

# Анализ технологий прямой металлизации отверстий печатных плат

## Часть 1

П. Григорьев<sup>1</sup>, Т. Шимчук<sup>2</sup>, Т. Цивинская<sup>3</sup>

УДК 381.4 | ВАК 05.27.06

Среди вариантов физической реализации коммутационных структур электронных изделий наибольшее распространение получили многослойные печатные платы (МПП). Классическим решением для обеспечения связи между слоями МПП являются переходные отверстия [1, 2], и от того, насколько качественно произведена их металлизация, зависит работоспособность и эксплуатационная надежность всего устройства.

В течение 30 лет предпочитаемым технологическим процессом металлизации отверстий был процесс с использованием палладия с последующим химическим меднением. Однако он порождает ряд проблем, а продолжающаяся миниатюризация электронных устройств приводит к постоянному уменьшению размеров отверстий при сохранении уровня требований к качеству их металлизации. Это стимулировало поиск как новых технологий, так и новых типов оборудования, способного обеспечить их внедрение. Одной из таких новаций стала обширная группа технологий, известных под общим названием «прямая металлизация»; в данной статье рассмотрены наиболее известные на сегодня процессы из этой группы.

### ТРАДИЦИОННЫЙ ПОДХОД: ТЕХНОЛОГИЯ ХИМИЧЕСКОГО МЕДНЕНИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ С ВЕРТИКАЛЬНЫМ РАСПОЛОЖЕНИЕМ КАССЕТ

Сегодня технологии прямой металлизации активно используют 30–40% западных компаний, в то время как в России – не более 10% [3–9]. Отечественные производители печатных плат в вопросах металлизации отверстий продолжают опираться на технологию, включающую в качестве одного из этапов процесс химического меднения. Не вдаваясь в детали, этот процесс можно описать следующим образом.

Сама по себе медь не может быть осаждена непосредственно на поверхность диэлектрика, последнюю надо предварительно активировать. Операция активации в данном процессе заключается в создании на поверхности диэлектрика каталитически активных центров, состоящих из частиц металлического палладия [4]. Для этого заготовка последовательно либо одновременно обрабатывается растворами хлористого олова и хлористого

палладия. Первый из них содержит соли двухвалентного олова, которые во время промывки плат в воде гидролизуются с образованием малорастворимых соединений [10]. Между поверхностью диэлектрика и частицами олова в гидроксильных соединениях, взвешенными в жидкостно-газовой среде, возникают силы межмолекулярного взаимодействия, и частицы олова покрывают поверхность диэлектрика. Далее при обработке плат в солянокислом растворе хлористого палладия олово переходит в раствор, а металлический палладий осаждается на поверхность диэлектрика.

После операции сверления поверхность диэлектрика в отверстиях представляет собой обрывки волокон наполнителя, покрытые связующим, разогретым во время сверления, а также тончайшим порошком размельченного наполнителя. Реакция адсорбции палладия происходит на поверхности волокон, поэтому металл распределяется по стенкам отверстия неравномерно, отдельными вкраплениями. Эти вкрапления служат каталитическими центрами для следующего этапа – химического меднения. Медь сначала осаждается на эти вкрапления, а затем в ходе автокаталитического процесса заполняет промежутки между ними, образуя сплошную пленку толщиной 0,2–0,3 мкм.

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, аспирант, grigorevvp@gmail.ru.

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, студентка, tshimchuk@list.ru.

<sup>3</sup> ООО «Сенсорные системы МГТУ им. Н.Э. Баумана», главный технолог, tsivinskaya\_t@mail.ru.

Далее для защиты этой пленки, очень тонкой и рыхлой, производится операция предварительного гальванического меднения, доводящая ее толщину до 1–2 мкм – профильные технологи называют эту операцию гальванической затяжкой. После этого заготовка становится пригодной для основного гальванического меднения, при помощи которого слой меди в отверстиях доводится до толщины, заданной в конструкторской документации на плату.

Один из важнейших недостатков этой технологии проявляется на этапе химического меднения, когда на поверхности меди начинает протекать реакция контактного замещения. Палладий, попадая между осаждающимися слоями меди, ослабляет прочность их сцепления. Кроме того, палладий обладает уникальной способностью растворять в себе водород, который в избытке имеется в рабочем растворе. В результате пленка палладия увеличивается в объеме, становится рыхлой и тем самым разрыхляет слой меди, образуя пустоты и раковины, в которых может концентрироваться влага, раствор электролита, газы. Подобный дефект является основной причиной выхода из строя плат в процессе эксплуатации.

За долгие годы применения данная технология постоянно совершенствовалась, с указанным недостатком научились достаточно эффективно бороться, добиваясь нужного качества металлизации отверстий, по крайней мере, при изготовлении МПП до 5 класса точности. Но устранить такую проблему, как экологическая опасность веществ, используемых в процессе химического меднения, так и не удалось [3].

Технологические растворы, содержащие соли меди, комплексобразователи и формальдегид, обладают высокой токсичностью. Очистка отработанной воды осложняется тем, что в ней присутствуют хелатные соединения, которые образуются из ионов меди и органических остатков соединений комплексобразователя [4]. Эти соединения препятствуют осаждению металлов, что делает процесс очистки очень трудоемким и, следовательно, дорогостоящим.

Добавляют проблем и ванны с вертикальным расположением кассет с платами, которые сегодня используются большинством серийных производителей. Промывка плат в таких ваннах требует больших объемов воды, которую потом надо очищать; кроме того, размеры и количество ванн дополнительно увеличиваются для наращивания пропускной способности оборудования, что приводит к росту объемов выделения вредных для здоровья человека паров и аэрозолей участвующих в реакции химикатов.

Надо отметить, что линии с вертикальным расположением плат остаются популярными, поскольку они обеспечивают хорошую производительность. Однако они имеют и серьезный недостаток: при вертикальном погружении

разные панели металлизуются в различных частях камеры установки, в разных ваннах, а также при различных положениях стойки с кассетами. Поэтому все вертикально металлизуемые панели имеют отклонения по толщине осаждаемого слоя металла, с чем приходится мириться, назначая для этих отклонений допуски приемлемой величины.

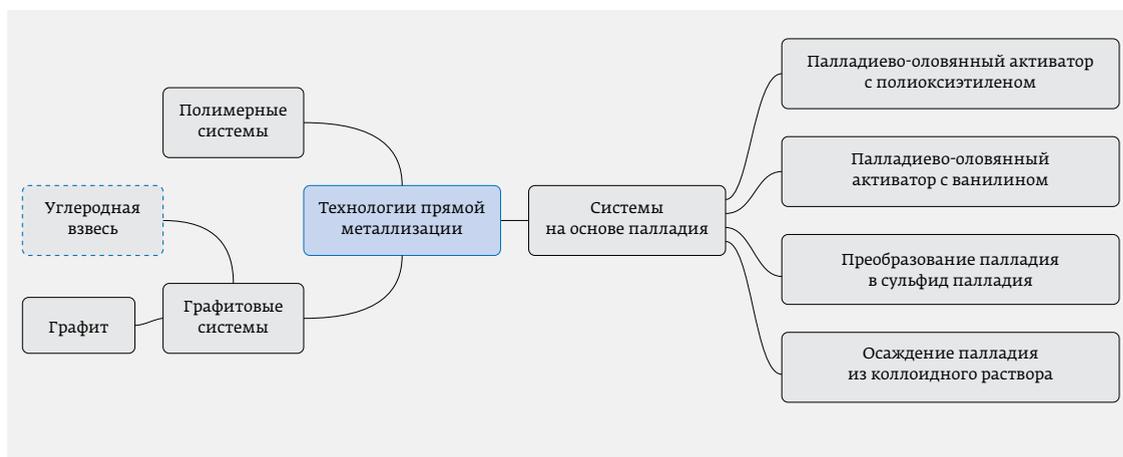
В настоящее время все большее распространение получают линии с горизонтальным расположением обрабатываемых плат. При горизонтальной металлизации все панели проходят через набор технологического оборудования одинаковым образом и подвергаются обработке рабочими растворами однородного состава и концентрации. Подробнее преимущества таких линий применительно к технологиям прямой металлизации будут приведены ниже, после рассмотрения этих технологий с точки зрения физико-химических процессов и компонентов применяемых технологических растворов.

## КЛЮЧЕВОЙ ЭЛЕМЕНТ ТЕХНОЛОГИЙ ПРЯМОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ

Толчком для начала поиска альтернативных технологий, обеспечивающих качество продукции при меньших экономических затратах, стали законодательные акты по охране окружающей среды, принятые в большинстве государств. Требовалось найти способы, исключающие из процесса металлизации фазу химического меднения, что должно было привести к кардинальному снижению остроты экологических проблем.

Этим требованием было определено ключевое свойство всех технологий прямой металлизации, состоящее в том, что на поверхности диэлектрика вместо отдельных каталитически активных вкраплений создается сплошная проводящая пленка, на которую можно сразу осаждать медь гальваническим способом. Необходимость химического меднения отпадает, и это не только упрощает очистку отработанной воды, но и решает проблему непрочности и неоднородности слоя химически осажденной меди.

У истоков эры прямой металлизации стоит технология, в основе которой, так же как в процессе с химическим меднением, лежит идея палладиевых систем [3, 11, 12]. Впоследствии были разработаны и другие процессы, предусматривающие применение более дешевых материалов, чем палладий, и построение систем, в которых комбинация химических материалов способна обеспечить более высокое качество с меньшим количеством операций [7]. Наиболее известные технологические процессы, в которых химическое осаждение меди заменяется на получение в отверстиях сплошного электропроводящего слоя, сформированного различными методами, показаны на рис. 1.



**Рис. 1.** Разновидности технологий прямой металлизации

### СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ПАЛЛАДИЯ

Эта группа методов прямой металлизации развивалась как усовершенствование технологии с химическим меднением. Среди наиболее используемых сегодня процессов можно отметить следующие:

- с использованием палладиево-оловянного активатора с полиоксиэтиленом;
- с использованием палладиево-оловянного активатора с ванилином [3];
- на основе преобразования палладия в сульфид палладия [3];
- технология Neorast, использующая свободный от олова палладий в коллоидной форме [3, 8].

Основные этапы этих технологических процессов отображены на рис. 2.

Первые три технологии имеют общую основу: палладиево-оловянный активатор. Различаются они применением различных реагентов для перевода металлического палладия в коллоидный раствор с последующей

адсорбцией частиц палладия на поверхность диэлектрика. В технологии Neorast используется приготовленный заранее коллоидный раствор металлического палладия в органическом полимере.

Первой работоспособной технологией прямой металлизации стал процесс EE-1, в котором используется палладиево-оловянный активатор в сочетании с водорастворимым полимером – полиоксиэтиленом [3, 7]. Он был разработан в 1982 году специалистами компаний Photocircuits и PCA. Полиоксиэтилен в этом процессе добавляется к раствору хлористого палладия для равномерного распределения палладия по всей поверхности отверстия. Обладая хорошей адгезией к диэлектрику, он способен покрыть ее ровным непрерывным слоем. Металлический палладий адсорбируется полиоксиэтиленом, образуя электропроводящую пленку.

Эта технология обрабатывалась на оборудовании вертикального расположения кассет и не адаптировалась к горизонтальному типу оборудования.



**Рис. 2.** Технологии прямой металлизации, в которых применяются системы на основе палладия

Похожая технология была разработана в Японии в конце 1980-х годов. В ней в качестве добавки к палладиево-оловянному активатору применен ванилин; соответственно, используются другие реактивы [3, 12]. В этом процессе, известном под обозначением DPS, ванилин выполняет роль, схожую с ролью полиоксиэтилена в технологии EE-1 – обеспечивает равномерное покрытие поверхности диэлектрика частицами палладия из раствора. По окончании обработки в отверстиях осаждается стабильная сероватая проводящая пленка палладия.

Система растворов процесса DPS эффективно работает только при повышенных температурах. Интересно отметить, что DPS – первая технология прямой металлизации, в приборное обеспечение которой был внедрен омметр в качестве стандартного инструмента контроля качества.

Отличительной особенностью технологии, созданной инженерами компании Shipley, является преобразование палладия в сульфид палладия. Целесообразность такого преобразования обосновывается лучшей проводимостью пленки сульфида палладия, что благоприятно сказывается на этапе электролитического осаждения меди. Заготовки плат подвергаются действию очищающе-кондиционирующего раствора, который снимает статические электрические заряды и делает структуру поверхности диэлектрика более рыхлой – это способствует улучшению адгезии электропроводящей пленки сульфида палладия к поверхности диэлектрика. Палладий преобразуется в сульфид палладия в результате действия специального реагента, добавляемого к раствору палладиево-оловянного активатора.

При разработке этого технологического процесса сразу предусматривалась возможность его реализации на конвейерном горизонтальном оборудовании.

В технологии Neorast, разработанной в компании Atotech [3, 8], на поверхность диэлектрика осаждается свободный от олова палладий. Для доставки палладия в отверстия используется коллоидный раствор металлического палладия в органическом полимере. Затем полимер растворяется и удаляется, и палладий в чистом виде остается адсорбированным на поверхности диэлектрика. При этом обеспечивается надежный контакт с медными контактными площадками, через которые проходит отверстие, как на внешних, так на внутренних слоях МПП.

Примечательно, что данная технология успешно прошла испытания при сборке гибко-жестких плат. Технология Neorast разработана для использования конвейерного горизонтального оборудования, но хорошо адаптируется и под оборудование вертикального типа.

\*\*\*

Технологии, не связанные с применением палладия, а также сравнительный анализ всех систем прямой металлизации и современные подходы к построению оборудования для них, будут рассмотрены во второй части статьи.

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Гриднев В. Н., Гриднева Г. Н.** Проектирование коммутационных структур электронных средств. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана. 2014. Том 7. 344 с.
2. **Юрков Н. К.** Технология производства электронных средств // Учебник. – М.: Лань, 2014. 480 с.
3. **Кумбза К. Ф.** Печатные платы. Справочник. Книга 1. – М.: ТЕХНОСФЕРА, 2011. 1016 с.
4. **Динг Дж., Реталлик Р.** Экологически чистая технология металлизации сквозных отверстий плат // Печатный монтаж. 2008. № 5. С. 10–15.
5. **Киреев В. А.** Курс физической химии. – М.: Химия, 1989. 581 с.
6. **Николаева Е.** Механизм процессов активирования в технологии химической металлизации // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2008. № 3. С. 1–3.
7. **Люлина В., Медведев А. и др.** Производство печатных плат с металлизированными отверстиями // Технологии в электронной промышленности. 2008. № 4. С. 24–29.
8. **Сержантов А.** Опыт внедрения и освоения в производстве процесса прямой металлизации печатных плат NEORAST фирмы ATOTECH // Технологии в электронной промышленности. 2006. № 2. С. 41–43.
9. **Степанов В.** Прямая металлизация: да или нет? // Компоненты и технологии. 2002. № 5. С. 1–2.
10. **Шкундина С.** Процесс прямого покрытия ViaKing // Технологии в электронной промышленности. 2014. № 1. С. 38–41.
11. **Lundquist J., Медведев А., Салтыкова В.** Системы прямой металлизации // Компоненты и технологии. 2003. № 4. С. 204–207.
12. **Николаева Е.** Освоение техпроцесса прямой металлизации // Производство электроники: технологии, оборудование, материалы. 2008. № 3. С. 49–51.