

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

Физический факультет

Кафедра общей физики

Эвиев Андрей Дмитриевич

КУРСОВАЯ РАБОТА

**Изучение зависимости ионного тока тлеющего разряда от
расстояния между катодом и коллектором ионов в аргоне и парах
этанола**

Электромагнитный практикум, 2 курс, группа № 18302

Научный руководитель:

к.ф.-м.н. А.С. Золкин

Оценка научного руководителя

«_____» _____ 20__ г.

Консультант:

С.Ю. Чепкасов

Преподаватель практикума

к.ф.-м.н. Я.В. Гетманов

Оценка преподавателя практикума

«_____» _____ 20__ г.

Куратор практикума:

к.т.н. Астрелин В.Т.

Итоговая оценка

«_____» _____ 20__ г.

Новосибирск, 2019

Аннотация.

Изучалась зависимость ионного тока в тлеющем разряде от расстояния между сеточным катодом и коллектором ионов. В основе эксперимента лежит рассеяние ионного пучка на атомах остаточного газа. При исследованиях использовалась установка состоящая из газоразрядной трубки, коллектора ионов, форвакуумного насоса. Исследования проводились при давлениях от 0.08 до 0.36 торр при напряжениях от 700 до 1500 В с шагом в 200 В. Ток измерялся через падение напряжения на известном сопротивлении. По измеренным значениям силы тока от расстояния построены графики для разных давлений для аргона и паров этанола.

Ключевые слова: тлеющий разряд, ионный ток.

Оглавление

1. Введение.....	4
2. Теоретическая часть	4
3. Экспериментальная часть.....	6
4. Результаты	7
5. Обсуждение результатов.....	9
6. Оценка погрешностей	10
7. Заключение	10
8. Список литературы.....	11

1. Введение

Газовый разряд – это совокупность сложных физических явлений, представляющих собой электрический пробой газа, сопровождающийся формированием в нем проводящего канала и прохождением через него электрического тока.

Цель работы состоит в измерении ионного тока тлеющего разряда в аргоне и парах этанола в зависимости от расстояния между коллектором и катодом при различных давлениях и напряжениях разряда. Характер зависимости ионного тока позволит определить оптимальные режимы горения разряда для дальнейшего осаждения углеродных пленок.

Главное использование АПП — защитные покрытия, причем из них предпочтительны «толстые». Желательно, чтобы защитные покрытия имели высокую твердость, значительную толщину и минимальные напряжения, но эти требования противоречивы, так как напряжения, модуль Юнга и твердость пропорциональны друг другу. При повышении твердости до максимума соответственно снижается толщина слоя. Поэтому в большинстве работ толщина алмазоподобных и других сверхтвердых покрытий составляет величину от долей до нескольких микрометров. Вместе с тем в последнее время появляются сообщения о получении АПП толщиной до нескольких десятков микрометров[6].

2. Теоретическая часть.

Термином газовый разряд пользуются, когда хотят сказать, что в газообразной среде протекает электрический ток. Для прохождения тока необходимы ионизация каким-либо агентом некоторых частиц газа и существование электрического поля, продвигающего созданные при ионизации заряженные частицы [1].

Таунсендовский разряд.

Темный (таунсендовский) разряд – это электрический разряд в газах при низком давлении (порядка нескольких Торр) и очень малых токах (менее 10^{-5}

А). Электрическое поле в разрядном промежутке однородно или слабо неоднородно, и не искажается пространственным зарядом, который пренебрежимо мал[2]. Из-за чрезвычайной малости ионизации газ не светится[3]. Очень малый ток таунсендовского разряда обусловлен большим сопротивлением внешней цепи. Если сопротивление внешней цепи снижать, увеличивая ток, то таунсендовский разряд переходит в тлеющий [2].

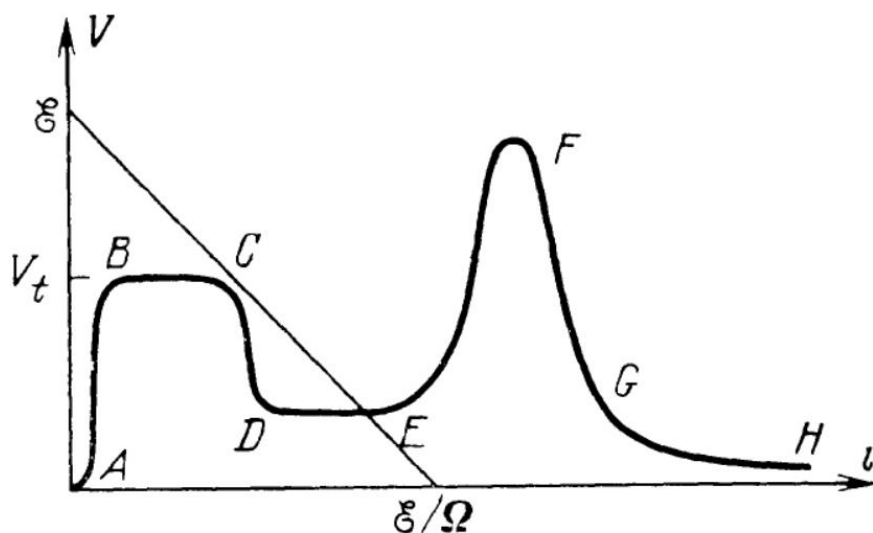


Рис. 1 ВАХ разряда между электродами в широком диапазоне токов и нагрузочная прямая A – область несамостоятельного разряда, BC – темный таунсендовский разряд, DE – нормальный тлеющий разряд, EF – аномальный тлеющий разряд, FG – переход в дугу, GH – дуга.[3]

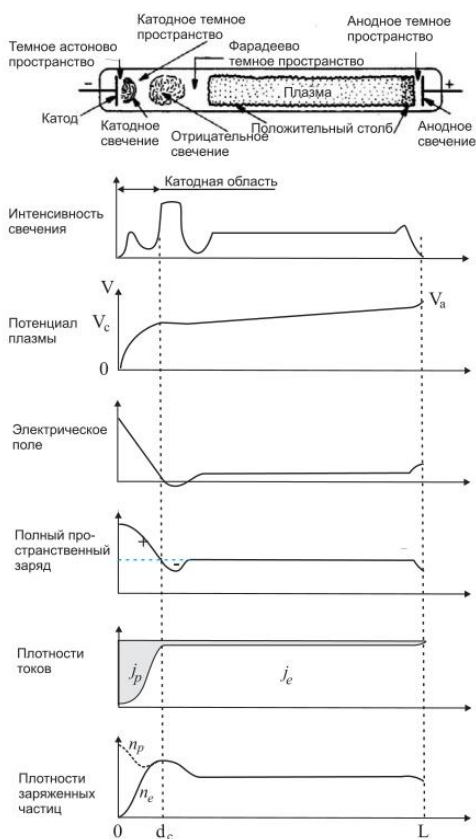


Рис. 2 Типичные основные характеристики

Тлеющий разряд. Тлеющий разряд – это электрический разряд в газе, характеризующийся термодинамической неравновесностью и квазинейтральностью, возникающей в разряде плазмы[1]. Самоорганизация тлеющего разряда в первую очередь связана с перераспределением потенциала по его длине, так что ток, который в слое у катода переносится в основном ионами, преобразуется далее в электронный. Необходимая для этого ионизация создается электронами, разгоняемыми полем в прикатодном слое. Для поддержания электронного тока в

плазменных частях разряда (в первую очередь в прикатодном слое) требуется лишь небольшое поле, чтобы ионизация компенсировала медленный процесс амбиполярного ухода электронов вместе с ионами на стенки, рекомбинацию и прилипание[4]. Основное падение потенциала происходит вблизи катода. Оно обеспечивает ускорение ионов, приходящих из межэлектродного промежутка и вызывающих вторичную эмиссию электронов из катода. Электроны, покидая катод, движутся с ускорением. Пока их скорость не достигла порога возбуждения, они не способны возбуждать газ, и поэтому непосредственно к катоду прилегает темное астоново пространство. Ускоряясь далее в электрическом поле, они достигают и переходят порог возбуждения атомов, что приводит к интенсивному линейчатому излучению. По этой причине данная область называется катодным свечением. По мере ускорения электронов возбуждаются все более высокие уровни, поэтому пики излучения соответствующих линий распределены по длине катодного свечения. При дальнейшем ускорении электронов их энергия в катодном темном пространстве переваливает максимум сечения возбуждения (поэтому интенсивность свечения здесь падает) и достигает потенциала ионизации. Далее в фарадеевом темном пространстве напряженность поля постепенно возрастает до значения, соответствующего положительному столбу, который представляет собой низкотемпературную плазму с почти хаотическим движением заряженных частиц[5].

3. Экспериментальная часть

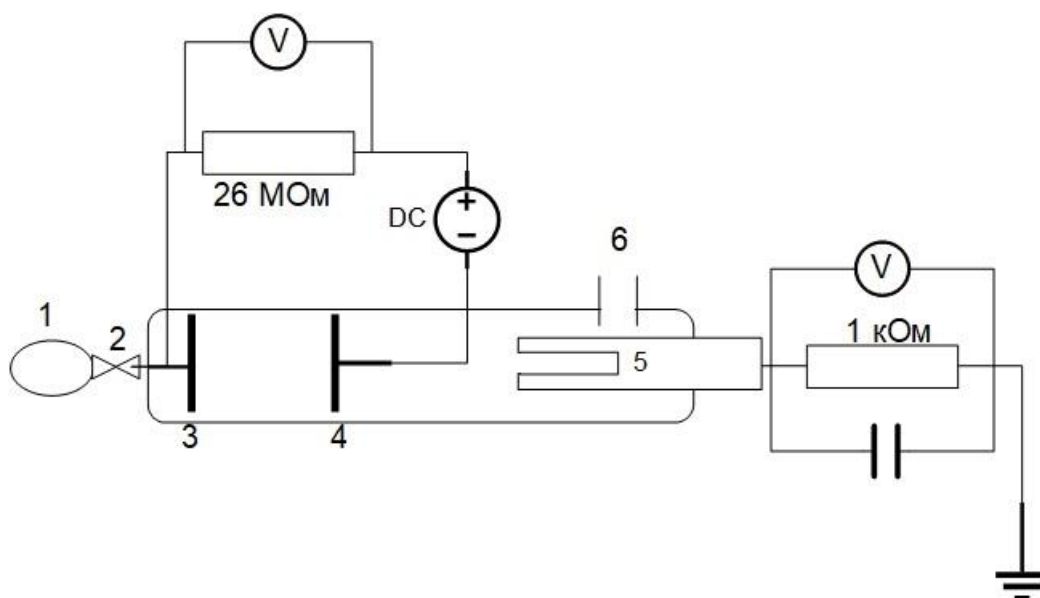


Рис. 3 Схема установки. 1 – сосуд с газом, 2- натекатель, 3- анод, 4- катод, 5- коллектор ионов, 6 – выход к насосу.

Предварительно с помощью форвакуумного насоса был откачан газ. Рабочий газ подается через натекатель в стеклянную трубку в область анода и прокачивается насосом через всю трубку. Ионы, пролетевшие сквозь сеточный катод, обладающий прозрачностью в 70%, фиксируются коллектором, сигнал которого подается на вольтметр. Конденсатор и резистор сглаживают нестабильность ионного тока. Ионный ток рассчитывается по закону Ома.

4. Результаты измерений

На графиках представлены зависимости ионного тока в аргоне и парах этанола от расстояния между сеточным катодом и коллектором ионов при различных напряжениях и давлениях.

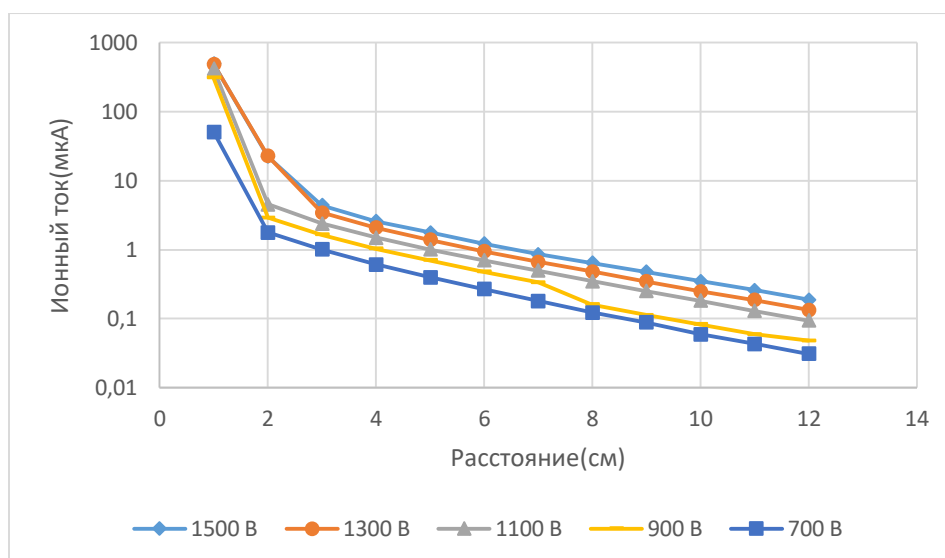


Рис. 4 Зависимость ионного тока от расстояния в аргоне при $p = 0,36$ торр

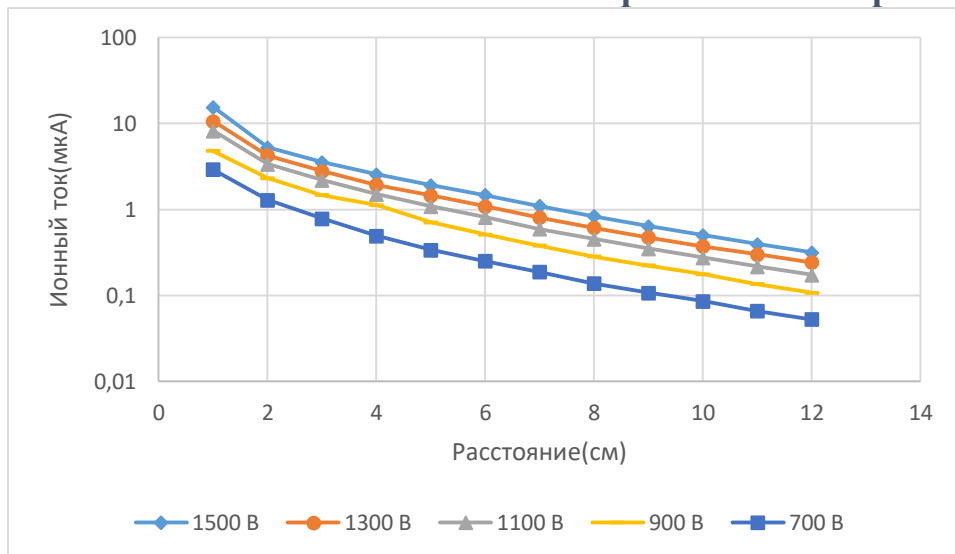


Рис. 5 Зависимость ионного тока от расстояния в аргоне при $p = 0,22$ торр

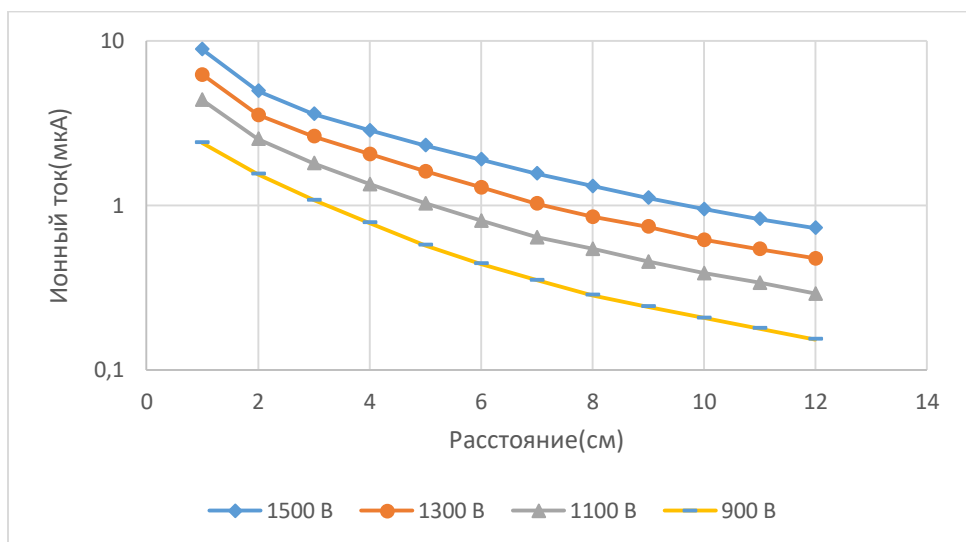


Рис. 6 Зависимость ионного тока от расстояния в аргоне при $p = 0,08$ торр

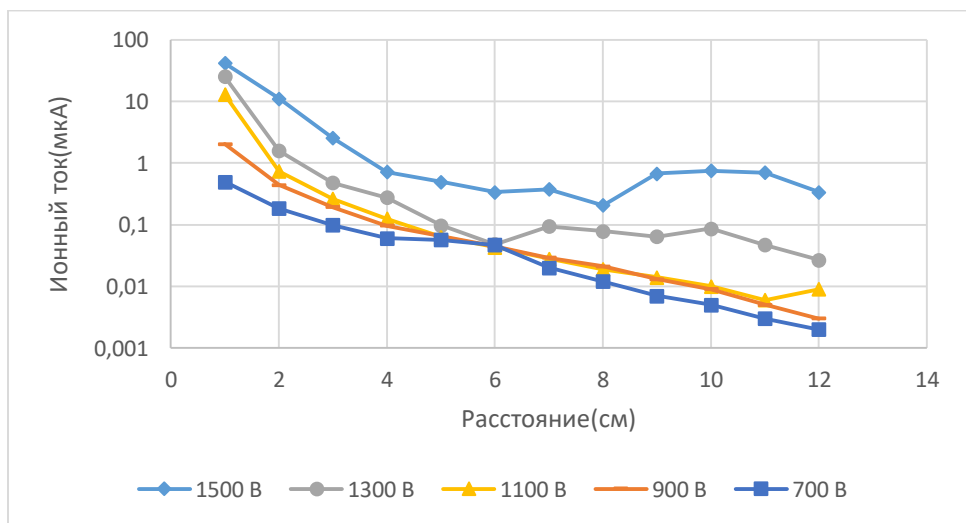


Рис. 7 Зависимость ионного тока от расстояния в парах этанола при $p = 0,22$ торр

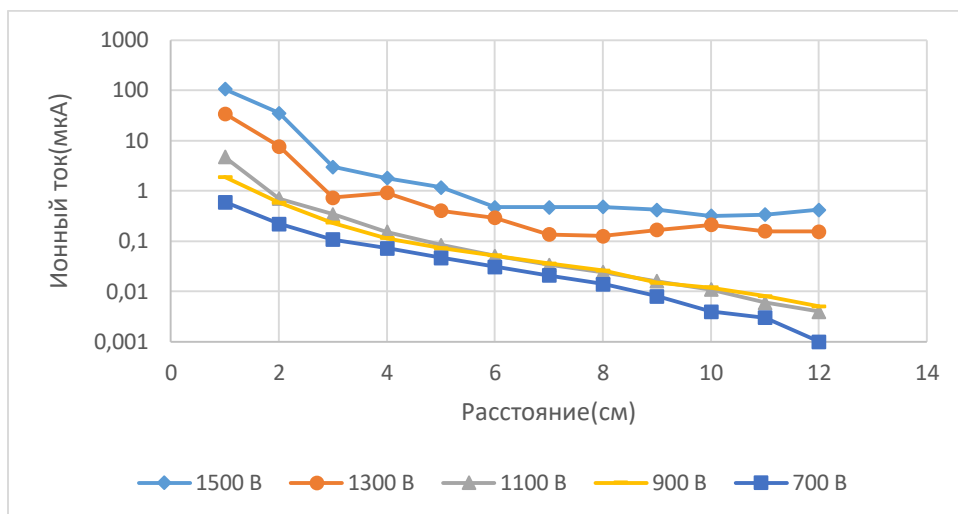


Рис. 8 Зависимость ионного тока от расстояния в парах этанола при $p = 0,08$ торр

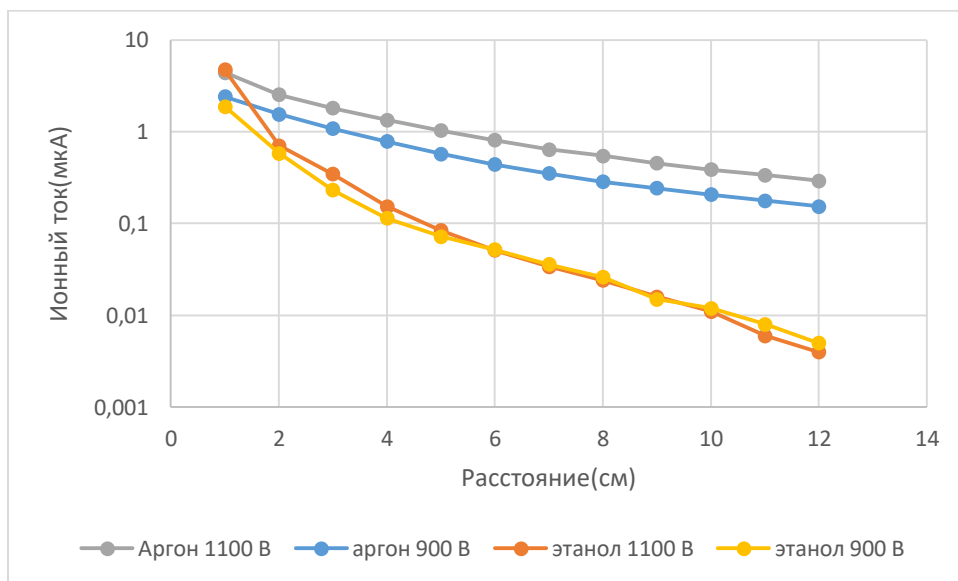


Рис. 9 Зависимость ионного тока от расстояния в парах этанола и аргона при давлении $p = 0,08$ торр

5. Обсуждение результатов

Ионный ток вычисляется по формуле $I = S v e n$, где S – площадь коллектора, v – средняя скорость ионов, e – заряд электрона, n – концентрация ионов в потоке.

Будем считать, что длина свободного пробега ионов – λ . Возьмем малый путь dx .

$\frac{dx}{\lambda}$ – количество соударений ионов за путь dx . При столкновении ион выбывает из потока, вследствие чего не попадает на коллектор. Поэтому концентрация ионов, пролетевших путь dx , снижается на dn . Отсюда следует, что

$$-dn(x) = n(x) * \frac{dx}{\lambda}$$

$$n(x) = n(0)e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

В итоге мы получаем экспоненциальную зависимость ионного тока от расстояния:

$$I = S_{ven}(x) = S_{ven}(0) * e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

Длина свободного пробега выражается формулой

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

Вследствие этого падение ионного тока в парах этанола более крутое, так как эффективное сечение атомов аргона меньше эффективного сечения молекул этанола.

6. Оценка погрешностей

Погрешность вольтметра находится по формуле $\pm(0,1 + 0,03 * \frac{U_{пред}}{U_{изм}})$, где $U_{пред}$ – установленный предел измерения, $U_{изм}$ – измеряемое значение. При этом погрешность составляет примерно 0,1% от измеряемой величины.

Также из-за непостоянства ионного тока на вольтметре наблюдались скачки напряжения.

7. Заключение

Экспериментально исследованы зависимости ионного тока в аргоне и парах этанола от расстояния между сеточным катодом и коллектором ионов, с целью нахождения оптимального режима горения тлеющего разряда для осаждения углеродных пленок. Было выяснено, что при увеличении расстояния значения ионного тока уменьшаются, причем экспоненциально.

При этом ионный ток в парах этанола падает сильнее чем в аргоне из-за большего эффективного сечения молекул.

8. Список литературы.

1. А.М. Ховатсон. Введение в теорию газового разряда. Перевод И. И. Иванчика. Москва. Атомиздат. 1980 г
2. С.К. Жданов В.А Курнаев М.К Романовский И.В Цветков. Основы физических процессов в плазме и плазменных установках. Москва. 2000.
3. Райзер Ю. П. Физика газового разряда: Учебное пособие для вузов – 2-е издание, перераб. и доп. – М: Наука. Гл. ред. Физ.-мат. лит., 1992 – 536 стр. С. 259.
4. Кудрявцев А.А., Смирнов А.С., Цендин Л.Д. Физика тлеющего разряда: Учебное пособие – СПб.: Издательство «Лань», 2010. – 512стр.
5. Б.А. Князев. Низкотемпературная плазма и газовый разряд: Учебное пособие. Новосибирск, 2003. 290 стр. С 171, 172.
6. В.Г. Гилев. Перспективы применения алмазоподобных покрытий для деталей узлов трения, работающих в коррозионно-абразивной среде. 2015 г.