

характерных для микронеоднородного строения стекла, распределение интенсивности практически не отличается от описываемого функцией Эйри. В принципе возможны увеличенные значения  $s$ , связанные с микронеоднородностями, обусловленными несовершенством технологии изготовления стекла. При этом размазывание интерференционной «полосы» становится заметным.

Полученные в работе результаты можно использовать для оценок эффекта расширения контура аппаратной функции в реальных устройствах для прецизионных измерений длин волн, длины, показателя преломления.

### Литература

- [1] К. Кребс, А. Сауер. Ann. Phys., 13, 359, 1953.
- [2] И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. «Наука», М., 1971.
- [3] R. M. Hill. Opt. Acta, 10, 141, 1963.
- [4] А. Л. Брикс, Е. А. Волкова. ПТЭ, № 3, 191, 1976.
- [5] Л. И. Демкина. Физико-химические основы производства оптического стекла. «Химия», Л., 1976.

Поступило в Редакцию 17 марта 1976 г.  
В окончательной редакции 15 декабря 1977 г.

УДК 621.391.63

## ПРИБЛИЖЕННОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ КОЭФФИЦИЕНТА ПРОПУСКАНИЯ ВОЛОКОННЫХ СВЕТОВОДОВ

Б. М. Лавринович

Основные световые потери в единичном волоконном световоде обусловлены поглощением света материалом волокна и многочисленными отражениями света от границы раздела сердцевина—оболочка волокна. Световые потери из-за отражения конических пучков света с апертурными углами  $u_A \leq 30^\circ$  от торца волокна с показателем преломления  $n=1.6-1.8$  невелики; коэффициент отражения  $\rho_A$  конуса лучей с углом  $u_A \leq 30^\circ$  не превышает величины 0.06—0.08, а соответствующий коэффициент пропускания — величины 0.846—0.884 [1].

Коэффициент пропускания  $\tau_A$  конических пучков с апертурным углом  $u_A$  единичного волокна диаметром  $d$ , длиной  $l$ , натуральным показателем поглощения материала волокна  $\epsilon'$  и коэффициентом единичного полного внутреннего отражения  $\rho$  в соответствии с [1] равен

$$\tau_A = \frac{2n^2(1-\rho_A)^2}{\sin^2 u_A} \int_0^{u_{A0}} e^{-2.72 \frac{l}{d} \operatorname{tg} u_c \lg \rho - \epsilon' l \sec u_c} \cos u_c \sin u_c du_c \quad (1)$$

где угол наклона  $u_c$  в волокне связан с углом наклона луча  $u$  на входе в волокно зависимостью  $n \sin u_c = \sin u$ . Коэффициент пропускания  $\tau_A$  может быть вычислен с помощью ЭВМ, либо приближенным способом, например по формуле Симпсона [2], что, однако, весьма трудоемко.

Для большинства волоконных световодов коэффициент  $\tau_A$  можно определить с известной погрешностью по простой формуле, получаемой из выражения (1). Действительно, при  $u_A \leq 30^\circ$ ,  $n=1.6-1.8$  углы  $u_c \leq 16-18^\circ$  и с погрешностью, не превышающей 5%, можно положить  $\operatorname{tg} u_c \approx \sin u_c$ ,  $\sec u_c \approx 1$ . При этом

$$\begin{aligned} \tau_A &\approx \frac{2n^2(1-\rho_A)^2 e^{-\epsilon' l}}{\sin^2 u_A} \int_0^{u_{A0}} e^{-2.72 \frac{l}{d} \lg \rho \sin u_c} \sin u_c d(\sin u_c) = \\ &= \frac{0.27n^2 d^2 (1-\rho_A)^2 e^{-\epsilon' l}}{l^2 \sin^2 u_A \lg^2 \rho} \left[ 1 - \left( 1 - \frac{2.72l \sin u_A \lg \rho}{nd} \right) 10^{\frac{1.18l \sin u_A \lg \rho}{nd}} \right]. \quad (2) \end{aligned}$$

Так коэффициент пропускания  $\tau_A$  световодом длиной  $l=10$  м, диаметром  $d=100$  мкм,  $\rho=0.99990$  и  $\epsilon'=0.106$  конических пучков с  $u_A=30^\circ$ , определенный по формуле (2), равен 0.0448, в то время как расчет на ЭВМ по точной формуле (1) дает значение  $\tau_A=0.03753$  [1]. Исследование показывает, что приближенная формула ведет



к завышению коэффициента  $\tau_A$  примерно на 18% при  $30^\circ$ ; при меньших углах  $u_A$  погрешность меньше, так как замена тангенса на синус становится все справедливее. При углах  $u_A \leq 5^\circ$ , когда  $\text{tg } u \approx \sin u \approx u$ , погрешность формулы (2) практически равна нулю.

Знание знака и величины погрешности и ее равномерный рост с ростом угла  $u_A$  позволяет ввести поправку и определять коэффициент пропускания  $\tau_A$  по приближенной формуле с высокой точностью.

Заметим, что выражение (2) позволяет по предварительно измеренным коэффициентам пропускания  $\tau_A$  при двух углах  $u_A$  определять  $\rho$  и  $\varepsilon'$  решением системы из двух уравнений с двумя неизвестными.

Световой поток  $F_A$  на выходе единичного волокна площадью сечения  $S = \pi d^2/4$  равен

$$F_A = \tau_A \pi s L \sin^2 u_A \approx \frac{0.67n^2 d^4 (1 - \rho_A)^2 e^{-\varepsilon' l} \left[ 1 - (1 - 2.72l \sin u_A \lg \rho / nd) 10^{\frac{1.18 l \sin u_A \lg \rho}{nd}} \right] L}{l^2 \lg^2 \rho} \quad (3)$$

где  $L$  — яркость источника.

Из выражения (3) видно, что при апертурных углах  $u_A$ , определяемых выражением  $\sin u_{0.95} \geq 1.74nd/l|\lg \rho|$ , выражение в квадратных скобках превышает 0.95, приближаясь к единице, а поток на выходе волокна составляет 95% и более от максимального  $F_A$  при диффузном излучателе

$$F_A = \frac{0.67n^2 d^4 (1 - \rho_A)^2 \exp(-\varepsilon' l) L}{l^2 \lg^2 \rho}.$$

Угол  $U_{0.95}$ , превышение которого практически не увеличивает поток на выходе волокна, является оптимальным апертурным углом данного волокна.

Максимальный световой поток  $F_d$  на выходе волоконного жгута диаметром  $D$ , состоящего из  $kD^2/d^2$  единичных волокон, где  $k$  — коэффициент заполнения световода, равен

$$F_d = \frac{0.67n^2 k d^2 D^2 (1 - \rho_A)^2 \exp(-\varepsilon' l) L}{l^2 \lg^2 \rho} \quad (4)$$

и не зависит от апертурного угла источника, если угол  $u_A \geq u_{0.95}$ .

#### Литература

- [1] В. Б. Вейнберг, Д. К. Саттаров. Оптика световодов. «Машиностроение», Л., 1977.  
[2] М. Я. Выгодский. Справочник по высшей математике. ФМ, М., 1958.

Поступило в Редакцию 16 мая 1977 г.

УДК 535.854

### О ПРЕДЕЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЯХ ШИРОКОПОЛЬНЫХ СПЕКТРОМЕТРОВ С СЕЛЕКТИВНОЙ ИНТЕРФЕРЕНЦИЕЙ

Л. В. Егорова и Б. А. Киселев

Двухлучевой интерферометр, в котором одно или два зеркала заменены дифракционными решетками, будем называть селективным интерферометром (СИ). На основе СИ, в частности, строятся сисамы [1, 2] и селективно-интерференционные спектрометры [3]. Их главное преимущество состоит в относительной простоте достижения требуемых величин разрешающей способности при высокой светосиле. Последняя может быть существенно повышена путем введения в схему дополнительных оптических элементов в соответствии с принципами «компенсации поля», изложенными в ряде работ [1, 4]. В интерферометре с полностью «компенсированным» полем разность хода, с которой интерферируют внесосевые пучки лучей, не зависит с точностью до членов четвертого порядка от углов наклона пучков к оси.