

Встроенные активные компоненты

Новая технология компании Würth Elektronik

Углубления в печатных платах, изготовленные по уже устоявшейся технологии Microvia при помощи лазера, дают уникальную возможность присоединять и монтировать электронные компоненты на глубоко расположенных слоях с точностью, которой было невозможно добиться раньше. Одним из решающих отличий по сравнению с предпочитаемыми классическими решениями является разводка прямо на слое присоединения компонента. При помощи новой комбинации структурированных полостей, изготовленных лазером, и современной технологии монтажа Flip-Chip стала возможной установка встроенных активных компонентов (Embedded Active Devices) на расположенные внутри слои с соединениями высокой плотности (HDI-Multilayer). Новая технология сверхвысокой плотности соединений уже используется в серийном производстве.

Роланд Шёнхольц
(Roland Schönholz)

roland.schoenholz@we-online.de

Перевод: Андрей Новиков

andrej.novikov@uni-rostock.de

История изготовления печатных плат, как и многие другие технические разработки, протекает не равномерно, а скачкообразно. Новые требования часто приводят к быстрому улучшению разработок и технологий. А давно применяемые методы, которые не могут быть приспособлены к меняющимся требованиям рынка, устаревают.

Подобное произошло и в истории процесса изготовления печатных плат: в связи с внедрением новой технологии встроенных активных компонентов (Embedded Active Devices) (рис. 1). Паяльная маска становится препятствием на пути дальнейшего развития технологии высокой плотности соединений, что мешает процессу приспособления ко все более жестким требованиям рынка к миниатюризации электронных модулей. Это в свою очередь способствует поиску новых решений.

Одним из выходов была бы экспозиция паяльной маски методом прямого лазерного формирования изображений (Laser Direct Imaging, LDI) для получения более мелких структур. Однако по всем прогнозам в ближайшем будущем на рынке не появится

такая паяльная маска, которую можно было бы использовать при технологии LDI в условиях серийного производства. Из чего следует, что в конце производственного процесса все также будет необходимо осуществлять экспозицию паяльной маски с помощью традиционного теневого шаблона со всеми известными последующими недостатками. Шаблоны всегда конструируются в соответствии со средним значением отклонения в определенной серии изделий. Поэтому сложно учесть предельные значения и допустимые отклонения. Для компонента BGA с шагом 500 мкм допустимое отклонение в совмещении составляет ± 30 мкм, что соответствует состоянию общепринятой технологии экспозиции на данный момент.

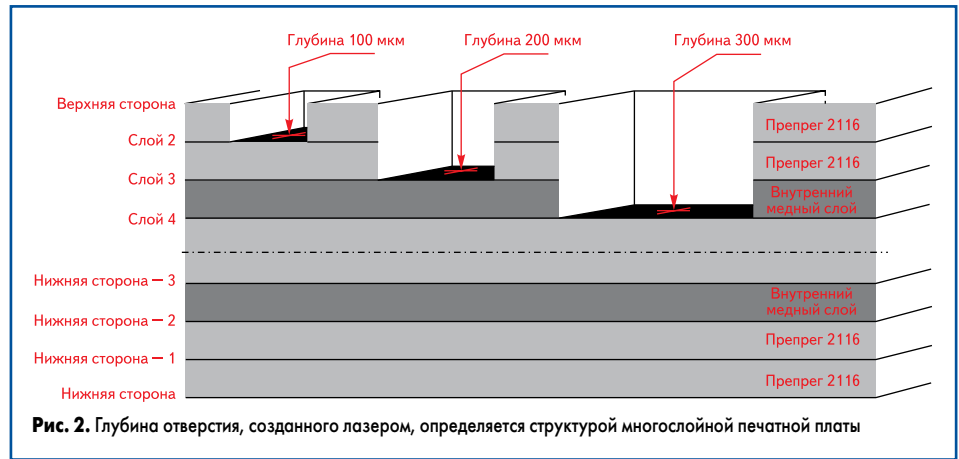
Вследствие чего, например, компания Intel уже в 2007 году приостановила разработку компонентов VFPGA с шагом 300 мкм. Уже некоторое время многие предприятия и исследовательские институты параллельно работают над возможностями комбинировать технологию HDI с монтажом активных электронных компонентов на внутренние слои многослойных печатных плат.



Рис. 1. Развитие технологии встроенных активных компонентов компании Würth Elektronik

Преимущества углублений, созданных лазером

Компания Würth Elektronik, основываясь на своем многолетнем опыте работы с технологией Microvia и лазерным сверлением, усовершенствовала изготовление углублений, изготовленных лазером. Сначала путем травления или при использовании UV-лазера открывается верхний медный слой многослойной печатной платы. Далее используется дополнительно CO₂ лазер для удаления диэлектрика, до тех пор, пока он не доходит до более глубоко лежащего медного слоя. Этот слой называется стоп-поверхностью, так как лазер CO₂ не может пройти сквозь медь. Решающим при этом является согласование управления лазерным лучом с плотностью энергии. В отличие от сверления Microvias, лазерный луч здесь должен удалять диэлектрик



в специальной строгой последовательности, для обеспечения равномерности этого процесса. В результате появляются углубления, созданные

лазером, с многочисленными новыми положительными характеристиками. Их самое главное преимущество — малый размер. Углубления могут быть от 0,1 мм до нескольких миллиметров. Таким образом, углубления, созданные лазером, становятся особенно интересны тогда, когда применение традиционного фрезерочного метода неэффективно.

К тому же очевидно, что отклонения по глубине очень небольшие. Глубина отверстия, созданного лазером, определяется структурой многослойной печатной платы (рис. 2). Из-за большой длины волны (10 600 нм) CO₂ лазер не может проникнуть сквозь медный слой. Следовательно, отклонения в глубине зависят лишь от базовых материалов и расположения стоп-поверхностей.

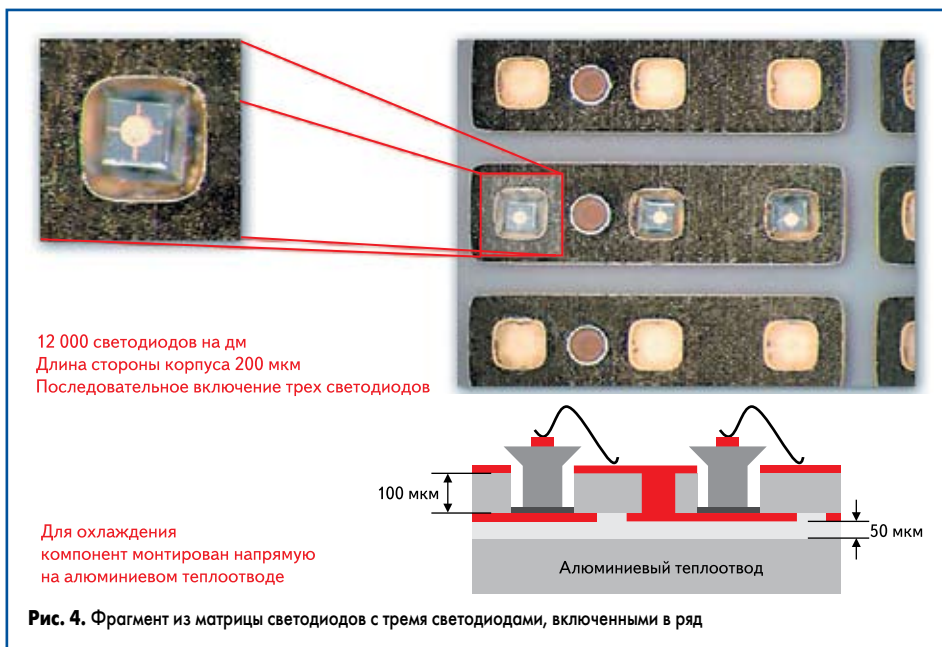
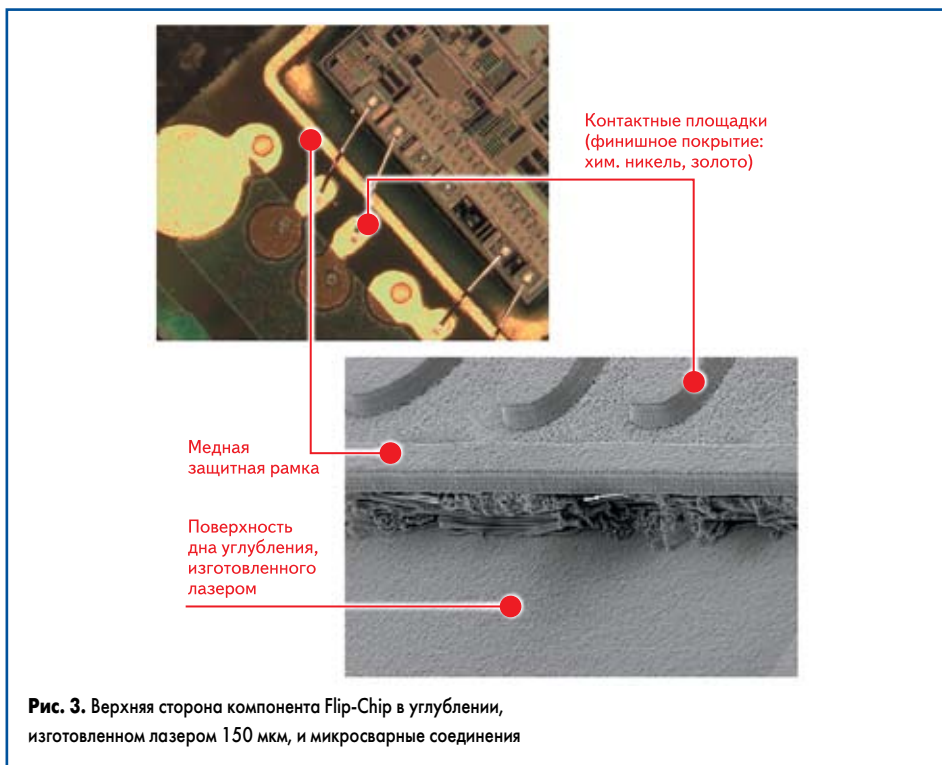
Возможное количество углублений также говорит в пользу новой технологии. Первые серийные изделия имеют более 1000 углублений, созданных лазером, на одной лишь заготовке с длиной стороны углубления 3×3 мм² и глубиной 150 мкм (рис. 3). Это невозможно было бы технически реализовать при помощи механического фрезерочного станка.

Следующей положительной характеристикой технологии углублений, созданных лазером, является точность позиционирования. Она была использована для матричной установки светодиодов с длиной стороны корпуса 200 мкм. При этом плотность светодиодов составляет приблизительно 12 000 штук на дм². На обратной стороне данного компонента был заламинирован алюминиевый теплоотвод: для эффективного отвода мощности потерь светодиодов (рис. 4).

Потенциал этой технологии еще далеко не исчерпан и предоставляет, особенно в сочетании со светодиодами, печатной платой или теплоотводом, огромные возможности. При соблюдении граничных условий можно без проблем реализовать комбинацию данной технологии со многими другими известными методами и процессами производства печатных плат.

Печатная плата в качестве нового конструктивного элемента

Специалисты по разработке печатных плат компании Würth Elektronik совместно с экспертами в области разработки сенсоров компании Sick, Waldkirch, разработали печатную плату, которую невозможно изготовить с по-



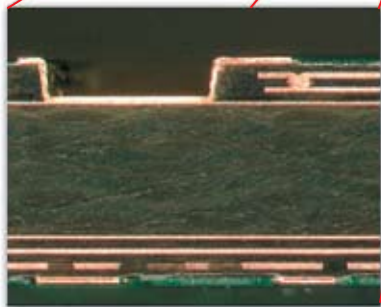
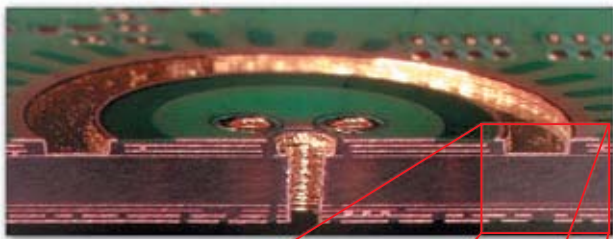
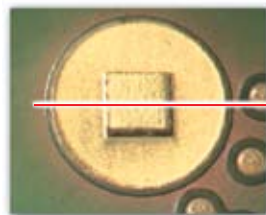
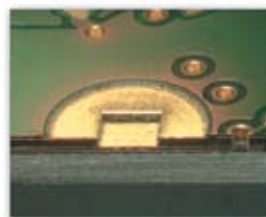
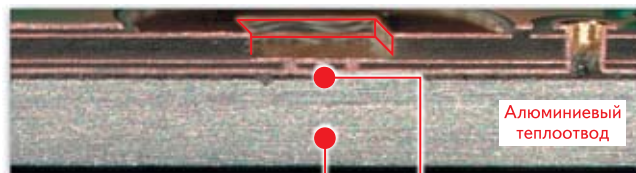


Рис. 5. Углубление, созданное лазером, с металлизированной боковой стороной в комплексной структуре 3+2(4b)+2 высокоплотного многослойного соединения (HDI-Multilayer)



Алюминиевый теплоотвод
Микросоединения для термического контакта
Место поперечного среза

Рис. 6. Электрически разделенные слои (потенциалы) в двухступенчатом углублении, созданном лазером

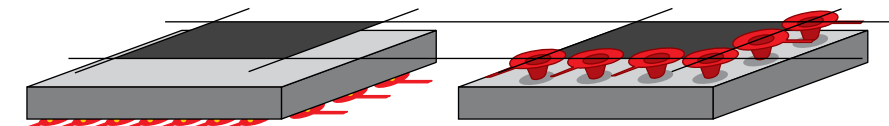


Рис. 7. Позиционирование микрочипов: а) "face down" (углубление, созданное лазером (Lasercavity)): контакты направлены внутрь (золотые шарики микросварных соединений); б) "face up" (традиционный вариант): контактирование происходит снаружи (Microvia)

мощью традиционных технологий. Компания Sick подразумевает под печатной платой не только носитель электронных компонентов и основу для монтажа, но и индивидуальный элемент конструкции. На рис. 5 хорошо видно соотношение размера микросоединения (Microvia) и углубления, созданного лазером.

Таким образом, печатная плата является прецизионным компонентом для оптического сенсора. Соответствующие требуемые допуски, которые должны быть соблюдены во всех направлениях для того, чтобы обеспечить связь между лазерной техникой, оптикой и электронной обработкой информации на одной печатной плате, могли быть реализованы лишь с помощью технологии углублений, созданных лазером (Lasercavity). С начала запуска серийного производства осенью 2008 года было изготовлено уже более 10 000 таких печатных плат.

Похожий случай практического применения с частично противоречивыми требованиями показывает, насколько многосторонен новый процесс обработки (рис. 6). В данном случае речь идет о электрически разделенных матрицах (потенциалах) в двухступенчатом углублении, созданном лазером, которые будут запущены в серийное производство в ближайшее время.

В отличие от модулей, производимых компанией Sick, в которых происходит металлизация углубления на боковой стороне, здесь требуется обратный процесс. В четырехугольное

внутреннее углубление, созданное лазером, встраивается высокоомощный диод (рис. 6), при этом его нижняя поверхность должна быть термически присоединена к пассивному теплоотводу. Это происходит с помощью микротверстий, которые просверливаются снизу и металлизуются. Алюминиевый теплоотвод присоединяется при помощи теплопроводящей фольги к печатной плате. Средний уровень в форме круга служит для электрического контакта электронного компонента.

Позиционирование микрочипов определяет плотность интеграции компонентов

Повышение плотности интеграции компонентов требует оптимального использования имеющейся в наличии площади на всех слоях печатной платы. Это тем более важно, что поверхность внешних слоев на становящихся все меньше конечных изделиях сокращается, и остается все меньше места для привычной установки компонентов на печатную плату. Дальнейшее уменьшение электронных компонентов также невозможно из-за проблем использования паяльной маски. Единственным выходом остается использование внутренних слоев многослойной печатной платы.

Само по себе это не является новым решением, так как, например, пассивные электронные

компоненты или сопротивления, изготавливаемые по технологии трафаретной печати, уже в течение многих лет устанавливаются на внутренние слои. Компания Würth Elektronik предлагает их под маркой FLATcomp.

Но при ставшей возможной интеграции активных компонентов в печатную плату решающим для повышения плотности интеграции в итоге становится позиционирование микрочипов: активной стороной вверх или вниз ("face up" или "face down") (рис. 7). Если микрочип устанавливается активной стороной вверх по направлению к внешним слоям многослойной печатной платы, то контактирование происходит снаружи.

Структурирование нижней поверхности углублений, созданных лазером

Наиболее интересное и перспективное решение при интеграции активных компонентов — это структурирование нижней поверхности углублений, выполненных при помощи лазера, и создание контактных площадок, например для перевернутых кристаллов. В технологии углублений, созданных лазером, перевернутый активной поверхностью вниз кристалл контактирует с многослойной печатной платой. Разводка происходит на месте контакта, то есть на внутреннем слое многослойной печатной платы, так что внешний слой остается не задействован и может быть использован для других функций (рис. 8).

Именно эта разводка, происходящая непосредственно на месте контактирования, представляет собой одно из решающих отличий технологии Lasercavity от до сих пор предпочитаемых классических решений. Сегодня уровень технологии позволяет использовать контактные площадки с минимальным шагом компонента Flip-Chip 180 мкм.

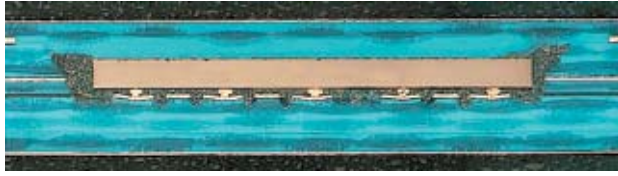


Рис. 8. Поперечный срез встроенного перевернутого кристалла в углублении, созданном лазером в многослойной печатной плате. Внешние слои могут быть использованы для традиционного поверхностного монтажа компонентов

Паяно-клеевое соединение определяет надежность систем

Интеграция компонентов в углубление, созданное лазером, происходит в модулях, которые производит компания Würth Elektronik, при помощи запатентованного метода термокомпрессионной сварки. В углубление помещается анизотропно-токопроводящий клей, для того чтобы затем монтировать на него компоненты. Далее при определенном давлении проводится нагрев электронного модуля с постоянной скоростью. Содержащиеся в клее хорошо распределенные частицы припоя расплавляются при достижении температуры пайки и вытесняют из зазора между шариком микросварного соединения и контактной площадкой большую часть остатков клея. Одновременно происходит припаивание шариков микросварного соединения к контактным площадкам, а параллельно с этим процессом затвердевает клей и дополнительно фиксирует компоненты в углублении, созданном лазером (рис. 9).

Процесс пайки в узком зазоре между шариком микросварного соединения и контактной площадкой при одновременной фиксации клеем оказывает решающее влияние на дальнейшую надежность системы. Разводка перевернутого кристалла происходит на этом же слое. Нет необходимости дополнительной разводки на поверхности микрочипов или контактирования по технологии Microvias.

Испытания на надежность

Многочисленные производственные циклы показали, что углубления, созданные лазером, с присоединенными кристаллами при изготовлении многослойной печатной платы можно без ограничений далее обрабатывать с помощью стандартных методов. Все проведенные испытания на надежность с печатными платами с углублениями, созданными лазером, показали исключительные результаты, в связи с чем данная технология может быть названа надежной. Испытания по пайке и на температурные перепады, тепловая нагрузка, долгосрочное хранение и климатические испытания не смогли разрушить сплошное соединение между печатной платой и перевернутым кристаллом.

При различных комбинациях испытаний не было выявлено никаких изменений сопротивления в специальных тестовых чипах со мезевидными тестовыми структурами, кото-

рые были специально изготовлены Институтом исследования кремния им. Фраунгофера.

Условия испытаний:

- пятикратный процесс бессвинцовой пайки с пиковой температурой +240 °C/5 с;
- испытание термоциклированием — 40...+125 °C, 1000 циклов;
- пятикратный процесс бессвинцовой пайки;
- испытания долгосрочной температурной нагрузкой при +125 °C, 2500 часов;
- или климатический тест +40 °C при 9% относительной влажности, 2500 часов.

Комбинированные испытания ближе всего к реальным условиям окружающей среды, которым будет подвергнут электронный модуль во время изготовления и в дальнейшем — при его эксплуатации. После каждого этапа испытаний проводилось функциональное тестирование микрочипов. При этом было отмечено повышение сопротивления только одного тестируемого образца незадолго до конца комбинированного испытания (после полной нагрузки) при 2000 часов температурного хранения.

Дальнейшие испытания на надежность проводятся в настоящее время, в том числе и в университете г. Росток под руководством профессора Матиаса Новоттника.

Роланд Шёнхольц, менеджер по технологии HDI-Microvia в компании Würth Elektronik и разработчик идеи лазерных уг-

лублений, считает, что успех принесет многолетний опыт использования технологии Microvia и плодотворное сотрудничество с компанией Panasonic, экспертом в области перевернутых кристаллов, а также с Институтом исследования кремния им. Фраунгофера. С созданием технологии Lasercavity специалистам компании Würth Elektronik удалось разработать метод, который является очень простым и экономически выгодным. Поэтому специалисты убеждены, что новая технология будет быстро внедрена и доступна заказчикам.

Пять правил для успешного изготовления печатной платы с углублениями, созданными лазером, со встроенными активными компонентами

Компания Würth Elektronik повторяет шаг компонента Flip-Chip с необходимой точностью на нижней поверхности углубления, изготовленного лазером, и предоставляет эту технологию своим клиентам.

В настоящее время минимальный шаг между контактными площадками микрочипа составляет 180 мкм. Можно обрабатывать компоненты и с меньшим шагом, однако они должны быть проверены в каждом конкретном случае.

Глубина лазерного углубления составляет 250 мкм, значит, необходимо добиться толщины перевернутых кристаллов в 200–250 мкм. Кристаллы с исходной толщиной могут быть обработаны с дополнительными затратами.

Контактные площадки микрочипов должны быть оснащены золотыми шариками микросварных соединений.

Монтаж компонентов Flip-Chip может происходить как с фиксирующей пленки так и из матричного контейнера.

Примечание. Оригинал статьи опубликован в журнале PLUS (Produktion von Leiterplatten und Systemen. 2009. № 2. Германия).

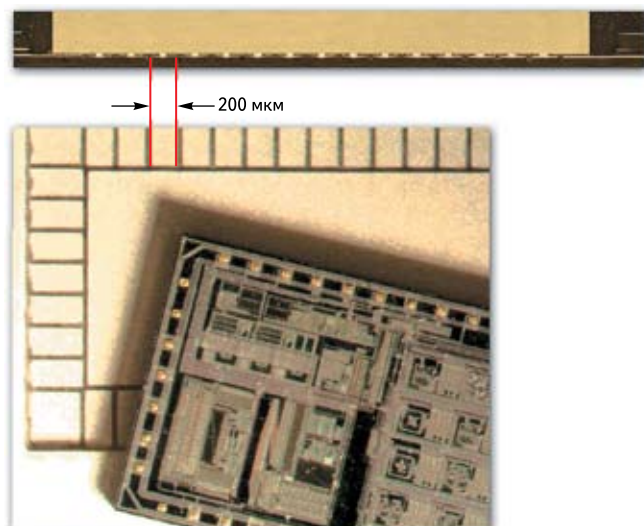


Рис. 9. Вид углубления перед присоединением кристалла и поперечный срез сквозь ряд шариков микросварного соединения (микрочип с исходной толщиной 550 мкм)