

07

© 1992

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТОЛЩИНЫ БУФЕРНОГО СЛОЯ
В АСИММЕТРИЧНЫХ ОДНОМОДОВЫХ
ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДАХА.Ц. Андреев, Н.В. Кандыбко,
В.А. Козлов, А.В. Кузнецов

Одномодовые волоконные световоды (ОВС) с асимметричной светоотражающей оболочкой используются для создания волоконно-оптических элементов: направленных ответвителей, поляризаторов, модуляторов. Такие световоды могут быть изготовлены путем механической обработки боковой поверхности изогнутого и вклеенного в кварцевый блок ОВС [1], химического травления неоднородной оболочки световодов [2], вытяжки световодов из асимметричных заготовок [3].

На рис. 1, а показано поперечное сечение двухслойного ОВС с асимметричной оболочкой, n — показатель преломления внешней среды, d — минимальное расстояние от поверхности раздела сердцевина/оболочка световода до поверхности оболочка-внешняя среда — назовем это расстояние толщиной буферного слоя. Задача измерения толщины буферного слоя при создании ряда волоконно-оптических элементов, в том числе волоконных поляризаторов, является одной из ключевых, так как при их изготовлении необходимо получать асимметричные ОВС с величиной $d \leq 0$ [4]. В работе [5] был предложен метод измерения толщины буферного слоя, основанный на измерении величины затухания α интенсивности излучения, проходящего участок асимметричного ОВС, в зависимости от величины показателя преломления n (использовались различные иммерсионные жидкости). Для численного расчета зависимости α (d, n) была использована теоретическая модель асимметричного ОВС, формально работающая для величин $d \geq 0$, однако экспериментальная проверка модели была проведена только для величин d , равных нескольким микрометрам, в области, далекой от практического использования.

Целью настоящей работы является экспериментальная проверка корректности применения иммерсионного метода измерения толщины буферного слоя вблизи $d = 0$, иными словами, определения момента касания поверхности раздела сердцевина-оболочка световода; определение оптимальных условий таких измерений и анализ влияния параметров ОВС на точность определения толщины буферного слоя.

В работе был использован асимметричный ОВС, изготовленный методом шлифовки и полировки боковой поверхности изогнутого и вклеенного в кварцевые блоки световода. Внешний диаметр исполь-

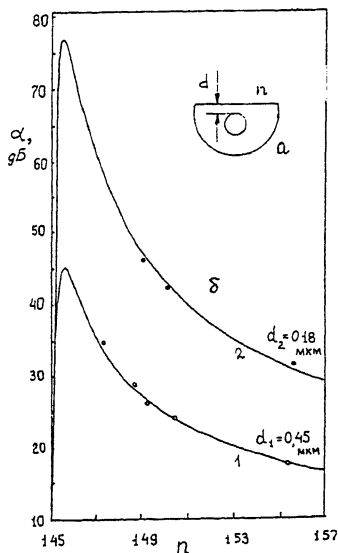


Рис. 1.

зованного нами световода равняется 125 мкм; диаметр сердцевинки $2a=6.5$ мкм; разность показателей преломления материалов сердцевинки и оболочки $\Delta n = 6 \cdot 10^{-3}$; длина волны отсечки высших мод $\lambda_c = 1.14$ мкм. Радиусы изгиба ОВС составляли 450–750 мм. Изменение величины n осуществлялось с помощью набора иммерсионных жидкостей. Экспериментальные измерения и численные расчеты проводились для излучения с длиной волны $\lambda = 1.3$ мкм.

На рис. 1, б представлены результаты численного расчета (сплошные кривые) и экспериментального измерения зависимости $\alpha(n)$ для ОВС, изогнутого с радиусом $R_1=450$ мм, кривая 1, и $R_2=750$ мм, кривая 2. Для расчетов была использована методика работы [5]. Максимальное совпадение экспериментальных данных и расчетных кривых получено для величин $d_1=0.45$ мкм и $d_2=0.18$ мкм. По результатам измерения длины l сполитованного участка оболочки световода [6] получены значения $d_1 - 0.5$ мкм и $d_2 - 0.2$ мкм, точность измерения которых ограничена точностью измерения длины l , которая составляет ~ 10 мкм.

Эксперименты и расчеты показывают, что методика работы [5] для расчета зависимости $\alpha(d, n)$ корректна в области значений $d \approx 0.1$ мкм.

Анализ результатов расчета и экспериментального измерения зависимости $\alpha(d, n)$ показывает, что эта зависимость имеет монотонный характер в области изменения показателя преломления n 1.47 – 1.55 (рис. 1, б) и для толщины буферного слоя $d \geq 0$ (рис. 2). Уменьшение толщины буферного слоя до уровня $d \approx 0.1$ мкм сопровождается увеличением затухания α до уровня 20–30 дБ при $n = 1.555$ и до уровня $\alpha \approx 60$ –70 дБ при $n = 1.470$.

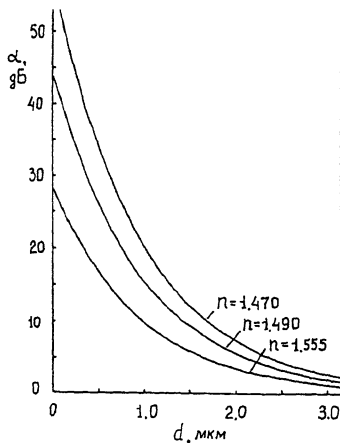


Рис. 2.

Очевидно, выбор иммерсионной жидкости с большим показателем преломления снижает требования к динамическому диапазону экспериментальной аппаратуры, необходимому для оценки толщины буферного слоя при проведении технологических операций по получению асимметричных ОВС.

На рис. 3 представлены результаты расчета зависимости $\alpha(\lambda)$ для нескольких значений толщины буферного слоя на сошлифованном участке использованного нами ОВС. Параметры $R=450$ мм и $n=1.555$ зафиксированы. Характер зависимости $\alpha(\lambda)$ показывает, что для экспериментальной оценки толщины буферного слоя необходимо использовать источник излучения с оптимальной длиной волны λ , для которой требования к динамическому диапазону аппаратуры наименее жесткие. Расчеты показывают, что $\lambda \approx (1.1-1.3)\lambda_c$.

Для определения возможных погрешностей расчета толщины буферного слоя d было рассмотрено поведение зависимости $\alpha(n)$ при вариации параметров a , Δn , R , которые могут быть связаны как с неточностью их определения, так и с изменением этих параметров по длине световода.

На рис. 4 показаны результаты расчета зависимости $\alpha(n)$ при $R=450$ мм, $d=0.5$ мкм, $\lambda=1.3$ мкм, $2a=6.5$ мкм, $\Delta n=6 \cdot 10^{-3}$ (кривая 1). Кривая 2 соответствует увеличению Δn на $1 \cdot 10^{-4}$ ($\approx 1.7\%$), кривая 3 - увеличению радиуса изгиба световода R до 550 мм ($\approx 20\%$), кривая 4 - уменьшению диаметра сердцевины ОВС $2a$ до 6 мкм ($\approx 10\%$). Рассчитанные вариации величины затухания α позволяют определить погрешности вычисления толщины буферного слоя d , используя результаты расчета, приведенные на рис. 2. Для нашего конкретного случая вариации величины α составляют 2-4 дБ при $n=1.555$. Для

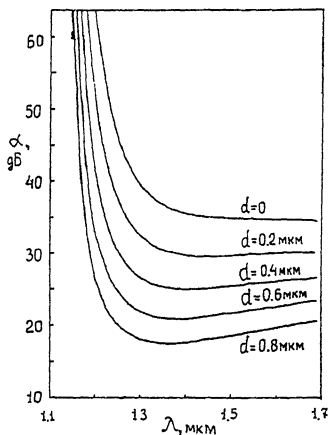


Рис. 3.

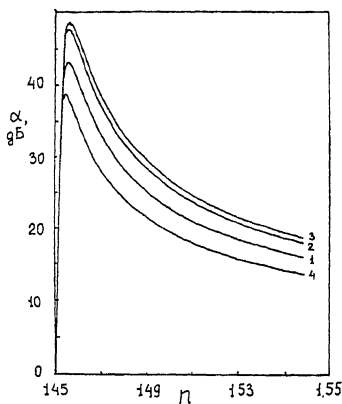


Рис. 4.

$d = 0.5$ мкм это приводит к погрешности определения d , равной 130–170 нм. Отсюда видно, что случайные вариации параметров ОВС или их неточное предварительное измерение приводят к существенным погрешностям в определении толщины буферного слоя.

В заключение отметим, что нами экспериментально показана корректность использования метода измерения толщины буферного слоя в асимметричных ОВС, основанного на измерении величины затухания интенсивности проходящего излучения, для значений $d \lesssim 0.1$ мкм. Определены оптимальные условия измерений: увеличенный показатель преломления иммерсионной жидкости и длина волны излучения $\lambda \approx (1.1-1.3)\lambda_c$, позволяющие снизить требования к величине динамического диапазона используемой аппаратуры.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] B e r g h R.A., K o t t l e r G.,
S h a w H.J. // Electron. Lett. 1980. V. 16.
N 7. P. 260-261.
- [2] H o s a k a T., O k a m o t o K., E d a -
h i r o T. // Appl. Opt. 1983. V. 22. N 23.
P. 3850-3858.
- [3] M i l l a r C.A., A i n s l i e B.J., B i e r -
l e y M.C., C r a i g S.P. // Electron. Lett.
1986. V. 22. N 6. P. 322-324.
- [4] W i l l s c h R. // Electron. Lett. 1990. V. 26.
N 15. P. 1113-1114.
- [5] L e m i n g e r O.G., Z e n g e r l e R. //
Journal of Lightwave Technology. 1985. V. LT-3.
N 4. P. 864-867.
- [6] D i g o n n e t M.J.F., S h a w H.J. // IEEE
Journal of Quautum Electronics. 1982. V. QE-18
N 10. P. 1569-1572.

Институт общей физики,
Москва

Поступило в Редакцию
16 октября 1991 г.