

Ю. В. БАЙЦУРОВ, А. М. ИТИГИН, В. А. ЛЕГОНЬКОВ,
В. В. ОБОРИН, Л. В. ПИВКИНА, Т. Н. ХАЦЕВИЧ

(Новосибирск — Смоленск)

ЛАЗЕРНОЕ УСТРОЙСТВО СЧИТЫВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ОПТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Современному производству средств вычислительной техники (СВТ) и других изделий с применением печатных плат и интегральных микросхем присущи следующие особенности: применение плат широкого спектра типов и типоразмеров; рост объема использования больших интегральных микросхем и связанное с этим увеличение плотности печатного монтажа и габаритных размеров печатных плат; повышение степени автоматизации технологического процесса, в том числе и процесса технического контроля.

В этих условиях применение только традиционных электрических способов контроля не обеспечивает необходимой универсальности средств и требуемого уровня автоматизации процессов контроля. Поэтому все более широкое применение находят оптические способы контроля, в особенности основанные на последовательном построчном сканировании поверхности контролируемого объекта. Изучение этого технологического процесса, характерных производственных дефектов функциональных узлов СВТ и особенностей оптических способов и средств контроля показывает, что они могут найти применение в следующих контрольных операциях [1]: контроль качества фотооригиналов печатных плат; ввод в ЭВМ информации о топологии проводящего рисунка плат с фотооригиналов; операционный контроль качества односторонних и двусторонних плат после покрытия проводящего рисунка сплавом Розе или другим аналогичным; проверка отдельных слоев многослойных печатных плат; приемочный контроль плат у изготовителя и входной — у заказчика; проверка правильности установки компонентов (со стороны установки навесных элементов и с противоположной) до операции пайки; проверка качества пайки (обнаружение мостиков припоя и разрывов печатных проводников).

При создании оптических средств контроля для указанных операций возникает необходимость разработки быстродействующих средств считывания изображений с разрешением не хуже 50 мкм, алгоритмов обработки и анализа изображений перечисленных объектов контроля, а также специализированных процессоров изображений.

В настоящей работе описана оптическая схема и приведены технические характеристики лазерного устройства считывания (ЛУС) изображений таких широко распространенных объектов контроля, как печатные платы.

Известны два основных способа оптического растрового считывания изображений: на основе применения телевизионной техники и на основе методов лазерной растровой микроскопии (ЛРМ) [2]. В связи с тем, что при использовании телевизионных средств указанное выше разрешение непосредственно реализуется только для объектов небольших размеров или достигается путем осуществления покадрового (пофрагментного) считывания, для устройств контроля печатных плат более перспективным является применение методов ЛРМ, а именно способа считывания изображений путем последовательного сканирования поверхности объекта контроля сфокусированным лазерным пятном малого размера и измерения отраженного объектом контроля светового потока. Этот способ позволяет получить требуемое разрешение при больших размерах контролируемых печатных плат (до 300 мм). Печатная плата как объект контроля оптическим способом предъявляет к устройству для

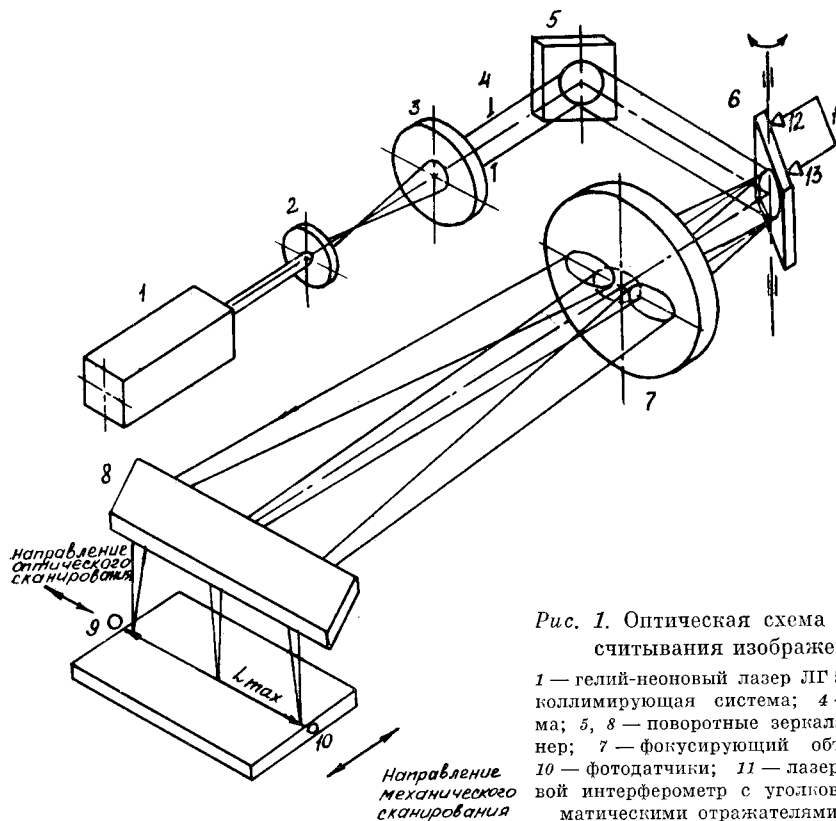


Рис. 1. Оптическая схема лазерного считывания изображений:

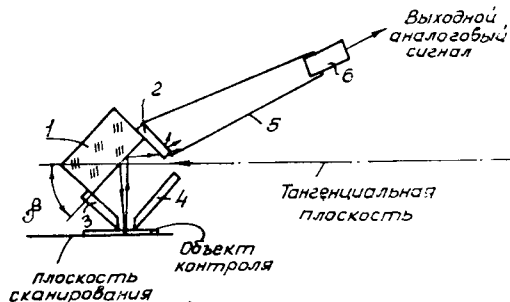
1 — гелий-неоновый лазер ЛГ 52-3; 2, 3 — коллимирующая система; 4 — диафрагма; 5, 8 — поворотные зеркала; 6 — сканер; 7 — фокусирующий объектив; 9, 10 — фотодатчики; 11 — лазерный угловой интерферометр с уголковыми призматическими отражателями 12 и 13

оптического считывания изображений специфические требования: плоское поле изображения; распознавание трех отличающихся по своей физической сущности участков изображения (проводник, отверстие, диэлектрик); считывание информации с объектов различных размеров (от 100 до 300 мм).

Кроме того, из требования универсальности следует, что переход от контроля одного типа или типоразмера печатной платы к другому должен осуществляться с минимальной трудоемкостью путем простой переналадки.

Исходя из этих требований, разработана оптическая схема лазерного устройства считывания изображений, приведенная на рис. 1 и состоящая из гелий-неонового лазера типа ЛГ 52—3 1, коллимирующей системы 2, 3, плоских зеркал 5, 8, сканера 6 и фокусирующего объектива 7. В качестве сканера применен высокоразрешающий лазерный сканер [3], представляющий собой электромагнитный резонансный вибратор с интерферометрическим контролем угла поворота. Угловое положение сканирующего зеркала, жестко закрепленного на оси электромагнитного резонансного вибратора, а следовательно, и положение считывающего пучка на строке контролируются лазерным угловым интерферометром 11 за счет измерения разности хода лучей в его плечах, образованных двумя призматическими уголковыми отражателями 12 и 13, жестко связанными с колеблющимся зеркалом. Сканер обеспечивает развертку считывающего пучка по строке длиной $L_{\max} = 320$ мм, что соответствует амплитуде колебаний зеркала $\alpha_{\max} = \pm 4^{\circ}16'$. В качестве фокусирующего объектива применен трехлинзовый ортоскопический объектив [4] с вынесенным входным зрачком, имеющий фокусное расстояние $f' = 1000$ мм, относительное отверстие 1:25 и угловое поле $8^{\circ}32'$. Ось колебания зеркала сканера установлена таким образом, что она проходит через центр входного зрачка объектива. Сфокусированный объективом сканирующий лазерный пучок образует на поверхности контролируемой пе-

Рис. 2. Схема фотоприемного блока:
 1 — поворотное зеркало; 2 — матовое стекло; 3, 4 — боковые стенки блока со светорассеивающей внутренней поверхностью; 5 — тубус; 6 — фотоэлектронный умножитель



чатной платы, установленной в задней фокальной плоскости объектива, строку сканирования длиной 320 мм. Начало и конец строки фиксируются фотодатчиками 9 и 10 аналогично [3]. Сканирование по второй координате осуществляется механическим перемещением печатной платы.

Перемещение платы производится дискретно шаговым двигателем через винтовую передачу, при этом величина перемещения определяется подсчетом числа шагов двигателя. Информация об объекте контроля содержится в отраженном световом потоке. Для регистрации этого светового потока разработан фотоприемный блок (на рис. 1 не показан), схема которого приведена на рис. 2. Угол наклона зеркала 1 фотоприемного блока выбран близким к 45° так, чтобы зеркально отраженный поверхностью объекта контроля луч после отражения от зеркала 1 падал на нижнюю часть матового стекла 2. Рассеянный матовым стеклом световой поток измеряется фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). Размеры тубуса 5 выбраны так, что диаграмма направленности ФЭУ перекрывает размер матового стекла. В качестве зеркала 1 фотоприемного блока в ЛУС используется зеркало 8 (см. рис. 1).

Так как угол падения сфокусированного лазерного пучка на поверхность контролируемой печатной платы будет различным в различных точках строки сканирования, то и амплитуда выходного сигнала ФЭУ при сканировании даже равномерно отражающей поверхности будет изменяться в зависимости от угла поворота α зеркала сканера. Эта зависимость, определенная экспериментально, представлена на рис. 3. Для обеспечения постоянства выходного сигнала ФЭУ во всем диапазоне углов поворота сканера при сканировании равномерно отражающей поверхности между матовым стеклом и ФЭУ была установлена маска с характеристикой пропускания, обратной приведенной на рис. 3.

Как отмечалось выше, измерение положения считывающего пучка на строке осуществляется лазерным угловым интерферометром. Зависимость числа интерференционных полос N , «пересекающих» входное окно фотодатчика интерферометра, от угла поворота α колеблющегося зеркала определяется выражением [5]

$$N = 2l \sin \alpha / \lambda, \quad (1)$$

где l — расстояние между вершинами угловых призматических отражателей интерферометра; λ — длина волны излучения лазера интерферометра.

С другой стороны, зависимость смещения x сканирующего пятна по строке сканирования от угла α определяется характеристиками фокуси-

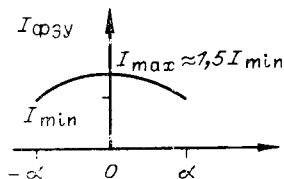


Рис. 3. Зависимость выходного сигнала ФЭУ от угла α

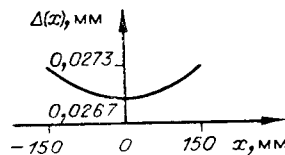


Рис. 4. Зависимость шага интерференционных полос от координаты точки контроля

рующего объектива, и для ортоскопического объектива с фокусным расстоянием f' эта зависимость имеет вид

$$x = f' \operatorname{tg} 2\alpha. \quad (2)$$

Поделив (2) на (1) и подставив численные значения $f' = 1001$ мм, $l = 25,5$ мм, $\lambda = 0,63$ мкм, $\alpha = 4^\circ 16'$, получим среднее по строке сканирования значение цены интерференционной полосы:

$$\Delta_{\text{ср}} = x/N = \lambda f' \operatorname{tg} 2\alpha / 2l \sin \alpha = 25 \text{ мкм.}$$

Из (1) и (2) находится выражение для локального значения цены интерференционной полосы:

$$\Delta(x) = \frac{\frac{\partial x}{\partial \alpha} d\alpha}{l f' \sqrt{\sqrt{f'^2 + x^2} + f'}} \quad (4)$$

Расчеты значений $\Delta(x)$ для крайних положений считывающего пучка показывают, что цена интерференционной полосы на краю строки на 2,5% выше, чем в ее центре, причем из (4) видно, что $\Delta(x)$ в пределах строки изменяется нелинейно.

При оценке $\Delta(x)$ для реального объектива необходимо учитывать величину его остаточной дисторсии. Поскольку последняя из-за технологических погрешностей изготовления и сборки будет несколько отличаться от расчетной, то реальную характеристику конкретного исполнения оптической схемы необходимо определить экспериментально. Такие эксперименты выполнены в Смоленском СКТБ СПУ при исследовании конкретной реализации ЛУС. Методикой проведения эксперимента предусматривались считывание с помощью ЛУС изображения неподвижной штриховой меры и преобразование аналогового сигнала, полученного в результате ее сканирования, в цифровой сигнал в темпе сканирования с помощью аналого-цифрового преобразователя и синхронизирующих сигналов интерферометра; ввод цифрового сигнала в ЭВМ, расчет и распечатка координат делений штриховой меры; построение реальной зависимости. Характеристика ЛУС относительно центра сканирования, полученная в результате экспериментальных исследований, приведена на рис. 4.

Анализ этой характеристики показал, что значение $\Delta(x)$ на краях строки сканирования от ее значения в центре отличается на 2,2%, что достаточно хорошо совпадает с расчетным и указывает на то, что примененный фокусирующий объектив при используемом угловом поле имеет характеристики, близкие к идеальным. Вместе с тем погрешность, возникающая из-за нелинейности интерферометра, недопустимо велика для задачи ввода изображения проводящего рисунка печатной платы в ЭВМ. Учет этой нелинейности может быть выполнен, например, в ЭВМ по эмпирической формуле

$$\Delta_{\text{ср}}(x) = 0,0267 \{1 + 0,0144 [0,8(C1 - x)/150 - 0,2(1 - \exp^{-(C1-x)/150})]\},$$

где x — координата точки измерения на поверхности объекта контроля (мм); $\Delta_{\text{ср}}(x)$ — среднее значение шага измерения в зависимости от координаты на поверхности объекта контроля; $C1$ — константа, определяемая началом отсчета координат объектов измерения, которая характеризует конструктивные особенности ЛУС.

Другим вариантом учета этой нелинейности является определение реальных координат с помощью таблиц, представляющих итог кусочно-линейной аппроксимации зависимости $\Delta(x)$, полученной экспериментально.

Устройство для оптического считывания информации, выполненное по рассмотренной схеме, имеет следующие технические характеристики: размер линии оптического сканирования 320 мм; размер объекта контроля в направлении механического сканирования не более 300 мм; средняя разрешающая способность по направлению оптического сканирования 54 мкм; диаметр кружка рассеяния на поверхности печатной платы 50 ± 5 мкм; разрешающая способность по направлению механического сканирования 52 мкм; тип источника излучения интерферометра — гелий-неоновый лазер ЛГ 52—3; частота оптического сканирования не более 150 Гц; время переналадки ЛУС с одного типоразмера платы на другой 3 мин.

Средняя разрешающая способность ЛУС по направлению оптического сканирования определяется диаметром кружка рассеяния на поверхности объекта контроля и удвоенной ценой полосы интерферометра, что достигается электронными средствами обработки. Разрешающая способность ЛУС по направлению механического сканирования равна пяти шагам механизма перемещения, что обусловлено характеристикой пары винт — гайка, имеющей перемещение на один угловой шаг шагового двигателя, равное 10,417 мкм.

Время переналадки, не превышающее 3 мин, достигнуто за счет технических решений, принятых при разработке конструкции стола однокоординатного механизма перемещения. С целью сохранения технологической базы объект контроля устанавливается на этот стол на два фиксатора с помощью двух базовых технологических отверстий, выполняемых в технологической зоне заготовки платы. Один из фиксаторов неподвижен, второй может перемещаться по направляющим таким образом, что обеспечивается возможность установки платы с габаритными размерами от 100 до 300 мм. Печатная плата к поверхности стола прижимается двумя прижимными планками, перемещаемыми встречно с помощью одной рукоятки. Место установки одной из них определено положением неподвижного фиксатора, вторая планка может быть перемещена с определенной дискретностью (5 мм) с помощью сетки резьбовых отверстий, выполненных в столе. Переход от одного типоразмера к другому достигается установкой в нужное положение подвижного фиксатора и закреплением прижимной планки с помощью двух винтов.

Разработка лазерного устройства считывания изображений печатных плат выполнена Смоленским СКТБ СПУ при творческом сотрудничестве с кафедрой оптических приборов НИИГАиК и с лабораторией оптико-электронных систем СКБ НИИ СО АН СССР.

ЛУС введено в состав разработанного и изготовленного Смоленским СКТБ СПУ комплекса контроля печатных плат. Опытный образец комплекса внедрен в промышленную эксплуатацию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Легоноква В. А. Оптические средства операционного контроля функциональных узлов вычислительной техники // Измерения, контроль, автоматизация.— 1985.— № 4.
2. Эльфорд У. Д., Вандерно Р. Д., Залекас В. Лазерная растровая микроскопия // ТИИЭР.— 1982.— 70, № 6.
3. Бессмельцев В. П., Буринов В. Н., Вертопрахова Л. С. и др. Высокоразрешающий лазерный сканер с интерферометрическим контролем // Автометрия.— 1983.— № 2.
4. Итисин А. М., Хацевич Т. Н. Оптическая система лазерного регистратора изображения // Автометрия.— 1982.— № 2.
5. Ленкова Г. А. Анализ и сравнение угловых сканирующих интерферометров // Автометрия.— 1981.— № 1.

Поступила в редакцию 18 ноября 1987 г.