

Рис. 6. Области в координатах $AMn_n - (Dt)^{1/2}$, соответствующие заданному числу m мод волновода.

раничивают области в координатах $A_e Mn_n$ и $(Dt)^{1/2}$, определяемые неравенством

$$(1/\sqrt{\pi}) [0,25\lambda(m+0,75)]^2 \geq n_n MA_e (Dt)^{1/2}, \quad (8)$$

т. е. области значений $A_e Mn_n$ и $(Dt)^{1/2}$, при которых число ТЕ мод в волноводе не более m . Аналогичные результаты могут быть получены и для Δn_0 .

Проведено сопоставление результатов расчета по неравенству (8) с экспериментальными данными. Треугольники соответствуют измерениям количества ТЕ мод, кружки — ТМ мод. При несовпадении количества мод с расчетным фигуры зачернены.

Следует отметить, что сопоставление проведено только для образцов, прошедших диффузионный отжиг 30 ч или менее, поскольку при больших длительностях отжига угловое расстояние между последними модами меньше предела разрешения ($5 \cdot 10^{-4}$).

Видно, что расчет и эксперимент хорошо совпадают. Имеющиеся два случая несовпадения относятся к точкам вблизи границ областей и могут быть связаны с небольшим изменением экспериментальных параметров по сравнению с расчетными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schmidt R. V., Kaminow I. P. Metall-diffused optical waveguides in LiNbO_3 .—“Appl. Phys. Lett.”, 1974, vol. 25, N 8, p. 458.
2. Ермолаев В. М., Логачев Ф. А., Лындин Л. М., Мешков Б. Б., Прохоров А. М., Сыгучов В. А., Шипуло Г. П. Диффузионные волноводы в LiNbO_3 и электрооптическая модуляция света в них.— «Квантовая электроника», 1976, № 9, вып. 3, с. 2074.
3. Kaminow I. P., Stutz L. M., Turner E. H. Efficient strip-waveguide modulator.— “Appl. Phys. Lett.”, 1975, vol. 27, N 10, p. 555.
4. Gfeller F. R. LiNbO_3 electro-optic modulator and switch.— “Appl. Phys. Lett.”, 1976, vol. 29, N 10, p. 655.
5. Vassel M. O. Direct technique for calculating dielectric permittivity profiles from the distribution of mode indices in waveguides.— “JOSA”, 1975, vol. 65, N 9, p. 1019.
6. Pearsall T. P., Ching S., Schmidt R. W. Study of titanium diffusion in LiNbO_3 low-loss optical waveguides by X-ray photoelectron spectroscopy.— “J. Appl. Phys.”, 1976, vol. 47, N 11, p. 4794.

Поступила в редакцию 7 июня 1977 г.

УДК 621.396.535.8

В. В. ВОЛКОВ, Н. С. КАРАСЕВА, Л. П. ЛУКАСЕВИЧ,
Е. В. ПОТАПОВ, А. В. РАКОВ

(Москва)

ЛИНЕЙНЫЙ ТРАНСПАРАНТ НА ОСНОВЕ НИОБАТА ЛИТИЯ

Развитие оптических и голографических запоминающих устройств (ЗУ) вызывает необходимость создания управляемого оптического транспаранта для ввода информации в ЗУ. В зависимости от принципиаль-

ной схемы записи информации применяются транспаранты в виде двумерных или линейных матриц световых затворов [1, 2]. Наибольшим быстродействием обладают транспаранты, изготовленные из сегнетоэлектриков, в которых используется эффект Поккельса [1]. Одним из материалов этой группы является выпускаемый промышленностью ниобат лития, наименьшая величина полуволнового напряжения для которого составляет 2,9 кВ. Для практики большой интерес представляет использование поперечного электрооптического эффекта, когда можно изменять управляющее напряжение, меняя геометрические размеры транспаранта. В настоящей статье приведены результаты исследования влияния геометрических размеров линейного транспаранта на его оптические и электрические характеристики и сформулированы практические рекомендации для изготовления таких устройств.

Используемый в работе линейный транспарант представлял собой пластину ниобата лития, полированную со всех сторон, на широкие грани которой методом вакуумного распыления наносились никелевые или алюминиевые управляющие электроды.

Эксперименты проводились при распространении света вдоль оси Z и приложении электрического поля вдоль осей X или Y . Использование конструкции, в которой свет распространяется вдоль оси X , нерационально, так как в этом случае наблюдается сильное влияние температуры на показатель преломления (n_e), соответствующий необыкновенному лучу, и требуется специальная стабилизация температуры транспаранта.

Пропускание одной ячейки транспаранта, помещенного между параллельными поляризаторами, на которую подано управляющее напряжение, соответствующее полуволновому, показано на рис. 1, *a*. На том же рисунке (*b* и *в*) показано изменение пропускания ячейки при уменьшении ширины управляющего электрода. Из анализа зависимостей, представленных на рис. 1 для различных образцов, следует, что при увеличении ширины электрода (толщина пластины постоянна) величина пропускания под электродом падает и достигает минимального значения для соотношения $h/d \geq 2$, где h — ширина электрода; d — толщина пластины. Контраст в этом случае достигает 200—300. Кроме того, из того же рисунка следует, что пропускание транспаранта изменится не только под электродом, но и в прилегающих областях. Размер этой области увеличивается при уменьшении соотношения h/d . Такое увеличение начинает наблюдаться при $h/d \geq 1$. Минимальная величина области вне электрода, в которой происходит изменение пропускания, составляет $\sim d$. Описанные выше явления объясняются тем, что пластинка ниобата лития с нанесенными на нее электродами представляет собой конденсатор, в котором электрическое поле имеется и за пределами электродов, т. е. имеется наведенное этим полем затухающее двулучепреломление.

При конструировании из описанных выше ячеек линейного транспаранта необходимо учитывать зависимость пропускания от h/d . Шаг ячеек не должен быть меньше чем $2d$ при $h \leq d$. Это связано с тем, что в случае $h > d$ или при шаге ячеек $< 2d$ начинает сказываться эффект взаимного влияния двух соседних ячеек, что приводит к резкому уменьшению контраста.

Величину управляющего напряжения, как известно, можно регулировать, меняя отношение длины управляющих электродов к толщине пластины (l/d). На рис. 2 представлена зависимость управляющего напряжения U^* , соответствующего максимуму кривой пропускания, приведенного к единице длины, от соотношения l/d . Как видно из рис. 2, при малой длине электрода или при большой толщине пластины наблюдается увеличение управляющего напряжения. Такое увеличение U^* объясняется тем, что при уменьшении l/d конденсатор, образованный электродами, начинает приближаться к диполю и участок постоянной

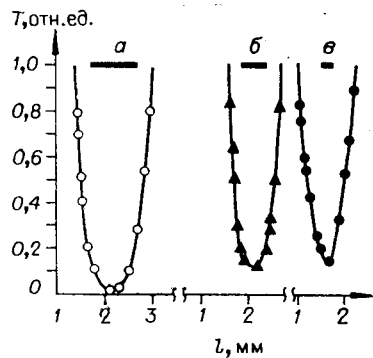


Рис. 1. Пропускание ячейки линейного транспаранта при h/d , равном: а — 2; б — 1; в — 0,5.

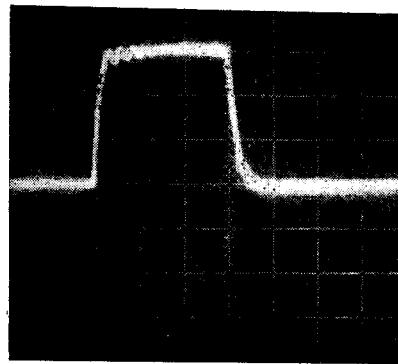


Рис. 3. Осциллограмма фотоответа ячейки транспаранта (масштаб по X — 1 мкс/дел.).

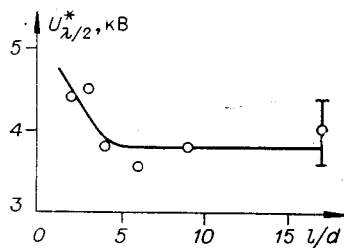


Рис. 2. Зависимость приведенного управляющего напряжения от соотношения l/d .

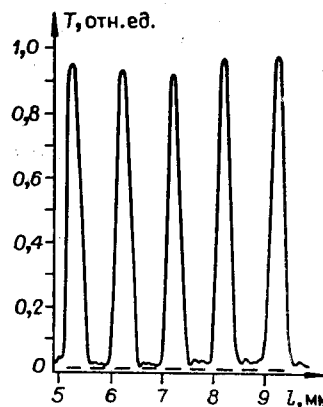


Рис. 4. Пропускание части линейного транспаранта. (Штрихами показано расположение электродов.)

напряженности электрического поля в нем уменьшается. Начиная с некоторого размера конденсатора, средняя напряженность поля в нем при постоянном управляющем потенциале уменьшается. Все это и приводит к увеличению управляющего напряжения. На основании результатов, представленных на этом рисунке, следует сделать вывод, что при изготовлении линейных транспарантов необходимо выдерживать соотношение $l/d \geq 6$ или работать с повышенным управляющим напряжением.

Исследования оптических характеристик линейного транспаранта проводились как в статическом режиме, так и в динамическом. Различий в величине управляющего напряжения для обоих случаев не замечено. В случае импульсного управляющего напряжения величина переднего фронта импульсов фотоответа была не хуже 100 нс, заднего — ~ 300 нс (рис. 3). Появление синусоидальной составляющей обусловлено наличием сильного пьезоэффекта в ниобате лития. Уменьшения величины синусоидальной составляющей можно достичь подбором длительности управляющего импульса или использованием специальных демпфирующих устройств.

Окончательный вариант линейного управляемого транспаранта, удовлетворяющий всем перечисленным условиям, содержал 32 световых клапана. Толщина пластины ниобата лития составляла 250 мкм. Свет распространялся вдоль оси Z, электрическое поле — вдоль оси X. Световые клапаны располагались с шагом 500 мкм. Размер клапана 250×250 мкм². Величина управляющего напряжения 100 В. Пропускание части такого транспаранта для $\lambda = 0,63$ мкм представлено на рис. 4.

Транспарант расположен между скрещенными анализатором и поляризатором. Управляющее напряжение подано на каждый второй электрод. Из рисунка видно, что при выбранном шаге и размерах светового клапана взаимного влияния соседних клапанов друг на друга не наблюдается. Контрастность, рассчитанная как отношение сигнала в максимуме под включенным электродом к величине сигнала в минимуме под выключенным электродом, не менее 100. Величина контраста может быть увеличена, если на лицевую грань линейного транспаранта нанести непрозрачную маску, закрывающую межэлектродные промежутки.

Испытания линейного транспаранта в импульсном режиме показали, что после 10^8 циклов переключения при непрерывном освещении неон-гелиевым лазером типа ЛГ-56 изменений в оптических и электрических характеристиках транспаранта не наблюдалось. Хранение транспаранта в течение нескольких месяцев также не приводило к изменению каких-либо характеристик. Линейный транспарант, описанный выше, кроме самостоятельного применения, может служить основой для сборки двумерного управляющего транспаранта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bardos A. Wideband holographic recorder.— "Appl. Opt.", 1974, vol. 13, N 4, p. 832—840.
2. Kumada A., Suruhi K., Foda G. Display applications of field-enforced phase transition in PLZT ceramics.— "Ferroelectrics", 1976, vol. 10, p. 25—28.

Поступила в редакцию 3 мая 1977 г.
