



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ(21), (22) Заявка: **2008129818/28, 18.07.2008**(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
18.07.2008(30) Конвенционный приоритет:
20.07.2007 AU 20077903940(43) Дата публикации заявки: **27.01.2010**(45) Опубликовано: **10.07.2010** Бюл. № 19(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **JP 2000101142 A, 07.04.2000. US 6258616
B1, 10.07.2001. US 2003111667 A1, 19.06.2003.
WO 2007037608 A1, 05.04.2007. RU 2231171 C1,
20.06.2004.**Адрес для переписки:
**129090, Москва, ул.Б.Спасская, 25, стр.3,
ООО "Юридическая фирма Городиский и
Партнеры", пат.пов. Ю.Д.Кузнецову**

(72) Автор(ы):

**БАТЧЕР Кеннет Скотт Александр (AU),
ВИНТРЕБЕР эп ФУКЕ Мари-Пьер
Франсуаз (AU),
ФЕРНАНДЕС Аланна Хулия Хуне (AU)**

(73) Патентообладатель(и):

**ГЭЛИЭМ ЭНТЕРПРАЙЗИС ПТИ
ЛТД (AU)****(54) ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ПРИБОР СО ВСТРОЕННЫМИ КОНТАКТАМИ (ВАРИАНТЫ)
И СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ СО ВСТРОЕННЫМИ
КОНТАКТАМИ (ВАРИАНТЫ)**

(57) Реферат:

Изобретение относится к микроэлектронике. Предложен полупроводниковый прибор, содержащий подложку; первый контакт; первый слой легированного полупроводникового материала, осажденный на подложку; полупроводниковую область перехода, осажденную на первый слой; второй слой легированного полупроводникового материала, осажденный на область перехода, причем этот второй слой обладает противоположным первому слою типом примесной проводимости; и второй контакт; при этом второй контакт находится в электрическом соединении со вторым слоем, а первый контакт встроен в полупроводниковый прибор между подложкой и областью перехода и находится в электрическом соединении с

первым слоем. Также предложены еще два варианты такого полупроводникового прибора и два способа изготовления полупроводникового прибора со встроенными контактами. Преимущества, обеспечиваемые изобретением, включают значительно уменьшенное последовательное сопротивление между электрическими контактами такого прибора, в результате чего обеспечивается повышенная эффективность эксплуатации и сниженное нагревание прибора. Другие преимущества встроенных контактов в полупроводниковых приборах на нитриде металла включают то, что если часть скрытых контактов может поддерживаться свободной от осаждаемого материала, то может быть устранена необходимость в фотолитографии для производства такого прибора. Для предотвращения осаждения на поверхности

контакта может быть использована маска.
Может оказаться возможным производство
таких приборов в широком ассортименте, в

зависимости от других эксплуатационных
ограничений, таких как ток, напряжение и
рассеяние тепла. 5 н. и 35 з.п. ф-лы, 13 ил.

RU 2394305 C2

RU 2394305 C2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION

(21), (22) Application: **2008129818/28, 18.07.2008**

(24) Effective date for property rights:
18.07.2008

(30) Priority:
20.07.2007 AU 20077903940

(43) Application published: **27.01.2010**

(45) Date of publication: **10.07.2010 Bull. 19**

Mail address:

**129090, Moskva, ul.B.Spaskaja, 25, str.3, OOO
"Juridicheskaja firma Gorodisskij i Partnery",
pat.pov. Ju.D.Kuznetsovu**

(72) Inventor(s):

**BATChER Kennet Skott Aleksandr (AU),
VINTREBER ehp FUKÉ Mari-P'er Fransuaz
(AU),
FERNANDES Alanna Khulija Khune (AU)**

(73) Proprietor(s):

GEhLIEhM EhNTERPRAJZIS PTI LTD (AU)

(54) SEMICONDUCTOR DEVICE WITH BUILT-IN CONTACTS (VERSIONS) AND METHOD OF MAKING SEMICONDUCTOR DEVICES WITH BUILT-IN CONTACTS (VERSIONS)

(57) Abstract:

FIELD: physics.

SUBSTANCE: invention discloses a semiconductor device which contains: a substrate; a first contact; a first layer of doped semiconductor material deposited on the substrate; a semiconductor junction area deposited on the first layer; a second layer of doped semiconductor material deposited on the junction area, where this second layer has opposite extrinsic conductivity to the first layer; and a second contact; the second contact is electrically connected to the first layer, and the first contact is built into the semiconductor device between the substrate and the junction area and is electrically connected to the first layer. Two more

versions of such a semiconductor device are also proposed, as well as two methods of making a semiconductor with built-in contacts. If part of hidden contacts can be held free from the deposited material, there will be no need for photolithography in making such a device. A mask can be used to prevent deposition on the surface of the contact. Production of a wide range of such devices can be possible, depending on other operational constraints such as current, voltage and heat dissipation.

EFFECT: significantly low series resistance between electric contacts of such a device, resulting in high operational efficiency and low heating of the device.

40 cl, 13 dwg

RU 2 394 305 C2

RU 2 394 305 C2

Область техники

[0001] Изобретение относится к полупроводниковым приборам и, в частности, к полупроводниковым приборам, сформированным из пленок полупроводникового материала на основе GaN.

[0002] Изобретение разработано главным образом для использования в качестве полупроводникового прибора на основе GaN и/или InGaN, и/или AlGaN, содержащего встроенные электропроводные (например, металлические) контакты, и будет описано здесь далее со ссылкой на этот вид применения. Однако следует принимать во внимание, что изобретение не ограничивается этим конкретным видом применения.

Предпосылки изобретения

[0003] Любое обсуждение уровня техники по всему описанию никоим образом не должно рассматриваться как допущение того, что такой уровень техники широко известен или является частью общедоступных сведений в данной области.

[0004] Нитрид галлия является материалом, широко используемым в конструкциях светоизлучающих диодов с синим, фиолетовым и белым свечением, лазерных светодиодов с синим свечением, детекторов ультрафиолетового излучения и сверхвысокочастотных (микроволновых) транзисторных приборов высокой мощности.

[0005] По причине существующих и потенциальных видов применения нитрида галлия при изготовлении приборов с низким потреблением энергии, пригодных для использования по широкому спектру назначений, пленки нитрида галлия представляют значительный интерес.

[0006] Стимулированное удаленной плазмой газозафазное химическое осаждение (RPECVD, причем эта аббревиатура может быть взаимозаменяема с RPCVD, т.е. газозафазное химическое осаждение с удаленной плазмой) является еще одним способом роста, который может быть использован для выращивания пленок нитридов металлов группы (III). В случае, когда подлежащая выращиванию пленка является нитридом галлия, технология RPECVD дает возможность использования температуры выращивания от, примерно, 500°C до, примерно, 800°C или от, примерно, 500°C до, примерно, 700°C, которая существенно ниже температуры выращивания способом газозафазного химического осаждения металлоорганических соединений (MOCVD) и позволяет уменьшить стоимость оборудования. Другим преимуществом способа RPECVD является то, что могут быть использованы термочувствительные материалы подложек, которые более точно совпадают по параметрам кристаллической решетки с GaN, такие как оксид цинка.

[0007] Несмотря на то, что в отношении RPECVD, благодаря удаленности источника плазмы от подложки, широко распространено мнение, что эта технология позволяет избежать повреждения пленки под действием частиц, образованных в плазме, авторы изобретения обнаружили, что пленки, выращенные этим способом, могут подвергаться существенному повреждению даже под воздействием частиц со сравнительно низкой энергией. Чтобы преодолеть проблемы этого способа, особенно в отношении пленок из GaN и сплавов на его основе, заявителем были раскрыты способы и устройства для выращивания пленок GaN способом RPECVD с обеспечением дополнительного уменьшения энергии активных нейтральных частиц азота, которые достигают подложки, в публикации согласно Договору о патентной кооперации (РСТ) за номером WO/2006/034540 под названием «Способ и аппарат для выращивания пленки нитрида металла группы (III) и пленка нитрида металла группы (III)» («Method and apparatus for growing a group (III) metal nitride film and a group

(III) metal nitride film»), содержание которой включено сюда во всей полноте посредством перекрестной ссылки. Способ, описанный в WO/2006/034540, также предусматривает выращивание пленки нитрида галлия, при этом загрязнение пленки нитрида галлия кислородом сведено к минимуму, и новые конструкции нагревателя, которые могут противостоять жестким условиям эксплуатации, имеющим место в системе выращивания методом RPECVD, используемой для выращивания нитридов металлов.

[0008] Несмотря на то, что технологии выращивания пленок нитридов металлов разработаны, имеются значительные трудности при выращивании пленок в случае изготовления полупроводниковых приборов на нитридах металлов с иной структурой, чем мезаструктура. В этом случае используются другие способы выращивания приборов на нитридах металлов, такие как осаждение на электропроводный SiC и лазерное отслаивание GaN, однако, эти способы также обладают недостатками: SiC очень дорог, а выход годных приборов при использовании способов лазерного отслаивания очень низок вследствие повреждения GaN в таком приборе, обусловленного нагреванием лазером. Известны также технологии с химическим отслаиванием, например, для изготовления приборов выращиванием на промежуточном (временном) буферном слое и химическим травлением для удаления этого буферного слоя после выращивания (см., например, использование нитрида хрома (CrN) в качестве такого буферного слоя в работе Na et al, IEEE Photonic Technology Letters 2008, 20(3) p.175-177). Технологии с химическим травлением, однако, также обладают недостатками, поскольку обуславливают необходимость в дополнительной обработке прибора, например, требуется вытравливание сквозных отверстий в пленке, что относится к сфере не совсем отработанных технологий и пока находится в стадии исследований в отношении приборов на GaN. Непосредственное выращивание на слое нитрида металла устраняет необходимость в дополнительной обработке химическим травлением. Однако известные к настоящему времени способы изготовления полупроводниковых приборов, имеющие встроенные (или, используя взаимозаменяемый термин, скрытые) контакты для выполнения электрического подключения к приборной структуре, не могут быть приспособлены к пленкам нитридов металлов. Поэтому приборы на нитридах металлов ограничивались структурами меза-типа, подобными той, которая представлена на фигуре 1, в состав которой входит подложка 2, буферный слой 4, первый слой легированного примесью n- или p-типа полупроводникового материала 6, область перехода 8, второй слой 10 полупроводникового материала, легированного примесью противоположного первому слою типа (т.е. p- или n-типа), и контакты 12 и 14, соответственно, находящиеся в контакте с полупроводниковыми слоями 10 и 6, при этом оба контакта 12 и 14 открыты, чтобы обеспечить возможность выполнения электрического подключения к полупроводниковому прибору. Недостатком такой компоновки является то, что эффективное расстояние между контактами 12 и 14 может составлять величину порядка нескольких десятков микрон и вплоть до значительной величины в несколько сотен микрон. Такое большое расстояние между контактами 12 и 14 приводит к большому последовательному сопротивлению между контактами, которое должно быть преодолено перед началом работы прибора и которое, соответственно, приводит к негативным последствиям в виде ухудшения эффективности прибора и нежелательного тепловыделения в приборной структуре (см. Chakraborty et al. IEEE Transactions of Electron. Devices 2007, 54(5) для дополнительного рассмотрения последовательного сопротивления в

полупроводниковых приборах на GaN). При встроенных контактах в приборной структуре эффективное расстояние между контактами может быть значительно уменьшено при достижении очевидных преимуществ, связанных с последовательным сопротивлением и эффективностью эксплуатации прибора.

5 [0009] Трудности изготовления структур со встроенными контактами возрастают в случае полупроводниковых приборов на нитридах металлов вследствие
неспособности металлических контактов выдерживать агрессивные химические среды, используемые в технологиях MOCVD или HVPE (гидридной парофазной эпитаксии)
10 выращивания нитрида галлия. В частности, присутствие газов, содержащих аммиак и/или галоген, при типично используемых сравнительно высоких температурах приводит к тому, что большая часть металлических контактов повреждается перед осаждением слоя GaN. Дополнительной трудностью является диффузия металла из контактного слоя в GaN, причем данная проблема существенно облегчается
15 посредством выращивания пленки при более низких температурах.

[0010] В соответствии с этим, имеется потребность в полупроводниковых приборах на нитридах металлов, в частности приборов, сформированных из материалов на основе GaN, имеющих встроенные/скрытые контакты, и в способах изготовления
20 таких приборов.

[0011] Термин «содержащий», как он используется здесь, означает «включающий в основном, но не обязательно исключительно». Кроме того, вариации слова «содержащий», такие как «содержат» и «содержит», имеют соответственно
25 варьирующиеся значения.

Сущность изобретения

[0012] Задачей данного изобретения является преодоление или частичное устранение, по меньшей мере, одного из недостатков уровня техники или же
предоставление применимой альтернативы.

30 [0013] В данном описании термины «встроенный» или «встраивать» могут быть использованы взаимозаменяемым образом с терминами «скрытый» и «скрыть».

[0014] В соответствии с первым аспектом предложен полупроводниковый прибор, содержащий:

35 подложку;
первый контакт;
первый слой легированного полупроводникового материала, осажденного на подложку;
полупроводниковую область перехода, осажденную на первый слой;
40 второй слой легированного полупроводникового материала, осажденный на область перехода, причем этот второй слой обладает типом примесной проводимости, противоположным типу примесной проводимости первого слоя; и
второй контакт;
при этом второй контакт находится в электрическом соединении со вторым слоем,
45 а первый контакт встроен в полупроводниковый прибор между подложкой и областью перехода и находится в электрическом соединении с первым слоем. Первый контакт может находиться в непосредственном или опосредованном электрическом соединении с первым слоем. Первый контакт может находиться в электрическом
50 соединении с первым слоем через электропроводный буферный слой.

[0015] В конкретном варианте предложен полупроводниковый прибор, содержащий:
подложку;
первый скрытый контакт;

первый слой легированного полупроводникового материала, осажденного на подложку;

полупроводниковую область перехода, осажденную на первый слой или прилегающую к нему;

5 второй слой легированного полупроводникового материала, осажденный на область перехода, причем этот второй слой обладает противоположным первому слою типом примесной проводимости; и

второй контакт;

10 при этом второй контакт находится в электрическом соединении со вторым слоем, а первый контакт скрыт в полупроводниковом приборе между подложкой и областью перехода и находится в электрическом соединении с первым слоем. Первый контакт может находиться в непосредственном или опосредованном электрическом соединении с первым слоем. Первый контакт может находиться в электрическом

15 соединении с первым слоем через электропроводный буферный слой.
[0016] В соответствии со вторым аспектом предложен полупроводниковый прибор, сформированный из полупроводниковых нитридных материалов, содержащий:

подложку;

20 по меньшей мере, один первый контакт на подложке;

первый полупроводниковый нитридный слой, причем первый контакт встроен в этот первый слой и находится в электрическом соединении с первым слоем;

слой перехода, прилегающий к первому полупроводниковому слою;

25 второй полупроводниковый нитридный слой, прилегающий к слою перехода; и

30 второй контакт, прилегающий ко второму полупроводниковому слою и находящийся в электрическом соединении со вторым слоем;

при этом первый и второй контакты электрически взаимосвязаны через слой перехода. Первый и второй контакты могут быть электрически взаимосвязаны через

35 [0017] В соответствии с вариантом этого второго аспекта предложен полупроводниковый прибор, сформированный из полупроводниковых нитридных

материалов, содержащий:

подложку;

40 по меньшей мере, один первый контакт на подложке;

первый полупроводниковый нитридный слой, причем первый контакт скрыт в этом первом слое и находится в электрическом соединении с первым слоем;

45 слой перехода, осажденный на первый полупроводниковый слой или прилегающий к нему;

второй полупроводниковый нитридный слой, прилегающий к слою перехода; и

второй контакт, прилегающий ко второму полупроводниковому слою и находящийся в электрическом соединении со вторым слоем;

при этом первый и второй контакты электрически взаимосвязаны через слой перехода. Под выражением «электрически взаимосвязаны через слой перехода» подразумевается, что первый и второй контакты электрически взаимосвязаны посредством слоя перехода, а не соединены непосредственно друг с другом.

50 [0018] В соответствии с третьим аспектом предложен полупроводниковый нитридный прибор, содержащий:

подложку;

первый слой нитрида металла, осажденный на подложку;

по меньшей мере, один первый контакт, сформированный на первом слое нитрида

металла;

второй слой нитрида металла, осажденный на первом слое нитрида металла с герметизацией по меньшей мере части первого контакта;

полупроводниковую область перехода, осажденную на втором слое нитрида
5 металла;

третий слой нитрида металла, осажденный на область перехода, причем этот третий слой нитрида металла обладает типом примесной проводимости, противоположным
10 типу примесной проводимости первого и второго слоев нитрида металла; и

второй контакт, находящийся в электрическом соединении с третьим слоем нитрида
металла.

[0019] В соответствии с вариантом этого третьего аспекта предложен полупроводниковый нитридный прибор, содержащий:

подложку;

15 первый слой нитрида металла, осажденный на подложку;

по меньшей мере, один первый контакт, сформированный на первом слое нитрида
металла;

20 второй слой нитрида металла, осажденный на первом слое нитрида металла с герметизацией, по меньшей мере, части первого контакта;

полупроводниковую область перехода, осажденную на втором слое нитрида
металла или прилегающую к нему;

30 третий слой нитрида металла, осажденный на область перехода, причем этот третий слой нитрида металла обладает типом примесной проводимости, противоположным типу примесной проводимости первого и второго слоев нитрида металла; и

25 второй контакт, находящийся в электрическом соединении с третьим слоем нитрида
металла.

[0020] Слои нитрида металла в каждом из аспектов с первого по третий могут быть
30 сформированы из полупроводникового материала - нитрида металла(ов), например, GaN, AlGa_N, InGa_N, InGaAlN, InAlN или их комбинаций, например, InGa_N/AlGa_N, InGa_N/GaN, GaN/AlGa_N, GaN/AlInGa_N, InGa_N/AlInGa_N, AlGa_N/AlInGa_N среди прочих других, как это будет понятно специалисту.

35 [0021] В каждом из приборов по аспектам с первого по третий первый контакт может быть на подложке или прилегающим к ней или, альтернативно, может быть на электропроводном буферном слое, прилегающим к нему, встроенным в него или
скрытым в нем, при этом электропроводный буферный слой может быть на подложке или прилегающим к ней. Герметизация, по меньшей мере, части первого контакта
40 может включать в себя формирование, по меньшей мере, частично встроенного или, по меньшей мере, частично скрытого контакта.

[0022] В каждом из приборов по аспектам с первого по третий каждый из первых и
вторых контактов может быть электропроводным контактом и может быть
металлическим контактом. Электропроводный(е) контакт(ы) может(гут) обладать
45 удельным электросопротивлением, которое много меньше удельного электросопротивления полупроводникового материала - нитрида металла(ов),
например, удельное электросопротивление контакта(ов) может быть на один, два, три,
четыре, пять, шесть, семь, восемь или более порядков величины меньше, чем удельное
50 электросопротивление полупроводникового материала - нитрида металла(ов).

[0023] В каждом из приборов по аспектам с первого по третий фотолюминесценция
прибора на или вблизи длины волны, соответствующей ширине собственной(ых)
запрещенной(ых) зоны(зон) (запрещенной(ых) зоны(зон) либо с прямыми, либо с

непрямыми переходами) материалов, использованных в этом приборе, может превышать фотолюминесценцию прибора на других длинах волн. Эти другие длины волн могут соответствовать фотолюминесценции, обусловленной дефектами внутри прибора. Например, для полупроводникового нитрида металла (например, GaN или
5 аналогичный полупроводниковый материал, как описано здесь) длина волны, соответствующая ширине запрещенной зоны, может находиться в интервале, примерно, от 300 до 550 нм или, альтернативно, примерно, от 300 до 500, от 300 до 450, от 320 до 550, от 320 до 500, от 320 до 450, от 340 до 450, от 360 до 450, от 360 до 420,
10 от 360 до 400 нм и может составлять, примерно, 300, 310, 320, 330, 340, 350, 360, 370, 380, 390, 400, 410, 420, 430, 440 или, примерно, 450 нм, и фотолюминесценция на этой длине волны может превышать максимальную интенсивность связанной с дефектами фотолюминесценции в интервале длин волн, примерно, от 450 до 800 нм.

Интенсивность фотолюминесценции на длине волны запрещенной зоны может
15 превышать интенсивность фотолюминесценции на других (например, связанных с дефектами) длинах волн, по меньшей мере, в 0,5, 1, 1,5, 2 или более раз.

[0024] В соответствии с четвертым аспектом предложен способ формирования полупроводникового прибора со встроенными контактами, содержащий следующие
20 стадии:

формируют первый, по меньшей мере, один контакт на подложке;
маскируют первый контакт, оставляя открытой, по меньшей мере, одну область прибора;

формируют первый слой поверх первого контакта поблизости от упомянутой
25 области прибора, встраивая первый контакт в первый слой;

формируют переход поверх первого слоя;
формируют второй слой поверх перехода;
формируют второй контакт на втором слое; и

удаляют маску, открывая первые контакты на подложке в области, не
30 соответствующей упомянутым областям прибора.

[0025] В соответствии с вариантом этого четвертого аспекта предложен способ формирования полупроводникового прибора со скрытыми контактами, содержащий
следующие стадии:

формируют первый, по меньшей мере, один контакт на подложке;
маскируют первый контакт, оставляя открытой, по меньшей мере, одну область
35 прибора;

формируют первый слой поверх первого контакта поблизости от упомянутой
40 области прибора, скрывая первый контакт в первом слое;

формируют переход поверх первого слоя;
формируют второй слой поверх перехода;
формируют второй контакт на втором слое; и

удаляют маску, открывая первые контакты на подложке в области, не
45 соответствующей упомянутым областям прибора.

[0026] В соответствии с другим вариантом четвертого аспекта предложен способ формирования полупроводникового прибора со встроенными или скрытыми контактами, содержащий следующие стадии:

обеспечивают подложку, содержащую, по меньшей мере, один первый
50 электропроводный контакт;

маскируют первый контакт, оставляя открытой, по меньшей мере, одну область прибора;

формируют первый слой поверх первого контакта поблизости от упомянутой области прибора, встраивая первый контакт в первый слой или скрывая его в нем;
формируют переход поверх первого слоя;
формируют второй слой поверх перехода;
5 формируют второй электропроводный контакт на втором слое; и
удаляют маску, открывая первые контакты на подложке в области, не соответствующей упомянутым областям прибора.

[0027] Первый(е) и второй контакты могут быть, соответственно, первым(и) и вторым электропроводными контактами и могут быть, соответственно, первым(и) и/или вторым металлическими контактами. Первый(е) электропроводный(е) контакт(ы) и второй электропроводный контакт могут быть металлическими контактами.

[0028] В соответствии с пятым аспектом предложен способ формирования полупроводникового нитридного прибора со встроенными контактами, содержащий следующие стадии:

обеспечивают подложку, содержащую, по меньшей мере, один первый контакт;
маскируют первую часть первого контакта, оставляя открытой, по меньшей мере,
20 одну область прибора, содержащую вторую часть первого контакта;
формируют первый полупроводниковый нитридный слой поверх второй части первого контакта в упомянутой области прибора, тем самым встраивая первый контакт в первый слой;
формируют переход поверх первого слоя;
25 формируют второй полупроводниковый нитридный слой поверх перехода;
формируют второй контакт на втором слое; и
удаляют маску, тем самым открывая первую часть первых контактов.

[0029] В соответствии с вариантом этого пятого аспекта предложен способ формирования полупроводникового нитридного прибора со встроенными контактами, содержащий следующие стадии:

формируют первый, по меньшей мере, один электропроводный контакт на подложке;
маскируют первую часть первого контакта, оставляя открытой, по меньшей мере,
35 одну область прибора, содержащую вторую часть первого контакта;
формируют первый полупроводниковый нитридный слой поверх второй части первого контакта в упомянутой области прибора, тем самым скрывая первый контакт в первом слое;
40 формируют переход поверх первого слоя;
формируют второй полупроводниковый нитридный слой поверх перехода;
формируют второй электропроводный контакт на втором слое; и
удаляют маску, тем самым открывая первую часть первых контактов.

[0030] В соответствии с вариантом этого пятого аспекта предложен способ формирования полупроводникового нитридного прибора со встроенными или скрытыми контактами, содержащий следующие стадии:

обеспечивают подложку, содержащую, по меньшей мере, один электропроводный контакт;
маскируют первую часть первого контакта, оставляя открытой, по меньшей мере,
50 одну область прибора, содержащую вторую часть первого контакта;
формируют первый полупроводниковый нитридный слой поверх второй части первого контакта в упомянутой области прибора, тем самым встраивая первый

контакт в первый слой или скрывая его в нем;

формируют переход поверх первого слоя;

формируют второй полупроводниковый нитридный слой поверх перехода;

формируют второй электропроводный контакт на втором слое; и

удаляют маску, тем самым открывая первую часть первых контактов.

[0031] Первый(е) и второй контакты могут быть, соответственно, первым(и) и вторым электропроводными контактами и могут быть, соответственно, первым(и) и/или вторым металлическими контактами. Первый(е) электропроводный(е) контакт(ы) и второй электропроводный контакт могут быть металлическими контактами.

[0032] В соответствии с шестым аспектом предложен способ формирования полупроводникового нитридного прибора со встроенными контактами, содержащий следующие стадии:

обеспечивают подложку, содержащую по меньшей мере один первый электропроводный контакт;

формируют первый полупроводниковый нитридный слой поверх первого контакта, тем самым встраивая первый контакт в первый слой;

формируют переход поверх первого слоя;

формируют второй полупроводниковый нитридный слой поверх перехода; и

формируют второй электропроводный контакт на втором слое.

[0033] В соответствии с вариантом этого шестого аспекта предложен способ формирования полупроводникового нитридного прибора со встроенными контактами, содержащий следующие стадии:

формируют первый, по меньшей мере, один электропроводный контакт на подложке;

формируют первый полупроводниковый нитридный слой поверх первого контакта, тем самым скрывая первый контакт в первом слое;

формируют переход поверх первого слоя;

формируют второй полупроводниковый нитридный слой поверх перехода; и

формируют второй электропроводный контакт на втором слое.

[0034] В соответствии с вариантом этого шестого аспекта предложен способ формирования полупроводникового нитридного прибора со встроенными или скрытыми контактами, содержащий следующие стадии:

обеспечивают подложку, содержащую, по меньшей мере, один первый электропроводный контакт;

формируют первый полупроводниковый нитридный слой поверх первого контакта, тем самым встраивая первый контакт в первый слой или скрывая его в нем;

формируют переход поверх первого слоя;

формируют второй полупроводниковый нитридный слой поверх перехода; и

формируют второй электропроводный контакт на втором слое.

[0035] Способ по изобретению в любом из аспектов с четвертого по шестой может быть осуществлен таким образом, что полупроводниковые слои прибора могут быть получены при температуре, не превышающей, примерно, 800°C, или, в других вариантах, при температуре, не превышающей, примерно, 700°C. Полупроводниковые слои прибора могут быть получены при одной или более температуре(ах) в интервале от, примерно, 500°C до, примерно, 800°C или, альтернативно, в интервале от, примерно, 500°C до, примерно, 700°C.

[0036] Слои нитрида металла в каждом из аспектов с четвертого по шестой могут

быть сформированы из полупроводникового материала - нитрида металла(ов), например, GaN, AlGaN, InGaN, InGaAlN, InAlN или их комбинаций, например, InGaN/AlGaN, InGaN/GaN, GaN/AlGaN, GaN/AlInGaN, InGaN/AlInGaN, AlGaN/AlInGaN среди прочих других, как это будет понятно специалисту.

5 [0037] В каждом из приборов по аспектам с четвертого по шестой каждый из первых и вторых контактов может быть электропроводным контактом и может быть металлическим контактом. Первый(е) электропроводный(е) контакт(ы) и второй электропроводный контакт могут быть металлическими контактами.

10 Электропроводный(е) контакт(ы) может(гут) обладать удельным электросопротивлением, которое много меньше удельного электросопротивления полупроводникового материала - нитрида металла(ов), например, удельное электросопротивление контакта(ов) может быть на один, два, три, четыре, пять, 15 шесть, семь, восемь или более порядков величины меньше удельного электросопротивления полупроводникового материала - нитрида металла(ов).

[0038] Каждый из способов по аспектам с четвертого по шестой может содержать формирование первого и второго полупроводниковых нитридных слоев при температуре в интервале, приблизительно, от 500 до 800 градусов Цельсия или, 20 примерно, от 500°C до 700°C. Каждый способ может необязательно содержать стадию осаждения буферного слоя, который может быть либо изолирующим буферным слоем, либо легированным буферным слоем. Легированный буферный слой может быть n-типа или p-типа. Буферный слой может быть осажден на подложку перед формированием упомянутого, по меньшей мере, одного первого металлического 25 контакта, при этом первые контакты формируют на буферном слое. Первый контакт может быть электрическим контактом. Первый контакт может образовывать омический контакт с первым слоем. Первый контакт может образовывать омический контакт с электропроводным буферным слоем. Комбинация первого контакта и 30 буферного слоя может образовывать омический контакт с первым слоем.

Электрическое соединение может быть в виде омического контакта. Буферный слой может быть осажден на подложку после формирования упомянутого, по меньшей мере, одного первого металлического контакта, при этом первые контакты встроены в буферный слой. Буферный слой может быть понижающим последовательное 35 сопротивление буферным слоем. Буферный слой может быть активным полупроводниковым буферным слоем и может быть активным полупроводниковым нитридным слоем. Буферный слой может быть сформирован из ZnO или других подходящих материалов. В каждом из аспектов с первого по шестой слой перехода находится в электрическом соединении как с первым, так и со вторым слоями прибора. 40

[0039] Данное изобретение также включает в себя прибор, получаемый способом по изобретению. Также в пределах объема изобретения находится прибор, сформированный способом по изобретению.

45 [0040] Первый слой может быть первым полупроводниковым слоем и может быть первым полупроводниковым слоем нитрида металла. Первый полупроводниковый слой нитрида металла может быть либо n-типа, либо p-типа. Переход может быть двойным гетеропереходом. Двойной гетеропереход может быть сформирован из нитридов металлов InGaN и/или AlGaN. Переход может быть переходом с одной или 50 несколькими квантовыми ямами или полупроводниковым переходом некоторых других типов. Полупроводниковые слои могут быть сформированы с помощью технологии изготовления с удаленной плазмой в атмосфере азота.

[0041] В варианте каждого из аспектов полупроводникового прибора с первого по

третий или в любом из способов по аспектам с четвертого по шестой слой перехода может быть областью перехода либо в первом, либо во втором полупроводниковых слоях. Аналогичным образом, один или оба из первого и второго полупроводниковых слоев могут независимым образом или каждый определяться областями легирования в

[0042] Полупроводниковый прибор по изобретению может быть изготовлен таким образом, что полупроводниковые слои прибора могут быть сформированы при температуре, не превышающей, примерно, 800°C или, в других вариантах, при температуре не более, примерно, 700°C. Он может быть изготовлен при одной или более температуре(ах) в интервале от, примерно, 500°C до, примерно, 700°C.

[0043] В любом варианте каждого из аспектов полупроводникового прибора с первого по третий или в любом из способов по аспектам с четвертого по шестой применимы следующие признаки по отдельности или в любой комбинации двух или более признаков:

[0044] Первый контакт может быть встроен в буферный слой, который может быть электропроводным буферным слоем. В других вариантах полупроводникового прибора первый контакт может быть расположен поверх буферного слоя. В еще одних вариантах первый контакт может быть встроен в первый слой. В других вариантах полупроводниковый прибор может содержать буферный слой, промежуточный между подложкой и первым слоем. Первый контакт может быть встроен в буферный слой или первый слой. Первый контакт может быть электрическим контактом. Первый контакт может образовывать омический контакт с первым слоем. Первый контакт может образовывать омический контакт с электропроводным буферным слоем. Комбинация первого контакта и буферного слоя может образовывать омический контакт с первым слоем. Электрическое соединение может быть в виде омического контакта. Может быть более, чем один буферный слой, например, может быть два, три, четыре, пять или более буферных слоев. Буферный слой может быть активным полупроводниковым буферным слоем и может быть активным полупроводниковым нитридным слоем. Буферный слой может быть сформирован из ZnO. Буферный слой может быть понижающим последовательное сопротивление буферным слоем.

[0045] Первый слой может быть полупроводниковым слоем n-типа, а второй слой - полупроводниковым слоем p-типа. В других вариантах первый слой может быть полупроводниковым слоем p-типа, а второй слой - полупроводниковым слоем n-типа. Каждый из первого и второго слоев может быть слаболегированным, или же каждый из них может быть сильнолегированным. В других вариантах первый слой может быть слаболегированным, а второй слой может быть сильнолегированным, или, альтернативно, первый слой может быть сильнолегированным, а второй слой может быть слаболегированным. Либо первый, либо второй слои могут включать в себя области со ступенчатым или градиентным легированием, в которых легирование изменяется от слабого легирования до сильного легирования или наоборот. Слой n-типа может быть слоем нитрида с избытком галлия и может быть слоем нитрида, легированного кремнием. Слой p-типа может быть слоем нитрида, легированного магнием, и может быть слоем нитрида галлия, легированного магнием. Альтернативно, слой p-типа может быть слоем нитрида, легированного бериллием или цинком.

[0046] Первый и/или второй слои могут иметь концентрацию легирующей примеси от $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, или же концентрация легирующей примеси может

составлять в интервале от $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{21} \text{ см}^{-3}$, от $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, от $5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, от $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, от $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, от $5 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, от $2 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ или от $5 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Концентрация легирующей примеси может составлять, приблизительно, $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $5 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $8 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $2 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $3 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $4 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $5 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $6 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $7 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $8 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $9 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $2 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ или $1 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$. Первый слой может быть легирован более сильно в области, прилегающей к первому контакту.

[0047] Полупроводниковый прибор может быть полупроводниковым прибором на нитриде металла(ов). Первый и второй слои могут быть сформированы из полупроводникового материала III-V. Первый и второй слои могут быть сформированы из нитрида металла. Нитрид металла может быть нитридом галлия (GaN). В других вариантах первый и второй слои могут быть сформированы из нитрида галлия-алюминия (AlGaIn), нитрида индия-галлия (InGaIn), InGaAlN или InAlN. В других вариантах первый и второй слои могут быть сформированы из разных полупроводниковых материалов, например, InGaIn/AlGaIn, InGaIn/GaN, GaN/AlGaIn, GaN/AlInGaIn, InGaIn/AlInGaIn, AlGaIn/AlInGaIn или других их комбинаций. В других вариантах в переходе могут быть использованы многочисленные слои, такие как, например, квантовые ямы InGaIn, или слои, расположенные между барьерами GaN или AlGaIn. Полупроводниковый прибор может представлять собой полупроводниковый транзистор, например, помимо многих других, биполярный транзистор или полевой транзистор. Полупроводниковый прибор может представлять собой светоизлучающий прибор, например, светоизлучающий диод (светодиод или СИД), лазерный прибор, например, лазерный диод (либо излучающий с торца лазерный диод, либо поверхностно-излучающий лазер с вертикальным резонатором VCSEL, либо лазерный диод какого-либо другого типа), и может быть, например, лазерным диодом на InGaIn/GaN. Светоизлучающий прибор может излучать свет в пределах интервала длин волн, примерно, от 300 до 600 нм. Светоизлучающий прибор может быть синим СИД на GaN, синим СИД на основе GaN, синим лазерным диодом на основе GaN или синим лазерным диодом на GaN. Полупроводниковый прибор может представлять собой фотоприемный прибор, например, помимо многих других, фотодиод, фототранзистор, прибор с зарядовой связью, солнечный элемент или солнечно-слепой детектор. Фотоприемный прибор может принимать свет в интервале длин волн, примерно, от 350 до 700 нм.

[0048] Первый контакт может быть контактом n-типа, а второй контакт может быть контактом p-типа. В других вариантах первый контакт может быть контактом p-типа, а второй контакт может быть контактом n-типа.

[0049] Расстояние между первым и вторым контактами может находиться в интервале, приблизительно, от 10 нм до 10000 нм. Альтернативно, расстояние между первым и вторым контактами может составлять от 10 нм до 5000 нм, от 10 до 1000, от 10 до 900, от 10 до 800, от 10 до 700, от 10 до 600, от 10 до 500, от 10 до 400, от 10 до 350, от 10 до 300, от 10 до 250, от 10 до 200, от 10 до 150, от 10 до 100, от 10 до 50, от 50 до 10000, от 50 до 5000, от 50 до 1000, от 50 до 750, от 50 до 500, от 50 до 300, от 100 до 10000, от 100 до 5000, от 100 до 1000, от 100 до 750, от 100 до 600, от 100 до 500, от 100 до 450, от 100 до 300, от 100 до 350, от 100 до 300, от 100 до 250, от 100 до 200, от 100 до 150, от 200 до 10000, от 200 до 5000, от 200 до 1000, от 200 до 750, от 200 до 600, от 200 до 500, от 200 до 450, от 200 до 300, от 200 до 350, от 200 до 300,

от 200 до 250, от 400 до 10000, от 400 до 5000, от 400 до 1000, от 400 до 750, от 400 до 600, от 400 до 500, от 400 до 450, от 1000 до 10000, от 1000 до 7500, от 1000 до 5000, от 1000 до 2500, от 1000 до 2000, от 2,500 до 10000 или от 5000 до 10000 нм, и расстояние между первым и вторым контактами может составлять, приблизительно, 10 нм или 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 900, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000 или 10000 нм.

[0050] Последовательное сопротивление слоя, прилегающего к первому контакту (т.е. скрытому контакту, как в случае n-типа, так и в случае p-типа проводимости), может составлять менее 5 Ом и может находиться в интервале, примерно, от 0,00001 до 5 Ом. Альтернативно, последовательное сопротивление может находиться в интервале, примерно, от 0,0001 до 2, от 0,0001 до 1, от 0,0001 до 0,1, от 0,0001 до 0,01, от 0,0001 до 0,001, от 0,001 до 5, от 0,001 до 2, от 0,001 до 1, от 0,001 до 0,1, от 0,001 до 0,01, от 0,01 до 5, от 0,01 до 2, от 0,01 до 1, от 0,01 до 0,1, от 0,1 до 5, от 0,1 до 2, от 0,1 до 1 и может составлять, примерно, 0,0001, 0,0005, 0,001, 0,002, 0,003, 0,004, 0,005, 0,006, 0,007, 0,008, 0,009, 0,01, 0,02, 0,03, 0,04, 0,05, 0,06, 0,07, 0,08, 0,09, 0,1, 0,2, 0,3, 0,4, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1, 2 или, примерно, 5 Ом.

[0051] Подложка может быть сапфиром, стеклом, например, боросиликатным или кварцевым стеклом, кварцем, ZnO, карбидом кремния, кремнием или другой подходящей подложкой.

[0052] Полупроводниковый прибор может содержать, по меньшей мере, один дополнительный первый контакт, встроенный в прибор и отделенный некоторым расстоянием от первого контакта. Полупроводниковый прибор может, альтернативно, содержать множество дополнительных первых контактов, встроенных в прибор. Расстояние между первым контактом и соседним дополнительным первым контактом может находиться в интервале, приблизительно, от 50 мкм до 1000 мкм или, альтернативно, может находиться в интервале, приблизительно, от 50 до 750, от 50 до 500, от 50 до 450, от 50 до 400, от 50 до 350, от 50 до 300, от 50 до 250, от 50 до 200, от 50 до 150, от 50 до 100, от 100 до 1000, от 100 до 750, от 100 до 500, от 100 до 450, от 100 до 400, от 100 до 350, от 100 до 300, от 100 до 250, от 100 до 200, от 100 до 150, от 250 до 500, от 250 до 450, от 250 до 400, от 250 до 350 или от 250 до 300 мкм, и это расстояние может составлять, приблизительно, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 325, 350, 375, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900 или 1000 мкм.

[0053] Область перехода может содержать простой p-n, n-p, p-n-p или n-p-n переход, или, в других вариантах, область перехода может являться двойным гетеропереходом, переходом с одной квантовой ямой или переходом с несколькими квантовыми ямами. Область перехода может содержать переход с несколькими квантовыми ямами, включающий содержащиеся в нем 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 или более квантовых ям. Может быть более одной области перехода, например, может быть две, три, четыре, пять, шесть, семь, восемь, девять или десять или же больше областей перехода. Область перехода может содержать область прибора с обедненной областью или зоной, как это будет понятно специалисту, и может содержать один, два или от трех до восьми или более слоев в приборе, при этом данные слои могут быть выбраны из одного или более из полупроводникового слоя, полупроводникового слоя нитрида металла, буферного слоя или электропроводного буферного слоя. Один или более из этих слоев полупроводникового прибора и/или области перехода могут быть легированной областью полупроводникового материала или могут быть сформированы легированием полупроводникового материала легирующей примесью, например, путем диффузии легирующей примеси в полупроводниковый материал или

иными подходящими способами, как это будет понятно специалисту. Область перехода может быть, альтернативно, сформирована осаждением или формированием одного или более полупроводниковых слоев на полупроводниковом материале и/или легированном полупроводниковом материале.

5 [0054] Электрическая взаимосвязь и нахождение в электрическом соединении, как описано выше, включает в себя первый и второй контакты, находящиеся в опосредованном электрическом контакте через слой перехода прибора, в противоположность нахождению в непосредственном электрическом контакте друг с
10 другом.

[0055] Первый контакт может выходить за пределы полупроводникового прибора, чтобы облегчить образование электрического контакта с ним. Подложка, буферный слой или первый слой или их комбинация могут выходить за пределы
15 полупроводникового прибора, чтобы поддерживать вытянутый первый контакт.

Например, часть встроенного или скрытого контакта может быть открыта, чтобы обеспечить возможность выполнить электрическое подключение к нему, или же встроенный или скрытый контакт (или его часть) могут выходить за пределы того слоя, в который он встроен или скрыт, чтобы обеспечить возможность выполнить
20 электрическое подключение к нему.

Краткое описание чертежей

[0056] Теперь будет описан, в качестве лишь примера, предпочтительный вариант осуществления данного изобретения со ссылкой на сопроводительные чертежи, среди которых:

25 [0057] Фигура 1 представляет собой пример известного из уровня техники полупроводникового прибора с мезаструктурой, имеющего внешние контакты;

[0058] Фигура 2 представляет собой первый вариант полупроводникового прибора со скрытыми контактами;

30 [0059] Фигура 3 представляет собой второй вариант полупроводникового прибора со скрытыми контактами;

[0060] Фигура 4 представляет собой третий вариант полупроводникового прибора со скрытыми контактами;

35 [0061] Фигура 5 представляет собой четвертый вариант полупроводникового прибора со скрытыми контактами;

[0062] Фигура 6 представляет собой пятый вариант полупроводникового прибора со скрытыми контактами;

40 [0063] Фигура 7 представляет собой блок-схему, иллюстрирующую первый вариант способа формирования полупроводникового прибора со скрытыми контактами;

[0064] Фигура 8 представляет собой блок-схему, иллюстрирующую второй вариант способа формирования полупроводникового прибора со скрытыми контактами;

45 [0065] Фигуры 9А, 10А, 11А и 12А представляют собой, соответственно, виды сверху полупроводникового прибора во время начальных технологических стадий способа по фигуре 7;

[0066] Фигуры 9В, 10В, 11В и 12В представляют собой, соответственно, виды в разрезе полупроводникового прибора во время начальных технологических стадий соответственно вдоль линий В - В, С - С, D - D и E - E на фигурах 9А, 10А, 11А и 12А; и

50 [0067] Фигура 13 представляет собой график фотолюминесценции от двойного гетероперехода, сформированного в соответствии со способом по изобретению.

Подробное описание предпочтительных вариантов осуществления

[0068] Здесь описаны полупроводниковые приборы и устройство на нитриде

металла со встроенными/скрытыми контактами. Преимущества таких приборов включают значительно уменьшенное последовательное сопротивление между электрическими контактами такого прибора, в результате чего обеспечивается повышенная эффективность эксплуатации и сниженное нагревание прибора. Другие преимущества встроенных контактов в полупроводниковых приборах на нитриде металла включают то, что если часть скрытых контактов может поддерживаться свободной от осаждаемого материала, то может быть устранена необходимость в фотолитографии для производства такого прибора. Для предотвращения осаждения на поверхности контакта может быть использована маска. Может оказаться возможным производство таких приборов в широком ассортименте, в зависимости от других эксплуатационных ограничений, таких как ток, напряжение и рассеяние тепла.

[0069] Обращаясь к фигуре 2 чертежей, там представлен полупроводниковый прибор 100 на нитриде металла, показанный в виде трехмерного изображения, а на фигуре 3 представлен его вид в разрезе по пунктирной линии А-А на фигуре 2. Данный полупроводниковый прибор содержит подложку 102, первые контакты 104, электропроводный буферный слой 106, первый слой 108 легированного полупроводникового материала, осажденный на буферный слой 106, полупроводниковую область перехода 110, осажденную на первый слой 108, второй слой 112 легированного полупроводникового материала, осажденный на область перехода 110, причем этот второй слой 112 обладает противоположным первому слою 108 типом примесной проводимости, и второй контакт 114, при этом второй контакт 114 находится в электрическом соединении со вторым слоем 112, а первые контакты 104 встроены в полупроводниковый прибор 100 между подложкой 102 и областью перехода 110. В показанном частном варианте первые контакты встроены в буферный слой 102, хотя в некоторых вариантах первые контакты 104 могут быть расположены поверх буферного слоя 102. В других вариантах второй контакт может быть встроен в первый слой полупроводникового материала 106.

[0070] Первый слой 106 может быть полупроводниковым слоем n-типа, а второй слой 112 - полупроводниковым слоем p-типа. В других вариантах первый слой 102 может быть полупроводниковым слоем p-типа, а второй слой 112 - полупроводниковым слоем n-типа. Каждый из первого и второго слоев может быть слаболегированным или же каждый из них может быть сильнолегированным. В других вариантах первый слой может быть слаболегированным, а второй слой может быть сильнолегированным, или, альтернативно, первый слой может быть сильнолегированным, а второй слой может быть слаболегированным. Первый или второй слой может включать в себя области со ступенчатым или градиентным легированием, в которых легирование изменяется от слабого легирования до сильного легирования или наоборот (не показано). Первый слой может быть более сильно легирован в области, прилегающей к первому контакту. Первый слой может иметь концентрацию легирующей примеси от $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, или же концентрация легирующей примеси может составлять в интервале от $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{21} \text{ см}^{-3}$, от $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, от $5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, от $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{20} \text{ см}^{-3}$, от $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, от $5 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, от $2 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ или от $5 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$ до $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$. Концентрация легирующей примеси может составлять, приблизительно, $1 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $5 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$, $1 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $5 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $8 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $1 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $2 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $3 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $4 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $5 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $6 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $7 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $8 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $9 \times 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $1 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $2 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$, $5 \times 10^{19} \text{ см}^{-3}$ или 1×10^{20}

см⁻³.

[0071] Полупроводниковый прибор 100 может быть полупроводниковым прибором на нитриде металла. Первый и второй слои 108 и 112 формируют из полупроводникового нитрида металла III-V, такого как нитрид галлия (GaN). В других вариантах первый и второй слои 108 и 112 формируют из нитрида галлия-алюминия (AlGaN), нитрида индия-галлия (InGaN), InGaAlN или InAlN. В других вариантах первый и второй слои 108 и 112 формируют из разных полупроводниковых материалов, например, InGaN/AlGaN, InGaN/GaN, GaN/AlGaN, GaN/AlInGaN, InGaN/AlInGaN, AlGaN/AlInGaN или других их комбинаций.

[0072] Переход 110 на фигурах 2 и 3 изображен как двойной гетеропереход, содержащий первый слой 116 перехода из полупроводникового материала n- или p-типа, такого как, например, AlGaN, промежуточный слой 118, например, из InGaN, и второй слой 120 перехода с типом примесной проводимости (т.е. p- или n-типом, соответственно), противоположным типу примесной проводимости первого слоя перехода, в соответствии с обычными гетеропереходами. В других вариантах полупроводниковый прибор может быть прибором с одной или несколькими квантовыми ямами. Фигура 4 (на которой аналогичные элементы обозначены теми же ссылочными позициями) показывает примерный вариант полупроводникового прибора на нитриде металла со встроенными контактами, в котором область перехода 210 содержит структуру с 2-мя квантовыми ямами. Буферные слои 202 и 208 и слои 204 и 206 квантовой ямы такого перехода могут быть сформированы из легированного примесью n- или p-типа материала, образованного из InGaN или AlGaN, с образующими барьеры структур ям промежуточными слоями 210, 212 и 214, сформированными, например, из GaN или AlGaN, в соответствии с обычными структурами с несколькими квантовыми ямами. Промежуточные слои 210, 212 и 214 могут иметь, при необходимости, ширину запрещенной зоны, по существу, подобную ее ширине у любого слоя перехода 106 или 112, или же эта ширина запрещенной зоны может отличаться, при условии, что она в достаточной степени больше ширины запрещенной зоны слоев 204 и 206 ямы. В других вариантах полупроводниковый прибор может, при необходимости, иметь 3, 4, 5 или более слоев квантовой ямы.

[0073] Первые контакты 104 могут быть контактами n-типа, а второй контакт 114 может быть контактом p-типа. В других вариантах первый контакт 104 является контактом p-типа, а второй контакт 114 является контактом n-типа.

[0074] Расстояние между первым 104 и вторым 114 контактами может находиться в интервале, приблизительно, от 10 нм до 10000 нм. Альтернативно, расстояние между первым и вторым контактами может составлять от 10 нм до 5000 нм, от 10 нм до 1000 нм, от 10 нм до 900 нм, от 10 нм до 800 нм, от 10 нм до 700 нм, от 10 нм до 600 нм, от 10 нм до 500 нм, от 10 нм до 400 нм, от 10 нм до 350 нм, от 10 нм до 300 нм, от 10 нм до 250 нм, от 10 нм до 200 нм, от 10 нм до 150 нм, от 10 нм до 100 нм, от 10 нм до 50 нм, от 50 нм до 10000 нм, от 50 нм до 5000 нм, от 50 нм до 1000 нм, от 50 нм до 750 нм, от 50 нм до 500 нм, от 50 нм до 300 нм, от 100 нм до 10000 нм, от 100 нм до 5000 нм, от 100 нм до 1000 нм, от 100 нм до 750 нм, от 100 нм до 600 нм, от 100 нм до 500 нм, от 100 нм до 450 нм, от 100 нм до 300 нм, от 100 нм до 350 нм, от 100 нм до 300 нм, от 100 нм до 250 нм, от 100 нм до 200 нм, от 100 нм до 150 нм, от 1000 нм до 10000 нм, от 1000 нм до 7500 нм, от 1000 нм до 5000 нм, от 1000 нм до 2500 нм, от 1000 нм до 2000 нм, от 2500 нм до 10000 нм или от 5000 нм до 10000 нм, и расстояние между первым и вторым контактами может составлять, приблизительно, 10 нм или же 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750, 800, 900, 1000, 1500,

2000, 2500, 3000, 3500, 4000, 4500, 5000, 6000, 7000, 8000, 9000 или 10000 нм.

[0075] Полупроводниковый прибор может содержать, по меньшей мере, один дополнительный первый контакт, встроенный в прибор и отделенный некоторым расстоянием от первого контакта. Расстояние между первым контактом и
5 дополнительным первым контактом может находиться в интервале, приблизительно, от 50 мкм до 1000 мкм или, альтернативно, может находиться в интервале, приблизительно, от 50 мкм до 750 мкм, от 50 мкм до 500 мкм, от 50 мкм до 450 мкм, от 50 мкм до 400 мкм, от 50 мкм до 350 мкм, от 50 мкм до 300 мкм, от 50 мкм до 250
10 мкм, от 50 мкм до 200 мкм, от 50 мкм до 150 мкм, от 50 мкм до 100 мкм, от 100 мкм до 1000 мкм, от 100 мкм до 750 мкм, от 100 мкм до 500 мкм, от 100 мкм до 450 мкм, от 100 мкм до 400 мкм, от 100 мкм до 350 мкм, от 100 мкм до 300 мкм, от 100 мкм до 250 мкм, от 100 мкм до 200 мкм, от 100 мкм до 150 мкм, от 250 мкм до 500 мкм, от 250 мкм до 450 мкм, от 250 мкм до 400 мкм, от 250 мкм до 350 мкм или от 250 мкм
15 до 300 мкм, и это расстояние может составлять, приблизительно, 50, 75, 100, 125, 150, 175, 200, 225, 250, 275, 300, 325, 350, 375, 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900 или 1000 мкм.

[0076] Как изображено на фигуре 2, первые контакты 104 выходят за пределы буферного слоя 106 и слоев 108-112 полупроводникового прибора, чтобы облегчить
20 формирование электрического контакта с ними. Первые контакты 104 в других вариантах, например, в таком, который изображен на фигуре 5 (на которой аналогичные элементы обозначены теми же ссылочными позициями), могут быть сформированы внутри первого слоя и могут содержать область более сильно легированного полупроводникового материала 302 поблизости от контактов 104,
25 чтобы обеспечить улучшенный электрический контакт с прибором. Подложка, буферный слой или первый слой, или их комбинация может выходить за пределы полупроводникового прибора, чтобы при необходимости поддерживать вытянутый первый контакт, как изображено на фигуре 2.

[0077] Другой вариант полупроводникового прибора на нитриде металла со
30 встроенными/скрытыми контактами изображен на фигуре 6 и содержит подложку 402, первый слой 404 нитрида металла, осажденный на подложку, по меньшей мере, один первый контакт 406, сформированный на первом слое 404 нитрида металла, второй слой 408 нитрида металла, осажденный на первом слое 404 нитрида металла с
35 герметизацией, по меньшей мере, части первого контакта 406, полупроводниковую область перехода 410, осажденную на второй слой 408 нитрида металла, третий слой 412 нитрида металла, осажденный на область перехода 410, причем этот третий слой 412 нитрида металла обладает типом примесной проводимости,
40 противоположным типу примесной проводимости первого и второго слоев 402 и 408 нитрида металла, и второй контакт 414, электрически соединенный с третьим слоем 412 нитрида металла. Как и на фигуре 3, на фигуре 6 изображен двойной гетеропереход с первым слоем 416 перехода из полупроводникового материала n- или p-типа, такого как, например, какой-либо AlGaIn, промежуточным слоем 418,
45 например, из InGaIn, и вторым слоем 420 перехода с типом примесной проводимости (т.е. p- или n-типом соответственно), противоположным типу примесной проводимости первого слоя перехода, в соответствии с обычными гетеропереходными структурами, хотя в других вариантах возможна также и другая структура перехода.

[0078] Последовательное сопротивление описанных выше структур
50 полупроводниковых приборов со встроенными металлическими контактами значительно меньше по сравнению с полупроводниковыми приборами с мезаструктурой, такими как тот, что изображен на фигуре 1. Например, в случае,

когда n-контакт расположен лишь вдоль одной стороны мезоструктуры СИД, электросопротивление R слоя растекания отрицательных зарядов (электронов) выражается как

$$R = \rho_{sn} \cdot (L_{sp} + \lambda)/L, \quad (1)$$

[0079] где ρ_{sn} - поверхностное удельное электросопротивление слоя n-типа, L_{sp} - длина растекания n-слоя, λ - расстояние между n-контактом и мезоструктурой, и L - ширина квадратной мезоструктуры. Подставляя типичные значения переменных в уравнение (1) (например, те, что приведены в Chakraborty et al. IEEE Transactions of Electron Devices, v. 54, No. 5 2007), типичное электросопротивление прибора с мезоструктурой составляет приблизительно 13 Ом. По сравнению с этим, для структуры, в которой n-контакт расположен непосредственно под верхним p-контактом, эквивалентное сопротивление R_{bc} такого прибора со скрытым контактом (например, прибора, подобному тому, который изображен на фигуре 2) составляло бы, приблизительно:

$$R_{bc} = (\text{удельное электросопротивление слоя n-типа} \cdot \text{толщина слоя n-типа}) / \text{площадь прибора} = 0,003 \text{ Ом}\cdot\text{см} \cdot 0,0003 \text{ см} / (0,03 \times 0,03 \text{ см}) = 0,001 \text{ Ом}.$$

[0080] Из этого ясно видны преимущества нитридного прибора со скрытым контактом в отношении эффективности прибора, основывающиеся исключительно на улучшении последовательного электросопротивления. Специалисту будет очевидно, что фактическое последовательное сопротивление конкретного прибора в значительной степени зависит от таких факторов, как площадь контакта и толщина и удельное электросопротивление используемых слоев. Оно также зависит от используемых слоев перехода, например, присутствие AlGaN может значительно увеличить последовательное сопротивление. Поэтому фактическое последовательное сопротивление любого готового полупроводникового нитридного прибора со скрытым контактом может значительно меняться (например, в интервале от 0,0001 до 5 Ом), однако понятно, что любое улучшение фактического последовательного сопротивления по сравнению с существующими приборами оказывает значительное положительное влияние на эффективность преобразования электрической энергии в оптическую и общую эффективность прибора.

[0081] В соответствии с дополнительным аспектом также предложен способ формирования полупроводникового прибора со слоями нитрида металла и скрытыми металлическими контактами. На фигурах с 7 по 9 показаны примерные технологические стадии способа формирования полупроводникового прибора со встроенными контактами вида, представленного на фигурах с 2 по 6. В каждом случае подложка может быть из сапфира, стекла, например, боросиликатного или кварцевого стекла, кварца, ZnO, карбида кремния, кремния или сапфира и может быть первоначально очищена обычным образом, например, промывкой пероксидом водорода или гидроксидом аммония для стекла, промывкой плавиковой кислотой для очистки кремниевых подложек; нагреванием подложек из ZnO для удаления гидроксидных слоев; или очисткой фосфорной кислотой для сапфировых подложек; или другими способами, известными специалисту. Подложка может содержать буферный слой, размещенный или осажденный на ней.

[0082] Формирование описанного здесь полупроводникового прибора, имеющего слой нитрида металла (особенно слой GaN) и скрытые металлические контакты, выполняют с использованием источника стимулированного удаленной азотной плазмой газофазного химического осаждения (RPECVD) посредством термического

разложения триметилгаллия в атмосфере азота, с объединением возбужденных частиц азота в нижнем течении потока плазмы с галлием с образованием GaN при температурах в интервале, примерно, от 500 до 800 градусов Цельсия.

5 Предшествующие технологии изготовления полупроводниковых приборов со скрытыми контактами используют технологии MOCVD, которые обычно выполняются при температурах примерно 1000-1100 градусов Цельсия. Существенные преимущества данных технологий изготовления с удаленной плазмой, которые описаны более подробно в заявках на патент PCT/AU2003/000598
10 и PCT/AU2005/001483, содержание которых полностью включено сюда посредством перекрестной ссылки, заключаются в том, что встроенные металлические контакты не разлагаются при рабочих температурах от 500 до 800 градусов (металлические контакты могут испаряться или образовывать капли жидкости при температурах выше 1000 градусов Цельсия), и то, что изготовление выполняется в атмосфере азота,
15 а не аммиака (который может травить и повреждать встроенные металлические контакты во время последующих этапов изготовления). При таком способе RPECVD азотная плазма образуется в месте, удаленном от реакционной камеры, и образовавшиеся в плазме метастабильные активные нейтральные частицы азота транспортируются, попадая на подложку и при этом взаимодействуя с одним или более предшественниками с образованием пленки из нитрида металла группы III на подложке. Кинетическая энергия активных частиц в этот момент довольно низка (только тепловая энергия), в то время как потенциальная энергия активных частиц может находиться в интервале между 6 и 12 эВ. Потенциальная энергия
20 метастабильных активных нейтральных частиц преобразуется в другой вид энергии (кинетическую, тепловую и т.д.), когда данные частицы реагируют с образованием нитрида металла группы III. Метастабильные активные нейтральные частицы азота могут быть метастабильными частицами молекулярного азота [N₂*]. Перенос
25 активных нейтральных частиц азота обычно достигается за счет энергии импульса и/или кинетической энергии, которую частицы азота приобретают от плазмы. Активные нейтральные частицы азота могут иметь величины потенциальной энергии, которые предпочтительно находятся в интервале между, примерно, 6 эВ и, примерно, 9 эВ, что относится к величинам потенциальной энергии для метастабильных
30 молекулярных частиц азота. Активные нейтральные частицы азота могут реагировать с предшественником металла группы III, образуя на подложке полупроводниковый материал - нитрид металла группы III. Атомарный азот может реагировать с частицами органического предшественника металла группы III, образуя на подложке
35 полупроводниковый материал - нитрид металла группы III.

40 [0083] Азот, из которого образуется плазма, предпочтительно, является высокочистым азотом, т.е. с уровнями содержания примесей менее, примерно, 10 млрд⁻¹ (масса/массу, объем/объем или моль на моль) или менее, примерно, 9, 8, 7, 6,
45 5, 4, 3, 2, 1, 0,5, 0,2, 0,1, 0,05 или 0,01 млрд⁻¹. Активные нейтральные частицы азота, которые образуются в азотной плазме, могут иметь среднюю энергию меньше энергии связи нитрида галлия или примерно равную ей. Может образовываться более чем один вид активных нейтральных частиц азота. Активные нейтральные частицы азота или один вид таких частиц могут быть возбужденными молекулярными частицами азота и могут быть метастабильными молекулярными частицами азота. Подходящей активированной частицей азота является N₂*(A³Σ_u⁺), которая имеет энергию, примерно, 6 эВ. Другие подходящие активные частицы азота включают N₂*(B³Π_g) и

$N_2^*(a^1P_g)$, которые имеют энергию, примерно, 7,5 эВ и 8,5 эВ, соответственно. Одним из преимуществ этих реакционноспособных нейтральных частиц является то, что они имеют сравнительно низкую кинетическую энергию, а значит, воздействуют на поверхность подложки посредством их потенциальной энергии возбуждения, а не посредством динамического соударения, в результате вызывая меньшее повреждение поверхности выращиваемой пленки.

[0084] Атомарный азот также метастабилен и часто образуется в плазме (хотя обычно в малых количествах), и он имеет уровень энергии, примерно, 11,5 эВ.

Атомарных частиц азота, предпочтительно, избегают, поскольку они имеют тенденцию к обладанию повышенной потенциальной энергией, и при преобразовании в другие виды энергии (т.е. при реагировании с формированием GaN) эта избыточная энергия может преобразовываться в кинетическую энергию и может вызывать повреждения подложки и выращиваемой полупроводниковой пленки. Способ по данному изобретению предпочтительнее молекулярно-лучевой эпитаксии (МВЕ) тем, что в последнем способе трудно регулировать образование частиц с повышенной энергией вследствие использования сравнительно высоких давлений. В предложенном способе, напротив, используются более низкие давления (обычно от, примерно, 0,1 до, примерно, 5 мм рт.ст.), что обеспечивает возможность лучшего контроля за частицами с высокой энергией и, поэтому, меньшее повреждение пленки.

[0085] Полупроводниковые приборы на нитриде металла группы III на металлических контактах могут быть выращены на подходящих подложках (например, из сапфира, стекла, кварца и т.д.) с использованием способа REPCVD. Металлический контакт может быть выбран из одного или более из никеля, хрома, платины, вольфрама или молибдена, сплава любого одного или более из вышеуказанных металлов или любого другого подходящего металла, обладающего хорошей электрической проводимостью по сравнению с полупроводниковым материалом нитридом металла и более высокой температурой плавления, чем температура выращивания (т.е., примерно, от 600°C до 700°C). Например, для металлических контактов может быть использован нихром, который представляет собой сплав никеля и хрома, обладающий хорошей электрической проводимостью по сравнению с GaN (или другими полупроводниковыми материалами нитридами металлов группы III) и способностью выдерживать высокие температуры. Удельное электросопротивление нихромового сплава, содержащего 79% никеля и 21% хрома, составляет, примерно, $1,075 \times 10^{-6}$ Ом·м, что соответствует на несколько порядков величины большей проводимости по сравнению с GaN (~0,001 Ом·см).

[0086] В примерном варианте прибор с двойным гетеропереходом может быть выращен на подложке, содержащей один или более электропроводных контактов (например, металлический контакт, сформированный, например, из нихрома или другого подходящего металла или металлического сплава), описанным ниже способом. Электропроводный(е) контакт(ы) может(гут) быть сформированы на подложке подходящими способами осаждения, которые известны в данной области техники и могут содержать стадию формирования рисунка на подложке перед осаждением электропроводного(ых) контакта(ов) для формирования металлического(их) контакта или контактов подходящей конфигурации.

Электропроводный буферный слой может быть необязательно сформирован на электропроводном(ых) контакте(ах), как это будет понятно специалисту.

[0087] Первый нитрид металла (например, нитрид галлия GaN) может быть выращен на электропроводном контакте при температуре в интервале от, примерно,

500°C до, примерно, 700°C в течение времени от, примерно, 0,5 часа до, примерно, 24 часов. Температура реактора может, альтернативно, находиться в интервале от 500 до 650, от 500 до 600, от 500 до 580, от 500 до 560, от 500 до 540, от 520 до 700, от 520 до 650, от 520 до 600, от 520 до 580, от 530 до 560, от 535 до 555, от 540 до 550 или
 5 от 540 до 545°C и может составлять, примерно, 535, 538, 540, 541, 542, 543, 544, 545, 546, 547, 548, 549, 550, 553, 555, 560, 570, 580, 590, 600, 625, 650, 675 или, примерно, 700°C. Время выращивания для первого слоя может, альтернативно, находиться в интервале от, примерно, 0,5 до 18, от 0,5 до 12, от 0,5 до 10, от 0,5 до 8, 0,5 до 7, от 0,5 до 6, от 0,5 до 5, от 0,5 до 4, от 0,5 до 3, от 0,5 до 2,5, от 0,5 до 2, от 0,5 до 1, от 2 до 24,
 10 от 2 до 18, от 2 до 12, от 2 до 10, от 2 до 8, от 2 до 6, от 2 до 5, от 2 до 4, от 2 до 3, от 3 до 5, от 3,5 до 4,5 или от 3,8 до 4,2 часов, и может составлять, примерно, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5 или, примерно, 6 часов, в зависимости от требуемой толщины слоя. Этот слой, сформированный на контакте (чтобы встроить или скрыть данный контакт в полупроводниковом слое нитрида металла), может быть выращен в обогащенных азотом условиях. При таких обогащенных азотом условиях, однако, может потребоваться принимать меры по минимизации повреждения пленки высокоэнергетическими частицами азота, что может привести к стехиометрии пленки с
 15 низким содержанием азота.

[0088] Слой нитрида металла может быть n-типа или p-типа (нижеследующее обсуждение предполагает слой n-типа, однако, в случае, когда первый слой является слоем p-типа, нижеследующее описание также применимо с необходимыми поправками). Давление в реакторе для выращивания этого первого слоя может
 25 находиться в интервале от 0,01 мм рт.ст. до 5 мм рт.ст. или, альтернативно, примерно, от 0,01 до 4, от 0,01 до 3, от 0,01 до 2, от 0,01 до 1, от 0,01 до 0,5, от 0,1 до 5, от 0,1 до 4, от 0,1 до 3, от 0,1 до 2, от 0,1 до 1, от 0,1 до 0,5, от 1 до 5, от 1 до 4, от 1 до 3, от 1 до 2, от 1 до 1,5, от 0,5 до 2, от 0,5 до 1,8, от 0,5 до 1,6, от 0,5 до 1,5, от 0,5 до 1,4, от 0,5 до 1,3, от 0,5 до 1,2, от 0,5 до 1,1, от 0,5 до 1, от 0,7 до 1,8, от 0,7 до 1,6, от 0,7 до 1,5, от 0,7 до 1,4, от 0,7 до 1,3, от 0,7 до 1,2, от 0,7 до 1,1, от 0,7 до 1, от 0,8 до 1,8, от 0,8 до 1,6, от 0,8 до 1,5, от 0,8 до 1,4, от 0,8 до 1,3, от 0,8 до 1,2, от 0,8 до 1,1, от 0,8 до 1, от 0,9 до 1,8, от 0,9 до 1,6, от 0,9 до 1,5, от 0,9 до 1,4, от 0,9 до 1,3, от 0,9 до 1,2, от 0,9 до 1,1, от 0,9 до 1, от 1 до 1,8, от 1 до 1,6, от 1 до 1,5, от 1 до 1,4, от 1 до 1,3, от 1 до 1,2,
 30 или от 1 до 1,1 мм рт.ст. и может составлять, приблизительно, 0,5, 0,6, 0,7, 0,8, 0,9, 1,0, 1,1, 1,2, 1,3, 1,4, 1,5, 1,6, 1,7, 1,8, 1,9 или, примерно, 2 мм рт.ст.

[0089] Предшественник нитрида металла для первого слоя может быть доставлен к подложке протеканием азота через данный предшественник. Примерами предшественников могут являться:
 40

триметилгаллий (TMG) для выращивания GaN;
 триметилалюминий (TMAI) для выращивания AlN;
 триметилиндий (TMIn) для выращивания InN;
 или их комбинации для выращивания других полупроводниковых материалов,
 45 таких как AlGaIn, InGaIn и/или AlInGaIn. Также могут быть использованы другие предшественники галлия, как это будет понятно специалисту.

[0090] Предшественник может поддерживаться во время выращивания при желательной рабочей температуре, которая обычно находится между температурами плавления и кипения «жидких» источников, т.е. в случае TMG температура может
 50 находиться в интервале, примерно, от -15,8°C до 55,7°C; а в случае TMAI температура может находиться в интервале, примерно, от 15,4°C до 126°C. В случае «твердых» источников, таких как TMIn и Cr₂Mg, они могут быть использованы при столь

высоких рабочих температурах, как их температура плавления, т.е. в случае TMIn температура может составлять вплоть до 88°C (хотя, более типично, она находится в интервале от, примерно, 0°C до, примерно, 50°C, поскольку в этом интервале имеются данные по давлению паров), а в случае Cr_2Mg (используемого для легирования пленок нитридов металлов магнием в качестве легирующей примеси р-типа) - вплоть до, примерно, 176°C (или, более типично, в интервале от, примерно, 0°C до, примерно, 50°C). Также могут использоваться и другие предшественники, как это будет понятно специалисту, в частности, для легирования пленок нитридов металлов, например, предшественники кислорода и другие.

[0091] При необходимости также могут быть использованы другие материалы-предшественники. Например, легирование полупроводникового нитрида металла примесью р-типа может быть достигнуто введением магния в такой материал. Предшественник магния может быть получен из предшественника Cr_2Mg . При необходимости может(гут) быть альтернативно использован(ы) другой(ие) материал(ы)-предшественник(и).

[0092] Предшественник(и) может(гут) быть доставлен(ы) к подложке пропусканием потока газа через данный предшественник. Например, газ может быть газообразным азотом, подаваемым при требуемом расходе, для получения желательной концентрации предшественника у подложки для выращивания конкретной пленки. Расход газа может находиться в интервале, примерно, от 5 до 500 станд. $\text{см}^3/\text{мин}$ (стандартных кубических сантиметров в минуту) или, примерно, от 5 до 450, от 5 до 400, от 5 до 350, от 5 до 300, от 5 до 250, от 5 до 200, от 5 до 150, от 5 до 100, от 5 до 90, от 5 до 80, от 5 до 70, от 5 до 60, от 5 до 50, от 5 до 40, от 5 до 30, от 5 до 20, от 5 до 15, от 5 до 10, от 10 до 100, от 10 до 90, от 10 до 80, от 10 до 70, от 10 до 60, от 10 до 50, от 10 до 40, от 10 до 30, от 10 до 20, от 10 до 15, от 15 до 20, от 20 до 90, от 20 до 80, от 20 до 70, от 20 до 60, от 20 до 50, от 20 до 40, от 20 до 30 и может составлять, примерно, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 или 100 станд. $\text{см}^3/\text{мин}$ в соответствии с потребностями, т.е. требуемые величины расхода обычно изменяют в соответствии с площадью поверхности осаждения, поэтому чем больше площадь поверхности осаждения, тем больше требуемый расход (например, расход, примерно, 500 станд. $\text{см}^3/\text{мин}$ или больше может потребоваться в случае поверхности осаждения диаметром, примерно, 60 см).

[0093] Удаленная плазма в реакторе RPECVD может быть азотной плазмой. Азот можно заставить протекать через предназначенную для плазмы трубку реактора RPECVD при таком расходе, чтобы отрегулировать концентрацию активных нейтральных частиц азота, присутствующих на поверхности подложки, в соответствии с требованиями. Расход азота через предназначенную для плазмы трубку может находиться в интервале от, примерно, 300 до 1000 станд. $\text{см}^3/\text{мин}$ или, примерно, от 400 до 800, от 400 до 700, от 400 до 600, от 400 до 500, от 450 до 700, от 450 до 650, от 450 до 600, от 450 до 550, от 450 до 500, от 500 до 700, от 500 до 650, от 500 до 600 или от 500 до 550 станд. $\text{см}^3/\text{мин}$ и может составлять, примерно, 300, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 800, 900 или 1000 станд. $\text{см}^3/\text{мин}$ в соответствии с требованиями. Кроме того, требуемые величины расхода обычно зависят от площади поверхности осаждения, поэтому может потребоваться расход вплоть до или более 30 литров/минуту (30000 станд. $\text{см}^3/\text{мин}$), например, в случае поверхности осаждения диаметром, примерно, 60 см.

[0094] Второй, более тонкий, слой нитрида металла n-типа может быть сформирован на первом слое. Этот слой может быть сформирован из материала - полупроводникового соединения (например, AlGaN или InGaN и других). Второй слой может быть выращен при более низкой температуре, чем первый слой. Температура реактора во время выращивания второго слоя может находиться в интервале от, примерно, 20°C до, примерно, 1100°C или более типично вплоть до температуры, примерно, 700°C для существующей системы RPECVD. Температура реактора может, альтернативно, находиться в интервале, примерно, от 20 до 700, от 20 до 650, от 20 до 600, от 20 до 550, от 20 до 540, от 20 до 530, от 20 до 520, от 20 до 510, от 20 до 500, от 100 до 700, от 100 до 600, от 100 до 550, от 100 до 525, от 100 до 500, от 250 до 700, от 250 до 650, от 250 до 600, от 250 до 600, от 250 до 550, от 250 до 525, от 250 до 500, от 400 до 700, от 400 до 650, от 400 до 600, от 400 до 550, от 400 до 500, от 500 до 700, от 500 до 650, от 500 до 600, от 500 до 550, от 500 до 540, от 505 до 535, от 510 до 530, от 515 до 525 или от 515 до 520°C и может составлять, примерно, 500, 505, 508, 509, 510, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520, 521, 522, 523, 524, 525, 528, 530, 535 или 540°C. Второй слой может быть выращен в течение промежутка времени от, примерно, 30 секунд до, примерно, 3 часов или, альтернативно, от 1 минуты до 3 часов, от 1 минуты до 2 часов, от 1 минуты до 1 часа, от 1 до 30 минут, от 5 минут до 3 часов, от 5 минут до 2 часов, от 5 минут до 1 часа, от 5 до 30 минут, от 5 до 25 минут, от 5 до 20 минут, от 5 до 15 минут, от 10 до 30 минут, от 10 до 25 минут, от 10 до 20 минут, от 10 до 15 минут, который может составлять, примерно, 0,5, 1,2, 3,4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 25, 30, 40, 50, 60 минут или, примерно, 1,5, 2, 2,5 или 3 часа, в зависимости от необходимости.

[0095] Давление в реакторе во время выращивания второго слоя может быть выше давления в случае первого слоя и может находиться в интервале, приблизительно, от 0,01 мм рт.ст. до 5 мм рт.ст. или, альтернативно, от 0,01 до 4, от 0,01 до 3, от 0,01 до 2, от 0,01 до 1, от 0,01 до 0,5, от 0,1 до 5, от 0,1 до 4, от 0,1 до 3, от 0,1 до 2, от 0,1 до 1, от 0,1 до 0,5, от 1 до 5, от 1 до 4, от 1 до 3, от 1 до 2, от 1 до 1,5, от 0,5 до 2, от 2 до 5, от 2 до 4,5, от 2 до 4, от 2 до 3,5, от 2 до 3, от 2,5 до 4, от 2,5 до 3,5, от 2,5 до 3, от 2,8 до 3,5, от 2,8 до 3,2 мм рт.ст. и может составлять, примерно, 2, 2,5, 2,7, 2,8, 2,9, 3,0, 3,1, 3,2, 3,3, 3,4, 3,5, 3,7, 3,8, 4,0, 4,5 или, примерно, 5 мм рт.ст.

[0096] Температура реактора может быть уменьшена (или увеличена между выращиванием первого и второго слоев (или между любыми последовательными слоями, если это необходимо)). На этом этапе снижения температуры может поддерживаться поток азота через предназначенную для плазмы трубку источника удаленной азотной плазмы, однако, без присутствия плазмы. Поток азота через предназначенную для плазмы трубку во время этого этапа может находиться в интервале, примерно, от 400 до 650 станд. см³/мин или, альтернативно, от 450 до 600 или от 500 до 550 станд. см³/мин и может составлять, примерно, 450, 500, 550, 600 или 650 станд. см³/мин. Давление в реакторе может быть увеличено (или, альтернативно, уменьшено) во время этого этапа, в зависимости от требуемых условий для выращивания следующего слоя прибора. Кроме того, требуемые величины расхода обычно изменяют в соответствии с площадью поверхности осаждения, поэтому могут потребоваться величины расхода вплоть до или более 30 литров/минуту (30000 станд. см³/мин), например, в случае поверхности осаждения диаметром, примерно, 60 см.

[0097] Первый слой p-типа может затем быть осажден на слое n-типа при температуре в интервале от, приблизительно, 500°C до, примерно, 700°C в течение

времени от, примерно, 0,5 минуты до, примерно, 3 часов. Третий слой может быть также другим материалом - полупроводниковым соединением - и может содержать легирующую примесь р-типа. Температура реактора может, альтернативно, находиться в интервале от 500 до 650, от 500 до 600, от 500 до 580, от 500 до 560, от 500 до 540, от 500 до 250, от 500 до 510, от 505 до 535, от 510 до 530, от 515 до 525 или от 515 до 520°C и может составлять, примерно, 500, 505, 508, 509, 510, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520 521, 522, 523, 524, 525, 528, 530, 535 или 540°C. Температура может быть, приблизительно, такой же, что и в случае второго слоя. Давление может быть, приблизительно, таким же, что и в случае второго слоя. Третий слой может быть выращен в течение более короткого промежутка времени по сравнению со вторым слоем, который может находиться в интервале, приблизительно, от 2 до 15 минут или, альтернативно, от 3 до 15, от 3 до 10, от 3 до 6, от 3 до 5, от 4 до 10, от 4 до 6 минут и может составлять, примерно, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 12 или, примерно, 15 минут.

[0098] Один, два, три, четыре, пять или более слоев могут быть необязательно сформированы на первом слое р-типа при аналогичных условиях, как это будет понятно специалисту, чтобы сформировать приборы с альтернативными типами переходов, например, прибор с одной единственной квантовой ямой или приборы с несколькими квантовыми ямами в области перехода. Область перехода может содержать простой р-п, п-р, р-п-р или п-р-п переход, или, в других вариантах, область перехода может являться переходом с одной квантовой ямой или переходом с несколькими квантовыми ямами. Область перехода может содержать переход с несколькими квантовыми ямами, включающий содержащиеся в нем 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 или более квантовых ям. Может быть более одной области перехода, например, может быть две, три, четыре, пять, шесть, семь, восемь, девять или десять или же больше областей перехода.

[0099] Второй слой р-типа может быть выращен в первом слое р-типа. Температура реактора может находиться в интервале, приблизительно, от 500°C до, примерно, 700°C, от 500 до 650, от 500 до 600, от 500 до 580, от 500 до 560, от 500 до 540, от 505 до 535, от 510 до 530, от 515 до 525 или от 515 до 520°C и может составлять, примерно, 500, 505, 508, 509, 510, 512, 513, 514, 515, 516, 517, 518, 519, 520 521, 522, 523, 524, 525, 528, 530, 535 или 540°C. Давление в реакторе может находиться в интервале, приблизительно, от 0,01 мм рт.ст. до 5 мм рт.ст. или, альтернативно, примерно, от 0,01 до 4, от 0,01 до 3, от 0,01 до 2, от 0,01 до 1, от 0,01 до 0,5, от 0,1 до 5, от 0,1 до 4, от 0,1 до 3, от 0,1 до 2, от 0,1 до 1, от 0,1 до 0,5, от 1 до 5, от 1 до 4, от 1 до 3, от 1 до 2, от 1 до 1,5, от 2 до 5, от 2 до 4,5, от 2 до 4, от 2 до 3,5, от 2 до 3, от 2,5 до 4, от 2,5 до 3,5, от 2,5 до 3, от 2,8 до 3,5, от 2,8 до 3,2 мм рт.ст. и может составлять, примерно, 2, 2,5, 2,7, 2,8, 2,9, 3,0, 3,1, 3,2, 3,3, 3,4, 3,5, 3,7, 3,8, 4,0, 4,5 или, примерно, 5 мм рт.ст. Второй слой р-типа может быть выращен в течение промежутка времени от, примерно, 30 секунд до, примерно, 3 часов или, альтернативно, от 1 минуты до 3 часов, от 1 минуты до 2 часов, от 1 минуты до 1 часа, от 1 до 30 минут, от 5 минут до 3 часов, от 5 минут до 2 часов, от 5 минут до 1 часа, от 5 до 30 минут или, альтернативно, 5 до 25, от 5 до 20, от 5 до 15, от 10 до 30, от 10 до 25, от 10 до 20, от 10 до 15 минут и может составлять, примерно, 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 25, 30, 40, 50, 60 минут или, примерно, 1,5, 2, 2,5 или 3 часа, в зависимости от необходимости. Второй слой р-типа может быть выращен в течение, приблизительно, такого же промежутка времени, что и второй слой п-типа, и может быть, приблизительно, такой же толщины, что и второй слой п-типа.

[0100] Конечный выращенный слой может быть толстым слоем нитрида металла р-

типа, выращенным в течение промежутка времени, приблизительно, от 15 минут до 6 часов, от 15 минут до 5 часов, от 15 минут до 4 часов, от 15 минут до 3 часов, от 15 минут до 2 часов, от 15 минут до 1 часа, от 0,5 до 6 часов, от 0,5 до 5, от 0,5 до 4, от 0,5 до 3, от 0,5 до 2, от 0,5 до 1, от 1 до 6, от 1 до 5, от 1 до 4, от 1 до 3, от 1 до 2, от 2 до 6 часов, от 3 до 5, от 3,5 до 4,5 или от 3,8 до 4,2 часов, и может быть выращен в течение, примерно, 0,25 (15 минут), 0,5 (30 минут), 0,75 (45 минут), 1, 1,5, 2, 2,5, 3, 3,5, 4, 4,5, 5, 5,5 или, примерно, 6 часов. Температура реактора может быть выше температуры реактора в случае второго слоя р-типа и может находиться в интервале от, приблизительно, 500°C до, примерно, 700°C или, альтернативно, от 500 до 650, от 500 до 600, от 500 до 580, от 500 до 560, от 500 до 540, от 520 до 700, от 520 до 650, от 520 до 600, от 520 до 580, от 520 до 560, от 525 до 555, от 530 до 550 или от 530 до 545, от 530 до 540, от 530 до 535°C и может составлять, примерно, 520, 525, 530, 531, 532, 533, 534, 535, 536, 537, 538, 539, 540, 542, 544, 546, 548, 550, 553, 555, 560, 570, 58, 600, 625, 650, 675 или, примерно, 700°C.

[0101] Другие структуры приборов (например, приборы с переходами с одной или несколькими квантовыми ямами или некоторые другие виды полупроводниковых приборов с переходами) могут быть выращены, как это будет понятно специалисту, посредством модификации числа слоев, типа (n- или р-типа) каждого слоя, времени выращивания каждого слоя, предшественника(ов) и/или легирующей(их) примеси(ей) для каждого слоя и т.д. и т.п.

[0102] На фигуре 7 представлен способ изготовления полупроводникового прибора, в котором первые металлические контакты должны быть встроены в буферный слой, как изображено на фигуре 3. Первые металлические контакты 104 (например, омические металлические контакты к GaN n-типа) осаждают 702 на подложку (как изображено на фигурах 9А и 9В) и отжигают 704, если это требуется. Необязательно, затем наносят 706 маскирующий слой (707 на фигурах 10А и 11В), например, механическую «теневую» маску, чтобы маскировать первые металлические контакты при последующей обработке. Маску используют для определения большого числа областей (709 на фигуре 10А) на подложке, где следует сформировать соответствующее множество полупроводниковых приборов, так что, когда требуемые слои структуры осажжены на подложку, маска может быть удалена, чтобы открыть первые металлические контакты (как изображено на фигуре 2) и позволить легко сделать электрические подсоединения к ним. Затем поверх первых металлических контактов (как изображено на фигуре 11А и 11В) осаждают 708 буферный слой 106 (например, ZnO - либо изолирующий, либо n-типа). Опять же, при необходимости, выполняют отжиг металлов. Обычно стадия отжига (которая должна выполняться в атмосфере азота для приборов на GaN) требуется в том случае, когда контакты не должны покрываться каким-либо слоем прибора, например, когда часть встроенных контактов должна оставаться непокрытой для установления электрического соединения (как изображено на фигуре 2), или в случае контакта верхнего слоя р-типа (например, второго контакта 114 на фигуре 2 - однако не все такие электрические или омические контакты требуют отжига), поскольку температура, при которой накладывают последующие слои прибора, сходна с обычными температурами отжига металла, и поэтому выращивание последующего слоя также служит для отжига контактов. При этом процесс отжига, в случае его проведения, может являться процессом быстрого термического отжига, при котором прибор быстро нагревают до температуры отжига (обычно 400-800 градусов Цельсия в течение промежутка времени от 1 до 10 секунд (обычно, примерно, от 2 до 5 секунд)) и выдерживают при

этой температуре отжига в течение промежутка времени, примерно, от 2 до 20 минут (обычно, примерно, от 5 до 10 минут) перед быстрым охлаждением, по меньшей мере, вначале, в течение промежутка времени порядка десятков секунд, хотя это может варьироваться в зависимости, главным образом, от оборудования для отжига, имеющегося в распоряжении, как это будет понятно специалисту.

[0103] Затем поверх буферного слоя осаждают 710 первый полупроводниковый слой 108 с последующим осаждением 712 активного(ых) слоя(ев) прибора (например, слоя InGaN, слоев InGaN/GaN нескольких квантовых ям или одной квантовой ямы).

После этого поверх перехода осаждают 714 второй полупроводниковый слой 112, а затем на второй полупроводниковый слой осаждают 716 второй металлический контакт (например, омический металлический контакт к GaN р-типа) и отжигают 718 металлы, если это требуется. Необязательно, между стадиями 712 и 714 может быть осажден 718 блокирующий электроны слой, например, слой AlGaN р-типа, с тем, чтобы предотвращать прохождение электронов через область перехода прибора и их рекомбинацию вне области перехода, что вызывает возникновение эффекта двойной эмиссии. Блокирующий электроны слой формируют обычно из материала с большей шириной запрещенной зоны по сравнению с прилегающими областью перехода и легированным (т.е. n- или р-типа) полупроводниковым слоем; например, блокирующий электроны слой между областью перехода и полупроводниковым слоем р-типа будет содержать дополнительный слой р-типа (например, р-AlGaN), являющийся промежуточным между областью перехода и полупроводниковым слоем р-типа.

[0104] Маску (если она используется) затем удаляют, чтобы снова открыть первые контакты (104 на фигурах 12А и 12В), которые являются теперь скрытыми (или встроенными) внутри множества меза-подобных полупроводниковых приборов 100, сформированных на подложке 102, и разделяют 720 подложку на множество независимых полупроводниковых приборов 100, таких как представленный на фигуре 2. В заключение, первые и второй металлические контакты электрически соединяют 722 обычным образом для функционирования полупроводникового прибора.

[0105] В случае, когда необязательная стадия маскирования первых металлических контактов не выполняется, результирующие полупроводниковые приборы после стадии разделения не имеют первых металлических контактов, легко открывающихся для выполнения электрических соединений с ними. Соответственно, должны быть выполнены дополнительные технологические стадии, чтобы обеспечить электрические или омические контакты к полностью встроенным (заделанным) первым контактам. Такие дополнительные стадии могут содержать травление изготовленного полупроводникового прибора, чтобы открыть первый контакт, или отслаивание всего изготовленного полупроводникового прибора в целом от подложки и непосредственное установление контакта с первыми контактами с нижней открытой стороны прибора. Технологии отслаивания изготовленного прибора от подложки могут включать лазерные технологии отслаивания или могут включать технологии, специфические для определенного вида используемой подложки. Например, в случае сапфировой подложки на ней первоначально, перед изготовлением полупроводникового прибора может быть сформирован слой ZnO, и после завершения изготовления прибора этот первоначальный слой ZnO может быть вытравлен, посредством чего изготовленный прибор освобождается от сапфировой подложки, и его первые металлические контакты становятся открытыми для

последующего установления контакта.

[0106] Преимущество немаскирования контактов и формирования, таким образом, полупроводникового прибора с полностью встроенными (заделанными) контактами заключается в том, что, как это будет понятно специалисту, маски могут вызывать трудности при работе с системами выращивания пленок и без принятия специальных мер могут вызывать ряд проблем, таких как затенение открытой области и диффузию выращенного впоследствии слоя, происходящую под маской и вызывающую снижение контрастности краев области маскирования. Таким образом, может оказаться выгодным устранение стадий маскирования там, где это возможно.

[0107] Фигура 8 представляет способ, сходный со способом по фигуре 7, формирования полупроводникового прибора с первыми металлическими контактами, сформированными в легированном полупроводниковом слое, как это представлено на фигуре 6, при этом похожие стадии по отношению к способу по фигуре 7 обозначены сходными ссылочными позициями. Буферный слой, осажденный на стадии 724, может быть, альтернативно, буферным слоем как на стадии 708 фигуры 7 (например, слоем ZnO - либо изолирующими, либо легированным примесью n- или p- типа) или может быть слоем нитрида металла, как представлено на фигуре 6. В качестве еще одного варианта, стадия 724 осаждения буферного слоя может быть полностью исключена, так что первые металлические контакты осаждают непосредственно на подложку, и первый легированный полупроводниковый слой (т.е. слой нитрида металла, как это описано выше) осаждают на подложку поверх первых контактов, тем самым встраивая первые контакты в первый полупроводниковый слой.

[0108] Пример

[0109] Приборы из нитрида галлия на металле выращивали на сапфировых подложках при использовании способа RPECVD, описанного выше. В одном из примеров продемонстрирован прибор с двойным гетеропереходом, содержащий 5 слоев. Этот прибор выращивали на сапфировой подложке, которая имела контактный слой из нихрома, осажденный на поверхности подложки перед размещением в камере для выращивания методом RPECVD. Нихром представляет собой сплав никеля и хрома с высоким электросопротивлением и способностью выдерживать высокие температуры.

[0110] Слой GaN n-типа выращивали при 541°C в течение четырех часов на слое нихрома при давлении в реакторе примерно 1,3 мм рт.ст. Предшественник для слоя GaN n-типа доставляли к образцу пропусканием азота через триметилгаллий (TMG), поддерживаемый при -10°C, с расходом 20 станд. см³/мин (стандартных кубических сантиметров в минуту). Азот пропускали через предназначенную для плазмы трубку реактора RPECVD (с плазмой, присутствующей при расходе 600 станд. см³/мин с тем, чтобы образовались активные нейтральные частицы азота, которые реагируют с TMG с образованием нитрида галлия на слое нихрома. Смесь предшественника TMG и активных нейтральных частиц азота также разбавляли потоком азота через линию доставки TMG при расходе 100 станд. см³/мин.

[0111] Температуру камеры реактора затем снижали в течение промежутка времени, примерно, 7 минут до температуры, примерно, 524°C и увеличивали давление в камере до, примерно, 3 мм рт.ст. Во время этого этапа поддерживали поток азота с расходом 500 станд. см³/мин через предназначенную для плазмы трубку, однако, без присутствия плазмы. Преимущество поддержания потока азота даже тогда, когда плазма отсутствует, заключается в минимизации испарения азота из пленки, которое может происходить при определенных условиях в вакууме. Температуру в камере

реактора понижают для обеспечения возможности выращивания InGaN. Для слоя InGaN обычно требуется более низкая температура выращивания по сравнению с GaN, поскольку компонент индия очень легко отделяется и не может быть включен обратно в пленку.

5 [0112] Затем на слой GaN n-типа осаждали слой AlGaN n-типа в течение 10 минут при температуре 517°C и давлении 3 мм рт.ст. Предшественники TMG и триметилалюминий (TMAI) использовали при расходе 16 станд. см³/мин и 15 станд. см³/мин, соответственно. TMG снова поддерживали при температуре -10°C, а TMAI
10 поддерживали при температуре 25°C. Расход азота через предназначенную для плазмы трубку (с плазмой) составлял 500 станд. см³/мин.

[0113] Третьим слоем был выращен слой InGaN p-типа при температуре 518°C и давление 3 мм рт.ст. в течение 5 минут. В качестве предшественников
15 использовали TMG и триметилиндий (TMIn), каждый с расходом 10 станд. см³/мин. Легирующей примесью p-типа являлся магний (Mg) из предшественника Cr₂Mg, поддерживаемого при 23°C, при расходе 10 станд. см³/мин. Расход азота через предназначенную для плазмы трубку (с плазмой) составлял 600 станд. см³/мин.

[0114] Следующим слоем был выращен слой AlGaN p-типа при температуре 520°C и давление 3 мм рт.ст. в течение 15 минут. Используемыми предшественниками
20 являлись TMG и TMAI с Cr₂Mg, используемым для введения Mg в качестве легирующей примеси p-типа, при расходах 16 станд. см³/мин, 15 станд. см³/мин и 40 станд. см³/мин, соответственно. Расход азота через предназначенную для плазмы трубку (с плазмой)
25 составлял 500 станд. см³/мин.

[0115] Конечным слоем (для этого примера) был выращен слой GaN p-типа при температуре 534°C и давление 3 мм рт.ст. в течение 2 часов. Используемыми предшественниками являлись TMG и Cr₂Mg, используемый для введения Mg в качестве
30 легирующей примеси p-типа, при расходах 16 станд. см³/мин и 50 станд. см³/мин, соответственно. Расход азота через предназначенную для плазмы трубку (с плазмой) составлял 500 станд. см³/мин.

[0116] Общая толщина конечного прибора составляла, приблизительно, 800 нм, означая скорость выращивания, приблизительно, 125 нм в час для системы RPECVD.

[0117] На фигуре 13 представлен график фотолюминесценции при комнатной температуре от структуры на GaN с двойным гетеропереходом, выращенной в соответствии с описанным выше примером на слое нихрома. Данный график ясно
40 показывает интенсивную люминесценцию как в видимой области, так и в ультрафиолетовой области с максимумом на примерно 372 нм. Видимое излучение обусловлено загрязнением в пленке, введенным в процессе выращивания, которое может представлять собой любую одну или более примесей из углерода, водорода, кислорода или воды, хотя в литературе все еще продолжается активная полемика в
45 отношении точной природы этого загрязнения. Посредством выращивания прибора в среде, которая минимизирует эти возможные загрязнения, может быть сведено к минимуму содержание таких обусловленных загрязнениями дефектов.

[0118] Также были выполнены электрические соединения между встроенным слоем нихрома и верхним слоем прибора, и было найдено, что прибор является
50 электропроводным и излучает свет из перехода.

[0119] Очевидно, что полупроводниковые приборы и способы их изготовления, описанные и/или проиллюстрированные выше, по меньшей мере, по существу, предоставляют полупроводниковый прибор на нитриде металла, имеющий

встроенные/скрытые контакты.

[0120] Полупроводниковые приборы и способы их изготовления, описанные здесь и/или показанные на чертежах, представлены лишь в качестве примера и не ограничивают объем данного изобретения. Если специально не указано иное, то отдельные аспекты и компоненты полупроводниковых приборов и способов их изготовления могут быть модифицированы или могут быть по этой причине заменены известными эквивалентами или же еще неизвестными заменителями, такими, которые могут быть разработаны в будущем, или такими, которые будут установлены в качестве приемлемых заменителей в будущем. Полупроводниковые приборы и способы их изготовления могут быть также модифицированы для разнообразных видов применения при сохранении объема и сущности заявленного изобретения, поскольку диапазон возможных видов применения широк и поскольку предполагается, что предложенные полупроводниковые приборы и способы их изготовления могут быть адаптированы ко многим таким изменениям.

Формула изобретения

1. Полупроводниковый прибор со встроенными контактами, содержащий:

подложку;
по меньшей мере один первый контакт, прилегающий к подложке;
первый слой легированного полупроводникового материала, прилегающий к подложке и находящийся в электрическом соединении с первым контактом;
полупроводниковую область перехода, прилегающую к первому слою легированного полупроводникового материала;

второй слой легированного полупроводникового материала, осажденный на полупроводниковую область перехода, причем этот второй слой легированного полупроводникового материала обладает типом примесной проводимости, противоположным первому слою легированного полупроводникового материала; и второй контакт;

при этом второй контакт находится в электрическом соединении со вторым слоем легированного полупроводникового материала, а первый контакт встроен в полупроводниковый прибор между подложкой и полупроводниковой областью перехода.

2. Прибор по п.1, в котором первый и второй слои легированного полупроводникового материала являются полупроводниковыми нитридными слоями.

3. Прибор по п.2, в котором полупроводниковые нитридные слои выбраны из полупроводниковых нитридов GaN, AlGaN и InGaN.

4. Прибор по п.1, в котором первый контакт встроен в первый слой легированного полупроводникового материала.

5. Прибор по п.1, также содержащий буферный слой, расположенный между подложкой и первым слоем легированного полупроводникового материала, при этом первый контакт встроен в этот буферный слой.

6. Прибор по п.5, в котором буферный слой является снижающим последовательное сопротивление буферным слоем.

7. Прибор по п.5, в котором буферный слой выбран из группы изолирующего буферного слоя и активного полупроводникового буферного слоя.

8. Прибор по п.7, в котором активный полупроводниковый буферный слой содержит полупроводник либо n-типа, либо p-типа.

9. Прибор по п.7, в котором активный полупроводниковый буферный слой

содержит нитридный полупроводник.

10. Прибор по п.7, в котором изолирующий буферный слой сформирован из ZnO.

11. Прибор по п.1, в котором подложкой является боросиликатное стекло, кварцевое стекло, сапфир, кварц, ZnO, карбид кремния или кремний.

12. Прибор по п.1, причем этот прибор является синим СИД на GaN, синим СИД на основе GaN, синим лазерным диодом на GaN или синим лазерным диодом на основе GaN.

13. Полупроводниковый прибор со встроенными контактами, содержащий:

подложку;

по меньшей мере один первый контакт на подложке;

первый полупроводниковый нитридный слой, при этом первый контакт встроен в первый полупроводниковый нитридный слой и находится в электрическом соединении с первым полупроводниковым нитридным слоем;

область перехода, прилегающую к первому полупроводниковому нитридному слою;

второй полупроводниковый нитридный слой, прилегающий к области перехода;

второй контакт, прилегающий ко второму полупроводниковому нитридному слою и находящийся в электрическом соединении со вторым полупроводниковым нитридным слоем;

при этом первый и второй контакты электрически взаимосвязаны через область перехода.

14. Прибор по п.13, в котором подложкой является боросиликатное стекло, кварцевое стекло, сапфир, кварц, ZnO, карбид кремния или кремний.

15. Прибор по п.13, причем этот прибор является синим СИД на GaN, синим СИД на основе GaN, синим лазерным диодом на GaN или синим лазерным диодом на основе GaN.

16. Полупроводниковый прибор со встроенными контактами, содержащий:

подложку;

первый слой нитрида металла, осажденный на подложку;

по меньшей мере один первый контакт, сформированный на первом слое нитрида металла;

второй слой нитрида металла, осажденный на первом слое нитрида металла с герметизацией по меньшей мере части первого контакта;

полупроводниковую область перехода, осажденную на втором слое нитрида металла;

третий слой нитрида металла, осажденный на полупроводниковую область перехода, причем этот третий слой нитрида металла обладает типом примесной проводимости, противоположным типу примесной проводимости первого и второго слоев нитрида металла; и второй контакт, находящийся в электрическом соединении с третьим слоем нитрида металла.

17. Прибор по п.16, в котором подложкой является боросиликатное стекло, кварцевое стекло, сапфир, кварц, ZnO, карбид кремния или кремний.

18. Прибор по п.16, причем этот прибор является синим СИД на GaN, синим СИД на основе GaN, синим лазерным диодом на GaN или синим лазерным диодом на основе GaN.

19. Способ формирования полупроводникового прибора со встроенными контактами по п.13, содержащий следующие стадии:

формируют по меньшей мере один первый металлический контакт на подложке или

на буферном слое, сформированном на этой подложке;

маскируют первую часть первого контакта, оставляя открытой по меньшей мере одну область прибора, содержащую вторую часть первого контакта;

5 формируют первый полупроводниковый нитридный слой поверх второй части первого контакта в упомянутой области прибора, тем самым встраивая первый контакт в первый полупроводниковый нитридный слой;

формируют переход поверх первого полупроводникового нитридного слоя;

формируют второй полупроводниковый нитридный слой поверх перехода;

10 формируют второй металлический контакт на втором полупроводниковом нитридном слое; и

удаляют маску, тем самым открывая первую часть первого контакта.

20. Способ по п.19, в котором первый и второй полупроводниковые нитридные слои выбирают из полупроводниковых нитридов GaN, AlGaN и InGaN.

15 21. Способ по п.20, в котором либо первый полупроводниковый нитридный слой является полупроводниковым нитридным слоем n-типа, а второй полупроводниковый нитридный слой является полупроводниковым нитридным слоем p-типа, либо первый полупроводниковый нитридный слой является полупроводниковым нитридным слоем p-типа, а второй полупроводниковый нитридный слой является полупроводниковым нитридным слоем n-типа.

22. Способ по п.19, в котором первый и второй полупроводниковые нитридные слои формируют при температуре в интервале приблизительно от 500 до 800°C.

25 23. Способ по п.19, в котором первый и второй полупроводниковые нитридные слои формируют посредством технологии изготовления с удаленной плазмой в атмосфере азота.

24. Способ по п.19, в котором первый контакт формируют на упомянутом буферном слое.

30 25. Способ по п.19, также содержащий стадию формирования упомянутого буферного слоя на подложке после формирования упомянутого по меньшей мере одного первого контакта так, что первый контакт встраивают в этот буферный слой.

35 26. Способ по п.19, также содержащий стадию формирования упомянутого буферного слоя на подложке так, что первый контакт либо формируют на этом буферном слое, либо встраивают в этот буферный слой, и при этом буферный слой является либо изолирующим буферным слоем, либо легированным буферным слоем.

27. Способ по п.26, в котором легированный буферный слой является полупроводниковым слоем либо n-типа, либо p-типа.

40 28. Способ по п.19, также содержащий стадию формирования упомянутого буферного слоя на подложке так, что первый контакт либо формируют на этом буферном слое, либо встраивают в этот буферный слой, и при этом буферный слой формируют из материала, который уменьшает последовательное сопротивление полупроводникового прибора.

45 29. Способ по п.19, также содержащий стадию формирования упомянутого буферного слоя на подложке так, что первый контакт либо формируют на этом буферном слое, либо встраивают в этот буферный слой, и при этом буферный слой формируют из ZnO.

50 30. Способ формирования полупроводникового прибора со встроенными контактами по п.13, содержащий следующие стадии:

формируют по меньшей мере один первый металлический контакт на подложке или на буферном слое, сформированном на этой подложке;

формируют первый полупроводниковый нитридный слой поверх первого контакта, тем самым встраивая первый контакт в первый полупроводниковый нитридный слой; формируют переход поверх первого полупроводникового нитридного слоя; формируют второй полупроводниковый нитридный слой поверх перехода; и формируют второй металлический контакт на втором полупроводниковом нитридном слое.

31. Способ по п.30, в котором первый и второй полупроводниковые нитридные слои выбирают из полупроводниковых нитридов GaN, AlGaN и InGaN.

32. Способ по п.31, в котором либо первый полупроводниковый нитридный слой является полупроводниковым нитридным слоем n-типа, а второй полупроводниковый нитридный слой является полупроводниковым нитридным слоем p-типа, либо первый полупроводниковый нитридный слой является полупроводниковым нитридным слоем p-типа, а второй полупроводниковый нитридный слой является полупроводниковым нитридным слоем n-типа.

33. Способ по п.30, в котором первый и второй полупроводниковые нитридные слои формируют при температуре в интервале приблизительно от 500 до 800°C.

34. Способ по п.30, в котором первый и второй полупроводниковые нитридные слои формируют посредством технологии изготовления с удаленной плазмой в атмосфере азота.

35. Способ по п.30, в котором первый контакт формируют на упомянутом буферном слое.

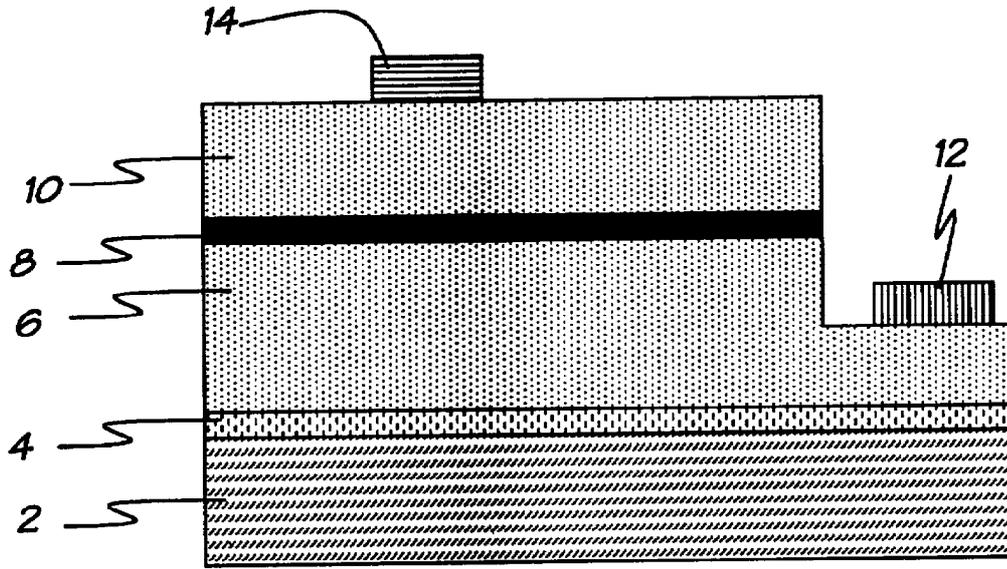
36. Способ по п.30, также содержащий стадию формирования упомянутого буферного слоя на подложке после формирования упомянутого по меньшей мере одного первого контакта так, что первый контакт встраивают в этот буферный слой.

37. Способ по п.30, также содержащий стадию формирования упомянутого буферного слоя на подложке так, что первый контакт либо формируют на этом буферном слое, либо встраивают в этот буферный слой, и при этом буферный слой является либо изолирующим буферным слоем, либо легированным буферным слоем.

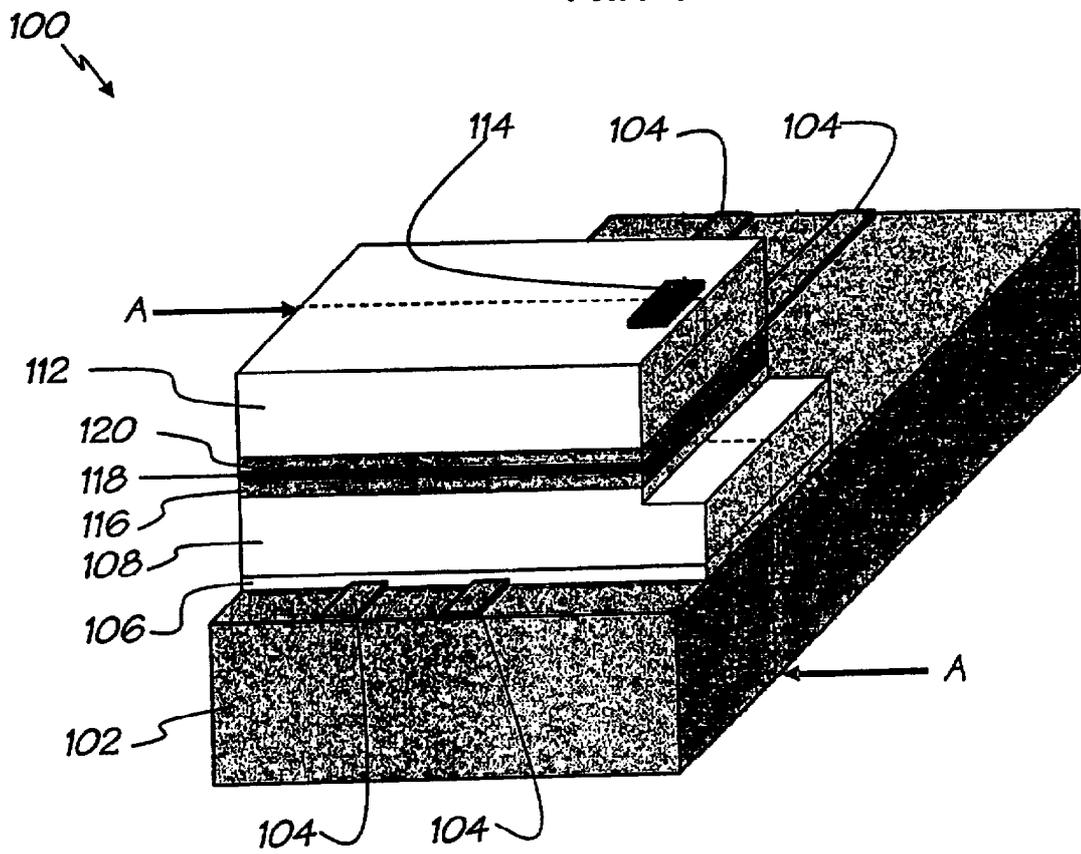
38. Способ по п.37, в котором легированный буферный слой является полупроводниковым слоем либо n-типа, либо p-типа.

39. Способ по п.30, также содержащий стадию формирования упомянутого буферного слоя на подложке так, что первый контакт либо формируют на этом буферном слое, либо встраивают в этот буферный слой, и при этом буферный слой формируют из материала, который уменьшает последовательное сопротивление полупроводникового прибора.

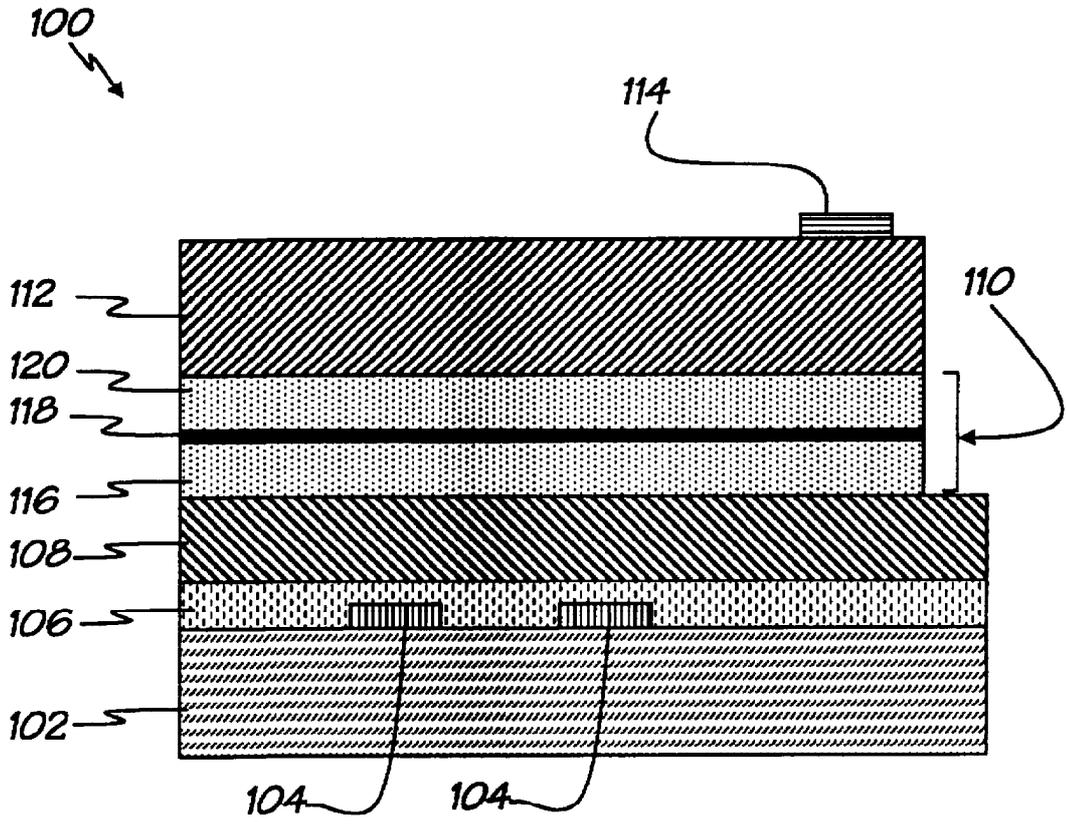
40. Способ по п.30, также содержащий стадию формирования упомянутого буферного слоя на подложке так, что первый контакт либо формируют на этом буферном слое, либо встраивают в этот буферный слой, и при этом буферный слой формируют из ZnO.



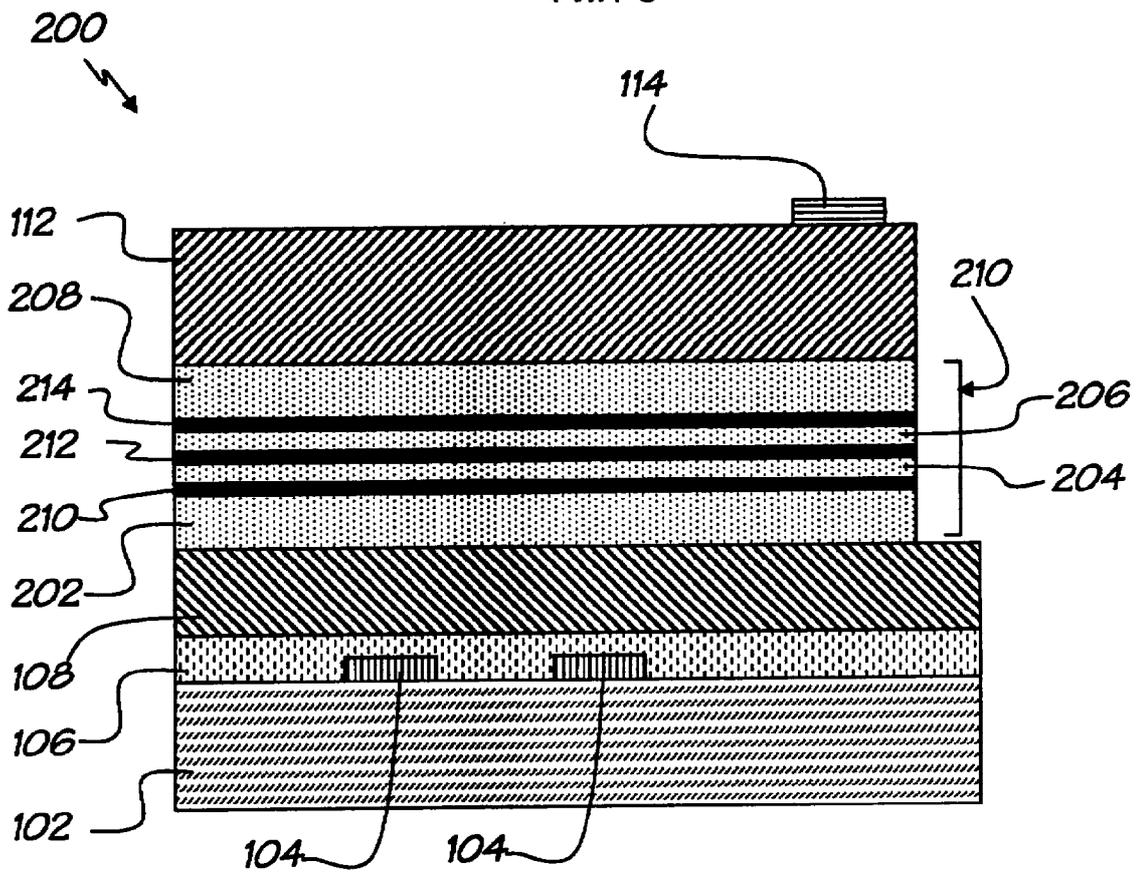
Уровень техники
Фиг. 1



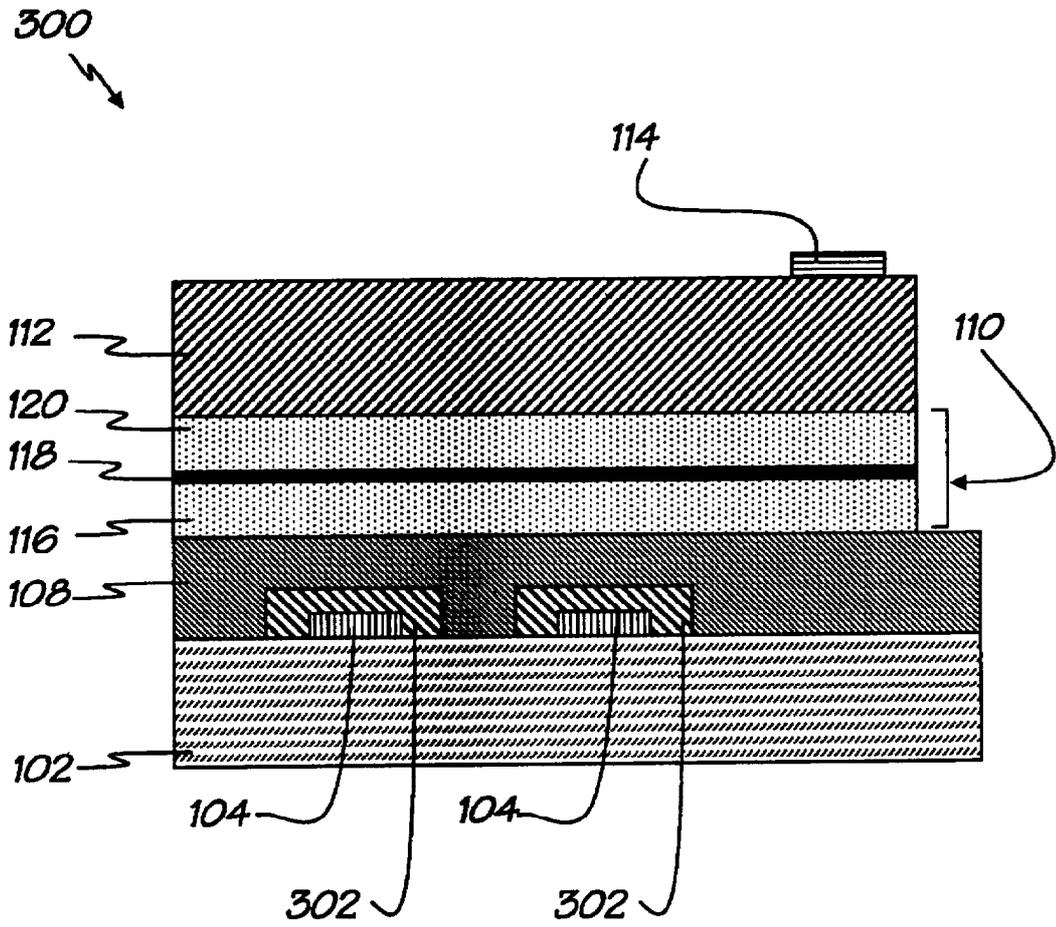
Фиг. 2



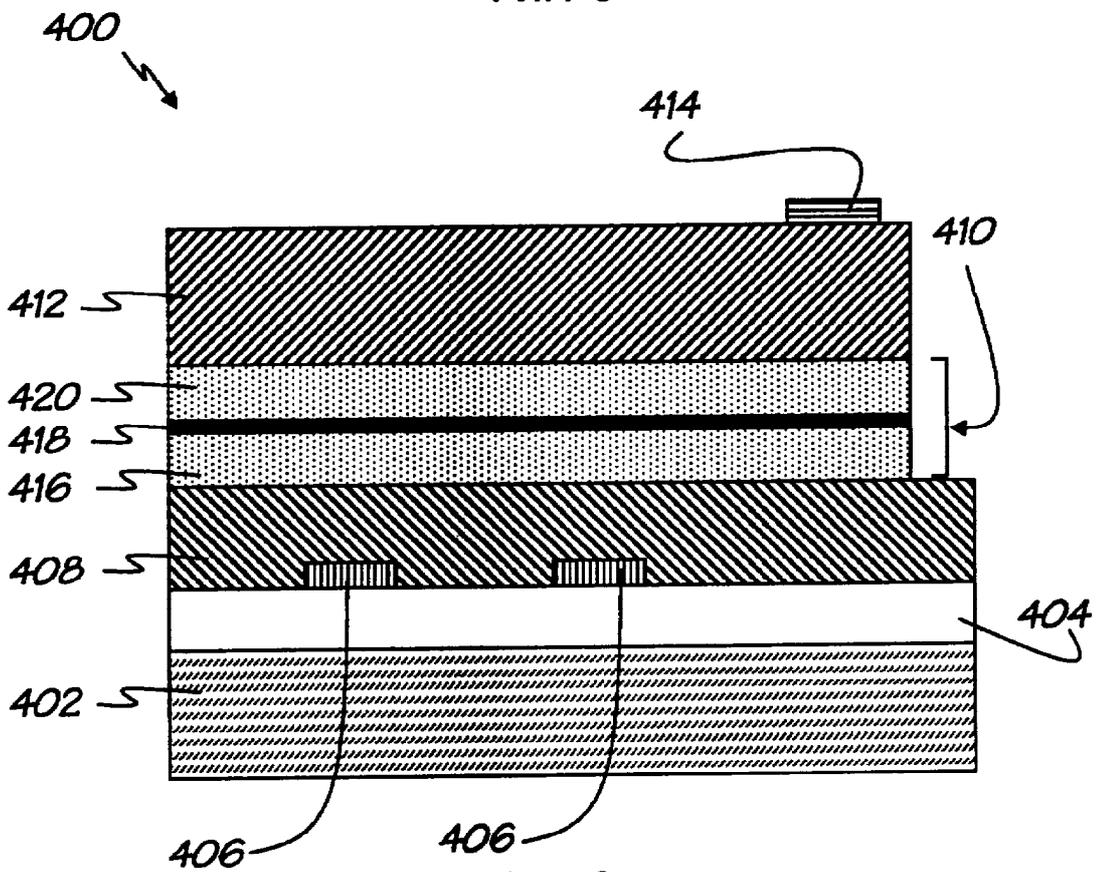
ФИГ. 3



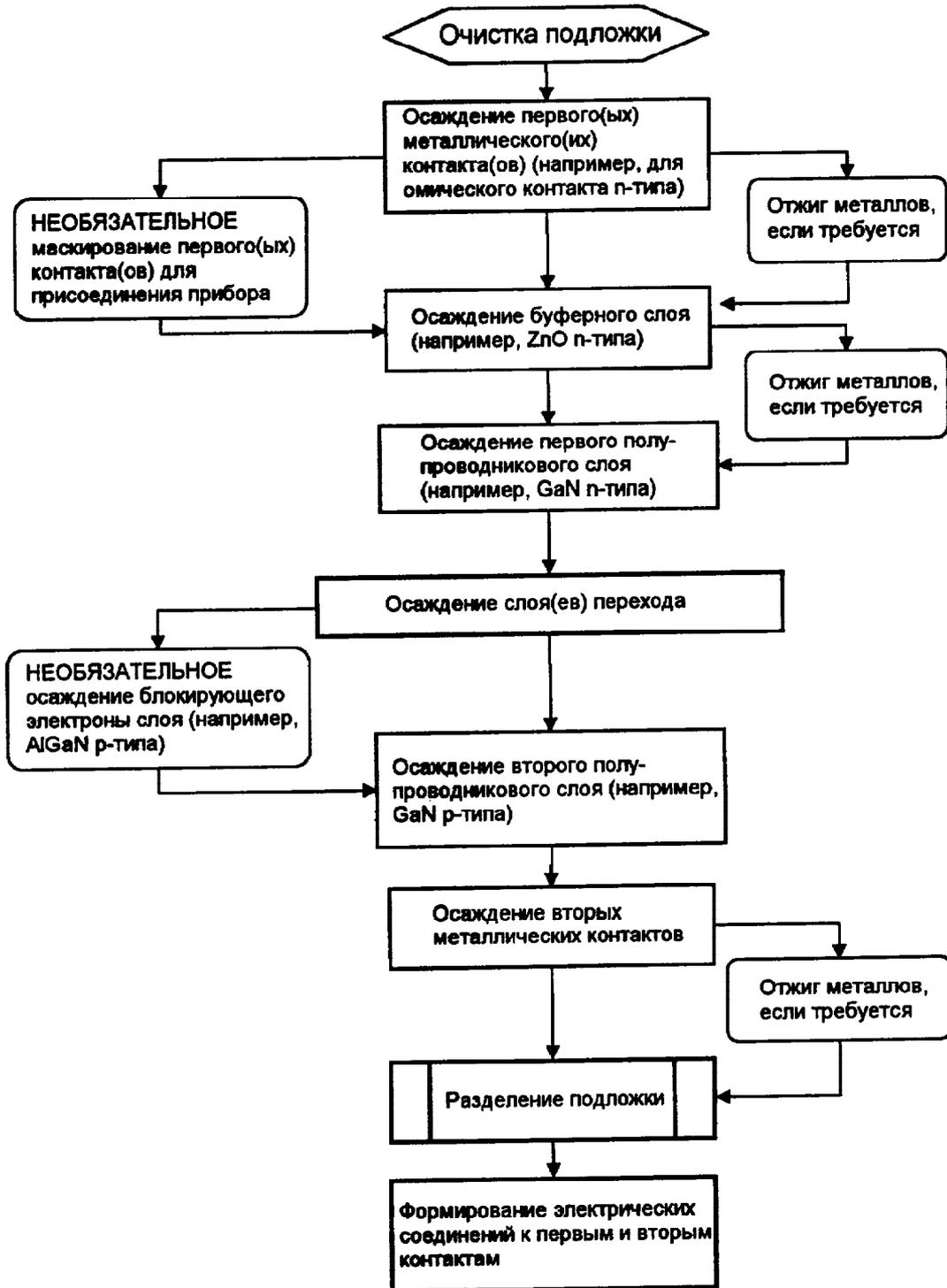
ФИГ. 4



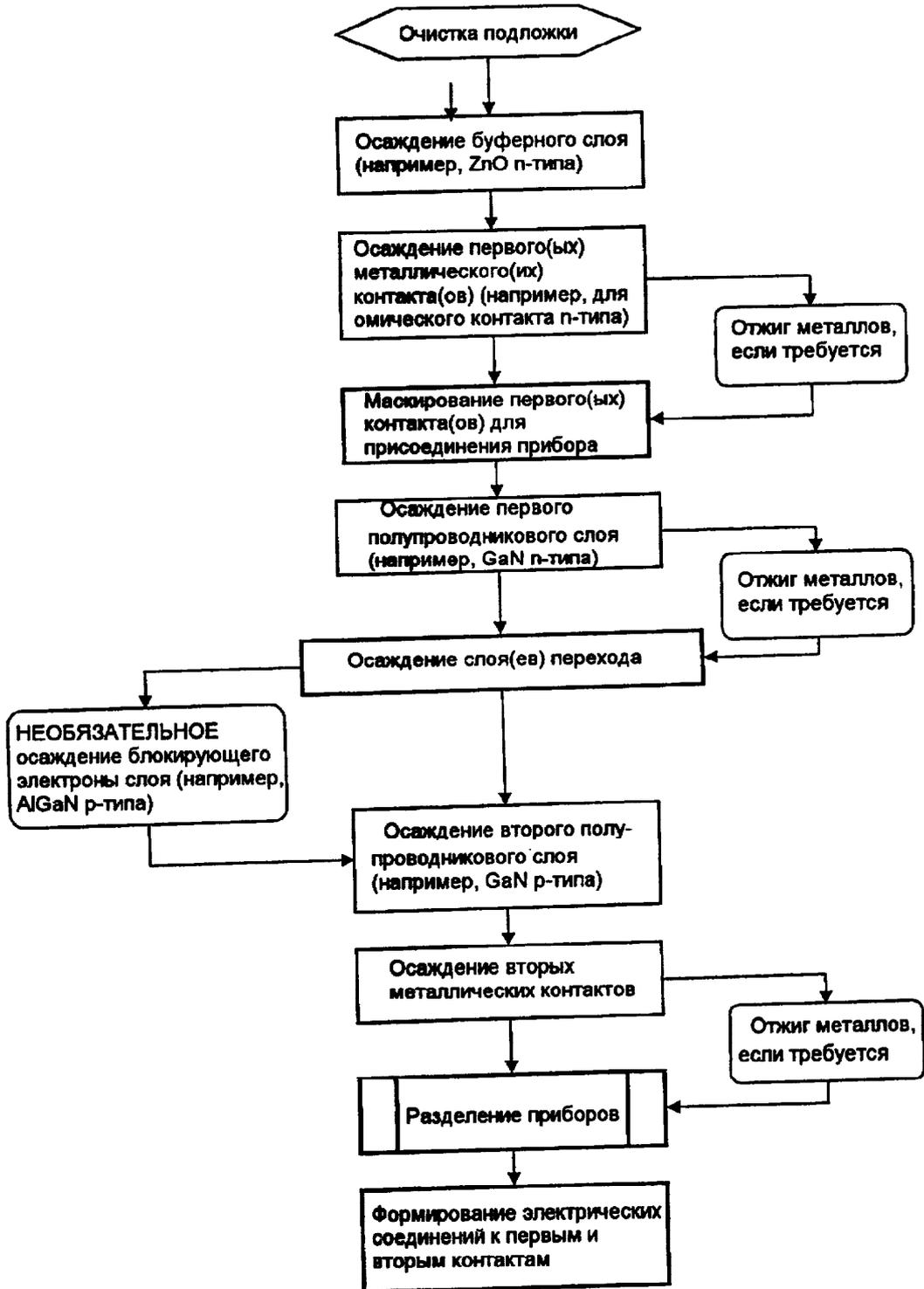
Фиг. 5



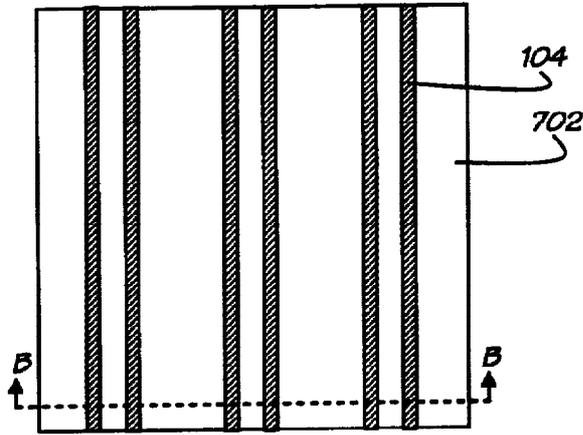
Фиг. 6



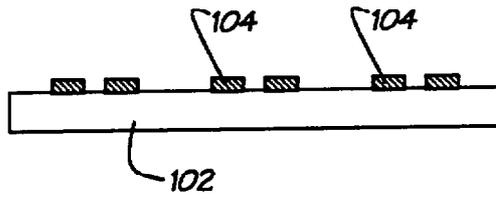
Фиг. 7



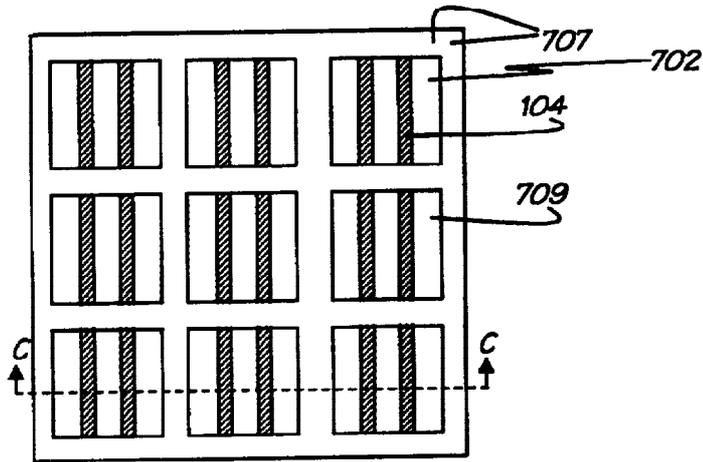
Фиг. 8



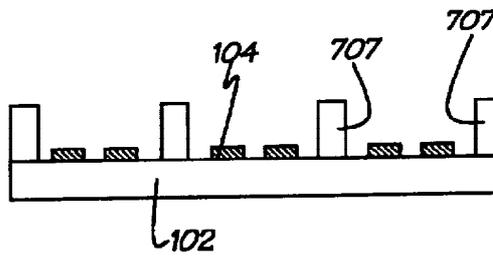
Фиг. 9А



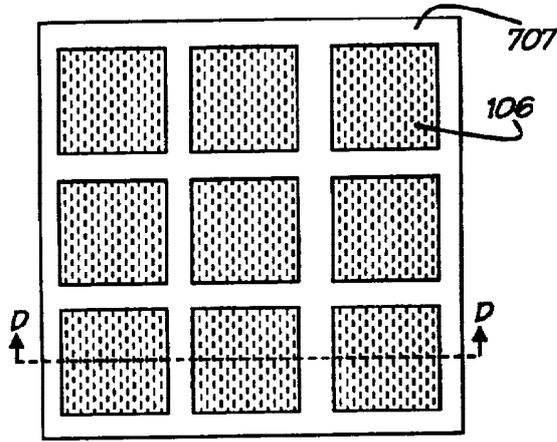
Фиг. 9В



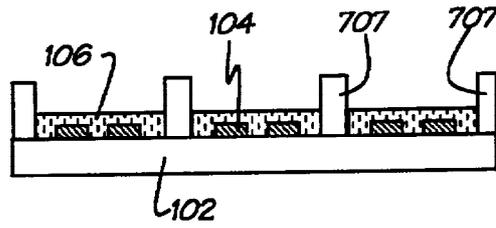
Фиг. 10А



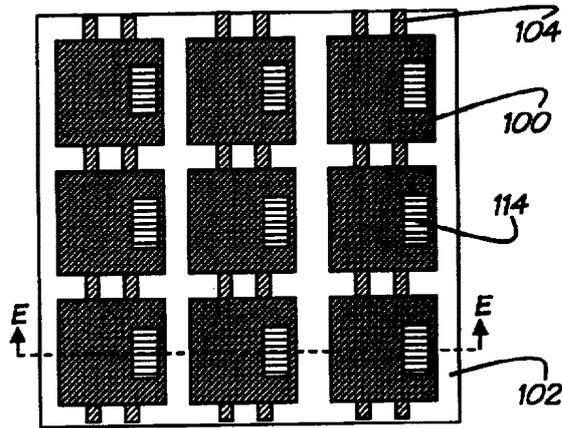
Фиг. 10В



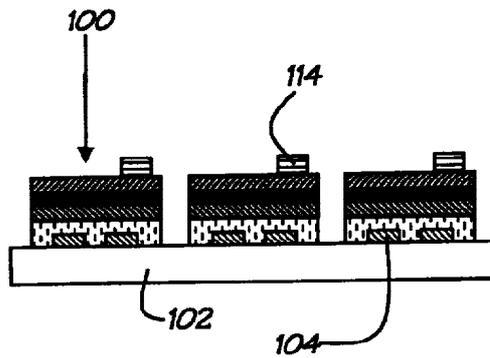
Фиг. 11А



Фиг. 11В

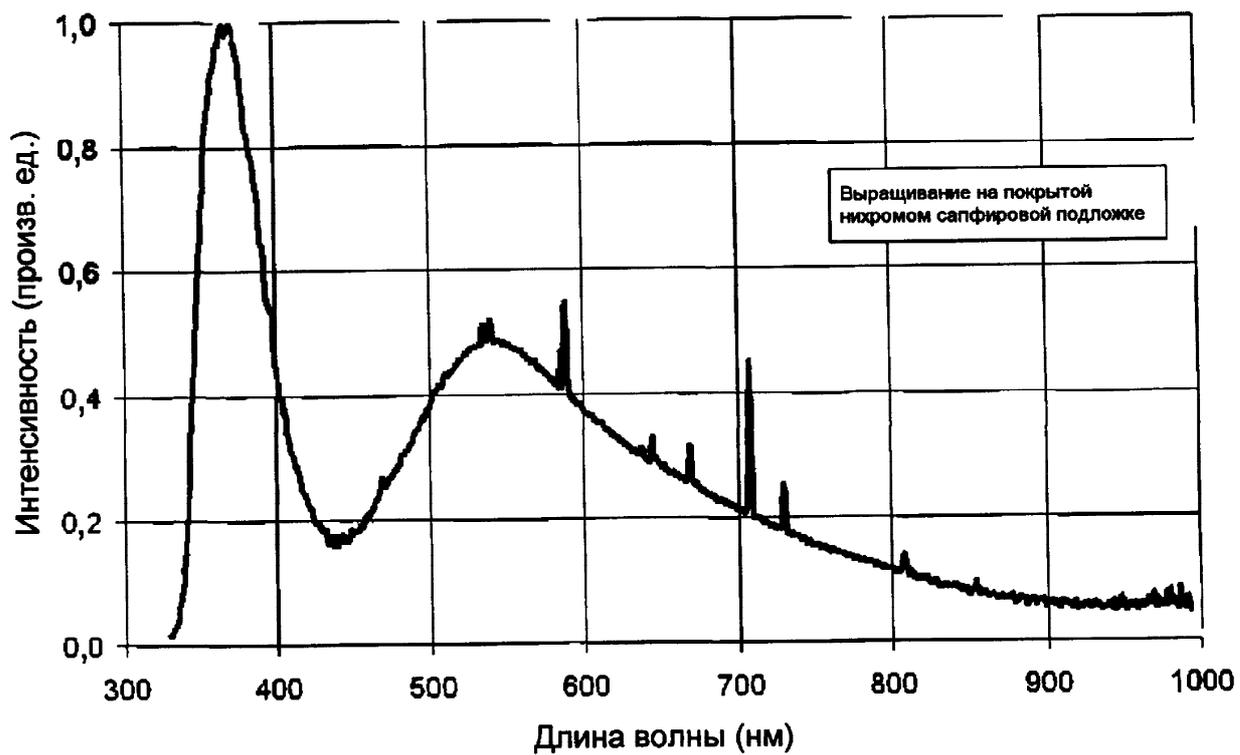


Фиг. 12А



Фиг. 12В

Фотолюминесценция при комнатной температуре прибора
с двойным гетеропереходом на GaN со скрытым контактом



Фиг. 13