

ких пределах управлять асимметрией полос. Приведены формулы для расчета зеркала, в котором диэлектрическое многослойное покрытие обращено внутрь интерферометра. Описаны результаты эксперимента, подтверждающие принцип управления асимметрией и метод его расчета. Интерферометр с асимметричным (треугольным) профилем полос применен для изготовления сферических киноформных элементов (см. доклад В. П. Коронкевича).

В процессе работы семинара состоялся просмотр советского научно-популярного фильма «Вперед — оптическая электроника». Перед началом просмотра И. Н. Компанец рассказал о съемках фильма в лабораториях ФИАН СССР, ИАиЭ СО АН СССР и других организациях. Представители американской делегации (Дж. Строук, У. Кок, А. Корпель и др.) дали высокую оценку научной направленности фильма и художественному мастерству режиссера Н. Г. Соломенцева.

Материалы Первого советско-американского семинара по оптической обработке информации изданы на английском языке издательством "Plenum Publishing Corporation" (222 West, 17th Street, New York, 10011).

Поступила в редакцию 11 февраля 1976 г.

УДК 681.325.5

Д. И. БИЛЕНКО,  
В. А. ЛОДГАУЗ, И. И. ЛЯСКОВСКИЙ  
(Саратов)

## КОНТРАСТНОСТЬ ОПТИЧЕСКИ УПРАВЛЯЕМЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ ТРАНСПАРАНТОВ

Наиболее перспективными с точки зрения предъявляемых к транспарантам требований (например, работа в режиме усиления без понижения частоты [1]) представляются оптически управляемые динамические транспаранты на основе двухслойных или многослойных структур, в которых функции приема управляющего излучения и пространственной модуляции управляемого излучения распределены между отдельными слоями. В таких транспарантах необходимо создание зеркала между этими слоями для оптической развязки двух излучений.

При разработке динамических транспарантов необходимо исходить прежде всего из их контрастности, так как именно этот параметр определяет модуляционные свойства транспаранта. Кроме того, контрастностью непосредственно связана разрешающая способность динамического транспаранта [2].

Контрастность можно определить как отношение интенсивности излучения на выходе транспаранта при максимальном входном сигнале на фотопроводнике (ФП) к интенсивности на выходе при нулевом входном сигнале.

*Динамический транспарант на эффекте Франца—Келдыша.* В предположении степенной зависимости изменения коэффициента поглощения  $\Delta\alpha$  от поля  $E$  [3]:

$$\Delta\alpha = aE^b,$$

где  $a$  и  $b$  — константы; контрастность динамического транспаранта, работающего на эффекте Франца—Келдыша с двукратным прохождением

через электрооптический (ЭО) слой, может быть представлена в виде

$$K = \exp[-2d_0^{1-b}a(U_c^b - U_T^b)], \quad (1)$$

где  $d_0$  — толщина ЭО слоя,  $U_c$  и  $U_T$  — величина напряжения на ЭО слое при максимальной интенсивности входного излучения и при отсутствии его соответственно. Разность  $U_c^b - U_T^b$  целесообразно выразить через глубину модуляции напряжения на ЭО слое  $M = (U_c - U_T)/(U_c + U_T)$  и эффективность использования напряжения  $P$ , определяемую долей максимального напряжения на ЭО слое  $U_c$  от общего приложенного к структуре напряжения  $U_0$  ( $P = U_c/U_0$ ):

$$U_c^b - U_T^b = (PU_0)^b \frac{(1+M)^b - (1-M)^b}{(1+M)^b}. \quad (2)$$

Задавая величины  $M$ ,  $P$ , расчет которых в зависимости от параметров слоя будет приведен ниже, можно по формуле (1) определить контрастность устройства.

Выражение (1) позволяет также оценить предельную контрастность, которая может быть достигнута в прозрачных на эффекте Франца—Келдыша. При  $M=1$  и  $P=1$  контрастность может быть представлена в виде  $K = \exp(-2d_0\Delta\alpha)$ . Величина  $d_0\Delta\alpha$  ограничена сверху величиной напряжения пробоя и допустимыми начальными потерями света. Для арсенида галлия, например, начальные потери составляют 50% уже при толщине порядка 10 мкм [3]. Если учесть, что величина  $b$  меняется в пределах 1—2, величина  $a$  составляет для GaAs  $10^{-2} \text{ В}^{-1}$  (как следует из расчета по данным работы [3]), а допустимые поля в материалах, на которых наблюдается эффект Франца—Келдыша, обычно не превышают  $10^5 \text{ В/см}$ , то можно сделать вывод, что величина  $d_0\Delta\alpha$  не более 1. Это дает предельное значение для контрастности 7:1 (рис. 1).

*Динамический транспарант на эффекте изменения поляризации управляемого излучения.* В динамическом транспаранте, работающем на эффекте изменения поляризации управляемого излучения (например, в германате свинца, PLZT-керамике, титанате висмута), интенсивность выходного излучения  $I$  при скрещенных поляризаторе и анализаторе равна [4]

$$I = I_0 \sin^2(\Gamma/2), \quad (3)$$

где  $I_0$  — интенсивность падающего света;  $\Gamma$  — разность фаз двух компонент световой волны, поляризованных вдоль разных направлений.

Обозначая через  $S$  отношение напряжения, приложенного ко всей структуре, к напряжению, необходимому для поворота плоскости поляризации света на  $\pi/2$ , контрастность транспаранта при скомпенсированной естественной анизотропии материала можно представить в виде

$$K = \sin^2[PS(\pi/2)] \sin^{-2}[PS\pi/2(1 - M)/(1+M)]. \quad (4)$$

Как видно из рис. 1, для данного типа динамического транспаранта в предположении идеальности поляризаторов можно в принципе получить сколь угодно большое значение контрастности.

*Динамический транспарант на основе электрооптического эффекта с фа-*

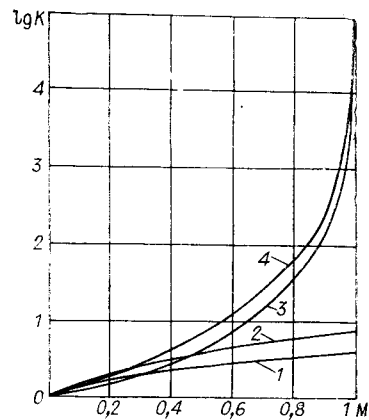


Рис. 1. Контрастность динамических транспарантов на основе эффекта Франца—Келдыша при  $a=10^{-2} \text{ В}^{-1}$ ,  $b=1$ ,  $U_0=10^2 \text{ В}$ ,  $P=0,7$  (кривая 1) и  $P=1$  (кривая 2) и на основе эффекта Поккельса с поляризационным считыванием при  $PS=1$  (кривая 3) и  $PS=0,7$  (кривая 4).

зовым считыванием. В ЭО материалах классов  $6\text{тт}$ ,  $4\text{тт}$ ,  $3\text{т}$ ,  $\bar{4}2\text{т}$  (NBS, PMN, LiNbO<sub>3</sub>, BaTiO<sub>3</sub>), в которых наблюдается эффект Поккельса, при наложении поля вдоль оси  $Oz$  и распространении света в том же направлении имеет место фазовая модуляция управляемого света [4].

Для преобразования фазовой модуляции в амплитудную можно использовать интерференцию лучей, отраженных от передней и задней граней ЭО материала. При этом предполагается, что слой ЭО материала является плоскопараллельным, а пучок света — нерасходящимся.

В общем случае для контрастности позитивного и негативного транспарантов было получено следующее выражение:

$$K_{\pm} = \frac{1 \mp 4(r_2/r_1)[(r_2/r_1) \pm 1]^{-2} \sin^2 \Delta\beta}{1 \mp 4(r_2/r_1)[(1/r_1) \pm r_2]^{-2} \sin^2 \Delta\beta}, \quad (5)$$

где  $r_1$  и  $r_2$  — амплитудные коэффициенты отражения от передней и задней границ ЭО слоя. Величина индуцированного набега фаз  $\Delta\beta$  может быть выражена через  $M$ ,  $P$ ,  $S$ :  $\Delta\beta = \pi(MPS)/(M+1)$ .

Вычисление контрастности следует производить либо по формуле с верхним знаком для негативного транспаранта при  $(r_2/r_1) > 0$  и позитивного транспаранта при  $(r_2/r_1) < 0$ , либо по формуле с нижним знаком для негативного транспаранта при  $(r_2/r_1) < 0$  и позитивного транспаранта при  $(r_2/r_1) > 0$ .

На рис. 2 в качестве примера приведены результаты расчета контрастности транспаранта с заданными оптическими константами. Как видно из рисунка, контрастность при указанных оптических константах не превышает 7,8:1.

Так как для всех рассмотренных транспарантов контрастность зависит от  $M$  и  $P$ , был проведен расчет этих величин в зависимости от частоты питающего напряжения и параметров слоев. Напряжение на ЭО слое было получено в виде

$$U_c = U_0 \sqrt{(1+k^2z^2)/[(1+x+y)^2 + (1+y)^2k^2z^2]}, \quad (6)$$

где  $k$  — кратность фотопроводника;  $x = C_o/C_{\text{фп}}$ ;  $y = C_o/C_d$ ;  $z = (2\pi f\tau_M)^{-1}$  ( $f$  — частота питающего напряжения,  $\tau_M$  — максвелловское время релак-

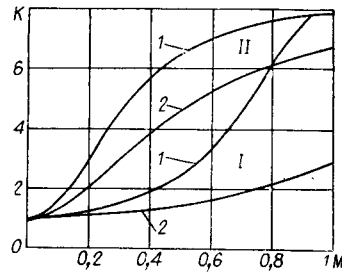


Рис. 2. Показатели преломления электрооптического слоя и зеркала соответственно равны 2,3 и 1,5; показатель поглощения зеркала равен нулю. Группа кривых I —  $K_+(M)$ , группа II —  $K_-(M)$ . На кривых I и 2  $PS$  равно 1 и 0,7 соответственно.

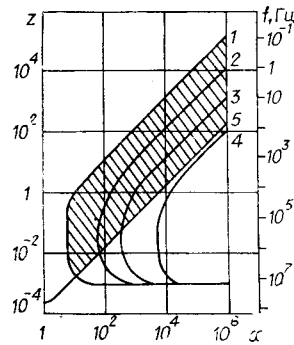


Рис. 3. Кривые 1—4 ( $k = 10^4$ ;  $y = 0$ ; 10;  $10^2$ ;  $10^3$  соответственно), позволяющие найти области значений  $x$  и  $z$ , где  $M \geq 0,8$ . Кривая 5 ( $y = 0$ ), позволяющая найти области значений  $x$  и  $z$ , где  $P \geq 0,8$ .

сации для фотопроводника в темновом состоянии);  $C_3$ ,  $C_{\text{ФП}}$ ,  $C_d$  — емкости ЭО, ФП и зеркала соответственно.

Представленные на рис. 3 зависимости позволяют при заданном  $x$  определить интервал  $z$ , в котором глубина модуляции напряжения не ниже 0,8.

С ростом величин  $x$ ,  $y$  растут потери напряжения на диэлектрическом зеркале, поэтому был проведен численный расчет величины  $P$  в зависимости от  $k$ ,  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . При заданной частоте величина  $P$  тем больше, чем больше  $k$  и меньше  $x$ ,  $y$ .

На рис. 3 кривая 5 позволяет определить область частот (для  $k=10^4$  и  $y=0$ ), в которой величина  $P \geq 0,8$ . Эти частоты лежат на графике выше кривой 5. Заштрихованная область позволяет найти для заданного  $x$  интервал частот, в котором одновременно выполняются условия  $M \geq 0,8$  и  $P \geq 0,8$ , или, задавшись интервалом рабочих частот, можно определить область необходимых соотношений между емкостями электрооптического и фоточувствительного слоев.

Таким образом, из числа рассмотренных транспарантов наибольшей контрастностью обладает транспарант на эффекте изменения поляризации управляемого измерения. Так, при глубине модуляции напряжения 0,8 и  $P=0,7$  расчетная контрастность достигает 60:1. Транспарант на эффекте Франца—Келдыша в принципе не позволяет получить высокой контрастности: при том же значении глубины модуляции 0,8 и  $P=0,8$  расчетная контрастность на лучших из известных в настоящее время материалах не превышает 3,5:1. Высокие значения контрастности в транспаранте на основе электрооптического эффекта с фазовым считыванием в принципе возможны, но практически трудно достижимы, так как необходим подбор электрооптического материала и материала диэлектрического зеркала с заданным соотношением показателей преломления и показателей поглощения. Замена диэлектрического зеркала на капельное металлическое в данном случае не улучшает контрастности в отличие от транспаранта на эффекте изменения поляризации. Кроме того, контрастность транспаранта на эффекте Погкельса с фазовым считыванием ограничивается отклонением от плоскопараллельности электрооптического слоя, расходимостью светового пучка, уровнем мощности рассеянного света.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. К. К. Свидзинский. Оптические логические устройства на активных управляемых транспарантах.— «Микроэлектроника», 1974, т. 3, вып. 3, с. 200.
2. Н. И. Красников. Разрешающая способность твердотельного усилителя изображения.— «Полупроводниковая техника и микроэлектроника», 1972, вып. 8, с. 81.
3. В. И. Барчукова, В. Н. Дульдьер, Ю. Д. Думаревский, Б. В. Ионов, П. Е. Кандыба, Д. П. Колесников, В. А. Петрусевич, Н. В. Разумова. Модуляторы на основе полуизолирующего арсенида галлия.— «Электронная техника. Сер. Микроэлектроника», 1972, вып. (3)37, с. 33.
4. Е. Р. Мустель, В. Н. Парыгин. Методы модуляции и сканирования света. М., «Наука», 1970. 73 с.

Поступила в редакцию 16 июня 1975 г.;  
окончательный вариант — 13 октября 1975 г.