

УДК 621.3.049.77–048.24:537.2

## МОДИФИКАЦИЯ ПАЯЛЬНЫХ ПАСТ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

Дерман А.А.

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
г. Минск, Республика Беларусь

Научный руководитель: Ланин В.Л. – д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры ЭТТ

**Аннотация.** Модификация состава бессвинцового припоя достигнута с помощью введения углеродных нанотрубок в припой под воздействием ультразвуковых колебаний. Наличие углеродных нанотрубок (УНТ) в составе припоя повышает прочность соединений, так как они обладают уникальным комплексом свойств. В результате исследования получены зависимости прочности соединения и растекаемости от процентного содержания УНТ в пасте. Проведено моделирование ультразвуковых эффектов в бессвинцовом припое при перемешивании с УНТ, в ходе которого получены графики.

**Ключевые слова:** углеродные нанотрубки, бессвинцовый припой, индукционная пайка, ультразвук

**Введение.** Повышение качества соединения является одной из важнейших задач современного производства. При отказе от свинецсодержащего припоя и переходе на бессвинцовые припои необходимо избежать резкого увеличения количества дефектов паяных соединений. Применение бессвинцовых припоев приводит к изменению технологии пайки, потребуется корректировка режимов пайки и доработка технологического оборудования.

**Основная часть.** Паяльные пасты являются основным материалом для пайки электронных модулей оплавлением (инфракрасная, в парогазовой фазе, конвекционная пайка, лазерная). Паяльные пасты представляют собой однородную смесь частиц (гранул) припоя с флюсом и гелеобразующими веществами. В технологии поверхностного монтажа паяльная паста служит не только материалом для пайки, но и технологическим клеем, что позволяет в целом ряде случаев исключить нанесение клея с последующим его отверждением. [1]

Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают уникальным комплексом свойств [2]. Нанотрубки в 50–100 прочнее стали и имеют в 6 раз меньшую плотность. Модуль Юнга у нанотрубок вдвое выше, чем у обычных углеродных волокон. Нанотрубки не только прочны, но гибки, так как перестраиваются под действием механических напряжений. Однако реализация таких уникальных свойств возможна при переходе от индивидуальных УНТ к макроскопическим объектам на их основе [3].

В ходе экспериментального исследования использовалась паста *Lead Free Solder Koki* (217°C) *Korea CO., LTD*, в качестве модифицирующей добавки в паяльную пасту использовался углеродный наноматериал «Арт-нано» (ТУ ВУ 690654033.001-2011), производимый на ООО «Передовые исследования и технологии» (г. Минск) по технологии пиролизного разложения сжиженного газа. Материал представляет собой смесь углеродных нанотрубок среднего диаметра 30–40 нм и длиной 0.5–1.5 мкм. Перед введением в пасту сырой материал подвергался комплексной обработке в шаровой мельнице, центрифугированию, функционализации. На рисунке 1 показана фотография с просвечивающего (ПЭМ) электронного микроскопа обработанного углеродного материала. Дисперсионный состав материала анализировался на лазерном измерителе диаметра частиц *ANALIZETTE – 22*.

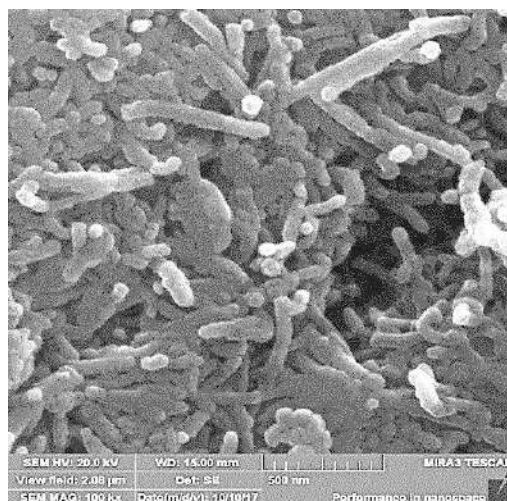


Рисунок 1 – ПЭВ фотография углеродного материала

Для испытаний модифицированных составов паст были выполнены паяные соединения внахлест типа IV в соответствии с ГОСТ 82280-90 при температуре пайки  $240 \pm 5$  °C (рисунок 2).

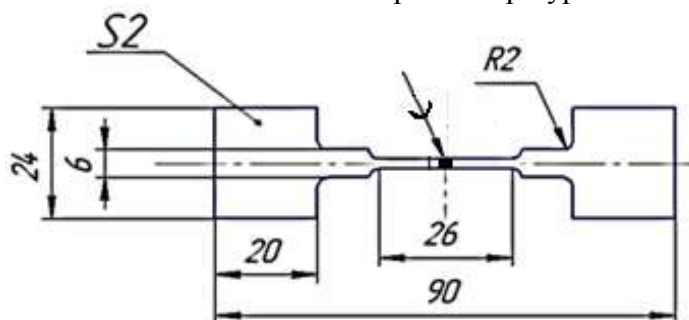


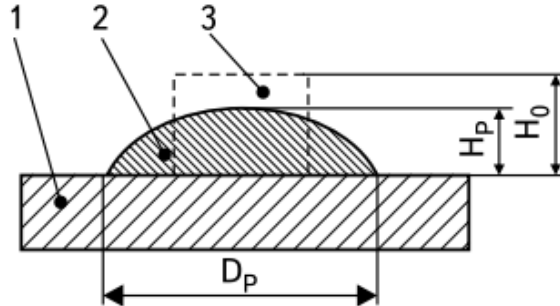
Рисунок 2 – Конструкция образцов для испытаний паяных соединений на прочность

Образцы, изготовленные из латунной ленты Л62 толщиной 0,7 мм, паялись индукционным нагревом на частоте 22,72 кГц в течение 70 с. Контроль прочности паяных соединений проводился с помощью разрывной машины НПЦ-13.04.5 Экспериментальные данные по прочности паяных соединений отображены в таблице 1.

Таблица 1 – Полученные данные прочности паяных соединений

Содержание УНТ, % в пасте	Усилие разрыва, Н	Среднее значение усилия, Н	Среднее значение прочности соединений, МПа
-	710, 720, 740	723,33	34,44
0,002	780, 820, 830	810,00	36,82
0,005 полидисперсная	760, 820, 840	806,67	36,67
0,005 мелкодисперсная	780, 830, 850	820,00	37,27
0,01 полидисперсная	860, 840, 850	850,00	38,63
0,02 полидисперсная	880, 900, 920	900,00	40,90
0,03 полидисперсная	990, 1070, 1050	1036,66	47,12

Испытания на паяемость проводились на поверхностях образцов из меди с серебряным покрытием толщиной 6 мкм при температуре 245°C, массе пасты 250 мг. Коэффициент растекания припоя определяли по высоте капли припоя до и после растекания (рисунок 3) и по их соотношению оценивали паяемость:



1 – образец металла; 2 – припой после растекания; 3 – доза припоя  
Рисунок 3 – Схема определения коэффициента растекания припоя

В таблице 2 приведены результаты оценки паяемости серебряных покрытий пастами с УНТ, использовались спиртоканифольные флюсы ФКТ и СКФ с содержанием канифоли до 40%.

$$K_{p2} = \frac{(H_0 - H_p)}{H_0} = 1 - \frac{H_p}{H_0}, \quad (1)$$

где  $H_p$  – высота капли припоя после растекания;

$H_0$  – высота "лежащей" капли припоя до растекания, которая находится из условий несмачивания поверхности:

$$H_0 = \sqrt{\frac{2\sigma_{1,2}(1 - \cos \theta)}{\rho g}}, \quad (2)$$

где  $\rho$  – плотность припоя;

$g$  – ускорение силы тяжести;

$\sigma$  – поверхностное натяжение на границе припой–металлическая поверхность.

Результаты оценки паяемости серебряных покрытий пастами с УНТ с использованием спиртоканифольных флюсов ФКТ и СКФ с содержанием канифоли до 40% и рекомендуемых для пайки электронных компонентов, приведены в таблице 2, а внешний вид растекания капель припоя – на рисунке 4.

Таблица 2 – Экспериментальные данные по растекаемости паст с УНТ

Флюс	УНТ	Высота капли, мкм	Коэффициент растекания, %	Паяемость
-	-	1040	74,0	Удовлетворительная
ФКТ	-	1005	74,9	Удовлетворительная
СКФ	0,01%	1015	74,6	Удовлетворительная
СКФ	0,02%	818	79,5	Удовлетворительная
СКФ	0,03%	763	80,9	Хорошая



Рисунок 4 – Образцы растекаемости пасты на серебряном покрытии 0,6 мкм с содержанием УНТ 0,01% (а), 0,02% (б) и 0,03% (в)

**Заключение.** Состав паяльной пасты был модифицирован добавлением углеродных нанотрубок с весовым содержанием 0,002–0,03%. При содержании в пасте 0,03% УНТ значение усилия максимально и равно 1036,6 Н, в то время как паста без УНТ имеет усилие, равное 723,3 Н. Таким образом усилие на разрыв образцов из латуни увеличилось на 30%. Коэффициент растекания паяльной пасты так же максимален в пасте с содержанием УНТ 0,03% и равен 80,9%. Анализ полученных данных свидетельствуют об улучшенных характеристиках бессвинцовых припоев при определенном процентном содержании УНТ в паяльной пасте – повышение механической прочности паяных соединений и растекаемости.

#### **Список литературы**

1. Нинг-Ченг Ли. Технология пайки оплавлением, поиск и устранение дефектов: поверхностный монтаж, BGA, CSP и Flip Chip технологии / Ли Нинг-Ченг. – М.: Технологии, 2006. – 392 с.
2. Раков, Э. Г. Нанотрубки и фуллерены / Э.Г. Раков. – М.: Университетская книга, Логос, 2006. – 376 с.
3. Сухно, И.В. Углеродные нанотрубки. Ч. 1. Высокотехнологические применения / И.В. Сухно, В.Ю. Бузько, Краснодар. – 2008. – 55 с.

UDC 621.3.049.77–048.24:537.2

## **SOLDERING PASTES MODIFICATION WITH CARBON NANOPARTICLES**

*Derman A.A.*

*Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Republic of Belarus*

*Lanin V.L. – Dr. Tech. Sc., full professor, professor of the department of ETT*

**Abstract** The lead-free solder is modified by introducing carbon nanotubes into the solder under the influence of ultrasonic vibrations. The presence of carbon nanotubes (CNTs) in the solder composition serves as "reinforcements", as it has a unique complex of properties. As a result of this study the dependence of bonding strength and flowability on the percentage of CNT in the paste was obtained. Ultrasonic effects in lead-free solder during mixing with CNT were simulated and plots were obtained.

**Keywords:** Carbon nanotubes, lead-free solder, induction soldering, ultrasound.