



ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА  
ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ

## (12) ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(52) СПК  
*H01S 5/343* (2006.01)

(21)(22) Заявка: 2017146423, 27.12.2017

(24) Дата начала отсчета срока действия патента:  
27.12.2017

Дата регистрации:  
05.07.2018

Приоритет(ы):

(22) Дата подачи заявки: 27.12.2017

(45) Опубликовано: 05.07.2018 Бюл. № 19

Адрес для переписки:  
197101, Санкт-Петербург, Кронверкский пр., 49,  
Университет ИТМО, ОИС и НТИ

(72) Автор(ы):

Бабичев Андрей Владимирович (RU),  
Бугров Владислав Евгеньевич (RU),  
Егоров Антон Юрьевич (RU),  
Карачинский Леонид Яковлевич (RU),  
Новиков Иннокентий Игоревич (RU),  
Курочкин Александр Сергеевич (RU)

(73) Патентообладатель(и):

федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
образования "Санкт-Петербургский  
национальный исследовательский  
университет информационных технологий,  
механики и оптики" (Университет ИТМО)  
(RU)

(56) Список документов, цитированных в отчете  
о поиске: RU 2257640 C1, 27.07.2005. RU  
172195 U1, 30.06.2017. US 9742151 B1,  
22.08.2017. US 8098701 B2, 17.01.2012. WO  
2008073846 A2, 19.06.2008.

(54) Гетероструктура квантово-каскадного лазера

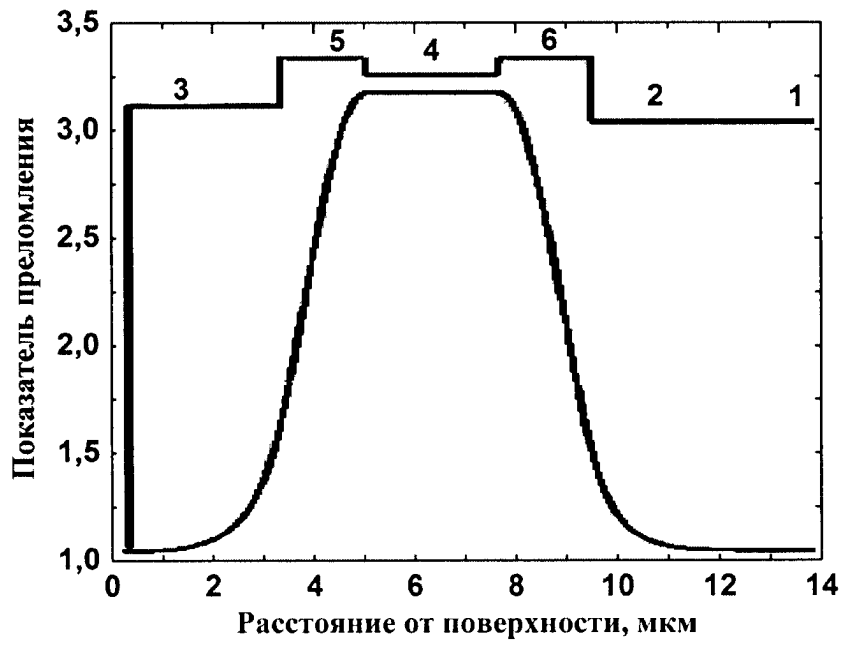
(57) Реферат:

Использование: для изготовления гетероструктур квантово-каскадных лазеров. Сущность полезной модели заключается в том, что квантово-каскадного лазер состоит из формирующих квантовые каскады чередующихся слоев InGaAs и InAlAs с обкладками из InP и InAlAs, дополнительных слоев из InGaAs с отношением толщин этих слоев к толщине

области квантовых каскадов в диапазоне 0,6-0,7, а также использование дополнительного слоя из InGaAs с большей толщиной со стороны обкладки из InP на 9-10%, чем со стороны обкладки из InAlAs. Технический результат обеспечение возможности повышения насыщенного оптического усиления. 1 ил.

RU 181198 U1

RU 181198 U1



Интенсивность световой волны, отн. ед.

RU 181198 U1

RU 181198 U1

Полезная модель относится к оптоэлектронной технике и может быть использована для изготовления гетероструктур квантово-каскадных лазеров на подложках из InP, работающих в среднем инфракрасном диапазоне длин волн от 5 до 10 мкм.

Для создания обкладок волновода, базовой конструкции гетероструктуры квантово-каскадных лазеров на подложке InP с длиной волны генерации 5-10 мкм, характерно использование материалов InP и/или InAlAs, по причине меньшего показателя преломления этих материалов по сравнению с областью, являющейся полостью волновода, содержащей квантовые каскады, состоящие из чередующихся слоев InGaAs и InAlAs. Одним из подходов увеличения квантовой эффективности является увеличение количества квантовых каскадов. Известно, что квантовая эффективность и выходная оптическая мощность растут линейно с числом каскадов. Масштабирование оптической мощности было продемонстрировано ранее [M. Razeghi and S. Slivken, High power quantum cascade lasers grown by Gas MBE, OPTO-ELECTRONICS REVIEW 11(2), 85-91 (2003)]. Недостатком таких устройств является следующее. При увеличении числа каскадов изменяется толщина полости оптического волновода и, как следствие, коэффициент перекрытия каждого индивидуального каскада с оптической волноводной модой (фактор оптического перекрытия). Несмотря на то, что суммарный фактор перекрытия оптической моды с областью квантовых каскадов при увеличении числа каскадов приближается к единице, для части каскадов, которые располагаются вблизи обкладок волновода, интенсивность световой волны оказывается существенно ниже чем для каскадов, расположенных в центральной части полости волновода, и их вклад в оптическое усиление незначителен. Увеличение числа каскадов также приводит к увеличению электрического напряжения, при котором возникает эффективное туннелирование электронов через гетероструктуру квантово-каскадного лазера, и к увеличению электрического сопротивления прибора. Оба последних фактора оказывают негативное воздействие на работу известных квантово-каскадных лазеров, поскольку приводят к их дополнительному разогреву. В результате плотность порогового тока с увеличением числа каскадов перестает уменьшаться, а начинает увеличиваться. Квантовая эффективность такого квантово-каскадного лазера на практике существенно ниже ожидаемого значения, поскольку не все каскады используются с одинаковой эффективностью.

Наиболее близкой к предлагаемой полезной модели является гетероструктура квантово-каскадного лазера, содержащая подложку InP, слои InP, формирующие обкладки волновода, квантовые каскады, состоящие из чередующихся слоев InGaAs и InAlAs с большим значением среднего показателя преломления, чем у слоев InP, дополнительные слои из InGaAs, расположенные внутри волновода со стороны обкладок из InP, обладающих наибольшим значением показателя преломления и формирующих вместе с квантовыми каскадами полость волновода [J. Faist et al., "High-power continuous-wave quantum cascade lasers," in IEEE Journal of Quantum Electronics, vol. 34, no. 2, pp. 336-343, Feb 1998.]. Недостатком этого устройства является более низкая квантовая эффективность из-за использования дополнительных слоев InGaAs малой толщины (400 нм), несоизмеримых с толщиной области квантовых каскадов. Это приводит к возникновению неплоского профиля оптической моды в области квантовых каскадов, что сказывается на распределении интенсивности световой волны в области квантовых каскадов, и соответственно приводит к снижению квантовой эффективности.

Задачей, на решение которой направлена предлагаемая полезная модель, является повышение квантовой эффективности квантово-каскадного лазера до максимального значения. Данная задача решается за счет достижения технического результата,

закрывающегося в повышении насыщенного оптического усиления и упрощение изготовления гетероструктуры методом молекулярно-пучковой эпитаксии.

Технический результат достигается тем, что гетероструктура квантово-каскадного лазера, содержащая подложку из InP, формирующие обкладки волновода два слоя, один из которых InP, квантовые каскады, состоящие из чередующихся слоев InGaAs и InAlAs с большим значением среднего показателя преломления, чем у формирующих обкладки волновода слоев, расположенные внутри волновода со стороны этих обкладок дополнительные слои из InGaAs, с наибольшим значением показателя преломления, формирующие вместе с квантовыми каскадами полость волновода, отличается тем, что второй из формирующих обкладки волновода слой выполнен из InAlAs, величина отношения толщины дополнительных слоев InGaAs к толщине области, содержащей квантовые каскады, находится в диапазоне 0.6-0.7, а их толщина со стороны обкладки из InP больше на 9-10%, чем со стороны обкладки из InAlAs.

На фиг. показано схематическое изображение гетероструктуры оптического волновода квантово-каскадного лазера. Приведен профиль показателя преломления для гетероструктуры квантово-каскадного лазера и профиль распределения интенсивности световой волны

Предлагаемая гетероструктура оптического волновода квантово-каскадного лазера состоит из подложки 1 из InP, двух формирующих обкладки волновода слоев. Один из этих слоев 2, примыкающий к подложке 1, состоит из InP. Этот слой легирован примесью n-типа до уровня  $1,0 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Второй формирующий обкладки волновода слой 3, выполнен из  $\text{In}_{0,52}\text{Al}_{0,48}\text{As}$  толщиной 3,0 мкм и легирован кремнием до уровня  $1,0 \times 10^{17} \text{ см}^{-3}$ . Плотность волновода 4, состоит из 50 квантовых каскадов со средним показателем преломления 3,291 с суммарной толщиной 2,64 мкм и дополнительных слоев 5 и 6 из  $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$ , легированных кремнием до уровня  $5,0 \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$ .

Материалы InP и/или InAlAs, используются в качестве обкладок волновода, квантовые каскады, состоящие из чередующихся слоев InGaAs и InAlAs, с большим значением среднего показателя преломления, чем у InP и InAlAs, и два дополнительных слоя InGaAs формируют полость волновода. Дополнительные, соизмеримые по толщине с областью квантовых каскадов, слои InGaAs, обладающие наибольшим значением показателя преломления, добавляются в полость волновода с целью формирования идеально плоского профиля оптической моды в области квантовых каскадов.

Идеально плоский профиль оптической моды в области квантовых каскадов достигается при значениях толщин дополнительных слоев из  $\text{In}_{0,53}\text{Ga}_{0,47}\text{As}$   $1,83 \pm 0,04$  мкм, со стороны InP, и  $1,67 \pm 0,03$  мкм - со стороны  $\text{In}_{0,52}\text{Al}_{0,48}\text{As}$ . Расчет профиля пространственного распределения световой волны выполнен для длины волны 7,5 мкм (фиг.). Расчет и компьютерное моделирование показали, что изменение толщин этих слоев на величину более чем на 2% приводит к существенной и нежелательной модификации пространственного распределения световой волны и потере прямоугольной формы пространственного распределения световой волны в области квантовых каскадов, что приводит к падению значения насыщенного оптического усиления.

Наличие в предлагаемой гетероструктуре квантово-каскадного лазера полупроводниковых слоев с как меньшим (InP и InAlAs), так и большим (дополнительные слои из InGaAs), значениями показателя преломления, чем у области содержащей квантовые каскады, а также соотношение толщины дополнительных слоев из InGaAs

к толщине области, содержащей квантовые каскады, в диапазоне 0,6-0,7 позволяет сформировать идеально плоский профиль оптической моды в области квантовых каскадов, иными словами, обеспечить идеально плоское распределение интенсивности световой волны в области квантовых каскадов. Это обуславливает значительное  
5 повышение насыщенного оптического усиления, что в свою очередь позволяет достичь максимально возможного значения квантовой эффективности. Кроме того, выполнение второго формирующего волновод слоя 3 из InAlAs упрощает изготовление таких гетероструктур методом молекулярно-пучковой эпитаксии из-за высокой летучести фосфора и, как следствие, повышенных требований к вакуумной системе установки  
10 молекулярно-пучковой эпитаксии.

(57) Формула полезной модели

Гетероструктура квантово-каскадного лазера, содержащая подложку из InP, формирующие обкладки волновода два слоя, один из которых InP, квантовые каскады,  
15 состоящие из чередующихся слоев InGaAs и InAlAs с большим значением среднего показателя преломления, чем у формирующих обкладки волновода слоев, расположенные внутри волновода со стороны этих обкладок дополнительные слои из InGaAs, с наибольшим значением показателя преломления, формирующие вместе с квантовыми каскадами полость волновода, отличающаяся тем, что второй из  
20 формирующих обкладки волновода слой выполнен из InAlAs, величина отношения толщины дополнительных слоев InGaAs к толщине области, содержащей квантовые каскады, находится в диапазоне 0,6-0,7, а их толщина со стороны обкладки из InP больше на 9-10%, чем со стороны обкладки из InAlAs.

25

30

35

40

45

## Гетероструктура квантово-каскадного лазера

