

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ «НОВОСИБИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ».

Физический факультет

Кафедра общей физики

Насыров Ильяс Акрамович

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Исследование зависимости ионного тока тлеющего разряда в аргоне и
парах этанола от разрядного напряжения**

Практикум электричества и магнетизма, 2 курс, группа № 18306

Научный руководитель:

к. ф. -м. н. Золкин А. С.
Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Главный советник:

Чепкасов С. Ю.

Преподаватель практикума

к. ф. –м. н. Рева В. Б.
Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. Астрелин В.Т.
Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск, 2019 г.

Аннотация

Целью работы являлось изучение зависимости ионного тока от напряжения тлеющего разряда. Для этой цели была использована газоразрядная трубка с сетчатым катодом, в которую поступал исследуемый газ (Ar, пары C_2H_5OH). При заданных условиях в рабочем объеме наблюдался тлеющий разряд. Поток ионов регистрировался при помощи цилиндра Фарадея. Ток вычислялся через падение напряжения на известном сопротивлении. На основании полученных данных построены зависимости ионного тока от напряжения тлеющего разряда, сделаны выводы о плотности тока, которые могут использоваться для напыления пленок. Предложены некоторые объяснения получившихся результатов.

1. ВВЕДЕНИЕ	1
2. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ:	2
3. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ:.....	4
3.1 МЕТОДИКА ИЗМЕРЕНИЯ:	4
3.2 ОСОБЕННОСТИ УСТАНОВКИ.....	5
4. РЕЗУЛЬТАТЫ:.....	6
5. ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ:	10
6. ПОГРЕШНОСТЬ:	12
7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ:	13
8. ЛИТЕРАТУРА:	13
9. ПРИЛОЖЕНИЕ:	15

1. Введение

Газовый разряд - это совокупность сложных явлений в газе, возникающих при протекании тока в нем. Газ, при нормальных условиях, является диэлектриком, так как концентрация заряженных частиц в нем пренебрежимо мала, поэтому для протекания тока в газе требуются источники ионизации. В связи с чем разряды разделяют на два типа – несамостоятельные, требующие внешнего источника ионизации для поддержания разряда, и самостоятельные, которые являются самоподдерживающимися. Тлеющий разряд, как один из видов самостоятельного разряда, является относительно стационарным. Самое распространенное его применение – газоразрядная лампа. Однако данное явление может также применяться для обработки материалов[1], в масс-спектрометрии[2], создании лазерных источников[2]. В данной работе измеряются параметры источника ионов, основанного на тлеющем разряде, полученные данные могут быть применены для напыления аморфных, гидрогенизированных углеродистых СН пленок. Одна из разновидностей таких покрытий – алмазоподобные покрытия (АПП), которые нашли область приложения в различных областях в качестве защитных покрытий - защита от коррозии деталей[3], биосовместимые покрытия, предотвращающие износ имплантах[4-5].

Целью работы является исследование ионного тока тлеющего разряда в аргоне и парах этанола как функции напряжения разряда при различных расстояниях между коллектором ионов и катодом. Для достижения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи:

- 1) Ознакомиться с теорией тлеющего разряда.
- 2) Изучить особенности устройства экспериментальной установки.
- 3) Снять зависимости ионного тока от напряжения разряда при различных давлении, напряжении источника и расстоянии от катода до коллектора ионов.
- 4) На основании полученных данных построить соответствующие зависимости и вычислить плотности токов.
- 5) Проанализировать результаты измерений.

2. Теоретическая часть:

Рассмотрим режимы протекания тока в зависимости от напряжения на примере установки, изображенной на рис. 1. При подаче малого напряжения на электроды ток будет линейно изменяться (участок АВ, рис.2) до тех пор пока не наступит насыщение – состояние, при котором на электродах соберутся все заряды, созданные внешним ионизатором. На участке насыщения ток остается постоянным при увеличении напряжения (участок ВС, рис 2). Далее за счет увеличения разницы потенциалов в промежутке электроду будет сообщаться энергия достаточной для столкновительной ионизации, то есть появления новых ионов за счет сообщения молекулам

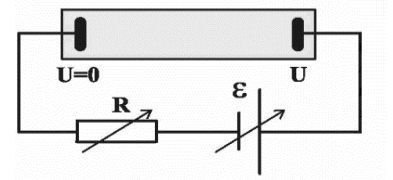


Рисунок 2. Газоразрядная трубка[6]

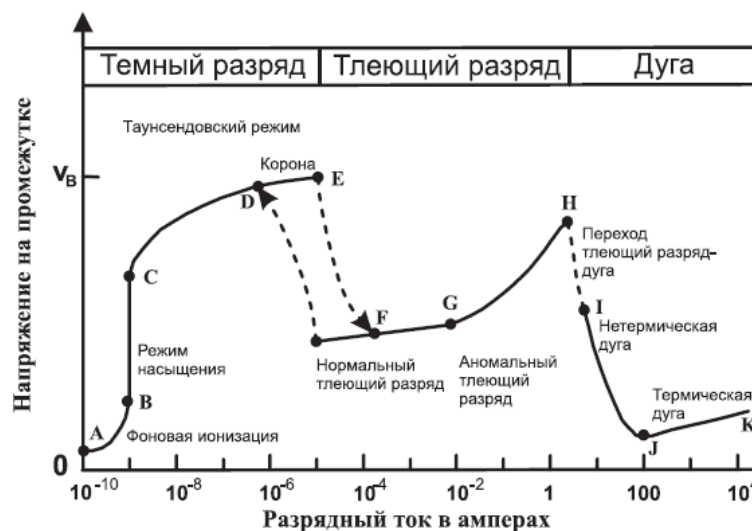


Рисунок 1. ВАХ газового разряда постоянного тока[6]

газа энергии ионизации, которая в свою очередь зависит от самого газа. Тогда начинают появляться электронные лавины и по прошествии некоторого времени установится стационарный темный таунсендовский разряд. Стандартное состояние проводимости в разрядном промежутке поддерживается, если каждый вышедший из катода электрон, двигаясь к аноду, производит столько актов ионизации и возбуждения молекул, что под действием образованных им ионов и фотонов из катода выходит один электрон. Таунсендовскому разряду свойственны линейная зависимость потенциала от расстояния и отсутствие искажений поля пространственным зарядом. При дальнейшем увеличении напряжения происходит переход (участок EF, рис.2), во время которого состояние разряда не устойчиво. При больших токах начинается тлеющий разряд в нормальном режиме (участок FG, рис.2). Ему свойственны некоторые особенности: наличие

значительного положительного заряда в промежутке. Однако само условие существования разряда аналогично таунсендовскому – условие стационарности также выполняется, но в данном случае промежутком является прилежащее к катоду пространство, на которое приходится наибольшее падение напряжения. Вблизи катода располагается астоново темное пространство (1, рис.2), в котором практически отсутствует свечение, так как электроны, выбитые с катода, имеют энергию недостаточную для возбуждения атомов газа. Далее расположен катодный



Рисунок 3. Представление тлеющего разряда в газе при низком давлении[7]

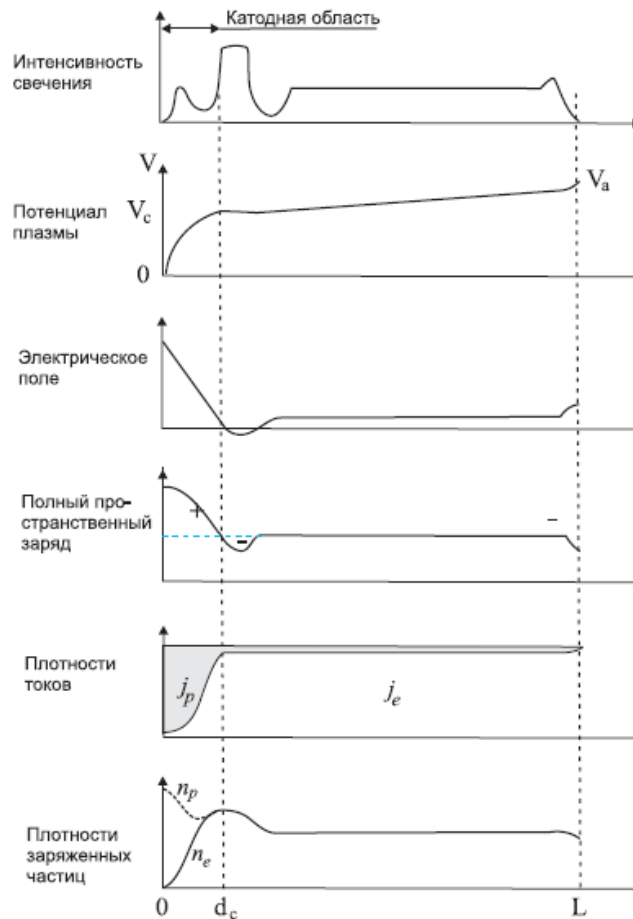


Рисунок 4. Типичные зависимости основных характеристик тлеющего разряда от расстояния от катода[6]

слой (2, рис.2), где происходит возбуждение атомов и молекул, которые, возвращаясь в нормальное состояние, испускают фотоны. За ним следует

темное катодное пространство (3, рис.2), в котором начинается ионизация газа и нарастание лавин, ионы, возникшие в данной области, играют важную роль в поддержании эмиссии электронов с катода. После темного катодного пространства следует область отрицательного свечения (4, рис.3), которая представляет собой квазинейтральный ионизированный газ – плазму отрицательного свечения, со специфическими свойствами, для которой электронный пучок представляет собой как бы внешний, основной источник ионизации, в данной области потенциал минимален, так как там находится избыток отрицательного заряда. Со стороны катода свечение обусловлено атомами, возбужденными быстрыми электронами, а со стороны анода – рекомбинацией. Фарадеево темное пространство (5, рис.3) является зоной перехода между отрицательным свечением и положительным столбом (6, рис.3), в данной области потенциал возрастает до значения потенциала в положительном столбе, который в свою очередь является низкотемпературной плазмой с почти хаотическим движением заряженных частиц. Этот участок обладает большой проводимостью, однако не влияет на существование разряда [6, 7, 9].

3. Экспериментальная часть:

3.1 Методика измерения:

В данной работе для исследования ионного тока в тлеющем разряде сначала производится откачка рабочего объема форвакуумным насосом. Потом при помощи игольчатого натекавателя (2, рис.5) выставляется нужное давление изучаемого газа, устанавливается нужное расстояние движением магнита (9, рис.5) вдоль муфты. Затем выставляется напряжение 1500 В и записываются показания вольтметра (4, рис.5), подключенного параллельно балластному сопротивлению, и вольтметра, включенного параллельно с сопротивлением 1кОм и конденсатором, предназначенного для стабилизации сигнала, с шагом 100 В, после того, как ионный ток перестает фиксироваться

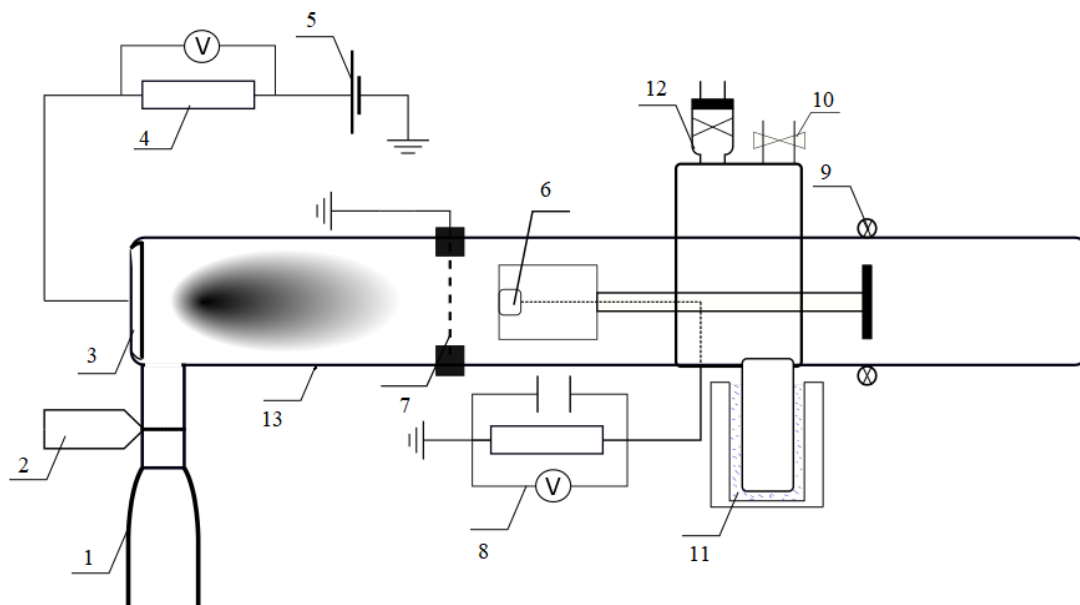


Рисунок 5. Экспериментальная установка: 1 – баллон с исследуемым газом; 2 – игольчатый напекатель; 3 – анод; 4 – балластное сопротивление (25,86 кОм); 5 – источник постоянного напряжения; 6 – коллектор ионов (цилиндр Фарадея); 7 – сетчатый катод; 8 – вольтметр для регистрации ионного тока; 9 – тороидальный магнит для изменения расстояния между коллектором и катодом; 10 – клапан откачки; 11 – азотная ловушка; 12 – термопарная лампа; 13 – кварцевая трубка

вольтметром (8, рис.5), расстояние изменяется на 3 см и заново выставляется напряжение 1500 В.

3.2 Особенности установки

В данной работе особый интерес представляет собой катод, так как он выполнен в качестве сетки, которая только частично «захватывает» ионы, степень ее прозрачности для потока ионов составляет 70%, поэтому когда речь идет о разрядном токе, то имеется в виду ток, создаваемый ионами, прилетевшими на катод.

Коллектор ионов:

Цилиндр Фарадея (рис. 6) – устройство для определения электрического заряда и интенсивности пучка частиц. Он представляет собой два цилиндра – один внешний – заземленный проводник, и внутренний, предназначенный для регистрации заряженных частиц, длина которого берется достаточно большой для того, чтобы электроны, которые могут быть выбиты ионами с внутреннего цилиндра оседали на стенки и не искажали значения измеряемых величин.

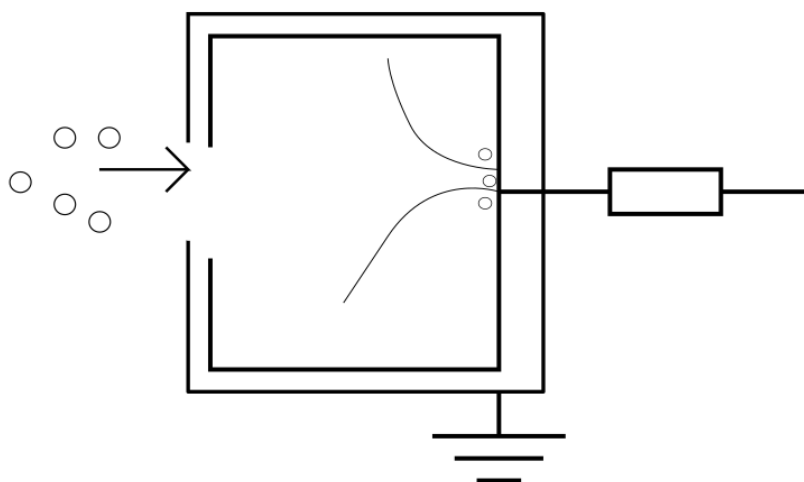


Рисунок 6. Схематическое представление цилиндра Фарадея

4. Результаты:

На основе полученных данных были построены зависимости ионного тока от разрядного напряжения в Ag и парах C_2H_5OH при давлениях 0.08-0.036 Торр и расстояниях 0.5-12.5 см, напряжении источника 500-1500 В.

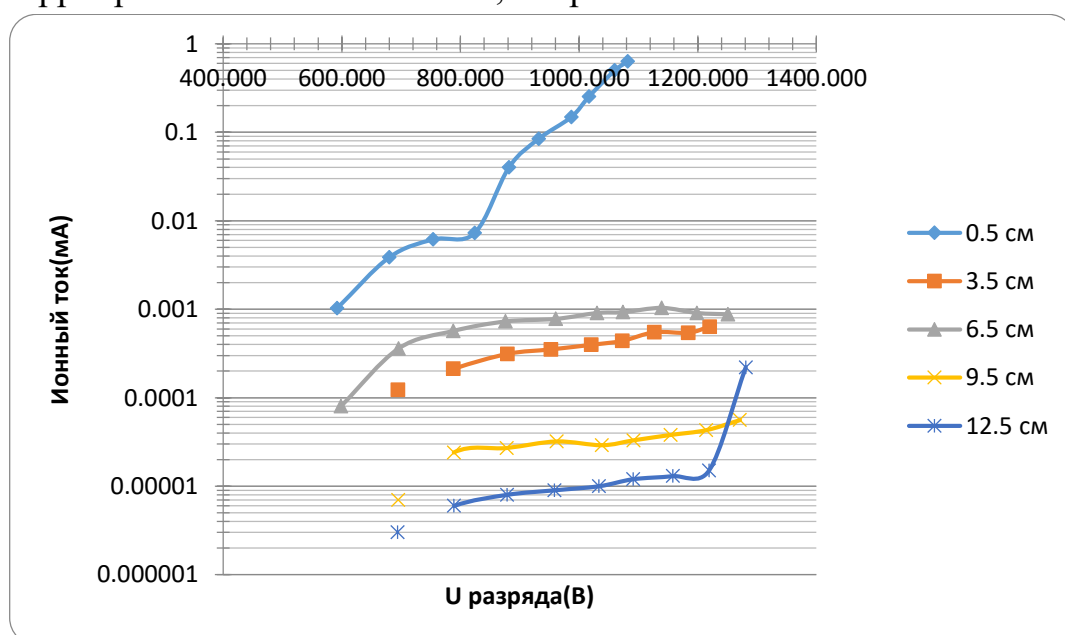


Рисунок 7. Зависимость ионного тока от разрядного напряжения в парах этанола при $P=0.08$ Торр, и различных расстояниях (логарифмическая шкала)

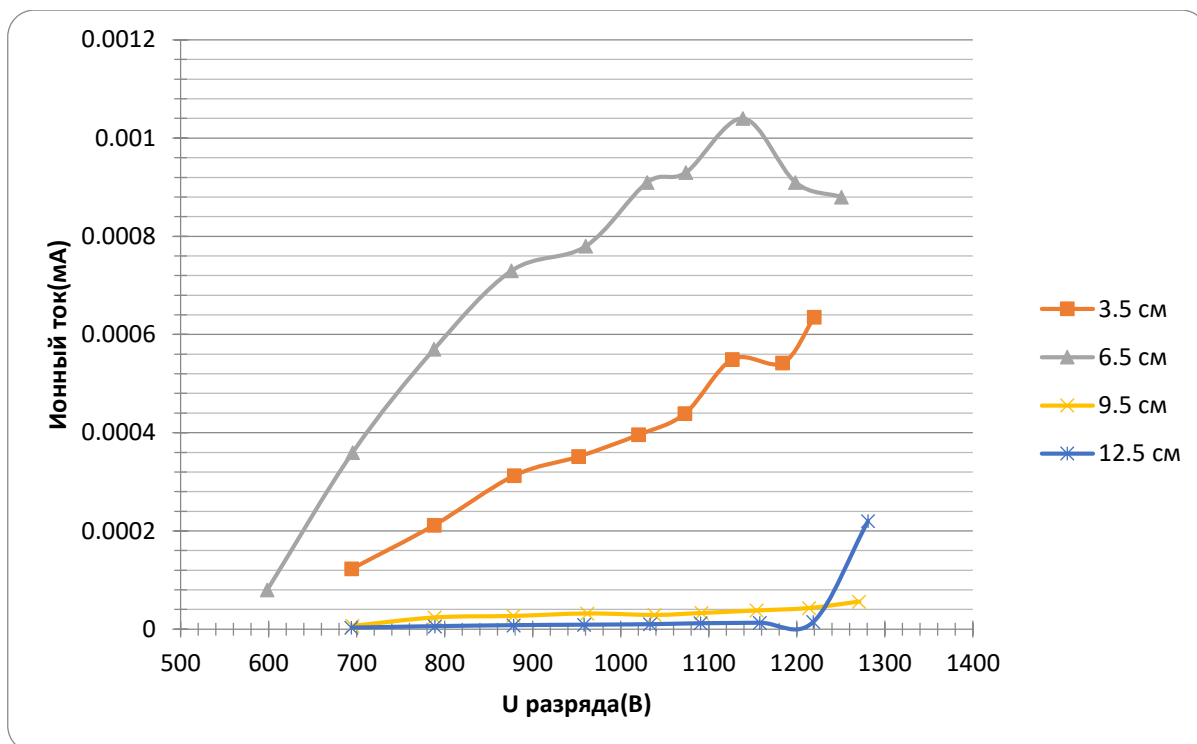


Рисунок 8. Зависимость ионного тока от разрядного напряжения в парах этанола при $P=0.08$ Торр, и различных расстояниях, кроме 0.5 см

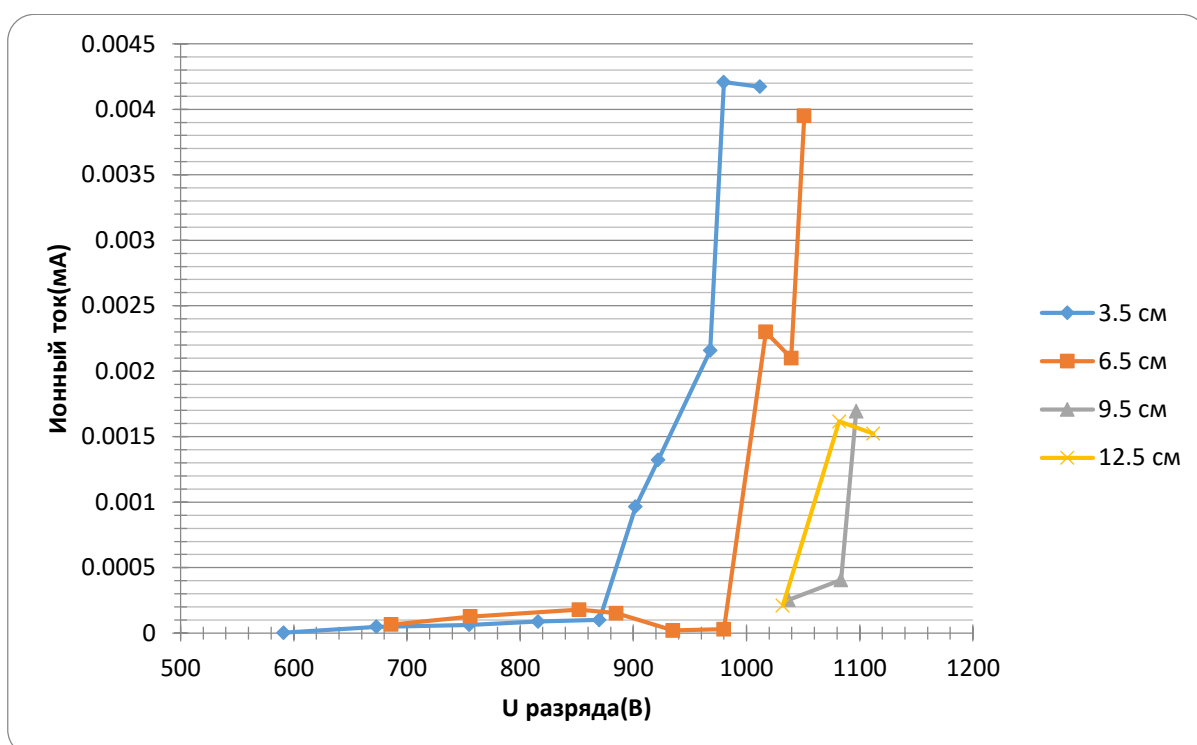


Рисунок 9. Зависимость ионного тока от разрядного напряжения в парах этанола при $P=0.22$ Торр, и различных расстояниях, кроме 0.5 см

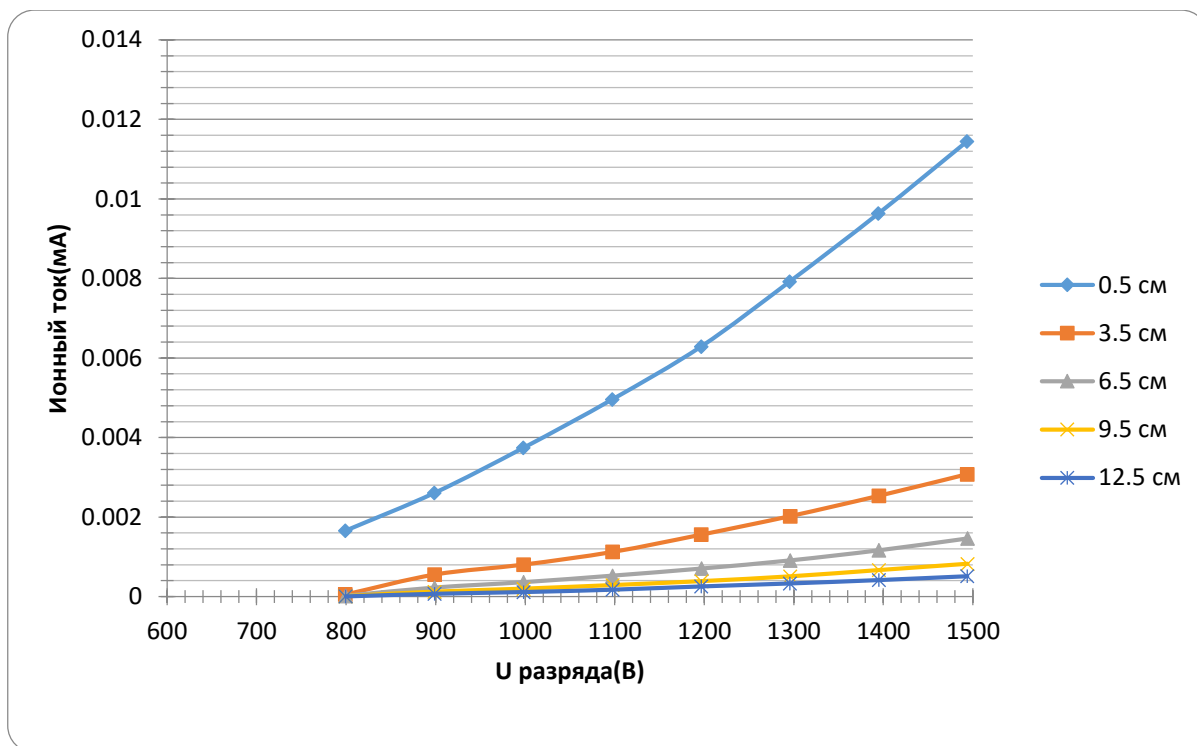


Рисунок 10. Зависимость ионного тока от разрядного напряжения в аргоне при $P=0.08$ Торр, и различных расстояниях

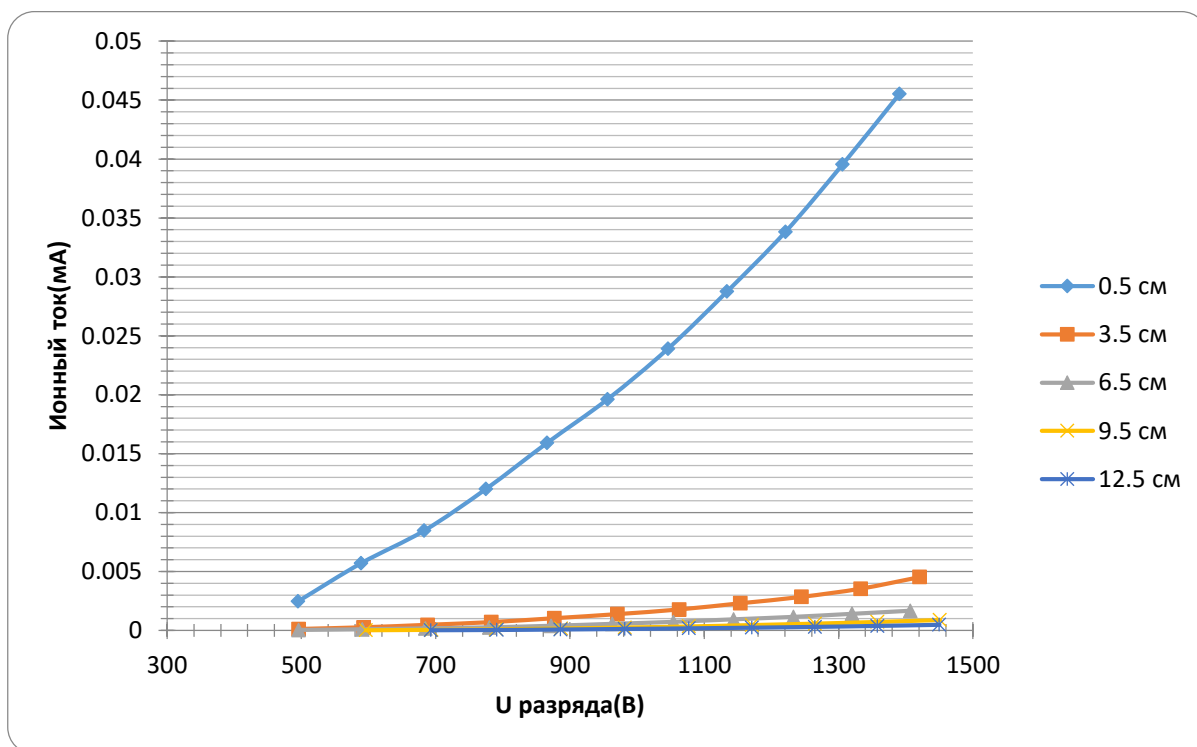


Рисунок 11. Зависимость ионного тока от разрядного напряжения в аргоне при $P=0.22$ Торр, и различных расстояниях

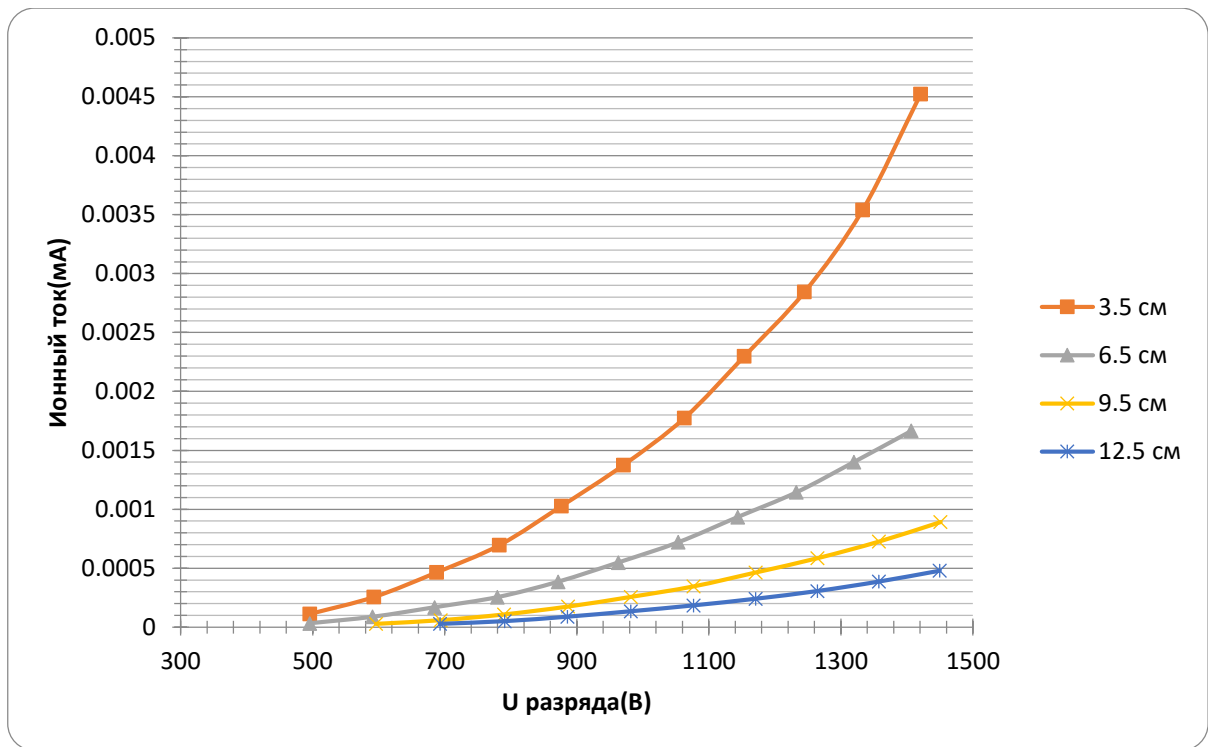


Рисунок 12. Зависимость ионного тока от разрядного напряжения в аргоне при $P=0.22$ Торр, и различных расстояниях, кроме 0.5 см

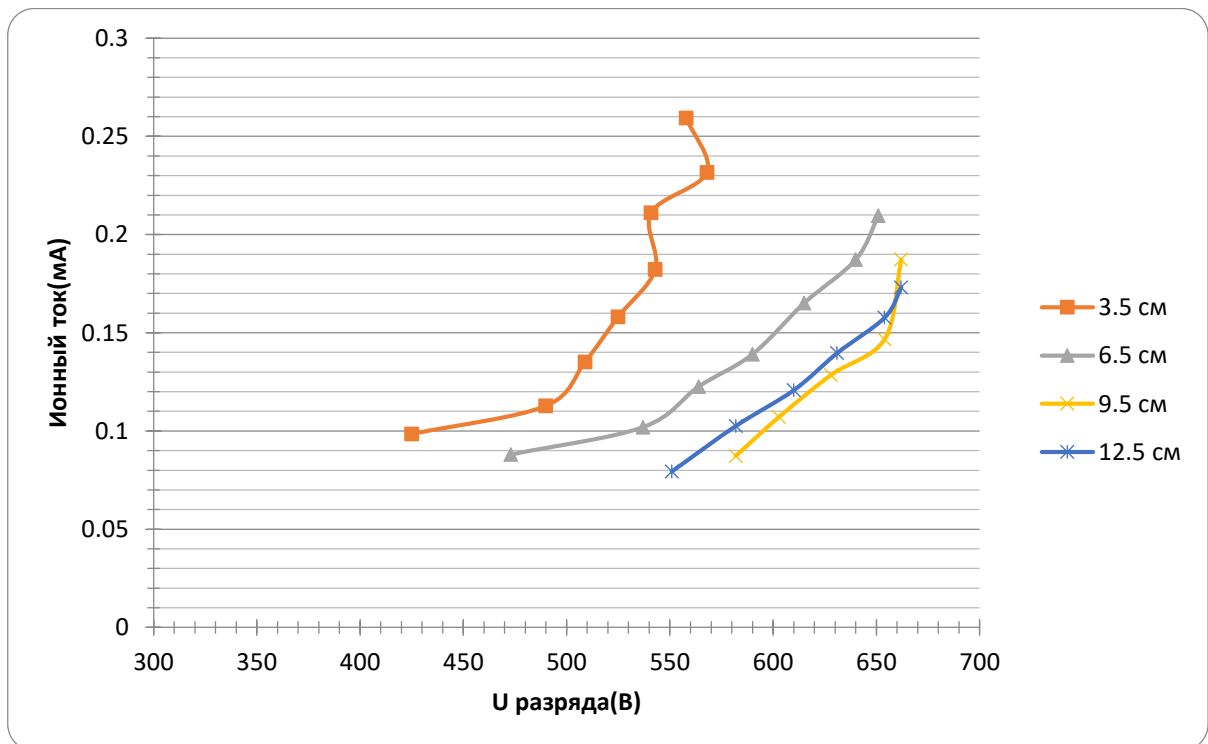


Рисунок 13. Зависимость ионного тока от разрядного напряжения в аргоне при $P=0.36$ Торр, и различных расстояниях, кроме 0.5 см

Данные графики можно интерпретировать как зависимость ионного тока от тока разряда, который можно выразить через закон Ома на внешнем сопротивлении:

$$I_p = \frac{U_n - U_p}{R}$$

(Где $U_{и}$ - напряжение источника, $U_{р}$ - разрядное напряжение, R – известное сопротивление)

«Эффективность» данного источника ионов:

$$\eta = \frac{j_{и}}{j_{р}} * 100\%$$

Из расчетов следует, что эта величина обычно равна десятым долям процента, но когда коллектор придвинут почти вплотную, то эффективность может достигать 10% (приложение: таблица 1, 2).

На графике зависимости плотностей тока от разрядного напряжения можно наблюдать, что плотность ионного тока растет на значительно меньшую величину, по сравнению с плотностью разрядного тока (рис.14).

Различие в крутизне графиков аргона и паров этанола можно объяснить тем, что аргон является инертным газом, и подвергается ионизации в гораздо меньшей степени чем этанол.

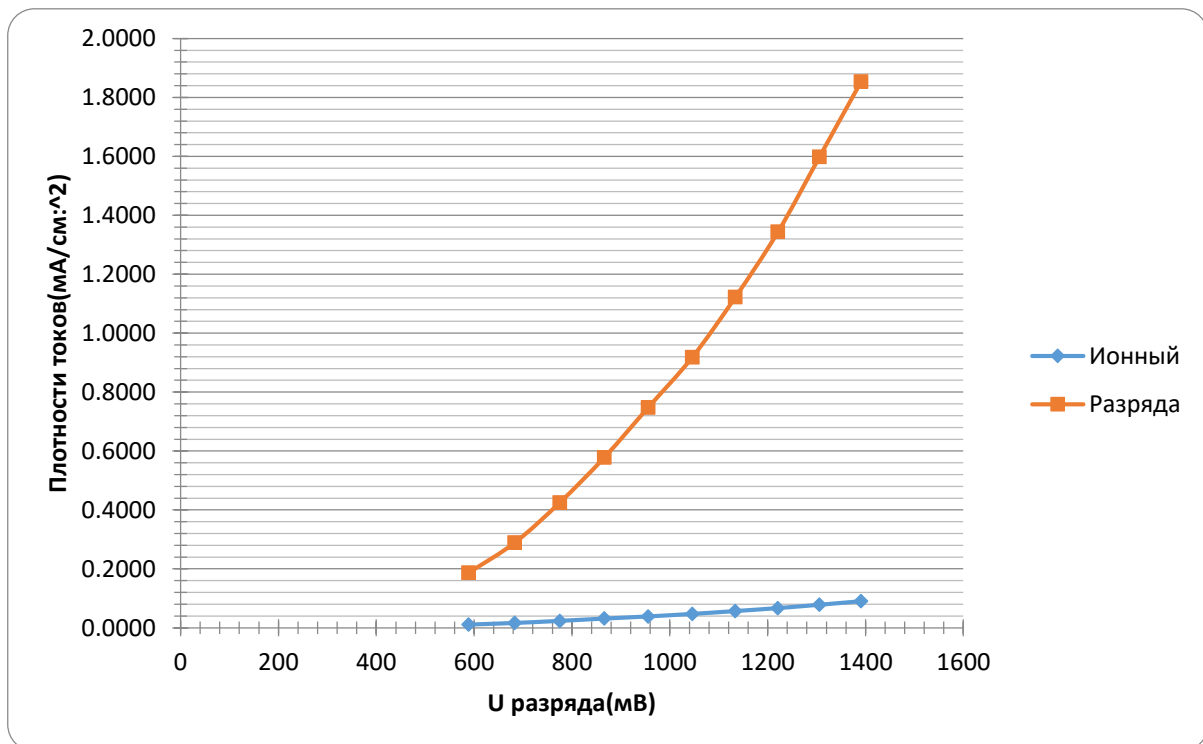


Рисунок 14. Зависимости плотностей тока от разрядного напряжения в аргоне при $P=0.22$ Торр и расстоянии $l=0.5$ см

5. Обсуждение результатов:

Так как большая часть падения напряжения сосредоточена у катода (рис.4), то предположим, что ион проходит этот промежуток без столкновений и приобретает скорость v , и сделаем следующую оценку для разрядного тока:

$$I = qn v S$$

(n -концентрация заряженных частиц, $q=(-e)$, S -площадь сетки)

Где v -скорость иона после прохождения промежутка:

$$v = \sqrt{\frac{2q\varphi}{m}}$$

(φ - разница потенциалов, подаваемая с источника)

Подставив в предыдущую формулу, получим:

$$I = q^{\frac{3}{2}} n S \sqrt{\frac{2\varphi}{m}}$$

Таким образом, была получена зависимость разрядного тока от напряжения источника, но в данной работе больший интерес для напыления представляет изучение зависимости плотности тока, поэтому:

$$j_0 = q^{\frac{3}{2}} n \sqrt{\frac{2\varphi}{m}} * \frac{7}{3}$$

где множитель $\frac{7}{3}$ появляется из-за учета степени прозрачности сетки.

Так была получена степенная зависимость плотности тока ионов от напряжения источника.

Сделаем допущение, что пучок ионов, пролетевший в послекатодную область, является параллельным. Возьмем бесконечно тонкий слой газа dx и единичной площадью на расстоянии x от источника ионов (АВ, рис. 15), тогда количество частиц в данном слое $n dx$. Среднее число частиц, выбывающих из пучка вследствие столкновений с одной молекулой – $j\sigma$, где

$\sigma = \pi d^2$ -эффективное сечение молекулы.

Соответственно при столкновении с $n dx$ молекул:

$$dN = j n \sigma dx = \frac{j}{\lambda} dx$$

(λ -длина свободного пробега, которая задается параметрами газа - концентрацией и эффективным сечением молекул)

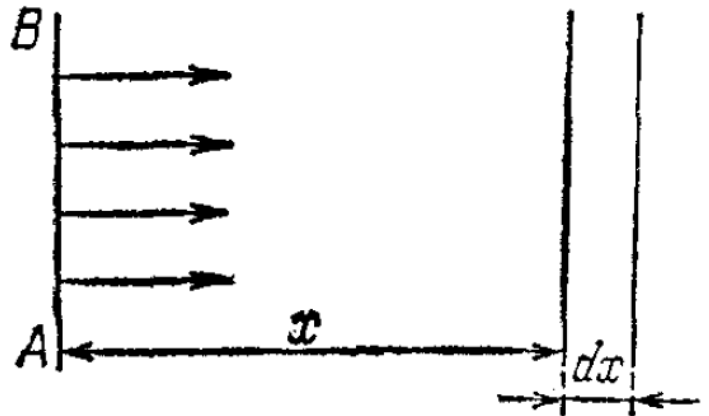


Рисунок 15. Рассмотрение данной модели [8]

$$\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}n\sigma}$$

Это величина, на которую уменьшится интенсивность пучка после прохождения слоя dx , а потому:

$$dj = -\frac{j}{\lambda} dx$$

Проинтегрировав данное выражение получим:

$$j = j_0 \exp(-x/\lambda) \text{ или } j = j_0 \exp(-x\sqrt{2}n\sigma)$$

Таким образом, можно сделать оценку того, что плотность тока будет экспоненциально убывать в зависимости от расстояния. Также можно сказать, что плотность тока зависит от эффективного сечения молекулы, то есть определяться свойствами газа, именно поэтому в парах этанола наблюдается более резкое падение плотности тока в зависимости от расстояния по сравнению с аргонном при аналогичных условиях[10].

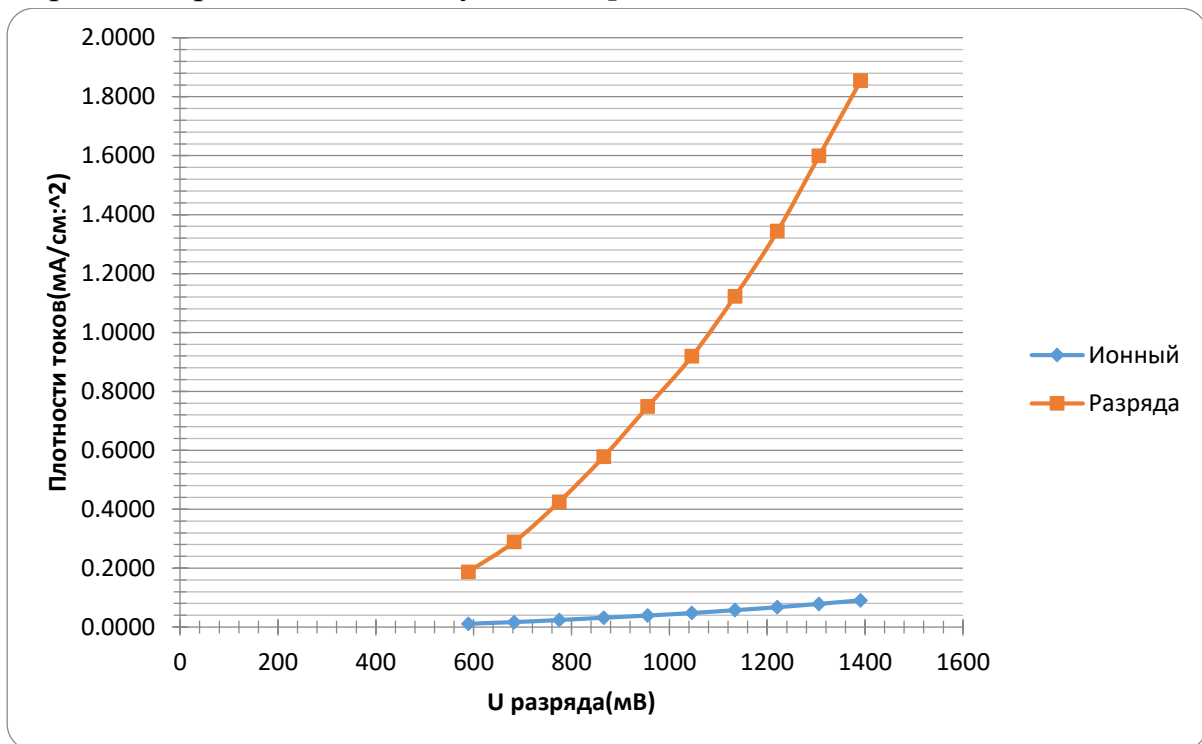


Рисунок 16. Зависимость плотности ионного тока от расстояния в аргоне при $P=0.22$ Торр, напряжении источника 1500 В

6. Погрешность:

При снятии данных с вольтметров не стоит исключать субъективную погрешность и сильную случайность величин.

При измерении давления вакуумметром типа ВИТ-2 погрешность измерения составляет 30% от измеряемой величины.

Относительная погрешность одного отдельного измерения напряжения вольтметром составляет (в процентах от измеряемой величины)

$$\delta U = \pm(0,25 + 0,02\left(\left|\frac{U_{пред}}{U_{изм}}\right| - 1\right))$$

где $U_{пред}$ - установленный предел измерения прибора, $U_{изм}$ - значение измеряемого напряжения. Погрешности измерений напряжения получаются на три порядка меньше, чем измеряемая величина, поэтому их влиянием в данной работе пренебрегается.

Изучив зависимость разрядного напряжения от расстояния (приложение: Таблица 3,4), можем сделать вывод, что разрядное напряжение обратно пропорционально расстоянию до коллектора, возможно, это связано с тем, что ионы, прилетающие на коллектор, выбивают электроны с его поверхности, которые впоследствии увлекаются полем и могут приобрести энергию большую, чем может быть получена в разрядном промежутке. Также можно сделать предположение о том, что изменение разрядного тока происходит из-за «перезарядки» ионов, во время которой ион, пролетающий рядом с нейтральной молекулой, забирает у нее электрон. Таким образом, получается медленный ион, который в случае попадания на катод, изменяет показания разрядного тока, этим можно объяснить расхождение экспериментальных данных с экспериментом (рис.16).

7. Заключение:

В данной работе были изучены зависимости ионного тока в разных газах от разрядного напряжения при различных давлениях для того, чтобы впоследствии использовать полученные зависимости для напыления пленок. Было установлено, что при увеличении давления и напряжения поток ионов увеличивался, а при увеличении расстояния наоборот уменьшался. Таким образом, было установлено, что наибольшая плотность тока на коллекторе получается при расстоянии 0.5 см, напряжении на источнике 1500 В и большем давлении в обоих газах.

8. Литература:

1. R. A. Dugdale The application of the glow discharge to material processing Journal of Materials Science May 1966, Volume 1, Issue 2, pp 160–169
2. Annemie Bogaerts, Renaat Gijbels Fundamental aspects and applications of glow discharge spectrometric techniques Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy Volume 53, Issue 1, 23 January 1998, Pages 1-42 Volume 53, Issue 1, 23 January 1998, Pages 1-42
3. Гилев В.Г. Перспективы применения алмазоподобных покрытий для деталей узлов трения, работающих в коррозионно-абразивной среде.
4. Бердюгин К. А и др. Применение алмазоподобных покрытий при эндопротезировании крупных суставов: от теории к возможной практике Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 2
5. В. И. Куцевляк С. Л. Старикова Морфометрические исследования костной ткани животных при применении углеродных алмазоподобных покрытий на субпериостальных имплантатах Инновации в стоматологии. – 2014. - № 3
6. Князев Б. Ф Низкотемпературная плазма и газовый разряд. Учебное пособие. Новосиб. Гос. Ун-т. Новосибирск, 2003, 290 с.
7. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Том 3. Учебное пособие. М.:ФИЗМАТЛИТ. 2004 г. 656 с.
8. Сивухин Д. В. Общий курс физики. Том 2. Учебное пособие. М.:ФИЗМАТЛИТ. 2005 г. 544 с.
9. Райзер Ю. П. Физика газового разряда: Учебное руководство: Для вузов. 2-е издание, перераб. и доп. М.: Наука, Глав. ред. физ. мат. лит., 1992. 536 с.
10. Левко Д. С. и др. Плазменная кинетика конверсии этанола в тлеющем разряде ФИЗИКА ПЛАЗМЫ, 2012, том 38, № 11, с. 991–1000

9. Приложение:

Таблица 1: Плотности токов для Аргона при давлении P=0.22 Торр

	l=0,5 см			l=3,5 см			l=6,5 см			l=9,5 см			l=12,5 см		
	j, mA/cm ²			j, mA/cm ²			j, mA/cm ²			j, mA/cm ²			j, mA/cm ²		
Уист	Ионный	Разряда	η %	Ионный	Разряда	η %	Ионный	Разряда	η %	Ионный	Разряда	η %	Ионный	Разряда	η %
1500	0.0906	1.8546	4.8852	0.0090	1.3441	0.6699	0.0033	1.5823	0.2095	0.0018	0.8337	0.2129	0.0010	0.8507	0.1120
1400	0.0787	1.5994	4.9184	0.0070	1.1400	0.6180	0.0028	1.3611	0.2049	0.0014	0.7146	0.2024	0.0008	0.7146	0.1077
1300	0.0673	1.3441	5.0071	0.0057	0.9358	0.6048	0.0023	1.1400	0.1998	0.0012	0.5955	0.1958	0.0006	0.5955	0.1026
1200	0.0572	1.1229	5.0952	0.0046	0.7827	0.5849	0.0019	0.9528	0.1952	0.0009	0.4934	0.1871	0.0005	0.4934	0.0972
1100	0.0476	0.9188	5.1773	0.0035	0.6295	0.5609	0.0014	0.7827	0.1833	0.0007	0.3913	0.1759	0.0004	0.3913	0.0940
1000	0.0390	0.7486	5.2139	0.0027	0.4934	0.5552	0.0011	0.6295	0.1735	0.0005	0.3063	0.1669	0.0003	0.3063	0.0877
900	0.0317	0.5785	5.4749	0.0020	0.3913	0.5231	0.0008	0.4764	0.1612	0.0003	0.2212	0.1574	0.0002	0.2382	0.0743
800	0.0239	0.4254	5.6172	0.0014	0.2892	0.4794	0.0005	0.3403	0.1491	0.0002	0.1701	0.1263	0.0001	0.1531	0.0663
700	0.0169	0.2892	5.8312	0.0009	0.2042	0.4541	0.0003	0.2552	0.1317	0.0001	0.1021	0.1150	0.0001	0.1191	0.0468
600	0.0114	0.1872	6.0706	0.0005	0.1191	0.4293	0.0002	0.1531	0.1143	0.0001	0.0681	0.0818	0.0000	0.0681	0.0263
Среднее	0.0464	0.9069	5.3291	0.0037	0.6329	0.5480	0.0015	0.7673	0.1723	0.0007	0.3896	0.1621	0.0004	0.3930	0.0815

Таблица 2: Плотности токов для паров этанола при давлении P=0.22 Торр

	l=0,5 см			l=3,5 см			l=6,5 см			l=9,5 см			l=12,5 см		
	j, mA/cm ²			j, mA/cm ²			j, mA/cm ²			j, mA/cm ²			j, mA/cm ²		
Уист	Ионный	Разряда	η %	Ионный	Разряда	η %	Ионный	Разряда	η %	Ионный	Разряда	η %	Ионный	Разряда	η %
1500	0.00337	3.04800	0.11052	0.00126	2.04172	0.06194	0.00175	1.81568	0.09642	0.00011	1.66984	0.00667	0.00044	1.59692	0.02741
1400	0.00009	2.47924	0.00345	0.00108	1.57504	0.06846	0.00181	1.46931	0.12321	0.00009	1.35629	0.00631	0.00003	1.31983	0.00226
1300	0.00008	2.06725	0.00366	0.00109	1.26149	0.08669	0.00207	1.17399	0.17624	0.00008	1.06097	0.00713	0.00003	1.03545	0.00250
1200	0.00007	1.55317	0.00423	0.00087	0.92607	0.09438	0.00185	0.91878	0.20137	0.00007	0.78752	0.00834	0.00002	0.79481	0.00300
1100	0.00006	1.22503	0.00471	0.00079	0.58116	0.13556	0.00181	0.50897	0.35569	0.00006	0.44772	0.01289	0.00002	0.48418	0.00411
1000	0.00006	0.86044	0.00740	0.00070	0.34709	0.20157	0.00155	0.28876	0.53739	0.00006	0.27563	0.02310	0.00002	0.30188	0.00593
900	0.00005	0.55418	0.00969	0.00062	0.15094	0.41254	0.00145	0.17464	0.83159	0.00005	0.15823	0.03395	0.00002	0.15532	0.01025
800	0.00005	0.33543	0.01423	0.00042	0.08604	0.49017	0.00113	0.08823	1.28523	0.00005	0.08167	0.05846	0.00001	0.07948	0.01502
700	0.00001	0.14584	0.00955	0.00024	0.04011	0.61015	0.00072	0.03259	2.19728	0.00001	0.03573	0.03898	0.00001	0.04156	0.01436
Среднее	0.00043	1.36317	0.01860	0.00079	0.77885	0.24016	0.00157	0.71899	0.64494	0.00006	0.65262	0.02176	0.00007	0.64549	0.00943

Таблица 3: Разрядное напряжение и ток в аргоне при $P=0.08$ Торр при различных расстояниях

L, см	0.5		3.5		6.5		9.5		12.5		Разрядный ток	
Uи, В	Up, В	Ip,мА	Up, В	Ip,мА	Up, В	Ip,мА	Up, В	Ip,мА	Up, В	Ip,мА	σ	Ср. отклонение
1500	1493.410	0.255	1494.010	0.232	1494.090	0.229	1494.140	0.227	1493.820	0.239	0.011	0.004
1400	1394.560	0.211	1395.190	0.186	1395.270	0.183	1395.170	0.187	1395.040	0.192	0.011	0.002
1300	1295.590	0.171	1296.180	0.148	1296.260	0.145	1296.240	0.146	1295.990	0.155	0.011	0.003
1200	1196.610	0.131	1196.960	0.118	1197.070	0.113	1197.070	0.113	1196.820	0.123	0.008	0.003
1100	1097.390	0.101	1097.870	0.082	1097.750	0.087	1097.720	0.088	1097.730	0.088	0.007	0.002
1000	998.160	0.071	998.460	0.060	998.410	0.062	998.340	0.064	998.380	0.063	0.004	0.001
900	898.700	0.050	898.940	0.041	898.970	0.040	898.910	0.042	898.900	0.043	0.004	0.001
800	799.200	0.031	799.330	0.026	799.690	0.012	799.710	0.011	799.720	0.011	0.010	0.005

Таблица 4: Разрядное напряжение и ток в парах этанола при $P=0.08$ Торр при различных расстояниях

L, см	0.5		3.5		6.5		9.5		12.5		Разрядный ток	
Uи, В	Up, В	Ip,мА	Up, В	Ip,мА	Up, В	Ip,мА	Up, В	Ip,мА	Up, В	Ip,мА	σ	Ср. отклонение
1500	1082.000	16.183	1220.000	10.840	1251.000	9.640	1271.000	8.866	1281.000	8.479	1.041	0.784
1400	1060.000	13.163	1184.000	8.362	1198.500	7.801	1214.000	7.201	1219.000	7.007	0.614	0.489
1300	1016.500	10.976	1127.000	6.698	1139.000	6.233	1154.500	5.633	1158.000	5.497	0.556	0.450
1200	987.000	8.246	1073.000	4.917	1074.000	4.878	1092.000	4.181	1091.000	4.220	0.403	0.348
1100	932.000	6.504	1020.300	3.086	1030.200	2.702	1038.600	2.377	1033.600	2.571	0.299	0.210
1000	882.000	4.568	952.400	1.843	960.400	1.533	962.200	1.463	958.600	1.603	0.165	0.116
900	824.000	2.942	879.300	0.801	876.050	0.927	878.300	0.840	878.700	0.825	0.055	0.039
800	754.000	1.781	788.200	0.457	787.900	0.468	788.800	0.434	789.100	0.422	0.021	0.017