



Технология элетролитического осаждения для заполнения глухих микроотверстий и металлизации сквозных отверстий

В производстве кристаллодержателей и сборках ИС стал широко использоваться процесс меднения с заполнением глухих микроотверстий (ГМО). Преимущества этого метода доказаны на примере применения его в других областях техники, например в мобильной связи. В этой области техники на подложке требуется наличие ГМО наряду со сквозными традиционно металлизированными отверстиями. В данной работе представлена технология получения заполненных ГМО, в том числе вместе со сквозными отверстиями на одной и той же подложке.

Берт Реентс

Bert.Reents@Atotech.de

Стефан Кенни

Stephen.Kenny@Atotech.de

Герберт Штреуп

Heribert.Streup@Atotech.de

Введение

Существует достаточное количество документальных источников, подтверждающих потребность в ГМО для обеспечения более высокой плотности соединений. В литературе представлены горизонтальные и вертикальные модификации гальванического оборудования, обеспечивающие более высокие результаты заполнения ГМО [1]. Заполнение ГМО с помощью гальваномеднения можно рассматривать как следующий шаг на пути дальнейшей миниатюризации по следующим причинам.

1. Микроотверстия размером примерно с толщину осаждаемого медного покрытия можно надежно заполнить, если осуществлять заполнение без включений.
2. Использование микроотверстий для обеспечения соединения между послойно наращенными слоями общеприменимо в полуаддитивной технологии, к тому же, если эти отверстия заполнить, надежность соединения повышается.
3. Заполнение микроотверстий с использованием проводящих паст становится сложным в связи с уменьшением их размеров, но в то же время становится легче заполнять их путем гальванического меднения.
4. Включение воздуха в микроотверстия во время нанесения паяльной маски может привести к отрыву компонента из-за термического расшире-

ния газа. Если же микроотверстия заполнены всего лишь на 50%, то опасность включения воздуха уже сводится к минимуму.

5. Заполненные медью ГМО представляют собой возможную площадку для монтажа компонентов, при условии, что остаточное углубление находится в пределах допустимого.
6. Медь, заполняющую отверстие, можно использовать для отвода тепла от компонентов (по возможности, на специальный внутренний теплосток).

Заполненные по современной технологии ГМО широко используются в сборках ИС, где применяется полуаддитивная технология, чтобы получить проводник и зазор порядка 30 мкм.

Теоретические аспекты заполнения микроотверстий вместе с некоторыми практическими примерами описаны авторами [2]. На рис. 1 представлен разрез типичного заполненного ГМО, полученного по полуаддитивной технологии. Размеры отверстия: диаметр — 75 мкм, глубина — 40 мкм.

Состав кислого электролита меднения на постоянном токе для вертикального применения по неорганическим и органическим компонентам должен отличаться от электролитов, применяемых в традиционных технологиях.

Как видно из таблицы, в составе для ГМО, по сравнению с традиционным процессом, концентрация меди значительно увеличена, концентрация серной кислоты уменьшена, а концентрация хлори-



- ← Слой осажденной меди толщиной 20 мкм на поверхности
- ← Химически осажденная медь на чистом ламинате
- ← Остаточное углубление на осажденной меди, в среднем 20 мкм
- ← Площадка контакта ГМО

Рис. 1. Типичное заполненное ГМО

Таблица. Сравнение неорганического состава для заполнения глухих отверстий с традиционным электролитом

	Медь	Серная кислота	Ионы хлора
Традиционный электролит	18–25 г/л	220–260 г/л	30–60 мг/л
Электролит для заполнения отверстий	35–60 г/л	60–150 г/л	30–60 мг/л

да осталась неизменной. Наилучшие результаты по заполнению ГМО дает правильный выбор органических добавок, обеспечивающих более качественное, по сравнению с традиционной технологией, выравнивание. Обратной стороной этой модификации, улучшающей качество заполнения ГМО, является уменьшение рассеивающей способности в сквозных отверстиях и на плоской поверхности при меднении проводников. Для преодоления этого недостатка и обеспечения общего качества меднения обычно при вертикальном способе заполнения уменьшается плотность тока до 0,8–1,5 А/дм².

В настоящее время в производстве кристаллодержателей, как правило, отсутствуют сквозные отверстия, поэтому способность электролита заполнять сквозные отверстия не является необходимостью, однако этого нельзя сказать о других случаях. Проблема состоит в том, чтобы добиться хорошего заполнения глухих отверстий вместе с металлизацией сквозных отверстий при токах более высокой плотности.

Горизонтальный способ Atotech на импульсном токе

В стандартных горизонтальных системах гальванического меднения Atotech с нерастворимыми анодами, работающих на импульсном токе, обычно применяются плотности тока в диапазоне 8–10 А/дм². Для этого концентрация меди в электролите достигает 35–40 г/л или выше. Кроме того, при стандартном электролитическом заполнении ГМО концентрация меди и температура уже повышены с целью увеличения массопереноса. И наконец, в горизонтальной технологии поток раствора интенсивно омывает катод, из-за чего распределение покрытия равномерное. Эти факторы создают хорошее основание для заполнения глухих отверстий при относительно высоких плотностях тока. В результате требуются небольшие изменения химических и электрических параметров (химии и оборудования) для адаптации стандартных установок Atotech под использование их для заполнения ГМО.

На рис. 2 представлено заполненное ГМО, полученное при использовании определен-

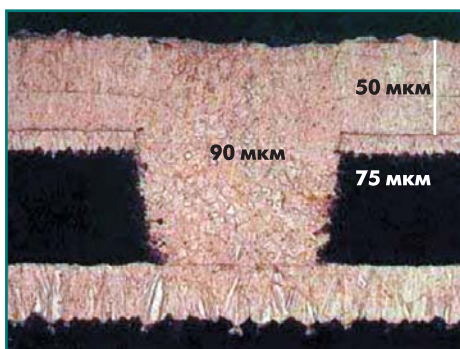


Рис. 2. Разрез заполненного ГМО, полученного электроосаждением на токах с изменяемыми плотностью и параметрами импульса

ной последовательности параметров и плотностей импульсного тока согласно меняющимся размерам ГМО во время процесса заполнения (как это описано в TPRC 2001 [2]). Сначала электроосаждение на первом участке в 20 мкм проводилось при 7,5 А/дм² до тех пор, пока эта относительно высокая плотность тока перестала обеспечивать качественное заполнение. Далее, на участке следующих 15 мкм была применена более низкая плотность тока в 5,5 А/дм², с измененными параметрами импульса, затем последовала третья фаза при плотности тока 9 А/дм² на другом участке в 15 мкм, чтобы избежать остаточного углубления. Толщина покрытия медью на поверхности — 50 мкм.

По причине довольно большой толщины покрытия, не соответствующей современным требованиям эффективности производства, процесс был подвергнут модификации и уже используется в производстве. Основными факторами успешного электроосаждения с уменьшением толщины слоя меди на поверхности являются размеры ГМО (в основном объем и форма), концентрация меди, плотность тока и параметры импульса.

На рис. 3 и 4 представлены два примера заполнения ГМО. В обоих случаях применение относительно низких плотностей тока в сочетании с умелым выбором последовательности изменения параметров электроосаждения способствовало удачному заполнению, при этом получена приемлемая толщина покрытия на поверхности при довольно высоких средних величинах плотности тока.

Благодаря V-образной форме и меньшему объему заполнения, результат, как показано на рис. 3, оказался лучше того, что представлен на рис. 4, если учитывать оставшееся углубление и толщину покрытия на поверхности.

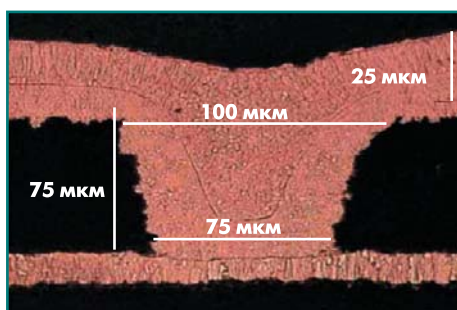


Рис. 3. Разрез заполненного глухого микроотверстия, полученного электроосаждением при изменяющихся плотностях тока и параметрах импульса.

Последовательность процесса

Предварительная обработка:
горизонтальная установка P/Compact CP.

Электролитическое осаждение:

горизонтальный модуль меднения Uniplate Impulse:
4 минуты при постоянном токе 3 А/дм², затем
4 минуты на импульсном токе 4 А/дм², затем
24 минуты на импульсном токе 4 А/дм²
с измененными параметрами импульса.

Медь на поверхности — 26 мкм.

Остаточное углубление — менее 15 мкм

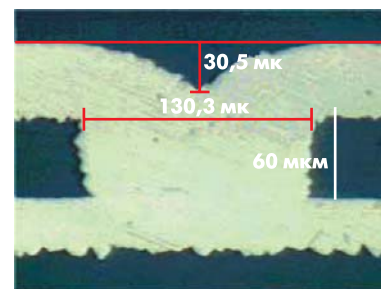


Рис. 4. Разрез заполненного ГМО после осаждения при изменяющихся плотностях тока и параметрах импульса.

Последовательность процесса

Предварительная обработка:
горизонтальная установка P/Uniplate LB.

Осаждение:

горизонтальный модуль меднения Uniplate Impulse:

12 минут при 3,5 А/дм², затем

12 минут при 3,5 А/дм² при измененных

параметрах импульса, затем

12 минут при 5,5 А/дм².

Осажденная медь на поверхности: 33 мкм.

Остаточное углубление: 30 мкм

Как упоминалось выше, основная проблема при заполнении ГМО — это одновременное осаждение в сквозных отверстиях. Осаждение в сквозных отверстиях зависит от всех упомянутых выше факторов, причем некоторые из них ухудшают качество, а некоторые — улучшают. Поскольку требуются лишь незначительные изменения состава электролита для его использования для заполнения ГМО, хороший результат получается и при металлизации сквозных отверстий, при этом не ухудшаются как рассеивающая способность, так и сглаживание углов. Благодаря снижению плотности тока в сочетании с сильными обратными импульсами

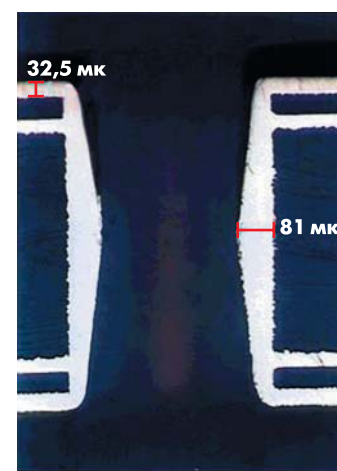


Рис. 5. Разрез сквозного отверстия, металлизированного одновременно с заполнением ГМО, при параметрах электролиза, соответствующих заполнению ГМО.

Толщина: 0,7 мм.

Диаметр: 0,5 мм.

Средняя плотность тока: 4,2 А/дм².

Толщина меди на поверхности: 33 мкм.

Толщина меди в отверстии: 80 мкм



Рис. 6. Вид сбоку идеализированной ячейки для горизонтального осаждения, используемой в целях оптимизации потока раствора

тока можно добиться усиления рассеивающей способности, как это показано на рис. 5.

В целях соблюдения общего требования — получения на поверхности слоя меди небольшой толщины — можно применить два основных метода: снижение плотности тока и уменьшение заполняемого объема. Если эти два основных фактора остаются неизменными и неприемлемо изменение химического состава раствора, то наибольший шанс к успеху даст модификация оборудования, в частности типа системы, создающей поток электролита к плате, и интенсивности прямого потока электролита к ГМО.

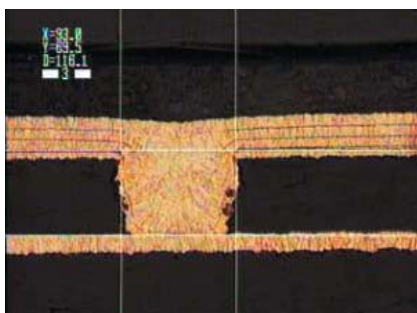
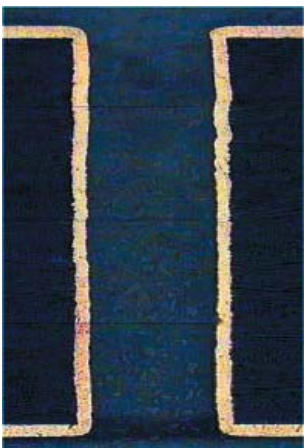


Рис. 7. Разрез сквозного отверстия и ГМО, одновременно обработанных с помощью разработанного нового модуля.
Толщина сквозного отверстия: 1,0 мм.
Диаметр сквозного отверстия: 0,3 мм.
Диаметр ГМО: 100 мкм.
Глубина ГМО: 70 мкм.
Плотность тока: 4 А/дм².
Рассеивание в сквозном отверстии 90%

Проводилось множество исследований с целью оптимизации потока раствора по всей поверхности печатной платы в ГМО и сквозном отверстии. В процессе тестирования в идеализированной ячейке для горизонтального осаждения менялись такие параметры как угол, расход электролита и скорость потока (рис. 6).

Таким образом был разработан новый модуль горизонтального осаждения, оснащенный новой струйной системой, обеспечивающий улучшенное осаждение в ГМО. На рис. 7 представлено заполненное ГМО с одновременным нанесением покрытия в сквозном отверстии с помощью разработанного нового модуля.

Вертикальный метод

В целях обеспечения наилучших результатов при заполнении ГМО все параметры электроосаждения должны быть по возможности одинаковыми по всему окну катода. Особенно это важно для распределения меди на поверхности, что может сильно повлиять на результат заполнения микроотверстия. Поэтому здесь очень важна конструкция оборудования. Поскольку в качестве предварительной обработки или сквозной металлизации отверстий может быть применено химическое меднение по всей панели толщиной примерно 1 мкм, то система электрического контактирования должна быть специально разработана таким образом, чтобы ток распределялся равномерно, и точка контакта не «прогорала».

Представленное выше заполненное вертикальным методом электроосаждения на постоянном токе ГМО приемлемо для современных кристаллодержателей; но когда требуется более гладкая поверхность, оставшееся углубление может стать проблемой, например для размещения переходов непосред-

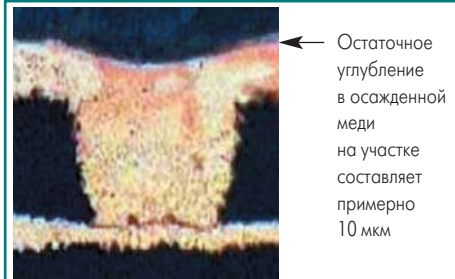


Рис. 8. Заполненное глухое микроотверстие с использованием добавки, обладающей повышенным эффектом выравнивания для уменьшения остаточного углубления

венно друг над другом. Эффект заполнения отверстий можно рассматривать как улучшенное выравнивание, которое можно улучшить еще путем использования добавок, обладающих более сильным эффектом выравнивания (рис. 8).

Однако когда требуется одновременная металлизация сквозного отверстия, виден недостаток таких сильных выравнивателей. В этом случае результатом является более или менее грубое сглаживание углов, что может повлиять на термостойкость осажденной меди. На рис. 9 показан эффект сильного выравнивания при осаждении покрытия в углах.

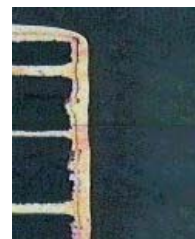


Рис. 9. Сглаживание углов в сопоставлении с усиленной толщиной меди на стенках отверстий

Использование сильных выравнивателей может дать нежелательный побочный эффект: осажденная медь становится сильно блестящей. Это может вызвать проблемы при дальнейших работах (например при оптическом контроле). Структура меди становится слишком мелкозернистой, что наверняка скажется на процессах травления, применяемых для улучшения сцепления с паяльной маской (по сравнению с менее блестящей медью).

Имея существующий электролит, необходимо найти компромисс между приемлемой степенью заполнения ГМО и степенью выравнивания углов (рис. 10).

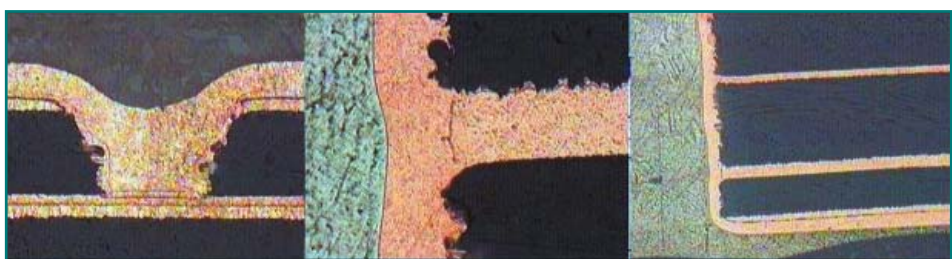


Рис. 10. Заполненное микроотверстие вместе с металлизированным сквозным отверстием на одной и той же панели

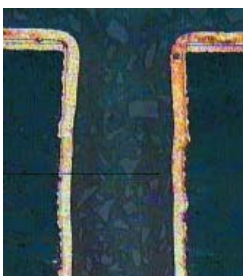


Рис. 11. Заполненное ГМО и сквозное отверстие после осаждения из модифицированного электролита

Данная плата предназначена для мобильного телефона и имеет ГМО глубиной 80 мкм и диаметром 110 мкм; толщина панели 1,1 мм с отверстиями диаметром 0,3 мм. Заполнение глухого отверстия происходит с остаточным углублением 35 мкм, при этом

слой меди на поверхности составляет 20 мкм, а толщина меди на углу составляет примерно 15 мкм. Эта панель уже прошла испытания качества и показала хорошие результаты после трех тестов на термоудар пайкой продолжительностью по 10 с при температуре 288 °С.

Работы по улучшению блескообразователей первого рода и выравнивателей в ходе лабораторных испытаний дали более успешные результаты. На рис. 11 представлен результат заполнения ГМО и осаждения на углах в сквозном отверстии при использовании модифицированного электролита. В этом случае используются испытательные панели толщиной 1,6 мм и с диаметром отверстия 0,3 мм. ГМО имеет глубину 65 мкм и диаметр 100 мкм. Заполненные микроотверстия имеют остаточное углубление примерно 9 мкм и сглаживание углов 20%, в то же время рассеивание меди в отверстии составляет 80%.

Используемая плотность тока — 1,5 А/дм², лучше, чем в современном производстве.

Резюме и точка зрения

Использование методов электроосаждения постоянным током широко распростра-

нено в вертикальной технологии заполнения ГМО; проводится также оценка заполнения ГМО, происходящего одновременно с металлизацией сквозных отверстий. Использование импульсного электроосаждения, работающего на более высоких эффективных плотностях тока, в настоящее время ограничено горизонтальным оборудованием. Это объясняется тем, что горизонтальное оборудование более востребовано производством плат для мобильных телефонов, нежели вертикальное.

Технологии будущего, несомненно, потребуют плат с более высоким отношением толщины к диаметру сквозных отверстий и с соседствующими ГМО. Этого можно достичь только благодаря улучшению гидродинамики раствора, в особенности в вертикальном оборудовании, а также за счет применения импульсного осаждения для увеличения производительности.

Литература

1. Реентс Б., Кенни С. Материалы технической конференции IPC Expro 2002. IPC Нортбрук, Иллинойс, США. 2002.
2. Реентс Б., Кенни С. Материалы Форума TPRC 2001. Тайпей, Тайвань. 2001.