

УДК 621.357.69:621.357.75

ГАЛЬВАНИЧЕСКОЕ ОСАЖДЕНИЕ МЕДИ В ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МЭМС-ЭЛЕМЕНТОВ

Ольга Николаевна Смирнова

Студент 3 курса

кафедра «Электронные технологии в машиностроении»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: Ю.С. Боброва,

ассистент кафедры «Электронные технологии в машиностроении»

Ключевые слова: гальванотехника (electroplating), МЭМС (MEMS), нанесение покрытий (coating)

Аннотация: В настоящее время МЭМС-технология является ведущей в области микроэлектроники, т.к. позволяет создавать полную систему на чипе. В работе был выбран материал технологического носителя, предъявлены требования к качеству его поверхности, даны рекомендации по выбору параметров осаждения меди при изготовлении МЭМС-элементов, материалов основы и качества поверхности технологического носителя для его бездефектного снятия с осаждаемой поверхности.

Введение

За период прошедший с начала XXI века и до настоящего времени МЭМС-технологии быстро развивались. Это развитие обусловлено рядом достоинств данной технологии. Например, таких как:

- Миниатюрность;
- Функциональность;
- Надежность;
- Простота интегрирования;
- Востребованность почти всеми рынками электроники и т.д..

МЭМС-технология в настоящее время является самой передовой и перспективной в области микроэлектроники. Совмещая в себе элементы полупроводниковой микроэлектроники и микромеханические элементы, она делает возможным создание полной системы на чипе. [1]

В настоящее время существует несколько базовых технологий производства МЭМС. Это технологии объёмной и поверхностной микрообработки, LIGA и SIGA технологии, MUMPs процесс и т.д..

SIGA-технология (аббревиатура означает – ультразвуковая литография, гальваника и формовка) – это технология, которая позволяет управлять шириной профиля структуры, и которая совместима с технологией тонких пленок. Технология относительно дешева и позволяет изготавливать сложные структуры. Из-за менее дорогостоящего оборудования для литографии она доступна для лабораторного применения.

В рассматриваемой технологии осажденный на основание слой металла впоследствии используется как отдельная форма (штамп) и не требует сцепления с поверхностью основы. Такой метод осаждения металла называется гальванопластика. Таким образом, гальванопластика – техника получения точных металлических копий путем электроосаждения металла на формы, которые по окончании процесса отделяются от осадка.

В качестве материала основы, на которой происходит осаждение металла, можно использовать различные материалы: металлы (медь, титан, хромоникелевые стали),

неметаллические формы (гипс, пластики, эпоксидные пластмассы), комбинированные формы [2].

В рамках данной статьи будут даны рекомендации по выбору параметров осаждения меди при изготовлении МЭМС-элементов и материала основы, основанные на анализе качества поверхности технологического носителя для его бездефектного снятия с осажденной поверхности.

Цели исследовательской работы

- Выявить параметры осаждения меди гальваническим методом, при которых удастся получить наиболее качественную поверхность;
- Выяснить, как осаждается медь на различные поверхности материалов гальваническим методом.

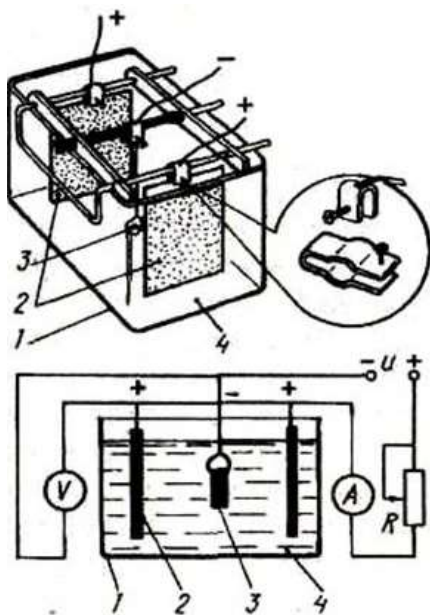


Рис. 1. Гальваническое осаждение меди [4]

Сущность работы

Для проведения экспериментов была использована установка, изображенная на рисунке 1.

Для осаждения меди на поверхность необходимо в гальваническую ванну (1) с медными анодами (2), заполненную электролитом (4), который представляет собой водный раствор солей и кислот, поместить заготовку (3). При прохождении постоянного тока через электролит, он диссоциирует, т.е. распадается на положительные и отрицательные ионы, и происходит процесс электролиза. На аноде (2) происходит растворение металла (переход его в электролит) и выделение кислорода, а на катоде (3) – осаждение металла и выделение водорода [3].

Экспериментальная часть работы

Для выполнения первой цели был проведен эксперимент по нанесению меди на поверхность стеклотекстолита, но при этом варьировались параметры осаждения, для выявления оптимального значения плотности тока.

Эксперимент 1

Описание компонентов:

Осаждаемый материал: медь

Материал основы: стеклотекстолит

Описание опыта:

1. Обезжиривание поверхности заготовок из стеклотекстолита;
2. Промывание и сушка;
3. Помещение заготовок в гальваническую ванну;
4. Осаждение меди;
5. Проверка на шероховатость, измерение полученного слоя меди.

В результате эксперимента было получено 6 заготовок, представленных ниже на рисунке.



Рис. 2. Полученные заготовки с нумерацией

Находим толщину нанесенного слоя меди на поверхность стеклотекстолита по формуле:

$$h_{\text{теор}} = \frac{m}{\rho \cdot l \cdot b},$$

где:

m – масса осажденного на электроде вещества, г;

ρ – плотность меди ($\rho = 8,92 \text{ г/см}^3$);

l – длина той части заготовки, на который была нанесена медь, дм;

b – ширина той части заготовки, на который была нанесена медь, дм.

По объединенному закону Фарадея вычисляем теоретическую массу осажденной на электроде меди:

$$m_{\text{теор}} = \left(\frac{I \cdot t}{F}\right) \left(\frac{M}{z}\right),$$

где:

$Q = I \cdot t$ – полный электрический заряд, прошедший через вещество;

$F = 96485,3383(83) \text{ Кл} \cdot \text{моль}^{-1}$ – постоянная Фарадея;

M – молярная масса вещества ($M = 63,546 \text{ г/моль}$);

z – валентное число ионов вещества (число электронов на один ион).

Полученные данные были занесены в таблицу 1.

Таблица 1. Параметры осаждения и полученные вычисления

№	I, А	t, с	S_1 , дм ²	$S_{\text{общ}}$, дм ²	j, А/дм ²	$m_{\text{теор}}$, г	$h_{\text{теор}}$, мкм
1	2,00	1200,00	0,399	0,798	2,51	0,79	5,55
2	2,86	1200,00	0,35	0,697	4,10	1,13	9,09
3	2,60	900,00	0,39	0,78	3,33	0,77	5,53
4	2,00	1200,00	0,43	0,87	2,30	0,79	5,10
5	1,00	1200,00	0,54	0,54	1,84	0,39	8,16
6	1,00	1200,00	0,51	0,51	1,97	0,39	8,71

где I – сила тока, А;

t – время осаждения меди, с;

S_1 – площадь поверхности, на которую осаждается медь, дм²;

$S_{\text{общ}}$ – общая площадь поверхности, на которую осаждается медь, дм²;

j – плотность тока, А/дм²;

$m_{\text{теор}}$ – масса, полученная при расчете, г;

$h_{\text{теор}}$ – толщина, полученная при расчете, мкм;

$h_{\text{изм}}$ – измеренная толщина, мкм

Из полученных заготовок были выбраны №2 и №6 для исследования полученной поверхности на шероховатость, из тех соображений, что на последнюю медь осадилась наиболее равномерно, а на другую – нет.

Для исследования были вырезаны квадраты площадью $1 \times 1 \text{ см}^2$ на каждой заготовке, как показано на рисунке 3.

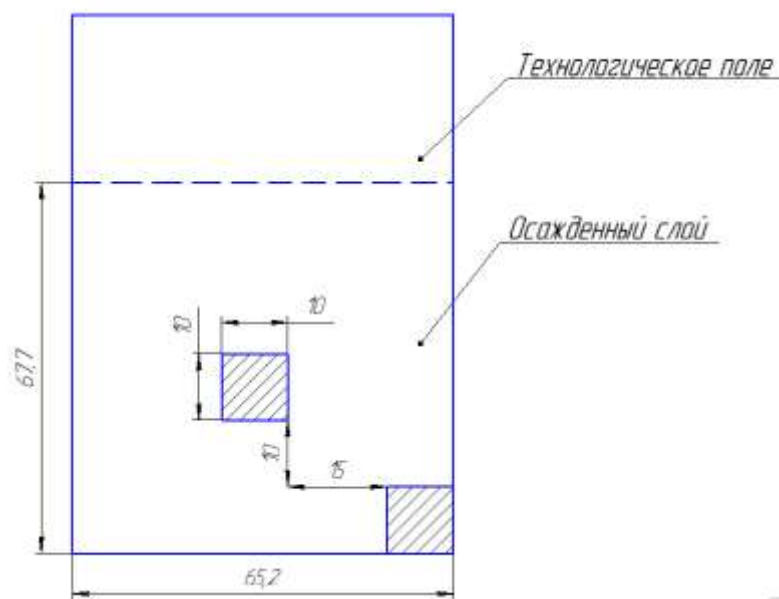


Рис. 3. Схема вырезания исследуемых элементов из заготовки

Используя сканирующий зондовый микроскоп Solver Next NT-MDT (представленный ниже на рисунке) были произведены измерения шероховатости на поверхности заготовок №2 и №6. Таблица результатов приведена ниже.



Рис. 4. Сканирующий зондовый микроскоп Solver Next NT-MDT

Таблица 2. Результаты исследования заготовок №2 и №6 на шероховатость

Размер сканируемой области, мкм	Скорость сканирования, мкм/с	№ заготовки	Часть	Ra, мкм	Rz, мкм
30	30	6	нижняя	0,365	2,000
10	15			0,244	1,660
30	30		средняя	0,169	1,342
10	15			0,096	0,705
30	30	2	нижняя	1,000	6,000
10	15			0,742	3,800
30	30		средняя	0,260	1,600
10	15			0,243	1,700

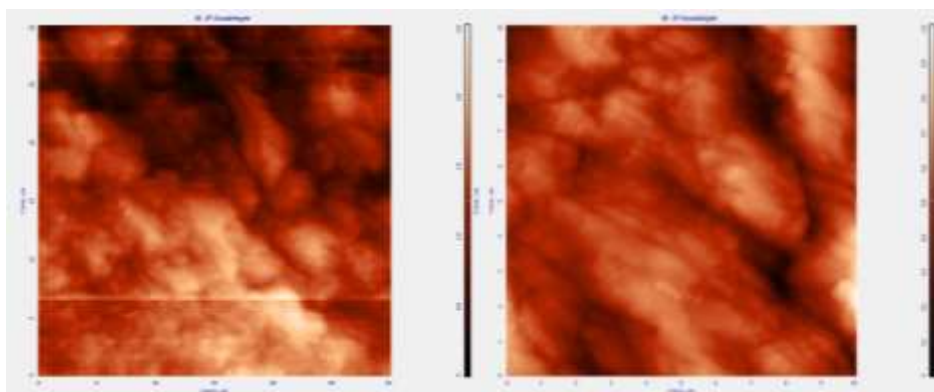


Рис. 5. Результаты сканирования областей разных размеров (слева – 30 мкм, справа – 10 мкм) средней части заготовки №6

Анализ таблицы показал, что наименьшую шероховатость имеет заготовка №6 в середине, а наибольшую - заготовка №2 в нижней правой части. Шероховатости других заготовок находятся в пределах 0,096 - 1 мкм по Ra.

Вывод: Из результатов проведенного эксперимента видно, что при плотности тока равной 2 А/дм² происходит наиболее равномерное осаждение меди на поверхность с шероховатостью порядка 100 нм по Ra.

Эксперимент 2

Описание компонентов:

Осаждаемый материал: медь

Материал основы: сталь

Описание опыта:

1. Обезжиривание поверхности двух заготовок из стали одинаковой площади;
2. Промывание и сушка;
3. Нанесение негативного фоторезиста;
4. Экспонирование (2 шаблона: логотип Parmalat и квадратики);
5. Проявление фоторезиста;
6. Помещение заготовок в гальваническую ванну;
7. Осаждение меди при плотности тока 1 А/дм² в течение 1,5-2 часов;
8. Проверка на адгезию.

Результаты приведены в таблице ниже.

Таблица 3. Адгезия осажденного слоя

Способ / Критерий	Повреждение структур	Адгезия	Усилие	Эффективность
Скотч	+	Сильная, удалось снять только слой, изначально отходившие от поверхности	Несложно, но трудоемко. Тщательно наклеить без образования пузырьков, отдирать очень медленно	80мкм
Технический скотч	Не удалось снять осажденный слой из-за сильной адгезии			
Удаление ФР + скотч	+	Сильная	Аналогично 1му варианту	20мкм
Удаление ФР + мех. воздействие	+	Аналогично 1му варианту	Сложно, трудоемко и очень аккуратно.	90мкм



Рис. 6. Заготовки с частично снятыми элементами



Рис. 7. Заготовка со снятой частью

Вывод. Адгезия осажденной меди к поверхности материала основы была достаточно сильной, поэтому удалось снять лишь некоторые элементы и при этом происходило повреждение технологического носителя. Одной из возможных причин получения таких результатов является то, что сталь имела большую шероховатость поверхности.

В подтверждение данной гипотезы был проведен следующий эксперимент.

Эксперимент 3

Описание компонентов:

Осаждаемый материал: медь

Материал основы: полированная сталь

Описание опыта:

1. Обезжиривание поверхности четырёх заготовок из полированной стали одинаковой площади;
2. Промывание и сушка;
3. Наклеивание скотча вместо нанесения ФР на заготовку №3;
4. Помещение заготовок №1 и №2 в гальваническую ванну (далее ГВ-1);
5. Помещение заготовок №3 и №4 в гальваническую ванну с блескообразователем (ГВ-2);
6. Осаждение меди при плотности тока 2 А/дм^2 и в течение 1 часа;
7. Проверка на адгезию.

Таблица 4. Состав гальванических ванн

Состав	Концентрация компонента в ГВ-1, г/л	Концентрация компонента в ГВ-2, г/л
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	225 – 275	220 – 230
H_2SO_4	50 – 75	50 – 60
NaCl	0,03 – 0,06	0,03 – 0,06
Блескообразующая добавка ЛТИ	–	1 – 5 мл/л

В результате эксперимента были получены заготовки, представленные ниже на рисунках.

Две заготовки из ГВ-1



Рис. 8. Заготовки №1 и №2 соответственно

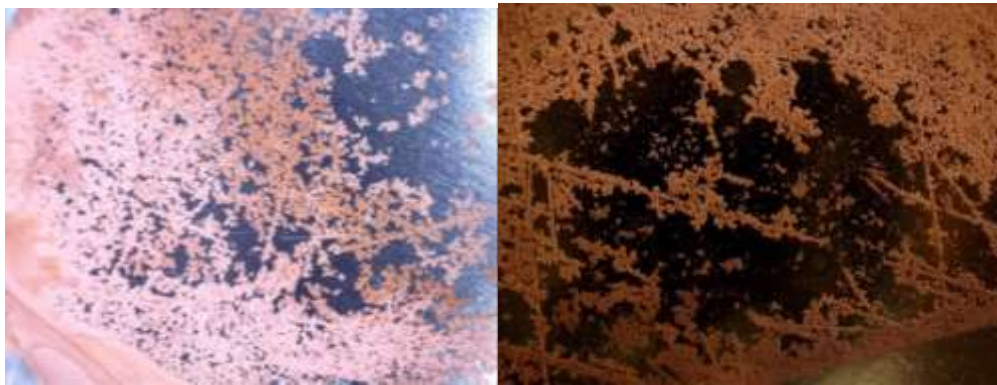


Рис. 9. Поверхность заготовки №1 и №2 соответственно

Заготовка со скотчем из ГВ-2



Рис. 10. Заготовка №3



Рис. 11. Поверхность заготовки №3

Заготовка из ГВ-2



Рис. 12. Заготовка №4



Рис. 13. Поверхность заготовки №4

Вывод. После эксперимента выяснилось, что в середине заготовок №1 и №2 в одной из ванн медь не осаждалась, только по краям. Заготовка со скотчем была более удачной, медь отходила легко, но покрытие было очень хрупким и просвечивалось. Последняя заготовка была покрыта почти вся медью, кроме небольшой части в середине, еще были заметны дефекты и неровность покрытия (в середине покрытие было тоньше).

Так же заметно заполнение микротрещин на поверхности заготовки. Такой результат связан с тем, что на границе трещины (линии 1-1 и 2-2 на рисунке 14) возрастает плотность тока и за счет этого происходит заполнение пространства медью.

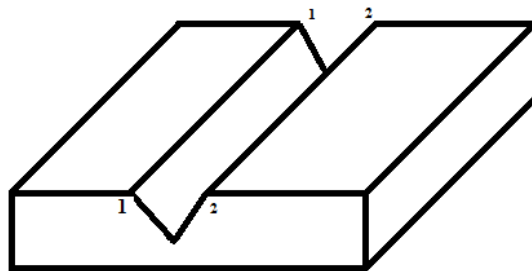


Рис. 14. Микротрещина

Выводы по результатам экспериментальной части

- Оптимальная плотность тока для наиболее равномерного осаждения меди на поверхность материала основы составляет 2 A/дм^2 ;*
- При такой плотности тока шероховатость технологического носителя составляет примерно 100 нм по Ra ;*
- Для уменьшения адгезии осажденного слоя меди к материалу основы следует использовать заготовку с наименьшей шероховатостью поверхности (например, полированную сталь), при этом будет происходить заполнение микротрещин из-за возрастания плотности тока на границе трещины.*
- Медь лучше всего осаждается в середине заготовки, поэтому при расчете размера заготовки следует учитывать технологическое поле.*

Литература:

- Ануфриев Л., Ковальчук Н., Ланин В. Совершенствование технологии мембранных МЭМС // Технологии в электронной промышленности. Электрон. журн. 2011. № 2. Режим доступа: http://www.kit-e.ru/preview/pre_mbr_mems_6_13.php (Дата обращения: 29.12.2015);
- Боброва Ю.С., Тюлькова А.А.. Исследование процессов SIGA технологии при макетировании элементов. Методические указания к выполнению лабораторной работы по дисциплине «Технология микроэлектромеханических систем», 2016, с. 4;

3. Ремонт деталей способом гальванического наращивания металла. Режим доступа: <http://stroy-technics.ru/article/remont-detalei-sposobom-galvanicheskogo-narashchivaniya-metalla> (Дата обращения: 29.12.2015);
4. Гальваника в домашних условиях. Режим доступа: <http://galvan.ru/?q=node/65> (Дата обращения: 29.12.2015);
5. Сысоева С.. МЭМС - технологии. Простое и доступное решение сложных системных задач //Электроника НТБ. Электрон. журн. 2009. № 7. Режим доступа: http://www.electronics.ru/files/article_pdf/0/article_288_258.pdf (Дата обращения: 29.12.2015).