

Следует отметить, что при создании МХМ необходима оптимизация периода цикла, скорости теплообмена, количества ступеней и т.д. Важную роль при выборе рабочего тела играют также технологичность, теплопроводность, потери на токи Фуко, стоимость и другие факторы.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] B r o w n G.V. // J. of Appl. Phys. 1976. V. 47. N 8. P. 3673-3680.
- [2] H a s h i m o t o T., N u m a s a w a T., S h i n o M., O k a d a T. // Cryogenics. 1981. V. 21. N 11. P. 647-653.
- [3] H a s h i m o t o T., N u m a s a w a T., S h i n o M. // Physica. 1981. V. 108B. P. 1107-1108.
- [4] W o o d M.E., P o t t e r W.H. // Cryogenics. 1985. V. 25. N 12. P. 667-683.
- [5] Т и ш и н А.М. Автореферат канд.дисс. М.: МГУ, 1988. 13 с.
- [6] Н и к и т и н С.А., Т и ш и н А.М. // Письма в ЖТФ. 1988. Т. 14. В. 8. С. 735-739.

Московский
государственный
университет
им. М.В. Ломоносова

Поступило в Редакцию
30 ноября 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 16, вып. 2
06.3; 07

26 января 1990 г.

© 1990

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В АНИЗОТРОПНЫХ ОДНОМОДОВЫХ СВЕТОВОДАХ С ЭЛЛИПТИЧЕСКОЙ ВНЕШНЕЙ ОБОЛОЧКОЙ

З.Э. А р у т ю н я н, С.Ю. С у р и н

Широкое использование анизотропных одномодовых световодов (АОС) в системах когерентной связи [1], датчиках физических величин [2] и различных нелинейно-оптических устройствах [3] обусловило интенсивное исследование свойств таких структур как экспериментальными, так и теоретическими методами.

Одним из распространенных типов анизотропных световодов являются АОС, анизотропия которых обусловлена азимутально несимметричными термоупругими напряжениями, создаваемыми в круглой

сердцевине эллиптической напрягающей оболочкой из-за различия коэффициентов термического расширения между этой оболочкой и опорной кварцевой трубкой. Величина напряжений во многом определяет поляризационные характеристики АОС, в частности наводимое ими внутри области напрягающей оболочки материальное двулучепреломление:

$$B = C(\sigma_x - \sigma_y) = C \cdot \Delta\sigma,$$

где C — фотоупругая постоянная, равная для кварцевого стекла $3,3 \cdot 10^{-5}$ мм²/кг в области 1 мкм; σ_x, σ_y — напряжения вдоль оптических осей световода внутри эллипса напрягающей оболочки. В связи с этим исследованию влияния различных структурных параметров световода на величину $\Delta\sigma$, а следовательно, и на B уделяется серьезное внимание при разработке анизотропных световодов.

Экспериментально было показано, что на величину двулучепреломления, наряду с эллиптичностью напрягающей оболочки $\varepsilon = \frac{\alpha - \beta}{\alpha + \beta}$ (α и β соответственно большая и малая полуоси эллипса) и концентрацией легирующих добавок в ней, существенное влияние оказывают и относительные размеры самой напрягающей оболочки [4]. Однако на сегодняшний день теоретический анализ этого явления был проведен только лишь для световодов с круглой внешней оболочкой [5–7]. В то же время достаточно легко реализуемыми с точки зрения технологии являются АОС с напрягающей оболочкой, формируемой в процессе термической прессовки исходной круглой заготовки [8], у которых внешняя оболочка также имеет эллиптическую форму. Очевидно, что для таких световодов влияние внешней границы на напряжения может оказаться более значительным. Поэтому целью данной работы является исследование влияния внешней оболочки на величину $\Delta\sigma$ для трехслойных световодов с эллиптическими внешней и напрягающей оболочками и круглой сердцевинной.

Расчеты проводились методом конечных элементов [5], который позволяет рассчитать напряжения в световодах произвольной формы с достаточной степенью точности. В качестве конечных элементов были выбраны треугольники, число которых составляло 752. Кроме того, во всех расчетах вне зависимости от структуры поперечного сечения световода величина $\Delta\alpha \cdot \Delta T = 9,45 \cdot 10^{-5}$, где $\Delta\alpha$ — разность коэффициентов термического расширения материалов напрягающей и внешней оболочек, а ΔT — разность между температурой размягчения материала напрягающей оболочки и комнатной температурой. При этом эллиптичность внешней оболочки была равна эллиптичности напрягающей оболочки, что вполне согласуется со случаем световодов, полученных методом термической прессовки исходной круглой заготовки.

На рис. 1 представлены результаты расчетов зависимости $\Delta\sigma$ от эллиптичности напрягающей оболочки ε . В качестве параметра была выбрана величина относительного радиуса напрягающей оболочки

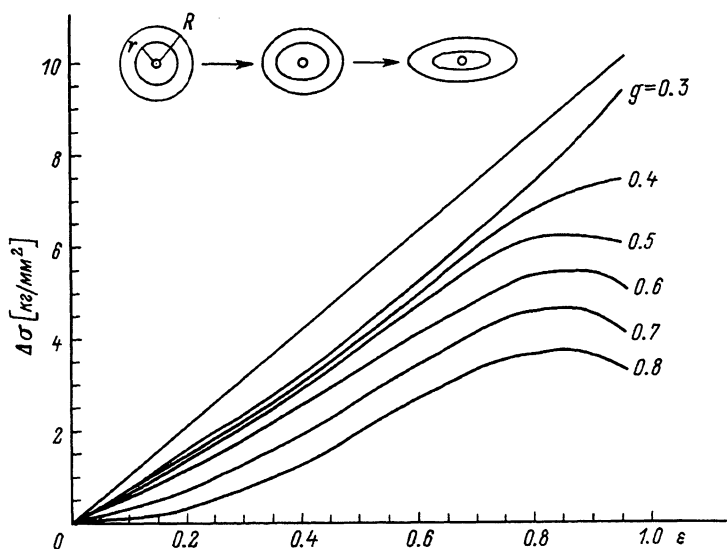


Рис. 1. Зависимость $\Delta\sigma(\varepsilon)$ для световодов с эллиптической внешней оболочкой в зависимости от относительного радиуса напрягающей оболочки в исходной круглой заготовке $g = r/R$.

в исходной круглой заготовке $g = r/R$, где r — радиус напрягающей оболочки, а R — радиус внешней оболочки в исходной круглой заготовке. Верхняя прямая соответствует световоду с бесконечно толстой внешней оболочкой. Как видно из приведенных данных, увеличение относительных размеров напрягающей оболочки приводит к монотонному уменьшению величины $\Delta\sigma$. При этом важной особенностью световодов с эллиптической внешней оболочкой является то, что это убывание происходит при любых фиксированных значениях ε . Следовательно, наклон кривой $\Delta\sigma(\varepsilon)$ (значит, и $B(\varepsilon)$) для световодов с эллиптической внешней оболочкой во всем диапазоне возможных значений ε зависит не только от концентрации легирующих добавок в напрягающей оболочке, но и от относительных размеров последней. При этом, в частности, в световодах с эллиптической внешней оболочкой ни при каких значениях ε и g величина $\Delta\sigma$ не достигает такой же величины, как в световодах с бесконечно толстой внешней оболочкой. Из рис. 1 также следует, что в зависимости от относительных размеров напрягающей оболочки меняется и вид кривой $\Delta\sigma(\varepsilon)$. Так, для АОС, у которых относительный радиус напрягающей оболочки в исходной круглой заготовке больше 0.4, начиная с $\varepsilon = 0.78$, наступает насыщение, а затем и некоторое уменьшение величины $\Delta\sigma$. Для световодов же с $g < 0.4$ наблюдается монотонный рост $\Delta\sigma$ во всем диапазоне возможных значений эллиптичности напрягающей оболочки.

На рис. 2 показано влияние внешней границы на величину $\Delta\sigma$ световодов с эллиптической и круглой внешней оболочкой. Кривые

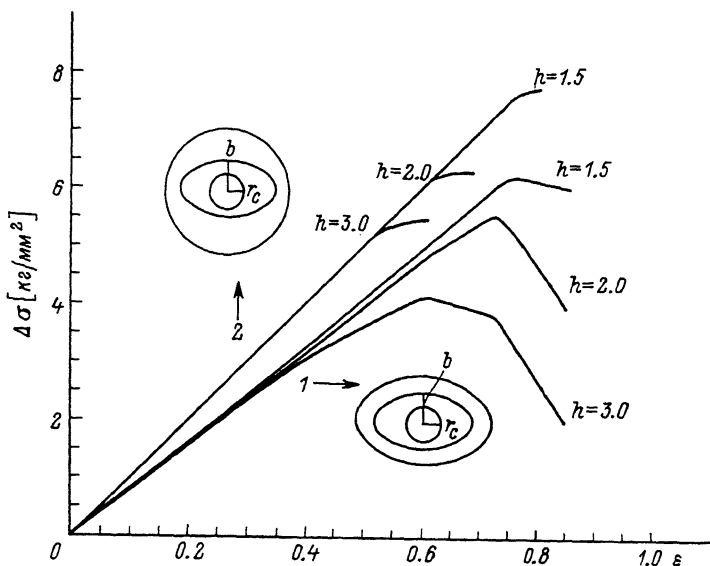


Рис. 2. Зависимости $\Delta\sigma(\varepsilon)$ световодов с эллиптической (1) и круглой (2) внешней оболочкой при различных значениях отношения малой полуоси эллипса напрягающей оболочки b к радиусу сердцевины r_c .

приведены в зависимости от параметра h , равного отношению величины малой полуоси эллипса напрягающей оболочки b к величине радиуса сердцевины световода r_c . Как видно из рисунка, значение $\Delta\sigma$ для АОС с эллиптической внешней оболочкой всегда меньше соответствующей величины для световодов с круглой внешней оболочкой. Кроме того, если для световодов с круглой внешней оболочкой влияние конечности размеров последней сказывается лишь при $\varepsilon > 0.5$, то для световодов с эллиптической внешней оболочкой, как уже отмечалось выше, наклон кривой $\Delta\sigma(\varepsilon)$ зависит от относительных размеров напрягающей оболочки во всем диапазоне значений ε . При этом, как видно из рис. 2, вид кривой $\Delta\sigma(\varepsilon)$ зависит от формы внешней оболочки. Так, у световодов с эллиптической внешней оболочкой (в отличие от световодов с круглой внешней оболочкой) при данных значениях h с увеличением эллиптичности напрягающей оболочки происходит не только насыщение $\Delta\sigma$, но и ее последующее уменьшение.

Полученные результаты можно интерполировать на случай, когда эллиптичность внешней оболочки меньше эллиптичности напрягающей. Очевидно, что тогда соответствующие кривые будут лежать между кривой для круглой внешней оболочки и кривой, соответствующей равным эллиптиčnostям внешней и напрягающей оболочек.

Таким образом, проведенные исследования термоупругих напряжений в волоконных световодах с эллиптическими внешней и напря-

гающей оболочками и круглой сердцевинной показали, что для таких АОС, во-первых, как наклон, так и форма кривой зависимости материального двулучепреломления от эллиптичности напрягающей оболочки зависят от относительных размеров последней во всем диапазоне значений \mathcal{E} ; во-вторых, при данном отношении радиуса сердцевинной к радиусу внешней оболочки в исходной круглой заготовке существует оптимальная толщина напрягающей оболочки; в-третьих, в случае оптимальной толщины напрягающей оболочки величина материального двулучепреломления возрастает почти линейно с увеличением ее эллиптичности; в случае же толстой напрягающей оболочки происходит „насыщение” двулучепреломления; в-четвертых, максимальным двулучепреломлением обладает АОС с эллиптической напрягающей и круглой внешней оболочками.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] K i m u r a T. // J. of Lightwave Technol. 1987. V. LT-5. N 4. P. 414-428.
- [2] J a c k s o n D.A., J o n e s J.D.C. // Optica Acta. 1986. V. 33. N 12. P. 1469-1503.
- [3] N o d a J., O k a m o t o K., S a s a k i Y. // J. of Lightwave Technol. 1986. V. LT-4. N 8. P. 1071-1089.
- [4] R a s h l e i g h S.C., M a r r o n e M.J. // Opt. Lett. 1983. V. 8. N 5. P. 292-294.
- [5] E j i r i Y., N a m i h i r a Y., M o c h i z u k i K. // Electron Lett. 1982. V. 18. N 14. P. 603-605.
- [6] S a k a i J. - I., K i m u r a T. // IEEE J. of Quantum Electron. 1982. V. QE-18. N 11. P. 1899-1909.
- [7] V a r n h a m M.P., P a y n e D.N., B a r l o w A.J., B i r c h R.D. // J. of Lightwave Technol. 1983. V. LT-1. N 2. P. 332-339.
- [8] S t o l e n R.H., P l e i b e l W., S i m p s o n J.R. // J. of Lightwave Technol. 1984. V. LT-2. N 5. P. 639-641.

Институт общей физики
АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
10 октября 1989 г.