

МЕХАНИЗМ ПРОСВЕТЛЕНИЯ ПАССИВНЫХ ЛАЗЕРНЫХ ЗАТВОРОВ $YAG:V^{3+}$ ПРИ ВКР ПРЕОБРАЗОВАНИИ В КРИСТАЛЛАХ $KGW:Nd^{3+}$

© 2008 г. **А. Н. Титов***; **В. Н. Иванов***; **В. Н. Ветров***, канд. техн. наук; **Б. А. Игнатенков***; **О. Б. Сторощук*****, канд. техн. наук; **Л. И. Крутова***; **К. В. Дукельский***, канд. техн. наук; **В. В. Медоволкин****; **Е. В. Урбанович****; **Д. В. Иванов****

* НИТИОМ ВНИЦ “ГОИ им. С.И. Вавилова”, Санкт-Петербург

E-mail: antitov@peterlink.ru

** Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург

*** ОАО НПО “Карат”

Показана необходимость учета ориентации вектора электрической напряженности генерируемой световой волны относительно кристаллографических осей лазерных затворов при их разработке и эксплуатации. Определена зависимость эффективности генерации рамановского лазера с поляризованным излучением в режиме пассивной модуляции добротности от ориентации вектора электрической напряженности генерируемой световой волны относительно кристаллографических осей лазерных затворов из кристалла $YAG:V^{3+}$.

Коды OCIS: 140.0140.

Поступила в редакцию 29.03.2007.

Одним из перспективных материалов для модуляции добротности лазеров, генерирующих в диапазоне длин волн 1,0–1,6 мкм, и в частности, на длине волны 1,35 мкм, являются кристаллы $YAG:V^{3+}$, применяемые в качестве пассивных лазерных затворов. Одно из главных преимуществ использования кристаллических пассивных лазерных затворов $YAG:V^{3+}$ – это возможность создания надежного компактного низкопорогового лазера с безопасным для зрения излучением ($\lambda = 1,54$ мкм), которое генерируется путем ВКР-преобразования, в кристаллах $KGW:Nd^{3+}$ [1]. Пассивные лазерные затворы $YAG:V^{3+}$ характеризуются высоким оптическим качеством и высоким контрастом просветления (около 10).

В работе представлены результаты исследований рамановского лазера с активным элементом из $KGW:Nd^{3+}$ и пассивным с затвором из $YAG:V^{3+}$. Насколько нам известно, в научной литературе отсутствуют сообщения о зависимости между насыщением поглощения ионами V^{3+} и ориентацией вектора электрической напряженности проходящей поляризованной световой волны относительно кристаллографических осей кристалла $YAG:V^{3+}$ для длины волны 1,35 мкм.

Целью исследования является определение особенности работы лазеров в режиме пассивной модуляции добротности затворами из $YAG:V^{3+}$ при ВКР преобразовании в зависимости от взаимного расположения кристаллографических осей кристалла $YAG:V^{3+}$ и вектора электрической напряженности генерируемой волны. Схема экспериментальной установки показана на рис. 1.

Генерационные исследования лазера в режиме модулированной добротности для полосы генерации $KGW:Nd^{3+}$ с максимумом на $\lambda = 1,35$ мкм и ВКР-преобразованием в кристалле $KGW:Nd^{3+}$ в излучение с $\lambda = 1,54$ мкм показали существенную зависимость эффективности генерации от угла поворота затвора из кристалла $YAG:V^{3+}$ вокруг оптической оси лазера. Излучение лазера с активным элементом из двусосного кристалла $KGW:Nd^{3+}$ является поляризованным.

Затворы, используемые в эксперименте, имели форму диска, ось которого совпадала с оптической осью затвора и оптической осью лазера. Отклонение оптической оси затвора и оптической оси лазера не превышало $5'$. Затворы имели начальное пропускание 46% на длине волны 1,35 мкм. На рис. 2

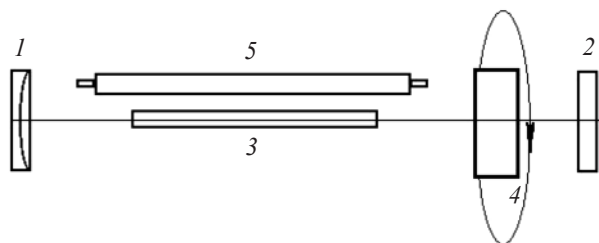


Рис. 1. Оптическая схема лазера с пассивной модуляцией добротности и ВКР-конверсией. 1 – “глухое” зеркало резонатора ($\lambda = 1,067$ мкм AR; $\lambda = 1,351$ и $1,54$ мкм AT), $r \approx 1,5$ м; 2 – выходное зеркало ($\lambda = 1,067$ мкм AR; $\lambda = 1,351$ мкм AT; $\lambda = 1,54$ мкм, $R \approx 45\%$), 3 – активный элемент из $KGW:Nd^{3+}$, 4 – пассивный затвор из $YAG:V^{3+}$, 5 – импульсная лампа накачки.

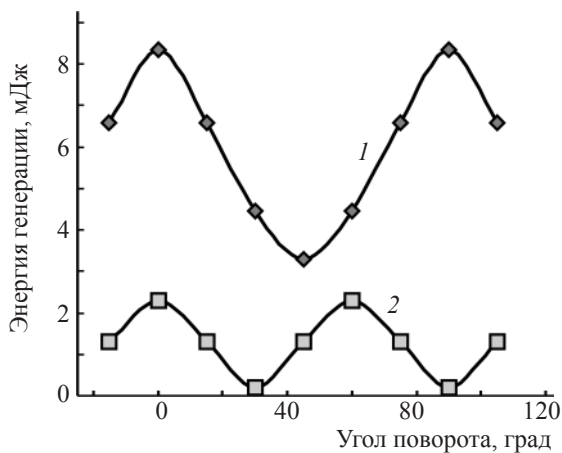


Рис. 2. Энергия излучения на длине волны 1,54 мкм в зависимости от угла поворота затвора YAG:V³⁺. Пояснения см. в тексте.

показана зависимость энергии генерации рамановского лазера в режиме пассивной модуляции добротности от угла поворота затвора вокруг оптической оси лазера для двух типов кристаллографической ориентации затворов. Первый тип затворов (кривая 1) был изготовлен из кристалла YAG:V³⁺, выращенного в направлении [100] и вырезанного так, что оптическая ось затвора была перпендикулярна кристаллографической плоскости (100). Второй тип затворов (кривая 2) был изготовлен из кристалла YAG:V³⁺, выращенного в направлении [111] и вырезанного так, что оптическая ось затвора была перпендикулярна кристаллографической плоскости (111).

Энергия генерации на длине волны излучения 1,54 мкм изменялась в зависимости от угла поворота затвора вокруг оптической оси от 3,5 до 8,5 мДж для затворов первого типа и от 0,2 до 2,3 мДж для затворов второго типа. Измерения проводились в одинаковых условиях, пороговая энергия накачки составляла 4,5 Дж. Порог генерации лазера не зависел от кристаллографической ориентации затвора.

Период изменения энергии излучения в зависимости от угла поворота затвора был равен 90° для затворов первого типа и 60° для затворов второго типа.

Данная зависимость эффективности работы рамановского лазера в режиме пассивной модуляции добротности определяется особенностью ориентации поглощающего диполя V³⁺ в затворе YAG:V³⁺. Ион V³⁺, “ответственный” за полосу поглощения с максимумом на $\lambda = 1,32$ мкм, находится в тетраэдрической позиции [2, 3].

Как показано в [4, 5], ион Cr⁴⁺ в кристалле YAG:Cr⁴⁺ (рис. 3) занимает ту же тетраэдрическую позицию,

что и V³⁺ в кристалле YAG:V³⁺, и определяет значительную поляризационную зависимость люминесценции и насыщения поглощения от угла поворота вектора электрической напряженности проходящего света относительно кристаллографических осей кристалла YAG. Диполи Cr⁴⁺, отвечающие за поглощение на резонансном переходе в кубическом кристалле YAG, практически линейны (сечения поглощения для π и σ направлений различаются в 30 раз) и направлены вдоль главных кристаллографических осей [100], [010] и [001]. Сечения поглощения всех трех ортогонально направленных групп диполей совпадают по величине и различаются только по направлению диполей.

Схема энергетических уровней диполя Cr⁴⁺ рассматривается в приближении сильного кристаллического поля для случая D_{2d} точечно-групповой симметрии. Это позволяет объяснить зависимость эффективности просветления полос поглощения от угла поворота затвора относительно плоскости поляризации излучения [4].

В работе [5] представлена зависимость энергии генерации лазера с поляризованным излучением и пассивной модуляцией добротности на длине волны 1,06 мкм от угла поворота затвора вокруг оси лазера. Модуляция добротности осуществлялась с помощью затвора из кристалла YAG:Cr⁴⁺. Характер кривой и период изменения энергии генерации в за-

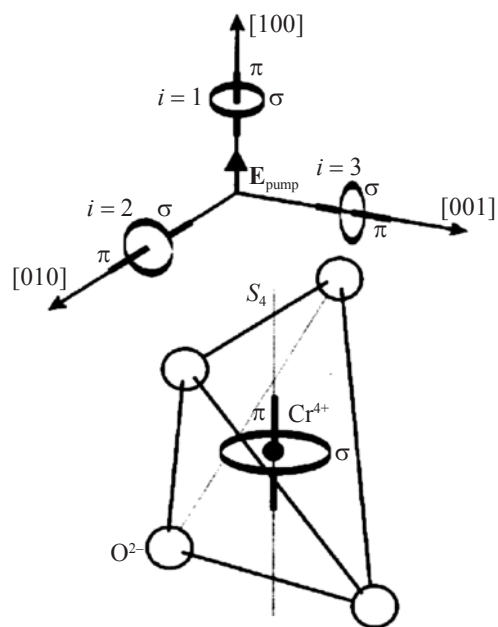


Рис. 3. Структурная схема центра Cr⁴⁺ и три типа его ориентации в кристалле YAG. π , σ – ось и плоскость локальной симметрии центра V³⁺. Ось π параллельна оси локальной симметрии S_4 , σ перпендикулярна оси локальной симметрии S_4 [4].

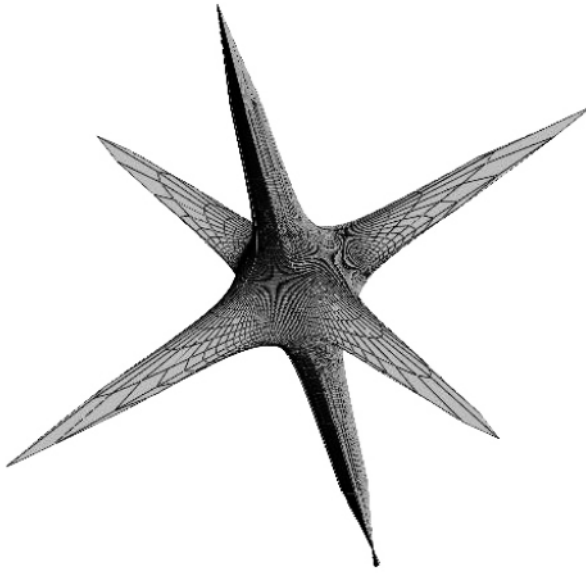


Рис. 4. Объемная схема наложения трех типов поглощающих диполей V^{3+} , находящихся в тетраэдрической позиции в кристалле $YAG:V^{3+}$. Направления с максимальным сечением поглощения диполей совпадают с кристаллографическими осями кристалла.

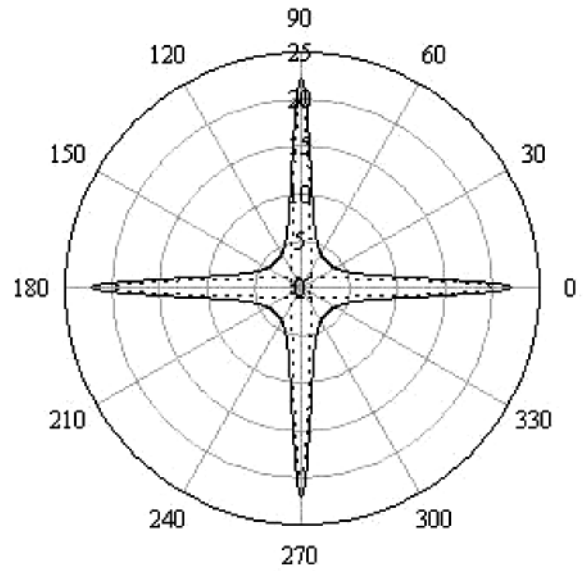


Рис. 5. Проекция объемной схемы поглощающих диполей, показанной на рис. 4, на кристаллографическую плоскость (100).

висимости от угла поворота затвора совпадает с аналогичной зависимостью для затвора первого типа из кристалла $YAG:V^{3+}$, показанной на рис. 2 (кривая 1).

Можно предположить, что ион V^{3+} в тетраэдрической позиции кристалла $YAG:V^{3+}$ имеет те же особенности расположения поглощающих диполей, что и ион Cr^{4+} в кристалле $YAG:Cr^{4+}$. Чтобы объяснить различия в характере зависимостей энергии генерации рамановского лазера в режиме пассивной модуляции добротности для двух типов затворов $YAG:V^{3+}$ (рис. 2), можно обратиться к объемной картине, показывающей наложение трех групп поглощающих диполей V^{3+} , в кристалле $YAG:V^{3+}$. Направления с максимальным сечением поглощения диполей совпадают с кристаллографическими осями $[100]$, $[010]$ и $[001]$ кристалла $YAG:V^{3+}$.

Изменение эффективности генерации в режиме модуляции добротности и периода цикла изменения энергии генерации от угла поворота затвора можно объяснить сравнением проекций объемной схемы поглощающих диполей V^{3+} в кристалле $YAG:V^{3+}$ (рис. 4) на кристаллографические плоскости (100) (рис. 5) и (111) (рис. 6).

Для случая проекции на кристаллографическую плоскость (111) (рис. 6) максимум сечения поглощения диполя составляет $\sqrt{2/3}$ от величины максимума сечения поглощения диполя для случая проекции на кристаллографическую плоскость (100).

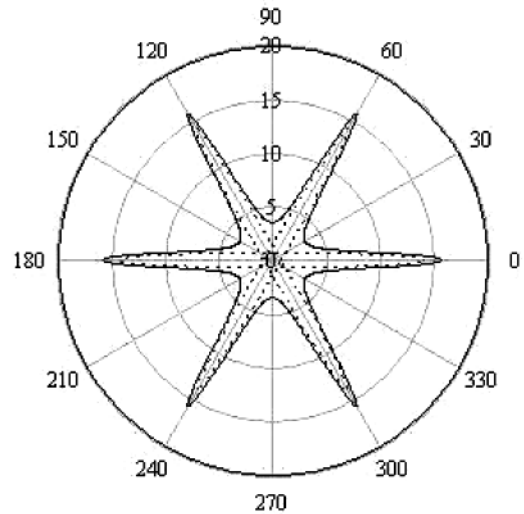


Рис. 6. Проекция объемной схемы поглощающих диполей, показанной на рис. 4, на кристаллографическую плоскость (111).

Уменьшение проекции сечения поглощения диполя приводит к уменьшению контраста затвора, а следовательно, снижает эффективность генерации в режиме модуляции добротности. На рис. 5 и 6 видно, что период повторения максимумов сечения поглощения в зависимости от угла поворота затвора для проекции на кристаллографическую плоскость (111) составляет 60° , а для проекции на кристаллографическую плоскость (100) – 90° .

Выводы

1. Определена зависимость эффективности генерации рамановского лазера с поляризованным излучением в режиме пассивной модуляции добротности от ориентации вектора электрической напряженности генерируемой световой волны относительно кристаллографических осей кристалла YAG:V^{3+} , используемого для пассивных лазерных затворов.

2. В рамках представлений дипольной модели иона V^{3+} определена оптимальная ориентация кристаллографических осей кристалла YAG:V^{3+} , применяемого в качестве пассивного затвора, относительно вектора электрической напряженности проходящей световой волны, обеспечивающая максимум сечения поглощения диполя V^{3+} .

3. Использование полученных результатов позволило повысить энергию генерации рамановского лазера на длине волны излучения 1,54 мкм в 2,5 раза.

Таким образом, при разработке и юстировке лазеров с поляризованным излучением и модуляцией добротности, осуществляемой с помощью кристаллических пассивных лазерных затворов, необходимо учитывать зависимость эффективности генера-

ции лазера от ориентации вектора электрической напряженности генерируемой световой волны относительно кристаллографических осей кристаллов, из которых изготовлены пассивные лазерные затворы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Merczyk Z., Frukacz Z.* YAG:V^{3+} New passive Q-switch for lasers generating radiation within near infrared range // Opto-electronics review. 1999. V. 4. ISSN. 1230–3402.
2. *Krutova L.I., Kulagin N.A., Sandulenko V.A.* Absorption and luminescence spectra of octahedral and tetrahedral V^{3+} // Proc. of the IX Symposium on spectroscopy of crystals doped with R-E and TM. Leningrad, 1990. P. 81.
3. *Ivanov V.N., Sandulenko A.V., Sandulenko V.A., Mochalov I.V., Ustyugov V.I., Novikov G.E., Kang Uk-Song, Lee Kyeong-Hee.* 1,32 μm YAG:Nd Q-switch laser with YAG:V^{3+} passive shutter // SPIE. Proc. 2004.
4. *Okhrimchuk A.G., Shestakov A.V.* Absorption saturation mechanism for YAG:Cr^{4+} crystals // Phys. Rev. B. V. 61. № 2. P. 88.
5. *Ильичев Н.Н., Гулямова Э.С., Пашинин П.П.* Пассивная модуляция добротности неодимового лазера с помощью затвора на основе кристалла YAG:Cr^{4+} // Квант. электрон. 1997. Т. 24. № 11. С. 1001–1006.