

**Активированные редкоземельными ионами композитные волоконные световоды**

*Авторский коллектив: В.В.Вельмискин<sup>2</sup>, Б.И.Галаган<sup>1</sup>, Б.И.Денкер<sup>1</sup>, О.Н.Егорова<sup>2</sup>, В.А.Камынин<sup>1</sup>, А.А.Поносова<sup>1</sup>, С.Е.Сверчков<sup>1</sup>, С.Л.Семенов<sup>2</sup>, В.Б.Цветков<sup>1</sup>.*

**1. ИОФ РАН, 2. НЦВО РАН**

Классические оптические стеклянные волокна состоят, как правило, из сердцевины и оболочки на основе одноименных стекол, составы которых незначительно отличаются для достижения необходимой разницы в показателях преломления. Наиболее известными и распространенными в настоящее время являются оптические волокна на основе кварцевого стекла. Это связано с такими уникальными свойствами кварцевого стекла как малые оптические потери, устойчивость к воздействию внешних факторов, высокая прочность и другими. Однако, в связи с особенностями структуры кварцевого стекла, оно не допускает введения высоких концентраций активных редкоземельных элементов, которое в ряде случаев требуется для создания световодов для волоконных лазеров и усилителей. Фосфатное стекло, напротив, является одной из наилучших матриц для введения редкоземельных ионов. Концентрация редкоземельных ионов в фосфатном стекле в среднем на порядок больше, чем их концентрация в легированном кварцевом стекле, обычно используемом для создания световодов. Изготовление оптических волокон, сердцевина и оболочка которых состоит из фосфатного стекла, также возможно. Высокая концентрация активных редкоземельных ионов в сердцевине таких световодов позволяет получать высокие значения коэффициента усиления и выходной мощности на единицу длины световода, и, следовательно, сократить рабочую длину активного элемента волоконного лазера или усилителя по сравнению со световодами на основе кварцевого стекла. Успешная практическая реализация такого волокна и лазера на его основе была продемонстрирована в совместной работе ИОФ РАН и НЦВО РАН [И.А. Буфетов, С.Л. Семенов, А.Ф. Косолапов, М.А. Мелькумов, В.В. Дудин, Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, В.В. Осико, С.Е. Сверчков, Е.М. Дианов, "Иттербиевый волоконный лазер на основе световода с сердцевиной из высококонцентрированного  $\text{Yb}^{3+}$ -стекла," Квантовая электроника, т. 36, № 3, сс. 189-191 (2006)].

Уменьшение длины активных элементов лазеров и усилителей целесообразно, во-первых, для снижения нежелательного нелинейно-оптических эффектов, во-вторых, для создания одночастотных волоконных лазеров с высокой выходной мощностью порядка нескольких сотен милливатт, а также лазеров с высокой частотой повторения импульсов. Недостатком фосфатного стекла, по сравнению с кварцевым, является его низкая стойкость к воздействию атмосферной влаги, что существенно снижает прочность и надежность световодов на его основе и приводит к деградации фосфатных световодов с течением времени. Кроме того, из-за больших различий в физико-химических свойствах фосфатного и кварцевого стекол, световоды из этих материалов плохо поддаются соединению друг с другом с помощью сварки, а места соединений являются ненадежными.

В настоящем цикле работ изначальная задача заключалась в создании оптических композитных волокон с оболочкой из кварцевого стекла и сердцевиной из активированного редкоземельными ионами фосфатного стекла. В световоде такого типа, с одной стороны, высокая концентрация редкоземельных элементов в сердцевине позволяет сократить его рабочую длину, а, с другой стороны, кварцевая оболочка позволяет повысить его влагоустойчивость, обеспечить механическую надежность световода и мест его соединений. В ходе успешного выполнения работ эта задача была дополнена исследованием возможности создания других композитных волокон, составы стекол оболочки и сердцевины которых существенно различаются. Примерами могут служить волокна с сердцевиной из активированных РЗИ ИК-прозрачных кальций-алюминатных стекол, а также волокна с олово-германатной сердцевиной в кварцевой или алюмосиликатной оболочках. Создание подобных световодов может помочь расширить диапазон длин волн лазерной генерации и расширить область ее плавной перестройки.

Следует указать, что анализ доступных нам на момент постановки настоящей работы литературных данных позволил обнаружить лишь одну публикацию [Martin, R.A. Silica-clad neodymium-doped lanthanum phosphate fibers and fiber lasers *Photonics Technology Letters*, IEEE Feb. 15, (2006)], в которой была высказана аналогичная идея. В этой работе сообщалось об изготовлении волоконного световода с кварцевой оболочкой и сердцевиной из активированного неодимом фосфатного стекла, а также была продемонстрирована возможность получения в нем лазерной генерации.

В ходе решения поставленной задачи нами была разработана многостадийная технология изготовления композитных световодов, в основу которой был положен известный метод "rod in tube". При подборе пары составов стекол для сердцевины и оболочки световодов следовало учитывать такие требования как необходимая разница в значении показателей преломления, химическая и термомеханическая совместимость, низкая степень взаимодиффузии стекол сердцевины и оболочки в процессе вытяжки световода. Так, для получения волокон с оболочкой из кварцевого стекла и сердцевиной из активированных редкоземельными ионами фосфатного стекла, в качестве основы сердцевины единственным подходящим оказалось ранее разработанное в ИОФРАН высокопрочное фосфатное стекло с высокой концентрацией РЗИ [G.Karlsson, F.Laurell, J.Tellefsen, B.Denker, B.Galagan, S.Sverchkov. Development and characterisation of Yb-Er laser glass for high average power laser diode pumping. *Appl.Phys. B*, v.75, pp.1-6(2002)]. С использованием этой технологии была получена серия световодов с высокой концентрацией оксида фосфора в сердцевине около 30-35 мол.%, недостижимой в процессе осаждения стекла из газовой фазы, обычно используемой для создания световодов, активированных РЗИ.

В ходе выполнения работы было проведено всестороннее исследование свойств полученных световодов, исследованы механические и оптические характеристики полученных световодов. Показано, что в композитных световодах, легированных ионами иттербия, эрбия и системы иттербий-эрбий, может быть достигнута высокая эффективность лазерной генерации [2, 5, 8, 11-14] (см. список журнальных публикаций в Приложении). Продемонстрирована возможность создания на их основе суперлюминесцентных волоконных источников с накачкой в оболочку [3, 7, 10], компактных усилителей, работающих в спектральном диапазоне 1.53-1.57 мкм [2, 4],

непрерывных лазеров с распределенной обратной связью, лазеров ультракоротких импульсов [15].

В ходе работы первоначальная задача наших исследований была дополнена также задачей создания других композитных волокон, составы стекол оболочки и сердцевины которых существенно различаются. В частности, было проведено исследование возможности изготовления композитных оптических волокон с сердцевиной из легированного тулием ИК-прозрачного кальций-алюминатного стекла (КАС) в кварцевой или многокомпонентной силикатной оболочке. Привлекательными особенностями  $Tm^{3+}$ : КАС являются высокий, приближающийся к 100%, квантовый выход люминесценции тулия ( $\tau=3$  мс против 250-400 мкс в кварцевом стекле), а также расширенная (по сравнению с кварцевым стеклом) в длинноволновую сторону область генерации, простирающийся от 2.0 до 2.3 мкм. В результате впервые удалось изготовить композитные световоды с глубоко обезвоженной сердцевиной из  $Tm^{3+}$ : КАС в кварцевой оболочке [1,35]. Используя разработанную технологию изготовления композитных световодов, в основу которой был положен "rod in tube" метод, нами была также показана возможность создания протяженных волоконных световодов с оловогерманатной сердцевиной в силикатной оболочке [6]. Привлекательной особенностью оловогерманатных стекол, как это было впервые показано нами [6] является чрезвычайно широкополосная (1-2 мкм) фотолюминесценция, простирающаяся от 1 до 2 мкм с характерными временами релаксации в сотни мкс.

Полученные результаты открывают новые перспективы изготовления оптических волокон с уникальным сочетанием характеристик, простых в использовании и обладающих высокой механической прочностью и надежностью.

Список публикаций к конкурсу научных работ ИОФ РАН 2018г.

Журнальные статьи

1. B.I. Denker, B.I. Galagan, S.E. Sverchkov. Laser potential of calcium aluminate glasses. Journal of Non-Crystalline Solids, **Q1**, 496 (2018) 29–33.  
([файл прилагается](#))
2. Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков. Композитные световоды с Er/Yb фосфатной сердцевиной и двойной кварцевой оболочкой для компактных усилителей. Квантовая электроника, **Q2**, – 2018. – Т.48, № 6. – С. 550 – 553.  
([файл прилагается](#))
3. B.I. Denker, O.N. Egorova, B.I. Galagan, V.A. Kamynin, A.A. Ponosova, S.E. Sverchkov, S.L. Semjonov and V.B. Tsvetkov. Infrared broadband all-fiber light source based on high-concentration Er<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup> composite double-clad fiber. Laser Physics Letters, **Q1**, – 2017. – Vol. 14. – №. 7. – 075101(4pp).
4. Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков. Усилитель на основе высоколегированного Er<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup> композитного оптического волокна. *Фотон-экспресс*. - 2017. -№ 6 (142). - с. 35-36.
5. Галаган Б.И., Денкер Б.И., Егорова О.Н., Вельмискин В.В., Семенов С.Л., Сверчков С.Е., Дианов Е.М. Высокоактивированные РЗИ композитные световоды с кварцевой оболочкой. *Фотон-экспресс*. - 2017. -№ 6 (142). - с. 143-144.
6. A. I. Chernov, B. I. Denker, R. P. Ermakov, B. I. Galagan, L. D. Iskhakova, S. E. Sverchkov, V. V. Velmiskin, E. M. Dianov. Synthesis and photoluminescent properties of SnO-containing germanate and germanosilicate glasses. Appl. Phys. B, **Q2**, v. 122, #9, с 243 (2016).([файл прилагается](#))
7. Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков. Широкополосный волоконный источник инфракрасного излучения на основе высоколегированного Er<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup> композитного оптического волокна с накачкой в оболочку. Прикладная фотоника, т. 3, № 2 (2016).
8. О.Н. Егорова, Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, "Световоды с высокой концентрацией активных редкоземельных ионов с сердцевиной из фосфатного стекла и оболочкой из кварцевого стекла", *Квант.электроника*, **Q2**, 2016, **46** (12), 1071–1076. ([файл прилагается](#))
10. B. I. Denker · B. I. Galagan · L. D. Iskhakova · S. E. Sverchkov · E. M. Dianov Infrared luminescent properties of tin-silicate oxide glass Appl. Phys. B, **Q2**, (2015) Volume 120, pp.13-15, DOI 10.1007/s00340-015-6146-5
11. O. N. Egorova, S. L. Semjonov, O. I. Medvedkov, M. S. Astapovich, A. G. Okhrimchuk, B. I. Galagan, B. I. Denker, S. E. Sverchkov, and E. M. Dianov. High-beam quality, high-

efficiency laser based on fiber with heavily Yb-doped phosphate core and silica cladding Optics Letters , Q1, Volume 40 , Issue 16 , Page 3762 (2015).

[\*\(файл прилагается\)\*](#)

12. O.N. Egorova; S.L. Semjonov; V.V. Velmiskin; Yu. P. Yatsenko; S.E. Sverchkov; B. I. Galagan; B.I. Denker; E.M. Dianov, “Phosphate-core silica-clad Er/Yb-doped optical fiber and cladding pumped laser,” Optics Express, Q1, Vol. 22, N. 7, pp. 7632-7637 (2014).

[\*\(файл прилагается\)\*](#)

13. B.I.Denker, B.I. Galagan, V.A. Kamynin, A.S.Kurkov, Ya.E. Sadovnikova, S.L. Semjonov, S.E. Sverchkov, V.V. Velmiskin, E.M. Dianov. Composite laser fiber with Yb, Er co-doped phosphate glass core and silica cladding. Laser Phys. Lett. ,Q1, 10 (2013) 055109 (3pp).

14. Вельмискин В.В., Галаган Б.И., Денкер Б.И., Егорова О.Н., Камынин В.А., Курков А.С., Садовникова Я.Е., Сверчков С.Е., Семенов С.Л., Дианов Е.М., «Иттербий-эрбиевое лазерное волокно с фосфатной сердцевиной и кварцевой оболочкой» ,Фотон-Экспресс, 6, 148 (2013).

15. B.I. Denker, B.I. Galagan, V.A. Kamynin, A.A. Ponosova, S.E. Sverchkov, S.L. Semjonov and V.B. Tsvetkov. Femtosecond laser based on multicomponent fiber with 3 wt.% Er-doped phosphate core and silica cladding// Laser Physics Letters. In press.

### **Приглашенные доклады**

1. B.Denker, E.Dianov, B.Galagan, V.Osiko, S.Sverchkov. Luminescent glasses development for laser applications in GPI. The 24<sup>th</sup> International Congress on Glass.ICG Congress 2016 Shanghai.Book of abstracts, p. 45, I25.

2. О.Н. Егорова, С.Л. Семенов, С.Е. Сверчков, Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, Е.М. Дианов. Световоды с высокой концентрацией активных редкоземельных ионов с сердцевиной из фосфатного и оболочкой из кварцевого стекла. Материалы 7 Российского семинара по волоконным лазерам. – Новосибирск, Академгородок, 5-9 сентября 2016,с.55-56.

3. O.N. Egorova, S.L. Semjonov, O. I. Medvedkov, B. I. Denker, B. I. Galagan, S. E. Sverchkov, E. M Dianov, “Heavily RE-doped composite optical fibers with phosphate core and silica cladding,” Laser Optics 2016, Saint Petersburg, June 27-July 1, 2016.

4. Галаган Б.И., Денкер Б.И., Егорова О.Н., Вельмискин В.В., Семенов С.Л., Сверчков С.Е., Дианов Е.М. Высокоактивированные РЗИ композитные световоды с кварцевой оболочкой, IV Всероссийская конференция по волоконной оптике (ВКВО-2013), г. Пермь, ВЗ-6, Фотон-экспресс. - 2017. -№ 6 (142). - с. 143-144.

### **Тезисы и публикации в материалах научных мероприятий**

1. B. I. Denker, B. I. Galagan, S. E. Sverchkov, V.V. Velmiskin. Rare-earth ions doped calcium aluminate glasses. XVII International Seminar “Mathematical Models & Modeling in Laser-Plasma Processes 7 Advanced Science Technologies”. Program and Abstract. P.49. May 26 – June 2 2018, Budva, Montenegro.

2. B. I. Denker, B. I. Galagan, S. E. Sverchkov, V.V. Velmiskin. Luminescent and laser properties of CAG doped by Tm<sup>3+</sup> and Ho<sup>3+</sup>. ICOM, 5th International Conference on the Physics of Optical Materials and Devices. Igalo, Montenegro, 27th to 31st August 2018. (p25)
3. B.I. Denker, B.I. Galagan, S.E. Sverchkov, V.V. Velmiskin. Laser potential of calcium aluminate glasses. 18th International Conference on Laser Optics ICLO 2018. Saint Petersburg, 2018, Technical program, WeR1-p22.
4. B.I. Denker, O.N. Egorova, B.I. Galagan, V.A. Kamynin, A.A. Ponosova, S.E. Sverchkov, S.L. Semjonov, V.B. Tsvetkov, I.V. Zhluktova. High-concentration Er<sup>3+</sup> composite fiber for compact all-fiber devices. The 26th International Conference on Advanced Laser Technologies September 09-14, 2018, Tarragona, Spain LS-P-5.
5. B.I. Denker, O.N. Egorova, B.I. Galagan, V.A. Kamynin, A.A. Ponosova, S.E. Sverchkov, S.L. Semjonov, V.B. Tsvetkov. Compact Continuous Wave Fiber Laser Based on High-Concentration Er<sup>3+</sup> Composite Fiber 2018 International Conference Laser Optics (ICLO). – IEEE, 2018. – P. 67.
6. Композитные световоды с Er<sup>3+</sup> фосфатной сердцевиной для компактных волоконных усилителей. Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков. Композитные световоды с Er<sup>3+</sup> фосфатной сердцевиной для компактных волоконных усилителей. Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение: прогр. и материалы 17-й Междунар. науч. конф.-шк., Саранск, 18 сент. – 21 сент. 2018 г. / редкол.: К. Н. Нищев (отв. ред.) [и др.]. – Саранск, 2018 – С. 25.
7. Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, И.В. Жлуктова, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков. Исследование усиления коротких лазерных импульсов в высококонцентрированном эрбиевом волокне. Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение: прогр. и материалы 17-й Междунар. науч. конф.-шк., Саранск, 18 сент. – 21 сент. 2018 г. / редкол.: К. Н. Нищев (отв. ред.) [и др.]. – Саранск, 2018 – С. 34.
8. Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков. Перспективные активные волоконные среды для источников излучения С-диапазона. Тезисы докладов shk.-конф. молодых ученых ИОФ РАН «Прохоровские недели». – Москва, 2018. - С.28-31.
9. Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков. Компактные усилители на базе композитных световодов с сильно легированной эрбием фосфатной сердцевиной и кварцевой оболочкой. XVI Всероссийский молодежный Самарский конкурс-конференция научных работ по оптике и лазерной физике: сборник трудов конференции, (Самара, 13–17 ноября 2018 г.). – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Физический институт им. П.Н. Лебедева Российской академии наук, 2018. – С.173-180.
10. Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков. Компактный усилитель на основе высоколегированного Er<sup>3+</sup>/Yb<sup>3+</sup> композитного оптического волокна. Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение: прогр. и материалы 16-й Междунар. науч. конф.-шк., Саранск, 19 сент. – 22 сент. 2017 г. Сборник тезисов. с. 64

11. Б.И.Денкер, Б.И.Галаган, С.Е.Сверчков, В.В.Вельмискин. Люминесцентные свойства оловосодержащих стекол. XVI International Seminar "Mathematical models & modelling in laser plasma processes & advanced science technologies" 05-10 June 2017, Petrovac, Montenegro, сборник тезисов с. 42.
- 12 Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков. Усилитель на основе высоколегированного  $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$  композитного оптического волокна. Фотон-экспресс. - 2017. -№ 6 (142). - С. 35-36.
13. B.I. Galagan, O.N. Egorova, B.I.Denker, V.A. Kamynin, A.A. Ponosova, S.E. Sverchkov, S.L. Semjonov, V.B. Tsvetkov. Compact All-Fiber Infrared Broadband Source Based on High-Concentration Er/Yb Composite Optical Fiber The 24th Annual International Conference on Advanced Laser Technologies ALT'16. - Galway, Ireland, 12-16 September 2016. - LSM-P-2
- 14.Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков Компактный широкополосный волоконный источник излучения на основе  $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$  композитного волокна//Материалы 7 Российского семинара по волоконным лазерам.с.57-58.Новосибирск, Академгородок, 2016.
15. Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков. Широкополосный волоконный источник на основе высоколегированного  $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$  композитного оптического волокна. Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение :прогр. и материалы 15-й Междунар. науч. конф.-шк., с.62, Саранск.2016 г.
16. B.Denker, R.Ermakov, B.Galagan, L.Iskhakova, S.Sverchkov, V.Velmiskin, E.Dianov. 1.3-1.7 microns wideband fluorescent tin containing glasses. Synthesis, optical fibre fabrication and investigations. 7 th Europhoton Conference Digest, p.51 (2016), 21-26 August 2016, TU Wien, Europhysics Conference Abstract Volume 40B, ISBN #979-10-96389-00-1
17. S. L. Semjonov ; O. N. Egorova ; O. I. Medvedkov ; M. S. Astapovich ; A. G. Okrimchuk ; E. M. Dianov ; B. I. Denker ; B. I. Galagan ; S. E. Sverchkov; Fabrication and investigation of active composite fibers with phosphate core and silica cladding. Proc. SPIE 9728, Fiber Lasers XIII: Technology, Systems, and Applications, 97281P (March 11, 2016)
18. B.Denker, R.Ermakov, B.Galagan, L.Iskhakova, S.Sverchkov, V.Velmiskin, E.Dianov. 1.3-1.7 microns wideband fluorescent tin containing glasses.Synthesis, optical fibre fabrication and investigations.Europhoton Conference Digest, p.51 (2016)
19. B.Denker, E.Dianov, O.Egorova, B.Galagan, S.Semjonov, S.Sverchkov. Active composite fibers with phosphate core and silica cladding.Invited presentation. XV International seminar "Mathematical models & modeling in laser-plasma processes & advanced science technologies", Petrovac, , book of abstracts p.13., Montenegro Sept 26-Oct. 1, 2016.
20. Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, О.Н. Егорова, В.А. Камынин, А.А. Поносова, С.Е. Сверчков, С.Л. Семенов, В.Б. Цветков. Широкополосный волоконный источник на основе высоколегированного  $\text{Er}^{3+}/\text{Yb}^{3+}$  композитного оптического волокна. Материалы нано-, микро-, оптоэлектроники и волоконной оптики: физические свойства и применение: прогр. и материалы 15-й Междунар. науч. конф.-шк., Саранск, 11 окт. – 14 окт. 2016 г. / редкол.: К. Н. Нищев (отв. ред.) [и др.]. –Саранск, 2016 – С. 62

21. O. N. Egorova, S. L. Semjonov, O. I. Medvedkov, M. S. Astapovich, A. G. Okhrimchuk, E. M. Dianov, B. I. Denker, B. I. Galagan, S. E. Sverchkov Efficient TEM<sub>00</sub> laser action in a short-length heavily Yb-doped composite fiber with phosphate core and silica cladding. The 23th Annual International Conference on Advanced Laser Technologies ALT'15, Faro, Portugal, September 7–11, 2015, Book of abstracts, p.159
22. О.Н. Егорова, С.Л. Семенов, О.И. Медведков, М.С. Астапович, А.Г. Охримчук, Б.И.Галаган, Б.И. Денкер, С.Е. Сверчков, Е.М. Дианов, Волоконный лазер с высоким качеством пучка на основе световода с оболочкой из кварцевого и сердцевиной из фосфатного стекла, легированного Yb<sup>3+</sup>, Конференция Волны-2015, <http://waves.phys.msu.ru/files/docs/2015/thesis/Section4.pdf>
23. Егорова О.Н., Семенов С.Л., Медведков О.И., Астапович М.С., Охримчук А.Г., Галаган Б.И., Денкер Б.И., Сверчков С.Е., Дианов Е.М. Композитные волоконные световоды с оболочкой из кварцевого и сердцевиной из фосфатного стекла, легированного редкоземельными ионами, Фотон-экспресс с.124, ВКВО-2015 Пермь 7-9 октября 2015.
24. О.Н. Егорова, С.Л. Семёнов, В.В. Вельмискин, Ю.П. Яценко, С.Е. Сверчков, Б.И. Галаган, Б.И. Денкер, Е.М. Дианов. Световод с сердцевиной из фосфатного стекла, легированного ионами Er и Yb и оболочкой из кварцевого стекла. В сборнике: IV Международная конференция по фотонике и информационной оптике Сборник научных трудов с. 80-81 (2015).
25. B.I.Denker, O.N.Egorova, B.I.Galagan, S.L.Semenov, S.E.Sverchkov, V.V.Velmiskin, E.M.Dianov, "Heavily Yb-Er doped phosphate glasses for the core of the silica laser fibers", The International Conference on PHOSPHATE GLASSES, July 2 - 4, 2014, Pardubice, Czech Republic, Conference Borate/Phosphate 2014, Book of abstracts. P. 121.
26. O.Egorova, S. Semjonov, E. Dianov, B. Denker, B. Galagan, S. Sverchkov, "Er-Yb co-doped cladding pumped fiber laser with phosphate core and silica cladding, The 22-th annual International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'14), October 6-10, 2014, Cassis, France, Book of Abstracts, p.S1- P24.
27. S.Semenov, B.Denker, B.Galagan, V.Kamynin, A.Kurkov, S.Sverchkov, V.Velmiskin, E.Dianov, "Phosphate glass core and silica cladding laser fiber", World of Photonics Congress, May 12-16, 2013, Munich, Congress Program, p.215
28. S.Sverchkov, B.Denker, O.Egorova, B.Galagan, V.Kamynin, A.Kurkov, S.Semyonov, Y.Sadovnikova, V.Velmiskin, E.Dianov, Efficient Laser Action in Composite Fibers with Yb,Er Co-doped Phosphate Core and Silica Cladding, Advanced Solid-State Lasers Congress, Oct.27- Nov.1, 2013, Paris, France, Program, p.34.
29. Ya.Sadovnikova, B.Denker, B.Galagan, V.Kamynin, A.Kurkov, S.Semyonov, S.Sverchkov, V.Velmiskin, E.Dianov, Composite Laser Fibers with Yb,Er Co-Doped Phosphate Core and Silica Cladding, The 21-th annual International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'13), September 16-20, 2013, Budva, Montenegro, Program, p.22.



30. S.Semenov, B.Denker, B.Galagan, V.Kamynin, A.Kurkov, S.Sverchkov, V.Velmiskin, E.Dianov, "Phosphate glass core and silica cladding laser fiber", World of Photonics Congress, May 12-16, 2013, Munich, Germany.
31. S.Sverchkov, B.Denker, O.Egorova, B.Galagan, V.Kamynin, A.Kurkov, S.Semyonov, Y.Sadovnikova, V.Velmiskin, E.Dianov, Efficient Laser Action in Composite Fibers with Yb,Er Co-doped Phosphate Core and Silica Cladding, Advanced Solid-State Lasers Congress, Oct.27-Nov.1, 2013, Paris, France.
32. Вельмискин В.В., Галаган Б.И., Денкер Б.И., Егорова О.Н., Камынин В.А., Курков А.С., Садовникова Я.Е., Сверчков С.Е., Семенов С.Л., Дианов Е.М., «Иттербий-эрбиевое лазерное волокно с фосфатной сердцевиной и кварцевой оболочкой», IV Всероссийская конференция по волоконной оптике (ВКВО-2013), г. Пермь.
33. Ya.Sadovnikova, B.Denker, B.Galagan, V.Kamynin, A.Kurkov, S.Semyonov, S.Sverchkov, V.Velmiskin, E.Dianov, Composite Laser Fibers with Yb,Er Co-Doped Phosphate Core and Silica Cladding, The 21-th annual International Conference on Advanced Laser Technologies (ALT'13), September 16-20, 2013, Budva, Montenegro.
34. B.I.Denker, B.I.Galagan, A.S.Kurkov, O.N.Egorova, S.L.Semenov, S.E.Sverchkov, V.V.Velmiskin, E.M.Dianov, Silica-Clad Yb-Er Doped Phosphate Laser Fiber, the third china-Russia bilateral forum on materials, Crowne Plaza Lake Malaren, Changhai, China, November 17-22, 2013.
35. B.I. Denker, B.I. Galagan, S.E. Sverchkov, V.V. Velmiskin. Laser potential of calcium aluminate glasses. 18th International Conference on Laser Optics ICLO 2018. Saint Petersburg, 2018, Technical program, WeR1-p22.