Министерство образования Республики Беларусь Учреждение образования

Белорусский Государственный Университет Информатики и Радиоэлектроники

Кафедра электронной техники и технологии

Дисциплина: Программно-управляемое технологическое оборудование

Лабораторная работа №4

“Торцевой холловский ускоритель”

Выполнили: Проверил:

Студенты гр. 610202 Телеш Е.В.

Славинский А.С.

Крушинский Д.Д.

Шестаков В.Г.

Коноплич М.Ю

Муртузалиев И.А.

Сабастьян В.Ю.

Минск 2019

**Цель работы:** изучение конструкции и принципа работы ионного источника на базе торцевого холловского ускорителя, ознакомление с технологическим оборудованием, проведение процесса модификации поверхности полимеров ионными пучками активных газов.

# Краткие теоретические сведения

Устройства для получения пучков ионов называются автономными ионными источниками. Так как в газоразрядной плазме содержится много свободных ионов, то наиболее перспективный способ генерации ионных потоков основан на извлечении ионов из плазмы. Основной функцией ионного источника является сообщение нейтральным атомам и молекулам вещества такого количества энергии, какого было бы достаточно для их ионизации. Чаще всего ионизация осуществляется электронным ударом по атому. Свободные электроны появляются либо из накаливаемого термокатода, либо из остаточного и рабочего газов, где они генерируются за счет воздействия естественных ионизирующих излучений. В результате произошедшей ионизации в источнике устанавливается определенная концентрация заряженных частиц, их вытягивание и формирование в пучок требуемого сечения является назначением ионнооптической системы. Различают источники с накаленным и холодным катодом, источники с ВЧ- разрядом. Конструктивное исполнение источника зависит от системы экстракции и формирования ионного пучка. Известны источники с аксиальным или поперечным (относительно направления магнитного поля) выводом, причем выходной пучок может быть цилиндрическим или ленточным. В технологических приложениях широко используются многопучковые источники, формирующие однородные ионные пучки с поперечными размерами до нескольких десятков сантиметров.

Основными конструктивными элементами плазменных источников ионов являются:

* разрядная камера;
* катодный узел;
* ионно-оптическая система формирования пучка;
* магнитная система (в источниках с магнитным полем);
* система подачи рабочего вещества;
* вакуумная система;
* система электропитания;
* система контроля и управления.

Ионный поток можно охарактеризовать следующими основными параметрами:

* общим током пучка, максимальное значение которого определяется

«яркостью» источника; обычно яркость ионных источников значительно меньше, чем электронных, и не превышает 100 А/(ср·м2);

* однородностью ионного потока, определяемой составом пучка по массе и зарядности ионов; состав оценивается или в процентах, или значением тока для каждого типа ионов;
* распределением ионов по энергиям (моноэнергетичностью) относительно среднего значения; это распределение зависит от типа источника и режима его работы;
* стабильностью тока, позволяющей использовать ионный поток для технологических целей; количественно нестабильность оценивают степенью модуляции;
* расходимостью пучка, определяемой системой формирования ионного потока и направленного пучка и зависящей от режима работы источника.

В настоящее время разработано и эксплуатируется большое число источников различных типов. Для процессов нанесения и травления тонких пленок наибольшее распространение получили сеточные ионные источники, называемые также источниками Кауфмана. В таком источнике разряд локализуется между стенками анодного цилиндра, термокатодом и системой экстракции (рисунок 1). Осцилляция электронов в продольном магнитном поле и электрическом поле, образованном системой электродов, приводит к увеличению эффективности ионизации рабочего газа. Отличительной особенностью конструкции источника является наличие двух- или трехэлектродной многоапертурной ионно-оптической системы (ИОС), предназначенной для экстракции и формирования ионного потока, состоящего из множества (до 1000) отдельных пучков.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 1 - Многолучевой источник Кауфмана: 1 – термокатод; 2 – экран катода; 3 – цилиндрический анод; 4 – соленоид;  5 – ввод рабочего газа; 6 –плазма; 7 – экстрагирующий  электрод; 8 – ускоряющий электрод; 9 – замедляющий электрод, 10 – ионный пучок |

ИОС представляет собой две или три сетки с отверстиями одинакового диаметра. Число отверстий соответствует числу ионных пучков. Сетки имеют вид плоских или выгнутых в сторону разряда тонких металлических или графитовых дисков. Каждая из сеток (экстрагирующая, ускоряющая, замедляющая) имеет определенный потенциал. Экстрагирующая сетка находится под высоким (до 8 кВ) отрицательным потенциалом, замедляющая сетка – под нулевым потенциалом (заземлена). Преимуществами таких источников являются низкое напряжение разряда (~20 В), что уменьшает степень распыления стенок камеры, моноэнергетичность ионного пучка, высокий КПД, низкое рабочее давление.

К недостаткам можно отнести использование термокатода, что ограничивает срок службы источника и не позволяет работать с химически активными рабочими веществами, сложность конструкции, использование многих блоков питания.

В технологии нанесения и травления тонкопленочных покрытий, очистки и модификации поверхности наибольшее распространение получили источники, в которых ионы образуются и ускоряются в скрещенных электрическом и магнитном полях. Преимуществом таких источников на основе плазменных ускорителей является совмещение областей образования и ускорения ионов. В этих устройствах (рисунок 2) ионизация газа производится встречным потоком электронов, замагниченных в поперечном магнитном поле, ускорение ионов происходит без нарушения квазинейтральности плазмы в зоне разряда, что снимает ограничения на плотность отбираемого ионного тока.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 2 - Источник ионов с холловским током Библиотека |

Ток ионного пучка может изменяться от единиц миллиампер до единиц ампер при энергии ионов до 3 кэВ. Источник имеет магнитную систему, которая создает магнитное поле между внутренним и внешним полюсами магнитопровода. После подачи положительного потенциала на анод между ним и катодом формируется область со скрещенными аксиальным электрическим и радиальным магнитным полями, что способствует возникновению электрического разряда. В этом случае электроны дрейфуют в азимутальном направлении по замкнутым траекториям, многократно ионизуя атомы рабочего газа и постепенно диффундируя к аноду. Образовавшиеся ионы ускоряются сильным электрическим полем и покидают ионный источник через щель ускоряющего канала. Средняя энергия ионов в ионном источнике с анодным слоем составляет примерно 0,5–0,6 от величины анодного напряжения.

Ионные источники на основе УАС имеют простую конструкцию, долговечны (отсутствует термокатод), позволяют осуществлять фокусировку ионного пучка изменением формы полюсов магнитопровода, что позволит распылять мишени малых габаритов. При использовании постоянных магнитов для создания магнитного поля требуется только один блок питания для создания ускоряющего напряжения. Можно использовать как аксиальные (цилиндрические), так и протяженные (линейные) конструкции источников на основе УАС. К недостаткам источников относятся возможность распыления стенок ускорительного канала, высокое минимальное значение энергии ионов (около 200 эВ) и незначительный ионный ток в диапазоне энергий до 1 кВ, отсутствие независимого контроля тока и энергии ионов.

Видоизменение разрядной области УАС, при котором ускорительный канал ориентируется не параллельно оси устройства, а под некоторым углом к нему позволяет устранить недостатки УАС. При этом сторона анода,

формирующая направление ускорения ионов, вырождается в поверхность конической формы, а внутренние полюсные наконечники смещены внутрь устройства таким образом, что формируемое магнитное поле имеет значительную осевую составляющую и параллельно рабочей поверхности анода. Подобная схема источника реализована в торцевом холловском

ускорителе (ТХУ) (рисунок 3).

Конструкция и принцип действия торцевого холловского ускорителя изображены на рисунке 4.

Нейтральные атомы или молекулы рабочего газа подаются в ионный источник через отверстия в газораспределителе 5. Быстрые электроны 9 от термокатода 1 следуют вдоль магнитных силовых линий 11 в обратном потоку направлении в область разряда, охваченную анодом 6, бомбардируя атомы или молекулы в этой области. Некоторые такие соударения создают ионы 10. Смесь электронов и ионов в области разряда образует проводящий газ или плазму. Поскольку плотность нейтральных атомов или молекул уменьшается от анода к катоду, то большинство ионизирующих столкновений происходит в области, охваченной анодом.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 3 - Ионный источник типа ТХУ |

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 4 - Конструкция ионного источника на базе ТХУ: 1 – термокатод; 2 – магнитопровод; 3 – корпус источника; 4 – центральный магнитопровод; 5 – газораспределитель; 6 – анод; 7 – держатель анода; 8 – изолированный контакт термокатода; 9 – электроны; 10 – ионы; 11 – магнитные силовые  линии; 12 – магнитная система |

**Модификация поверхности полимерных материалов:** Как правило, полимерные материалы характеризуются низкими значениями поверхностной энергии, плохо смачиваются растворителями, плохо

склеиваются, имеют низкую адгезию к нанесенным тонкопленочным слоям. Для улучшения смачивания и адгезии применяются различные методы модификации поверхности полимеров.

Одним из наиболее перспективных и современных методов модификации поверхности полимеров является воздействие низкотемпературной плазмы, которое позволяет изменить свойства поверхностей этих материалов в широких пределах и значительно расширить области их использования. Экологически чистые современные плазмохимические методы значительно выигрывают по сравнению с химической модификацией, при которой используются вредные химические реагенты. Наиболее важной особенностью процесса плазмохимической модификации полимерных материалов, определяющей особый интерес к этому методу, является то, что изменениям подвергается только обрабатываемая поверхность материала и очень тонкий приповерхностный слой, толщина которого по разным оценкам составляет от 100 ангстрем до нескольких микрон. Основная же масса полимера не изменяется, сохраняя механические, физико-химические и электрофизические свойства модифицируемого материала. Воздействие плазмы на поверхность полимера позволяет изменять в основном его контактные свойства (смачивание, адгезию к тонким пленкам, способность к склеиванию, адгезию используемых при печати красителей и т. п.). Как правило, улучшение адгезионных свойств полимеров под воздействием плазмы связано не только с очисткой поверхности от различного рода загрязнений, но и с образованием гидрофильных групп различной химической природы, обеспечивающих высокие адгезионные свойства модифицированных поверхностей. Состав, структура и свойства таких полярных групп зависят как от природы полимера, так и от свойств плазмы и природы плазмообразующего газа. Если в качестве рабочего газа плазмы используется кислород или воздух, то на поверхности полимера образуются кислородсодержащие полярные группы (карбонильные, карбоксильные, эфирные и т. п.). Воздействие разряда в атмосфере инертных газов приводит к образованию активных свободных радикалов, которые на воздухе превращаются в гидроперекисные и перекисные, а затем – в стабильные кислородсодержащие полярные группы.

# Описание лабораторной установки

Лабораторная работа проводится на модернизированной вакуумной установке ВУ-1А (рисунок 5). Она оснащена пластинчато-роторным насосом, насосом Рутса со скоростью откачки 50 л/c, паромасляным диффузионным насосом со скоростью откачки 1500 л/с. В камере может быть смонтирован четырехпозиционный вращающийся либо нагреваемый неподвижный подложкодержатель.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 5 – Внешний вид вакуумной установки ВУ-1А |

Установка оснащена ионным источником на основе торцевого холловского ускорителя. В ионный источник рабочие газы подаются с применением игольчатых натекателей. Давление в рабочей камере контролируется вакуумметром ВИТ-2. В качестве рабочих газов используются аргон высшей очистки, кислород, азот. Упрощенная схема подколпачного устройства приведена на рисунке 6.

|  |
| --- |
|  |
| Рисунок 6 - Схема подколпачного устройства: 1 – вакуумная камера; 2 – ионный источник; 3 – зонд-коллектор; 4 – подложкодержатель  с подогревом; 5 – трансформатор питания подложкодержателя; 6 – газовые натекатели |

Для подачи напряжения на соленоид используется источник питания ВС-24м. Источник питания ИП-50 используется для подачи напряжения на термокатод. А с помощью источника питания ИП-250/10 подается напряжение на анод.

# Экспериментальная часть

1. Совместно с преподавателем закрепили на подложкодержателе под- ложку из поликарбоната, закрыли камеру и осуществили процесс откачки вакуумной камеры до остаточного давления 5\*10–5 мм рт. ст.
2. Включили источники питания ВС-24м, ИП-50 и ИП-250/10.
3. На источнике ВС-24м установили ток соленоида, равный 1 А.
4. На источнике ИП-50 установили ток эмиттера электронов 12А.
5. Изменяя напряжение на аноде поворотом ручки «Регулировка выхода» на источнике питания ИП-250/10, снять зависимость( таблица 1 и рисунок 7) тока разряда от напряжения на аноде *Ip= f (Ua).*

Таблица 1 – зависимость тока разряда от напряжения на аноде *Ip= f (Ua)*



3,5

3

2,5

2

1,5

1

0,5

0

40

45

50

55

60

65

70

*Ua*

*Ip*

|  |  |
| --- | --- |
| Ток разряда,  *Ip* (А) | Анодное напряжение,  *Ua* (В) |
| 0,5 | 40 |
| 1,0 | 45 |
| 1,5 | 50 |
| 2,0 | 55 |
| 2,5 | 63 |
| 3,0 | 70 |

Рисунок 7 - зависимость тока разряда от напряжения на аноде *Ip= f (Ua)*

1. Провели процесс модификации поверхности поликарбоната в течение 5 минут при напряжении 63 В и токе 2 А.
2. Извлекли подложку из камеры, нанесли на ее поверхность каплю дистиллированной воды (рисунок 8 а) ) и визуально оценили угол смачи- вания, который приблизительно равен *1*⁰.
3. Также оценили угол смачивания необработанной подложки поликарбоната (рисунок 8 б) ), который оказался равен приблизительно *31*⁰.

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| а) | б) |
| Рисунок 8 – Углы смачивания а) обработанной и  б) необработанной подложек поликорбаната | |

# Выводы:

1. Теоретически ознакомились с конструкциями торцевых холловских ускорителей, а также с процессом модификации поверхности полимеров ионными пучками активных газов.

2 Практически провели процесс модификации поверхности подложки из поликарбоната, тем самым закрепив полученные теоретические сведения.