



(19) RU (11) 2106730 (13) C1

(51) 6 H 01 S 3/00, 3/16

Комитет Российской Федерации  
по патентам и товарным знакам

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ**  
к патенту Российской Федерации

1

- (21) 95115865/25 (22) 12.09.95  
(46) 10.03.98 Бюл. № 7  
(72) Галямов Б.Ш., Егоров Б.М., Максименко В.В., Мальцев П.П., Яблоков М.Ю.  
(71) (73) Научно-исследовательский физико-химический институт им.Л.Я.Карпова  
(56) Федер Е. Фракталы. - М.: Мир, 1991, с. 17 - 19. McCall at.al - Whispering-gallery mode microdisk lasers.-Appl.Phys.Lett., 1992, v. 60, N 3, p. 289 - 291.  
(54) СПОСОБ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СВЕТА В КОГЕРЕНТНЫЙ АКТИВНЫМИ СРЕДАМИ МИКРОННОГО РАЗМЕРА  
(57) Использование: изобретение относится к области оптоэлектроники и интегральной оптики, в частности к способам получения

2

когерентного света. Сущность: активная среда содержит фрактальные микрокластеры (агрегаты) пространственно скоррелированных твердых частиц нанометрового размера, не обязательно поглощающих. Такие микрообъекты являются оптическими микрорезонаторами благодаря многократному переотражению света между наночастицами внутри кластера. Когерентное излучение возникает в результате индуцированного внешним излучением вынужденного испускания света, локализованного в кластере. Пространственное ориентирование выходного излучения осуществляется изменением направления падающего света.

RU 2106730 C1

RU 2106730 C1

Изобретение относится к области оптоэлектроники и интегральной оптики, в частности к способу получения направленного когерентного излучения света устройствами микронного размера.

Микролазеры являются базовым элементом современной оптоэлектроники и интегральной оптики [1]. Активной средой таких устройств являются материалы на основе квантово-размерных структур, представляющих собой тонкие разнородные слои полупроводниковых соединений, а оптический резонатором - часть объема, ограниченная гетерограницами и/или межфазными границами с внешней средой. От качества резонатора зависят основные характеристики испускаемого излучения: мощность, направленность, монохроматичность, когерентность. Уменьшение размеров микролазеров, а следовательно, активной зоны, сопровождается ослаблением "зеркальных свойств" резонатора. Вследствие этого зародившееся излучение быстро покидает активную зону, распространяясь в различные стороны, что существенным образом ухудшает основные характеристики выходного излучения.

Известны различные способы локализации света в активной среде микролазеров. В полосковых гетеролазерах с различным ограничением электронов и фотонов излучение, зарождаясь и усиливаясь в нанометровой активной зоне, диссипирует не во все стороны, а переходит в полупроводниковый слой гетероструктуры с большими размерами, выполняющий роль горизонтального оптического волновода и обеспечивающий направленность лазерного излучения. В микролазерах с поверхностным излучением световая волна распространяется внутри вертикального оптического резонатора, образованного несколькими полупроводниковыми слоями нанометровых толщин и выходит перпендикулярно поверхности слоев.

Наиболее близким техническим решением к заявляемому является способ получения когерентного излучения дисковым микролазером [2]. Основой этого устройства является микроскопический диск, составленный из нанометровых слоев полупроводниковых соединений, тройных и четверных. При оптической накачке такого микролазера свет циркулирует внутри диска, отражаясь от его боковых границ. Дисковые микролазеры обладают очень малыми размерами (диаметр диска составляет единицы микрон при толщине порядка 0,1 мкм) и высоким коэффициентом усиления света, более чем на порядок превосходящим аналогичный

параметр микролазеров с горизонтальным и вертикальным резонаторами.

Однако известный способ имеет следующий основной недостаток.

Испускание света осуществляется по всему периметру окружности диска, т.е. узкий направленный поток когерентного излучения отсутствует. Кроме того, излучение распространяется параллельно поверхности диска, что существенно усложняет интегрирование микролазера с другими элементами микросхемы.

Техническим результатом реализации изобретения является получение ориентированного в любом выбранном направлении узкого потока когерентного излучения устройствами микронного размера. Поставленная задача достигается переходом от квантово-размерной структуры активной зоны к масштабной-инвариантной. Способ основывается на явлении эффективного поглощения и локализации света в объеме фрактального кластера. Последний представляет собой агрегат микронного размера с ажурной структурой, состоящий из организованных определенным образом твердых наночастиц [3]. Фрактальные кластеры характеризуются двумя специфическими особенностями, обусловленными их масштабной инвариантностью: дальнедействующими корреляциями в пространственном распределении частиц в кластере и наличием в них большого числа полостей с  $\sigma$  степенным распределением по размерам. В результате взаимодействия с оптическим излучением внутри кластера может накопиться большое число фотонов. Механизмов запасаения света несколько, но основными являются следующие.

1. Возбуждение поверхностных плазмонов и наночастицах, если последние являются металлическими.
2. Удержание фотонов вследствие многократного переотражения света внутри групп скоррелированных частиц. Аккумуляция энергии падающего излучения осуществляется не за счет инверсной заселенности энергетических уровней активной среды, а вследствие его трансформации в стоячие волны в полостях кластера. При этом сами частицы могут быть абсолютно не поглощающими.

Согласно расчетам, в фрактальном кластере с размером  $L = 1$  мкм одновременно могут удерживаться до

$$n = N_c^{3(2-D)/D}$$

фотонов. Здесь  $D$  - фрактальная размерность кластера,  $N_c$  - число скоррелированных частиц в группе. В приведенном ниже примере конкретной реализации способа технического решения значения  $D = 1,8$ , среднем размере частиц  $d = 50$  нм и корреляционной длине  $L_c = 200$  нм

$$N_c = (L_c/d)^D = 12.$$

Уже при значении  $N_c = 12$  число удерживаемых фотонов  $n = 6 \cdot 10^7$ , что значительно превосходит число наночастиц в кластере микронного размера:

$$N = (L/d)^D = 10^4.$$

Время жизни локализованных фотонов в кластере  $t = \epsilon/\omega = 8 \cdot 10^{-11}$  с, где

$$\epsilon = N_c^{3(2-D)} = 8 \cdot 10^3$$

есть относительная диэлектрическая проницаемость кластера, а  $\omega \approx 10^{14}$  с<sup>-1</sup> - частота излучения.

Время жизни фотонов в фрактальном кластере оказывается на много порядков больше времени нахождения в кластере свободного фотона:  $L/c = 10^{-14}$  сек (с-скорость света). При уменьшении фрактальной размерности корреляционная длина  $L_c$ , а следовательно и  $N_c$ , возрастают. Соответственно, очень быстро увеличиваются  $n$  и  $t$ . Все это однозначно свидетельствует о наличии эффективной локализации света в фрактальных кластерах.

Одновременное испускание накопленных фотонов осуществляется облучением кластера светом с длиной волны, сравнимой с размерами кластера или групп скоррелированных частиц. В результате резонансного упругого рассеяния света системой скоррелированных частиц в направлении падающего излучения возникает чрезвычайно узкий поток когерентного света, из-за разряженности кластера не сопровождаемый заметными потерями.

Заявленное решение отличается от прототипа тем, что в качестве активной зоны используются фрактальные микрокластеры или агрегаты частиц нанометрового размера. Интерференционные эффекты возникают благодаря многократному переотражению света не от внешней границы активной зоны, как это предлагается в прототипе, а между наночастицами внутри группы скоррелированных частиц фрактального кластера. Это отличие позволяет сделать вывод о соответствии заявленного технического решения критерию "новизна".

В отличие от известных способов, где направление распространения выходного излучения оказывается единственно возмож-

ным и задается геометрией активной зоны, а в дисковом микролазере свет испускается по всем направлениям, параллельным поверхности диска, заявленное техническое решение позволяет ориентировать выходное излучение в любом заданном направлении простым изменением направления падающего излучения. Это позволяет сделать вывод о соответствии технического решения критерию "изобретательский уровень".

Предлагаемый способ получения ориентированного потока когерентного излучения реализуется следующим образом.

Фрактальные кластеры получают методом импульсного лазерного испарения поверхности металлических мишеней. В примере используются титан и олово, однако природа металла не является существенной. В процессе разлета слабоионизованный пар охлаждается и конденсируется в ультрамалые твердые частицы. Согласно электронной микроскопии высокого разрешения, средние размеры этих частиц составляют 50 нм. Фрактальные кластеры образуются в процессе агрегации наночастиц. Определенные методом малоуглового рентгеновского рассеяния фрактальная размерность кластеров  $D$  и корреляционная длина  $L_c$  равны 1,8 и 200 нм, соответственно. Оптические исследования проводятся на осажденных на прозрачные подложки макрообъектах, образованных связанными только дипольными моментами фрактальными кластерами.

Оптическая накачка может осуществляться различными источниками света. В рассматриваемом примере используется ксеноновая лампа типа ДКсШ-120. Освещение фрактального объекта осуществляется отфильтрованным излучением через круглое отверстие диаметром 1 мм. Проведенный с помощью светосильного монохроматора МДР-2 и интерферометра анализ показывает, что спектральные характеристики входного и выходного излучения в целом идентичны за исключением одного существенного момента, а именно: испускаемое излучение содержит когерентную составляющую, полностью отсутствующую в излучении накачки. Изменение угла падения входного сигнала сопровождается изменением направления распространения выходного излучения, при этом его основные оптические характеристики не меняются. Доля когерентного компонента уменьшается с понижением мощности входного излучения. Пороговое значение мощности излучения накачки, необходимое для появления когерентного излучения, составляет в пересчете на один кластер 100 мкВт, что хорошо согласуется со значением,

следующим из описания сущности изобретения:

$$P = E/\tau\alpha = 20 \text{ мкВт},$$

где

$\alpha = \omega\epsilon L^3/c$  - эффективное сечение поглощения, приходящееся на одну частицу кластера,  $E$  - энергия кванта излучения. Для сравнения, пороговая мощность излучения накачки дискового микролазера составляет 500 мкВт.

Использование предлагаемого способа получения когерентного излучения обеспечивает по сравнению с другими способами следующие преимущества:

получение легко ориентируемого в любом заданном направлении потока когерентного излучения;

для приготовления микрообъектов вместо сложной послойной литографической техники получения квантово-размерных структур могут быть использованы простые золь-гель и родственные технологии или различные неравновесные методы распыления.

Источники информации

1. Свечников Г.С. Интегральная оптика. - Киев.: Наукова Думка, 1988.
2. McCall S.C., Levi A.F.J., Slusher R.E., Pearton S.J., Logan R.A. Whispering-gallery mode microdisk lasers. - Appl. Phys. Lett., 1992, v. 60, N 3, p. 289 - 291.
3. Федер Е. Фракталы. - М.: Мир, 1991.

### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ преобразования света в когерентный активными средами микронного размера, заключающийся в генерации ориентируемого в заданном направлении потока когерентного излучения, возникающего в результате индуцированного внешним сигналом вынужденного испускания света,

локализованного в активной среде, отличающийся тем, что в качестве активной среды используют фрактальные кластеры пространственно скоррелированных твердых частиц нанометрового размера.

Заказ *7m* Подписное  
ВНИИПИ, Рег. ЛР № 040720  
113834, ГСП, Москва, Раушская наб., 4/5

121873, Москва, Бережковская наб., 24 стр. 2.  
Производственное предприятие «Патент»