

06.3

© 1991

ЭФФЕКТИВНЫЙ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИЙ
ПОЛЯРИЗАТОР, ПРОПУСКАЮЩИЙ ТМ-ВОЛНУА.Ю. Агапов, А.П. Горобец,
П.М. Житков, В.М. Шевцов

Планарные оптические поляризационные фильтры являются важными элементами интегрально-оптических схем [1]. Наиболее эффективным из известных планарных поляризационных фильтров является четырехслойный волновод с буферным слоем на металлической подложке [2]. Такой фильтр пропускает волны ТЕ поляризации и поглощает ТМ волны. В данной работе показано, что на основе подобной структуры можно создать эффективный поляризатор, пропускающий ТМ₀ волну и поглощающий ТЕ волны. Для этого в качестве буферного слоя предлагается использовать многослойную диэлектрическую среду, состоящую из периодически чередующихся изотропных пленок с достаточно сильно различающимися показателями преломления, обладающую оптической анизотропией отрицательного одноосного кристалла [3, 4].

Рассмотрим волноводную систему, показанную на рис. 1. Она содержит поглощающую подложку с комплексным показателем преломления $N = n - j - k$, буферный слой общей толщиной d , состоящий из периодически чередующихся изотропных диэлектрических пленок с показателями преломления n_1 и n_2 и толщинами t_1 и t_2 соответственно, причем $(t_1 + t_2) \ll \lambda_0$, а также изотропный волноводный слой толщиной h с показателем преломления n_3 , граничащий со средой с показателем преломления n_4 (обычно воздух). Показатели преломления n_o для обыкновенной (ТЕ поляризация) и n_e для необыкновенной (ТМ поляризация) волн в слое буферного слоя можно вычислить по формулам [3, 4]:

$$n_o = n_1(1 + \delta\gamma^2)^{1/2}(1 + \delta)^{-1/2}, \quad n_e = n_2(1 + \delta)^{1/2}(\gamma^2 + \delta)^{-1/2},$$

где $\delta = t_2/t_1$, $\gamma = n_2/n_1$. Для эффективной работы рассматриваемой системы в качестве поляризатора, пропускающего ТМ волну, необходимо, чтобы показатель преломления буферного слоя для волн ТЕ поляризации n_o был больше показателя преломления волноводного слоя n_3 , а для волн ТМ поляризации должно выполняться обратное соотношение. Расчет n_o и n_e производился для значений $n_1 = 2.1$ (Ta_2O_5), $n_2 = 1.46$ (SiO_2), $\delta = 2$. Затем путем численного решения дисперсионного уравнения четырехслойного волновода [2] с учетом анизотропии буферного слоя бы-

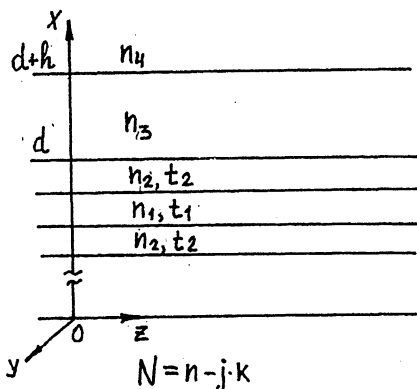


Рис. 1. Многослойный волноводный поляризатор с анизотропным буферным слоем на поглощающей подложке.

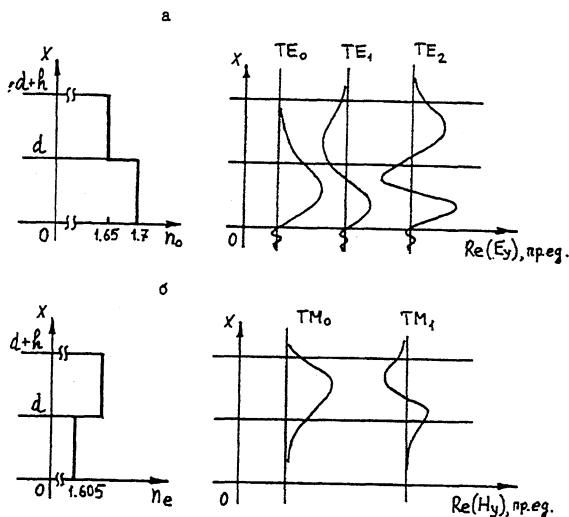


Рис. 2. Профили показателей преломления и эпюры напряженностей полей волноводных мод многослойного поляризатора: а - TE моды, б - TM моды.

ли определены коэффициенты затухания нескольких низших волноводных мод в системе. При расчете использовались следующие значения параметров волновода: $N = 4.18 - j \cdot 1.0$ (аморфный Si), $n_0 = 1.7$, $n_e = 1.605$, $d = 1100$ нм, $n_3 = 1.65$ (Al_2O_3), $h = 1500$ нм, $n_4 = 1.0$, $\lambda_0 = 633$ нм. Расчетные значения коэффициентов затухания мод составили: для моды TM_0 - 1.6 дБ/см,

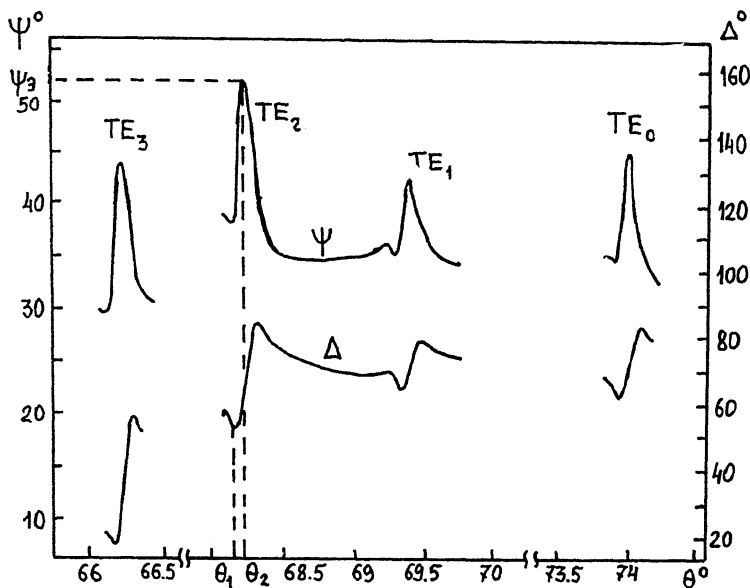


Рис. 3. Экспериментальные зависимости эллипсометрических параметров ψ и Δ от угла падения излучения θ на систему: призма из стекла ТФ-5 – пленка аморфного Si – многослойный буферный слой (Ta_2O_5 / SiO_2) – волноводный слой Al_2O_3 – воздух.

для моды TM_1 – 80 дБ/см, для моды TE_0 – 472 дБ/см, для моды TE_1 – 792 дБ/см, для моды TE_2 – 818 дБ/см, для моды TE_3 – 973 дБ/см. На рис. 2 приведены графики распределения показателей преломления в поперечном сечении волновода и профили действительных частей E_y и H_y -компонент поля волноводных мод TE и TM поляризации соответственно. Как видно из рисунка, для моды TM_0 максимум напряженности поля находится в волноводном слое, доля мощности, переносимая модой в поглощающей подложке мала и коэффициент затухания, как видно из расчетов, невелик. Для моды TE_0 максимум поля находится в буферном слое, доля мощности, поглощаемая в подложке, существенно больше, чем в случае моды TM_0 , поэтому мода TE_0 обладает большим коэффициентом затухания. Аналогичные рассуждения справедливы и для мод высших порядков.

Предложенная система была экспериментально реализована следующим образом. На основание полуглиндрической призмы из стекла ТФ-5 методом магнетронного ВЧ-распыления была нанесена пленка из аморфного Si толщиной 37 нм, выполняющая одновременно роли поглощающей подложки и слоя связи призмы с вол-

новодной системой. Буферный слой общей толщиной $d = 1080$ нм, состоящий из 26 чередующихся пленок Ta_2O_5 толщиной $t_1 = 13.8$ нм и пленок SiO_2 толщиной $t_2 = 27.7$ нм, а также волноводный слой из Al_2O_3 толщиной 1510 нм наносились методом реактивного катионного ВЧ-распыления. Измерение оптических потерь в полученной волноводной системе проводилось на длине волны $\lambda_0 = 633$ нм. Коэффициент затухания моды TM_0 определялся фотометрированием трека и составил величину ~ 3 дБ/см. Коэффициенты затухания мод TE поляризации определялись эллипсометрическим методом [5]. Для определения коэффициента потерь этой моды необходимо измерить угол падения излучения на систему θ_2 (рис. 3), при котором зависимость $\psi(\theta)$ имеет максимум, значение этой функции в точке максимума $\psi_3 = \psi(\theta_2)$ и величину угла θ_1 , при котором $\Delta(\theta)$ минимальна. Коэффициент затухания моды при этом определяется по формуле [5]:

$$\alpha = \pi \cdot \lambda_0^{-1} \cdot n_p (\sin \theta_2 - \sin \theta_1) (1 + \operatorname{tg} \psi_3) \operatorname{tg}^{-1/2} \psi_3, \quad (1)$$

где n_p — показатель преломления призмы. На рис. 3 приведены экспериментальные зависимости $\psi(\theta)$ и $\Delta(\theta)$ для исследуемой системы, полученные на эллипсометре ЛЭФ-3М. Коэффициент затухания моды TE_0 определенный по формуле (1) с использованием этих зависимостей, составил величину ~ 310 дБ/см, моды TE_1 — 390 дБ/см, моды TE_2 — 490 дБ/см, моды TE_3 — 700 дБ/см.

Таким образом, в работе предложена и экспериментально исследована тонкопленочная система, которая может служить эффективным планарным оптическим поляризатором, пропускающим TM волну.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Ш е р е м е т ь е в А.Г. Волоконный оптический гироскоп. М.: Радио и связь, 1987. 152 с.
- [2] Y a m a m o t o Y., K a m i y a T., Y a n a i H. // IEEE J. Quant. Electron. 1975. V. 11. N 6. P. 729-736.
- [3] Б о р н М., В о л ь ф Э. Основы оптики. М.: Наука, 1973. 720 с.
- [4] С о т и н В.Е., Ш е в ц о в В.М. // Письма в ЖТФ. 1984. Т. 10. В. 8. С. 475-479.
- [5] Ж и т к о в П.М., С м а л ь 'А.С. // Письма в ЖТФ. 1990. Т. 16. В. 20. С. 15-20.

Поступило в Редакцию
27 июня 1991 г.