

# NOVEL ACTIVE OPTICAL FIBERS FOR LASERS WITH ULTRA-SHORT RESONATOR LENGTH

Butov O.V., Rybaltovsky A.A., Golant K.M., Savel'ev E.A., Chamorovsky Yu. K.  
Institution of Russian Academy of Sciences  
of Kotelnikov Institute of Radio Engineering and Electronics of RAS  
Mokhovaya 11-7, Moscow, 125009, Russian Federation  
Ph.: (495) 6293574, e-mail: obutov@mail.ru

*Abstract* — Highly-ytterbium doped active optical fibers fabrication technology has been developed. A high UV-photosensitivity of active fibers at 193-nm excimer laser irradiation was found. The possibility of all-in-fiber laser resonator fabrication has been demonstrated.

## НОВЫЕ АКТИВНЫЕ ВОЛОКОННЫЕ СВЕТОВОДЫ ДЛЯ ЛАЗЕРОВ С УЛЬТРАКОРОТКИМ РЕЗОНАТОРОМ

Бутов О.В., Рыбалтовский А.А., Голант К.М., Савельев Е.А., Чаморовский Ю.К.  
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
«Институт радиотехники и электроники им. В. А. Котельникова РАН»  
Ул. Моховая, д. 11, корп. 7, Москва, 125009, Россия  
тел.: (495) 6293574, e-mail: obutov@mail.ru

*Аннотация* — Разработана технология получения активных волоконных световодов с высоким содержанием оксида иттербия в сердцевине. Обнаружена высокая фоточувствительность активных световодов к воздействию УФ-излучения эксимерного лазера с длиной волны 193 нм. Продемонстрирована возможность изготовления резонатора волоконного лазера целиком на отрезке активного световода.

### I. Введение

Волоконные световоды, активированные ионами иттербия ( $Yb^{3+}$ ), широко применяются в настоящее время при изготовлении волоконных лазеров для диапазона длин волн 980–1100 нм. В качестве материала сердцевины активных световодов используется алюмо- или фосфоросиликатное стекло. При этом наиболее перспективным для легирования  $Yb^{3+}$  считается применение трёхкомпонентного состава - алюмофосфоросиликатного стекла [1].

Для волоконных лазеров с предельно узкой линией генерации [2], имеющих резонатор длиной всего несколько сантиметров, необходима высокая концентрация  $Yb^{3+}$  в сердцевине световода. Целью данной работы была разработка технологии получения высоколегированных активных световодов, исследование их оптических свойств, а также возможности создания на их основе полнофункционального резонатора для волоконного лазера.

### II. Обсуждение результатов

Заготовка для световодов была синтезирована методом плазмохимического осаждения (SPCVD). Данные о химическом составе стекла сердцевины исследованного образца, а также разнице показателей преломления между сердцевиной и оболочкой представлены в Таблице 1.

Таблица 1. Основные характеристики сердцевины исследованного образца

Химический состав	$\Delta n_{\text{core-clad}}$	$Al_2O_3$ (мол. %)	$P_2O_5$ (мол. %)	$Yb_2O_3$ (мол. %)
$Al_2O_3/P_2O_5/Yb_2O_3/SiO_2$	0.015	10	6.2	1.3

На рис. 1 и 2 показаны спектры начального поглощения в ИК и УФ диапазонах длин волн. Как видно из рис. 1, максимум поглощения на длине волны

975 нм составил более 3 дБ/мм, что позволит использовать в качестве активного элемента волоконного лазера отрезок световода длиной ~ 10 мм. Функцию зеркал-отражателей в волоконных лазерах выполняют брэгговские решётки. Известно, что эффективная запись брэгговской решётки в световоде лазерным УФ-излучением возможна лишь при условии его высокой фоточувствительности на длине волны генерации лазера. Анализ спектра пропускания образца в УФ-диапазоне длин волн (рис. 2) показал, что вблизи длины волны 200 нм коэффициент поглощения в исследованном образце заготовки вполне удовлетворяет этому критерию.

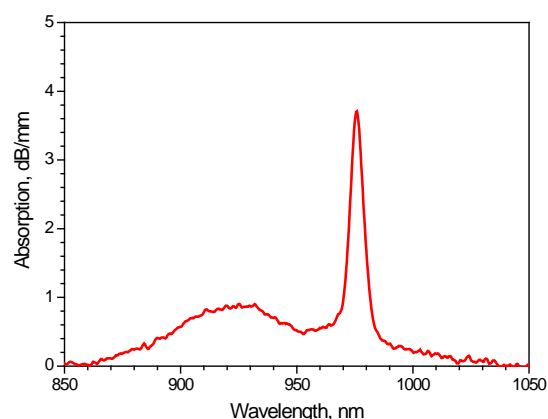


Рис. 1. Спектр начального ИК поглощения образца световода

Fig. 1. IR absorption spectrum of fiber sample

Исследование фоточувствительности образцов световодов проводилось при помощи записи в них внутриволоконной брэгговской решётки излучением

эксимерного ArF-лазера с длиной волны генерации 193 нм. Из литературы известно, что предварительное выдерживание германо- и фосфоросиликатных световодов в атмосфере водорода приводит к увеличению их фоточувствительности более чем на порядок [3],[4]. Поэтому часть исследованных в настоящей работе образцов перед облучением находилась в водородной атмосфере при температуре 70 °С и давлении 8 МПа в течение 7 дней - до полного "насыщения" молекулами H<sub>2</sub> сердцевины.

Эксперименты показали, что эффективная запись брэгговской решётки и, соответственно, высокая фоточувствительность, возможна лишь в "насыщенных водородом" образцах световодах (рис. 3), в то время как без использования этой методики в световоде удалось записать решётку глубиной всего ~ 0.1 дБ, что соответствует значению наведённого показателя преломления примерно  $5 \cdot 10^{-5}$ . Как видно из рис. 3, достигнутое значение наведённого показателя преломления составило  $1.3 \cdot 10^{-3}$ , что сопоставимо по величине с германосиликатными световодами, традиционно используемыми при записи брэгговских решёток для волоконных лазеров [5].

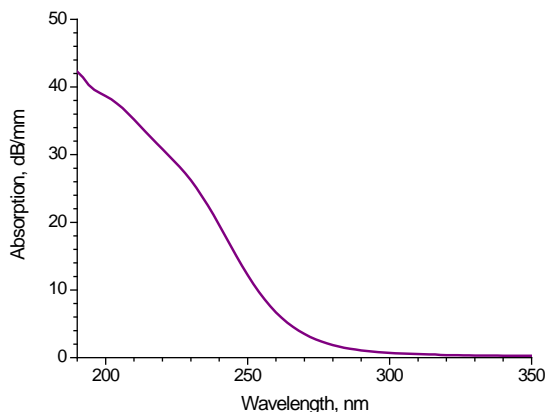


Рис. 2. Спектр начального УФ поглощения образца заготовки

Fig. 2. UV absorption spectrum of preform sample

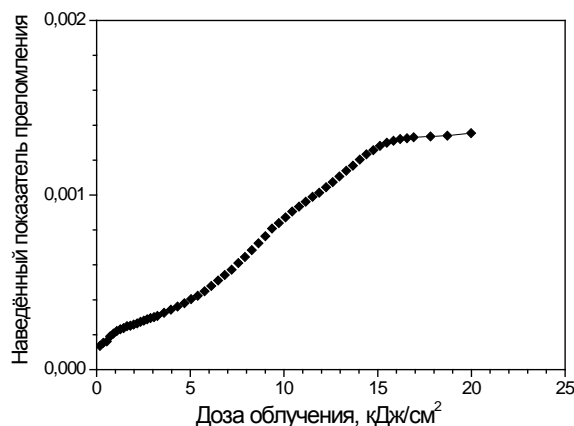


Рис. 3. Зависимость наведённого показателя преломления сердцевины от дозы УФ-облучения

Fig. 3. Refractive index changes in dependence on UV-irradiation dose

### III. Заключение

С помощью метода плазмохимического осаждения изготовлены активные волоконные световоды с высоким (1.3 мол. %) содержанием оксида иттербия в сердцевине. Анализ ИК и УФ спектров пропускания образцов заготовок и световодов не выявил признаков кластеризации ионов иттербия в сетке стекла сердцевины, что является необходимым условием для использования световода в качестве активного элемента в резонаторах волоконных лазеров.

Впервые продемонстрирована возможность создания брэгговских решёток с помощью лазерного УФ-излучения в активных волоконных световодах, не содержащих оксид германия в сердцевине. Достигнутое значение наведённого показателя преломления  $\sim 10^{-3}$  является достаточным для формирования на участке световода длиной несколько миллиметров глубоких решёток с коэффициентом отражения > 99 %, которые могут быть использованы в качестве эффективных зеркал-отражателей в волоконных лазерах для приборов и систем радиофотоники.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проекты «офи\_м 14-29-08170» и «офи\_м 14-29-08195»).

### IV. References

- [1]. J. Kirchhoff, S. Unger, A. Schwuchow, S. Grimm, V. Reichel. Materials for high-power fiber lasers. J. of Non-Cryst. Solids, 2006, V. 352, pp. 2399-2403.
- [2]. S. Mo, X. Huang, S. Xu, C. Li, C. Yang, Z. Feng, W. Zhang, D. Chen, Z. Yang. 600-Hz linewidth short-linear-cavity fiber laser. Optics Letters, 2014, V. 39, № 20, pp. 5818-5821.
- [3]. V. Grubsky, D.S. Starodubov, J. Feinberg. Photochemical reaction of hydrogen with germanosilicate glass initiated by 3.4-5.4-eV ultraviolet light. Optics Letters, 1999, V. 24, № 11, pp. 729-731.
- [4]. A.A. Rybaltofsky, V.O. Sokolov, V.G. Plotnichenko, A.V. Lanin, S.L. Semenov, A.N. Gur'yanov, V.F. Khopin, E.M. Dianov. Photoinduced absorption and refractive-index induction in phosphosilicate fibres by radiation at 193 nm, Quantum Electronics, 2007, V. 37, № 4, pp. 388-392.
- [5]. A.S. Kurkov, V. I. Karpov, A. Yu. Laptev, O. I. Medvedkov, E. M. Dianov, A. N. Gur'yanov, S. A. Vasil'ev, V. M. Paramonov, V. N. Protopopov, A. A. Umnikov, N. I. Vechkanov, V. G. Artyushenkoc J. Frahm. Highly efficient cladding-pumped fibre laser based on an ytterbium-doped optical fibre and a fibre Bragg grating, Quantum Electronics, 1999, V. 27, № 3, pp. 239-240.