

Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Г. И. Апонин, А. А. Беспалов, О. Б. Брагина,
В. Г. Востриков, А. Г. Красюков, В. Д. Письменный,
А. Т. Рахимов, В. Б. Саенко, Л. В. Шачкин, Иссле-
дование инъекции газа через пористую стенку катода
для стабилизации несамостоятельного разряда, *ТВТ*,
1982, том 20, выпуск 5, 828–831

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 18.97.14.84

10 декабря 2024 г., 15:30:12



УДК 533.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ИНЖЕКЦИИ ГАЗА ЧЕРЕЗ ПОРИСТУЮ СТЕНКУ КАТОДА ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНОГО РАЗРЯДА

*Анопин Г. И., Вешняповишников А. А., Брагина О. Б.,
Востриков В. Г., Красюков А. Г., Письменный В. Д.,
Рахимов А. Т., Саенко В. Б., Шачкин Л. В.*

Исследуются прикатодные процессы в плазме несамостоятельного разряда. С помощью лазерной анемометрии изучена динамика инъекции гелия при перепаде давления на пористой стенке катода $\Delta p = 0,1-0,4$ МПа. Определено пространственное распределение скорости истечения гелия. Получены количественные данные о профиле скорости и степени турбулентности газового потока, обтекающего катод. Показано, что при объемной пористости стенки катода $\approx 50\%$ и перепаде давления на пористой стенке $\Delta p \approx 0,1$ МПа физические условия на стенке катода определяются вдуваемым гелием. Экспериментально подтверждено улучшение однородности несамостоятельного разряда при вдуве гелия в прикатодную область.

В связи с успешным развитием работ по созданию газовых лазеров и плазмохимических реакторов на основе несамостоятельного разряда, управляемого электронным пучком [1], ведутся интенсивные исследования физических особенностей такого разряда и поиск технических решений, направленных на улучшение однородности и устойчивости разряда в системах такого типа. Прикатодные процессы [2] могут играть определяющую роль в развитии неустойчивостей плазмы несамостоятельного разряда и ограничивать достижение оптимальных условий возбуждения газовых смесей. Для снижения прикатодного скачка потенциала и повышения порогового значения напряженности электрического поля, при котором начинают образовываться локализованные дужки на поверхности катода, целесообразно [3] вводить в прикатодную область разряда газ, например гелий (He), нормальная плотность тока в котором ниже нормальной плотности тока рабочего газа. Достаточно однородный слой можно создать при вдуве He через пористую стенку катода [4].

Данная работа посвящена исследованию динамики инъекции He через пористую стенку и определению оптимальных условий, при которых физические условия на стенке катода будут определяться вдуваемым гелием и оказывать эффективное влияние на однородность и устойчивость несамостоятельного разряда в молекулярных газах.

Вопрос о составе газа вблизи поверхности катода исследовался следующим образом. Был проведен эксперимент, моделирующий работу пористого катода с продувкой He. На поверхности трубки с объемной пористостью $\approx 50\%$ организовывался скользящий разряд. Исследовались электрические и спектральные характеристики разряда в воздухе при давлении 0,1 МПа, а также при продуве гелия через пористую стенку. При перепаде давления на пористой стенке $\Delta p \approx 0,1$ МПа электрические и спектральные характеристики плазмы скользящего разряда определялись в основном вдуваемым He, что свидетельствует о вытеснении воздушной среды и существовании достаточно однородного слоя гелия вблизи поверхности пористой стенки. Измерение скорости и интенсивности турбулентности потока He, истекшего через стенки пористой трубки в воздух, а также исследование параметров набегающего потока вблизи поверхности пористой трубки проводилось с помощью лазерного анемометра с использованием лазерного рассеяния на микрочастицах, естественно присут-

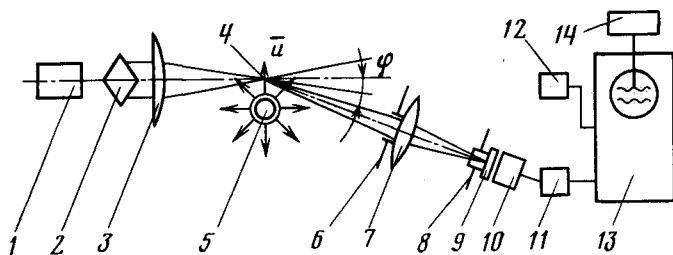


Рис. 1. Блок-схема измерения скорости истечения гелия из пористой трубки

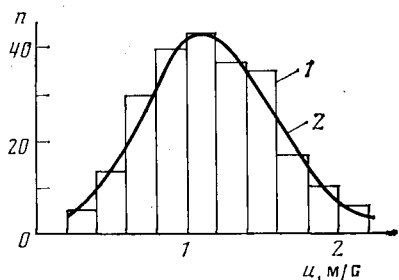


Рис. 2

Рис. 2. Распределение скорости истечения гелия из пористой трубки при перепаде давления на стенке трубки $\Delta p = 0,1$ МПа и расстоянии от ее поверхности $h = 8$ мм: 1 – экспериментально построенная гистограмма по результатам n измерений; 2 – теоретически сглаженное распределение

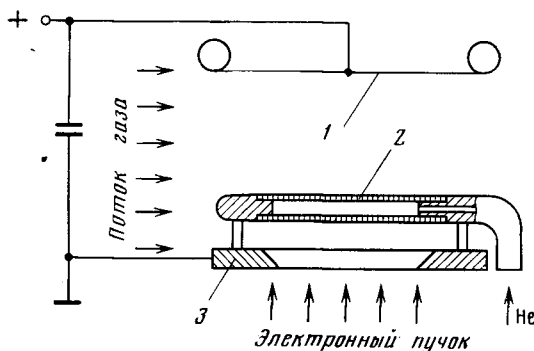


Рис. 3

Рис. 3. Схема газоразрядной камеры: 1 – анод, 2 – катод, 3 – фольга

вующих в потоке. Использовались пористые трубки из дискретных волокон стали 12Х18Н9Т с внешним диаметром 4 мм и толщиной стенки ~ 1 мм; объемная пористость составляла $\approx 50\%$. Предварительно контролировалась однородность истечения He по всей поверхности пористой трубки.

Схема измерений скорости и степени турбулентности исследуемого потока He представлена на рис. 1. Зондирующий луч лазера 1 с помощью ромбического светоделителя 2 и цилиндрической линзы 3 образует измерительный объем 4 на заданном расстоянии от поверхности пористой трубки 5. Лазерное излучение, рассеянное на микрочастицах, естественно присутствующих в исследуемом потоке гелия, проходит через диафрагму 6, собирается линзой 7 на целевой диафрагме 8 и, пройдя светофильтр 9, поступает на фотокатод ФЭУ-79 10. Получаемые на нагрузке ФЭУ-79 сигналы доплеровской частоты через предварительный широкополосный усилитель 11 (полоса пропускания $\Delta f = 0-80$ МГц, коэффициент усиления $K = 25$) поступают на осциллограф 13. Переключатель смещения уровня записи 12 позволяет проводить многострочную запись доплеровских сигналов; осциллограммы сигналов регистрировались с помощью фотоприставки 14.

При использовании цилиндрической передающей линзы с фокусным расстоянием 250 мм область выбираемого на ФЭУ измерительного объема имеет эффективную длину $l_n \approx 2-3$ мм, ширину $h_n \approx 2$ мм и поперечный размер в направлении нормали к интерференционным полосам измерительного объема $W_n \approx 200$ мкм.

На рис. 2 представлена типичная гистограмма распределения скорости истечения He из пористой трубки при перепаде давления на стенке $\Delta p = 0,1$ МПа. Гистограмма построена по массиву измерений мгновенных значений скорости, соответствующих пролету отдельных микрочастиц через выбираемую на ФЭУ область измерительного объема при неизменных значениях Δp и h . Сглаживание экспериментально полученного рас-

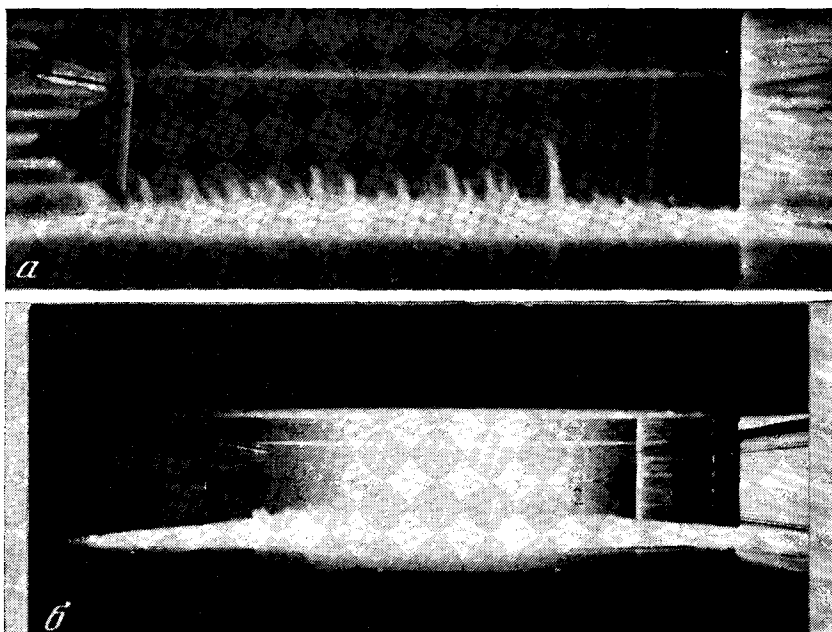


Рис. 4. Свечение разряда в азоте в моноимпульсном режиме без поддува (а) и с поддувом (б) гелия при $W_n=0,5$ Дж/см³; $E_{cp}=4,5$ кВ/см; $\Delta p=0,3$ МПа

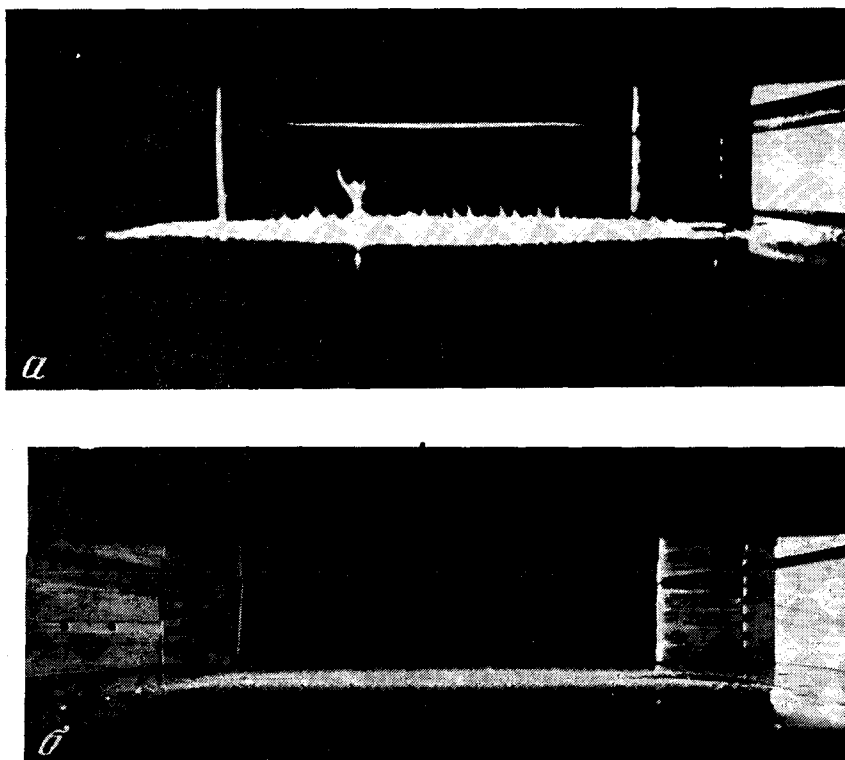


Рис. 5. Свечение импульсно-периодического разряда в азоте (результат съемки последовательности импульсов) без поддува (а) и с поддувом (б) гелия при $W_n=0,3$ Дж/см³; $E_{cp}=4,0$ кВ/см; $\Delta p=0,3$ МПа

пределаения скорости проводится согласно существующей методике выравнивания по нормальному закону распределения [5]. Построенные распределения позволяют определить среднее значение скорости \bar{u} и отклонение от среднего $\Delta\bar{u}$ на заданном уровне. В рассматриваемом случае $\bar{u}=1,15$ м/с, $\Delta\bar{u}_{0,5}\approx\pm 0,65$ м/с (отсчет по уровню 0,5); интенсивность турбулентности на уровне 0,5 $I_{m(0,5)}\approx\Delta\bar{u}/\bar{u}\approx\pm 0,56$.

Исследовалась зависимость средней скорости \bar{u} истечения гелия из пористой трубки в зависимости от расстояния h от ее поверхности до точек измерений скорости для различных значений Δp . Так, при $h=8$ мм и изменении Δp в пределах 0,1–0,4 МПа значение \bar{u} потока He возрастает от 1,5 до 1,75 м/с; при увеличении h величина скорости уменьшается.

Контрольные измерения проводились с введением в исследуемый поток калиброванных частиц Al_2O_3 размером $(1\pm 0,5)$ мкм и показали практически полное совпадение с результатами измерений, полученными с использованием естественных микрочастиц, находящихся в потоке He.

Для проточных газоразрядных систем представляет интерес измерение профиля скорости и степени турбулентности гелия, истекающего из пористой трубки, расположенной в набегающем потоке газа. Поэтому проводились эксперименты с обдувом пористой трубки воздушным потоком. Эти исследования позволили оценить размеры пограничного слоя, значения скоростей \bar{u} и интенсивности турбулентности I_T на расстояниях h до $\sim 0,75$ мм от поверхности пористой трубки.

При толщине пограничного слоя $\delta\approx 0,5$ см и перепаде давления $\Delta p\approx 0,3$ –0,4 МПа скорость истечения He, направленная нормально основному набегающему потоку, составляла $\bar{u}\approx 2$ м/с. Такая скорость истечения гелия может оказаться достаточной для того, чтобы обеспечить вынос продуктов плазмы химических реакций из тонкого прикатодного слоя и создать устойчивый слой He на поверхности катода за время $\tau\approx(\delta/\bar{u})\geq 2,5\cdot 10^{-3}$ с.

Проведенные измерения позволили определить необходимые параметры системы подачи гелия в прикатодную область импульсно-периодического несамостоятельного разряда (рис. 3). Исследовались электрические характеристики несамостоятельного разряда в азоте атмосферного давления с поддувом и без поддува He в прикатодную область. Несамостоятельный разряд управлялся импульсно-периодическим пучком электронов с энергией 150 кэВ, плотностью тока до 1 мА/см² и длительностью 80 мкс. Электрическое поле в разряде поддерживалось с помощью емкостного накопителя энергии, работающего в режиме частичного разряда. Катод газоразрядной камеры собирался из пяти пористых трубок в виде решетки с шагом 10 мм; трубки ориентировались вдоль потока рабочего газа. Перепад давления на пористой стенке катода составлял $\Delta p=0,3$ МПа.

На рис. 4, 5 представлены фотографии разряда при атмосферном давлении в моноимпульсе и в частотном режиме (с поддувом и без поддува He). В первом случае энерговыход в технически чистый азот с примесью кислорода ≈ 1 –2% составлял $W_n=0,5$ Дж/см² при напряженности электрического поля в разряде $E_{cp}=4,5$ кВ/см; во втором случае $W_n=0,3$ Дж/см² при $E_{cp}=4,0$ кВ/см. Видно, что поддув гелия приводит к подавлению развития дужек, локализованных на поверхности катода. Таким образом, инжекция гелия в прикатодную область приводит к повышению однородности импульсно-периодического разряда в потоке газа.

Авторы выражают благодарность В. Г. Наумову за полезное обсуждение полученных результатов, В. М. Плешкову и В. Г. Ткачеву за помощь в проведении экспериментов.

Москва

Поступила в редакцию
21.I.1981

ЛИТЕРАТУРА

1. Велихов Е. П., Письменный В. Д., Рахимов А. Т. – УФН, 1977, т. 122, № 3, с. 419.
2. Красюков А. Г., Персианцев И. Г., Письменный В. Д. и др. – Тез. докл. I Всес. конф. «Оптика лазеров». Л., 1977. с. 127.
3. Велихов Е. П., Голубев С. А., Ковалев А. С. и др. – Физика плазмы, 1975, т. 1.
4. Востриков В. Г., Красюков А. Г., Письменный В. Д. и др. – Тез. докл. V Всес. конф. по физике низкотемпературной плазмы. Киев, 1979, с. 164.
5. Зажигаев Л. С., Кишьян А. А., Романиков Ю. И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. М.: Атомиздат, 1978.