

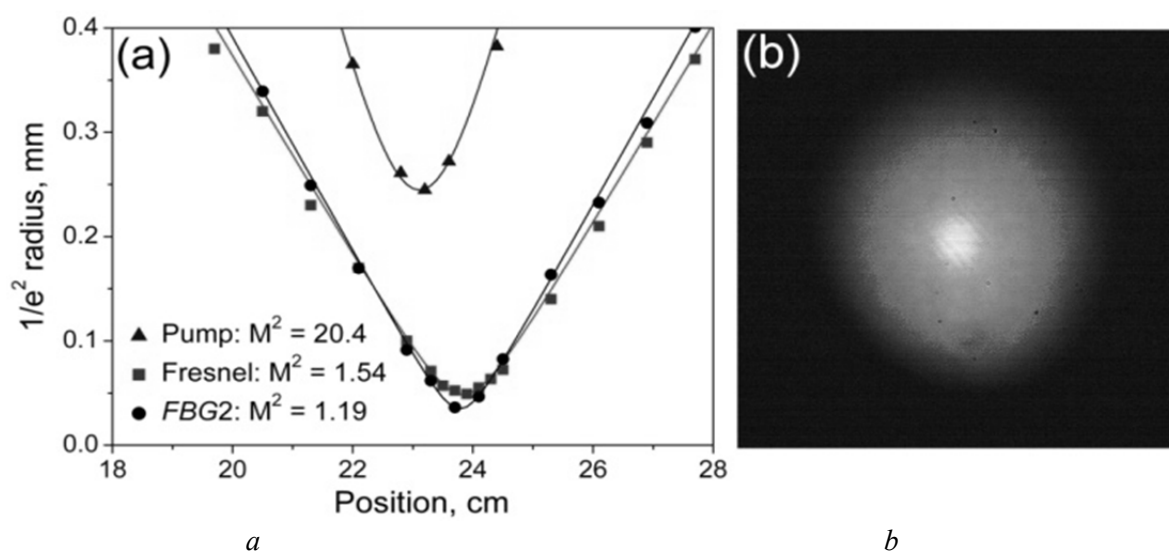
## Одномодовый ВКР-лазер на основе многомодового градиентного световода с прямой диодной накачкой

### Singlemode Raman lasing in a multimode graded-index fiber with direct diode pumping

Авторы: Злобина Е.А., Донцова Е.И., Немов И.Н., Скворцов М.И.,  
Власов А.А., Вольф А.А., Достовалов А.В., Каблуков С.И.,  
Бабин С.А.

Authors: Zlobina E.A., Dontsova E.I., Nemov I.N., Skvortsov M.I., Vlasov A.A., Wolf A.A.,  
Dostovalov A.V., Kablukov S.I., Babin S.A.

Впервые получена генерация волоконного ВКР-лазера с прямой диодной накачкой в области  $<1$  мкм, где обычные волоконные лазеры практически не работают. Показано, что ВКР-преобразование в резонаторе на основе многомодового градиентного световода и сформированных в нём специальных волоконных брэгговских решёток (ВБР) сопровождается улучшением качества пучка с  $M_p^2 \sim 20$  (многомодовая накачка на 915 нм) до  $M_s^2 \sim 1,2$  (одномодовая генерация на 954 нм). Основной вклад в эффект дает слабая ( $\sim 4\%$ ) выходная решётка, сформированная фемтосекундным излучением селективно в центральной области градиентной сердцевины. Дифференциальная эффективность преобразования достигает  $\sim 40\%$  при уровне выходной мощности  $>10$  Вт. Продемонстрирована возможность работы такого лазера без выходного зеркала – за счёт рэлеевской распределенной обратной связи. Полученные уровни мощности и качества пучка позволяют эффективно удваивать частоту генерации. Таким образом, предложен и реализован новый тип волоконных лазеров ближнего ИК и видимого диапазона, который может найти применение в биомедицинской диагностике, лазерных дисплеях и др.



Измерение параметра  $M^2$  для прошедшего через градиентный световод многомодового излучения накачки (треугольники) и генерируемого стоксова излучения с френелевским отражением от торца (квадраты) и с выходной ВБР (круги) (a) и соответствующее изображение выходного пучка накачки (серый) и генерации (яркий) в дальней зоне (b)

Measurement of the  $M^2$  parameter for multimode pump radiation transmitted through a graded-index fiber (triangles) and generated Stokes radiation with Fresnel reflection (squares) and output fs-FBG (circles) (a) and corresponding output beam image involving pump (grey) and laser (bright) beams in the far-field zone (b)

Generation of a fiber Raman laser with direct diode pumping has been obtained for the first time in the spectral range of  $<1$  micron, where conventional fiber lasers practically do not work. It has been shown that the Raman conversion in a cavity formed in a graded-index fiber by

special fiber Bragg gratings (FBGs) is accompanied by the beam quality improvement from  $M_p^2 \sim 20$  (multimode pump radiation at 915 nm) to  $M_s^2 \sim 1.2$  (single-mode generation at 954 nm) (fig. 1.4). The main contribution to the effect is provided by the weak ( $R \sim 4\%$ ) output FBG, which is formed by the femtosecond laser selectively in the central part of the graded-index fiber core. The slope efficiency reaches  $\sim 40\%$  at the output power level of  $>10$  W. The opportunity of operating without the output mirror (using Rayleigh scattering distributed feedback instead) has been also demonstrated. The obtained levels of power and beam quality enable efficient doubling of the generated radiation frequency. Thus, a new type of fiber lasers operating in near-IR and visible ranges has been proposed and realized, which is interesting for biomedical diagnostics, laser displays, and other applications.

#### **Публикации:**

1. Kablukov S.I., Dontsova E.I., Zlobina E.A., Nemov I.N., Vlasov A.A., Babin S.A. An LD-pumped Raman fiber laser operating below  $1\ \mu\text{m}$  // *Laser Phys. Lett.*, 2013, v. 10. P. 085103.
2. Babin S.A., Dontsova E.I., Kablukov S.I. Random fiber laser directly pumped by a high-power laser diode // *Opt. Lett.*, 2013, v. 38, № 17. P. 3301–3303.
3. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Skvortsov M.I., Nemov I.N., Babin S.A. 954 nm Raman fiber laser with multimode laser diode pumping // *Las. Phys. Lett.*, 2016, v. 13, № 3. P. 035102.
4. Zlobina E.A., Kablukov S.I., Wolf A.A., Dostovalov A.V., and Babin S.A. Nearly single-mode Raman lasing at 954 nm in a graded-index fiber directly pumped by a multimode laser diode // *Opt. Lett.*, 2017, v. 41, issue 1 (in press).
5. Каблуклов С.И., Злобина Е.А., Скворцов М.И., Немов И.Н., Вольф А.А., Достовалов А.В., Бабин С.А. Селекция мод в волоконном ВКР-лазере с прямой диодной накачкой при использовании ВБР в многомодовом градиентном световоде // *Квантовая электроника*, 2016, т. 46, № 12. С. 1106–1109.
6. Приглашенные доклады на конференциях ACP 2015, Laser Optics 2016, MPLP 2016, Photonics 2016 и устные доклады на LPHYS 2016, Frontiers in Optics 2016.