

## ТЕХНОЛОГИЯ ГЕРМЕТИЗАЦИИ МИКРОБЛОКОВ СВЧ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ПАЙКОЙ

Ю. Н. Грищенко, В. Л. Ланин (научный руководитель)

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
220013, г. Минск, Республика Беларусь, ул. П. Бровки 6  
E-mail: vlanin@bsuir.com*

Разработана технология герметизации микроблоков СВЧ, изготовленных из алюминиевых сплавов, с применением высокочастотной пайки, которая обеспечивает высокую скорость и избирательность нагрева. Приведены методики выбора частоты нагрева, оценки напряженности электромагнитного поля в рабочей зоне индуктора, а также экспериментальные температурно-временные зависимости высокочастотной пайки.

Микроминиатюризация электронной аппаратуры в значительной степени зависит от создания функциональных приборов и блоков в микроэлектронном исполнении, помещённых в общий герметичный корпус. В настоящее время до 40 % металlostеклянных и металлокерамических корпусов БИС и микросборок герметизируется пайкой, достоинствами которой являются: ремонтпригодность изделия, невысокие температуры нагрева корпуса, не критичность к плоскопараллельности паяемых кромок, возможность групповой технологии. Применение традиционного процесса пайки в печи или паяльником имеют низкую производительность, используют в значительной мере ручной труд и не обеспечивают высокого качества паяемых соединений. Возникают трудности с использованием флюса и необходимостью удаления его остатков.

Перспективным направлением в технологии производства СВЧ-микроблоков является применение высокочастотной (ВЧ) пайки для герметизации корпусов из алюминиевых сплавов. Воздействие энергии электромагнитных колебаний позволяет осуществлять высокопроизводительный бесконтактный нагрев деталей и припоя с помощью наведённых в них вихревых токов ВЧ, активировать припой и улучшить его растекание по паяемым поверхностям. Качество паяемых соединений, полученных ВЧ-пайкой, зависит от следующих факторов [1]:

- скорости нагрева деталей корпуса и припоя;
- избирательности и равномерности нагрева паяемых деталей;
- регулируемости нагрева во времени.

Наиболее важные преимущества ВЧ-нагрева следующие [2]:

- энергия нагрева создается вихревыми токами непосредственно в изделии;
- возможны высокая плотность энергии и короткое время нагрева;
- локализация нагрева в пределах обрабатываемой зоны;
- возможность нагрева в любой среде, включая вакуум или инертный газ;
- высокая экологическая чистота нагрева;
- использование электродинамических сил для улучшения растекания припоя.

Распределение напряженности электрического поля в проводящей среде имеет вид:

$$E = E_0 \cdot \exp\left(\frac{-x}{\delta}\right), \quad (1)$$

где  $E_0$  – напряженность поля на поверхности;  $x$  – текущая координата;  $\delta$  – глубина проникновения ВЧ поля.

До 86 % мощности нагрева создается в поверхностном слое проводящего тела толщиной  $\delta$ , где амплитуда напряженности поля уменьшается в  $e$  раз. Глубина проникновения поля зависит от частоты тока  $f$ , удельного электрического сопротивления материала  $\rho$  и магнитной проницаемости  $\mu$  [1]:

$$\delta = \sqrt{\rho / \pi \cdot f \cdot \mu_0 \cdot \mu}, \quad (2)$$

где  $\mu_0$  – магнитная постоянная поля.

При пайке микроэлектронных устройств, содержащих внутри корпуса микроплату с элементами, чувствительными к электрической составляющей поля, энергия ЭМ-наводки должна значительно меньше энергии деградации элементов, которая составляет 10–15 мкДж [3]. На глубине, равной 4 толщине скин-слоя  $\delta$ , напряженность поля ослаблена в 152 раз по сравнению с поверхностью и в несколько раз ниже напряженности наводок, приводящих к деградации элементов. Таким образом, выбор частоты при пайке микроэлектронных устройств необходимо осуществлять из условия:

$$\delta \leq h/4, \quad (3)$$

где  $h$  – толщина стенки корпуса.

Нижняя частота тока:

$$f_{min} \geq 4.05 \cdot 10^{-6} \rho / (\mu h^2) \quad (4)$$

Верхний предел частоты вытекает из требования максимальной величины термического КПД ВЧ-нагрева, при которой  $\delta > h/8$ :

$$f_{max} < 46.2 \cdot 10^{-6} \rho / (\mu h^2). \quad (5)$$

Этим условиям удовлетворяет нагрев энергией ВЧ ЭМ-колебаний в диапазоне частот 0,4–2,0 МГц. С повышением частоты локализуется тепловыделение и снижается температурное воздействие на изделие.

Технологический процесс герметизации корпусов микроблоков включает подготовку корпусов и крышек к пайке, сборку корпуса в приспособлении, высокочастотную пайку, контроль качества паяного шва и герметичности корпуса. Подготовка корпусов крышек к пайке заключается в обезжиривании и горячем лужении паяемых поверхностей припоем ПОС61. После лужения остатки флюса удаляют промывкой в спиртобензиновой смеси.

Корпус 1 с герметизируемым модулем устанавливался в вырезанное окно в изоляционном основании 5 (рис. 1). На корпус надевалась крышка 2, которая в процессе пайки прижималась к корпусу прижимной экранирующей колодкой 3. В нижнем основании прижимной колодки, изготовленной из изоляционного материала, размещалась экранирующая медная пластина толщиной 1 мм, которая снижала нагрев поверхности крышки.

После установки крышки и прижима ее колодкой подводился индуктор 4, на который подавалось напряжение ВЧ от генератора, и осуществлялся нагрев поверхности крышки. Время пайки определялось визуально, после расплавления и опускания крышки давалась выдержка 1–2 с. Паяное соединение крышки с корпусом осуществлялось за счет слоя предварительного лужения. Время ВЧ-нагрева регистрировалось секундомером.

В процессе экспериментов измерялась температура нагрева платы микромодуля. В качестве датчика температуры использовался полупроводниковый терморезистор типа СТ1-19, имеющий широкий диапазон рабочих температур (–60...+300) °С, малое значение постоянной времени, а также минимальные габариты и вес.

Терморезистор закреплялся на плате микромодуля таким образом, чтобы головка находилась на контактной площадке платы. Выводы терморезистора припаивались к выводам корпуса и далее соединялись с электронной схемой с выходом на стрелочный

прибор. Это позволило значительно уменьшить погрешность измерения температуры подложки, так как датчик экранировался корпусом микроблока.

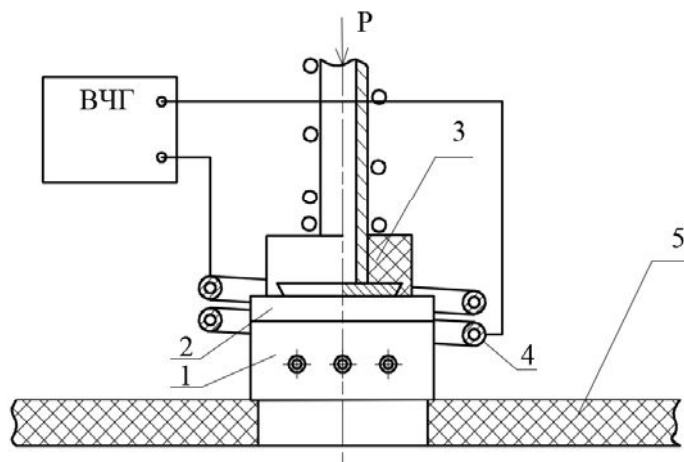


Рис. 1. Схема ВЧ-пайки корпусов микроблоков

Напряженность электромагнитного поля оценивалась по величине ЭДС, наведенной в измерительной рамке, содержащей два витка медного провода диаметром 0,8 мм и имеющий размеры сторон 5×5 мм. Напряжение, выпрямленное высокочастотным детектором, измерялось микрольтметром постоянного тока типа В2-15. Измерение напряженности электромагнитного поля в пространстве осуществлялось по трем координатным осям: Z – перпендикулярной плоскости индуктора; Y и X, лежащих в плоскости индуктора [4].

$$H = \frac{1.26 \cdot E(\text{В})}{f(\text{МГц}) \cdot a^2(\text{мм})}, \quad (6)$$

где  $a$  – размер стороны рамки.

При использовании двухвиткового индуктора с витками в одной плоскости и кольцевым магнитопроводом из феррита ЭДС увеличивается в среднем 1,6–1,8 раза и одновременно выравнивается по ширине участка индуктора, охваченного магнитопроводом. Повышение эффективности ВЧ-нагрева сокращает время пайки ТВЧ-корпусов микроблоков и уменьшает нагрев внутренних термочувствительных элементов схемы. Полученные экспериментальные зависимости сохраняются в диапазоне частот от 360 до 650 кГц.

Анализ зависимостей времени нагрева токами ВЧ от расстояния между индуктором и металлическим корпусом микроблока для трех вариантов размещения индукторов относительно корпуса (рис. 2, а), полученных при следующих режимах работы ВЧ-генератора:  $I = 1,2$  А,  $I_c = 0,8$  А и колебательной мощности 7,2 кВт, показал, что нагрев двухвитковым индуктором: в виде соленоида (вариант 2) и с витками в одной плоскости (вариант 3) более производителен и требует в 4–5 раз меньшее время нагрева, чем с одновитковым индуктором (вариант 1). Для каждого из вариантов нагрева имеется оптимальное расстояние, при котором нагрев микроплаты минимален (рис. 2, б): по варианту 1 нагрев не превышает 85 °С, по варианту 2 и 3 – 70 и 65 °С соответственно. Меньший нагрев подложки по варианту 3 объясняется изменением распределения силовых линий ЭМ поля в процессе нагрева, что снижает непроизводительный нагрев защитного экрана и способствует формированию качественного паяного соединения за счет равномерного прогрева крышки и корпуса микроблока. Нагрев микроплаты снижен до 50–55 °С за счет улучшения контакта между корпусом и теплоотводом.

Температурные зависимости в зоне пайки от времени при оптимальном расстоянии показали, что ВЧ-нагрев в случае двухвиткового индуктора (варианты 2 и 3) более эффективен, так как время нагрева не превышало 3–5 с.

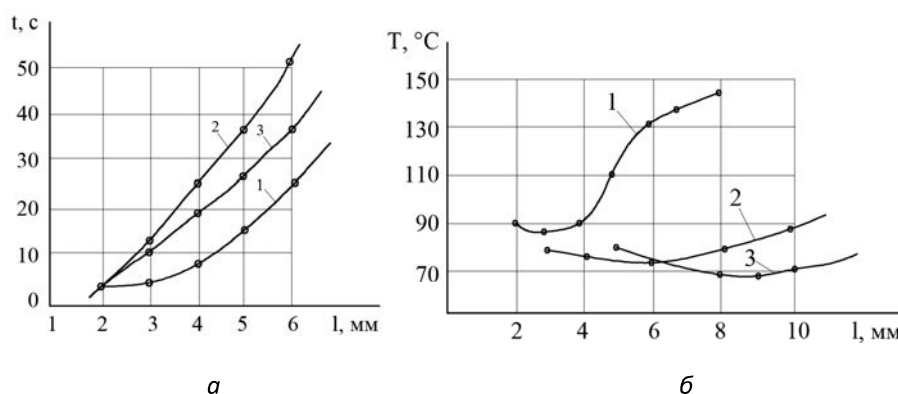


Рис. 2. Зависимости времени нагрева (а) и температуры подложки (б) от расстояния индуктор – крышка и вида индуктора

Запаянные образцы подвергались испытаниям на герметичность с помощью промышленного передвижного течеискателя ПТИ-7А. Использовался разрушающий метод определения качества герметизации. Для этого в крышке корпуса сверлилось отверстие диаметром 2–3 мм. Корпус устанавливался в специальном приспособлении, соединенном вакуумными шлангами с течеискателем и вакуумным насосом. Из корпуса микроблока откачивался воздух до давления не более  $(8-5) \cdot 10^{-2}$  Па, после чего вакуумный насос отключался. Откачанный объем корпуса обдувался гелием. Количественная оценка герметичности корпуса проводилась по шкале прибора ВПУ-3, установленного на выносном пульте управления течеискателем. Срезы паяных соединений исследовались на металлографическом микроскопе МИМ-8.

Таким образом, применение ВЧ-нагрева при герметизации пайкой корпусов микроблоков, изготовленных из диамагнитных сплавов, позволяет увеличить в 5–8 раз производительность процесса, повысить надежность микроэлектронных приборов, а также применить бессвинцовые припои взамен дефицитных оловянно-кадмиевых и оловянно-висмутовых припоев.

#### Список литературы

1. Induction Heating. Industrial Applications / Ed. by S. Lupi, Paris: U.I.E., 1992. 142 p.
2. Metaxas A.C. Foundation of Electroheat. Chichester: John Willey @ Sons, 1996. 500 p.
3. Ланин В.Л. Высокочастотный электромагнитный нагрев для пайки электронных устройств // Технологии в электронной промышленности. 2007. № 5. С. 46–49.
4. Ланин В.Л., Достанко А.П., Телеш Е.В. Формирование токопроводящих контактных соединений в изделиях электроники. Минск: Издат. центр БГУ, 2007. 574 с.