

УДК 621.3.049.75

ИССЛЕДОВАНИЙ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОПЕРАЦИЙ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ПРЕЦИЗИОННЫХ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ. ЗАПОЛНЕННЫЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ОТВЕРСТИЯ

Игорь Юрьевич Балашов

*Студент 4 курса,
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Р.Ш. Тахаутдинов,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в
машиностроении»,
Московский государственный технический университет имени Н.Э.Баумана*

1. Введение. Тема данной работы очень актуальная именно сейчас, когда повышение уровня интеграции и степени трассировки стало замедляться, ввиду того, что практически достигнуты известные пределы минимизации компонентов, и менять теперь приходится не сами микросхемы, а принципы разработки и технологии производства печатных плат. За последние несколько лет было высказано множество мнений, опубликовано книг и зарегистрировано множество патентов в разных странах для решения этой проблемы. Одно из наиболее интересных решений состоит в том, чтобы делать переходные отверстия многослойных печатных плат внутри контактных площадок, так называемых *«viainpad»*. При этом отверстия по ряду причин должны быть заполненными – *«Fillingvias»*, и как раз вот здесь и встает *главный вопрос*, который и исследуется в данной работе, - «Как заполнить такие отверстия?».

Ниже *будут рассмотрены* наиболее перспективные и уже сейчас внедряемые в производство *технологии изготовления заполненных отверстий*, их преимущества и недостатки. Но более подробно будет исследован новый метод, предложенный русским инженером Павловым. В ходе данной работы *была выполнена разработка тестовой печатной платы*, содержащая более 120 сложных компонентов типа QFP или BGA, и содержащая общее количество тестируемых переходных отверстий более 26 тыс. штук. По результатам тестирования/испытания данной печатной платы уже можно будет судить о перспективах развития технологии Павлова – заполнения переходных микроотверстий.

2. Актуальность. Каждому технически подкованному человеку знакомо понятие печатной платы, и ее роль в современных технологиях.

«В начале XX века немецким инженером Альбертом Паркером Хансоном, занимавшимся разработками в области телефонии, было создано устройство, считающееся прототипом всех известных сегодня видов печатных плат. «Днем рождения» печатных плат считается 1902 год, когда изобретатель подал заявку в патентное ведомство родной страны. Печатная плата Хансена представляла собой штамповку или вырезание изображения на бронзовой (или медной) фольге. Получившийся проводящий слой наклеивался на диэлектрик – бумагу, пропитанную парафином. Уже тогда заботясь о большей плотности размещения проводников, Хансен наклеивал фольгу с двух сторон, создавая двустороннюю печатную плату. Изобретатель также использовал идущие насквозь печатной платы соединительные отверстия. В работах Хансена есть описания создания проводников при помощи гальваники или проводящих чернил, представляющих собой измельченный в порошок металл в смеси с клеящим носителем...»

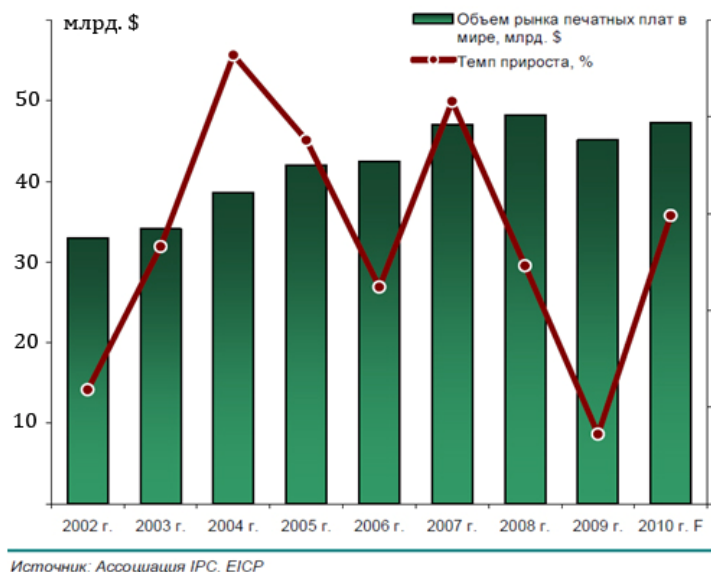


Рис. 1. Динамика мирового рынка печатных плат, млрд. \$

Прошло уже более сотни лет, но только теперь, за последние 20 лет, стало понятно, насколько значимое изобретение сделал Хансон. Сегодня ни одно конкурентоспособное промышленное, измерительное или бытовое оборудование невозможно представить без использования печатных плат.

Исследования «Российского Рынка печатных плат» ведущей аналитической компании России – «РосБизнесКонсалтинг», опубликованные в марте 2011 года, и которые сейчас оцениваются в 50 тыс. рублей, показывают, что за последний год оборот от мирового производства печатных плат вырос более чем на 6%, что составляет примерно 15 млрд. долларов, в денежном эквиваленте.

Ожидается, что этот рост с 2012 года станет ускоряться и вместо текущих ~300 млрд. \$, к 2015 году оборот от производства печатных плат достигнет более 500 млрд. \$. Основной эпицентр производства и развития печатных плат на 2010 год, конечно же, в Китае и Японии:

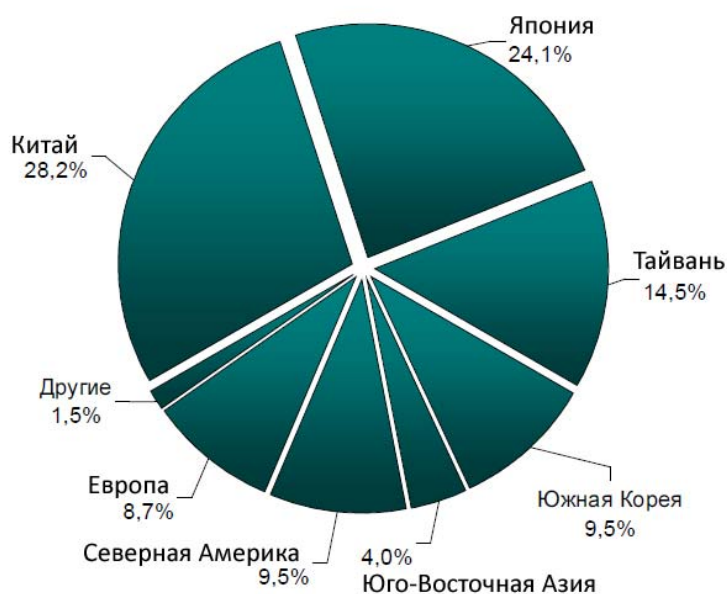


Рис. 2. Географическая структура мирового рынка печатных плат на 2010г.

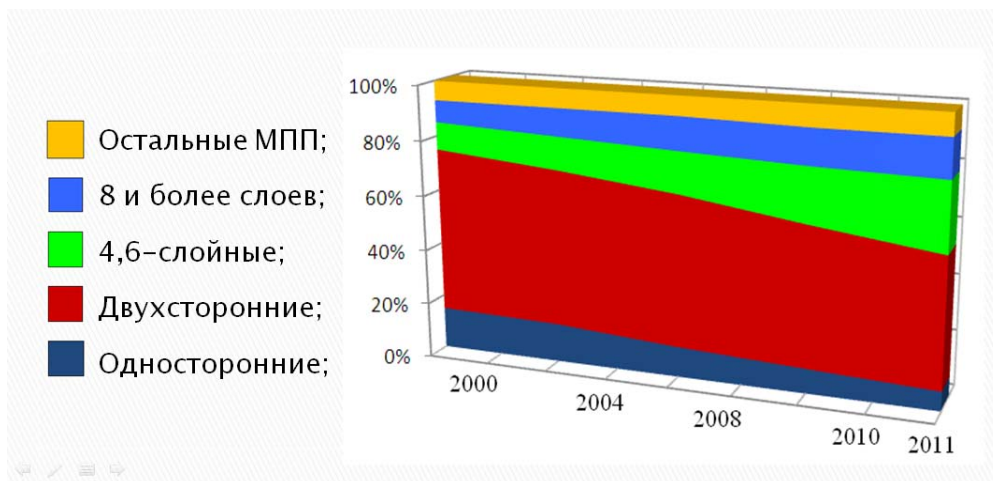


Рис. 3. Распределение объемов рынка печатных плат в России

Все это касается актуальности сферы производства ПП в целом и доказывает тот факт, что данное производство уверенно набирает обороты, и что данная отрасль весьма и весьма привлекательна, ее стоит развивать и что самое главное, в ней не стоит отставать.

Также интересен тот факт, что примерно 2/3 от всего дохода производства ПП, составляют доходы от многослойных печатных плат, в то время как объемы их производства составляют всего 25-30%.

Это объясняется высокой удельной стоимостью МПП, которая превышает удельную стоимость двухсторонних печатных плат в 2-3 раза.

Рост объемов производства МПП вполне понятен, причем не только с экономической точки зрения. С появлением на рынке хорошо зарекомендовавших себя компонентов с матричным расположением выводов, начали возникать определенные трудности с соединением таких компонентов с другими компонентами печатной платы.

Стандартный вид разводки такого типа компонентов представлен на рис.4. Для такого количества выводов возможна разводка на одной стороне ПП. Максимально сложный осуществимый вариант односторонней разводки представлен на обложке справочника по печатным платам, изображенным на рис.5. Подобного типа разводка осуществима, только если шаг между выводами компонента не менее 1 мм. Тем не менее, большее количество выводов расположенных внутри уже имеющихся на одной стороне развести не получится. Тогда как же быть в случае, если количество выводов будет зашкаливать за 1000? или расстояния между двумя контактными площадками будет хватать только для одного-двух проводников?

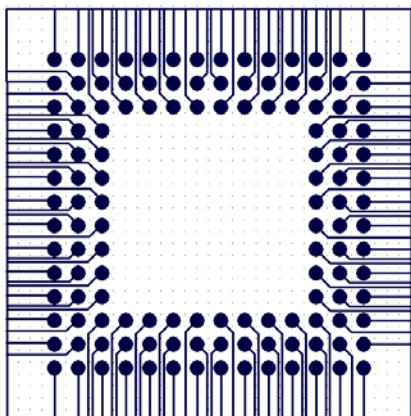


Рис. 4. Пример разводки BGA компонента со 161 выводами.

Рис. 5. Пример предельно возможной односторонней разводки BGA компонента



Ответ напрашивается сам: использовать дополнительные внутренние слои, а значит переходить к МПП – многослойным печатным платам. К примеру, для таких устройств как процессоры (рис. 6.), для трассировки требуется от 12 до 24(на 2009 год) слоев.

Итак, переход к МПП весьма закономерен, очевиден и актуален, остается доказать актуальность нашей конкретной темы – создания заполненных микроотверстий. Для того, чтобы доказать это, нужно рассмотреть сначала простые отверстия.

МПП состоит из множества слоев, большинство из которых представляют собой сложные электрические цепи. Для того, чтобы вся плата могла функционировать как единое устройство, необходимо соединить соответствующим образом все эти цепи между собой. Для этого служат как и в случае двухсторонней печатной платы, металлизированные отверстия. Технологии создания переходных отверстий очень важны, так как в большинстве своем именно они определяют качество, стоимость и всю технологию производства многослойной печатной платы.

3. Переход от отверстий к заполненным отверстиям

В случае многослойных печатных плат переходные отверстия бывают трех видов:

- Сквозные – «*throughhole*»;
- Глухие – «*blind vias*»;
- Скрытые (слепые) – «*buriedvias*».



Рис. 6. Пример компонента с матричным расположением выводов (кол-во выводов ~1600)

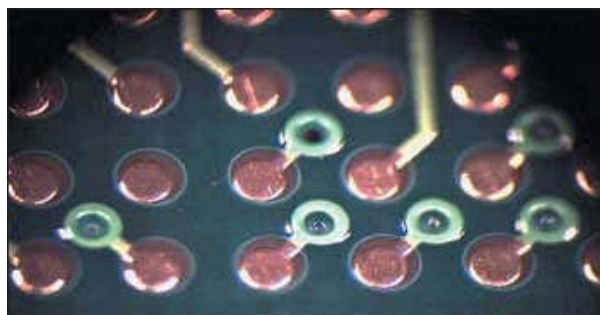


Рис. 7. Пример трассировки BGA компонента

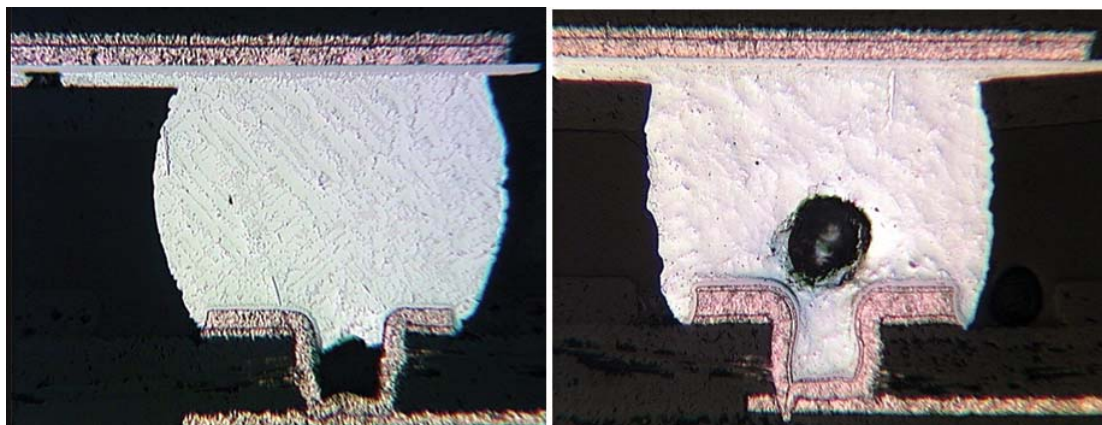


Рис. 8. Дефекты при пайке BGA компонентов
на контактные площадки с отверстиями

В данной работе будут рассмотрены в основном глухие (blind) отверстия, которые соединяют внешний слой с любым внутренним. Пример трассировки BGA компонента с помощью глухих переходных отверстий на внутренние слои, представлен на рис. 7. Как видно из этого рисунка, переходные отверстия отводят в сторону от самих контактных площадок, в результате чего снижается трассировочная способность, и как следствие, эффективность использования полезной площади ПП. Площадь, занимаемая переходным отверстием хоть и мала, но все же, в месте, где необходимо сделать такое отверстие уже будет невозможно провести проводник.

Несмотря на подобного рода недостатки, эта технология вполне успешно прижилась, и сейчас практически на любом производстве МПП используют именно эту технологию. Основная причина в том, что она обеспечивает трассировку BGA компонента с практически любым количеством выводов. Вопрос лишь в том, сколько слоев необходимо для этого. К примеру, для широко используемого компонента фирмы Xilinx XC2V4000 в корпусе BGA с 1225 выводами с шагом 1,27 мм требуется для трассировки более 8 слоев.

Здесь приходит вполне очевидная мысль: **«А почему не делать переходные отверстия прямо внутри контактных площадок?»**. И ведь действительно, если выполнить переходные отверстия внутри самих контактных площадок, то переходное отверстие не будет занимать полезной площади, и число слоев необходимых для трассировки того же компонента XC2V4000 уменьшится до 3-4 слоев. Резко возрастет трассировочная способность и эффективность использования полезной площади ПП.

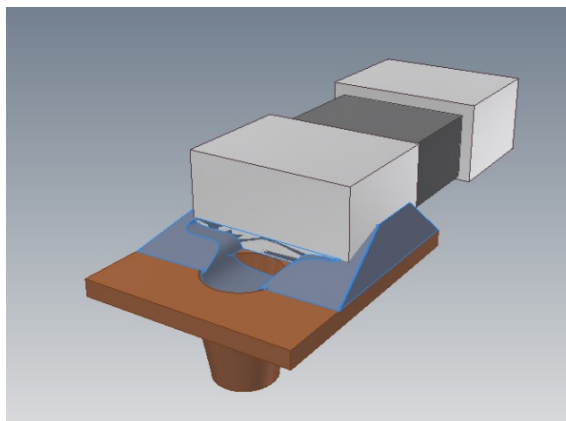


Рис. 9. Дефекты при пайке пассивных
элементов на примере резистора.
(модель выполнена в программе
Autodesk Inventor 2009)

Но здесь возникают следующие проблемы. Как оказалось, если выполнить переходные отверстия прямо внутри контактных площадок (так называемых «*via-in-pad*»), возникают недопустимые дефекты во время пайки самих компонентов. Причина этих дефектов состоит в том, что припой во время припаивания компонента стекает в отверстие либо происходит разрушение шариковых выводов BGA компонента. Сущность этого дефекта изображена на рис. 8-9.

Подобные дефекты приводят не только к механическому повреждению выводов или механическому ослаблению контакта, но также ухудшают электрические свойства контакта, что, впоследствии, скажется на функционировании всей платы. В худшем случае, контакта и вовсе может не произойти.

Следовательно, нужно не допустить стекания припоя в отверстие или разрушение выводов припаиваемых компонентов. Поэтому и необходимы *Fillingvias*, - заполненные отверстия.

4. Основные проблемы и характеристики заполненных отверстий

Заполнение отверстий можно осуществить различными способами, и с помощью различных материалов. В последнее время стали отдавать предпочтение специальным пастам, как проводящим так и не проводящим. При заполнении такими пастами огромную роль играет ее состав, поэтому производство самой такой пасты уже достаточно сложная задача. Производство пасты должно быть подвержено тщательному контролю.

В случае если в качестве материала-заполнителя выбрана специальная паста, то при заполнении могут возникнуть следующие проблемы:

- газовые включения внутри пасты;
- различие КТР пасты и основного материала платы;
- Слабая адгезия пасты, металлизации отверстия, фоторезистов, диэлектрических покрытий;

Есть так же способы, при которых заполнение происходит хорошо знакомыми материалами – медью (см. пункт 5.5.), или смолами. Главная проблема в случае заполнения отверстий этими материалами – недостаточность заполнения.

Основными характеристиками заполняемых отверстий, которые влияют на процессы и качество заполнения являются:

- диаметр отверстия, d ;
- соотношение сторон, d/l .

5. Технологии создания заполненных отверстий

После того как появилась необходимость создания *Fillingvias*, стали появляться различные разработки, патенты на технологии заполнения отверстий различными способами. Число их сейчас уже более 10, но в данной работе мы рассмотрим 5 основных технологий, которые либо уже внедрены, либо в настоящее время внедряются в производство и имеют ощутимые преимущества над остальными.

5.1. Заполнение через шаблон («Screenprinting»)

Данный метод используется для заполнения отверстий не проводящими материалами (non-conductivematerials).

Сущность метода:

Подготовка пакета слоев

плата, в которой необходимо выполнить заполненные отверстия фиксируется вместе с внешним доп. слоем, выступающим в роли шаблона

Механическое сверление

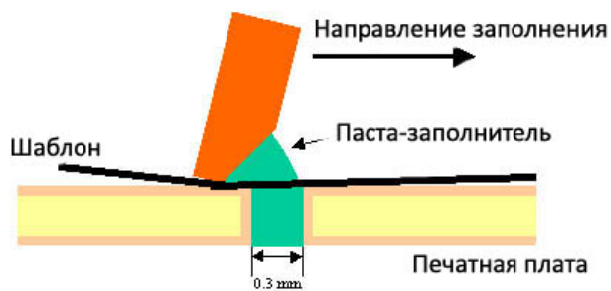
Стандартное выполнение операции сверления как и в случае незаполненных отверстий

Заполнение отверстий под давлением ракеля

На поверхность шаблона наносят пасту-заполнитель, и под воздействием ракеля продавливают пасту в отверстия

Снятие слоя-шаблона

Ниже представлены схема процесса и фотография производственного процесса заполнения отверстий данным способом.



Преимущества заполнения через шаблон:

- Отверстия, которые нет необходимости заполнять защищены шаблоном;
- Технологически простые и хорошо известные операции;
- Возможность проведения, как без помощи, так и с помощью специального оборудования;

Недостатки заполнения через шаблон:

- плохое качество заполнения, процент заполнения отверстия ~ 60-80%

Даже в случае применения специального оборудования результат заполнения будет выглядеть следующим образом:

- В случае маленьких отверстий с диаметром менее 300 мкм возникает сложность проникновения пасты внутрь отверстия и выхода воздуха из него;
- Шаблон необходим для каждого слоя заполняемых отверстий.
- Максимальное отношение d/h (aspectratio): 1/10.



Следует отметить, что подобным методом хоть и можно выполнить заполнение отверстий вручную, но необходимо помнить, что качество заполнения будет плачевным. Для сравнения заполнения данным способом отверстий вручную и с помощью специального оборудования на рис. 10 представлен рентгеновский снимок, на котором отчетливо видно образование пустот и неполноту заполнения отверстий пастой-заполнителем.

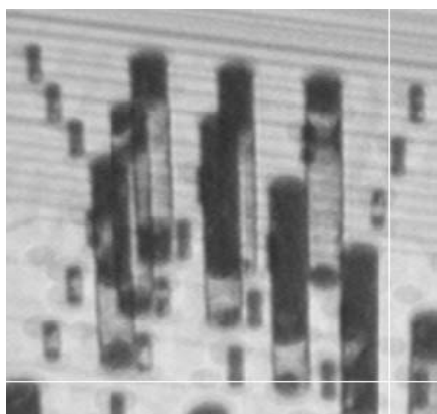


Рис. 10. Рентгеновский снимок:
Слева – результат ручного заполнения;
Справа – результат заполнения оборудованием.
Метод заполнения через шаблон

5.2. Роликовое заполнение («Rollercoating»)

Данный метод так же используется только для заполнения отверстий не проводящими материалами. Для этого метода уже создано довольно сложное оборудование. Эта технология была разработана в 1998 году в США, но еще до сих пор полностью не введена ни в одном предприятии как основное.

Сущность метода:

Установка ПП между валками

На край печатной платы фиксируют специальную пленку, посредством которой будет равномерно передаваться давление заполняющей пасты. После этого ПП устанавливается между валками.

Запрессовка пасты в отверстия

Между ПП и пленкой подают заполняющую пасту. Проходя между валками паста вдавливается в отверстия а излишки выравниваются по поверхности

Снятие Пленки и удаление излишков пасты

после снятия пленки ракелем с твердым наконечником снимают излишки пасты

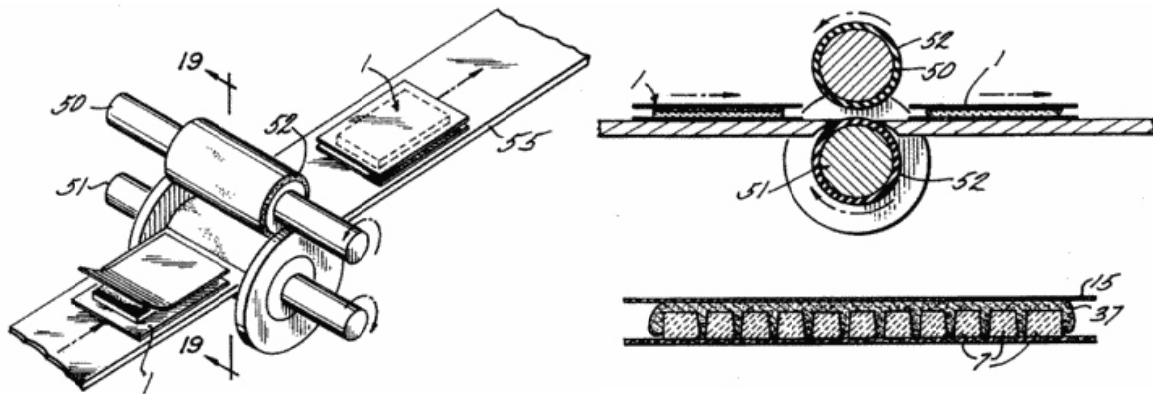


Рис. 11. Схема процесса:

1 - Установка ПП между валками, 2 - запрессовка пасты заполнителя в отверстия

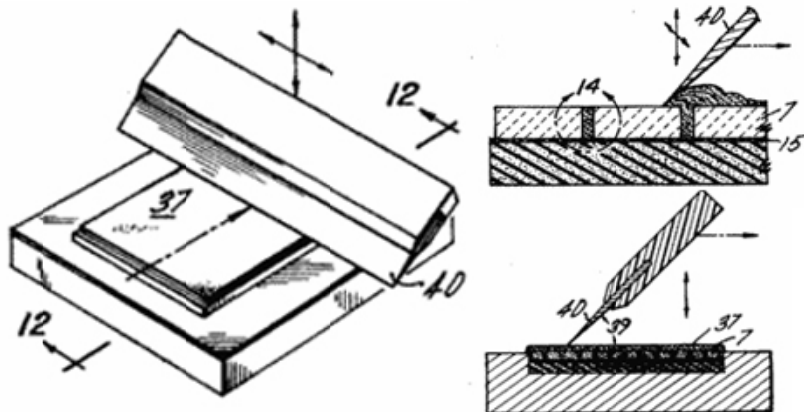


Рис. 12. Удаление излишек пасты с помощью ракеля с твердым наконечником

Преимущества метода роликового заполнения:

- Скорость заполнения отверстий (отверстия всей платы могут быть заполнены за 40...50 секунд);
- Не требуется шаблонов;
- Минимум контролируемых параметров процесса (Давление запрессовки – p , скорость вращения валков – n).

Недостатки метода роликового заполнения:

- Отверстия, которые нужно оставить незаполненными необходимо маскировать;
- Средний процент заполнения отверстия (~70...80%);
- Требуется приложить довольно большое усилие на ПП: 8...10 кг/см²
- Сильная зависимость всего процесса от состава и качества пасты;
- Необходимость специального оборудования.

5.3. Вакуумное заполнение («Vacuum Plugging»)

Данный метод незаменим, если необходимо заполнить отверстия с большим соотношением сторон. Для него необходимо специальное, довольно дорогостоящее оборудование, но качество заполнения отверстий оправдывает эту цену.

Сущность метода:



Установка платы в вертикальном положении связана с тем, что заполняемая паста должна обладать хорошей текучестью, и поэтому паста находится в практически жидком состоянии.

Немецкой фирмой MASS GmbH, уже разработана производственная версия установки вакуумного заполнения отверстий. Общий вид, и конструкция картриджа представлена на рис. 13.



Рис. 13. Слева - Общий вид немецкой установки «MASS GmbH Via-Hole Filling System», справа – картридж

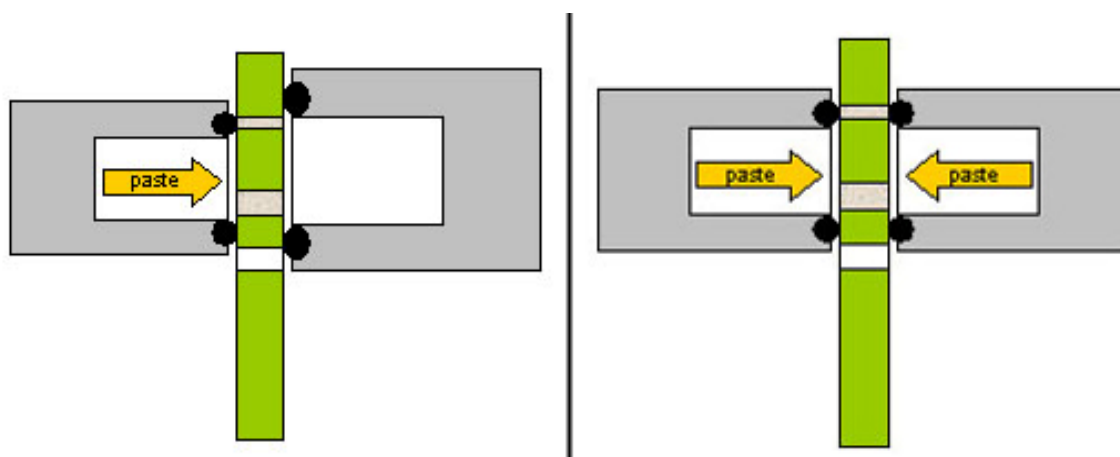


Рис. 14. Принципиальная схема заполнения отверстий вакуумным способом.
Справа показан случай при заполнении отверстий с большим соотношением сторон

Преимущества вакуумного заполнения:

- Качество заполнения отверстия: процент заполнения $>95\%$;
- Возможность управления процессом рядом параметров, для получения оптимального качества заполненного отверстия;
- ПП не подвергается механическому воздействию;
- Возможность повторногоперезаполнения отверстий;
- Заполнение отверстий с большим соотношением сторон;
- Заполнение как проводящим, так и не проводящим материалом.

Недостатки вакуумного заполнения:

- Необходимость специального оборудования;
- Рабочее время заполнения ~ 1 час;
- Отверстия, которые необходимо оставить незаполненными, должны быть маскированы;
- Сильная зависимость качества заполнения от этапа затвердевания

5.4. Вакуумно-шаблонное заполнение. («VacuumTableAssist»)

Этот метод является комбинацией методов заполнения через шаблон и вакуумного заполнения. Для этого метода так же уже разработано оборудование. Качество заполнения отверстий хоть и уступает вакуумному заполнению, но зато этот метод лишен некоторых важных недостатков из-за которых вакуумное нанесение часто считают нетехнологичным.

Сущность метода такая же, как и у метода заполнения через шаблон за исключением одного.

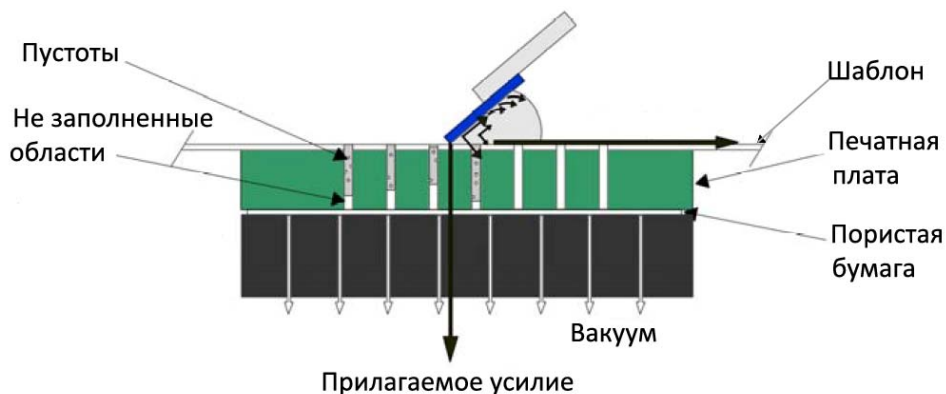


Рис. 15. Схема заполнения отверстий Вакуумно-шаблонным методом

Как видно из рис. 15, главное отличие этого метода от шаблонного заполнения в использовании предварительного вакуумирования отверстий перед заполнением. Это отличие устраняет один из главных недостатков многих методов – газовые включения в заполненном отверстии, о которых говорилось в пункте 4 данной работы. Следует отметить, что, как и в этом методе, так и в вакуумном заполнении отверстий, газовые включения («*airvoids*») в заполненных отверстиях все же есть, из-за содержащегося в пасте растворенного воздуха, таких же газовых включений внутри пасты, но их количество незначительно влияет на свойства заполненного отверстия.

На рис. 16 представлена принципиальная схема разработанной установки заполнения отверстий рассматриваемым методом.

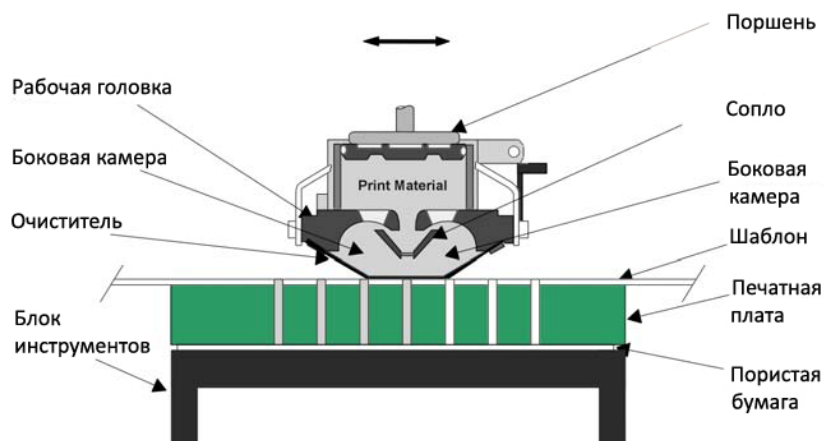


Рис. 16. Принципиальная схема установки шаблонно-вакуумного заполнения

Преимущества вакуумно-шаблонного заполнения:

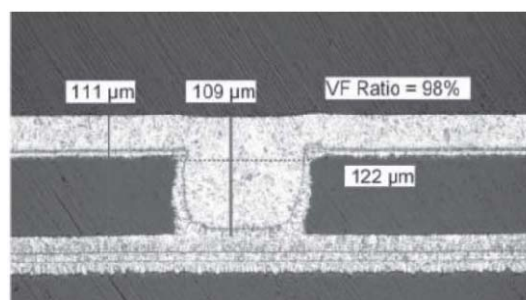
- Качество заполнения отверстия: процент заполнения 80...90%;
- Быстрое заполнение отверстий (производительность выше представленной установки 60 плат/ч.);

Недостатки вакуумно-шаблонного заполнения:

- Необходимость использования шаблона для каждого слоя заполняемых отверстий;
- Необходимость сложного технологического оборудования;
- сильная зависимость от качества и состава заполнителя.

5.5. Заполнение осаждением меди («Copperplatingfilling»)

Этот метод, наверное, единственный из всех, который уже в настоящее время внедрен в производство МПП требующих заполнения отверстий. По крайней мере, по данным 2010 года. Технология его хорошо изучена и создано много модификаций этого метода.



Все модификации метода можно разделить на два вида, с контролируемым электрохимическим осаждением меди и без управления химическим осаждением меди. Но тем не менее, сущность метода одна.

Сущность метода:

Подготовленные глухие («*blind*») отверстия выполняют, как правило, конусообразными, с углом наклона от 0 до 15°. Сам метод очень схож с популярной технологией создания микропереходов между двумя внутренними слоями МПП. С той лишь разницей, что эти отверстия во внешнем слое и их необходимо заполнить полностью.

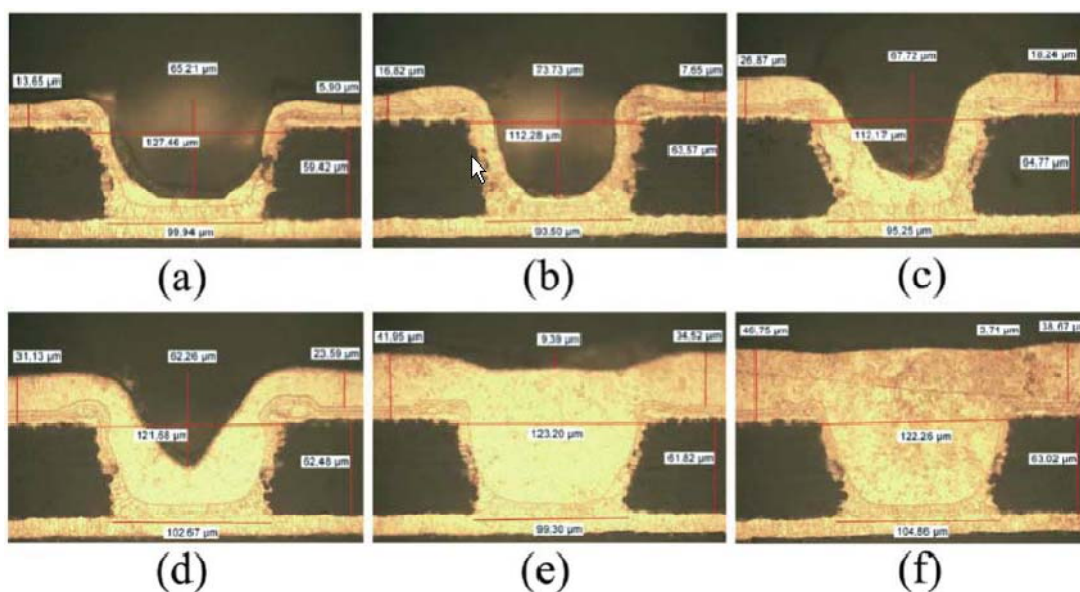


Рис. 17. Поперечное сечение отверстий после:
a -15; b -30; c - 45; d - 60; e -75; f- 90 минут

Заполнение происходит электрохимическим осаждением меди, на рис. 17 представлены стадии заполнения отверстия таким методом без контролирования процесса электрохимического осаждения меди.

Как видно из рис. 17, по мере заполнения отверстия растет так же и толщина медного слоя на поверхности. Это крайне нежелательный эффект, поэтому чтобы его избежать было разработано управляемое электрохимическое осаждение меди.

Управление электрохимическим осаждением меди довольно сложный физико-химический процесс, вдаваясь в подробности которого, можно написать немало книг. Поэтому в рамках данной работы рассматривать этот вопрос подробно не будем.

Преимущества заполнения отверстий осаждением меди:

- Качество заполнения отверстий: процент заполнения до 100%, зависит только от времени осаждения меди;
- Плата не подвергается механическому воздействию;

Недостатки заполнения отверстий осаждением меди:

- Длительное время заполнения (от 75...120 минут в зависимости от диаметра и длины отверстия);
- Заполнение отверстий с соотношением сторон ~ 1 ;
- Сложное физико-химическое управление процессом осаждения меди.

6. Заполнение отверстий методом вытеснения при прессовании

Все ранее рассмотренные решения были предложены за границей, иностранными компаниями, инженерами. И, конечно же, они уже далеко продвинулись в реализации представленных технологий. Для того чтобы не отстать и в этой гонке технологий, необходимо предложить свою технологию которая будет конкурентоспособной причем сделать это надо за ближайшее время.

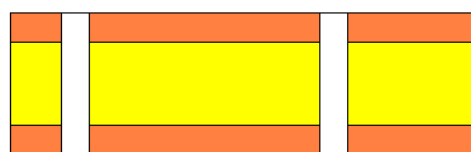
Ниже представлена технология, предложенная русским инженером Павловым. Не смотря на простоту метода, качество заполнения отверстий ожидается крайне высоким.

Сущность метода:

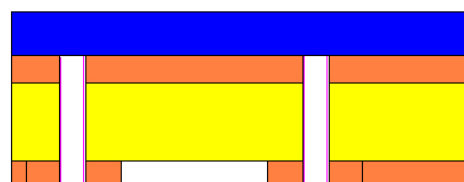
Заготовка представляет собой основание одного слоя ПП металлизированное с двух сторон как представлено на рисунке справа:



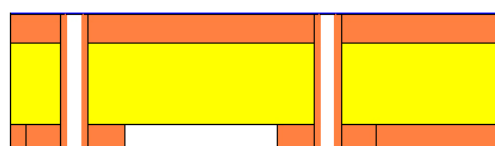
1. Сверление 1-го уровня, которые будут играть роль переходных отверстий с первого слоя на второй.



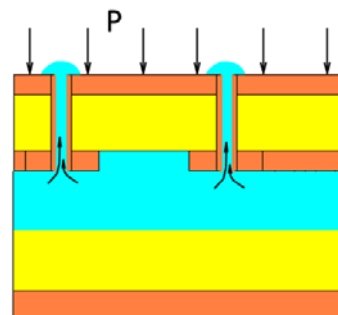
2. Химическое омеднение отверстий, нанесение фоторезиста (с обеих сторон), экспонирование, проявление – печать нижнего слоя, при защищенном полностью засвеченном верхнем слое.



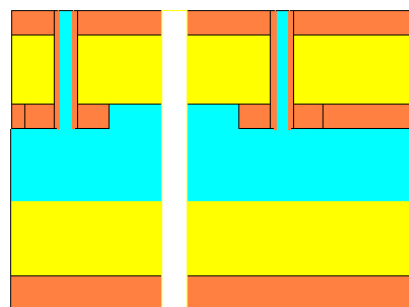
3. Гальваническое меднение отверстий, снятие слоя защиты.



4. Прессование промежуточного установочного слоя. На этом этапе под действием давления пресса склеивающий материал (препрег) переходит в текучее состояние (хорошо знакомая операция прессования) и вытесняется в подготовленные отверстия, вытесняя воздух изнутри и образуя заполненные отверстия по всей плате.



5. Удаление излишек вытесненной пасты, сверление отверстий второго уровня (т.е. с 1-го на 3-ий слой).



Далее повторяются этапы 1-4, до получения необходимого количества слоев.

Преимущества заполнения отверстий методом вытеснения при прессовании:

- Нет необходимости в специальном оборудовании: используется только широко используемое оборудование необходимое для производства МПП;

Это преимущество очень важно, поскольку благодаря этому внедрение в производство этой технологии может произойти в крайне сжатые сроки: не будет необходимости ни разрабатывать, ни покупать сложное дорогостоящее оборудование, обучать персонал управлению новыми установками или совершенно новыми технологическими операциями, переоборудовать уже имеющиеся автоматические линии производства печатных плат.

- Отсутствие погрешностей рассовмещения слоев многослойной печатной платы;

Каждый последующий внутренний слой МПП выполняется относительно первого, внешнего слоя.

- Высокое качество заполнения отверстий: процент заполнения >95%; При использовании уже набирающих сейчас популярность вакуумных прессов качество заполнения можно повысить более чем до 98% (по теоретическим оценкам);
- Заполнение отверстий сразу по всей плате, не зависимо от их количества;
- Скорость заполнения (отсутствие специальных дополнительных операций заполнения);
- Не нужно разрабатывать/изготавливать специальные пасты-заполнители;
- не нужно проектировать контактные площадки для отверстий на внешнем слое;

Недостатки заполнения отверстий методом вытеснения при прессовании:

- Заполнение только непроводящими материалами;
- Заполнение всех отверстий, нет возможности маскировать отверстия которые не нужно заполнять;

- Нет возможности создания переходных отверстий с одного внутреннего слоя на другой внутренний слой, приходится связываться все слои через первый;
- Нельзя делать отверстия одно над другим;
- При сравнении процесса изготовления МПП, не содержащей сложных технологических переходов (микروпереходы, слепые отверстия) – которые изготавливаются прессованием полного пакета слоев, создание МПП с заполненными отверстиями методом вытеснения при прессовании содержит большее число технологических операций;
- Усложняется процесс проектирования.

Следует отметить, что изменится методика расчета толщины межслойного склеивающего материала, так как надо учитывать выдавливаемый объем этого склеивающего межслойного материала в заполняемые отверстия (учитывая их количество), выход его в облой, в качестве удаляемых излишек.

7. Разработка тестовой печатной платы

7.1. Цели тестирования

Тестирование или иначе испытания разработанной печатной платы, будут проводиться с целью подтверждения надежности предлагаемой технологии заполнения отверстий, применимости ее на практике, и вследствие ее очевидных преимуществ над остальными методами, будущего внедрения рассматриваемого способа заполнения отверстий в производство.

Основной способ тестирования, которому будет подвержена печатная плата это ручной метод электрического контроля при внешних термических воздействиях – как высоких, так и низких температур.

7.2. Выбор компонентов

Выбор компонентов обусловлен тем, что основная цель использования заполненных отверстий в повышении степени интеграции, при использовании многовыводных с мелким шагом компонентов для производства прецизионных (HDI) ПП. Поэтому абсолютное большинство компонентов, использованных при проектировании – компоненты типа QFP и типа BGA с шагом выводов от 0.5 до 1.0 мм. Также на плате размещены отдельные цепи с пассивными компонентами: резисторы 0201, 0402 и 0603.

7.3. Особенности проектирования тестовой ПП

1. Проектирование отверстий внутри контактных площадок («*via-in-pad*»);
2. Размещение нескольких отверстий в пределах одной контактной площадки компонента;
3. Повышенная плотность размещения компонентов печатной платы, расстояние между компонентами – 3 мм.
4. Проектирование с учетом особенностей рассматриваемой технологии заполнения отверстий, в частности, невозможности создания отверстий друг над другом и использования переходов с одного внутреннего уровня на другой;
5. Количество отверстий малого диаметра (> 25 000 шт.);
6. Наличие ограничивающих технологических полей (из-за предусмотренных областей крепления платы и особенностей компонентов с матричным расположением выводов – предъявляемые требования плоскостности запрещают размещение BGA компонентов в областях наибольшего изгиба).

7.4. Методика трассировки компонентов для тестируемой печатной платы

В ходе разработки тестовой печатной платы необходимо было разработать методику трассировки компонентов, на основании алгоритмов трассировки крупных компаний производящих специальные тестовые печатные платы для исследований новых технологических приемов, внедряемых в то или иное производство.

Такимикомпаниямивляются: «*TopLine Corporation*» (США), «*Practical Components, Inc.*»(США).

Главное отличие разработанной в данной работе методики трассировки компонента от методик этих компаний в том, что трассировка происходит во внутренних слоях многослойной печатной платы, а не внутри компонента. Это связано в первую очередь с тем, что цель тестирования – проверка надежности соединения, надежность заполненных переходных отверстий, а не контроль монтажа самих компонентов.

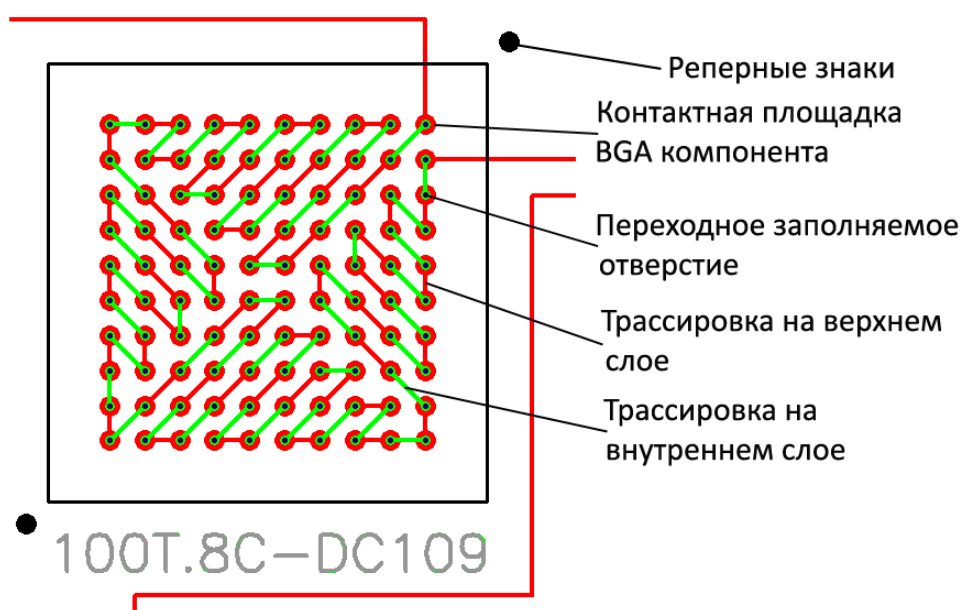


Рис. 18. Методика трассировки BGA компонента тестовой печатной платы

В разработанной печатной плате реализовано 5 тестовых цепей, выводы которых выведены для удобства в левый нижний угол. Со стороны с преимущественным большинством QFP компонентов, реализовано 2 цепи, а со стороны с преимущественным большинством BGA компонентов – 3 цепи.

7.5. Общие характеристики тестовой платы

- 5 класс точности:
 - Ширина печатного проводника: 0.1 мм;
 - Расстояние между соседними элементами проводящего рисунка: 0.1мм;
 - гарантированный поясок: 0.025 мм.
- 12 слоев;
- Габариты платы: 220x160 мм.

7.6. Общий вид спроектированной тестовой печатной платы

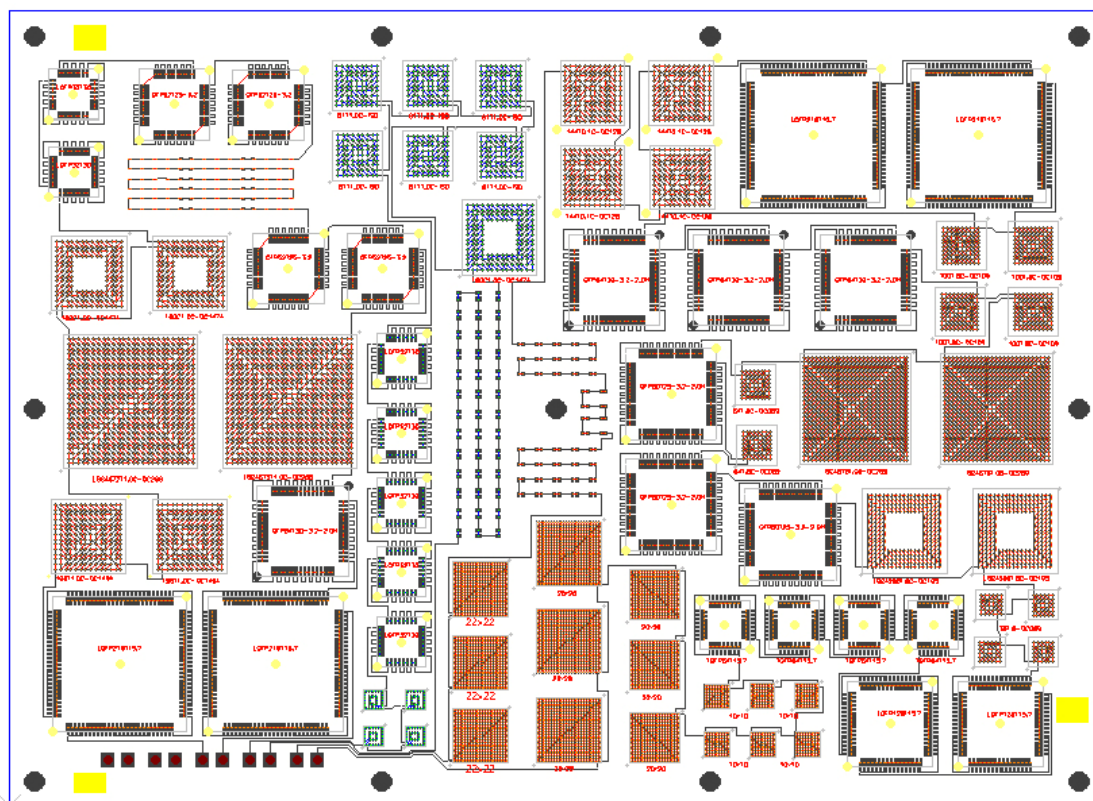


Рис. 19. Сторона тестовой печатной платы
с преимущественным большинством BGA компонентов

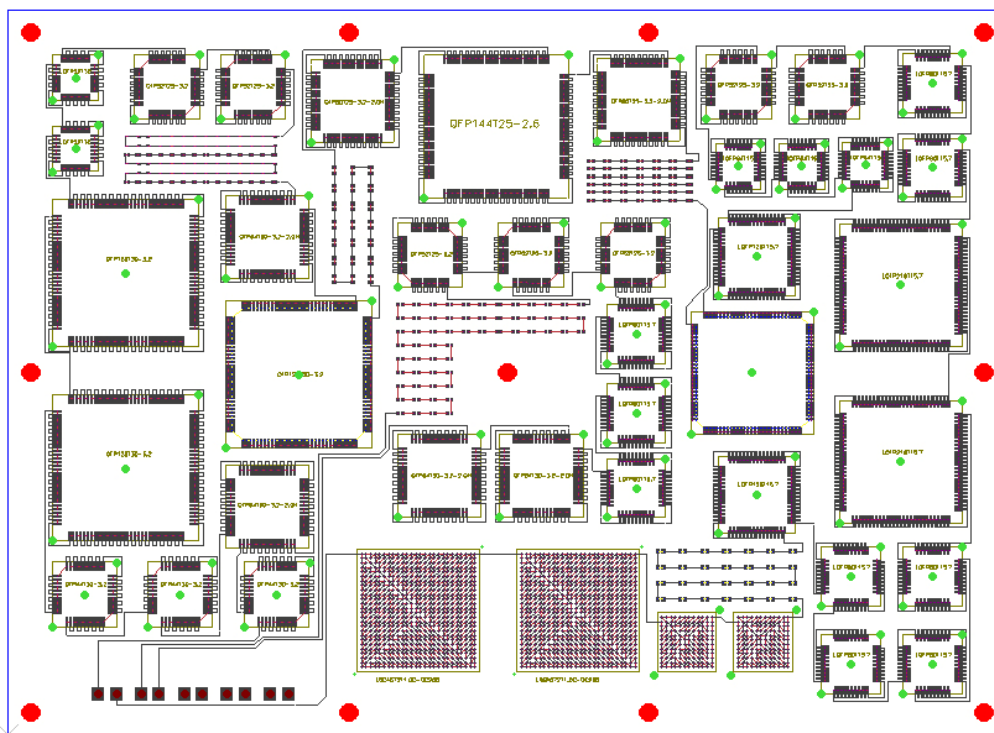


Рис. 20. Сторона тестовой печатной платы
с преимущественным большинством QFP компонентов

8. Прогнозы и ожидаемые результаты тестирования

В случае положительных результатов тестирования разработанной печатной платы, можно будет сделать вывод о надежности создания заполненных переходных отверстий, выполненным новым методом, предлагаемым в данной работе.

Сверление отверстий малого диаметра для данной печатной платы является наиболее сложным, длительным и влияющим на работоспособность всей платы процессом. Длительность этого этапа при ориентировочной скорости сверления 2 отв./с, составляет ~3,5 часа. Напомним, диаметр этих отверстий 0.1 мм. Ожидается большой износ, и возможно поломка инструмента в процессе сверления, поэтому необходим тщательный контроль над проведением этого этапа.

Дальнейшее развитие рассматриваемой в данной работе новой технологии, будет заключаться в разработке методик конструирования печатных плат с заполняемыми отверстиями методом вытеснения при прессовании, поскольку при проектировании таких плат необходимо несколько изменить порядок мыслей инженера-разработчика, ввиду особенностей, рассмотренных в пункте 7.

Для производственной реализации данной технологии нет необходимости в разработке нового оборудования, но все же необходимо разработать программное обеспечение, с помощью которого на автоматических линиях будет возможно управлять процессом производства многослойных печатных плат по этой технологии. Также должны быть адаптированы расчеты толщин межслойных расстояний клеящего материала, о чем уже упоминалось в конце пункта 6.

Если делать более далекий прогноз, то ввиду того, что данный метод обладает чрезмерной гибкостью, легкостью и простотой внедрения в существующие производственные линии, дешевизной и в то же время качеством получаемых заполненных отверстий, он будет довольно быстро внедрен во многих российских и наверняка иностранных предприятиях по производству печатных плат. Станет практически основным методом создания заполненных отверстий.

В случае отрицательных результатов теста, необходимо будет в первую очередь проверить качество сверления и правильность проектирования самой тестовой печатной платы.

9. Заключение

Преимущества заполненных отверстий очевидны и использование их в производстве многослойных печатных плат растет год от года. Благодаря заполненным отверстиям повышается эффективность использования полезной площади, повышается коэффициент трассировки и отпадает необходимость создания большого числа слоев для трассировки многовыводных матричных компонентов с мелким шагом (количество требуемых внутренних слоев для трассировки уменьшается в 2...3 раза).

За последнее десятилетие разработка технологий заполнения отверстий стала настоящей гонимой в области производства печатных плат. И конечно же все наработки иностранных компаний в этой области уводит их далеко вперед, но благодаря рассматриваемой в данной работе технологии все методы, которые были предложены до этого останутся позади, ввиду его очевидных преимуществ над остальными.

Сравнительный анализ рассмотренных в данной работе технологий заполнения переходных отверстий представлен в табл. 1.

Табл. 1. Сравнительный анализ технологий заполнения отверстий

Сравниваемая технология Характеристика	Шаблонное заполнение 5.1.	Роликовое заполнен. 5.2.	Вакуумное заполнен. 5.3.	Вакуумно- шаблонное 5.4.	Осажде- нием меди 5.5.	Вытеснением 6.
Качество заполнения отверстий, %	60-80	70-80	>95	80...90	>95	>95
Отсутствие необходимости в спец. оборудовании	+	-	-	-	+	+
Производительность, слоев/час	10...20	20...30	1...2	40...60	0.5	2...4
Заполнение отверстий с большим соотношением сторон	-	-	+	+/-	-	+
Заполнение отверстий с $d < 150$ мкм	-	+/-	+	+	+	+
Отсутствие межслойных расслоений	-	-	-	-	+/-	+

Литература

1. «РосБизнесКонсалтинг» - Аналитический обзор «Российский рынок печатных плат». Москва, 2011г.
2. Тахаутдинов Р.Ш. – «Многослойные печатные платы. Первые шаги в освоении операции прессования». Журнал, «Технологии в электронной промышленности» №3, 2010г.
3. Michael Carano, Electromechanicals Inc., Minnesota – «Via Hole Filling Technology for High Density, High Aspect Ratio Printed Wiring Boards Using a High Tg, low CTE Plugging Paste», 2007 г.
4. Michael O'Hanlon, DEK Printing Machines, Flemington - «Process for Plugging Low to High Aspect Ratio Through-Holes with Polymer Thick Film Conductive Ink in Production Volumes», 2004 г.
5. Adam Singer, Guillermo Echeverria, Prashant Chouta, Eric Stafstrom, A. James McLenaghan, Cookson Electronics, Foxboro - «The Effect of via-in-pad via-fill on solder joint void formation», 2003 г.
6. John Steinar-Johnsen - «Filled, Plugged, Plated Via-In-Pad», 2010г.
7. IPC-4761 - «Design guide for protection of Printed board, Via structures», 2006 г.
8. Practical Components - «Boards and Kits Practical Dummy Components Catalog», 2004 г.
9. Пивненко В. - «Реперные знаки как неотъемлемый элемент успешного дизайна печатных плат», 2007 г.
10. Лузин С., Петросян Г., Полубасов О. - «Проблемы трассировки печатных плат с BGA-компонентами», ChipNews 2008 г.
11. Потапов Ю. Проектируем платы с BGA-компонентами, EDAExpert, 2002г.
12. Прилипко К. – «Проектирование многослойных печатных плат высокой плотности», 2009г.
13. Patent application title: «METHOD OF FILLING VIAS WITH FUSIBLE METAL», Jaroslaw A. Magera (Palatine, IL, US) Bruce C. Deemer (Crystal Lake, IL, US) , Publication date: 09/03/2009.
14. Franklin; Mark Andrew, Jabbour; Georgina Marie, Baker; James Carl, «System and method for filling vias» Patent № 7781311, 2006 г.