

# Бестрафаретная металлизация керамических подложек

## Часть 1

Юрий Непочатов ([nuk3d@mail.ru](mailto:nuk3d@mail.ru))

**В статье представлены результаты исследований в сфере разработки толстоплёночной технологии получения рисунков на керамических подложках бестрафаретным методом с использованием ленты для металлизации. Разработанная технология получения рисунков схем позволяет исключить ряд трудоёмких операций, упростить технологический процесс, сократить себестоимость и длительность рабочего цикла изготовления платы.**

### ВВЕДЕНИЕ

Керамические материалы используются в различных областях современной науки и техники и особенно широко применяются при изготовлении электронных приборов в качестве изолирующего материала. Керамика имеет относительно высокую механическую и электрическую прочность, низкие диэлектрические потери при высокой температуре, обладает термостойкостью, вакуумной плотностью, способностью образовывать вакуумно-плотные соединения с металлами. Значительная часть технической керамики в радио- и электронной технике подвергается металлизации. Металлизационное покрытие наносят на керамику для создания токопроводящего слоя на определённой части детали, к которой присоединяют полупроводниковый кристалл и выводы. Металлизация может также выполнять функцию электродов конденсаторов, витков катушек индуктивности и промежуточного слоя для соединения керамики с арматурой при помощи пайки. Металлизационный слой создаёт смачивающуюся припом поверхность и позволяет получить прочное вакуум-плотное герметичное соединение керамических деталей между собой или с металлом методом пайки. Существуют различные методы металлизации: плакирование, нанесение покрытия из жидкого металлического расплава, диффузия, осаждение из паровой фазы, плазмохимический способ, испарение и конденсация в вакууме, химическое осаждение металлов из раствора, термическое разложение солей, электрохимический способ, вжигание пасты и др.

В большинстве случаев на поверхность керамики наносят пасту из порошков тугоплавких металлов и вжигают их. Металлизация вжиганием находит широкое применение в радиоэлектронном производстве, она позволяет получить надёжный и прочный рисунок печатной схемы, исключающий опасность обрыва [1]. Технология металлизации весьма разнообразна, но в общем сводится к двум основным методам [2]:

1. Нанесение на поверхность керамики пасты, состоящей из смеси металлических порошков на органической связке, с последующим вжиганием.
2. Нанесение суспензий из смеси металлических порошков на органической связке на движущуюся с заданной скоростью полимерную плёнку с последующим переносом полученного металлизационного слоя с полимерной плёнки на поверхность керамического изделия с дальнейшим вжиганием.

В первом случае металлизационные покрытия на керамические детали наносятся пульверизацией, намазыванием кисточкой или роликом, окунанием и трафаретной печатью. При использовании второго метода металлизационные покрытия переносятся на керамику с помощью металлизационной ленты. Известны способы изготовления ленты для металлизации керамических изделий путём нанесения на органическую подложку суспензий из смеси металлических порошков с растворителем и пластификатором, которые первоначально применялись для покрытий кернов катодов щёлочноzemельными карбонатами [3–5]. Позднее была разработана технология получе-

ния ленты, позволившая металлизировать керамику [6, 7]. Преимущества металлизации с помощью ленты заключаются в том, что лента получается однородной по толщине, плотности, при этом исключается возможность растекания пасты по поверхностям, не подлежащим металлизации. С помощью ленты можно получить более качественное покрытие керамики и вакуумно-плотные спаи повышенной механической прочности.

Для изготовления ленты в работах, указанных выше, были использованы лабораторные установки с движущейся несущей плёнкой. Смесь, состоящая из наполнителя, биндера, пластификатора и растворителя, заливалась в сливной сосуд, из которого выливалась на несущую плёнку и разравнивалась специальным ножом. Однако метод изготовления плёнки на установке с помощью разравнивающего ножа не является технологичным, поскольку при этом требуются частые перерывы в работе установки для очистки ножа от налипшей суспензии. Данный недостаток был устранён при разработке способа изготовления ленты для металлизации керамических изделий [8]. Новый способ позволил значительно ускорить процесс получения металлизированной ленты с одновременным улучшением качества металлокерамических спаев. Усовершенствования были произведены за счёт того, что суспензия, применяемая для получения металлизированной ленты, выливалась непосредственно через фильтр на движущуюся с заданной скоростью органическую подложку, при этом суспензия для полива органической подложки состояла из смеси металлических порошков с биндером, растворителем и пластификатором. Приготовленная смесь подавалась в фильтр и через узкую щель прямоугольного сечения выливалась на движущуюся с заданной скоростью органическую подложку. Толщина получаемой ленты задавалась расстоянием между основанием фильтра и подложкой, размером щели фильтра и скоростью протяжки органической подложки. Подле-

жащая металлизации поверхность керамических изделий предварительно смачивалась смесью ксилола и толуола в соотношении 1:1, после чего осуществлялось соприкосновение с металлизирующей лентой. Вжигание нанесённого слоя металлизации производилось в водородных печах.

Указанный способ позволяет повысить производительность, обеспечить автоматизацию процесса, равномерность толщины и плотности покрытия, однако он имеет определённые недостатки. Данным способом невозможна получить сложные топологические рисунки, он пригоден лишь для нанесения металлизационного слоя на тела вращения и для создания малых по размерам полей металлических покрытий с простым рисунком. Кроме того, предварительное смачивание подлежащих металлизации поверхностей керамических изделий смесью ксилола и толуола, являющихся вредными веществами, требует особых мер по обеспечению безопасных условий труда для работников, выполняющих данную технологическую операцию.

Более безопасными способами переноса металлизационного слоя с поверхности полимерной плёнки на поверхность керамического изделия являются приклеивание к керамической детали и тепловой способ переноса. В последнем случае детали нагреваются до температуры +90...+100°C и плотно прижимаются к полимерной плёнке со стороны металлизационного слоя, в результате чего данный слой под воздействием температуры прикрепляется к поверхности керамики, чётко повторяя след соприкосновения с деталью. После этого производится вжигание перенесённого металлизационного слоя в керамику [2].

## ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Металлизация керамических деталей с помощью металлизационной ленты возможна, в основном, на торцевых поверхностях деталей цилиндрической формы с малой площадью поверхности покрытия. Создание сложных металлизационных рисунков на плоских изделиях из керамики с большой площадью поверхности покрытия перечисленными способами с использованием металлизационной ленты невозможно. Получить сложные топологические рисунки на подложках можно только с использованием методов фотолитографии или трафаретной печати, что имеет

высокую стоимость при малых сериях изготавливаемых изделий и требует больших временных затрат. В данной статье представлена более простая, безопасная, быстрая и дешёвая толстоплёночная технология получения рисунков различной конфигурации на керамических подложках бестрафаретным методом с использованием ленты для металлизации.

## МАТЕРИАЛЫ

При разработке технологии использовались полимерные плёнки из фторопласта, ПЭТ (лавсан, майлара) и полимида (см. рис. 1), подложки, выполненные из керамики на основе оксида алюминия ( $Al_2O_3$ ), нитрида алюминия (AlN) размером 30×29×0,38 мм, а также металлизационная паста, состоящая из смеси металлических порошков молибдена, марганца и кремния с добавлением органического связующего вещества (биндера).

Основным критерием выбора полимерных плёнок для металлизационной ленты являлась стойкость органических материалов к воздействию высоких температур, поскольку при тепловом переносе слоя металлизации на керамическую подложку полимерная плёнка нагревается до температуры +130°C.

Как видно из таблицы 1, наиболее термостойкими органическими материалами являются ПЭТ (лавсан, майлар), полимиид и фторопласт (тэфлон), которые и были выбраны с целью опробования в качестве материала полимерной плёнки для теплового переноса металлизационного слоя с неё на поверхность керамического изделия. В перечень органических материалов для изготовления металлизационной ленты вошли:

- плёнка фторопластовая Ф-4, ГОСТ 24822-80;
- плёнка ПЭТ (лавсановая, майларовая), ГОСТ 24234-80;
- плёнка полимиидная, ГОСТ 28026-89.

В состав металлизационной пасты вошли металлические порошки молибдена, марганца и кремния и органическое связующее вещество.

## ШЛИФОВАНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ ПОДЛОЖЕК ПЕРЕД МЕТАЛЛИЗАЦИЕЙ

Полученные после обжига керамические подложки из оксида и нитрида алюминия претерпевают довольно значительную усадку (до 30% по объё-



Рис. 1. Полимерные плёнки: а) ПЭТ (лавсановая, майларовая); б) фторопластовая; в) полимиидная

Таблица 1. Стойкость органических материалов к воздействию высоких температур

Тип органического материала	Максимальная рабочая температура, °C
Полиэтилен высокого давления, полимуретаны, поливинилхлорид (винилпласт)	80
Полипропилен, полиэтилен высокой плотности	90
Радиационно отверждённый поливинилхлорид	105
Капролактамы: капрон, нейлон и др.	105
Поликарбонат	140
Полиэтилентерефталат ПЭТ (лавсан, майлар)	150
Полимииды	180
Политетрафторэтилен (фторопласт, тэфлон), силиконы	200

му), которая сопровождается нарушением их геометрической формы из-за неизбежных неоднородностей в сырье, гранулометрическом составе, плотности после формообразования, сушки, обжига и т.д. После окончательного обжига такие подложки имеют неплоскость до 500 мкм. Необходимые допуски размеров и формы могут быть достигнуты только путём дополнительной обработки. Одним из важных моментов в формировании металлизационного покрытия на керамике является подготовка поверхности. Качество изготовления плат с толстоплёночной металлизацией зависит от плоскости и шероховатости поверхности подложек. Керамические подложки перед металлизацией подвергались механической шлифовке для выравнивания плоскости и достижения шероховатости поверхности со средним арифметическим отклонением профиля ( $R_a$ ), равным 0,2...0,63 мкм. После шлифовки подложки тщательно промывались в кипящем трихлорэтилене, затем подвергались ультразвуковой обработке в деионизированной воде и сушились в ацетоне.



Рис. 2. Установка литья пленки ГМ 975

Подложки из оксида алюминия перед металлизацией проходили трёхразовую очистку в деионизированной воде в ультразвуковой (УЗ) ванне при температуре +50°C, затем на них наносился рисунок из металлизационной ленты.

А подложки из нитрида алюминия после шлифовки оксидировались для формирования на их поверхности слоя окиси алюминия толщиной 10...20 мкм. С целью защиты объёма керамики из нитрида алюминия от окисления во время дальнейшего вжигания пасты и предотвращения пузырения металлизационного покрытия перед нанесением рисунка из металлизирующей ленты подложка очищалась от загрязнений, после чего проводилось оксидирование. Очистка также трижды проводилась в УЗ-ванне, заполненной деионизированной водой, нагретой до температуры +50°C. Оксидирование осуществлялось в водородной электропечи ЦЭП-214 при температуре +1100°C в среде влажного формиргаза.

### Тепловой перенос топологического рисунка с использованием металлизирующей ленты

Метод теплового переноса с использованием металлизирующей ленты состоит из четырёх операций:

1. Приготовление супензии металлизационной пасты.
2. Изготовление равномерного металлизационного слоя в виде ленты на полимерной плёнке с использованием специальной установки ГМ 975 (см. рис. 2) с движущейся несущей основой из полимерной плёнки.
3. Вырезание заготовок необходимой конфигурации из металлизационной ленты с помощью лазера.
4. Формирование рисунка на подложке за счёт переноса на нагретую керамическую подложку топологического рисунка, полученного на заготов-

ке из металлизационной ленты путём лазерной резки.

Все операции разделены во времени. Из источников [8, 9] известны способы изготовления ленты для металлизации керамических изделий путём литья непосредственно через фильтру супензий из смеси металлических порошков с растворителем и пластификатором на органическую подложку из фторопласта, движущуюся с заданной скоростью. Фильтра представляет собой воронку, нижняя часть которой выполнена в виде щели с полированными краями, при этом зазор между валом и щелью воронки определяет толщину металлизирующей плёнки и может регулироваться с помощью микровинтов.

Изготовление металлизирующей ленты осуществлялось на установке ГМ 975, в которой используется принцип полива супензии из смеси металлических порошков и органических компонентов (пасты) на полимерную плёнку. Установка позволяет изготавливать металлизационную ленту шириной до 150 мм со слоем пасты заданной толщины – от 10 до 180 мкм.

### Технологический процесс изготовления металлизирующей ленты

Технологический процесс изготовления металлизирующей ленты включает в себя три основных стадии: изготовление смеси порошков заданного состава, изготовление супензии металлизационной пасты, получение металлизирующей ленты.

На первом этапе производится взвешивание порошков молибдена, марганца и кремния и изготавливается смесь этих компонентов в соотношении 75/20/5%. Затем производится помол и смешивание согласно рецептуре (см. табл. 2) в стальном барабане на валковой мельнице. Далее смесь

порошков переливается в молибденовый лоток и производится естественная сушка в вытяжном шкафу в течение не менее 12 ч, после чего следует просев порошка через сито с последующей сушкой при температуре +60±5°C в течение не менее 12 ч.

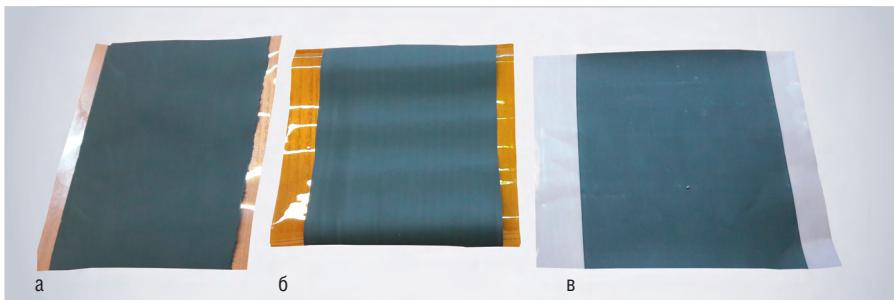
Изготовление супензии металлизационной пасты заключается в перемешивании смеси порошков, пластификатора, сopolимера и растворителя. Часть смеси порошков и молибденовый ангидрид помещаются в сито с шарами согласно рецептуре (см. табл. 2) и устанавливаются на вибростенд. Оставшаяся взвешенная часть смеси порошка помещается в барабан вместе с пластификатором, толуольным раствором сopolимера и ацетоном. После просеивания смесь порошков добавляется в барабан, и осуществляется перемешивание пасты на валках. Необходимая вязкость готовой пасты достигается в течение промежутка времени, равного 35–50 с.

Получение металлизирующей ленты осуществляется методом литья супензии металлизационной пасты на движущуюся фторопластовую, майларовую (ПЭТ) или полиимидную плёнку на установке литья плёнки ГМ 975. Внешний вид плёнок с нанесённым слоем металлизации показан на рисунке 3.

Супензия металлизационной пасты переливается в бачок (литьевую коробку) установки литья, затем отливается металлизирующая плёнка с требуемой толщиной, которая задаётся посредством регулировки зазора между движущейся основой из фторопласта, майлара или полиимида и ракелем. Толщина металлизирующей плёнки составляет 30...40 мкм. После этого металлизирующая плёнка, нанесённая на полимерную основу, разрезается вместе с основой при помощи лезвия на полосы длиной 50 см, которые складываются в стопку высотой

Таблица 2. Рецептура изготовления супензии металлизационной пасты

Наименование материала	Количество
Смесь молибденового, марганцевого и кремниевого порошков в соотношении 75/20/5%	1500 г
Ангирид молибденовый	75 г
Толуольный раствор сopolимера ВБМ	580–630 г
Пластификатор дибутилфталат (ДБФ)	80–120 мл
Ацетон	180–230 мл
Шарики стальные, Ø8–15 мм	800–1050 г
Шарики стальные, Ø16–20 мм	800–1050 г
Время перемешивания 48±2 ч	
Удельная поверхность 5500–6000 см <sup>2</sup> /г	



**Рис. 3. Плёнки с нанесённым металлизационным слоем:** а) ПЭТ (лавсановая, майларовая); б) полимида; в) фторопластовая

8...10 см или весом не более 1,5...2 кг (см. рис. 4). Стопки с металлизирующей плёнкой на полимерной основе помещаются в полиэтиленовый пакет и выдерживаются под грузом при комнатной температуре в течение 20–24 ч. В результате металлизирующая плёнка получается плоской и готовой для переноса на керамическую подложку в течение 30 суток при условии её хранения при температуре +3...+5°C.

Во второй части статьи будут рассмотрены технологии лазерной резки металлизирующей плёнки, нанесения рисунка с помощью ленты на керами-

ческие подложки, рихтовки подложек с металлизационным подслоем, а также представлен анализ достигнутых результатов.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Батыгин В.Н., Метёлкин И.И., Решетников А.М. Вакуумно-плотная керамика и её спай с металлами. – М.: Энергия, 1973. 408 с.
- Глинка С.Б. Металлизация алюмооксидной керамики с помощью металлизационной ленты. Вакуумплотная керамика и её спай с металлами. Вып. 2(5). – ЦНИИ Электроника, 1972. С. 39–41.
- Патент ФРГ 1.012.700, 1957.
- Патент США 2.843.517, 1958.
- Патент ФРГ 1.063.717, 1959.
- Применение металлизирующей ленты для получения надёжного спая между металлом и керамикой. IRE Transaction on Electron Devices, 1961. IX. № 5.
- IRE International Convection Record, 1961. NV 9.
- Способ приготовления ленты для металлизации керамических изделий. Авторское свидетельство № 165106, 1963. Бюллетень изобретений и товарных знаков. 1964. № 17.
- Гликкина С.Е., Золотова И.Н. Металлизирующая лента для металлокерамических спаев. Электронное приборостроение. 1967. Вып. 3. С. 206–210.



**Рис. 4. Разрезанная и сложенная в стопку металлизирующая плёнка**

#### Серия S-40: карты памяти SD и MicroSD для эффективных промышленных применений

- 4–32 Гбайт (MLC NAND Flash)
- SD 3.0 (2.0), SDHC, Class 6
- Передача данных до 24 Мбайт/с
- Автономная система управления данными
- Защита от пропадания напряжения
- Долгое время хранения данных при экстремальных температурах
- Резервирование встроенного программного обеспечения
- Сложный механизм распределения нагрузки и управления сбойными блоками
- Обновление параметров и встроенного программного обеспечения
- Контроль изменений в комплектации
- Инструменты для диагностики

**Надежные, прочные, экономичные**

**PROSOFT®**

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ДИСТРИБЬЮТОР

(495) 234-0636  
INFO@PROSOFT.RU

[WWW.PROSOFT.RU](http://WWW.PROSOFT.RU)

