

Лучевой подход правильно отражает осн. особенности распространения света в многомодовых ВС, для k -рых $2a \gg \lambda$ (длина волны света). Однако полную картину распространения света по ВС даёт волновая теория, допускающая распространение по нему лишь дискретного набора мод.

При анализе распространения света по ВС, для k -рых $n_1 \approx n_2$, широко применяется приближение слабо направленных мод. В этом приближении поля направляемых мод являются практически линейно поляризованными и все компоненты поля могут быть получены как производные одной преобладающей поперечной компоненты вектора электр. поля, k -рая выражается след. образом:

$$E_x = \begin{cases} A J_V(\chi r) \begin{pmatrix} \cos v\varphi \\ \sin v\varphi \end{pmatrix} e^{-i\beta z}, & r \leq a \\ A \frac{J_V(\chi a)}{K_V(\zeta a)} K_V(\zeta r) \begin{pmatrix} \cos v\varphi \\ \sin v\varphi \end{pmatrix} e^{-i\beta z}, & r \leq a. \end{cases}$$

Здесь A — константа; временная зависимость $e^{i\omega t}$ опущена; J_V, K_V — ф-ция Бесселя и ф-ция Макдональда порядка v ; β — постоянная распространения направляемых мод, определяемая из решения граничной задачи (β может принимать лишь дискретные значения в интервале $kn_2 < \beta < kn_1$); z — направление распространения, совпадающее с осью ВС; $\chi = (n_1^2 k^2 - \beta^2)^{1/2}$ — поперечное волновое число в сердцевине ВС; $\zeta = (\beta^2 - n_2^2 k^2)^{1/2}$ — поперечное волновое число в оболочке ВС; $k = \frac{2\pi}{\lambda}$ — волновое число в свободном пространстве.

Величина $V = (\chi^2 + \zeta^2)^{1/2} a = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} k a$ наз. характеристическим параметром световода и определяет число мод N , k -рые могут распространяться по ВС. Для ВС со ступенчатым профилем показателя преломления $N \approx V^2/2$.

Распространение света по ВС сопровождается такими оптич. явлениями, как затухание оптич. сигнала, уширение коротких импульсов света, разл. нелинейные процессы.

Потери в волоконном световоде. Затухание оптич. сигнала в стеклянном ВС в видимом и ближнем ИК-диапазонах длин волн, т. е. в областях спектра, где кварцевые стёкла имеют макс. прозрачность, определяется как фундам. механизмами поглощения и рассеяния света в стёклах, так и рассеянием и поглощением примесей и дефектами структуры.

К фундам. механизмам оптич. потерь в кварце-

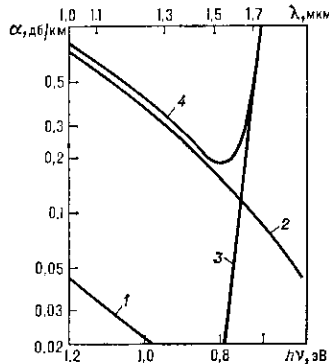


Рис. 3. Спектральные зависимости оптических потерь в кварцевом стекле, легированном германием: 1 — поглощение, обусловленное электронными переходами; 2 — релеевское рассеяние; 3 — поглощение, обусловленное колебаниями решетки; 4 — суммарные потери.

вых стёклах относятся: поглощение, обусловленное электронными переходами (на $\lambda = 0,8$ мкм не превышает 1 дБ/км); ИК-поглощение, обусловленное колебаниями решетки, k -рое начинает играть существ. роль (поглощение более неск. дБ/км) лишь на $\lambda > 1,8$ мкм; релеевское рассеяние света на неоднородностях состава и плотности стекла, меньших λ (на $\lambda = 0,8$ мкм не превышает неск. дБ/км). Т.о., наиб. прозрачностью ВС на основе кварцевых стёкол обладают в области $0,8 \div 1,8$ мкм. На рис. 3 приведены спектральные зависимости оптических потерь α , обусловленных фунда-

ментальными механизмами, для кварцевого стекла, легированного Ge.

Примесное поглощение в указанном спектральном диапазоне определяется гл. обр. поглощением ионами переходных металлов (Fe, Cu, Cr, Ni, V и др.) и гидроксильными группами. Чтобы поглощение света не превышало неск. дБ/км, содержание переходных металлов и гидроксильных групп в стекле не должно превышать неск. частей на 1 миллиард (10^{-9}) и 1 миллион (10^{-6}) соответственно. Вклад указанных примесей в полные потери совр. ВС пренебрежимо мал. Полные потери ВС на основе кварцевых стёкол близки к предельно низким (рис. 4).



Рис. 4. Спектр оптических потерь одномодового волоконного световода.

Уширение оптич. импульсов при распространении по ВС приводит к их взаимному перекрытию, что ограничивает информ. полосу пропускания ВС. За уширение импульсов в ВС ответственны три механизма: межмодовая дисперсия, материальная дисперсия и волноводная дисперсия. Наиб. вклад в уширение импульса в многомодовых ВС вносит межмодовая дисперсия — разл. групповая скорость распространения разл. мод. При типичных параметрах многомодовых ВС межмодовая дисперсия ограничивает полосу пропускания световода до неск. десятков МГц·км. Различие групповых скоростей мод можно значительно снизить, обеспечив плавное изменение показателя преломления по закону, близкому к параболическому, с максимумом на оси световода. В результате полоса пропускания ВС увеличивается до 600—800 МГц·км и более.

Материальная дисперсия ВС обусловлена зависимостью показателя преломления материала, из k -рого изготовлен световод, от λ . В этом случае групповая скорость моды зависит от частоты света, а поскольку оптич. импульс всегда имеет конечную спектральную ширину $\delta\lambda$, происходит уширение импульса при его распространении по световоду. Уширение импульса τ вследствие материальной дисперсии при распространении по световоду длины L равно

$$\tau = \frac{L}{c} \lambda \delta\lambda \frac{d^2 n}{d\lambda^2}.$$

При распространении по ВС с сердцевиной из плавящего кварца уширение импульса от световода на основе GaAlAs, работающего на волне $\lambda = 0,8$ мкм и имеющего относит. спектральную ширину $\delta\lambda/\lambda = 0,04$, составляет $\tau = 4$ нс/км. Уширение импульса вследствие материальной дисперсии резко уменьшается, если λ несущего излучения выбрана в спектральной области вблизи 1,3 мкм, т. к. в этой области для кварцевых стёкол величина $\frac{d^2 n}{d\lambda^2} \rightarrow 0$.

Волноводная дисперсия связана с зависимостью групповой скорости данной моды от λ . Волноводная дисперсия обычно пренебрежимо мала по сравнению с величиной материальной дисперсии.

В ВС из легированного кварцевого стекла существуют области, где материальная дисперсия равна по величине волноводной дисперсии и отличается от неё знаком. В этих областях, лежащих в диапазоне $1,2 < \lambda < 1,7$ мкм, можно выбором легирования и подбором диаметра сердцевины ВС добиться взаимной компенсации и обеспечить наим. уширение импульса (наиб. полосу пропускания) в одномодовых ВС.

Нелинейные процессы в волоконных световодах. Вследствие изотропии материала сердцевины стеклянных световодов младший нелинейный член в разложении поляризации по полю — кубический, т. е. нелинейная поляризация $P_n = \chi^{(3)} E E E$. Кубическая воспри-