

## ТЕХНОЛОГИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ЗАГОТОВОК АНИЗОТРОПНЫХ ОДНОМОДОВЫХ СВЕТОВОДОВ С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКОЙ

© 2007 г. С. В. Буреев\*, К. В. Дукельский\*, канд. техн. наук; М. А. Ероньян\*, доктор техн. наук;  
П. А. Злобин\*\*, А. В. Комаров\*, Л. Г. Левит\*, канд. хим. наук;  
В. И. Страхов\*\*, доктор техн. наук; А. В. Хохлов\*

\* Научно-исследовательский и технологический институт оптического материаловедения  
ВНЦ “ГОИ им. С.И. Вавилова”, Санкт-Петербург

\*\* Санкт-Петербургский государственный технологический институт, Санкт-Петербург

Рассмотрена возможность увеличения диаметра заготовок для вытягивания кварцевых анизотропных одномодовых волоконных световодов за счет сплавления предзаготовки с трубкой, зазор между которыми заполнен кварцевой крупкой. Показано, что поляризационная устойчивость таких световодов повышается с увеличением диаметра стекловолокна.

Коды OCIS: 060.2340.

*Поступила в редакцию 11.01.2006.*

Анизотропные одномодовые волоконные световоды (АОВС), сохраняющие поляризацию излучения, широко используются в интерферометрических датчиках самого разнообразного назначения. Существуют две основные конструкции такого оптического волокна: световоды типа “PANDA” [1] и световоды с эллиптической напрягающей оболочкой [2]. Многостадийная технология изготовления АОВС первого типа включает очень сложную операцию: формирование двух каналов внутри круглой заготовки по всей ее длине. Способ изготовления заготовок световодов второго типа существенно проще. Он заключается в изготовлении модифицированным методом химического парового осаждения (modified chemical vapour deposition – MCVD) круглой предзаготовки, нарезании вдоль заготовки двух узких канавок с диаметрально противоположных ее сторон и высокотемпературном округлении.

Степень сохранения поляризации излучения ( $h$ -параметр) АОВС, выпускаемых зарубежными фирмами, при стандартном диаметре стекловолокна 125 мкм равна  $3,2 \times 10^{-5}$  [3]. Наилучшие результаты по поляризационной устойчивости достигнуты на АОВС с необычно большим диаметром стекловолокна. Так, при наружном диаметре кварцевой оболочки, равном 190 мкм,  $h$ -параметр световода не превышал  $3 \times 10^{-7}$  1/м при модовом двулучепреломлении  $3,8 \times 10^{-4}$  [1]. Однако такой путь улучшения поляризационных свойств кварцевых АОВС приводит к повышению их стоимости.

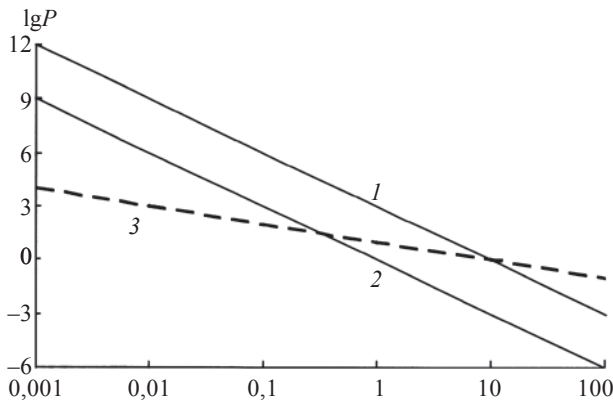
Поэтому целью настоящей работы является модернизация MCVD-технологии АОВС с эллиптической напрягающей оболочкой [2], направленная на увеличение диаметра заготовки при одновре-

менном снижении материальных затрат на их изготовление.

Основным отличием нового метода от известной технологии [2] является дополнительная промежуточная операция осесимметричного сплавления круглой предзаготовки с тонкостенной трубкой из кварцевого стекла после заполнения зазора между ними кварцевой крупкой. Это позволяет до четырех раз увеличить массу заготовки и существенно снизить материальные затраты, так как стоимость кварцевой крупки на порядок ниже стоимости стекломассы опорных кварцевых трубок.

С целью эффективной очистки кварцевой крупки в нее добавляли 1–2 масс. % хлорида аммония. Такую сборку выдерживали при температуре 400–500 °С для газофазной очистки сплавляемых поверхностей от примесей в атмосфере продуктов диссоциации  $\text{NH}_4\text{Cl}$  [4].

Предзаготовку изготавливали по MCVD-методу [2], увеличивая поперечное сечение сердцевинки и оболочек до размера, соответствующего окончательному диаметру крупногабаритной заготовки. В этой операции использовали кварцевые трубки с наружным диаметром 20 мм и толщиной стенки 1,5 мм. Снижение поперечного сечения опорной кварцевой трубки на 25–45% по сравнению с трубами для одностадийной MCVD-технологии (с наружным диаметром 20–25 мм и толщиной стенки 2–2,2 мм) существенно сократило время ее высокотемпературного сжатия в штабик. Благодаря этому, а также увеличенному диаметру сердцевинки доля восстановленного германосиликатного стекла световодущей жилы уменьшается, что приводит, как известно [2], к снижению дополнительных оптических



Расчетная зависимость давления внутри пузыря от его диаметра. 1 и 2 – давление, обусловленное сжатием пузыря от исходного диаметра, равного 100 мкм; 1 –  $P = 10^{-3}$  атм, 2 –  $P = 10^{-6}$  атм; 3 – давление, создаваемое силами поверхностного натяжения. Пояснения в тексте.

потерь, зависящих от температуры вытягивания световодов.

Операцию высокотемпературного сплавления трубки и предзаготовки с промежуточной засыпкой из кварцевой крупки проводили при 2000–2050 °С. Внутреннее пространство трубки вакуумировали, за счет чего достигали высокой скорости устранения пустот между частицами кварца и получения стекломассы, не содержащей пузырей. Необходимый уровень откачки газов оценивали сопоставлением давления, создаваемого силами поверхностного натяжения,  $P_\sigma$  и давления остаточного газа внутри пузырей  $P$  при их сжатии в процессе сплавления (см. рисунок):

$$P_\sigma = 4\pi\sigma/d,$$

$$P = P_0(d_0^3/d^3),$$

где  $d$  – диаметр пузыря после сжатия,  $\sigma$  – поверхностное натяжение,  $P_0$  – остаточное давление внутри трубки после ее вакуумирования,  $d_0$  – диаметр пузыря до сжатия. Остаточное давление внутри трубки до  $10^{-6}$  атм определяли вакуумметром по термометрической лампе.

Влияние диаметра стекловолокна на величину  $h$ -параметра

Диаметр стекловолокна, мкм	Рабочая длина волны, мкм	$h$ -параметр, 1/м	Полимерное покрытие
40	0,85	$(5-7) \times 10^{-5}$	Однослойное
80	1,5	$(1-2) \times 10^{-5}$	Двухслойное
125	1,5	$(5-6) \times 10^{-6}$	Двухслойное

В процессе сплавления кварцевых зерен размером 300–500 мкм образуются замкнутые поры размером порядка 100 мкм. При остаточном давлении в них  $10^{-3}$ – $10^{-6}$  атм происходит сжатие пор внешним атмосферным давлением с образованием сферических полостей диаметром соответственно 10–1 мкм (см. рисунок). В первом случае (линия 1) при диаметре пузыря 10 мкм процесс его сжатия прекращается, так как силы поверхностного натяжения не могут уменьшить его размер ( $P_\sigma \leq P$ ). Во втором случае, при начальном остаточном давлении  $10^{-6}$  атм (линия 2), пузырь диаметром 1 мкм будет сжиматься уже не внешним атмосферным давлением, а силами поверхностного натяжения ( $P_\sigma \geq P$ ) до 0,5 мкм (см. рисунок), когда давление  $P_\sigma$  достигает  $P$ , соответствующего 50 атм. При этих условиях остаточные газы полностью растворяются в кварцевом стекле.

После операции сплавления предзаготовок с кварцевой крупкой получали заготовки длиной 800–850 мм с наружным диаметром 15–23 мм, по всей длине которых нарезали две канавки шириной 0,6 мм. Округление заготовок проводили нагревом до 2000–2050 °С перемещающейся кислородно-водородной горелкой. При такой операции с увеличением диаметра заготовки трансформация круглой напрягающей оболочки в эллиптическую проходила более эффективно, однако повышалась длительность процесса.

Используя одинаковые по конструкции предзаготовки, изготовили заготовки разного диаметра. Поляризационная устойчивость АОВС при одинаковом значении модового двулучепреломления, равном  $(4,7-5) \times 10^{-4}$ , существенно повышалась с увеличением диаметра стекловолокна (см. таблицу).

Таким образом, усовершенствованная MCVD-технология изготовления АОВС с эллиптической напрягающей оболочкой позволяет увеличить габариты заготовок, что приводит к увеличению производительности изготовления тонких световодов или к повышению поляризационной устойчивости оптического волокна посредством увеличения его диаметра при одновременном снижении материальных затрат.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Sasaki Y., Tajima K., Seikai S. 26 km – Long polarisation-maintaining optical fiber // Electronics Letters. 1987. V. 23. № 20. P. 127–128.
2. Ерoньян М.А., Комаров А.В., Кондратьев Ю.Н., Ромашова Е.И., Серков М.М., Хохлов А.В. Тонкие анизотропные одномодовые волоконные световоды с эллиптической напрягающей оболочкой // Оптический журнал. 2000. Т. 67. № 10. С. 104–105.

3. Thorlabs // 2003. V. 15. P. 415–416.

4. *Еротьян М.А., Злобин П.А., Страхов В.И., Цибиногина М.К.* Исследование высокотемпературных газофаз-

ных методов очистки кварцевой крупки // Тезисы докладов XV междунар. конф. по химической термодинамике. Москва, 2005. Т. 2. С. 237.

---