

# Импульсная металлизация печатных плат

**Вся история производства печатных плат связана со стремлением технологов получить равномерное гальваническое покрытие на поверхности плат и в отверстиях. Уменьшение диаметров отверстий обострило решение этой проблемы. Сегодня появились новые приемы выравнивания металлизации на основе использования реверсных импульсных токов питания гальванических ванн, называемые у нас технологией импульсной металлизации или металлизацией с реверсированием токов.**

**Аркадий Медведев,**  
проф. МАИ

medvedevam@bk.ru

**Петр Семенов**

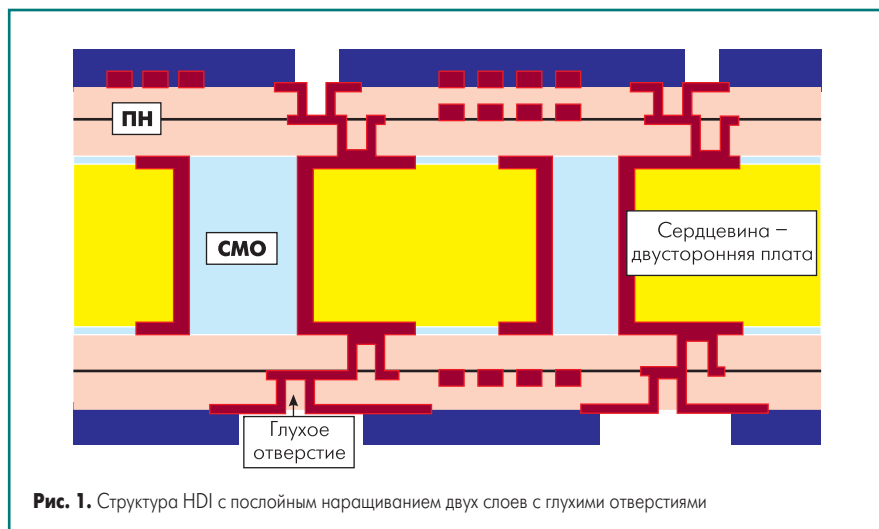
semenov@elserv.ru

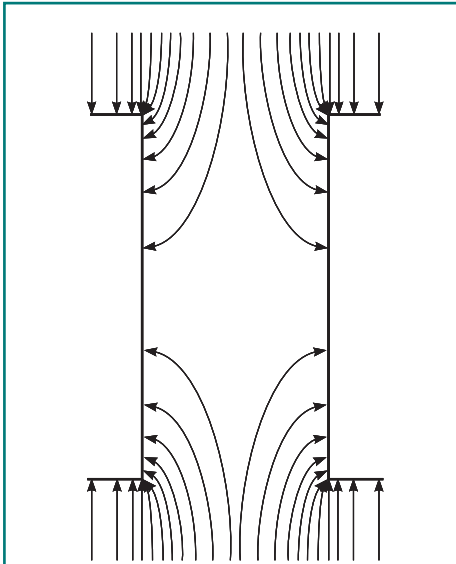
Нельзя сказать, что в России не знали о реверсивных режимах металлизации. По крайней мере, о преимуществах реверсирования тока было сказано в 1953 году в монографии Лайнера В. И. и Кудрявцева Н. Т. «Основы гальваностегии» [1]. Но практическое использование реверса тока нашло в создании мелкокристаллических структур: при реверсировании тока прекращался процесс роста кристаллов и при прямом токе возобновлялся вновь. На участке печатных плат завода ОАО Счетно-аналитических машин (Москва) в технологиях МПП послойного наращивания этот процесс используется уже много лет. Поскольку эта технология предусматривала полное заполнение переходных отверстий медью, реверс тока позволял создать толстые мелкокристаллические осадки без заметных внутренних напряжений. Отечественная разработка технологии МПП послойного наращивания, освоенная в СССР в конце 70-х годов до сих пор работает в ответственной аэрокосмической аппаратуре, и теперь возвращается к нам из-за рубежа

в новом качестве в технологиях, которые называются там HDI — High Density Interconnection (высокоплотные межсоединения). Простейший пример структуры HDI показан на рис. 1.

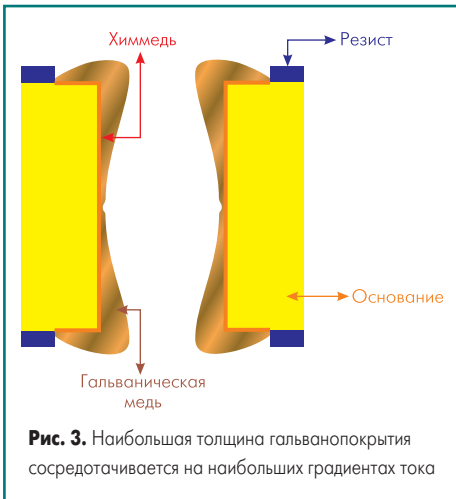
Неравномерность толщин осаджений при электролизе обусловлена в основном двумя факторами: неравномерностью распределения плотности тока и концентрационной катодной поляризацией. До настоящего времени последнюю успешно преодолевали интенсификацией обмена электролита у катодной поверхности: барботажем, возвратно-поступательным перемещением катода в электролите, вибрацией катода, применением ультразвука. Но с появлением в конструкциях плат мелких отверстий эффективность этих приемов упала — начала сказываться большая вязкость электролитов для обмена внутри отверстий. Особенно это относится к широко распространенному кислому серно-кислому электролиту меднения, вязкость которого выше, чем у других известных, за счет большого содержания концентрированной серной кислоты. Продавливать этот электролит сквозь узкие отверстия затруднительно. В то же время диффузионные механизмы обмена замедлены настолько, что не соответствуют требованиям производительности процесса.

Что касается неравномерности распределения плотности тока, то она меньше поддается управлению: для обеспечения равномерности распределения тока от периферии катода к центру платы используются выравнивающие экраны, на периферии заготовки платы обязательно выполняют металлическую рамку, в общей гальванике могут менять даже форму анода, чтобы выровнять электрическое поле у прикатодной поверхности. В технологиях печатных плат главный объект металлизации — отверстия: сквозные, а теперь и глухие. Металлизация поверхности — побочный, неизбежный, ненужный процесс, которого хотелось бы избежать. Но выровнять градиенты тока в отверстиях





**Рис. 2.** Распределение тока в сквозном отверстии. Наибольший градиент тока сосредоточен на углах отверстия



**Рис. 3.** Наибольшая толщина гальванопокрытия сосредотачивается на наибольших градиентах тока



**Рис. 4.** Наросты гальванических осадков на одиночных проводниках

и на поверхностях (рис. 2) никогда не удастся. В силу этого осаждение металла в зоне отверстия идет неравномерно, по форме напоминает «собачью кость», отчего этот эффект получил соответствующее экзотическое название (рис. 3). При использовании металлизации по рисунку (комбинированный позитивный метод) одиночно расположенные проводники могут получить недопустимо грубые наросты (рис. 4).

Для предотвращения этого эффекта используются выравнивающие добавки, которые создают барьерный слой в местах наибольших градиентов, предотвращая там утолщение металлизации. Выравнивающие добавки (в основном, поверхностно-активные вещества) позволяют успешно металли-

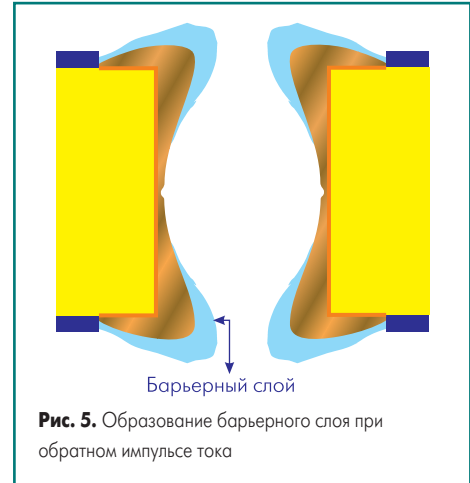
зировать отверстия до соотношения толщины платы и диаметра отверстия, равного 10:1 (в ряде случаев и 20:1). Поскольку такие соотношения характерны для тонких отверстий, обмен электролита для доставки новых порций ионов металла в них затруднен. Чтобы свежие порции электролита успевали поступать в отверстия и участвовать в осаждении металла, приходится работать на малых плотностях тока 1–2 А/дм<sup>2</sup>. Осаждение до толщины 25 мкм длится около двух часов.

Конечно, вибрация и ультразвук ускоряют обмен электролита у катодной поверхности, но не настолько, чтобы получить заметный эффект. Для интенсификации продавливания электролита через отверстия используют горизонтальные линии, в которых электролит подается в отверстия под большим напором. Но и здесь на равномерности покрытия сказывается краевой эффект.

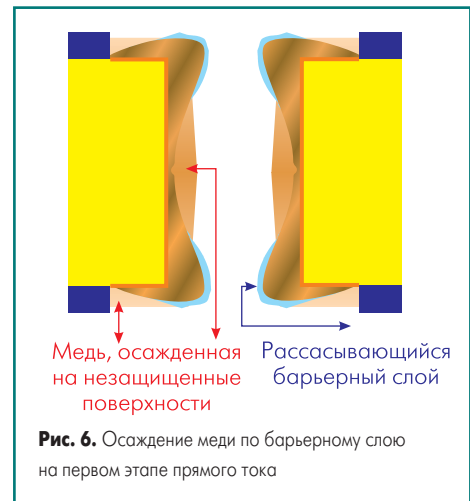
Что же дает нам импульсный реверсный режим питания гальванических ванн? И почему мы не использовали его раньше, коли догадывались о его эффективности? Ответ на последний вопрос простой: не было соответствующих источников тока, которые бы создавали токи порядка тысяч ампер с управлением их длительности и амплитуды в условиях реверсивного режима. Поэтому в лабораторных условиях, когда достаточно малых токов, накопилось достаточно экспериментальных данных, чтобы получить убедительные доказательства благотворности импульсных режимов питания гальванических ванн. Но перейти к промышленному использованию мешало отсутствие соответствующих источников тока. Теперь они есть. Например, широкую гамму таких источников выпускает фирма DRPP Europa & North America. Этими источниками тока комплектуются гальванические линии фирмы PAL Galvaur.

Каковы же механизмы импульсной металлизации с реверсом тока? Их несколько. Один состоит в том, что при обратном (отрицательном) импульсе идет анодное травление металла на больших градиентах тока, то есть именно там, где произошло большое наращивание при прямом токе. Второй заключается в интенсивном разрушении концентрационной катодной поляризации, что способствует обновлению раствора в прикатодном слое. Но главный механизм связан с использованием выравнивающих добавок, которые адсорбируются на катодной поверхности при реверсе тока (рис. 5). Причем сорбция добавок пропорциональна градиенту тока. Эти добавки к электролиту создают барьерный слой, который препятствует осаждению металла на острых кромках, способствуя преимущественному осаждению в глубине отверстий (рис. 6 и 7).

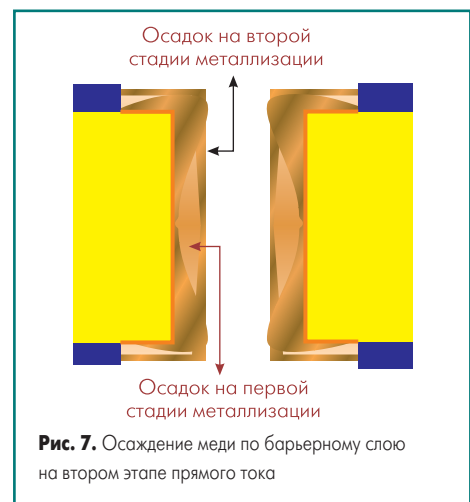
В конечном итоге можно получить ровное осаждение (рис. 8), причем толщина металлизации в отверстии может оказаться больше толщины осаждения на поверхности и на углах отверстий. Последний эффект неблагоприятно сказывается на прочности сцепления металлизации отверстия с контактной



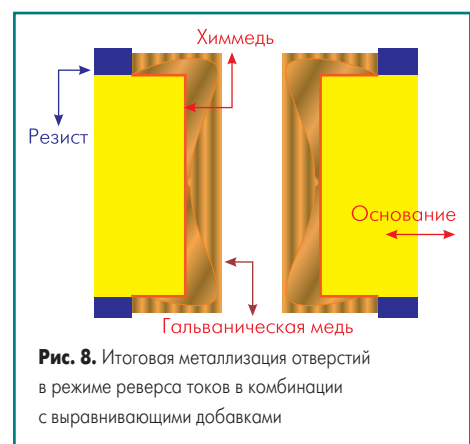
**Рис. 5.** Образование барьерного слоя при обратном импульсе тока



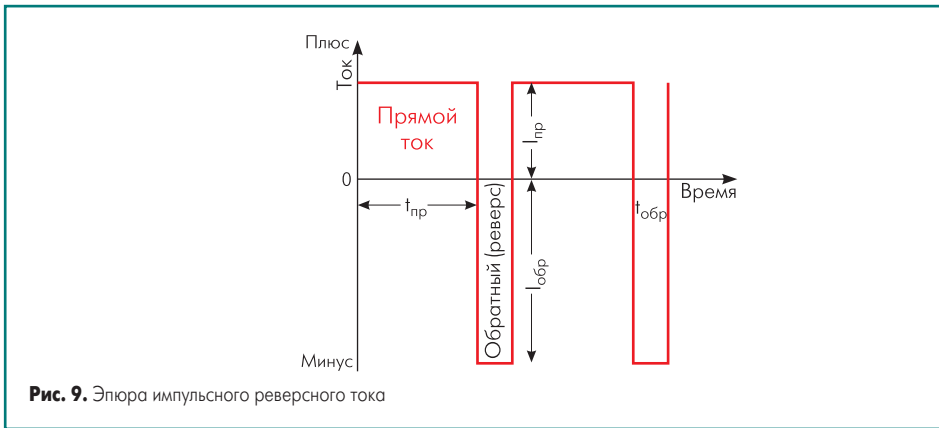
**Рис. 6.** Осаждение меди по барьерному слою на первом этапе прямого тока



**Рис. 7.** Осаждение меди по барьерному слою на втором этапе прямого тока



**Рис. 8.** Итоговая металлизация отверстий в режиме реверса токов в комбинации с выравнивающими добавками



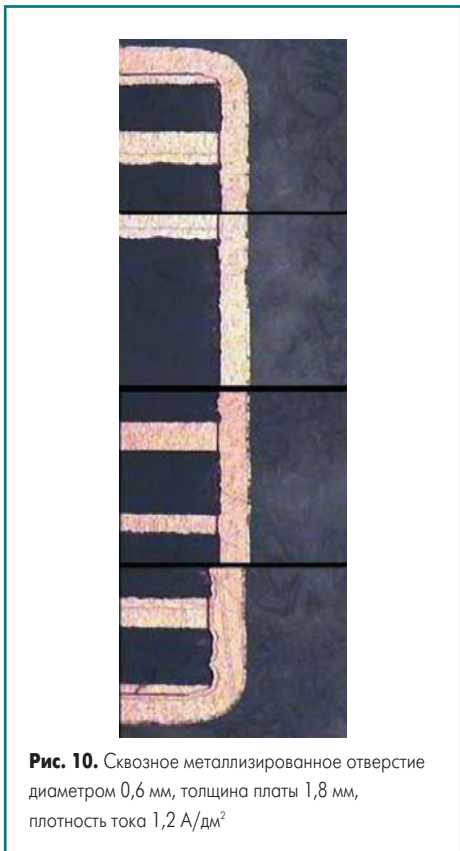
**Рис. 9.** Эюра импульсного реверсного тока

**Таблица 1.** Параметры тока электролиза импульсной металлизации

Наименование параметра	Обозначение
Прямой ток	$I_{пр}$
Обратный ток	$I_{обр}$
Длительность импульса прямого тока	$t_{пр}$
Длительность импульса обратного тока	$t_{обр}$
Отношение длительностей импульсов	$t_{пр}/t_{обр}$
Время металлизации до толщины 25 мкм	T (минимально 45 мин)

**Таблица 2.** Типичные режимы металлизации сквозных отверстий при реверсировании тока

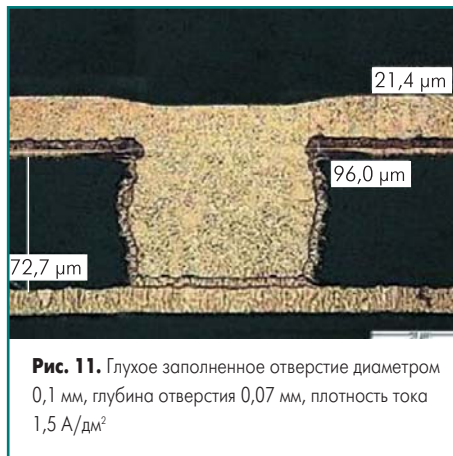
Прямой ток, А/дм <sup>2</sup>	Обратный ток, А/дм <sup>2</sup>	Длительность прямого импульса, мс	Длительность обратного импульса, мс
2,5	6,0	20	1
2,5	7,5	20	1
2,5	9,0	20	1
2,5	10,5	20	1



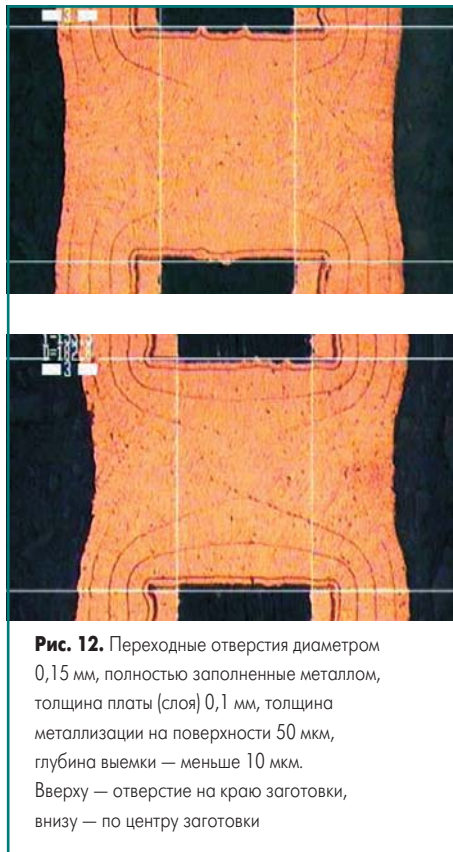
**Рис. 10.** Сквозное металлизированное отверстие диаметром 0,6 мм, толщина платы 1,8 мм, плотность тока 1,2 А/дм<sup>2</sup>

площадкой, поэтому слишком большим выравниванием металлизации стараются не увлекаться.

Выход из экспериментальной стадии на промышленное освоение позволяет объ-

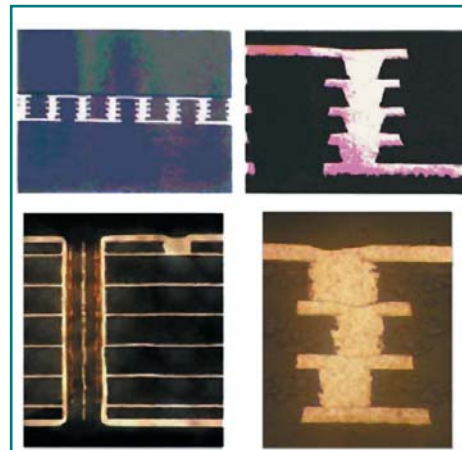


**Рис. 11.** Глухое заполненное отверстие диаметром 0,1 мм, глубина отверстия 0,07 мм, плотность тока 1,5 А/дм<sup>2</sup>



**Рис. 12.** Переходные отверстия диаметром 0,15 мм, полностью заполненные металлом, толщина платы (слоя) 0,1 мм, толщина металлизации на поверхности 50 мкм, глубина выемки — меньше 10 мкм. Вверху — отверстие на краю заготовки, внизу — по центру заготовки

ективно оценить результаты использования импульсной металлизации. Обозначения размерности импульсных режимов (рис. 9) показаны в таблице 1. Типичные режимы для металлизации тонких отверстий показаны в таблице 2. Однако когда на плате присутствуют сквозные отверстия разного диаметра, да еще и глухие отверстия, приходится варь-



**Рис. 13.** Преимущество использования глухих отверстий с полным заполнением металлом состоит в двойном увеличении плотности межсоединений

ировать режимы тока в широких пределах и проводить металлизацию в несколько стадий при разных режимах.

Несколько примеров режимов импульсной металлизации из практики ее промышленного использования приведено на рис. 10–12.

Главный эффект, из-за которого эта технология начала развиваться особенно интенсивно, — возможность заполнения глухих отверстий, за счет чего плотность размещения переходов увеличилась в два раза (рис. 13). Мы, как потребители электронной продукции, ощущаем это уплотнение в уменьшении габаритов мобильных телефонов, цифровых видеокамер, фотоаппаратов и т. п.

Это лишь немногочисленные примеры эффективности импульсной металлизации в обеспечении равномерности покрытий. Что касается обычных конструкций плат, то металлизация с реверсом тока позволяет без потери качества увеличить плотность тока до 3 А/дм<sup>2</sup>, что увеличивает производительность гальванических линий на 70%.

Итак, появление мощных источников тока с регулируемыми параметрами реверсирования позволило получить положительные эффекты в промышленном использовании импульсной металлизации печатных плат: выравнивание толщины металлизации, увеличение производительности процесса почти в два раза, полное заполнение металлом глухих и переходных отверстий. В итоге эти эффекты позволяют увеличить плотность межсоединений в многослойных структурах в два раза.

**Литература**

1. Лайнер В.И. и Кудрявцев Н.Т. Основы гальваностегии. М.: Металлургиздат. 1953.
2. Lefebvre M. Periodic pulse reverse acid copper plating technology. Proceeding of EIPC Winter Conference Cannes 2004.
3. Информация фирмы Atotech (Германия): <http://www.atotech.com/date/pcb/>.
4. Сайт фирмы PAL (Process Automation International Limited): [www.palhk.com](http://www.palhk.com).