

## РАСКОНТРАГИРОВАНИЕ ПОЛОЖИТЕЛЬНОГО СТОЛБА ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ПОТОКОМ ГАЗА

*Г. А. Галечян, С. И. Петросян*  
(Аштарак)

Создание однородного неконтрагированного разряда в трубках большого диаметра при высоких давлениях газа представляет интерес для ряда задач квантовой электроники, физики плазмы и др.

Известно, что положительный столб тлеющего разряда при давлениях газа выше 10 мм рт. ст. контрагирует, т. е. сжимается к оси. В работах [1—9] рассматриваются различные механизмы для объяснения этого явления. Общим признаком сильно сжатого токового шнура является неоднородность температуры по радиусу трубки. В [10] приводятся результаты исследования контракции положительного столба в продольном потоке газа.

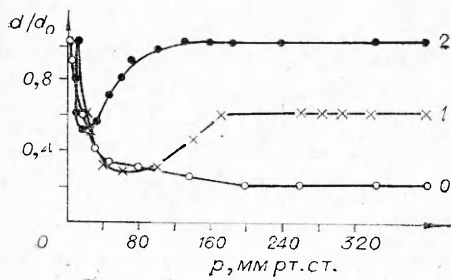
Неконтрагированный разряд в потоке газа в [11] получается в сверхзвуковом сопле, помещенном между катодом и анодом. Предполагается, что равномерный разряд достигается вследствие возникновения ударных волн в разряде.

В [12] неконтрагированный разряд в трубке создавался благодаря соплу из металла, которое одновременно служило катодом. Газ через сопло поступал в разрядную трубку. Неконтрагированный равномерный по сечению разряд наблюдался в самых различных режимах течения газа, с дозвуковыми и сверхзвуковыми соплами. Из этого делается заключение, что турбулентность потока малосущественна в формировании равномерного разряда.

В данной работе сообщается об условиях получения равномерного неконтрагированного разряда при высоких давлениях высокоскоростным потоком газа (без сопла). Показано, что расконтрагирование разряда связано с возникновением турбулентного течения газа. Эксперименты выполнялись в стеклянной водоохлаждаемой трубке с внутренним диаметром 10 и 15 мм, длиной от 10 до 30 см, с цилиндрическими электродами. Газ вводился радиально в анодную секцию.

В трубке с внутренним диаметром 10 мм в потоке He скорость 250 м/с достигалась подключением к катодной секции насоса производительностью 0,0183 м<sup>3</sup>/с. Величина скорости газа увеличивалась на 5—10% при ионизации разрядного промежутка током 30 мА. Температура газа, измеренная термопарой, повышалась в среднем на 3—5°. Скорость потока измерялась трубкой Пито, вводимой в середину разрядной трубки. Скорость газа 40 м/с достигалась подключением насоса производительностью 0,0033 м<sup>3</sup>/с.

Положительный столб исследовался при разрядных токах 0,01—0,075 А. Электрический пробой производился при давлении газа 10<sup>-1</sup> мм рт. ст. При постоянном токе увеличивалось давление в трубке. До  $p=3$  мм рт. ст. светящаяся область положительного столба заполняет весь объем трубки (диффузионный разряд). Дальнейшее увеличение давления газа приводит к контракции, вследствие чего диаметр видимой границы положительного столба уменьшается. Начало контракции фиксируется скачкообразным понижением величины падения напряжения на электродах (примерно в два раза).



Ф и г. 1

Диаметр положительного столба в He со скоростью 40 м/с (кривая 1) после контракции не превышает 6 мм при повышении давления газа до 700 мм рт. ст.

Для сравнения на фиг. 1 приведена кривая 0, описывающая зависимость диаметра положительного столба от давления газа в разряде без потока газа ( $v=0$ ). Сильно контрагированное состояние возникает при давлениях 50—100 мм рт. ст. Увеличение давления до 700 мм рт. ст. не приводит к заметному изменению диаметра шнура.

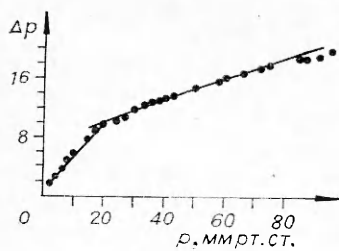
Выполнялись зондовые измерения двойными электрическими зондами (фиг. 2) диффузионного разряда в потоке He при  $p=3$  мм рт. ст. — 1 ( $v=250$  м/с), контрагированного в потоке He при  $p=22$  мм рт. ст. — 2, при  $p=58$  мм рт. ст. — 3, расконтрагированного при  $p=78$  мм рт. ст. — 4 и контрагированного в отсутствие потока газа ( $v=0$ ) при  $p=50$  мм рт. ст. — 5.

Распределение зондового тока насыщения по радиусу в диффузионном положительном столбе соответствует теории Шоттки [13]. В контрагированном разряде при  $p=22$  мм рт. ст. распределение является более крутым. В случае расконтрагированного разряда (кривая 4) распределение зондового тока по радиусу становится близким к параболическому.

Кривая 5 фиг. 2 находится в хорошем согласии с известным колокообразным распределением зарядов по радиусу положительного столба в контрагированном разряде при отсутствии потока [13]. На кривой 5 фиг. 2 штриховой линией нанесен диаметр видимой границы шнура. Полученное пересечение прямой с кривой 5 подтверждается аналогичными данными в [13]. Следовательно, зондовые измерения положительного столба, представленные на фиг. 2, при различных давлениях газа в разряде

находятся в качественном соответствии с результатами, приведенными на фиг. 1, и подтверждают возможность создания неконтрагированного разряда при высоких давлениях высокоскоростным потоком газа.

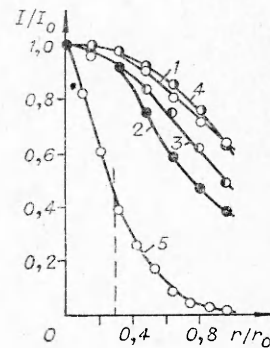
На фиг. 3 приведена зависимость разности давлений  $\Delta p$  на входе и выходе трубки длиной 200 мм и диаметром 10 мм (разность давлений  $\Delta p$  измерялась U-образным масляным манометром) от статического давления в середине трубки при  $v=250$  м/с.



Ф и г. 3

На фиг. 1 показаны зависимости диаметра положительного столба от давления He. Диаметр определялся по свечению видимой границы положительного столба.

После резкого уменьшения диаметра токового шнура в потоке He со скоростью 250 м/с (кривая 2) дальнейшее повышение давления газа приводит к увеличению диаметра положительного столба, и при  $p=80$  мм рт. ст. светящаяся область разряда вновь заполняет весь объем трубки.



Ф и г. 2

Статическое давление измерялось на входе и выходе трубки  $U$ -образными ртутными манометрами. График претерпевает излом при 20 мм рт. ст., что совпадает с минимумом на кривой 2 фиг. 1. Излом показывает, что при этом давлении изменяется характер течения газа. До  $p=20$  мм рт. ст. происходит установившееся ламинарное течение газа. При давлении выше 20 мм рт. ст. течение теряет устойчивость. Непосредственно после потери устойчивости устанавливается новый турбулентный характер течения газа.

Под действием турбулентных пульсаций в потоке при определенных давлениях могут возникать как колебания положительного столба в целом, так и локальные осцилляции плотности ионизации в расконтрагированном столбе. Исследование их представляет интерес для ряда практических применений разряда в высокоскоростном потоке газа.

В работе [12], где газ подавался в разрядную область через сопло, наблюдался хаотический режим горения разряда, при этом происходили нерегулярные колебания положительного столба. При давлениях от 25 до 45 мм рт. ст. приходилось наблюдать хаотический режим горения разряда, при этом стрелка микроамперметра М265М, измеряющего зондовый ток, совершала небольшие колебания около среднего значения. Однако при больших давлениях газа, когда разряд был расконтрагирован, колебания становились незаметными. Вопрос об исследовании колебаний плотности ионизации в разряде в высокоскоростном потоке газа должен рассматриваться отдельно.

Зависимости, аналогичные приведенным на фиг. 1, получены также для  $\text{CO}_2$ , аргона и воздуха и приводят к выводу, что диаметр контрагированного положительного столба в высокоскоростном потоке увеличивается при повышении давления газа и светящаяся область разряда заполняет весь объем трубки благодаря турбулентному течению газа.

Поступила 1 VII 1974

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Kenty C. Volume Recombination and Volt-Ampere Characteristics of the Positive Column.—«Phys. Rev.», 1962, vol. 126, N 4, p. 1235.
2. Lynch R. H. Constriction of the Thermally Inhomogeneous Positive Column with Volume Recombination.—«J. Appl. Phys.», 1967, vol. 38, N 10, p. 3965.
3. Ecker G., Zoller O. Thermally Inhomogeneous Plasma Column.—«Phys. Fluids», 1964, vol. 7, N 12, p. 1969.
4. Голубовский Ю. В., Казан Ю. М., Лягущенко Р. И. Спектроскопическое и зондовое исследование контрагированного столба разряда.—«Оптика и спектроскопия», 1966, т. 20, № 4, с. 564; т. 21, № 5, с. 525.
5. Баранов В. Ю., Ульянов К. Н. Контракция положительного столба.—«Письма в ЖЭТФ», 1967, т. 6, № 5, с. 622.
6. Etelevs K. G., Gray E. et al. Constricted and Unstable Positive Column in Electronegative Gases.—«Intern. J. Electronics», vol. 25, N 4, p. 367.
7. Елецкий А. В., Смирнов Б. М. Сжатие положительного столба тлеющего разряда.—ЖТФ, 1970, т. 40, № 8, с. 1682.
8. Письменный В. Д., Рахимов А. Т. О контрагировании положительного столба с электроотрицательными примесями.—«Докл. АН СССР», 1971, т. 200, № 1, с. 68.
9. Козлов Ю. Г., Шухтин А. М. Экспериментальное исследование явления контракции.—«Оптика и спектроскопия», 1970, т. 29, № 2, с. 232.
10. Галечян Г. А., Петросян С. И. Экспериментальное исследование контракции положительного столба в продольном потоке газа.—«Докл. АН Арм.ССР», 1973, т. 57, № 2, с. 72.
11. Shirahata H., Fujisawa A. Aerodynamically Mixed Electric Discharge  $\text{CO}_2$  Laser.—«Appl. Phys. Lett.», vol. 23, N 2, p. 8081.
12. Чеботайев В. П. Неконтрагированный, типа тлеющего, разряд постоянного тока при атмосферных давлениях.—«Докл. АН СССР», 1972, т. 206, № 2, с. 334.
13. Грановский В. Л. Электрический ток в газе. М., «Наука», 1971.