

## Новые кристаллические лазеры одномикронного диапазона длин волн

А.А.Каминский\*, С.Н.Багаев\*\*, Л.Ли\*\*\*, Ф.А.Кузнецов\*\*\*, А.А.Павлюк\*\*\*

*Разработаны новые лазерные кристаллы на основе соединений калий-редкоземельных вольфраматов  $KY(WO_4)_2$  и  $KGd(WO_4)_2$  с ионами  $Pr^{3+}$ . При ламповой накачке и комнатной температуре получена низкопороговая импульсная и квазинепрерывная генерация стимулированного излучения в «неодимовом» диапазоне длин волн (1.06–1.07 мкм, генерационный канал  ${}^1D_2 \rightarrow {}^3F_4$ ).*

В настоящее время основным активатором в лазерных диэлектрических кристаллах, способных генерировать низкопороговое стимулированное излучение (СИ) в диапазоне 1.06–1.07 мкм при комнатной температуре и различных способах накачки, является ион  $Nd^{3+}$  [1]. Его одномикронное СИ, возбуждающееся по четырехуровневой схеме на межштарковских переходах канала  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$  с энергией конечного лазерного состояния около  $2000 \text{ см}^{-1}$ , лежит в основе работы большинства исследовательских и коммерческих неодимовых лазеров [2, 3]. К сожалению, структура энергетических уровней этого популярного активатора допускает возникновение каналов потерь, связанных с паразитным поглощением с уровней начального лазерного состояния  ${}^4F_{3/2}$  как на частоте СИ, так и на частотах возбуждения, например в случае полупроводниковой лазерной ИК накачки. В кристаллических средах с непротяженным фоновым спектром возможно также проявление нежелательного эффекта «узкого горла» в канале безызлучательной релаксации  ${}^4I_{11/2} \rightsquigarrow {}^4I_{9/2}$ . В связи с этим поиск новых кристаллических лазеров с эффективной генерацией в хорошо освоенном одномикронном диапазоне представляется в наши дни крайне актуальным.

Нами созданы новые лазерные кристаллы  $KY(WO_4)_2$  и  $KGd(WO_4)_2$ , активированные ионами  $Pr^{3+}$ , с крайне привлекательными для прикладных целей параметрами генерации в диапазоне 1.06–1.07 мкм. Это СИ соответствует межмультиплетному переходу  ${}^1D_2 \rightarrow {}^3F_4$  и возбуждается по четырехуровневой схеме с высоколежащим конечным лазерным состоянием  ${}^3F_4$  ( $\sim 7000 \text{ см}^{-1}$ ). Здесь важно отметить, что вследствие особенностей расположения энергетических уровней ионов  $Pr^{3+}$  данной одномикронной генерации не препятствуют нежелательные процессы, как это происходит для аналогичной «неодимовой» генерации в канале  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ .

Оптимальные условия для выращивания празеодим-содержащих кристаллов  $KY(WO_4)_2$  и  $KGd(WO_4)_2$  модифицированным (низкоградиентным) методом Чохральского были выявлены при исследовании фазовых диа-

грамм  $KY(WO_4)_2 - KPr(WO_4)_2$  и  $KGd(WO_4)_2 - KPr(WO_4)_2$ . Кристаллы выращивались из раствора в расплаве  $K_2W_2O_7$  в платиновом тигле на ориентированные по направлению [010] затравки при скорости вытягивания около 5 мм/сут. и скорости вращения 50–90 об./мин на разработанной нами установке с двухзонным нагревателем и прецизионным регулированием температуры ( $\pm 0.1 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Из полученных буль  $KY(WO_4)_2$  и  $KGd(WO_4)_2$  с ионами  $Pr^{3+}$  (атомная концентрация  $C_{Pr} = 0.3 - 3 \%$ ) высокого оптического качества для генерационных экспериментов были изготовлены кристаллические элементы в виде стержней длиной до 60 мм и диаметром 5.5 мм с полированной образующей.

Одномикронная генерация ионов  $Pr^{3+}$  в кристаллах  $KY(WO_4)_2$  и  $KGd(WO_4)_2$  при 300 К возбуждалась фильтрованным излучением импульсной Хе-лампы типа ИСП-250 в эффективном эллиптическом осветителе с использованием конфокального ( $R = 500 \text{ мм}$ ) лазерного резонатора, образованного интерференционными зеркалами с пропусканием на длине волне генерации около 0.3 %. Длительность импульса накачки в режиме свободной и квазинепрерывной генерации составляла  $\sim 50 \text{ мкс}$  и 1.2 мс соответственно. На этом этапе исследований плоскопараллельные ( $\sim 10''$ ) торцы исследуемых кристаллов не имели просветляющего покрытия. Спектральный состав и параметры СИ изучались при помощи дифракционного монохроматора МДР-3 и осциллографической системы регистрации на основе лавинного фотодиода Ga-1М.

В нашем эксперименте генерация ионов  $Pr^{3+}$  легко возбуждалась на  $\lambda_{se} = 1.0697 \text{ мкм}$  в  $KY(WO_4)_2$  и на  $\lambda_{se} = 1.0657 \text{ мкм}$  в  $KGd(WO_4)_2$ , что соответствует волнам межштарковских переходов канала  ${}^1D_2 \rightarrow {}^3F_4$ . Эти кристаллы с ориентацией вдоль направления [100] и с  $C_{Pr} = 2$  и 3 % имели импульсный порог возбуждения 0.7 и 0.4 Дж соответственно, а в квазинепрерывном режиме (при импульсном режиме с длительностью, превышающей более чем в 20 раз люминесцентное время жизни лазерного состояния  ${}^1D_2$ ) начинали устойчиво генерировать при средней пороговой мощности около 1 кВт. Для сравнения укажем, что в этих условиях возбуждения коммерческий кристалл  $KGd(WO_4)_2:Nd^{3+}$  (ориентация [010],  $C_{Nd} = 2.5 \%$ , длина 75 мм) в импульсном режиме генерировал при пороговой энергии 0.5 Дж ( $\lambda_{se} = 1.0672 \text{ мкм}$ , канал  ${}^4F_{3/2} \rightarrow {}^4I_{11/2}$ ).

Низкотемпературная модификация соединений

\*Институт кристаллографии им. А.В.Шубникова РАН, Москва

\*\*Институт лазерной физики СО РАН, Новосибирск

\*\*\*Институт неорганической химии СО РАН, Новосибирск

$KY(WO_4)_2$  и  $KGd(WO_4)_2$  кристаллизуется в моноклинной сингонии с пространственной группой  $C_{2h}^6 - C 2/c$  ( $I2/c$ ). Ионы  $Pr^{3+}$ , замещающие в кристаллах редкоземельные катионы в позициях с локальной симметрией  $C_1$ , образуют один тип активаторных центров. Отметим здесь также некоторые физические свойства этих кристаллов: их твердость близка к 5 (по шкале Мооса), температура плавления составляет около  $1050^\circ C$ , теплопроводность равна примерно  $0.03 \text{ Вт/см}\cdot\text{К}$ . Оптическая прозрачность кристаллов  $KY(WO_4)_2$  и  $KGd(WO_4)_2$  простирается от  $\sim 0.34$  до  $\sim 5.5$  мкм (при толщине слоя 1 мкм), а усредненный показатель преломления в диапазоне зарегистрированного СИ ионов  $Pr^{3+}$  примерно равен 2. Коэффициент распределения ионов  $Pr^{3+}$  в этих соединениях близок к единице, что способствует получению данных кристаллов с достаточно хорошим оптическим качеством вплоть до атомной концентрации активатора 10 %.

Таким образом, созданы два новых празеодимсодержащих лазерных кристалла  $KY(WO_4)_2$  и  $KGd(WO_4)_2$ , изучены их свойства и при комнатной температуре с ламповой накачкой возбуждено низкороговое импульсное и квазинепрерывное одномикронное СИ на переходах генерационного канала  $^1D_2 \rightarrow ^3F_4$ . Есть основания наде-

яться, что лазеры на основе этих новых активных сред с полупроводниковой накачкой в канале  $^3H_4 \rightarrow ^1D_2$  смогут составить серьезную конкуренцию неодимовым кристаллическим лазерам, в том числе и лазерам на основе  $Y_3Al_5O_{12}:Nd^{3+}$ .

Работа выполнялась при частичной финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, государственных программ «Фундаментальная метрология» и «Оптика. Лазерная физика», а также по гранту № MAG-300 Международного научного фонда и Российского правительства.

1. Kaminskii A.A. *Laser crystals, their physics and properties* (Berlin, Heidelberg, N.Y., Ldn, Paris, Tokyo, Springer-Verlag, 1981, 1990).
2. Koechner W. *Solid-state laser engng* (Berlin, Heidelberg, N.Y., Ldn, Paris, Tokyo, Springer-Verlag, 1976, 1988, 1991).
3. M.J.Weber (Ed.). *Handbook of laser science and technology* (Boca Raton, Ann Arbor, Boston, CRC Press, 1991, suppl. 1).

**A.A.Kaminskii, S.N.Bagaev, L.Li, F.A.Kuznetsov, A.A.Pavlyuk.**  
New crystalline lasers for the 1- $\mu\text{m}$  wavelength range.

New laser crystals were prepared from potassium-rare-earth tungstates  $KY(WO_4)_2$  and  $KGd(WO_4)_2$  activated with  $Pr^{3+}$  ions. Flashlamp pumping at room temperature resulted in low-threshold pulsed and quasi-cw generation of stimulated radiation in the neodymium range of wavelengths (1.06–1.07  $\mu\text{m}$ ,  $^1D_2 \rightarrow ^3F_4$  lasing channel).