

водит к появлению большого числа центров кристаллизации, их относительно равномерному развитию и быстрому росту как в тангенциальном, так и в перпендикулярном направлениях к поверхности подложки. Но, так как возможности для роста кристаллитов в тангенциальном направлении ограничены со стороны соседних растущих кристаллитов, то их развитие происходит преимущественно в перпендикулярном направлении к поверхности. В результате появляется сравнительно мелкозернистая микроструктура, но с крайне неравномерным и развитым микрорельефом. При наложении ультразвуковых колебаний во время электролиза расширяется диапазон рабочих плотностей тока вследствие интенсивного перемешивания электролита. У сформированного осадка сохраняются закономерности, описанные выше, но исчезает граница между зернами, поверхность становится сглаженной и однородной, при этом размер зерна снижается в пределах 1,2–3,8 мкм при $i_k=2,5 \text{ А/дм}^2$.

При электроосаждении покрытий сплавом олово-висмут на импульсном токе (рис. 3, в, г) поверхность покрытия сглаживается, но применение УЗК заметно не влияет на структуру, однако, содержание висмута снижается в три раза с 0,75 до 0,25 масс. %.

Влияние параметров реверсированного тока и УЗК на структуру сплава олово-висмут представлено на рис. 3, д, е. При высокой средней плотности реверсированного тока ($i_{cp}=2,5 \text{ А/дм}^2$) воздействие ультразвука приводит к осаждению чистого олова (содержание висмута – 0 масс. %). Покрытие становится более однородным, без четких границ между зернами.

Таким образом, можно сделать вывод, что применение периодического тока существенно улучшает кристаллическую микроструктуру формируемого покрытия сплавом олово-висмут. Осадки становятся плотноупакованными со сглаженной и однородной поверхностью, исчезает граница между зернами. Наложение УЗК на процесс электролиза способствует увеличению скорости обновления электролита у поверхности катода, повышает катодный выход металла по току и тем самым предельную плотность тока. Совместное использование ультразвука и различных форм периодического тока при формировании покрытий сплавом олово-висмут приводит к измельчению осадков, повышению их способности к пайке и снижению величины удельного электрического сопротивления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Медведев А.* Форум по бессвинцовым технологиям пайки. / А. Медведев, А. Новиков // Технологии в электронной промышленности. – 2007. – №4. – С.48–54.
2. *Puippe, Jean-Claude* Theory and practice of pulse plating / Jean-Claude Puippe, Frank Leaman // American electroplaters and surface finishers society. – Florida, USA. – 1986.
3. *Костин, Н.А.* Импульсный электролиз. Н.А. Костин, В.С. Кублановский, А.В. Заблудовский. – Киев : Наук. думка, 1989. – 168 с.
4. *Tsai, Yi-Da* Pulse Electroplating of Sn-Bi Alloys on Micropatterned Electrodes for Lead-Free Solder Bumping / Yi-Da Tsai [et. al] // Journal of The Electrochemical Society. – 2012. – P. 108-113.
5. *Антропов, Л.И.* Теоретическая электрохимия: Учеб. для хим.-технолог. спец. Вузов / Л.И. Антропов – М.: Высш. шк., 1984. – 512 с.
6. *Дежкунов, Н.В.* Оборудование для ультразвуковой интенсификации гальванических техпроцессов / Н.В. Дежкунов [и др.] // Материалы докладов III РНТС «Создание новых и совершенствование действующих технологий и оборудования нанесения гальванических и их замещающих покрытий», 5-6 декабря 2013 г., БГТУ, Минск, Беларусь. - Минск: БГТУ, 2013. – С. 82-86.
7. *Рогачев А.* Паяемость печатных плат и компонентов – критерий надежности функционирования электрических схем // Технологии в электронной промышленности. – 2008. – № 8. – С. 32–33.