

# ОПИСАНИЕ ПОЛЕЗНОЙ МОДЕЛИ К ПАТЕНТУ

(12)

РЕСПУБЛИКА БЕЛАРУСЬ



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ЦЕНТР  
ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ  
СОБСТВЕННОСТИ

(19) ВУ (11) 8891

(13) U

(46) 2012.12.30

(51) МПК

H 01S 3/16 (2006.01)

## (54) ТВЕРДОТЕЛЬНЫЙ ЭРБИЕВЫЙ ЛАЗЕР С ДИОДНОЙ НАКАЧКОЙ

(21) Номер заявки: u 20120607

(22) 2012.06.14

(71) Заявитель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

(72) Авторы: Гапоненко Максим Сергеевич; Скопцов Николай Александрович; Мажаревич Александр Михайлович; Юмашев Константин Владимирович (ВУ)

(73) Патентообладатель: Белорусский национальный технический университет (ВУ)

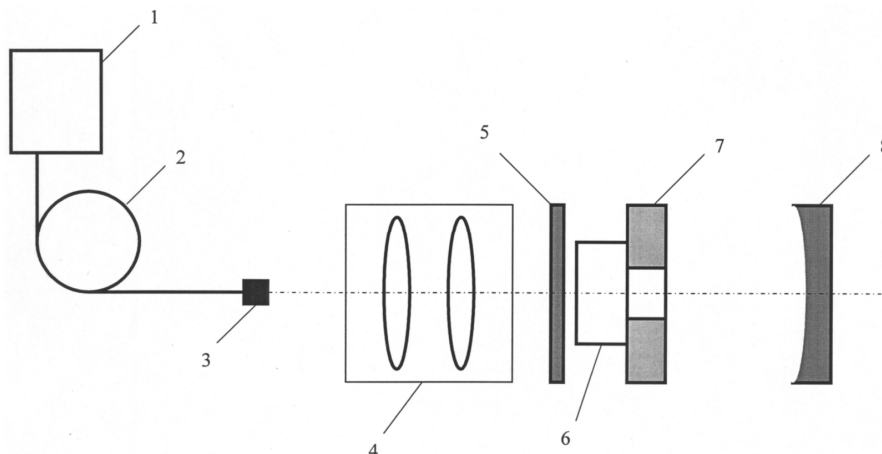
(57)

Твердотельный эрбиевый лазер с диодной накачкой, содержащий лазерный диод накачки с волоконным выходом и последовательно установленные за выходным торцом волокна объектив, обеспечивающий фокусировку излучения накачки, входное зеркало резонатора, активный элемент, установленный на теплоотводе перпендикулярно оптической оси объектива, и выходное зеркало резонатора, отличающийся тем, что активный элемент выполнен из полифункционального наноматериала, активированного ионами иттербия, эрбия и кобальта, и сочетает в себе свойства активной лазерной среды и пассивного лазерного затвора.

(56)

1. Yumashev K.V., Denisov I.A., Posnov N.N., Prokoshin P.V., Mikhailov V.P. Nonlinear absorption properties of  $\text{Co}^{2+}:\text{MgAl}_2\text{O}_4$  crystal // Appl. Phys. B. - 2000. - Vol. 70. - P. 179-184.

2. Tolstik N.A., Troshin A.E., Kurilchik S.V., Kisel V.E., Kuleshov N.V., Matrosov V.N., Matrosova T.A., Kupchenko M.I. Spectroscopy, continuous-wave and Q-switched diode-pumped laser operation of  $\text{Er}^{3+}, \text{Yb}^{3+}:\text{YVO}_4$  crystal // Applied Physics B. - 2007. - Vol. 86. - P. 275-278.



ВУ 8891 U 2012.12.30

Полезная модель относится к области лазерной техники, в частности к твердотельным лазерам с диодной накачкой, и может быть использована в приборостроении при создании малогабаритных лазерных источников, излучающих в спектральном диапазоне 1,5...1,6 мкм.

Лазеры, излучающие в области длин волн 1,5...1,6 мкм, привлекают внимание разработчиков электронно-оптической техники благодаря тому, что такое излучение является наиболее безопасным для глаз, так как, в отличие от излучения в диапазоне около 1 мкм, испытывает интенсивное поглощение во внешних элементах светопреломляющей системы глаза (роговица и хрусталик) и не достигает значительно более чувствительной сетчатки; во-вторых, данное излучение обладает малыми потерями при распространении через атмосферу (попадает в так называемое второе окно прозрачности атмосферы). Кроме этого, существует возможность передачи такого излучения по кварцевым волокнам на большие расстояния с минимальными искажениями. Широко распространенными средами для получения лазерной генерации в данном спектральном диапазоне являются кристаллы и стекла, активированные ионами трехвалентного эрбия. Для повышения эффективности накачки используют дополнительную соактивацию активной среды ионами-сенсibilизаторами; в частности, при узкополосной накачке лазерными диодами в области длины волны 1 мкм в качестве сенсibilизаторов, как правило, выступают ионы трехвалентного иттербия. Эффективность накачки увеличивается благодаря тому, что ионы-сенсibilизаторы эффективно поглощают излучение накачки и безызлучательным образом передают энергию электронного возбуждения ионам эрбия. Такой процесс резонансного переноса энергии является эффективным источником возбуждения верхнего лазерного уровня ионов эрбия.

Режим модуляции добротности лазерного резонатора, достигаемый с использованием активных или пассивных затворов, позволяет осуществить генерацию лазерных импульсов в высокой пиковой интенсивности. Применение для этой цели насыщающихся поглотителей (пассивных затворов) имеет ряд преимуществ по сравнению с использованием активных модуляторов: они просты в изготовлении и эксплуатации, дешевы и долговечны. В качестве пассивных затворов лазеров спектрального диапазона 1,5...1,6 мкм наиболее широко используются кристаллы, активированные тетраэдрически координированными ионами двухвалентного кобальта. В этих кристаллах ионы кобальта имеют полосу поглощения в области 1,3...1,6 мкм, сечение поглощения в которой существенно выше, чем сечение стимулированного излучения ионов эрбия в активных элементах на основе стекол, активированных ионами эрбия. Поэтому использование таких пассивных затворов возможно без дополнительной фокусировки излучения внутри лазерного резонатора. Предложены также стеклокристаллические материалы с ионами кобальта, которые сочетают полезные свойства монокристаллов за счет выделения соответствующей кристаллической фазы с преимуществами производства по стекольной технологии, более легкой, гибкой и дешевой, чем выращивание монокристаллов.

Известен твердотельный эрбиевый лазер, работающий в режиме модуляции добротности резонатора [1]. Резонатор лазера состоит из сферического высокоотражающего на длине волны генерации зеркала с радиусом кривизны 100 см и плоского частично пропускающего на длине волны генерации выходного зеркала. Длина резонатора составляет 30 см. Активный элемент из стекла, активированного ионами эрбия, выполнен в виде стержня длиной 50 мм и диаметром 3 мм. Используется ламповая накачка активного элемента. Для охлаждения активного элемента используется водяной контур охлаждения. Активный элемент размещен в массивном квантроне, который обеспечивает возможность размещения в нем лампы накачки и подключения водяного охлаждения. Пассивный затвор (кристалл  $MgAl_2O_4$ , легированный тетракоординированными двухвалентными ионами кобальта  $Co^{2+}$ ) расположен между активным элементом и выходным зеркалом на отдельном держателе.

К недостаткам такого устройства следует отнести низкую эффективность работы, необходимость использования активных элементов больших размеров, значительную сложность

и массивность конструкции и высокое энергопотребление, обусловленные использованием систем водяного охлаждения и ламповой накачки, невозможность реализации компактного лазерного источника излучения.

Наиболее близким по технической сущности к предлагаемому является эрбиевый лазер на основе кристалла Yb,Er:YVO<sub>4</sub> с диодной накачкой и пассивной модуляцией добротности кристаллом магний-алюминиевой шпинели (MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>), легированный ионами кобальта (Co<sup>2+</sup>) [2], содержащий лазерный диод накачки с волоконным выходом и последовательно установленные за торцом волокна объектив, обеспечивающий фокусировку излучения накачки, высокоотражающее на длине волны генерации входное зеркало резонатора, установленные перпендикулярно оптической оси объектива активный элемент (активированный трехвалентными ионами эрбия Er<sup>3+</sup> и иттербия Yb<sup>3+</sup> кристалл YVO<sub>4</sub>, размещенный на медном теплоотводе) и пассивный затвор (кристалл MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>, легированный тетракоординированными двухвалентными ионами кобальта Co<sup>2+</sup>), частично пропускающее на длине волны генерации выходное зеркало резонатора.

Источником излучения накачки служит лазерный диод с волоконным выходом (длина волны излучения 970...980 нм). Волоконный выход излучения лазерного диода, выполненный средствами и технологией интегральной оптики, обеспечивает герметичность и значительно упрощает конструкцию лазера (отпадает необходимость в цилиндрических и астигматических линзах), улучшает качество пучка излучения накачки, преобразуя пучок в форму осесимметричного конуса с перетяжкой на выходном торце волокна, и повышает равномерность распределения мощности по поперечному сечению пучка. Наличие волокна также защищает эмиттер лазерного диода от обратного излучения и позволяет размещать диод накачки в любом удобном месте, обеспечив его оптимальное конвективное охлаждение. Для фокусировки излучения накачки в активный элемент использован двухлинзовый объектив. Излучение источника накачки фокусируется внутри активного элемента. Резонатор лазера имеет полусферическую конфигурацию и состоит из плоского высокоотражающего на длине волны генерации входного зеркала, полностью пропускающего излучение накачки, и вогнутого выходного зеркала, частично пропускающего на длине волны генерации, с радиусом кривизны 50 мм. Активный элемент закреплен на медном теплоотводе и расположен максимально близко к входному зеркалу. Пассивный затвор расположен между активным элементом и выходным зеркалом резонатора на расстоянии 4 мм от активного элемента. Диаметр TEM<sub>00</sub> моды резонатора внутри активного элемента близок к диаметру перетяжки пучка накачки.

К недостаткам прототипа следует отнести то, что активная среда лазера (кристалл Yb,Er:YVO<sub>4</sub>) и пассивный затвор (Co<sup>2+</sup>:MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) являются двумя различными оптически элементами, что усложняет конструкцию лазера.

Задача, на решение которой направлено предлагаемое устройство, заключается в упрощении конструкции.

Поставленная задача решается тем, что в твердотельном эрбиевом лазере с диодной накачкой, содержащем лазерный диод накачки с волоконным выходом и последовательно установленные за выходным торцом волокна объектив, обеспечивающий фокусировку излучения накачки, высокоотражающее на длине волны генерации входное зеркало резонатора, установленный на медном теплоотводе перпендикулярно оптической оси объектива активный элемент, частично пропускающее на длине волны генерации выходное зеркало резонатора, активный элемент выполнен из полифункционального наноматериала, активированного ионами иттербия, эрбия и кобальта, и сочетает в себе свойства активной лазерной среды и пассивного лазерного затвора.

Входное зеркало резонатора является плоским. На него нанесено многослойное диэлектрическое покрытие, полностью отражающее на длине волны генерации и полностью пропускающее на длине волны накачки. Выходное зеркало резонатора является сферическим с радиусом кривизны 50 мм. На него нанесено многослойное диэлектрическое по-

крытие, частично пропускающее на длине волны генерации. Длина лазерного резонатора составляет 5 см.

Активный элемент выполнен из полифункционального наноматериала, представляющего собой стекло, содержащее нанокристаллические фазы, активированные трехвалентными ионами эрбия (обеспечивающими лазерную генерацию), трехвалентными ионами иттербия (ионы-сенситизаторы, повышают эффективность диодной накачки для лазерной генерации) и тетракоординированными двухвалентными ионами кобальта (обеспечивают насыщаемое поглощение на длине волны генерации для реализации пассивной модуляции добротности резонатора).

Активный элемент устанавливается на медном теплоотводе с отверстием для распространения лазерного излучения. Для обеспечения лучшего отвода тепла от активного элемента в местах его контакта с теплоотводом используется теплопроводящая паста. Диаметр отверстия на теплоотводе выполнен минимально возможным для увеличения площади теплового контакта активного элемента с теплоотводом и равномерного по всем направлениям отвода тепла от прокачиваемого объема активного элемента для уменьшения градиента температуры. Этим достигается уменьшение термических деформаций активного элемента, ослабление оптической силы наведенной внутри него тепловой линзы и, как следствие, увеличение мощности и улучшение качества пучка генерируемого излучения.

Таким образом, предложенная полезная модель позволяет решить задачу создания компактного твердотельного эрбиевого лазера с диодной накачкой, излучающего в области длин волн 1,5...1,6 мкм и обладающего долговечностью и надежностью, высокой технологичностью и простотой конструкции, активный элемент которого выполнен из полифункционального наноматериала и сочетает в себе качества усиливающей лазерной среды и пассивного затвора (активно-пассивный элемент).

Сущность предложенной полезной модели поясняется фигурой, на которой изображена схема лазера.

Твердотельный эрбиевый лазер с диодной накачкой содержит лазерный диод 1 накачки с волоконным выходом в виде многомодового оптического волокна 2 с коннектором (на фигуре не показан) и последовательно установленные за выходным торцом 3 оптического волокна 2 объектив 4, обеспечивающий фокусировку излучения накачки из плоскости торца 3 волокна 2, плоское входное зеркало 5 резонатора, активный элемент 6, выполненный в виде параллелепипеда, плоские торцы которого перпендикулярны оптической оси объектива 4, и установленный на медном теплоотводе 7, сферическое выходное зеркало 8 резонатора.

Входное 5 и выходное 8 зеркала резонатора выполнены в виде стеклянных подложек с нанесенными отражающими диэлектрическими покрытиями. При этом на входном зеркале нанесено покрытие, полностью отражающее на длине волны генерации  $\lambda = 1,5...1,6$  мкм и полностью пропускающее на длине волны накачки  $\lambda = 0,96...0,98$  мкм, а на выходном зеркале - покрытие, частично пропускающее на длине волны генерации.

Активный элемент 6 выполнен из полифункционального наноматериала, представляющего собой стекло, содержащее нанокристаллические фазы, активированные трехвалентными ионами эрбия (обеспечивающими лазерную генерацию), трехвалентными ионами иттербия (ионы-сенситизаторы, повышают эффективность диодной накачки) и тетракоординированными двухвалентными ионами кобальта (обеспечивают насыщаемое поглощение на длине волны генерации для реализации пассивной модуляции добротности резонатора).

Активный элемент 6 расположен на медном теплоотводе 7, что решает задачу отвода тепла от активного элемента 6. Диаметр отверстия на теплоотводе выполнен минимально возможным для увеличения площади теплового контакта активного элемента с теплоотводом и улучшения отвода тепла от прокачиваемого объема активного элемента. Этим достигается уменьшение термических деформаций активного элемента, ослабление

## BY 8891 U 2012.12.30

оптической силы наведенной внутри него тепловой линзы и, как следствие, увеличение мощности и улучшение качества пучка генерируемого излучения.

Объектив 4 выполнен в виде двух линз. Правильный выбор увеличения объектива и связанных с ним параметров: положения плоскости фокусировки, входной числовой апертуры пучка и формируемого размера перетяжки внутри активного элемента 6 - обеспечивает повышение мощности генерации лазера.

Лазер работает следующим образом. Лазерный диод 1 при подаче электропитания генерирует непрерывное излучение накачки с длиной волны в нормальных условиях  $\lambda = 960 \dots 980$  нм, которое распространяется практически без потерь по многомодовому оптическому волокну 2 и выходит из торца 3 оптического волокна 2 в виде осесимметричного конуса с перетяжкой на торце диаметром 100 мкм и числовой апертурой  $\sin U = 0,22$ , после чего фокусируется объективом 4 внутри активного элемента 6, без потерь проходя сквозь входное зеркало 5 резонатора, полностью пропускающее на длине волны накачки  $\lambda = 960 \dots 980$  нм.

Активный элемент 6 выполнен в виде параллелепипеда размерами  $5 \times 5 \times 2$  мм<sup>3</sup>, плоские торцы которого с размерами  $5 \times 5$  мм<sup>2</sup> перпендикулярны оптической оси объектива 4. В прокачиваемом объеме элемента 6 излучение накачки поглощается ионами-активаторами иттербия с последующей передачей энергии ионам эрбия, что приводит к возникновению инверсии населенностей в активном элементе. Под действием спонтанного излучения на длине волны 1,5...1,6 мкм, возникающего в инверсно-населенной среде, происходит насыщение поглощения ионов кобальта и начинается развитие лазерного импульса. Реализация режима пассивной модуляции добротности резонатора обусловлена просветлением активного элемента на длине волны 1,5...1,6 мкм. Лазерное излучение распространяется вдоль оси активного элемента 6 и частично выходит из резонатора через выходное зеркало 8.

Объектив 4 выполнен в виде двух линз и обеспечивает в плоскости фокусировки внутри активного элемента 5 формирование перетяжки диаметром  $\sim 100$  мкм, что обеспечивает оптимальную конфигурацию прокачиваемого объема активного элемента.

Лазер содержит выполненный из меди теплоотвод 7, установленный в контакте с активным элементом 6. При этом диаметр отверстия в теплоотводе 7 выполнен минимально возможным для увеличения площади теплового контакта и равномерного по всем направлениям отвода тепла от прокачиваемого объема активного элемента.

Таким образом, использование активного элемента из полифункционального наноматериала, представляющего собой стекло, содержащее нанокристаллические фазы, активированные трехвалентными ионами эрбия (обеспечивающими лазерную генерацию), трехвалентными ионами иттербия (ионы-сенситизаторы, повышают эффективность диодной накачки) и тетракоординированными двухвалентными ионами кобальта (обеспечивают насыщаемое поглощение на длине волны генерации для реализации пассивной модуляции добротности резонатора), позволяет упростить конструкцию твердотельного эрбиевого лазера с диодной накачкой и пассивной модуляцией добротности, излучающего в спектральном диапазоне 1,5...1,6 мкм.