

**Механизм увеличения яркости пучка при ВКР-генерации
в многомодовом градиентном световоде с диодной накачкой**

Mechanism of brightness enhancement in multimode LD-pumped graded-index fiber Raman lasers

*Авторы: Кузнецов А.Г.¹, Подивилов Е.В.¹, Вольф А.А.¹, Немов И.Н.¹,
Каблуков С.И.¹, Бабин С.А.¹; Сидельников О.С.², Федорук М.П.²,
Вабниц С.²*

¹*Институт автоматизации и электрометрии Сибирского отделения Российской академии наук (ИАиЭ СО РАН, г. Новосибирск)*

²*Новосибирский государственный университет (НГУ, г. Новосибирск)*

*Authors: Kuznetsov A.G.¹, Podivilov E.V.¹, Wolf A.A.¹, Nemov I.N.¹,
Kablukov S.I.¹, Babin S.A.¹, Sidelnikov A.S.², Fedoruk M.P.²,
Wabnitz S.²*

¹*Institute of Automation and Electrometry, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch, Novosibirsk (IA&E SB RAS, Novosibirsk)*

²*Novosibirsk State University (NSU, Novosibirsk)*

Продемонстрировано ВКР-преобразование сильно-многомодового излучения диодной накачки с улучшением параметра качества пучка M^2 с ~ 30 до ~ 2 и 1.3 для 1 и 2 стоксова порядка соответственно, а яркость генерируемого пучка по сравнению с накачкой увеличивается в 73 раза (рекордное значение для лазеров данного типа) при выходной мощности >50 Вт на 976 нм [1–3]. При этом профиль пучка накачки до порога генерации соответствует профилю градиентного световода (ГС), а выше порога в его центральной области формируется провал с шириной значительно большей ширины стоксовых пучков, форма которых близка к гауссовой и практически не меняется с ростом мощности [4].

Построена модель связанных мод с учетом основных физических процессов в ВКР-лазере [5]. Сравнение с экспериментом показало, что помимо процесса ВКР на формирование стоксова пучка принципиальное влияние оказывают эффекты случайной и нелинейной связи поперечных мод при его распространении в 1-км ГС, а также селективное по модам отражение от выходной ВБР, записанной фс-импульсами в приосевой области ГС, а на пучок накачки эти эффекты оказывают слабое влияние. В результате впервые описан эффект увеличения интенсивности стоксова пучка по сравнению с накачкой (рис.1) [6].

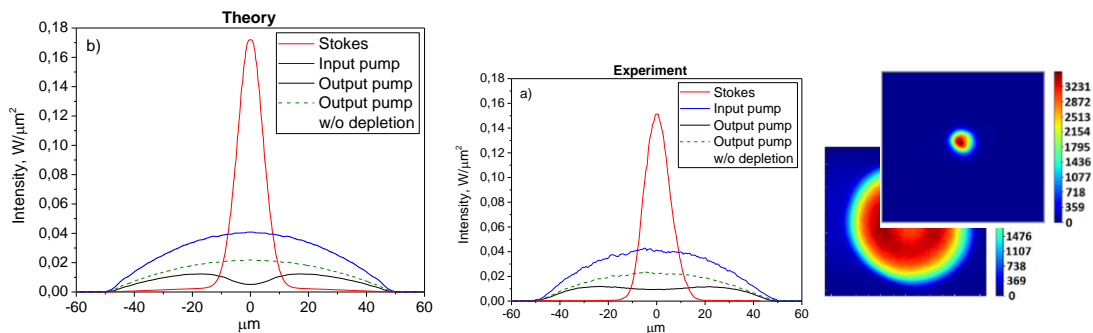


Рис. 1. Профили пучков генерируемого стоксова излучения (красный) и накачки (на входе – синий, на выходе – черный, без учета истощения – штриховой) многомодового ВКР-лазера с ГВС в теории и в эксперименте вместе с поперечными сечениями пучков стоксова излучения (вверху) и накачки (внизу).

Fig. 1. Profiles of the generated Stokes radiation beams (red) and pump beam (blue at the input, black at the output, and a dotted line – without the effect of wave depletion) of a multimode GIF Raman laser in the theory and experiment, together with the cross sections of the Stokes (top) and pump (bottom) radiation beams

Raman conversion of highly multimode diode-pump radiation is demonstrated with an improvement in the beam quality parameter M^2 from ~ 30 to ~ 2 and 1.3 for the 1st and 2nd Stokes orders, respectively, and the brightness of the generated beam increases by a factor of 73 compared to pumping (a record value for lasers of this type) at an output power of >50 W at 976 nm [1–3]. In this case, the profile of the pump beam up to the lasing threshold corresponds to the profile of the graded index fiber (GIF); above the threshold, in its central region, a dip is formed with a width much larger than the width of the Stokes beams whose shape is close to the Gaussian beam and practically does not change with increasing power [4].

An analytical model of coupled modes is constructed taking into account the main physical processes in the Raman laser [5]. A comparison with the experiment showed that, in addition to the SRS process, the formation of a Stokes beam is fundamentally affected by the effects of random and nonlinear coupling of transverse modes during its propagation in a 1-km GIF, as well as mode-selective reflection from the output FBG recorded by fs pulses in the axial region of the GIF, and these effects have little influence on the pump beam. As a result, the effect of an increase in the intensity of the Stokes beam compared to the pump wave was described for the first time (Fig. 1) [6].

Публикации/References:

1. Babin S.A., Kuznetsov A.G., Sidelnikov O.S., Wolf A.A., Nemov I.N., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Wabnitz S. Spatio-spectral beam control in multimode diode-pumped Raman fibre lasers via intracavity filtering and Kerr cleaning // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 11, is. 1. – P. 21994. – DOI 10.1038/s41598-021-01491-0.

2. Kuznetsov A.G., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Babin S.A. Brightness enhancement and beam profiles in an LD-pumped graded-index fiber Raman laser // OSA Continuum. – 2021. – Vol. 4, is. 3. – P. 1034–1040. – DOI 10.1364/OSAC.421985.
3. Kuznetsov A.G., Nemov I.N., Wolf A.A., Evmenova E.A., Kablukov S.I., Babin S.A. Cascaded generation in multimode diode-pumped graded-index fiber Raman lasers // Photonics. – 2021. – Vol. 8, is. 10. – P. 447. – DOI 10.3390/photonics8100447.
4. Babin S.A., Kuznetsov A.G., Sidelnikov O.S., Kablukov S.I., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Wabnitz S. Mechanism of brightness enhancement in multimode LD-pumped graded-index fiber Raman lasers // Advanced Solid State Lasers (ASSL.LAC), October 3–7, 2021, Washington, US (OSA Technical digest). – 2021. – P. JM3A (2 p.).
5. Кузнецов А.Г., Каблуклов С.И., Подивиллов Е.В., Бабин С.А. Исследование пространственных характеристик выходного пучка каскадного ВКР-лазера с многомодовой диодной накачкой // Квантовая электроника. – 2021. – Т. 51, № 12. – С. 1090–1095. – DOI 10.1070/QEL17657.
6. Sidelnikov O.S., Podivilov E.V., Fedoruk M.P., Kuznetsov A.G., Wabnitz S., and Babin S.A. Mechanism of brightness enhancement in multimode LD-pumped graded-index fiber Raman lasers: numerical modeling // Optics Express (in press).