.2014)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2014/111822 (24.07.2014)

Адрес для переписки:
129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, стр. 3, ООО
"Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

ДЕНИ Грегуар Франсуа Флоран (NL)

(73) Патентообладатель(и):

Люмиледс Холдинг Б.В. , NL (NL)

(56) Список документов, цитированных в отчете
о поиске: WO 0137351 A1, 25.05.2011. CN
0101090143 A, 19.12.2007. WO 2011126000 A1,
13.10.2011. CN 102656713 A, 05.09.2012. RU
2202843 C2, 20.04.2003.

(54) СИД, ИСПОЛЬЗУЮЩИЙ ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ САПФИР В КАЧЕСТВЕ ПОНИЖАЮЩЕГО
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

(57) Реферат:

Светоизлучающее устройство согласно изобретению содержит полупроводниковые слои светоизлучающего диода (СИД), содержащие слой N-типа, активный слой, излучающий первичный свет, и слой P-типа; и люминесцентный сапфир, присоединенный к полупроводниковым слоям, причем полупроводниковые слои СИД и люминесцентный сапфир являются частью кристалла СИД, при этом люминесцентный сапфир содержит кислородные вакансии, которые приводят к образованию центров F-типа,

имеющих заданные оптические полосы поглощения и излучения люминесценции; люминесцентный сапфир, поглощающий часть первичного света и преобразующий с понижением первичный свет для излучения вторичного света через центры F-типа таким образом, чтобы излучение из кристалла СИД включало в себя, по меньшей мере, комбинацию из первичного света и вторичного света. Также предложен способ изготовления светоизлучающего устройства. Изобретение обеспечивает понижение

стоимости, более высокую эффективность преобразования и более высокую надежность. 2

н. и 13 з.п. ф-лы, 11 ил.

R U 2 6 8 6 8 6 2 C 2

R U 2 6 8 6 8 6 2 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY
(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(19) **RU** (11)**2 686 862**⁽¹³⁾ **C2**

(51) Int. Cl.

H01L 33/02 (2010.01)*H01L 33/50* (2010.01)

(52) CPC

H01L 33/02 (2018.01); *H01L 33/50* (2018.01)(21) (22) Application: **2015134352**, 02.01.2014(24) Effective date for property rights:
02.01.2014Registration date:
06.05.2019

Priority:

(30) Convention priority:
16.01.2013 US 61/753,175;
05.06.2013 US 61/831,244(43) Application published: **21.02.2017** Bull. № 6(45) Date of publication: **06.05.2019** Bull. № 13(85) Commencement of national phase: **17.08.2015**(86) PCT application:
IB 2014/058016 (02.01.2014)(87) PCT publication:
WO 2014/111822 (24.07.2014)

Mail address:

129090, Moskva, ul. B. Spasskaya, 25, str. 3, OOO
"Yuridicheskaya firma Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):

DENI Greguar Fransua Floran (NL)

(73) Proprietor(s):

Lyumileds Kholding B.V., NL (NL)(54) **LED USING LUMINESCENT SAPPHIRE AS THE LOWER-RETURN TRANSVERSER**

(57) Abstract:

FIELD: lighting devices.

SUBSTANCE: light-emitting device according to the invention comprises semiconductor layers of a light-emitting diode (LED) comprising an N-type layer, an active layer, emitting primary light, and P-type layer; and luminescent sapphire connected to semiconductor layers, wherein LED semiconductor layers and luminescent sapphire are part of LED chip, wherein luminescent sapphire contains oxygen vacancies, which lead to formation of F-type centers having given optical absorption and emission luminescence bands;

luminescent sapphire, absorbing part of primary light and converting with decreasing primary light for emission of secondary light through centers of F-type so that radiation from LED crystal included at least combination of primary light and secondary light. Method of manufacturing the light-emitting device is also proposed.

EFFECT: invention provides cost reduction, higher conversion efficiency and higher reliability.

15 cl, 11 dwg

ПЕРЕКРЕСТНАЯ ССЫЛКА НА РОДСТВЕННЫЕ ЗАЯВКИ

Настоящая заявка относится к и испрашивает приоритет предварительной заявки США No. 61/753,175, поданной 16 января 2013 года автором настоящего изобретения, принадлежащей правопреемнику настоящего изобретения и включенной в описание

5 настоящей заявки путем ссылки.

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

Это изобретение относится к преобразованию длин волн светоизлучающих диодов (СИД) и, в частности, к использованию люминесцентного сапфира в качестве материала для преобразования длины волны, интегрированного в кристалл СИД.

10 УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Люминофор-преобразующие СИД (pcСИД) в настоящее время работают в широком диапазоне применений, например, для СИД белого свечения, СИД желтого свечения и т.д. Люминофор-преобразующие СИД содержат активный первичный источник света на основе СИД (типично p-n-переход на основе III-нитрида, излучающий синий свет)

15 и пассивный вторичный источник света (люминофор), который поглощает часть первичного света и преобразует с понижением его до вторичного света с более низкой энергией. Комбинация синего света, пропускаемого через слой люминофора и вторичный свет, могут производить широкий диапазон цветов. Многочисленные люминофоры можно использовать внесения различных длин волн. Вторичный источник света

20 необязательно является люминофором, но может представлять собой, например, слой квантовых точек, поэтому мы можем описать такие СИД в более общем смысле как СИД с понижающим преобразованием (dcСИД).

Первые СИД белого свечения содержали синие первичные источники света (кристалл СИД на основе соединений InGaN/GaN), имеющий люминофорное покрытие, излучающее

25 зеленый свет ($Y_3Al_5O_{12}:Ce$ (YAG)). Активатор Ce люминофора YAG поглощает часть синего первичного света и излучает излучение в широком спектре с центральной длиной волны зеленого света. Таким образом, полученный в результате спектр излучения СИД представляет собой комбинацию синего и зеленого света, проявляющуюся в виде белого света. В настоящее время современные СИД используют комбинацию многочисленных

30 люминофоров с широким диапазоном возможностей по излучению. Типичные СИД теплого белого свечения содержат люминофор, излучающий по меньшей мере один зеленый свет и один красный свет.

Слой люминофора можно сформировать многими способами, такими как смешивание порошка люминофора в прозрачном связующем веществе (например, в силиконе,

35 стекле, эпоксидной смоле) и осаждение смеси сверху кристалла СИД синего свечения, или присоединение предварительно сформированной плитки люминофора к кристаллу СИД с прозрачным адгезивом (например, силиконом), или осаждение люминофора на кристалл СИД с использованием электрофореза. Предварительно сформированную

40 плитку люминофора обычно изготавливают путем спекания порошка люминофора под давлением.

Известен также способ, по которому встраивают люминофор в твердую прозрачную матрицу (например, стекло), чтобы создать люминесцентную подложку, затем осаждают затравочный слой на подложку и затем эпитаксиально выращивают слои СИД поверх затравочного слоя.

45 Некоторые недостатки вышеупомянутых pcСИД включают в себя следующее.

Слой люминофора, покрывающий кристалл СИД синего свечения, вызывает рассеяние первичного света и, таким образом, уменьшает эффективность преобразования.

Прозрачные связующие вещества для создания смеси люминофоров и адгезива,

которые используются для присоединения плитки люминофора к кристаллу СИД, имеют большие недостатки, например, имеют коэффициент преломления ниже, чем у III-нитрида и люминофоров, который уменьшает эффективность преобразования, и их теплопроводность является низкой, что уменьшает эффективность и надежность СИД.

Подложки, в которые внедрен люминофор, являются не полноценными подложками для эпитаксиального выращивания соединений на основе III-нитридов из-за несоответствий решетки и различных коэффициентов теплового расширения (СТЕ). Выращивание на этих подложках требует осаждения затравочного слоя, что может понизить качество и рабочие характеристики соединения и повысить его стоимость.

По-прежнему остаются несоответствия СТЕ.

Интенсивности и длины волны вышеупомянутых вторичных источников света нельзя настроить сразу после интеграции в СИД. Это может привести к большому разбросу по цвету внутри полученных СИД. СИД, не удовлетворяющие критериям целевого цвета, приводит к уменьшению выхода годной продукции и повышению общей

стоимости СИД.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

В соответствии с настоящим изобретением люминесцентный материал на основе сапфира используется в качестве единственного понижающего преобразователя для первичного света СИД или используется совместно с другими материалами для

понижающего преобразования, такими как люминофор или квантовые точки. Люминесцентный сапфир может находиться в виде порошка или осаждаться на кристалл СИД или может образовывать подложку для выращивания эпитаксиальных слоев СИД.

Люминесцентный сапфир является совершенно прозрачным и не рассеивает свет, проходящий через него. Поэтому замена, частичная или полная, люминофора на люминесцентный сапфир, позволяет увеличить рабочие характеристики СИД.

Сапфир представляет собой также широко распространенный материал подложки для выращивания, который используется для СИД синего свечения на основе III-нитрида. Поэтому высокоэффективный р-п-переход можно вырастить с использованием подложки для выращивания люминесцентного сапфира без значительных изменений в процессе эпитаксиального выращивания. В одном варианте осуществления, так как высокая температура эпитаксиального выращивания разрушает желательные свойства люминесценции сапфира, последующий этап отжига при более низкой температуре используется для повторной активации центров люминесценции в сапфире.

Наличие р-п-перехода, непосредственно выращенного на люминесцентном сапфире, устраняет необходимость в каких-либо связующих веществах или адгезивах, которые традиционно используются для выполнения слоя люминофора поверх кристалла СИД. Это может привести к пониженной стоимости, более высокой эффективности преобразования и более высокой надежности СИД.

В одном варианте осуществления СИД представляет собой перевернутый кристалл, который вырабатывает первичный синий свет, и подложка для выращивания люминесцентного сапфира вырабатывает зеленый вторичный свет. Синий свет, не преобразованный в зеленый свет с помощью подложки, проходит через прозрачную подложку.

Общий цвет СИД, содержащего люминесцентный сапфир, можно настроить даже после встраивания люминесцентного сапфира в кристалл СИД. Это можно сделать путем модификации оптических свойств сапфира, с использованием лазера и/или тепла таким образом, чтобы, окончательный СИД соответствовал требуемым критериям

для цвета.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Фиг. 1 – таблица, показывающая некоторые из различных возможных F-центров в люминесцентном сапфире вместе с их длинами волн поглощения (в нм) и их длинами волн излучения.

Фиг. 2 – график, показывающий как уменьшается флуоресценция некоторого F-центра в люминесцентном сапфире во время отжига выше 600°C.

Фиг. 3 – график, показывающий как увеличивается поглощение (и создание) некоторых F-центров в люминесцентном сапфире в зависимости от времени во время отжига при температуре 500°C.

Фиг. 4 – график, показывающий поглощение различных F-центров в люминесцентном сапфире во всем диапазоне длин волны, при этом график увеличен для длин волн между 300-700 нм.

Фиг. 5 – блок-схема последовательности операций различных этапов, используемых для формирования dcСИД с люминесцентным сапфиром в соответствии с первым вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 6 – вид в разрезе перевернутого кристалла СИД с покрытием из смеси люминесцентного сапфира поверх кристалла СИД в соответствии с первым вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 7 иллюстрирует то, как оптические свойства люминесцентного сапфира (фиг. 6) могут изменяться после интеграции с СИД для цветового сдвига излучения СИД в целевой зоне цветов.

Фиг. 8 – вид в разрезе перевернутого кристалла СИД с предварительно сформированной плиткой люминесцентного сапфира, присоединенной поверх кристалла СИД, в соответствии со вторым вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 9 – блок-схема последовательности операций различных этапов, которая используется для формирования dcСИД с помощью люминесцентного сапфира в соответствии со вторым вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 10 – вид в разрезе перевернутого кристалла СИД с его эпитаксиальными слоями, выращенными поверх подложки для выращивания люминесцентного сапфира, в соответствии с третьим вариантом осуществления изобретения.

Фиг. 11 – блок-схема последовательности операций различных этапов, которые используются для формирования dcСИД с помощью люминесцентного сапфира в соответствии с третьим вариантом осуществления изобретения.

Элементы, которые являются одинаковыми или аналогичными, обозначены одинаковыми ссылочными позициями.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

ОПИСАНИЕ ЛЮМИНЕСЦЕНТНОГО САПФИРА

В данном документе сапфир относится к корунду (оксиду алюминия) в форме монокристалла. Основной химический состав - Al_2O_3 . Сапфир может содержать другие элементы в виде легирующих веществ и примесей, но по-прежнему будет рассматриваться как сапфир. Монокристаллы сапфира обычно выращиваются с использованием вариации процесса Чохральского.

Термин "люминесцентный сапфир", который используется в данном описании, относится к сапфиру, проявляющему люминесценцию, соответствующую по меньшей мере ее центрам F₂-типа, описанным ниже.

Центры F-типа представляют собой цветовые центры люминесцентного сапфира. Центры F-типа определены здесь как разные химические изменения одиночной вакансии

кислорода внутри решетки сапфира. Такие кислородные вакансии типично создаются путем использования сильно восстановительной атмосферы во время выращивания кристалла сапфира или последующего отжига. Сапфиры, содержащие высокую концентрацию центров F-типа, обычно упоминаются как $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ или сапфир TCR (термохимически уменьшенный).

Наиболее распространенные изменения центров F-типа представлены ниже:

F-центр – кислородная вакансия, которая захватила два электрона.

F^+ -центр – кислородная вакансия, которая захватила один электрон.

$\text{F}(\text{Mg})$ -центр – F-центр с присутствием одного или нескольких катионов Mg, окружающих его.

$\text{F}^+(\text{Mg})$ -центр – F^+ -центр с присутствием одного или нескольких катионов Mg, окружающих его.

Присутствие катионов Mg, окружающих центры F-типа, приводит к сдвигу поглощения и излучения.

Центры, идентифицированные выше, главным образом, идентифицируются своими оптическими полосами поглощения и излучения люминесценции, как представлено в таблице, показанной на фиг. 1. На фиг. 1 показаны оптические сигнатуры известных центров F и F_2 -типа в люминесцентном сапфире.

Мы задаем центры F_2 -типа как разные комбинации двух агрегированных центров F-типа. Хорошо описанные в литературе изменения центров F_2 -типа представляют собой следующее:

F_2 -центр – кластер двух F-центров.

F_2^+ -центр – кластер одного F^+ и одного F-центра.

$\text{F}_2^+(2\text{Mg})$ -центр – кластер одного F_2^+ -центра с присутствием двух катионов Mg, окружающих его.

F_2^{2+} -центр – кластер двух F^+ -центров.

$\text{F}_2^{2+}(2\text{Mg})$ -центр – кластер одного F_2^{2+} -центра с присутствием двух катионов Mg, окружающих его.

Некоторые центры F_2 -типа люминесцируют (излучают) в видимом участке спектра (в том числе зеленом), поэтому наиболее всего относятся к настоящему изобретению.

Положение кислородных вакансий по отношению друг к другу идентифицируется анизотропией оптических полос поглощения, показанных на фиг. 1. Присутствие катионов Mg, окружающих центры F_2 -типа, приводят к сдвигу поглощения и излучения. Кроме того, различные комбинации различных центров F_2 -типа могут существовать в сапфире и будут создавать немного отличающиеся оптические признаки сапфира.

Термическая обработка сапфира используется для создания люминесцентного сапфира. Эта термическая обработка упоминается как активация сапфира. Эта обработка создает агрегацию центров F-типа для формирования центров F_2 -типа, тем самым создавая люминесцентный сапфир, используемый в настоящем изобретении.

Оптическая обработка используется для настройки излучения люминесцентного сапфира. Она упоминается как приведение к требуемым свойствам сапфира. Эта обработка модифицирует концентрации различных центров F_2 -типа.

Соответственно, различные варианты осуществления dcСИД, описанные ниже, с

использованием люминесцентного сапфира, позволяет настроить излучение большого разнообразия цветов путем подходящей активации и приведения к требуемым свойствам сапфира.

Создание и разрушение центров F_2 -типа в сапфире термически активируется. На фиг.

2 показан график температурной стабильности излучения на длине волны 750 нм люминесцентного сапфира (вторичный свет) при лазерном возбуждении на длине волны 650 нм (первичный свет). На фиг. 2 показано, что флуоресценция (интенсивность люминесценции) центров F_2 -типа, которые излучают на длине волны 750 нм (смотри

фиг. 1, где $F_2^+(2Mg)$ центр имеет излучение на длине волны 750 нм) быстро снижается после отжига выше приблизительно 600°C . Хотя конкретная длина волны флуоресценции и длина волны возбуждения (фиг. 2) обычно не используется в вариантах осуществления СИД, на фиг. 2 показано то, как высокие температуры обычно влияют на оптические свойства люминесцентного сапфира.

На фиг. 3 показан график коэффициента поглощения полос 4,8 эВ и 2,87 эВ в зависимости от времени изотермического отжига при 773К (500°C). Полосы 4,8 эВ и 2,87 эВ имеют более короткие длины волн по сравнению с теми, которые типично используются в СИД. На фиг. 3 показано увеличение концентрации центров F_2 -типа во время отжига при температуре 500°C , что коррелирует с увеличением на графике коэффициента поглощения F_2^{2+} . На фиг. 3 также показано одновременное уменьшение коэффициента поглощения F^+ в зависимости от времени отжига.

Как показано на фиг. 2 и 3, разрушение центров F_2 -типа начинается при температуре приблизительно 600°C , тогда как их населенность можно увеличить за счет длительного отжига сапфира при температуре 500°C . Во время отжига при температуре 500°C , F^+ -центры скапливаются с образованием F_2^{2+} -центров. Когда время отжига увеличивается, коэффициент поглощения F_2^{2+} -центра увеличивается, тогда как

коэффициент поглощения F^+ центра уменьшается. Коэффициент поглощения коррелирует с населенностью связанных центров. Такой этап агрегации (использующий тепло) упоминается в данном документе как активация сапфира.

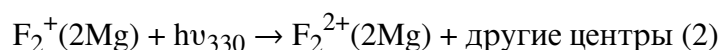
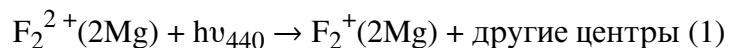
Фиг. 2 и 3 были взяты из статей: Ramirez, R. et al, Photochromism of vacancy-related defects in thermochemically reduced $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3\text{:Mg}$ single crystals, Applied Physics Letters, AIP, 2005, 86, 081914; и Ramirez, R. et al., Optical properties of vacancies in thermochemically reduced Mg-doped sapphire single crystals, Journal of Applied Physics, AIP, 2007, 101, 123520, каждая из которых включена сюда путем ссылки.

Как сообщается в статьях, роль Mg состоит в том, чтобы способствовать агрегации центров F_2 -типа. Такой сапфир упоминается также как $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C,Mg}$. Сапфир можно вырастить с использованием известных способов, чтобы иметь состав $\text{Al}_2\text{O}_3\text{:C,Mg}$.

Одним из свойств центров F_2 -типа в сапфире, о которых сообщается в статьях, является фотохромное преобразование при достаточных потоках излучения фотонов. Сообщается, что возбуждение люминесцентного сапфира лазерным излучением с высокой пиковой мощностью на длине волны 440 нм позволяет уменьшить концентрацию $F_2^{2+}(2Mg)$ -центров, поглощающих синий свет/излучающих зеленый свет, и увеличить концентрацию $F_2^+(2Mg)$ -центров (уравнение 1, приведенное ниже). Это

представляет собой оптическую обработку сапфира, которая позволяет дополнительно настроить его флуоресцентные свойства. Концентрации других центров одновременно изменяются таким образом, чтобы соблюдался баланс зарядов. Сообщается также, что концентрацию $F_2^{2+}(2Mg)$ -центров можно увеличить путем возбуждения люминесцентного сапфира лазерным излучением с высокой пиковой мощностью на длине волны 330 нм (уравнение 2).

Такая настройка концентраций центров F_2 -типа путем оптической обработки определена в данном документе как приведение к требуемым свойствам сапфира.



Свойства фотохромизма сапфира не ограничиваются возбуждением на длинах волн 440 нм и 330 нм. Можно использовать и другие длины волны, предпочтительно в полосах поглощения центров F_2 -типа. Базовый "процесс двухфотонного поглощения", управляющий свойствами фотохромизма, хорошо описан в литературе и не нуждается здесь в дополнительном описании.

В одном варианте осуществления сапфир подвергается (тепловой) активации и (оптическому) приведению к требуемым свойствам с целью поглощения некоторой части синего первичного света, который вырабатывается с помощью р-п-перехода СИД, и излучения зеленого вторичного света. Точные активация и приведение к требуемым свойствам зависят от пиковой длины волны первичного света, толщины/плотности сапфира, целевой цветовой точки и других факторов. Требуемые активацию и приведение к требуемым свойствам для достижения целевого цвета можно определить опытным путем для конкретного применения. Затем, чтобы создать белый свет, поверх СИД добавляется красный люминофор.

На фиг. 4 показан график поглощения в зависимости от длины волны для F^- , F^+ и $F_2^{+}(2Mg)$ -центров для $Al_2O_3:C,Mg$ и $Al_2O_3:C$. Вставка является увеличенным видом для длин волн 300-700 нм. Кривая 20 приведена для сапфира, "отбеленного" лазерным излучением на длине волны 435 нм (приведение к требуемым свойствам сапфира), и кривая 22 приведена для сапфира, "как выращенного" или отожженного. Фиг. 4 была взята из следующих статей: Akselrod, M. S. et al, New aluminum oxide single crystals for volumetric optical data storage, Optical Data Storage 2003, Optical data storage, SPIE, 2003, 5069, 244-251; и Akselrod, M. S. et al., Fluorescent aluminum oxide crystals for volumetric optical data storage and imaging applications, J. Fluoresc, 2003, 13, 503-511, каждая из которых включена сюда путем ссылки.

Особенный интерес представляет собой диапазон длин волн приблизительно 450-650 нм, который обычно включает в себя диапазон синей – красной части спектра.

Хотя свойства, создание и регулировка люминесцентного сапфира являются также известными, изобретателю не известно о какой-либо интеграции люминесцентного сапфира в кристалл СИД для понижающего преобразования.

Эффективность (СЕ) преобразования представляет собой световой поток (lm), излучаемый СИД (в том числе свет, преобразованный с понижением) на количество света первичного источника. СЕ является хорошей мерой эффективности вторичного источника (люминесцентного материала) и его интеграции в СИД. В следующих вариантах осуществления, используя люминесцентный сапфир в качестве понижающего преобразователя, СЕ результирующего СИД повышается в зависимости от СЕ рсСИД.

ВАРИАНТ 1 ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

В первом варианте осуществления люминесцентный сапфир используется в виде порошка вместо или в дополнение к порошку люминофора. Пример этого первого варианта осуществления представлен на фиг. 5 и 6.

На начальной стадии выращивается люминесцентный сапфир больших размеров ($\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}, \text{Mg}$ или $\text{Al}_2\text{O}_3:\text{C}$ в зависимости от длины волны, представляющей интерес) с использованием традиционных технологий, и затем сапфир активируется и приводится к требуемым свойствам, как описано выше и в соответствии с известными технологиями, чтобы иметь желаемое поглощение света и свойства излучения для конкретного применения (например, кристалл СИД и целевой цвет). Эмпирическое тестирование можно выполнить для достижения целевого поглощения и свойств излучения. Целевая длина волны поглощения будет представлять собой пиковое излучение на длине волны действующего р-п-перехода СИД (активного слоя), который используется и будет обычно находиться в видимом синем диапазоне длин волн. В одном варианте осуществления излучение люминесцентного сапфира является зеленым при возбуждении синим светом СИД. Соответственно, добавление слоя красного люминофора позволит получить теплый белый свет.

На этапе 24, показанном на фиг. 5, кристалл люминесцентного сапфира подвергается процессу измельчения и просеивания до желаемого диапазона размера частиц.

Приемлемым диапазоном распределения D50 частиц по размеру является 10-50 мкм. Распределение D50 частиц по размеру также известно в качестве среднего диаметра распределения частиц по размерам и представляет собой значение диаметра частиц на уровне 50% в распределении кумулятивных вероятностей.

На этапе 26 порошок люминесцентного сапфира внедряется в прозрачную матрицу (такую как силикон), с помощью соответствующих и дополнительных добавок, и смешивается до образования однородной массы. Выбранные добавки зависят от применения и могут включать в себя порошки люминофора, диспергирующие добавки и т.д.

На этапе 28 смесь интегрируется в СИД таким образом, чтобы она могла поглощать первичный свет и преобразовывать с понижением в желаемый вторичный свет.

Например, смесь можно интегрировать путем наслоения (например, формирования предварительно сформированного листа или плитки и присоединения его или ее поверх пластины СИД или кристалла), накладное формование (например, размещения кристаллов СИД на пластине в отдельных углублениях формы, заполненных смесью, и дальнейшее отверждение смеси) или нанесения смеси методом распыления на по меньшей мере одну верхнюю поверхность кристалла СИД. Результатом является dcСИД, характеризующийся определенной цветовой точкой. dcСИД может или не может включать в себя люминофор в смеси или в виде отдельного слоя.

На фиг. 6 показан вид в разрезе одного типа СИД (с перевернутым кристаллом) со смесью люминесцентного сапфира, осажденного на поверхность полупроводника СИД в виде слоя 30 люминесцентного сапфира и отвержденного. Можно использовать другие типы СИД, такие как вертикальные СИД, боковые СИД и т.д. В примере, слой 32 N-типа эпитаксиально выращивается на подложке для выращивания сапфира (которая затем удаляется посредством лазерного отрыва), активный слой 34 эпитаксиально выращивается поверх слоя 32 N-типа, и слой 36 P-типа эпитаксиально выращивается поверх активного слоя 34. Слои 34 и 36 травятся для открытия слоя 32 N-типа, и металлические контакты 38 и 40 осаждаются для обеспечения электрического контакта слоя 36 р-типа и слоя 32 N-типа, соответственно. Затем кристалл СИД устанавливается

на кристаллодержателе 42 или другой подложке. Кристаллодержатель 42 имеет металлические контактные площадки, которые непосредственно соединены с металлическими контактами 38 и 40, и контактные площадки в конечном счете электрически подсоединяются к источнику питания.

5 Открытую поверхность слоя 32 N-типа можно сделать шероховатой для того, чтобы улучшить выход света перед осаждением слоя 30 люминесцентного сапфира.

В СИД уровня техники, использующих только люминофор для понижающего преобразования, если не достигнута целевая цветовая точка, СИД либо отбраковывают, либо переводят в более низкую категорию с понижением качества СИД. Это приводит к увеличению общей стоимости изготовления СИД.

Однако, используя слой 30 люминесцентного сапфира, лежащего над слоем 32 N-типа, цветовую точку dcСИД можно регулировать после возбуждения и тестирования dcСИД, когда он соединен с кристаллодержателем 42, или когда он имеет форму пластины и затем испытывается. Тестирование можно также выполнить с использованием внешнего возбуждающего источника света. Регулировку цветовой точки можно выполнить путем приведения к требуемым свойствам сапфира (этап 46), где фотохромные свойства слоя 30 люминесцентного сапфира регулируются с использованием лазера с высокой пиковой мощностью для создания цветового сдвига. Дополнительные подробности будут представлены ниже. Эта регулировка после интеграции позволяет увеличить выход годной продукции dcСИД (и тем самым уменьшить стоимость изготовления) и повысить управление цветовой точкой.

Наконец, другую дополнительную оптику, такую как прозрачная купольная линза (не показана), можно разместить и сформировать поверх dcСИД для того, чтобы повысить выход света dcСИД.

25 Если вышеупомянутый процесс выполнялся в масштабе пластины, то кристаллы/кристаллодержатели СИД были разделены.

Между полупроводниковыми слоями СИД и слоем 30 люминесцентного сапфира может существовать один или более других слоев.

ПРАКТИЧЕСКИЙ ПРИМЕР ВАРИАНТА 1 ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

30 Люминесцентный сапфир с высоким содержанием $F_2^{2+}(2Mg)$ -центров, поглощающих синий свет/излучающих зеленый свет, измельчается и просеивается до размера частиц в диапазоне 20 - 40 мкм. Порошок смешивается с силиконом и красным люминофором в такой пропорции, которая позволяет получить результирующую цветовую точку dcСИД, равную цветовой температуре теплого белого цвета 3000K. Используемый силикон является прозрачным и предпочтительно имеет коэффициент преломления больше 1,50. Используемый красный люминофор представляет собой, например, элемент из семейства люминофоров $(Ca,Sr)AlSiN_3:Eu$ или семейства люминофоров $(Ba,Sr)Si_5N_8:Eu$. Жидкий силикон + порошок люминесцентного сапфира + красный люминофор смешиваются до образования однородной смеси понижающего преобразователя (на фиг. 6 слой 30). Для того чтобы создать желаемый теплый белый pcСИД, смесь интегрируется с источником первичного синего света: например, с кристаллами СИД на основе GaN, излучающего синий свет с пиковой длиной волны между 440 - 460 нм. Эти кристаллы могут базироваться на тонкопленочной технологии с перевернутым кристаллом и имеют p-n-переход InGaN/GaN. Можно использовать другие типы СИД.

45 Хорошо управляемый объем смеси распределяется сверху кристалла с использованием любого традиционного процесса осаждения, который обычно используется для распределения люминофорной смеси. Смесь затем отверждается под действием тепла

или ультрафиолетового излучения. На этой стадии цветовая точка некоторых СИД может находиться вне целевой зоны для СИД 3000К.

В примере, показанном на фиг. 7, кружком 50 обозначен приемлемый диапазон цветowych точек (целевой зоны), который должен демонстрировать окончательный dcСИД. Оси u' и v' обозначают координаты в цветовой системе CIE 1976 года. Точка 52 представляет собой цветовую точку СИД, измеренных после тестирования после этапа 28 (фиг. 5). Импульсный лазер с высокой мощностью используется затем для сдвига цветовой точки в точку 54 в пределах кружка 50 во время этапа 46 приведения к требуемым свойствам (фиг. 5). Правильное приведение к требуемым свойствам можно определить опытным путем. Тестирование и приведение к требуемым свойствам можно выполнить автоматически с использованием таблицы поиска с перекрестной ссылкой на измеренную цветовую точку для требуемого приведения к требуемым свойствам с целью сдвига излучения цвета внутри кружка 50 целевой зоны. Затем определяют требуемую мощность и/или длительность лазерного излучения (также с помощью таблицы поиска) и выполняют приведение к требуемым свойствам. Приведение к требуемым свойствам можно выполнить с определенным шагом при тестировании после каждого этапа, следующего поэтапно, чтобы гарантировать отсутствие перекомпенсации.

Если существует слишком много вторичного света, вырабатываемого люминесцентным сапфиром, требуемую регулировку можно получить путем уменьшения мощности понижающего преобразования люминесцентного сапфира. Это можно выполнить путем уменьшения концентрации $F_2^{2+}(2Mg)$ -центров в люминесцентном сапфире во время этапа приведения к требуемым свойствам. Для этого люминесцентный сапфир может облучаться лазерным излучением с высокой пиковой мощностью с длиной волны 440 нм в течение периода времени, определенного опытным путем. Смотри приведенные выше уравнения 1 и 2.

Другие регулировки можно использовать для создания излучения с точным цветом таким образом, чтобы отсутствовала необходимость в "сортировке" СИД.

ВАРИАНТ 2 ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Во втором варианте осуществления, показанном на фиг. 8 и 9, люминесцентный сапфир интегрирован в виде предварительно сформированной плитки монокристалла, которая присоединяется к верхней поверхности источника первичного света.

На фиг. 8 СИД источника первичного света аналогичен тому, который показан на фиг. 6, где слой 32 N-типа эпитаксиально выращивается на подложке для выращивания сапфира, активный слой 34 эпитаксиально выращивается на слое 32 N-типа, и слой 36 P-типа эпитаксиально выращивается на активном слое 34. Слои 34 и 36 травятся для открытия слоя 32 N-типа, и металлические контакты 38 и 40 осаждаются для образования электрического контакта слоя 36 P-типа и слоя 32 N-типа, соответственно. Подложка для выращивания сапфира удаляется с помощью лазерного отрыва и затем открытой поверхности слоя 32 N-типа придают шероховатость. Затем кристалл СИД устанавливается на кристаллодержателе 42 или другой подложке. Кристаллодержатель 42 имеет металлические контактные площадки, которые непосредственно соединены с металлическими контактами 38 и 40, и, в конечном счете, контактные площадки электрически подсоединяются к источнику питания.

Адгезионный слой 58, такой как силикон, осаждается на открытый слой 32 N-типа. Плитка 60 люминесцентного сапфира затем позиционируется и прижимается к адгезионному слою 58. Вспомогательный слой 62 оптических признаков можно затем позиционировать или сформировать поверх плитки 60, например, слой фильтра или

текстурированный слой для повышения выхода света. Вспомогательный слой 64 люминофора (например, красного люминофора в силиконовом связующем веществе) можно затем осадить для дополнительной регулировки цветовой точки. Этап облучения лазерным излучением для приведения к требуемым свойствам плитки 60 можно
 5 выполнить перед осаждением слоев 62 и 64. Этап облучения лазерным излучением можно выполнить по отношению к плитке 60 перед или после присоединения плитки 60 к СИД. Все этапы можно выполнить в масштабе пластины на пластине кристаллодержателя, заполненной множеством кристаллов СИД.

В другом варианте осуществления плитка 60 люминесцентного сапфира содержит
 10 частицы люминесцентного сапфира в отвержденном связующем веществе.

На фиг. 9 показаны различные этапы изготовления устройства (фиг. 8).

Сначала формируется (этап 68) плоская пластина кристалла люминесцентного сапфира, и затем она разрезается на плитки (этап 70) с размером, обычно
 15 соответствующим СИД первичного источника (например, 1 мм^2). Плитка 60 (обычно перед разделением пластин на кристаллы) затем приводится к требуемым свойствам (этап 72) с использованием лазерного излучения таким образом, чтобы она имела целевую концентрацию желаемых цветовых центров F_2 -типа (смотри приведенные выше уравнения 1 и 2).

Затем плитка 60 присоединяется к кристаллу СИД с использованием адгезионного
 20 слоя (этап 74).

На этой стадии можно исполнить различные варианты:

а. Никакие другие люминофоры не добавляются в устройство, посредством чего все излучение, преобразованное с понижением, выполняется с помощью плитки 60
 25 люминесцентного сапфира. Этап приведения к требуемым свойствам можно дополнительно использовать при необходимости для коррекции цветовой точки. В одном примере излучение зеленого света увеличивается за счет увеличения заселенности $F_2^{2+}(2Mg)$ - центров.

б. Слой 62 оптических признаков, такой как дихроичный фильтр, можно осадить
 30 (этап 76) на плитку 60 для того, чтобы управлять излучением (угловой или спектральной).

с. Один или более люминофоров можно распределить по плитке 60 (этап 78) для формирования слоя 64 люминофора, показанного на фиг.8. Слой 62 оптических признаков, такой как дихроичный фильтр, можно дополнительно осадить между слоем
 35 64 люминофора и плиткой 60. Этап 80 приведения к требуемым свойствам можно необязательно использовать для коррекции цветовой точки СИД, принимая во внимание вклад люминофора. Например, СИД с теплым белым светом СИД с цветовой температурой 3000К можно изготовить путем интеграции слоя 64 красно-излучающего люминофора поверх плитки 60.

д. Точно так же как и в версии с, но сначала с интеграцией слоя люминофора поверх кристалла СИД и затем адгезией плитки 60 люминесцентного сапфира поверх слоя люминофора. Слой оптических признаков и/или этап приведения к требуемым свойствам можно дополнительно применить перед инкапсуляцией устройства.

ВАРИАНТ 3 ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

В третьем варианте осуществления люминесцентный сапфир используется в качестве подложки для выращивания, на которой выращиваются полупроводниковые слои
 45 СИД, показанные на фиг. 10 и 11.

Сначала, как показано на фиг. 11, монокристалл сапфира выбирают таким образом,

чтобы он содержал желаемые центры F-типа (этап 84). Монокристалл сапфира подготавливается в виде подложки 86 для выращивания (фиг. 10) путем разрезания и полировки для обеспечения возможности эпитаксиального выращивания на ней.

На этапе 88 p-n-переход на основе III-нитрида (слои 32, 34, 36) выращивается на одной стороне сапфировой подложки 86. Во время этого этапа температура внутри реактора для выращивания поддерживается между 700 и 1100°C в течение нескольких часов при уменьшении атмосферного воздуха в восстановительной газовой среде. При такой температуре и времени центры F₂-типа люминесценции сапфира разрушаются (смотри фиг. 2). Поэтому бессмысленно использовать люминесцентный сапфир в качестве подложки для выращивания, если нельзя реактивировать центры.

После эпитаксиального выращивания пластины удаляются из реакторов. Затем выполняется отжиг в течение нескольких минут в диапазоне 500–600°C для того, чтобы активировать Р-легирующие вещества в слое 36 Р-типа соединения на основе III-нитрида (этап 90). Этот отжиг выполняется в атмосфере, содержащей кислород.

Дополнительно на этой стадии процесса активируется (этап 92) подложка 86 сапфира, содержащая центры F-типа для создания люминесцентного сапфира. Физически активация сапфира создает агрегацию центров F-типа для формирования центров F₂-типа. Сапфировую подложку 86 можно активировать путем отжига или нескольких отжигов при температуре в диапазоне 300-700°C (ниже температуры эпитаксиального выращивания). Например, сапфировую подложку 86 можно активировать путем отжига пластины при температуре 500°C в течение нескольких часов, как опубликовано в литературе. Концентрацией центров F₂-типа можно управлять путем регулировки времени и температуры отжига. Кроме того, активация сапфировой подложки 86 приводит к созданию многочисленных типов центров F₂-типа. Если интерес представляет только одна конкретная разновидность центра F₂-типа для понижающего преобразования, то желаемую концентрацию центров F₂-типа можно получить путем применения приведения к требуемым свойствам (лазерного излучения) этап 94 к сапфировой подложке 86. Например, концентрацию F₂²⁺(2Mg), поглощающих синий свет/излучающих зеленый свет, можно увеличить путем возбуждения сапфировой подложки 86 с помощью лазерного излучения с высокой пиковой мощностью на длине волны 330 нм. Качеством такого приведения к требуемым свойствам можно управлять, например, путем измерения интенсивности флуоресценции, вырабатываемой F₂²⁺(2Mg)-центрами люминесцентного сапфира при возбуждении на длине волны 450 нм (например, с помощью внешнего источника или путем возбуждения СИД).

Сразу после получения целевой концентрации желаемых центров F₂-типа, пластину можно вернуть в нормальный процесс изготовления для СИД, продвигаясь от традиционных этапов изготовления пластин (сгруппированных в этап 96) на этапы изготовления кристалла (сгруппированные в этап 98) с интеграцией (этап 100) люминофора. Во время этих следующих друг за другом этапов, температура поддерживается ниже 600°C, и поэтому сохраняется активация сапфировой подложки 86.

Необязательно, во время выполнения процесса можно добавить больше этапов 102 и 104 приведения к требуемым свойствам для того, чтобы воспользоваться преимуществами, связанными с фотохромными свойствами люминесцентного сапфира. Этап 102 приведения к требуемым свойствам можно выполнить после присоединения разделенного кристалла к пластине кристаллодержателя, чтобы регулировать

концентрацию желаемых центров F_2 -типа с целью получения фактической эффективности и длины волны источника первичного света и уменьшения дисперсии ν' полученной совокупности СИД. Другой этап 104 приведения к требуемым свойствам можно будет выполнить после этапа 100 интеграции люминофора для того, чтобы настроить цветовую точку так, как описано в варианте 1 осуществления.

В кристалл СИД можно также добавить оптические признаки (этап 106).

На фиг. 10 показан слой 108 оптических признаков и слой 110 люминофора, например, слой дихроичного фильтра и слой красного люминофора, для создания белого света. Слой фильтра может отражать красный свет от слоя 110 люминофора, но обеспечивать при этом прохождение света с более короткой длиной волны во избежание поглощения красного света СИД.

В дополнение к различным преимуществам, описанным выше, за счет выполнения полного понижающего преобразования с помощью люминесцентного сапфира и без использования люминофора, СИД можно использовать в жестких условиях эксплуатации в течение многих лет, например, в автомобильных фарах. Люминофор очень чувствителен к влаге и может, в конечном счете, потерять свои свойства в среде фары автомобиля.

Следующие ссылки определяют современный уровень техники в области люминесцентных сапфиров и иллюстрируют то, что известно специалистам в данной области техники. Такие ссылки иллюстрируют, что специалист в данной области техники после прочтения настоящего описания сможет изготовить люминесцентный сапфир и выполнить требуемую активацию и приведение к требуемым свойствам для достижения целевой цветовой точки dcСИД. Приведенный ниже список литературы включен сюда путем ссылки.

1. Akselrod, M. S. et al, New aluminum oxide single crystals for volumetric optical data storage, Optical Data Storage 2003, Optical data storage, SPIE, 2003, 5069, 244-251

2. Akselrod, M. S. et al, Fluorescent aluminum oxide crystals for volumetric optical data storage and imaging applications, J. Fluoresc, 2003, 13, 503- 511

3. Akselrod, M. S. & Akselrod, A. E, New $Al_2O_3:C,Mg$ crystals for radiophotoluminescent dosimetry and optical imaging, Radiat. Prot. Dosimetry, 2006, 779, 218-221

4. Ramirez, R. et al., Electroluminescence in magnesium-doped Al_2O_3 crystals, Radiation Effects and Defects in Solids, 2001, 154, 295-299

5. Ramirez, R. et al, Photochromism of vacancy-related defects in thermochemically reduced alpha- $Al_2O_3:Mg$ single crystals, Applied Physics Letters, AIP, 2005, 86, 081914

6. Ramirez, R. et al, Optical properties of vacancies in thermochemically reduced Mg-doped sapphire single crystals, Journal of Applied Physics, AIP, 2007, 707, 123520

7. Sykora, G. et al, Novel $Al_2O_3:C,Mg$ fluorescent nuclear track detectors for passive neutron dosimetry, Radiation Protection Dosimetry, 2007, 126, 1-4

8. Sykora, G. et al., Spectroscopic properties of novel fluorescent nuclear track detectors for high and low LET charged particles, Radiation Measurements, 2008, 43, 422-426

9. Sykora, G. et al., Properties of novel fluorescent nuclear track detectors for use in passive neutron dosimetry, Radiation Measurements, 2008, 43, 1017-1023

10. Sykora, G. J. & Akselrod, M. S., Photoluminescence study of photochromically and radiochromically transformed $Al_2O_3:C,Mg$ crystals used for fluorescent nuclear track detectors, Radiation Measurements, 2010, 45, 631-634

11. Tardio, M. et al, High temperature semiconducting characteristics of magnesium-doped alpha- Al_2O_3 single crystals, Applied Physics Letters, AIP, 2001, 79, 206-208

12. Tardio, M. et al, Electrical conductivity in magnesium-doped Al_2O_3 crystals at moderate temperatures, *Radiation Effects and Defects in Solids*, 2001, 155, 409-413

13. Tardio, M. et al, Photochromic effect in magnesium-doped $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ single crystals, *Applied Physics Letters*, AIP, 2003, 83, 881-883

14. Tardio, M. et al, Enhancement of electrical conductivity in $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ crystals doped with magnesium, *Journal of Applied Physics*, AIP, 2001, 90, 3942-3951

15. Tardio, M. et al, Electrical conductivity in undoped $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ crystals implanted with Mg ions, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section B: Beam Interactions with Materials and Atoms*, 2008, 266, 2932-2935

Хотя были показаны и описаны конкретные варианты осуществления настоящего изобретения, специалистам в данной области техники будет очевидно, что изменения и модификации могут быть сделаны без отступления от настоящего изобретения в его более широких аспектах, и, таким образом, прилагаемая формула изобретения охватывает в своем объеме все такие изменения и модификации, которые попадают в рамки сущности и объема настоящего изобретения.

(57) Формула изобретения

1. Светоизлучающее устройство, содержащее:

полупроводниковые слои светоизлучающего диода (СИД), содержащие слой N-типа, активный слой, излучающий первичный свет, и слой P-типа; и

люминесцентный сапфир, присоединенный к полупроводниковым слоям, причем полупроводниковые слои СИД и люминесцентный сапфир являются частью кристалла СИД, при этом люминесцентный сапфир содержит кислородные вакансии, которые приводят к образованию центров F-типа, имеющих заданные оптические полосы поглощения и излучения люминесценции;

причем люминесцентный сапфир поглощает часть первичного света и преобразует с понижением первичный свет для излучения вторичного света через центры F-типа таким образом, чтобы излучение из кристалла СИД включало в себя по меньшей мере комбинацию из первичного света и вторичного света.

2. Устройство по п. 1, в котором люминесцентный сапфир содержит частицы люминесцентного сапфира, объединенные со связующим веществом для образования смеси, причем смесь расположена лежащей сверху светоизлучающей поверхности полупроводниковых слоев СИД.

3. Устройство по п. 2, в котором смесь наслоена на полупроводниковые слои.

4. Устройство по п. 2, в котором смесь отформована поверх полупроводниковых слоев.

5. Устройство по п. 2, в котором смесь расположена непосредственно на одном из полупроводниковых слоев СИД.

6. Устройство по п. 1, в котором люминесцентный сапфир содержит предварительно сформированную плитку, которая присоединена поверх светоизлучающей поверхности полупроводниковых слоев СИД.

7. Устройство по п. 6, в котором плитка содержит монокристалл люминесцентного сапфира.

8. Устройство по п. 6, в котором плитка содержит в связующем веществе частицы люминесцентного сапфира.

9. Устройство по п. 6, в котором плитка непосредственно присоединена к одному из полупроводниковых слоев СИД с помощью адгезионного слоя.

10. Устройство по п. 1, в котором люминесцентный сапфир содержит подложку для

выращивания люминесцентного сапфира, на которой эпитаксиально выращен слой N-типа, активный слой и слой P-типа.

11. Устройство по п. 1, дополнительно содержащее слой люминофора, лежащий сверху полупроводниковых слоев СИД в виде части кристалла СИД таким образом, что излучение света из кристалла СИД содержит первичный свет, вторичный свет из люминесцентного сапфира и свет из слоя люминофора.

12. Устройство по п. 11, в котором первичный свет представляет собой синий свет, вторичный свет включает в себя зеленую составляющую света, и свет из слоя люминофора включает в себя красную составляющую света.

13. Устройство по п. 1, в котором первичный свет представляет собой синий свет и вторичный свет включает в себя зеленую составляющую света.

14. Способ изготовления светоизлучающего устройства, причем упомянутый способ содержит этапы, на которых:

обеспечивают кристалл светоизлучающего диода (СИД), содержащий полупроводниковые слои СИД, генерирующие первичный свет, и слой люминесцентного сапфира, преобразующий с понижением некоторую часть первичного света во вторичный свет таким образом, что свет, излучаемый кристаллом СИД, содержит по меньшей мере комбинацию из первичного света и вторичного света, при этом люминесцентный сапфир содержит кислородные вакансии, которые приводят к образованию центров F-типа, имеющих заданные оптические полосы поглощения и излучения люминесценции; и

приводят к требуемым свойствам слой люминесцентного сапфира в кристалле СИД с использованием лазерного излучения, чтобы регулировать характеристику вторичного света.

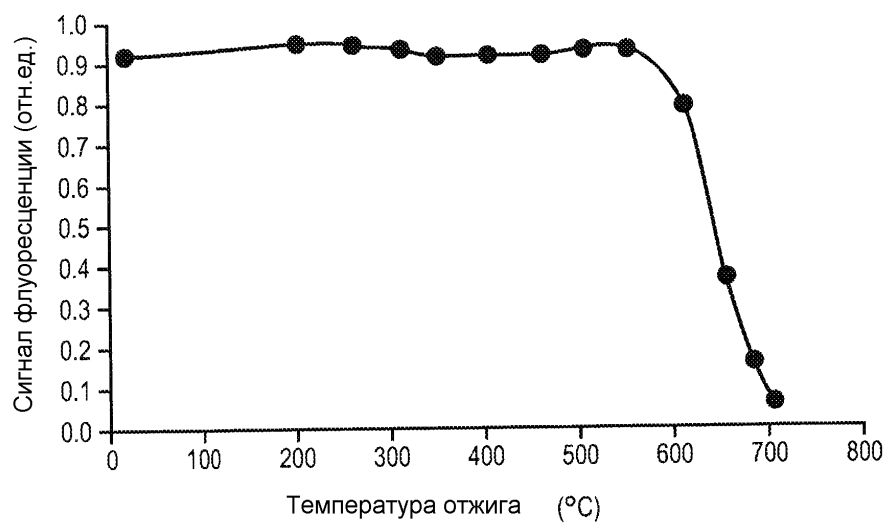
15. Способ по п. 14, дополнительно содержащий активацию люминесцентного сапфира в кристалле СИД посредством отжига люминесцентного сапфира, чтобы увеличить его люминесцентные свойства после формирования кристалла СИД.

1

Центр	Поглощение	Излучение	Анизотропия
F	205	420	
F(Mg)			
F ⁺	230 / 255	330	
F ⁺ (Mg)			
F ₂	358	380	
F ₂ ⁺	302	515	
F ₂ ⁺ (2Mg)	260 / 335 / 620	750	2.4
F ₂ ²⁺			(3.3)
F ₂ ²⁺ (2Mg)	435	520	3.4

ФИГ.1

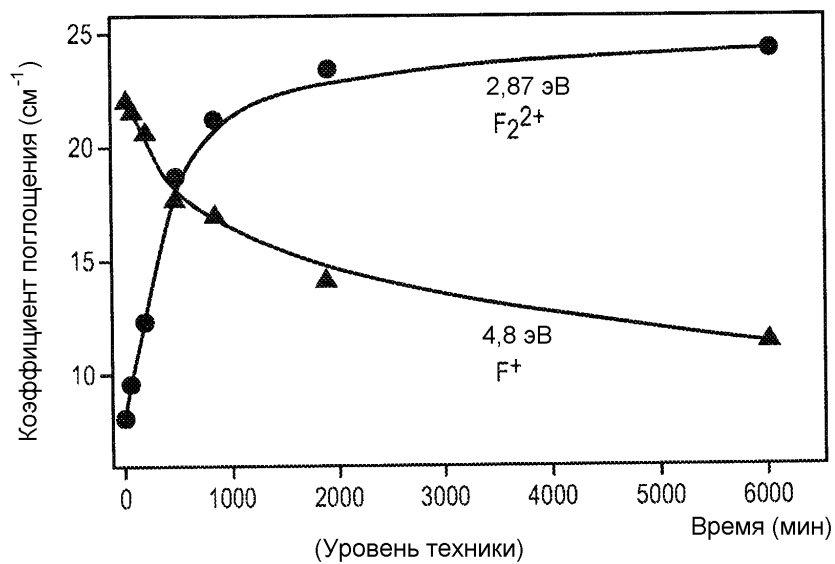
(Уровень техники)



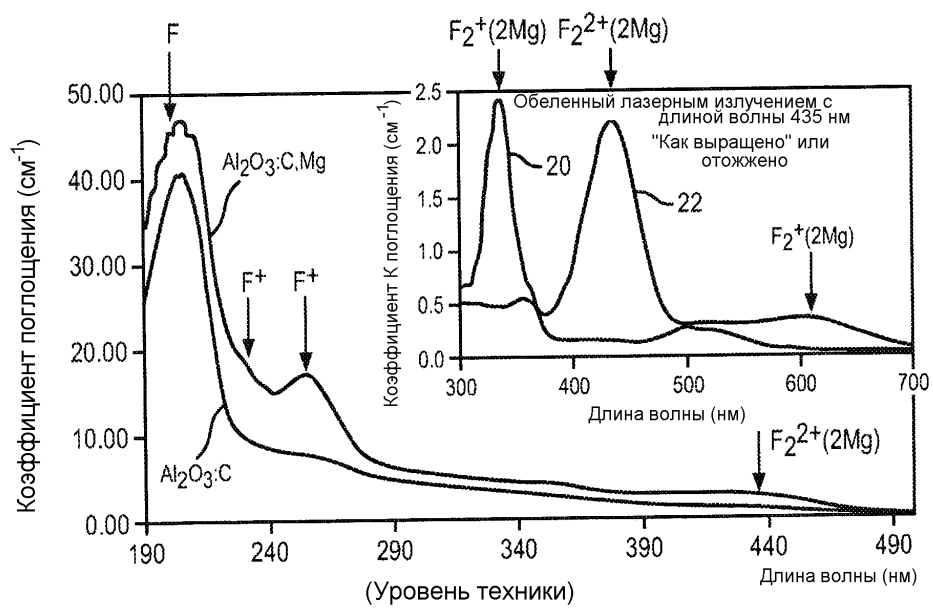
ФИГ.2

(Уровень техники)

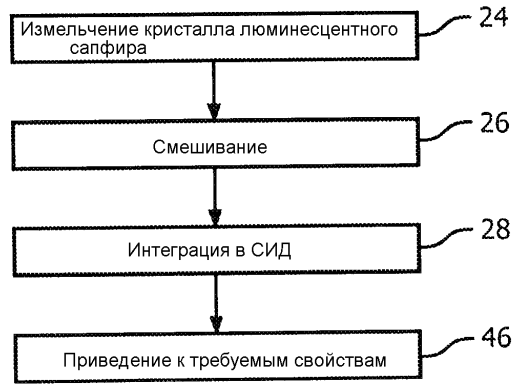
2



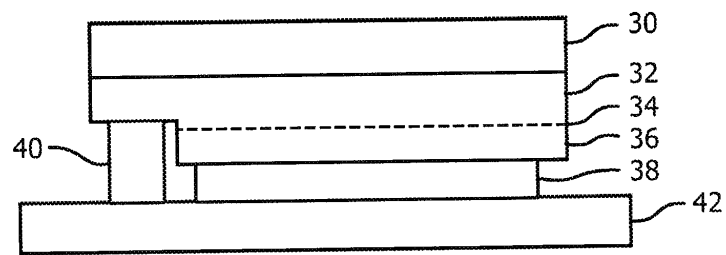
ФИГ.3



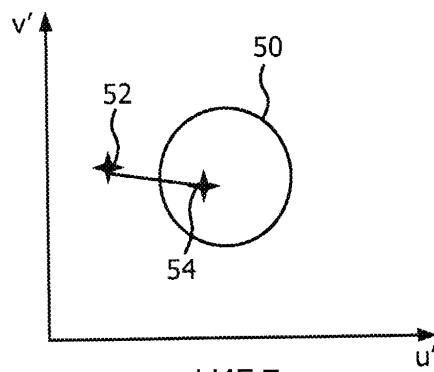
ФИГ.4



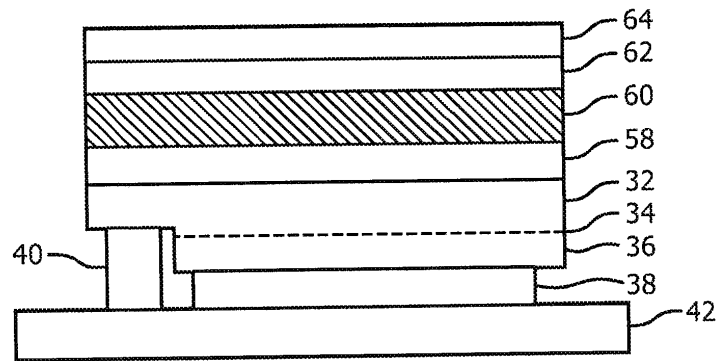
ФИГ.5



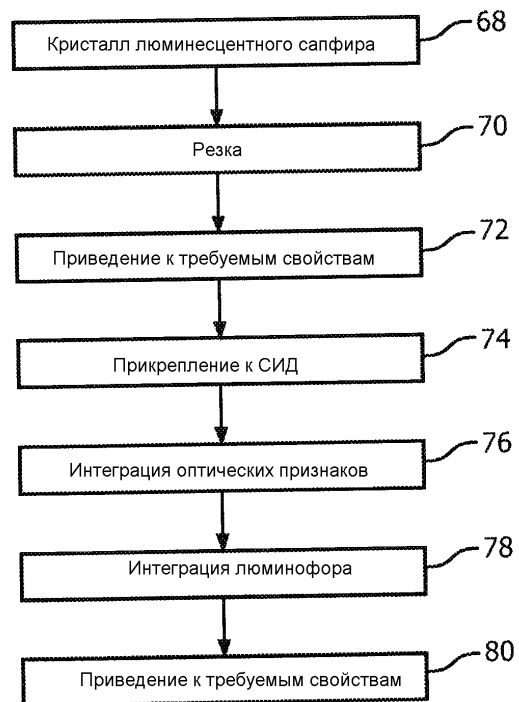
ФИГ.6



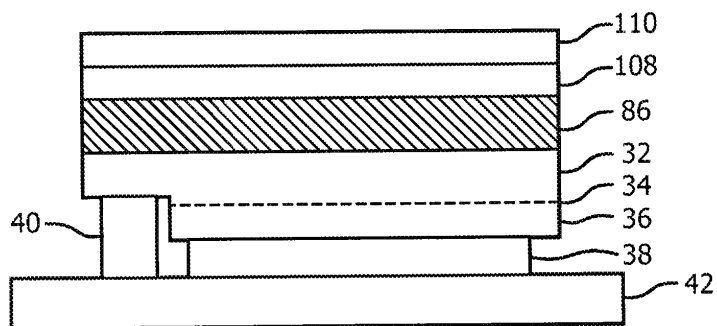
ФИГ.7



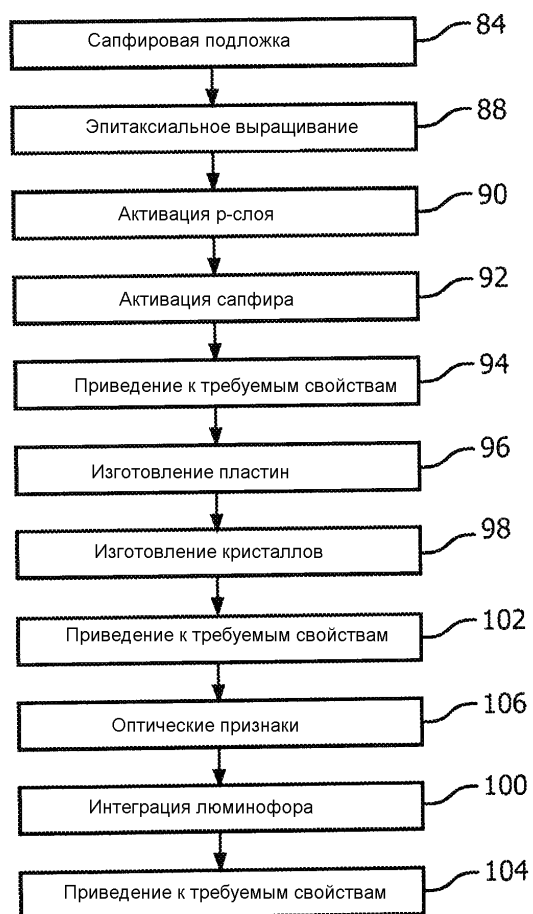
ФИГ.8



ФИГ.9



ФИГ.10



ФИГ.11