

## Волоконные лазеры

Е.М.Дианов

Создание волоконных лазеров – одно из наиболее ярких достижений квантовой электроники.

Первый волоконный лазер (ВЛ) был создан Снитцером в 1963 г. [1]. Активным элементом служил стеклянный волоконный световод, содержащий ионы неодима. Однако тогда это направление лазерной физики не получило развития, и понятно почему. Создание современных высокоэффективных и компактных ВЛ стало возможным только благодаря разработке в начале 1970-х годов стеклянных волоконных световодов с малыми оптическими потерями ( $\sim 1$  дБ км<sup>-1</sup> в ближней ИК области) и последующему бурному развитию волоконно-оптической связи. Последнее обстоятельство стало решающим фактором в разработке и промышленном производстве долгоживущих и высокоярких лазерных диодов, набора специальных волоконных световодов, в том числе легированных редкоземельными элементами, брэгговских решеток показателя преломления. Эта элементная база и явилась основой для создания ВЛ.

Важное значение имела разработка новой активной среды – волоконных световодов, легированных висмутом, и создание на их основе висмутовых ВЛ [2].

К преимуществам волоконных световодов как лазерной среды по сравнению с объемными активными средами относятся низкие оптические потери, большая длина взаимодействия с излучением, малый диаметр сердцевины, большое отношение площади поверхности волоконного световода к его объему, использование внутриволоконных брэгговских решеток показателя преломления в качестве распределенных отражателей, высокое качество выходного пучка. Все это обеспечивает высокую эффективность накачки излучением лазерных диодов, упрощает проблему теплоотвода, обеспечивает компактность и высокую стабильность ВЛ. В результате разработаны разнообразные волоконные лазеры, включая непрерывные мощные лазеры, пико- и фемтосекундные лазеры, односторонние лазеры, ВКР-лазеры и ряд других.

В этом выпуске публикуются наиболее интересные работы, доложенные на 7-м Российском семинаре по волоконным лазерам (5–9 сентября 2016 г., Новосибирск).

Отмеченные преимущества ВЛ привели к их широкому использованию и к необходимости улучшения их характеристик, что нашло отражение в программе семинара.

До недавнего времени активными волоконными световодами служили только световоды на основе кварцевого стекла, легированного редкоземельными элементами. Редкоземельные ВЛ не могут эффективно генерировать в спектральных областях 1150–1500 и 1620–1750 нм. Разработанные недавно висмутовые ВЛ генерируют в спектральных областях 1150–1530 и 1650–1775 нм [3, 4]. Благодаря этому редкоземельные и висмутовые ВЛ перекрывают практически всю спектральную область 1000–2200 нм,

что нашло отражение в представленных на семинаре результатах. В этом номере опубликованы две статьи, посвященные висмутовым ВЛ – пикосекундному лазеру на длине волны 1.3 мкм и непрерывному лазеру с перестройкой в диапазоне 1360–1510 нм.

Одной из проблем ВЛ является необходимость увеличения концентрации активных элементов. В настоящее время для решения этой проблемы используются два подхода: выбор состава стекла сердцевины [5] и использование пористого стекла для увеличения концентрации активных центров без образования кластеров с последующим изготовлением из них активных волоконных световодов [6]. В этом выпуске опубликована статья, посвященная световодам с высокой концентрацией редкоземельных ионов в сердцевине из фосфатного стекла и характеристикам соответствующих ВЛ.

В настоящее время ВЛ ультракоротких импульсов широко применяются в различных областях техники, в медицине, в научных исследованиях. В выпуске опубликовано несколько интересных статей, посвященных созданию и исследованию импульсных итербиевых, висмутовых, эрбиевых и гольмиевых лазеров.

Большой практический интерес представляет статья, посвященная мощным непрерывным лазерам видимого диапазона. Впервые продемонстрирована эффективная ( $\sim 25\%$ ) ГВГ в кристаллах танталата лития с периодической доменной структурой при накачке излучением узкополосного волоконного ВКР-лазера.

Интересные результаты содержат также две статьи, посвященные волоконным ВКР-лазерам, в частности эффективной генерации линейно поляризованного излучения в ВКР-лазере со случайной распределенной обратной связью, и статья «Стабилизация волоконного синтезатора частот с использованием акустооптического и электрооптического модуляторов».

В этом выпуске журнала имеются статьи, не связанные прямо с волоконными лазерами, но имеющие отношение к областям их применения. Три из них посвящены исследованию влияния нелинейных эффектов на пропускную способность волоконно-оптических линий связи и представляют несомненный интерес для специалистов в этой области. Одна статья посвящена изготовлению и исследованию микроструктурированного волоконного световода с полый сердцевиной для УФ диапазона с оптическими потерями 3 дБ/м на длине волны 250 нм. В еще одной статье описывается изготовление и исследование переключаемой линии задержки на семисердцевинном волоконном световоде длиной 1300 м. Такая линия задержки перспективна для создания устройств радиофотоники.

1. Koester C.J., Snitzer E. *Appl. Opt.*, **3**, 1182 (1964).
2. Дианов и др. *Квантовая электроника*, **35**, 1083 (2005).
3. Dianov E.M. *J. Lightwave Technol.*, **31**, 681 (2013).
4. Dianov E.M. *Квантовая электроника*, **44**, 503 (2014).
5. Kuan Pei-Wen et al. *Opt. Lett.*, **41**, 2899 (2016).
6. Chu Yingbo. et al. *Opt. Lett.*, **41**, 1225 (2016).