

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

Кафедра электронных приборов

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО РАСПЫЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направлений «Фотоника и оптоэлектроника» и
«Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Орликов, Леонид Николаевич.

Исследование процесса ионно-плазменного распыления материалов =
= Методические указания к лабораторной работе для студентов направлений
«Фотоника и оптоэлектроника» и «Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства» / 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, 2012. - 19 с.

Целью данной работы является детальное рассмотрение триодной
системы ИПР с целью изучения ее принципа конструирования,
электрофизических характеристик.

Предназначено для студентов очной и заочной форм, обучающихся по
направлению «Фотоника и оптоэлектроника» по курсу «Основы технологии
оптических материалов и изделий» и по направлению «Электроника и
микроэлектроника» (специальность «Электронные приборы и устройства»)
по курсу «Технология материалов и изделий электронной техники»

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
« ___ » _____ 2012 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО РАСПЫЛЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Методические указания к лабораторной работе
для студентов направлений «Фотоника и оптоэлектроника» и
«Электроника и микроэлектроника»
(специальность «Электронные приборы и устройства»)

Разработчик

д-р техн. наук, проф. каф. ЭП
_____ Л.Н. Орликов
_____ 2012 г

Содержание

1 Введение	5
2 Теоретическая часть	5
2.1 Плазма и ее свойства	5
2.2 Ионизация газов	7
2.3 Ионно-плазменное распыление	8
2.4 Основные требования к оборудованию для ионно-плазменного распыления	10
2.5 Электрофизические параметры систем ионно-плазменного распыления	11
2.6 Контрольные вопросы	13
3 Экспериментальная часть	13
3.1 Задание на работу	13
3.2 Описание лабораторной установки	14
3.2.1 Устройство триодной системы ИПР	14
3.2.2 Вакуумная система установки	15
3.3 Порядок выполнения работы и методические указания	15
3.4 Содержание отчета	17
Рекомендуемая литература	18

1 Введение

Современная микроэлектроника использует методы планарной технологии для получения активных элементов полупроводниковых интегральных схем (ИС) и методы пленочной технологии для металлизации, создания пассивных элементов и гибридных ИС. Повышение точности и качества изготовления элементов ИС является наиболее характерной тенденцией развития технологии микроэлектроники. Здесь используются такие процессы: как диффузия, эпитаксия, окисление и др., среди которых особо важное место занимают процессы конденсации тонкопленочных покрытий из молекулярных потоков в вакууме.

По способу создания молекулярных пучков веществ, превращенного в парообразное состояние, существующие методы подразделяются на вакуумно-термическое испарение и ионно-плазменное распыление (ИПР).

В настоящее время наблюдается тенденция к расширению применения ионно-плазменного оборудования и методов, использующих плазму как источник ионов, бомбардирующих мишень с целью ее распыления, что позволяет решить ряд важных задач, таких как:

- 1) повышение процента выхода годных изделий;
- 2) повышение качества выпускаемой продукции;
- 3) снижение трудоемкости и экономия материалов;
- 4) получение пленок стехиометрического состава;
- 5) получение пленок тугоплавких материалов.

Задачей данной работы является детальное рассмотрение триодной системы ИПР с целью изучения ее принципа конструирования, электрофизических характеристик.

2 Теоретическая часть

2.1 Плазма и ее свойства

Плазмой называется ионизованный газ, в котором атомы (все или их значительная часть) потеряли по одному или несколько принадлежащих им электронов и превратились в положительные ионы. В этом случае можно считать, что плазма представляет собой смесь трех компонент: свободные электроны, положительные ионы и нейтральные атомы или молекулы. Основное условие существования плазмы – равенство концентрации положительно n^+ и отрицательно n^- заряженных частиц (условие квазинейтральности).

Плазму называют четвертым состоянием вещества, поскольку ее свойства существенным образом отличаются от свойств трех других состояний, плазма это:

- естественное состояние вещества, нагретого до очень высокой температуры;
- динамическая система – объект приложения электромагнитных сил;
- самое распространенное состояние материи (звезды, северное сияние, ионосфера, радиационные пояса и. д.); в лабораторных условиях плазмой является электрический разряд;
- материальная среда, где взаимодействие частиц друг с другом обеспечивается электростатическими силами.

Электрические силы, связывая разноименные заряды в плазме, обеспечивают ее квазинейтральность. Всякое разделение зарядов приводит к возникновению электрических полей, стремящихся скомпенсировать возмущение. При высокой плотности плазмы (до 10^{15} ион·см⁻³) разделение зарядов в пределах объема 1 см³ вызвало бы напряженность электрического поля $E = 10^{11}$ В·см⁻¹, что привело бы к немедленному восстановлению квазинейтральности.

В плазме частицы одного знака экранируются частицами другого знака. При этом область существования сильного электрического поля вокруг заряженной частицы ограничена сферой с радиусом δ (называемым дебаевским радиусом экранирования):

$$\delta = \sqrt{\frac{k \cdot T}{4 \cdot \pi \cdot n_- \cdot e^2}} = 7430 \cdot \sqrt{\frac{T}{n_-}}; \quad (2.1)$$

где T – средняя температура равновесной плазмы, К;
 k – постоянная Больцмана;
 n_- – концентрация электронов в плазме, см⁻³;
 e – элементарный электрический заряд, Кл.

В общем случае в плазме различают электронную T_e и ионную T_i температуры, причем при малой или средней плотности плазмы газового разряда T_e значительно превосходит T_i , что обусловлено разницей масс электронов и ионов. Внешние источники электрического питания передают им тепловую энергию с коэффициентом, пропорциональным отношению масс. Поэтому в газовом разряде $T_e = 5-10$ эВ (50000 – 100000 К), а T_i не превышает 1эВ. Эта разница уменьшается с повышением концентрации плазмы, т.к. число столкновений растет пропорционально квадрату концентрации.

Одним из важнейших свойств плазмы является ее управляемость с помощью электрических и магнитных полей. Под действием магнитного поля плазма теряет изотропию и проявляет анизотропию проводимости вдоль и поперек магнитного поля. Заряженная частица в однородном магнитном поле движется по винтовой линии, независимо от исходных направления и скорости движения, пересекая одну и ту же силовую линию. Перемещение электронов и ионов поперек силовых линий магнитного поля возможно лишь благодаря диффузии, вызванной градиентом их концентрации и столкновениями частиц плазмы. Плазма, частицы которой оказываются как бы замороженными в силовые линии, повторяя их направление, называется

намагниченной. При этом, как правило, к намагниченному полю привязаны электроны, а ионы удерживаются в той же области пространства электрическим полем электронной компоненты плазмы.

Если в плазму ввести плоский электрод (зонд Легмюра) и подать на него отрицательный относительно плазмы потенциал, то вблизи электрода произойдет возмущение плазмы. На некотором расстоянии от электрода образуется граница плазмы, характеризующая тем, что в области между ней и электродом наблюдается поток ионов из плазмы и их ускорение. Эти ионы бомбардируют электрод и распыляют его поверхность. Вне границы плазма сохраняет свои свойства.

Плотность ионного тока, отбираемого на такой электрод (получивший название мишень в системах ионно – плазменной обработки), определяется уравнением:

$$j_i = 0,4 \cdot e \cdot n_+ \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot k \cdot T_e}{m_i}} = 8 \cdot 10^{-16} \cdot n_+ \cdot \sqrt{\frac{T_e}{M}} \quad (2.2)$$

где j_i – плотность ионного тока на мишень, $A \cdot m^{-2}$;

n_+ – концентрация ионов в плазме, m^{-3} ;

T_e – температура электронов в плазме, К;

M – молекулярный вес иона по отношению к водороду ($M=1$ для водорода).

Уравнение (2.2) показывает, что плотность тока не зависит от величины потенциала, приложенного к мишени, а зависит от свойств плазмы. Ток ионов является током насыщения, определяемой концентрацией плазмы, и для его изменения необходимо воздействовать на плазму, способ ее возбуждения и формирования.

2.2 Ионизация газов

В лабораторных и производственных условиях плазму возбуждают при электрическом разряде в разряженном газе.

Если в длинной стеклянной трубке с двумя плоскими электродами на концах (катод-анод) создать разряжение порядка $10^{-2} - 10^{-3}$ Па и медленно повышать разность потенциалов между электродами, можно обнаружить электрический ток в цепи порядка $10^{-12} - 10^{-6}$ А, появляющийся вследствие ионизации остаточного газа космическими частицами. Эта ионизация создает пары ион-электрон, электроны направляются на анод, а ионы – на катод; цепь замыкается и возникает темный разряд, нашедший применение в счетчиках космического излучения.

Если трубку заполнить газом при давлении порядка $10^1 - 10^2$ Па, то при прочих равных условиях ток возрастает настолько, что происходит превращение темного разряда в нормальный тлеющий разряд с характерным свечением междуэлектродного пространства. При этом существенную роль начинают играть процессы в пространстве анод- катод, способствующие

ионизации газа, что приводит к снижению падения потенциала между электродами и повышению тока в цепи. В интервале двух-трех порядков величины тока разряда ($10^{-5} - 10^{-2}$ А) наблюдается постоянное падение потенциала. Затем наступает резкое повышение напряжения и тока – это область аномального тлеющего разряда, когда увеличивается площадь катода, участвующая в разряде, и отрицательное свечение покрывает весь катод. Такой аномальный тлеющий разряд используют в диодных системах для интенсификации процессов, протекающих на катоде, и чтобы при напряжении 1 - 2 кВ получить плотность тока до $1 \text{ А} \cdot \text{см}^{-2}$.

При дальнейшем увеличении тока (порядка 1 А) зажигается третий вид самостоятельного разряда – дуга. Дуговой разряд широко используется в плазменных источниках заряженных частиц.

2.3 Ионно-плазменное распыление

Большинство газоразрядных распылительных систем работает при давлениях порядка 1 Па (10^{-2} мм рт.ст.). При таких относительно высоких давлениях процесс распыления недостаточно эффективен, т.к. ионы имеют большую вероятность передать свой заряд нейтральным атомам, которые имеют большую вероятность отразиться без процессов распыления. Это приводит к необходимости уменьшать давление газа и повышать напряжение разряда. Чтобы поддерживать разряд при меньших давлениях газа необходимо иметь дополнительный источник электронов для повышения эффективности ионизации газа.

Схема ионно-плазменного распыления в разряде, поддерживаемом термоэмиссией, приведена на рис. 2.1

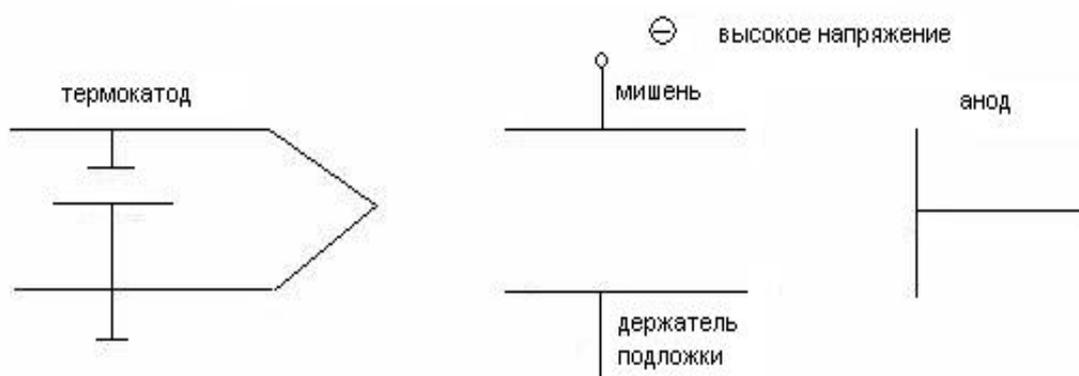


Рисунок 2.1 – Схема ионно-плазменного распыления

Принцип действия систем, использующих плазму как источник бомбардирующих поверхность ионов, основан на известном явлении ионного распыления. Метод ионного распыления заключается в выбивании атомов распыляемого материала в результате бомбардировки мишени

энергетическими ионами. При нанесении пленок методами ИПР используется взаимодействие энергетических ионов с твердым телом, в результате чего поверхностные атомы и молекулы распыляемого материала, который называется мишенью, переносятся на подложку. Процесс этот носит характер чисто физического распыления, если вероятность того, что бомбардирующий ион образует химические связи с атомами обрабатываемого материала, ничтожно мала. Для ИПР используют ионы инертных газов: *He, Ne, Ar, Kr, Xe*. Согласно современным представлениям считается, что в результате проникновения иона в твердое тело возникает каскад упругих столкновений смещенных атомов, при котором происходит обмен импульсом и энергией. Конечным результатом каскада столкновений является передача поверхностному атому энергии и импульса достаточной величины и необходимой направленности для преодоления сил связи атома в материале, в результате чего он распыляется.

Коэффициент распыления (КР) материалов S , определяемый как количество распыленных атомов, приходящихся на один бомбардирующий ион, является основным параметром, характеризующим распыляемость данного материала:

$$S = \frac{N_a}{N_i} = \frac{N_A \cdot \Delta m \cdot Z \cdot e}{A \cdot Q} = 96495 \frac{Z \cdot \Delta m}{A \cdot Q}, \quad (2.3)$$

где N_a - число распыляемых атомов мишени;

N_i - число бомбардирующих ионов;

N_A - число Авогадро, *атом · ион⁻¹*;

Δm - масса удаленных с поверхности атомов, *г*.

Z - краткость заряда ионов;

e - элементарный электрический заряд, *Кл*;

A - атомный вес материала, *г · моль⁻¹*;

Q - общий заряд ионов, пришедших на мишень, *Кл*,

$Q = I_i \cdot t$; I_i - ионный ток, *А*; t - время обработки, *с*.

Для большинства материалов КР находится в пределах $0.1 - 10 \text{ атом} \cdot \text{ион}^{-1}$. КР является многофакторной функцией и зависит от энергии бомбардирующего иона, его угла падения на распыляемую мишень, вида и массы иона и атома распыляемой мишени, состояния поверхности, давления рабочего газа в зоне распыления, вторичной электронной эмиссии мишени.

Практически установлено, что КР достигает максимального значения для данной комбинации ион-атом при энергии бомбардирующего иона до 1 кэВ ($1,6 \cdot 10^{-16} \text{ Дж}$), где зависимость носит линейный характер $S \sim E$, и при угле падения иона на мишень $55 - 70^\circ$.

Было отмечено, что КР уменьшается, когда давление рабочего газа превышает 1-2 Па. Это объясняется возвращением распыленных атомов на мишень из-за обратной диффузии низкоэнергетических атомов и обратного рассеяния высокоэнергетических атомов на атомах инертного газа.

2.4 Основные требования к оборудованию для ионно-плазменного распыления

Среди ряда требований, предъявляемых к установкам ИПР, использующим плазму в качестве инструмента при нанесении покрытий, можно выделить следующие основные требования:

- 1) высокая производительность установок;
- 2) равномерность толщины наносимых плёнок;
- 3) относительно высокий вакуум в зоне обработки;
- 4) способность вакуумной системы откачивать химически активные вещества (кислород, фреон и т.д.);
- 5) надежность, удобство эксплуатации, возможность автоматизации процессов.

Рассмотрим составные элементы отмеченных требований.

Производительность оборудования обычно рассчитывается в двух параметрах:

- 1) количество изделий, обрабатываемых в единицу времени ($\text{изделие} \cdot \text{ч}^{-1}$) – параметр, характеризующий возможность использования установки в данном технологическом процессе;
- 2) объем, осаждаемого в единицу времени вещества ($\text{нм} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-1}$) – параметр, имеющий физический смысл, определяющий валовый перенос вещества на все изделия в установке и характеризующий мощность используемого устройства ИПР.

Производительность установки зависит от её геометрии и формы, эффективности использования подводимой мощности и принятой системы транспортировки обрабатываемых изделий. Установки могут быть циклического непрерывного действия.

Первый тип характеризуется загрузкой партии изделий и их последующей обработкой.

В установках второго типа происходит непрерывная передача изделий через шлюзовые камеры. Кроме выигрыша в производительности (к.п. - использования рабочего времени в установках циклического действия составляет 10% и менее), непрерывность процесса существенно повышает качество обработки изделий.

Равномерность толщины наносимых пленок зависит от формы потока выбитых с мишени частиц. В большинстве установок ИПР равномерность обеспечивается перемещением изделий по сложным траекториям. В высокочастотных установках равномерность нанесения зависит от равномерности разряда, равномерности потока газа, питающего плазму и равномерности плазмы. Особенно важно поддерживать равномерность плазмы в тех системах, где изделия неподвижны при нанесении пленок.

Величина вакуума в зоне обработки зависит прежде всего от применяемой системы ИПР. Так, в системах с автономным ионным источником и в системах ИПР давление определяется только быстротой откачки и может варьироваться в широких пределах. В системах ИПР с

самостоятельным тлеющим разрядом определенное давление рабочего газа является основным условием поддержания разряда, что определяет ограничения по вакууму и связанные с этим такие недостатки, как загрязнение пленок и снижение производительности за счет обратной диффузии и обратного отражения распыленных частиц.

Вакуумная система должна обеспечивать откачку химически активных газов – новая проблема, касающаяся в первую очередь масел для диффузионных и форвакуумных насосов. Наиболее перспективно применение криогенной откачки, когда в вакуумный объем вводится охлаждаемая до сверхнизких температур поверхность. В этом случае обеспечивается откачка всех газов, исключая гелий.

Требование надежности предъявляются ко всем технологическим установкам, используемым в микроэлектронике. Установки ИПР легко поддаются автоматизации, т.к. плазменные и ионные потоки сами являются носителями информации (ионный ток, разрядный ток, доза облучения и т.д.) и могут быть запрограммированы.

2.5 Электрофизические параметры систем ионно-плазменного распыления

Производительность системы ИПР определяется количеством нанесенного на поверхность изделия распыленного с мишени материала в единицу времени и выражается формулой (2.4):

$$Q_H = K_u \cdot V_p \cdot F_m, \quad (2.4)$$

где Q_H - количество материала, наносимого на поверхность подложки в единицу времени, $нм \cdot м^2 \cdot с^{-1}$;

K_u - коэффициент использования распыленного с мишени материала ($K_u \leq 0,8$);

V_p - скорость распыления с единицы поверхности материала мишени, $нм \cdot с^{-1}$;

F_m - площадь мишени, $см^2$;

Скорость распыления V_p может быть определена по формуле (2.5):

$$V_p = 6,25 \cdot 10^{22} \cdot j_i \cdot S \cdot A \cdot N_A^{-1} \cdot \rho, \quad (2.5)$$

где j_i - плотность ионного тока на мишень, $мА \cdot см^{-2}$;

S - коэффициент распыления, $атом \cdot ион^{-1}$;

A - атомный вес распыляемого материала, $г \cdot моль^{-1}$;

N_A - число Авогадро, $атом \cdot моль^{-1}$;

ρ - плотность распыляемого материала, $г \cdot см^{-3}$.

Приведенные выражения показывают, что увеличение производительности системы ИПР связано прежде всего с увеличением плотности ионного тока на мишени, площади мишени и площади подложки.

В свою очередь плотность ионного тока j_i можно повысить, главным образом, за счет увеличения концентрации ионов в плазме (см. формулу (2.2)).

В устройствах ИПР эта задача решается:

- 1) применением тлеющего разряда с термокатодом;
- 2) повышением давления в области разряда при снижении давления в области напыления.

Кроме того, плотность плазмы над мишенью зависит от параметров разряда, в основном от тока разряда I_p , который, в свою очередь, связан с током накала катода и давлением рабочего газа в области разряда.

Исходя из зависимостей электрических параметров, выбирается оптимальный режим работы устройства ИПР при максимальной его экономичности, которая определяется величиной ионного тока мишени, приходящегося на единицу мощности, подводимой к устройству:

$$H = \frac{I_i}{W}. \quad (2.6)$$

Одним из основных требований, предъявляемых к устройствам ИПР при их разработке и конструировании, является обеспечение высокой газовой экономичности, определяющей эффективность использования рабочего газа. Газовая экономичность представляет собой отношение числа атомов рабочего газа, превращенных в ионы плазмы, к общему числу атомов рабочего газа, подводимого к устройству:

$$h = \frac{N_{Ar}^+}{N_{Ar}} = \frac{I_i \cdot 3600 \cdot 100}{e \cdot Q \cdot n_0}, \quad (2.7)$$

где h - газовая экономичность, %;

I_i - ионный ток на мишень, mA ;

e - заряд электрона, Кл;

Q - расход рабочего газа при нормальных условиях ($P = 1,02 \cdot 10^5 Pa$, $T = 273K$), $cm^3 \cdot ч^{-1}$;

n_0 - число молекул газа, содержащихся в $1 cm^3$ при нормальных условиях ($n_0 = 2,687 \cdot 10^{19}$ молекул $\cdot cm^{-3}$).

Бомбардирующий ион отдает энергию и импульс твердому телу, превращаясь при этом в нейтральную частицу, которую необходимо откачать из рабочей камеры. Следовательно, газовая экономичность определяет требуемые параметры вакуумной откачной системы и рабочее давление в камере в зоне нанесения пленки. Увеличение газовой среды, чему способствует:

- 1) рациональная конструкция разрядной камеры;
- 2) рациональная конструкция системы подачи газа в зону ионизации;
- 3) повышение давления газа в разрядной камере;
- 4) использование магнитного поля;

- 5) осцилляция электронов в разряде.

2.6 Контрольные вопросы

1. Какова схема ионно-плазменного распылительного устройства?
2. Какие Вы знаете методы стимулирования разряда?
3. Как уменьшить количество газа в пленке?
4. Как оценить начало травления материала?
5. Как рассчитать коэффициент распыления?
6. Какие газы рекомендуется подавать при травлении материалов?
7. Какая плотность тока необходима для начала травления?
8. Как зависит скорость травления от тока, от напряжения?
9. Какие материалы имеют высокий коэффициент распыления?
10. Каково назначение балластного сопротивления в цепи разряда?

3 Экспериментальная часть

3.1 Задание на работу

3.1.1. Ознакомление с конструкцией триодной системы ИПР.

3.1.2. Исходя из геометрических размеров катода и анализа уравнения Ричардсона-Дэшмана, подсчитать максимально допустимое значение тока накала и величину тока эмиссии катода при его рабочей температуре.

3.1.3. Изучить принцип работы потокомера, применяемого в данной работе.

3.1.4. Снять зависимости тока разряда от давления рабочего газа при различных значениях тока накала катода и постоянном напряжении разряда.

3.1.5. Снять зависимости тока разряда от напряжения разряда при различных давлениях рабочего газа и для принятой рабочей температуры.

3.1.6. Снять зависимости тока разряда от тока накала катода при различных давлениях рабочего газа и постоянном напряжении разряда.

3.1.7. Снять зависимости тока мишени от напряжения мишени при различных значениях тока разряда.

3.1.8. Снять зависимости расхода рабочего газа от давления в разрядной камере.

3.1.9. На основании полученных зависимостей определить оптимальный режим работы системы ИПР и подсчитать ее газовую экономичность.

3.2 Описание лабораторной установки

3.2.1 Устройство триодной системы ИПР

В лабораторной работе исследуются характеристики триодной распылительной системы, схема устройства которой приведена на рис. 3.1.

Катод K распылительной системы выполнен из трех вольфрамовых проволок диаметром 0,7 мм, длиной 160 мм, сложенных параллельно и свитых в спираль. Катод закреплен на водоохлаждаемых токоподводах, расположенных в медной водоохлаждаемой камере. Камера закрыта медной крышкой со щелевой диафрагмой, формирующей столб разряда прямоугольной формы. С одной стороны столба разряда расположена медная водоохлаждаемая мишень M , с другой – стеклянная подложка Π . Анод разрядной системы выполнен в виде диска из алюминия. Напуск рабочего газа аргона Ar производится непосредственно в область катода. На катодную камеру через сопротивление R подается напряжение от источника анодного питания $A2$. Такое включение электродов разрядной системы к источникам питания облегчает зажигание разряда. При горении разряда ток в цепи катодной камеры не превышает 0,2 А.

Регулятор накала катода расположен в правой стойке ВУП-4, а регулятор напряжения анода и напряжения мишени в нижней части левой стойки. Для включения блоков питания катода и мишени необходимо одновременно нажать кнопки $SB1$ и $SB2$ (ВЫПР и ИСП).

Триодная система ИПР смонтирована в рабочей камере откачного поста ВУП-4.

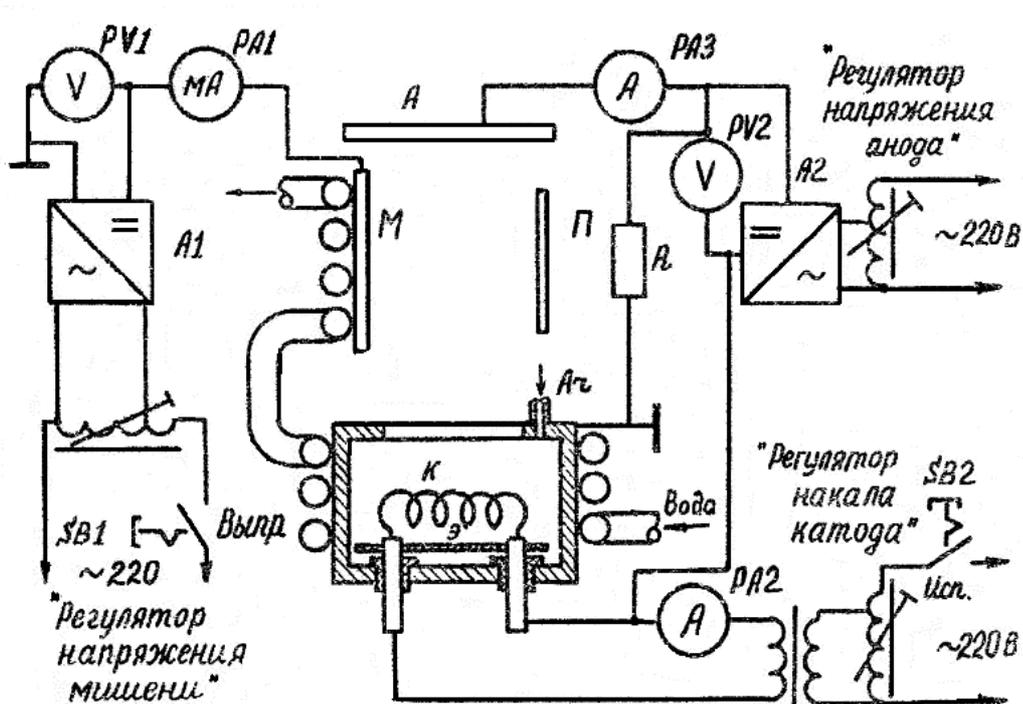


Рисунок 3.1 – Схема устройства триодной системы ИПР

3.2.2 Вакуумная система установки

Схема вакуумной системы откачного поста ВУП-4 приведена на рис.3.2.

Откачка камеры $C1$ может осуществляться механическим насосом 2НВР-5ДМ ($NL1$) и высоковакуумным диффузионным насосом Н-160/700 ($ND1$), имеющим скорость откачки $0,7 \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-1}$. В форвакуумную магистраль введен дроссель $DP1$, который совместно с манометрическими датчиками $PT3-PN6$ типа ПМТ-6 входит в состав потокомера. Потокомер проградуирован по аргону.

Органы управления насосами, электромагнитными клапанами $VE1$ и $VE2$, натекалем $VF1$ расположены в правой стойке поста ВУП-4. Там же расположен вакуумметр, к входу которого подключены манометрические преобразователи $PT2$ (ПТМ-2) и $PA2$ (ПМИ-2). Электрические блоки остальных вакуумметров и потокомера расположены в стойке ВМБС-1.

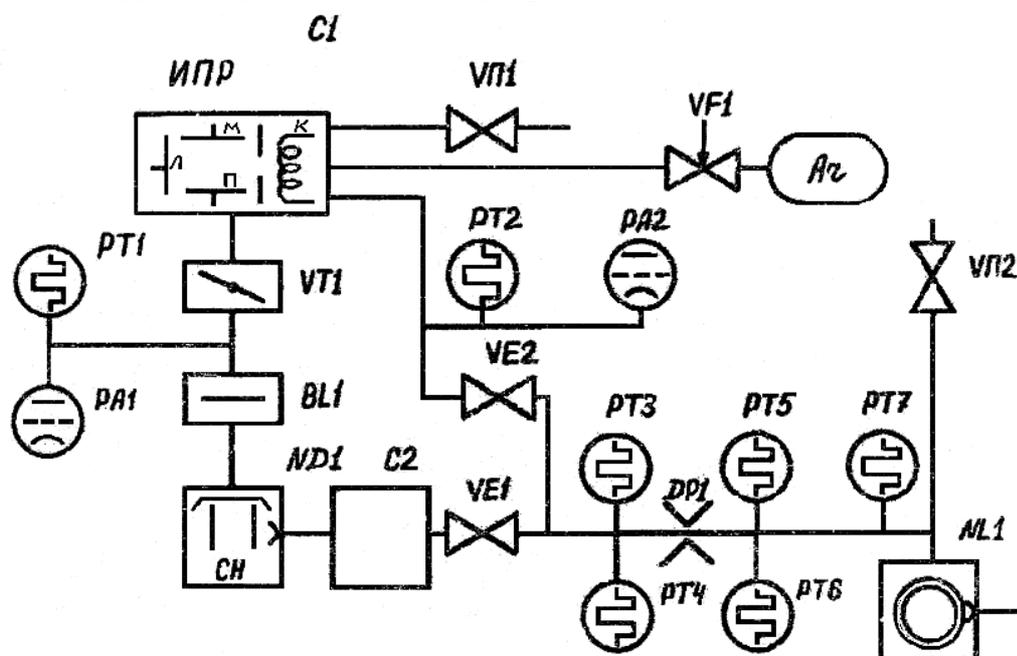


Рисунок 3.2 – Схема вакуумной системы установки

3.3 Порядок выполнения работы и методические указания

3.3.1. Для получения доступа к работе необходимо ответить на все поставленные вопросы.

3.3.2. Запустить вакуумную систему поста ВУП-4 и откачать объем рабочей камеры до предельного давления. Запуск вакуумной системы производится следующим образом. Проверить состояние клапана $VP2$ (см. рис.3.2). Клапан должен быть закрыт (клапан находится на задней стенке ВУП-4). Запустить насос 2НВР-5ДМ ($NL1$) нажатием кнопки ФН (форвакуумный насос). Включить вакуумметр ВИТ-1А в стойке ВМБС-1 и проверить работоспособность насоса $NL1$. У нормально работающего насоса

давление на входе его через 3-5 мин. После запуска должно быть не более 10 Па.

Откачать рабочую камеру $C1$ механическим насосом. Для этого открыть клапан $VE2$ путем нажатия кнопки ПВ (предварительный вакуум). После снижения давления в камере до 8-10 Па (по вакуумметру поста ВУП-4 с преобразователем $PT2$) приступить к запуску диффузионного насоса Н-160/700 ($ND1$). Для этого открыть клапан $VE1$ (тарельчатый клапан $VT1$ должен быть закрыт) нажатием кнопки ВВ (высокий вакуум). Электрическая схема управления клапанами сначала закроет клапан $VE2$, а затем через 1-2 с. откроет клапан $VE1$. Когда давление $ND1$ достигнет 6-10 Па (по вакуумметру ВИТ-1А стойки ВМБС-1), подать воду в систему охлаждения насоса и электродов устройства ИПР. Затем включить нагреватель насоса $ND1$ нажатием кнопки ДН (диффузионный насос).

После выхода насоса $ND1$ на рабочий режим (через 50-80 мин.) (контроль ведется по показателям вакуумметра ВИТ-1А). Выключить катод манометрического преобразователя $PA1$ и, если давление в камере $C1$ не более 20 Па, открыть клапан $VT1$. Когда давление на входе насоса $ND1$ вновь станет меньше $1 \cdot 10^{-1}$ Па, включить катод преобразователя $PT1$. После этого включить электрический блок потокомера и вращением ручки УСТАНОВКА НУЛЯ вывести стрелку показывающего прибора потокомера на нулевое деление.

Когда в вакуумном объеме $C1$ будет достигнут предельный вакуум, необходимо произвести корректировку нуля показывающего прибора потокомера и приступить к выполнению экспериментов, предусмотренных заданием.

При использовании характеристик триодной распылительной системы давление в объеме поддерживать в пределах $(4 - 9,8) \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст. (вакуумметр поста ВУП-4 проградуирован в миллиметрах ртутного столба). Ток накала катода не должен превышать 80-90 А, а ток анода – 3 А. Напряжение, подаваемое на мишень, изменять в пределах 200-2000 В.

Перед подачей напряжения на катод ИПР установить в камере $C1$ максимальное давление аргона ($9,8 \cdot 10^{-4}$ мм рт.ст.) посредством натекателя $VF1$.

Эксперимент следует начинать со снятия зависимостей тока разряда от давления рабочего газа при различных значениях тока накала и напряжения на аноде. Одновременно определяется зависимость расхода рабочего газа от давления в разрядной камере. При построении данной зависимости следует пользоваться градуировочной кривой потокомера, приведенной на рис.3.3.

3.3.3. Остановка вакуумной системы поста ВУП-4 производится следующим образом.

Закрывать натекатель $VF1$ и выключить ионизационные вакуумметры (катоды ламп ПМИ-2). Выключить питание электродов ИПР. Закрыть клапан $VT1$ и отключить нагреватель насоса $ND1$ кнопкой ДН. Для ускорения охлаждения насоса включить вентилятор, находящийся внутри корпуса установки. Через 30-40 мин закрыть клапан $VE1$ нажатием кнопки ОТКЛ.

(отключено). Выключить термомпарные вакуумметры и остановить механический насос. Открыть на 1-3 с. клапан *VII2* и вновь его закрыть. Перекрыть воду в системе охлаждения установки. Выключить вентилятор и отключить установку отжатием кнопки СЕТЬ.

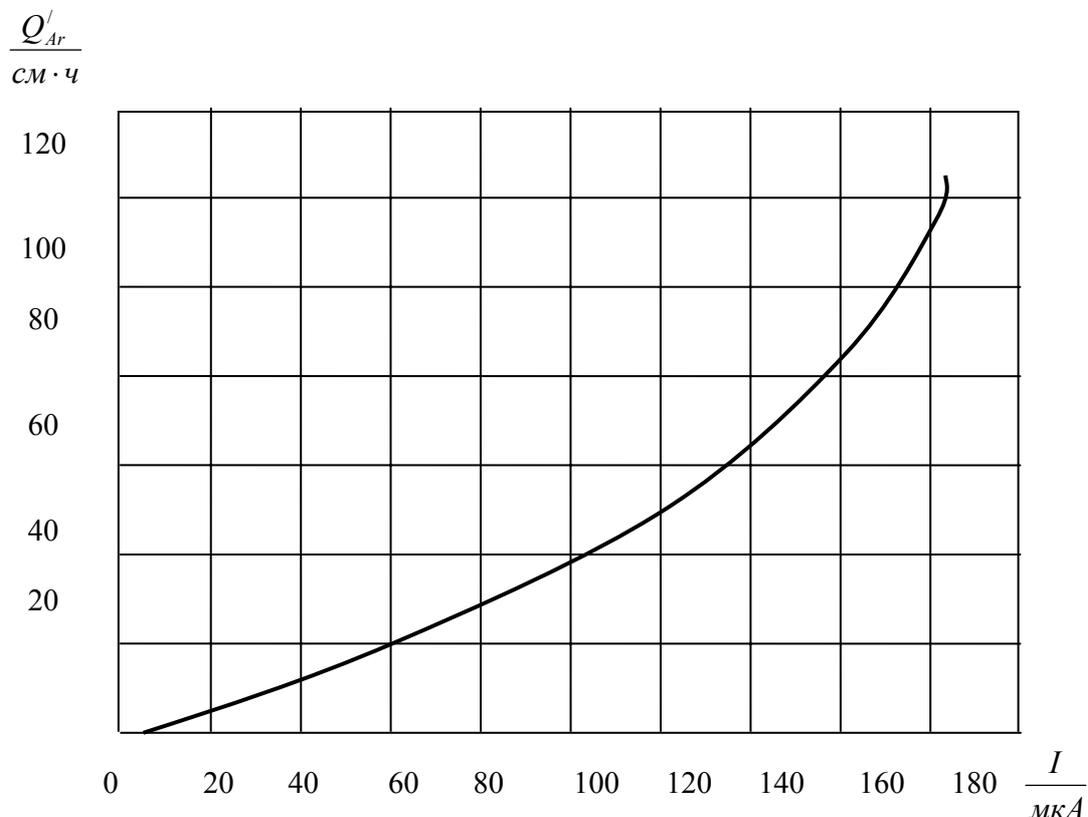


Рисунок 3.3 – Градуировочная кривая потокомера

3.4 Содержание отчета

3.4.1. При составлении отчета необходимо руководствоваться общими требованиями и правилами оформления отчета о лабораторной работе.

3.4.2. В соответствующих разделах отчета необходимо представить:

- 1) задание;
- 2) схему устройства ИПР;
- 3) схему вакуумной системы поста ВУП-4;
- 4) таблицы экспериментальных данных;
- 5) результаты расчетов, предусмотренных заданием;
- 6) выводы.

При составлении вакуумной схемы следует руководствоваться правилами выполнения принципиальных вакуумных схем, регламентируемых ГОСТ.

Рекомендуемая литература

1. Барыбин А.А. Электроника и микроэлектроника. Физико-технологические основы: учебное пособие для вузов / А. А. Барыбин - М.: Физматлит, 2006. – 423 с.

2. Данилина Т.И., Смирнова К.И., Илюшин В.А., Величко А.А. Процессы микро - и нанотехнологий. Томск, 2005, 400 с.

3. Данилина Т.И. Технология СБИС : учебное пособие / Т. И. Данилина, В. А. Кагадей ; Федеральное агентство по образованию, Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, - Томск : ТУСУР, 2007. - 287 с.

4. Готра З.Ю. Технология микроэлектронных устройств: Справочник. – М.: Радио и связь, 1991. – 525 с. ISBN 5-03-003432-3

Учебное пособие

Орликов Л.Н.

Исследование процесса ионно-плазменного распыления материалов

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Технология материалов и изделий электронной техники»

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