

В.Л.Ланин

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НАГРЕВА КОНЦЕНТРИРОВАННЫМИ ПОТОКАМИ ЭНЕРГИИ ПРИ ПАЙКЕ В ЭЛЕКТРОНИКЕ

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,
ул.П.Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь*

Современные процессы пайки в электронике активируются концентрированными потоками электромагнитной (ЭМ) энергии: высокочастотной (ВЧ), инфракрасной (ИК), лазерной, обеспечивающими локальное и бесконтактное воздействие источника нагрева на паяемые детали, высокую производительность и возможность автоматизации процессов [1]. Воздействие энергии ВЧ ЭМ колебаний частотой 200-2000 кГц интенсивностью до 10^7 Вт/м² на процессы формирования паяных соединений увеличивает до 10 раз скорость нагрева, локализует до 5-10 мм² область пайки, улучшает растекание припоя за счет пондеромоторных сил. Недостатками являются проблема защиты персонала от мощного ЭМ излучения, зависимость скорости нагрева от электрофизических свойств металлических деталей [2].

Коротковолновое ИК излучение с длинами волн 1.0-2.5 мкм и интенсивностью до 10^8 Вт/м² позволяет быстро нагревать разнородные по химическому составу материалы, повысить локальность нагрева за счет фокусировки излучения, что обеспечивает групповую пайку поверхностно-монтируемых элементов (SMD), интегральных микросхем с планарными выводами при дозированном нанесении припоя или пасты на места будущих соединений [3]. Лазерное излучение в оптическом диапазоне волн 0.7-10.6 мкм обладает наибольшей концентрацией энергии излучения (до 10^{12} Вт/м²), высокой локальностью и практической безинерционностью лазерного луча, что способствует его высокой управляемости с помощью микропроцессорных средств [4].

К 2004 г. ведущие европейские фирмы-изготовители электронной аппаратуры планируют отказаться от свинцово-содержащих припоев и перейти на альтернативные SnAgCu-припой с более высокой температурой плавления [5]. Зарубежные фирмы все более широко используют технологию "чистой" пайки "Clean Soldering" по экологическим соображениям. В свете современных требований рациональный выбор и применение концентрированных потоков электромагнитной энергии позволит решить проблемы скоростного и локального нагрева, активации припоя при пайке в электронике.

Целью работы являлось исследование энергетических и геометрических параметров воздействия электромагнитной энергии в виде полей и лучистых потоков на зону формирования паяных электрических соединений электронных компонентов. В качестве образца паяемого изделия использована многослойная печатная плата, в металлизированные отверстия которой закреплялись микротермопары типа ХК, подключенные к самописцу КСП-4.

Источниками концентрированных потоков энергии являлись: ИК-лампы мощностью 500 и 1000 Вт; ВЧ-индукторы, питаемые от ВЧ-генератора мощностью 1000 Вт, оптический квантовый генератор (ОКГ) с длиной волны 1,06 мкм. Для оценки удельной мощности нагрева в зоне пайки различными источниками тепловой энергии применен датчик в виде медного диска площадью 1 см^2 , массой 2,6 г с зачеканенной в глухом отверстии термопарой ХК. Удельная мощность оценивалась как:

$$P_{уд} = \frac{Cm}{S} \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right), \quad (1)$$

где C – удельная теплоемкость меди, m – масса диска, S – его площадь, $\Delta T/\Delta t$ – скорость роста температуры. С учетом данных диска формула (1) преобразована к виду:

$$P_{уд} = 10^4 \left(\frac{\Delta T}{\Delta t} \right), \text{ Вт/м}^2. \quad (2)$$

Локальность нагрева определялась как:

$$K_S = S_H/S_{\Pi}, \quad (3)$$

где: S_H , S_{Π} – площади нагрева и пайки соответственно.

Результаты измерений показывают, что бесконтактный нагрев концентрированными потоками электромагнитной энергии имеет более высокой скоростью по сравнению с монтажным паяльником. В паяльнике перенос тепла осуществляется за счет теплопроводности жала, которое служит аккумулятором тепла, выделяемого нагревателем, расположенном на стержне. Взаимосвязь температуры жала длиной L в рабочей зоне $T_{ж}$ и зоне нагрева T_H выражена отношением:

$$T_{ж} = \frac{T_H}{ch(\beta \cdot L)}. \quad (4)$$

Обобщенный параметр β равен:

$$\beta = \sqrt{\frac{\alpha \cdot n}{\lambda \cdot S}} = \sqrt{\frac{4\alpha}{\lambda \cdot D}}, \quad (5)$$

где α - коэффициент теплоотдачи поверхности, Π - периметр жала, λ - коэффициент теплопроводности, S - площадь поперечного сечения, D - диаметр.

Расчет по формуле (5) для медного стержня паяльника диаметром 6 мм дает значение $\beta=3,12$, тогда $T_{ж} = T_{н} / 1,2$. В установившемся режиме количество теплоты, накопленное в медном стержне, зависит от мощности нагревателя и его температура может быть определена:

$$\Delta T = I^2 \cdot R \cdot t / c \cdot m, \quad (6)$$

Расчетные зависимости по формуле (6) (рис.1) согласуются с экспериментальными данными в режиме теплового баланса. Для более точных расчетов необходимо учитывать потери тепла на теплоотдачу к защитному кожуху и на излучение от поверхности стержня.

Анализ температурных зависимостей в зоне пайки SMD при различных вариантах нагрева (рис. 2.) показывает, что к числу "медленных" источников концентрированных потоков энергии относятся паяльник (1) и диффузный ИК нагрев (2), у которых скорость нагрева в зоне пайки находится в пределах 20-50°С/с, что не достаточно для автоматизированных процессов. Повышение локальности ИК нагрева за счет светоотражающей маски не оказывает существенного воздействия на скорость нарастания температуры, уменьшая в целом только нагрев паяемой платы. Применение отражающего рефлектора для ИК источника позволяет достичь интенсивности нагрева до $120 \cdot 10^4$ Вт/м², повысить локальность нагрева, заменить водяное охлаждение воздушным принудительным (табл.1).

Для пайки малогабаритных и миниатюрных деталей эффективен нагрев ВЧ электромагнитными колебаниями (3), локализованный в зоне магнитопровода [6]. В этом случае интенсивность нагрева в 4 раза выше, чем для монтажного паяльника, а скорость нагрева при максимальном значении коэффициента перекрытия зазора достигает 80°С/с. Однако наличие значительной напряженности ЭМ поля (до $3 \cdot 10^4$ А/м) в рабочей зоне может вызвать повреждение полупроводниковых приборов и интегральных микросхем за счет наводок.

Комбинированное воздействие ВЧ в сочетании с ИК (4) создает высокую скорость нагрева (до 150°С/с), но отличается более сложной технической реализацией и управлением. Наибольшей эффективностью по энергетическим и геометрическим параметрам обладает нагрев лазерным излучением, реализуемый от твердотельных ОКГ в непрерывном или импульсном режимах. Интенсивность нагрева зависит от диаметра лазерного луча, сфокусированного в зоне пайки:

$$E = \frac{4W}{\pi \cdot d^2 \cdot \tau_{II}}, \quad (7)$$

где: W –энергия в импульсе, которая для плавления материала без выплеска равна

$$W = \frac{0.885 \cdot T_{пл} \cdot \lambda \cdot \pi \cdot r^2}{\sqrt{a \cdot \tau_u}}, \quad (9)$$

где: $T_{пл}$ –температура плавления материала, λ , α –коэффициенты теплопроводности и температуропроводности, r - радиус луча .

Моделирование лазерного воздействия в импульсном режиме в виде серии непрерывно действующих источников теплоты позволило получить выражение, описывающее изменение температуры зоны нагрева в 3-х мерном пространстве.

$$T_\tau = T_0 + \left(\frac{A \cdot P}{\kappa} \right) \cdot \sqrt{\frac{\chi}{\pi}} \cdot \left[\frac{\Phi\left(\frac{t}{f} - \tau\right) \cdot e^{-\left(\frac{x^2+y^2}{r^2+4\chi\left(\frac{t}{f}-\tau\right)}\right)}}{\sqrt{\frac{t}{f} - \tau} \cdot \left(r^2 + 4\chi \cdot \left(\frac{t}{f} - \tau\right)\right)} \cdot \left(e^{-\left(\frac{z+2h}{4\chi\left(\frac{t}{f}-\tau\right)}\right)} + e^{-\left(\frac{z-h}{4\chi\left(\frac{t}{f}-\tau\right)}\right)} \right) \right] \quad (10)$$

где T_0 –начальная температура, A –к.п.д. лазерной установки, P –средняя мощность излучения, f –частота следования импульсов, t –время воздействия, τ –длительность импульса, x , y , z –расстояния от центра пятна излучения.

Заданная температура пайки должна достигаться за два импульса при частоте 10 Гц. Экспериментальные исследования температуры в зоне нагрева лазерным лучом при напряжении питания ИК лампы накачки 700 В [7] (рис.3) показали, что скорость нарастания температуры на начальном участке зависит от частоты ОКГ и диаметра луча. Для частоты 10 Гц при диаметре луча 5 мм она равна 200 °С/с, для диаметра луча 1 мм – 400 °С/с. С уменьшением частоты импульсов до 3 Гц скорость нагрева снижается до 50 °С/с.

С увеличением частоты импульсов и уменьшением диаметра луча температура в зоне пайки значительно возрастает. Однако слишком малый диаметр луча при высокой частоте импульсов приводит к перегреву и испарению припоя, повреждению паяемых деталей. Оптимальное время расплавления припоя составляет 0,2-0,3 с, что удовлетворяет требованиям высокой скорости формирования контакта и минимального воздействия на прилегающие к зоне нагрева области платы и корпусов паяемых элементов.

Проведенные исследования показывают, что перспективы научных исследований и практических разработок в области процессов пайки в электронике, связаны с

использованием комбинированных методов активации, имеющих высокую прецизионность и регулируемость потоков энергии, позволяет создать микропроцессорное программно-управляемое оборудование и обеспечить высокое качество монтажных соединений в условиях дефицита материалов и энергии.

Литература

1. *Thwaites C. J.* Soldering technology - a decade of development // *Int. Metals Rev.*. 1984. 29.N.2. P.45-74
2. *Loten mit Induktion* // *Schweiz. Maschinenmarkt*. 1995. 96. N. 37. S. 47-48.
3. *Белов А.А.* Применение устройств локального радиационного нагрева с галогенными лампами накаливания при пайке // *Пайка в создании изделий современной техники*. М.: ЦРДЗ.1997.С.93-94.
4. *Ланин В.Л., Бондарик, В.М., Задруцкий И.А.* Лазерная пайка электронных сборок // *Известия Белорусской инженерной Академии* №1(7).2. 1999. С.183-184.
5. *Bliefrei Loten - News und Inform.*// *Productronic*.1999.19.N.12.S.10.
6. *Румак Н. В. Ланин В. Л. Чернышев И. Н.* Экономичный бесконтактный нагрев энергией магнитного поля // *Весті АНБ, сер. физ.-техн. навук*, 1994, № 2, с 94-96
7. *Lanin V.L., Bondarik V.M., Zadruskiy I.A., Lazier* Soldering Surface Mount Components // *Elektronika ir Elektrotechnika*. 1999. №4(22). С.32-34.

Поступила

Summary

The power and geometrical parameters of effect of electromagnetic energy as fields and radiant fluxes on a zone of formation of soldered electrical connections of electronic components are investigated. The reflecting reflector in a IR source augments intensity of heating up to $120 \cdot 10^4$ W/m². Combined effect of a HF and the IR radiation creates high speed of heating (up to 150°C/c), but differs by more composite technical implementation and control. The rate of onset of temperature at laser effect depends on a pulse frequency and diameter of a beam.

УДК 621.791.35: 621.396.6.002.72

Эффективность нагрева концентрированными потоками энергии при пайке в электронике.

Ланин В. Л.//Электронная обработка материалов. 2002. № . С.

Проведены исследования энергетических параметров воздействия электромагнитной энергии в виде поле и лучистых потоков на зону формирования паянных электрических соединений электронных компонентов. Оптимальные параметры процесса пайки и высокое качество соединений обеспечивают сфокусированное инфракрасное и лазерное излучение.

Табл 1. Библиогр. 7. Ил. 3.

Таблица 1. Эффективность нагрева концентрированными потоками энергии

Источники нагрева	Руд, Вт/м ² × 10 ⁴	Максимальная плотность энергии, Вт/см ²	Локальность, Кs
Паяльник	10-20	10 ⁵	≥1
Инфракрасный:			
диффузный	50	10 ⁶	≥10
сфокусированный	120	10 ⁷	≥1
Высокочастотный:			
индуктором	200	10 ⁸	≥5
в зазоре магнитопровода	80	10 ⁷	≥1
ИК+ВЧ	150	5·10 ⁸	≥1
Лазерный луч	500	10 ¹²	≤1

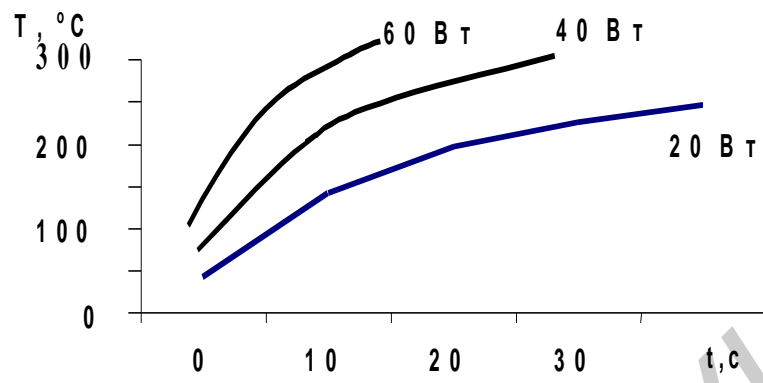


Рис. 1. Температурные зависимости паяльника

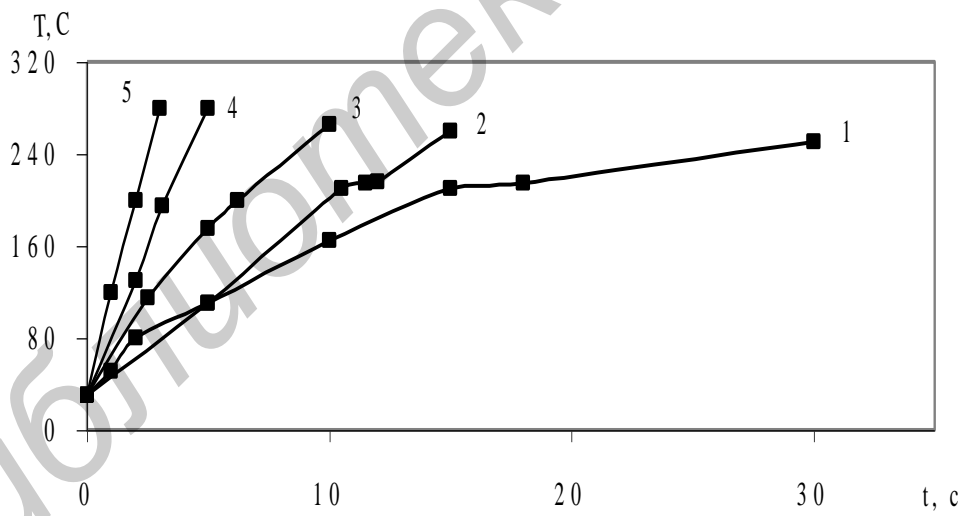
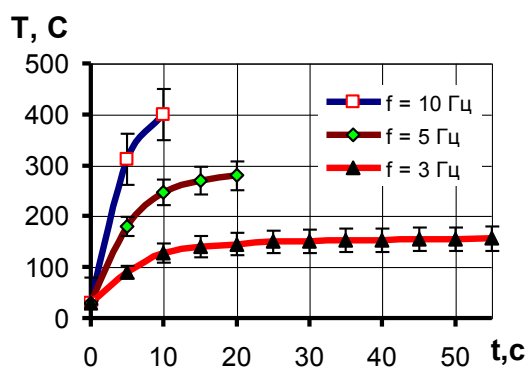
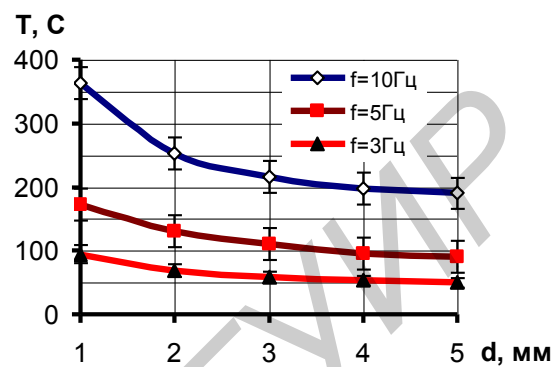


Рис. 2. Температурные зависимости в зоне пайки при различных вариантах нагрева: паяльником (1), ИК (2), ВЧ (3), ВЧ и ИК (4), лазером (5)



а



б

Рис. 3. Зависимости температуры нагрева зоны пайки от времени облучения (а), от диаметра луча (б) и частоты импульсов

Библиотека БГУИР