

Рис. 3. Принципиальная оптическая схема объектива:

$f' = 1001,14$  мм;  $s'_{F'}$  = 950,936 мм;  $s_F = -942,387$  мм;  $D/f' = 1 : 25$ ; удаление входного зрачка  $s_p = -80$  мм; размер поля изображения  $210 \times 180$  мм; наибольший световой диаметр линз объектива — 95 мм.

тива практически совпадает с ФПМ безабберационного объектива. При исследовании действующего макета сканирующей системы диаметр кружка рассеяния по всему полю сканирования составил  $0,050 \pm 0,005$  мм, что удовлетворяет поставленной задаче.

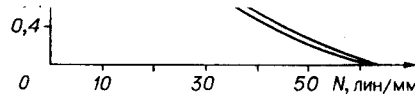


Рис. 4. ФПМ объектива.

На рис. 4 приведена функция передачи модуляции (ФПМ) объектива: кривая 1 — для точки на оси (совпадает с ФПМ безабберационного объектива); кривая 2 — для точки на краю поля зрения. Как видно из рисунка, ФПМ разработанного объек-

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Климов Ю. М. Основы расчета оптико-электронных приборов с лазерами.— М.: Сов. радио, 1978.
2. Gramenopoulos N., Hortfield E. D. Advanced Laser Image Recorder.— Appl. Opt., 1972, vol. 11, N 12, p. 2778—2782.

Поступило в редакцию 16 февраля 1981 г.

УДК 535.241.13

В. Ф. ТРУХИН  
(Москва)

#### ДИНАМИЧЕСКОЕ ОКОНТУРИВАНИЕ ПОЛУТОНОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ТРАНСПАРАНТОМ ПРОМ

Известны два основных режима работы транспаранта ПРОМ в устройствах ввода изображений в тракт оптической обработки, которые можно назвать кадровым и динамическим. В кадровом режиме [1] запись изображения, его считывание и стирание разделены во времени и осуществляются импульсами света соответствующего спектрального состава и длительности, синхронизированными с импульсным питанием ПРОМ. Основными физическими процессами, определяющими возможности режима, являются объемная фотогенерация зарядов, их разделение внешним полем и последующий захват на ловушки. Сформированное таким образом встроенное неоднородное по апертуре транспаранта поле модулирует считывающий световой пучок за счет эффекта Поккельса. Коммутацией напряжения на модуляторе после цикла записи могут быть реализованы операции ограничения по уровню, оконтуривания и инверсии контраста [2].

В динамическом режиме [3, 4] на модулятор подается переменное напряжение, а изображение проецируется на транспарант непрерывно. Благодаря этому в фоточувствительном кристалле (силикат либо германат висмута) формируется рельеф продольной проводимости, приводящей к локальным перераспределениям напряжения между слоями структуры в соответствии с их комплексными сопротивлениями.

Из анализа эквивалентной электрической схемы транспаранта в приближении равномерного поглощения света по толщине кристалла легко получить выражение для относительного фазового сдвига электрооптических откликов освещенной и неосвещенной областей:

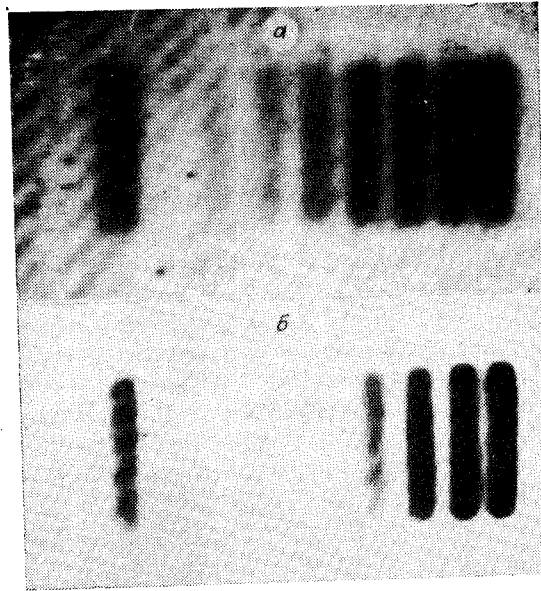
$$\varphi(I) = 2 \left[ \arctg \frac{\omega \varepsilon_0 (2d_d \varepsilon_n + d_n \varepsilon_d)}{2d_d (\sigma_n^T + \gamma I)} - \arctg \frac{\omega \varepsilon_0 (2d_d \varepsilon_n + d_n \varepsilon_d)}{2d_d \sigma_n^T} \right], \quad (1)$$

где  $\varepsilon_n$ ,  $\varepsilon_d$ ,  $d_n$ ,  $d_d$  — относительные диэлектрические проницаемости и толщины слоев

полупроводника и диэлектрика;  $\omega$  — круговая частота питающего напряжения;  $I$  — интенсивность записывающего света;  $\gamma$  — чувствительность, устанавливающая связь между световой  $\sigma_{\Pi}^c$  и темновой  $\sigma_{\Pi}^T$  удельными проводимостями полупроводника ( $\sigma_{\Pi}^c = \sigma_{\Pi}^T + \gamma I$ );  $\epsilon_0$  — диэлектрическая постоянная. Видно, что при увеличении интенсивности  $I$  и частоты  $\omega$  фазовый сдвиг стремится к  $-\pi$ , т. е. электрооптический отклик в более освещенных областях опережает отклик в менее освещенных. Таким образом, напряжение на кристалле для  $i$ -й градации яркости входного сигнала  $I_i$  имеет вид  $U_i(t) = U_i(0) \times \sin(\omega t + \varphi_i)$ , а считывающий пучок модулирован по закону

$$J_i(t) = J(0) [(\pi/2) (U_i(t)/U_{\pi})]^2, \quad (2)$$

где  $U_i(0)$  — амплитуда напряжения на полупроводнике,  $U_{\pi}$  — полуволновое напряжение (здесь принято  $U_i(0) < 0,5U_{\pi}$ ). Изображения ступенчатого ослабителя на входе (а) и выходе (б) модулятора ПРОМ.



Выбирая момент считывания, соответствующий  $J_i(t) = 0$ , можно подавить данную градацию, т. е. произвести оконтуривание изображения. Как следует из выражения (2), все  $J_i$  будут изменяться в одну сторону, если фазовый сдвиг  $\varphi_i$  не превышает  $\pi/2$ ; следовательно, выбор момента считывания  $t_i$  должен проводиться в пределах  $0 \leq t_i \leq \pi/2\omega$ .

Очевидно, что для получения хорошей отстройки от соседних градаций транспарант должен обладать высокой фазовой чувствительностью  $S_{\varphi} = d\varphi/dI$ :

$$S_{\varphi} = - \frac{4d_{\Pi} \gamma \epsilon_0 \omega (2d_{\Pi} \epsilon_{\Pi} + d_{\Pi} \epsilon_{\Pi})}{4d_{\Pi}^2 (\sigma_{\Pi}^T + \gamma I)^2 + [\omega \epsilon_0 (2d_{\Pi} \epsilon_{\Pi} + d_{\Pi} \epsilon_{\Pi})]^2}. \quad (3)$$

Нетрудно получить, что функция  $S_{\varphi}$  максимальна на частоте  $\omega_{\text{опт}}$ , определяемой параметрами структуры ПРОМ и интенсивностью:

$$\omega_{\text{опт}} = [2d_{\Pi} (\sigma_{\Pi}^T + \gamma I)] / [\epsilon_0 (2d_{\Pi} \epsilon_{\Pi} + d_{\Pi} \epsilon_{\Pi})]. \quad (4)$$

При этом фазовая чувствительность оказывается равной:

$$S_{\varphi} = - [\gamma / (\sigma_{\Pi}^T + \gamma I)]. \quad (5)$$

Следовательно, отстройка от соседних градаций ухудшается с увеличением интенсивности входного сигнала, подвергаемого оконтуриванию:

$$\varphi(I) = -\pi/2 + 2 \arctg (1 + I\gamma/\sigma_{\Pi}^T). \quad (6)$$

Диапазон интенсивностей входного сигнала можно определить областью, в которой  $\varphi(I)$  изменяется наиболее быстро, т. е. аргумент  $(1 + I\gamma/\sigma_{\Pi}^T)$  не превышает 4. Отсюда  $I \leq 3\sigma_{\Pi}^T/\gamma$ . Например, при  $\gamma = 3 \cdot 10^{-7}$  и  $\sigma_{\Pi}^T = 10^{-9}$  интенсивность не должна превышать  $10^{-2}$  мВт/см<sup>2</sup>. Поскольку чувствительность  $\gamma$  является величиной практически постоянной, то расширение диапазона входных сигналов возможно за счет увеличения темновой проводимости кристалла. Для структуры ПРОМ на силикате висмута при  $d_{\Pi} = 10$  мкм,  $d_{\Pi} = 300$  мкм,  $\epsilon_{\Pi} = 5$ ,  $\sigma_{\Pi}^T = 10^{-11}$  1/Ом·см оптимальная частота составляет примерно 0,5 Гц, а соответствующий временной сдвиг 0,35 с. На таких низких частотах эффект последовательного «проявления» градаций заметен визуально.

На рисунке представлены изображения ступенчатого ослабителя на входе (а) и считанного с ПРОМ импульсным излучением (б). Хорошо видно подавление промежуточной градации.

Таким образом, применение импульсного считывания, синхронизированного с переменным напряжением питания транспаранта ПРОМ, позволяет производить окон-

туривание изображения, что может найти применение в задачах оптической обработки. Предложенный метод подавления градаций может быть распространен и на модуляторы на основе структур фотополупроводник — модулирующая среда.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Lipson S. G., Nisenson P. Imaging Characteristics of the Itek PROM.— Appl. Opt., 1974, vol. 13.
2. Sprague R., Nisenson P. The PROM — a Status Report.— Opt. Eng., 1978, vol. 17, p. 256.
3. Фельдбуш В. И. Динамические характеристики управляемых транспарантов.— В кн.: Оптико-электронные методы обработки изображений в когерентном и некогерентном свете. [Тез. докл.]. Горький: изд. НИРФИ, 1978.
4. Трухин В. Ф., Спиридонов О. П. Частотно-контрастная характеристика транспаранта типа ПРОМ в динамическом режиме.— В кн.: Формирование оптического изображения и методы его коррекции. [Тез. докл.]. Могилев: изд. ИФ АН БССР, 1979, с. 56.

*Поступило в редакцию 9 июля 1981 г.*

Художественный редактор Э. С. Филонычева  
Технический редактор А. В. Сурганова  
Корректоры Г. Д. Смоляк, И. А. Литвинова

Сдано в набор 05.01.82. Подписано к печати 02.04.82. МН-00236. Формат 70×108<sup>1/16</sup>. Высокая печать. Усл. печ. л. 10,5. Усл. кр.-отт. 11. Уч.-изд. л. 11,2. Тираж 1861 экз. Заказ № 2.

Издательство «Наука», Сибирское отделение. 630099, Новосибирск, 99, ул. Советская, 18.  
4-я типография издательства «Наука». 630077, Новосибирск, 77, ул. Станиславского, 25.