

- [5] Аполлонов В.В., Байцур Г.Г., Прохоров А.М., Семенов С.К., Фирсов К.Н. - Квантовая электроника, 1988, т. 15, № 3, с. 553-557.
- [6] Аполлонов В.В., Байцур Г.Г., Прохоров А.М., Фирсов К.Н. - Квантовая электроника, 1987, т. 14, № 1, с. 135-145.
- [7] Аполлонов В.В., Байцур Г.Г., Прохоров А.М., Фирсов К.Н. - Квантовая электроника, 1986, т. 13, с. 2538-2541.
- [8] Бычков Ю.И., Королев Ю.Д., Месяц Г.А. и др. Инжекционная газовая электроника. Новосибирск: Наука, 1982. 237 с.
- [9] Kekez M.M., Savic P. - J. Phys. D: Appl. Phys., 1974, v. 7, N 4, p. 620-628.

Поступило в Редакцию  
27 мая 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 18 26 сентября 1988 г.

#### КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ ИК-СВЕТОВОДЫ ИЗ КРС-13 С ОТРАЖАЮЩЕЙ ОБОЛОЧКОЙ

В.Г. Артюшенко, Л.Н. Бутвина,  
Е.М. Дианов, Н.В. Жукова,  
Ю.Г. Колесников, Е.Г. Литвиненко,  
А.О. Набатов

Потребности лазерной медицины и технологии, дистанционной термодиагностики и ИК-спектроскопии стимулируют разработку световодов для оптического диапазона 5-15 мкм. Наиболее перспективными световодами для этого диапазона являются кристаллические световоды (КС), т.к. они обладают наименьшими оптическими потерями - 0.1-1.0 дБ/м [1]. По совокупности таких характеристик, как механическая прочность, нетоксичность и негигроскопичность световоды из КРС-13 (кристалл твердого раствора  $0.25 AgCl - 0.75 AgBr$ ) имеют явные преимущества, включая стабильность параметров при воздействии механических напряжений.

В настоящее время ведутся активные исследования по получению оболочечных КС [1-4], т.к. применение разработанных безоболочечных световодов ограничено рядом недостатков.

1. Ввиду отсутствия светоотражающей оболочки разность показателей преломления на границе раздела сердцевина-воздух является большой ( $\Delta n > 1$ ). Это приводит к большому поверхностному рассеянию ( $\alpha \sim \left(\frac{\delta \Delta n}{\lambda}\right)^2$ , где  $\delta$  - шероховатость поверхности,  $\lambda$  - длина волны), играющему существенную роль в потерях и уширении проходящего излучения [5].

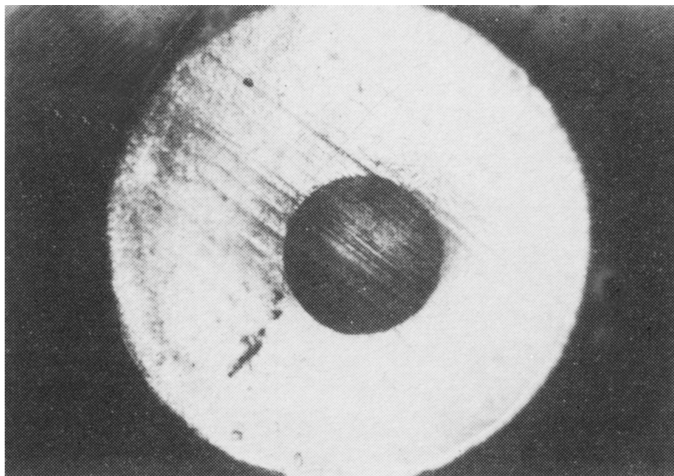


Рис. 1. Поперечное сечение световодов с сердцевиной из КРС-13 ( $\varnothing$  320 мм) и оболочкой из  $AgCl$  ( $\varnothing$  960 мм).

2. Отсутствие отражающей оболочки не позволяет наносить защитные и упрочняющие покрытия, что приводит к деградации оптических и механических свойств из-за адсорбции примесей из атмосферы и механических повреждений.

В настоящей работе представлены результаты исследования оптических свойств полученных нами КС с сердцевиной из КРС-13 и оболочкой из  $AgCl$ . Их длина составляла 1-2 м, внешний диаметр - от 960 до 1400 мкм, а диаметр сердцевины - от 200 до 750 мкм. Механическая прочность полученных световодов определялась прочностью сердцевины (140-170 МПа). На рис. 1 приведена фотография поперечного среза оболочечного световода.

В результате подбора режимов изготовления оболочечных световодов оптические потери в них были снижены от нескольких децибелл на метр до 0.9 дБ/м на длине волны излучения  $CO_2$ -лазера ( $\lambda = 10.6$  мкм). Потери на длине волны  $CO$ -лазера ( $\lambda = 5-6$  мкм) оказались примерно такими же, что, по-видимому, свидетельствует об определяющем вкладе поглощения в полные потери.

Контроль границы раздела сердцевина-оболочка методом ближнего поля показал, что она является оптически плотной. Распределение плотности мощности на выходном торце световода свидетельствовало о наличии ступенчатого профиля показателя преломления. Отметим, что профиль показателя преломления может быть сделан более плавным за счет взаимодиффузии галогенов. Такое изменение профиля было нами получено в результате отжига полученных световодов при 100 °С, что экспериментально подтвердилось измерением распределения концентраций  $Br$  и  $Cl$  по сечению световода.

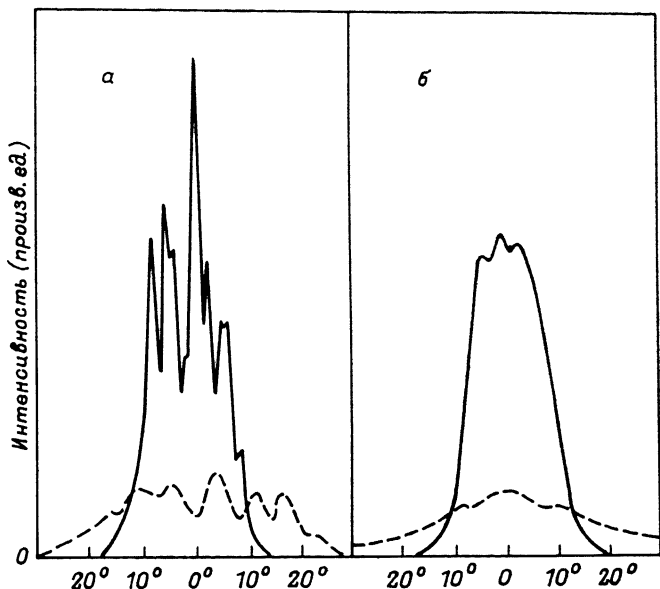


Рис. 2. Угловое распределение выходной интенсивности излучения, пропущенного через оболочечный (сплошные линии) и безоболочечный (штриховые линии) световоды: а -  $\lambda = 5-6$  мкм, б -  $\lambda = 10.6$  мкм.

На рис. 2 приведено угловое распределение интенсивности излучения  $\text{CO}_2$ - и  $\text{CO}$ -лазеров на выходе оболочечного и безоболочечного световодов. Отсутствие явно выраженной спекл-структуры для излучения  $\text{CO}$ -лазера обусловлено его полихроматичностью. Реальная числовая апертура распространяющегося в оболочечном световоде излучения оказалась меньше, чем в случае безоболочечного. Так, при длине световода 1 м и апертуре ввода 0.1 числовая апертура выходящего из него излучения  $\text{CO}_2$ - и  $\text{CO}$ -лазеров для оболочечного световода составила 0.26 и 0.30 соответственно, а для безоболочечного - 0.44 и 0.52 соответственно.

Лучевая прочность оболочечных световодов, измеренная по выходной мощности, составила 6-7 кВт/см<sup>2</sup> для непрерывного излучения  $\text{CO}_2$ -лазера. Разрушение световода происходило, как правило, на границе раздела сердцевина-оболочка, что, по-видимому, связано с привнесенными поглощающими примесями. Об этом свидетельствует также характер разрушения в импульсном режиме. В этом случае пробой носил статистический характер, и усредненная по шести измерениям величина пороговой плотности энергии для оболочечного световода (3.7 Дж/см<sup>2</sup>) оказалась несколько меньше таковой в случае безоболочечного световода - 4.8 Дж/см<sup>2</sup> ( $\tau = 2$  мкс,  $\lambda = 10.6$  мкм).

Наличие отражающей оболочки позволяет наносить на световоды защитные и упрочняющие покрытия. Нанесение слоя фторорганического лака толщиной 20-100 мкм предохраняет галогенидсеребряные световоды от взаимодействия с металлами и стабилизирует их оптические параметры при хранении в лабораторных условиях (при сроке наблюдения до трех месяцев).

Исследование характеристик полученных первых отечественных оболочечных КС показало перспективность разработки таких световодов для различных применений, в том числе для передачи мощного излучения с малой расходимостью, что необходимо, в частности, в задачах лазерной хирургии и технологии. Кроме того, несомненным достоинством оболочечных световодов является стабильность их параметров.

В заключение авторы выражают свою признательность за помощь в проведении работ В.Н. Маевскому и А.П. Новикову.

### Л и т е р а т у р а

- [1] Alimpiev S.S., Artushenko V.G., Butvina L.N., Vartapetov S.K., Dianov E.M., Kolesnikov Yu.G., Konov V.I., Nabatov A.O., Nikiforov S.M., Mirakjan M.M. - Proc. SPIE, 1988, v. 906, p. 906-31.
- [2] Takahashi K., Yoshida N., Yokota M. - Sumitomo Electr. Techn. Rev., 1984, N 23, p. 203-210.
- [3] Kimura M., Kachi S., Shiroyama K. - Proc. SPIE, 1986, v. 618, p. 85-88.
- [4] Harrington J.A., Harrington J.C., Gregory C.C., Harman S. - Proc. SPIE, 1988, v. 906, p. 906-29.
- [5] Artushenko V.G., Butvina L.N., Vojtsekhovskii V.V., Dianov E.M., Kolesnikov Ju.G. - J. of Lightwave Technology, 1986, v. LT-4, N 4, p. 461-465.

Институт общей физики  
АН СССР, Москва

Поступило в Редакцию  
2 июля 1988 г.