

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСЛОВИЙ СТАБИЛЬНОЙ МОНОИМПУЛЬСНОЙ ГЕНЕРАЦИИ ЛАЗЕРА НА КРИСТАЛЛЕ KGW:ND<sup>3+</sup>

И. В. БЕЗНОСЕНКО, Ю. П. МАЧЕХИН

В статье представлены результаты экспериментальных исследований условий генерации импульсного лазера на кристалле KGW:Nd<sup>3+</sup> с поперечной накачкой излучением газоразрядной лампы. Установлены условия стабильной моноимпульсной генерации достаточной мощности.

**Ключевые слова:** условия генерации, активный элемент, пассивный кристаллический затвор, выходное зеркало, юстировочный клин.

### ВВЕДЕНИЕ

К настоящему времени наиболее распространенными и освоенными в производстве остаются твердотельные Nd:YAG лазеры с ламповой накачкой, работающие на длине волны  $\lambda = 1,064$  мкм.

Дальнейшим этапом развития твердотельных лазеров стали лазеры на основе активного элемента KGW:Nd<sup>3+</sup>, который обеспечивает генерацию на длине волны  $\lambda = 1,067$  мкм. Последняя разработка твердотельных лазеров была направлена на осуществление генерации на длине волны  $\lambda = 1,538$  мкм, благодаря использованию ВКР преобразования [1–4].

Конструкции всех отмеченных твердотельных лазеров разработаны и в разной степени обеспечены технической документацией, в результате чего при их производстве возникает необходимость уточнения характеристик и параметров используемой комплектации. В частности, у некоторых промышленных конструкций твердотельных лазеров недостаточно исследованы условия стабильной моноимпульсной генерации с необходимым уровнем энергии излучения. Одной из таких конструкций является конструкция твердотельного лазера, который выпускается ГП «Феодосийский оптический завод» (рис. 1) и у которого выявлен ряд проблем, связанных с трудностью изготовления и оптимальной сборки.

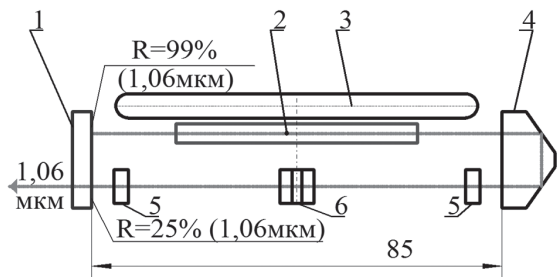


Рис. 1. Оптическая схема твердотельного лазера:

- 1 – совмещенное глухое и выходное зеркало;
- 2 – активный элемент из кристалла KGW:Nd<sup>3+</sup>;
- 3 – газоразрядная лампа накачки ИНП 3-3/35;
- 4 – трипель-призма; 5 – юстировочные клинья;
- 6 – пассивный кристаллический затвор из гадолиний-скандий-галлиевого граната

В этой связи целью настоящей статьи было исследование конструкции и условий сборки лазера, в котором реализована моноимпульсная генерация достаточной энергии, при разных параметрах используемой комплектации. Необходимо было уточнить зависимость энергии генерации лазера на кристалле KGW:Nd<sup>3+</sup> с пассивным затвором на кристалле гадолиний-скандий-галлиевого граната от следующих условий и параметров деталей: от начального коэффициента светопропускания пассивным затвором, от концентрации атомов неодима в активном элементе, от коэффициента отражения выходного зеркала, от положения юстировочных клиньев, от напряжения накачки газоразрядной лампы накачки, от расположения плоскости поляризации активного элемента по отношению к оси вращения, от точности расположения активного элемента вдоль оси резонатора. Для достижения поставленной цели был проведен комплекс экспериментов.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе [4] представлены результаты исследования выходной энергии излучения лазера с активным элементом из KGW:Nd<sup>3+</sup> и с пассивным затвором на кристалле алюмоиттриевого граната с ионами Cr<sup>4+</sup>, с начальным коэффициентом светопропускания 40 % на  $\lambda = 1,067$  мкм. В настоящей работе представлены результаты исследования выходной энергии излучения лазера с активным элементом из KGW:Nd<sup>3+</sup>, с пассивным затвором на кристалле гадолиний-скандий-галлиевого граната и с различными начальными коэффициентами светопропускания: 17 %, 18 %, 19 %, 20 %, 21 %, 23 %, 25 % – на  $\lambda = 1,067$  мкм. В процессе экспериментов выявлено, что при повышении начального коэффициента светопропускания пассивным кристаллическим затвором уменьшается энергия в импульсе лазерного излучения (рис. 2) в связи с уменьшением порогового напряжения накачки газоразрядной лампы накачки (рис. 3). Измерения энергии в импульсе лазерного излучения проводились при помощи

измерителя калориметрического твердотельного ИКТ-1Н. Измерение порогового напряжения накачки газоразрядной лампы накачки осуществлялось через пульт СУО-3Ф-01, подключенный к блоку питания Б5-7 с выходным напряжением 27 В.

Было установлено, что в процессе сборки лазера необходимо подобрать такой пассивный кристаллический затвор, который обеспечил бы энергию в импульсе лазерного излучения достаточную для выполнения тактико-технических требований. Для разработанных конечных изделий, в состав которых входит лазер описанной конструкции, минимальное значение энергии в импульсе лазерного излучения равно 12 мДж, а максимально допустимое пороговое напряжение накачки газоразрядной лампы равно 890 В.

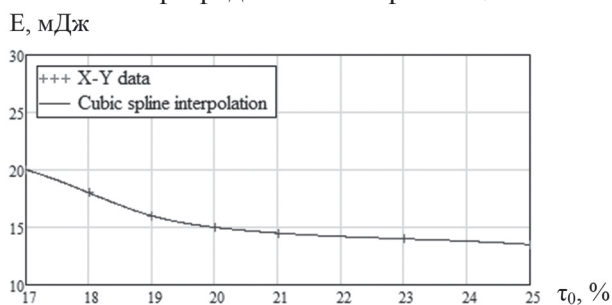


Рис. 2. Зависимость энергии в импульсе лазерного излучения от начального коэффициента светопропускания пассивным кристаллическим затвором

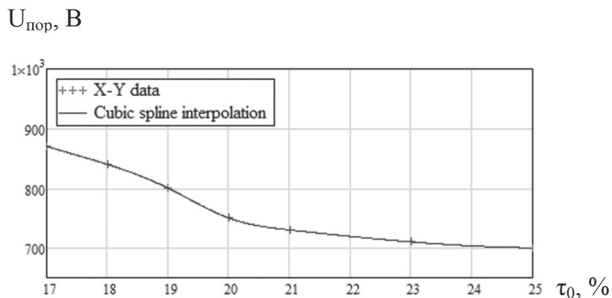


Рис. 3. Зависимость порогового напряжения накачки газоразрядной лампы накачки от начального коэффициента светопропускания пассивным кристаллическим затвором

В работе [5] представлены результаты исследования выходной энергии излучения лазера с активным элементом из КGW:Nd<sup>3+</sup> с атомной долей неодима 3 % и 10 % и с электрооптическим затвором на кристалле LiNbO<sub>3</sub> на  $\lambda = 1,067$  мкм. В настоящей работе представлены результаты исследования выходной энергии излучения лазера с активным элементом из КGW:Nd<sup>3+</sup> с различной массовой долей атомов неодима: 0,52 %, 0,55 %, 0,58 %, 0,61 %, 0,64 % – и с пассивным затвором на кристалле гадолиний-скандий-галлиевого граната на  $\lambda = 1,067$  мкм. Было установлено, что при повышении массовой доли атомов неодима в активном элементе в диапазоне от 0,52 % до 0,64 % увеличивается энергия в импульсе лазерного излучения (рис. 4), поскольку

увеличивается пороговое напряжение накачки газоразрядной лампы накачки (рис. 5).

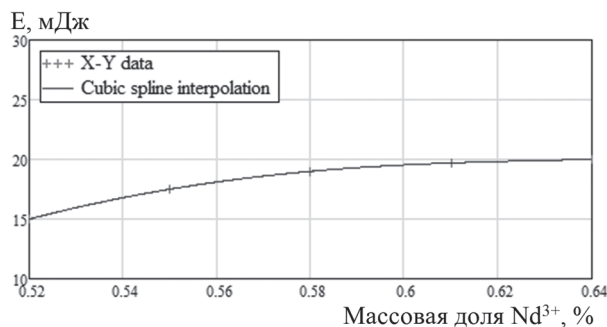


Рис. 4. Зависимость энергии в импульсе лазерного излучения от массовой доли атомов неодима в активном элементе

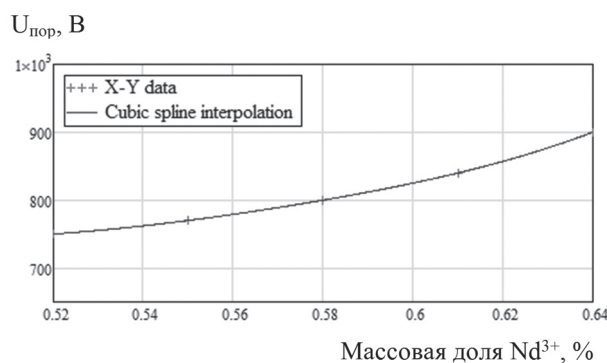


Рис. 5. Зависимость порогового напряжения накачки газоразрядной лампы накачки от массовой доли атомов неодима в активном элементе

В процессе экспериментов установлено, что при повышении коэффициента отражения выходного зеркала в диапазоне от 18 % до 24 % уменьшается энергия в импульсе лазерного излучения (рис. 6) в связи с уменьшением порогового напряжения накачки газоразрядной лампы накачки (рис. 7).

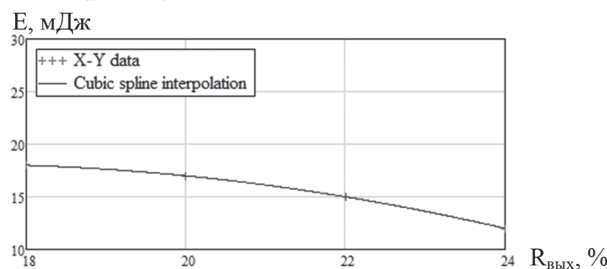


Рис. 6. Зависимость энергии в импульсе лазерного излучения от коэффициента отражения выходного зеркала

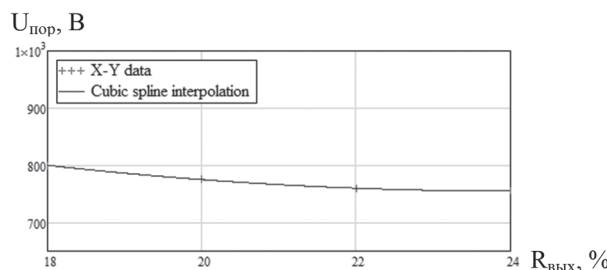


Рис. 7. Зависимость порогового напряжения накачки газоразрядной лампы накачки от коэффициента отражения выходного зеркала

В конструкции лазера предусмотрено, что юстировка резонатора осуществляется с помощью юстировочных клиньев, которые корректируют направление распространения излучения в резонаторе. Поэтому существует диапазон положений юстировочных клиньев, при которых в резонаторе устанавливаются минимальные потери, в результате чего обеспечивается необходимая энергия в импульсе лазерного излучения и при этом не превышает максимально допустимое пороговое напряжение накачки газоразрядной лампы. В процессе экспериментов положение клиньев фиксировалось приблизительно посередине диапазона, в пределах которого обеспечивалась генерация, что обеспечивало стабильную работу лазеров при изменении температуры окружающей среды.

При повышении напряжения накачки газоразрядной лампы накачки повышается энергия в импульсе лазерного излучения. В работе было установлено, что при повышении напряжения накачки газоразрядной лампы накачки на 70–110 В по отношению к пороговому моноимпульсный режим работы лазера становится нестабильным, в результате чего лазер невозможно использовать в составе разработанных устройств. В экспериментах было зафиксировано, что при рабочем напряжении накачки газоразрядной лампы накачки на  $60 \pm 5$  В выше порогового обеспечивается стабильное моноимпульсное лазерное излучение достаточной мощности в широком диапазоне температур окружающей среды.

В результате проведенных исследований было показано, что минимальное пороговое напряжение накачки газоразрядной лампы накачки обеспечивается при положении плоскости поляризации активного элемента по отношению к оси вращения в  $13^\circ$  при условии, что отсчет начинается от плоскости, проходящей через ось вращения активного элемента и ось газоразрядной лампы накачки. При изменении расположения плоскости поляризации активного элемента по отношению к оси вращения в диапазоне от  $8^\circ$  до  $18^\circ$  пороговое напряжение накачки газоразрядной лампы накачки изменяется незначительно (до 20 В).

Установлено, что при нарушении соосности активного элемента и резонатора диапазон напряжений накачки газоразрядной лампы накачки, при котором обеспечивается моноимпульсный режим работы лазера, уменьшается вплоть до полного исчезновения при значительном нарушении соосности. Поэтому при сборке лазера необходимо контролировать положение активного элемента по отношению к оси резонатора.

При исследовании температурного режима работы лазера было установлено, что изменение температуры окружающей среды в пределах от минус  $40^\circ\text{C}$  до плюс  $60^\circ\text{C}$  диапазон напряжений накачки газоразрядной лампы накачки, при ко-

тором обеспечивается моноимпульсный режим работы лазера, смещается в область больших напряжений на 60 – 120 В. Поэтому в электрическую цепь питания газоразрядной лампы накачки лазеров предложено вводить термисторы, которые позволяют регулировать напряжение в зависимости от температуры окружающей среды.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные исследования твердотельного лазера позволили уточнить условия совершенствования его конструкции и условия работы, а именно:

- необходимо подбирать парами активные элементы со средней концентрацией атомов неодима и пассивные затворы со средним начальным коэффициентом светопропускания, при которых пороговое напряжение накачки газоразрядной лампы накачки будет максимальным, но не будет превышать максимально допустимое для конечных изделий;

- пороговое напряжение накачки газоразрядной лампы накачки и, следовательно, энергию в импульсе лазерного излучения можно увеличить, подобрав выходное зеркало с меньшим коэффициентом отражения в пределах исследованного диапазона;

- уточнена конструкция лазера с целью обеспечения стабильной работы лазера при изменениях температуры окружающей среды;

- на основе проведенных экспериментальных исследований условий стабильной моноимпульсной генерации лазера на кристалле  $KGW:Nd^{3+}$  описанной конструкции была составлена новая технологическая инструкция сборки и настройки лазера.

Результаты описанных экспериментальных исследований применимы при совершенствовании разрабатываемых модификаций описанного лазера с диодной накачкой и ВКР-преобразованием в  $\lambda = 1,538$  мкм [6].

Эксперименты проведены на базе ГП «Феодосийский оптический завод», поэтому авторы выражают благодарность его сотрудникам.

## Литература

- [1] Феодосийский казенный оптический завод. – г. Феодосия, Украина [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://fkoz.feodosia.com.ua/> – Загл. с экрана.
- [2] Белорусское оптико-механическое объединение. – г. Минск, Беларусь [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.belomo.by/> – Загл. с экрана.
- [3] ОАО «Государственный оптический институт имени С.И. Вавилова». – г. Санкт-Петербург, Россия [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://www.npkgoi.ru/> – Загл. с экрана.
- [4] Гулин А.В. Многоволновая генерация стоксовых компонент в лазерах с ВКР-самопреобразователем на кристалле  $KGd(WO_4)_2:Nd^{3+}$ . / А.В. Гулин, Г.И. Нархова, Н.С. Устименко // Квантовая электроника. – 1998. – Том 25, № 9. – С. 825–826.

- [5] *Абазадзе А.Ю.* Исследование лазера на кристалле  $\text{KGW:Nd}^{3+}$  с поперечной накачкой линейками лазерных диодов. / А.Ю. Абазадзе, Г.М. Зверев, Ю.М. Колбацков, Н.С. Устименко // Квантовая электроника. — 2004. — Том 34, № 1. — С. 20–22.
- [6] Разработка принципов модернизации лазерного излучателя БЛЗ.379.015 для генерации импульсов в безопасном для глаза диапазоне длин волн (1,52 – 1,6 мкм): отчет о НИР (заключ.): 05-12 / рук. Ю.П. Мачехин; исполн. Ю.Л. Старчевский [и др.] — Х., 2011. — 121 с.

Поступила в редколлегию 22.04.2014



**Безносенко Игорь Валерьевич**, магистр, аспирант кафедры физических основ электронной техники Харьковского национального университета радиоэлектроники. Научные интересы: математическое моделирование интерференционных оптических покрытий; теория и техника оптико-электронных приборов, применение лазерных технологий.



**Мачехин Юрий Павлович**, доктор технических наук, лауреат Государственной премии Украины в области науки и техники, заслуженный метролог Украины, академик Академии наук прикладной радиоэлектроники, заведующий кафедрой физических основ электронной техники Харьковского национального университета ра-

диоэлектроники. Научные интересы: лазерная измерительная техника и оптоэлектронные приборы.

УДК 621.373.826; 621.375.826

**Дослідження умов стабільної моноімпульсної генерації лазера на кристалі  $\text{KGW:Nd}^{3+}$**  / І.В. Безносенко, Ю.П. Мачехін // Прикладна радіоелектроніка: наук.-техн. журнал. — 2014. — Том 13. — № 2. — С. 169-172.

У статті представлені результати експериментальних досліджень умов генерації імпульсного лазера на кристалі  $\text{KGW:Nd}^{3+}$  з поперечною накачкою випромінюванням газорозрядної лампи. Встановлені умови стабільної моноімпульсної генерації достатньої потужності.

Ключові слова: умови генерації, активний елемент, пасивний кристалічний затвор, вихідне дзеркало, юстувальний клин.

Лл.: 07. Бібліогр.: 06 найм.

UDC 621.373.826; 621.375.826

**Investigation of the conditions of stable monopulse laser generation with  $\text{KGW:Nd}^{3+}$  crystal** / I.V. Beznosenko, Yu.P. Machehin // Applied Radio Electronics: Sci. Journ. — 2014. — Vol. 13. — № 2. — P. 169-172.

The paper presents the results of experimental studies of the conditions of the pulse laser generation with  $\text{KGW:Nd}^{3+}$  crystal with transverse pumping by discharge lamp generating. Conditions for stable monopulse generation of sufficient power are found.

**Keywords:** generation conditions, active element, passive crystal Q-switch, output mirror, adjusting wedge.

Fig.: 07. Ref.: 06 items.