

## МОДИФИКАЦИЯ ПАЯЛЬНЫХ ПАСТ УГЛЕРОДНЫМИ НАНОЧАСТИЦАМИ

**В.Л. Ланин, д-р техн. наук, проф.,**

**А.В. Слижёва, Д.Ю. Ковалёв**

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники,  
Минск, Беларусь*

*Рассмотрены особенности паяльных паст, модифицированных углеродными наночастицами. Приведены методики модификации паяльных паст углеродными наночастицами и формировании паянных соединений локальным индукционным нагревом. Исследованы зависимости усилия на сдвиг паяных соединения от температуры нагрева для паст с различной концентрацией добавок и удельные сопротивления паст после плавления.*

**Ключевые слова:** паяльная паста, углеродные наночастицы, ультразвук, локальный индукционный нагрев.

Паяльные пасты являются основным материалом для пайки электронных модулей оплавлением (инфракрасная, в парогазовой фазе, конвекционная пайка, лазерная). Паяльные пасты представляют собой однородную смесь частиц припоя с флюсом и гелеобразующими веществами. В технологии поверхностного монтажа паяльная паста служит не только материалом для пайки, но и технологическим kleem, что позволяет исключить нанесение клея с последующим его отверждением. Нанесение паяльной пасты с помощью трафарета или дозированием обеспечивает повторяемость объема припоя на контактных площадках, что снижает вероятность образования перемычек при пайке компонентов с малым шагом выводов [1].

Наноразмерные частицы находят применение в процессах получения модифицированных полимерных композитов, в косметических технологиях и в других областях техники. Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают уникальным комплексом свойств. 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 [2].

При использовании УНТ возникает ряд проблем коллоидно-химического характера, так как большинствоnanoструктурных частиц агглюмировано, что вызывает необходимость разработки способов их диспергирования и введения в композиции различного назначения. Эффективным способом диспергирования УНТ в жидких средах является применение ультразвуковых (УЗ) колебаний, под действием которых в результате процессов кавитации и мелкомасштабных микропотоков ослабляются силы сцепления между УНТ. Диспергирование УНТ в жидких средах осуществляют с помощью ультразвука частотой 40 кГц в течение 10 минут и мощности 60 Вт. В качестве жидких

сред используют водные растворы ПАВ с концентрацией дисперсной фазы в суспензиях от 0,01 до 0,5 %масс.

Модифицированные УНТ паяльные пасты и припои проверяют на прочность сформированных паяных соединений и на растекание припоя по контактным поверхностям. Добавки УНТ в легкоплавкие бессвинцовые припои на основе олова улучшают паяемость, измельчают структуру припоя и тормозят рост интерметаллидов, увеличивают механическую прочность паяных соединений. При оптимальной концентрации УНТ 0,075 % прочность соединений припоем Sn-Cu увеличилась в 1,4 раза и достигла 25,1 МПа [3].

В работе исследуется влияние УНТ, вводимых в паяльные пасты на основе бессвинцовых припоев, на механические и электрические свойства паяных соединений.

**Методика экспериментальных исследований.** В паяльную пасту Lead Free Solder Koki (217 °C) Korea CO., LTD, в качестве модифицирующей добавки вводили использовался углеродный наноматериал «Арт-нано», 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 сканирующего (СЭВ) электронного микроскоп обработанного углеродного материала. Дисперсионный состав материала анализировался на лазерном измерителе диаметра частиц ANALIZETTE – 22.

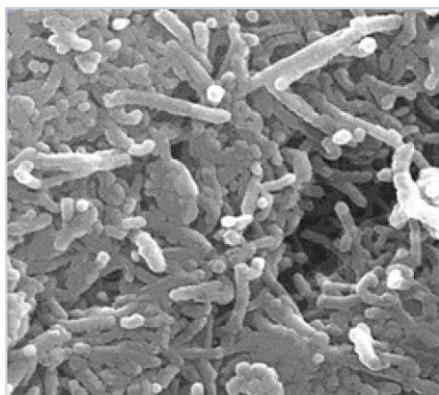


Рисунок 1. – СЭВ фотография материала

Ультразвук является эффективной технологией для диспергирования нанотрубок в воде, масле или пасте при низких или высоких концентрациях. Потоки жидких струй в результате ультразвуковой (УЗ) кавитации преодолевают силы сцепления между нанотрубками и отделяют их от агломератов. В результате сдвиговых сил УЗ колебаний и микротурбулентности микропотоков происходит равномерное распределение нанотрубок по объему жидкой среды. УНТ вводились в пасту с помощью диспергатора (рисунок 2), который подключался к генератору УЗГ22-1.5. Для диспергирования наночастиц в пасте мощность генератора изменялась от 150 до 600 Вт, контролируя величину кавитационного давления с помощью кавитометра ЛК-7. В процессах УЗ диспергирования важно формировать микро- и макропотоки таким образом, чтобы они обеспечивали равномерное распределение наночастиц в жидкой среде. Акустические течения шлихтингового типа возникают в жидкой среде вблизи границы с твердой поверхностью

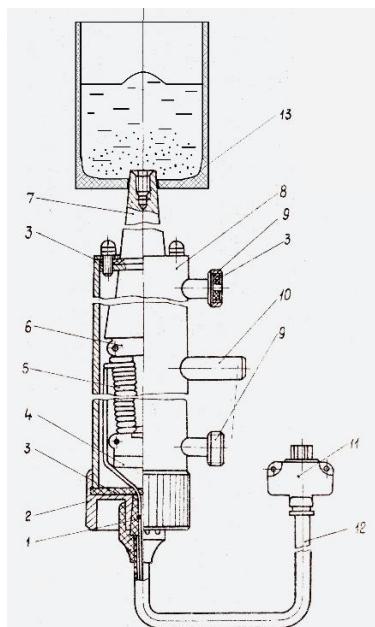
в пограничном слое, который имеет толщину  $\delta$ , и представляют собой вихри с масштабом  $\lambda/4 \times 1,9 \delta$ . Толщина акустического пограничного слоя  $\delta$  определяется формулой [4]:

$$\delta = \sqrt{\frac{\eta}{\pi \cdot f}}, \quad (1)$$

где  $\eta$  – вязкость расплава;

$f$  – частота УЗ колебаний.

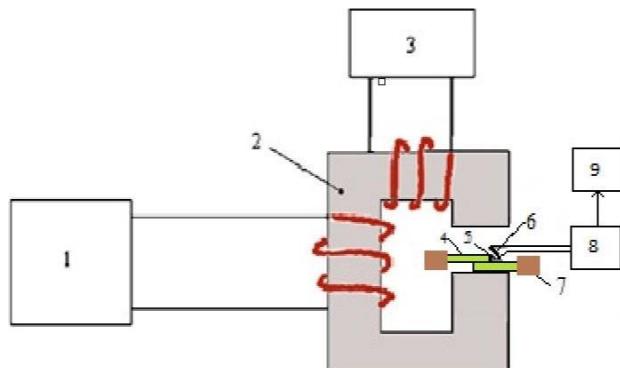
Условием возникновения стоячей волны в ванне является кратность высоты столба жидкости  $\lambda/2$ . Толщина акустического пограничного слоя для частот 21,0–22,0 кГц составляет 6–10 мм. Оптимальная величина кавитационного давления на уровне 2,5–3,0 кПа достигалась при мощности УЗ колебаний 300–400 Вт. Средний размер частиц УНТ составлял 10–40 нм.



- 1 – резиновая пробка;
- 2 – крышка;
- 3 – резиновая прокладка;
- 4 – демпфер;
- 5 – обмотка;
- 6 – излучатель;
- 7 – концентратор;
- 8 – кожух;
- 9 – штуцер;
- 10 – держатель;
- 11 – разъём;
- 12 – соединительный кабель;
- 13 – ванночка

Рисунок 2. – Ультразвуковой диспергатор

Для испытаний модифицированных составов паст были выполнены паяные соединения внахлест при температурах пайки 220–380 °С с помощью локального индукционного нагрева (рисунок 3).



- 1 – генератор;
- 2 – магнитопровод;
- 3 – источник подмагничивания;
- 4 – образцы;
- 5 – паяльная паста;
- 6 – датчик термопары;
- 7 – приспособление для фиксации образцов;
- 8 – измеритель температуры;
- 9 – дисплей

Рисунок 3.– Схема локального индукционного нагрева

Образцы, изготовленные из латунной ленты Л62 толщиной 0,7 мм, паялись индукционным нагревом на частоте 22,5 кГц. Термопрофиль индукционной пайки приведен на рисунке 4. Контроль прочности паяных соединений проводился с помощью разрывной машины НПЦ-13.04.5. Зависимости усилия на сдвиг от температуры и процентного соотношения УНТ приведены на рисунке 5, а экспериментальные данные по прочности паяных соединений – в таблице 1.

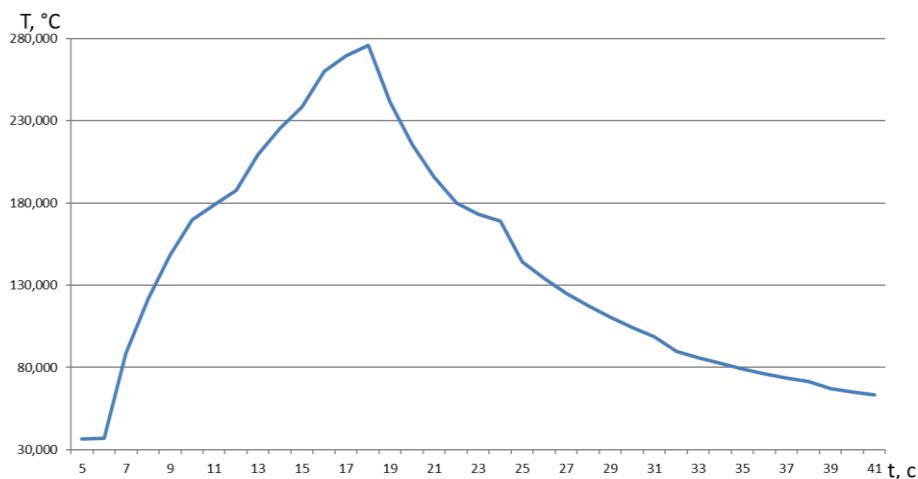


Рисунок 4. – Термопрофиль индукционной пайки

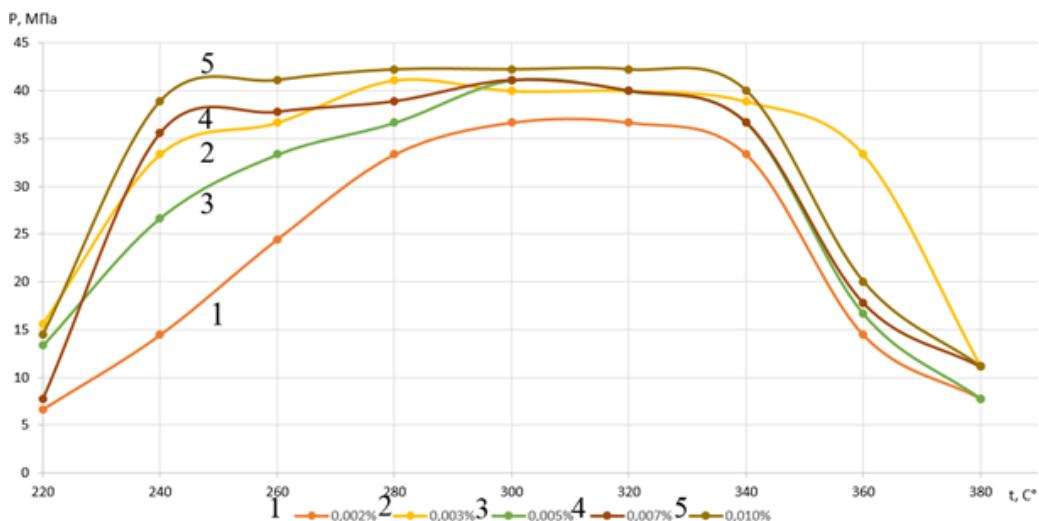


Рисунок 5. – Зависимости усилия на сдвиг паяных соединения от температуры нагрева

Оптимальное значение прочности соединений для большинства паяльных паст, находятся в диапазоне 260–340 °C, с увеличением процентного соотношения УНТ растет прочность и стабильность. Наибольшие значения прочности до 42 МПа достигнуты при 0,01%.

Для измерения переходного сопротивления паяных соединений использовался цифровой вольтметр В7-46 с микропроцессорным управлением по 4-проводной схеме (рисунок 4). Перед измерениями вольтметр переводят в режим программирования и устанавливают программу Pr 07, в которую вводят 10 измерений искомой величины с индикацией среднего значения, что позволяет получить более достоверные результаты

измерений. В качестве штырей-зондов используют латунные выводы с нанесенным на них электропроводным покрытием оловом. Переходное сопротивление определяют как

$$R_{\text{пер}} = R_{\text{изм}} - R_{\text{сх}}, \quad (1)$$

где  $R_{\text{изм}}$  – измеренное значение сопротивления;

$R_{\text{сх}}$  – сопротивление схемы измерений, которое рассчитывают по формуле

$$R_{\text{сх}} = R_1 + R_2 = \rho_1 \frac{l_1}{b \cdot \delta} + \rho_2 \frac{l_2}{b \cdot h}, \quad (2)$$

где  $\rho_1, \rho_2$  – удельные сопротивления припоя и материала образца соответственно;

$b$  – ширина зоны лужения;

$h$  – толщина образца;

$\delta$  – толщина припоя.

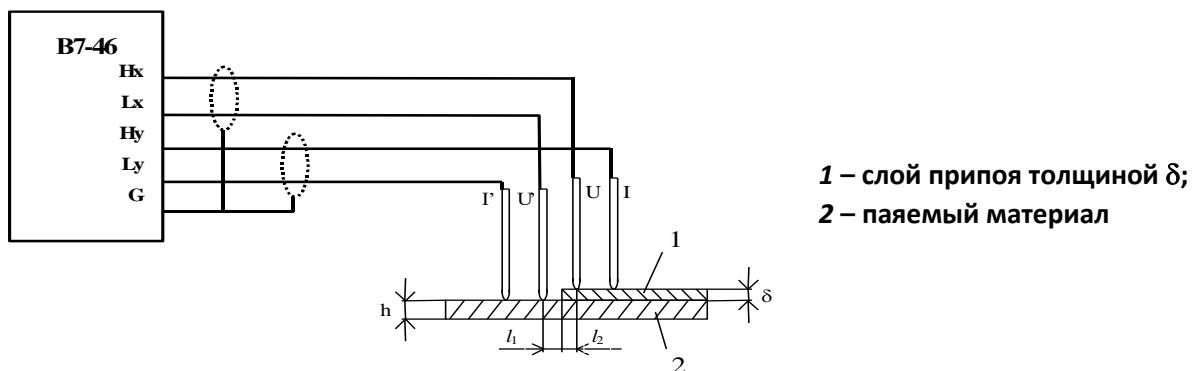


Рисунок 4. – Схема измерения переходного сопротивления паяных соединений

Величина переходного сопротивления паяных соединений, выполненных с применением пасты с нанотрубками, зависит от процентного содержания углеродных нанотрубок. Погрешность измерений определяется толщиной  $\delta$  и не превышает 10 %. расстояние между зондами должно превышать диаметр точечного контакта зонда и более чем в 2 раза толщину покрытия. Удельное сопротивление пасты с концентрацией углеродных наночастиц 0,01% после оплавления составило  $0,077 \cdot 10^{-6}$  Ом·м.

**Выводы.** Механическая прочность паяных соединений, полученных с помощью бессвинцовых паяльных паст пасте Lead Free Solder KOKI Korea CO., LTD, модифицированных УНТ, увеличивается в 1,2–1,4 раза, достигая максимального значения 42,2 МПа при содержании УНТ 0,01%.

## ЛИТЕРАТУРА

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. Сухно, И.В. Углеродные нанотрубки. Ч. 1. Высокотехнологические применения / И.В. Сухно, В. Ю. Бузько. – Краснодар, 2008. – 55 с.

3. The Influence of Carbon Nanotubes on the Properties of Sn Solder / Kai-kai Xu1 [and ets] // Materials Transactions, 2020, Vol. 61. –No. 4. –P. 718–722.
4. Ланин, В.Л. Ультразвуковые технологии получения наноматериалов / В.Л. Ланин, В.С. Томаль // Перспективные материалы. Спец. выпуск. 2008.– С. 120–124.