

А. М. ИТИГИН, Т. Н. ХАЦЕВИЧ  
(Новосибирск)

### ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ЛАЗЕРНОГО РЕГИСТРАТОРА ИЗОБРАЖЕНИЙ

Система лазерного регистратора изображений (ЛРИ) включает в себя лазер, модулятор интенсивности лазерного излучения, коллимирующую систему, объектив, фокусирующий лазерное излучение в плоскость записи информации, и сканирующую систему, обеспечивающую воспроизведение информации по всему полю изображения.

В рассматриваемой системе сканирование проводится двумя качающимися зеркалами. Для обеспечения высокой скорости сканирования сканирующая система должна быть малоинерционной, что ограничивает размеры зеркал. С другой стороны, размер дифракционного кружка рассеяния  $d$  безаберрационного объектива определяется выражением [1]

$$d = (K_g \lambda f') / D, \quad (1)$$

где  $D$  — диаметр входного зрачка фокусирующего объектива;  $\lambda$  — длина волны излучения лазера;  $f'$  — фокусное расстояние объектива;  $K_g$  — коэффициент, зависящий от соотношения  $D/2\omega$ ;  $2\omega$  — диаметр пучка основной моды по уровню интенсивности  $e^{-2}$  в плоскости входного зрачка фокусирующего объектива. В реальной системе размер кружка рассеяния определяется дифракцией на зрачке объектива и остаточными aberrациями оптической системы.

Перед нами стояла задача создания оптической системы ЛРИ, обеспечивающей сканирование плоскости записи информации лазерным пучком ( $\lambda = 0,63$  мкм) диаметром не более 50 мкм. Размер поля сканирования  $210 \times 180$  мм, углы поворота сканирующих зеркал не более  $3^\circ$ . Для обеспечения требуемого поля сканирования при заданном угле поворота зеркал объектив должен иметь фокусное расстояние  $f'$  примерно 1000 мм. Для получения минимального размера входного зрачка объектива при одновременном обеспечении требуемого кружка рассеяния необходимо, чтобы система имела минимальные остаточные aberrации. При этом диаметр кружка рассеяния определяется в основном дифракцией на зрачке. В рассматриваемой системе входной зрачок объектива выбран диаметром 40 мм. Тогда при  $f' = 1000$  мм,  $D/2\omega = 0,8$ ,  $K_g = 1,34$  [1] по формуле (1) диаметр дифракционного пятна равен 42 мкм. Требуемое значение  $\omega$  обеспечивается выбором увеличения оптической системы, коллимирующей лазерный пучок. При использовании ОКГ ЛГ-52-3 ( $\omega_0 = 0,5$  мм) необходимое увеличение коллимирующей системы составит  $53\times$ . Увеличение диаметра кружка рассеяния за счет остаточных aberrаций реального объектива не должно быть больше 8 мкм.

При неподвижном носителе информации двухкоординатное сканирование может осуществляться двумя зеркалами. При этом возможно расположение сканирующих зеркал либо в сходящемся, либо в параллельном пучке. В первом случае надо иметь объектив с хорошим качеством изображения только для точки на оси. Но при таком сканировании возникает расфокусировка пучка, что снижает разрешающую способность системы или требует специальных способов подфокусировки.

На рис. 1 представлен вариант построения сканирующей системы со сканированием в сходящемся пучке. При  $\alpha_0 = \beta_0 = 45^\circ$  координаты точки фокусировки лазерного пучка определяются выражениями

$$x = -l \sin 2\alpha, \quad y = \sin 2\beta (l_1 - l \cos 2\alpha), \quad z = \cos 2\beta (l \cos 2\alpha - l_1) - l_2, \quad (2)$$

где  $l = s' - a$ ;  $s'$  — задний отрезок;  $\alpha, \beta$  — углы поворота зеркал от начального поло-

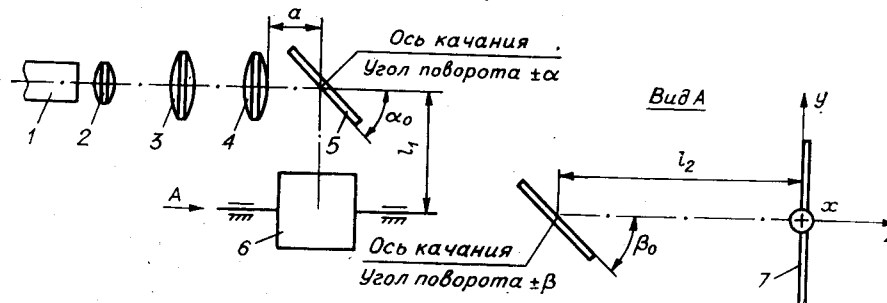


Рис. 1. Схема двухкоординатной сканирующей системы с расположением зеркал в сходящемся пучке:

1 — лазер; 2, 3 — коллимирующая система; 4 — фокусирующий объектив; 5, 6 — сканирующие зеркала; 7 — плоскость записи информации.

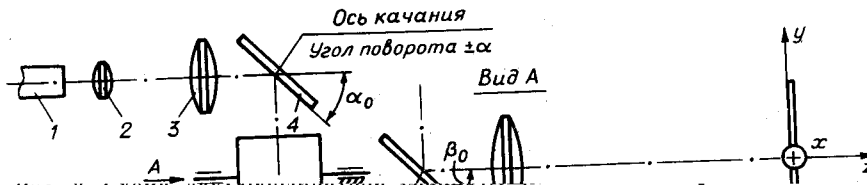


Рис. 2. Схема двухкоординатного сканирующего зеркала в параллельном пучке:

1 — лазер; 2, 3 — коллимирующая система; 4, 5 — сканирующие зеркала; 6 — фокусирующий объектив; 7 — плоскость записи информации.

жения, причем поворот зеркала против часовой стрелки, если смотреть со стороны положительного направления координатной оси, относительно которой происходит поворот, считается положительным, по часовой стрелке — отрицательным. Наличие в формуле (2) координаты  $z$ , изменяющейся в зависимости от  $\alpha$  и  $\beta$ , свидетельствует о переменной расфокусировке в процессе сканирования пучка.

Положив  $z=0$ , получим

$$l = (l_1 \cos 2\beta + l_2) / \cos 2\alpha \cdot \cos 2\beta.$$

Величина расфокусировки  $\Delta l$  определяется выражением

$$\Delta l = l - l_1 - l_2 = [(l_1 \cos 2\beta + l_2) / \cos 2\alpha \cdot \cos 2\beta] - l_1 - l_2. \quad (3)$$

Для компенсации расфокусировки в процессе сканирования необходимо, чтобы вершинный отрезок  $s'$  фокусирующего объектива изменялся на величину, определяемую формулой (3). В этом случае координаты сканирующей точки в плоскости записи информации находятся из выражения

$$x = [(l_2 + l_1 \cos 2\beta) / \cos 2\beta] \operatorname{tg} 2\alpha, \quad y = -l_2 \operatorname{tg} 2\beta. \quad (4)$$

Компенсация расфокусировки может быть осуществлена движением одного из элементов оптической системы. Наиболее простым конструктивным решением в данном случае является перемещение вдоль оптической оси компонента 2 (см. рис. 1) коллимирующей системы. Перемещение компонента 2  $\Delta_2$  связано со смещением точки фокусировки зависимостью

$$\Delta_2 = \delta / \beta_{34}^2,$$

где  $\beta_{34}$  — поперечное увеличение в перетяжках пучка лазера для системы 3, 4. Для исключения расфокусировки необходимо, чтобы  $\delta_2 = \Delta l$ , тогда компонент 2 должен перемещаться по закону

$$\Delta_2 = (1 / \beta_{34}^2) \{ [(l_1 \cos 2\beta + l_2) / \cos 2\alpha \cdot \cos 2\beta] - l_1 - l_2 \}. \quad (5)$$

Следовательно, для обеспечения хорошего качества при сканировании в сходящемся пучке необходимо иметь специальное устройство для перемещения компонента 2, реализующее зависимость (5).

При сканировании в параллельном пучке требуется объектив с плоским полем, вынесенным входным зрачком и хорошим качеством изображения по всему полю сканирования, что исключает необходимость применения подфокусируемых устройств. На рис. 2 приведена принципиальная схема двухкоординатного сканирующего устройства со сканированием в параллельном пучке. В этом случае координаты точки сканирования в плоскости записи информации определяются следующим образом:

$$x = f' \operatorname{tg} 2\alpha / \cos 2\beta, \quad y = -f' \operatorname{tg} 2\beta. \quad (6)$$

Наибольшую трудность при создании оптической схемы ЛРИ представляет разработка фокусирующего объектива. Например, объектив, предназначенный для работы в монохроматическом свете, используемый в лазерных устройствах записи информации с размером поля изображения 254 мм, состоит из 6 компонентов, причем длина объектива  $\sim 430$  мм, диаметр наибольшей линзы  $\sim 250$  мм [2].

Нами разработан объектив достаточно простой конструкции, содержащий три мениска, оптическая схема которого представлена на рис. 3. Наибольшие остаточные aberrации объектива имеют следующие значения: поперечная сферическая aberrация  $\Delta y' = 0,0028$  мм, дисторсия  $\Delta y' = -0,0018$  мм; астигматизм  $z'_m - z'_s = -0,2644$  мм; кривизна поля изображения 0,111 мм; кружок рассеяния по полю 0,0147 мм.

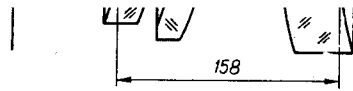


Рис. 3. Принципиальная оптическая схема объектива:

$f' = 1001,14$  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.

ФПМ 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.

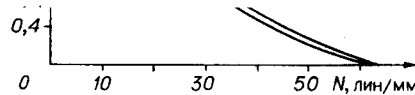


Рис. 4. ФПМ объектива.

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