

# ПРОИЗВОДСТВО ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ ИЗ МНОГОСЛОЙНОЙ КЕРАМИКИ

В статье рассмотрена практическая и технологическая ценность технической керамики как материала для изготовления печатных плат. Описаны основные этапы изготовления керамических печатных плат, технологические нюансы и особенности производственного цикла, освоенного в АО «ТЕСТПРИБОР».

Печатная плата представляет собой основу любого электронного изделия, присутствуя в составе компьютеров, сотовых телефонов и военной техники. Появившись более 100 лет назад, это устройство ознаменовало огромный скачок в развитии радиоэлектронной аппаратуры. Однако, вследствие постоянного ужесточения требований к печатным платам, идущих путем миниатюризации изделий, с разработкой высокоинтегрированных сборок, на фоне постоянно растущего количества технических требований к печатным платам, возникла необходимость внедрения в производственные циклы нового материала. Кроме того, получение максимальной производительности при минимальном занимаемом объеме неизбежно вызывает все более сильное нагревание электронных компонентов и, как следствие, значительно большее тепловыделение. Керамические печатные платы могут применяться в составе гибридных электронных схем, в области силовой электроники, в оптоэлектронике и СВЧ-технике, а также использоваться для электрической изоляции конструкций, узлов и элементов различных электронных устройств. В этой области применения керамика актуальна в связи с обеспечением эффективного теплоотвода от электронных компонентов с помощью материала основы. При монтаже основание платы может крепиться к радиатору.

В настоящее время в силовой электронике и микроэлектронике широко распространены керамические платы и подложки с использованием в качестве основы производственных процессов тонких или толстых пленок. Компанией

«ТЕСТПРИБОР» освоены технологии изготовления однослойных и многослойных плат и подложек из вакуумплотной керамики на основе оксида алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) и нитрида алюминия (AlN) как по толстопленочной, так и по тонкопленочной технологии.

Изделия из таких материалов характеризуются:

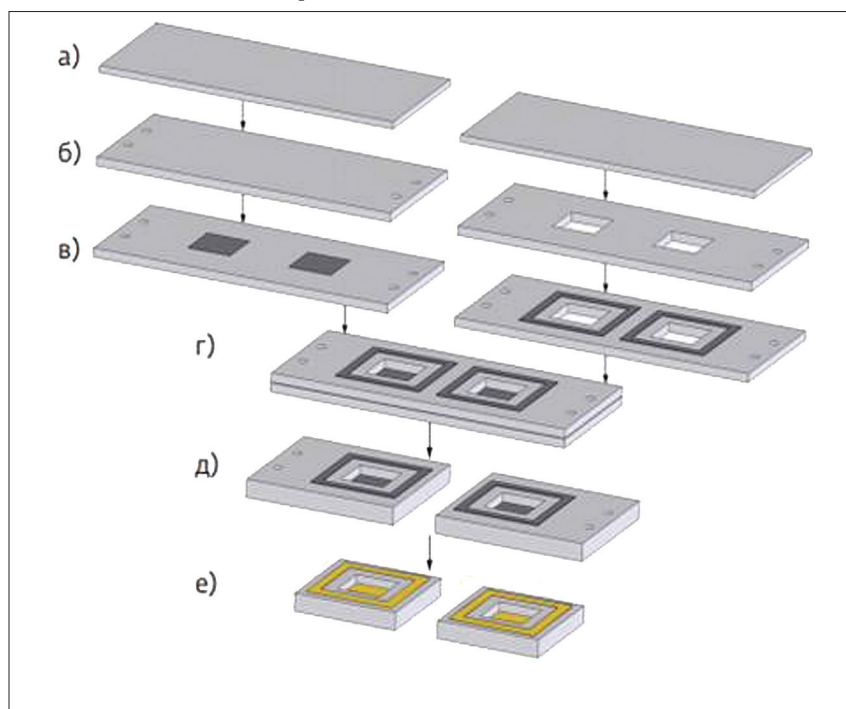
- высокой теплопроводностью;
- высокой степенью герметичности;
- низким коэффициентом теплового расширения;
- низкими диэлектрическими потерями;
- высокой механической прочностью;

- высоким качеством обработки поверхности.

Первым шагом при проектировании печатных плат из керамики является грамотный выбор материала подложки, который осуществляется исходя из технических требований заказчика. АО «ТЕСТПРИБОР» изготавливает и поставляет различного рода спеченные керамические пластины, выполненные из:

- оксида алюминия (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) с содержанием его в количестве 92,96 и 99%,
- нитрида алюминия (AlN), в том числе полированного.

Характеристики подложек представлены в таблице.



▲ Рис. 1. Диаграмма процесса производства многослойных металлокерамических плат

Таблица. Типы и спецификации подложек

Материал подложки	Чистота	Шероховатость поверхности (А)	Шероховатость поверхности (В)	Теплопроводность	Диэлектрическая постоянная на 1 МГц	Тангенс угла диэлектрических потерь на 1 МГц
	%	мкм	мкм			
Оксид алюминия (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	99,6	3	3	26,9	9,9 ± 0,1	0,0001
Полированный оксид алюминия (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	99,6	1	1/12	26,9	9,9 ± 0,1	0,0001
Нитрид алюминия (AlN)	98	3	3	170	8,6	0,001

Толщина пластин варьирует в пределах 0,127–2 мм, возможно изготовление подложек нестандартной толщины по документации заказчика.

В компании «ТЕСТПРИБОР» освоена технология изготовления не только односторонних и двухсторонних плат на основе спеченной, но и многослойных плат на основе сырой керамики.

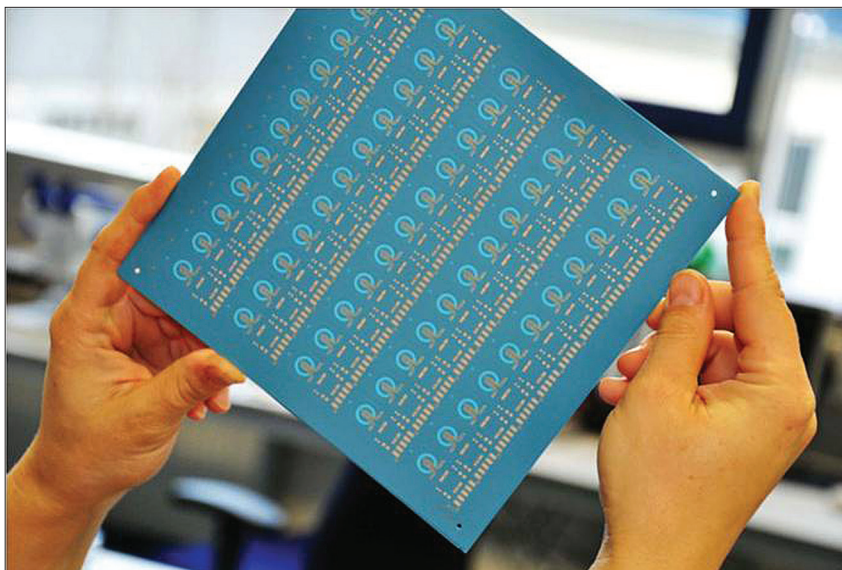
Диаграмма процесса производства многослойных металлокерамических плат, а также примеры изделий, изготовленных на основе технологии НТСС, представлена на рис. 1.

Многослойные печатные платы нашего производства являются высококачественными, так как особое внимание уделяется контролю и выбору сырья, используемого при изготовлении керамики, а также многостадийному контролю на каждом этапе технологического процесса.

Обработка поверхности как спеченной, так и сырой керамики выполняется по ТЗ заказчика. После обжига керамика может подвергаться полировке и шлифовке до требуемых значений плоскостности, параллельности и шероховатости.

Для формирования отверстий (сквозных, переходных, торцевых, межслойных), посадочных площадок и гнезд, колодцев и т. д., при изготовлении керамических плат применяются следующие виды механической обработки керамики:

- **пробивка отверстий** — используется исключительно в сырой керамике при небольших толщинах, позволяет получить почти идеальный край отверстия при высокой скорости обработки (до 500 отверстий в секунду), но имеет ограничения по геометрии и размерам производимых отверстий;
- **лазерная обработка** — используется как по сырой, так и по спеченной керамике. Не имеет ограничений по геометрии и размерам формируемых элементов, но при обработке керамики толщиной от 0,2 мм выявляется небольшая конусность края



▲ Рис. 2. Керамическая заготовка с расположенными на ней изделиями (групповой метод)

получаемых элементов, что следует учитывать при разработке ТЗ, а при толщинах более 1 мм требуется применение технологически сложных режимов обработки с применением инертных газов в качестве рабочей среды;

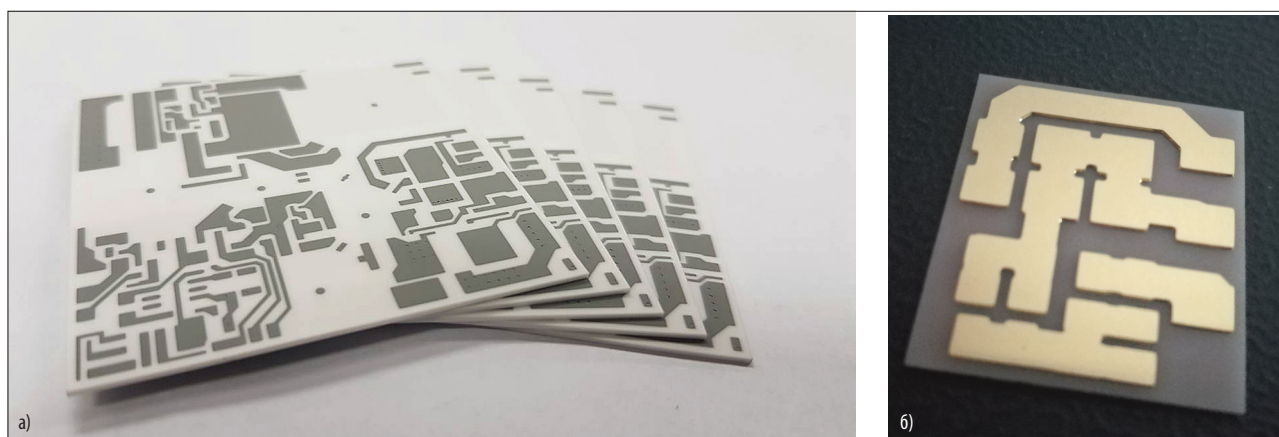
- **резка горячим ножом** — применяется исключительно в сырой керамике для разделения керамической заготовки на изделия, имеет высокую скорость обработки, особенно эффективна при групповом методе обработки деталей с высокой плотностью группы;
- **прецизионная дисковая резка** — предназначена для получения прямого сплошного реза и скрайбирования как сырых, так и обожженных керамических изделий. Используется для разделения керамической заготовки на готовые платы или ее надрезки.

На рис. 2 показана керамическая заготовка с расположенными на ней изделиями (групповой метод).

С помощью специального оборудования производится скрайбирование и рез-

ка спеченной и сырой керамики, а также прошивка в ней отверстий. Вне зависимости от выбранного способа точность обработки керамических изделий будет не хуже  $\pm 0,02$  мм, что подтверждается встроенными в оборудование оптическими средствами автоматического контроля качества.

Керамические платы и подложки могут иметь как одно- или двухстороннюю сплошную металлизацию, так и топологический рисунок, сформированный в соответствии с техническими требованиями заказчика. Для металлизации керамических плат в АО «ТЕСТПРИБОР» наиболее часто применяют толсто пленочную технологию Thick-Film (рис. 3а): проводящий топологический рисунок и изоляционные слои формируются путем нанесения металлизационной пасты с последующим вжиганием в защитной среде методом трафаретной печати. Толсто пленочная технология нанесения металлизации позволяет формировать проводниковые слои в среднем около 25 мкм и до 50 мкм после процесса вжигания. В пастах, используемых для формирования толсто пленочной метал-



▲ Рис. 3. Для нанесения металлизации используется: а) толсто пленочная технология Thick-Film; б) технологии DBC и STC

лизации методом трафаретной печати, имеются различные компоненты. Ввиду специфики термических процессов в основном применяются тугоплавкие металлы — молибден и вольфрам, наиболее подходящие по физическим характеристикам для высокотемпературной керамики металлы. По требованию заказчика возможно нанесение металлизации драгоценными металлами, такими как серебро, серебро-палладий, золото. Применение паст с драгоценными металлами особенно актуально для низкотемпературной керамики. Также возможно формирование элементов топологии из резистивной или диэлектрической пасты, что позволяет «печатать» на поверхности и внутри слоев керамических плат встроенные резисторы, конденсаторы и индуктивности.

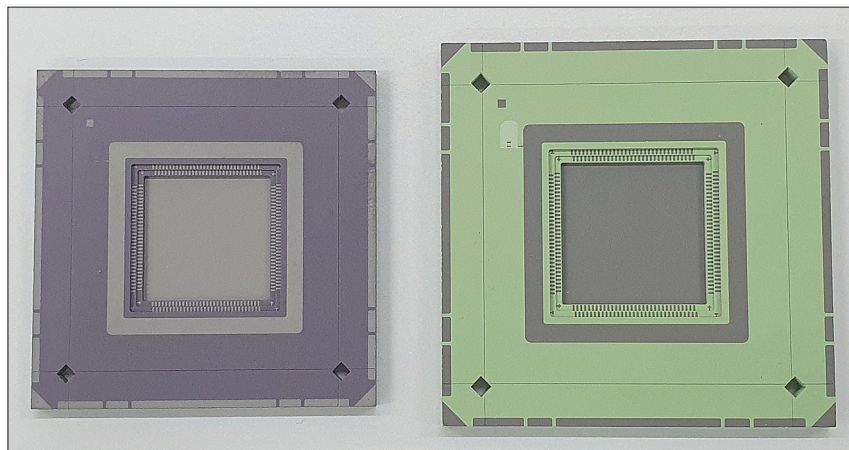
Соответствие толщины и стабильность нанесения паст достигается при помощи:

- строгого контроля физических параметров паст (вязкости, размера частиц и т. д.);
- грамотного выбора используемого при работе материала и режимов печати технологом участка.

Отдельную нишу в процессах нанесения металлизации на производстве АО «ТЕСТПРИБОР» занимают технологии DBC и STC (рис. 36), предназначенные для изготовления керамических плат на основе  $Al_2O_3$  96% и  $AlN$  с металлизацией медью толщиной до 400 мкм, с возможностью последующего формирования заданного топологического рисунка фотолитографическими методами или методом вакуумного напыления и наращивания проводникового слоя через специальные маски.

Повышенные требования к качеству и точности нанесения металлизации выявили необходимость организации собственного изготовления сетчатых трафаретов. В условиях производства АО «ТЕСТПРИБОР» осуществляется изготовление высококачественных сетчатых трафаретов со следующими характеристиками:

- максимальный размер трафаретной рамы: 450×450 мм;



▲ Рис. 4. Пример керамической платы до обжига (слева) и после обжига (справа)

- минимальный размер ячейки сетки: 0,038 мм;
- материал сетки: проволока из нержавеющей стали с минимальным диаметром 0,02 мм;
- точность изготовления фотосаблонов: не хуже 6 мкм.

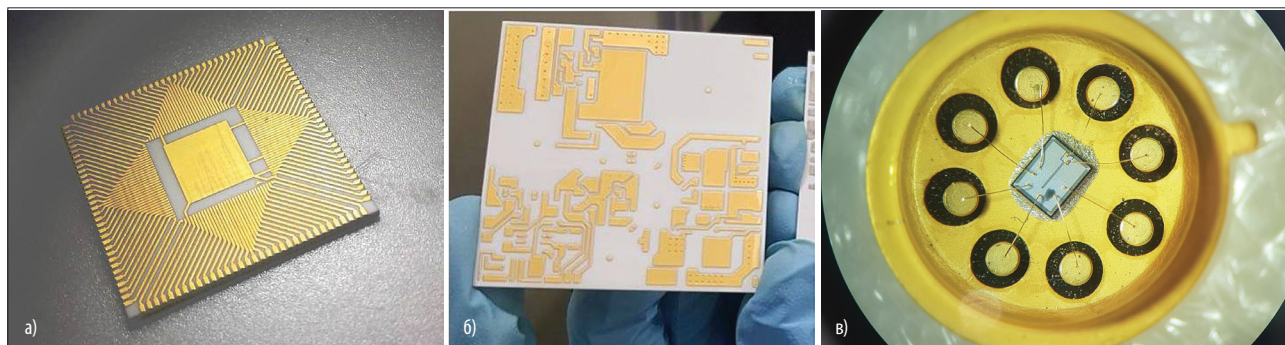
Качество трафаретов, от которого напрямую зависит качество готовой металлизации, достигается за счет:

- использования высококачественной сетки, обеспечивающей высокую степень натяжения, малое удлинение ее, высокий предел текучести пасты;
- точность геометрических параметров ячеек сетки позволяет строго контролировать расход пасты, а также получать точный допуск габаритов отпечатка;
- сетка натянута таким образом, что во время печати она максимально упруга, что повышает срок ее службы;
- высококачественный пленочный фоторезист обеспечивает постоянство и долговечность характеристик, отличное качество отпечатков и повторяемость.

Процесс вжигания происходит в колпаковой печи в строго контролируемой по качеству газов азото-водородной среде при температуре в диапазоне +1300...+1700 °С. Получение качественной вакуумплотной керамики дости-

гается благодаря использованию печей с программным управлением, точностью поддержанием температуры до  $\pm 0,1$  °С во всем диапазоне температур и газов особой чистоты. Строгий контроль за соблюдением технологических параметров гарантирует стабильность и управляемость процессов усадки керамики. Собственная газогенерирующая установка обеспечивает производство технологическими газами чистотой 99,9995% (остаточная концентрация примесей не более 5 ppm). В зависимости от выбранного материала плат и подложек и сложности изделия, процесс обжига может занимать до двух суток. Пример керамической платы до обжига (слева) и после обжига (справа) показан на рис. 4.

Следующим этапом в изготовлении керамических плат и подложек является пайка — размещение на плате необходимых металлических элементов, например, ободков, требующихся для последующей герметизации монтируемых на плату электронных компонентов, экранов или теплоотводов. Применение графитовой оснастки собственного производства вместе с компьютерными методами расчета, а также специальных припойных материалов позволяет получить качественный спай между различными по коэффициенту теплового расширения материалами. На производстве АО «ТЕСТПРИБОР» применяется техно-



▲ Рис. 5. Образцы гальванического покрытия

логия пайки керамики со следующими группами металлов: ковар, медь, псевдосплавы МД-40 и ВД-15, иные сплавы с медью/вольфрамом/молибденом, а также композитные многослойные материалы с повышенной теплопроводностью.

В рамках освоения различного рода экспериментальной и серийной продукции на производстве реализованы следующие технологии нанесения гальванических покрытий:

- электрохимическое никелирование из растворов различных составов: толщина слоя покрытия до 30 мкм;
- электрохимическое никелирование сплавом никель-фосфор: толщина слоя покрытия до 30 мкм;
- химическое никелирование сплавами никель-фосфор, никель-бор: гарантированная толщина покрытия до 10 мкм, для изделий сложной формы и топологии с большим количеством изолированных монтажных площадок (в том числе на печатных платах) и проволочных выводов электрохимическое золочение: толщина покрытия около 10 мкм;
- химическое и иммерсионное золочение: толщина покрытия, нанесенного химическим способом 0,5–2,5 мкм, толщина слоя иммерсионного покрытия до 0,15 мкм — для изделий сложной формы и топологии с большим количеством изолированных монтажных площадок (в том числе печатных плат), проволочных выводов.

Образцы гальванического покрытия приведены на рис. 5.

В том случае, когда на детали есть большое количество изолированных поверхностей (например, при производстве

печатных плат) и изделие имеет сложную форму, предпочтительно использовать химический способ нанесения. Такая технология в данном случае позволяет значительно повысить качество покрытия.

Для формирования подслоя под золотое покрытие, а также для других технологических целей, в том числе при металлизации, выполненной из тугоплавких материалов (молибден, вольфрам) на диэлектрических подложках (керамика), используются покрытия сплавами никель-бор и никель-фосфор.

При необходимости на никелевое покрытие можно нанести слой золота, выполненный химическим или иммерсионным способом, толщина наносимого покрытия золотом может гарантированно достигать 2,5–3 мкм. Проведенные испытания изделий с таким покрытием показали, что оно сохраняет паяемость и антикоррозионные свойства.

Благодаря всем перечисленным процессам на производстве АО «ТЕСТПРИБОР» освоены технологии полного цикла изготовления печатных плат, на основе подложек из различных видов спеченной алюмооксидной и алюмонитридной керамики.

Высокое качество печатных плат гарантируется за счет следующих параметров:

- изготовление керамических подложек для печатных плат происходит в полном соответствии с требованиями, предъявляемыми к изделию;
- при производстве используются высококачественные трафареты для печати, изготавливаемые из определенных материалов с заданными характеристиками;
- строгий контроль физических параметров паст, грамотно подобранные

составы, а также режимы нанесения и вжигания металлизации;

- особое внимание уделено проектированию оборудования и оснастки, позволяющим получать повторяемость по толщине, характеристикам металлизации и покрытия внутри партии, и достигать равномерности покрытия на одном изделии настолько, насколько позволяют его геометрические характеристики;
- качество используемых при покрытии гальванических растворов и постоянство технологических параметров четко контролируются производственной лабораторией и инженерным персоналом;
- уникальные современные составы позволяют наносить как классические покрытия, так и редко используемые при обычной практике — например, золотое покрытие, выполненное химическим способом толщиной более 2 мкм, что способствует осуществлению широкого спектра задач;
- контроль качества изделий производится в несколько этапов по многим параметрам на 100% продукции преимущественно неразрушающими (бесконтактными) методами, что снижает вероятность попадания бракованных изделий к заказчику.

Таким образом, АО «ТЕСТПРИБОР» освоен полный цикл производства керамических плат и подложек, в том числе изготовление уникальной технологической оснастки и трафаретов. Качество выпускаемой продукции строго контролируется на каждом этапе производства, что обеспечивает ее соответствие всем техническим требованиям заказчика. ●