

Удвоение частоты ВКР-лазера с прямой диодной накачкой в резонаторной схеме

Е.А. Евменова^{1,*}, С.И. Каблуков¹, А.Г. Кузнецов¹, С.А. Бабин^{1,2}

¹Институт автоматики и электрометрии СО РАН

²Новосибирский государственный университет

*E-mail: evmenovaea@iae.nsk.su

DOI:10.31868/RFL.2024.160-161

Волоконные ВКР-лазеры с прямой диодной накачкой получили в настоящее время активное развитие благодаря ряду преимуществ: упрощенной конфигурации за счет эффективного заведения многомодовой накачки напрямую в сердцевину многомодового световода, существенному улучшению качества генерируемого пучка за счет эффекта “чистки пучка” при ВКР-преобразовании в волокнах с градиентным профилем показателя преломления, а также возможности генерировать излучение с длиной волны менее 1 мкм при накачке современными дешевыми и надежными многомодовыми лазерными диодами с длиной волны 915-940 нм [1]. Такие лазерные источники также привлекательны для генерации второй гармоники (ГВГ), так как их ширина линии довольно мала ($<0,4$ нм при выходной мощности 60 Вт) по сравнению со стандартными ВКР-лазерами из-за большей площади моды, а длина волны позволяет генерировать сине-зеленое излучение в области 470-500 нм, необходимое для лазерных дисплеев, биологических и астрофизических применений. Стоит отметить, что это излучение вряд ли возможно получить с другими типами волоконных лазеров, поэтому такую схему можно рассматривать как волоконную альтернативу твердотельным лазерам с ГВГ и лазерам на ионах Ag/Kr.

Первые эксперименты по ГВГ в однопроходной схеме с кристаллом PPLN длиной 5 мм представлены в работе [2]. При преобразовании излучения ВКР-лазера с мощностью 35 Вт и качеством пучка $M^2 < 2.4$ была получена вторая гармоника на длинах волн 477 нм и 488 нм с выходной мощностью 0,6 Вт и 0,4 Вт, соответственно [2]. Дальнейшее увеличение мощности возможно при использовании внешнего высокодобротного резонатора. В работе [3] на примере иттербиевого волоконного лазера было показано, что небольшая обратная связь может быть создана в высокодобротном резонаторе для резонатора волоконного лазера. Эта обратная связь позволяет селективировать те продольные моды волоконного лазера, которые согласуются с модами высокодобротного резонатора. Таким образом, можно эффективно удваивать многочастотное излучение без необходимости подстройки резонаторной длины.

В данной работе этот подход планируется применить к ВКР-лазеру с прямой диодной накачкой и большим числом продольных мод. Для этого разработана схема резонатора по типу «бабочка», представленная на рис. 1а. Коэффициент пропускания T входного зеркала Z_1 составляет 5%, зеркала Z_2 , Z_3 и Z_4 - высокоотражающие для длины волны 976 нм. Слабая обратная связь для ВКР-лазера формируется при отражении излучения фундаментальной волны от грани нелинейного кристалла, находящегося внутри высокодобротного резонатора. Сначала с помощью одночастотного лазерного диода с длиной волны 976 нм был исследован коэффициент усиления внешнего резонатора без нелинейного кристалла. Для этого длина резонатора модулировалась с помощью пьезокерамики, прикреплённой к зеркалу Z_2 . На рис. 1б показан синусоидальный сигнал модуляции (синий) и узкие пики пропускания резонатора (черный). Исходя

из осциллограммы, добротность резонатора составила величину 80, что согласуется с теоретической оценкой $4/T$. Измеренный коэффициент усиления излучения внутри резонатора достигал 40. Отдельно в однопроходной схеме с помощью этого же лазерного диода был проверен кристалл PPLN длиной 5 мм. Его коэффициент квадратичной нелинейности составил $\sim 2,8 \times 10^{-2} \text{ Вт}^{-1}$, что значительно лучше величины $1,8 \times 10^{-3} \text{ Вт}^{-1}$ из работы [2].

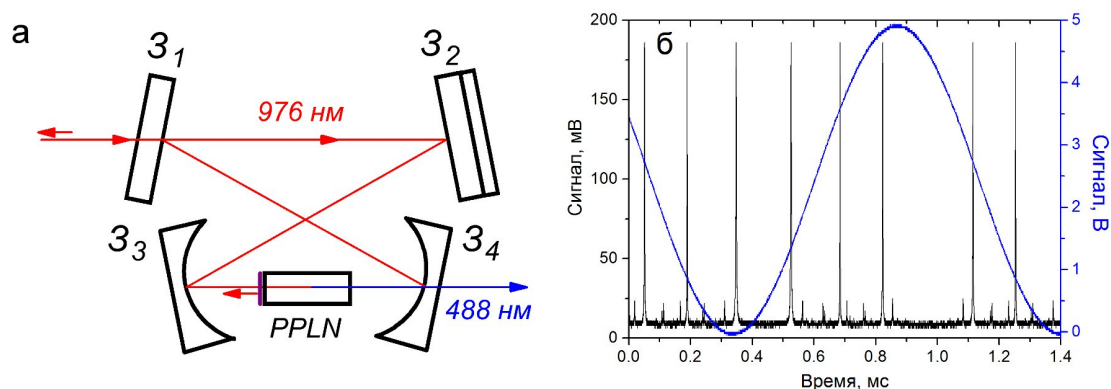


Рис. 1. а. Схема внешнего высокодобротного резонатора; б. Осциллограммы сигнала модуляции пьезокерамики (синий) и пропускания резонатора (черный).

В докладе будут представлены результаты удвоения частоты излучения ВКР-лазера в однопроходной схеме, а также обсуждаться возможности увеличения эффективности ГВГ при использовании ВКР-лазера с улучшенными спектральными и модовыми характеристиками, полученными при использовании на выходе лазера случайных отражающих структур, записанных фемтосекундным излучением, или диэлектрических зеркал, напыленных на выходной торец световода.

Исследования поддержаны Российским научным фондом (проект № 21-72-30024).

Литература

- [1] S.A. Babin, E.A. Zlobina et al, *Sci. Rep.* **6**, 22625 (2016).
- [2] A.G. Kuznetsov, E.A. Evmenova et al, *Opt. Express* **27**, 34760- 34768 (2019).
- [3] S. Khripunov, D. Radnatarov et al, *Opt. Express* **22**, 7046-7051 (2014).