

Новый диодно накачиваемый источник когерентного излучения в желтом диапазоне спектра

А. Демидович^a, А. А. Кононович^b, А. С. Грабчиков^b, М. Данаилов^a, В. А. Орлович^b

^a *LaserLab ELETTRA-Sincrotrone, Strada Statale 14 – km 163, 5 in AREA Science Park, 34012 Basovizza, Trieste, Italy*

^b *Институт физики им. Б. И. Степанова НАН Беларуси, просп. Независимости, 68, 220072 Минск, Беларусь*

Frequency sum mixing of 1.06 μm laser radiation and its Stokes component in quasi continuous wave solid-state laser with self-SRS frequency conversion was obtained for the first time. The maximum power of yellow output was 0.5 W.

Ключевые слова: ВКР, когерентное смешение, генерация желтого излучения.

Лазеры, работающие в желтом диапазоне спектра, находят применение в таких областях науки и техники, как лазерная адаптивная оптика – для астрономических телескопов [1], мощные лазерные проекторы, в медицине и биомедицинских приложениях [2–4]. Традиционно источниками желтого когерентного излучения служили лазеры на красителях и на парах меди. Эти системы имеют такие недостатки, как большие габариты, низкая эффективность, сложность в обслуживании [5, 6].

Хорошей альтернативой могут быть полностью твердотельные диодно накачиваемые лазеры. Излучение с длинами волн в желтом диапазоне трудно получить в активных средах на твердом теле. Из-за отсутствия подходящих лазерных переходов в твердотельных средах применяется нелинейное преобразование частоты. В случае непрерывного и квази-непрерывного режима это вызывает определенные трудности, связанные с высокой мощностью излучения, необходимой для эффективного нелинейного преобразования. Существует ряд подходов для получения непрерывного и квази-непрерывного излучения в желтом диапазоне: удвоение частоты полупроводниковых лазеров с вертикальным резонатором [7], когерентное смешение излучения с длинами волн 1.06 и 1.32 мкм, генерируемого твердотельными лазерами на ионах неодима [8] и волоконными лазерами [9]. Отдельного внимания заслуживают методы на основе вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР). К настоящему времени наибольшую выходную мощность и эффективность удалось получить в непрерывном режиме в системах на основе ВКР с удвоением частоты стоксова излучения в волоконных [10] и твердотельных [11] лазерах.

Мы предлагаем новый подход для получения непрерывного излучения в желтом диапазоне в диодно накачиваемых твердотельных лазерах: внутрирезонаторное ВКР-преобразование с одновременным внутрирезонаторным когерентным смешением лазерного и стоксового излучений. В этом докладе излагаются первые результаты по исследованию квазинепрерывной генерации желтого излучения в результате генерации суммарной частоты в диодно накачиваемом лазере с самопреобразованием частоты излучения на основе вынужденного комбинационного рассеяния в активной среде ванадата иттрия с неодимом ($Nd : YVO_4$).

Схема экспериментальной установки изображена на рис. 1. Непрерывный мощный диодный лазер с волоконным выходом LIMO 30-F200-DL808 использовался как источник накачки 1. Диаметр волокна составлял 400 мкм. Диодный лазер работал в квазинепрерывном режиме, генерируя излучение импульсами длительностью 5 мс с периодом 50 мс. Аттенюатор с системой фокусировки 2 позволял плавно менять

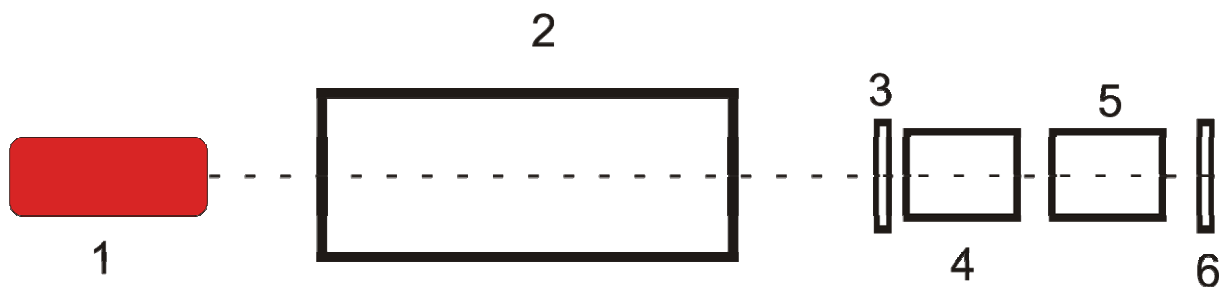


Рис. 1. Схема установки. 1 – диодный лазер (накачка), 2 – система ослабления и фокусировки пучка накачки, 3 – входное зеркало, 4 – кристалл $Nd:YVO_4$, 5 – кристалл LBO, 6 – выходное зеркало.

мощность падающего на кристалл 4 излучения диодного лазера, причем излучение было линейно поляризованным и стабилизированным по длине волны около 808 нм. С помощью этой системы излучение накачки было сфокусировано в приблизительно круглое пятно диаметром около 400 мкм. Перетяжка пучка накачки находилась на расстоянии около 2 мм от входной грани в глубине кристалла активной среды.

Кристалл $Nd:YVO_4$ был вырезан вдоль кристаллографической оси a и имел квадратное сечение. Размеры кристалла составили $4 \times 4 \times 10$ мм. Кристалл был композитным: 2 мм кристалла у входной грани были свободны от ионов неодима, а остальные 8 мм были легированы ионами неодима до концентрации 0.4 at.%. Входная и выходная грани кристалла имели антиотражающее покрытие для диапазона 0.8–1.2 мкм. Кристалл был ориентирован к накачке своим нелегированным концом. Для максимального поглощения накачки кристалл был расположен таким образом, чтобы кристаллографическая ось c была ориентирована вдоль поляризации излучения накачки.

При работе в режиме без когерентного смешения нелинейный кристалл трибората лития (LBO) был извлечен из резонатора, а выходное зеркало размещалось как можно ближе к кристаллу $Nd:YVO_4$. В этом случае общая геометрическая длина резонатора составила 12 мм. Использовались зеркала со следующими характеристиками: входное зеркало 3 имело пропускание $T = 96\%$ на длине волны 808 нм, $T = 0.019\%$ на 1064 нм и $T = 0.15\%$ на 1176 нм; выходное зеркало 6 имело пропускание $T = 0.04\%$ на длине волны 1064 нм и $T = 0.19\%$ на длине волны 1176 нм. Зависимость выходной мощности на длинах волн лазерной и стоксовой генерации от мощности накачки изображена на рис. 2. Максимальная выходная мощность на длине волны стоксовой компоненты составила 1.2 Вт.

Для работы в режиме когерентного смешения излучения с длиной волны 1.06 мкм и его стоксовой компоненты в резонатор был помещен нелинейный кристалл LBO 5 ($5 \times 5 \times 10$ мм, $\theta = 90^\circ$, $\phi = 7.8^\circ$). Оба торца кристалла имели антиотражающие покрытия для диапазонов 1064–1200 нм и 560 нм. С кристаллом LBO геометрическая длина резонатора составляла 17 мм. В режиме когерентного смешения были использованы высокоотражающие зеркала в диапазоне 1.06–1.2 мкм и пропускающие около 50 % излучения с длиной волны 559 нм. Входное и выходное зеркала были одинаковыми по своим спектральным характеристикам.

Зависимость выходной мощности излучения на длине волны 559 нм от мощности накачки при работе лазера в режиме когерентного смешения изображен на рис. 3. Максимальная выходная мощность составила около 0.5 Вт при накачке в 22 Вт.

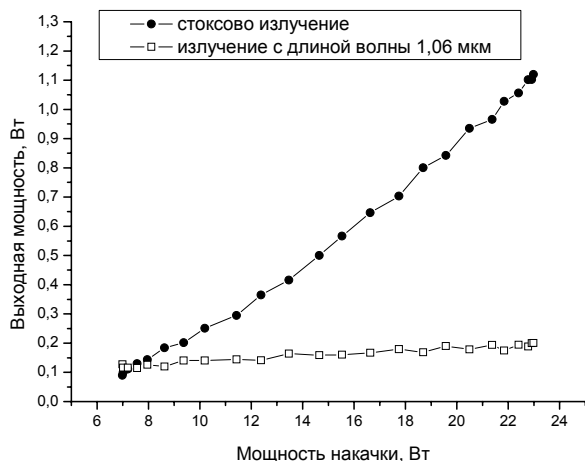


Рис. 2. Зависимость выходной мощности лазерного и стоксового излучения от мощности накачки.

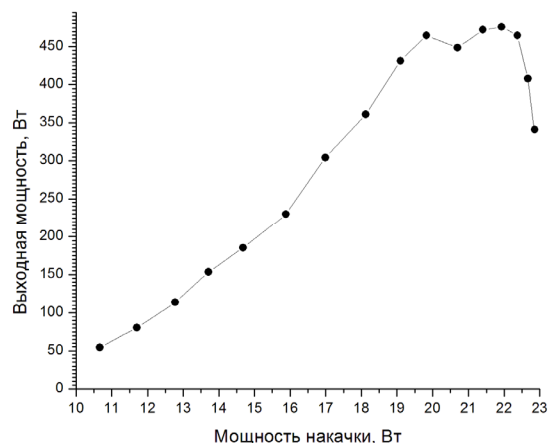


Рис. 3. Зависимость мощности излучения с длиной волны 559 нм от мощности накачки.

С дальнейшим увеличением мощности резонатор становится неустойчивым вследствие тепловых эффектов. Наши оценки показывают, что при надлежащем конструировании резонатора максимальная выходная мощность может быть увеличена до 2.5–3 Вт.

Пути совершенствования предполагают специальный подбор кривизны зеркал для компенсации тепловых эффектов и использование внутрирезонаторного зеркала для препятствования поглощению желтого излучения в $Nd:YVO_4$. Существенным фактором для повышения эффективности служит подбор спектральных характеристик входного и выходного зеркала.

Заключение

Нами было впервые получено внутрирезонаторное ВКР-преобразование с одновременным внутрирезонаторным когерентным смешением лазерного и стоксового излучений в квази-непрерывном твердотельном диодно накачиваемом лазере. Максимальная выходная мощность на длине волны 559 нм составила 0.5 Вт.

Литература

1. Parenti, R. Laser-guide-star systems for astronomical applications. J. Opt. Soc. of America A. 1994. Vol. 11, no. 1. P. 288–309.
2. Beintema, M. Yellow dye laser thermotherapy of choroidal neovascularisation in age related macular degeneration. British Medical J. 2001. Vol. 85, no. 6. P. 608–613.
3. Histologic comparison of the pulsed dye laser and copper vapor laser effects on pig skin. Lasers in Surgery and Medicine. 1990. Vol. 10, no. 6.
4. Effects of laser irradiation on collagen organization in chemically induced degenerative annulus fibrosus of lumbar intervertebral disc. Lasers in Surgery and Medicine. 2008. Vol. 40, no. 6.
5. Звелто, О. Принципы лазеров. Мир, 1990.
6. Schafer, F. Dye Lasers. N. Y. (USA); Springer-Verlag New York Inc., 1990.
7. Recent advances in optically pumped semiconductor lasers. Proc. SPIE. Vol. 6451. 2007. P. 645109.
8. Efficient all solid-state continuous-wave yellow-orange light source. Opt. Express. 2005. Vol. 13, no. 4. P. 1188–1192.

9. Efficient yellow-light generation by frequency doubling a narrow-linewidth 1150 nm ytterbium fiber oscillator. *Opt. Lett.* 2006. Vol. 31, no. 3. P. 347–349.
10. Watts-level frequency doubling of a narrow line linearly polarized Raman fiber laser to 589 nm. *Opt. Express.* 2005. Vol. 13, no. 18. P. 6772–6776.
11. High efficiency, multi-Watt CW yellow emission from an intracavity-doubled self-Raman laser using Nd: GdVO₄. *Opt. Express.* 2008. Vol. 16, no. 26. P. 21958–21963.

New solid-state diode pumped source of coherent yellow radiation

A. Demidovich^a, A. A. Kananovich^b, A. S. Grabtchikov^b, M. Danailov^a, V. A. Orlovich^b

^a*LaserLab ELETTRA-Sincrotrone, Strada Statale 14 – km 163, 5 in AREA Science Park,
34012 Basovizza, Trieste, Italy*

^b*B. I. Stepanov Institute of Physics, NASB, Nezalezhnasti Ave., 68,
220072 Minsk, Belarus*

Frequency sum mixing of 1.06 μm laser radiation and its Stokes component in quasi continuous wave solid-state laser with self-SRS frequency conversion was obtained for the first time. The maximum power of yellow output was 0.5 W.

Keywords: SRS, frequency sum mixing, yellow light generation.