

МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ОДНОМОДОВЫХ СЛАБОНАПРАВЛЯЮЩИХ ПЛЕНОЧНЫХ ОПТИЧЕСКИХ ВОЛНОВОДОВ

П.В. Адамсон

Будущее интегрально-оптических волноводных процессоров и терминалов волоконно-оптических линий неразрывно связано с применением одномодовых планарных волноводов. Поэтому разработка новых эффективных методов определения параметров таких волноводов представляет собой важную техническую задачу, тем более что в настоящее время не существует удовлетворительных методов для этой цели. Предложенная в [1] возможность одновременного определения показателя преломления и толщины волноводной пленки посредством изменения показателя преломления граничной среды применяемая только для волноводов без покровного слоя. Методы, основанные на варьировании длины волны света [2], требуют знания дисперсии определяемого показателя преломления. Самый простой и удобный способ с помощью измерения фазовых показателей преломления основных мод с разными поляризациями и последующего вычисления толщины и показателя преломления волноводной пленки из дисперсионных уравнений ТЕ- и ТМ-мод [3] не применим в случае слабонаправляющих волноводов.

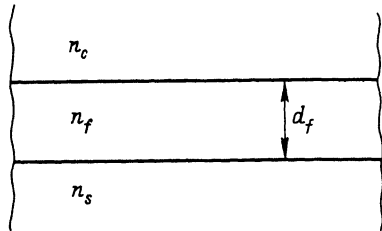
В данном сообщении предлагается новая возможность определения параметров слабонаправляющих одномодовых волноводов, которая также основывается на измерении двух параметров ортогонально поляризованных мод. Одним из них является фазовый показатель преломления основной моды с ТЕ поляризацией n^{TE} , определяемый призмными методами [4, 5] и связанный с параметрами волновода через дисперсионное уравнение ТЕ-моды

$$\frac{2\pi}{\lambda_0^{TE}} \left[n_f^2 - (n^{TE})^2 \right]^{1/2} d_f = \arctg \left[\frac{(n^{TE})^2 - n_s^2}{n_f^2 - (n^{TE})^2} \right]^{1/2} + \arctg \left[\frac{(n^{TE})^2 - n_c^2}{n_f^2 - (n^{TE})^2} \right]^{1/2} \quad (1)$$

В формуле (1) λ_0^{TE} — вакуумная длина волны ТЕ-моды, d_f — толщина волновода, n_s , n_f и n_c показатели преломления подложки, волноведущей пленки и покровного слоя соответственно (см. рисунок).

В качестве второго измеряемого параметра используют спектральную расстройку ТЕ- и ТМ-мод в резонаторе Фабри-Перо на основе исследуемого волновода. Физический смысл этой величины заключается в следующем. В резонаторе Фабри-Перо длины волн ТЕ- и ТМ-мод с одинаковыми индексами продольного резонанса q совпадают ($\lambda_q^{TE} = \lambda_q^{TM}$). Как известно, в планарных волноводах имеет место модовое двулучепреломление — фазовые показатели преломления ТЕ- и ТМ-мод при одной и той же частоте (вакуумной длине волны)

Поперечный разрез волноводной структуры.



различаются, т.е. $n^{TE}(\lambda_0) \neq n^{TM}(\lambda_0)$. Поскольку $\lambda = \lambda_0 n^{-1}$, то из равенства $\lambda_0^{TE} = \lambda_0^{TM}$ получим, что

$$\lambda_0^{TE} - \lambda_0^{TM} \approx \lambda_0^{TE} \left(\frac{n^{TE} - n^{TM}}{n^{TE}} \right), \quad (2)$$

где λ_0^{TM} — вакуумная длина волны ТМ-моды, n^{TM} — фазовый показатель преломления основной моды с ТМ-поляризацией. Величина $\lambda_0^{TE} - \lambda_0^{TM}$ и представляет собой спектральную расстройку ортогонально поляризованных мод в волноводном резонаторе Фабри-Перо.

Если изменение показателя преломления в поперечном сечении волновода мало ($(n_f - n_s, c)n_f^{-1} \ll 1$), то из дисперсионных уравнений ТЕ- и ТМ-мод методом возмущений [6] получим для величины $(n^{TE} - n^{TM})(n^{TE})^{-1}$ следующее приближенное выражение:

$$\frac{n^{TE} - n^{TM}}{n^{TE}} = \left(\frac{n_f^2 - (n^{TE})^2}{n_f^4} \right) \left(\frac{[(n^{TE})^2 - n_s^2] + [(n^{TE})^2 - n_c^2]^{1/2}}{\frac{2\pi}{\lambda_0^{TE}} d_f^2 + [(n^{TE})^2 - n_s^2]^{-1/2} + [(n^{TE})^2 - n_c^2]^{-1/2}} \right). \quad (3)$$

Его относительная ошибка порядка относительного скачка показателей преломления на границах волноводной пленки. Таким образом, спектральная расстройка ТЕ- и ТМ-мод слабонаправляющих волноводов ($(n_f - n_s, c)n_f^{-1} < 0.1$) достаточно точно аппроксимируется выражением (3). Это и дает возможность в процесс определения параметров волноводных пленок включить спектральные измерения, точность которых в настоящее время весьма высокая. У дифракционных монохроматоров, например, разрешающая способность достигает 0.01 \AA [7]. В волноводе с показателями преломления $n_s = n_c = 1.46$, $n_f = 1.5$ и толщиной $d_f = 0.23 \text{ мкм}$ при $\lambda_0^{TE} = \lambda_0^{TM} = 0.63 \text{ мкм}$ спектральная расстройка основных мод $\lambda_0^{TE} - \lambda_0^{TM} = 1.8 \text{ \AA}$.

Итак, если показатели преломления подложки и покровного слоя известны, то, объединяя уравнения (1) и (2) с учетом (3) в одну систему, получим для двух неизвестных n_f и d_f два уравнения. Эти уравнения имеют принципиально различный вид, поэтому при их решении на ЭВМ не возникает существенной потери точности. Именно из-за таких потерь неприменим метод [3] в случае слабонаправляющих волноводов, поскольку дисперсионные уравнения ТЕ- и ТМ-мод таких волноводов различаются слабо.

Измерение спектральной расстройки можно осуществить следующим образом. Используя традиционные элементы связи [1], с по-

мощью перестраиваемого лазера (должен иметь и весьма узкую спектральную линию) возбуждают в резонаторе Фабри-Перо на основе измеряемого волновода ортогонально поляризованные моды. Сначала лазер настраивают на продольный резонанс (интерференционный максимум) резонатора, например для ТЕ-поляризованного излучения. Пропуская выходящий из резонатора световой пучок через поляризатор и монохроматор, определяют его вакуумную длину волны λ_0^{TE} . Затем поляризатор перед монохроматором ставят в положение, где он пропускает только ТМ-поляризованное излучение и с перестраиванием лазера находят самую близкую λ_0^{TE} резонансную длину волны λ_0^{TM} .

Однако полученные таким образом резонансные длины волн λ_0^{TE} и λ_0^{TM} соответствуют одному и тому же продольному резонансу лишь тогда, когда спектральная расстройка волноводных мод меньше спектрального расстояния между соседними резонансами с индексами q и $q \pm 1$. Поэтому для исключения ошибки необходимо работать максимально короткими резонаторами или сделать измерения при разных длинах резонатора. Спектральное расстояние между соседними продольными резонансами $\Delta\lambda_0$ обратно пропорциональное длине резонатора.

$$\Delta\lambda_0 = \lambda_0^2 (2n^*L)^{-1}, \quad (4)$$

где L — длина резонатора и n^* — групповой показатель преломления ТЕ- или ТМ-моды. В то же время спектральная расстройка ортогонально поляризованных мод не зависит от длины резонатора (определяется лишь волноводными свойствами структуры). Если спектральная расстройка ортогональных мод больше чем $\Delta\lambda_0$, то возможная ошибка при измерении величины $\lambda_0^{TE} - \lambda_0^{TM}$ из-за неправильного определения λ_0^{TM} равна $N\Delta\lambda_0$, где $N = 1, 2, 3, \dots$. Следовательно, такая ошибка всегда большая величина, что приводит к сильно различающимся от истинных значениям для n_f и d_f . Это обстоятельство можно также использовать для исключения ошибок.

Заметим, что предложенный метод применим и для определения толщины или показателя преломления активного слоя полупроводникового гетеролазера, измеряя величины λ_0^{TE} и λ_0^{TM} прямо из спектра генерации или спонтанного спектра.

Л и т е р а т у р а

- [1] Интегральная оптика. М.: Мир, 1978. 344 с.
- [2] B r a n d t G.B. — Appl. Opt., 1975, v. 14, N 4, p. 946-949.
- [3] T o r g e R. — Optik, 1974, v. 41, N 2, p. 212-215.
- [4] U l r i c h R., T o r g e R. — Appl. Opt., 1973, v. 12, N 12, p. 2901-2908.
- [5] W e i J.S., W e s t w o o d W.D. — Appl. Phys. Lett., 1978, v. 32, N 12, p. 819-821.

[6] Федосеев В.Г., Адамсон П.В. — Квантовая электроника, 1982, т. 9, № 5, с. 993–1005.

[7] Малышев В.И. Введение в экспериментальную спектроскопию. М.: Наука, 1979. 480 с.

Поступило в Редакцию
22 августа 1988 г.

Письма в ЖТФ, том 14, вып. 23

12 декабря 1988 г.

О ВОЗМОЖНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ЧАСТОТЫ ИЗЛУЧЕНИЯ ВНЕШНИМ СИГНАЛОМ В СВЧ-ТРИОДЕ С ВИРТУАЛЬНЫМ КАТОДОМ

В.П. Григорьев, А.Г. Жерлицын,
Т.В. Коваль, С.И. Кузнецов,
Г.В. Мельников

Известно, что генерация электромагнитных колебаний в триоде с виртуальным катодом (ВК) обусловлена нелинейностью колебаний, совершаемых электронами в потенциальной яме, и происходит на частоте, равной частоте осциллирующих электронов [1, 2]. Эта нелинейность, связанная как с релятивизмом, так и с сильноточностью, приводит к зависимости частоты осциллирующих частиц от энергетических характеристик такого движения. Поэтому изменение частоты излучения в триоде с ВК можно осуществить, изменяя амплитуду колебаний или относительную массу электронов путем воздействия на них внешним электромагнитным полем. Наиболее эффективный вклад внешнего поля в изменение движения осциллятора будет в области ВК, где кинетическая энергия электронов близка к нулю. В этой области достаточно невысокой напряженности внешнего поля по сравнению с ускоряющим полем, чтобы заметно изменить амплитуду колебаний электронов и частоту излучения. В настоящей работе приводятся первые результаты исследования возможности изменения частоты излучения в триоде с ВК под действием внешнего сигнала.

Экспериментальные исследования перестройки частоты излучения $f_{изл}$ в триоде с виртуальным катодом под действием внешнего ВЧ-поля проведены на установке, схема которой приведена на рис. 1. СВЧ-триод с ВК представляет собой металлическую камеру диаметром 35 см, длиной 40 см, в которой расположены катод диаметром 10 см и анод-сетка диаметром 20 см. Анод-катодный промежуток равен 1.4 см, геометрическая прозрачность сетки $T = 0.7$. Эксперименты проводились при напряжении в катод-анодном промежутке 200 кВ, длительность импульса напряжения ~ 1 мкс. Для создания внешнего высокочастотного поля в области электронного потока использовался импульсный магнетронный генератор