

## ПОЛЯРИТОННЫЕ ВОЛНЫ В КАПИЛЛЯРНЫХ СВЕТОВОДАХ, ЛЕГИРОВАННЫХ ИОНАМИ РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

М.Г. Бурданова<sup>1</sup>, В.С. Горелик<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация  
e-mail: burdanova\_maria@mail.ru

<sup>2</sup>Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Российская Федерация  
e-mail: gorelik@sci.lebedev.ru

*Рассмотрен новый тип световодов, представляющих собой капилляры с большой апертурой и управляемыми параметрами. Приведены экспериментальные схемы для ввода в капиллярные световоды водных растворов редкоземельных элементов, перспективных для лазерной генерации. Установлены необходимые требования для генерации лазерного излучения в капиллярных световодах, содержащих ионы редкоземельных элементов.*

**Ключевые слова:** вторичное излучение, спектр фотолюминесценции, люминесценция, поляритоны, резонанс, капилляр, световод, лазер.

## POLARITON WAVES IN CAPILLARY FIBERS DOPED WITH RARE-EARTH IONS

M.G. Burdanova<sup>1</sup>, V.S. Gorelik<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation  
e-mail: burdanova\_maria@mail.ru

<sup>2</sup>Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russian Federation  
e-mail: gorelik@sci.lebedev.ru

*The paper considers a new type of fibers constituting capillaries with a large aperture and controlled parameters. It describes some experimental patterns for injecting aqua solutions of rare-earth elements, potentially productive for laser generation, into capillary fibers. Necessary requirements for generating laser radiation in capillary fibers containing rare-earth ions are determined.*

**Keywords:** secondary radiation, photoluminescence spectrum, luminescence, polaritons, resonance, capillary, fiber, laser.

**Введение.** С момента создания первого эрбиевого волоконного лазера значительное внимание уделялось поиску новых составов световодов и изучению их спектрально-люминесцентных свойств [1]. Проведенные исследования выявили недостатки, присущие твердотельным активным средам. К их числу относятся пробой материалов световодов при высоких интенсивностях лазерного излучения, трудности введения редкоземельных элементов с большой концентрацией в матрицу аморфного кварца и др. Новые возможности для генерации лазерного излучения и осуществления эффективных процессов

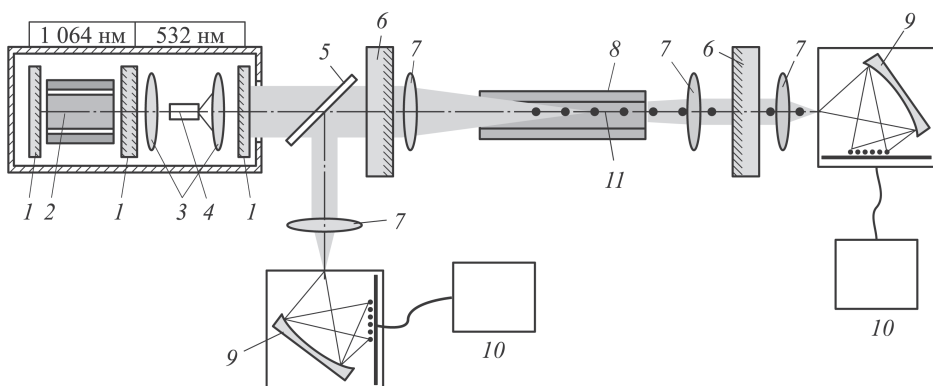
взаимодействия электромагнитного излучения с материальными средами открываются при использовании капиллярных световодов [2, 3]. В капиллярном световоде излучение распространяется по каналу в конденсированной материальной среде (жидкой или твердотельной), ограниченной диэлектрическими или металлическими стенками. Капиллярный световод может иметь круглое или прямоугольное сечение. В частности, прямоугольный капиллярный световод может быть сформирован из плоскопараллельных металлических пластин, обеспечивающих подведение к материальной среде внутри световода внешнего магнитного поля.

Настоящая работа посвящена исследованию оптических свойств капиллярных световодов. Проанализирована возможность создания капиллярных световодов, заполненных жидкостями и растворами солей редкоземельных элементов, помещенных во внешнее магнитное поле.

**Принципиальные схемы экспериментальных установок с использованием капиллярных световодов с круглыми и прямоугольными сечениями.** Капиллярные световоды позволяют значительно увеличить интенсивность вторичного излучения, так как плотность возбуждающего излучения сохраняется вдоль большой длины световода. При этом интенсивность вторичного излучения может быть увеличена при увеличении длины взаимодействия излучения накачки с активной средой.

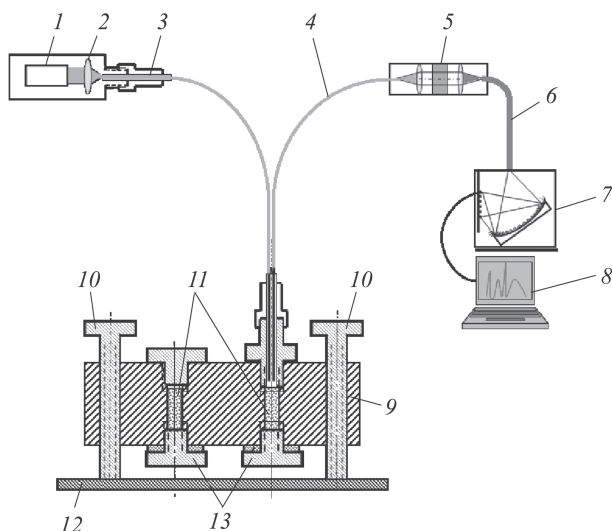
Как и в случае кварцевых световодов, принцип действия капиллярных световодов с круглым сечением может быть основан на использовании эффекта полного внутреннего отражения. При этом внешняя оболочка световода должна быть изготовлена из материала, показатель преломления которого ниже показателя преломления материальной среды, вводимой в полость световода. Примером такого материала может служить фторопласт, для которого показатель преломления ниже показателя преломления воды ( $n = 1,33$ ). В частности, компания DuPont выпускает тефлон серии AF с показателем преломления, изменяющимся в пределах 1,29...1,31 для длин волн в диапазоне значений 200...2000 нм [4].

Принципиальная схема экспериментальных установок для получения лазерной генерации на основе эффектов фотолюминесценции или вынужденного комбинационного рассеяния света с использованием капиллярного световода с круглым сечением представлена на рис. 1. В этой установке возбуждающее излучение фокусируется в среду, помещаемую в капиллярный световод  $\delta$ . В результате процессов суперлюминесценции или вынужденного комбинационного рассеяния



**Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для получения лазерной генерации с капиллярным световодом круглого сечения:**

1 — зеркала лазера; 2 — активная среда; 3 — линзы; 4 — нелинейно-оптический кристалл; 5 — дихроичное зеркало; 6 — зеркала второго резонатора; 7 — линзы; 8 — капиллярный световод; 9 — миниспектрометры; 10 — компьютеры; 11 — среда, в которой возникает вторичное излучение



**Рис. 2. Принципиальная схема установки для регистрации спектров вторичного излучения в металлических капиллярных кюветках круглого сечения:**

1 — источник возбуждающего излучения; 2 — линза; 3, 4, 6 — кварцевые световоды; 5 — светофильтр; 7 — спектрометр; 8 — компьютер; 9 — несущая металлическая плита; 10 — стойки; 11 — анализируемая жидкость; 12 — стол; 13 — винты

в резонаторе, создаваемого зеркалами 6, возникает лазерная генерация. Вторичное излучение регистрируется миниспектрометрами 9 и анализируется с помощью компьютеров 10. Металлические капиллярные световоды с круглым сечением также могут быть использованы для регистрации спектров вторичного излучения (рис. 2).

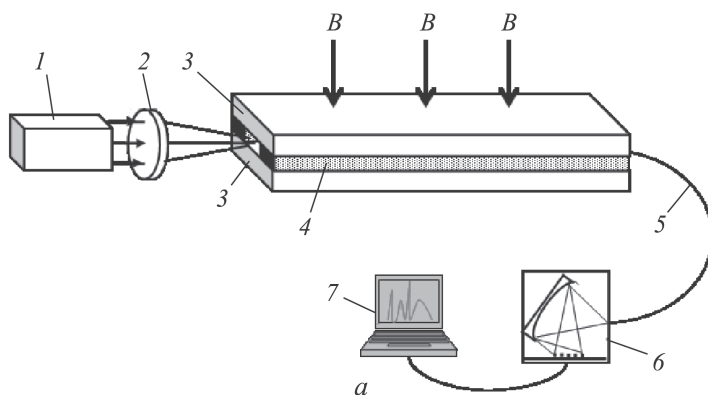
Другой тип капиллярных световодов может быть сформирован на основе применения металлических и диэлектрических плоских пла-

стин, отражающих излучение, которое распространяется внутри световода. Если в качестве несущих плоских металлических пластин в капиллярном световоде использованы магнитные материалы, то внутри капилляра формируется магнитное поле, влияющее на оптические свойства материальной среды, по которой распространяется электромагнитное излучение. Далее такие световоды будем называть магнитными капиллярными световодами. Принципиальные схемы экспериментальных установок с использованием магнитных капиллярных световодов приведены на рис. 3.

Схемы экспериментальных установок, приведенные на рис. 3, б, в, позволяют вводить возбуждающее излучение в жидкость, помещенную в прямоугольную металлическую кювету с регулируемым поперечным сечением. В результате может быть реализован микроканальный режим работы, при котором плотность светового излучения внутри кюветы существенно повышается.

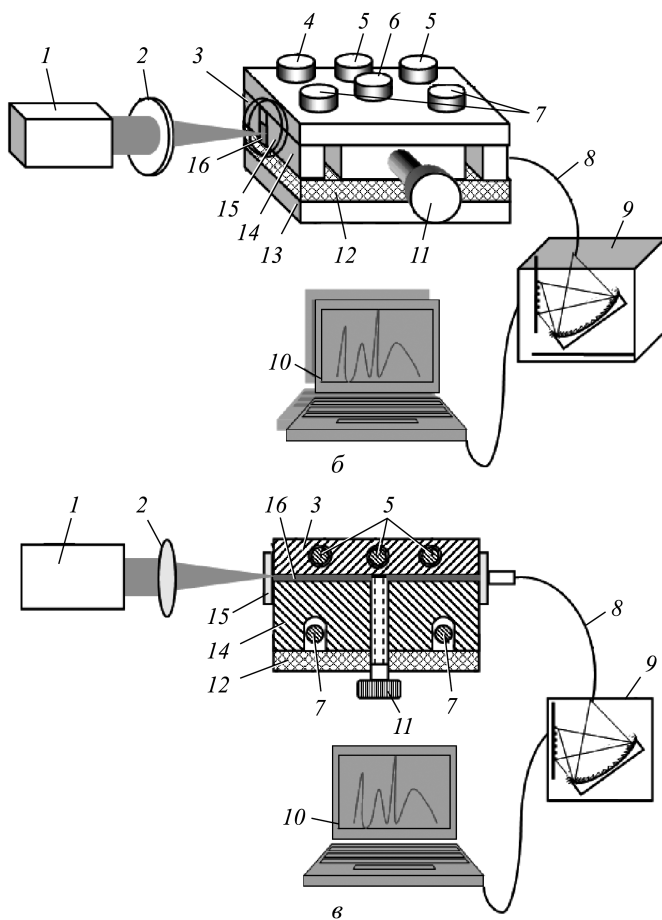
**Заключение.** Предложены различные схемы капиллярных световодов, обеспечивающие возможность получения лазерной генерации в широком круге веществ, включая водные растворы редкоземельных элементов. Кроме того, такие капиллярные световоды могут быть использованы для регистрации вторичного излучения от небольшого количества вещества.

В качестве активных сред, введенных в капиллярные световоды, могут быть использованы соли редкоземельных элементов и их растворы. При облучении таких сред возбуждающим излучением полупроводниковых светодиодов с длинами волн 366, 385, 526 и 460 нм в спектре вторичного излучения в ближнем ультрафиолетовом и видимом спектральных диапазонах проявляются резкие линии,



**Рис. 3 (начало). Принципиальные схемы оптических установок:**

*a* — с использованием прямоугольной магнитной кюветы (1 — лазер; 2 — линза; 3 — магнитные пластины; 4 — дополнительные пластины; 5 — световод; 6 — спектрометр; 7 — компьютер)



**Рис. 3 (окончание). Принципиальные схемы оптических установок:**

б, в — с прямоугольным сечением капилляра регулируемой площади сечения (1 — лазер; 2 — линза; 3, 14 — магнитные пластины; 4, 13 — металлические пластины; 5–7, 11 — винты; 8 — световод; 9 — спектрометр; 10 — компьютер; 12 — тефлоновая прокладка; 15 — окошко; 16 — жидкость)

соответствующие резонансным электронным переходам в основное электронное состояние редкоземельных ионов  $\text{Er}^{3+}$ ,  $\text{Eu}^{3+}$ ,  $\text{Tb}^{3+}$ . В частности, капиллярные световоды могут быть заполнены поликристаллами гидрата нитрата эрбия ( $\text{Er}(\text{NO}_3)_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ) или его водными растворами. При этом в спектре вторичного излучения обнаруживаются резкие линии, соответствующие резонансным переходам иона  $\text{Er}^{3+}$ :  ${}^4\text{G}_{11/2} - {}^4\text{I}_{5/2}$  ( $\lambda = 382 \text{ нм}$ );  ${}^2\text{H}_{9/2} - {}^4\text{I}_{5/2}$  ( $\lambda = 416 \text{ нм}$ );  ${}^4\text{F}_{3/2} - {}^4\text{I}_{5/2}$  ( $\lambda = 437 \text{ нм}$ );  ${}^4\text{F}_{7/2} - {}^4\text{I}_{5/2}$  ( $\lambda = 476 \text{ нм}$ );  ${}^4\text{H}_{11/2} - {}^4\text{I}_{5/2}$  ( $\lambda = 508 \text{ нм}$ );  ${}^4\text{S}_{3/2} - {}^4\text{I}_{5/2}$  ( $\lambda = 574 \text{ нм}$ );  ${}^4\text{F}_{9/2} - {}^4\text{I}_{5/2}$  ( $\lambda = 652 \text{ нм}$ ). При определенных режимах возбуждения эти резонансные переходы перспективны для получения лазерной генерации в капиллярных световодах.

*Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 13-02-00449, 14-02-00190, 14-02-90406 и 14-02-90007).*

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Hayes J.* Fiber Optics Technician's Manual. Delmar Cengage Learning, 2000. 242 p.
2. *Song L. Liu, et. al.* Application of liquid waveguide to Raman Spectroscopy in aqueous solution // *Applied Spectroscopy*. 1998. No. 10.
3. *Gorelik V.S., Burdanova M.G.* Photoluminescence and polariton dispersion in erbium nitrate hydrate // *Laser Physic*. 2014. 9 p.
4. *DuPont Fluoroproducts.* Teflon AF Amourphous Fluoropolymers: pat. 16577-1. Wilmington. 1989. Bul. No. 19880-0711. 3 p.

## REFERENCES

- [1] *Hayes J.* Fiber Optics Technician's Manual. Delmar Cengage Learning, 2000. 242 p.
- [2] *Song L. Liu, et. al.* Application of liquid waveguide to Raman Spectroscopy in aqueous solution. *Applied Spectroscopy*, 1998, no. 10.
- [3] *Gorelik V.S., Burdanova M.G.* Photoluminescence and polariton dispersion in erbium nitrate hydrate. *Laser Physic*, 2014. 9 p.
- [4] *DuPont Fluoroproducts.* Teflon AF Amourphous Fluoropolymers: pat. 16577-1. Wilmington, 1989. Bul. No. 19880-0711. 3 p.

Статья поступила в редакцию 16.02.2015

Бурданова Мария Геннадьевна — студентка кафедры “Физика” МГТУ им. Н.Э. Баумана.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Burdanova M.G. — student, Bauman Moscow State Technical University.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Горелик Владимир Семенович — д-р физ.-мат. наук, профессор кафедры “Физика” МГТУ им. Н.Э. Баумана, заведующий лабораторией “Комбинационное рассеяние света” Физического института им. П.Н. Лебедева РАН (ФИАН).

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Российская Федерация, 105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5.

Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Российская Федерация, 119991, Москва, Ленинский пр-т, д. 53.

Gorelik V.S. — D.Sc. (Phys.-Math.), Professor, Department of Physics, Bauman Moscow State Technical University, Head of the Laboratory for Raman Scattering, Lebedev Physical Institute of the Russian Academy of Sciences.

Bauman Moscow State Technical University, 2-ya Baumanskaya ul. 5, Moscow, 105005 Russian Federation.

Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences, Leninskiy prospect 53, Moscow, 119991 Russian Federation.

### **Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Бурданова М.Г., Горелик В.С. Поляритонные волны в капиллярных световодах, легированных ионами редкоземельных элементов // *Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки*. 2015. № 6. С. 46–51.

### **Please cite this article in English as:**

Burdanova M.G., Gorelik V.S. Polariton waves in capillary fibers doped with rare-earth ions. *Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Bauman, Estestv. Nauki* [Herald of the Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2015, no. 6, pp. 46–51.