



**ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ**

(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ПАТЕНТУ

(21)(22) Заявка: 2014106057/28, 19.02.2014

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:
19.02.2014

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 19.02.2014

(45) Опубликовано: 10.06.2015 Бюл. № 16

(56) Список документов, цитированных в отчете о поиске: US 5485277 A, 16.01.1996. US 20080266567 A1, 30.10.2008. RU 2361193 C2, 10.07.2009. US 5555255 A, 10.09.1996. US 6424418 B1, 23.07.2002. WO 2011052932 A1, 05.05.2011

Адрес для переписки:

142191, Москва, г. Троицк, м-он В, 41, кв. 87,
Конопскому Валерию Николаевичу

(72) Автор(ы):

Конопский Валерий Николаевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

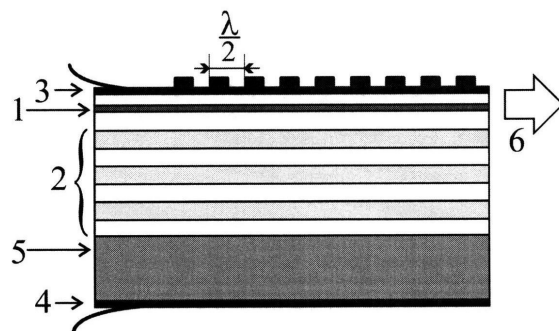
Конопский Валерий Николаевич (RU)

**(54) ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ИСТОЧНИК ИЗЛУЧЕНИЯ НА ДЛИННОПРОБЕЖНЫХ
ПОВЕРХНОСТНЫХ ПЛАЗМАНАХ**

(57) Реферат:

Использование: источник излучения. Сущность изобретения заключается в том, что источник излучения включает активный слой из полупроводникового материала, многослойную структуру с периодически чередующимися слоями с отличающимися показателями преломления, электрические контакты - верхний и нижний, верхний представляет собой тонкую металлическую пленку толщиной от 3 нм до 30 нм, расположенную над данным активным слоем на расстоянии не более 70 нм, толщины слоев в данной многослойной структуре и толщина данной тонкой металлической пленки выбраны

таким образом, чтобы данная структура поддерживала длиннопробежное распространение поверхностных плазмонов вдоль ее поверхности, причем эффективный показатель преломления такого распространения был близок к показателю преломления внешней среды. Технический результат: обеспечение возможности увеличения интенсивности выходного излучения, улучшения пространственных и частотных характеристик излучения, упрощения конструкции при производстве полупроводниковых источников излучения. 3 з.п. ф-лы, 5 ил.



Фиг. 2

R U 2 5 5 2 3 8 6 C 1

R U 2 5 5 2 3 8 6 C 1



FEDERAL SERVICE
FOR INTELLECTUAL PROPERTY

(51) Int. Cl.

H01S 5/00 (2006.01)*B82B* 3/00 (2006.01)(12) **ABSTRACT OF INVENTION**

(21)(22) Application: 2014106057/28, 19.02.2014

(24) Effective date for property rights:
19.02.2014

Priority:

(22) Date of filing: 19.02.2014

(45) Date of publication: 10.06.2015 Bull. № 16

Mail address:

142191, Moskva, g. Troitsk, m-on V, 41, kv. 87,
Konopskomu Valeriju Nikolaevichu

(72) Inventor(s):

Konopskij Valerij Nikolaevich (RU)

(73) Proprietor(s):

Konopskij Valerij Nikolaevich (RU)(54) **SEMICONDUCTOR RADIATION SOURCE BUILT AROUND LONG-RANGE SURFACE PLASMON**

(57) Abstract:

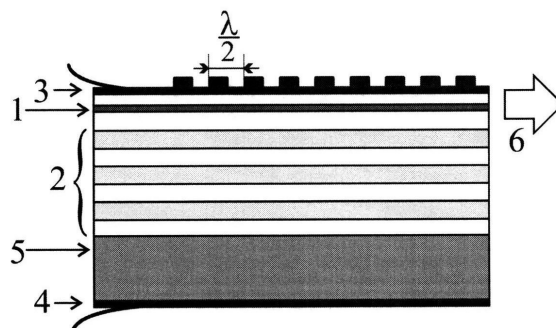
FIELD: physics.

SUBSTANCE: radiation source comprises semiconductor material ply, multilayer structure with alternating plies with different refractive indices and top and bottom electric contacts. Top contact is composed by a thin 3-30 nm deep metal film arranged above active ply, not over 70 nm therefrom. Depth of plies in this multilayer structure and depth of said thin metal film are selected to maintain long-range propagation of surface plasmons over said surface. Note here that effective refractive index of said propagation approximates to ambient medium refractive index.

EFFECT: higher intensity of output radiation, improved spatial and frequency characteristics,

simplified design.

4 cl, 5 dwg



Фиг. 2

Область техники

Изобретение относится к квантовой электронике, а более конкретно к излучающим устройствам на ее основе - полупроводниковым лазерам и светоизлучающим диодам.

Уровень техники

5 В настоящее время широко используются полупроводниковые излучающие устройства, такие как светоизлучающие диоды и полупроводниковые лазеры (которые могут рассматриваться как светоизлучающие диоды с оптической обратной связью). Наиболее распространены излучающие устройства видимого и ближнего инфракрасного диапазона. Далее, для простоты, мы будем называть светом излучение в обоих этих
10 диапазонах.

Генерация и усиление светового излучения в этих устройствах происходит в планарных полупроводниковых структурах, например в полупроводниковых структурах с квантовыми ямами, выполненных на поверхности полупроводниковой подложки. Эту усиливающую свет часть полупроводниковой структуры (с квантовыми ямами,
15 как один из возможных примеров) мы будем называть активным слоем. Электрическая накачка подается через электрические контакты, которые приложены к сильно допированным р- и n-областям, расположенным с разных сторон от данного активного слоя.

Наиболее распространены два типа излучающих полупроводниковых устройств:

- 20 (1) светодиоды (и лазеры) с торцевым излучением и
- (2) лазеры с вертикальным резонатором и выводом излучения через поверхность.

В первом случае излучение усиливается, распространяясь вдоль планарной структуры, и выходит через ее торец. Для создания оптической обратной связи и лазерной генерации на противоположных сторонах подложки (перпендикулярно ее поверхности) создают
25 резонаторные зеркала. Излучение оказывается частично захваченным в образовавшемся резонаторе между зеркалами и происходит лазерная генерация. Во многих случаях для отражения света обратно в полупроводниковую усиливающую среду достаточно простого скола подложки. Так как показатель преломления полупроводника ($n \approx 3.5$) много больше, чем показатель преломления воздуха ($n \approx 1$), то отражение от торца
30 структуры часто достаточно сильное и без дополнительных зеркал.

Лазеры с торцевым выводом излучения являются наиболее распространенными полупроводниковыми лазерными излучателями. К недостаткам этих излучателей можно отнести то, что они, как правило, излучают в несколько пространственных мод и на нескольких частотах. Частотную селективность можно повысить в лазере с
35 распределенной обратной связью, где обратная связь создается за счет отражения световых волн от пространственно-периодической структуры (решетки), создаваемой в активном слое. Но такие лазеры требуют большего числа технологических операций, так как после эпитаксиального выращивания активного слоя и вытравливания решетки в нем требуется дальнейшее эпитаксиальное выращивание последующих
40 заключительных полупроводниковых слоев (etch-and-regrow). Излучатели с торцевым излучением также имеют значительную степень астигматизма, затрудняя фокусировку луча и его ввод в оптические волноводы.

Во втором случае, в лазерах с вертикальным резонатором, планарные резонаторные зеркала расположены параллельно поверхности - сверху и снизу от полупроводникового
45 усиливающего слоя. Такая оптическая обратная связь создает лазерный луч, выпускаемый в направлении, перпендикулярном плоскости подложки (т.е. в данных терминах "вертикально").

Недостатком лазерных излучателей с вертикальным резонатором является малая

величина усиления на один проход из-за малой толщины планарной усиливающей структуры в направлении, перпендикулярном поверхности. Как правило, необходимы высококачественные резонаторные зеркала с большим коэффициентом отражения для обеспечения многократного отражения и достаточного усиления в данных лазерах.

5 Такие лазеры с вертикальным резонатором и выводом излучения через поверхность находят применение в системах оптической информации и оптической связи.

К недостаткам светодиодов с торцевым выводом излучения можно отнести сильное отражение выходного излучения на границе полупроводник/воздух за счет большой разницы в показателях преломления этих сред ($n \approx 3.5/1$ соответственно). Это приводит
10 к созданию паразитной оптической обратной связи, которой следует избегать при производстве светодиодов. Ослабление интенсивности выходного излучения светодиодов происходит как за счет отражения света при его нормальном падении на границу раздела, так и за счет полного внутреннего отражения (ПВО) выходного излучения обратно в полупроводник при падении света на границу раздела с углами, большими
15 угла ПВО (который равен всего 17° при данных показателях преломления).

Следовательно, существует необходимость в разработке таких светодиодов с торцевым выводом, которые бы не теряли мощность выходного излучения за счет его отражения на границе полупроводник/воздух обратно в полупроводник. Также на
20 основе таких светодиодов могут быть сделаны лазеры со стабильной частотой лазерного излучения и улучшенными пространственными характеристиками выходного лазерного излучения.

Для решения этих проблем, для преодоления вышеуказанных недостатков и улучшения генерации и вывода излучения из полупроводникового излучающего устройства в настоящем изобретении будут использоваться поверхностные оптические
25 волны, а именно длиннопребегные¹ (Здесь и далее в описании и формуле изобретения длиннопребегными мы будем называть поверхностные волны, распространяющиеся на расстояние много больше, чем их длина волны, или, более определенно, на расстояние большее, чем десять длин волн) поверхностные плазмоны (ДПП) в тонкой металлической пленке на поверхности фотонного кристалла.

30 Поверхностные плазмоны (ПП) - это поверхностные оптические волны, существующие вблизи границы металл - диэлектрик [1]. Длиннопребегные ПП получают, располагая тонкую металлическую пленку между двумя диэлектриками с идентичными показателями преломления [2, 3] либо располагая данную тонкую металлическую пленку на поверхности "фотонного кристалла" (ФК) [4, 5].

35 Фотонные кристаллы (ФК) - это материалы с показателем преломления, периодически меняющимся на длине порядка длины волны света [6]. В этих материалах существуют запрещенные энергетические зоны, весьма подобные запрещенным энергетическим зонам для электронов, распространяющихся в обычном кристалле. В обоих случаях существует интервал частот, где волновое распространение запрещено. Эта аналогия
40 может быть распространена и на поверхностные уровни, которые могут существовать в запрещенных энергетических зонах обычных кристаллов. В ФК они соответствуют поверхностным оптическим модам с дисперсионными кривыми, расположенными внутри запрещенных зон. Мы будем использовать одномерный (1D) ФК, т.е. обычное многослойное зеркало из чередующихся слоев с высоким и низким показателем
45 преломления.

Следует отметить, что многослойные зеркала из чередующихся слоев с высоким и низким показателем преломления (т.е. в используемых здесь терминах 1D ФК) часто используются при производстве как светодиодов, так и полупроводниковых лазеров.

Однако во всех этих случаях 1D ФК используется просто как высококачественные зеркала: либо как зеркала резонатора для лазеров с вертикальным резонатором, либо в светодиодах с выводом излучения через поверхность - как зеркало, препятствующее уходу излучения в подложку.

5 Так, например, известен лазерный диод с излучением через поверхность (surface-emitting laser diode) [7], который содержит активный слой из полупроводникового материала; электрические контакты, расположенные с обеих сторон от данного активного слоя, для накачки данного активного слоя электрическим током, причем верхний контакт имеет пространственно-периодическую структуру на его поверхности;
10 металлическую пленку на данном верхнем контакте, которая поддерживает распространение обычных ПП вдоль данной пленки. Кроме того, в этом лазерном диоде с излучением через поверхность может содержаться многослойное зеркало, препятствующее уходу излучения в подложку.

Недостатком этого устройства являются очень большие потери излучения из-за
15 большого затухания обычных ПП в металлической пленке (как правило с толщиной пленки >30 нм) данного лазерного диода. Многослойное зеркало или зеркала в данном прототипе если используются, то только как зеркала вертикального резонатора, отражающие излучение перпендикулярно поверхности, а не как структура, поддерживающая распространение излучения вдоль поверхности.

20 В нашем же изобретении 1D ФК используется совсем в другом качестве - как подложка, поддерживающая длиннопребное распространение излучения вдоль поверхности данной структуры (т.е. по поверхности зеркала), что возможно только при определенных толщинах слоев в данной многослойной структуре и определенной толщине верхней металлической пленки, удовлетворяющих дисперсионному уравнению
25 поверхностных волн в данной многослойной структуре [4, 5].

Сущность изобретения

Задачами данного изобретения являются:

- 1) увеличение интенсивности выходного излучения и ослабление оптической обратной связи для светодиодов с торцевым выводом излучения,
- 30 2) улучшение пространственных и частотных характеристик излучения полупроводниковых лазеров с торцевым и вертикальным выводом излучения,
- 3) упрощение конструкции и уменьшение числа технологических операций при производстве полупроводниковых источников излучения с улучшенными пространственными и частотными характеристиками выходного излучения.

35 Поставленные задачи решаются нами благодаря тому, что в устройстве, описанном в прототипе [7], содержащем:

- А) активный слой из полупроводникового материала,
- В) электрические контакты, расположенные с обеих сторон от данного активного слоя, для накачки данного активного слоя электрическим током,
- 40 С) многослойную структуру с периодически чередующимися слоями с отличающимися показателями преломления, расположенную с одной стороны от данного активного слоя; нами предусмотрены следующие отличия:

Д) один из электрических контактов - верхний - представляет собой тонкую металлическую пленку толщиной от 3 нм до 30 нм, расположенную непосредственно
45 над данным активным слоем на расстоянии не более 70 нм от данного активного слоя,

Е) толщины слоев в данной многослойной структуре и толщина данного верхнего электрического контакта выбраны таким образом, чтобы данная структура поддерживала длиннопребное распространение излучения в моде,

распространяющейся вдоль поверхности данной структуры, причем эффективный показатель преломления излучения в данной моде отличается не более чем на $1/100$ от показателя преломления данного излучения во внешней среде.

Кроме того, предложенный источник излучения может отличаться тем, что

- 5 F) данная тонкая металлическая пленка, являющаяся данным верхним электрическим контактом, представляет собой пространственно-периодическую структуру с периодом, равным половине длины волны света, и играет роль распределенной обратной связи для генерации лазерного излучения в данном устройстве.

Дополнительно предложенный источник излучения может отличаться тем, что

- 10 G) в данной пространственно-периодической структуре может присутствовать гармоника с периодом, большим чем половина длины волны света, и при взаимодействии с данной гармоникой излучение будет выходить через поверхность структуры, а не через ее торец. Так, например, если период данной гармоники равен длине волны света, то излучение будет выходить перпендикулярно поверхности структуры. Это улучшит
15 пространственные характеристики выходного излучения (уменьшит астигматизм, как пример) данного полупроводникового излучателя по сравнению с торцевым выводом излучения (технический результат (2)).

- Совокупности существенных признаков (D-G) достаточно для достижения
обеспечиваемого изобретением технического результата (1-3). Причинно-следственная
20 связь между указанными существенными признаками (D-G) и достигаемым техническим результатом (1-3) заключается в том, что именно на поверхности фотонного кристалла с правильно подобранными толщинами слоев (существенный отличительный признак E) можно возбудить ДПП, распространяющиеся вдоль тонкой металлической пленки (существенный отличительный признак D) с малыми оптическими потерями в этой
25 пленке - много меньшими, чем потери при распространении ПП в толстых пленках (технический результат (1)). Кроме того, эффективный показатель преломления данной длиннопребной моды очень близок к показателю преломления данного излучения во внешней среде (см. пояснения после дисперсионного уравнения (1) ниже). Такого
малого эффективного показателя преломления внутри полупроводника невозможно
30 добиться при использовании обычных ПП или обычных волноводных волн в полупроводниковых гетероструктурах. Так как разница между эффективным показателем преломления моды и показателем преломления внешней среды мала, то, следовательно, паразитное отражение назад в полупроводник также пренебрежимо мало. Это позволяет дополнительно увеличить интенсивности выходного излучения
35 светодиодов с торцевым выводом излучения и ослабить паразитную оптическую обратную связь для светодиодов (технический результат (1)).

- Частотные характеристики излучения полупроводникового лазерного излучателя (технический результат (2)) можно улучшить за счет создания пространственной решетки на поверхности металлической пленки, которая создаст распределенную обратную
40 связь и обеспечит лазерную генерацию на фиксированной частоте (существенный признак G). Причем создание этой решетки производится после завершения роста эпитаксиальной полупроводниковой структуры и повторный эпитаксиальный рост после создания решетки не требуется (т.е. процедура etch-and-regrow исключается). Таким образом, изобретение позволяет упростить конструкцию и уменьшить число
45 технологических операций при производстве полупроводниковых источников излучения с улучшенными пространственными и частотными характеристиками выходного излучения (технический результат (3)).

Перечень фигур чертежей

Сущность изобретения и примеры, подтверждающие возможность его осуществления, поясняются ниже с помощью чертежей, на которых схематично изображено следующее.

Фиг.1 - схема полупроводникового светодиода на длиннопробежных поверхностных плазмонах с активным слоем 1 и многослойной структурой 2, эпитаксиально осажденными на полупроводниковую монокристаллическую подложку 5. Электрические контакты 3 и 4 используются для накачки данного активного слоя электрическим током, причем верхний электрический контакт 3 это металлическая пленка нанометровой толщины. Излучение 6 выводится через торец данного светодиода без обратного отражения в полупроводник.

Фиг.2 - схема полупроводникового лазера на длиннопробежных поверхностных плазмонах с торцевым выводом излучения, где роль распределенной обратной связи играет решетка с периодом $\lambda/2$, осажженная на металлическую пленку 3.

Фиг.3 - схема полупроводникового светодиода на длиннопробежных поверхностных плазмонах, в котором излучение выходит через поверхность после взаимодействия с решеткой с периодом, большим чем половина длины волны света. В представленном на чертеже случае, когда данный период решетки равен длине волны света λ , излучение выходит перпендикулярно поверхности.

Фиг.4 - схема полупроводникового лазера на длиннопробежных поверхностных плазмонах с вертикальным выводом излучения. Пространственно-периодическая структура на поверхности пленки 3 кроме периода, равного половине длины волны света, содержит пространственную гармонику с периодом, равным длине волны света. Пространственная гармоника с периодом $\lambda/2$ создает распределенную обратную связь в данном лазере, а пространственная гармоника с периодом λ выводит получившееся лазерное излучение перпендикулярно поверхности.

Сведения, подтверждающие возможность осуществления изобретения

Для более полного понимания изобретения и с целью его иллюстрации ниже приводятся расчеты возможного варианта его осуществления. Однако следует понимать, что возможны его различные модификации, очевидные для специалиста в данной области техники, не меняющие существа изобретения и не выходящие за пределы объема изобретения, определяемого прилагаемой формулой изобретения.

Ниже мы приведем конкретные параметры ФК, при которых ДПП распространяются по поверхности тонкой золотой пленки, осажженной на его поверхность. Пусть, к примеру, мы собираемся изготовить полупроводниковый источник света на длину волны $\lambda=660$ нм, используя квантовую яму из $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ и полупроводниковые слои из $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ (низкий показатель преломления) и $(\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ (высокий показатель преломления).

Общая процедура для расчета 1D ФК, поддерживающего распространение ДПП по металлической нанопленке вдоль своей поверхности, приведена в [5]. При заданных показателях преломления данной пары материалов предварительные толщины слоев из этих материалов получают из дисперсионной формулы для р-поляризованных оптических мод на поверхности полубесконечного 1D ФК:

$$k_{z(3)}d_3 = \pi M + \arctan \left(\frac{-i \left(Z_{(PC)}^{\text{into}} + Z_{(e)} \right) Z_{(3)}}{Z_{(3)}^2 + Z_{(PC)}^{\text{into}} Z_{(e)}} \right), \quad (1)$$

где $k_{z(3)}=(2\pi/\lambda)n_3\cos(\theta_3)$ и M это целое число.

Нормальный импеданс Z в этих выражениях - это отношение тангенсальных компонент электрического и магнитного полей:

$$Z = \frac{E_{\tan}}{H_{\tan}}. \quad (2)$$

Импеданс для р-поляризованной или ТМ волны есть:

$$Z = \frac{\cos(\theta)}{n} \quad (\text{ТМ}). \quad (3)$$

Входной импеданс для полубесконечного 1D ФК имеет следующую форму:

$$Z_{(PC)}^{\text{into}} = -\frac{i}{2} \frac{((Z_{(2)}^2 - Z_{(1)}^2) \tan(\alpha_2) \tan(\alpha_1) \pm \sqrt{s})}{Z_{(2)} \tan(\alpha_1) + Z_{(1)} \tan(\alpha_2)}, \quad (4)$$

где $s = -4Z_{(1)}Z_{(2)}(Z_{(2)}\tan(\alpha_1) + Z_{(1)}\tan(\alpha_2))(Z_{(1)}\tan(\alpha_1) + Z_{(2)}\tan(\alpha_2)) + [(Z_{(2)}^2 - Z_{(1)}^2)\tan(\alpha_1)\tan(\alpha_2)]^2$.

Дисперсионное уравнение (1) имеет решение, даже если финальная тонкая пленка с толщиной d_3 и с показателем преломления n_3 является металлической. В качестве тонкой металлической пленки, в данном примере, мы возьмем золотую пленку и зададим следующие параметры ФК: рабочий диапазон длин волн $\lambda = 658-660$ нм; показатель преломления слоя с низким показателем преломления L (состоящего из $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$), на данной длине волны равный $n_L = 3.05$; показатель преломления слоя с высоким показателем преломления H (состоящего из $(\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$), равный $n_H = 3.53$; показатель преломления золотой пленки Au, равный $n_3 = n_{\text{Au}} = 0.16369 + i \cdot 3.2282$, толщину золотой пленки зададим равной $d_3 = d_{\text{Au}} = 12$ нм; показатель преломления внешней среды (воздуха) $n_e = 1.0003$.

Из дисперсионного уравнения (1) получим приближенные значения толщин слоев L и H₁. Затем учтем, что у нас не полубесконечный фотонный кристалл, а конечное число чередующихся пар слоев H₁/L, осажденных на подложку из AsGa. Численно оптимизируем полученные из дисперсионного уравнения приближенные значения L и H₁ для реальной конечной системы на данной подложке и получим следующую структуру для ДПП:

$(n+)\text{подложка}/(n-H_1/n-L)^{18}/i-H_2/QW/i-H_2/\text{Au}/\text{воздух},$

где толщина слоев с низким показателем преломления (L) - состоящих из $\text{Al}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$, есть $d_L = 54.85$ нм, а толщины слоев с высоким показателем преломления (H) - состоящих из $(\text{Al}_{0.3}\text{Ga}_{0.7})_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$, равны:

H₁ с толщиной $d_{H1} = 51.05$ нм,

H₂ с толщиной $d_{H2} = 22.0$ нм.

Толщина квантовой ямы (QW), состоящей из материала $\text{Ga}_{0.5}\text{In}_{0.5}\text{P}$ ($n_{\text{QW}} = 3.515$), взята равной $d_{\text{QW}} = 10.0$ нм. Все показатели преломления приведены для длины волны $\lambda = 660$ нм. Символами i- и n- обозначены недопированные слои и слои с электронной проводимостью, соответственно.

Такая 39-слойная полупроводниковая ФК структура с указанными выше параметрами, покрытая 12 нм золотой пленкой, имеет дисперсию, представленную на Фиг.5. Дисперсия ФК представлена в координатах $\lambda(\rho)$, где λ - это длина волны, а ρ - это числовая апертура $\rho = n_0 \sin(\theta_0)$. Числовая апертура ρ может использоваться как угловая переменная вместо углов θ_j в различных слоях. Это будет универсальный

угловой параметр для всех слоев, так как, по закону преломления Снеллиуса, $\rho = n_0 \sin(\theta_0) = n_j \sin(\theta_j)$, для любого слоя j . Параметр ρ , при котором возбуждается поверхностная мода, равен эффективному показателю преломления этой моды. Следовательно, темная кривая на Фиг.5 (с усилением порядка 100) представляет собой дисперсию поверхностной оптической моды. Видно, что данная мода в рабочем диапазоне длин волн ($\lambda=658-660$ нм) возбуждается с эффективным показателем преломления моды $\rho \approx 1$. Например, при $\lambda=660$ нм, в представленной структуре, $\rho=1.0012$. Это означает, что при торцевом выводе излучения во внешнюю среду (воздух) с $n_e=1.0003$ она не будет испытывать отражения на границе полупроводник/воздух.

С другой стороны, из той же дисперсионной картины с Фиг.5 видно, что в рабочем диапазоне длин волн $\lambda=658-660$ нм внутри запрещенной зоны (светлая область) нет других мод куда могла бы излучиться энергия люминесценции квантовой ямы. Следовательно, можно ожидать увеличения интенсивности выходного излучения за счет эффективного преобразования энергии в излучение через данную поверхностную моду ДПП.

Список литературы

[1] H. Raether, Surface Plasmons. Berlin: Springer, 1988.

[2] D. Sarid, "Long-range surface-plasma waves on very thin metal films," Phys. Rev. Lett., vol.47, pp.1927-1930, December 1981.

[3] A.E. Craig, G.A. Olson, and D. Sarid, "Experimental observation of the long-range surface-plasmon polariton," Opt. Lett., vol.8, pp.380-382, July 1983.

[4] V.N. Konopsky and E.V. Alieva, "Long-range propagation of plasmon polaritons in a thin metal film on a one-dimensional photonic crystal surface," Phys. Rev. Lett., vol.97, no.25, pp.253904, 2006.

[5] V.N. Konopsky, "Plasmon-polariton waves in nanofilms on one-dimensional photonic crystal surfaces," New J. Phys., vol.12, pp.093006, 2010.

[6] E. Yablonovitch, "Photonic band-gap structures," J. Opt. Soc. Am. B, vol.10, no.2, pp.283-295, 1993.

[7] E. Gornik and A. Kock, "Surface-emitting laser diode," Sept. 10 1996. US Patent 5555255.

Формула изобретения

1. Источник излучения, содержащий:

активный слой из полупроводникового материала;

многослойную структуру с периодически чередующимися слоями с отличающимися показателями преломления, расположенную с одной стороны от данного активного слоя;

электрические контакты - верхний и нижний, расположенные с обеих сторон от данного активного слоя, для накачки данного активного слоя электрическим током; отличающийся тем, что:

один из электрических контактов - верхний - представляет собой тонкую металлическую пленку толщиной от 3 нм до 30 нм, расположенную непосредственно над данным активным слоем на расстоянии не более 70 нм от данного активного слоя;

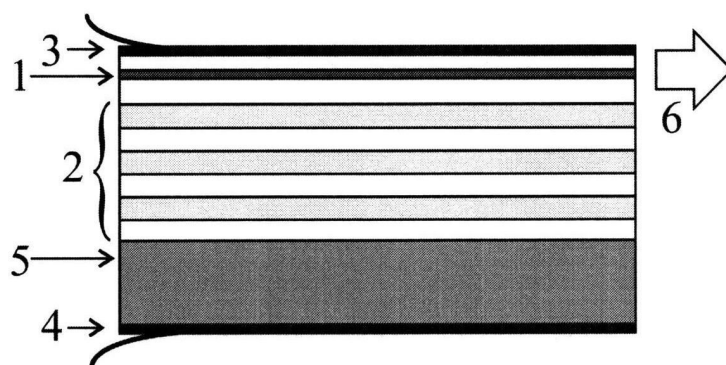
толщины слоев в данной многослойной структуре и толщина данного верхнего электрического контакта выбраны таким образом, чтобы данная структура

поддерживала длиннопробежное распространение излучения в моде, распространяющейся вдоль поверхности данной структуры, причем эффективный показатель преломления излучения в данной моде отличается не более чем на 1/100 от показателя преломления данного излучения во внешней среде.

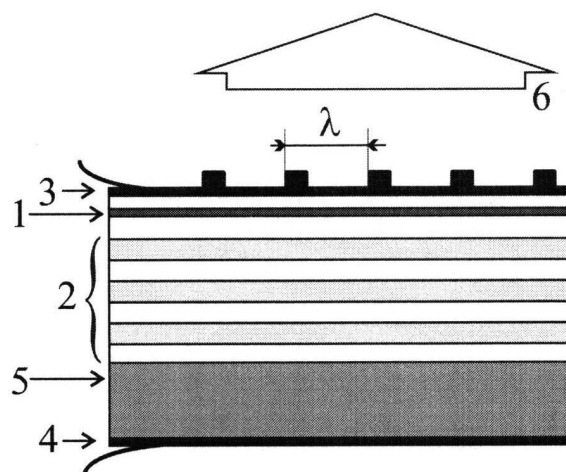
2. Устройство по п.1, отличающееся тем, что данная тонкая металлическая пленка, являющаяся данным верхним электрическим контактом, представляет собой пространственно-периодическую структуру с периодом, равным половине длины волны света, и играет роль распределенной обратной связи для генерации лазерного излучения в данном устройстве.

3. Устройство по п.1, отличающееся тем, что данная тонкая металлическая пленка, являющаяся данным верхним электрическим контактом, представляет собой пространственно-периодическую структуру с периодом, большим чем половина длины волны света, и выходное излучение после взаимодействия с данной пространственно-периодической структурой выходит не через торец данного устройства, а через его поверхность.

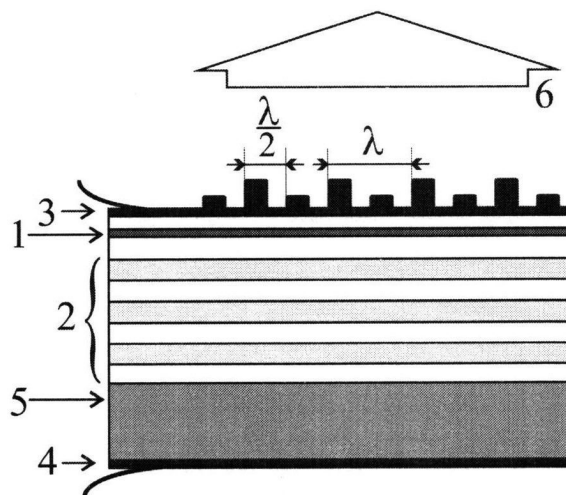
4. Устройство по п.2, отличающееся тем, что в данной пространственно-периодической структуре кроме периода, равного половине длины волны света, присутствует пространственная гармоника с периодом, большим чем половина длины волны света, и выходное лазерное излучение после взаимодействия с данной пространственной гармоникой в данной пространственно-периодической структуре выходит не через торец данного устройства, а через его поверхность.



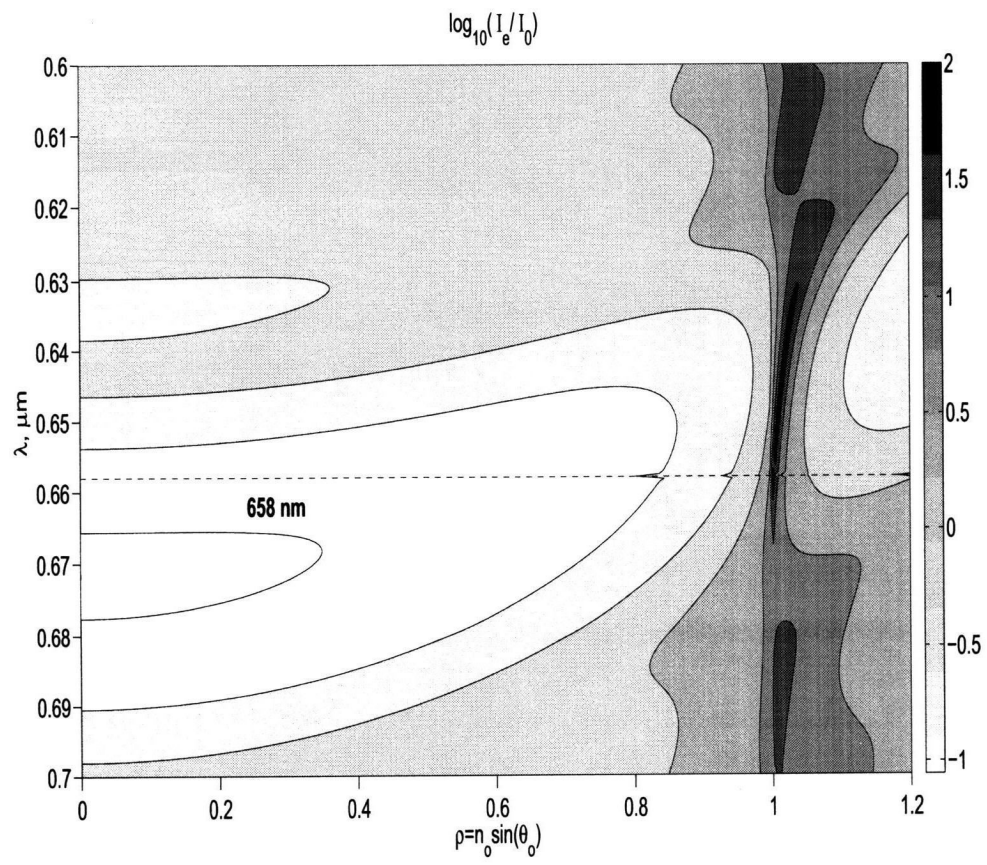
Фиг. 1



Фиг. 3



Фиг. 4



Фиг. 5