

Т. А. САНИНА, А. А. САНИН

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УСТАНОВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ ЭЛЕКТРОНОВ ПО РАДИУСУ В ПОЛОЖИТЕЛЬНОМ СТОЛБЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

Оптическим методом исследовался процесс установления радиального распределения концентрации электронов в положительном столбе разряда при низких давлениях (≈ 1 мм рт. ст., радиус трубки 2 см, длина 50 см). Показано, что радиальное распределение, близкое к стационарному, устанавливается за время, равное нескольким микросекундам.

Введение

Исследование формирования отдельных частей разряда при низких давлениях в длинных трубках с накаливаемым катодом показало, что время формирования разряда в таких условиях составляет несколько микросекунд [1].

В стационарном режиме, как известно, вдоль радиуса имеет место бесселевское распределение концентрации заряженных частиц. Такое распределение связано с явлением амбиполярной диффузии, представляющей собой одновременную диффузию электронов и положительных ионов при наличии поля их собственных пространственных зарядов.

В данной работе определяется время установления радиального распределения концентрации электронов при импульсном питании разрядной трубки.

Методика

Нами был использован описанный ранее [1] оптический метод определения распределения концентрации электронов. Разряд создавался в длинных трубках с накаливаемым катодом, наполненных неоном при давлении 0,8—1 мм рт. ст.

На газоразрядную трубку подавались прямоугольные импульсы напряжения длительностью в несколько десятков микросекунд с небольшим перенапряжением. Через трубку протекали токи порядка 100 ма. Основной процесс, приводящий к распаду газоразрядной плазмы между двумя последовательными импульсами, определялся амби-

полярной диффузией. Исследование процесса распада плазмы за счет амбиполярной диффузии методом резонансной полости [2] показало, что падение концентрации электронов происходит по экспоненциальному закону, причем за 7—10 мсек концентрация уменьшается на один порядок. Если предположить, что первоначально число заряженных частиц в единице объема плазмы равно 10^{10} , то при распаде ее через 100 мсек концентрация их будет ничтожно мала. Таким образом, для того чтобы на характер радиального распределения электронов не влияли предшествующие разряды, частота повторения импульсов напряжения должна быть не выше 10 гц.

Описываемые ниже результаты были получены при частоте следования импульсов 3 гц. С помощью фотоумножителя и осциллографа со ждущей разверткой снимался ряд осциллограмм интенсивности излучения разряда в зависимости от времени для различных положений щели умножителя относительно осевой линии разряда.

Вследствие неравномерного распределения концентрации электронов по радиусу разрядной трубки, а также за счет геометрии опыта, для получения распределения концентрации в результате опыта следует вводить поправку [3]. Однако введение указанных поправок требует постановки опыта для отдельных монохроматических линий излучения и трудоемкой математической обработки результатов.

Так как целью работы было исследование формирования радиального распределения концентрации электронов, а не определение истинных значений концентрации, то упомянутые поправки нами не вводились. Проводилось сравнение мгновенного распределения интенсивности интегрального излучения разряда при импульсном питании со стационарным распределением интенсивности излучения, снятым в соответствующем режиме для той же трубки.

Результаты

На рис. 1 приведены эпюры интенсивности излучения положительного столба для различных расстояний от оси трубки, которые получены при длительности прямоугольного импульса напряжения 16 мсек и частоте следования 3 гц. Форма импульса напряжения на трубке изображена сверху.

На рис. 2 показаны построенные на основе таких осциллограмм кривые радиального распределения интенсивности излучения для различных моментов времени. По оси ординат отложена относительная интенсивность излучения $\frac{I}{I_0}$, где I_0 — интенсивность излучения на оси разряда. Сплошной линией вычерчена соответствующая кривая распределения интенсивности излучения для стационарного разряда в той же трубке. Сравнивая кривые, заметим, что наибольшее отличие от стационарного распределения имеет место для начальных моментов времени (1 мсек, 2 мсек — пунктирные кривые). Точки, соответствующие более поздним моментам времени (6 мсек, 12 мсек), довольно хорошо укладываются на кривую стационарного распределения. Установление в разряде радиального распределения концентрации электронов, близкого к стационарному, за время менее 10 мсек может быть объяснено следующим образом.

Время нарастания тока в разрядной трубке в рассматриваемом режиме (0,8—1 мм рт. ст., диаметр трубки 4 см, длина—50 см), как показано нами ранее [1], составляет примерно 1 мсек. С нарастанием тока меняется концентрация заряженных частиц в трубке. В начальные мо-

менты времени, когда токи, текущие через трубку, малы, полем пространственного заряда можно пренебречь и считать, что имеет место свободная диффузия заряженных частиц. Вследствие большой подвижности электронов $D_- \gg D_+$ (можно принять $D_-/D_+ = 10^4$). Ионы можно считать неподвижными за время формирования разряда. Электроны за это время получают неравномерное распределение по радиусу трубки — в областях, близких к оси, плотности электронов больше. Такое распределение возникает значительно раньше, чем сформируются отдельные части разряда, в то

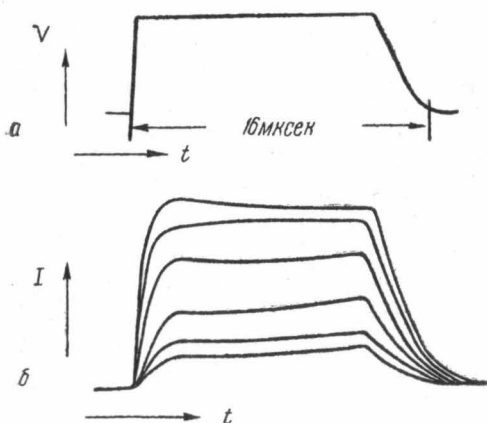


Рис. 1. *a* — форма импульса напряжения на трубке, *b* — эпюры интенсивности излучения положительного столба для различных расстояний от оси: 0, 4, 6, 8 и 12 мм

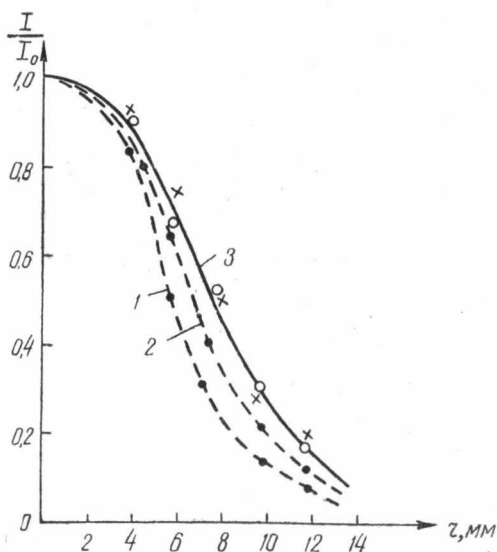


Рис. 2. Кривые радиального распределения интенсивности излучения в положительном столбе разряда для различных моментов времени: 1 — 1 мксек, 2 — 2 мксек; 3 — кривая стационарного распределения; крестиками отмечены точки, дающие распределение через 6 мксек, кружочками — через 12 мксек

время когда продольный градиент потенциала в трубке велик. При наличии такого распределения электронов ударная ионизация приводит к быстрому появлению неравномерности в распределении положительных ионов, к возникновению избыточного положительного заряда в областях, близких к оси трубки. Возникающий пространственный заряд уменьшает электронный ток на стенки. Пространственный заряд меняется до тех пор, пока не установится амбиполярная диффузия. Такой процесс установления пространственного распределения заряженных частиц не связан с движением положительных ионов, а обеспечивается своеобразной обратной связью: электроны создают пространственный заряд, который в свою очередь воздействует на распределение электронов. Указанная особенность процесса установления амбиполярной диффузии в положительном столбе газового разряда объясняет незначительное время установления радиального распределения концентрации электронов, близкого к стационарному, обнаруженное нами экспериментально (см. рис. 2).

Переход от свободной диффузии к амбиполярной, очевидно, осуществляется через стадию, соответствующую промежуточным значениям тока. При этом в центре разряда наблюдается амбиполярная диффузия и свободная диффузия у стенок. Такая переходная диффузия,

как известно, происходит в стационарном высокочастотном разряде малой мощности [4]. При переходной диффузии эффективный коэффициент увеличивается с радиусом, что приводит к обеднению слоев, прилежащих к стенкам, электронами и к снижению кривой радиального распределения относительно установившегося случая. Кривые 1 и 2 на рис. 2 дают распределение, соответствующее переходной диффузии.

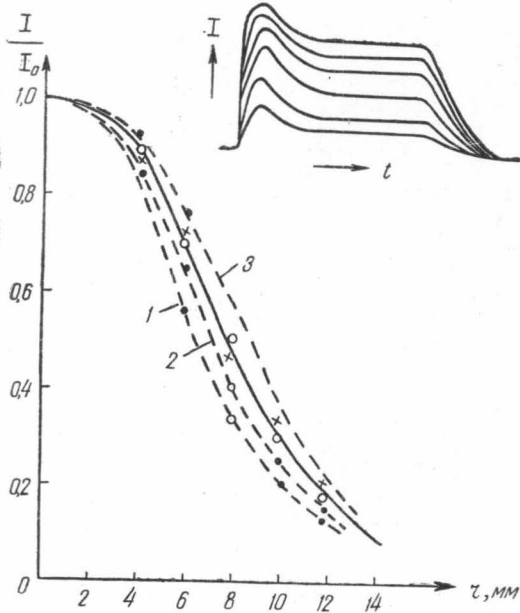


Рис. 3. Кривые радиального распределения интенсивности излучения в положительном столбе разряда. Длительность импульса 20 мксек: 1 — через 0,5 мксек, 2 — через 1 мксек, 3 — через 2 мксек

На рис. 3 приведены кривые радиального распределения интенсивности излучения при пониженном накале, кроме того, изображены соответствующие эпюры интенсивности излучения. В процессе становления разряд, как и в предшествующем случае, проходит стадию переходной диффузии (кривые 1 и 2). Установившемуся распределению — точки, отмеченные крестом (8 мксек), — предшествует несколько повышенное значение концентрации электронов (кривая 3).

Выводы

Экспериментально показано, что в положительном столбе разряда в длинных трубках с накаливаемым катодом за время порядка нескольких микросекунд при давлении около 1 мм рт. ст. устанавливается

радиальное распределение концентрации электронов, близкое к стационарному.

В промежуточной стадии формирования разряда обнаружено колоколообразное распределение концентрации электронов с пониженным значением близ стенок трубки.

Быстрое установление распределения концентрации электронов, близкое к стационарному, обусловлено свободной диффузией электронов в начальные моменты времени и тем, что процесс перехода от свободной диффузии к амбиполярной не связан с движением положительных ионов.

Колоколообразное распределение концентрации электронов по радиусу объясняется режимом переходной диффузии, являющимся промежуточным между свободной и амбиполярной диффузией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Санина Т. А., Зайцев А. А., Санин А. А. «Вестн. Моск. ун-та», сер. физики, астрономии, № 2, 54, 1961.
2. Biondi M. A., Brown S. C. Phys. Rev., 75, 1700, 1949; Нётманн, Zs. Phys., 97, 539, 1935.
3. Афанасьева К. Дипломная работа. МГУ.
4. Allis W. P., Rose D. J. Phys. Rev., 93, 84, 1954.

Поступила в редакцию
16. 6 1962 г.

НИИЯФ, МАИ