

ческих постоянных ($\varepsilon_1 = 2000$, $\varepsilon_3 = 300$), и полагая $g_i \sim \varepsilon^3/9$ [6], для $\rho = 5$ г/см³, $s = 4 \cdot 10^5$ см/с, $\Omega = 2 \cdot 10^8$ с⁻¹, $P = (c/4\pi) E_0^2 = 10^{-2}$ МВт/см², $\omega_1 \approx 10^{12}$ с⁻¹ получаем для полуширины импульса $l_y \sim 1$ см. Таким образом, рассмотренный эффект доступен экспериментальному наблюдению.

Список литературы

- [1] Сухоруков А.П. Нелинейные волновые взаимодействия в оптике и радиофизике. М.: Наука, 1988. 232 с.
- [2] Захаров В.Е., Манакос С.В., Новиков С.П., Питаевский Л.П. Теория солитонов. Метод обратной задачи / Под ред. С.П.Новикова. М.: Наука, 1980. 320 с.
- [3] Бурлак Г.Н., Гримальский В.В., Коцаренко Н.Я. // ЖЭТФ. 1986. Т. 90. Вып. 4. С. 1487-1492.
- [4] Гуляев Ю.В., Мовсисян С.М., Шкердин Г.Н. // ФТТ. 1980. Т. 22. Вып. 2. С. 523-529.
- [5] Бурлак Г.Н. // Письма в ЖТФ. 1989. Т. 15. Вып. 2. С. 60-65.
- [6] Бурлак Г.Н. // ЖЭТФ. 1990. Т. 97. Вып. 5. С. 1607-1615.
- [7] Самарский А.А. Теория разностных схем. М.: Наука, 1983. 616 с.
- [8] Ахмедиев Н.Н., Елеонский В.М., Кулагин Н.Е. // ЖЭТФ. 1985. Т. 89. Вып. 5(11). С. 1542-1551.
- [9] Абловиц М., Сигур Х. Солитоны и метод обратной задачи. М.: Мир, 1987. 480 с.

Киевский университет
им. Т.Г.Шевченко
Поступило в Редакцию
2 апреля 1990 г.
В окончательной редакции
12 мая 1991 г.

06; 07

© 1992 г.

Журнал технической физики, т. 62, в. 4, 1992

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНТЕГРАЛЬНО-ОПТИЧЕСКИХ МОДУЛЯТОРОВ ОТСЕЧКИ ВОЛНОВОДНОЙ МОДЫ

А.А.Воеводин, В.П.Гладкий, Р.Д.Нетреба, Н.А.Яковенко

В настоящее время интенсивно разрабатываются новые подходы к созданию высокоэффективных оптоэлектронных систем передачи и обработки цифровой информации. Весьма перспективной элементной базой для таких систем считаются модуляторы оптического излучения, реализованные методами и средствами интегральной оптики [1-3]. Особый интерес представляют интегрально-оптические модуляторы амплитуды оптического излучения, изготовленные на основе сегнетоэлектрических подложек и использующие механизм отсечки волноводной моды под действием внешнего электрического поля. Модуляторы такого типа рассмотрены в работах [4, 5], однако для оптимизации этих устройств требуются дополнительные исследования.

Целью данной работы являются создание модуляторов отсечки волноводной моды и исследование их основных характеристик в зависимости от параметров диффузионных волноводов и длины области взаимодействия оптического и электрического полей.

№ образца	NTE_{∞} эфф при $\lambda = 0.63$ мкм	$L_{эл}$, мм	$S_{эл}$, пФ	$\Delta f_{рас}$, ГГц	$P/\Delta f_{рас}$ при $\eta = 90\%$, $R_H = 50$ Ом (МВт/МГц)	$E_{пер}$ при $\eta = 90\%$ (пДж)	$U_{упр}$ при $\eta = 90\%$ (В)
1	2.2081	6	4	1.6	13.3	4232	46
2	2.2064	6	4	1.6	8.6	2665	36.5
3	2.2057	6	4	1.6	5.7	1625	28.5
4	2.2053	6	4	1.6	3.6	1105	23.5
		5	3.6	1.7	3.65	1037	24
		4	3.0	2.1	3.7	1094	27
		3	2.6	2.4	4.1	1331	32
		2	2.2	2.8	6.7	2130	44
5	2.2051	1	1.6	3.9	12.3	3920	70
		6	4	1.6	1.2	365	13.5
		6	4	1.6	0.6	200	10
7	2.2031	6	4	1.6	0.4	128	8

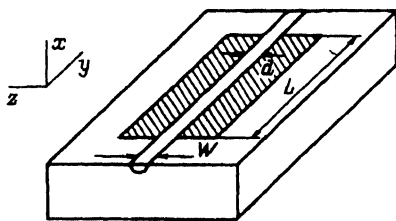


Рис. 1. Интегрально-оптический модулятор отсечки волноводной моды.

L — длина электродов, $W = 6$ мкм, $d = 6$ мкм.

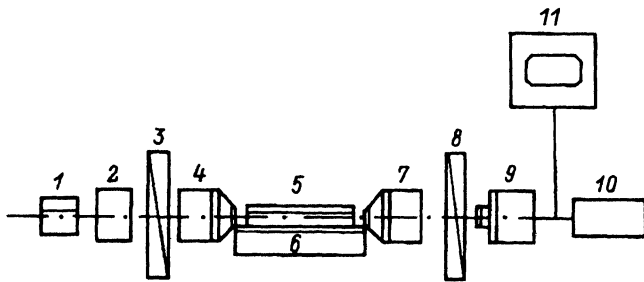


Рис. 2. Блок-схема измерительной установки.

1 — полупроводниковый лазер ИЛПН-108 ($\lambda = 0.85$ мкм), 2 — коллиматор, 3 — поляризатор, 4 — вводный микрообъектив, 5 — исследуемый образец, 6 — трехкоординатный микропозиционер, 7 — выводной микрообъектив, 8 — анализатор, 9 — телевизионная камера КТ-3, 10 — осциллограф телевизионный С9-1, 11 — монитор Standard WTU 31.

Были изготовлены интегрально-оптические модуляторы отсечки волноводной моды на основе одномодовых диффузионных каналных волноводов, сформированных в подложках монокристаллов ниобата лития X-срезов, методом твердотельной термодиффузии окиси титана. Пленки титана наносились на поверхности подложки $LiNbO_3$ методом термического вакуумного испарения при остаточном давлении $6.67 \cdot 10^{-3}$ Па с контролем толщины наносимых пленок кварцевым измерителем толщины. Толщина пленок варьировалась от 13 до 33 нм. Методами жидкостной фотолитографии с последующей термодиффузией при температуре $1000^\circ C$ в течение 7 ч были сформированы одномодовые каналные волноводы шириной 6 мкм. Эффективные показатели преломления сформированных волноводов для TE_{00} -моды были измерены на гониометрической установке призмной связи. Значения эффективных показателей преломления исследуемых образцов для длины волны оптического излучения $\lambda = 630$ нм приведены в таблице.

Затем вдоль оптических канальных волноводов были сформированы алюминиевые управляющие электроды с межэлектродным зазором 6 мкм. На рис. 1 приведена конструкция одноканального интегрально-оптического модулятора отсечного типа. Исследования основных характеристик изготовленных модуляторов проводились на экспериментальной установке, блок-схема которой приведена на рис. 2, на длине волны оптического излучения $\lambda = 850$ нм.

На рис. 3 приведены зависимости глубины модуляции от величины управляющего напряжения на алюминиевых электродах длиной 6 мм для образцов с различными значениями эффективных показателей преломления ($N_{эфф}$). Глубина модуляции определялась по формуле

$$\eta = (I_0 - I)/I_0, \quad (1)$$

где I — интенсивность прошедшего света при приложенном модулирующем сигнале, I_0 — значение интенсивности I в отсутствие электрического модулирующего сигнала.

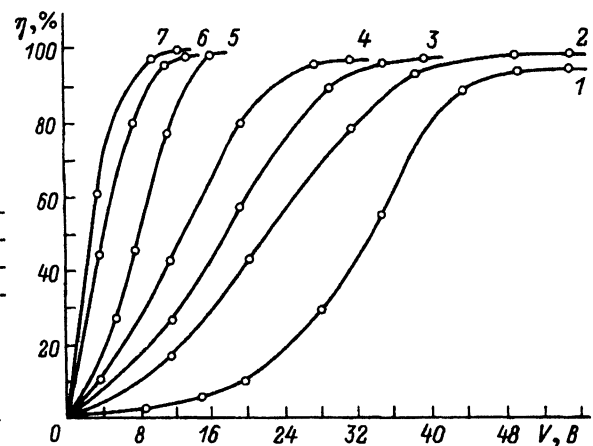


Рис. 3. Зависимость глубины модуляции от величины управляющего напряжения на алюминиевых электродах длиной 6 мм для образцов с различными значениями $N_{эфф}$. 1-7 — номера образцов.

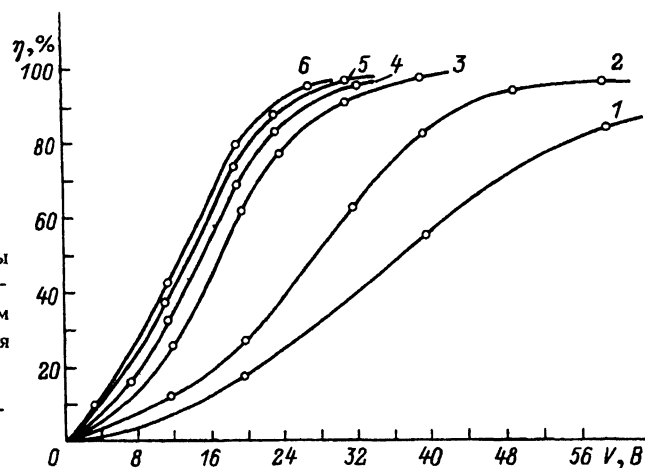


Рис. 4. Зависимость глубины модуляции от управляющего напряжения при фиксированном значении эффективного показателя преломления.

Необходимо также отметить, что вносимые оптические потери у образцов 1-5 были практически равны и составляли величину ~ 2.7 дБ, а у образцов 6-7

они были больше на 10 и 14 дБ соответственно, что объясняется малыми значениями Δn этих образцов.

На рис. 4 представлены зависимости глубины модуляции от управляющего напряжения при фиксированном значении эффективного показателя преломления в различных длинах областей (образце 4) перекрытия электрического и светового полей. Из рис. 4 видно, что наибольший интерес для оптимизации длины модуляторов такого типа представляют области перекрытия длиной 3—6 мкм.

На рис. 5 совместно представлены графики зависимости длины области перекрытия электрического и светового полей исследуемых амплитудных модуляторов и эффективных показателей преломления от величины управляющего напряжения на металлических электродах при фиксированном значении глубины модуляции ($\eta = 84\%$). Данные зависимости позволяют прогнозировать характеристики изготавливаемых волноводных модуляторов с заданными физико-технологическими параметрами. Окружность точки пересечения этих зависимостей определяет области оптимальных значений длин металлических электродов и эффективных показателей преломления диффузионных канальных волноводов для модуляторов такого типа. Особый интерес представляет точка А на кривой 2 (рис. 5). Она совпадает со значением эффективного показателя преломления, ниже которого вносимые оптические потери канальных диффузионных волноводов резко увеличиваются. Кроме того, поскольку быстродействие волноводного модулятора однозначно связано с геометрическими размерами управляющих металлических электродов

$$\tau = \frac{1}{2} R_{\text{H}} C, \quad (2)$$

где

$$C = \left(\frac{2}{\pi} \right) \epsilon_{\text{эф}} L \ln \left[4 \left(2 \frac{W}{d} + 1 \right) \right] \quad (3)$$

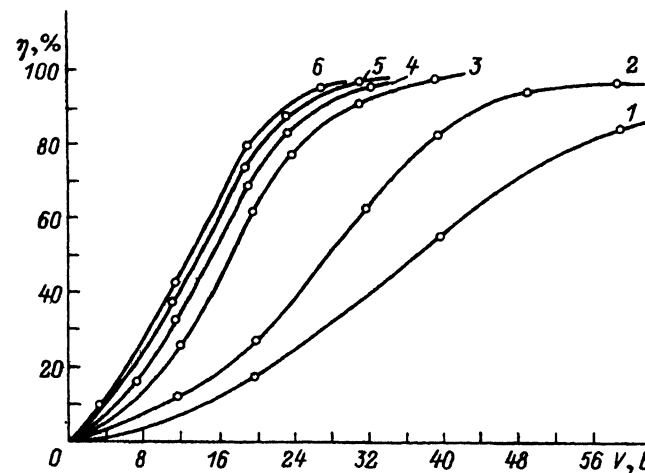


Рис. 5. Зависимости длины области перекрытия электрического и светового полей (1) исследуемых амплитудных модуляторов и эффективных показателей преломления (2) от величины управляющего напряжения при $\eta = 84\%$.

— емкость компланарной системы электродов [6],

$$\epsilon_{\text{эф}} = \left(\frac{\epsilon_0}{2} \right) \left(1 + \frac{\epsilon}{\epsilon_0} \right), \quad (4)$$