

## Применение метода магнетронного нанесения для металлизации LTCC-керамики

*П.О. Предтеченский, Л.Л. Колесник*

*Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана,  
105005, Москва, 2-я Бауманская улица, д. 5, стр. 1*

*e-mail: kolesnik@bmstu.ru*

*В работе представлены результаты исследования возможности применения методов тонкопленочных технологий для формирования токопроводящих дорожек на многослойных коммутационных платах, изготавливаемых на основе низкотемпературной керамики.*

*The application of the method of magnetron sputtering for metallization of LTCC-ceramics. P.O.Predtechenskiy, L.L.Kolesnik. The paper presents the results of a study of the feasibility of using thin-film technology to form conductive tracks on multi-layer commutation boards manufactured on the basis of low-temperature ceramics.*

Low Temperature Compound Ceramic (LTCC) – это технология производства многослойных коммутационных плат с использованием специальных металлических паст. В отличие от традиционных способов изготовления плат на основе алюмооксидной керамики, в LTCC используется керамика с добавлением специальных стекол и органических добавок, что позволяет проводить обжиг на более низких температурах и существенно облегчает процесс изготовления. На данный момент вся керамика, обжигаемая при температуре менее 1000 °С, называется низкотемпературной, а в англоязычной литературе LTCC.

Благодаря своим отличным физическим свойствам, LTCC-керамика в настоящее время широко применяется в изготовлении ВЧ- и СВЧ-приборов, Wi-Fi и Bluetooth модулей мобильных телефонов, элементов радиолокационных радаров военной техники.

Для производства проводящих слоев в LTCC-структурах используются металлизационные пасты на основе серебра и золота с применением толстопленочной технологии. Использование таких паст ведет к появлению брака в токопроводящих дорожках.

При использовании высокотемпературной керамики одним из способов снижения брака является замена толстопленочной технологии формирования проводящих покрытий на тонкопленочную. Целью данной работы явилось изучение возможности использования тонкопленочной технологии при производстве коммутационных дорожек на подложках низкотемпературной керамики.

Был проведен анализ возможных браков при использовании этих технологий с целью выявления их преимуществ и недостатков. Результат этого анализа представлен в таблице 1.

Таблица 2 – Анализ видов брака токопроводящего покрытия, полученного по толстопленочной и тонкопленочной технологии [1]

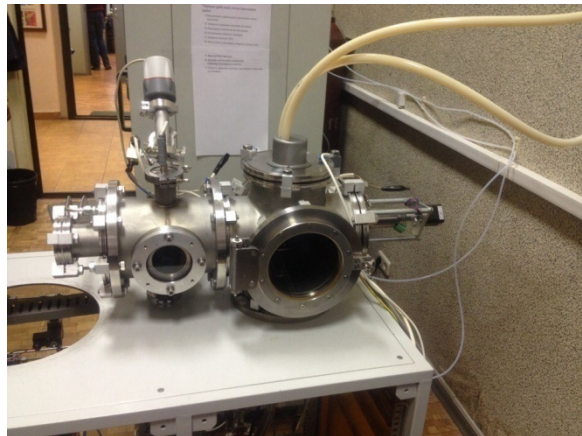
Вид брака	Толстопленочные технологии	Тонкопленочные технологии
Загрязнения	+++++	+++++
Просветы керамики	++++	+
Отслаивание	++++	++
Трещины	++++	+
Царапины	++++	+
Непокрытые участки по кромкам или фаскам	+++	+
Вздутия	++	-
Комки	++	-
Посторонние включения	+++	+

Вероятность появления брака представлена количеством знаков «плюс» в соответствующей графе таблицы. Знак «минус» означает невозможность появления данного вида брака при используемой технологии.

Очевидно, что тонкопленочная технология позволяет существенно снизить вероятность брака при формировании покрытий. Использование тонкопленочной технологии позволит уменьшить количество бракованных изделий и увеличить коэффициент выхода годных.

В качестве метода получения проводящих слоев предлагается использовать магнетронное распыление с горячим катодом. Магнетронное нанесение покрытий имеет несколько важных преимуществ по сравнению с технологией металлизационных паст: простота реализации, регулируемая скорость осаждения, однородность получаемых пленок по толщине и структуре, повторяемость режимов нанесения покрытий [2].

Для проведения экспериментов по металлизации низкотемпературной керамики использовалась кафедральная лабораторная установка, внешний вид которой представлен на рис.1.



*Рис.3. Внешний вид лабораторной установки для нанесения покрытий методом магнетронного распыления.*

При выборе материала покрытия важно учитывать его коэффициент температурного расширения. Для исключения отслаивания покрытия от подложки при циклах нагрева-охлаждения он должен быть близким по значению к аналогичному показателю материала подложки. При формировании многослойных коммутационных плат на основе низкотемпературной керамики для формирования слоев проводят отжиг, при котором керамическая паста спекается, поэтому также важно, чтобы температура плавления материала дорожки была выше температуры отжига.

Несмотря на то, что титан не является лидером по электропроводности, он широко применяется в качестве адгезионного подслоя под токопроводящие слои. Токопроводящие слои формируют в таком случае из меди или драгоценных металлов. Коэффициент температурного расширения титана наиболее близок к коэффициенту температурного расширения алюмооксидной керамики, а температура плавления превышает предполагаемую температуру отжига низкотемпературной керамики.

В рамках эксперимента планировалось сформировать адгезионный подслоя титана, провести обжиг керамики, нанести проводящий слой из меди, а затем исследовать проводящие дорожки на предмет разрывов и величину сопротивления. Для проведения экспериментов был изготовлен шаблон из медной фольги, внешний вид которого представлен на рис. 2.



Рис. 4. Внешний вид шаблона, использовавшегося для нанесения проводящих дорожек.

Перед проведением экспериментов на ЛТСС-керамике, первоначально была проведена серия экспериментов по нанесению покрытий на подложки из алюмооксидной керамики. Целью экспериментов явилась проверка качества используемого шаблона и определения параметров режимов нанесения. Внешний вид дорожек, полученных на образце алюмооксидной керамики, представлен на рис. 3.



Рис. 5. Внешний вид тестовых проводящих дорожек, полученных на алюмооксидной керамике.

В ходе экспериментов было установлено, что для получения качественной дорожки важно обеспечивать качественное прилегание маски-шаблона, а так же были установлены параметры режимов нанесения, при которых получаемые пленки обладают однородной структурой и хорошей адгезией к подложке. Рекомендуемые параметры режимов нанесения представлены в таблице 2.

Таблица 3 –Параметры режимов нанесения пленок титана.

Материал	Ti
Ток, А	0,45-0,6
Напряжение, В	600-800
Мощность, Вт	350-420
Давление, Па	4-5

Используя полученные режимы, были проведены эксперименты по нанесению проводящих слоев на ЛТСС-керамике. Для закрепления шаблона с подложкой на подложкодержателе использовались металлические зажимы. В процессе нанесения из-за теплового излучения от горячего катода температура в камере начала расти, что привело к началу процесса обжига керамики и изменению ее структуры. Материал подложки начал размягчаться и под действием магнитов металлические зажимы начали притягиваться к мишени магнетрона, изгибая подложку. Через 200 секунд после начала нанесения между металлическими зажимами и мишенью магнетрона произошел физический контакт, что привело к короткому замыканию на блоке питания магнетрона, потуханию разряда и остановке распыления материала. Эксперимент был прерван, температура внутри камеры начала снижаться, что снова привело к структурным изменениям керамической подложки. Вследствие

воздействия цикла нагрев-охлаждение подложка начала трескаться и разрушаться. Внешний вид подложки из LTCC-керамики после разрушения представлен на рис. 4.

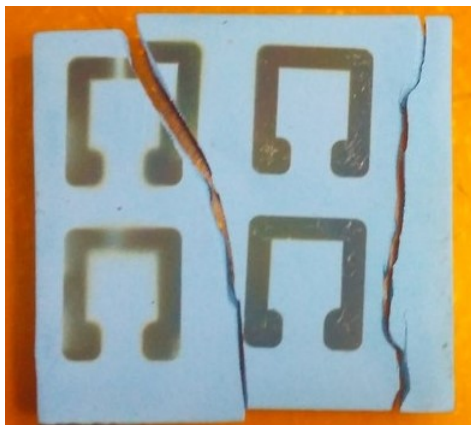


Рис. 6. Внешний вид подложки из LTCC-керамики, разрушенной в результате воздействия цикла нагрев-охлаждение.

Исследования полученных дорожек показало, что их сопротивление бесконечно, дорожки имеют разрывы и малую толщину. Это обусловлено тем, что из-за разрушения подложки нанесение проводилось в течение более короткого промежутка времени, чем требуется для формирования сплошного покрытия. Как результат в проводящих дорожках имеются непокрытые участки, препятствующие прохождению тока. Нанесение токопроводящего покрытия поверх адгезионного подслоя на разрушенной подложке не представляется возможным.

По результатам проведенных исследований можно сделать вывод, что метод магнетронного распыления может применяться для получения проводящих слоев на низкотемпературной керамике с учетом следующих ограничений:

1. Материал покрытий необходимо подбирать не только с учетом согласования коэффициентов теплового расширения с аналогичными показателями подложки, но и с учетом температуры плавления наносимого материала. Для проведения последующего отжига необходимо, чтобы температура плавления наносимого материала была выше температуры отжига керамики.
2. Система закрепления шаблонов должна обеспечивать полное его прилегание к поверхности керамической подложки и исключать возможность ее (подложки) деформации.
3. Для исключения влияния температуры технологической среды в камере на структуру низкотемпературной керамики необходимо учитывать режим обжига керамики и препятствовать преждевременному изменению ее структуры. Целесообразно использовать охлаждение самой подложки либо использовать методы нанесения с холодным катодом.

#### Литература

4. Колесник Л.Л., Жулева Т.С., Предтеченский П.О., Мьо Чжо Хлаинг, Зао Пхо Аунг  
Отработка технологии металлизации алюмооксидной керамики для элементов электровакуумных приборов и устройств силовой электроники // Вакуумная техника и технологии – 2017: Труды 24-й Всероссийской научно-технической конференции с международным участием. / под. Ред. д-ра техн. наук А.А. Лисенкова. – Спб.: Изд-во СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2017. с. 208-210.
5. Handbook of deposition technologies for films and coatings: science, applications and technology / ed. by P.M. Martin. - 3<sup>rd</sup> ed. – Burlington; Oxford: William Andrew / Elsevier, 2010. – xviii, 912 p.: ill. – Bibliogr. at the end of the chapters. ISBN 978-0-8155-2031-3