

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЫ ВОЛОКОННЫХ ЛАЗЕРОВ НА ОСНОВЕ ХАЛЬКОГЕНИДНЫХ СТЕКОЛ ДЛЯ СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА

Борисова Е.В.^{1*}, **Галаган Б.И.**², **Жлуктова И.В.**², **Колташев В.В.**³,
Поносова А.А.^{1,2}, **Сверчков С.Е.**²

¹ Российский квантовый центр, г. Москва

² Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, г. Москва

³ Институт общей физики им. А.М.Прохорова РАН, Научный центр волоконной оптики им. Е.М.Дианова, г. Москва

* E-mail: ekaterina21333@yandex.ru DOI 10.24412/2308-6920-2023-6-207-208

Достигнутый прогресс в создании высокочистых халькогенидных стекол, активированных редкоземельными элементами, позволил реализовать лазерную генерацию в области 5-6 мкм на объемных элементах и в световодах. В качестве активаторов использовались трехвалентные ионы Ce^{3+} , Pr^{3+} , Nd^{3+} и Tb^{3+} [1]. Данное достижение открывает возможность создания полностью волоконных лазеров среднего ИК-диапазона. Эти лазеры могут иметь целый ряд преимуществ по сравнению с другими типами существующих лазеров этого спектрального диапазона.

Однако для того, чтобы реализовать такие лазеры, необходимо решить целый ряд технических проблем. В частности, необходима элементная база на основе халькогенидных световодов (ХГС), аналогичная компонентной базе на основе кварцевых световодов. Одним из её ключевых компонентов являются волоконные Брэгговские решетки (ВБР).

Задача настоящей работы заключалась в исследовании возможностей наведения Брэгговских решеток в нелегированных сульфидных световодах, а также их сварки с легированными сульфидно-селенидными. Основные характеристики исследуемых световодов представлены в таблице 1.

Экспериментально запись ВБР в одномодовом сульфидном световоде осуществлялась излучением He-Ne лазера с длиной волны 632.8 нм и мощностью 20 мВт. Два пучка примерно равной интенсивности фокусировались цилиндрической линзой на световоде под углом, обеспечивающим шаг интерференционной картины ~ 1 мкм.

Таблица 1. Основные характеристики световодов

Состав стекла сердцевин/оболочки	Диаметр сердцевин/оболочки, мкм	NA	Длина волны отсечки, мкм
$\text{As}_{40}\text{S}_{60}/\text{As}_{36}\text{S}_{64}$	20/300	0.09	4.7
$2 \times 10^{-19} \text{ см}^{-3} \text{ Tb}^{3+}$ $\text{Ge}_{20}\text{Ga}_5\text{Sb}_{10}\text{Se}_{65}/$ $\text{Ge}_{12}\text{As}_{20}\text{Sb}_5\text{S}_{63}$	19/270	0.98	24.3

излучением He-Ne лазера с длиной волны 632.8 нм и мощностью 20 мВт. Два пучка примерно равной интенсивности фокусировались цилиндрической линзой на световоде под углом, обеспечивающим шаг интерференционной картины ~ 1 мкм.

Запись ВБР осуществлялась в течение 10-15 минут и контролировалась визуально наличием рассеяния на

записанной в световоде голограмме. Однако непосредственное измерение свойств наведенной решетки оказалось весьма трудной задачей. Стандартные приборы для измерения оптических свойств одномодовых световодов в области 5 мкм отсутствуют. В силу высокого показателя преломления халькогенидных стёкол (~ 2.5), высокие коэффициенты отражения порядка 20 % на торцах световодов и интерференционные эффекты не позволяют качественно определять свойства самой решетки. Одним из способов уйти от этой проблемы является создание цельноволокноного лазера с приваренной наведенной решеткой и определение её характеристик по выходным параметрам лазера. Однако для этого необходимо решить проблему самой сварки халькогенидных световодов..

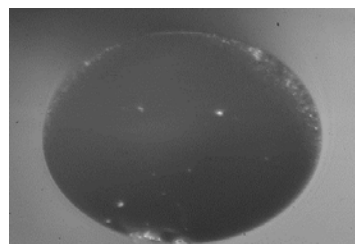


Рис. 1. Фотография торца световода

Важно отметить, что для успешной сварки необходима качественная подготовка торцов световодов. Оказалось, что наиболее подходящим решением этой проблемы является использование ультразвукового скалывателя с регулируемым в широких пределах натяжением волокна. В нашем случае использовалась модель Ericsson Fiber Cleaver EFC 11. Высокая воспроизводимость и высокое качество сколов были достигнуты при силе натяжения 110 г для сульфидно-селенидных волокон и 140 г для сульфидных. На рис. 1 представлен внешний вид торца сколотого световода.

Использование сварочного аппарата, принцип действия которого основан на электрической дуге, неприменим к ХГС, поскольку в результате одновременного разогрева световодов электрической дугой и наличия кислорода, возможно окисление световодов, а также в нем затруднительно обеспечить малую энергию искры, необходимую для низкотемпературных стекол.

Для сплавного соединения световодов была создана лабораторная установка с резистивным нагревателем, обеспечивающим диапазон температур, подходящий для халькогенидных световодов. Установка включала тепловой узел (рис.2), систему позиционирования для фиксации и выравнивания световодов, источник тока (LDD-21, Полупроводниковые приборы), и микроскоп для контроля узла сварки. Данное оборудование располагалось в вытяжном шкафу, т.к. при избыточном нагреве ХГС в результате окисления могут образовываться ядовитые вещества.

Тепловой узел был изготовлен из нихромовой ленты (X20H80). По аналогии с известными сварочными аппаратами типа Vutran, были выбраны размеры и форма нагревательного узла, обеспечивающие равномерный прогрев световодов в месте сварки. Лента была сложена в форме буквы омега (Ω), размеры указаны на рис.2.

Свариваемые световоды выравнивались по внешней оболочке с отсутствием зазора между сколотыми торцами. После этого, к месту сварки подводился тепловой узел таким образом, чтобы световоды размещались по его оси, и с источника питания подавался импульс тока. Источник питания позволял варьировать величину тока (от 2 А до 21 А) и длительность импульса (от 0.2 мс до 9.9 с). Для успешной сварки потребовался подбор обоих этих параметров.

В результате серии экспериментов был сделан вывод, что наиболее оптимальными параметрами источника питания, для сплавления данных халькогенидных волокон, являются следующие: сила тока – 20.5 А (по показаниям на источнике тока), длительность импульса – 3.53 с. Подобранный режим подходил как для сварки пассивных световодов, так и для сочетания пассивный-активный световод.

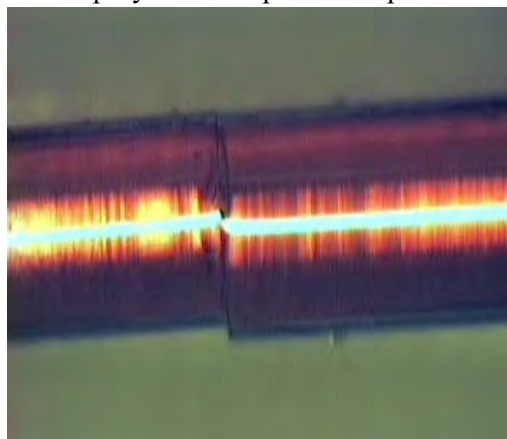


Рис. 3 Фотография сплавного соединения халькогенидных световодов As_2S_3 . Микроскоп OLYMPUS BH2-UMA

возможно изготовление цельноволоконных устройств. Продемонстрирована фоточувствительность сульфидных световодов к излучению He-Ne лазера, позволяющая создавать Брэгговские решётки.

Авторы выражают благодарность Максиму Суханову, Александру Вельмузову и Геннадию Снопатину за предоставленные образцы световодов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (проект № 22-22-00742).

Литература

1. Churbanov M., et.al. *J. Lumin.* 245, 118756 (2022)



Рис.2. Конструкция теплового узла