

## Отработка технологии металлизации керамических подложек двумя методами

*Л.Л.Колесник, Мьо Чжо Хлаинг, Зао Пхо Аунг*  
*МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 2-ая Бауманская, 5, стр. 1*  
*e-mail: [kolesnik@bmstu.ru](mailto:kolesnik@bmstu.ru)*

*В статье приведены результаты экспериментов отработке технологии металлизации керамических подложек.*

*Processing of metalization technology of ceramic subjects by two methods. L.L.Kolesnik, Myo Kyo Hlaing, Zao Phyo Aung. Results of metal thin films deposition on ceramic substrates are given.*

Целью данной работы явилось повышение адгезии при металлизации подложек нитрида алюминия для изготовления устройств силовой электроники.

Силовые электронные модули применяются в областях техники, связанных с необходимостью передачи сильноточных сигналов. Типовые области применения: системы навигации летательных аппаратов, элементы коммутации силовых схем и другие. Центральным узлом модулей является керамическая подложка, на которой формируют токопроводящие дорожки и монтируют электронные компоненты. Готовую подложку часто называют коммутационной платой.

В процессе работы силовых модулей они подвергаются тепловым и механическим нагрузкам, в том числе вибрации. Это приводит к разрушению компонентов от перегрева и механическим повреждениям. Часто повреждения происходят в структуре подложка-проводящее покрытие. Основные причины и повреждения модулей приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Основные причины повреждения силовых модулей

Причина	Результат
Термомеханическая несовместимость материала подложки и слоя металлизации	Отслоение пленки от подложки, разрушение пленки
Химическая несовместимость материала подложки и металлизации	Окисление покрытия, изменение электрических свойств, разрушение пленки
Низкая теплопроводность материала подложки	Перегрев элементов, разрушение паяных соединений

Основные требования к коммутационным платам:

- Рабочая температура  $t = - 70..+ 120^{\circ} \text{C}$ ;
- Адгезия пленки  $5 \text{ кг/мм}^2$ ;
- Обеспечение электрического перехода через отверстие между поверхностями коммутационной платы;
- Устойчивость к вибрационным нагрузкам и перепадам температур (термоциклированию).

В таблице 2 представлены основные материалы, применяемые для подложек коммутационных плат силовых модулей. Важными характеристиками являются механическая прочность, теплопроводность и коэффициент термического расширения. Коэффициент термического расширения должен быть близок к показателю покрытия, чтобы избежать разрушения структуры металл-керамика при изменении температуры.

По показателю теплопроводности предпочтительным материалом является нитрид алюминия. Однако он показывает гораздо худшие показатели адгезии по сравнению с оксидом алюминия.

Таблица 2 – Основные материалы, используемые для силовых модулей

Свойства	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	AlN	Ситалл
Механическая прочность на изгибе(МПа)	150	320-330	250-600
Твердость (кг/мм <sup>2</sup> )	≥11,5	1110	высокая
Плотность (г/м <sup>3</sup> )	3990	3260	2500-2850
Теплопроводность (Вт/м·К) при 20 °С	24,7	180-220	1,4
Термическое расширение (1/град)	низкое	низкое	низкое
Термостойкость( °С)	высокая	от 20С до 1800С - хорошая	до 1000
Температура плавления(Т <sub>пл</sub> °С)	2500	2400	до 1450
Диэлектрическая проницаемость (1МГц)	9,8	9,0	8.2
Удельное объемное сопротивление при 20 °С	≥10 <sup>14</sup> Ом.см	10 <sup>15</sup> Ω.см	>10 <sup>14</sup> Ом.см
Коэффициент линейного расширения (α.10 <sup>-6</sup> , К <sup>-1</sup> )	8,4	4.03	близко к нулю

Анализ литературных и патентных данных показал, что металлизации используются термическое испарение и магнетронное распыление. В лабораторных условиях идут работы по исследованию методов пароструйного осаждения и магнетрона с жидкофазным катодом. Однако, эти методы еще не вышли за пределы лабораторий.

Используемая лабораторная установка предназначена для нанесения покрытий тонких пленок методами магнетронного и термического испарения и состоит из следующих основных узлов: вакуумной камеры, систем откачки и напуска газа, систем питания и систем управления.

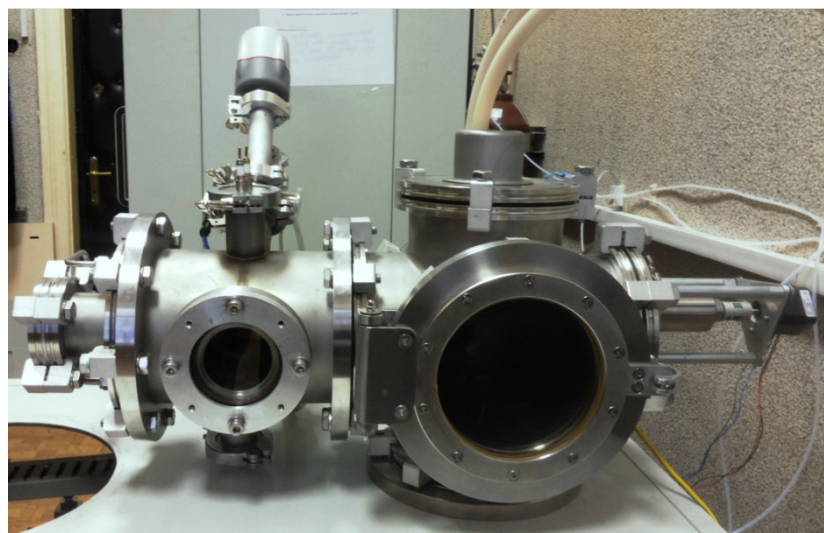
Система откачки выполняет с использованием турбомолекулярного насоса и механического насоса типа Edwards XDS-10.

Газовая система установки включает в себя газовые баллоны вместе с редукторами, металлические трубки для подачи газа, которые соединяются с камерой, регуляторы расхода газа, клапаны с пневмоприводом и контроллер газовой системы.

Источники питания APOL выполнены в виде отдельного переносного блока. С помощью них подается электропитание на магнетрон и термический испаритель. Имеется возможность стабилизации мощности, тока и напряжения, а также использования импульсного режима. Наличие сопла и системы подачи газа позволяет использовать пароструйный метод металлизации для легкоплавких материалов.

Рабочий газ подается в рабочую камеру через металлические трубки с использованием регулятора расхода газа. Давление в камере контролируется с помощью емкостных датчиков.

Внешний вид установки представлен на рис. 1.



*Рис. 1. Внешний вид установки, использовавшейся для обработки технологии.*

В ходе проведения экспериментов по нанесению покрытий перед началом нанесения проводилась тренировка мишени в течение 5 минут. Признаком окончания тренировки является резкий рост тока с его последующей стабилизацией. Эта зависимость представлена на графике. Одновременно с очисткой происходит нагрев мишени до температуры около 800 градусов Цельсия, и нанесение идет с горячего катода.

Были проведены предварительные исследования и определены диапазон подачи газа и мощности, при которых получают покрытия без визуальных дефектов. Для титана эти значения составили: подача газа 30 sccm, диапазон мощности: от 350 до 420 Вт, диапазон тока от 520 до 600 мА. На этих режимах была проведена серия экспериментов по нанесению пленки титана на подложку ситалла.

Режимы, при которых проводилось нанесение покрытий, приведены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3 – Режимы нанесения при стабилизации мощности

Номер образца	Подача газа (Q, sccm)	Мощность (P, Вт)	Давление в камере (P, мбар)	Напряжение (U, В)	Ток (I, mA)	Время осаждения (t, мин)
1	30	350	$4,3 \cdot 10^{-2}$	от 630 до 673	от 550 до 510	5
2	30	385	$4,4 \cdot 10^{-2}$	от 690 до 750	от 570 до 530	5
3	30	420	$4,3 \cdot 10^{-2}$	от 745 до 770	от 580 до 510	5

Таблица 4 – Режимы нанесения при стабилизации тока

Номер образца	Подача газа (Q, sccm)	Ток (I, mA)	Давление в камере (P, мбар)	Напряжение (U, В)	Мощность (P, Вт)	Время осаждения (t, мин)
1	30	520	$4,6 \cdot 10^{-2}$	от 515 до 456	от 270 до 240	5
2	30	560	$4,6 \cdot 10^{-2}$	от 520 до 510	от 290 до 210	5
3	30	600	$4,5 \cdot 10^{-2}$	от 515 до 510	от 330 до 300	5

Полученные образцы были исследованы на показатели адгезии по методу сетчатых надрезов и на отрыв. В первом случае образцы скрайбировались в двух направлениях, а во втором от пленки отрывался приклеенный «грибок». Приборы для измерения адгезии по каждому из методов представлены на рис. 2.



*Рис. 2. Приборы для контроля адгезии (слева для метода сетчатых надрезов, справа для метода отрыва).*

Все образцы показали высокие значения адгезии. По методу сетчатых надрезов максимальный показатель 5В, а на отрыв от 5,5 до 8 Мпа, причем разрушение происходило по клею, которым грибок был приклеен к покрытию. Сводные результаты измерения представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты измерения адгезии для полученных образцов титана

<b>Номер образца</b>	<b>Мощность (Р-Вт)</b>	<b>Померенное значение адгезии методом сетчатых надрезов</b>	<b>Померенное значение адгезии методом отрыва</b>	<b>Примечание</b>
<b>1</b>	350	5В	5,5Н/мм <sup>2</sup>	Разрушение по стыку клей-пленка
<b>2</b>	385	5В	8 Н/мм <sup>2</sup>	
<b>3</b>	420	5В	6 Н/мм <sup>2</sup>	

Полученные результаты позволяют говорить о возможности использования выбранных режимов для нанесения подслоя титана в качестве адгезионного под материалы, которые используются при пайке компонентов (медь, олово-золото и др.)

#### Литература

4. Колесник Л.Л., Деев В.А., Селезнев А.В. Анализ возможности использования метода пароструйного осаждения для металлизации подложек // Вакуумная наука и техника: Материалы XX научно-технической конференции с участием зарубежных специалистов, 2013 г. с. 165-167.
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. – Ind.: p.902-912. – ISBN 978-0-8155-2031-3
6. US. Patent 5571332 – Electron Jet Vapor Deposition System, 1996