

**МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ЛЕГКОПЛАВКИХ
СПЛАВОВ И УГЛЕРОДНЫХ НАНОТРУБОК ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ В ИЗДЕЛИЯХ ЭЛЕКТРОНИКИ**

© 2017 г. В.Л. ЛАНИН, А.В. КОВАЛЬЧУК

Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, г. Минск
e-mail: vlanin@bsuir.by

В технологии сборки 3D электронных модулей широкое применение получили бампы бессвинцового припоя SnAgCu, с помощью которых осуществляется электрическое контактирование корпусов BGA с платой (рис. 1) [1]. Для формирования паяных контактных соединений в электронных модулях в условиях серийного производства применяют методы конвекционного, инфракрасного и лазерного нагрева. Среди этих методов наибольшие преимущества имеет лазерный нагрев в виду высокой скорости, локальности и возможности соединения элементов с различной теплоемкостью. Однако даже в условиях скоростного нагрева возможно образование интерметаллидных соединений в зоне пайки между компонентами бессвинцового припоя и материалами финишных покрытий печатных плат [2].

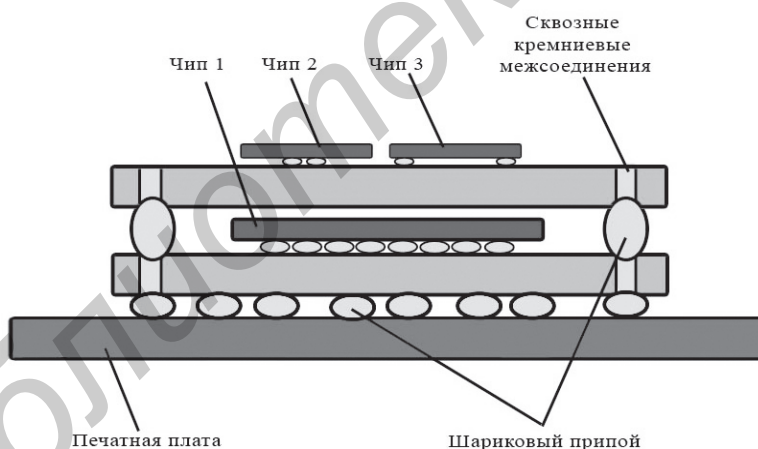


Рис. 1. Структура 3D электронного модуля.

С помощью просвечивающей электронной микроскопии в зоне контактных соединений после лазерной пайки выявлены интерметаллиды $(\text{Ni}, \text{Cu})_3\text{Sn}_4$ и $(\text{Cu}, \text{Ni})_6\text{Sn}_5$ (рис. 2), которые могут снизить надежность паяных соединений при эксплуатации [3].

Предложено ввести в состав легкоплавких сплавов на основе олова углеродные нанотрубки для повышения механических свойств, стойкости к термоциклированию и снижения температуры процесса соединения. Углеродные нанотрубки (УНТ), представляющие полые наноструктуры, состоящие из графитовой оболочки (рис. 3), являются в настоящее время предметом исследования в области материаловедения из-за своих уникальных электрических и механических свойств в сочетании с химической стабильностью [4]. Углеродные нанотрубки обладают высокими механическими свойствами с прочностью в 100 раз больше, чем у стали, и в тоже время в 6 раз легче.

УНТ вводят как упрочняющие элементы в композитные материалы, однако основным препятствием является смачиваемость поверхности трубок.

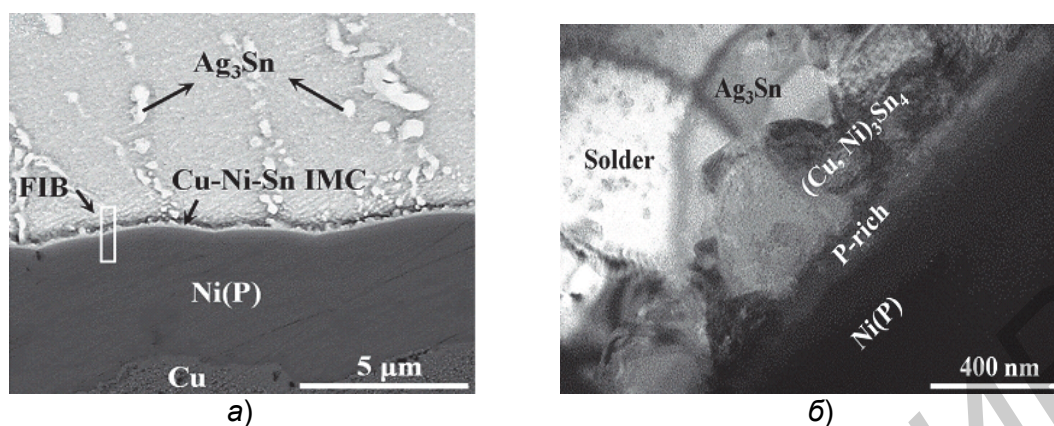


Рис. 2. Микроструктуры припоя SAC 305 после лазерной пайки бампов.

Углеродные малостенные нанотрубки длиной 1–5 нм получены методом осаждения из газовой фазы (CVD-методом) (рис. 3).

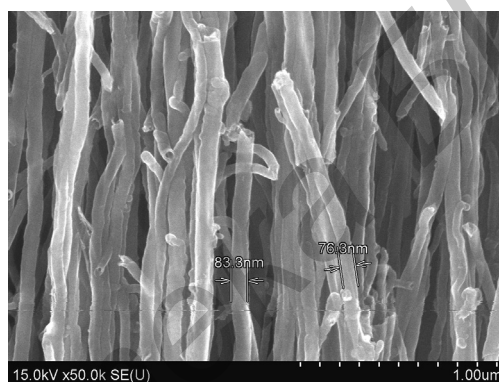


Рис. 3. Углеродные малостенные нанотрубки.

Для модификации расплавов использованы ультразвуковые (УЗ) эффекты в жидких средах, которые вызывают измельчение зерна, улучшение однородности структуры, смачивающей способности и механических свойств паяных соединений. Анализ процессов воздействия мощного УЗ на жидкие среды показывает, что наибольшее количество вторичных физических эффектов создает процесс кавитации. Для повышения эффективности кавитации применено газовое насыщение расплава, которое достигнуто введением твердых наноразмерных частиц, таких как УНТ. Значения краевого угла смачивания для случая роста зародыша на дисперсных твердых частицах радиусом 10^{-6} – 10^{-7} м составили 100 – 175° [4].

Локальные тепловые эффекты при УЗ металлизации неметаллических материалов: керамики, стеклокерамики, ферритов и др. создают условия для образования химических связей между оксидами на межфазной границе. Динамические эффекты обеспечивают удаление жировых загрязнений и оксидных пленок с поверхностей материалов, что является физической основой процессов УЗ очистки в жидких средах и УЗ пайки труднопаяемых материалов. Сонолюминисценция и тепловые эффекты на поверхности взаимодействующих фаз в УЗ полях различных частот ускоряют процессы смачивания, диффузии и кристаллизации расплавов припоев [5].

Введение адгезионно-активных добавок графена в микродозах в расплав бессвинцового припоя при воздействии интенсивных ультразвуковых колебаний приводит к измельчению зерен припоя, тормозит образование хрупких интерметаллидных соединений, таких как Sn_3Cu и AgSn , характерных для бессвинцовых припоев, на грани-

цах раздела фаз.

Разработана методика введения в состав легкоплавких сплавов на основе олова УНТ и графена под воздействием интенсивных акустических колебаний амплитудой 20–25 мкм частотой 40–44 кГц в звукохимическом реакторе с кольцевым инфракрасным нагревом под воздействием ультразвука (рис. 4). В расплавы вводились частицы графена и УНТ в количестве 0,1-0,5%, обрабатываемые ультразвуком в течение 3-5 минут при нагреве до температур, на 40-50°, превышающих температуру плавления сплавов.

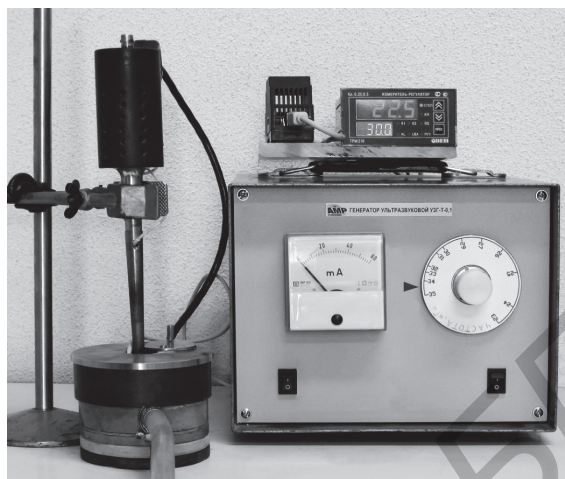
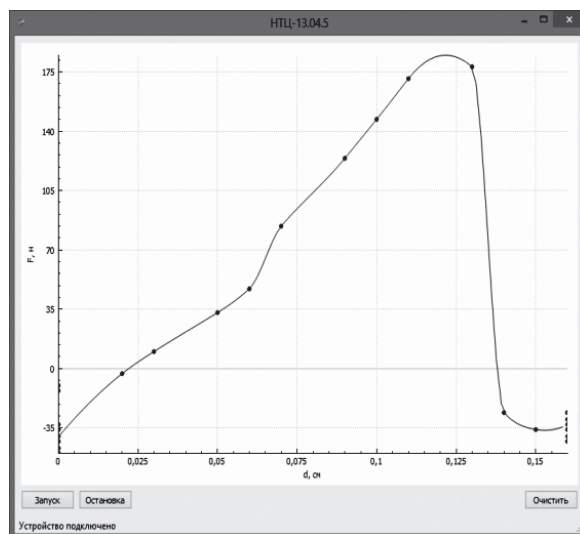


Рис. 4. Устройство модификации составов припоев.

Исследованы физико-механические свойства контактных соединений в зависимости от состава многофункциональных материалов и температуры процесса формирования соединений. Температурный профиль процесса пайки контролировали с помощью прибора ТРМ1, соединенного с компьютером. Образцы для испытания на растяжение были выбраны в виде двух пластин из алюминия марки А1 и стали Ст. 10 толщиной 0,5 мм. Процесс пайки вели с применением ультразвуковых колебаний частотой 44 ± 1 кГц и амплитудой 10–15 мкм. Прочность паяных соединений образцов проверяли методом нормального разрыва на разрывной машине НТЦ 13.04.05 (рис. 5, а) при скорости движения нижнего захвата $10 \pm 0,1$ мм/мин. Запись кривой растяжения и определение усилия разрыва соединений осуществлялось с помощью компьютера (рис.5, б).



а)



б)

Рис. 5. Разрывная машина (а) и кривая растяжения (б) паяного соединения.

Анализ зависимостей (рис. 6) показал, что применение УНТ и микрочастиц графена приводит к повышению прочности паяных соединений. Максимальная прочность контактных соединений 30–35 МПа достигнута при температуре 320–360°C.

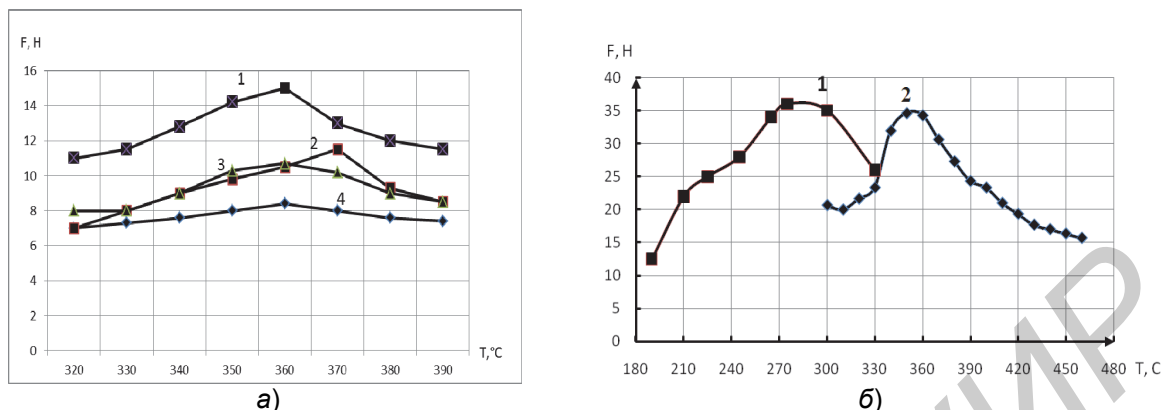


Рис. 6. Зависимости прочностных характеристик паяных соединений, полученных с применением графена (а) и УНТ (б) от температуры пайки.

Установлена закономерность снижения температуры плавления многофункциональных материалов на основе легкоплавких сплавов в зависимости от содержания в них УНТ. Получены экспериментальные образцы контактных соединений в виде мишеней титан–нитрид бора с применением многофункциональных материалов на основе легкоплавких сплавов и УНТ.

Таким образом, показана эффективность применения интенсивных акустических колебаний в звукохимическом реакторе для модификации составов многофункциональных материалов на основе легкоплавких сплавов и углеродных нанотрубок. Разработан состав многофункционального материала основе сплава олова, 1–3,5 % серебра, 0,7–3,0% меди с добавлением в сплав малостенных углеродных нанотрубок размером 1–10 нм, который обеспечивает повышение механической прочности паяных соединений, увеличивает их стойкость к термоциклированию в диапазоне -40–+125°C за счет снижения роста интерметаллических фаз в сплаве. Модификация состава бессвинцового припоя позволяет повысить прочность паяных соединений и обеспечить возможность пайки труднопаяемых материалов. Применение многофункциональных материалов с УНТ при сборке и монтаже SMD компонентов повысит механическую прочность контактных соединений в 3D электронных модулях, а также в мощных полупроводниковых приборах и других изделиях электроники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Development of 3-D Stack Package Using Silicon Interposer for High-Power Application / N. Khan [and ets] // IEEE Transactions on Advanced Packaging, 2008.–V.31.– № 1. – P. 44–50.
2. Зенин В.В., Емельянов В.А., Ланин В.Л. Монтаж кристаллов и внутренних выводов в производстве полупроводниковых приборов. – Минск: Интегралполиграф, 2015.– 380 с.
3. TEM observation of interfacial compounds of SnAgCu/ENIG solder bump after laser soldering and subsequent hot air reflows / B. Liu [and ets] // Materials Letters, 2016.–№ 116. – P. 254–257.
4. Ланин В.Л., Емельянов В.А. Электромонтажные соединения в электронике. Технология, оборудование, контроль качества. – Минск: Интегралполиграф, 2013. – 406 с.
5. Lanin V.L. Application of the Concentrated Power Streams in Electronics Industry. – Saarbrucken, Germany: Scholar's Press. – 2015. – 194 p.