



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ,
ПАТЕНТАМ И ТОВАРНЫМ ЗНАКАМ

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21), (22) Заявка: **2008102874/28**, **20.06.2006**

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
20.06.2006

(30) Конвенционный приоритет:
01.07.2005 FI 20050707

(43) Дата публикации заявки: **10.08.2009**

(45) Опубликовано: **10.06.2010** Бюл. № 16

(56) Список документов, цитированных в отчете о
поиске: **US 6821804 B2**, **23.11.2004**. **RU 2231171 C1**,
20.06.2004. **US 2005082546 A1**, **21.04.2005**. **US**
6781160 B1, **24.08.2004**. **WO 2005020396 A1**,
03.03.2005. **JP 63182878 A**, **28.07.1988**.

(85) Дата перевода заявки РСТ на национальную
фазу: **01.02.2008**

(86) Заявка РСТ:
FI 2006/000220 (**20.06.2006**)

(87) Публикация РСТ:
WO 2007/003684 (**11.01.2007**)

Адрес для переписки:
191036, Санкт-Петербург, а/я 24,
"НЕВИНПАТ", пат.пов. А.В.Поликарпову

(72) Автор(ы):

БУГРОВ Владислав Е. (FI),
ОДНОБЛЮДОВ Максим А. (FI)

(73) Патентообладатель(и):
ОптоГaN Ой (FI)

**(54) ПОЛУПРОВОДНИКОВАЯ СТРУКТУРА И СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ПОЛУПРОВОДНИКОВОЙ СТРУКТУРЫ**

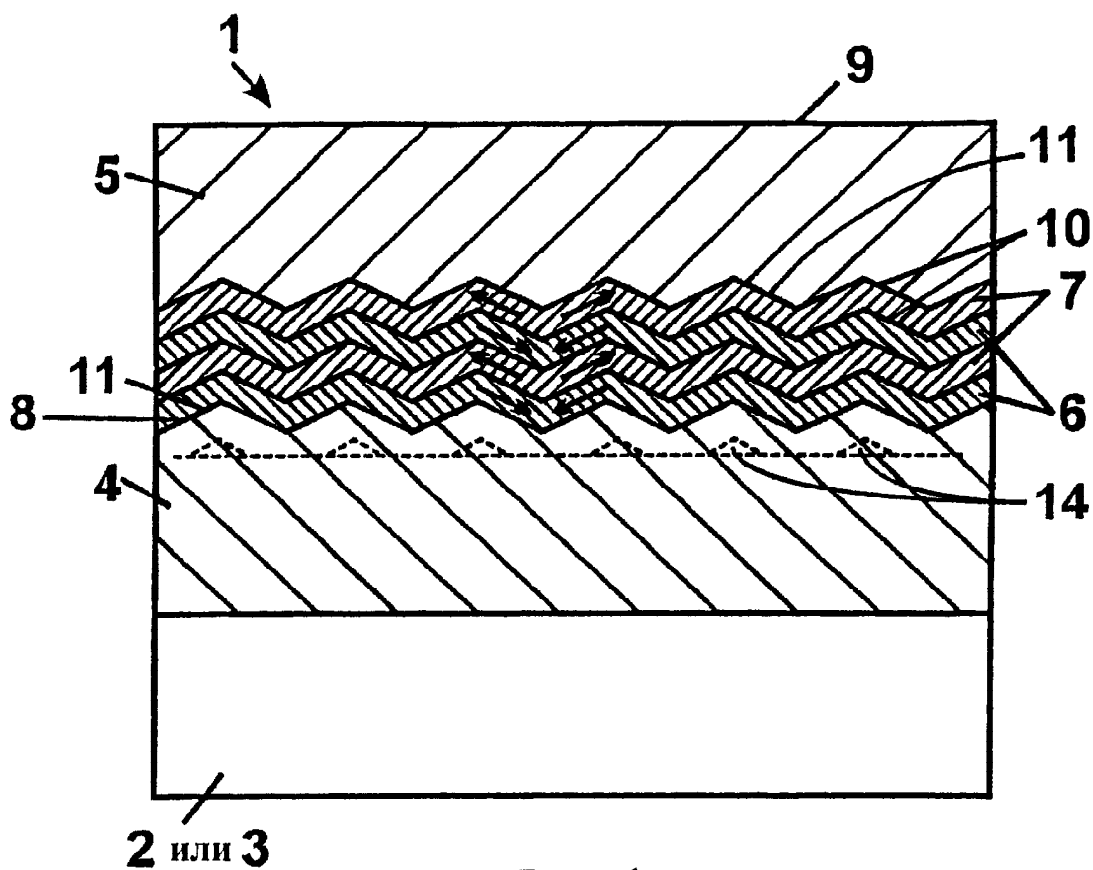
(57) Реферат:

Изобретение относится к полупроводниковым структурам с повышенной способностью к рассеянию света. Сущность изобретения: полупроводниковая структура образована из нитридов металлов III группы с кристаллической структурой вюрцита и выращена в паровой фазе на полупроводниковой подложке с ориентацией (0001). Структура включает нижний покрывающий слой, верхний покрывающий слой и область рассеяния, расположенную между покрывающими

слоями, для рассеяния света, распространяющегося в полупроводниковой структуре. Область рассеяния имеет коэффициент преломления, отличный от коэффициентов преломления покрывающих слоев, и неплоские поверхности для обеспечения рассеивающих границ раздела между областью рассеяния и покрывающими слоями. Согласно изобретению, область рассеяния включает множество рассеивающих слоев, причем составы и толщины упомянутых рассеивающих слоев выбраны так, чтобы избежать образования дислокаций,

обусловленных напряжениями в области рассеяния, а смежные рассеивающие слои имеют различные коэффициенты преломления, чтобы еще более увеличить эффективность

рассеяния. Полупроводниковая структура обеспечивает эффективное рассеяние света при упрощенной технологии изготовления. 2 н. и 12 з.п. ф-лы, 3 ил.



Фиг. 1

RU 2 3 9 1 7 4 6 C 2

RU 2 3 9 1 7 4 6 C 2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY,
PATENTS AND TRADEMARKS

(12) ABSTRACT OF INVENTION(21), (22) Application: **2008102874/28, 20.06.2006**(24) Effective date for property rights:
20.06.2006(30) Priority:
01.07.2005 FI 20050707(43) Application published: **10.08.2009**(45) Date of publication: **10.06.2010 Bull. 16**(85) Commencement of national phase: **01.02.2008**(86) PCT application:
FI 2006/000220 (20.06.2006)(87) PCT publication:
WO 2007/003684 (11.01.2007)Mail address:
**191036, Sankt-Peterburg, a/ja 24, "NEVINPAT",
pat.pov. A.V.Polikarpovu**

(72) Inventor(s):

**BUGROV Vladislav E. (FI),
ODNOBLJuDOV Maksim A. (FI)**

(73) Proprietor(s):

OptoGaN Oj (FI)**(54) SEMICONDUCTOR STRUCTURE AND METHOD OF MAKING SEMICONDUCTOR STRUCTURE**

(57) Abstract:

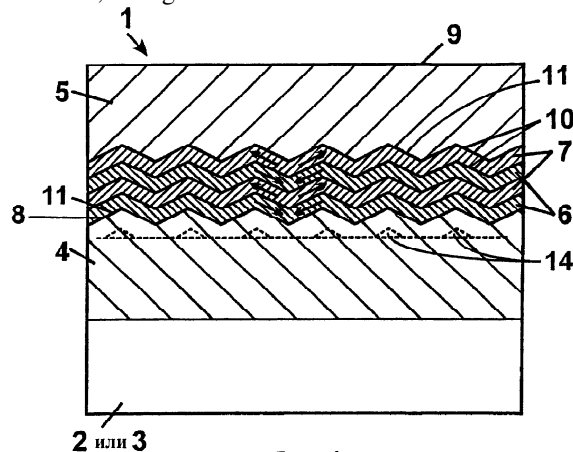
FIELD: physics.

SUBSTANCE: semiconductor structure is formed from nitrides of group III metals with wurtzite crystal structure and is grown in vapour phase on a semiconductor substrate with orientation (0001). The structure includes a bottom coating layer, a top coating layer and a scattering region lying between the coating layers for scattering light propagating in the semiconductor structure. The scattering region has refraction index different from refraction indices of the coating layers, and has non-planar surfaces to provide scattering boundary surfaces between the scattering region and the coating layers. According to the invention, the scattering region includes several scattering layers, where composition and thickness of the said scattering layers are selected so as to avoid dislocation formation caused by stress in the scattering region, and adjacent

scattering layers have different refraction indices in order to further increase scattering efficiency.

EFFECT: efficient light scattering with simple manufacturing technology.

14 cl, 3 dwg



Фиг.1

Область изобретения

Изобретение вообще относится к полупроводниковой структуре с повышенной способностью к рассеянию света для использования в качестве части устройства, излучающего свет. Более конкретно, полупроводниковая структура образована из

5 нитридов металлов III группы с кристаллической структурой вюрцита и выращена в паровой фазе на подложке с ориентацией (0001), образованной либо из материалов полупроводниковой структуры, либо из чужеродных материалов. Изобретение также относится к способу изготовления такой структуры.

Уровень техники

Конструкция полупроводниковой структуры для светоизлучающих диодов влияет на общую эффективность диодов через два основных параметра: эффективность преобразования электрической энергии в оптическую энергию в области генерирования света и эффективность излучения света, генерированного в этой

15 области, из структуры. В светоизлучающей структуре, выполненной из нитридов металлов III группы, выращенной в паровой фазе на чужеродной подложке с коэффициентом преломления меньше, чем коэффициент преломления материалов структуры, значительная часть генерированного света распространяется внутри

20 структуры благодаря отражению на поверхностях раздела структура/подложка и структура/окружающая среда. Только часть света, распространяющаяся в пределах некоторого критического угла, определяемого законом Снеллиуса и отсчитываемого от направления нормали к поверхности, покидает структуру через поверхность структуры. Этот критический угол зависит от коэффициентов преломления материала

25 структуры и материалов подложки и окружающей среды. Благодаря значительной разнице в коэффициентах преломления между подложкой (например, $\approx 1,8$ для сапфира) и внешней средой (например, $\approx 1,5$ для типичных заливочных смол), по сравнению с материалами структуры ($\approx 2,5-3$), этот критический угол относительно

30 мал. До двух третей света может распространяться в слоях структуры, служащих в качестве волновода. В чипах светоизлучающих диодов этот свет потенциально способен выходить через боковые стороны чипа. Однако, из-за того что в слоях структуры и электродах имеется много механизмов потерь, большая часть этого света теряется до выхода из боковых сторон чипа. Вследствие этого, эффективность

35 излучения света из структуры значительно уменьшается, в результате чего снижается общая эффективность устройства.

Значительная часть патентов, посвященных проблеме, представляет ряд способов, включающих технологические операции ex-situ. Один способ для улучшения

40 способности света излучаться из структуры состоит в том, чтобы придать поверхности, излучающей свет, форму полусферы. Этот способ описан Seifres и Burnham в патенте США 3954534 и включает создание полусферических ямок на подложке с последующим выращиванием полупроводниковых слоев на подложке и удалением подложки. Другое решение описано Krames и Kish Jr. в патенте

45 США 5779924. Предложено увеличить общую передачу оптической энергии от структуры к окружающей среде путем создания упорядоченной текстуры на границе раздела. Это текстурирование уменьшает Френелевское отражение на границе раздела между структурой и окружающей средой и увеличивает критический угол, распространяясь в пределах которого свет может покинуть структуру через

50 поверхность. Kish Jr. и Stockman в патенте США 5793062 предложили введение внутрь структуры не поглощающих распределенных Брэгговских отражателей, предназначенных направлять свет в стороны от поглощающих областей, таких как

контакты внутри чипа. В сущности, трудно выращивать поперечно сформированные распределенные Брэгговские отражатели в случае нитридов металлов III группы. Gardner и др. в патенте США 6847057 B1 описывают светоизлучающее устройство, в котором улучшенное рассеяние света обеспечивается текстурированием поверхности подложки, или поверхности структуры, или одной из внутренних поверхностей раздела структуры. Изобретение также предлагает использование возможного слоя с избирательной поляризацией, который поляризует фотоны, излучаемые активной областью. Слой с избирательной поляризацией может быть поляризатором в виде проволочной сетки и может быть образован на стороне подложки, противоположной слоям устройства. Поляризатор в виде проволочной сетки отражает фотоны с поляризацией, которая параллельна проволочкам, и пропускает фотоны с поляризацией, которая перпендикулярна проволочкам. Сочетание поляризатора в виде проволочной сетки и отражающей текстурированной поверхности вызывает рециркуляцию фотонов, пока они не достигнут определенной поляризации. Как уже упоминалось, общий недостаток этих способов состоит в том, что, хотя они могут обеспечить эффективное рассеяние света, они требуют ряда операций извне, результатом чего является усложненный процесс изготовления.

Предложено также несколько способов *in-situ*. Krames и др. в патенте США 6649440 B1 описывают способ изготовления светоизлучающего устройства с улучшенной эффективностью извлечения света, осуществляемый *in-situ*. Способ использует толстую многослойную эпитаксиальную структуру, которая увеличивает эффективность получения света из устройства. Многослойная структура не поглощает свет, а ее увеличенная толщина позволяет свету, удерживаемому в волноводе, покинуть светоизлучающее устройство через боковые стороны структуры с меньшим числом отражений, избегая, таким образом, потерь света в активной области и электродах. Недостаток способа состоит в том, что многослойная структура должна быть много толще, чем светоизлучающая область, чтобы обеспечить значительное увеличение света, получаемого от устройства, что требует значительно большего времени выращивания и стоимости такой структуры по сравнению с обычными структурами. Кроме того, толстая многослойная структура может создавать значительные напряжения в светоизлучающей структуре. Krames и др. в патенте США 6683327 B2 описывают светоизлучающее устройство, включающее слой центров кристаллизации, содержащий алюминий. Толщина и алюминиевый состав для слоя центров кристаллизации выбираются так, чтобы согласовать коэффициент преломления подложки и слоев устройства, так что 90% света из слоев устройства, падающего на слой центров кристаллизации, направляется в подложку. Один из недостатков этого способа состоит в том, что трудно выращивать в паровой фазе светоизлучающие структуры над таким слоем центров кристаллизации, имея толщину, требуемую, чтобы обеспечить эффективное рассеяние света, без ухудшения структурного качества выращенных сверху слоев. T.Hibeault и др. в патенте США 6821804 B2 описывают несколько решений, основанных на создании массивов светоизвлекающих элементов, образованных либо внутри структуры, либо на подложке до эпитаксиального выращивания. Массив светоизвлекающих элементов создается, чтобы обеспечить пространственно изменяющийся коэффициент преломления, так чтобы свет, захваченный в волноводе, взаимодействовал с массивами, изменял направление распространения и мог покинуть светоизлучающее устройство. Эти решения значительно улучшают способность света излучаться из структуры; однако, включения чужеродных материалов могут внести дополнительные

дефекты в слои структуры. Другим предлагаемым решением является внесение рассеивающих слоев, образованных либо внутри структуры, либо на подложке, до эпитаксиального выращивания. Однако, чтобы обеспечить достаточно большую разницу коэффициента преломления для эффективной рефракции света, слой, выполненный из нитридов металлов III группы, должен иметь толщину и состав, которые могут ввести значительные дополнительные напряжения в структуре. Shen и др. в патенте США 6903376 B2 описывают светоизлучающее устройство, которое включает светоизлучающую область и отражающий контакт, отделенный от светоизлучающей области одним или более слоями. Расстояние между светоизлучающей областью и отражающим контактом составляет между $0,5\lambda_n$ и $0,9\lambda_n$, или между λ_n и $1,4\lambda_n$, где λ_n - длина волны света, излучаемого из светоизлучающей области в область устройства, разделяющую светоизлучающую область и отражающий контакт. Согласно изобретению, эффективность извлечения света из потока верхней стороны, как функция разделяющего расстояния, имеет максимум при определенных значениях из-за фазового сдвига света, отраженного от отражающего контакта, и интерференции света, непосредственно излучаемого из светоизлучающей области, и отраженного от контакта. По существу, однако, это явление эффективно для областей, являющихся тонкими одиночными квантовыми ямами, но менее выражено в случае сложных светоизлучающих областей, имеющих несколько квантовых ям. Один общий недостаток всех описанных способов, использующих внутренние свойства, состоит в том, что они создают дополнительные напряжения в структуре, с вытекающим отсюда увеличением плотности дефектов.

Как одно из последних решений, Lee и др. в заявке на изобретение США 2005/0082546 A1 описывают способ, который включает образование подложки, имеющей, по меньшей мере, одну выступающую часть с искривленной поверхностью, в которой может быть получено однородное распределение напряжений. Устройство обеспечивает улучшенное извлечение света, сохраняя при этом плотность дефектов в структуре. Один из недостатков этого способа состоит в том, что, хотя он обеспечивает эффективное рассеяние света, он требует усложненного процесса производства, включающего технологические операции ex-situ

ЦЕЛЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Цель изобретения состоит в том, чтобы устранить вышеупомянутые недостатки прежнего уровня техники.

В частности, целью изобретения является описание нового типа полупроводниковой структуры с увеличенной способностью рассеяния света, без создания дополнительных дислокаций, возбужденных напряжениями, в результате чего сильно возрастает яркость светоизлучающих устройств, использующих полупроводниковую структуру; такая полупроводниковая структура создана из нитридов металлов III группы с кристаллической структурой вюрцита и выращена в паровой фазе на подложке с ориентацией (0001), образованной либо из материалов полупроводниковой структуры, либо из чужеродных материалов.

Целью изобретения также является описание нового, эффективного и хорошо управляемого, полностью основанного на in-situ способа изготовления полупроводниковой структуры типа, описанного выше.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Полупроводниковая структура в соответствии с настоящим изобретением отличается тем, что представлено в п.1 формулы изобретения. Структура образована из нитридов металлов III группы с кристаллической структурой вюрцита и выращена в

паровой фазе на полупроводниковой подложке с ориентацией (0001). Подложка может быть образована либо из материалов полупроводниковой структуры, либо из некоторых чужеродных материалов. Полупроводниковая структура включает нижний покрывающий слой и верхний покрывающий слой с плоской верхней поверхностью, выращенный над нижним покрывающим слоем, причем постоянная решетки верхнего покрывающего слоя такая же, как постоянная решетки нижнего покрывающего слоя. Различные постоянные решетки покрывающих слоев могут вызвать образование создаваемых напряжениями дислокаций в структуре. Существенной частью структуры является область рассеяния, расположенная между нижним покрывающим слоем и верхним покрывающим слоем, для рассеяния света, распространяющегося в полупроводниковой структуре. Область рассеяния имеет коэффициент преломления, отличный от коэффициентов преломления покрывающих слоев и неплоских поверхностей, чтобы образовать рассеивающие свет границы раздела между областью рассеяния и покрывающими слоями. Неплоские поверхности обеспечивают рассеивающие границы раздела различных направлений. Такого рода поверхности заставляют световые лучи, излученные слоями светоизлучающего устройства, выращенными над структурой, случайным образом изменять их направления распространения, таким образом, улучшая их вероятность иметь направление, в котором выход из устройства возможен. В результате повышается яркость светоизлучающего устройства. Неплоская верхняя поверхность области рассеяния превращается в плоскую поверхность во время выращивания верхнего покрывающего слоя. Такая плоская поверхность хорошо подходит для дальнейшего эпитаксиального выращивания на ней слоев светоизлучающего устройства. В данном документе термин "слой" обычно относится к эпитаксиальному слою монокристалла. Термин "рассеяние" относится к любому виду механизмов изменения направления распространения света на границах раздела, включая отражение, рассеяние и рефракцию.

Согласно настоящему изобретению, упомянутая область рассеяния включает множество рассеивающих слоев, причем составы и толщины рассеивающих слоев выбраны так, чтобы избежать образования создаваемых напряжениями дислокаций в области рассеяния. Предпочтительно, каждый из рассеивающих слоев имеет неплоские поверхности, чтобы максимизировать эффективность рассеяния. Избежать образования дислокаций очень важно, потому что дислокации могут вызвать ухудшение свойств слоев светоизлучающего устройства, выращенных позднее на полупроводниковой структуре. Избежать дислокаций можно путем обеспечения эффективной релаксации напряжений в структуре. Кроме того, в соответствии с настоящим изобретением, коэффициенты преломления соседних рассеивающих слоев различаются, чтобы еще больше увеличить эффективность рассеяния через увеличенное число границ раздела рассеивающих слоев. Общая толщина области рассеяния выбирается, чтобы обеспечить эффективное рассеяние света. Чем больше разница в коэффициентах преломления рассеивающего и покрывающего слоев, тем меньше требуемая полная толщина области рассеяния. Структура согласно настоящему изобретению обеспечивает увеличенную способность рассеяния света, результатом чего является значительно возросшая яркость светоизлучающего устройства, выращенного на вершине структуры без введения дополнительных дислокаций в слоях. Это большой шаг в развитии по сравнению с известными подложками с рассеянием света, что обеспечивалось введением одиночного рассеивающего слоя.

Основная идея изобретения может применяться к различным материалам. В одном из воплощений изобретения указанные нитриды металлов III группы описываются формулой $Al_xGa_{1-x-y}In_yN$, где $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$.

В предпочтительном воплощении изобретения упомянутые нижний и верхний покрывающие слои выполнены из одинакового материала. В этом случае рассеивающие слои предпочтительно согласованы по параметрам решетки с покрывающими слоями. Таким образом, внесение области рассеяния не ведет к созданию упругих напряжений несоответствия в слоях, и на границах раздела слоев не образуются дислокации несоответствия. Альтернативное воплощение состоит в том, что рассеивающие слои имеют несоответствие по параметрам решетки с нижним и верхним покрывающими слоями, и толщина каждого отдельного рассеивающего слоя меньше, чем критическая толщина Мэтьюз-Блэкли (Matthews - Blakeslee), которая является максимальной толщиной слоя, свободного от дислокаций. Теория, касающаяся критической толщины Мэтьюз-Блэкли, будет объяснена позже в данном документе. Кроме того, в этом воплощении один из двух соседних рассеивающих слоев имеет положительное, а другой - отрицательное несоответствие решетки, по отношению к покрывающим слоям, чтобы избежать накопления напряжений в области рассеяния. Эта отличительная особенность вместе с упомянутым ограничением толщины ниже критической толщины Мэтьюз-Блэкли позволяет иметь область рассеяния с достаточной толщиной без дополнительных дислокаций, порожденных напряжениями. Например, пакет, состоящий из пар первого и второго рассеивающих слоев с равными толщинами и имеющих противоположные несоответствия параметров решетки одинаковой амплитуды, имеет нулевое общее напряжение.

В особом предпочтительном воплощении изобретения нижний покрывающий слой и рассеивающие слои имеют верхние поверхности с гранями, имеющими кристаллографические индексы иные, чем (0001) и кристаллографические индексы типа {1100}. Таким образом, область рассеяния воспроизводит грани на верхней поверхности нижнего покрывающего слоя. Этот тип структуры, имеющий специфические наклонные грани, в результате дает эффективное рассеяние света.

Способ изготовления полупроводниковой структуры согласно настоящему изобретению отличается тем, что представлено в п.7 формулы изобретения. Структура образована из нитридов металлов III группы с кристаллической структурой вюрцита и выращена в паровой фазе на полупроводниковой подложке с ориентацией (0001), которая может быть образована либо из материалов полупроводниковой структуры, либо из чужеродных материалов. После размещения подложки в реакторе способ сначала включает операцию выращивания в паровой фазе нижнего покрывающего слоя. После этого следует операция выращивания в паровой фазе области рассеяния над нижним покрывающим слоем для рассеяния света, распространяющегося в полупроводниковой структуре, причем область рассеяния имеет коэффициент преломления, отличный от коэффициента преломления нижнего покрывающего слоя, и неплоские поверхности. Наконец, способ включает операцию выращивания в паровой фазе верхнего покрывающего слоя над областью рассеяния, причем верхний покрывающий слой имеет плоскую верхнюю поверхность, коэффициент преломления, отличный от коэффициента преломления области рассеяния, и постоянную решетку такую же, как постоянная решетки нижнего покрывающего слоя. Процессы выращивания в паровой фазе могут выполняться в реакторе паровой фазной эпитаксии, основанном, например, на эпитаксии из паровой фазы металлоорганических

соединений или эпитаксии из гидридной паровой фазы.

Согласно настоящему изобретению, выращивание области рассеяния включает операции выращивания множества рассеивающих слоев, причем составы и толщины рассеивающих слоев выбираются так, чтобы избежать образования дислокаций в
5 поверхностях раздела слоев, обусловленных напряжениями, и соседние рассеивающие слои имеют различающиеся коэффициенты преломления, чтобы дополнительно повысить эффективность рассеяния. Таким образом, способом согласно настоящему изобретению, в отличие известных способов, использующих введение одного
10 рассеивающего слоя, достигают эффективного рассеяния света без введения в слои дополнительных дислокаций.

Предпочтительно, упомянутые нитриды металлов III группы имеют формулу $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$, где $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$.

В предпочтительном воплощении изобретения верхний и нижний покрывающие
15 слои выполнены из одинакового материала. В этом случае предпочтительно выращивать рассеивающие слои, имеющие постоянные решетки те же, что и постоянные решетки покрывающих слоев. Тогда на границах раздела слоев не создаются напряжения и, таким образом, не возникают дислокации, обусловленные
20 напряжениями. Также возможно выращивать рассеивающие слои, постоянные решетки которых отличаются от постоянных решетки покрывающих слоев, причем каждый из них имеет толщину меньше, чем критическая толщина Мэтьюз-Блэкли, при этом один из двух соседних рассеивающих слоев имеет постоянную решетки
25 больше, а другой слой - постоянную решетки меньше, чем постоянная решетки покрывающих слоев. В этом случае напряжение создается в слоях благодаря несоответствию параметров решеток. Однако дислокаций удастся избежать путем выбора толщины ниже упомянутой критической толщины Мэтьюз-Блэкли и путем выбора соседних рассеивающих слоев, имеющих противоположные несоответствия
30 параметров решетки, по отношению к покрывающим слоям, чтобы избежать накопления напряжений. Критическая толщина Мэтьюз-Блэкли, которая является максимальной толщиной для свободного от дислокаций слоя, обсуждается более подробно позже в этом документе.

В особом, предпочтительном воплощении изобретения выращивают нижний
35 покрывающий слой и рассеивающие слои, которые имеют верхние поверхности с гранями, имеющими кристаллографические индексы иные, чем (0001) и индексы типа {1100}. Таким образом, область рассеяния воспроизводит грани на верхней поверхности нижнего покрывающего слоя. Этот тип структуры, имеющий
40 специфически наклоненные грани, обладает эффективным рассеянием света. Рост граней нижнего покрывающего слоя и области рассеяния может быть достигнут посредством использования предпочтительного выращивания этих граней. Как известно специалистам, можно выбрать параметры процесса, такие, как, например,
45 время, расход газа, температура и давление, чтобы осуществлять выращивание граней с этими кристаллографическими индексами. Однако каждый реактор имеет свои собственные индивидуальные параметры, так что нельзя установить общий набор параметров. Соответственно, верхний покрывающий слой с плоской верхней
50 поверхностью может быть изготовлен путем предпочтительного выращивания плоских граней с кристаллографическим индексом (0001).

Выращивание нижнего покрывающего слоя, имеющего упомянутые грани на его верхней поверхности, включает предпочтительно операцию образования осадка на поверхности с ориентацией (0001), причем указанный осадок имеет высоту 0,1-1,5 мкм

и поверхностную плотность 10^7 - 10^8 см⁻². Создание осадка - обычное явление во время начальных стадий выращивания слоя нитридов металлов III группы на поверхности с ориентацией (0001). Осадки обычно имеют пирамидальную форму, имеющую упомянутые грани. Создание осадков, имеющих упомянутые определенные свойства, гарантирует, что обеспечиваются достаточно большие грани, пригодные для дальнейшего предпочтительного выращивания рассеивающих слоев. Вообще, осадок образуется во время низкотемпературного осаждения материала с последующей рекристаллизацией при более высокой температуре. Однако такая технология обычно приводит к образованию ряда мелких осадков с высокой плотностью, имеющих тенденции к слиянию, еще до достижения требуемой высоты. Согласно настоящему изобретению, предпочтительно, но не исключительно, осадки образуются во время последовательности коротких низкотемпературных осаджений, выполняемых в интервале температур 450-700°C, сопровождаемых высокотемпературными периодами отжига слоя, выполняемыми в интервале температур 900-1150°C. Точные температуры зависят от используемых материалов и типа реактора. Длительность упомянутых кратковременных низкотемпературных осаджений может быть, например, несколько десятков секунд. Во время каждого отжига часть осажденного материала удаляется с поверхности. Параметры процесса во время отжига, такие как температурный градиент и время отжига, выбирают так, чтобы полностью удалить мелкие осадки, но сохранить крупные осадки. В результате происходит доминирующий рост только самых крупных осадков. Осадки могут выращиваться непосредственно на полупроводниковой подложке с ориентацией (0001). Также возможно сначала вырастить часть нижнего слоя, имеющую поверхность (0001), и вырастить осадок на этой поверхности.

Весь способ согласно настоящему изобретению может быть выполнен посредством операций процесса *in-situ*, в отличие от многих прежних способов, включающих нежелательные и усложненные фазы *ex-situ*.

Важным признаком изобретения, описанного выше, является то, что внесение достаточно толстой области рассеяния не вводит в слои дополнительные дислокации. Вообще введение слоев с решеточным несоответствием приводит к существенному несоответствию между слоями параметров кристаллических решеток, в результате чего создаются напряжения (растяжение или сжатие) в слоях из-за упругого несоответствия. Эти напряжения могут релаксировать через образование дислокаций на границах раздела. В большинстве случаев дислокации от несоответствия связаны с винтовыми дислокациями, которые сопутствуют дислокациям несоответствия, но их линии проходят через пленку к свободной поверхности. Винтовые дислокации вредны для работы устройства. Оптимальное решение состоит в том, чтобы обеспечить эффективное рассеяние света без введения дополнительных дислокаций в слои. Специалистам известно, что возникновение дислокаций не происходит в случае, когда толщина слоев с несоответствием параметров решетки меньше, чем критическая толщина Мэтьюз-Блэкли, h_c , для создания дислокаций несоответствия. Критическая толщина может быть получена путем рассмотрения энергетики конфигурации комбинированной винтовой дислокации/дислокации несоответствия в напряженной пленке и может быть приблизительно представлена как $h_c \approx b/\epsilon_m$, где b - величина дислокационного вектора Бюргерса, и ϵ_m - параметр несоответствия. Для нитридов металлов III группы, имеющих кристаллическую структуру вюрцита, возможные векторы Бюргерса включают $\pm c$ и $\pm a_i$ ($i=1, 2, 3$) трансляционные векторы решетки и их суммы $\pm c \pm a_i$. С-трансляция больше, чем а-трансляция, что дает выражение для

критической толщины $h_c \approx a/\epsilon_m = a^2/\Delta a$, где a является постоянной решетки в плоскости, Δa является разностью постоянных решетки в плоскости для слоев.

Как следствие, при использовании настоящего изобретения может быть достигнуто несколько преимуществ по сравнению с прежней техникой.

Структура с эффективной способностью рассеяния света может быть реализована с приемлемо низкой толщиной области рассеяния и без возникновения вредных дислокаций. Процесс изготовления содержит только операции способа *in situ*, что делает процесс очень удобным и обеспечивает высокую производительность.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Сопровождающие чертежи, которые включены, чтобы обеспечить лучшее понимание изобретения, и представляют часть этого описания, иллюстрируют воплощения изобретения, так же, как и примеры известной техники, и вместе с описанием помогают объяснить принципы изобретения.

Фиг.1 показывает схематически поперечное сечение полупроводниковой структуры согласно настоящему изобретению.

Фиг.2 представляет схематически поперечные сечения подложек, выращенных известными способами.

Фиг.3 показывает воплощение способа согласно настоящему изобретению в виде блок-схемы.

ПОДРОБНОЕ ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Далее описаны подробно ссылки на воплощения изобретения и примеры, относящиеся к настоящему изобретению, которые иллюстрируются на сопровождающих чертежах.

Полупроводниковая структура 1 на фиг.1 включает подложку 2, образованную из материалов полупроводниковой структуры, или подложку 3, образованную из чужеродных материалов, нижний покрывающий слой 4 с поверхностью 8, имеющей грани 11 с кристаллографическими индексами, отличными от (0001) и от кристаллографических индексов типа $\{1100\}$, верхний покрывающий слой 5 с плоской поверхностью 9, и область рассеяния, состоящую из двух пар слоев, включающих первый рассеивающий слой 6 и второй рассеивающий слой 7. Штриховая линия показывает осадок 14, выращенный во время выращивания нижнего покрывающего слоя. Верхний покрывающий слой имеет постоянную решетки, равную постоянной решетки нижнего покрывающего слоя. Рассеивающие слои имеют коэффициенты преломления, отличные от коэффициентов преломления покрывающих слоев. Кроме того, коэффициенты преломления первых рассеивающих слоев 6 отличаются от коэффициентов преломления вторых рассеивающих слоев 7. Первые рассеивающие слои 6 могут иметь различающиеся коэффициенты преломления. Также может обстоять дело со вторыми рассеивающими слоями 7. Рассеивающие слои 6 и 7 не являются плоскими, но они воспроизводят грани 11 на поверхности нижнего покрывающего слоя. Составы и толщины рассеивающих слоев 6 и 7 выбраны так, чтобы обеспечить эффективную релаксацию напряжений внутри структуры 1 без образования дислокаций несоответствия на границах раздела слоев. Более того, каждый из рассеивающих слоев имеет толщину меньше, чем критическая толщина Мэтьюз-Блэкли. Сверх того, первые и вторые рассеивающие слои равных толщин имеют противоположные несоответствия параметров решетки одинаковой амплитуды, по отношению к покрывающим слоям. Направление напряжений в каждом слое показано стрелками. Противоположные напряжения компенсируют друг друга, что препятствует накоплению напряжений. Общая толщина области рассеяния

выбрана так, чтобы обеспечить эффективное рассеяние света. Чем больше разница в коэффициентах преломления рассеивающих и покрывающих слоев, тем меньше требуемая общая толщина области рассеяния. Полупроводниковая структура 1 обеспечивает повышенную способность рассеяния света без введения в слои
 5 дополнительных дислокаций. Кроме того, поверхность 9 верхнего покрывающего слоя, образующая поверхность полупроводниковой структуры, обладает высоким качеством кристаллической структуры и, как таковая, хорошо подходит для дальнейшего наращивания слоев устройства.

Известные в данной отрасли техники решения *in situ*, показанные на фиг.2, обеспечивают рассеяние света либо путем выращивания монокристаллического эпитаксиального промежуточного полупроводникового слоя 12 с коэффициентом преломления и постоянной решетки, отличными от таковых в нижнем и верхнем
 10 слоях (фиг.2a), либо путем введения включений из аморфного материала 13 (фиг.2b). Как видно на фиг.2a, толщина одиночного слоя должна быть тонкой, чтобы избежать образования обусловленных напряжениями дислокаций. Это ведет к неэффективному рассеянию. Структура на фиг.2b, хотя и улучшает рассеяние света в структуре, приводит к созданию упругих напряжений из-за несоответствия в слоях и
 15 образованию дислокаций несоответствия на границах раздела. Другие известные способы требуют операций процесса *ex situ*, которые усложняют процесс изготовления.

Способ изготовления согласно одному из воплощений настоящего изобретения, представленный на фиг.3, имеет три основных операции. Сначала выращивают нижний покрывающий слой. Второй операцией является выращивание множества из,
 25 по меньшей мере, двух пар, состоящих из первого и второго рассеивающих слоев с гранями на поверхностях, характеризующихся кристаллографическими индексами, отличными от (0001) и от кристаллографических индексов типа {1100}, причем коэффициент преломления первых рассеивающих слоев отличается от коэффициента преломления вторых рассеивающих слоев. Первые рассеивающие слои имеют
 30 положительное несоответствие параметров решетки по отношению к покрывающим слоям, в то время как вторые рассеивающие слои имеют отрицательное несоответствие параметров решетки, предпочтительно одинаковой амплитуды. Толщина каждого индивидуального рассеивающего слоя предпочтительно меньше,
 35 чем критическая толщина Мэтьюз-Блэкли, h_c , чтобы избежать возникновения дислокации несоответствия. Третьей операцией является выращивание верхнего покрывающего слоя с плоской поверхностью, причем слой выполняют из того же материала, что и нижний покрывающий слой. Способ обеспечивает выращивание
 40 полупроводниковой структуры с эффективным рассеянием света без введения дополнительных дислокаций в слои.

Специалистам понятно, что с развитием технологии основная идея изобретения может быть реализована разными путями. Изобретение и его воплощения, таким образом, не ограничиваются примерами, описанными выше; вместо этого они могут
 45 изменяться в пределах сущности и объема формулы изобретения.

Формула изобретения

1. Полупроводниковая структура (1), образованная из нитридов металлов III группы с кристаллической структурой вюрцита и выращенная в паровой фазе на полупроводниковой подложке (2, 3) с ориентацией (0001), включающая:

нижний покрывающий слой (4);

верхний покрывающий слой (5) с плоской верхней поверхностью (9), выращенный

над нижним покрывающим слоем, причем постоянная решетки верхнего покрывающего слоя такая же, как постоянная решетки нижнего покрывающего слоя, и

область рассеяния (6, 7), расположенную между нижним покрывающим слоем (4) и верхним покрывающим слоем (5), для рассеяния света, распространяющегося в полупроводниковой структуре (1), причем область рассеяния имеет коэффициент преломления, отличный от коэффициентов преломления покрывающих слоев, и неплоские поверхности для обеспечения рассеивающих свет границ раздела между областью рассеяния и покрывающими слоями,

отличающаяся тем, что область рассеяния включает множество рассеивающих слоев (6, 7), причем составы и толщины указанных рассеивающих слоев выбраны так, чтобы избежать образования дислокации, возбуждаемых напряжениями в области рассеяния, и смежные рассеивающие слои (6, 7) имеют различающиеся коэффициенты преломления, чтобы еще более увеличить эффективность рассеяния.

2. Полупроводниковая структура (1) по п.1, отличающаяся тем, что указанные нитриды имеют формулу $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$, где $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$.

3. Полупроводниковая структура (1) по п.1, отличающаяся тем, что указанные нижний и верхний покрывающие слои выполнены из одинакового материала.

4. Полупроводниковая структура (1) по п.3, отличающаяся тем, что рассеивающие слои (6, 7) согласованы по параметрам решетки с покрывающими слоями (4, 5).

5. Полупроводниковая структура (1) по п.3, отличающаяся тем, что рассеивающие слои (6, 7) имеют несоответствие по параметрам решетки с нижним и верхним покрывающими слоями (4, 5), толщина каждого рассеивающего слоя меньше критической толщины Мэтьюз-Блэкли, и один из двух смежных рассеивающих слоев имеет положительное, а другой отрицательное несоответствие по параметрам решетки с покрывающими слоями (4, 5), чтобы избежать накопления напряжений в рассеивающих слоях.

6. Полупроводниковая структура (1) по любому из пп.1-5, отличающаяся тем, что нижний покрывающий слой и рассеивающие слои имеют верхние поверхности с гранями, имеющими кристаллографические индексы иные, чем (0001), и кристаллографические индексы типа $\{1\bar{1}00\}$.

7. Способ изготовления полупроводниковой структуры (1), образованной из нитридов металлов III группы с кристаллической структурой вюрцита и выращенной в паровой фазе на полупроводниковой подложке (2, 3) с ориентацией (0001), включающий операции:

выращивания в паровой фазе нижнего покрывающего слоя (4);

выращивания в паровой фазе области (6, 7) рассеяния над нижним покрывающим слоем для рассеяния света, распространяющегося в полупроводниковой структуре (1), причем область рассеяния имеет коэффициент преломления, отличный от коэффициента преломления нижнего покрывающего слоя, и неплоские поверхности, и

выращивания в паровой фазе верхнего покрывающего слоя (5) над областью рассеяния, причем верхний покрывающий слой имеет плоскую верхнюю поверхность (9), коэффициент преломления, отличный от коэффициента преломления области рассеяния, и постоянную решетки такую же, как постоянная решетки нижнего покрывающего слоя, отличающийся тем, что выращивание области рассеяния включает операции выращивания множества рассеивающих слоев (6, 7), причем составы и толщины рассеивающих слоев выбирают так, чтобы избежать образования дислокации, возбуждаемых напряжениями на границах раздела слоев, и смежные

рассеивающие слои (6, 7) имеют различающиеся коэффициенты преломления, чтобы еще больше увеличить эффективность рассеяния.

8. Способ по п.7, отличающийся тем, что указанные нитриды имеют формулу $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$, где $0 \leq x \leq 1$, $0 \leq y \leq 1$.

9. Способ по п.7, отличающийся тем, что указанные нижний и верхний покрывающие слои выполнены из одинакового материала.

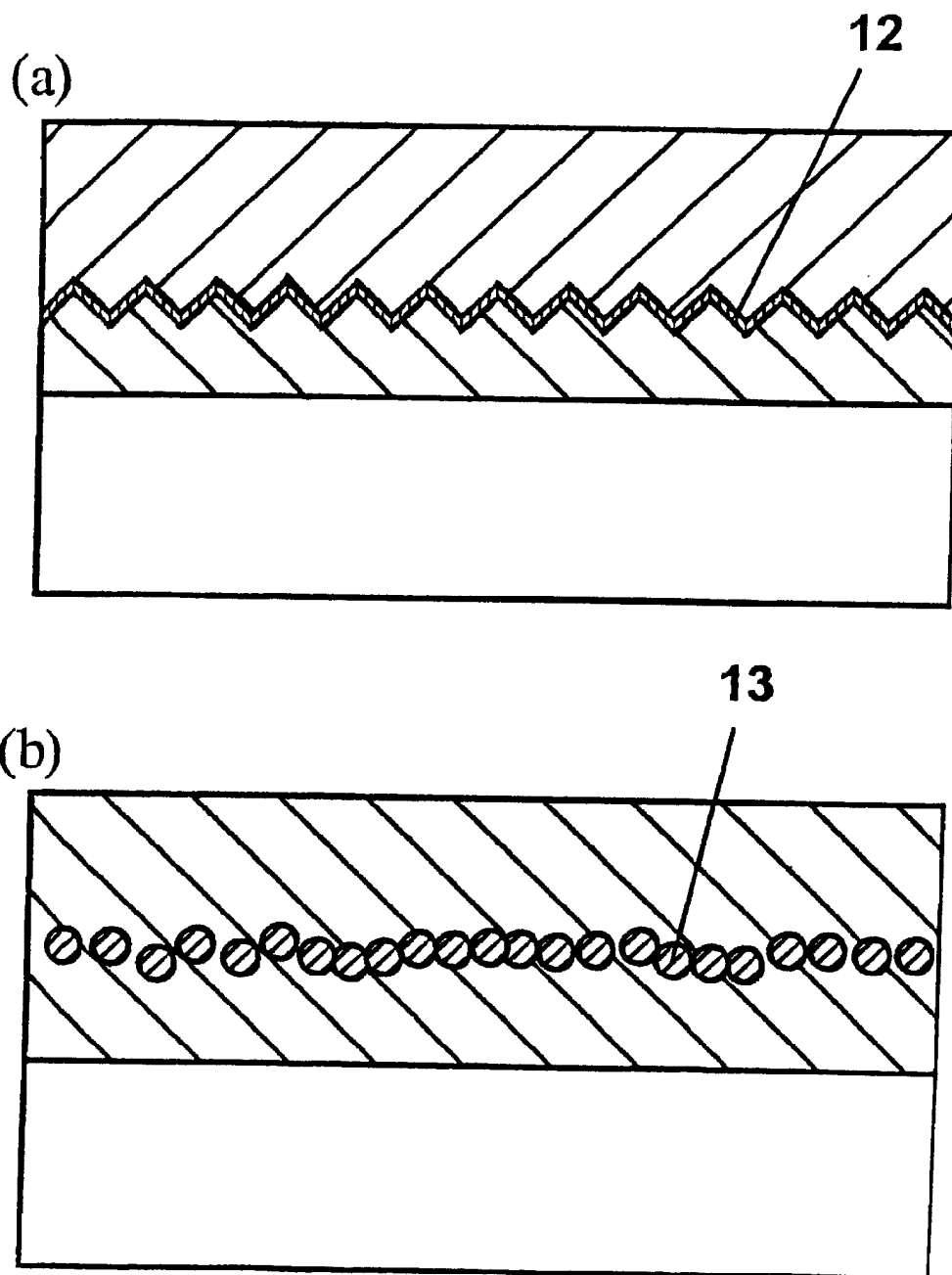
10. Способ по п.9, отличающийся тем, что рассеивающие слои (6, 7) выращивают с постоянными решетки, такими же, как постоянные решетки покрывающих слоев (4,5).

11. Способ по п.9, отличающийся тем, что выращивают рассеивающие слои (6, 7) так, что каждый слой имеет постоянную решетки, отличную от постоянной решетки покрывающих слоев (4, 5), толщину меньше критической толщины Мэтьюз-Блэкли, и один из двух смежных рассеивающих слоев (6, 7) имеет постоянную решетки больше, а другой слой имеет постоянную решетки меньше, чем постоянная решетки покрывающих слоев (4, 5), чтобы избежать накопления напряжений в рассеивающих слоях.

12. Способ по любому из пп.7-11, отличающийся тем, что нижний покрывающий слой и рассеивающие слои выращивают так, что каждый из них имеет верхнюю поверхность с гранями, имеющими кристаллографические индексы иные, чем индексы (0001) и кристаллографические индексы типа $\{1\bar{1}00\}$.

13. Способ по п.12, отличающийся тем, что выращивание нижнего покрывающего слоя включает операцию образования осадка (14) на поверхности с ориентацией (0001), причем указанный осадок имеет высоту 0,1-1,5 мкм и поверхностную плотность 10^7 - 10^8 см⁻².

14. Способ по п.13, отличающийся тем, что указанный осадок (14) образуют посредством процесса, состоящего из последовательности коротких низкотемпературных осаждений, выполняемых в интервале температур 450-700°C, сопровождаемых высокотемпературными периодами отжига слоев, выполняемых в интервале температур 900-1150°C.



(Известный уровень техники)

Фиг.2



Фиг.3