

07

## Поляризационные свойства четырёхслойного диэлектрического волновода

© М.М. Векшин, В.А. Никитин, Н.А. Яковенко

Кубанский государственный университет

Поступило в Редакцию 11 сентября 1997 г.

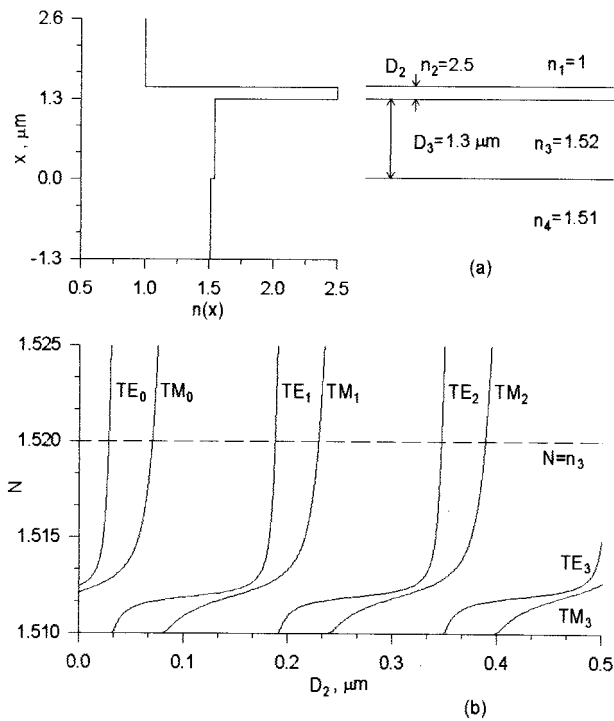
Рассматривается новая схема интегрально-оптического поляризатора; проведены расчеты и выполнены эксперименты, показывающие работоспособность устройства.

В состав интегрально-оптических систем сброса и обработки информации входят поляризаторы оптического излучения, используемые для выделения одной из ортогонально-поляризованных волноводных мод, например для подавления нежелательной деполяризации излучения с целью достижения высокого амплитудного контраста в элементах интерференционного типа. Аналогичные функции выполняет поляризатор, как часть интегрально-оптической схемы, входящей в состав волоконно-оптического гироскопа.

Известные поляризаторы используют следующие эффекты для поляризационной селекции:

- 1) различный уровень поглощения ТЕ- и ТМ-мод в многослойных волноводах с металлическим или полупроводниковым верхним слоем [1–4];
- 2) анизотропия волноводных слоев (например, в виде специально подобранного кристалла, прижимаемого к поверхности волновода) для разделения полей ТЕ- и ТМ-мод по причине существенного двуупреломления всей волноведущей структуры [5,6];
- 3) эффект резонансной связи мод в направленных ответвителях, реализуемый для одной из поляризационных компонент [7,8].

К недостаткам поляризаторов первого типа следует отнести принципиальную трудность выделения ТМ-мод с малыми потерями. Громоздкая структура устройств второго типа очевидна. Принцип селекции устройств третьего типа требует использования асимметричных



**Рис. 1.** Четырехслойная волноводная структура и ее распределение показателя преломления;  $n_i$  ( $i = 1, \dots, 4$ ) — показатели преломления слоев при длине волны  $\lambda = 0.63 \mu\text{m}$ ,  $D_2$  и  $D_3$  — толщины внутренних слоев (а). Зависимость эффективного показателя преломления  $N$  от толщины верхнего слоя  $D_2$  (б).

направленных ответвителей с высокоточной технологией изготовления. Поэтому задача разработки простого, эффективного и универсального ТЕ/ТМ-поляризатора актуальна.

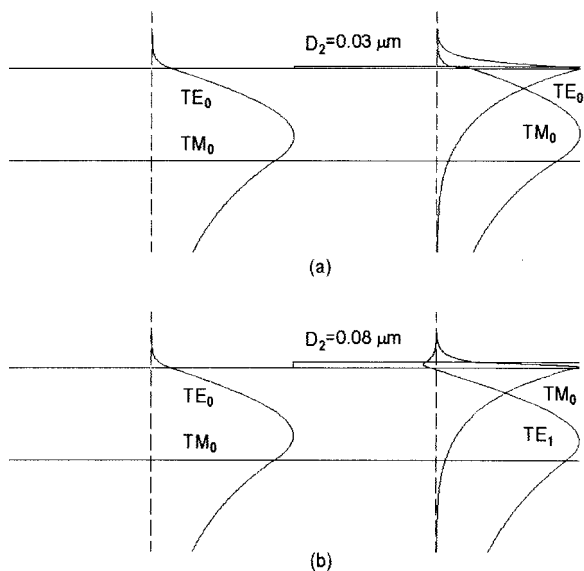
Нами предлагается вариант интегрально-оптического поляризатора на основе четырехслойного диэлектрического волновода, позволяющий в зависимости от конструктивного исполнения выделять как  $TE_0$ -, так и  $TM_0$ -моды. Принцип поляризационной селекции основан на явлении модового двупреломления диэлектрического волновода со специально

подобранными параметрами, приводящими к сильному разнесению в пространстве полей ортогонально поляризованных мод.

Рассмотрим четырехслойный волновод с большим различием значений показателей преломления внутренних слоев (рис. 1, *a*). На практике подобная структура может быть реализована с использованием ионообменного волновода в стекле с нанесенным верхним слоем сульфида мышьяка ( $As_2S_3$ ) заданной толщины. Для модового анализа необходимо определить константы распространения  $\beta$ , соответствующие условиям поперечного фазового резонанса, и затем построить распределения полей мод в поперечном сечении волновода. Из проведенного анализа для данной структуры следует, что существуют два режима распространения. Направленные волны могут распространяться как в верхнем слое, экспоненциально затухая в остальных областях, так и одновременно в обоих слоях, затухая в окружающих полупространствах. С позиций геометрической оптики это означает, что в первом случае световая волна распространяется по зигзагообразному пути в верхнем слое, испытывая полное внутреннее отражение на его границах; во втором случае полное внутреннее отражение происходит на внешних границах внутренних слоев волновода.

На рис. 1, *b* приведена расчетная зависимость эффективного показателя преломления  $N$  от толщины верхнего слоя  $D_2$  ( $N = \beta/k_0$ ,  $k_0 = 2\pi/\lambda$ ) в области вблизи отсечки. При  $n_3 < N < n_2$  график не отличается от аналогичного для трехслойного волновода, состоящего из пленки  $As_2S_3$  на стеклянной подложке. Условие  $N = n_3$  обозначает границу обоих режимов распространения. В области значений толщины  $D_2$  вблизи условий отсечки существует достаточно большое различие эффективных показателей преломления ТЕ- и ТМ-мод наивысшего порядка ( $\sim 0.002$ ). Рассчитав значения константы распространения  $\beta$ , можно построить поля ТЕ- и ТМ-мод (рис. 2) для рассматриваемого волновода при оптимальных значениях толщины пленки  $D_2$ , а также при  $D_2 = 0$ .

В целом вся структура соответствует составному волноводу, состоящему из слабонаправляющего волновода в стекле с локально нанесенной на его поверхность высокопреломляющей пленкой. Поля ТЕ<sub>0</sub>- и ТМ<sub>0</sub>-мод базового ионообменного волновода практически идентичны. При специально подобранных значениях толщины пленки  $D_2$  в четырехслойном волноводу распределения полей разных мод существенно различны, что и дает возможность создать эффективное



**Рис. 2.** Интегрально-оптический ТМ-поляризатор (а) и ТЕ-поляризатор (б).

и простое поляризационное устройство для выделения либо  $TE_0$ -, либо  $TM_0$ -моды. Следует отметить, что по мере увеличения толщины пленки для мод более высоких порядков избирательно проявляется аналогичное различие в распределении полей. Более того, уровень локализации поля в верхнем слое для мод вблизи отсечки с увеличением индекса моды возрастает незначительно, что позволяет создавать поляризаторы с малым уровнем вносимых потерь, используя разные интервалы толщин пленки.

Был проведен эксперимент, на практике подтвердивший работоспособность предлагаемого способа поляризационной селекции. В подложке оптического стекла были одновременно сформированы 10 одномодовых канальных волноводов путем  $K^+$ -ионного обмена. На поверхность подложки клином поперек волноводов напылялась пленка  $A_2S_3$ , так что при прочих примерно равных обстоятельствах варьировалась лишь толщина пленки. Экспериментальное исследование поляризационных характеристик показало, что по мере роста толщины пленки отдельные

волноводы имеют ТМ- и ТЕ-селективные свойства, которые разделяются между собой волноводами, поляризационной чувствительностью не обладающими. Была проведена серия подобных измерений с разной крутизной клина и закономерность повторялась. Некоторые волноводы обладали коэффициентом развязки между модами (определяемому по отношению интенсивностей сигналов ортогональных поляризаций) более 30 dB при уровне потерь для выделяемой поляризации менее 1 dB. Напыляя однородную пленку определенной толщины, мы получали линейки ТЕ- и ТМ-поляризаторов.

Таким образом, нами предложен способ поляризационной фильтрации излучения, использующий модовое двупреломление вблизи отсечки четырехслойного диэлектрического волновода со специально подобранным профилем показателя преломления и на практике были изготовлены и исследованы эффективные интегрально-оптические ТМ- и ТЕ-поляризаторы.

## Список литературы

- [1] Kaminow I.P., Mammel W.L., Weber H.P. // *Appl. Opt.* 1974. V. 13. N 2. P. 396–405.
- [2] Sletten M.A., Seshadri R.S. // *J. Appl. Phys.* 1990. V. 70. N 2. P. 574–579.
- [3] Carson R.F., Batchman T.E. // *Appl. Opt.* 1990. V. 29. N 16. P. 2769–2780.
- [4] Veasey D., Larson D. // *J. Lightwave Technol.* 1995. V. 13. N 11. P. 2244–2249.
- [5] Findakly T., Chen B.U., Booher D. // *Opt. Lett.* 1983. V. 8. N 12. P. 641–643.
- [6] Hempelmann U. et al. // *J. Lightwave Technol.* 1995. V. 13. N 8. P. 1750–1759.
- [7] Thyagarajan K. et al. // *J. Lightwave Technol.* 1991. V. 9. N 3. P. 315–317.
- [8] Vallee R., He G. // *J. Lightwave Technol.* 1993. V. 11. N 7. P. 1196–1203.