

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

Основы технологии оптических материалов и изделий

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ЭЛЕКТРОДУГОВОГО НАПЫЛЕНИЯ ПОКРЫТИЙ
В ВАКУУМЕ**

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления 200700.62 – Фотоника и
оптоинформатика

629.7
О-662

УДК 629.7.036.72(076.5)
Орликов, Леонид Николаевич.

Исследование процесса электродугового напыления покрытий в вакууме = Основы технологии оптических материалов и изделий: методические указания к лабораторной работе для студентов направления 200700.62 – Фотоника и оптоинформатика / Л. Н. Орликов; Министерство образования и науки Российской Федерации, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Кафедра электронных приборов. - Томск : ТУСУР, 2011. - 11 с.

Целью работы является ознакомление с методом нанесения упрочняющих покрытий путем электродугового испарения материалов в вакууме и освоение методов измерения толщины наносимого покрытия.

В ходе выполнения работы у студентов формируются:

- способность выполнять задания в области сертификации технических средств, систем, процессов, оборудования и материалов (ПК-25);
- способность разрабатывать инструкции по эксплуатации используемых технического оборудования и программного обеспечения для обслуживающего персонала (ПК-32).

Пособие предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по направлению «Фотоника и оптоинформатика» по курсу «Основы технологии оптических материалов и изделий».

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
«Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники»

Кафедра электронных приборов

УТВЕРЖДАЮ

Зав.кафедрой ЭП

_____ С.М. Шандаров

« ____ » _____ 2011 г.

Основы технологии оптических материалов и изделий

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА
ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ФОРМИРОВАНИЯ ПОКРЫТИЙ
В ВАКУУМЕ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направления 200700.62 – Фотоника и оптоинформатика

Разработчик

д-р техн. наук, проф.каф.ЭП

_____ Л.Н.Орликов

« ____ » _____ 2011 г

Содержание

1 Введение.....	3
2 Теоретическая часть.....	3
2.1 Общая схема проведения процесса электродугового напыления металлов в вакууме	3
2.2 Контрольные вопросы.....	5
3 Экспериментальная часть.....	5
3.1 Нанесение покрытий путем электродугового испарения материалов в вакууме	5
3.2 Задание на работу.....	7
3.3 Методические указания по выполнению работы.....	8
3.4 Содержание отчета.....	8
4 Рекомендуемая литература	8

1 Введение

В настоящее время покрытия широко используются при изготовлении различных приборов. Они выполняют функции защитных, декоративных и технологических покрытий. Существует ряд методов получения покрытий: это – испарение материалов в вакууме, катодное распыление материалов, химическое осаждение, осаждение из газовой фазы и др. Каждое из методов получения покрытий имеет свои достоинства и недостатки применительно к определенному применению. В последнее время начинает широко применяться электродуговое нанесение покрытий. Такие покрытия обладают высокой адгезией, прочностью и декоративностью. Реализация таких покрытий производится на установках типа УРМ, иногда называемых «БУЛАТ» по названию первых установок дугового распыления. Целью работы является ознакомление с методом нанесения упрочняющих покрытий путем электродугового испарения материалов в вакууме и освоение методов измерения толщины наносимого покрытия.

В итоге выполнения лабораторной работы студент должен

- *знать*: физические принципы работы приборов плазменной электроники и наноэлектроники; основные приемы построения последовательностей технологических операций при формировании и синтезе оптических материалов;

- *уметь*: ориентироваться в многообразии современных технологий, применяемых при производстве приборов электроники и наноэлектроники; разрабатывать принципиальные схемы последовательностей технологических операций; определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения технологических операций; использовать для анализа процессов стандартные программные продукты;

- *владеть* основными навыками анализа достоинств и недостатков известных технологий формирования оптических материалов на элементах электроники и наноэлектроники.

2 Теоретическая часть

2.1 Общая схема проведения процесса электродугового напыления металлов в вакууме

На рис. 2.1 представлена схема электродугового источника для нанесения покрытий в вакууме.

Источник состоит из катода (чаще титанового), анода (корпус камеры), электродов для инициирования дуги (поджигающий электрод) и электрода для очистки деталей в тлеющем разряде.

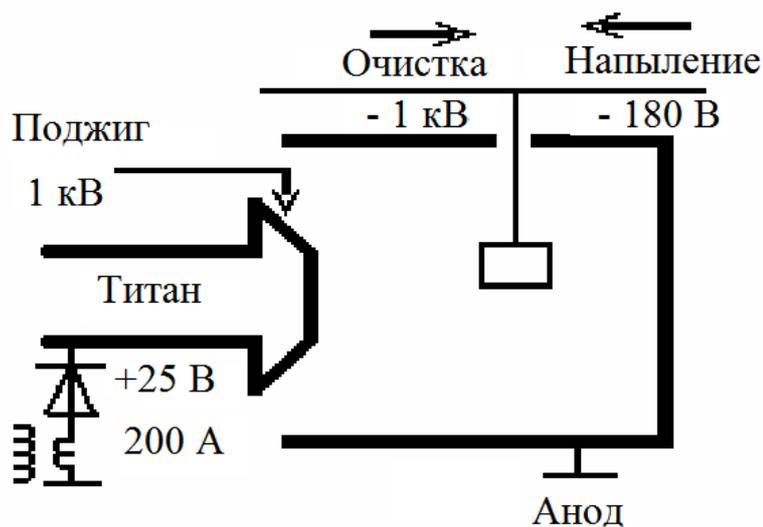


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема электродугового источника

При обеспечении давления на уровне 1 Па на деталь подается постоянное напряжение 1 кВ и в камере зажигается тлеющий разряд. Положительно заряженные ионы из плазмы разряда устремляются на деталь, находящуюся под отрицательным потенциалом и производят ее очистку.

При обеспечении в камере давления газа на уровне 10^{-2} Па, между катодом и анодом от дугового трансформатора подается напряжение около 25 В. Затем между катодом и поджигающим электродом подаются импульсы напряжения 1 кВ для организации искрового пробоя. Плазма из окрестности поджигающего электрода попадает в пространство между катодом и анодом и стимулирует зажигание дугового разряда на катод.

После зажигания дуги на деталь подается отрицательное напряжение (-180 В) и производится напыление покрытия. При титановом катоде и использовании в качестве рабочего газа азота реализуется покрытие- нитрид титана.

Особенностью работы установок напыления упрочняющих покрытий типа «Булат» является эрозия катода и унос материала с катода. Унос массы m при эрозии электродов определяется соотношением:

$$m = G \cdot I \cdot t,$$

где G - удельная эрозия материала; I - ток в амперах; t - время, секунды.

Унос массы пропорционален объему эрозии V и плотности материала:

$$m = \rho V.$$

Особенность работы установок «Булат» состоит в следующем.

1. Осаждение материала связано с нагревом и отжигом деталей, что объясняется значительной долей электронного потока, поскольку коэффициент ионизации в дуговом разряде не превышает 10 %.

2. Ускоряющее напряжение для ионов в установках Булат невелико (-180 В), вследствие чего скорости ионизованных молекул невелики. Это сказывается на адгезии нанесенной упрочняющей пленки.

3. Процесс нанесения покрытий неоднозначно связан с расходом газа,

температурой изделия и параметрами плазмы. Это объясняется недостаточной изученностью условий протекания газофазных реакций в плазме. Все это приводит к большому разбросу параметров покрытия.

4. При изменении режимов может возникнуть брызговой эффект, характеризующийся нанесением покрытия в виде капель. Избавление от брызгового эффекта производится уменьшением тока дуги, установкой отражателей потока паров под углом к подложке, наложение дополнительных потенциалов на траекторию паров.

2.2 Контрольные вопросы

1. Каковы параметры дугового разряда?
2. Отличие тлеющего разряда от дугового.
3. Методы избавления от брызг при дуговом напылении
4. При каких условиях формируется покрытие из нитрида титана?
5. Как проводится поджиг вакуумной дуги?
6. Катодные пятна первого, второго и третьего рода
7. Дуга с накалимым и холодным катодом
8. Достоинства и недостатки электродугового напыления
9. Назовите факторы, влияющие на параметры пленки, формируемой в дуговом разряде.
10. Назовите несколько установок или источников частиц для электродугового напыления материалов

3 Экспериментальная часть

3.1 Нанесение покрытий путем электродугового испарения материалов в вакууме

Процесс нанесения пленок может быть разделен на несколько этапов:

- 1) подготовительный этап по материалам;
- 2) этап вакуумной подготовки;
- 3) этап электрофизической обработки материалов в вакууме;
- 4) этап нанесения покрытия;
- 5) заключительный этап.

Каждый этап требует разработки последовательностей технологических операций. Элементы последовательности должны содержать параметры проведения процесса. Вся последовательность операций может составлять базу данных технологического процесса в целом. Для сокращения времени проведения процесса базу данных оптимизируют посредством параллельного проведения нескольких процессов.

Подготовительный этап по материалам

На этом этапе анализируются свойства материала, на который наносится покрытие (свойства подложки). Основными справочными сведениями являются состав материала, степень шероховатости и

загрязненности поверхности, газовыделение при температуре около 500 градусов. Полезно провести анализ детали под микроскопом на предмет отсутствия микротрещин. Следует проанализировать качество газа (технический или химически чистый) и возможные соединения распыляемого материала с напускаемым газом. Техническая подготовка процесса предполагает подготовку систем индикации параметров. В таблице 3.1 представлен возможный вид фрагмента подготовительных операций для напыления нитрида титана.

Таблица 3.1 – Фрагмент содержимого базы данных подготовительного этапа

Источник	осмотр	Очистка (сухая)	монтаж
Вакуумная камера	осмотр	Очистка (щелочь)	монтаж
Деталь	справочник	очистка	монтаж

Этап вакуумной подготовки

Этап вакуумной подготовки предполагает получение вакуумной среды в области обработки детали. На рис.3.2 представлена схема вакуумной системы установки типа «БУЛАТ».

Как видно из рис. 3.2, вакуумная схема является универсальной и состоит из стандартных типовых элементов.

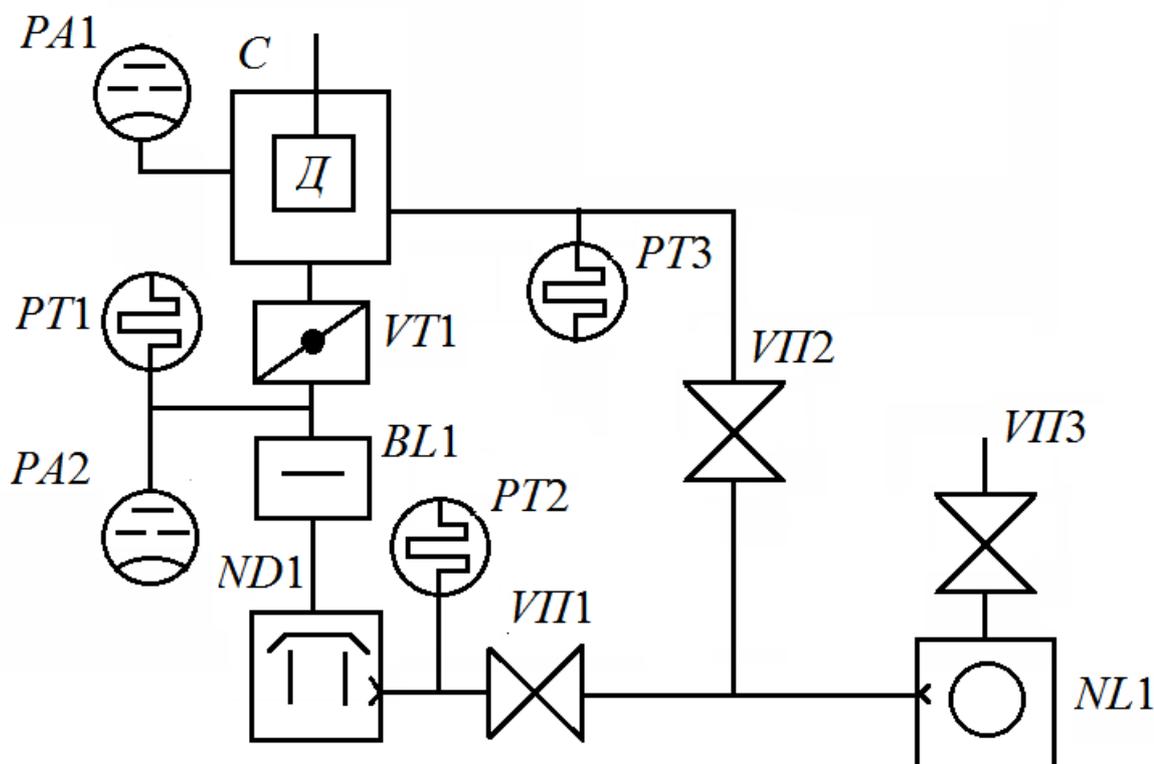


Рисунок 3.2 – Вакуумная схема установки «БУЛАТ»: С – камера; Д – деталь; PA1, PA2 – ионизационные датчики давления; PT1 - PT3 – тепловые датчики давления; VT1 – высоковакуумный затвор; BL1 – ловушка; ND1 – диффузионный насос; NL1 – форвакуумный насос; VII1 -VII2 – вентили.

Перед запуском вакуумной системы требуется закрыть все вентили и подать воду на охлаждение установки. Затем включается механический форвакуумный насос и открываются вентили *VII1* и *VII2*. После обеспечения в системе давления равного давлению запуска диффузионного насоса ($P_2 = 10$ Па) можно включить диффузионный насос *ND1*.

По истечении 45-50 минут диффузионный насос выйдет на рабочий режим и в его объеме разовьется вакуум порядка 0,01 Па. Затем закрывается вентиль обводной откачки камеры *VII2* и открывается высоковакуумный затвор *VI1*. По истечении 5-10 минут в вакуумной камере реализуется давление 0,01 Па, достаточное для проведения последующих операций.

В таблице 3.2 представлен фрагмент содержимого базы данных вакуумной подготовки.

Таблица 3.2 – Фрагмент содержимого базы данных вакуумной подготовки

Вентили закрыты	Форвакуум: 10 Па, 15 мин	Высокий вакуум
Напуск газа до $P_k = 1$ Па	Ионная очистка (20 мин)	

Этап электрофизической обработки материалов в вакууме

На этом этапе проводится ионная очистка детали и обезгаживание элементов с помощью тлеющего разряда. Путем напуска газа (лучше аргона) в вакуумной камере устанавливается давление на уровне 1 Па и зажигается высоковольтный тлеющий разряд с напряжением 1000 В (1 кВ) и током до 30 мА. В течение 15-20 минут деталь и элементы камеры, находящиеся под отрицательным потенциалом подвергаются ионной бомбардировке положительными ионами. Деталь очищается и обезгаживается от приповерхностных газов. После очистки деталь готова к формированию покрытия.

Этап нанесения покрытия

После очистки натекание газа уменьшается. В камере устанавливается давление 0,01 Па. Затем устанавливается ток катода (90 А, 115 А, 150 А и т.д.) и подается поджигающий импульс между катодом и анодом с повторяющейся паузой от 1 до 5 секунд. После зажигания дугового разряда происходит напыление покрытия на деталь. Скорость покрытия определяется током дуги и эрозией электрода катода. Ориентировочное время нанесения покрытия составляет 15-20 минут для толщины 1 мкм при токе 90 А.

3.2 Задание на работу

1. Задаваясь объемом камеры ($0,05 \text{ м}^3$, $0,1 \text{ м}^3$) и потоком натекания газа $Q = 10^{-4}$ торл/с, рассчитать на ЭВМ необходимую производительность

высоковакуумного и форвакуумного насосов (ПК-32).

2. При удельной эррозии 10^{-7} рассчитать унос массы материала катода при токе 90 А за время проведения процесса.

3. Используя понятие КПД процесса рассчитать толщину наносимого покрытия.

3.3 Методические указания по выполнению работы

Работа охватывает разделы проектирование технологий, вакуумная технология, технология подготовки материалов, пленочная технология. Расчеты базируются на фрагментах задач из разделов вакуумной и пленочной технологий. Зарисовку вакуумной схемы установки проще начинать не с фронтальной, а с боковой стороны установки.

3.4 Содержание отчета

Отчет должен содержать:

- 1) схему вакуумной системы установки;
- 2) диапазоны работы датчиков давления и откачного оборудования;
- 3) последовательность технологических операций на этапах проведения процесса с указанием времени (ПК-32);
- 4) расчёт на ЭВМ необходимой производительности высоковакуумного и форвакуумного насосов (ПК-32);
- 5) принципиальную схему электродугового источника;
- 6) расчёт уноса массы материала катода;
- 7) расчёт толщины наносимого покрытия;
- 8) сравнение достоинств и недостатков электродугового напыления покрытий в вакууме;
- 9) алгоритм включения и выключения установки (ПК-32);
- 10) сертификацию соответствия комплектации установки вакуумным оборудованием по сравнению заводского описания и фактической комплектации (ПК-25).

4 Рекомендуемая литература

1. Данилина Т.И. Смирнова К.И., Илюшин В.А., Величко А.А. Процессы микро- и нанотехнологии: учебное пособие / Томск, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2005.– 316 с., ISBN 5-86889-244-5

2. Орликов Л.Н. Технология материалов и изделий электронной техники: методические указания к лабораторным работам. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2007. – 79 с.

3. Орликов Л.Н. Технология материалов и изделий электронной

техники: Методическое пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2009. – 400 с.

4. Лафферти Д. Вакуумные дуги. – М.: Мир, 1987. – 250 с

5. Окс Е.М. Источники электронов с плазменным катодом: физика, техника, применение. – Томск: Из-во НТЛ, 2005. – 216 с.

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Исследование процесса
электродугового напыления покрытий в вакууме

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Основы технологии оптических материалов
и изделий»

Усл. печ. л. 0.56 . Препринт
Томский государственный университет
систем управления и радиоэлектроники
634050, г.Томск, пр.Ленина, 40