



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014121933/28, 29.11.2012

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
29.11.2012

Приоритет(ы):

(30) Конвенционный приоритет:
02.12.2011 JP 2011-264908;
23.10.2012 JP 2012-234113

(43) Дата публикации заявки: 27.01.2016 Бюл. № 3

(45) Опубликовано: 10.10.2016 Бюл. № 28

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: JPH 07211986 A 11.08.1995. EP 1483778 B1 13.04.2011. US 2011109395 A1 12.05.2011. JP 2006351692 A 28.12.2006. Padullaparthi Babu Dayal и др., Multiple-Wavelength Vertical-Cavity Surface-Emitting Lasers by Grading a Spacer Layer for Short-Reach Wavelength Division Multiplexing Applications, Applied Physics Express, vol. 2, N 9, 2009.

(85) Дата начала рассмотрения заявки РСТ на национальной фазе: 02.07.2014

(86) Заявка РСТ:
JP 2012/081582 (29.11.2012)

(87) Публикация заявки РСТ:
WO 2013/081176 (06.06.2013)

Адрес для переписки:

129090, Москва, ул. Б. Спасская, 25, строение 3,
ООО "Юридическая фирма Городисский и
Партнеры"

(72) Автор(ы):

**СУДЗУКИ Реитиро (JP),
САТО Сунити (JP)**

(73) Патентообладатель(и):

РИКОХ КОМПАНИ, ЛТД. (JP)

(54) ЛАЗЕРНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ПОВЕРХНОСТНОГО ИСПУСКАНИЯ, СПОСОБ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ЭЛЕМЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО ИСПУСКАНИЯ И АТОМНЫЙ ОСЦИЛЛЯТОР

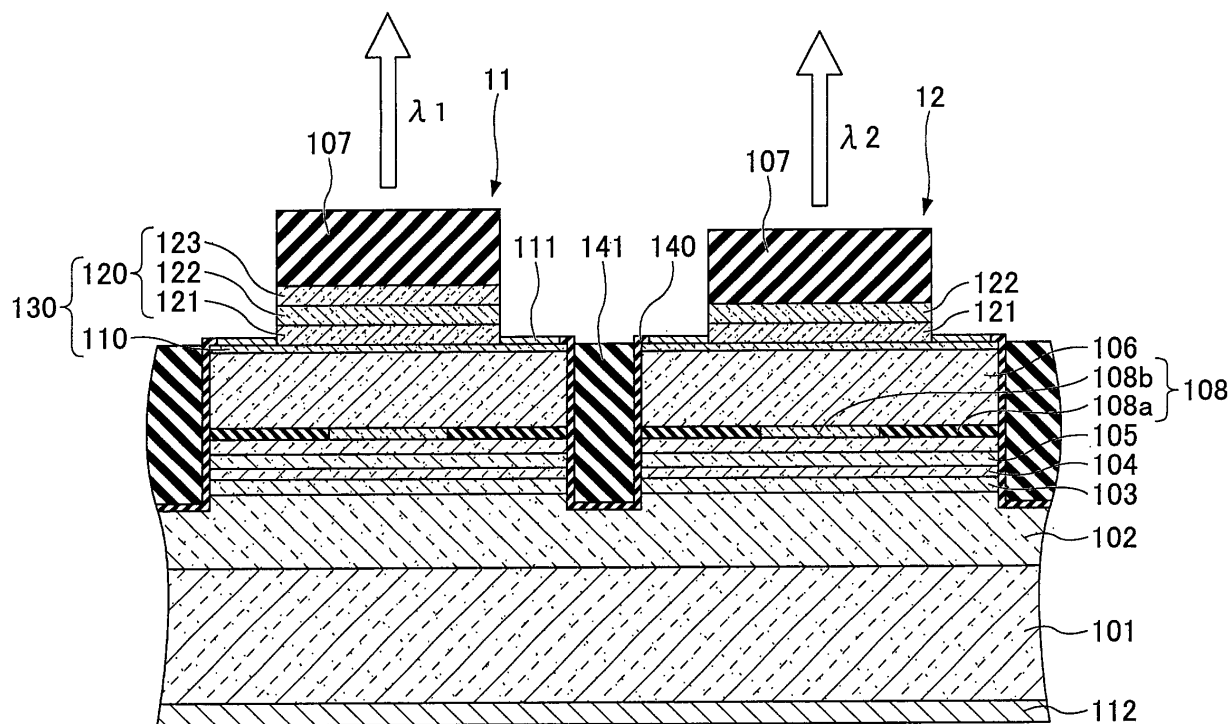
(57) Реферат:

Лазерный элемент поверхностного испускания включает в себя полупроводниковую подложку и множество лазеров поверхностного испускания, сконфигурированных с возможностью испускания света со взаимно различными длинами волн. Каждый лазер поверхностного испускания включает в себя нижний брэгговский отражатель,

обеспеченный на полупроводниковой подложке, резонатор, обеспеченный на нижнем брэгговском отражателе, верхний брэгговский отражатель, обеспеченный на резонаторе, и слой регулирования длины волны, обеспеченный внутри верхнего брэгговского отражателя или нижнего брэгговского отражателя. Слои

регулирования длины волны, включенные в лазеры поверхностного испускания, имеют взаимно различные толщины, причем, по меньшей мере, один из слоев регулирования длины волны включает в себя слои регулирования, образованные из двух видов материалов, и числа

слоев регулирования, включенных в слои регулирования длины волны, взаимно различаются. Технический результат заключается в возможности обеспечения регулирования длины волны, испускаемой устройством. 3 н. и 11 з.п. ф-лы, 24 ил.



ФИГ.2



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

H01S 5/183 (2006.01)*H01L 33/10* (2010.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**(21)(22) Application: **2014121933/28, 29.11.2012**(24) Effective date for property rights:
29.11.2012

Priority:

(30) Convention priority:
02.12.2011 JP 2011-264908;
23.10.2012 JP 2012-234113(43) Application published: **27.01.2016** Bull. № 3(45) Date of publication: **10.10.2016** Bull. № 28(85) Commencement of national phase: **02.07.2014**(86) PCT application:
JP 2012/081582 (29.11.2012)(87) PCT publication:
WO 2013/081176 (06.06.2013)

Mail address:

129090, Moskva, ul. B. Spasskaja, 25, stroenie 3,
OOO "JUrIdicheskaja firma Gorodisskij i Partnery"

(72) Inventor(s):

SUDZUKI Reitiro (JP),
SATO Suniti (JP)

(73) Proprietor(s):

RIKOKH KOMPANI, LTD. (JP)(54) **SURFACE EMISSION LASER ELEMENT, METHOD OF SURFACE EMISSION LASER ELEMENT PRODUCTION AND NUCLEAR OSCILLATOR**

(57) Abstract:

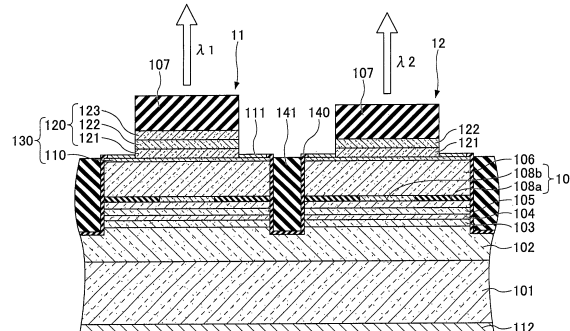
FIELD: laser engineering.

SUBSTANCE: laser surface emission element includes semiconductor substrate and plurality of surface emission lasers, configured with possibility to emit light with mutually different wavelengths. Each surface emission laser includes lower Bragg reflector, arranged on semiconductor substrate, resonator, arranged on lower Bragg reflector, upper Bragg reflector, arranged on resonator, and wave length adjustment layer, arranged inside upper Bragg reflector or lower Bragg reflector. Wave length adjustment layers included in surface emission lasers, have mutually different thicknesses, wherein, at least one of wave length adjustment layers includes control layers, formed from two types of materials, and number of control layers, included in wave length adjustment layers, is

mutually differ.

EFFECT: technical result consists in possibility to adjust device emitted wave length.

14 cl, 24 dwg



ФИГ. 2

ОБЛАСТЬ ТЕХНИКИ, К КОТОРОЙ ОТНОСИТСЯ ИЗОБРЕТЕНИЕ

По меньшей мере, один аспект настоящего изобретения может относиться, по меньшей мере, к одному из лазерного элемента поверхностного испускания, способа для изготовления лазерного элемента поверхностного испускания и атомного осциллятора.

УРОВЕНЬ ТЕХНИКИ

Лазер поверхностного испускания (VCSEL: лазер поверхностного испускания с вертикальным резонатором) представляет собой полупроводниковый лазер для испускания света в вертикальном направлении относительно поверхности подложки и имеет признаки низкой цены, низкого потребления электроэнергии, компактности, высокой производительности и простой двумерной интеграции, по сравнению с полупроводниковым лазером с торцевым излучением.

Лазер поверхностного испускания имеет область резонатора, включающую в себя активный слой и резонаторную структуру, состоящую из верхнего отражателя и нижнего отражателя выше и ниже области резонатора, соответственно (например, публикация заявки на патент (Япония) номер 2008-53353). Следовательно, область резонатора сформирована с предварительно определенной оптической толщиной таким образом, что свет с длиной λ волны осциллирует в области резонатора, чтобы получить свет с длиной λ волны осцилляции. Верхний отражатель и нижний отражатель сформированы посредством попеременного наслаивания и формирования материалов с различными показателями преломления, а именно материала с низким показателем преломления и материала с высоким показателем преломления, и сформированы таким образом, что толщины оптической пленки материала с низким показателем преломления и материала с высоким показателем преломления составляют $\lambda/4$, чтобы получить высокую отражательную способность при длине λ волны.

Кроме того, также раскрывается формирование элементов для различных длин волн в кристалле (например, патент (Япония) № 2751814, публикация заявки на патент (Япония) номер 2000-058958, публикация заявки на патент (Япония) номер 11-330631 и публикация заявки на патент (Япония) номер 2008-283129). Может быть возможно сформировать такой лазерный элемент поверхностного испускания с множественной длиной волны посредством формирования слоя регулирования длины волны со структурой, сформированной посредством попеременного наслаивания двух материалов для различных текущих сред травления в области резонатора лазерного элемента поверхностного испускания и посредством удаления такого слоя регулирования длины волны один за другим для каждого лазера поверхностного испускания посредством влажного травления, чтобы изменить толщину слоя регулирования длины волны.

В то же время существуют атомные часы (атомный осциллятор) в качестве часов для отмеривания сверхточного времени и изучается технология для миниатюризации таких атомных часов и т.д. Атомные часы представляют собой осциллятор на основе величины энергии перехода электрона, составляющего атом щелочного металла и т.д., и в частности, может быть возможно очень точное значение энергии перехода электрона в атоме щелочного металла при условии отсутствия возмущения, за счет чего может быть возможно получить устойчивость частоты на несколько порядков величины выше, чем для кварцевого осциллятора.

Существует несколько типов таких атомных часов, и среди них устойчивость частоты атомных часов на основе когерентного пленения населенностей (CPT) - типа атомных часов - составляет приблизительно на три порядка величины выше, чем для традиционного кварцевого осциллятора, при этом также может быть возможно ожидать

очень компактный тип и очень низкое потребление электроэнергии (например, Applied Physics Letters, издание 85, стр. 1460-1462 (2004), Comprehensive Microsystems, издание 3, стр. 571-612, и публикация заявки на патент (Япония) номер 2009-88598).

Атомные часы СРТ-типа имеют лазерный элемент, ячейку, заключающую в себе щелочной металл, и светоприемный элемент для светоприемного лазерного света, пропущенного через ячейку, при этом лазерный свет модулируется и два перехода электрона в атоме щелочного металла одновременно достигаются посредством длин волн боковой полосы частот, возникающих на обеих сторонах несущей волны при конкретной длине волны, чтобы проводить его возбуждение. Энергия перехода для такого перехода является неизменной, и когда длина волны боковой полосы частот лазерного света совпадает с длиной волны, соответствующей энергии перехода, возникает явление повышения прозрачности, при котором понижается интенсивность поглощения света щелочного металла. Таким образом, такие атомные часы отличаются тем, что длина волны несущей волны регулируется с тем, чтобы понижать интенсивность поглощения света щелочного металла, и сигнал, детектируемый посредством светоприемного элемента, возвращается в модулятор, так что частота модуляции лазерного света из лазерного элемента регулируется посредством модулятора. Дополнительно, в таких атомных часах, лазерный свет, испускаемый из лазерного элемента, облучает ячейку, заключающую в себе щелочной металл, через коллиматор и волновую пластину $\lambda/4$.

Для источника света для таких атомных часов очень компактного типа является подходящим компактный лазер поверхностного испускания с очень низким потреблением электроэнергии и высоким качеством длины волны, и желательно, чтобы точность длины волны несущей волны находилась в пределах ± 1 нм относительно конкретной длины волны (например, Proc. of SPIE, издание 6132 613208-1 (2006)).

В то же время, когда лазерный элемент поверхностного испускания используется для атомных часов, может быть необходимо обеспечить узкий интервал длин волн (5 нм) для каждого лазера поверхностного испускания. Следовательно, слой регулирования длины волны сформирован на области резонатора лазера поверхностного испускания, и соответственно, когда сформирован такой лазер поверхностного испускания с узким интервалом длин волн, может быть необходимо сформировать пленку таким образом, чтобы толщина каждой пленки в слое регулирования длины волны была очень тонкой. Однако, во время формирования полупроводникового слоя может быть затруднительно сформировать пленку таким образом, чтобы толщина каждой пленки для формирования слоя регулирования длины волны была чрезвычайно тонкой и однородной, вследствие дисперсии скорости роста, нерегулярности в распределении толщин пленки и т.д.

В частности, как указано в патенте (Япония) № 2751814, когда слой регулирования длины волны сформирован на области резонатора и когда интервал длины волны осцилляции должен составлять 5 нм или меньше, может быть необходимо, чтобы толщина пленки слоя регулирования длины волны составляла 1,2 нм или меньше, но для существующей технологии выращивания кристалла компаундного полупроводника может быть чрезвычайно трудно управлять настолько тонкой толщиной пленки. Таким образом, даже если толщина пленки немного изменена, длина волны осцилляции подвержена воздействию за счет этого.

СУЩНОСТЬ ИЗОБРЕТЕНИЯ

Согласно одному аспекту настоящего изобретения, может быть предусмотрен лазерный элемент поверхностного испускания, включающий в себя полупроводниковую подложку и множество лазеров поверхностного испускания, сконфигурированных с

возможностью испускать свет со взаимно различными длинами волн, причем каждый лазер поверхностного испускания включает в себя нижний брэгговский отражатель, обеспеченный на полупроводниковой подложке, резонатор, обеспеченный на нижнем брэгговском отражателе, верхний брэгговский отражатель, обеспеченный на резонаторе, и слой регулирования длины волны, обеспеченный в верхнем брэгговском отражателе или нижнем брэгговском отражателе, причем слои регулирования длины волны, включенные в лазеры поверхностного испускания, имеют взаимно различные толщины, причем, по меньшей мере, один из слоев регулирования длины волны включает в себя слои регулирования, образованные из двух видов материалов, и при этом числа слоев регулирования, включенных в слои регулирования длины волны, являются взаимно различными.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения, может быть обеспечен способ для изготовления лазерного элемента поверхностного испускания, включающего в себя множество лазеров поверхностного испускания, сконфигурированных с возможностью испускать свет со взаимно различными длинами волн, включающий в себя этапы формирования нижнего брэгговского отражателя на полупроводниковой подложке, формирования резонатора на нижнем брэгговском отражателе, формирования верхнего брэгговского отражателя на резонаторе, наслаивания слоев регулирования, образованных из двух видов материалов, в верхнем брэгговском отражателе или нижнем брэгговском отражателе, чтобы сформировать слой регулирования длины волны, удаления одного слоя регулирования в слое регулирования длины волны посредством использования первой текучей среды травления и удаления другого слоя регулирования в слое регулирования длины волны посредством использования второй текучей среды травления, отличающейся от первой текучей среды травления, так что слои регулирования длины волны, включенные в лазеры поверхностного испускания, имеют взаимно различные толщины, а также числа слоев регулирования, включенных в слои регулирования длины волны, являются взаимно различными.

Согласно другому аспекту настоящего изобретения, может быть обеспечен атомный осциллятор, включающий в себя лазерный элемент поверхностного испускания, как описано выше, ячейку с щелочным металлом, включающую в себя щелочной металл, который должен облучаться светом, испускаемым из лазерного элемента поверхностного испускания, фотодетектор, сконфигурированный с возможностью детектирования света, пропускаемого через ячейку с щелочным металлом, и блок управления, сконфигурированный с возможностью управления частотой осцилляции лазерного элемента поверхностного испускания на основе света, детектируемого посредством фотодетектора.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ ЧЕРТЕЖЕЙ

Фиг. 1 является видом сверху лазерного элемента поверхностного испускания в первом варианте осуществления.

Фиг. 2 является иллюстративной схемой лазерного элемента поверхностного испускания в первом варианте осуществления.

Фиг. 3 является структурной схемой слоя регулирования длины волны лазерного элемента поверхностного испускания в первом варианте осуществления.

Фиг. 4А и фиг. 4В являются иллюстративными схемами (1) слоя регулирования длины волны лазерного элемента поверхностного испускания в первом варианте осуществления.

Фиг. 5А и фиг. 5В являются иллюстративными схемами (2) слоя регулирования длины

волны лазерного элемента поверхностного испускания в первом варианте осуществления.

Фиг. 6А и фиг. 6В являются иллюстративными схемами (3) слоя регулирования длины волны лазерного элемента поверхностного испускания в первом варианте осуществления.

Фиг. 7А и фиг. 7В являются иллюстративными схемами (4) слоя регулирования длины волны лазерного элемента поверхностного излучения в первом варианте осуществления.

Фиг. 8 является иллюстративной схемой (5) слоя регулирования длины волны лазерного элемента поверхностного испускания в первом варианте осуществления.

Фиг. 9 является иллюстративной схемой (6) слоя регулирования длины волны лазерного элемента поверхностного испускания в первом варианте осуществления.

Фиг. 10 является видом сверху лазерного элемента поверхностного испускания во втором варианте осуществления.

Фиг. 11 является иллюстративной схемой лазерного элемента поверхностного испускания во втором варианте осуществления.

Фиг. 12А и фиг. 12В являются иллюстративными схемами (1) слоя регулирования длины волны лазерного элемента поверхностного испускания во втором варианте осуществления.

Фиг. 13А и фиг. 13В являются иллюстративными схемами (2) слоя регулирования длины волны лазерного элемента поверхностного испускания во втором варианте осуществления.

Фиг. 14 является видом сверху лазерного элемента поверхностного испускания в третьем варианте осуществления.

Фиг. 15А и фиг. 15В являются иллюстративными схемами лазерного элемента поверхностного испускания в третьем варианте осуществления.

Фиг. 16 является схемой корреляции между первым слоем регулирования длины волны и вторым слоем регулирования длины волны, а также длиной волны осцилляции.

Фиг. 17А и фиг. 17В являются иллюстративными схемами (1) первого слоя регулирования длины волны лазерного элемента поверхностного испускания в третьем варианте осуществления.

Фиг. 18А и фиг. 18В являются иллюстративными схемами (2) первого слоя регулирования длины волны лазерного элемента поверхностного испускания в третьем варианте осуществления.

Фиг. 19А и фиг. 19В являются иллюстративными схемами (3) первого слоя регулирования длины волны лазерного элемента поверхностного испускания в третьем варианте осуществления.

Фиг. 20 является видом сверху лазерного элемента поверхностного испускания в четвертом варианте осуществления.

Фиг. 21 является структурной схемой атомного осциллятора в пятом варианте осуществления.

Фиг. 22 является иллюстративной схемой атомного энергетического уровня для иллюстрации СРТ-типа.

Фиг. 23 является иллюстративной схемой выходной длины волны во время модуляции лазера поверхностного испускания.

Фиг. 24 является схемой корреляции между частотой модуляции и количеством пропускаемого света.

Вариант(ы) осуществления для реализации изобретения

Ниже описывается вариант(ы) осуществления настоящего изобретения.

Дополнительно, идентичные ссылки с номерами применяются к идентичным элементам и т.д., и их описание опускается.

ПЕРВЫЙ ВАРИАНТ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

КОНСТРУКЦИЯ ЛАЗЕРНОГО ЭЛЕМЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО

ИСПУСКАНИЯ

Ниже описывается лазерный элемент поверхностного испускания в первом варианте осуществления. Как проиллюстрировано на фиг. 1 и фиг. 2А, лазерный элемент 10

поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления имеет множество лазеров

поверхностного испускания и, в частности, имеет первый лазер 11 поверхностного испускания, второй лазер 12 поверхностного испускания, третий лазер 13

поверхностного испускания и четвертый лазер 14 поверхностного испускания. Дополнительно, фиг. 1 упрощена в целях пояснения настоящего варианта осуществления, при этом для удобства опущено изображение контактного слоя и т.д. Кроме того, фиг. 2 является схемой в поперечном сечении, обеспеченной посредством разреза вдоль

штрихпунктирной линии 1А-1В на фиг. 1. Лазерный элемент 10 поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления сформирован на полупроводниковом кристалле в 300 квадратных мкм, при этом каждый из первого лазера 11 поверхностного испускания, второго лазера 12

поверхностного испускания, третьего лазера 13 поверхностного испускания и четвертого лазера 14

поверхностного испускания, сформированных на таком полупроводниковом кристалле, соединен с электродной контактной площадкой, обеспеченной соответственно для него. В частности, электродная контактная площадка 21 соединена с первым лазером 11

поверхностного испускания, а электродная контактная площадка 22 соединена со вторым лазером 12

поверхностного испускания, а электродная контактная площадка 23 соединена с третьим лазером 13

поверхностного испускания, а электродная контактная площадка 24 соединена с четвертым лазером 14

поверхностного испускания. Кроме того, первый лазер 11 поверхностного испускания, второй лазер 12 поверхностного испускания, третий лазер 13 поверхностного испускания и четвертый лазер 14 поверхностного испускания обеспечивают испускаемый свет со взаимно различными длинами волн. А именно, длина λ_1 волны, испускаемая из первого лазера 11

поверхностного испускания, длина λ_2 волны, испускаемая из второго лазера 12

поверхностного испускания, длина λ_3 волны, испускаемая из третьего лазера 13

поверхностного испускания, и длина λ_4 волны, испускаемая из четвертого лазера 14

поверхностного испускания, представляют собой взаимно различные длины волн. Дополнительно, лазерный элемент поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления должен получить лазер поверхностного испускания с длиной волны осцилляции в 894,6 нм, при этом четыре лазера поверхностного испускания сформированы на полупроводниковом кристалле (подложке) в 300 квадратных мкм. Поскольку может быть возможно сформировать множество лазеров поверхностного

испускания в узкой области в лазерном элементе поверхностного испускания, существует малое изменение позиции точки испускания света, даже когда включается лазер

поверхностного испускания для проведения испускания света. Следовательно, размер подложки представляет собой размер в 500×500 мкм или меньше, в силу чего

регулирование оптической оси и т.д. может не являться необходимостью или быть

чрезвычайно упрощенным. Для лазерного элемента поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления полупроводниковые материалы с различными показателями преломления

попеременно наложены и сформированы на подложке 101, образованной из полупроводника и т.д.; чтобы сформировать нижний брэгговский отражатель 102, и нижний разделительный слой 103, активный слой 104 и верхний разделительный слой 105 сформированы на нижнем брэгговском отражателе 102. Первый верхний брэгговский отражатель 106, контактный слой 110, область 120 регулирования длины волны и второй верхний брэгговский отражатель 107 сформированы на верхнем разделительном слое 105. Кроме того, верхний электрод 111 сформирован на и соединен с контактным слоем 110, а нижний электрод 112 сформирован на задней поверхности подложки 101. Хотя слой 130 регулирования длины волны состоит из контактного слоя 110 и области 120 регулирования длины волны в настоящем варианте осуществления, слой 130 регулирования длины волны может состоять только из области 120 регулирования длины волны в случае, если контактный слой 110 не сформирован в прилегании к области 120 регулирования длины волны. Дополнительно, нижний брэгговский отражатель 102, нижний разделительный слой 103, активный слой 104, верхний разделительный слой 105, первый верхний брэгговский отражатель 106, контактный слой 110 и область 120 регулирования длины волны, которые представляют собой полупроводниковые слои, сформированные на подложке 101, сформированы посредством эпитаксиального выращивания полупроводниковых материалов. В частности, такие полупроводниковые слои сформированы посредством эпитаксиального выращивания в химическом осаждении паров металлоорганических соединений (MOCVD) или молекулярно-лучевой эпитаксии (MBE). Дополнительно, брэгговский отражатель, как описано в спецификации для настоящей заявки, может описываться как распределенный брэгговский отражатель (DBR).

Кроме того, второй верхний брэгговский отражатель 107 сформирован на слое 130 регулирования длины волны для каждого лазера поверхностного испускания. Второй верхний брэгговский отражатель 107 является диэлектрической пленкой, образованной из оксида, нитрида, фторида и т.д. и сформированной посредством попеременного наслаивания и формирования пленки(ок) из материала с высоким показателем преломления и пленки(ок) из материала с низким показателем преломления. Дополнительно, верхний брэгговский отражатель состоит из первого верхнего брэгговского отражателя 106, слоя 130 регулирования длины волны и второго верхнего брэгговского отражателя 107 в настоящем варианте осуществления. Кроме того, слой 130 регулирования длины волны может быть сформирован в нижнем брэгговском отражателе 102.

В лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления, толщины областей 120 регулирования длины волны в слоях 130 регулирования длины волны в первом лазере 11 поверхностного испускания, втором лазере 12 поверхностного испускания, третьем лазере 13 поверхностного испускания и четвертом лазере 14 поверхностного испускания различаются. В частности, как проиллюстрировано на фиг. 3, область 120 регулирования длины волны сформирована на контактном слое 110, при этом область 120 регулирования длины волны состоит из первого слоя 121 регулирования, второго слоя 122 регулирования и третьего слоя 123 регулирования. В настоящем варианте осуществления, первый слой 121 регулирования и третий слой 123 регулирования образованы из GaInP, в то время как второй слой 122 регулирования образован из GaAsP. Дополнительно, материалы для образования первого слоя 121 регулирования, второго слоя 122 регулирования и третьего слоя 123 регулирования могут быть противоположными по свойствам.

Таким образом, толщины областей 120 регулирования длины волны в первом лазере

11 поверхностного испускания, втором лазере 12 поверхностного испускания, третьем лазере 13 поверхностного испускания и четвертом лазере 14 поверхностного испускания различаются в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления.

В частности, первый слой 121 регулирования, второй слой 122 регулирования и третий слой 123 регулирования сформированы в области 120 регулирования длины волны в первом лазере 11 поверхностного испускания, в котором испускается свет с длиной волны λ_1 , которая соответствует толщине слоя 130 регулирования длины волны, который является суммой такой области 120 регулирования длины волны и контактного слоя 110.

Далее, первый слой 121 регулирования и второй слой 122 регулирования сформированы в области 120 регулирования длины волны во втором лазере 12 поверхностного испускания, в котором испускается свет с длиной волны λ_2 , которая соответствует толщине слоя 130 регулирования длины волны, который является суммой такой области 120 регулирования длины волны и контактного слоя 110.

Далее, первый слой 121 регулирования сформирован в области 120 регулирования длины волны в третьем лазере 13 поверхностного испускания, в котором испускается свет с длиной волны λ_3 , которая соответствует толщине слоя 130 регулирования длины волны, который является суммой такой области 120 регулирования длины волны и контактного слоя 110.

При этом, область 120 регулирования длины волны не сформирована в четвертом лазере 14 поверхностного испускания, и следовательно, испускается свет с длиной волны λ_4 , которая соответствует толщине слоя 130 регулирования длины волны, которая равна толщине контактного слоя 110.

Таким образом, может быть возможно изменять толщины слоев 130 регулирования длины волны в первом лазере 11 поверхностного испускания, втором лазере 12 поверхностного испускания, третьем лазере 13 поверхностного испускания и четвертом лазере 14 поверхностного испускания мало-помалу и может быть возможно испускать свет с каждой длиной волны, соответствующей толщине, по меньшей мере, одного или каждого из слоев 130 регулирования длины волны.

СПОСОБ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ЭЛЕМЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО ИСПУСКАНИЯ

В настоящем варианте осуществления, подложка n-GaAs используется для подложки 101. Кроме того, нижний брэгговский отражатель 102 сформирован посредством наслаивания 35,5 пар из слоя n-Al_{0,1}Ga_{0,9}As с высоким показателем преломления и слоя n-Al_{0,9}Ga_{0,1}As с низким показателем преломления таким образом, что толщина оптической пленки каждого слоя составляет $\lambda/4$.

Активный слой 104, состоящий из слоя квантовых ям GaInAs/барьерного слоя GaInPAs, сформирован на нижнем брэгговском отражателе 102 посредством нижнего разделительного слоя 103, образованного из Al_{0,2}Ga_{0,8}As. Верхний разделительный слой 105, образованный из Al_{0,2}Ga_{0,8}As и первого верхнего брэгговского отражателя 106, сформирован на активном слое 104. Дополнительно, область резонатора, обеспеченная с оптической толщиной в одну длину волны, состоит из нижнего разделительного слоя 103, активного слоя 104 и верхнего разделительного слоя 105.

Первый верхний брэгговский отражатель 106 сформирован посредством наслаивания 6 пар из слоя n-Al_{0,1}Ga_{0,9}As с высоким показателем преломления и слоя n-Al_{0,9}Ga_{0,1}As с низким показателем преломления таким образом, что толщина оптической пленки

каждого слоя составляет $\lambda/4$. Один из слоев с низким показателем преломления первого верхнего брэгговского отражателя 106 состоит из слоя 108 сужения электрического тока, образованного из AlAs, в котором периферийная часть слоя 108 сужения электрического тока избирательно окисляется с возможностью формирования области 108a избирательного окисления, а неоокисленная область 108b сужения электрического тока сформирована в его центральной части.

Контактный слой 110, образованный из p-GaAs, и область 120 регулирования длины волны, состоящая из первого слоя 121 регулирования, второго слоя 122 регулирования и третьего слоя 123 регулирования, сформированы на первом верхнем брэгговском отражателе 106. Дополнительно, часть слоев в области 120 регулирования длины волны удалена, чтобы соответствовать длине волны, испускаемой из каждого лазера поверхностного испускания, как описано выше.

Каждый лазер поверхностного испускания в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления имеет мезаструктуру, в которой такая мезаструктура сформирована посредством удаления полупроводникового слоя между лазерами поверхностного испускания, которые должны сформироваться, вследствие травления. После того, как сформирована мезаструктура, проводится термическая обработка в водяном паре, чтобы окислить слой 108 сужения электрического тока от периферии мезаструктуры, в силу чего формируются область 108a избирательного окисления (окисленная область) в периферийной части и неоокисленная область 108b сужения электрического тока в центральной части. Иными словами, слой 108 сужения электрического тока состоит из окисленной области 108a избирательного окисления и неоокисленной области 108b сужения электрического тока, чтобы обеспечить структуру сужения электрического тока. Дополнительно, очертание при просмотре сверху мезаструктуры может быть сформировано как круглое очертание либо может быть сформировано как эллиптическое очертание, квадратное очертание или прямоугольное очертание.

Кроме того, второй верхний брэгговский отражатель 107 сформирован на слое 130 регулирования длины волны, в котором удаление, соответствующее каждому лазеру поверхностного испускания, проводится посредством травления. Второй верхний брэгговский отражатель 107 сформирован посредством наслаивания 8,5 пар из слоя TiO_2 с высоким показателем преломления и слоя SiO_2 с низким показателем преломления таким образом, что толщина оптической пленки каждого слоя составляет $\lambda/4$.

Дополнительно, может быть необходимо только то, чтобы второй верхний брэгговский отражатель 107 был образован из диэлектрического материала(ов) и сформирован посредством наслаивания материала с высоким показателем преломления и материала с низким показателем преломления, при этом, в частности, может быть возможно, обеспечить такой материал, как оксид, нитрид или фторид. Для материала с высоким показателем преломления может быть возможно обеспечить Ta_2O_5 , HfO_2 и т.д., а также TiO_2 . Кроме того, для материала с низким показателем преломления может быть возможно обеспечить MgF_2 и т.д., а также SiO_2 . Для способа для формирования слоя TiO_2 с высоким показателем преломления и слоя SiO_2 с низким показателем преломления во втором верхнем брэгговском отражателе 107 формирование проводится посредством напыления или вакуумного осаждения и т.д. Кроме того, защитная пленка 140, образованная из SiN, сформирована всеохватывающим образом, и полимерная пленка 141, образованная из полимерного материала, такого как полиимид, сформирована между мезаструктурами соответствующих лазеров поверхностного испускания.

Далее, сформирован верхний электрод 111, который представляет собой электрод р-стороны. Каждый такой верхний электрод 111 сформирован, чтобы соответствовать каждому лазеру поверхностного испускания, при этом каждый верхний электрод 111 соединен с каждой из электродных контактных площадок 21-24. Кроме того, нижний электрод 112, который представляет собой электрод n-стороны, сформирован на задней поверхности подложки 101.

Далее подробно описывается способ для формирования слоя 130 регулирования длины волны в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления.

Во-первых, нижний брэгговский отражатель 102, нижний разделительный слой 103, активный слой 104, верхний разделительный слой 105, первый верхний брэгговский отражатель 106, контактный слой 110 и область 120 регулирования длины волны, которые образованы из полупроводниковых материалов, сформированы на подложке 101 посредством эпитаксиального выращивания согласно MOCVD или MBE.

Дополнительно, слой 130 регулирования длины волны состоит из контактного слоя 110 и области 120 регулирования длины волны, при этом область 120 регулирования длины волны формируется посредством наслаивания первого слоя 121 регулирования, второго слоя 122 регулирования и третьего слоя 123 регулирования. В данном документе, как упомянуто выше, первый слой 121 регулирования и третий слой 123 регулирования образованы из GaInP, в то время как второй слой 122 регулирования образован из GaAsP.

Затем, контур сопротивления сформирован на области, на которой сформирован первый лазер 11 поверхностного испускания. В частности, контур сопротивления сформирован посредством применения вещества с фотосопротивлением на третьем слое 123 регулирования в области 120 регулирования длины волны и проведения его светового экспонирования и проявки посредством устройства светового экспонирования.

Затем, третий слой 123 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется посредством влажного травления. В частности, влажное травление проводится посредством смешанной текучей среды из соляной кислоты и воды, поскольку третий слой 123 регулирования образован из GaInP. В силу этого, только третий слой 123 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется, чтобы экспонировать поверхность второго слоя 122 регулирования. Дополнительно, может быть возможно для такой смешанной текучей среды проводить травление GaInP, образующего третий слой 123 регулирования, но может быть практически невозможно проводить травление GaAsP, образующего второй слой 122 регулирования. Такая смешанная текучая среда также может описываться как первая текучая среда травления. Впоследствии, контур сопротивления удаляется посредством органического растворителя и т.д.

Затем, контур сопротивления сформирован на области, на которой сформирован первый лазер 11 поверхностного испускания и второй лазер 12 поверхностного испускания. В частности, контур сопротивления сформирован посредством применения вещества с фотосопротивлением на третьем слое 123 регулирования и втором слое 122 регулирования на области 120 регулирования длины волны и проведения его светового экспонирования и проявки посредством устройства оптического экспонирования.

Затем, второй слой 122 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется посредством влажного травления. В частности, влажное травление проводится посредством смешанной текучей среды из серной кислоты, перекиси водорода и воды, поскольку второй слой 122 регулирования

изготавливается из GaAsP. В силу этого, только второй слой 122 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется, чтобы экспонировать поверхность первого слоя 121 регулирования. Дополнительно, может быть возможно для такой смешанной текучей среды проводить травление GaAsP, образующего второй слой 122 регулирования, но может быть практически невозможно проводить травление GaInP, образующего первый слой 121 регулирования. Такая смешанная текучая среда может описываться как вторая текучая среда травления. Впоследствии, контур сопротивления удаляется посредством органического растворителя и т.д.

Затем, контур сопротивления сформирован на области, на которой сформированы первый лазер 11 поверхностного испускания, второй лазер 12 поверхностного испускания и третий лазер 13 поверхностного испускания. В частности, контур сопротивления сформирован посредством применения вещества с фотосопротивлением на первом слое 121 регулирования, втором слое 122 регулирования и третьем слое 123 регулирования в области 120 регулирования длины волны и проведения его светового экспонирования и проявки посредством устройства светового экспонирования.

Затем, первый слой 121 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется посредством влажного травления. В частности, первый слой 121 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется посредством первой текучей среды травления. В силу этого, только первый слой 121 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется, чтобы экспонировать поверхность контактного слоя 110. Впоследствии, контур сопротивления удаляется посредством органического растворителя и т.д.

Далее, сформирован второй верхний брэгговский отражатель 107. В частности, формирование проводится посредством попеременного наслаивания диэлектрической пленки, образованной из материала с высоким показателем преломления, и диэлектрической пленки, образованной из материала с низким показателем преломления, которые состоят из оксида, нитрида, фторида и т.д., каждая из которых имеет предварительно определенную толщину пленки вследствие напыления и т.д.

Дополнительно, также может быть возможно сформировать второй верхний брэгговский отражатель 107 посредством наслаивания и формирования полупроводниковых материалов с различными показателями преломления.

В силу этого, может быть возможно сформировать слой 130 регулирования длины волны и второй верхний брэгговский отражатель 107 в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления.

В настоящем варианте осуществления Al не включен ни в один из первого слоя 121 регулирования, второго слоя 122 регулирования и третьего слоя 123 регулирования, составляющих область 120 регулирования длины волны в слое 130 регулирования длины волны, и следовательно, окисление и т.д. практически не вызывается после травления, в силу чего может быть возможно поддерживать чистое состояние поверхности после травления. Иными словами, Al может чрезвычайно просто подвергаться коррозии, и следовательно, когда один из первого слоя 121 регулирования, второго слоя 122 регулирования и третьего слоя 123 регулирования формируется посредством материала, включающего в себя Al, состояние поверхности после проведения влажного травления и т.д. может быть плохим, при этом даже если второй верхний брэгговский отражатель 107 сформирован на ней, может возникать ее отслаивание, либо ее толщина может быть неоднородной. Тем не менее, область 120 регулирования длины волны в лазерном элементе поверхностного испускания в

настоящем варианте осуществления сформирована посредством материала, не включающего в себя Al, и следовательно, коррозия Al и т.д. может не вызываться, и такая проблема может не возникать.

Кроме того, область 120 регулирования длины волны в слое 130 регулирования
 5 длины волны в настоящем варианте осуществления образована посредством чередования GaAsP и GaInP, и при проведении влажного травления травление проводится посредством использования двух видов текучих сред травления, при этом, взаимно, может быть возможно проводить травление одного из них и может быть невозможно
 10 проводить травление другого из них. Травление проводится посредством использования двух таких видов текучих сред травления, в силу чего поверхность после травления может быть плоской, и может быть возможно проводить формирование с предварительно определенной толщиной без излишнего травления. В силу этого, может быть возможно получить лазерный элемент поверхностного испускания с устойчивой характеристикой.

Дополнительно, хотя в описании для настоящего варианта осуществления описан случай комбинации GaAsP и GaInP, может быть обеспечена комбинация с другим материалом, не включающим в себя Al, который дополнительно обеспечен для другой текучей среды травления и представляет собой полупроводниковый материал с энергией запрещенной зоны, превышающей длину волны осцилляции. Для 894,6 нм, что
 20 представляет собой длину волны осцилляции в настоящем варианте осуществления, предусмотрена, например, GaInAsP/GaInP, GaAs/GaInP, GaAs/GaInAsP, GaAsP/GaInAsP и т.д. в качестве комбинации таких полупроводниковых материалов. Кроме того, N или Sb может добавляться в них, к примеру, GaAsN/GaInP, GaInNAs/GaInP, GaAsSb/GaInP и т.д.

Как описано выше, может быть возможно сформировать множество лазеров поверхностного испускания для испускания света с различными длинами волн на одной подложке 101 в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления. В силу этого, даже если изменение толщины пленки полупроводникового слоя и т.д. вызывается при изготовлении лазерного элемента поверхностного испускания,
 30 одно испускание света с длиной волны, ближайшей к желаемой длине волны, выбирается среди первого лазера 11 поверхностного испускания - четвертого лазера 14 поверхностного испускания, в силу чего может быть возможно легко получить полупроводниковый лазер с желаемой длиной волны. В силу этого, может быть возможно изготовить лазерный элемент поверхностного испускания, имеющий лазер
 35 поверхностного испускания, испускающий свет с предварительно определенной длиной волны, при низких затратах.

Дополнительно, когда контактный слой 110 сформирован в области 120 регулирования длины волны, количество электрического тока, способного протекать в каждом лазере поверхностного испускания и т.д., изменяется в зависимости от
 40 толщины области 120 регулирования длины волны, и электрическая характеристика и характеристика испускания света каждого лазера поверхностного испускания также могут значительно различаться. Кроме того, когда электрический ток протекает в области 120 регулирования длины волны, электрическое сопротивление может быть увеличено посредством несплошности полосы на границе раздела каждого слоя. Тем
 45 не менее, контактный слой 110 сформирован под областью 120 регулирования длины волны в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления, в силу чего электрический ток, инжектированный в лазер поверхностного испускания, не может пройти через область 120 регулирования длины волны и

сопротивление и т.д. не может быть изменено в зависимости от толщины области 120 регулирования длины волны.

Далее описывается преимущество первого верхнего брэгговского отражателя 106, сформированного между слоем 130 регулирования длины волны и областью резонатора. Например, когда слой регулирования длины волны сформирован в области резонатора, имеющей оптическую длину в одну длину волны, и когда четыре длины волн обеспечены с центральной длиной волны в 895 нм и интервалом длин волн в 1 нм, один слой, составляющий слой регулирования длины волны, обеспечен с 1,3 нм, при этом может быть чрезвычайно трудно провести однородное формирование на поверхности пластины с помощью современной технологии выращивания кристаллов. Следовательно, первый верхний брэгговский отражатель 106, который является частью верхнего брэгговского отражателя, сформирован между областью резонатора и слоем 130 регулирования длины волны в настоящем варианте осуществления. В частности, первый верхний брэгговский отражатель 106 сформирован посредством наслаивания 6 пар из слоя $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$ с высоким показателем преломления и слоя $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$ с низким показателем преломления таким образом, что толщина оптической пленки каждого слоя составляет $\lambda/4$. Кроме того, контактный слой 110 сформирован на первом верхнем брэгговском отражателе 106, а область 120 регулирования длины волны сформирована на контактном слое 110. Первый слой 121 регулирования, второй слой 122 регулирования и третий слой 123 регулирования, составляющие область 120 регулирования длины волны, сформированы таким образом, что толщины пленок $\text{GaInP}/\text{GaAsP}/\text{GaInP}$ составляют 16 нм/16 нм/16 нм, соответственно, при этом может быть возможно проводить существенно однородное изготовление согласно современной технологии выращивания кристаллов. Следовательно, может быть возможно уменьшить отклонение интервала длин волн среди лазеров поверхностного испускания.

Кроме того, одновременно также может быть возможно уменьшить электрическое сопротивление посредством формирования такой структуры. Иными словами, второй верхний брэгговский отражатель 107, представляющий собой диэлектрик, сформирован поверх слоя 130 регулирования длины волны, а верхний электрод 111 сформирован в его окрестности, при этом когда слой регулирования длины волны обеспечен в области резонатора, может быть необходимо обеспечить слой AlAs, который должен быть избирательно окислен в позиции около контактного слоя с точки зрения структуры слоя, и канал электрического тока может быть узким для того, чтобы увеличить электрическое сопротивление. Здесь, первый верхний брэгговский отражатель 106 сформирован между слоем 130 регулирования длины волны (в котором контактный слой 110 сформирован под областью 120 регулирования длины волны) и областью резонатора в настоящем варианте осуществления, в силу чего может быть возможно продлить канал электрического тока и может быть возможно уменьшить электрическое сопротивление.

Дополнительно, может быть возможно дополнительно увеличить толщину пленки каждого слоя в области 120 регулирования длины волны в слое 130 регулирования длины волны посредством второго верхнего брэгговского отражателя 107, представляющего собой семь или более пар, за счет чего можно упростить однородное изготовление, а также можно уменьшить электрическое сопротивление. Тем не менее, если число пар во втором верхнем брэгговском отражателе 107 увеличивается, оптическая толщина слоя 130 регулирования длины волны может превышать $\lambda/4$ и полная отражательная способность верхнего отражателя может деградировать. Таким образом, оптимальное число пар может присутствовать для второго верхнего

брэгговского отражателя 107, так что может быть возможно, что оптическая толщина слоя 130 регулирования длины волны составляет около $\lambda/4$.

Далее описывается толщина слоя 130 регулирования длины волны. Когда оптическая толщина P слоя 130 регулирования длины волны составляет $\lambda/4 \leq P < \lambda/2$, как проиллюстрировано на фиг. 4А, может быть возможно то, что отражательные способности верхних брэгговских отражателей в первом лазере 11 поверхностного испускания, втором лазере 12 поверхностного испускания, третьем лазере 13 поверхностного испускания и четвертом лазере 14 поверхностного испускания, являются, в общем случае, постоянными, как проиллюстрировано на фиг. 4В. Дополнительно, L1 является поверхностью слоя 130 регулирования длины волны в первом лазере 11 поверхностного испускания, а L2 является поверхностью слоя 130 регулирования длины волны во втором лазере 12 поверхностного испускания, в то время как L3 является поверхностью слоя 130 регулирования длины волны в третьем лазере 13 поверхностного испускания, а L4 указывает поверхность слоя 130 регулирования длины волны в четвертом лазере 14 поверхностного испускания.

С другой стороны, когда оптическая толщина P слоя 130 регулирования длины волны составляет $\lambda/2 < P$, как проиллюстрировано на фиг. 5А, отражательные способности верхних брэгговских отражателей в первом лазере 11 поверхностного испускания, втором лазере 12 поверхностного испускания, третьем лазере 13 поверхностного испускания и четвертом лазере 14 поверхностного испускания могут значительно различаться между собой, как проиллюстрировано на фиг. 5В.

Кроме того, когда оптическая толщина P слоя 130 регулирования длины волны составляет $P < \lambda/4$, как проиллюстрировано на фиг. 6А, отражательные способности верхних брэгговских отражателей в первом лазере 11 поверхностного испускания, втором лазере 12 поверхностного испускания, третьем лазере 13 поверхностного испускания и четвертом лазере 14 поверхностного испускания могут значительно различаться между собой, как проиллюстрировано на фиг. 6В.

Как описано выше, предпочтительно, когда оптическая толщина P слоя 130 регулирования длины волны составляет $\lambda/4 \leq P < \lambda/2$, и если такой подход обобщить, оптическая толщина предпочтительно составляет $(2N-1)\lambda/4 \leq P < N\lambda/2$. Дополнительно, N является положительным целым числом, и если учитывается применение влияния поглощения света, чтобы вызвать отрицательный эффект, такой как увеличение порогового электрического тока, предпочтительно, когда N является малым.

Кроме того, когда толщина области 120 регулирования длины волны является малой, и сумма оптических толщин области 120 регулирования длины волны и контактного слоя 110 меньше $\lambda/4$, область 131 регулирования фазы может быть обеспечена для слоя 130 регулирования длины волны, как проиллюстрировано на фиг. 7А. В силу этого, может быть возможно то, что оптическая толщина P слоя 130 регулирования длины волны составляет $\lambda/4 \leq P < \lambda/2$, и в общем, $(2N-1)\lambda/4 \leq P < 2N\lambda/4$, и как проиллюстрировано на фиг. 7В, может быть возможно то, что отражательные способности верхних брэгговских отражателей в первом лазере 11 поверхностного испускания, втором лазере 12 поверхностного испускания, третьем лазере 13 поверхностного испускания и четвертом лазере 14 поверхностного испускания, являются, в общем, постоянными. Дополнительно, в таком случае, слой 130 регулирования длины волны состоит из контактного слоя 110, области 120 регулирования длины волны и области 131 регулирования фазы. Кроме того, область 131 регулирования фазы изготавливается из AlGaAs, при этом область 131 регулирования фазы может формироваться под контактным слоем 110, как проиллюстрировано на фиг. 7А, или область 131

регулирования фазы может формироваться между контактном слое 110 и областью 120 регулирования длины волны, как проиллюстрировано на фиг. 8. Кроме того, область регулирования фазы 131a может состоять из многослойной пленки, в которой GaAsP и GaInP попеременно наложены, как проиллюстрировано на фиг. 9.

- 5 Кроме того, лазерный элемент поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления имеет структуру, в которой несколько пленок сформированы в области 120 регулирования длины волны, при этом предпочтительно формировать слой 130 регулирования длины волны таким образом, что когда число слоев сформированной пленки(ок) (слоя(ев) регулирования) составляет M (при этом M является положительным
- 10 целым числом), позиция, в которой толщина оптической пленки элемента составляет $\lambda/4$, представляет собой $(M+1)/2$ -ю пленку (слой регулирования) в направлении сверху в случае, если M является нечетным числом, или $M/2$ -ю или $(M/2)+1$ -ю пленку (слой регулирования) в направлении сверху в случае, если M является четным числом.

ВТОРОЙ ВАРИАНТ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

- 15 Далее описывается лазерный элемент поверхностного испускания во втором варианте осуществления. Дополнительно, лазерный элемент поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления представляет собой лазер поверхностного испускания для длины волны в 894,6 нм и со структурой, в которой область регулирования длины волны обеспечена на нижнем брэгговском отражателе. Как
- 20 проиллюстрировано на фиг. 10 и фиг. 11, лазерный элемент 150 поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления имеет множество лазеров поверхностного испускания и, в частности, имеет первый лазер 151 поверхностного испускания, второй лазер 152 поверхностного испускания, третий лазер 153 поверхностного испускания и четвертый лазер 154 поверхностного испускания.
- 25 Дополнительно, фиг. 10 упрощена в целях пояснения настоящего варианта осуществления, при этом для удобства опущено изображение контактного слоя и т.д. Кроме того, фиг. 11 является схемой в поперечном сечении, предоставленной посредством разреза вдоль штрихпунктирной линии 10A-10B на фиг. 10.

- Лазерный элемент 150 поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления сформирован на полупроводниковом кристалле в 300 квадратных мкм, при этом каждый из первого лазера 151 поверхностного испускания, второго лазера 152 поверхностного испускания, третьего лазера 153 поверхностного испускания и четвертого лазера 154 поверхностного испускания, сформированных на таком полупроводниковом кристалле, соединен с электродной контактной площадкой,
- 35 обеспеченной для него. В частности, электродная контактная площадка 161 соединена с первым лазером 151 поверхностного испускания, а электродная контактная площадка 162 соединена со вторым лазером 152 поверхностного испускания, в то время как электродная контактная площадка 163 соединена с третьим лазером 153 поверхностного испускания, а электродная контактная площадка 164 соединена с четвертым лазером
- 40 154 поверхностного испускания.

- Кроме того, первый лазер 151 поверхностного испускания, второй лазер 152 поверхностного испускания, третий лазер 153 поверхностного испускания и четвертый лазер 154 поверхностного испускания обеспечивают испускаемый свет со взаимно различными длинами волн. А именно, длина λ_1 волны, испускаемая из первого лазера
- 45 151 поверхностного испускания, длина λ_2 волны, испускаемая из второго лазера 152 поверхностного испускания, длина λ_3 волны, испускаемая из третьего лазера 153 поверхностного испускания, и длина λ_4 волны, испускаемая из четвертого лазера 154 поверхностного испускания, представляют собой взаимно различные длины волн.

Дополнительно, лазерный элемент поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления должен получить лазер поверхностного испускания с длиной волны осцилляции 894,6 нм, при этом четыре лазера поверхностного испускания сформированы на полупроводниковом кристалле (подложке) в 300 квадратных мкм. Поскольку может
 5 быть возможно сформировать множество лазеров поверхностного испускания в узкой области в лазерном элементе поверхностного испускания, имеется несущественное изменение позиции точки светового испускания, даже когда включается лазер поверхностного испускания, который должен проводить световое испускание.

Для лазерного элемента поверхностного испускания в настоящем варианте
 10 осуществления, полупроводниковые материалы с различными показателями преломления попеременно наложены и сформированы на подложке 101, образованной из полупроводника и т.д., с тем чтобы сформировать первый нижний брэгговский отражатель 172, и слой 173 регулирования фазы, область 180 регулирования длины волны, второй нижний брэгговский отражатель 174, нижний разделительный слой 103,
 15 активный слой 104 и верхний разделительный слой 105 сформированы на первом нижнем брэгговском отражателе 172. Верхний брэгговский отражатель 176 и контактный слой 177 сформированы на верхнем разделительном слое 105. Кроме того, верхний электрод 178 сформирован и соединен с контактным слоем 177, и нижний электрод 112 сформирован на задней поверхности подложки 101. Дополнительно, слой 190
 20 регулирования длины волны состоит из области 180 регулирования длины волны и слоя 173 регулирования фазы в настоящем варианте осуществления, в то время как нижний брэгговский отражатель 170 состоит из первого нижнего брэгговского отражателя 172, области 173 регулирования фазы, области 180 регулирования длины волны и второго нижнего брэгговского отражателя 174.

Кроме того, первый нижний брэгговский отражатель 172, область 173 регулирования фазы, область 180 регулирования длины волны, второй нижний брэгговский отражатель 174, нижний разделительный слой 103, активный слой 104, верхний разделительный
 25 слой 105, верхний брэгговский отражатель 176 и контактный слой 177, которые представляют собой полупроводниковые слои, сформированные на подложке 101, сформированы посредством эпитаксиального выращивания полупроводниковых
 30 материалов. В частности, такие полупроводниковые слои сформированы посредством эпитаксиального выращивания согласно MOCVD или MBE.

В лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления толщины соответствующих областей 180 регулирования длины волны
 35 в первом лазере 151 поверхностного испускания, втором лазере 152 поверхностного испускания, третьем лазере 153 поверхностного испускания и четвертом лазере 154 поверхностного испускания различаются между собой. В частности, область 180 регулирования длины волны состоит из первого слоя 181 регулирования, второго слоя 182 регулирования и третьего слоя 183 регулирования. В настоящем варианте
 40 осуществления, первый слой 181 регулирования и третий слой 183 регулирования образованы из GaInP, в то время как второй слой 182 регулирования образован из GaAsP. Дополнительно, материалы для образования первого слоя 181 регулирования, второго слоя 182 регулирования и третьего слоя 183 регулирования могут быть противоположны по свойствам.

Таким образом, толщины областей 180 регулирования длины волны, т.е. толщины
 45 слоев 190 регулирования длины волны в первом лазере 151 поверхностного испускания, втором лазере 152 поверхностного испускания, третьем лазере 153 поверхностного испускания и четвертом лазере поверхностного испускания 154 различаются в лазерном

эlemente поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления.

В частности, первый слой 181 регулирования, второй слой 182 регулирования и третий слой 183 регулирования сформированы на области 180 регулирования длины волны в первом лазере 151 поверхностного испускания, при этом испускается свет с длиной волны λ_1 , которая соответствует толщине слоя 190 регулирования длины волны, который включает в себя такую область 180 регулирования длины волны.

Кроме того, первый слой 181 регулирования и второй слой 182 регулирования сформированы в области 180 регулирования длины волны во втором лазере 152 поверхностного испускания, в котором испускается свет с длиной волны λ_2 , которая соответствует толщине слоя 190 регулирования длины волны, который включает в себя такую область 180 регулирования длины волны.

Кроме того, первый слой 181 регулирования сформирован в области 180 регулирования длины волны в третьем лазере 153 поверхностного испускания, в котором испускается свет с длиной волны λ_3 , которая соответствует толщине слоя 190 регулирования длины волны, который включает в себя такую область 180 регулирования длины волны.

Кроме того, область 180 регулирования длины волны не сформирована в четвертом лазере 154 поверхностного испускания, и следовательно, испускается свет с длиной волны λ_4 , которая соответствует толщине слоя 190 регулирования длины волны в случае, если область 180 регулирования длины волны не сформирована.

Таким образом, может быть возможно изменять толщины областей 180 регулирования длины волны в первом лазере 151 поверхностного испускания, втором лазере 152 поверхностного испускания, третьем лазере 153 поверхностного испускания и четвертом лазере 154 поверхностного испускания мало помалу и может быть возможно испускать свет с каждой длиной волны, соответствующей толщине по меньшей мере одной или каждой из областей 180 регулирования длины волны.

В настоящем варианте осуществления, подложка n-GaAs используется для подложки 101. Кроме того, нижний брэгговский отражатель 170 сформирован посредством насаивания 35,5 пар из слоя $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$ с высоким показателем преломления и слоя $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$ с низким показателем преломления таким образом, что толщина оптической пленки каждого слоя составляет $\lambda/4$.

Как описано выше, нижний брэгговский отражатель 170 состоит из первого нижнего брэгговского отражательного зеркала 172, области 173 регулирования фазы, области 180 регулирования длины волны и второго нижнего брэгговского отражателя 174 на подложке 101. Следовательно, область 173 регулирования фазы и область 180 регулирования длины волны сформированы внутри нижнего брэгговского отражателя 170. Дополнительно, в настоящем варианте осуществления, формирование проведено таким образом, что сумма толщины оптической пленки области 173 регулирования фазы и половины толщины оптической пленки области 180 регулирования длины волны, т.е. толщины оптической пленки снизу области 173 регулирования фазы до центральной части области 180 регулирования длины волны, составляет $\lambda/4$, как проиллюстрировано на фиг. 12.

Активный слой 104, состоящий из слоя на основе квантовых ям GaInAs/барьерного слоя GaInPAs, сформирован на нижнем брэгговском отражателе 170 посредством нижнего разделительного слоя 103, образованного из $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$. Верхний разделительный слой 105, образованный из $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$, сформирован на активном слое 104. Дополнительно, область резонатора, обеспеченный с оптической толщиной

в одну длину волны, состоит из нижнего разделительного слоя 103, активного слоя 104 и верхнего разделительного слоя 105.

Верхний брэгговский отражатель 176 сформирован посредством наслаивания 24 пар из слоя $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$ с высоким показателем преломления и слоя $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$ с низким показателем преломления таким образом, что толщина оптической пленки каждого слоя составляет $\lambda/4$. Один из слоев с низким показателем преломления верхнего брэгговского отражателя 176 состоит из слоя 108 сужения электрического тока, образованного из AlAs, при этом периферийная часть слоя 108 сужения электрического тока избирательно окислена чтобы сформировать область 108a избирательного окисления, а неокисленная область 108b сужения электрического тока сформирована в его центральной части. Кроме того, контактный слой 177, образованный из $p\text{-GaAs}$, сформирован на верхнем брэгговском отражателе 176.

Когда сумма значения толщины оптической пленки области 173 регулирования фазы и значения половины толщины оптической пленки области 180 регулирования длины волны составляет приблизительно $\lambda/4$, как проиллюстрировано на фиг. 12А, может быть возможно, что отражательные способности нижних брэгговских отражателей в первом лазере 151 поверхностного испускания, втором лазере 152 поверхностного испускания, третьем лазере 153 поверхностного испускания и четвертом лазере 154 поверхностного испускания являются, в общем, постоянными, как проиллюстрировано на фиг. 12В. Дополнительно, L1 является поверхностью слоя 190 регулирования длины волны в первом лазере 151 поверхностного испускания, и L2 является поверхностью слоя 190 регулирования длины волны во втором лазере 152 поверхностного испускания, в то время как L3 является поверхностью слоя 190 регулирования длины волны в третьем лазере 153 поверхностного испускания, и L4 указывает поверхность слоя 190 регулирования длины волны в четвертом лазере 154 поверхностного испускания.

Каждый лазер поверхностного испускания в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления имеет мезаструктуру, при этом такая мезаструктура сформирована посредством удаления полупроводникового слоя между лазерами поверхностного испускания, которые должны быть сформированы, вследствие сухого травления и т.д. После того как сформирована мезаструктура, проводится термическая обработка в водяном паре, чтобы окислить слой 108 сужения электрического тока от периферии мезаструктуры, в силу чего сформированы область 108a избирательного окисления (окисленная область) на периферийной части и неокисленная область 108b сужения электрического тока в центральной части. Иными словами, слой 108 сужения электрического тока состоит из окисленной области 108a избирательного окисления и неокисленной области 108b сужения электрического тока, чтобы обеспечить структуру сужения электрического тока. В частности, AlAs, образующий слой 108 сужения электрического тока, подвергается термической обработке в водяном паре, чтобы быть окисленным и сформировать Al_xO_y , при этом таким образом сформированный Al_xO_y образует область 108a избирательного окисления. В данном варианте осуществления, область 108b сужения электрического тока сформирована из неокисленного AlAs в слое 108 сужения электрического тока. Дополнительно, очертание при просмотре сверху мезаструктуры может быть сформировано как круглое очертание либо может быть сформировано как эллиптическое очертание, квадратное очертание или прямоугольное очертание.

Кроме того, защитная пленка 140, образованная из SiN, сформирована целостным образом, и полимерная 141 сформирована между мезаструктурами соответствующих

лазеров поверхностного испускания посредством внедрения полимерного материала, такого как полиимид. Далее, сформирован верхний электрод 178, который представляет собой электрод р-стороны. Каждый такой верхний электрод 178 сформирован таким образом, что он соответствует каждому лазеру поверхностного испускания, при этом
 5 каждый верхний электрод 178 соединяется с каждой из электродных контактных площадок 161-164.

В частности, сформирована защитная пленка 140, образованная из SiN, и полимерный слой 141 сформирован посредством внедрения и планаризации полимерного материала, такого как полиимид, между мезаструктурами соответствующих лазеров поверхностного
 10 испускания. Впоследствии, защитная пленка 140 и полимерный слой 141 на контактном слое 177 удаляются, чтобы экспонировать контактный слой 177, и верхний электрод 178 сформирован на контактном слое 177. Дополнительно, нижний электрод 112, который представляет собой электрод n-стороны, сформирован на задней поверхности подложки 101.

Лазерный элемент поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления испускает лазерный свет на противоположной стороне стороны подложки 101. Дополнительно, может быть возможно, что защитная пленка 140, образованная из SiN, защищает боковую поверхность и нижнюю поверхность слоя, включающего в себя Al, который появляется вследствие вытравливания мезаструктур и легко корродирует
 20 вследствие его диэлектрика в настоящем варианте осуществления, и следовательно, может быть возможно улучшить надежность.

Далее описывается преимущество второго нижнего брэгговского отражателя 174, сформированного между областью 180 регулирования длины волны и резонатором. Когда область регулирования длины волны сформирована в резонаторе, имеющем
 25 оптическую длину в одну длину волны, и когда четыре длины волны обеспечены с центральной длиной волны в 895 нм и интервалом длин волн в 1 нм, один слой из слоев регулирования, составляющих слой регулирования длины волны, обеспечен приблизительно с 1 нм, при этом может быть чрезвычайно трудно проводить однородное формирование на поверхности пластины с помощью современной
 30 технологии выращивания кристаллов.

Следовательно, второй нижний брэгговский отражатель 174, который является частью нижнего брэгговского отражателя 170, сформирован между резонатором и областью 180 регулирования длины волны в настоящем варианте осуществления. В частности, второй нижний брэгговский отражатель 174 сформирован посредством
 35 наслаивания 10 пар из слоя $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$ с высоким показателем преломления и слоя $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$ с низким показателем преломления таким образом, что толщина оптической пленки каждого слоя составляет $\lambda/4$. В силу этого, может быть возможно, что толщины пленок GaInP/GaAsP/GaInP в первом слое 181 регулирования, втором слое 182 регулирования и третьем слое 183 регулирования, из которых состоит область 180
 40 регулирования длины волны, составляют 16 нм/16 нм/16 нм, соответственно, и может быть возможно проводить достаточно равномерное изготовление согласно современной технологии выращивания кристаллов, в силу чего может быть возможно уменьшать отклонение интервала длин волн аналогично первому варианту осуществления.

Дополнительно, когда второй нижний брэгговский отражатель 174 состоит из
 45 одиннадцати или более пар, может быть возможно, что толщина пленки каждого слоя в области 180 регулирования длины волны, является еще большей, и следовательно, может быть возможно дополнительно улучшить однородность. Тем не менее, если число пары(пар) во втором нижнем брэгговском отражателе 174 увеличивается, как

проиллюстрировано на фиг. 13А и фиг. 13В, толщина оптической пленки области 180 регулирования длины волны может намного превышать $\lambda/4$ (толщину оптической пленки брэгговского отражателя), и следовательно, может ухудшиться в целом отражательная способность нижнего брэгговского отражателя 170, что не является предпочтительным. Таким образом, оптимальное число пар может присутствовать для второго нижнего брэгговского отражателя, так что оптическая толщина области 180 регулирования длины волны должна составить около $\lambda/4$.

С другой стороны, когда сумма значения толщины оптической пленки области 173 регулирования фазы и значения половины толщины оптической пленки области 180 регулирования длины волны составляет $\lambda/4$ или больше, как проиллюстрировано на фиг. 13А, отражательная способность нижнего брэгговского отражателя в каждом из первого лазера 151 поверхностного испускания, второго лазера 152 поверхностного испускания, третьего лазера 153 поверхностного испускания и четвертого лазера 154 поверхностного испускания может быть большой, как проиллюстрировано на фиг. 13В. Тем не менее, в настоящем варианте осуществления может быть возможно повысить однородность отражательной способности каждого нижнего брэгговского отражателя, как проиллюстрировано на фиг. 12В.

Далее подробно описывается способ для формирования области 180 регулирования длины волны в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления.

Во-первых, первый нижний брэгговский отражатель 172, область 173 регулирования фазы и область 180 регулирования длины волны, которые образованы из полупроводниковых материалов, сформированы на подложке 101 посредством эпитаксиального выращивания согласно МOCVD или МВЕ. Как описано выше, слой 190 регулирования длины волны состоит из области 173 регулирования фазы и области 180 регулирования длины волны, в которой область 180 регулирования длины волны сформирована посредством наслаивания первого слоя 181 регулирования, второго слоя 182 регулирования и третьего слоя 183 регулирования. Дополнительно, первый слой 181 регулирования и третий слой 183 регулирования образованы из GaInP, в то время как второй слой 182 регулирования образован из GaAsP.

Затем, контур сопротивления сформирован на области, на которой сформирован первый лазер 151 поверхностного испускания. В частности, контур сопротивления сформирован посредством применения вещества с фотосопротивлением на третьем слое 183 регулирования в области 180 регулирования длины волны и проведения его светового экспонирования и проявки посредством устройства светового экспонирования.

Затем, третий слой 183 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется посредством влажного травления. В частности, влажное травление проводится посредством смешанной текучей среды из соляной кислоты и воды, поскольку третий слой 183 регулирования образован из GaInP. В силу этого, только третий слой 183 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется, чтобы экспонировать поверхность второго слоя 182 регулирования. Дополнительно, может быть возможно, что такая смешанная текучая среда проводит травление GaInP, образующего третий слой 183 регулирования, но может быть практически невозможно, что она проводит травление GaAsP, образующего второй слой 182 регулирования. Такая смешанная текучая среда также может описываться как первая текучая среда травления. Далее, контур сопротивления удаляется посредством органического растворителя и т.д.

Затем, контур сопротивления сформирован на области, на которой сформированы

первый лазер 151 поверхностного испускания и второй лазер 152 поверхностного испускания. В частности, контур сопротивления сформирован посредством применения вещества с фотосопротивлением на третьем слое 183 регулирования и втором слое 182 регулирования на области 180 регулирования длины волны и проведения его светового экспонирования и проявки посредством устройства светового экспонирования.

Затем, второй слой 182 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется посредством влажного травления. В частности, влажное травление проводится посредством смешанной текучей среды из серной кислоты, перекиси водорода и воды, поскольку второй слой 182 регулирования образован из GaAsP. В силу этого, только второй слой 182 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется, чтобы экспонировать поверхность первого слоя 181 регулирования. Дополнительно, может быть возможно, что такая смешанная текучая среда проводит травление GaAsP, образующего второй слой 182 регулирования, но может быть практически невозможно, что она проводит травление GaInP, образующего первый слой 181 регулирования. Такая смешанная текучая среда может описываться как вторая текучая среда травления. Впоследствии, контур сопротивления удаляется посредством органического растворителя и т.д.

Затем, контур сопротивления сформирован на области, на которой сформированы первый лазер 151 поверхностного спуска, второй лазер 152 поверхностного испускания и третий лазер 153 поверхностного испускания. В частности, контур сопротивления сформирован посредством применения вещества с фотосопротивлением на первом слое 181 регулирования, втором слое 182 регулирования и третьем слое 183 регулирования на области 180 регулирования длины волны и проведения его светового экспонирования и проявки посредством устройства светового экспонирования.

Затем, первый слой 181 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется посредством влажного травления. В частности, первый слой 181 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется посредством первой текучей среды травления. В силу этого, только первый слой 181 регулирования на области, на которой не сформирован контур сопротивления, удаляется, чтобы экспонировать поверхность слоя 173 регулирования фазы. Далее, контур сопротивления удаляется посредством органического растворителя и т.д.

Затем, сформирован второй нижний брэгговский отражатель 174. В силу этого, может быть возможно сформировать нижний брэгговский отражатель 170, включающий в себя область 180 регулирования длины волны, в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления.

В настоящем варианте осуществления, Al не включен ни в один из первого слоя 181 регулирования, второго слоя 182 регулирования и третьего слоя 183 регулирования, из которых состоит область 180 регулирования длины волны в слое 190 регулирования длины волны, и следовательно, окисление и т.д. практически не вызывается после травления, в силу чего может быть возможно поддержать чистое состояние поверхности после травления. Иными словами, Al может чрезвычайно легко корродировать, и следовательно, когда один из первого слоя 181 регулирования, второго слоя 182 регулирования и третьего слоя 183 регулирования сформирован посредством материала, включающего в себя Al, состояние поверхности после проведения влажного травления и т.д. может быть плохим, при этом даже если второй нижний брэгговский отражатель 174 сформирован на ней, может вызываться ее отслаивание, либо ее толщина может быть неоднородной. Однако область 180 регулирования длины волны в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления

сформирована посредством материала, не включающего в себя Al, и следовательно, коррозия Al и т.д. не может вызываться, и такая проблема может не возникать.

Кроме того, область 180 регулирования длины волны в слое 190 регулирования длины волны в настоящем варианте осуществления образована из чередования GaAsP и GaInP, и когда проводится влажное травление, травление проводится посредством использования двух видов текучих сред травления, при этом взаимно может быть возможно проводить травление одного из них и может быть возможным не проводить травление другого. Поскольку травление проводится посредством использования двух таких видов текучих сред травления, поверхность после травления может быть плоской, и может быть возможно проводить формирование с предварительно определенной толщиной без излишнего травления. В силу этого, может быть возможно получить лазерный элемент поверхностного испускания с устойчивой характеристикой.

Дополнительно, хотя в описании (описаниях) для настоящего варианта осуществления описан случай комбинации GaAsP и GaInP, может быть обеспечена комбинация с другим материалом, не включающим в себя Al, который дополнительно обеспечен для другой текучей среды травления и представляет собой полупроводниковый материал с энергией запрещенной зоны, большей длины волны осцилляции. Для 894,6 нм, что представляет собой длину волны осцилляции в настоящем варианте осуществления, обеспечена, например, GaInAsP/GaInP, GaAs/GaInP, GaAs/GaInAsP, GaAsP/GaInAsP и т.д. в качестве комбинации таких полупроводниковых материалов. Кроме того, N или Sb могут быть добавлены в них, к примеру, GaAsN/GaInP, GaInNAs/GaInP, GaAsSb/GaInP и т.д.

Как описано выше, может быть возможно сформировать множество лазеров поверхностного испускания для испускания света с различными длинами волн на одной подложке 101 в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления. В силу этого, даже если вариация толщины пленки полупроводникового слоя и т.д. вызывается при изготовлении лазерного элемента поверхностного испускания, одно испускание света с длиной волны, ближайшей к желаемой длине волны, выбирается среди первого лазера 151 поверхностного испускания - четвертого лазера 154 поверхностного испускания, в силу чего может быть возможно легко получить полупроводниковый лазер с требуемой длиной волны. В силу этого, может быть возможно изготовить лазерный элемент поверхностного испускания, имеющий лазер поверхностного испускания, испускающий свет с предварительно определенной длиной волны, при низких затратах.

Дополнительно, содержание (содержания) помимо описанного выше, является/являются аналогичным(и) первому варианту осуществления.

ТРЕТИЙ ВАРИАНТ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Далее поясняется третий вариант осуществления. Лазер поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления представляет собой лазер поверхностного испускания с 12 каналами для длины волны в 780 нм и описывается на основе фиг. 14 и фиг. 15. Дополнительно, фиг. 14 является видом сверху лазера поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления, в то время как фиг. 15А является схемой в поперечном сечении, предоставленной посредством разреза вдоль штрихпунктирной линии 14А-14В на фиг. 14, а фиг. 15В является схемой в поперечном сечении, предоставленной посредством разреза вдоль штрихпунктирной линии 14С-14D на фиг. 14.

Лазерный элемент 200 поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления сформирован на полупроводниковом кристалле в 300 квадратных мкм, при этом каждый из первого лазера 201 поверхностного испускания, второго лазера

202 поверхностного испускания, третьего лазера 203 поверхностного испускания, четвертого лазера 204 поверхностного испускания, пятого лазера 205 поверхностного испускания, шестого лазера 206 поверхностного испускания, седьмого лазера 207 поверхностного испускания, восьмого лазера 208 поверхностного испускания, девятого лазера 209 поверхностного испускания, десятого лазера 210 поверхностного испускания, одиннадцатого лазера 211 поверхностного испускания и двенадцатого лазера 212 поверхностного испускания, сформированных на таком полупроводниковом кристалле, соединен с электродной контактной площадкой, предоставленной для него.

В частности, электродная контактная площадка 221 соединена с первым лазером 201 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 222 соединена со вторым лазером 202 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 223 соединена с третьим лазером 203 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 224 соединена с четвертым лазером 204 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 225 соединена с пятым лазером 205 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 226 соединена с шестым лазером 206 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 227 соединена с седьмым лазером 207 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 228 соединена с восьмым лазером 208 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 229 соединена с девятым лазером 209 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 230 соединена с десятым лазером 210 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 231 соединена с одиннадцатым лазером 211 поверхностного испускания, а электродная контактная площадка 232 соединена с двенадцатым лазером 212 поверхностного испускания.

Кроме того, первый лазер 201 поверхностного испускания, второй лазер 202 поверхностного испускания, третий лазер 203 поверхностного испускания, четвертый лазер 204 поверхностного испускания, пятый лазер 205 поверхностного испускания, шестой лазер 206 поверхностного испускания, седьмой лазер 207 поверхностного испускания, восьмой лазер 208 поверхностного испускания, девятый лазер 209 поверхностного испускания, десятый лазер 210 поверхностного испускания, одиннадцатый лазер 211 поверхностного испускания и двенадцатый лазер 212 поверхностного испускания обеспечивают испускаемый свет со взаимно различными длинами волн. А именно, длина λ_1 волны, испускаемая из первого лазера 201 поверхностного испускания, длина λ_2 волны, испускаемая из второго лазера 202 поверхностного испускания, длина λ_3 волны, испускаемая из третьего лазера 203 поверхностного испускания, длина λ_4 волны, испускаемая из четвертого лазера 204 поверхностного испускания, длина λ_5 волны, испускаемая из пятого лазера 205 поверхностного испускания, длина λ_6 волны, испускаемая из шестого лазера 206 поверхностного испускания, длина λ_7 волны, испускаемая из седьмого лазера 207 поверхностного испускания, длина λ_8 волны, испускаемая из восьмого лазера 208 поверхностного испускания, длина λ_9 волны, испускаемая из девятого лазера 209 поверхностного испускания, длина λ_{10} волны, испускаемая из десятого лазера 210 поверхностного испускания, длина λ_{11} волны, испускаемая из одиннадцатого лазера 211 поверхностного испускания, и длина λ_{12} волны, испускаемая из двенадцатого лазера 212 поверхностного испускания, представляют собой взаимно различные длины волн.

Для лазерного элемента поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления, нижний брэгговский отражатель 102, нижний разделительный слой 103, активный слой 104, верхний разделительный слой 105, первый верхний брэгговский отражатель 106 сформированы на подложке 101, образованной из полупроводника и

т.д., и первый слой 250 регулирования длины волны, второй верхний брэгговский отражатель 271, второй слой 260 регулирования длины волны, третий верхний брэгговский отражатель 272, контактный слой 240 и верхний электрод 111 сформированы на первом верхнем брэгговском отражателе 106. Кроме того, контактный
 5 слой 240 соединен с верхним электродом 111, и нижний электрод 112 сформирован на задней поверхности подложки 101. Дополнительно, в настоящем варианте осуществления, нижний брэгговский отражатель 102, нижний разделительный слой 103, активный слой 104, верхний разделительный слой 105, первый верхний брэгговский отражатель 106, первый слой 250 регулирования длины волны, второй верхний
 10 брэгговский отражатель 271, второй слой 260 регулирования длины волны и контактный слой 240 третьего верхнего брэгговского отражателя 272, которые представляют собой полупроводниковые слои, сформированные на подложке 101, сформированы посредством эпитаксиального выращивания полупроводниковых материалов. В частности, такие полупроводниковые слои формируются посредством эпитаксиального
 15 выращивания согласно MOCVD или MBE. Дополнительно, в настоящем варианте осуществления, верхний брэгговский отражатель состоит из первого верхнего брэгговского отражателя 106, первого слоя 250 регулирования длины волны, второго верхнего брэгговского отражателя 271, второго слоя 260 регулирования длины волны и третьего верхнего брэгговского отражателя 272. Кроме того, первый слой 250
 20 регулирования длины волны и второй слой 260 регулирования длины волны могут быть сформированы в нижнем брэгговском отражателе 102.

В настоящем варианте осуществления, подложка n-GaAs используется для подложки 101. Кроме того, нижний брэгговский отражатель 102 сформирован посредством насаивания 35,5 пар из слоя $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$ с высоким показателем преломления и слоя
 25 $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$ с низким показателем преломления таким способом, что толщина оптической пленки каждого слоя составляет $\lambda/4$.

Активный слой 104, состоящий из слоя на основе квантовых ям GaInAs/барьерного слоя GaInPAs, сформирован на нижнем брэгговском отражателе 102 посредством
 30 нижнего разделительного слоя 103, образованного из $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$. Верхний разделительный слой 105, образованный из $\text{Al}_{0,2}\text{Ga}_{0,8}\text{As}$, и первый верхний брэгговский отражатель 106 сформированы на активном слое 104. Дополнительно, область резонатора, обеспеченная с оптической толщиной в одну длину волны, состоит из
 35 нижнего разделительного слоя 103, активного слоя 104 и верхнего разделительного слоя 105.

Первый верхний брэгговский отражатель 106 сформирован посредством насаивания 3,5 пар из слоя $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$ с высоким показателем преломления и слоя $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$ с низким показателем преломления таким образом, что толщина оптической пленки
 40 каждого слоя составляет $\lambda/4$. Дополнительно, один из слоев с низким показателем преломления первого верхнего брэгговского отражателя 106 состоит из слоя 108 сужения электрического тока, образованного из AlAs, который не проиллюстрирован на фиг. 15A и фиг. 15B.

Первый слой 250 регулирования длины волны сформирован на первом верхнем брэгговском отражателе 106. Первый слой 250 регулирования длины волны сформирован
 45 посредством насаивания области 254 регулирования фазы, образованной из $p\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$, первого слоя 251 регулирования, образованного из GaInP, второго слоя 252 регулирования, образованного из GaAsP, и третьего слоя 253 регулирования, образованного из GaInP.

Второй верхний брэгговский отражатель 271 сформирован на первом слое 250 регулирования длины волны. Второй верхний брэгговский отражатель 271 сформирован посредством наслаивания 4,5 пар из слоя $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$ с высоким показателем преломления и слоя $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$ с низким показателем преломления таким образом, что толщина оптической пленки каждого слоя составляет $\lambda/4$.

Второй слой 260 регулирования длины волны сформирован на втором верхнем брэгговском отражателе 271. Второй слой 260 регулирования длины волны сформирован посредством наслаивания области 263 регулирования фазы, образованной из $p\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$, четвертого слоя 261 регулирования, образованного из GaInP , и пятого слоя 262 регулирования, образованного из GaAsP .

Третий верхний брэгговский отражатель 272 сформирован на втором слое 260 регулирования длины волны. Третий верхний брэгговский отражатель 272 сформирован посредством наслаивания 17 пар из слоя $n\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$ с высоким показателем преломления и слоя $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$ с низким показателем преломления таким образом, что толщина оптической пленки каждого слоя составляет $\lambda/4$.

Контактный слой 240, образованный из $p\text{-GaAs}$, сформирован на третьем верхнем брэгговском отражателе 272, в то время как верхний электрод 111 сформирован на контактном слое 240, и нижний электрод 112 сформирован на задней стороне подложки 101.

В настоящем варианте осуществления, каждый лазер поверхностного испускания сформирован таким образом, что первый слой 250 регулирования длины волны и второй слой 260 регулирования длины волны имеют различные толщины для каждого соответствующего канала. Дополнительно, может быть возможно сформировать и первый слой 250 регулирования длины волны и второй слой 260 регулирования с различными толщинами посредством способа, аналогичного первому варианту осуществления. В частности, может быть возможно провести формирование посредством проведения литографии и избирательного травления таким образом, что числа слоя (ев) в слоях регулирования длины волны различаются. Например, когда GaAsP (аналогично для случая GaAs) подвергается травлению, может быть возможно использовать смешанную текучую среду из серной кислоты, перекиси водорода и воды, а когда GaInP подвергается травлению, может быть возможно использовать смешанную текучую среду из соляной кислоты и воды. После того как проведено избирательное травление первого слоя 250 регулирования длины волны, второй верхний брэгговский отражатель 271 и второй слой 260 регулирования длины волны сформированы посредством выращивания кристаллов, далее проводится избирательное травление второго слоя 260 регулирования длины волны, и третий верхний BDR 272 и контактный слой 240 формируются посредством выращивания кристаллов. Дополнительно, травление мезоструктуры, необходимой для формирования каждого лазера поверхностного испускания, проводится посредством сухого травления. Дополнительно, верхний электрод 111, который представляет собой электрод p -стороны каждого лазера поверхностного испускания, сформирован на контактном слое 240, и нижний электрод 112, который представляет собой общий электрод n -стороны, сформирован на задней поверхности подложки 101, как проиллюстрировано на фиг. 15А и фиг. 15В. Лазерный элемент поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления испускает лазерный свет на противоположной стороне подложки 101.

В патенте (Япония) № 2751814 слой регулирования длины волны сформирован в области резонатора, имеющий оптическую толщину в одну длину волны. Например,

в таком случае, если центральная длина волны составляет 780 нм и интервал длин волн составляет 3 нм, один слой, из которого состоит слой регулирования длины волны, обеспечен с 0,9 нм. Такая толщина соответствует приблизительно трем атомным слоям, и может быть затруднительно провести однородное формирование на поверхности пластины с помощью современной технологии выращивания кристаллов. Кроме того, если обеспечивается область резонатора с оптической длиной волны X ($X=2, 3, \dots$), толщина пленки может увеличиваться так, что она составит $0,9 \times X$ нм для одного слоя, из которого состоит слой регулирования длины волны, но в таком случае длина волны релаксационной осцилляции может ухудшиться в $X^{-1/2}$ раз, так что может возникнуть такой отрицательный эффект, что операция для высокоскоростной модуляции может быть затруднительной и т.д.

С другой стороны, в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления первый верхний брэгговский отражатель 106 сформирован между областью резонатора и слоем 250 регулирования длины волны, как проиллюстрировано на фиг. 15А и фиг. 15В. В частности, первый верхний брэгговский отражатель 106 сформирован посредством попеременного наслаивания 4,5 пар из слоя $p\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$ с высоким показателем преломления и слоя $n\text{-Al}_{0,9}\text{Ga}_{0,1}\text{As}$ с низким показателем преломления между первым слоем 250 регулирования длины волны и областью резонатора. В таком случае, даже когда интервал длины волны осцилляции между различными светоизлучающими элементами составляет 3 нм, толщины пленки GaInP/GaAsP/GaInP , из которых состоит первый слой 250 регулирования длины волны, составляют 11,6 нм/11,6 нм/11,6 нм, соответственно, при этом может быть возможно провести достаточно однородное изготовление согласно современной технологии выращивания кристаллов. Следовательно, может быть возможно уменьшить отклонение интервала длин волн между лазерами поверхностного испускания.

Кроме того, второй верхний брэгговский отражатель 271 и второй слой 260 регулирования длины волны дополнительно сформированы на первом слое 250 регулирования длины волны. В силу этого, может быть возможно сформировать первый слой 250 регулирования длины волны более однородно, в то время как интервал длины волны осцилляции является суженным. Фиг. 16 иллюстрирует взаимосвязь между толщинами пленки первого слоя 250 регулирования длины волны и второго слоя 260 регулирования длины волны (как указано посредством толщин оптической пленки, при этом $\lambda/4$ упоминается в качестве 0,25) и длиной волны осцилляции в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления, как проиллюстрировано на фиг. 14 и фиг. 15А и 15В. Дополнительно, может быть возможно изменить толщину пленки первого слоя 250 регулирования длины волны посредством проведения избирательного травления GaInP/GaAsP/GaInP , образующей первый слой 250 регулирования длины волны. Аналогично, может быть возможно изменить толщину пленки второго слоя 260 регулирования длины волны посредством проведения избирательного травления GaInP/GaAsP , образующей второй слой 260 регулирования длины волны.

Как проиллюстрировано на фиг. 16, когда толщина пленки второго слоя 260 регулирования длины волны является постоянной, толщина пленки первого слоя 250 регулирования длины волны может быть изменена, т.е. GaInP/GaAsP/GaInP с 11,6 нм/11,6 нм/11,6 нм, формирующие первый слой 250 регулирования длины волны, могут подвергаться травлению один за другим, так что может быть возможно получить изменение длины волны осцилляции приблизительно в 3 нм. Кроме того, когда толщина пленки первого слоя 250 регулирования длины волны является постоянной, толщина

пленки второго слоя 260 регулирования длины волны может быть изменена, т.е. GaInP/GaAsP с 14 нм/11 нм, формирующие второй слой 260 регулирования длины волны, могут травиться один за другим, так что может быть возможным получать изменение длины волны колебаний приблизительно в 1 нм. Таким образом, как проиллюстрировано на фиг. 15А и фиг. 15В, толщины пленки первого слоя 250 регулирования длины волны и второго слоя 260 регулирования длины волны могут быть изменены посредством 4 уровней и 3 уровней, соответственно, в силу чего может быть возможно сформировать лазер поверхностного испускания с различными длинами волны осцилляции в $4 \times 3 = 12$ уровней. Кроме того, толщины пленки первого слоя 250 регулирования длины волны и второго слоя 260 регулирования длины волны могут регулироваться, как проиллюстрировано на фиг. 16, в силу чего может быть возможно то, что все двенадцать лазеров поверхностного испускания осциллируют при различных длинах волн с интервалом приблизительно 1 нм.

Далее описывается область 254 регулирования фазы, сформированная на первом слое 250 регулирования длины волны. Отражательная способность проиллюстрирована на фиг. 17В в случае, если первый слой 251 регулирования, второй слой 252 регулирования и третий слой 253 регулирования сформированы без формирования области 254 регулирования фазы, как проиллюстрировано на фиг. 17А, при этом каждый слой GaInP/GaAsP/GaInP удаляется посредством влажного травления. Как проиллюстрировано на фиг. 17В, если область 254 регулирования фазы не сформирована, отражательная способность может быть значительно изменена посредством изменения толщины первого слоя 250 регулирования длины волны. Таким образом, это может означать, что может увеличиваться отклонение лазерной характеристики, такой как пороговый электрический ток для каждой длины волны.

С другой стороны, область 254 регулирования фазы сформирована на первом слое 250 регулирования длины волны, как проиллюстрировано на фиг. 18А, в силу чего может быть возможно задать позицию, в которой оптическая толщина первого слоя 250 регулирования длины волны составляет $\lambda/4$, в качестве позиции, в которой сформирован первый слой 252 регулирования, образованный из GaAsP. В силу этого, может быть возможно уменьшить изменение отражательной способности, как проиллюстрировано на фиг. 18В.

Иными словами, предпочтительно, когда оптическая толщина P_1 первого слоя 250 регулирования длины волны составляет $\lambda/4 \leq P_1 < \lambda/2$, и если таким образом провести обобщение, $(2N-1)\lambda/4 \leq P_1 < 2N\lambda/4$ является предпочтительным. Дополнительно, N является положительным целым числом.

Кроме того, предпочтительно проводить формирование таким образом, что когда число слоев сформированной пленки(ок) (слоя(ев) регулирования) составляет M (при этом M является положительным целым числом), позиция, в которой толщина оптической пленки первого слоя 250 регулирования длины волны составляет $\lambda/4$, представляет собой $(M+1)/2$ -ю пленку (слой регулирования) в направлении сверху в случае, если M является нечетным числом, или $M/2$ -ю или $(M/2)+1$ -ю пленку (слой регулирования) в направлении сверху в случае, если M является четным числом.

Как проиллюстрировано на фиг. 19А, область 254 регулирования фазы может быть образована из $p\text{-Al}_{0,1}\text{Ga}_{0,9}\text{As}$, и как проиллюстрировано на фиг. 19В, область 254а регулирования фазы может сформироваться посредством попеременного наслаивания GaInP и GaAsP. Дополнительно, хотя выше описан первый слой 250 регулирования длины волны, аналогичным образом это также применимо ко второму слою 260 регулирования длины волны.

При этом, для слоя регулирования длины волны, публикация заявки на патент (Япония) номер 11-330631 может раскрыть комбинацию AlGaAs и InGaP, и патент (Япония) № 2751814 может раскрыть комбинацию GaAs и AlGaAs. Обе используют AlGaAs, включающий в себя Al, но может возникнуть проблема в надежности, поскольку Al включен в состав, и, соответственно, может легко вызываться коррозия, такая как окисление. В частности, когда выращивание кристаллов полупроводникового слоя проводится после травления слоя регулирования длины волны, как указано в настоящем варианте осуществления, поверхность слоя регулирования длины волны контактирует с атмосферой в процессе изготовления, и, следовательно, поверхность Al может быть окислена, так что может быть чрезвычайно трудно провести на нем выращивание кристаллов для верхнего брэгговского отражателя. С другой стороны, слой регулирования длины волны образован из GaInP и GaAsP, которые не включают в себя Al в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления, в отличие от патента (Япония) № 2751814 или публикации заявки на патент (Япония) номер 11-330631, в силу чего может быть возможным серьезно задерживать развитие коррозии в процессе изготовления и может быть возможно получить высокую надежность.

Дополнительно, хотя в описании для настоящего варианта осуществления описан случай комбинации GaAsP и GaInP, может быть обеспечена комбинация с другим материалом, не включающим в себя Al, который дополнительно обеспечен для другой текучей среды травления и представляет собой полупроводниковый материал с энергией запрещенной зоны больше, чем длина волны осцилляции. В случае 780 нм, что представляет собой длину волны осцилляции в настоящем варианте осуществления, может быть возможно обеспечить, например, GaInAsP/GaInP, GaAsP/GaInAsP и т.д. в качестве такой комбинации полупроводниковых материалов. Кроме того, также может быть возможно использовать GaAs вместо GaAsP при длине волны, которая является длинной длиной волны в 1 мкм или больше. В таком случае, искажение, подобное GaAsP, может не обеспечиваться для подложки GaAs, и, следовательно, ее обработка может быть простой.

Дополнительно, содержание(содержания) помимо того, что описано выше, является (являются) аналогичным первому варианту осуществления.

ЧЕТВЕРТЫЙ ВАРИАНТ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Далее поясняется четвертый вариант осуществления. Ниже описывается лазерный элемент поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления на основе фиг. 20. Лазерный элемент 300 поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления имеет восемь лазеров поверхностного испускания на подложке 301, при этом сформированы лазеры поверхностного испускания с проведением испускания при различных длинах волн вследствие первого-третьего вариантов осуществления, и кроме того, лазеры поверхностного испускания, испускающие свет с идентичной длиной волны, сформированы два на два.

В частности, лазерный элемент 300 поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления имеет первый лазер 311 поверхностного испускания, второй лазер 312 поверхностного испускания, третий лазер 313 поверхностного испускания, четвертый лазер 314 поверхностного испускания, пятый лазер 315 поверхностного испускания, шестой лазер 316 поверхностного испускания, седьмой лазер 317 поверхностного испускания и восьмой лазер 318 поверхностного испускания на подложке 301. Каждый из лазера 311 поверхностного испускания - восьмого лазера 318 поверхностного испускания соединен с электродной контактной площадкой. В частности, электродная

контактная площадка 321 соединена с первым лазером 311 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 322 соединена со вторым лазером 312 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 322 соединена с третьим лазером 313 поверхностного испускания, а электродная контактная площадка 324 соединена с четвертым лазером 314 поверхностного испускания, в то время как электродная контактная площадка 325 соединена с пятым лазером 315 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 326 соединена с шестым лазером 316 поверхностного испускания, электродная контактная площадка 327 соединена с седьмым лазером 317 поверхностного испускания, а электродная контактная площадка 328 соединена с восьмым лазером 318 поверхностного испускания.

Кроме того, первый лазер 311 поверхностного испускания - восьмой лазер 318 поверхностного испускания сформированы таким образом, что лазеры поверхностного испускания для идентичной длины волны обеспечены два на два. В частности, свет, испускаемый из первого лазера 311 поверхностного испускания и второго лазера 312 поверхностного испускания, имеет идентичную длину волны λ_1 , и свет, испускаемый из третьего лазера 313 поверхностного испускания и четвертого лазера 314 поверхностного испускания, имеет идентичную длину волны λ_2 , в то время как свет, испускаемый из пятого лазера 315 поверхностного испускания и шестого лазера 316 поверхностного испускания, имеет идентичную длину волны λ_3 , и свет, испускаемый из седьмого лазера 317 поверхностного испускания и восьмого лазера 318 поверхностного испускания, имеет идентичную длину волны λ_4 , при этом длины λ_1 - λ_4 волн представляют собой взаимно различные длины волн. Таким образом, чтобы испускать свет с различной длиной волны в каждом лазере поверхностного испускания, слой регулирования длины волны обеспечен аналогично первому варианту осуществления и сформирован таким образом, что толщина слоя регулирования длины волны изменяется для каждого лазера поверхностного испускания. Дополнительно, размер каждой из электродных контактных площадок 321-328 составляет примерно 50 квадратных мкм, и подложка 301 представляет собой полупроводниковый кристалл с размером 300 квадратных мкм.

В лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления лазеры поверхностного испускания для испускания света с идентичной длиной волны присутствуют два на два, посредством чего, даже если один из лазеров поверхностного испускания для испускания света с идентичной длиной волны испускает свет вследствие повреждения, неисправности и т.д., может быть возможно использовать другой. Следовательно, может быть возможно, что срок службы лазерного элемента поверхностного испускания является более длинным сроком службы, и может быть возможно дополнительно улучшить производительность такого элемента. Кроме того, в лазерном элементе поверхностного испускания в настоящем варианте осуществления может использоваться не только элемент с длиной волны, ближайшей к необходимой длине волны, но также и элемент со второй ближайшей длиной волны, и такой элемент может быть использован в качестве подготовительного лазера поверхностного испускания, в силу чего может быть возможно достичь большего срока службы.

Дополнительно, содержание (содержания) помимо того, что описано выше, является/являются аналогичными первым-третьему вариантам осуществления.

ПЯТЫЙ ВАРИАНТ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ

Далее описывается пятый вариант осуществления. Настоящий вариант осуществления представляет собой атомный осциллятор с использованием лазерного элемента поверхностного испускания в первом-четвертом вариантах осуществления. Ниже

описывается атомный осциллятор в настоящем варианте осуществления на основе фиг. 21. Атомный осциллятор в настоящем варианте осуществления представляет собой компактный атомный осциллятор СРТ-типа и имеет источник 410 света, коллимирующую линзу 420, волновую пластину 430 $\lambda/4$, ячейку 440 со щелочным металлом, фотодетектор 450 и модулятор 460.

Для источника 410 света используется лазерный элемент поверхностного испускания в первом-четвертом вариантах осуществления. Для ячейки 440 со щелочным металлом, атомный газ Cs (цезий) заключается в качестве щелочного металла в ячейку, в которой используется переход линии D1. Для фотодетектора 450 используется фотодиод.

В атомном осцилляторе в настоящем варианте осуществления, ячейка 440 со щелочным металлом, в которую заключается атомный газ цезий, облучается светом, испускаемым из источника 410 света, так что электрон атома цезия возбуждается. Свет, будучи пропущенным через модуль 440 со щелочным металлом, детектируется посредством фотодетектора 450, при этом сигнал, детектированный посредством фотодетектора 450, возвращается в модулятор 460, и лазерный элемент поверхностного испускания в источнике 410 света модулируется посредством модулятора 460.

Фиг. 22 иллюстрирует конфигурацию атомных энергетических уровней, ассоциированных с СРТ. Используется тот факт, что коэффициент поглощения света снижается, когда электроны одновременно возбуждаются с двух основных уровней до возбужденного уровня. Для лазера поверхностного испускания используется элемент с длиной волны несущей волны, которая составляет около 894,6 нм. Может быть возможно провести настройку длины волны несущей волны посредством изменения температуры или выхода лазера поверхностного испускания. Когда повышается температура или выход, может вызываться сдвиг к более длинной длине волны, при этом вариация в плотности света ячейки со щелочным металлом не является предпочтительным, и, следовательно, предпочтительно использовать изменение температуры. В частности, может быть возможно регулировать температурную зависимость длины волны приблизительно при 0,05 нм/°C. Как проиллюстрировано на фиг. 23, проводится модуляция с возможностью генерации боковых полос на обеих сторонах несущей волны, при этом модуляция проводится при 4,6 ГГц таким образом, что разность частот может совпадать с 9,2 ГГц, которая является собственной частотой атома Cs. Как проиллюстрировано на фиг. 24, лазерный свет, проходящий через возбужденный газ Cs, является максимальным в момент, когда разность частот в боковой полосе совпадает с разностью собственной частоты атома Cs, и следовательно, частота модуляции лазерного элемента поверхностного испускания в источнике 410 света регулируется посредством проведения обратной связи в модуляторе 460 таким образом, что вывод из фотодетектора 450 может удерживаться на максимальном значении. Поскольку собственная частота атома может быть чрезвычайно устойчивой, частота модуляции является устойчивым значением, так что эта информация получается в качестве выхода. Дополнительно, когда длина волны составляет 894,6 нм, может требоваться источник света с диапазоном длин волн ± 1 нм. Иными словами, может требоваться источник света с диапазоном длин волн 893,6-895,6 нм.

Лазерный элемент поверхностного испускания в первом-четвертом вариантах осуществления используется в атомном осцилляторе в настоящем варианте осуществления, и следовательно, может быть возможно изготовить и обеспечить атомный осциллятор при низких затратах. Кроме того, используется лазерный элемент поверхностного испускания в третьем варианте осуществления и/или четвертом варианте осуществления, и, следовательно, может быть возможно дополнительно обеспечить

атомный осциллятор с более долгим сроком службы.

Кроме того, хотя Cs используется в качестве щелочного металла в настоящем варианте осуществления, и лазер поверхностного испускания для длины волны в 894,6 нм используется для того, чтобы использовать переход линии D1, также может быть возможно использовать 852,3 нм в случае, если используется линия D2 Cs. Кроме того, также может быть возможно использовать Rb (рубидий) в качестве щелочного металла, при этом может быть возможным использовать 795,0 нм в случае, если используется линия D1, или 780,2 нм в случае, если используется линия D2. Может быть возможно проектировать состав материалов активного слоя и т.д. в зависимости от длины волны.

Кроме того, для частоты модуляции в случае, если используется Rb, модуляция проводится при 3,4 ГГц для ^{87}Rb или при 1,5 ГГц для ^{85}Rb . Дополнительно, даже для таких длин волн, может потребоваться источник света с диапазоном длин волн ± 1 нм. Иными словами, когда используется линия D2 Cs, может потребоваться источник света с диапазоном длин волн 851,3-853,3 нм. Кроме того, когда используется линия D1 Rb, может потребоваться источник света с диапазоном длин волн 794,0-796,0 нм. Кроме того, когда используется линия D2 Rb, может потребоваться источник света с диапазоном длин волн 779,2-781,2 нм.

Хотя выше описаны некоторые варианты осуществления настоящего изобретения, содержание (содержания) изобретения не ограничивается (ограничиваются) вышеуказанным содержанием. Кроме того, хотя в некоторых вариантах осуществления настоящего изобретения описан случай, в котором лазерный элемент поверхностного испускания используется для атомного осциллятора, может быть возможно использовать лазерный элемент поверхностного испускания в первом-четвертом вариантах осуществления для другого устройства, которому требуется свет с предварительно определенной длиной волны, такого как газовый датчик и т.д. В таком случае, лазер поверхностного испускания для света с предварительно определенной длиной волны, соответствующей его варианту применения, также используется в таком устройстве, в силу чего может быть возможно получить аналогичный эффект.

ПРИЛОЖЕНИЕ

ИЛЛЮСТРАТИВНЫЙ ВАРИАНТ(Ы) ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ЭЛЕМЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО ИСПУСКАНИЯ, СПОСОБА ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ЛАЗЕРНОГО ЭЛЕМЕНТА ПОВЕРХНОСТНОГО ИСПУСКАНИЯ И АТОМНОГО ОСЦИЛЛЯТОРА

По меньшей мере, один иллюстративный вариант осуществления настоящего изобретения может относиться к лазерному элементу поверхностного испускания, способу для изготовления лазерного элемента поверхностного испускания и атомному осциллятору.

Цель, по меньшей мере, одного иллюстративного варианта осуществления настоящего изобретения может состоять в обеспечении лазерного элемента поверхностного испускания, имеющего множество лазеров поверхностного испускания, способных к более точной осцилляции в желаемом интервале длин волн.

По меньшей мере, один иллюстративный вариант осуществления настоящего изобретения может быть охарактеризован тем, что он имеет множество лазеров поверхностного испускания, имеющих нижний брэгговский отражатель, сформированный на полупроводниковой подложке, резонатор, включающий в себя активный слой, сформированный на нижнем брэгговском отражательном зеркале, и верхний брэгговский отражатель, сформированный на резонаторе, при этом слой регулирования длины волны сформирован в верхнем брэгговском отражателе или

нижнем брэгговском отражателе, при этом испускание из него обеспечивается на различных длинах волн, соответственно, посредством изменения толщины слоя регулирования длины волны, при этом слой регулирования длины волны сформирован посредством наслаивания соответствующих слоев регулирования, образованных из

5 двух видов различных материалов, и при этом толщина слоя регулирования длины волны изменяется посредством изменения числа слоев регулирования в слое регулирования длины волны.

Кроме того, по меньшей мере, один иллюстративный вариант осуществления настоящего изобретения может быть охарактеризован посредством способа для

10 изготовления лазерного элемента поверхностного испускания, имеющего множество лазеров поверхностного испускания, имеющих нижний брэгговский отражатель, сформированный на полупроводниковой подложке, резонатор, включающий в себя активный слой, сформированный на нижнем брэгговском отражательном зеркале, и

15 верхний брэгговский отражатель, сформированный на резонаторе, в котором слой регулирования длины волны сформирован в верхнем брэгговском отражателе или нижнем брэгговском отражателе, при этом испускание из него обеспечено на различных длинах волн, соответственно, посредством изменения толщины слоя регулирования

20 длины волны, при этом слой регулирования длины волны сформирован посредством наслаивания соответствующих слоев регулирования, образованных из двух видов различных материалов, и при этом толщина слоя регулирования длины волны изменяется посредством удаления слоя(ев) регулирования в слое регулирования длины волны для каждого слоя регулирования, чтобы изменить число слоев, который имеет этап удаления одного слоя регулирования посредством первой текучей среды травления

25 среди соответствующих слоев регулирования, образованных из двух видов различных материалов в слое регулирования длины волны, и этап удаления другого слоя регулирования посредством второй текучей среды травления среди соответствующих слоев регулирования, образованных из двух видов различных материалов в слое регулирования длины волны, при этом первая текучая среда травления и вторая текучая среда травления различаются.

Иллюстративный вариант (1) осуществления представляет собой лазерный элемент поверхностного испускания, характеризующийся тем, что он имеет множество лазеров поверхностного испускания, имеющих нижний брэгговский отражатель, сформированный на полупроводниковой подложке, резонатор, включающий в себя активный слой, сформированный на нижнем брэгговском отражателе, и верхний

35 брэгговский отражатель, сформированный на резонаторе, в котором слой регулирования длины волны сформирован в верхнем брэгговском отражателе или нижнем брэгговском отражателе, при этом испускание из него обеспечивается на различных длинах волн, соответственно, посредством изменения толщины слоя регулирования длины волны, при этом слой регулирования длины волны сформирован посредством наслаивания

40 соответствующих слоев регулирования, образованных из двух видов различных материалов, и при этом толщина слоя регулирования длины волны изменяется посредством изменения числа слоев регулирования в слоях регулирования длины волны.

Иллюстративный вариант (2) осуществления представляет собой лазерный элемент поверхностного испускания, как описано в иллюстративном варианте (1) осуществления, характеризующийся тем, что оптическая толщина P слоя регулирования длины волны составляет $(2N-1)\lambda/4 \leq P < N\lambda/2$, при этом λ является длиной волны лазера поверхностного испускания, и N является положительным целым числом.

Иллюстративный вариант (3) осуществления представляет собой лазерный элемент

поверхностного испускания, как описано в иллюстративном варианте (1) или (2) осуществления, характеризующийся тем, что M слоев (M является положительным целым числом) из слоев регулирования сформированы в слое регулирования длины волны, при этом позиция, в которой толщина оптической пленки слоя регулирования

5 длины волны составляет $\lambda/4$ со стороны, в которой обеспечен активный слой, представляет собой $(M+1)/2$ -й слой регулирования сверху в случае, если M является нечетным числом, или $M/2$ -й или $(M/2)+1$ -й слой регулирования сверху в случае, если M является четным числом.

Иллюстративный вариант (4) осуществления представляет собой лазерный элемент

10 поверхностного испускания, как описано в любом из иллюстративных вариантов (1)-(3) осуществления, характеризующийся тем, что слой регулирования длины волны состоит из области регулирования длины волны и области регулирования фазы, при этом область регулирования длины волны состоит из соответствующих слоев регулирования, образованных из двух видов различных материалов.

Иллюстративный вариант (5) осуществления представляет собой лазерный элемент

15 поверхностного испускания, как описано в иллюстративном варианте (4) осуществления, характеризующийся тем, что слой регулирования длины волны включает в себя контактный слой, сформированный на стороне ближе к резонатору, чем область регулирования длины волны, при этом контактный слой соединен с одним электродом.

Иллюстративный вариант (6) осуществления представляет собой лазерный элемент

20 поверхностного испускания, как описано в любом из иллюстративных вариантов (1)-(5) осуществления, характеризующийся тем, что сформирован набор слоев регулирования длины волны.

Иллюстративный вариант (7) осуществления представляет собой лазерный элемент

25 поверхностного испускания, как описано в любом из иллюстративных вариантов (1)-(6) осуществления, характеризующийся тем, что набор слоев регулирования длины волны сформирован в верхнем брэгговском отражателе.

Иллюстративный вариант (8) осуществления представляет собой лазерный элемент

30 поверхностного испускания, как описано в любом из иллюстративных вариантов (1)-(7) осуществления, характеризующийся тем, что толщина пленки слоя регулирования длины волны изменяется посредством проведения удаления слоя регулирования в слое регулирования длины волны, в котором один слой регулирования из соответствующих слоев регулирования, образованных из двух видов различных материалов в слое регулирования длины волны, удаляется посредством первой текучей среды травления,

35 а другой слой регулирования удаляется посредством второй текучей среды травления, при этом первая текучая среда травления и вторая текучая среда травления различаются.

Иллюстративный вариант (9) осуществления представляет собой лазерный элемент

40 поверхностного испускания, как описано в любом из иллюстративных вариантов (1)-(8) осуществления, характеризующийся тем, что один слой регулирования из соответствующих слоев регулирования, образованных из двух видов различных материалов в слое регулирования длины волны, образуется из GaInP, а другой слой регулирования образуется из GaAsP или GaAs.

Иллюстративный вариант (10) осуществления представляет собой лазерный элемент

45 поверхностного испускания, как описано в любом из иллюстративных вариантов (1)-(9) осуществления, характеризующийся тем, что верхний брэгговский отражатель включает в себя первый верхний брэгговский отражатель, слой регулирования длины волны и второй верхний брэгговский отражатель, сформированные в порядке со стороны, на которой сформирован активный слой, при этом второй верхний брэгговский

отражатель сформирован посредством попеременного наслаивания и формирования диэлектриков с различными показателями преломления.

Иллюстративный вариант (11) осуществления представляет собой лазерный элемент поверхностного испускания, как описано в любом из иллюстративных вариантов (1)-
 5 (10) осуществления, характеризующийся тем, что, по меньшей мере, одна из нескольких длин волн включена в диапазон 893,6-895,6 нм, 851,3-853,3 нм, 794,0-796,0 нм или 779,2-781,2 нм.

Иллюстративный вариант (12) осуществления представляет собой способ для изготовления лазерного элемента поверхностного испускания, имеющего множество
 10 лазеров поверхностного испускания, имеющих нижний брэгговский отражатель, сформированный на полупроводниковой подложке, резонатор, включающий в себя активный слой, сформированный на нижнем брэгговском отражателе, и верхний брэгговский отражатель, сформированный на резонаторе, при этом слой регулирования длины волны сформирован в верхнем брэгговском отражателе или нижнем брэгговском
 15 отражателе, при этом испускание из него обеспечено на различных длинах волн, соответственно, посредством изменения толщины слоя регулирования длины волны, при этом слой регулирования длины волны сформирован посредством наслаивания соответствующих слоев регулирования, образованных из двух видов различных материалов, и при этом толщина слоя регулирования длины волны изменяется
 20 посредством удаления слоя(ев) регулирования в слое регулирования длины волны для каждого слоя регулирования, чтобы изменить число слоев, характеризующийся тем, что он имеет этап удаления одного слоя регулирования посредством первой текучей среды травления среди соответствующих слоев регулирования, образованных из двух видов различных материалов в слое регулирования длины волны, и этап удаления
 25 другого слоя регулирования посредством второй текучей среды травления среди соответствующих слоев регулирования, образованных из двух видов различных материалов в слое регулирования длины волны, при этом первая текучая среда травления и вторая текучая среда травления различаются.

Иллюстративный вариант (13) осуществления представляет собой способ для
 30 изготовления лазерного элемента поверхностного испускания, как описано в иллюстративном варианте (12) осуществления, характеризующийся тем, что один слой регулирования среди соответствующих слоев регулирования, образованных из двух видов различных материалов в слое регулирования длины волны, образован из GaInP, а другой слой регулирования образован из GaAsP или GaAs.

Иллюстративный вариант (14) осуществления представляет собой способ для
 35 изготовления лазерного элемента поверхностного испускания, как описано в иллюстративном варианте (12) или в (13) осуществления, характеризующийся тем, что верхний брэгговский отражающий слой включает в себя первый верхний брэгговский отражатель, слой регулирования длины волны и второй брэгговский отражатель,
 40 сформированные в порядке со стороны, на которой сформирован активный слой, при этом второй верхний брэгговский отражатель сформирован посредством попеременного наслаивания и формирования диэлектриков с различными показателями преломления.

Иллюстративный вариант (15) осуществления представляет собой атомный
 45 осциллятор, характеризующийся тем, что он имеет лазерный элемент поверхностного испускания, как описано в любом из иллюстративных вариантов (1)-(11) осуществления, ячейку со щелочным металлом, заключающую щелочной металл, и фотодетектор для детектирования света, пропущенного через ячейку со щелочным металлом, среди света, облучающего ячейку со щелочным металлом, из лазера поверхностного испускания в

лазерном элементе поверхностного испускания, при этом свет с двумя различными длинами волн среди света, испускаемого из лазера поверхностного испускания и включающего в себя боковую полосу, падает на ячейку со щелочным металлом, за счет чего частота колебаний управляется на основе характеристики поглощения света, вызываемой посредством эффекта квантовой интерференции двух видов резонансного света.

Иллюстративный вариант (16) осуществления представляет собой атомный осциллятор, как описано в иллюстративном варианте (15) осуществления, характеризующийся тем, что щелочной металл является рубидием или цезием.

Согласно, по меньшей мере, одному иллюстративному варианту осуществления настоящего изобретения, может быть возможно обеспечить лазерный элемент поверхностного испускания, имеющий множество лазеров поверхностного испускания, способных к более точной осцилляции в желаемом интервале длин волн, поскольку может быть возможно увеличить толщину пленки, формирующей слой регулирования длины волны.

Хотя иллюстративный вариант(ы) осуществления и/или конкретный пример(ы) настоящего изобретения описаны со ссылкой на прилагаемый/ые чертеж(и), настоящее изобретение не ограничено каким-либо иллюстративным вариантом(ами) осуществления и/или конкретным примером(ами), и иллюстративный вариант(ы) осуществления и/или конкретный пример(ы) могут быть изменены, модифицированы или комбинированы без отступления от объема настоящего изобретения.

Настоящая заявка притязает на преимущество приоритета заявки на патент (Япония) № 2011-264908, поданной 2 декабря 2011 года, и заявки на патент (Япония) № 2012-234113, поданной 23 октября 2012 года, содержимое которых полностью содержится по ссылке в данном документе.

Формула изобретения

1. Лазерный элемент поверхностного испускания, содержащий полупроводниковую подложку и множество лазеров поверхностного испускания, сконфигурированных с возможностью испускать свет со взаимно различными длинами волн, причем каждый лазер поверхностного испускания включает в себя нижний брэгговский отражатель, обеспеченный на полупроводниковой подложке, резонатор, обеспеченный на нижнем брэгговском отражателе, верхний брэгговский отражатель, обеспеченный на резонаторе, и слой регулирования длины волны, обеспеченный внутри верхнего брэгговского отражателя или нижнего брэгговского отражателя, причем слои регулирования длины волны, включенные в лазеры поверхностного испускания, имеют взаимно различные толщины, причем по меньшей мере один из слоев регулирования длины волны включает в себя слои регулирования, образованные из двух видов материалов, и причем числа слоев регулирования, включенных в слои регулирования длины волны, взаимно различаются.

2. Лазерный элемент поверхностного испускания по п. 1, в котором по меньшей мере один из слоев регулирования длины волны сконфигурирован с возможностью удовлетворять условию $(2N-1)\lambda/4 \leq P < N\lambda/2$, в котором P является оптической толщиной по меньшей мере одного из слоев регулирования длины волны, λ является длиной волны света, который должен испускаться из каждого лазера поверхностного испускания, и N является положительным целым числом.

3. Лазерный элемент поверхностного испускания по п. 1, в котором M является числом слоев регулирования, включенных в по меньшей мере один из слоев

регулирования длины волны, и позиция, в которой оптическая толщина по меньшей мере одного из слоев регулирования длины волны, составляет $\lambda/4$ со стороны резонатора, обеспечена в $(M+1)/2$ -м слое регулирования сверху из слоев регулирования в случае, если M является нечетным числом, или в $M/2$ -м или $(M/2)+1$ -м слоях регулирования

5 сверху из слоев регулирования в случае, если M является четным числом.

4. Лазерный элемент поверхностного испускания по п. 1, в котором по меньшей мере один из слоев регулирования длины волны включает в себя область регулирования длины волны и область регулирования фазы, и область регулирования длины волны включает в себя слои регулирования, образованные из двух видов материалов.

10 5. Лазерный элемент поверхностного испускания по п. 4, в котором по меньшей мере один из слоев регулирования длины волны включает в себя контактный слой, обеспеченный на стороне, ближе к резонатору, чем область регулирования длины волны, и контактный слой соединен с одним электродом.

6. Лазерный элемент поверхностного испускания по п. 1, в котором по меньшей мере

15 один из слоев регулирования длины волны обеспечен в верхнем брэгговском отражателе.

7. Лазерный элемент поверхностного испускания по п. 1, в котором один слой регулирования в по меньшей мере одном из слоев регулирования длины волны образован из GaInP, а другой слой регулирования - из GaAsP или GaAs.

8. Лазерный элемент поверхностного испускания по п. 1, в котором верхний

20 брэгговский отражатель включает в себя первый верхний брэгговский отражатель, слой регулирования длины волны и второй верхний брэгговский отражатель в порядке со стороны резонатора, и второй верхний брэгговский отражатель состоит из попеременно наслаиваемых диэлектриков с различными показателями преломления.

9. Лазерный элемент поверхностного испускания по п. 1, в котором по меньшей мере

25 одна из взаимно различных длин волн включена в диапазон 893,6-895,6 нм, 851,3-853,3 нм, 794,0-796,0 нм или 779,2-781,2 нм.

10. Способ для изготовления лазерного элемента поверхностного испускания, включающего в себя множество лазеров поверхностного испускания,

сконфигурированных с возможностью испускать свет со взаимно различными длинами

30 волн, содержащий этапы, на которых формируют нижний брэгговский отражатель на полупроводниковой подложке, формируют резонатор на нижнем брэгговском отражателе, формируют верхний брэгговский отражатель на резонаторе, наслаивают слои регулирования, образованные из двух видов материалов, внутри верхнего брэгговского отражателя или нижнего брэгговского отражателя, с возможностью

35 формировать слой регулирования длины волны, удаляют один слой регулирования в слое регулирования длины волны посредством использования первой текучей среды травления и удаляют другой слой регулирования в слое регулирования длины волны посредством использования второй текучей среды травления, отличающейся от первой текучей среды травления, так что слои регулирования длины волны, включенные в

40 лазеры поверхностного испускания, имеют взаимно различные толщины, и числа слоев регулирования, включенных в слои регулирования длины волны, взаимно различаются.

11. Способ для изготовления лазерного элемента поверхностного испускания по п.

10, в котором один слой регулирования в слое регулирования длины волны образован

из GaInP, а другой слой регулирования образован из GaAsP или GaAs.

45 12. Способ для изготовления лазерного элемента поверхностного испускания по п. 10, в котором верхний брэгговский отражающий слой сформирован с возможностью включения в себя первого верхнего брэгговского отражателя и второго верхнего брэгговского отражателя, в котором первый верхний брэгговский отражатель, слой

регулирования длины волны и второй верхний брэгговский отражатель сформированы в порядке со стороны резонатора, и при этом второй верхний брэгговский отражатель сформирован посредством попеременного наслаивания диэлектриков с различными показателями преломления.

- 5 13. Атомный осциллятор, содержащий лазерный элемент поверхностного испускания по п. 1, ячейку со щелочным металлом, включающую в себя щелочной металл, который должен облучаться светом, испускаемым из упомянутого лазерного элемента
- 10 поверхностного испускания, фотодетектор, сконфигурированный с возможностью детектирования света, пропускаемого через упомянутую ячейку со щелочным металлом,
- и блок управления, сконфигурированный с возможностью управления частотой осцилляции упомянутого лазерного элемента поверхностного испускания на основе света, детектируемого посредством фотодетектора.

14. Атомный осциллятор по п. 13, в котором щелочной металл включает в себя рубидий или цезий.

15

20

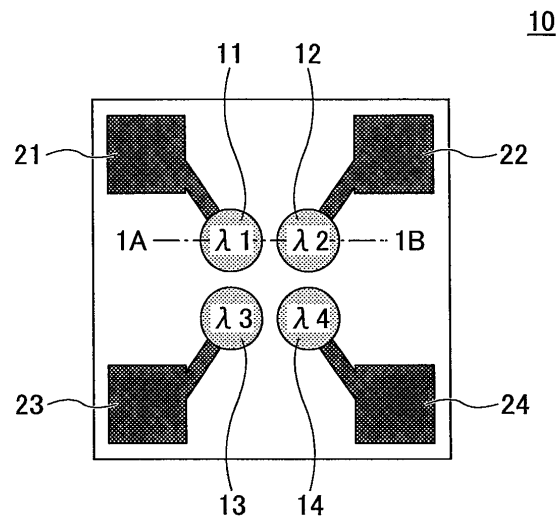
25

30

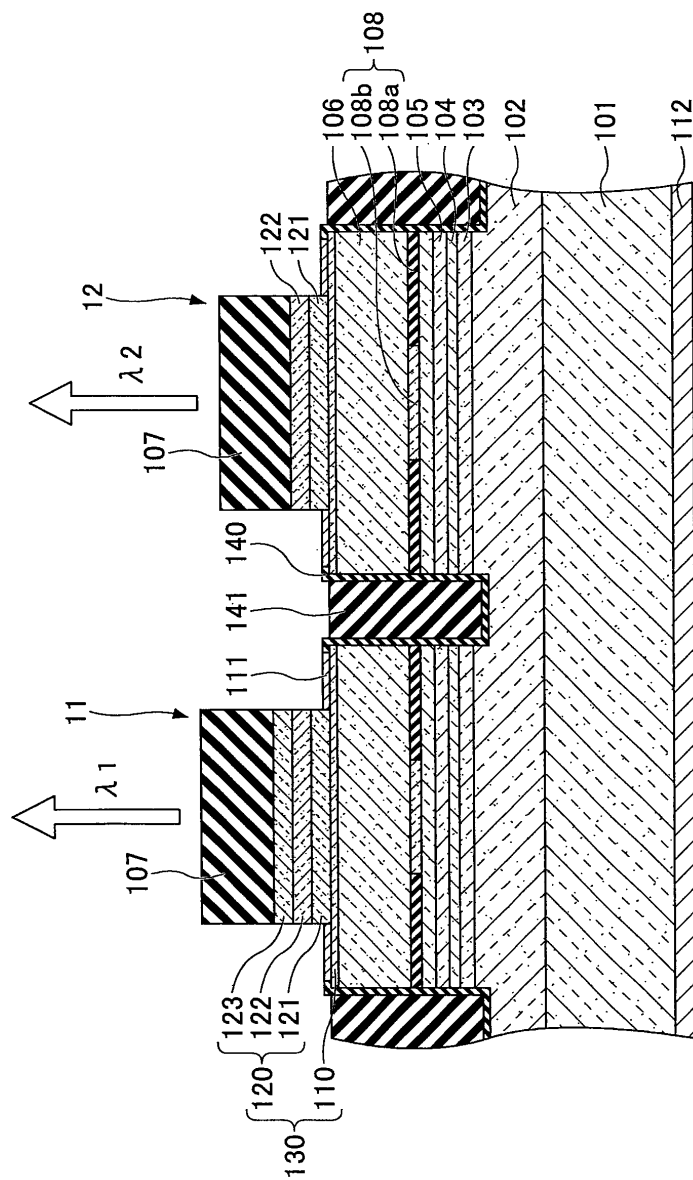
35

40

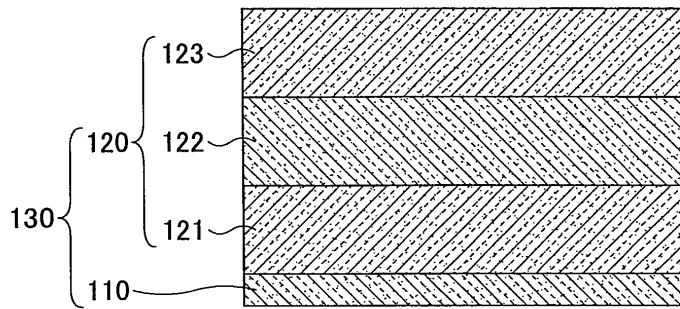
45



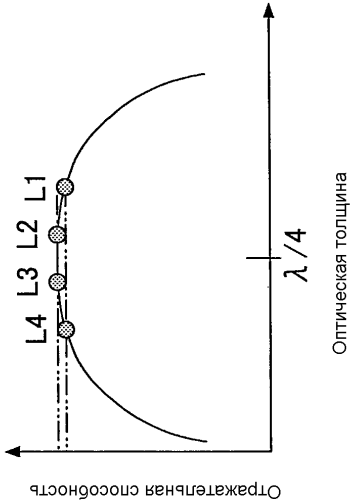
ФИГ.1



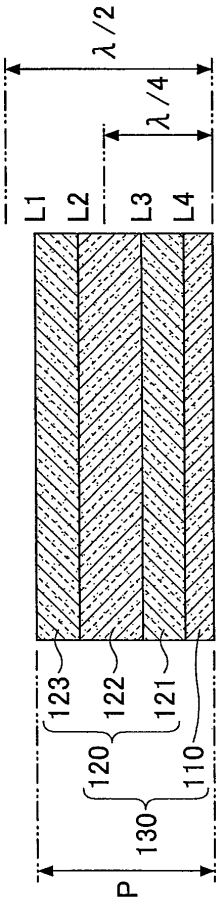
ФИГ.2



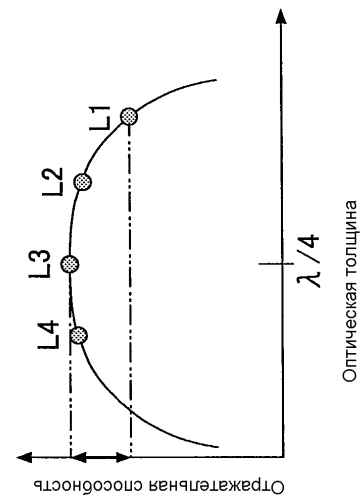
ФИГ.3



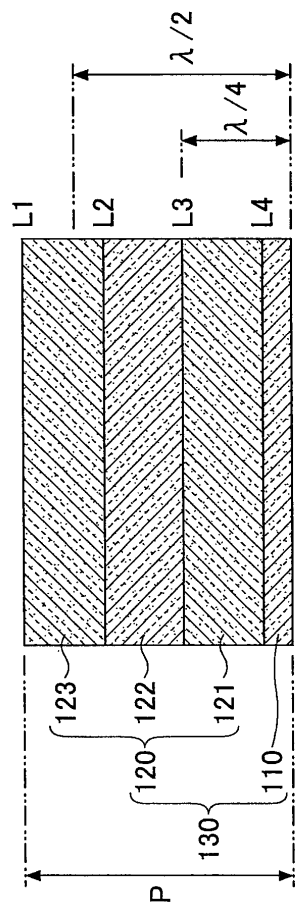
ФИГ.4В



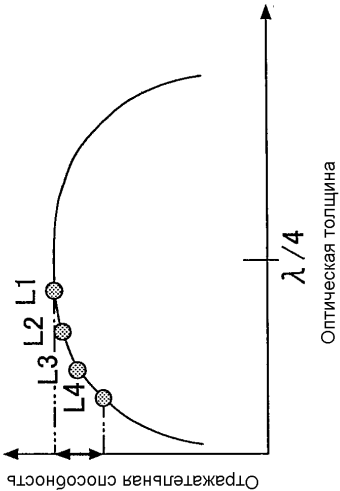
ФИГ.4А



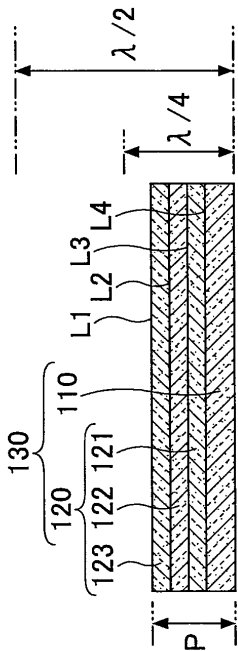
ФИГ.5В



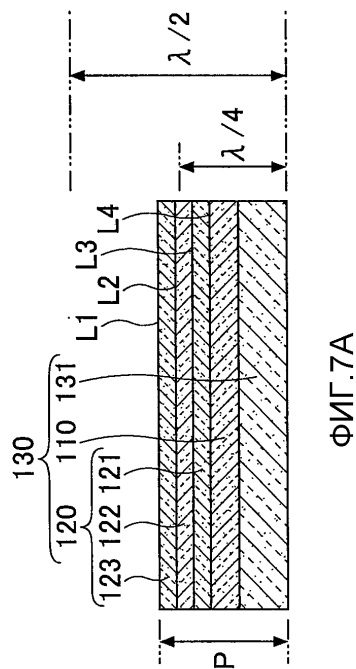
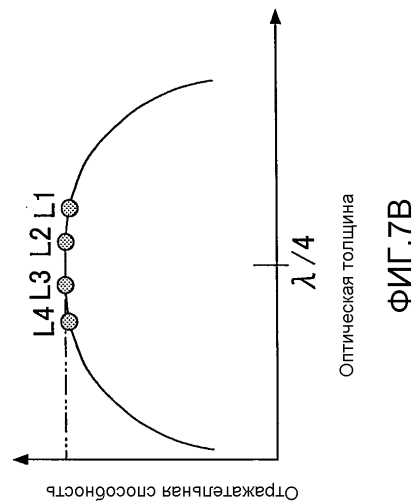
ФИГ.5А

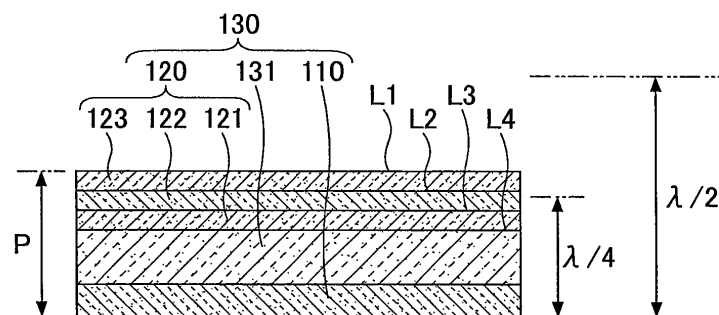


ФИГ.6В

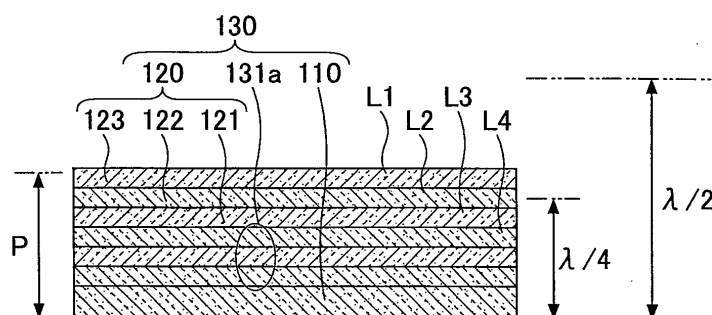


ФИГ.6А

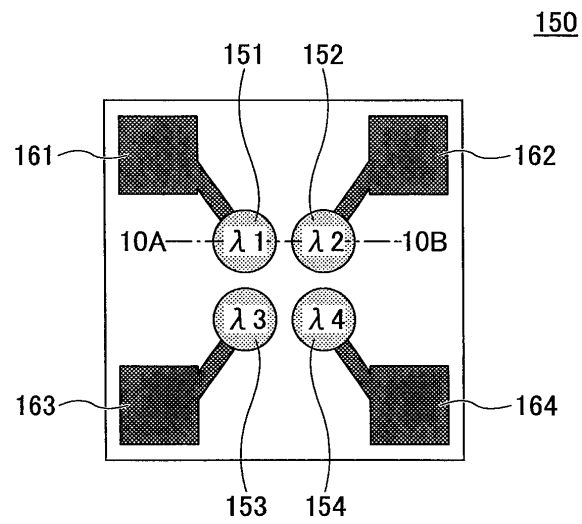




ФИГ.8

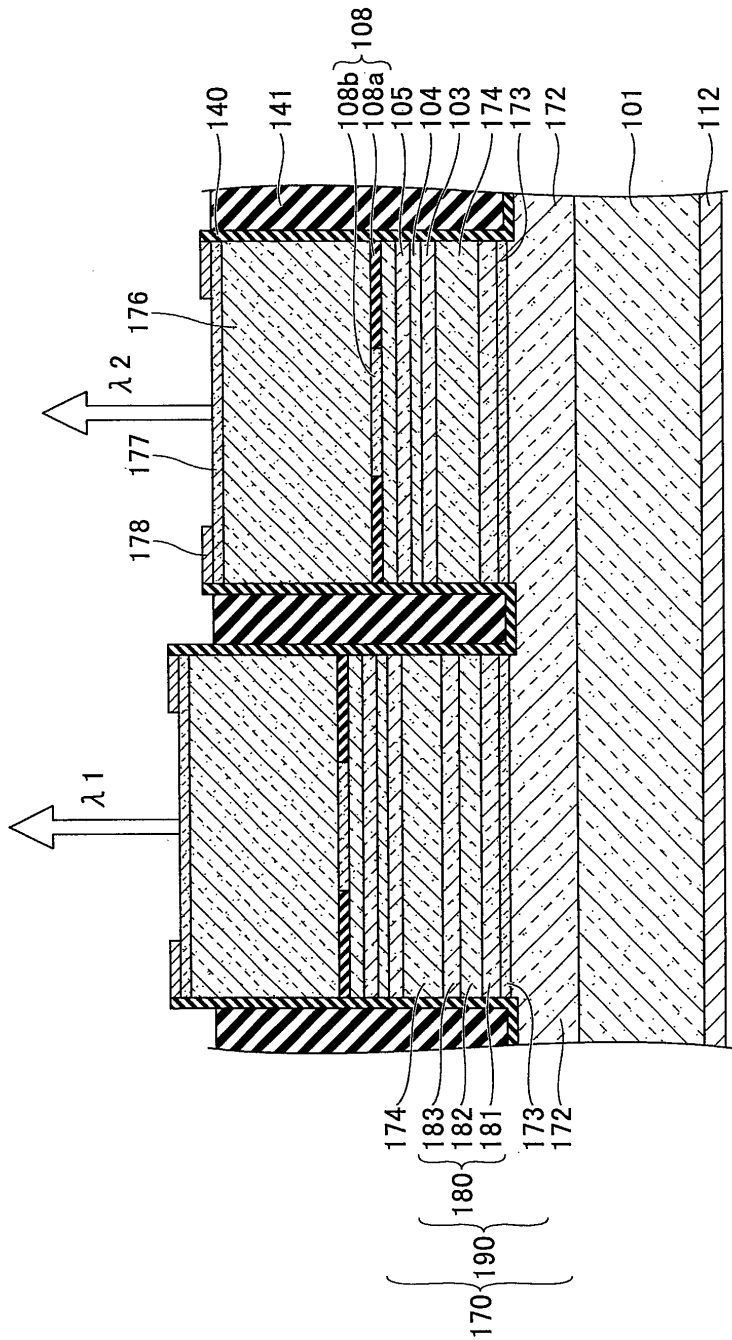


ФИГ.9

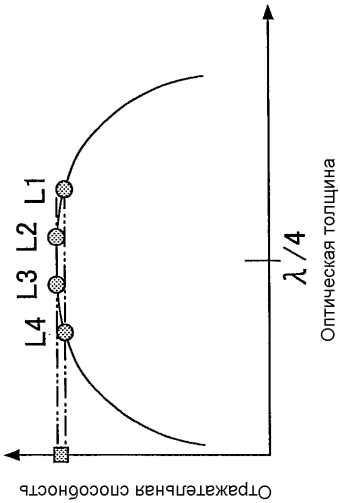


ФИГ.10

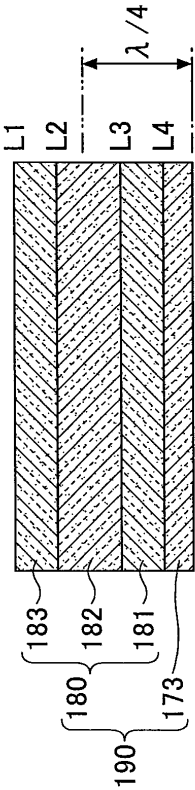
150



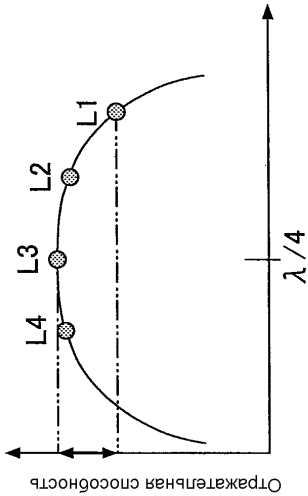
ФИГ.11



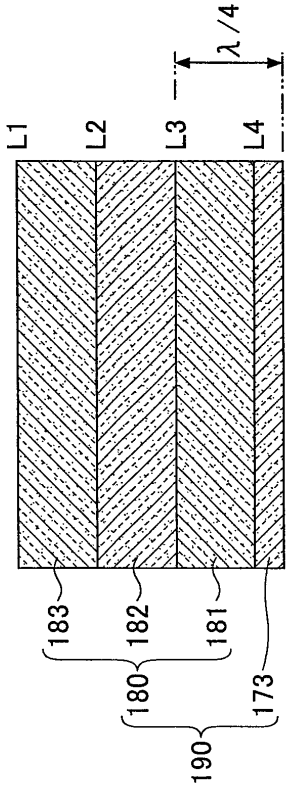
ФИГ.12В



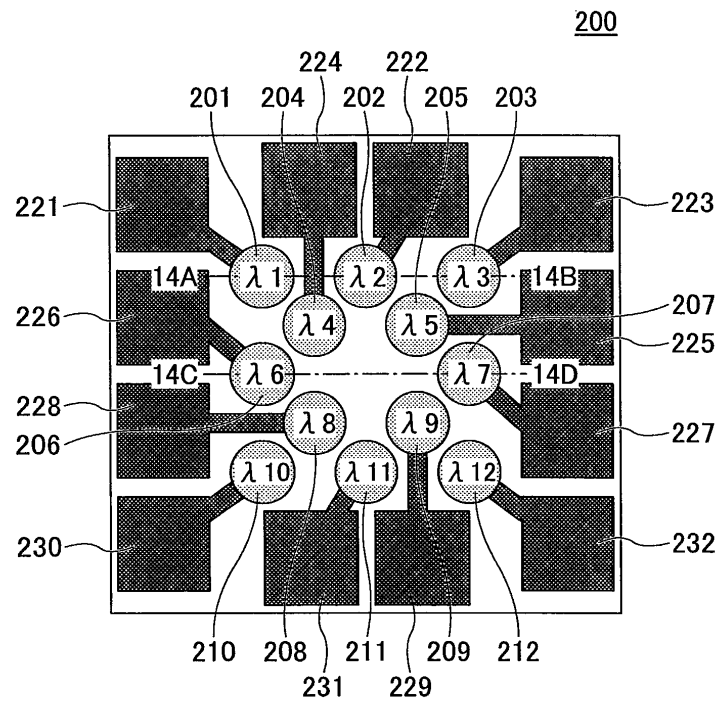
ФИГ.12А



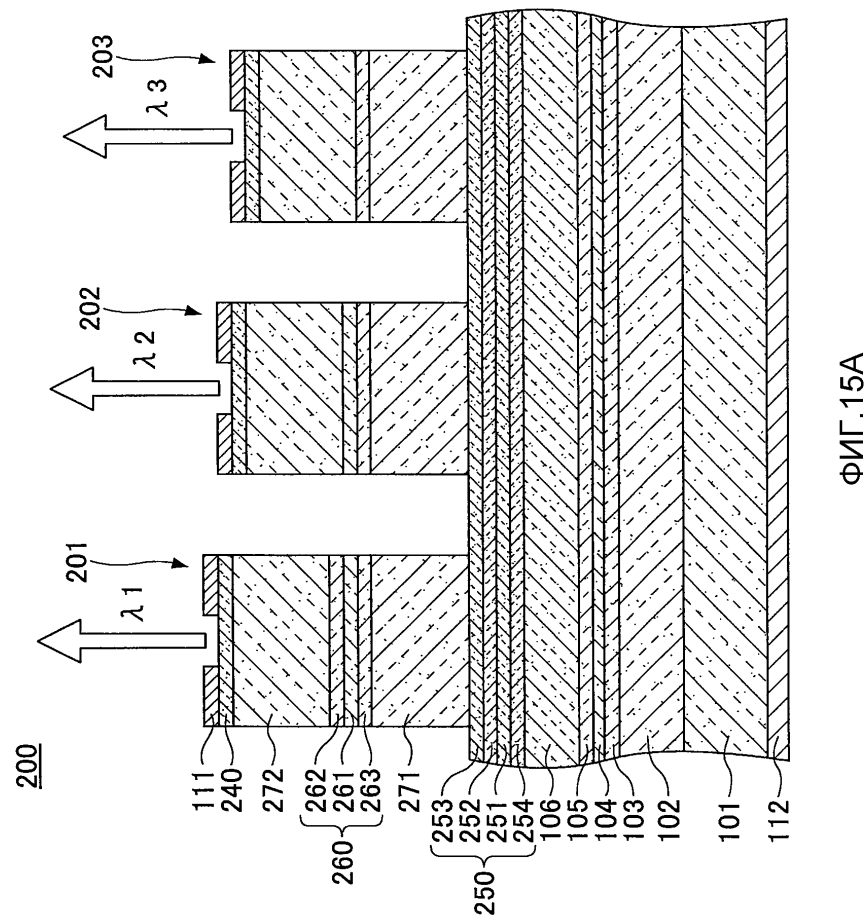
ФИГ.13В

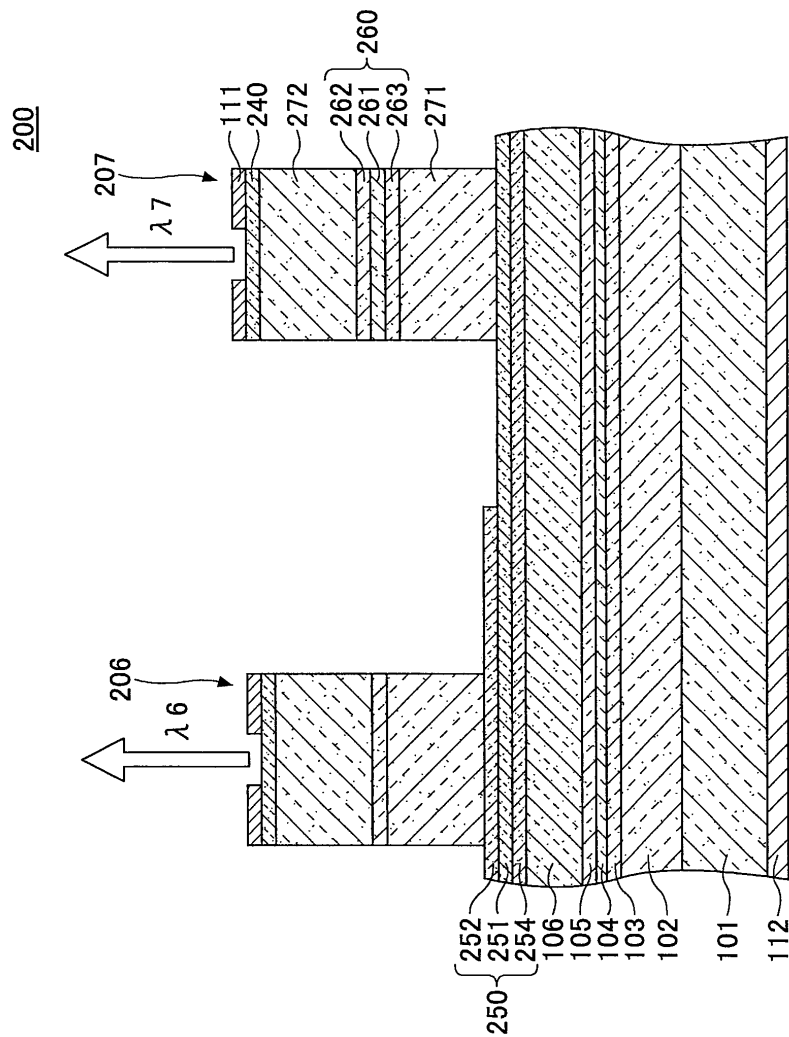


ФИГ.13А

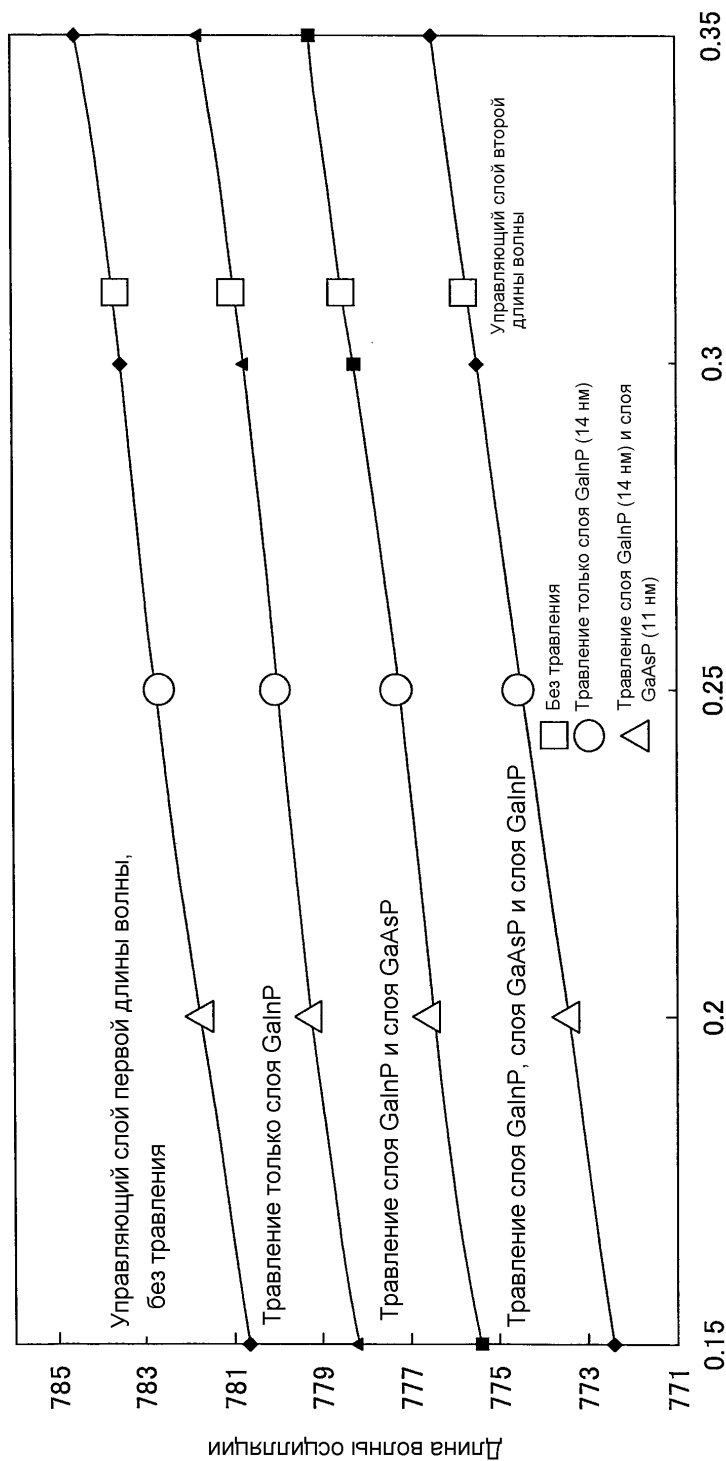


ФИГ.14



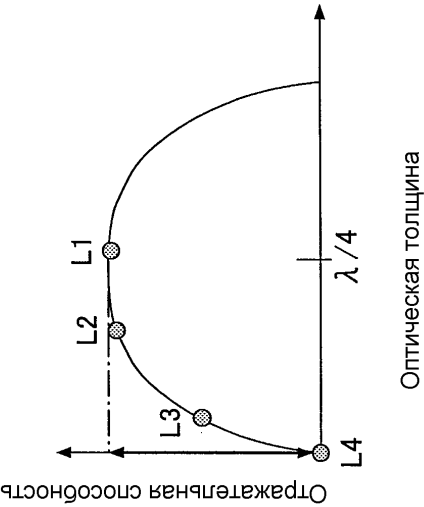


ФИГ. 15В

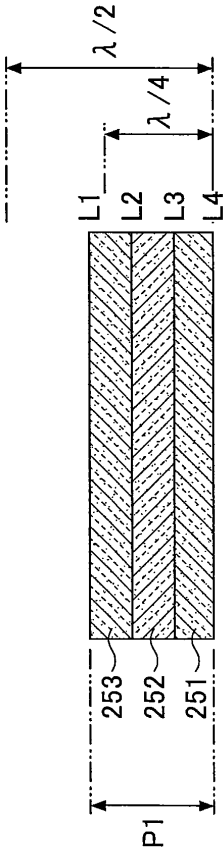


Оптическая длина управляющего слоя второй длины волны (λ, μm) соответствующей 0,25)

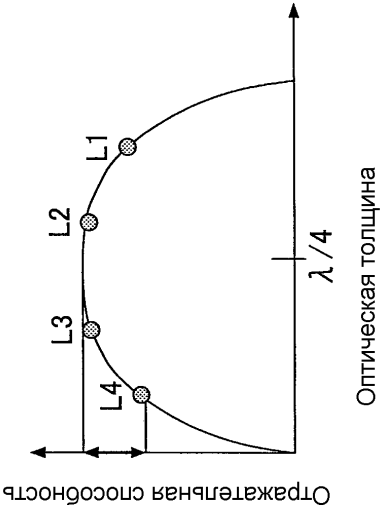
ФИГ. 16



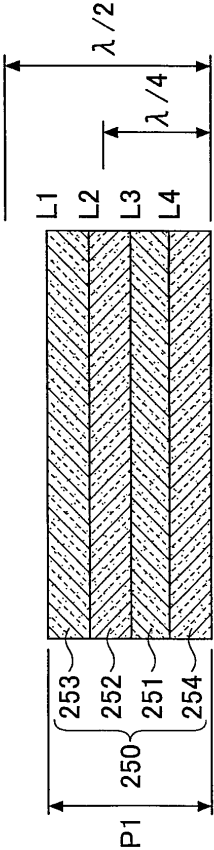
ФИГ.17В



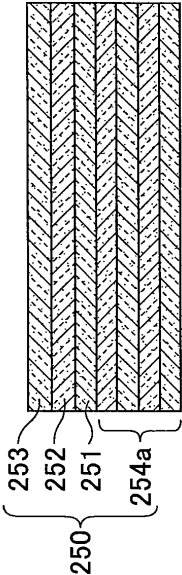
ФИГ.17А



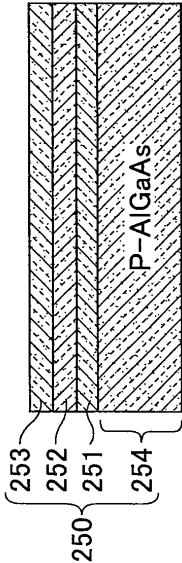
ФИГ.18В



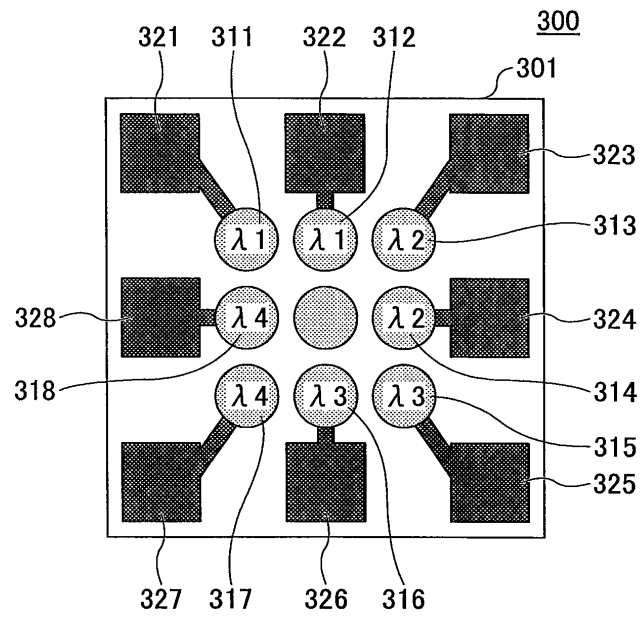
ФИГ.18А



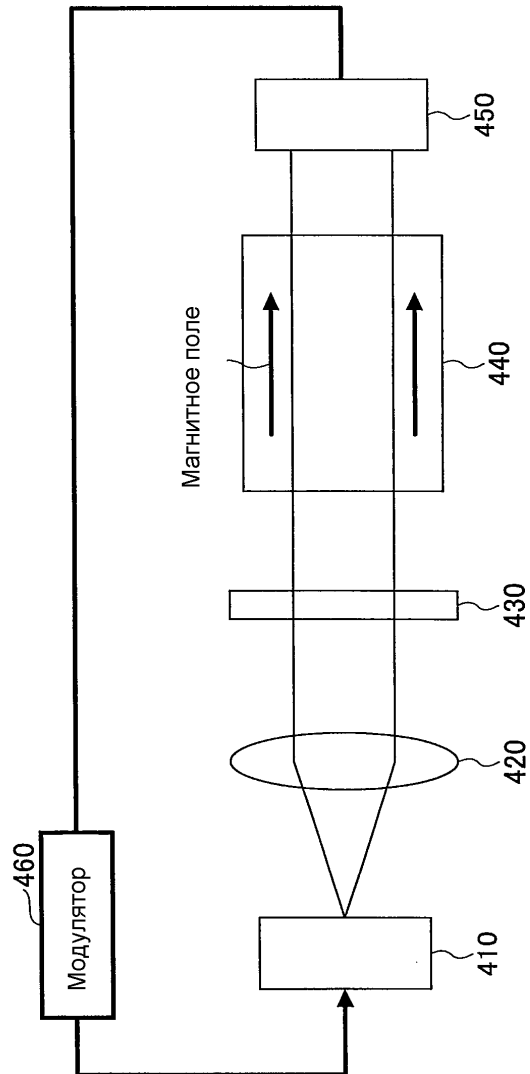
ФИГ.19В



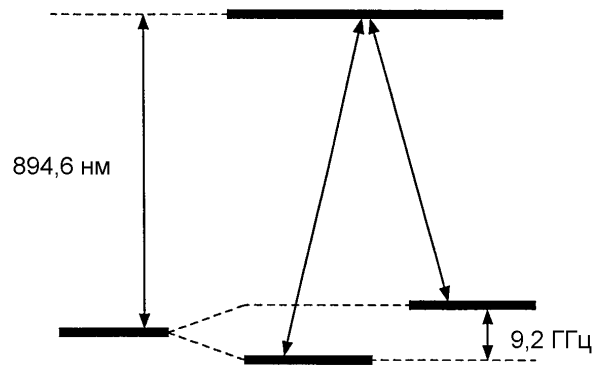
ФИГ.19А



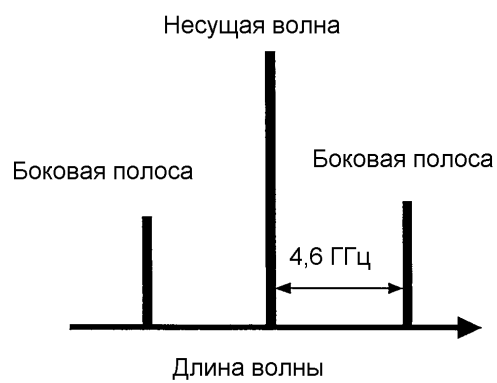
ФИГ.20



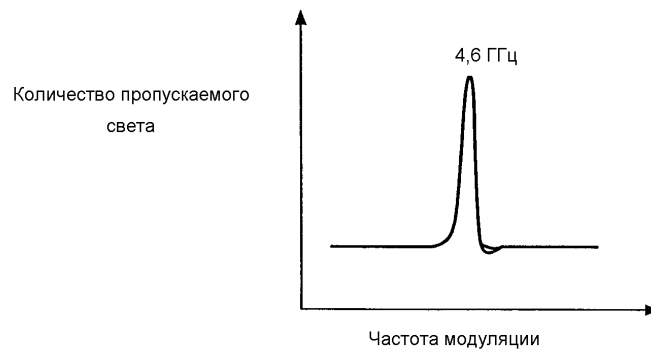
ФИГ.21



ФИГ.22



ФИГ.23



ФИГ.24