

Квазитрехуровневый $\text{Nd}^{3+} : \text{Gd}_{0.7} \text{Y}_{0.3} \text{VO}_4$ -лазер с диодной накачкой на длине волны 913 нм

Ю.Д.Заварцев, А.И.Загуменный, Ю.Л.Калачев, С.А.Кутовой, В.А.Михайлов, В.В.Подрешетников, А.А.Сироткин, И.А.Щербаков, Р.Реннер-Эрни, В.Люти, Т.Ферер

Исследованы лазерные характеристики кристалла смешанного ванадата $\text{Nd}^{3+} : \text{Gd}_{0.7} \text{Y}_{0.3} \text{VO}_4$ на длине волны излучения 913 нм лазерного перехода ${}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{9/2}$. При продольной диодной накачке получена генерация с выходной мощностью до 600 мВт при абсолютном и дифференциальном значениях КПД лазера $\sim 13\%$ и $\sim 17\%$ соответственно.

Ключевые слова: смешанный ванадат, диодная накачка, квазитрехуровневый лазер.

1. Введение

В последнее время был выполнен ряд исследований эффективной генерации лазеров на основе кристаллов смешанных ванадатов $\text{Nd}^{3+} : \text{Gd}_x \text{Y}_{1-x} \text{VO}_4$ на длине волны перехода ${}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{11/2}$ неодима с длиной волны генерации 1.06 мкм. С высоким КПД реализованы режимы непрерывной генерации, модулированной добротности и генерация пикосекундных импульсов [1–3].

Одним из основных преимуществ смешанных ванадатов как активной среды для твердотельных лазеров является возможность изменения лазерных свойств активных элементов на их основе путем изменения концентрации компонентов кристалла, например ионов Y и Gd. При изменении атомной концентрации компонентов лазерные свойства смешанных ванадатов варьируются в широких пределах. Этим способом можно изменять такие важнейшие свойства лазерных кристаллов, как длина волны генерации, сечение индуцированного перехода, ширину линии люминесценции и др.

Впервые в [4], а затем в работах [5, 6] на переходе ${}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{9/2}$ неодима были исследованы особенности генерации лазеров на основе кристаллов ванадатов $\text{Nd} : \text{YVO}_4$ и $\text{Nd} : \text{GdVO}_4$. Было показано, что высокий КПД генерации при большой средней мощности выходного излучения достигается, несмотря на генерацию лазера в соответствии с квазитрехуровневой схемой, при сравнительно больших внутрирезонаторных потерях вследствие небольшого расщепления основного состояния лазерного перехода. В данной работе ставилась задача получения лазерной генерации при диодной накачке и исследования лазерных характеристик кристалла смешанного ванадата $\text{Nd}^{3+} : \text{Gd}_{0.7} \text{Y}_{0.3} \text{VO}_4$ на длине волны 913 нм лазерного перехода ${}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{9/2}$.

Ю.Д.Заварцев, А.И.Загуменный, Ю.Л.Калачев, С.А.Кутовой, В.А.Михайлов, В.В.Подрешетников, А.А.Сироткин, И.А.Щербаков. Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Россия, 119991 Москва, ул. Вавилова, 38; e-mail: mihailov@kapella.gpi.ru
R.Renner-Erny, W.Lüthy, T.Feurer. Institut of Applied Physics, University of Bern, Sidlerstrasse 5, CH-3012 Bern, Switzerland; e-mail: Ruth.Renner-Erny@iap.unibe.ch, willy.luethy@iap.unibe.ch

Поступила в редакцию 12 октября 2006 г., после доработки – 14 ноября 2006 г.

2. Спектрально-люминесцентные характеристики

Выращивание кристаллов смешанного ванадата $\text{Nd}^{3+} : \text{Gd}_{0.7} \text{Y}_{0.3} \text{VO}_4$ (атомная концентрация Nd 0.5 %) осуществлялось методом Чохральского. Кристаллические були обладали высоким оптическим качеством по всей длине, и практически весь объем були использовался для изготовления лазерных элементов.

На рис.1 приведены спектры люминесценции для π -поляризации кристаллов смешанного ванадата $\text{Nd}^{3+} : \text{Gd}_{0.7} \text{Y}_{0.3} \text{VO}_4$ и, для сравнения, кристаллов гадолиниевого и иттриевого ванадатов с неодимом. Из рис.1 следует, что линия люминесценции смешанного ванадата располагается между линиями люминесценции иттриевого и гадолиниевого ванадатов, причем положение максимума линии определяется соотношением концентраций Gd и Y в смешанном ванадате. В нашем случае это соотношение составляет 0.7 : 0.3, что хорошо согласуется с экспериментальным значением положения максимума люминесценции смешанного ванадата. Таким образом, поскольку зависимость положения максимума люминесценции от соотношений концентраций компонент кри-

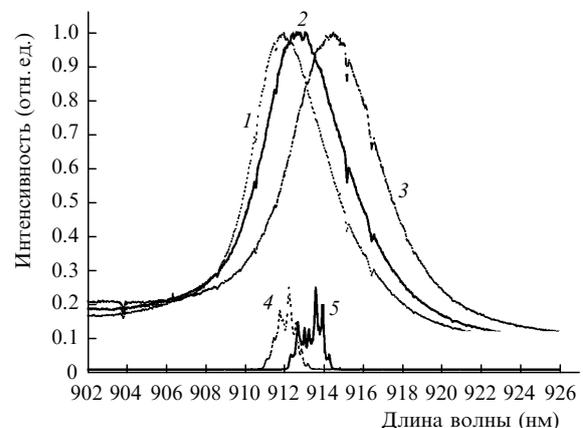


Рис.1. Спектры люминесценции кристаллов $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ (1), $\text{Nd}^{3+} : \text{Gd}_{0.7} \text{Y}_{0.3} \text{VO}_4$ (2), $\text{Nd}^{3+} : \text{YVO}_4$ (3) и спектры генерации лазеров на основе кристаллов $\text{Nd}^{3+} : \text{GdVO}_4$ (4) и $\text{Nd}^{3+} : \text{Gd}_{0.7} \text{Y}_{0.3} \text{VO}_4$ (5) для π -поляризации.

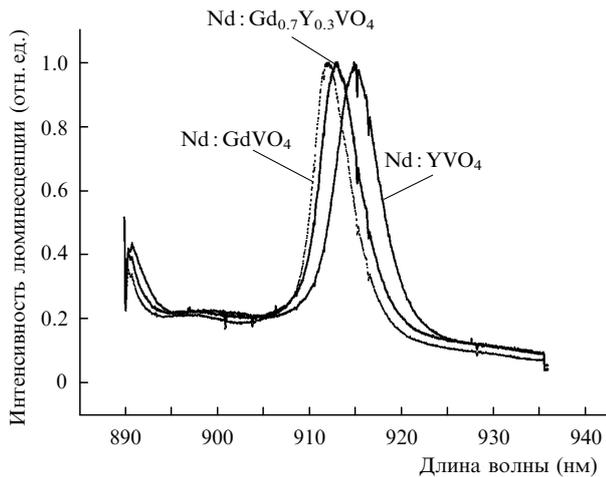


Рис.2. Спектры люминесценции кристаллов $\text{Nd}^{3+}:\text{Gd}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{VO}_4$, $\text{Nd}^{3+}:\text{GdVO}_4$ и $\text{Nd}^{3+}:\text{YVO}_4$ для σ -поляризации.

галлов близка к линейной, можно подбирать требуемую длину волны максимума линии люминесценции и, следовательно, длину волны генерации смешанных ванадатов.

Спектры люминесценции для σ -поляризации кристаллов ванадатов и смешанных ванадатов в диапазоне длин волн 900–930 нм (рис.2) по форме практически совпадают со спектрами для π -поляризации соответствующих кристаллов.

3. Генерационные характеристики

В настоящей работе в качестве активного элемента использовался вырезанный вдоль оси a кристалл $\text{Nd}^{3+}:\text{Gd}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{VO}_4$ (с атомной концентрацией Nd 0.5%) толщиной 2 мм, смонтированный на термоохладителе Пельтье. Резонатор лазера длиной ~ 10 мм был сформирован диэлектрическим зеркалом с коэффициентом отражения $R = 99.9\%$, нанесенным непосредственно на одну из поверхностей активного элемента, и выходным зеркалом. Коэффициент отражения выходного зеркала варьировался и составлял 96% для плоского зеркала и 98% и 98.5% для вогнутых сферических зеркал с радиусами кривизны $r = 30$ и 52 мм соответственно. Зеркальное покрытие на активном элементе обеспечивало пропускание не менее 97% излучения накачки с длиной волны 808 нм. Другая сторона активного элемента была просветлена на длины волн 913, 1064 и 1340 нм. Выходное зеркало было просветлено на 1064 и 1340 нм, чтобы подавить генерацию на этих длинах волн. Накачка осуществлялась лазерной линейкой фирмы LIMO (Германия) с выводом излучения через волоконный световод (числовая апертура ~ 0.3). Излучение накачки фокусировалось в пятно диаметром ~ 150 мкм.

При таких условиях получена генерация на длине волны 913 нм лазерного перехода неодима ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{9/2}$ при использовании активного элемента из кристалла смешанного ванадата $\text{Nd}^{3+}:\text{Gd}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{VO}_4$. Зависимость мощности выходного излучения этого лазера от поглощенной мощности излучения накачки представлена на рис.3. Для сравнения приведены полученные в аналогичных условиях выходные характеристики $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ -лазера.

Наибольшая выходная мощность лазера на смешанном ванадате достигала 610 мВт при использовании сферического выходного зеркала с радиусом кривизны 52

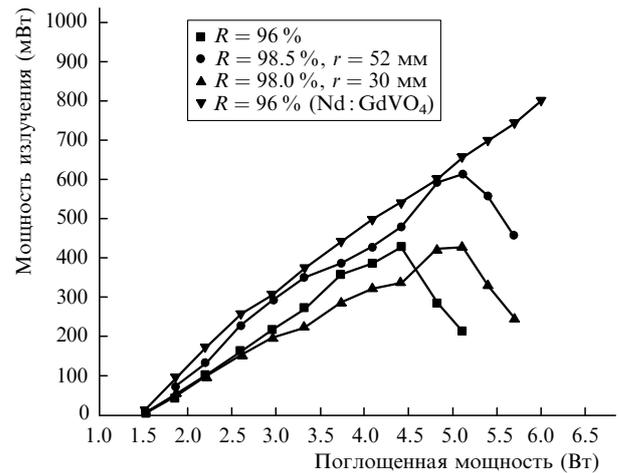


Рис.3. Мощность излучения лазера на основе кристалла $\text{Nd}^{3+}:\text{Gd}_{0.7}\text{Y}_{0.3}\text{VO}_4$ в зависимости от поглощенной мощности накачки в плоскопараллельном (■) и плоскосферических (●, ▲) резонаторах с разными выходными зеркалами; та же зависимость для $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ -лазера с плоскопараллельным резонатором (▼).

мм и коэффициентом отражения 98.5% (см. рис.3). При этом были получены наибольшие значения абсолютного и дифференциального КПД лазера, которые составляли $\sim 13\%$ и $\sim 17\%$ соответственно. Следует отметить, что эти значения КПД лазера хорошо согласуются с соответствующими близкими к предельным значениями КПД, полученными для кристалла ванадата $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ в аналогичных условиях [5].

Эффективность $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ -лазера при прочих равных условиях была лишь незначительно больше, чем у смешанного ванадата. Этот результат может быть обусловлен тем фактом, что ширина линии люминесценции кристалла гадолиниевого ванадата уже, чем у смешанного ванадата (см. рис.1).

Длины волн излучения лазеров на кристаллах гадолиниевого ванадата и смешанного ванадата практически совпадают с максимумами соответствующих линий люминесценции. Форма линий излучения имеет неоднородную вершину с локальными пиками, что свидетельствует о многомодовом характере генерации. Ширина линий излучения для смешанного и гадолиниевого ванадатов составляла 1.4 и 1.0 нм соответственно. Длина волны излучения для смешанного ванадата составляла 913 нм.

Экспериментальная зависимость выходной мощности лазера на смешанном ванадате (см. рис.3) при мощности накачки свыше ~ 4.5 Вт имеет резкий спад вплоть до полного исчезновения лазерной генерации. Между тем, при аналогичных условиях кристалл $\text{Nd}:\text{GdVO}_4$ обеспечивает эффективную генерацию без заметного уменьшения КПД. Анализ показал, что этот эффект связан с меньшей теплопроводностью кристаллов смешанных ванадатов и вызван большей оптической силой наведенной тепловой линзы, приводящей к неустойчивости резонатора. По мере приближения к неустойчивости происходит резкое увеличение диаметра моды резонатора в той области кристалла, куда сфокусировано излучение накачки. Внутррезонаторное излучение оказывается в значительной степени распространяющимся вне зоны накачки, где велики потери на поглощение с верхних подуровней основного состояния. Это приводит к росту внутррезонаторных потерь и, соответственно, к снижению мощности и КПД генерации.

4. Заключение

Получена высокоэффективная генерация на длине волны 913 нм лазерного перехода ${}^4F_{3/2} - {}^4I_{9/2}$ при использовании кристалла смешанного ванадата $Nd^{3+} : Gd_{0.7}Y_{0.3}VO_4$. Экспериментально установлено, что активные элементы из смешанных ванадатов по эффективности почти не уступают активным элементам на основе кристалла ванадата $Nd : GdVO_4$ [4]. Показано, что путем изменения концентраций компонентов Gd и Y у смешанных ванадатов изменяется длина волны генерации лазера. Эта уникальная возможность перестройки длины волны излучения в окрестности длины волны 913 нм может быть использована для расширения сфер приложения таких лазеров.

Работа выполнена при поддержке фонда РФФИ (гранты № 05-02-17330 и № 06-02-08057 офи).

1. Liu J., Wang Z., Meng X., Shao Z., Ozygus B., Ding A., Weber H. *Opt. Lett.*, **28** (23), 2330 (2003).
2. He J., Fan Y., Du J., Wang J., Liu S., Wang H., Zhag L., Hang Y. *Opt. Lett.*, **29** (24), 2803 (2004).
3. Заварцев Ю.Д., Загуменный А.И., Калачев Ю.Л., Кутовой С.А., Михайлов В.А., Сироткин А.А., Щербаков И.А., Реннер-Эрни Р., Люти В., Ферер Т. *Квантовая электроника*, **37** (4), 315 (2007).
4. Сычугов В.А., Михайлов В.А., Кондратюк В.А., Линдин Н.М., Фрам Ю., Загуменный А.И., Заварцев Ю.Д., Студеникин П.А. *Квантовая электроника*, **30** (1), 13 (2000).
5. Заварцев Ю.Д., Загуменный А.И., Зероук Ф., Кутовой С.А., Михайлов В.А., Подрешетников В.В., Сироткин А.А., Щербаков И.А. *Квантовая электроника*, **33** (7), 651 (2003).
6. Breck H. <http://www.photonics.com/content/spectra/2006/June/research/82889.aspx>