

Электролит для ровного осаждения олова на большой поверхности для минимального риска образования «усов»

Олаф Куртц (Olaf Kurtz),
к. т. н.

olaf.kurtz@atotech.com

Юрген Бартельмес
(Jürgen Barthelmes)
Петер Кюлькамп
(Peter Kühlkamp)
Роберт Рютэр
(Robert Rütther)
Динг-Джи Нео
(Ding-Ghee Neoh)

Перевод: Андрей Новиков

andrej.novikov@uni-rostock.de

Введение

Специальная рабочая группа по изучению оловянных «усов» (Tin Whisker User Group), состоящая в международной инициативной ассоциации производителей электроники (International Electronics Manufacturing Initiative (iNEMI)), ввела в 2007 году новое разделение электролитов для осаждения олова на блестящие и матовые (табл. 1).

Таблица 1. Новое определение электролитов для осаждения блестящего олова в сравнении с неизменными характеристиками электролита для осаждения матового олова по данным iNEMI

Параметр	Концентрация углерода, %	Размер зерна, мкм
Матовое олово	0,005–0,05	1–5
Блестящее олово (прежнее определение)	0,2–1	0,5–0,8
Блестящее олово (новое определение)	0,005–1	<1,0

В данном документе [1] было заново пересмотрено появившееся в 2006 году разделение, касающееся определения электролита для осаждения блестящего олова. В этом раннем определении рассматривались одновременно более высокое по сравнению с матовыми слоями олова напряжение в структуре кристалла и большое включение углерода, которые сопровождалась повышенным риском образования «усов» [2, 3]. Препятствия основывались на опыте, полученном при использовании электролитов для осаждения блестящего олова первого поколения, и не отражала, согласно сегодняшней оценке, уровень техники на данный момент. В рекомендации неоднократно был продемонстрирован хороший результат использования электролитов для осаждения блестящего олова в отношении образования «усов», и к тому же были представлены обширные результаты исследований, в которых не был обнаружен повышенный риск образования «усов» по сравнению с электролитами для осаждения матового олова [4–7].

В новой формулировке определения разницы между электролитами для осаждения блестящего и матового олова, представленной рабочей группой по изучению оловянных «усов» (iNEMI Tin Whisker User Group), учтены результаты исследований электролитов для осаждения блестящего олова, в связи с чем была значительно опущена нижняя граница содержания углерода в слое. Тем не менее, основная рекомендация iNEMI

Таблица 2. Обзор вариантов бессвинцовых покрытий, а также их разделение на категории с учетом риска образования «усов» [1]

Паяемое покрытие	Основной материал				Цветовая кодировка
	Медь (7025, 194 и т. д.) (искл. латуни). Категория	Сплав с мал. ТКЛР (FeNi42, ковар). Категория	Керамика (резисторы и конденсаторы) — без выводов и рамки. Категория	Цветовая кодировка	
NiPdAg	1	1	1		
NiPd	1	1	1		
NiAu	1	1	1		
Горячее лужение SnAgCu	1	1	1		
Мат. Sn / подслоя Ni	2	–	1 или 2		
Оплавление Sn	2	2	2		
Мат. Sn / подслоя Ag	2	2	2		
Горячее лужение Sn	2	2	2		
Горячее лужение SnAg	2	2	2		
SnAg (1,5–4% Ag)	2	2	2		
Мат. Sn — отжиг 150 °C	2	2	2		
SnBi (2–4% Bi)	2	2	2		
Горячее лужение SnCu	2 или 3	2	2		
Мат. SnCu — отжиг 150 °C (2% Cu)	3	3	3		
Блест. Sn / подслоя Ni	3	3	3		
Мат. Sn	3	2	3		
Полумат. Sn	3	3	3		
SnCu	3	3	3		
Блест. Sn	3	3	3		
Ag (подслоя Ni)	1	1	1		
AgPd (подслоя Ni)	1	1	1		
Ag	1	–	1		
Категория 1	Кодировка цветом				
Нет необходимости тестирования «усов»		Предпочтительные покрытия			
Категория 2		Предпочтительные покрытия с возможностью уменьшения риска образования «усов»			
Необходимость тестирования «усов»		Предпочтительные покрытия с ограниченной возможностью уменьшения риска образования «усов»			
Категория 3		Покрытия без возможности уменьшения риска образования «усов»; как правило, не приемлемы			
Финишное покрытие недопустимо		Покрытия, которых необходимо избегать			

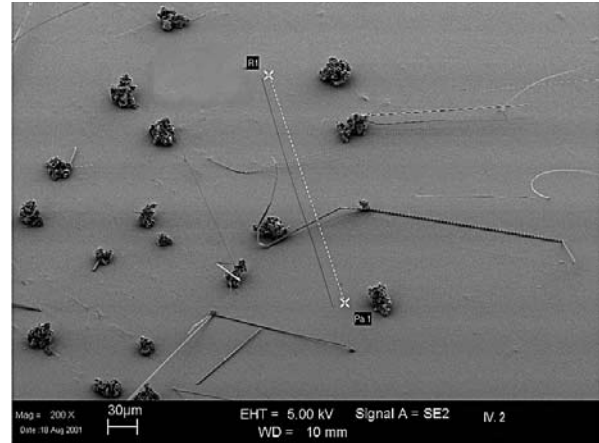
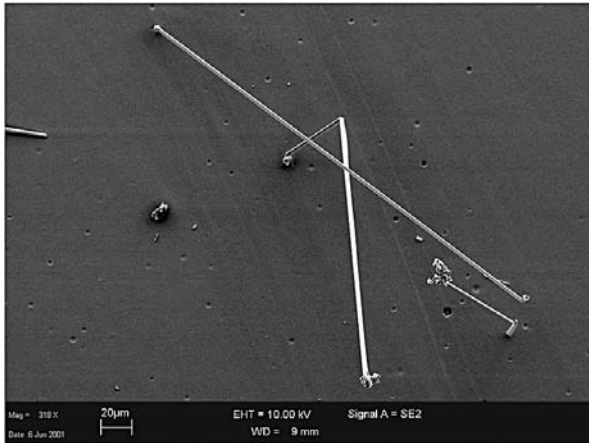


Рис. 1. REM-снимки оловянного «уса» на блестящей оловянной поверхности, спровоцированного пятикратным увеличением содержания блескообразующего вещества (материал основы: блестящее никелевое покрытие)

по использованию матового олова была незначительно расширена лишь за счет добавления примеси, которая также может быть применена в специальных случаях и с блестящим оловом. Обзор всех вариантов бессвинцовых покрытий, а также их распределение по категориям с учетом риска образования «усов» представлен в таблице 2 [1].

Наряду с включением углерода, в качестве возможной причины риска образования «усов» рабочая группа по изучению оловянных «усов» ясно указывает на значение структуры зерен и ее влияние на образование и рост «усов».

Кроме того, структура кристалла определяет также шероховатость поверхности олова, которая в свою очередь оказывает непосредственное влияние на паяемость. В связи с чем считается: чем более шероховатая поверхность, тем сильнее образование оксида и тем хуже паяемость оловянного покрытия. Это и является причиной того, что поверхности с блестящим оловом, как правило, лучше паяются, чем поверхности с матовым оловом, особенно после процесса старения водяным паром.

Далее будет представлен электролит для осаждения чисто матового олова на основе метансульфокислоты, с помощью которого будут получены однородные оловянные поверхности с максимально возможными размерами зерен и одновременно будут достигнуты минимальные шероховатости для матовых поверхностей. Комбинация этих двух характеристик ведет к минимальному риску образования «усов» при одновременно улучшенных свойствах паяемости и уменьшенном износе при процессах обработки, как, например, при процессе формовки и обрезки выводов (Trim-and-Form Process) при использовании рамки с внешними выводами.

Морфология и образование «усов»

«Усы» являются монокристаллами, образованными из металлического β -олова, с типичным диаметром в несколько микрометров и длиной до нескольких миллиметров. Скорость их роста зависит от температуры и составляет при 50 °С в среднем 5 нм/с,

что соответствует росту 0,4 мм в день [8–12]. Образование таких электропроводимых «усов» в электронных модулях с покрытием из олова может приводить в электронике к коротким замыканиям и отказам электронных модулей [11, 13, 14]. «Усы» получили такое название за счет своего внешнего вида, который напоминает волосы (рис. 1) [5].

Причиной образования «усов» являются напряжения сжатия, причем принципиально отличаются спонтанное образование «усов» (proper whisker) и «усы», возникающие при сжатии (squeeze whisker). Последние возникают вследствие воздействия внешнего давления, в то время как при спонтанном образовании «усов» причиной образования являются напряжения, возникающие в гальванически осажденном слое олова. В обоих случаях речь идет о процессе релаксации для снижения имеющихся напряжений сжатия. Переход атомов олова происходит вдоль границ зерен. Самодиффузия может не учитываться для процесса образования «усов». Дефекты в слое, кристаллы неправильной формы, а также искажения кристаллов способствуют данному переходу благодаря внутреннему напряжению давления и в значительной степени ускоряют рост «усов». Деформации атомной решетки могут возникнуть из-за включения инородных материалов и загрязнений, таких, например, как включения углерода или соединений углерода из примесей электролита. На представленных снимках (рис. 1), полученных путем растровой электронной микроскопии (REM), видны оловянные «усы» на блестящем оловянном покрытии. Эти снимки были сделаны в рамках обширного исследования факторов воздействия на образование и частоту образования «усов», в том числе вследствие пятикратного увеличения содержания блескообразующего вещества [5–7].

После осаждения олова часть внутреннего напряжения сжатия, которое вызывается перемещением в структуре кристалла, уменьшается в так называемой фазе устранения дефектов (recovery) при помощи полигонометрии. Под полигонометрией понимается процесс, в котором ступенчатые дислокации, вызванные внутренним напряжением, движутся параллельно

или вертикально по отношению к плоскости скольжения, и при этом они могут значительно снижать энергию напряжения [15].

При большой деформации и различной кристаллографической ориентации, которые усиленно проявляются на местах включения инородных частиц в кристаллической решетке, а при большой деформации и различной кристаллографической ориентации, которые усиленно проявляются на местах включения инородных частиц в кристаллической решетке, а также там, где высока поверхностная энергия границы раздела, может происходить перекристаллизация [16, 17]. После того как здесь образуется ядро, начинается рост нового кристалла. Во время перекристаллизации «усы» не образуются. Однако структура и ориентация таких новообразованных кристаллов оказывает значительное влияние на вероятность образования «усов»; это означает, что процесс перекристаллизации во многих случаях предшествует образованию «усов».

Для лучшего понимания взаимосвязи перекристаллизации и роста «усов» необходимо подробно описать процесс роста кристалла. Движущей силой роста зерна является сокращение поверхностной энергии границы раздела на границах зерен. Граница зерна описывает в поликристаллических материалах площадь между двумя зернами различной ориентации. Таким образом, граничная поверхность представляет собой область повышенного образования дефектов и искажений. Угол между двумя зернами с разной ориентацией определяет энергию границы зерна, в связи с чем считается: чем больше угол, тем выше энергия границы зерна. Эти границы зерен с более высокой энергией образуют предпочтительные траектории для диффузии олова.

Если происходит увеличение размера кристалла, вследствие чего сокращается их число, то происходит и сокращение общей площади границ зерен, и снижается общая энергия системы. В отличие от этого нормального процесса роста размеров, «ус» растет вне системы слоев, так как описанный рост размеров сдерживается, однако структурные условия для роста все же присутствуют.

Влияние образования интерметаллических фаз и оксидов на рост «усов»

Ранее было упомянуто, что, согласно современному уровню знаний, напряжения сжатия в оловянном покрытии отвечают за образование и рост «усов». На возникновение напряжения, как уже было описано, оказывают влияние размеры зерен, а также их форма, механизм роста оловянного покрытия или толщина покрытия.

Если олово, например, при обработке выводящих рамок, осаждается непосредственно на медь или медный сплав без никелевого подслоя, происходит образование интерметаллических фаз, которые также способствуют увеличению напряжения сжатия. В случае с системой граничных поверхностей медь/олово доминирует фаза η -Cu₆Sn₅. Реже обнаруживается фаза ϵ -Cu₃Sn [19, 20]. Интерметаллическая фаза η -Cu₆Sn₅ имеет меньшую плотность (8,27 г/см³) по сравнению с медью (8,96 г/см³). Из-за меньшей плотности происходит объемное расширение, которое вызывает увеличение напряжения сжатия в оловянном покрытии. Образование фаз происходит на граничной поверхности между основным медным материалом и оловянным слоем и может расти дальше вдоль границ зерен олова. При нагревании образцов различные скорости диффузии обоих металлов ведут к образованию так называемых пор Киркендалла (Kirkendall Voids). Данный феномен известен под названием эффект Киркендалла. Если образование интерметаллических фаз происходит при комнатной температуре, то поры Киркендалла не обнаруживаются, так как скорость диффузии атомов металла достаточно мала [21].

Интерметаллические фазы образуются в слое олова, что согласуется с высокой скоростью диффузии атомов меди [22–24]. Напряжение сжатия достигает величины насыщения, даже если образование интерметаллических фаз продолжается [25]. В то время как частицы интерметаллических фаз растут, увеличение их объема ведет к вышеназванному напряжению сжатия, которое приводит к искажениям в кристаллической структуре. Из-за диффузии частиц на границах зерен и образованных точечных дефектов данные искажения могут распространяться от граничной поверхности медь/олово далее в структуру олова. Если достигается предел текучести олова, дальнейшее образование фаз ведет к пластической деформации, из которой не следует дальнейшего увеличения напряжения сжатия (насыщение при ~11 МПа [26]).

Чтобы «ус» мог вырасти из структуры кристалла, должен быть разрушен слой оксида олова на поверхности. Для этого недостаточно влияния образованной интерметаллической фазы на граничной поверхности медь/олово. Только при увеличении напряжения сжатия за пределы поверхностей границ зерен и при дальнейшем распространении искажений и точечных дефектов в кристаллической структуре может возникнуть достаточно напряжения для того, чтобы разрушить слой оксида олова [27]. Рост «усов» начинается только после достижения предела текучести. Так же и в случае с образова-

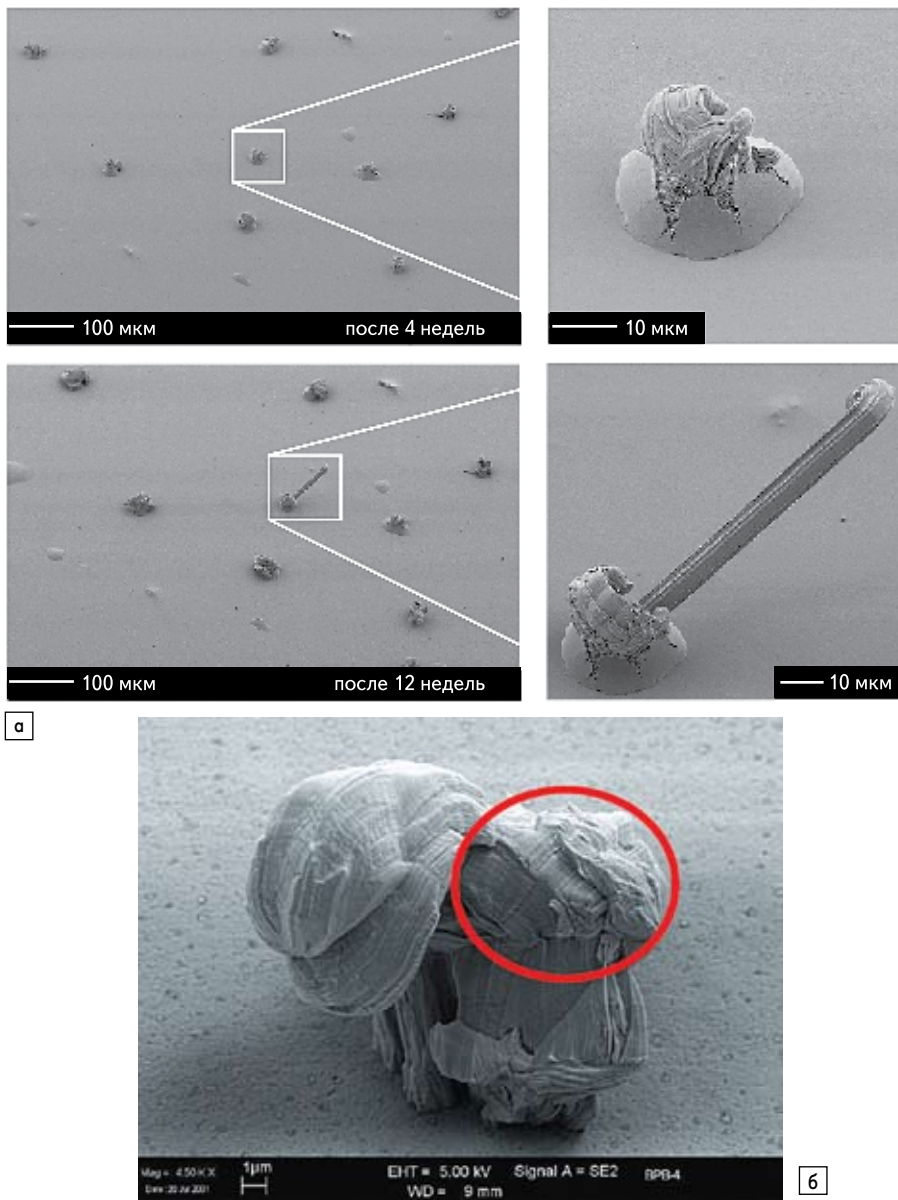


Рис. 2. Снимок, полученный при помощи растрового электронного микроскопа:
 а) игольчатый «ус» на блестящей поверхности олова в различные фазы роста;
 б) структура с повышенным содержанием олова (выделенная область)

Поверхностная энергия зерна кристалла определяется расположением атомов в решетке кристалла. Пространственная структура β -олова имеет форму плоского тетраэдра. β -олово аннизотропно, так что свободные площади, находящиеся над поверхностью кристаллов с различной ориентацией, должны обладать различной поверхностной энергией. Такое окружение различно ориентированных и неправильных структур зерен может привести к тому, что после перекристаллизации будут созданы благоприятные энергетические условия для дальнейшего роста кристалла, в данном случае — роста «усов». Рост «усов» начинается, прежде всего, на границах зерен с низкой энергией. Для транспортировки атомов олова к «усу» необходимы более высокие энергетические границы зерен, которые способствуют более высокой скорости диффузии.

Многочисленные включения инородных материалов, в основном примесей электролитов, вызывают процессы перекристаллизации,

которые приводят к образованию больших зерен с неправильными структурами. Такие кристаллы часто являются источниками роста «усов» [18, 19]. На рис. 2 изображен снимок REM шишкообразной структуры (hillock) на блестящей поверхности олова после перекристаллизации, из которой растет игольчатый «ус» [5]. С помощью элементарного анализа в центре структуры было выявлено повышенное содержание олова.

В случае с электролитами для осаждения матового олова подобная проблема роста размера зерен, что разрушает структуру кристалла, обычно не проявляется, так как размеры зерен уже приблизительно соответствуют диаметру «уса».

Регулярные структуры с большими размерами зерен, минимальной площадью и расположением границ зерен предпочтительно вертикально к поверхности, то есть с малым углом между кристаллами различной ориентации, приводят к минимальному риску образования «усов».

нием интерметаллических фаз и их распространением, как уже было описано, особое значение получают границы зерен и их поверхности.

Оксидный слой, который образуется на поверхности олова, тоже играет важную роль в увеличении напряжения в структуре, так как он затрудняет или даже подавляет протекание процессов релаксации. Если оксидный слой удаляется, например, при помощи катодного распыления, система начинает релаксировать, и измеренное напряжение значительно уменьшается [25].

Образование оксида олова обладает, кроме того, еще одним эффектом, способствующим возникновению напряжения сжатия. Оксид олова, так же как интерметаллические фазы, имеет меньшую толщину, чем металлический слой олова, что ведет к увеличению объема слоя. Благодаря диффузии кислорода в слой металла и окислению металла, напряжение в оловянном покрытии увеличивается [27].

Максимальные размеры зерен при минимальной шероховатости

StannoPure HSM ST — электролит для осаждения чистого олова, который был разработан специально для непрерывного покрытия проводов, разъемов, выводных рамок в современных конвейерных установках и установках периодического действия. Его также применяют в подвесной и барабанной установках. Для непрерывного покрытия в ленточных конвейерах подходят типичные рабочие параметры (табл. 3). Для применения в подвесной и барабанной установке установлены типичные рабочие параметры, представленные в таблице 4.

Были проведены многочисленные исследования шероховатости, размеров зерен, морфологии, паяемости и образования «усов». Некоторые результаты этих исследований представлены далее в общей форме.

Исследования при помощи фокусированного ионного пучка и растрового электронного микроскопа (REM)

Для исследования и отображения морфологии образцов, покрытых оловом, которые хранились в течение пяти месяцев при комнатной температуре, их поперечные шлифы были изготовлены при помощи фокусированного ионного пучка (Focused Ion Beam, FIB) и отображены с помощью растрового электронного микроскопа (REM). Речь идет исключительно о медных базовых материалах (C7025), которые были сами непосредственно покрыты оловом толщиной 10 нм при 20 А/дм², без никеля в качестве промежуточного слоя. Исследования проводились без никеля, чтобы было возможно проанализировать образование интерметаллических фаз между медью и оловом.

На рис. 3 изображены большие кристаллы олова с прямолинейными границами зерен, по большей части проходящих вертикально по отношению к поверхности. Толщина интерметаллической фазы очень маленькая, и она образована прямо на граничной поверх-

Таблица 3. Рабочие параметры для StannoPure HSM ST для применений при высоких скоростях осаждения

Температура	45 °С
Значение pH	<1, нет необходимости постоянного контроля
Напряжение ванны	6 В (max)
Плотность тока	Высокая скорость: катодный — 5–50 А/дм ² анодный — < 2–5,5 А/дм ²
Выход по току	90–100% (в зависимости от применения)
Скорость осаждения	Высокая скорость: 10 мкм/мин при 20 А/дм ²

ности медь/олово. И по прошествии пяти месяцев она демонстрирует очень небольшую тенденцию к дальнейшему росту на границах зерен, обладающих малым запасом энергии, что также соответствует малым углам протекания границ зерен между отдельными зернами, зафиксированных с помощью метода FIB.

Хорошо видна плоская структура, которая соответствует малой шероховатости на оловянной поверхности. Кроме того, кристаллы очень правильные по форме и расположению.

Для сравнения проанализируем сделанный таким же способом снимок традиционного электролита (рис. 4) для осаждения олова также после пятимесячного хранения при комнатной температуре. Здесь отчетливо видны неравномерность структуры и размеров зерен, а также более сильное образование интерметаллических фаз. Кроме того, интерметаллическая фаза растет дальше и частично достигает поверхности.

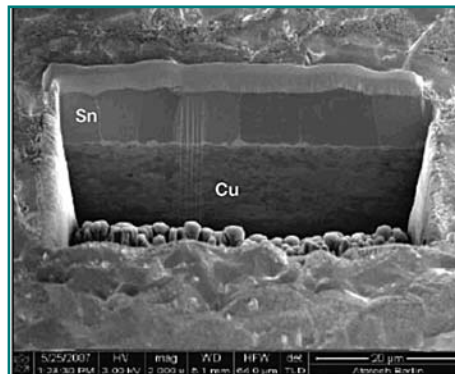


Рис. 3. Снимок REM изготовленного при помощи FIB поперечного среза оловянного слоя, осажденного из нового электролита на медь, после 5-месячного хранения при комнатной температуре

Таблица 4. Типичные рабочие параметры для StannoPure HSM ST для покрытия в барабанной и подвесной установках

Температура	45 °С (30...50 °С)
Значение pH	<1, нет необходимости постоянного контроля
Напряжение ванны	1–3 В
Плотность тока	Подвесная установка: катодный ток — 2,0 А/дм ² (1,5–2,5 А/дм ²) Барабанная установка: катодный ток — 1,0 А/дм ² (0,5–3 А/дм ²) Анодный ток — < 3,0 А/дм ²
Выход по току	60–100% (в зависимости от применения)
Скорость осаждения	Подвесная установка: 1 мкм/мин при 2 А/дм ² Барабанная установка: 0,4 мкм/мин при 1 А/дм ²

В итоге поверхность гораздо более шероховатая, чем слой, которые были осаждены из нового электролита. При прямом сравнении изображений при 5000-кратном увеличении эта разница еще более заметна (рис. 5).

Измерения шероховатости

Шероховатости были вычислены при помощи среднего значения шероховатости (R_a), а также при помощи относительного увеличения поверхности (Relative Surface Area Increase, RSAI). Величина R_a представляет среднее вертикальное отклонение от нормали поверхности, что соответствует среднему арифметическому из абсолютных значений шероховатости в измеренном профиле поверхности (рис. 6).

С помощью интерференционного микроскопа наряду с величиной R_a можно также

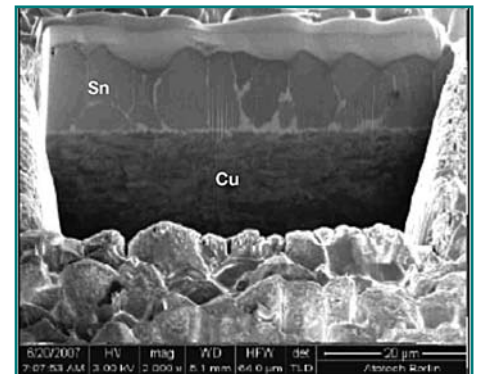


Рис. 4. Снимок REM изготовленного при помощи FIB поперечного среза традиционного оловянного покрытия на меди после 5-месячного хранения при комнатной температуре

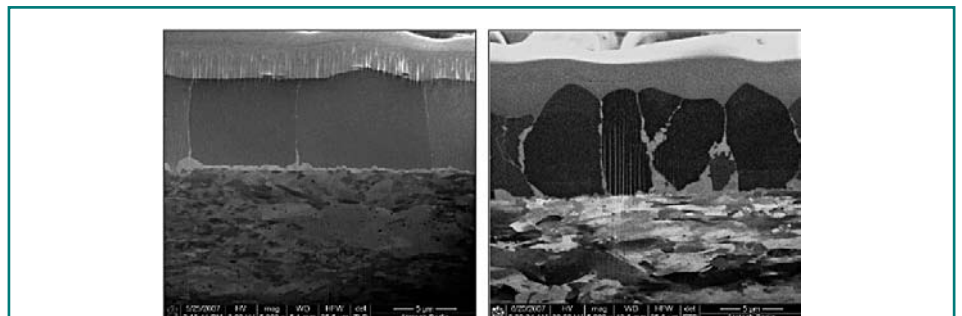


Рис. 5. Образец оловянного покрытия из электролита StannoPure HSM ST (поперечный срез FIB) (слева) и образец оловянного покрытия из традиционного электролита для осаждения олова при 5000-кратном увеличении (справа)

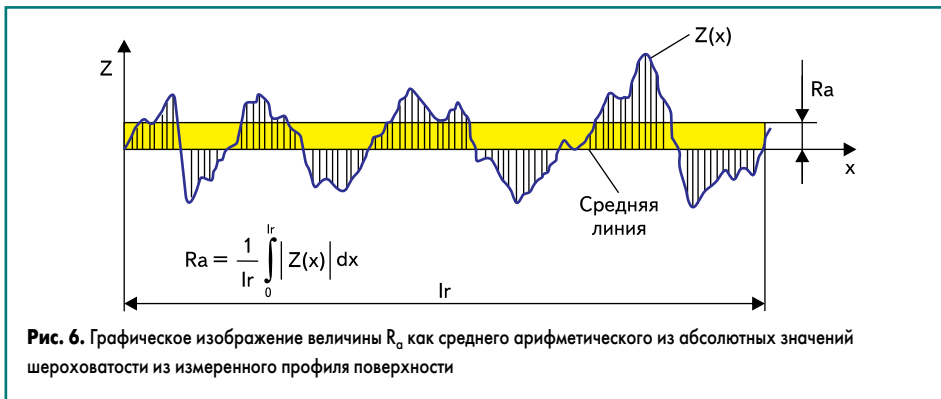


Рис. 6. Графическое изображение величины R_a как среднего арифметического из абсолютных значений шероховатости из измеренного профиля поверхности



Рис. 7. Интерференционный микроскоп и пример снимка и изображения топографии поверхности металлического образца

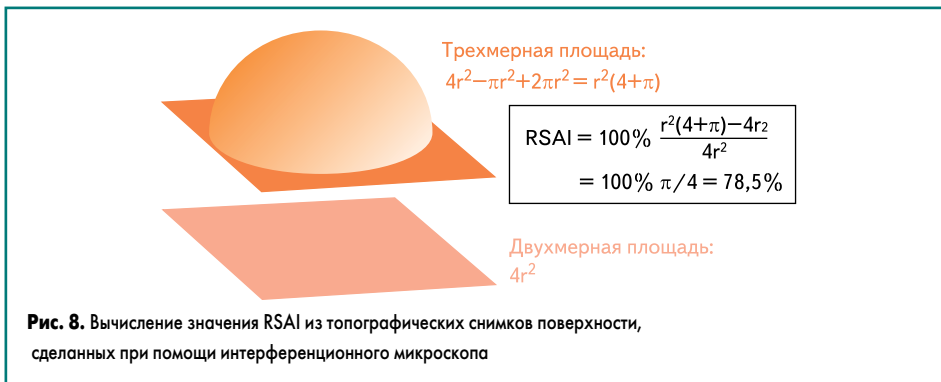


Рис. 8. Вычисление значения RSAI из топографических снимков поверхности, сделанных при помощи интерференционного микроскопа

вычислить относительное увеличение поверхности (рис. 7). Вычисление производится на основании топографического снимка образца при расчете разницы между трехмерным изображением поверхности и двумерной проекции ее площади (рис. 8).

На рис. 9 изображены два снимка REM одного и того же образца с покрытием при различном увеличении, поперечный срез, сделанный при помощи FIB, а также снимок, полученный с помощью интерференционного микроскопа. В данном случае речь идет об образце заказчика, который был изготовлен спустя шесть месяцев после запуска и производства со StannoPure HSM ST. На снимках REM видна очень плоская поверхность с многоугольными кристаллами. Снимок, сделанный при помощи FIB и REM, подтверждает правильную

структуру, а также небольшое образование интерметаллических фаз. Полученное из снимков интерференционного микроскопа среднее значение шероховатости составило 0,48 мкм, величина RSAI — 17,3%.

При прямом сравнении с традиционным электролитом для осаждения матового олова, проведенном для того же заказчика, было вновь возможно получить значительно более малую шероховатость при использовании StannoPure HSM ST. Кроме того, на снимках REM можно увидеть гораздо более неравномерные кристаллы на поверхности (рис. 10).

Испытания паяемости

Для исследования влияния уменьшенных шероховатостей на способность к пайке оловянных покрытий были проведены испыта-

ния непосредственно после нанесения покрытия и после 8 климатических испытаний при повышенном давлении и температуре (Pressure Cooker-Tests). Это испытание проводится при следующих параметрах:

- высокая температура — 105 °С;
- высокая влажность воздуха — 100% относительной влажности;
- высокое давление — 1,192 атм.

Испытание предназначено для того, чтобы спровоцировать процессы коррозии, диффузии и образования трещин в слоях и изучить их влияние на свойства паяемости.

Условия испытания:

- припой — SnAgCu;
- температура — 245 °С;
- плотность — 7,2 мг/мм²;
- продолжительность погружения — 10 с;
- чувствительность — 2,5;
- глубина погружения — 3 мм;
- скорость погружения — 21 мм/с.

Все представленные результаты пайки были получены при проведении испытаний с одним и тем же флюсом без активации. На рис. 11 видно заметное улучшение паяемости, как следствие уменьшенной шероховатости, и связанное с ним меньшее образование оксида на поверхности.

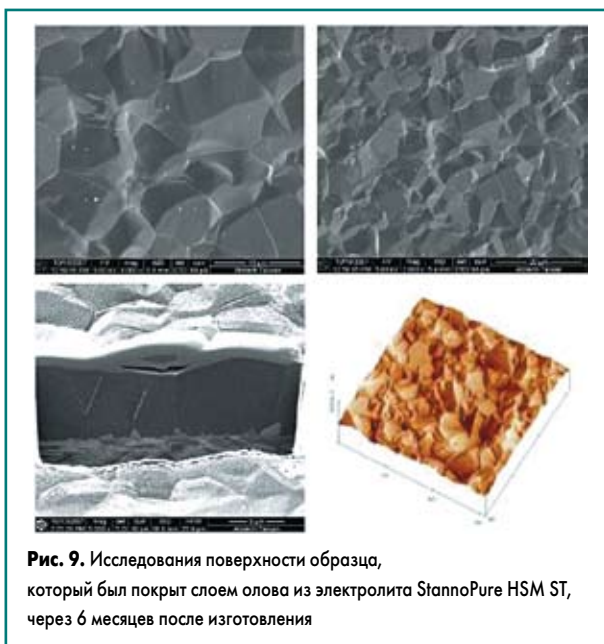


Рис. 9. Исследования поверхности образца, который был покрыт слоем олова из электролита StannoPure HSM ST, через 6 месяцев после изготовления

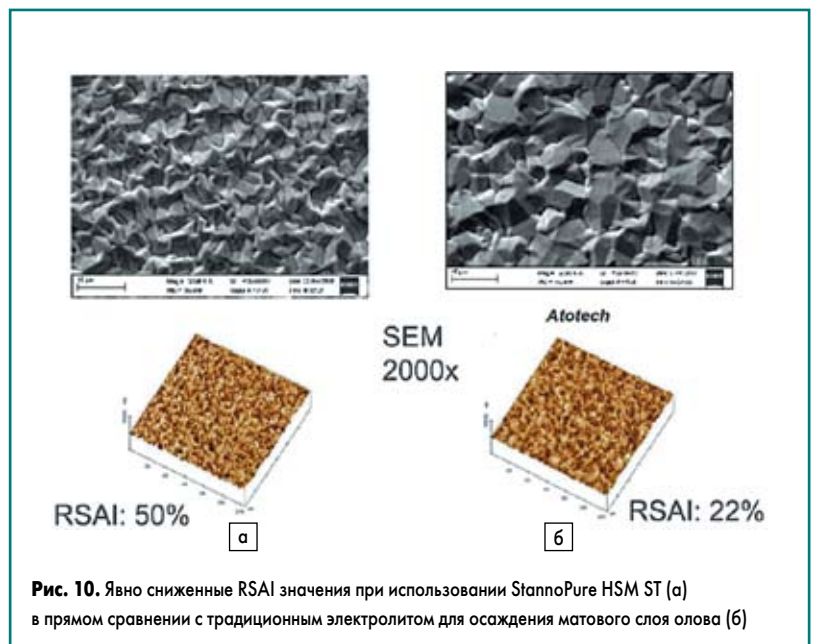


Рис. 10. Явно сниженные RSAI значения при использовании StannoPure HSM ST (а) в прямом сравнении с традиционным электролитом для осаждения матового слоя олова (б)

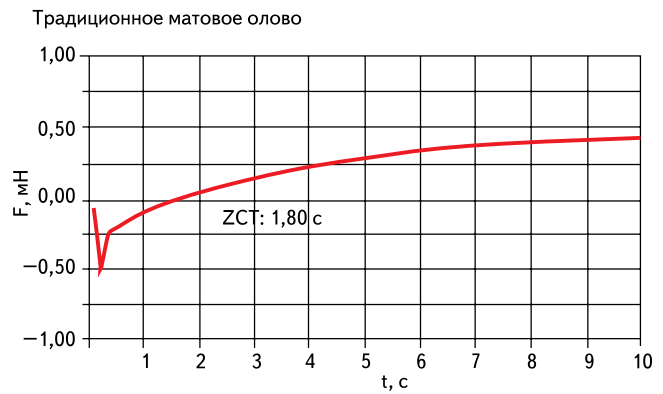
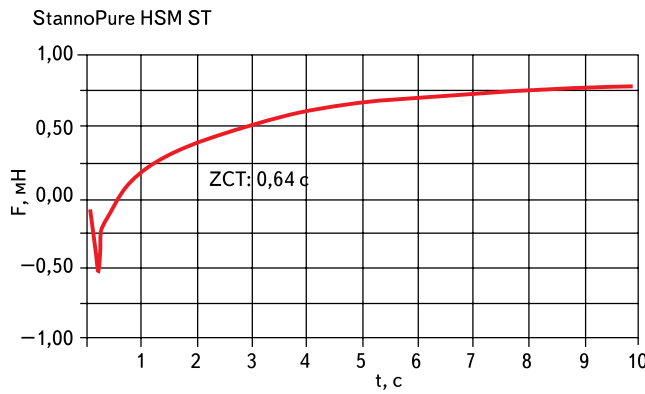


Рис. 11. Сравнительные исследования паяемости после 8 часов проведения теста Pressure Cooker образцов с электролитом StannoPure HSM ST и с традиционным электролитом для осаждения матового олова

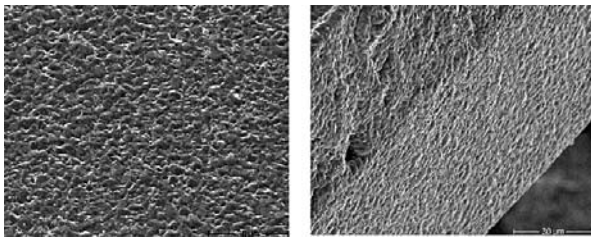


Рис. 12. Снимки REM после 4000 часов хранения при 30 °C/60% относительной влажности в соответствии со стандартом JESD22-A121A

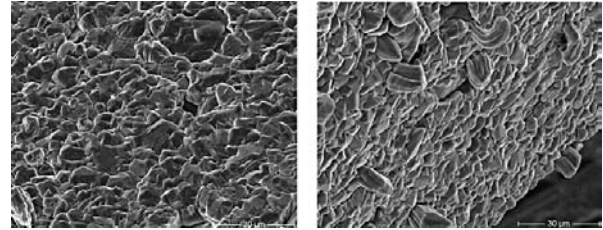


Рис. 13. Снимки REM после испытаний на стойкость к термоциклированию образцов с «усами» длиной не более 20 мкм после 1500 циклов

Исследования «усов»

С разрешения компании ST Microelectronics далее будут представлены результаты проведенных ее специалистами исследований по образованию «усов» в соответствии со стандартами iNEMI/JEDEC. Параллельно с исследованиями, проходящими в ST Microelectronics, были проведены дополнительные тесты по образованию «усов», при которых не обнаружены значительные отличия. Были проанализированы три различных конструкции корпусов ИС и материалов, которые кратко описаны в таблице 5.

Таблица 5. Выбранные для испытаний образцы «усов» корпуса ИС, а также соответствующие материалы основы

Тип корпуса	Основной материал	Состав
FW 25	FPG	0,1% Fe, 0,03% P, <0,05% ИМФ, ост. — медь
PDIP 32	C194	2,4% Fe, 0,03% P, 0,012% Zn, ост. — медь
LQFP	C7025	3,0% Ni, 0,65% Si, 0,15% Mg, ост. — медь

Результаты исследований

После хранения при комнатной температуре при условиях, соответствующих стандартам iNEMI/JEDEC (30 °C/60% относительной влажности в течение 4000 часов), «усы» не были обнаружены (рис. 12, табл. 6) [28].

После испытаний на стойкость к термоциклированию (Temperature Cycling Test, TCT) были обнаружены «усы» с максимальной длиной 20 мкм (рис. 13, табл. 7). Термоциклирование проводилось при граничных значениях температуры –55 °C и +85 °C при 1500 циклах [29]. Согласно стандарту JESD201

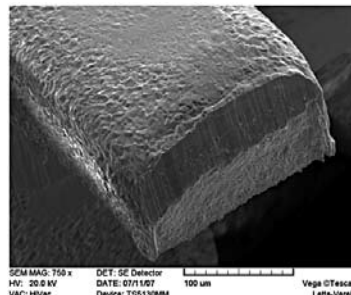


Рис. 14. Снимки REM после 4000 часов хранения при 55 °C/85% относительной влажности в соответствии со стандартом JESD22-A121A

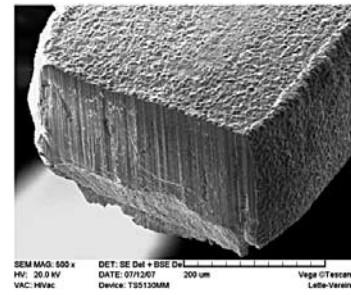


Таблица 6. Результаты после 4000 часов хранения при комнатной температуре в соответствии со стандартом JESD22-A121A

Основной материал	Количество образцов	Толщина олова, мкм	Максимальная длина «усов», мкм
FPG	5	10	«Усов» не обнаружено
C194	5	10	«Усов» не обнаружено
C7025	5	10	«Усов» не обнаружено

для испытаний на стойкость к термоциклированию допустима длина «усов» до 45 мкм [30, 31]. В заключение испытываемые электронные модули были подвержены хранению в соот-

Таблица 7. Результаты после 1500 циклов испытаний на стойкость к термоциклированию в соответствии со стандартом JESD22-A104C

Основной материал	Количество образцов	Толщина олова, мкм	Максимальная длина «усов», мкм
FPG	5	10	20
C194	5	10	20
C7025	5	10	20

ветствии со стандартом JESD22-A121A в течение 4000 часов при температуре 55 °C и 85% относительной влажности (рис. 14, табл. 8). «Усы» при этом не были обнаружены.

Все испытания на образование «усов», проводимые в соответствии со стандартами JEDEC, прошли успешно.

Выводы

Рабочая группа по изучению «усов», входящая в iNEMI, изменила распределение по категориям электролитов для осаждения

Таблица 8. Результаты после 4000 часов хранения при температуре 55 °C и 85% относительной влажности в соответствии со стандартом JESD22-A121A

Основной материал	Количество образцов	Толщина олова, мкм	Максимальная длина «усов», мкм
FPG	5	10	«Усов» не обнаружено
C194	5	10	«Усов» не обнаружено
C7025	5	10	«Усов» не обнаружено

блестящего и матового олова, учитывая содержание углерода и размер зерен, как и прежде не рекомендуем использовать электролиты для осаждения блестящего олова для большинства технических применений. В статье был представлен электролит для осаждения матового олова, с помощью которого могут быть осаждены оловянные слои с большими зёрнами, но в то же время — с меньшей шероховатостью. Подробно были обсуждены взаимосвязи морфологии и роста «усов» в соответствии с современным уровнем знаний. Благодаря исследованиям методом FIB удалось доказать, что слои осаждаются с воспроизводимым качеством с очень равномерной кристаллической структурой и большими зёрнами. Образование интерметаллических фаз происходит в основном на граничной поверхности медь/олово и практически не имеет тенденции дальнейшего роста в структуру. Границы зёрен проходят в большинстве случаев вертикально к поверхности, то есть с малым углом между кристаллами различной ориентации.

Одновременно были определены величины шероховатости и значения относительного увеличения поверхности. Уменьшенная шероховатость ведет к значительному снижению образования оксида на поверхности и намного улучшает свойства паяемости, как показало испытание при повышенном давлении и температуре (Pressure Cooker-Test). В заключение были проведены тесты на образование «усов» согласно стандартам JEDEC. При этом как во время сухого, так и во время влажного хранения не было зафиксировано образования «усов». При проведении испытаний на стойкость к термоциклированию были обнаружены «усы» с максимальной длиной 20 мкм.

Электролит для осаждения матового олова StannoPure HSM ST представляет собой идеальное решение для сочетания минимального риска образования «усов» с очень хорошими результатами пайки.

Примечание. Оригинал статьи опубликован в журнале PLUS (Produktion von Leiterplatten und Systemen. 2009. № 11. Германия).

Литература

1. iNEMI tin whisker recommendations; Global SMT & Packaging. June 2007, <http://www.globalsmt.net>
2. JEDEC/IPC, Current Tin Whiskers Theory and Mitigation Practices Guideline, JP002. March 2006.
3. Gaylon G. T. Annotated Tin Whisker Bibliography and Anthology // IEEE Transactions on Electronics Packaging Manufacturing. 28 (1). January 2005.
4. Hilty R. D. Bright Tin for Whisker Mitigated Electronics Mitigations; IPC/JEDEC // 11th International Lead Free Conference. Boston, MA. December 2005.
5. Kühlkamp P. Bleifreie galvanische Beschichtung von elektronischen Bauteilen unter Vermeidung der Whiskerbildung. Jahrbuch Oberflächen-technik. Band 60, 2004.
6. Barthelmes J., Lagorce-Broc F., Kühlkamp P., Siawing Kok, Din-Ghee Neoh. Different Storage Conditions have different Whisker Growth Mechanism — Can Bright TIN be an Alternative to Matte Tin? / IEMT 2006. Putrajaya, Malaysia.
7. Barthelmes J., Lagorce-Broc F., Kühlkamp P., Barlowe G., Din-Ghee Neoh, Kurtz O. Quantification of the influence of all important physical and chemical tin plating bath parameters on the

propensity of whisker formation. Sur/Fin 2007. Cleveland, USA.

8. Evans C. C. Whiskers. London: Mills & Boon Limited, 1972.
9. Jordan M. The Electrodeposition of Tin and its Alloys. Saulgau: Eugen G. Leuze Publishers, 1995.
10. Harris P. The Growth of Whiskers. International Tin Research Institute. 1994. No 734. Uxbridge, UK.
11. Kanani N. Galvanotechnik. Carl Hanser Verlag, 2000.
12. Baker R. G. Spontaneous Metallic Whisker Growth // Plating and Surface Finishing. 1987. No 12.
13. Leidecker H., Brusse J. Tin Whiskers: A History of Documented Electrical System Failures // Technical Presentation to Space Shuttle Program Office. April 2006.
14. Leidecker H., Brusse J. Metal Whiskering / CALCE Intl. Symposium on Tin Whiskers. Apr. 2007.
15. Kakeshity T., Shimizu K., Kawanaka R., Hasegawa T. Grain size effect of electroplated tin coatings on whisker growth // Journal of Materials Science. 1982. No 17 (2560).
16. Boguslavsky I., Busch P. Recrystallisation Principle Applied to Whisker Growth; http://thor.inemi.org/webdownload/newsroom/Presentations/TW_recrystallization.pdf
17. Cotterill P., Mould P. R. Recrystallisation and Grain Growth in Metals. New York: J. Wiley, 1976.
18. Lindborg U. Acta Metallurgica, vol. 24. 1976.
19. Kim K. S., Yu C., Yang J. M. Behaviour of tin whisker formation and growth on lead-free solder finish. Thin Solid Films 504, 2006.
20. Kim K. S., Yu C., Yang J. M. Tin whisker formation of lead-free plated lead-frames // Microelectronics Reliability. 2006. No 46.
21. Kim K. S. et al. Investigation of relation between intermetallic and tin whisker growths under ambient condition // Microelectronics Reliability. 2008. No 48.
22. Zhang W., Egli A., Schwager F., Brown N. IEEE Trans. Electron. Packag. Manuf. 2005. No 28 (85).
23. Sheng G. T. T. et al // J. Appl. Phys. 2002. No 92.
24. Ku K. N., Thompson R. D. // Acta Metall. 1982. No 30.
25. Chason E. et al. Whisker formation in Sn and Sn-Pb coatings: Role of intermetallic growth, stress evolution, and plastic deformation process // Appl. Phys. Lett. 2008. No 92.
26. Metals Handbook, Properties and Selections: Non Ferrous Alloys and Special Purpose Materials, 10th ed. ASM, 1990. Vol. 2.
27. Barsoum M. W. et al. Driving force and mechanism for spontaneous metal whisker formation // Phys. Rev. Lett. 2004. Vol. 93.
28. JESD22-A121A, Test Method for Measuring Whisker Growth on Tin and Tin Alloy Surface Finishes, 2008.
29. JESD22-A104C, Temperature Cycling, 2005.
30. JESD22A121, Measuring Whisker Growth on Tin and Tin Alloy Surface Finishes, 2005.
31. JESD201, Environmental Acceptance Requirements for Tin Whisker Susceptibility of Tin and Tin Alloy Surface Finishes, 2006.