

УДК 621.389

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ОТВЕРСТИЙ В СЛОИСТЫХ ПЛАСТИКАХ НА ПРОЦЕСС ИХ МЕТАЛЛИЗАЦИИ МЕТОДОМ МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

Алина Александровна Доброносова⁽¹⁾, Бахруллохуджа Баходурович Самадов⁽²⁾

*Студент 4 курса⁽¹⁾, студент 4 курса,⁽²⁾
кафедра «Электронные технологии в машиностроении»
Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: К.М. Моисеев,
кандидат технических наук, доцент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»*

Введение

На сегодняшний день в электронике стала очевидна существенная диспропорция между уровнем интегральных микросхем и технологиями создания конечной продукции. Это обусловлено тем, что международные стандарты ISA и PC/104 предполагают использования многослойных печатных плат в совокупности со штыревыми разъемами. Подобные решения, существующие со времен ламповых схем, уже исчерпали себя. С целью устранения данного несоответствия были разработаны рельефные печатные платы (РПП).

Обычные многослойные платы по сравнению с двусторонними обладают множеством недостатков, среди которых можно назвать низкую надежность, проблемы с монтажом неоднородных элементов, сложность обеспечения заданных волновых сопротивлений, но плотность монтажа у них гораздо выше.

Были разработаны технологии, которые позволили обычные двусторонние печатные платы дополнить возможностью построения схем любой сложности. Их главная суть заключается в отказе от фольгированных диэлектриков и переход на производство рельефных печатных плат.

Положительные результаты испытаний и практически десятилетняя эксплуатация опытных образцов в тяжелейших условиях убедительно доказывают, что уже сегодня на предлагаемой базе может быть создан совершенно новый класс электронных устройств. По основным характеристикам (надежность, помехозащищенность, простота изменения конфигурации) на сегодняшний день в зарубежном и отечественном приборостроении равных РПП нет.

Принципиально важно, что производить рельефные платы можно на стандартном технологическом оборудовании. Процесс не предполагает использование дорогих компонентов (безусадочной фотопленки, фотостекол, фольгированных диэлектриков и пр.) Себестоимость квадратного дециметра при среднесерийном производстве несколько меньше стоимости многослойной платы аналогичного предназначения. Очень важно, что РПП полностью ремонтпригодны [1].

Одной из наиболее существенных проблем при производстве данных плат является металлизация отверстий. К ним предъявляют повышенные требования относительно толщины и равномерности. Для получения качественной металлизации необходимо подобрать оптимальные методы и режимы.

В данной статье приведены результаты экспериментов по нанесению металлизационного медного покрытия методом магнетронного распыления при варьировании расстояния от образца с отверстиями различных диаметров до магнетрона. И также представлены результаты измерений толщины пленки в лазерном сканирующем микроскопе.

Подготовка образцов

Для проведения экспериментов была разработана тестовая структура из слоистого пластика FR4 толщиной 1,5 мм. Данное расположение отверстий на подложке позволяет оценить их пропыляемость в различных областях образца. Всего на подложке девять участков, каждый из которых содержит ряд отверстий (от 0,3 мм до 0,9 мм), расположенных под различными углами.

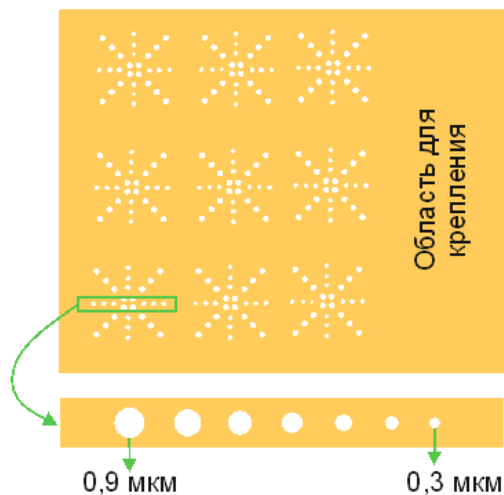


Рис. 1. Подложка с отверстиями

Для проведения механической обработки на ЧПУ необходимо создать координатный файл сверления. Существуют ряд ПО, с помощью которых можно получить эту структуру. Однако среди всех существующих ПО CAM350 является наиболее простым для выполнения данных задач. В этой среде графические данные легко конвертируются в координатный файл.

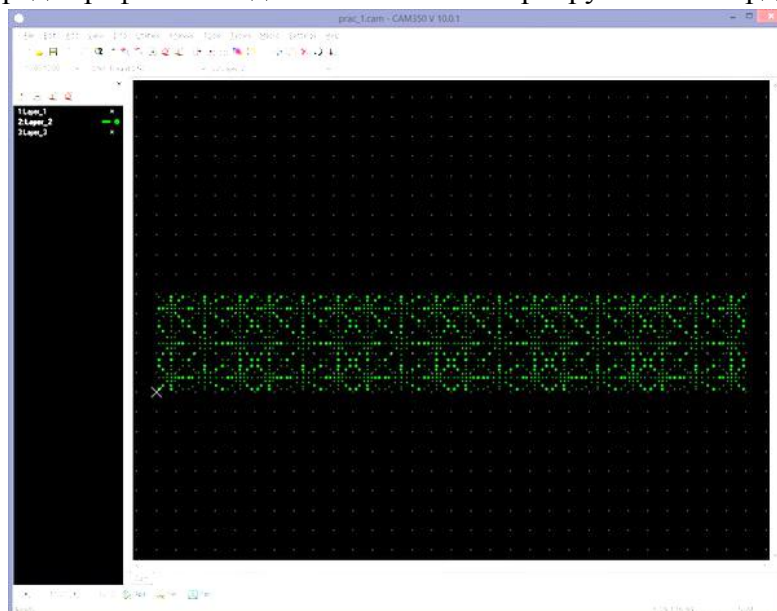


Рис. 2. Тестовая структура в CAM350

Сверление образцов FR4 производилось сверлильно-фрезерным станком Bungard CCD/MTC(Computer Controlled Drilling machine/Manual Tool Change, управляемый компьютером (Computer Controlled Drilling machine) с ручной сменой рабочего инструмента (Manual Tool Change). Bungard CCD/MTC имеет рабочее поле 325x495 мм и предназначен для сверления и фрезерования (изоляция / вырезка по контуру) плат и приборных панелей. Станок

имеет прецизионный шпиндель с частотой вращения от 25000 об/мин до 60000 об/мин. Частота вращения регулируется и контролируется программно. Материалы доступные для обработки: FR3, FR4, G10, TeflonTM, DuroidTM, алюминий, латунь, ПВХ, органическое стекло.

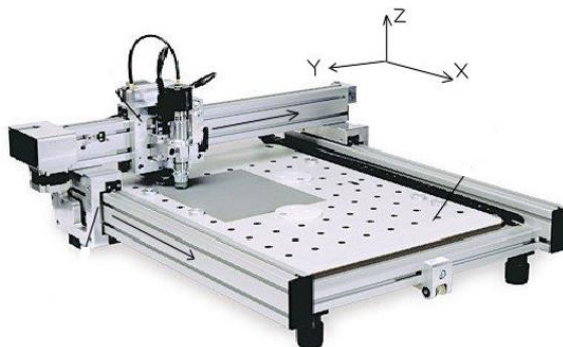


Рис. 3. Станок Bungard

Описание экспериментального стенда

В описываемых экспериментах использовался источник ионов с анодным слоем, установленный на малогабаритной установке МВТУ-11-1, характеристики которого представлены ниже, и магнетрон MAC 2”.

Установка выполнена на базе современных вакуумных и технологических компонентов. Для вакуумной откачки применены спиральный форвакуумный и гибридный турбомолекулярный насосы, обеспечивающие безмасляную технологическую среду. Установлена двухканальная система подачи газа на основе регуляторов расхода газа, которая позволяет подавать смесь из двух газов с заданной стехиометрией в одну из них по выбору, или одновременно регулировать два потока одного газа. Установка имеет в своем составе три технологических источника: магнетрон, источник ионов и электронно-лучевой испаритель. Данные типы источников широко используются в современных технологических процессах, позволяют работать с проводящими и диэлектрическими материалами как в виде материала создаваемого наноструктурированного тонкопленочного покрытия, так и в качестве подложки.

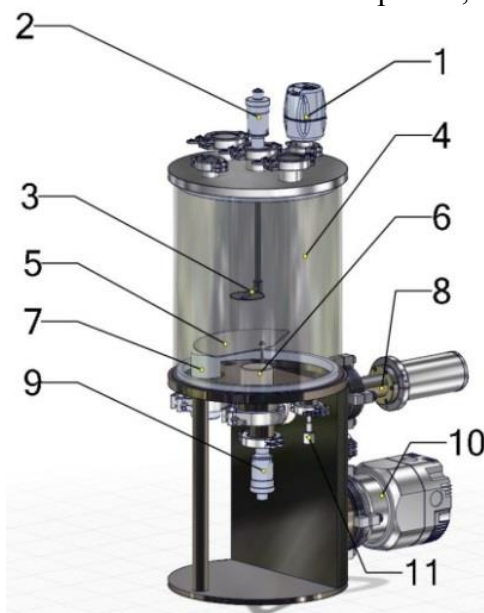
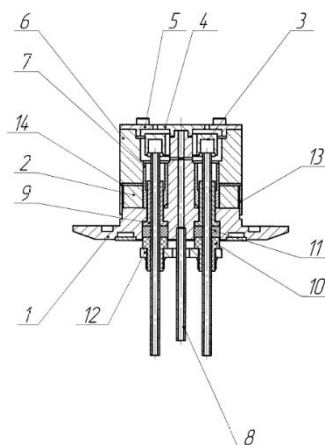


Рис. 4. Вакуумная малогабаритная лабораторная установка: 1 – датчик вакуума широкодиапазонный; 2 – ввод вращения подложкодержателя; 3 – подложкодержатель; 4 – вакуумная камера; 5 – заслонка; 6 – магнетрон; 7 – источник ионов; 8 – электронно-лучевой испаритель; 9 – ввод вращения заслонки; 10 – турбомолекулярный насос; 11 – порт напуска газа



а)



б)

Рис. 5. Изображение (а) и схема (б) источника ионов с холодным катодом с анодным слоем ИК-023: 1 – водоохлаждаемый корпус; 2 – магнитная система;

3 – водоохлаждаемый анод; 4, 5 – катодные пластины; 6 – боковой магнитопровод; 7 – внутренний вкладыш; 8 – штуцер; 9 – внутренний изолятор; 10 – наружный изолятор; 11 – резиновое кольцо; 12 – прижимная планка; 13 – обечайка; 14 – полиамидная прокладка

Таблица 1. Основные технические данные и характеристики источника ионов

Параметр	Значение
Напряжение разряда	0 – 3000 В
Ионный ток	3 – 60 мА
Рабочее давление	$(1,8...2,6) \cdot 10^{-2}$ Па
Энергия ионов	0,5 – 0,8 кэВ
Время непрерывной работы	2 ч
Масса	1,3 кг

Компактный магнетрон МАС 2'', снабженный высокочастотным источником питания, позволяющий распылять и наносить пленки различных материалов (проводников, полупроводников, диэлектриков)

Таблица 2. Основные технические данные и характеристики магнетрона

Параметр	Значение
Диаметр мишени	50 мм
Максимальная мощность (постоянный ток/ВЧ)	1000/40 0 Вт
Напряжение катода	200 – 1000 В
Максимальный ток	3 А
Частота ВЧ-генератора	13,56 МГц

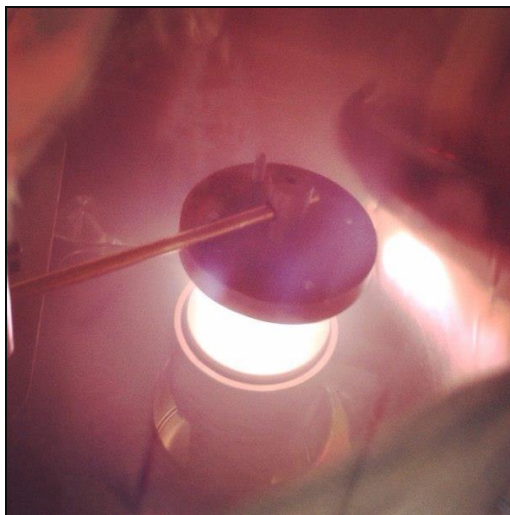


Рис. 6. Фотография магнетрона во время работы

Проведение эксперимента и результаты измерений

В данной статье приводится ряд экспериментов для определения равномерности тонкопленочного покрытия на дне отверстий и скорость осаждения в зависимости от их диаметра и расстояния от образца до магнетрона. Для осуществления контроля выбранных параметров под подложку устанавливался образец без отверстий из того же материала.

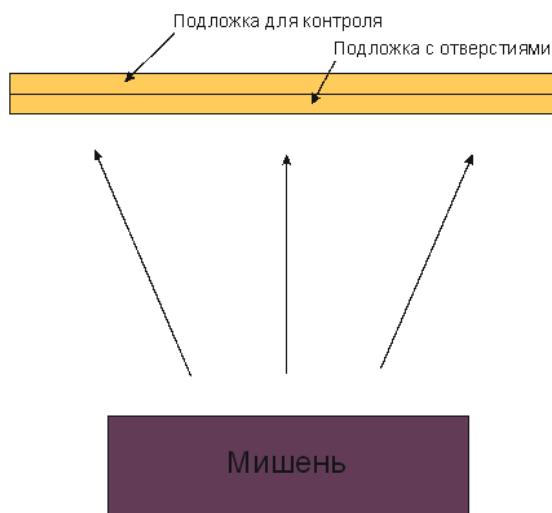


Рис. 7. Схема нанесения тонкопленочного покрытия

Предварительно осуществлялась ионная обработка образцов слоистого пластика для обеспечения наиболее качественного покрытия. Выбранный режим представлен в таблице 3.

Таблица 3. Параметры процесса предварительной ионной обработки подложек

Параметр	Значение
Показание РРГ Ag,	15 куб.см.
Рабочее давление	0,19 Па
Напряжение пучка	0,25 В
Ток пучка	5 мА
Время травления	5 мин

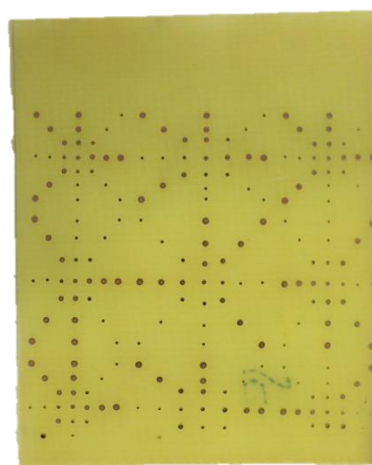
Далее были проведены два эксперимента металлизации образцов при различных расстояниях до мишени. Выбранные режимы представлены в таблице 4.

Таблица 4. Параметры процесса нанесения пленки Cu

Параметр	№ образца	
Рабочее давление, Па	,27	,25
Показания РРГ, куб.см.	5	5
Мощность магнетрона, Вт	0	0
Время тренировки мишени, мин		
Время нанесения, мин	0	0
Расстояние от образца до магнетрона, мм	0	20



а)



б)

Рис. 8. Образцы после металлизации (а) вид на подложку с отверстиями и (б) вид на образец, который находился под подложкой с отверстиями

Исследование образцов производилось на лазерном сканирующем 3D микроскопе Keyence VK-X100/X200 с разрешением 1 нм, совмещающий в себе оптический микроскоп с функцией анализа данных растрового электронного микроскопа и точность профилометра.

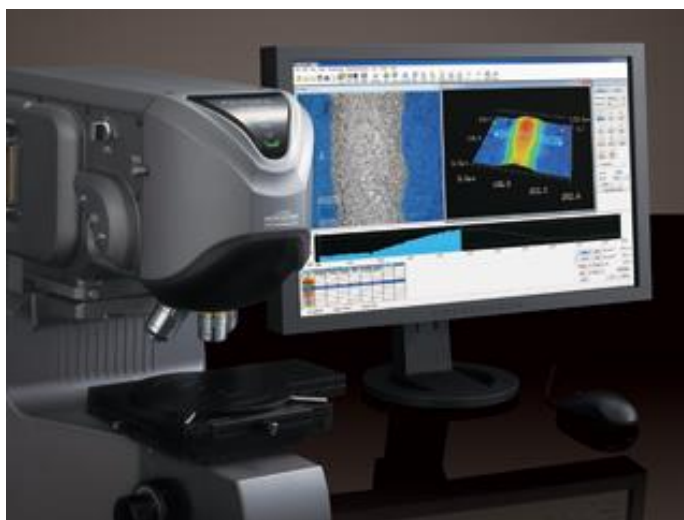


Рис. 9. Сканирующий лазерный микроскоп Keyence

Для контроля пропыляемости и равномерности исследуем поверхность образца, который находился под подложкой с отверстиями, то есть получившееся дно отверстий.

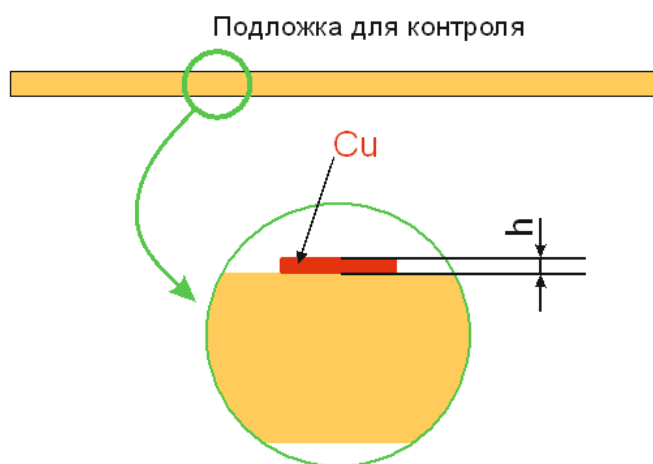


Рис. 10. Схема контроля подложек

В результате исследований получились следующие скорости осаждения меди для различных диаметров в центре подложки, представленные в таблице 5.

Таблица 5. Скорости осаждения Cu

Параметр	Диаметр отверстий						
	0,9 мкм	0,8 мкм	0,7 мкм	0,6 мкм	0,5 мкм	0,4 мкм	0,3 мкм
Скорость осаждения образца №1, нм/мин	63	60	50	43	26	20	6
Скорость осаждения образца №2, нм/мин	15	17	16	16	3	2	0

После измерения толщин дна отверстий в центре и на периферии подложки определяем равномерность.

Таблица 4. Равномерность покрытия

Параметр	№ образца	
	1	2
Равномерность, %	30	10

Выводы и заключение

В результате проведенных экспериментов удалось определить равномерность покрытия и пропыляемость отверстий при варьировании расстояния до мишени магнетрона. Наилучшая равномерность получилась при расстоянии 30 мм. Определена скорость осаждения для различных диаметров. При диаметре отверстий 0,9-0,6 пропыляемость лучше на 50-80%. Для улучшения равномерности и пропыляемости необходимо осуществить сканирование образца над магнетроном.

Литература

1. *Богданов А., Богданов Ю.* Двусторонние рельефные печатные платы /А. Богданов, Ю. Богданов // *Электроника: Наука, Технология, Бизнес.* – 2002. - № 2. – С. 36-37.