

## ФОРМИРОВАНИЕ МАТРИЧНОЙ СТРУКТУРЫ ВЫВОДОВ ПРИПОЯ ЛОКАЛЬНЫМ ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ

**В. Л. Ланин**

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Бровки 6 Минск, Беларусь, e-mail: [Vlanin@bsuir.by](mailto:Vlanin@bsuir.by)

Рассмотрены особенности формирования матричной структуры выводов припоя при сборке корпусов типа BGA на печатные платы. В результате моделирования определены оптимальный частотный диапазон индукционного нагрева и тепловые поля в зоне нагрева.

**Ключевые слова:** выводы припоя, матричная структура, индукционный нагрев.

### Особенности формирования матричной структуры выводов

В современном мире развитие микроэлектронных компонентов постоянно идет в направлении увеличения степени их интеграции, производительности и функциональности. Этот процесс характеризуется увеличением плотности активных компонентов на кристалле примерно на 75% в год, что вызывает необходимость увеличения количества выводов на 40% в год. В результате таких тенденций площадь монтажных подложек уменьшается примерно на 7%, а физические размеры электронной аппаратуры – на 10–20% в год

Новым подходом в повышении плотности упаковки современных МКМ является монтаж нескольких кристаллов на объединительную подложку на основе керамики или кремниевой пластины с последующей установкой подложки в корпус с получением «системы в корпусе» (СвК). Помимо активных элементов на подложке возможен монтаж элементов поверхностного монтажа, а также 2-х или 3-х кристалльных 2,5–3D конструкций, потенциальные преимущества которых заключаются в уменьшении размеров, сокращении длины межсоединений за счет замены длинных горизонтальных связей на короткие вертикальные [1].

Матричная структура выводов в корпусах типа BGA обеспечивает ряд важных преимуществ: минимальную площадь монтажного поля подложки; наличие свободных мест для размещения теплоотвода на подложке; высокую функциональную производительность электронных модулей за счет меньших паразитных эффектов; упрощение технологии за счет оплавления припоя при групповом нагреве (рисунок 1).



Рисунок 1– Контактное соединение кристалла с платой

При формировании матричной структуры шариков методом наращивания на полупроводниковую пластину устанавливают молибденовую металлическую маску с отверстиями, симметрируя их относительно контактных площадок. Металлический слой наносят в несколько стадий: вначале на контактную площадку из Al напыляют

адгезионный и барьерный слои из хрома толщиной 0,15 мкм и сплава CrCu 50/50 толщиной 0,15 мкм, затем слой меди 1 мкм и золота 0,15 мкм, после чего осаждают определенное количество припоя. Затем оплавливают припой в виде бампа. Процесс термовакуумного осаждения позволяет формировать выводы с большим шагом из-за ограничений технологии металлической маски и стоимость процесса высока.

Матричную структуру шариковых выводов также формируют, используя паяльную пасту и трафаретную печать. Этот метод отличается высокой производительностью и снижением расходов на формирование выводов. Для нанесения достаточного объема паяльной пасты при формировании шарикового вывода заданного диаметра размеры окон в трафарете выбирают меньшими в 1,3–1,5 раза, чем размеры контактных площадок. Однако такой трафарет подходит для компонентов с периферийным расположением выводов или расположением выводов в шахматном порядке. Потенциальной проблемой является залипание пасты в окнах трафарета.

Другим подходом является размещение шариков припоя вручную через металлический трафарет на подложке, а затем их оплавление в центре витка индуктора. Частота тока 300–440 кГц, величина тока в индукторе от 10 до 30 А. Температура оплавления припоя достигалась при токе индуктора 17 А за 12 с. При индукционном нагреве в результате скин-эффекта плотность вихревого тока вблизи поверхности проводника больше, чем в его середине, Этот градиент температуры концентрирует Джоулево тепло на поверхности и расплавляет припой в тонком слое вблизи поверхности шарика, оставив твердое ядро, как поддержку в центре (рисунок 2) [2].

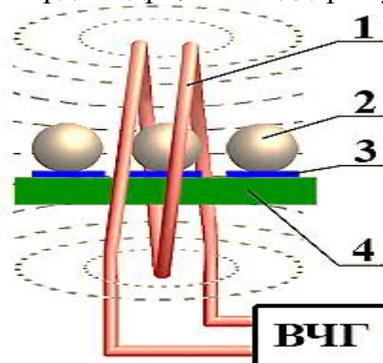


Рисунок 2 – Схема индукционного нагрева шариков припоя

Более эффективно использование локального индукционного нагрева с помощью индуктора с магнитопроводом. Благодаря наличию магнитопровода индукционный нагреватель обладает существенно меньшим рассеянием магнитного потока в окружающем пространстве и, соответственно, меньшими потерями, а также экологически безопасен для обслуживающего персонала. Одновременно магнитопровод играет роль концентратора магнитного потока и позволяет локализовать нагрев в необходимой зоне. При этом не требуется водяное охлаждение индуктора [3].

Моделированием плотности вихревых токов в пакете *ANSOFT MAXWELL* показано, что с повышением частоты от 100 до 800 кГц происходит вытеснение вихревых токов к поверхности шарика припоя и увеличение численного значения плотности тока. Глубина проникновения вихревых токов снижается до 0,1 мм, что позволяет использовать частоты выше 700 кГц для управления геометрией паяного соединения (рисунок 3).

Шарики припоя диаметром 0,76 мм закреплялись на контактных медных площадках платы из стеклотекстолита FR4 толщиной 1,5 мм, а между контактными площадками проложены медные дорожки толщиной 0,2 мм. Плата находилась в зоне нагрева магнитопровода из ферритов с зазором в магнитной цепи 5 мм (рисунок 4).

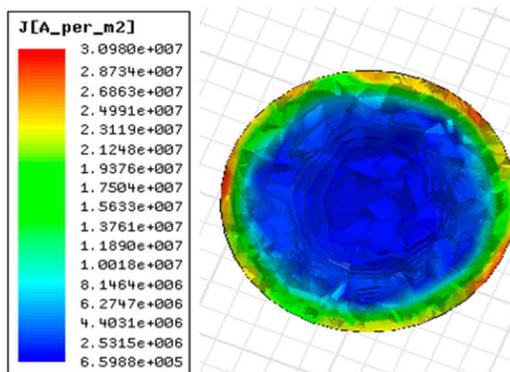
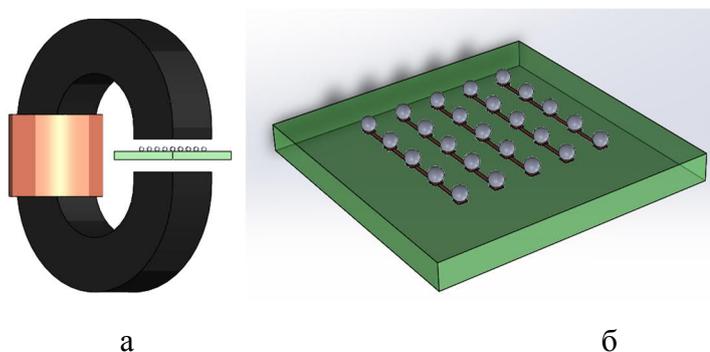


Рисунок 3 – Распределение вихревых токов в шарике припоя

Моделированием плотности магнитного потока и температурных полей в пакете COMSOL Multiphysics получены распределения плотности магнитного потока и температурные поля в зоне нагрева (рисунок 5). В оптимальном варианте температура индукционного нагрева шариков припоя достигает 203°C за 45с.



а –индукционный нагреватель с магнитопроводом,  
 б – печатная плата с шариками припоя  
 Рисунок 4 – Модель индукционного нагревателя

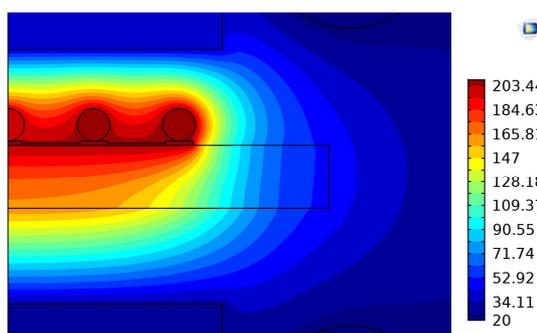
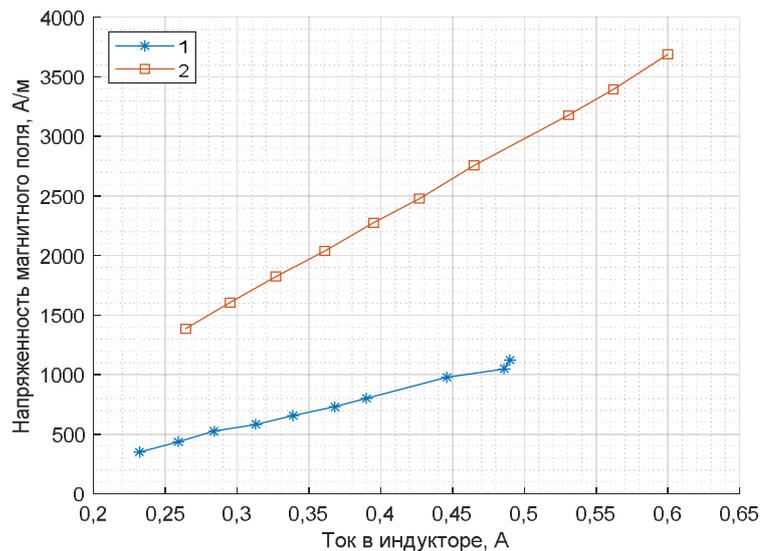


Рисунок 5 – Распределение температуры в зазоре нагрева, °С

Анализ зависимостей температуры шариков припоя от величины тока в индукторе показал, что на более высокой частоте (732 кГц) температура в рабочей зоне растёт быстрее (рисунок б). Напряжённость магнитного поля в зоне нагрева индуктора оценена с помощью индуктивного зонда, присоединённого к электронному вольтметру. Зависимости напряжённости магнитного поля от тока в индукторе приведены на рисунке 6. Напряжённость магнитного поля в зазоре магнитопровода растёт линейно с увеличением тока в индукторе, но в большей степени с использованием магнитопровода.

Преимуществами индукционного нагрева является локальность нагрева, простота конструкции, высокая экологическая чистота нагрева.



1 – без магнитопровода, 2 – с магнитопроводом

Рисунок 6 – Зависимости напряжённости магнитного поля от тока в индукторе

Применение индукционных устройств на магнитопроводе позволяет повысить эффективность нагрева за счёт концентрации электромагнитного поля в зазоре магнитопровода. Использование концентраторов вихревых токов в зоне нагрева увеличило равномерность нагрева шариков припоя. Наибольшая скорость нагрева достигнута при сплошном концентраторе, однако его применение приводит к перегреву платы. Замкнутые конфигурации концентраторов обладают оптимальным временем нагрева и не перегревают платы.

### Литература

1. Ланин, В.Л. Технология и оборудование сборки и монтажа электронных средств / В.Л. Ланин, В.А. Емельянов, И.Б. Петухов. – Минск: Беларуская навука, 2022. – 514 с.
2. Local Melt Process of Solder Bumping by Induction Heating Reflow / Н. Xu [and etc.] // Soldering @ Surface Mount Technology. 2009.– № 4. – P. 45–54.
3. Ланин, В.Л. Высокочастотный индукционный нагрев для пайки электронных устройств / В.Л. Ланин // Технология в электронной промышленности –2007.–№ 5.– С. 46–49.