



Arlite — система автоматизации оптического контроля печатных плат

В статье описана отечественная программная система автоматизации визуального контроля фотошаблонов и печатных плат, базирующаяся на стандартной вычислительной технике — персональном компьютере и планшетном сканере для ввода контролируемых заготовок.

Александр Задорин,
К. т. н.
Галина Захарова,
К. т. н.

aplite@imach.uran.ru

Введение

Технология изготовления печатных плат включает ряд этапов механической и химической обработки заготовок, в ходе которых неизбежно появляются ошибки. Проблема контроля на заключительных этапах может решаться электрическими методами, а на предшествующих стадиях образцы подвергаются сплошному или выборочному визуальному контролю.

На отечественных предприятиях визуальный контроль в большинстве случаев не автоматизирован. АОI-системы (Automation Optical Inspection Systems), выпускаемые зарубежными фирмами, имеют очень высокую стоимость, поэтому у нас широко не распространены. В статье описывается альтернативное решение — программная система автоматизации визуального контроля фотошаблонов и печатных плат Arlite, базирующаяся на стандартной вычислительной технике — персональном компьютере и планшетном сканере для ввода контролируемых заготовок. Это позволяет удешевить аппаратное обеспече-

ние на 1–2 порядка по сравнению с «тяжелыми» системами и выбирать оптимальную конфигурацию для конкретного технологического процесса.

В ходе контроля обнаруживаются такие дефекты, как разрывы проводников, короткие замыкания, нарушения технологических допусков на минимальную ширину проводников и минимальное расстояние между проводниками, искажения масштаба (растяжение пленки фотошаблона) и другие. На рис. 1 показано рабочее окно программы с примером локализованного дефекта.

Основной метод контроля — сравнение с эталонным изображением путем автоматического совмещения двух картинок, в результате чего можно увидеть такие несоответствия, как недостающие или лишние элементы рисунка платы. Более тонкая диагностика выполняется автоматически алгоритмами контроля цепей, определяющими координаты дефектных участков. В качестве эталона может использоваться файл, полученный в САПР при разработке проверяемой платы, либо так называемая «золотая плата» — бездефектный образец готового изделия.

В последней версии системы появились средства автоматического восстановления топологии по rasterному сканированному изображению печатной платы. В получаемой векторной форме используются графические примитивы высокого уровня, такие как линия и контактная площадка, что позволяет не просто изготовить копию печатной платы, а еще и модифицировать ее обычными средствами CAD/CAM-систем.

Структура системы

Система Arlite 4.0 состоит из трех основных программных модулей (рис. 2): Arlite — собственно система контроля, PhiPlastic — редактор эталонов, Fama — редактор цветных наборов.

Система контроля Arlite считывает со сканера изображение образца, автоматически совмещает с эталоном и сравнивает его, после чего выдает на экран дефектную ведомость, которая содержит изображения образца и эталона и перечень обнаруженных дефектов. Специализированный интерфейс пользователя позволяет быстро изучить дефекты и передать наиболее существенные из них

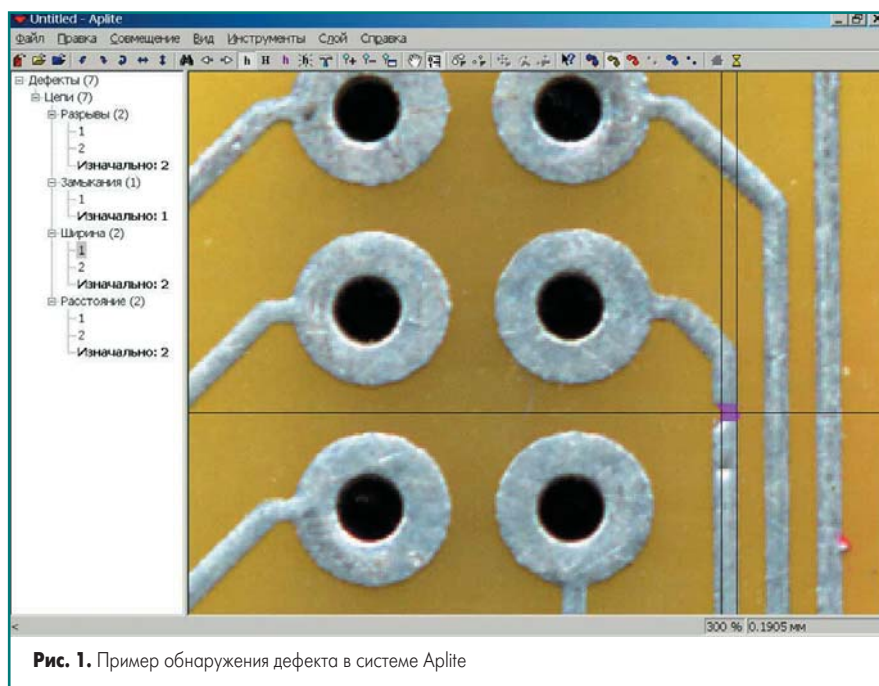


Рис. 1. Пример обнаружения дефекта в системе Arlite

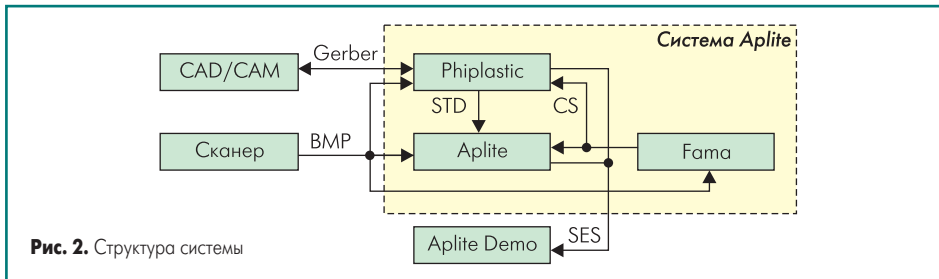


Рис. 2. Структура системы

на участок ремонта в формате SES. Свободно распространяемая демоверсия Aplite Demo позволяет просматривать эти файлы и направлять их не только на участок ремонта, но, при необходимости, и заказчику печатной платы.

Редактор эталонов Phiplastic осуществляет импорт и экспорт данных в формате Gerber RS-274-X, считывает со сканера изображение «золотой платы» и формирует эталон для контроля в специальном формате STD. Программа Phiplastic — это мощный векторный графический редактор с растровыми слоями. Она имеет ряд интеллектуальных функций, позволяющих, в частности, выполнять автоматическую векторизацию печатных плат.

Редактор цветových наборов Fama предназначен для настройки системы на цвета подложки и металлизации. В частности, можно работать с медью, олово-свинцовым покрытием, фоторезистом, с фотошаблонами любых цветов и другими материалами. Результаты цветовой настройки сохраняются в файлах специального формата CS для многократного использования на объектах с близкими цветовыми характеристиками.

Блок CAD/CAM на рис. 2 — это любая САПР или CAM-система, используемая для проектирования печатных плат и подготовки их к производству.

Решения

Программные модули скомпонованы в виде четырех решений в соответствии с выполняемыми функциями:

- Aplite Inspection — оптический контроль печатных плат и фотошаблонов;
- Aplite Color — бинаризация цветных изображений (перевод в черно-белые);
- Aplite Vector — векторизация печатных плат;
- Aplite Gold — контроль и полигональная векторизация «золотой платы».

Для контроля черно-белых фотошаблонов достаточно установить решение Inspection. Контроль цветных заготовок требует дополнительно решения Color. Восстановление электронного представления платы по ее сканированному изображению осуществляется решением Vector. Векторизация цветных образцов также требует Color. И наконец, решение Gold — это дополнительный модуль к Inspection и Vector, выполняющий автоматическую векторизацию «золотой платы» при помощи полигонов. Он позволяет, в частности, контролировать заготовки по бездефектному изделию.

В качестве примера приведем основные возможности решения Inspection:

- импорт данных из систем CAD/CAM в формате Gerber и создание эталона;
- задание допусков и областей контроля;
- сканирование шаблона;
- автоматическое совмещение шаблона с эталоном;
- автоматический поиск дефектов;
- создание электронной дефектной ведомости.

Первые два пункта выполняются в программе Phiplastic, остальные — в программе Aplite.

Совмещение

Подсистема автоматического совмещения изображений образца и эталона является одной из уникальных возможностей Aplite. Совмещение необходимо для обнаружения дефектов и их визуализации, а также для корректной векторизации.

Разработаны две модели совмещения — аналитическая и матричная.

В аналитической модели подвижен эталон. Модель позволяет сдвигать его по вертикали и горизонтали, поворачивать, изменять масштаб и применять косой сдвиг. Последние два параметра используются для компенсации геометрических искажений сканера и задаются однократно при установке сканера. Специально для этого разработана автоматическая процедура геометрической калибровки. Остальные параметры (сдвиги и поворот) отражают текущее положение платы на планшете сканера, и поэтому определяются для каждого образца перед поиском дефектов на нем. В системе Aplite реализован специальный алгоритм быстрого автоматического совмещения, определяющий сдвиги и поворот за приемлемое время.

Среди достоинств аналитической модели — высокое быстродействие и возможность обнаружения масштабных дефектов, таких как усадка пленки фотошаблона. Среди недостатков — повышенные требования к прижимному устройству, фиксирующему образец на планшете сканера. При использовании аналитической модели прижимные устройства должны устранять коробление материала платы и изгибы пленки фотошаблонов. Практика показала, что в большинстве случаев это возможно. Тем не менее, для повышения технологичности системы была разработана матричная модель совмещения.

В матричной модели подвижно изображение образца. На него накладывается квадратная сетка, в узлах которой определяются пары сдвигов, задающие вектор перемещения данной точки образца до соответствующей точки эталона. Сдвиги в пространстве между узлами вычисляются путем билинейной интерполяции. Таким образом две матрицы сдвигов задают две трехмерные поверхности, которые даже при значительном повороте образца имеют форму, близкую к плоскости. Число параметров модели переменное и определяется площадью образца и шагом сетки. Все это позволяет добиваться точного совмещения, даже если образец имеет значительные деформации (рис. 3).

Система Aplite позволяет использовать в качестве эталона «золотую плату» или фотошаблон. При работе в этом режиме и эталон, и образцы сканируются одним и тем же сканером, следовательно, подвергаются одинаковым геометрическим искажениям. Поэтому для точного совмещения с «золотой платой» достаточно определять только сдвиги и поворот.

Контроль

Второй важной составляющей решения Inspection является подсистема контроля, выполняющая автоматическое обнаружение дефектов.

Контроль имеет два применения: поиск дефектов, возникших в ходе изготовления пла-

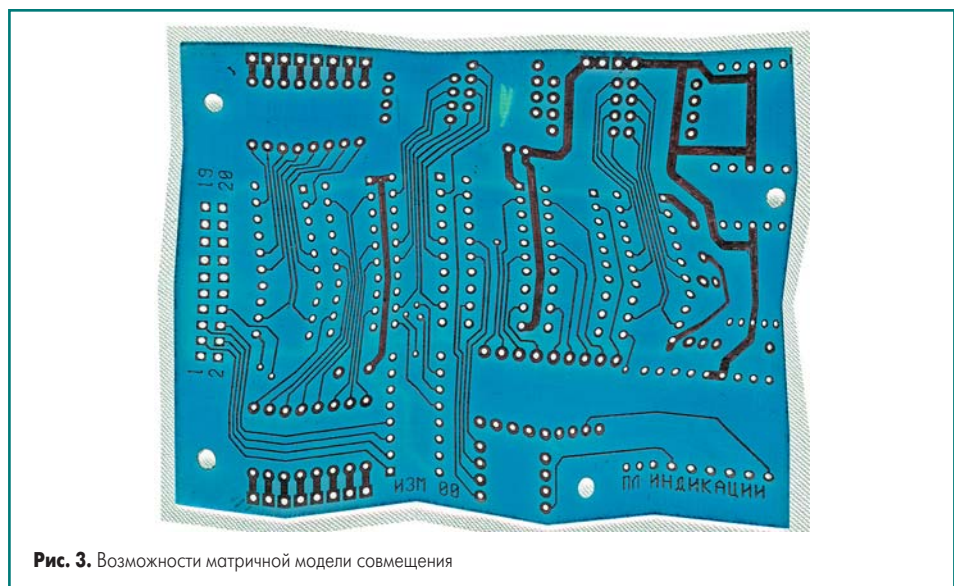


Рис. 3. Возможности матричной модели совмещения



ты или фотшаблона, и проверка результатов векторизации на соответствие оригиналу. В первом случае для контроля нужно создать эталонную графику, во втором — она уже создана (это результат векторизации).

Для создания эталона необходимо прежде всего получить графику, задающую топологический рисунок, контактные площадки и (необязательно) отверстия. В системе ArLite это может осуществляться двумя способами — импортом графики из CAD/CAM-системы в формате Gerber RS-274-X или полигонизацией «золотой платы». Полигонизация — перевод раstra шаблона в полигоны (многоугольники произвольной формы). Преимуществом импорта графики является полностью автоматический режим, дающий идеальное изображение, а полигонизация удобна тем, что эталонные файлы не требуются. Кроме того, при работе с «золотой платой» геометрические искажения на образце и эталоне взаимно компенсируются, так как образец и эталон проходят через один и тот же сканер.

Для каждого эталона в процессе его создания задаются допуски контроля. Допуски выполняют две функции — задают предельные отклонения для таких параметров, как ширина проводника и расстояние между проводниками (при нарушении допуска отклонение считается дефектом), а также позволяют включать/исключать определенные типы дефектов из контроля. Допуски, введенные ранее, можно импортировать в новые эталоны. В комплект поставки входит набор допусков по ГОСТ 32751-86 для каждого из пяти классов точности.

Допуски бывают трех типов: абсолютный в миллиметрах, относительный в миллиметрах и относительный в процентах. На рис. 4 показан способ задания допусков на минимальную ширину проводника.

Эталоны содержат специальные примитивы, которые называются «область контроля» и имеют форму прямоугольников. Каждый такой примитив либо разрешает, либо запрещает контроль на покрываемой им площади.

Для ускорения работы имеется команда «Автоконтроль», которая запускает сначала быстрое совмещение, потом контроль. Кроме того, в ArLite позволяет автоматического выполнения автоконтроля после сканирования очередного шаблона. В этом случае контролеру достаточно отсканиро-

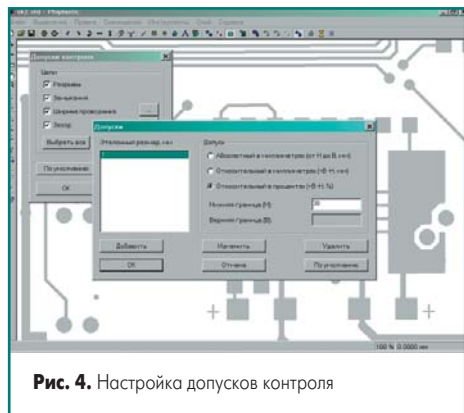


Рис. 4. Настройка допусков контроля

вать шаблон, после чего ему автоматически выдается перечень обнаруженных дефектов.

Когда дефекты обнаружены, их удобно просматривать по одному в увеличенном масштабе. Можно просто нажимать горячую клавишу, при этом окно просмотра автоматически устанавливается на дефект, и нарушение подсвечивается добавочной графикой поверх изображения активного слоя. Обычно дефекты просматривают на фоне слоя цветного шаблона. Но можно переключаться на любой другой слой, удобный в данной ситуации. Для повышения эргономичности в системе предусмотрено несколько режимов отображения дефектов.

Бинаризация

Решение Color — это система бинаризации цветных изображений (не только печатных плат). На рис. 5 показан результат бинаризации.

Процедура бинаризации состоит из двух этапов — настройки (обучения) системы по одному-двум образцам и автоматической бинаризации партии изделий. В ходе ручной настройки оператор указывает типичные цвета «белого» и «черного» кластеров, представляющих подложку и металлизацию соответственно, пользуясь при этом удобными наглядными инструментами. По этим данным формируется черно-белое изображение. Цвета, которые выбрал пользователь, записываются в специальный файл — цветовой набор, который загружается в программы ArLite и Phiplastic по мере необходимости.

Успех бинаризации определяется свойствами исходного изображения и выбором цветов. Fama имеет средства, позволяющие наглядно оценить и то и другое. Речь идет о представлении изображения в виде трехмерных диаграмм в пространстве RGB (рис. 6), которые доступны через соответствующие слои в программе.

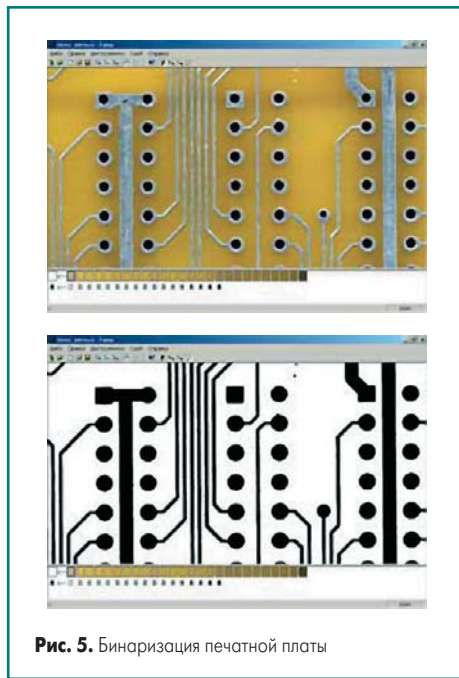


Рис. 5. Бинаризация печатной платы

Диаграмма изображения позволяет видеть распределение цветов в исходном изображении. Одновременно на экран выводится только часть цветов. Чтобы представить себе все распределение, можно изменить выборку точек нажатием соответствующей горячей клавиши. На рисунке представлено «хорошее» распределение, когда желто-коричневые цвета подложки отделены от серых цветов металлизации, что позволит удовлетворительно бинаризовать изображение. Если кластеры сильно пересекаются, это свидетельствует о неправильном выборе параметров сканирования. В таком случае нужно увеличить яркость и/или контраст.

Шумы и блики на изображениях приводят к тому, что отдельные пиксели или области бинаризуются неправильно. Чтобы избежать этого, в системе используется специальный фильтр. Для тонкого управления шириной проводников можно смещать порог бинаризации.

Векторизация

Решение Vector осуществляет перевод растрового сканированного изображения «золотой платы» в векторную форму с графическими примитивами типа проводник и контактная площадка (рис. 7).

Планшетные сканеры искажают форму объектов. Аналитическая модель совмещения, используемая в Vector, позволяет скомпенсировать эти искажения. Система имеет возможность геометрической калибровки под сканер пользователя.

Типичный сценарий работы при векторизации:

- сканирование «золотой платы»;
- автоматическая векторизация цепей в терминах линий и контактных площадок;
- автоматическая векторизация отверстий «золотой платы»;
- проверка и коррекция результатов с высокой степенью автоматизации;

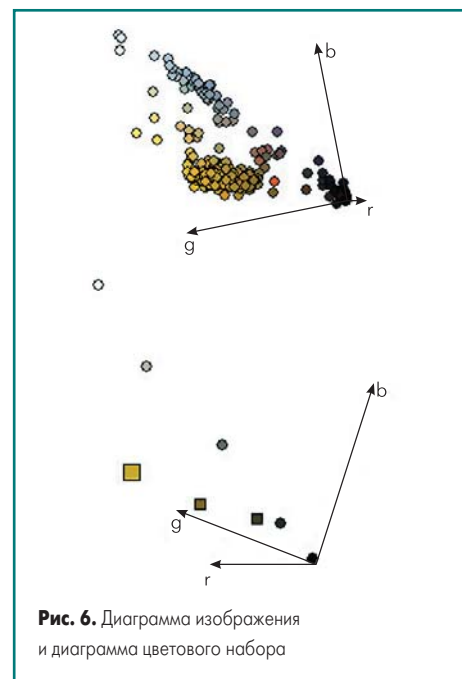


Рис. 6. Диаграмма изображения и диаграмма цветового набора

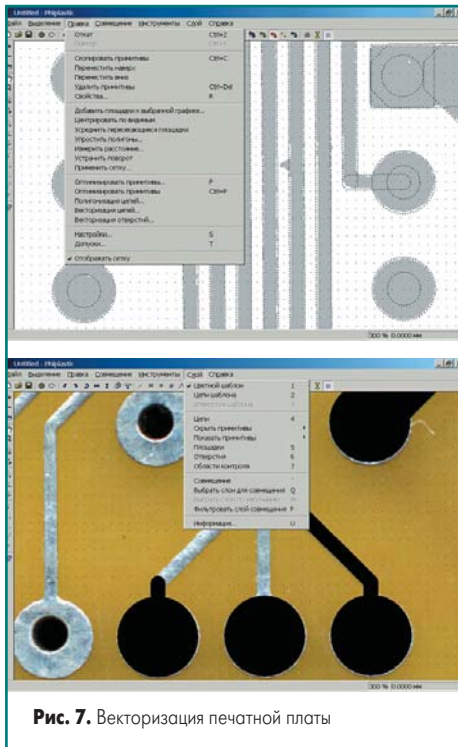


Рис. 7. Векторизация печатной платы

- редактирование списка апертур;
- устранение поворота платы в момент сканирования;
- задание точки начала координат и применение сеток к размерам и координатам примитивов;
- центрирование примитивов по другим примитивам;
- экспорт данных для производства или дополнительного редактирования.

Возможности Vector не исчерпываются перечисленными выше. Фактически весь арсенал имеющихся средств образует мощный векторный графический редактор с растровыми слоями.

Решения Inspection, Color и Gold расширяют возможности решения Vector. В частности, Inspection позволяет провести контроль нескольких «золотых плат» при помощи восстановленного эталона, что гарантирует топологическую эквивалентность оригинала и результатов векторизации.

Полигонизация

Решение Gold выполняет автоматическую идеальную векторизацию «золотой платы» при помощи полигонов. При взаимодействии с Inspection оно позволяет проводить контроль по «золотой плате» в соответствии со следующим сценарием:

- сканирование «золотой платы»;
- полигонизация;
- упрощение полигонов;
- сохранение эталона;
- контроль партии изделий.

При взаимодействии с Vector решение Gold позволяет выпускать в производство точное полигональное представление «золотой платы» или ее фрагментов, которые не описываются линиями и контактными площадками — например логотипа компании, нанесенного на печатную плату.

Ввод изображений

Стандартный планшетный сканер формата А4 или А3 является источником изображений. Проблемы, связанные с геометрическими и цветовыми искажениями планшетных сканеров, в системе Aplite решены.

Искажения масштаба возникают из-за несоответствия разрешения сканеров номинальному значению. Все сканеры имеют искажения масштаба. Уклон появляется как следствие износа подвижных элементов сканера, который приводит к нарушению перпендикулярности сканирующей линейки и оси ее перемещения. На новых сканерах уклона не бывает. Искажения масштаба и уклон компенсируются системой совмещения Aplite.

Изгиб и коробление материала платы, а также неплотный прижим пленки фотошаблона приводят к нелинейным локальным геометрическим искажениям. Для минимизации нелинейных геометрических искажений, возникающих вследствие коробления текстолита, плату нужно плотно и равномерно прижать к планшету.

Цветовые искажения проявляются как изменение цветов материалов от платы к плате, поэтому они существенны только при массовом контроле. При векторизации обрабатывается только одна плата, и неважно, подойдет ли текущая цветовая настройка для следующего изделия.

Цветовые искажения могут появиться вследствие изменения параметров сканирования (настроек в пользовательском интерфейсе сканера), изменения условий сканирования (солнце осветило сканер), изменения теплового режима сканера и других факторов. Система бинаризации справляется с цветовыми искажениями только до некоторой степени. Чтобы повысить качество бинаризации и избежать частой цветовой настройки, необходимо обеспечить постоянство параметров и условий сканирования, что достигается

соблюдением ряда простых инструкций, изложенных в документации.

Пленки фотошаблонов могут сканироваться в двух режимах — на просвет и в отраженном свете. Первый режим обеспечивает максимальное качество изображения. Если сканер имеет слайд-модуль достаточного формата, рекомендуется сканировать пленки на просвет.

Стандартные крышки сканеров не обеспечивают хороший прижим пленки к планшету. И в отраженном, и в прямом свете поверх пленки на планшет должно устанавливаться дополнительное стекло. Для этой цели подойдет любое стекло, имеющее размеры на 1 см меньше, чем планшет (рис. 8а,б).

В качестве рассеивателя удобно использовать матовую самоклеящуюся пленку белого цвета.

Обычно фотошаблоны сканируются в черно-белом режиме. Это избавляет пользователя от необходимости цветовой настройки и ускоряет передачу данных из сканера в компьютер. После включения черно-белого режима нужно подобрать порог бинаризации в настройках сканера. Обычно для этого приходится делать несколько пробных сканирований. При выборе порога нужно обращать внимание на адекватность ширины проводников и зазоров. Когда порог выбран, нужно сохранить настройки сканирования.

Статистика контроля

Aplite накапливает статистику о проведенных контрольных операциях. В настройках системы можно включать или выключать сбор статистики, менять каталог, в котором сохраняются данные, задавать период времени, по истечении которого статистика удаляется. Aplite сохраняет статистику в текстовых файлах в формате таблиц, которые можно открыть в Microsoft Excel.

Литература

1. www.imach.uran.ru/aplite
2. Задорин А. Ю., Захарова Г. Б. Система автоматизации оптического контроля фотошаблонов и печатных плат с использованием стандартного сканера // Гирскопия и навигация. 2001. № 1.
3. Задорин А. Ю., Захарова Г. Б. Система автоматизированного визуального контроля печатных плат Aplite // Chip News. Инженерная микроэлектроника. 2002. № 10 (73).

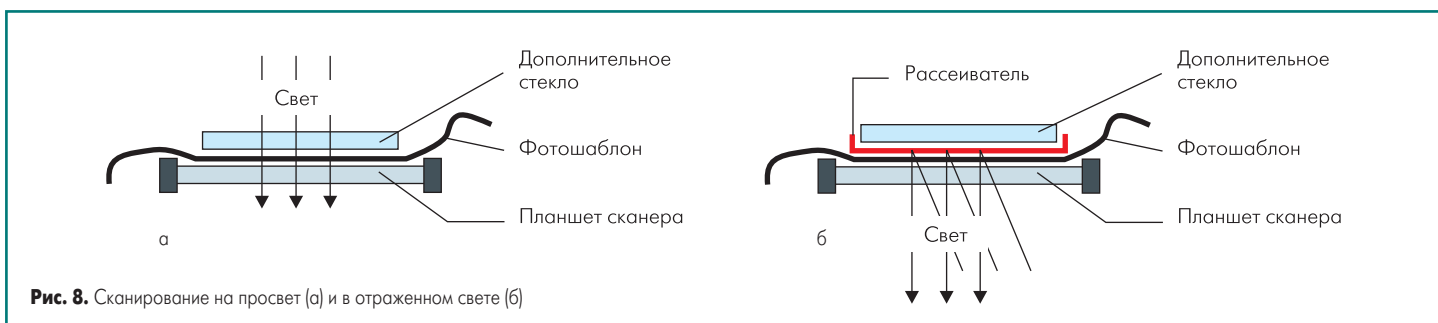


Рис. 8. Сканирование на просвет (а) и в отраженном свете (б)