

06.3; 07; 12

ПОЛЫЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ВОЛНОВОДЫ ДЛЯ ПЕРЕДАЧИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ СРЕДНЕГО ИК-ДИАПАЗОНА

С.В. А з и з б е к я н, В.Г. А р т ю ш е н к о,
Е.М. Д и а н о в, К.И. К а л а й д ж я н,
М.М. М и р а к я н

Интенсивное развитие лазерной технологии и медицины все настоятельнее требует создания гибких световодных кабелей для доставки мощного лазерного излучения к области воздействия. Наличие промышленной технологии изготовления кварцевых световодов уже позволяет применять световодные лазерные установки диапазона 0.3–2 мкм, например, во внутриполостной хирургии. Но для среднего ИК-диапазона, особенно для длин волн $\lambda > 5$ мкм, разрабатываются пока только экспериментальные ИК-световоды; области применения высокоэффективных и широко распространенных СО и СО₂-лазеров пока ограничены.

Сравнение наиболее перспективных ИК-световодов по совокупности эксплуатационных параметров [1–4] показывает, что при отсутствии практической необходимости в малых радиусах изгиба (< 10 см) и малых диаметрах световодов (< 1 мм) целесообразно использовать полые металлические волноводы без или с диэлектрическим внутренним покрытием. Такие волноводы обладают наиболее высокой лучевой и механической прочностью, достаточно малыми оптическими потерями (0.3–2 дБ/м на $\lambda = 10.6$ мкм) и позволяют избежать проблем, связанных с потерями на отражение и лучевым пробоем на поверхности торцов стеклянных или кристаллических ИК-световодов.

В настоящей работе сообщается об изготовлении гибких полых прямоугольных волноводов (ППВ) и исследовании их оптических характеристик при изгибе и скрутке.

Техника эксперимента.

Полые металлические волноводы изготавливались из двух медных полос шириной 1 см и длиной до 1 м, обращенных полированной поверхностью внутрь и закрепленных по краям полимерными прокладками на расстоянии 1 мм (рис. 1). Линейно поляризованное излучение СО- или СО₂-лазера преобразовывалось цилиндрической линзой из ZnSe ($f = 48$ мм) в прямоугольное сечение $\sim 0.5 \times 6$ мм и вводилось в ППВ таким образом, чтобы вектор электрической поляризации был параллелен плоскостям металлических полос. Для таких условий ввода полные оптические потери в ППВ могут быть представлены в виде [1]:

$$\alpha = \alpha_{TE} + \alpha_{TM} + \alpha_R + \alpha_T, \quad (1)$$

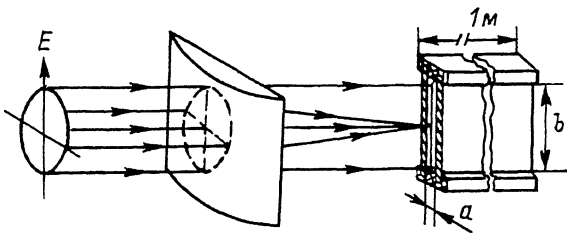


Рис. 1. Конструкция полого волновода и ввод излучения в волновод с параметрами: $a=1$ мм, $b=8$ мм.

где $\alpha_{TE} + \alpha_{TM}$ есть коэффициент потерь в прямом волноводе, α_R — дополнительные потери из-за изгиба (рис. 2, а) и α_T — потери, обусловленные скруткой волновода (рис. 2, б).

Потери в прямом ППВ.

Пропускание прямого ППВ измерялось путем сравнения мощности излучения, прошедшего через длинный (1 м) и короткий (0.1 м) отрезок ППВ, и составляло для СО-лазера (5.2–6.2 мкм) — 90 % (0.46 дБ/м), а для СО₂-лазера (10.6 мкм) — 86 % (0.66 дБ/м). Меньшие потери для более короткой длины волны не противоречат теории, т.к. для прямого ППВ [1]:

$$\alpha = \alpha_{TE} + \alpha_{TM} = \frac{m^2 \lambda^2 S^{TE}}{4\alpha^3} + \frac{m^2 \lambda^2 S^{TM}}{4b^3}, \quad (2)$$

где m — порядок моды, α — расстояние между полосами, b — их ширина, $S^{TE} = 4Re \nu^{-1}$, $S^{TM} = 4Re \nu$ — потери при единичном скользком отражении для TE и TM мод соответственно, ν — комплексный показатель преломления материала полос. То, что экспериментальная разница в потерях меньше теоретической, связано с возрастанием потерь на поверхностных шероховатостях S^{TE} с уменьшением длины волны. Величина S^{TE} , как известно, существенно превышает величину потерь A_{\perp} при нормальном падении и обусловлена, в основном, несовершенством поверхности [2].

Потери при изгибе ППВ.

Для изгиба ППВ в плоскости, перпендикулярной плоскости металлических полос, на радиус R дополнительные потери равны [1]:

$$\alpha_R = \begin{cases} S^{TE} (R^{-1} - R_0^{-1})/2 & R \leq R_0 \\ 0 & R \geq R_0, \end{cases} \quad (3)$$

где $R_0 = 2\alpha^3/m^2\lambda^2$. Отсутствие дополнительных потерь при изгибе на радиус $R \geq R_0$ является следствием отражения распространяющегося излучения только от одной, внешней полосы (рис. 2, а). Такое распространение излучения, известное как шепчущие моды галереи, нарушается взаимодействием с внутренней полосой при уменьшении радиуса изгиба R меньше критического радиуса

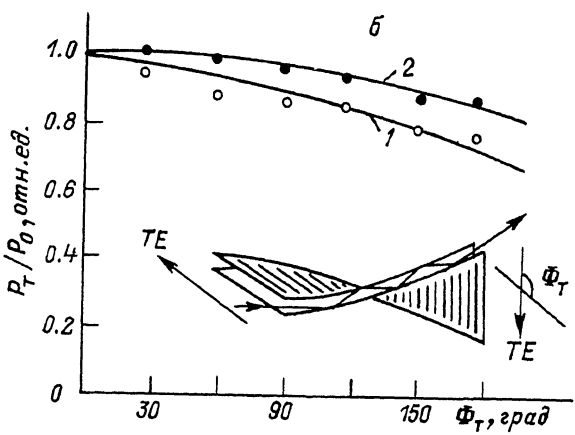
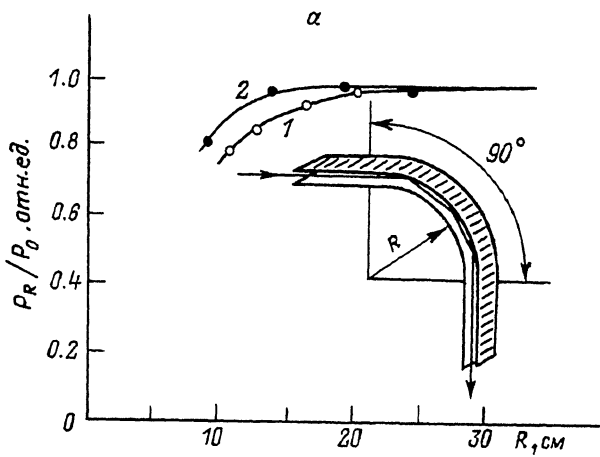


Рис. 2. Зависимость нормированного пропускания от радиуса изгиба (а) и угла кручения (б) полого волновода. (1 - излучение СО-лазера, 2 - излучение СО₂-лазера).

изгиба R_0 . Большая величина R_0 для меньших λ приводит к более раннему началу падения пропускания для излучения СО-лазера по сравнению с СО₂-лазером (рис. 2, а). Величина S^{TE} , определенная из экспериментальных данных согласно выражению (3) $S^{TE} = 0.07$ для СО₂ излучения и $=0.1$ для СО излучения.

Благодаря распространению галерейных мод, полые волноводы прямоугольного сечения имеют существенно меньшие потери при изгибе, чем полые волноводы круглого сечения. Быстрая конверсия мод при изгибе круглых волноводов даже на большие радиусы (~1 м)

приводит к существенному росту потерь [3]. Поэтому, даже в случае необходимости использования полого волновода небольшого внешнего диаметра (до 1.5 мм) целесообразнее использовать не круглое, а квадратное сечение его отверстия [5].

Потери при скрутке ППВ.

Поскольку потери при скрутке (рис. 2, б) в случае скользящих углов $\theta \leq 0.02$ рад описывается выражением [1]

$$\alpha_T = 2\alpha\phi_T^2 S^{TM}, \quad (4)$$

где ϕ_T – угол скрутки, то из измерений зависимости $\alpha_T(\phi_T)$ для излучения СО- и СО₂-лазеров была определена величина S^{TM} для медного ППВ. Для $\lambda = 5.2-6.2$ мкм она составляла $S^{TM} = 53$, а для $\lambda = 10.6$ мкм – 15, хотя длина волны λ не входит в [4]. Это расхождение свидетельствует о неприменимости приближения $\theta \leq 0.02$ рад и коррелирует с более общим выражением

$$\alpha_T = \frac{2}{m\lambda} (\alpha\phi_T)^2 \cdot A^{TM}(\theta_m), \quad (5)$$

где $A^{TM}(\theta_m)$ – потери на поглощение при отражении ТМ-моды m -го порядка.

Исследование состояния поляризации выходного излучения при скрутке ППВ показало, что скрутка волновода приводит к вращению плоскости поляризации излучения. Измеренная степень поляризации была ≈ 1 как для СО, так и для СО₂-лазера. Таким образом, прямоугольный волновод может служить вращателем поляризации.

Выводы

Изготовлены полые прямоугольные металлические волноводы, которые могут использоваться для передачи излучения СО- и СО₂-лазеров в задачах лазерной технологии и лазерной медицины. В реальных диапазонах изменения таких параметров, как скрутка (до 90°) и изгиб ($R \geq 10$ см), пропускание волноводов составляет 70–90 %, и может быть повышено за счет нанесения диэлектрических покрытий. Полученные ППВ могут также использоваться для поворота плоскости поляризации лазерного излучения.

Список литературы

- [1] Garmire E., McMahon T., Bass M. // IEEE J. Quant. Electron. 1981. V. QE-16. N 1. P. 23-32.
- [2] Garmire E. // Proc. SPIE. 1984. V. 484. P. 112-116.
- [3] Croitoru N., Dror J., Mendlovic D. // Proc. SPIE. 1987. V. 799. P. 68-70.

- [4] A l i m p i e v S.S., A r t j u s h e n k o V.G.,
B u t v i n a L.N., et al. // International. J. of
Optoelectronic. 1988. V. 3. N 4. P. 333-344.
- [5] L e v y M.B., L a a k m a n n K.D. // Proc.
SPIE. 1986. V. 605. P. 57-58.

Институт общей
физики АН СССР,
Москва

Поступило в Редакцию
14 июня 1988 г.
В окончательной редакции
3 июля 1989 г.

Письма в ЖТФ, том 15, вып. 21

12 ноября 1989 г.

06.3; 07; 12

ДИНАМИЧЕСКАЯ ФИЛЬТРАЦИЯ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ
ЧАСТОТ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНЫХ УКИ
В ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПЛАНАРНЫХ ВОЛНОВОДАХ

А.И. З а в а л и н, В.Ф. Л а м е к и н,
В.Л. С м и р н о в

Исследования методов фильтрации пространственных частот (ПЧ) в волноводных структурах, в том числе согласованной голографической фильтрации, показали их перспективность для решения задач распознавания образов [1-2], улучшения качества и преобразования передаваемых изображений [3-4]. С возрастанием потока информации, подлежащей обработке с помощью управляемых адаптивных устройств в реальном масштабе времени, возникает необходимость использования ультракоротких лазерных импульсов (УКИ) и малоинерционных перестраиваемых фильтров.

В настоящей работе представлены результаты исследования динамических волноводных голограмм и возможности проведения голографической согласованной фильтрации, а также исследования динамических амплитудных фильтров и возможности проведения фильтрации выборочных ПЧ на основе неравновесных носителей заряда (ННЗ), индуцированных лазерными УКИ в полупроводниковых планарных волноводах на основе соединений $A^{III}B^V$.

Голограммы формировались по схеме Фурье-Фраунгофера внешними УКИ, интерферирующими в плоскости планарного волновода. Считывание производилось УКИ, распространяющимися по волноводу. Для проведения согласованной голографической фильтрации или амплитудной фильтрации отдельных ПЧ в области записанной голограммы или амплитудного фильтра формировался Фурье-спектр изображения, передаваемого по волноводу [1, 4]. Причем во втором случае фильтр ПЧ формировался одним УКИ, а необходимое распределение интенсивности создавалось с помощью цилиндрической линзы и щелевой диафрагмы. Для записи и считывания использовались