

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИЧЕСКИХ МИКРОВОЛНОВОДОВ НА ЖЕЛАТИНОВЫХ ПЛЕНКАХ

Л. Н. Дерюгин и Т. К. Чехлова

Разработана технология изготовления желатиновых одномодовых оптических микроволноводов с малым затуханием. Проведены экспериментальные исследования плоского и кольцевого волноводов. Измерены коэффициенты затухания.

В в е д е н и е

В связи с освоением когерентного излучения оптического диапазона и развитием интегральной оптики большое внимание уделяется созданию оптических микроволноводов, обладающих относительно низкими потерями и работающих в одномодовом режиме [1-5].

Волноводы, выполненные в виде диэлектрической пленки, нанесенной на подложку методами вакуумного напыления, обладают сравнительно большим затуханием порядка 1 см^{-1} , что связано с потерями за счет рассеяния на кристаллитах пленки [2]. Получение монокристаллических пленок является сложной технологической проблемой. Наилучшие результаты были достигнуты с аморфными пленками (из стекла и окислов металлов). Однако изготовление таких пленок требует сложных напылительных установок.

В последнее время появились сведения [4, 5] о пленочных волноводах с относительно малыми потерями; несущий слой в них представляет аморфную пленку из органических материалов, однако конкретные результаты исследования не приводятся.

В настоящей работе проведены исследования оптических микроволноводов в виде желатиновой пленки на стеклянной подложке.

И з г о т о в л е н и е п л е н о ч н ы х в о л н о в о д о в и з ж е л а т и н ы

Для изготовления волноводов применялась фотографическая желатина. Предварительно был определен показатель преломления желатины на рабочей длине волны ($\lambda=0.63 \text{ мкм}$) путем измерения угла полного внутреннего отражения на границе желатина—стекло ТФ-5 с показателем преломления $n_4=1.755$. Измеренный показатель преломления желатины $n_2=1.54 \pm 0.005$.

На основе теории плоских несимметричных диэлектрических волноводов [1] были построены дисперсионные кривые для случая желатиновой пленки на стеклянной подложке ($n_3=1.51$), представляющие зависимость замедления γ от отношения h/λ (h — толщина пленки) для трех низших типов волн (рис. 1). В случае возбуждения волновода линейно поляризованным излучением, исключаяющим E -волны, одномодовый режим, как видно из рис. 1, возможен при значениях h/λ , лежащих в пределах от 0.8 до 2.7, что при $\lambda=0.63 \text{ мкм}$ соответствует толщинам пленки от 0.5 до 2 мкм.

Была разработана достаточно простая технология изготовления желатиновых волноводов. Промытая и высушенная стеклянная пластинка

погружается в раствор фотографической желатины в дистиллированной воде. Затем пластинку вынимают и медленно высушивают в вертикальном положении так, чтобы излишки раствора стекали. Во время высушивания следует оберегать пластинку от пылинок. При 7%-м растворе желатины полученная таким способом пленка имеет толщину ~ 3 мкм. Изменяя концентрацию раствора или повторяя процесс нанесения многократно, можно получить пленки толщиной от 1 до 20 мкм.

Оценка толщины пленок была проведена методом взвешивания. Более точное значение h определялось посредством измерения замедления в волноводе γ , по которому с помощью дисперсионных кривых вычислялось h . Как показали многочисленные измерения, изменение средней толщины пленки от образца к образцу при одинаковой концентрации раствора было незначительным.

Исследование плоского желатинового волновода

Волноводы, изготовленные указанным выше способом, возбуждали описанным в [3] методом с помощью замедляющей среды через закритический слой (слой с нарушенным полным внутренним отражением). С целью повышения эффективности ввода энергии в волновод воздушный ($n_1=1$) закритический слой был сделан переменным по толщине (рис. 3). Возбуждение осуществлялось сфокусированным на пленку излучением He—Ne лазера ($\lambda=0.63$ мкм) через 60-градусную призму из стекла ТФ-5 ($n_4=1.755$). Из теории [3] известно, что возбуждение носит резонансный характер и наиболее интенсивно происходит при определенных резонансных углах падения излучения на пленку $i=\arcsin(\gamma/n_4)$, где γ — замедление различных волноводных мод, n_4 — показатель преломления замедляющей среды (призмы), из которой падает излучение. Исследуемые волноводы возбуждались только на одной основной H -моды, что обеспечивалось малой толщиной несущего слоя и поляризацией падающего излучения, исключающей возбуждение E -моды.

Определение замедления сводилось к измерению угла между падающим и отраженным от передней грани призмы лучами, при которых имело место наиболее интенсивное (резонансное) возбуждение волны в волноводе. Затем из геометрии устройства вычислялся соответствующий угол i и находилось замедление $\gamma=n_4 \sin i$. Измеренное таким образом замедление одного из волноводов было равно 1.53, что соответствовало толщине пленки 1,26 мкм. В результате многократных измерений замедления для различных образцов волноводов при возбуждении их на разных участках пленки было обнаружено, что толщина пленки несколько изменялась по длине пластинки, что связано с технологией изготовления. На пластинке длиной 10 см изменения толщины имели порядок 0.5 мкм.

Визуально наблюдаемая длина плоских волноводов, которую можно было определить по видимому рассеянному излучению с неоднородностей пленки, составляла величину порядка 10 см.

Измерение затухания в волноводах проводилось путем сравнения прошедших через волновод мощностей при разных расстояниях между возбуждающим и излучающим устройством. Последнее идентично возбуждающему устройству. Схема измерения потерь представлена на рис. 2. Сравнивались мощности выходного излучения волноводов длиной 20 и

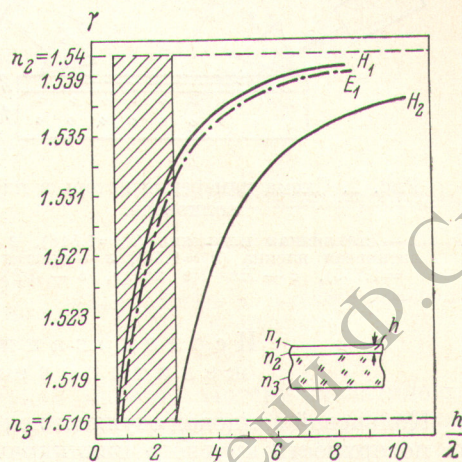


Рис. 1. Дисперсионные кривые для желатиновых волноводов на стеклянной подложке.

Заштрихована зона одномодового режима работы при возбуждении H -мод. $n_1=1$, $n_2=1.54$, $n_3=1.516$.

62 мм. Вычисленная на этой основе постоянная затухания α для волновода толщиной 1.26 мкм и замедлением $\gamma=1.53$ составляла $0.5 \pm 0.05 \text{ см}^{-1}$. Указанная ошибка связана в основном с изменением эффективности волновода при перемещении излучающего устройства, что следует из разброса результатов при многократно проведенных измерениях.

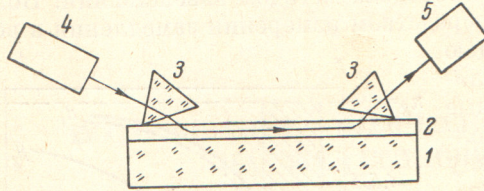


Рис. 2. Схема измерения потерь в плоском волноводе.

1 — стеклянная подложка ($n_3=1.516$), 2 — желатиновая пленка ($n_2=1.54$), 3 — призма ($n_4=1.755$), 4 — He-Ne лазер, 5 — ФЭУ-51.

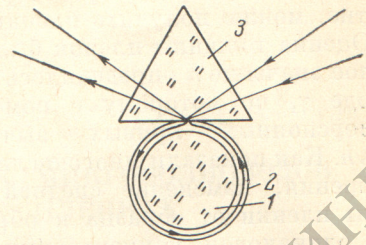


Рис. 3. Возбуждение кольцевого волновода.

1 — стеклянный стержень ($n_3=1.516$), 2 — желатиновая пленка ($n_2=1.54$), 3 — призма ($n_4=1.755$).

Исследование кольцевого желатинового волновода

Кольцевой волновод осуществлен путем нанесения желатиновой пленки на поверхность круглого цилиндрического стеклянного стержня. Возбуждение осуществлялось с помощью призмы, как показано на рис. 3. Возбужденная волноводная волна распространялась по кольцу и частично излучалась через ту же призму. Степень связи волновода с призмой можно было регулировать изменением участка связи посредством изменения давления призмы на стержень с пленкой.

Излучение непосредственно от кольцевого волновода наблюдать затруднительно, так как оно совпадает с зеркально отраженным лучом возбуждающего излучения. Для наблюдения этого излучения образующая цилиндрического стержня была наклонена под некоторым углом β относительно ребер призмы. В таком случае волноводная волна распространяется по винтовой линии с шагом, определяемым углом β , и излучение происходит с каждого витка этой линии в точках ее контакта с призмой, как это видно из фотографии рис. 4. Визуально наблюдаемая длина свечения винтовой линии для волновода толщиной 1.3 мкм на стержне диаметром 7.5 мм составляла 20 см.



Рис. 4. Фотография излучения с кольцевого волновода на стержне. а — отраженное излучение, б, в, г — излучение с первого, второго и третьего витков волновода.

Измерение потерь было проведено методом сравнения мощностей, излученных с первого и со второго витков волновода. Измеренная постоянная затухания составляла 0.2 см^{-1} . Следует отметить, что точность измерения потерь для кольцевого волновода существенно выше, чем для плоского в силу того, что при достаточно малом шаге винтовой линии эффективность вывода излучения в кольцевом волноводе была практически одинакова для обоих сравниваемых лучей.

Потери в кольцевом волноводе представляют сумму тепловых потерь, потерь на рассеяние и потерь на излучение, обусловленных кривизной волновода, которые тем больше, чем меньше радиус кривизны и меньше разность показателей преломления Δn несущего слоя и подложки. Количественная оценка, проведенная авторами работы [6], показала, что для

радиусов кривизны, превышающих 0.5 мм, при $\Delta n \sim 0.1$ потери, вызванные кривизной поверхности, пренебрежимо малы. Поэтому измеренная постоянная затухания практически обусловлена тепловыми потерями и рассеянием в несущем слое и на неровностях поверхности подложки. Различие измеренных затуханий для плоского и кольцевого волноводов можно объяснить, по-видимому, более высоким качеством поверхности стержня по сравнению с поверхностью стекла от фотопластинок, которые служили подложками для плоских волноводов.

Была осуществлена система, в которой кольцевой волновод связан с плоским волноводом путем оптического контакта между ними (рис. 5). При этом наблюдался переход части излучения, проходящего по кольцевому волноводу, в плоский волновод.

З а к л ю ч е н и е

Исследованные желатиновые волноводы обладают относительно малыми потерями и отличаются простотой изготовления. Эти волноводы могут найти применение в устройствах интегральной оптики. Потери желатиновых волноводов можно, по-видимому, еще более снизить за счет усовершенствования технологии изготовления, в частности, путем удаления из желатины минеральных веществ, на которых происходит дополнительное рассеяние. Улучшение качества поверхности подложки также позволит уменьшить потери.

С помощью техники фотолитографии возможно создание не только пленочных, но и полосковых желатиновых микроволноводов и построение на их основе микроволноводных оптических схем на единой подложке.

Следует отметить, что другие органические материалы также могут оказаться эффективными для изготовления пленочных волноводов. Предварительные исследования полистироловых волноводов показали, что потери в них, примерно, на порядок ниже, чем в желатиновых. Однако, по-видимому, технология изготовления желатиновых волноводов наиболее проста.

Л и т е р а т у р а

- [1] Л. Н. Дерюгин, А. Н. Марчук, В. Е. Сотин. Изв. вузов СССР, радиоэлектроника, 10, № 2, 134, 1967.
- [2] Л. Н. Дерюгин, А. Н. Марчук, В. Е. Сотин. Сб. «Советские по теории и применению диэлектрических волноводов в технике СВЧ и оптических диапазонов», 11, М., 1968.
- [3] Л. Н. Дерюгин, А. Н. Марчук, В. Е. Сотин. Изв. вузов СССР, радиоэлектроника, 13, № 3, 309, 1970.
- [4] P. K. Tien, R. Ulrich. J. Opt. Soc. Am., 60, № 10, 1325, 1970.
- [5] D. V. Ostrowsky, A. Jacques. Appl. Phys. Lett., 18, № 12, 556, 1971.
- [6] H. P. Weber, R. Ulrich. Appl. Phys. Lett., 19, № 2, 38, 1971.

Поступило в Редакцию 21 февраля 1972 г.

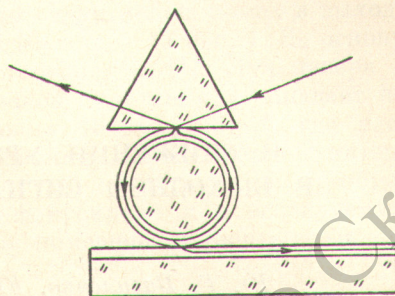


Рис. 5. Связь кольцевого волновода с плоским.