

## О МЕХАНИЗМЕ КОНТРАКЦИИ В ЭЛЕКТРООТРИЦАТЕЛЬНЫХ ГАЗАХ

Г. А. ГАЛЕЧЯН

Показано, что при увеличении разрядного тока в электроотрицательных газах форма распределения отрицательных ионов по радиусу положительного столба видоизменяется от параболической к двугорбой, что приводит к контракции разряда.

Положительный столб тлеющего газового разряда при давлениях  $1-10 \text{ тор}$  (в зависимости от природы газа и силы тока) контрагирует, т. е. сжимается к оси. При контракции форма распределения плотности тока или концентрации зарядов по радиусу трубки видоизменяется от параболической к колоколообразной [1].

Теоретически и экспериментально показано [1], что основным условием контрагированного положительного столба в атомарном газе является неоднородность энергии электронов по радиусу трубки и преобладание объемной рекомбинации зарядов на периферии разряда над диффузией заряженных частиц на стенки сосуда [1].

Из экспериментов [2] известно, что при добавлении примесей электроотрицательных газов к атомарной газовой компоненте уменьшаются токи и давления, при которых наступает контракция положительного столба. Следовательно, в молекулярных газах шнурование разряда вызвано гибелью электронов, связанной с образованием отрицательных ионов. Механизм контракции в электроотрицательных газах, который мало изучен, представляет интерес для ряда задач квантовой электроники и физики плазмы.

В настоящей работе предлагается механизм контракции в электроотрицательных газах на основе анализа формы распределения концентрации отрицательных ионов по радиусу положительного столба при различных значениях разрядного тока, так как известно [3], что диффузное состояние положительного столба может существовать и при больших давлениях при небольших токах. При увеличении тока при постоянном давлении диффузный положительный столб стягивается в узкий шнур.

В работе показано, что при увеличении разрядного тока в электроотрицательных газах в результате изменения формы распределения концентрации отрицательных ионов по радиусу трубки от параболической к двугорбой наступает контракция положительного столба. Определение распределения концентрации отрицательных ионов по радиусу столба связано с математическими трудностями, так как в этом случае нужно решить систему из трех нелинейных уравнений баланса заряженных частиц с диффузией электронов, положительных и отрицательных ионов [4, 5].

В работах [4, 5] дается приближенное решение указанной системы уравнений. В частности, в [4] приведен способ расчета концентрации отрицательных ионов лишь в приосевой области разряда, где можно пользоваться предположением о постоянстве отношения концентраций отрицательных ионов и электронов ( $\xi = \frac{n_-}{n_e}$ ) в пренебрежении диффузией ионов.

Однако для выяснения механизма контракции важным является исследование концентрации отрицательных ионов на периферии разряда. В работе [6] рассматривается зависимость величины электрического поля амбиполярной диффузии от  $\xi$ . Установлено, что в кислородном разряде  $\xi \approx 20$ , а при  $\xi < 10$  поле амбиполярной диффузии не возмущено присутствием отрицательных ионов.

В плоском случае уравнение баланса электронов в тлеющем разряде с отрицательными ионами при условии  $\xi = \frac{n_-}{n_e} < 10$  приводится к следующему виду:

$$\sigma P n_e = -D_a \frac{d}{dx} \left( \frac{1}{P} \frac{dn_+}{dx} \right) + \mu F^2 n_e, \quad (1)$$

где  $D_a$  — коэффициент амбиполярной диффузии,  $\sigma$  — коэффициент ионизации,  $\mu$  — коэффициент образования отрицательных ионов (все коэффициенты отнесены к единичному давлению),  $P$  — парциальное давление нейтрального газа,  $d$  — расстояние между стенками сосудов.

Диффузией отрицательных ионов на стенку пренебрегается вследствие того, что подвижность отрицательных ионов значительно меньше подвижности электронов и исчезновение отрицательных ионов происходит вследствие объемной рекомбинации с положительными ионами. Тогда уравнение баланса для отрицательных ионов примет вид

$$\mu P^2 n_e = \rho P n_+ n_-, \quad (2)$$

где  $\rho$  — коэффициент объемной рекомбинации ионов.

Условие квазинейтральности плазмы в электроотрицательных газах имеет следующий вид:

$$n_+ = n_- + n_e. \quad (3)$$

В работе [7] показано, что если нет магнитных полей и плазма покоится, парциальные давления электронов, положительных и отрицательных ионов и нейтрального газа распределяются так, что в любой точке сумма их постоянна:

$$P + n_- k t_- + n_+ k t_+ + n_e k T = \text{const} = P_w, \quad (4)$$

где  $P_w$  — давление на стенки сосуда,  $T$ ,  $t_+$ ,  $t_-$  — температура соответственно электронов, положительных и отрицательных ионов. Принимается, что  $t_- = t_+ = t$ ,  $t \ll T$ , а  $T$  и  $t$  постоянны по сечению разряда.

Получены четыре уравнения (1) — (4), которые достаточны для определения распределения  $n_+$ ,  $n_-$ ,  $n_e$  и  $P$  по  $x$ . В (4)  $n_- kt$  и  $n_+ kt$  можно пренебречь по сравнению с  $n_e kT$ .

При решении принимаются следующие граничные условия: на стенках сосуда концентрация зарядов равна нулю, на оси разряда  $\frac{dn}{dx} = 0$ . Перейдем к относительным давлениям газов

$$\gamma = \frac{P}{P_w}, \quad \alpha = \frac{n_- kt}{P_w}, \quad \eta = \frac{n_+ kt}{P_w}, \quad \chi = \frac{n_e kT}{P_w}$$

и подставим их в (1) — (4), введя обозначение  $\Delta = \frac{x}{d}$ .

На рисунке приведено решение (1) — (4) в виде кривых распределения относительного парциального давления отрицательных ионов по радиусу положительного столба

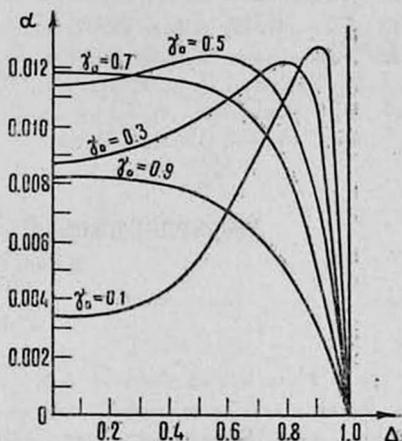
для  $\frac{T}{t} = 30$ ;  $\gamma_0$  — парциальное давление

нейтрального газа на оси разряда, которое определяется током. При увеличении разрядного тока  $\gamma_0$  уменьшается. При  $\gamma_0 = 0,9$  величина тока мала и форма распределения концентрации отрицательных ионов по сечению трубки имеет вид параболы, т. е. совпадает с видом распределения электронов по радиусу [7]. Это связано с тем, что при малых токах концентрация

электронов по всему сечению разряда значительно меньше концентрации нейтралов, и образование отрицательных ионов пропорционально концентрации электронов.

Увеличение тока приводит к уменьшению  $\gamma_0$ , т. е. к понижению концентрации нейтралов на оси разряда. При этом форма распределения отрицательных ионов видоизменяется от параболической к двугорбой кривой — наступает контракция. Изменение вида распределения  $n_-$  при увеличении тока вызвано тем, что концентрация электронов на оси возрастает, а нейтральных частиц — уменьшается, и вероятность образования отрицательных ионов значительно понижается.

В то время, как на периферии разряда плотность нейтралов заметно больше, чем на оси (т. к. на стенках  $n_e = 0$ ), происходит эффективное образование отрицательных ионов. Прилипание на периферии приводит к значительному понижению концентрации электронов у стенок, вследствие чего уменьшается вероятность ионизации и возбуждение атомов. В связи с этим электроны локализуются по оси



разряда и положительный столб стягивается в тонкий шнур, т. е. контрагирует.

Механизм контракции положительного столба в газах, в которых образуются отрицательные ионы, заключается в том, что при повышении разрядного тока  $i$  на периферии возрастает, а на оси уменьшается, в то время, как плотность тока в центре столба увеличивается, а на периферии убывает. Разряд переходит из диффузного состояния в контрагированное.

Институт физических исследований  
АН АрмССР

Поступила 29.V.1975

#### ЛИТЕРАТУРА

1. В. Л. Грановский. Электрический ток в газах, Москва, 1971.
2. К. G. Emelous et al. Int. J. Electronics, 25, 367 (1968).
3. В. Ю. Баранов, К. Н. Ульянов. ЖТФ, 39, 249 (1960).
4. G. Albrecht, G. Ecker. Zs. Naturforsch, 17a, 848 (1962).
5. М. В. Конюков. ЖЭТФ, 24, 908 (1958).
6. J. P. Tompson. Proc. Phys. Soc., 73, 818 (1959).
7. А. М. Резилян, Г. А. Галечян, В. В. Галечян. Изв. АН АрмССР, серия физ.-мат., 16, 117 (1963).

#### ԷԼԵԿՏՐՈՐԱՑԱՍՏԱԿԱՆ ԳԱԶԵՐՈՒՄ ԿՈՆՏՐԱԿՑԻԱՅԻ ՄԵԽԱՆԻԶՄԻ ՄԱՍԻՆ

Գ. Ա. ԳԱԼԵՉՅԱՆ

Ցույց է տրված, որ հոսանքի ուժի մեծ արժեքների դեպքում, երբ բացասական իոնների խտությունը մարմանը պարպման ծայրամասերում զգալիորեն բարձր է, քան առանցքին կից շրջանում, զաղի իոնիզացիան տեղի է ունենում հիմնականում պարպման մերձառանցքային տիրույթում:

#### ON THE MECHANISM OF CONTRACTION IN ELECTRONEGATIVE GASES

G. A. GALECHYAN

It is shown that at intense currents when the density of negative ions at the periphery is considerably higher than at the axis of the positive column, the gas ionization takes place mainly near the axis of the discharge.