

АНИЗОТРОПНЫЙ ОДНОМОДОВЫЙ СВЕТОВОД С ЭЛЛИПТИЧНОЙ ГЕРМАНОСИЛИКАТНОЙ СЕРДЦЕВИНОЙ И ДЕПРЕССИРОВАННОЙ ОБОЛОЧКОЙ

© 2014 г. М. А. Бисярин^{*}, доктор физ-мат. наук; С. В. Буреин^{**}, аспирант;
М. А. Ероньян^{**}, доктор техн. наук; А. В. Комаров^{**}; А. Ю. Кулеш^{***};
Л. Г. Левит^{**}, канд. хим. наук; И. К. Мешковский^{***}, доктор техн. наук;
Е. Ю. Уткин^{***}; А. В. Хохлов^{**}

^{*} Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург

^{**} Научно-исследовательский и технологический институт оптического материаловедения ВНИЦ «ГОИ им. С. И. Вавилова», Санкт-Петербург

^{***} Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий механики и оптики, Санкт-Петербург

E-mail: eronyan@mail.ru

Исследованы свойства анизотропных одномодовых волоконных световодов с эллиптической высоколегированной германием сердцевинной и эллиптической оболочкой, легированной фтором. При разности показателей преломления сердцевинной и оболочки, равной 0,033, и соотношении осей сердцевинной около 2 двулучепреломление примерно составляет 0,00037. Изготовленные световоды, несмотря на дифференциальные оптические потери ортогональных мод на вытекание излучения, отличаются низким уровнем поляризационной устойчивости. Степень сохранения поляризации излучения в них ($\approx 0,003 \text{ м}^{-1}$) на два порядка хуже, чем у световодов промышленного производства, что обусловлено, вероятно, локальной микродеформацией низковязкого стекла сердцевинной.

Ключевые слова: анизотропный одномодовый световод, эллиптическая сердцевина, депрессированная оболочка, двулучепреломление, длина биений.

Коды OCIS: 060.2420

Поступила в редакцию 05.10.2013

Одной из наиболее важных характеристик кварцевых анизотропных одномодовых волоконных световодов (АОВС) является сохранение поляризации излучения, что обеспечивается двулучепреломлением материала сердцевинной. Существуют два принципиально разных по конструкции и технологии изготовления типа таких оптических волокон. Наиболее распространенный способ их изготовления реализует двулучепреломление за счет анизотропии механических напряжений в световодах типа «Panda», «Bow-tie» и с эллиптической напрягающей оболочкой. Другой существенно менее трудоемкий метод изготовления АОВС обеспечивает двулучепреломление за счет создания эллиптической формы сердцевинной и повышенного содержания диоксида германия GeO_2 в ней [1]. Последний тип световодов выгодно отличается от предыдущих оптической и поляризацион-

ной устойчивостью при изгибе волокна и изменении температуры, однако имеет очень высокие оптические потери, на уровне 40 дБ/км [2]. Этот недостаток долгое время сдерживал освоение технологии таких световодов промышленностью.

В настоящее время разработаны практические рекомендации по существенному снижению оптических потерь одномодовых световодов с высоким содержанием GeO_2 [3], что стимулирует дальнейшее развитие АОВС с эллиптической сердцевинной. Степень сохранения поляризации излучения в них можно повысить за счет вытекания одной из ортогональных мод при наличии вокруг сердцевинной эллиптической депрессированной оболочки [4]. Здесь уместно отметить, что в опубликованных работах по изучению АОВС с эллиптической германосиликатной сердцевинной много внимания уделено

повышению двулучепреломления, однако данных по степени сохранения поляризации не представлено.

Целью настоящей работы является изготовление и исследование поляризационных свойств АОВС с эллиптической германосиликатной сердцевиной и эллиптической депрессированной оболочкой.

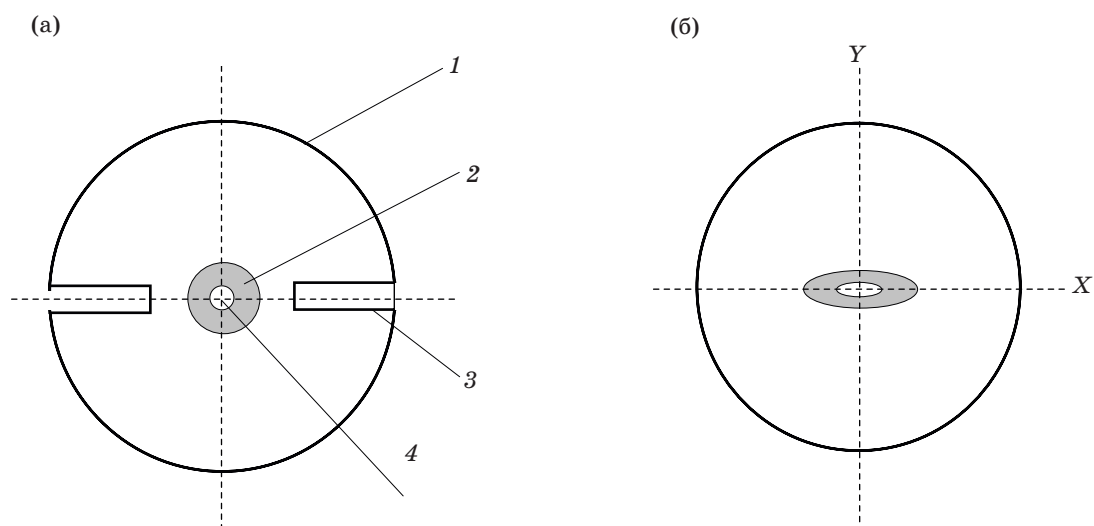
Заготовку для вытягивания световодов изготавливали модифицированным методом химического парофазного осаждения. На внутреннюю поверхность кварцевой трубки осаждались слои легированного кварцевого стекла оболочки и сердцевины с последующим высокотемпературным сжатием трубки в круглую заготовку. При осаждении слоев оболочки парогазовая смесь (ПГС) содержала SiCl_4 , SiF_4 и кислород. В качестве газа-носителя паров SiCl_4 использовали SiF_4 , обеспечивая тем самым повышенное содержание фтора в газовой фазе. Стекло сердцевины легировалось диоксидом германия при дополнительном введении в ПГС около 1 об % фреона-12 (CF_2Cl_2). Разность показателей преломления (Δn), измеренная на рефрактометре P101, сердцевины и депрессированной оболочки относительно показателя преломления кварцевого стекла наружной оболочки составила 0,025 и $-0,0085$. Легирование оболочки фтором позволяет понизить содержание GeO_2 в сердцевине при заданном значении Δn , равном 0,033, обеспечивая тем самым снижение оптических потерь.

С двух противоположных сторон круглой заготовки нарезались канавки (рис. а). В процессе высокотемпературного округления заготовки сердцевина и депрессированная оболочка принимали эллиптическую форму. Соотношение осей эллипса равно 2 (0,77/0,38 мм) в сердцевине и 1,3 (6,88/5,37 мм) в оболочке (рис. б). Дальнейшее повышение эллиптичности сердцевины нецелесообразно, так как двулучепреломление в этом случае будет зависеть только от $(\Delta n)^2$ [3].

Из заготовки вытягивались два АОВС со скоростью 60 м/мин при температуре графитового нагревателя печи нагрева заготовок 1950 и 2100 °С. Для обеспечения одномодового режима распространения излучения на длине волны 1,55 мкм волокно имело диаметр 60 мкм. Световоды защищались эпоксиакрилатным покрытием толщиной 40 мкм.

Исследованы следующие свойства АОВС: длина волны отсечки высшей моды (λ_c) методом изгиба, длина биений ортогональных мод (L_b) методом сканирования по оптическому спектру и поляризующие свойства по соотношению мощностей излучения (P_x/P_y) на выходе из световода.

Длина волны отсечки слабо увеличивается с температурой нагрева заготовки: при 1950 °С – $\lambda_c = 1,29$ мкм, а при 2100 °С – $\lambda_c = 1,34$ мкм. Это явление обусловлено, вероятно, увеличением диаметра сердцевины световода из-за диффузии германия.



Поперечное сечение заготовки световода после нарезания канавок (а) и после округления (б). 1 – конструктивная оболочка, 2 – депрессированная оболочка, 3 – нарезанная канавка, 4 – сердцевина.

Длина биений ортогональных мод не зависит от такого изменения температуры вытягивания и равна 4 мм при длине волны, равной $\lambda = 1,5$ мкм, что определяет высокий уровень двулучепреломления (B)

$$B = \lambda/L_b \approx 0,00037.$$

Такое значение B соответствует характеристикам АОВС промышленного производства. Здесь целесообразно отметить, что в световодах с эллиптической напрягающей оболочкой двулучепреломление существенно зависит от температуры вытягивания [5].

Несмотря на довольно высокий уровень двулучепреломления, поляризационная устойчивость излучения в исследуемых световодах оказалась низкой. Степень сохранения поляризации излучения (h) X -моды была на уровне $0,003 \text{ м}^{-1}$. Это существенно хуже характеристик аналогичных АОВС с эллиптической напрягающей оболочкой, у которых параметр h равен $(5-7) \times 10^{-5} \text{ м}^{-1}$ при диаметре волокна 40 мкм и однослойном полимерном покрытии [6]. Слабая поляризационная устойчивость ис-

следуемых АОВС обусловлена, вероятно, низкой вязкостью сердцевины и, как следствие, ее локальной деформацией высоковязкими неоднородностями кварцевого стекла конструктивной оболочки.

Повышенные оптические потери на вытекание Y -моды создают поляризующий эффект исследуемых световодов: соотношение мощностей излучения (P_x/P_y) на выходе из волокна длиной 100 м составляет 0,5 при равномерном возбуждении мод на входе.

Таким образом, результаты настоящих исследований показали, что в АОВС с эллиптической высоколегированной германием сердцевиной и эллиптической депрессированной оболочкой достигается достаточно высокий уровень двулучепреломления, однако степень сохранения поляризации излучения в них существенно хуже, чем у световодов типа "Panda", "Bow-tie" и с эллиптической напрягающей оболочкой.

Настоящая работа выполнена в НИУ ИТМО при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (проект № 02.G25.31.0044).

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. Dyott R.B., Cozens J.R., Morris D.G. Preservation of polarisation in optical-fiber waveguides with elliptical cores // Electron. Lett. 1979. V. 15. P. 380–382.
2. Payne D.N., Barlow A.J., Ramskov H.J.J. Development of low and high-birefringence optical fibers // IEEE Transactions on microwave theory and techniques. 1982. V. MTT-30. № 4. P. 323–334.
3. Лихачев М.Е., Бубнов М.М., Семенов С.Л., Хопин В.Ф., Салганский М.Ю., Гурьянов А.Н., Дианов Е.М. Оптические потери в одномодовых и многомодовых световодах с высокой концентрацией GeO_2 и P_2O_5 // Квант. электрон. 2004. Т. 34. № 3. С. 241–246.
4. Marrone M.J. Polarisation holding in long-length polarizing fibers // Electron. Lett. 1985. V. 21. № 6. P. 244–245.
5. Андреев А.Г., Буреев С.В., Ероньян М.А., Комаров А.В., Крюков И.И., Мазунина Т.В., Полосков А.А., Тер-Нерсесянц Е.В., Цибиногина М.К. Повышение двулучепреломления в анизотропных одномодовых волоконных световодах с эллиптической напрягающей оболочкой // Оптический журнал. 2012. Т. 79. № 9. С. 107–109.
6. Буреев С.В., Дукельский К.В., Ероньян М.А., Злобин П.А., Комаров А.В., Левит Л.Г., Страхов В.И., Хохлов А.В. Технология крупногабаритных заготовок анизотропных одномодовых световодов с эллиптической оболочкой // Оптический журнал. 2007. Т. 74. № 4. С. 85–87.