

# Технология динамического формирования изображения — передовой подход к инспекции качества нанесения паяльной пасты

**В статье представлен обзор современных технологий, применяемых для инспекции качества нанесения паяльной пасты на контактные площадки печатной платы, и предложена технология динамического формирования изображения — решение, которое по ряду параметров является передовым в этой области. В рамках этой технологии производится измерение профиля поверхности отпечатка паяльной пасты, нанесенной на контактные площадки печатной платы. Метод основан на технологии получения интерференционной картины со сдвигом фаз при относительном перемещении объекта и системы формирования изображения, поэтому в процессе проведения инспекции отсутствует необходимость в стартопном режиме перемещения.**

**Алексей Курносенко**

akurnosenko@elinform.ru

**Александр Назаров**

nazarov@clever.ru

## Несколько слов о процессе трафаретной печати

Наиболее распространенный метод нанесения паяльной пасты на контактные площадки платы заключается в использовании устройств трафаретной печати. После загрузки платы в устройство производится точное совмещение платы и трафарета с помощью реперных знаков, а затем плата поднимается до уровня трафарета или же, в некоторых устройствах, трафарет опускается на поверхность платы. Паста выдавливается на трафарет, после чего перемещающийся по его поверхности ракель продавлиывает ее с определенным усилием в апертюры трафарета, в результате чего паста попадает на контактные площадки платы.

В некоторых современных устройствах трафаретной печати головка печати выдавливает пасту между двумя ракелями, один из которых во время очередного прохода перемещает валик паяльной пасты по трафарету и производит заполнение апертюр. При обработке следующей платы второй ракель перемещает валик пасты в обратном направлении. Чтобы обеспечить усилие, достаточное для продавливания пасты в апертюры, ракели обычно располагают под углом к плоскости трафарета. В ряде современных моделей трафаретных принтеров головка подает паяльную пасту под давлением, проталкивая тем самым ее в апертюры, а ракель во время своего прохода снимает с трафарета излишек пасты.

## Сравнение инспекции пасты и инспекции готовых паяных соединений

Вряд ли можно поспорить с утверждением, что ошибку легче предупредить, чем впоследствии ис-

правлять. Несомненно, это справедливо и для процесса пайки печатных плат. Хотя инспекция, как правило, выполняется на завершающем этапе сборочного процесса, в настоящее время многие производители приходят к пониманию, что с точки зрения затрат гораздо эффективнее заранее провести инспекцию качества нанесения паяльной пасты, чем впоследствии столкнуться с плохим качеством паяных соединений. Очевидно, что дефекты нанесения пасты можно устранить менее чем за пять минут, просто удалив паяльную пасту с платы и запустив процесс ее нанесения заново.

Окончательная инспекция готовых модулей на печатных платах обычно включает в себя комплексную проверку физической структуры сборки методами рентгеновского контроля, с помощью которого выявляются, например, такие дефекты, как «холодная» пайка, трещины и пустоты в паяном соединении и пр.

Качество паяльного соединения зависит от режимов пайки оплавлением, правильности установки компонентов и нанесения пасты. При условии правильного выполнения операций нанесения пасты и установки компонентов инспекция паяных соединений будет давать информацию, касающуюся, как правило, качества самого процесса пайки. На практике инспекция паяных соединений часто используется таким образом, что просто констатирует факт обнаружения дефектов без изучения причины и определения стадии, на которой эти дефекты возникают. Признавая важность инспекции паяных соединений в деле проверки целостности и надежности собранных модулей, следует отметить, что при высокой частоте появления дефектов ее функция будет сведена к простой отбраковке негодных модулей (рис. 1).

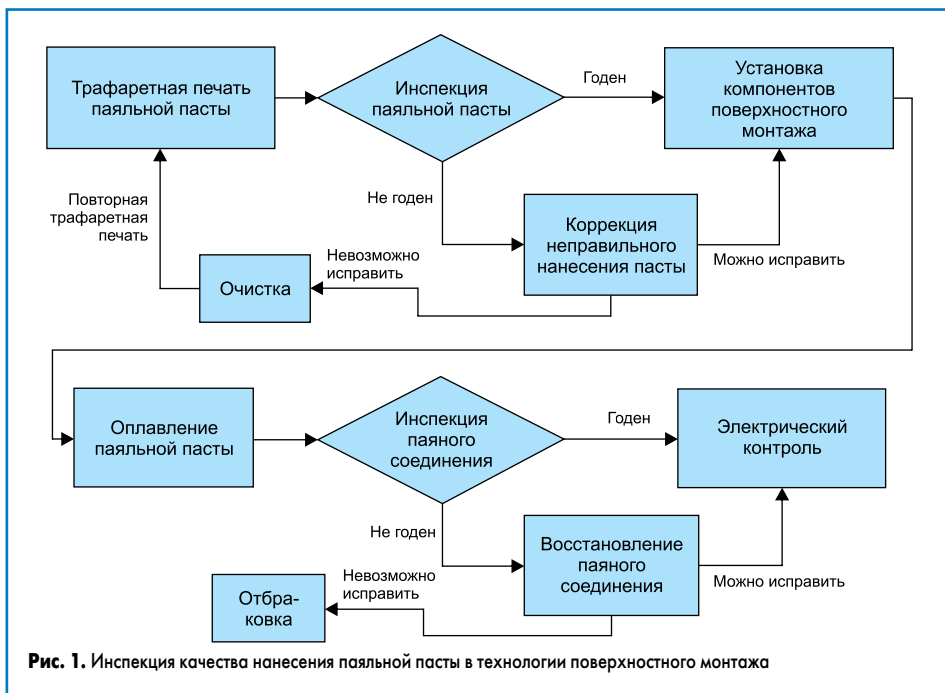


Рис. 1. Инспекция качества нанесения паяльной пасты в технологии поверхностного монтажа

**Оптическая инспекция качества нанесения пасты**

Если для проверки качества нанесения пасты применяется оптическая инспекция, то после того как паяльная паста нанесена на плату, оптическая система выполняет захват изображений областей платы с целью проверки точности размещения отпечатков пасты на контактных площадках. Для улучшения эффективности работы оптической системы, а также облегчения последующей обработки изображений необходимо непрерывно моделировать форму отпечатка паяльной пасты на плате, независимо от различий в геометрии, четкости границ или общего качества контролируемых отпечатков.

Хорошо структурированные отпечатки паяльной пасты обладают практически вертикальными боковыми гранями и сравнительно плоскими верхними поверхностями, перпендикулярными оптической оси обзора. (То есть эта ось в общем случае перпендикулярна печатной плате.). Изображения поверхности таких отпечатков, обладающих мелкозернистой структурой и ориентированных описанным выше образом, можно получить, применяя традиционный метод осевого освещения поверхности источником белого света. При осевом освещении наиболее сильные ком-

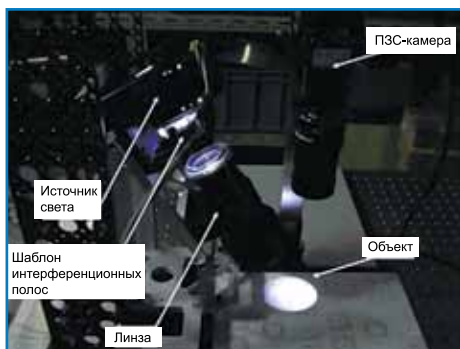


Рис. 2. Система формирования изображения для оптической инспекции паяльной пасты

поненты света, рассеивающегося на верхней поверхности отпечатка, отражаются обратно вдоль оптической оси обзора и собираются системой формирования изображения (рис. 2).

Если же осевое освещение падает на поверхность, в общем случае не перпендикулярную направлению падения луча, то наиболее сильные компоненты рассеянного на этой поверхности света будут отражаться в направлениях, не совпадающих с оптической осью обзора и, таким образом, не будут попадать в объектив системы формирования изображения. С использованием только осевого освещения особенно плохо подсвечиваются наклонные грани и неровные верхние поверхности плохо сформированных отпечатков пасты, вследствие чего провести их инспекцию.

**Принципы лазерного 3D-освещения для инспекции качества нанесения пасты**

При односторонней лазерной триангуляции на поверхность контролируемого объекта помещается пятно светового пучка, вырабатыва-

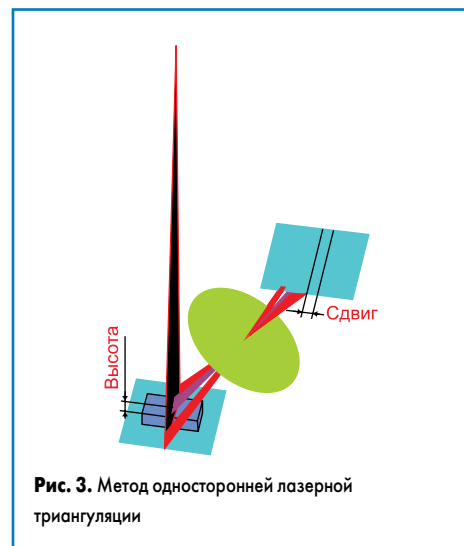


Рис. 3. Метод односторонней лазерной триангуляции

емого лазерным диодом. Отраженное лазерное излучение попадает в окно светочувствительной матрицы цифрового детектора. Высоту точки на объекте можно вычислить с помощью триангуляции. На практике вместо пятна на объект проецируется лазерное излучение в виде линии. В процессе перемещения проецирующего устройства вдоль объекта камера через равные промежутки времени захватывает несколько изображений, формируя их набор. Чем выше требуемое разрешение, тем больше изображений необходимо захватить, поэтому на проведение инспекции этим методом уходит много времени (рис. 3).

У метода односторонней лазерной триангуляции есть еще один недостаток — невозможность точного подсчета объема отпечатка вследствие использования единственного лазерного источника. Например, это происходит из-за эффекта затенения, когда рельеф отдельных областей контролируемого объекта перекрывает проникновение лазерного луча к другим областям. Вследствие этого в захватываемых камерой изображениях на концах отпечатка паяльной пасты, противоположных расположению лазера, появляются «слепые» участки — области затенения (рис. 4). Тем не менее, в отличие от точности, метод демонстрирует хорошую повторяемость и воспроизводимость результатов.

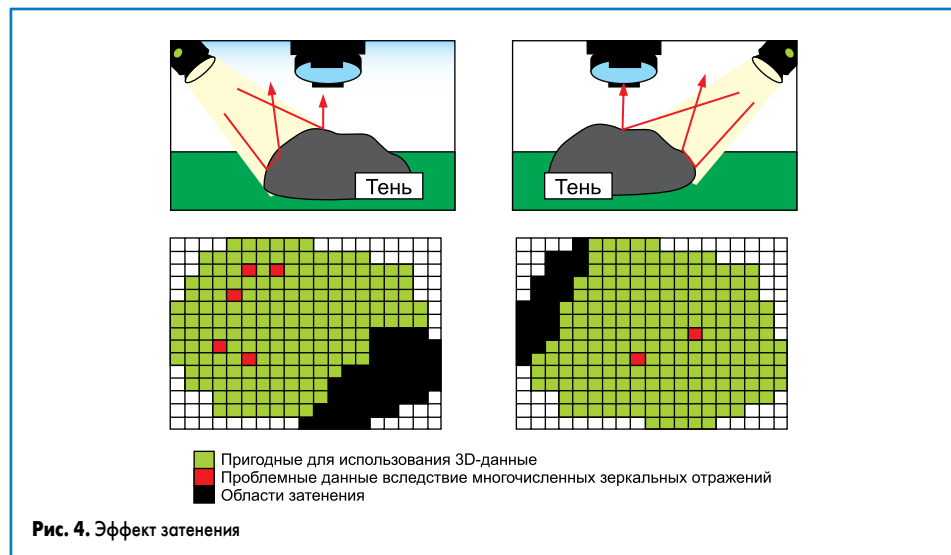
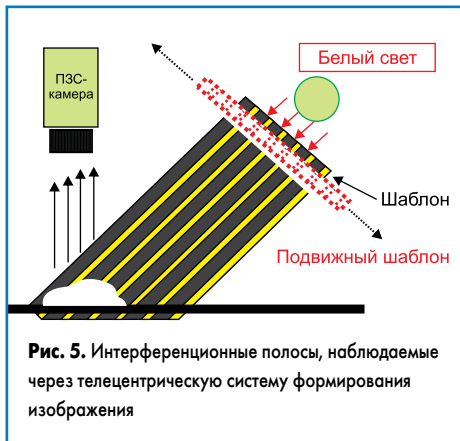


Рис. 4. Эффект затенения

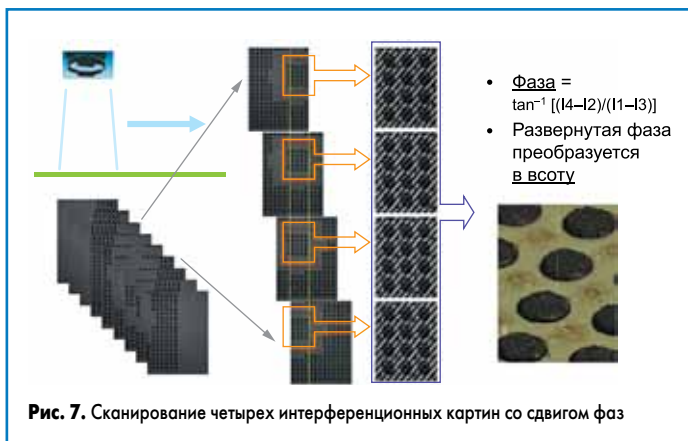
**Передовые решения компании TRI в области 3D-инспекции паяльной пасты**

Чтобы преодолеть описанные выше ограничения, компания TRI в своем оборудовании применяет новую технологию динамического формирования изображения. Она построена на принципе двойной проекции синусоидальных интерференционных шаблонов, после чего проводится обработка полученных интерференционных картин со сдвигом фаз. Применение этой технологии для инспекции паяльной пасты улучшает характеристики операции с точки зрения точности, скорости и поля обзора. Основное преимущество заключается в быстром проведении инспекции, так как платы с нанесенной пастой сканируются непрерывно, и в процессе инспекции отсутствует необходимость останавливать плату и снова начинать ее перемещение. Более высокая точность достигается благодаря алгоритмам автоматической компенсации разбросов высот в 3D-профилях паяльной пасты.

В рамках технологии динамического формирования изображения 3D-профиль паяльной пасты получается на базе реконструкции изображения интерференционной картины. Это изображение формируется в результате проецирования состоящего из полос шаблона на объект и обзора контуров полученных полос с другого направления. Высота поверхности объекта измеряется по отношению к эталонной поверхности — плоскости, на которой спроецированы интерференционные полосы являются прямыми и размещаются

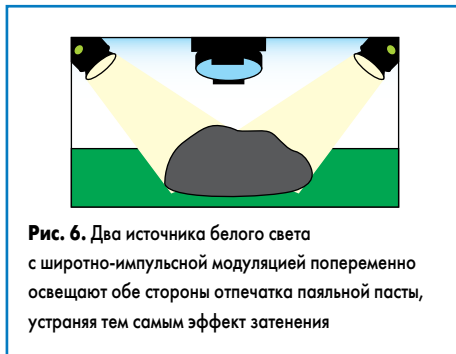
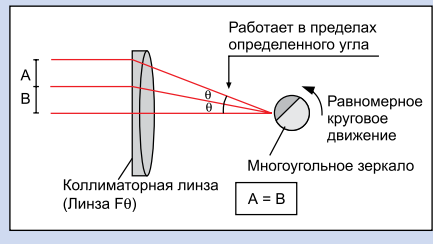


**Рис. 5.** Интерференционные полосы, наблюдаемые через телецентрическую систему формирования изображения



**Рис. 7.** Сканирование четырех интерференционных картин со сдвигом фаз

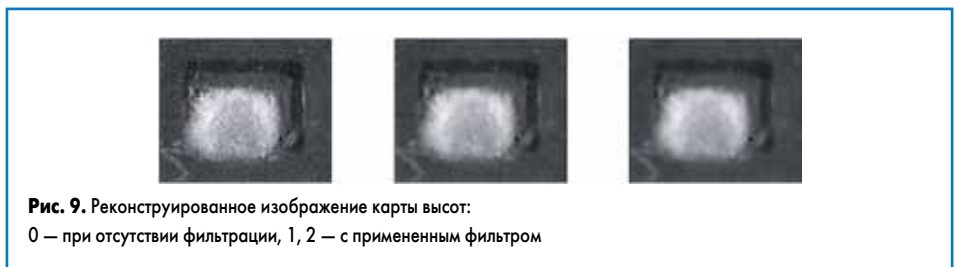
Телецентрическая линза позволяет измерить внешние размеры объекта на основании времени, в течение которого образуется тень вследствие внесения измеряемым объектом искажений в интерференционную картину.



**Рис. 6.** Два источника белого света с широтно-импульсной модуляцией попеременно освещают обе стороны отпечатка паяльной пасты, устраняя тем самым эффект затенения

на объекте с равным шагом при их наблюдении через телецентрическую (врезка) систему формирования изображения (рис. 5).

Компания TRI применяет двустороннее динамическое формирование изображения с 4–8 картинами сдвига фаз, когда платы сканируются с помощью проецирования синусоидальных шаблонов, освещаемых двумя источниками белого света. Структурированные шаблоны в виде полос проецируются на поверхность отпечатков пасты (рис. 6), при этом свет включается и выключается ритмично, то есть длительность периодов освещения и темноты одинакова. В процессе сканирования камера на каждом шаге перемещения



**Рис. 9.** Реконструированное изображение карты высот: 0 — при отсутствии фильтрации, 1, 2 — с примененным фильтром

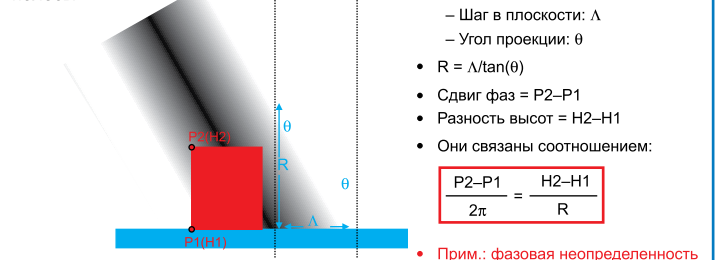
света захватывает изображения полос, деформированных на поверхности объекта.

В процессе формирования изображения создаются четыре фазовых карты, различия между которыми находятся в прямом соответствии с 3D-профилем поверхности объекта. По реконструированным изображениям определяются такие характеристики объекта, как высота, объем, площадь, совмещение с площадью, копланарность, диапазон максимальных высот и контуры поверхности (рис. 7).

Измеряются сдвиги фаз интерференционных полос между поверхностью объекта и эталонной поверхностью, что дает возможность точно определить профиль поверхности объекта. Интервал, или, другими словами, шаг полос вдоль оси Z (вне эталонной плоскости), вычисляется на основе шага полос вдоль оси X (в эталонной плоскости) и угла падения. Сдвиг фаз, шаг полос вдоль оси Z и разность высот между поверхностью объекта и эталонной плоскостью связаны соотношением, по которому можно определить высоту объекта. Интервалы между полосами вдоль оси X представляют собой случайные фазы, соответствующие высоте объекта (рис. 8).

На 3D-реконструкцию отпечатков паяльной пасты может оказывать влияние дисторсия линз и несовершенство проецирующей системы. Это может вызвать приращение фазы и неидеальные синусоидальные характеристики четырех сгенерированных картин. В результате поверхность реконструированных объектов может содержать неправильно сформированные участки, элементы небольшой амплитуды высокой частоты, либо носящие характер пиковых выбросов. Чтобы привести подобные неправильные реконструкции к нормальному виду, следует применить амплитудный сглаживающий фильтр, нормализующий различия в интенсивности множества опорных изображений в пределах каждого набора фаз (рис. 9).

Синусоидальные интерференционные полосы



**Рис. 8.** Картина синусоидальных интерференционных полос

- Определение:
  - Шаг вне плоскости: R
  - Шаг в плоскости: A
  - Угол проекции:  $\theta$
- $R = A/\tan(\theta)$
- Сдвиг фаз =  $P2-P1$
- Разность высот =  $H2-H1$
- Они связаны соотношением:

$$\frac{P2-P1}{2\pi} = \frac{H2-H1}{R}$$

• Прим.: фазовая неопределенность

## Модель TR7007 компании TRI



Рис. 10. Система 3D-инспекции качества нанесения пасты TR7007 от TRI

Представленная выше передовая технология обработки изображений, устраняющая эффекты затенения и обеспечивающая отличные результаты распознавания дефектов нанесения паяльной пасты, реализована в новой 64-битной системе 3D-инспекции качества нанесения пасты TR7007 компании TRI. Модель ориентирована на средне- и крупносерийное производство, ее производительность составляет 171 см<sup>2</sup>/с при разрешении 14 мкм и 87 см<sup>2</sup>/с при разрешении 10 мкм. В конструкции системы применен линейный двигатель и линейный энкодер, что обеспечивает более точное формирование изображений по сравнению с моделями, где в сочетании с линейным энкодером применяется шариковинтовой привод (рис. 10).

Система TR7007 способна захватывать изображения интерференционной картины при непрерывном перемещении шаблона интерференционных полос по объекту, поскольку стробоскопический источник света обеспечивает малую выдержку, и в результате изображения получаются практически статичными. Два источника структурированного белого света помогают получить стабильный 3D-профиль отпечатка и одновременно устраняют все затененные области, обеспечивая тем самым эффект, подобный применению двух камер. Камера модели TR7007 способна захватывать 200 кадров/с, по 100 кадров для каждой стороны соответственно.