

## **Технологические особенности гальванического осаждения толстых слоев меди для высоконагруженных коммутационных плат силовой электроники**

Е.М. Савченко<sup>1</sup>, А.Г. Чупрунов<sup>2</sup>, А.Г. Холодкова<sup>2</sup>, В.А. Сидоров<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Российский технологический университет «МИРЭА»

<sup>2</sup>АО «НПП «Пульсар»

**Аннотация:** Рассмотрены основные способы формирования толстых слоев меди (100 – 150 мкм) для высоконагруженных силовых керамических плат силовой электроники. Подобно рассмотрен метод гальванического осаждения толстых слоев меди. Представлены результаты экспериментального исследования влияния добавок и технологических параметров на процесс гальванической металлизации при постоянном токе в сульфатных электролитах меднения. Оптимизирован сернокислый электролит меднения, позволяющий осаждать покрытия толщиной 100 – 150 мкм на тонкопленочную металлизацию на подложках из алюмонитридной керамики.

**Ключевые слова:** сернокислый электролит меднения, алюмонитридная керамика, коммутационные силовые платы.

### **Введение**

Для коммутации больших токов материалы, используемые в производстве силовых плат, должны обладать высокой теплопроводностью и эффективно отводить тепло от активных элементов для предотвращения их перегрева. Поэтому в качестве проводников в мощных силовых полупроводниковых устройствах обычно используют металлы: медь, алюминий, серебро, золото. Их проводимость достаточно высока, что приводит к минимальному выделению тепла на таком проводнике при прохождении через него тока. Самым эффективным сочетанием материалов «проводник–диэлектрик» с учетом параметров «цена–технологичность» для производства коммутационных плат мощной электроники является высокотеплопроводная керамика, металлизированная медью.

В настоящее время для формирования толстых слоев меди на керамике применяют несколько основных методов: DBC (Direct Bonded Copper – прямое медное соединение), AMB (Active Metal Braze – пайка активными металлами), ХГН (холодное газодинамическое напыление), толстоплёночная технология, плазменное напыление и другие. Технология, широко применяемая за рубежом среди производителей силовых приборов, является DBC, благодаря которой можно получать платы с толщиной медного слоя до 300 мкм. Однако недостатками DBC являются низкая стойкость к термоциклированию, необходимость в наличии специального технологического оборудования и низкая стойкость к высокотемпературной пайке (выше 820°C) в среде водорода. В AMB технологии решаются проблемы DBC, связанные с рассогласованием меди с керамической подложкой. Тем не менее в технологии AMB из-за наличия теплопроводности у согласующего слоя, ухудшается отвод тепла от проводящего слоя, а также в паяном соединении могут образовываться пустоты, влияющие на ухудшение теплоотвода. Таким образом, недостатки вышеназванных технологий являются причиной ухудшения теплоотвода от транзисторов, снижения мощности и надежности приборов силовой электроники [1-4].

В настоящее время в России нет предприятий, которые бы серийно производили керамические платы из алюмонитридной керамики металлизированной толстой медью для мощной электроники. Причиной этого является отсутствие технологии, позволяющей изготавливать платы из высокотеплопроводящих материалов с требуемыми характеристиками, которые бы могли конкурировать с зарубежными аналогами. В связи с этим отечественные производители силовых приборов в значительной мере зависят от импорта металлизированных медью керамических подложек, что также отражается и на стоимости готового устройства. Поэтому разработка и внедрение в серийное производство эффективной технологии увеличения толщины медного слоя на силовых коммутационных платах является приоритетным и актуальным направлением в развитии отечественной силовой электроники.

В статье описана возможность электрохимического наращивания толстых слоев меди с повышенной адгезией и стойкостью к термоциклированию на керамической подложке при изготовлении коммутационных плат силовых модулей. Достоинством данной технологии является отсутствие переходного слоя и низкая стоимость процесса, который не требует сложного технологического оборудования. Для электрохимического осаждения медных покрытий наибольшее распространение получили сульфатные, цианидные и пирофосфатные электролиты. Несмотря на свои высокие технологические параметры цианидные электролиты чрезвычайно токсичны. Недостатком пирофосфатных растворов является их низкая производительность. Сернокислые же электролиты не имеют в своем составе СДЯВ, обладают высоким выходом по току и довольно хорошей рассеивающей способностью. Таким образом, изучалась модификация состава и условий осаждения сернокислого электролита [5].

Исследования проводились с целью оптимизации технологии изготовления надёжных высоконагруженных силовых керамических плат силовой электроники.

Объектом исследования были подложки размером 48×60 мм из AlN керамики с осаждённым в вакууме слоем меди толщиной 0,5-2 мкм, на которых увеличивали толщину медного слоя гальваническим осаждением до 100 – 150 мкм. Для наиболее равномерного осаждения медного покрытия толщиной 100 – 150 мкм, детали должны быть расположены на подвеске так, чтобы обеспечить наиболее равномерное распределение тока по их поверхности, поэтому были использованы проволочные экраны [6].

### **Подготовка образцов и экспериментальные результаты**

Подготовка образцов проводилась по следующей схеме:

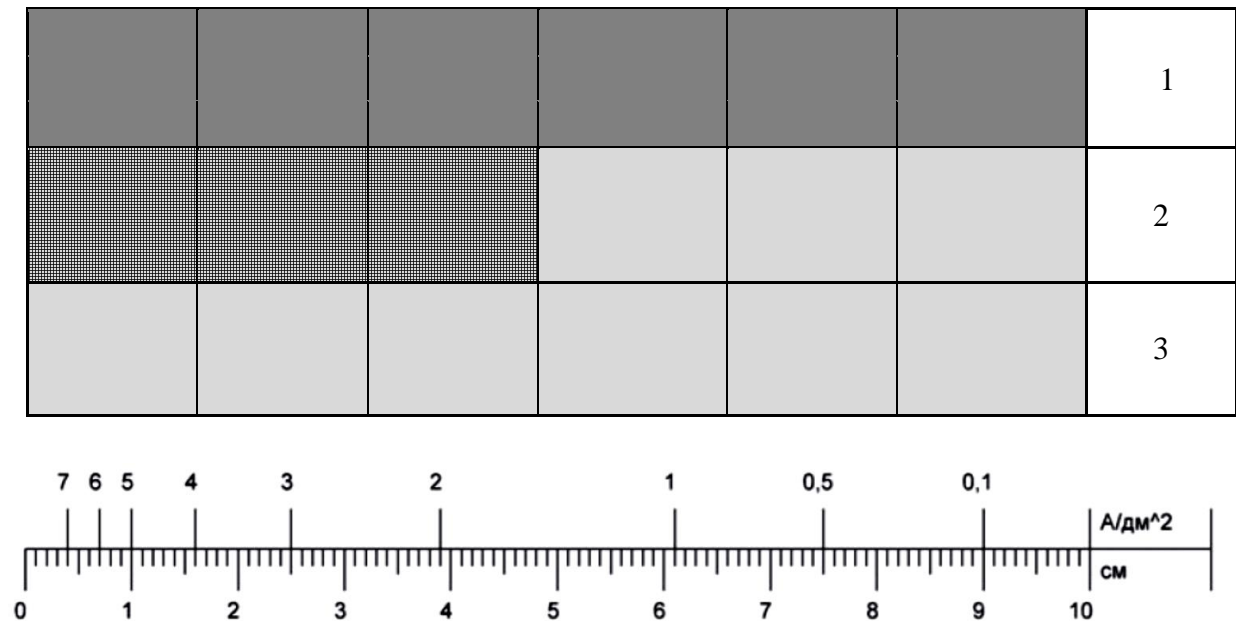
- обезжиривание венской известью;
- промывка горячей деионизированной водой;
- травление в 15%-ном растворе соляной кислоты;
- промывка деионизированной водой.

Для определения качества гальванического покрытия и рабочего интервала катодных плотностей тока исследуемого электролита меднения электролиз вели в угловой ячейке Хулла объемом 250 мл при токовой нагрузке в 1 А в течение 15 минут. Исследование технологических закономерностей электроосаждения меди проводилось в стеклянной ячейке емкостью 1 л. В работе были использованы аноды, изготовленные из меди марки АМФ. Качество покрытий оценивали в соответствии с требованиями ГОСТ 9.301-86 [7].

Для гальванического наращивания меди были использованы сернокислые электролиты. Все электролиты готовили с применением дистиллированной воды в соответствии с ГОСТ 6709-72 и химических реактивов квалификации не ниже «ч».




При тестировании процесса в ячейке Хулла, которая показывает, как влияют

изменения параметров технологического процесса на внешний вид образца, оценивали блеск осадка и его площадь. Как видно из приведенной диаграммы качества на рис. 1, из стандартного электролита сернокислого меднения осаждаются матовые покрытия.



**Рисунок 1.** Диаграмма качества покрытий, осажденных на катодной пластине в ячейке Хулла:  
1 – базовый состав, 2 – базовый состав + ОС-20, 3 – базовый состав + ОС-20 + T=50-60 °C

**Таблица 1.** Условные обозначения к рисунку 1

Условные обозначения	
	полублестящее покрытие
	матовое покрытие
	подгар

Добавление ПАВ позволило получить более компактное и полублестящее медное покрытие, чем в отсутствии добавки, и снизить склонность к дендритообразованию.

Покрытие должно выдерживать высокотемпературную пайку ПСр 72 (820 °C), поэтому проводились эксперименты с термообработкой покрытий, полученных из электролитов с использованием различных добавок. На покрытиях, полученных из электролитов с добавкой ОС-20, вспучивания металлизации отсутствовали.

Улучшение качества осаждаемого покрытия, как видно из диаграммы качества, удалось получить при повышении температуры электролита до 50-60 °C. Такое повышение температуры приводит к расширению рабочего диапазона осаждения компактного полублестящего покрытия.

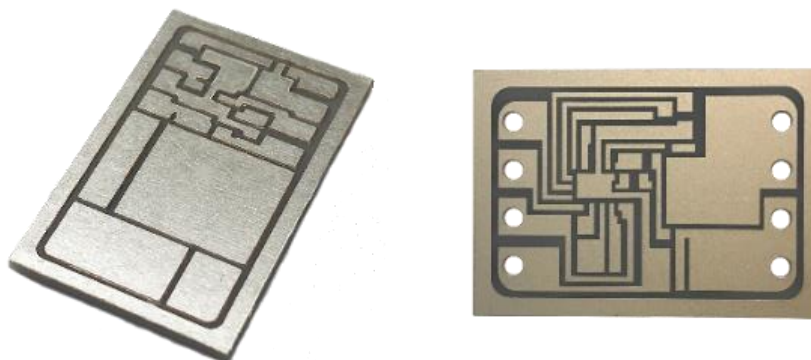
Проводилось исследование влияния вращения образца на качество осадка и допустимый интервал катодной плотности тока. Эксперименты показали, что вращение оказывает положительное влияние на равномерность осаждения медного покрытия. При этом отсутствуют неровности, дендриты на краях подложки не образуются.

На основании проведенной работы для дальнейших исследований был выбран сернокислый электролит меднения с использованием ОС-20. Высокое качество покрытия обеспечивается при перемешивании и температуре, примерно +55°C. Внешний вид, полученного на керамической подложке, покрытия с толщиной 100 мкм представлен на рисунке 2.



**Рисунок 2.** Внешний вид металлизированной керамической подложки из AlN с толщиной медного покрытия 100 мкм.

На рисунке 3 приведены силовые коммутационные платы с осажденным медным покрытием толщиной 150 мкм и вытравленным топологическим рисунком.



**Рисунок 3.** Пример силовых коммутационных плат

## **Заключение**

Рассмотрены основные способы формирования толстых слоев меди для высоконагруженных силовых керамических коммутационных плат силовой электроники.

Рассмотрен и экспериментально исследован метод электрохимического наращивания требуемых слоев меди (100-150 мкм). Для получения качественного гальванического покрытия необходимо использовать добавки ПАВ и строго соблюдать режимы осаждения.

### **Список литературы**

1. Красный И. и др. Технологии изготовления плат для высокомошных силовых полупроводниковых устройств // Современная электроника. – 2015. – №. 3. – С. 18.
2. Савченко Е. М. и др. ТЕХНОЛОГИЯ ТОЛСТОПЛЁНОЧНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМОНИТРИДНОЙ КЕРАМИКИ ПАСТАМИ НА ОСНОВЕ ТУГОПЛАВКИХ МЕТАЛЛОВ // SEMICONDUCTOR DEVICES. – 2015. – С. 34.
3. Савченко Е. М. и др. АЛЮМОНИТРИДНАЯ КЕРАМИКА В КОММУТАЦИОННЫХ ПЛАТАХ СИЛОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ.
4. Савченко Е. М. и др. СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ МЕДНОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ АЛЮМОНИТРИДНОЙ КЕРАМИКИ ДЛЯ КОРПУСОВ МОЩНЫХ СИЛОВЫХ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ МОДУЛЕЙ // Российская научно-техническая конференция с международным участием. Информатика и технологии. Инновационные технологии в промышленности и информатике. – 2019. – С. 345-351.

5. Гамбург Ю. Д. Гальванические покрытия. Справочник по применению: учеб. – 2006.
6. Виноградов С. С. Организация гальванического производства. Оборудование, расчет производства, нормирование. – Изд-во Глобус, 2005.
7. ГОСТ 9.301-86 Единая система защиты от коррозии и старения (ЕСЗКС). Покрытия металлические и неметаллические неорганические. Общие требования.