

твлять полученные данные с покупательской активностью и предлагать рекомендации для поддержки в принятии маркетинговых решений. Это может быть использовано, например для повышения эффективности мерчандайзинга и планирования размещения товаров. Предложенный подход открывает новые возможности для внедрения интеллектуальной аналитики поведения покупателей с целью трансформации и оптимизации бизнес-процессов.

Л и т е р а т у р а

1. DataFlair. Python Project – Real-Time Human Detection and Counting. – URL: <https://dataflair.training/blogs/python-project-real-time-human-detection-counting/> (дата обращения: 05.10.2025).
2. Ковганов, Д. В. О проблеме обнаружения объектов на основе данных видеорегистрации / Д. В. Ковганов, А. И. Парамонов // Научное электронное издание «Новые математические методы и компьютерные технологии в проектировании, производстве и научных исследованиях»: XX Респ. науч. конф. студентов и аспирантов (Гомель, 20–22 марта 2017 г.) – Гомель : ГГУ им. Ф. Скорины, 2017. – С. 66.
3. Rosebrock A. Deep Learning for Computer Vision with Python. – PyImageSearch, 2017. – 640 p.

МОДИФИКАЦИЯ ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПОВЕРХНОСТНОГО МОНТАЖА УГЛЕРОДНЫМИ НАНОТРУБКАМИ

Д. Ю. Ковалев, В. Л. Ланин, А. В. Слижева

*Белорусский государственный университет информатики
и радиоэлектроники, г. Минск*

Предложена методика модификации паяльных паст углеродными наночастицами с применением ультразвуковых колебаний в режиме микро- и макропотоков в пограничном акустическом слое. Проведены исследования прочности паяных соединений в зависимости от содержания наночастиц в пасте и температуры нагрева.

Ключевые слова: паяные соединения, поверхностный монтаж, углеродные нанотрубки.

MODIFIED OF SURFACE MOUNT SOLDER JOINTS WITH CARBON NANOTUBES

D. Y. Kovaliouv, V. L. Lanin, A. V. Slizhova

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

A methodology for the modification of solder pastes with carbon nanoparticles using ultrasonic vibrations in the micro- and macro-flow regimes of the boundary acoustic layer has been pro-posed. Studies have been conducted on the strength of solder joints depending on the nanoparti-cle content in the paste and the heating temperature.

Keywords: solder joints, surface mount technology, carbon nanotubes.

Наноразмерные частицы находят широкое применение в процессах получения модифицированных композитов в различных областях науки и техники. Углеродные нанотрубки (УНТ) обладают уникальным комплексом свойств, поскольку они в 50–100 прочнее стали и имеют в 6 раз меньшую плотность. Модуль Юнга у нанотрубок вдвое выше, чем у обычных углеродных волокон. Добавки УНТ в легкоплавкие бес-свинцовые припой на основе олова улучшают паяемость, измельчают структуру припоя и тормозят рост интерметаллидов, увеличивают механическую прочность паяных соединений.

Ультразвук является очень эффективной технологией для диспергирования нанотрубок в воде, масле или пасте при различных концентрациях. Потoki жидких струй в результате ультразвуковой (УЗ) кавитации преодолевают силы сцепления между нанотрубками и отделяют их от агломератов. В результате микротурбулентности микропотоков происходит равномерное распределение нанотрубок по объему жидкой среды.

Целью работы является модификация структуры паяльных паст на основе бессвинцовых припоев за счет использования УНТ, вводимых в исходный состав пасты с помощью ультразвуковых колебаний, подвергаемых диспергированию, исследование влияния УНТ, вводимых в паяльные пасты на основе бессвинцовых припоев, на механические свойства паяных соединений поверхностного монтажа.

Экспериментальные исследования. УНТ вводились в пасту с помощью диспергатора, который подключался к генератору УЗГ22-1.5. Для диспергирования наночастиц в пасте мощность генератора изменялась от 150 до 600 Вт, контролировалась величина кавитационного давления в ванночке 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. 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.

В качестве модифицирующей добавки в паяльную пасту Lead Free Solder Koki (217 °С) Korea CO., LTD вводился углеродный наноструктурированный материал «Арт-нано»), производимый на ООО «Передовые исследования и технологии» (г. Минск) по технологии пиролизного разложения сжиженного газа. Материал представляет собой смесь УНТ среднего диаметра 30–40 нм и длиной 0,5–1,5 мкм.

Для оценки прочности паяных соединений, выполненных с применением модифицированных составов паст, выбрана конструкция соединения внахлест типа IV в соответствии с ГОСТ 82280-90 при температуре пайки 240 ± 5 °С. На разрывной машине НТЦ 13.04.5 а получена зависимость прочности соединения на разрыв (рис. 1).

Удельное электрическое сопротивление УНТ очень разнообразно и варьируется в широких пределах, но оно, как правило, низкое, поскольку УНТ обладают высокой проводимостью. В некоторых случаях удельное сопротивление УНТ может достигать значений около 10^{-6} Ом · см, что делает их отличными проводниками. Величина удельного электрического сопротивление припоя составила 11,5 мкОм · см, что согласуется со справочными данными для припоя системы Sn-Ag-Cu.

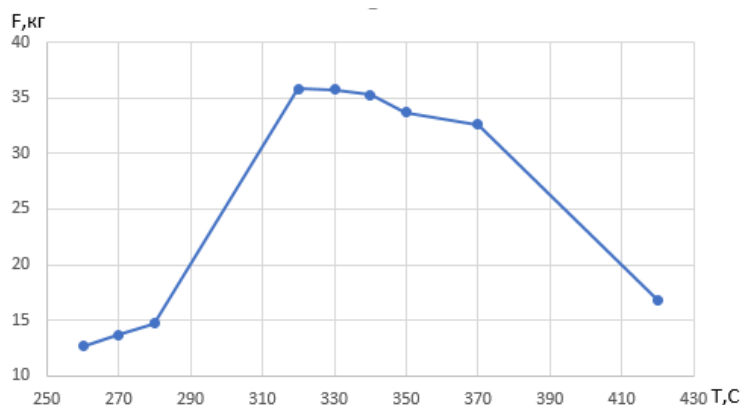


Рис. 1. Зависимость усилия на сдвиг паяных соединений от температуры

Величина удельного электрического сопротивления припоя слабо зависит от концентрации углеродных нанотрубок, но снижается с увеличением концентрации (рис. 2).

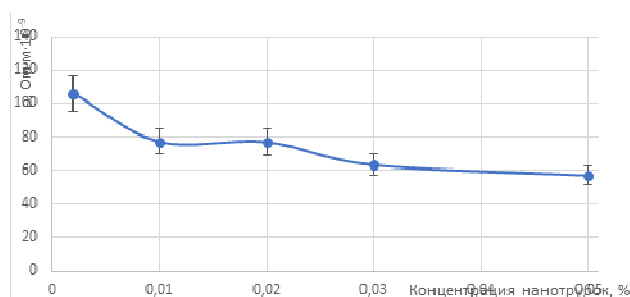


Рис. 2. Зависимость удельного сопротивления оплавленной пасты от концентрации углеродных нанотрубок

Оптимальные значения прочностей паяных соединений λ для модифицированных паяльных паст находятся в диапазоне 260–340 °С. С увеличением процентного соотношения УНТ растет прочность и стабильность паяных соединений. Наибольшие значения прочности до 42 МПа достигнуты при содержании УНТ 0,01 %.

Литература

1. The Influence of Carbon Nanotubes on the Properties of Sn Solder / Kai-kai Xu [et al.] // Materials Transactions, 2020, Vol. 61. – N 4. – P. 718–722.
2. Повышение прочности паяных соединений введением углеродных наночастиц в паяльные пасты / С. А. Жданок, В. А. Емельянов, В. Л. Ланин, А. В. Крауклис // Инженерно-физический журнал. – 2022. – Т. 95, № 6. – С. 1465–1470.

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ РАБОЧЕГО ОБЪЕМА ПЛАЗМЕННОЙ КАМЕРЫ НА ПРОЦЕСС ТРАВЛЕНИЯ КРЕМНИЯ

М. С. Лушакова, О. И. Тихон, С. И. Мадвейко

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск

Установлена зависимость изменения скорости травления кремниевой пластины от высоты разрядной камеры в плазме комбинированного разряда. Выбрана оптимальная высота камеры исходя из скорости травления и рельефа получаемой поверхности.

Ключевые слова: плазменная камера, комбинированный разряд, травление, кремний.

INFLUENCE OF THE PLASMA CHAMBER HEIGHT ON THE SILICON ETCHING PROCESS

M. S. Lushakova, O. I. Tsikhan, S. I. Madveika

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk

The dependence of the silicon wafer etching rate on the discharge chamber height in the combined discharge plasma has been established. The optimal height of the chamber was determined based on the etching rate and the relief of the resulting surface.

Keywords: plasma chamber, combined discharge, etching, silicon.