

Иммерсионное золочение под пайку

В последнее время все чаще можно слышать нарекания по поводу иммерсионного покрытия золотом контактных площадок печатных плат. Потеря смачиваемости или непрочные паяные соединения становятся общеизвестными пороками иммерсионного золочения. Это явление знакомо всем под названием «черный никель» (black nickel), или «черная контактная площадка» (black pad). Но на вопрос «Что делать?» однозначного ответа нет. Каждый сам, один на один разбирается со своими бедами. Авторы предлагают несколько версий по оценке причин возникновения этого явления и меры по его предотвращению.

Аркадий Медведев,
профессор МАИ, д. т. н.

medvedevam@bk.ru

Юрий Набатов
Петр Семенов

petr.semenov@ostec-smf.ru

Светлана Шкундина

Svetlana.shkundina@ostec-smf.ru

Необходимость использования иммерсионного золочения для пайки обусловлена рядом причин. В первую очередь, это альтернатива металлургическим покрытиям под пайку. И хотя горячее лужение (HASL-процесс) или оплавление гальванического сплава олово-свинец обладают лучшей паяемостью, они оставляют на плате наплывы, мешающие нанесению пасты и установке мелких компонентов. Кроме того, мощный термоудар, который испытывают платы при лужении и оплавлении, травмирует их, снижает ресурс по обеспечению надежности межсоединений. Но увеличение плотности компоновки печатных узлов за счет использования BGA-компонентов с малым шагом выводов и чип-компонентов в микрокорпусах потребовало плоских монтажных поверхностей. Именно это обусловило применение финишных покрытий, обеспечивающих сочетание хорошей паяемости и плоской поверхности для установки и пайки высокоинтегрированных компонентов. В числе плоских финишных покрытий иммерсионное золочение — не единственное покрытие. Но пока что оно занимает лидирующие позиции по распространенности в изделиях ответственного применения (таблица) [1].

Само покрытие представляет собой композицию из меди контактной площадки, подслоя химически осажденного никеля и иммерсионно осажденного золота. Тонкий слой золота толщиной 0,05–0,1 мкм несет единственную функцию — защитить никель от окис-

ления для последующей пайки. При пайке оно быстро растворяется в припое, при этом обнажается свежая поверхность никеля для смачивания припоем.

Всякий иммерсионный процесс состоит в реакции замещения одного металла другим из раствора. Поэтому толщина иммерсионного золота в данном случае принципиально не может быть большой: как только поверхность никеля будет закрыта золотом, ее взаимодействие с раствором для реакции замещения прекратится. Это значит, что все участки поверхности никеля будут обязательно покрыты золотом, пока они свободны для реакции замещения, а также что, несмотря на чрезвычайно малую толщину иммерсионно осажденного золота, его сплошность гарантируется самим механизмом процесса.

Иммерсионное золото можно было бы осаждать и прямо на медь контактной площадки, но их взаимная диффузия приводила бы к быстрой потере паяемости из-за превращения тонкого слоя золота в интерметаллоид CuXAuY , который не растворяется в припое. Барьерный подслоя никеля толщиной 3–6 мкм предотвращает этот процесс диффузии и потерю паяемости.

Иммерсионное золото с подслоем никеля (Electroless Nickel/Immersion Gold, ENIG) позволяет проводить несколько циклов перепаек и гарантирует паяемость в течение 6 месяцев [3]. Это покрытие имеет плоскую контактную поверхность и хорошо смачивается припоем при правильном подборе флюса.

Иммерсионное золото можно также использовать как покрытие под накрутку, покрытие для контактов нажимного типа, для разъемов с нулевым усилием сочленения (контактирование без трения), для разъемных соединителей при условии их сочленения/расчленения не более пяти раз [3].

Последовательность процесса нанесения иммерсионного золота с подслоем химического никеля [2]:

- кислая очистка;
- микротравление;
- активация;
- химическое осаждение подслоя никеля;
- нанесение иммерсионного золота.

Таблица. Распространенность финишных покрытий на мировом рынке печатных плат

	2000	2003	2005	2008	2011
HASL-процесс	65%	62%	54%	45%	25%
ИК-оплавление	3%	2%	2%	1%	1%
Органическое покрытие (бытовые изделия)	10%	11%	12%	12%	12%
Иммерсионное золото по никелю	14%	16%	19%	26%	30%
Иммерсионное олово с барьерным подслоем	1%	3%	8%	11%	28%
Другие покрытия	7%	6%	5%	5%	4%
Всего	100%	100%	100%	100%	100%

Кислый очиститель удаляет масла, окислы, отпечатки пальцев с медных поверхностей. Он не оказывает воздействия на паяльную маску, краски, эпоксифенольные подложки. Микротравитель равномерно подтравливает медную поверхность, что дает отличную адгезию с никелем при его последующем осаждении.

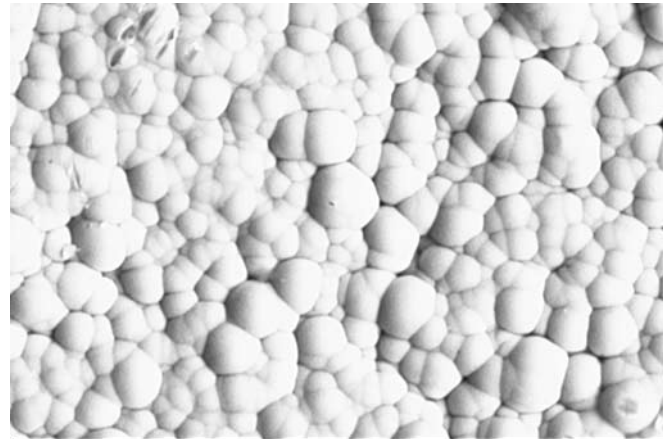
Активатор — коллоидный палладиевый. Такой активатор полностью катализирует медную поверхность, не затрагивая диэлектрики. Использование активатора гарантирует получение плотного никелевого осадка при последующей обработке платы в ванне химического никелирования. Раствор химического никелирования дает качественное полублестящее покрытие сплавом никель-фосфор с хорошей пластичностью и отличной адгезией к медной поверхности контактной площадки (рис. 1) [2].

Из раствора иммерсионного золочения должен получаться плотный, мелкокристаллический, блестящий золотой осадок 24-каратного золота (рис. 2) [2].

Исследования, проведенные в [4] и подтвержденные практикой работы ПТК ПП ГРПЗ, показали, что явление «черная контактная площадка» связано с чрезмерной коррозией никеля в процессе иммерсионного осаждения золота. Если кристаллическая структура осажденного никеля имеет вид, отличный от нормального (рис. 1), с большими межкристаллитными прослойками, как показано на рис. 3, это означает, что не вся поверхность никеля участвует в обменных реакциях с раствором золочения, а сами инородные прослойки, не покрытые золотом, являются причиной зарождения очагов коррозии (рис. 4).

Что провоцирует образование чрезмерно больших межкристаллитных прослоек?

Известно, что при образовании кристаллической структуры все инородные для кристалла компоненты вытесняются в пространство между кристаллами — в межкристаллитные прослойки. В данном случае фосфор, сопровождающий реакцию химического восстановления никеля, может образовывать с никелем твердый раствор, а может и вытесняться в межкристаллитное пространство. Мелкокристаллическая структура никеля с межкристаллитными прослойками образуется при содержании фосфора до 7%. При большем содержании фосфора — от 7 до 12% — структура никелевого слоя приобретает аморфную форму, а значит, не имеет кри-



SE-23.23 kV Detector= CENT WD= 13 nm 17-Mar-2004 Mag= 10.40 K X
Vacuum Mode= Variable Pressure VP Target=3.10e-001 nBar 1µm

Рис. 1. Покрытие никель-фосфор, полученное из раствора химического никелирования КЕМ НИ 6000 (увеличение 10000)

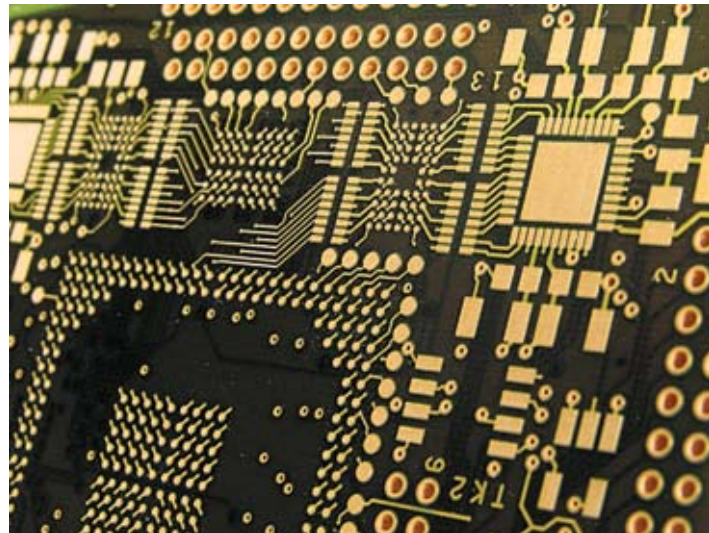


Рис. 2. Плотное 24-каратное покрытие золотом, полученное из раствора иммерсионного золочения КЕМ А 3000

сталлической структуры и межкристаллитных прослоек. В этом случае реакция замещения никеля золотом происходит равномерно по всей поверхности с хорошей укрывистостью, что предотвращает процессы окисления никеля. Из этого возникает первая рекомендация: чтобы предотвратить образование «черной контактной площадки» при химическом

никелировании, следует обеспечивать максимальную концентрацию фосфора.

Поверхностные процессы окислительно-восстановительных реакций, так или иначе, связаны с градиентами электрохимических потенциалов. Поэтому всякая неоднородность поверхности, включая краевые эффекты, недопустима для равномерной укрывистости золо-

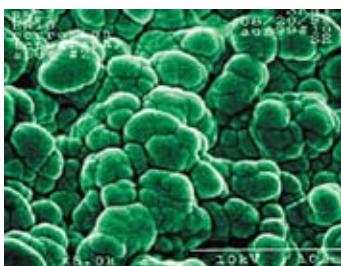


Рис. 3. Кристаллическая структура химически восстановленного никеля с большими межкристаллитными прослойками

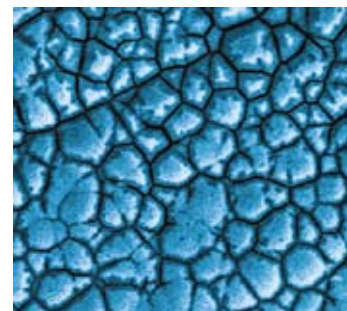


Рис. 4. Черная поверхность никеля (изображение увеличено)

том. И всякое локальное непокрытие влечет опасность возникновения «черной контактной площадки». Отсюда вторая рекомендация: поверхности, подлежащие иммерсионному золочению, должны быть максимально сглажены, этого можно достичь при выполнении операции микротравления.

Процесс восстановления золота сопровождается растворением никеля, то есть это процесс коррозии никеля. При большой скорости реакции процесс замещения может оказаться несбалансированным, коррозия никеля может стать преобладающей, и под золотом уже образуется черная, пока не заметная глазу поверхность никеля. Предлагаемые рынком готовые процессы и растворы для иммерсионного золочения [5] предусматривают в своем составе компоненты, притормаживающие окислительно-восстановительный процесс. Третья рекомендация: нужно использовать надежных проверенных поставщиков химических процессов и материалов.

Общие рекомендации по обеспечению устойчивости процесса иммерсионного золочения:

1. Большинство производителей используют комбинированный позитивный метод, предусматривающий применение металлорезиста в виде олова для избирательного травления меди. Для последующего нанесения маски и иммерсионного золочения его удаляют. Важно, чтобы его удаление и последующая промывка были полными, иначе остатки металлорезиста могут стать причиной локальной коррозии меди с распространением ее на последующие слои никеля. Для тентинг-метода нужно предусмотреть тщательное проявление и отмывку фоторезиста, не допуская наличия вуали.
2. Подготовка поверхности под иммерсионное золочение, как уже было сказано выше, является основополагающей операцией обеспечения необходимой морфологии наносимых потом покрытий никеля и золота. Гарантированные результаты дают растворы микротравления [2, 5]. При микротравлении поверхность меди активизируется за счет удаления верхнего «отравленного» слоя и получает микрошероховатость, обеспечивающую хорошую адгезию никеля. Равномерная активация поверхности меди способствует равномерному осаждению палладия за счет реакции замещения, а это, в свою очередь, обеспечивает равномерное осаждение никеля. Важно, что за этим должна следовать тщательная отмывка металлизированной поверхности для предотвращения попадания палладия в раствор никелирования, что привело бы к разрушению раствора.
3. При осаждении никеля важно предотвратить высокую скорость осаждения, что порождает толстые и глубокие межкристаллитные образования — причины коррозии. Для этого необходимо точно поддерживать рН раствора в пределах $\pm 0,1$. То же относится к точности поддержания температуры раствора — ± 1 °С при общей температуре раствора в пределах 85...90 °С. В процессе

работы раствор никелирования требует постоянного пополнения никелем и восстановителем. Поэтому ванны никелирования целесообразно оснастить системой автоматического дозирования и управления рН и температурой.

4. Для обеспечения стабильности процесса никелирования в составе раствора предусмотрено наличие стабилизатора. Контроль содержания стабилизатора должен являться частью ежедневного обслуживания ванны химического никелирования. Активное перемешивание раствора способствует доставке стабилизатора к металлизированной поверхности, компенсирующей его дефицит.
5. Равномерность и скорость осаждения золота обеспечивается поддержанием его концентрации в растворе и температурой раствора. Слишком высокая температура ведет к неравномерному осаждению золота и нежелательному ускорению окислительно-восстановительных реакций. Слишком низкая температура замедляет процесс осаждения. Низкая концентрация золота обуславливает неоднородность покрытия с непокрытиями, под которыми никель не получает защиты от окисления и коррозии. Время погружения плат в ванну золочения должно быть достаточным для получения сплошной пленки, но не более. Излишнее пребывание плат в ванне золочения существенно увеличивает толщину золота, но за счет неизбежных диффузионных процессов приводит к коррозии никеля.
6. Иммерсионное золочение производится на монтажных поверхностях — в окнах паяльной маски. Нужно добиваться полного проявления, отмывки и отверждения маски, так, чтобы в окнах не было ее остатков, которые будут потом нарушать морфологию осадков. Не до конца отвержденная маска будет разрушаться в агрессивных горячих растворах химического никелирования и осажаться на поверхности контактных площадок. Адгезия покрытий будет ослаблена.
7. Некоторые поставщики паяльных масок не гарантируют их устойчивость к горячим растворам никелирования, поэтому они рекомендуют использовать иммерсионное золочение до нанесения паяльной маски. Это категорически недопустимо! Открытая поверхность диэлектрического основания плат, имеющего значительную пористость, впитывает ионногенные продукты растворов, которые не могут быть полностью удалены даже при тщательной промывке. Их остатки в виде ионов металлов и галогенов приводят к существенному снижению качества электрической изоляции плат и потере их надежности. Не до конца отмываемые ионногенные остатки растворов снижают сопротивление изоляции в условиях повышенной влажности. Остатки химических загрязнений в условиях повышенной влажности провоцируют осмотические явления, приводящие к отслоению паяльной маски и влагозащитного покрытия.

Ионногенные загрязнения создают на поверхности платы под маской электролит, в котором развиваются электрохимические процессы, завершающиеся образованием электропроводящих мостиков — «дендритов» и соответственно — коротких замыканий. Повышенные потери в диэлектрике платы, обусловленные присутствием химических загрязнений, снижают уровни СВЧ-сигналов (стандарт IPC 4252).

Кроме того:

- Обработка открытой поверхности плат в агрессивных растворах будет приводить к разрушению адгезионного слоя фольги и, как следствие, к отслоению тонких проводников и образованию под ними пауз, в которых скапливаются загрязнения.
 - Адгезия паяльной маски к проводникам, покрытым иммерсионным золотом, намного ниже, чем к медным проводникам. В процессе эксплуатации маска может отслаиваться. Поэтому паяльная маска должна наноситься только на развитую поверхность медных проводников (IPC-SM-839), получаемую с помощью механической обработки или микротравления, но не на тонкий блестящий слой золота.
 - В процессе нанесения паяльной маски на иммерсионное золото и ее термодублирования поверхность золота «отравляется» парами органических соединений, входящих в состав паяльной маски, что ухудшает смачиваемость монтажной поверхности контактных площадок припоем и снижает надежность паяного соединения.
8. На завершающей стадии обработки плата должна быть тщательно отмыта с контролем качества отмывки и высушена, а затем помещена в вакуумную упаковку.

Заключение

Иммерсионное золочение — процесс, требующий высокой технологической культуры. Приведенные рекомендации — лишь часть особенностей технологии золочения, которую использовали авторы.

Литература

1. Review EIPC Winter Conference. Toulouse, France. 28–29 January 2010.
2. Шкундина С., Семенов П., Ващук Г. Отраслевой стандарт открывает дорогу к использованию новых химических процессов и высококачественных материалов // Производство электроники. 2010. № 1.
3. IPC-4552. Specification for Electroless Nickel / Immersion Gold (ENIG) Plating for Printed Circuit Boards. July 2002.
4. Milad G., Martin J. Electroless Nickel / Immersion Gold, Solderability and Solder Joint Reliability as Functions of Process Control // Circuitree. 2000. № 10.
5. Шкундина С. Новые процессы и материалы в производстве печатных плат // Технологии в электронной промышленности. 2009. № 4.