

УДК 621.373.826

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛАЗЕРНОГО НАГРЕВА ПРИ СБОРКЕ 3D ЭЛЕКТРОННЫХ МОДУЛЕЙ



В.Л. Ланин

*Профессор кафедры
электронной техники и
технологии, доктор
технических наук*



В.Т. Фом

*Магистрант кафедры
электронной техники и
технологии*

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Республика Беларусь
Email: vlanin@bsuir.by, phamvantung2103hp@gmail.com*

В.Л. Ланин

*Имеет 30 летний опыт работы в области технологии сборки и монтажа электронной аппаратуры.
Автор 10 монографий в данной области.*

В.Т. Фом

*Окончил Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники в 2019.
Проводит научные исследования по технологии сборки монтажа 3D электронных модулей с использованием лазерного нагрева.*

Аннотация. Лазерное излучение является перспективным методом формирования шариковых выводов припоя при сборке 3D электронных модулей, благодаря его высокой удельной энергии и способности локального нагрева, которые дает возможность расплавления бессвинцовых припоев с более высокой температурой плавления, чем оловянно-свинцовые припой.

Ключевые слова: лазерный нагрев, бессвинцовый припой, шариковый вывод, 3D электронные модули.

Процесс формирования шариковых выводов припоя является важным производственным этапом при сборке современных электронных изделий. При монтаже электронных модулей широко применяют интегральные микросхемы в корпусах *BGA* и *CGA* и используют бессвинцовые шарики припоя: 96,5Sn-3Ag-0,5Cu. Во время нагрева, шарик припоя плавится и формируется «бамп» припоя между контактной подложкой и интегральной схемой [1]. Лазерное излучение применяют для монтажа электронных модулей ввиду следующих достоинств:

- высокой локализации мощности в зоне нагрева;
- безинерционности воздействия излучения, что позволяет вести нагрев импульсами малой длительности 1–10 мс и очень точно дозировать энергию излучения;
- очень малой зоны термического влияния (0,03–0,25 мм) при минимальном диаметре пятна нагрева до 0,01 мм;

Критерием оптимизации формирования соединений является производительность, определяемая скоростью нагрева в зоне воздействия излучения, и воспроизводимость

качества соединений. Моделирование термопрофилей процесса лазерного нагрева шариковых выводов припоя в пакете *COMSOL Multiphysics* позволило получить зависимость температуры шарика от времени. Моделирование проводилось при следующих условиях: энергия в импульсе $E_i=1$ Дж, длительность импульса $\tau_i=10$ мс. Импульс имеет колоколообразную форму с пологой хвостовой частью. С частотой повторения импульса $f = 10$ Гц средняя энергия составляет $E_{cp} = 0,2$ Дж за секунду. Распределение подающей энергии в зоне нагрева описывается по закону Гаусса [2]:

$$E(x, y) = \frac{E_{cp}}{\pi \cdot r_{laser}^2} \cdot e^{-\frac{[(x-x_{laser})^2 + (y-y_{laser})^2]}{r_{laser}^2}}, \quad (1)$$

где E_{cp} – средняя мощность лазерного излучения, r_{laser} – радиус лазерного излучения, x_{laser}, y_{laser} – x-y-местоположение лазерной фокальной точки.

Максимальная температура тела при нагреве его импульсным лазерным излучением (в центре области в виде круга радиуса r_0) имеет вид [3]:

$$T = \frac{q_0(1-R)\sqrt{\alpha\tau}}{k\sqrt{\pi}} + T_H, \quad (2)$$

где T – максимальная температура, T_H – начальная температура тела, q_0 – плотность мощности излучения, R – коэффициент отражения тела, α – температуропроводность материала, τ – длительность импульса, k – теплопроводность материала.

Для построения модели использованы тепловые характеристики шариковых выводов припоя (таблица 1). Шарика припоя нагревались импульсным лазерным излучением с длиной волны 1064 нм и 532 нм и параметрами, приведенными в таблице 2.

Таблица 1. – Характеристики шариковых выводов припоя SAC305

| Припой | Значение |
|----------------------------------|-------------------------------------|
| Радиус шарика припоя, мкм | 760 |
| Коэффициент поглощения A | 0,1–0,2 |
| Температура плавления | 212 °C |
| Температуропроводность материала | $3 \cdot 10^{-3}$ м ² /с |
| Теплопроводность материала | 0,18 Вт/(м·К) |

Поглощение лазерного излучения в металле рассчитывалось по закону Бугера [4], где величина $A = 1 - R$ показывает поглощательную способность металлов, являющуюся одним из важнейших параметров. Ее можно оценить, используя из экспериментальных исследований зависимости от длины волны λ воздействующего излучения. Для благородных металлов, и для олова для величина $A \approx 0,1 - 0,2$. Полученные данные представлены в виде зависимости температуры от времени воздействия лазерного излучения (рисунок 1).

Таблица 2. – Характеристики лазерного излучения

| | |
|-----------------------------|--------------------|
| Радиус лазерного излучения | 1 мм |
| Длина волны излучения | 1,064 мкм и 532 нм |
| Длительность импульса | 10 мс |
| Частота повторения импульса | 10 Гц |
| Энергия в импульсе | 2 Дж |
| КПД источника лазера | 20% |

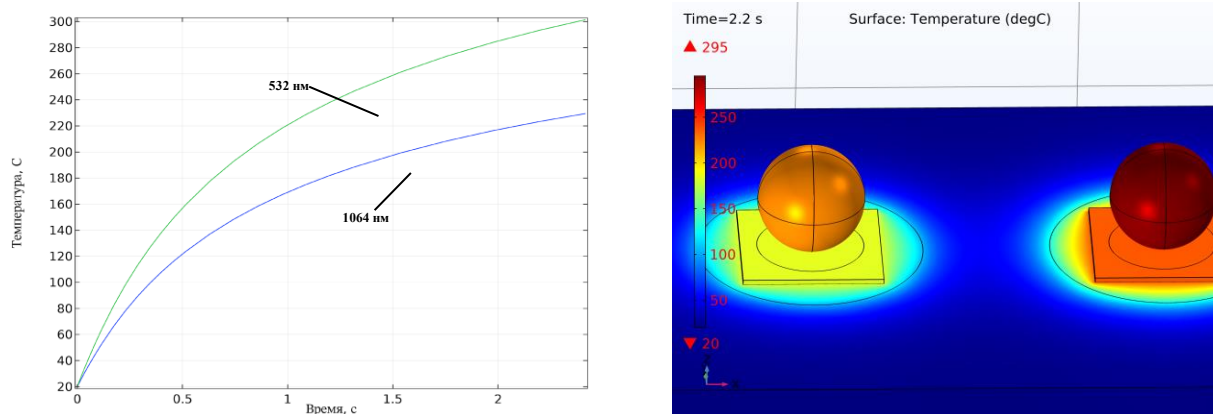


Рисунок 1. – Зависимость температуры нагрева шариков припоя (а) и тепловые зоны (б) нагрева шариков припоя лазерным излучением 1064 нм (левый) и 532 нм (правый)

Таким образом, при сборке электронных модулей с высокой плотностью выводов лазерный нагрев является перспективным методом формирования шариковых выводов припоя ввиду способности локального нагрева. Установлено, для оптимального режима необходимо использовать лазерное излучение с длиной волны 532 нм, так как оно позволяет достигать температуры плавления припоя быстрее в 2 раза, чем с длиной волны 1064 нм.

Список литературы

- [1.] Tian, Y. Characteristics of Laser Reflow Bumping of Sn3.5Ag and Sn3.5Ag0.5Cu Lead-Free Solder Balls / Y. Tian, C. Wang // J. Mater. Sci. Technol.– 2008, №2.– P. 220–226.
- [2.] Manca, O. Transient heat conduction in solids irradiated by a moving heat source with combined donut and gaussian distributions / O. Manca, A.A. Minea // International Review of Mechanical Engineering. – 2010, №4. – P. 123–127.
- [3.] Вейко, В.П. Сборник задач по лазерным технологиям / В.П. Вейко, Е.А. Шахно. – Изд. 3-е, испр. и дополн. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2007. – 11 с.

SIMULATION OF LASER HEATING SOLDER BALLS IN ASSEMBLY 3D ELECTRONIC MODULES

V.L. LANIN

Doctor of Technical Sciences

*Professor, Department of Electronic System and
Technology, BSUIR*

V.T PHAM

Master's student

*Department of Electronic System and Technology,
BSUIR*

Belarus State University of Informatics and Radioelectronics, Republic of Belarus

E-mail: vlanin@bsuir.by, ,phamvantung2103hp@gmail.com

Annotation. Laser reflow method has been proven to be a potential method in solder bumping process of area grid array packages due to its high energy input and local heating capability, which makes it possible to melt the solders with a high melting point compared Sn-Pb solders.

Keywords: laser radiation, laser heating, lead-free solder, solder ball, 3D electronic modules.