

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ИНДУКЦИОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ СБОРКИ ДИОДОВ В КОРПУСЕ MINIMELF

Е.А.Артюхевич, 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*

При сборке диодов формируется паяное соединение кристалла с помощью биметаллических контактов и серебросодержащего припоя. Температурный профиль процесса герметизации диода в конвекционной печи включает: нагрев корпуса до 600°C в течение 20 мин, выдержку в течение 5–10 мин и охлаждение в течение 20 мин. Недостатком конвекционного нагрева является большая продолжительность и трудоёмкость нагрева. Для уменьшения трудоёмкости и повышения энергоэффективности использован высокочастотный индукционный нагрев. В результате моделирования оптимизирован процесс высокочастотного индукционного нагрева.

Диоды "супрессоры" в корпусе miniMELF применяются для защиты электрических схем в оборудовании обработки данных, медицинском, телекоммуникационном, в источниках питания, где может быть нанесён вред электронным устройствам, МОП-устройствам и другим компонентам от скачков напряжения, возникающих из-за молний, электростатических разрядов, индуктивного переключения и т.д [1].

Конструкция диода miniMELF представлена на рисунке 1. Корпус miniMELF имеет длину 3,5 мм, контакты выполнены из сплава на основе никеля (Ni 29 %), кобальта (Co 17 %), и железа (Fe – остальное). Стеклянная трубка изготовлена из стекла SCHOTT 8531. На непланарной стороне кристалла расположен серебросодержащий припой ПСр15(15AgCu). Для образования паяного соединения непланарной поверхности кристалла с выводом необходимо произвести нагрев до 640°C с целью расплавления припоя ПСр15.

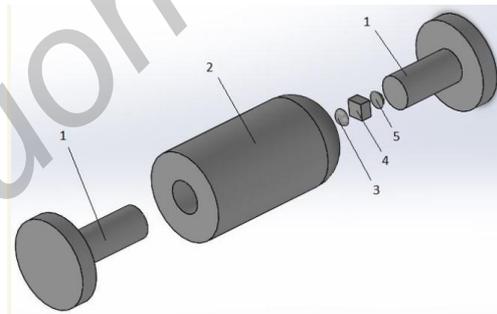


Рисунок 1 – Сборочный состав miniMELF: 1 – контакт, 2 – стеклянная трубка, 3 – припой ПСр15, 4 – кристалл, 5 – серебросодержащий припой

При сборке диодов формируется паяное соединение кристалла с помощью биметаллических контактов и серебросодержащего припоя. Температурный профиль процесса герметизации диода в конвекционной печи включает: нагрев корпуса до 600°C в течение 20 мин, выдержку в течение 5–10 мин и охлаждение в течение 20 мин. Технологический процесс герметизации диодов в конвекционной печи заменён на индукционный нагрев, это позволит уменьшить трудоёмкость и повысить энергоэффективность процесса герметизации. Схема ВЧ нагрева представлена на рисунке 2.

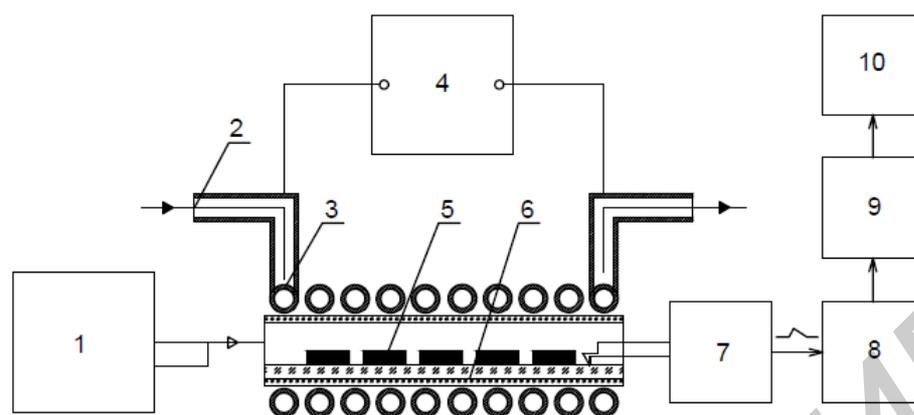


Рисунок 2 – Схема ВЧ нагрева: 1 – источник газа, 2 – вода, 3 – индуктор, 4 – генератор, 5 – диод, 6 – термоизолятор, 7 – датчик температуры, 8 – измеритель-регулятор TRM210, 9 – преобразователь интерфейса AC4, 10 – персональный компьютер

Моделирование ВЧ нагрева выполнено методом конечных элементов, который позволяет наиболее эффективно решать электромагнитные задачи с использованием пакета COMSOL Multiphysics 5.2. Фундаментальной математической моделью, используемой для моделирования электромагнитных явлений, является система уравнений Максвелла [2]:

$$\mathbf{B} = \nabla \times \mathbf{A}, \quad (1)$$

где \mathbf{B} – вектор магнитной индукции, \mathbf{A} – векторный магнитный потенциал.

Параметры моделирования: частота электромагнитного поля 1–2 МГц при напряжении на индукторе 0,5–1,0 кВ. Индуктор представляет собой спираль из медной трубки диаметром 3 мм, состоящей из 10 витков. Температурное поле и временная зависимость нагрева корпусов диодов, размещенных в кварцевой трубе, приведены на рисунке 3.

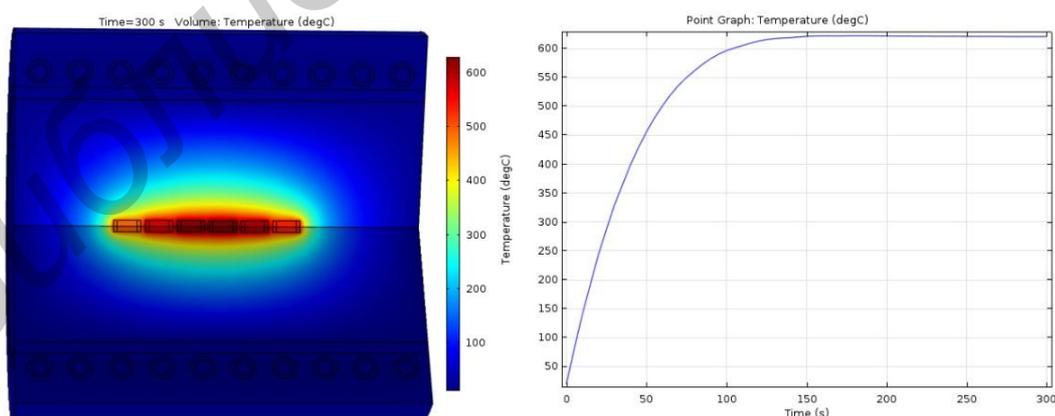


Рисунок 3– Температурное поле и временная зависимость нагрева диодов в корпусе MiniMELF на частоте электромагнитного поля 2 МГц

В установившемся режиме ВЧ нагрева за время равное 2 минутам, температура корпусов диодов MiniMELF достигает 610–640°C, что соответствует требуемому температурному профилю формирования паяного соединения кристалла с выводами.

При снижении частоты электромагнитного поля до 0,5–1 МГц и увеличении количества витков индуктора до 14, время нагрева корпусов диодов уменьшилось до 1 минуты. Температурное поле и временная зависимость нагрева диодов в корпусе MiniMELF показаны на рисунке 4.

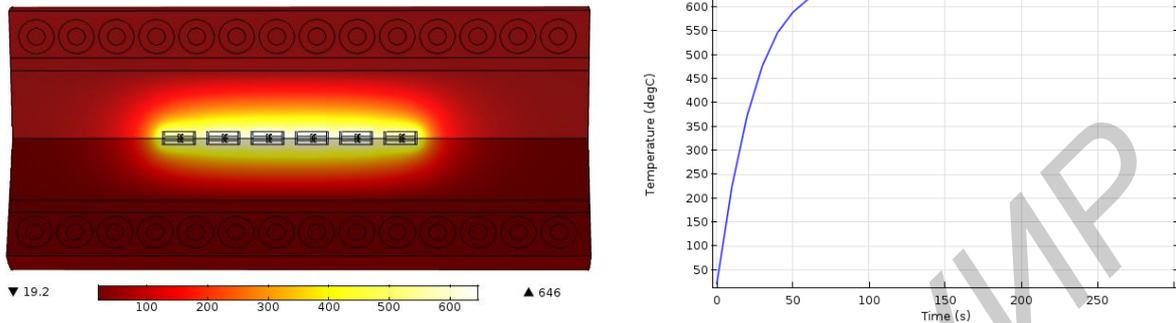


Рисунок 4– Температурное поле и временная зависимость нагрева диодов в корпусе MiniMELF на частотах электромагнитного поля 0,5–1 МГц

Для концентрации магнитного потока внутри индуктора использован магнитопровод, что позволило сократить время нагрева корпусов до 50 секунд (рисунок 5).

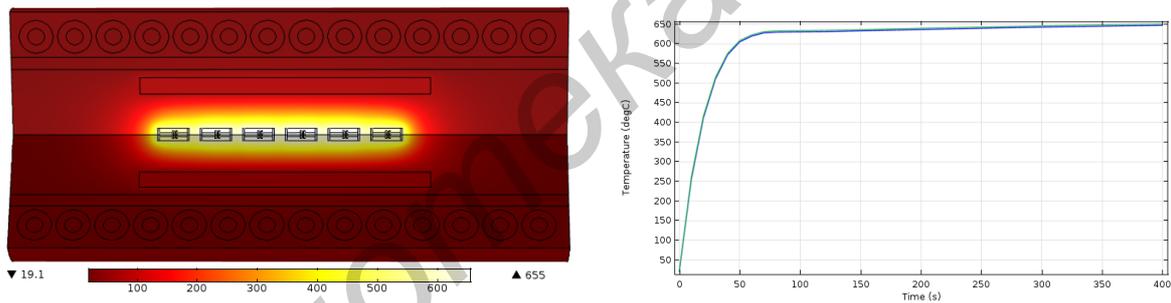


Рисунок 5 – Температурное поле и временная зависимость нагрева диодов в корпусе MiniMELF с использованием магнитопровода

Температура корпусов диодов находится в диапазоне температур 610–650 °С, что выше точки плавления стеклянного корпуса. Для охлаждения корпуса использован обдув газом со средней скоростью потока 1-2 м/с. Поток газа описывается уравнениями Навье-Стокса:

$$\rho \frac{\partial u}{\partial t} + u \cdot \nabla u = -\nabla p + \nabla \cdot \mu \nabla u + \nabla u^T - \frac{2}{3} \mu \nabla \cdot u I + F, \quad (2)$$

где u – скорость подачи газа, p – давление, ρ – плотность, μ – динамическая вязкость.

Температурные поля нагрева корпусов диодов, размещенных в кварцевой трубе при обдуве газом, приведены на рисунке 6.

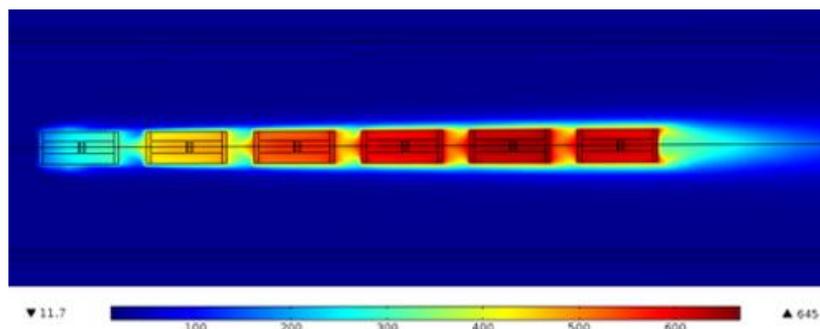


Рисунок 6 – Температурные поля нагрева корпусов диодов при обдуве газом

Основное количество диодов достигает температуры 640°C , кроме расположенных на входе кварцевой трубы.

На рисунке 7 показана зависимость температуры серебрясодержащего припоя, используемого для соединения кристалла, и температура корпуса диода от времени при обдуве газом.

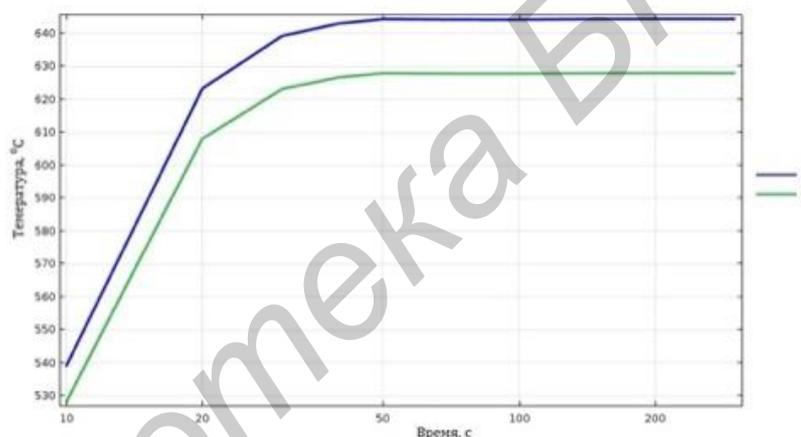


Рисунок 7 – Температурно–временные зависимости нагрева серебрясодержащего припоя (1) и корпуса диода (2) при обдуве корпуса газом

В результате моделирования оптимизирован процесс высокочастотного индукционного нагрева корпусов диодов, который обеспечивает быстрый нагрев серебрясодержащего припоя до температуры плавления 640°C за время, равное 50 секунд, с одновременным охлаждением стеклянного корпуса диода, используя обдув газом. Полученное температурное поле соответствует требуемому режиму формирования паяного соединения кристалла с выводами, а обдув газом позволяет удерживать требуемый диапазон температур, избежав нагрева стеклянного корпуса до температуры плавления.

Список литературы

1. Колпаков, А. В. Большие технологии маленьких диодов / А. В. Колпаков // Электронные компоненты. – 2004. – № 11 – С.139 – 145.
2. Прахт, В.А. Моделирование тепловых и электромагнитных процессов в электротехнических установках. Программа Comsol: учебное пособие / В.А. Прахт, В.А. Дмитриевский, Ф.Н. Сарapultов. – М.: Спутник, 2011. – 158 с.