

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
информатики и радиоэлектроники  
Кафедра инженерной психологии и эргономики

На правах рукописи  
УДК 658.5.012.14

Лазарь  
Александр Сергеевич

УПРАВЛЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ПРОЦЕССОВ РЕАКТИВНОГО  
МАГНЕТРОННОГО РАСПЫЛЕНИЯ

АВТОРЕФЕРАТ  
на соискание академической степени  
магистра техники и технологии

1-59 81 01 – Управление безопасностью производственных процессов

Магистрант А.С. Лазарь

Научный руководитель  
С.К. Дик, кандидат физико-  
математических наук, доцент

Заведующий кафедрой ИПиЭ  
К.Д. Яшин, кандидат технических  
наук, доцент

Нормоконтролер  
О.В. Павловская,  
ассистент, магистр  
психологических наук, аспирант  
кафедры ИПиЭ,

Минск 2017

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире наука и техника развиваются быстрыми темпами. Более глубокое познание научных принципов и физических явлений приводит к появлению новых и усовершенствованию уже существующих технических устройств. Что в свою очередь приводит к ужесточению требований к качеству производимых изделий. Все эти факторы приводят к необходимости ужесточения правил и норм безопасности, что в свою очередь позволяет наиболее комфортно и безвредно работать.

Внедрение оптических приборов и методов исследования в различные области науки и техники приводит к необходимости создания многослойных структур на основе диэлектрических и других материалов, не только с расширяющимися требованиями к их свойствам, но и возможному их сочетанию. Это в первую очередь оптические, физико-механические, химические и другие свойства. Из оптических свойств, следует упомянуть непрерывно расширяющей спектральный диапазон работы приборов, ужесточение требований к лучевой стойкости и прочности покрытий, сочетание возможности отражения (пропускания) и формирования волнового фронта отражённого (прошедшего) излучения. Кроме того, набор стабильных, химически устойчивых, стойких к воздействию внешней атмосферы плёнообразующих материалов невелик. Все это приводит к необходимости создания новых, наиболее перспективных методов напыления, одним из которых и является реактивное магнетронное распыление [1].

Проблема нанесения тонкопленочных покрытий данным методом включает в себя как научно-технические аспекты, относящиеся к физике, химии, механике, так и проблемы безопасности и здоровья людей и окружающей среды. Поскольку данные процессы требуют установок, потребляющих большое количество электроэнергии, реактивных газов, некоторые из которых легко воспламеняются на воздухе и большого количества химических реагентов. Это не может не оказывать влияния на организм человека и на окружающую нас среду. Поэтому и разрабатываются меры безопасности, которые обеспечат сохранность как здоровья, так и самого имущества.

Целью настоящей работы является изучение безопасных условий труда при проведении процессов реактивного магнетронного распыления и разработка одного из перспективных методов получения оптических диэлектрических покрытий [1].

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность данной работы заключается в усовершенствовании уже существующих методов реактивного магнетронного распыления путем стимуляции их плазмой высокой плотности. Целью работы является изучение метода реактивного магнетронного распыления и разработка источника индуктивно связанной плазмы. Была разработана экспериментальная установка для проведения процессов реактивного магнетронного распыления, а так же методом компьютерной модуляции была подобрана наиболее подходящая конструкция антенны, проведены тесты для распределения потоков магнитных полей. Были исследованы вредные факторы, оказывающие влияние на организм человека и разработаны меры безопасности при работе с установками. А так же исследованы виды чистых комнат и их особенности на производстве.

Библиотека БГУИР

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Целью моей магистерской диссертации являлась разработка мер по обеспечению безопасных условий труда при проведении процессов реактивного магнетронного распыления.

Основными задачами проекта являлось:

1. Разработать метод реактивного магнетронного распыления, стимулированный плазмой высокой плотности, а также разработать экспериментальную установку на его основе;
2. Установить какие факторы, оказывают влияние на организм человека и разработать меры безопасности на их основе;
3. Обеспечить безопасность производственных процессов на предприятии.

Актуальность работы связана с необходимостью промышленности в сокращении времени нанесения прецизионных оптических многослойных структур до экономически приемлемого уровня и усовершенствование условий труда для работников.

Принцип магнетронного напыления основан на распылении материала, из которого изготовлена мишень для магнетрона, при его бомбардировке ионами рабочего газа, образующимися в плазме тлеющего разряда.

Основную конкуренцию ионно-лучевому, магнетронному и реактивному магнетронному распылению может составить реактивное магнетронное распыление стимулированное плазмой высокой плотности. Недостатки этих методов привели к необходимости создания этого более нового метода. К примеру скорость у ионно-лучевого распыления приблизительно в 3 раза меньше, чем у магнетронного, а реактивное магнетронное распыление требует сложных систем дугогашения, длительного выхода на режим и сложных систем реализации реактивного процесса. Суть же данного метода заключается в том, что распыляется чистый материал мишени, он окисляется не у поверхности магнетрона, а у поверхности детали, проходя через плазму высокой плотности созданную источником индукционного разряда. Это позволяет значительно быстрее проводить процессы, а качество полученных материалов сопоставимо с вышеперечисленными способами напыления.

В экспериментальной установке, разработанной нами для проведения эксперимента расположено 2 магнетрона, подложкодержатель и ВЧ источник индукционного разряда. Было проведено несколько экспериментов, по итогу которых были подобраны оптимальные расстояния мишень-подложка, для увеличения площади равномерного покрытия и увеличения рабочей мощности.

Эксперимент проводился при начальном давлении в камере  $7 \cdot 10^{-2}$ , газом носителем служит аргон, а источник индуктивно-связанной плазмы мощностью 1 кВт работает на промышленной частоте 13,56 МГц. Реактивный газ (кислород) подается в область образца, где активизируется источником индукционного разряда, газоразделяя реакцию окисления в области подложки. В результате химическая реакция протекает на образце и не происходит закисление мишени, что является одним из минусов процесса реактивного магнетронного распыления.

Эксперимент проводился при одинаковых режимах работы как для оксида ниобия, так и для оксида кремния. Единственное отличие состояло в мощности магнетронной системы. Измерения проводились в разных точках, на расстоянии 50, 100 и 140 мм от центра пластины. Нам удалось получить хорошую повторяемость свойств покрытий, сравнимую по качеству с покрытиями, полученными ионно-лучевым и магнетронным распылением. Пленки имеют хорошую адгезию и не имеют видимых дефектов, а также соответствуют требованиям, предъявляемым оптическим покрытиям.

Во время проведения эксплуатации ВТО персонал может подвергаться следующим опасным и вредным воздействиям:

1. поражение электрическим током;
2. механические повреждения;
3. магнитное и электромагнитное излучение;
4. ожоги и обморожения при работе с криопанелью;
5. ожоги при работе с нагревателями и безмасляным насосом;
6. опасность взрыва и пожара;
7. вторичное мягкое рентгеновское излучение (при работе с электронно-лучевыми испарителями).

При проведении процессов реактивного магнетронного распыления необходимо соблюдать технику безопасности и меры предосторожности. Поскольку используется высоковольтное оборудование, на работников действуют электромагнитное излучение, использование токсичных газов, масел, спиртов и эфиров, все это оказывает влияние не только на человека, но и на окружающую его среду. Работники должны носить специальную одежду, средства защиты органов дыхания и глаз. Так же на дверях, в помещении которых находятся установки висит знак радиационной опасности, это свидетельствует об ионизирующем излучении в следствии работы магнетронов. Способы защиты весьма просты, стенки камеры сконструированы таким образом, чтобы не пропускать частицы во внешнюю среду и имеют своего рода экраны. Все электрооборудование должно быть оснащено защитным заземлением. Защитное заземление должно быть выполнено стальной (площадью сечения не менее  $7 \text{ мм}^2$ ) неизолированной проволокой и

присоединено к оборудованию болтовым соединением. При вскрытии реактора и вакуумной системы установок применять интенсивную вытяжную вентиляцию; при чистке внутренних загрязненных поверхностей предотвращать контакты продуктов с кожей и их вдыхание путем использования резиновых перчаток и изолирующих шланговых средств индивидуальной защиты органов дыхания, таких, как маска. В целях лучшей работы оборудования и соблюдения безопасности работников не реже одного раза в неделю предусмотрен профилактический осмотр всего электрооборудования и токопроводящих коммуникаций в вакуумных установках и помещениях мастерской с очисткой их от грязи, масла и других загрязнений.

Самым хорошим вариантом расположения помещения, которое предназначено для реактивного магнетронного распыления, является центр здания. Оно должно быть изолировано от воздействия внешних факторов, так же в данного рода помещениях не должно быть окон.

В компании ИЗОВАК используется чистое помещение с однонаправленным (ламинарным) воздушным потоком. В таких системах весь поступающий в помещение воздух, проходя через фильтры HEPA (или ULPA), подается в рабочую зону однонаправленным ниспадающим потоком с постоянной скоростью. Такой воздушный поток "прижимает" загрязняющие частицы к полу помещения и перемещает их к вытяжной вентиляции, не позволяя завихрениям воздуха, которые имеют место в турбулентных системах, вновь разносить их по помещению. Скорость ламинарного потока в чистых помещениях должна составлять  $0,45 \text{ м/с} \pm 20 \%$ , а стандарт чистых помещений должен быть не ниже класса ISO 4, в зависимости от вида проводимых работ и класса чистоты получаемых изделий. Большинство чистых комнат, используемых на предприятии «IZOVAC» имеют класс чистоты ISO 2 и ISO 3. Спецодежда для работы в чистых помещениях должна быть изготовлена из материала, который сам не производит загрязняющих частиц.

Разработан метод реактивного магнетронного распыления стимулированный плазмой высокой плотности, а так же разработана экспериментальная установка на его основе;

Установлены факторы, оказывающие влияние на организм человека и разработаны меры по их устранению и минимизации;

Обеспечена безопасность производственных процессов на предприятии.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе работы над магистерской диссертацией был исследован процесс реактивного магнетронного распыления, установлены благоприятные условия для проведения данных процессов, а также разработана экспериментальная установка.

Было установлено, что, исходя из полученных результатов, скорость МРС с устройствами для дополнительной ионизации в 2,5 – 3 раза превышают скорости, получаемые на ВТО с ионно-лучевым методом распыления (0,375 для МРС и 0,12 для ионно-лучевого распыления) и в 1,5 – 2 раза на ВТО с ионно-ассистированным электронно-лучевым испарением (0,375 для МРС и 0,23 для электронно-лучевого испарения). Получена хорошая повторяемость ниобиевых покрытий. Рабочие мощности ограничиваются только лишь магнетроном, поэтому данные значения скоростей не являются максимальными, их можно увеличить.

Основными задачами проекта было установить факторы, оказывающие влияние на здоровье человека и окружающую нас среду. Защитить работников от электромагнитного излучения, исходящего от оборудования, ультрафиолетового излучения. При работе с газовыми баллонами работник должен пройти аттестацию и носить средства индивидуальной защиты органов дыхания, во избежание попадания и осаждения частиц в органы дыхания и глаза.

Важную роль играет и само помещение, оно должно иметь специальное оборудование, обеспечивающее циркуляцию воздуха в помещении. Поскольку это чистая комната, то микрочастицы не должны распространяться по комнате, а быть локализованы на полу.

Внесены предложения по обеспечению безопасной работы оператора вакуумной установки при работе на вакуумных установках с использованием токсичных газов.