

УДК 533.9.03

ФИЗИКА

В. И. ГОРГОРАКИ

ПЛАЗМА В ЭКРАНИРОВАННОМ ОБЪЕМЕ

(Представлено академиком И. В. Обреимовым 2 XI 1971)

Исследованию свойств и условий возникновения низкотемпературной плазмы (газоразрядной) посвящено большое число работ, например, работы монографического характера (¹⁻³). Во всех случаях низкотемпературную плазму наблюдают в пространстве, на которое наложено внешнее электрическое (а иногда дополнительно и магнитное) поле. Это поле действует на заряженные частицы, в результате чего плазма становится существенно неоднородной по сечению пространства; о степени неоднородности судят по результатам зондирования (⁴⁻⁸).

В настоящем сообщении описана плазма, которую наблюдали в экранированном объеме, лишенном каких-либо полей. Эта плазма устойчива, характеризуется однородностью по сечению пространства и в этом смысле ее можно назвать однородной.

Пусть в вакуумированной колбе имеется накаливаемый катод и плоский анод. Если этот сосуд наполнить газом до определенного давления, то в междуэлектродной области образуется низкотемпературная газоразрядная плазма. Это явление называют дуговым несамостоятельным разрядом (дуга с накаливаемым катодом). Дуга несамостоятельного разряда может быть аномальной и нормальной (^{2-6, 9}).

Теперь приблизим анод к катоду на минимально возможное расстояние, сделав в анодной пластине небольшое щелевое отверстие, через которое электроны будут попадать в заанодную область, представляющую (рис. 1) экранированный объем с зондом 4. Этот зонд расположен таким образом, что непосредственно эмиттируемые электроны на него не могут попадать. Вблизи катода укреплен отражатель (иммерсионная линза (¹⁰)). По отношению к катоду на отражатель приложено отрицательное напряжение, а на анод — положительное ускоряющее (ионизирующее) напряжение. При определенном соотношении этих напряжений имеет место эффект образования устойчивой плазмы в экранированном объеме ионизационной камеры. Как видно из рис. 1, поля в ионизационной камере отсутствуют.

Плазму наблюдали при ионизирующем напряжении примерно от 25 до 100—120 в и напряжении на отражателе до —200 в. Оптимальное соотношение напряжений находили по максимуму ионного или электронного тока на зонд. Настройка была весьма резкой, и при небольшом изменении одного из напряжений ток на зонд быстро уменьшался. Следует заметить, что абсолютная величина напряжений может меняться в широких пределах. Эффект наблюдали на остаточных газах и аргоне.

Для измерения зондовых характеристик был использован плоский зонд, теория которого особенно проста (²⁻⁸). На рис. 2 и 3 показана одна из зондовых характеристик, полученных в аргоне при давлении $9 \cdot 10^{-3}$ тор. Из-

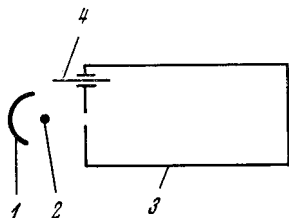


Рис. 1. Схема экспериментального устройства: 1 — отражатель, 2 — накаливаемый проволочный катод, 3 — ионизационная камера, 4 — плоский зонд

мерения проводили следующим образом. Устанавливали эмиссионный ток величиной 10 ма при ионизирующем напряжении 100 в и нулевом напряжении на отражателе. Затем по максимуму ионного или электронного тока

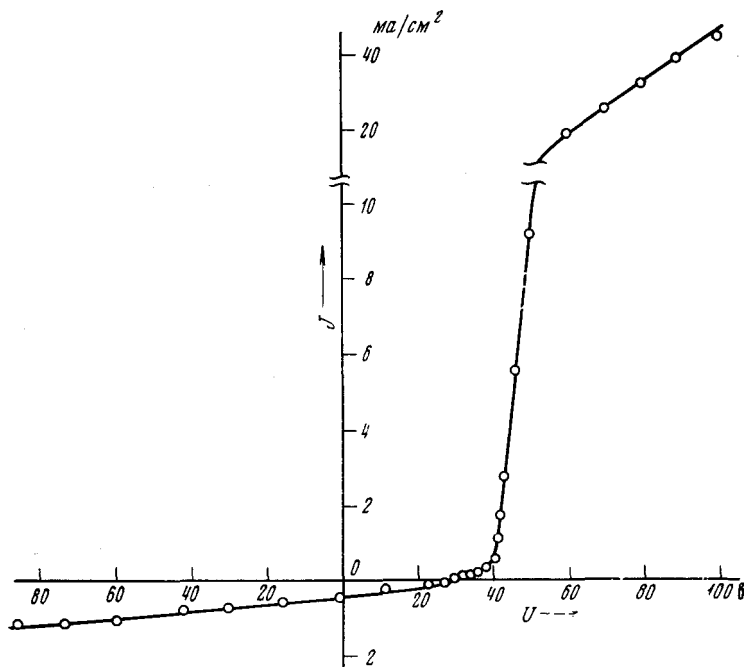


Рис. 2. Зондовая характеристика плазмы

на зонд находили оптимальное соотношение ионизирующего напряжения и напряжения на отражателе, которые были соответственно равны 40 в и 93 в (рис. 2, 3). При этом ток эмиссии составлял 3,6 ма. В этом режиме проводили измерение зондовой характеристики.

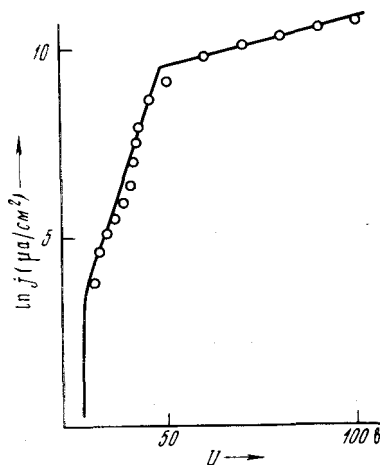


Рис. 3. Зависимость $\ln j$ от напряжения

Из рассмотрения рис. 3 следует, что электроны имеют максвелловское распределение по скоростям. В результате обсека кривых рис. 2 и 3 найдено, что электронная температура составляет $40\,000^\circ\text{K}$, потенциал плазмы равен 50 в, концентрация электронов, равная концентрации ионов, составляет $2 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$, потенциал стенки равен 30 в, дебаевский радиус экранирования равен $3,2 \cdot 10^{-2} \text{ см}$, плотность электронного беспорядочного тока равна $9 \cdot 10^{-3} \text{ а/см}^2$, а плазменная частота $4 \cdot 10^8 \text{ гц}$. Плазма однородна и концентрация ионизованных частиц в ней довольно высока. По своим характеристикам она сопоставима с ртутной плазмой, параметры которой приведены в первой строке

табл. 18 работы (5) и более полное описание которой дано в работе (11). Следует заметить, что в случае плазмы, рассмотренной в работе (11), разрядный ток был примерно в 30 раз больше эмиссионного тока в описываемом нами эксперименте, т. е. эффективность ионизации в нашем случае довольно высока; причем в ионизационную камеру попадала лишь часть от общего эмиссионного тока. Таким образом, для наблюдения эффекта

образования устойчивой плазмы в экранированном объеме необходим поток электронов, сфокусированных указанным выше способом. По мнению автора, механизм образования такой плазмы носит резонансный характер.

В качестве примера практического использования эффекта можно привести результаты работ (¹², ¹³), в которых на стандартном масс-спектрометре МИ-1311 при переводе источника ионов с ударной ионизацией заводской конструкции (¹⁴) в режим плазмы удалось на 5—6 порядков повысить абсолютную чувствительность изотопного анализа при несколько лучшем разрешении, т. е. была достигнута чувствительность на уровне 10^{-9} г по серебру, тогда как для режима ударной ионизации (¹⁵, ¹⁶) она составляет всего 10^{-3} — 10^{-4} г. При этом был использован магнит, положение которого должно быть оптимальным как в отношении зажигания плазмы, так и в отношении вытягивания ионов.

В заключение отметим, что существование устойчивой плазмы в экранированном объеме расширяет представления о природе низкотемпературной плазмы.

Автор считает своим приятным долгом поблагодарить акад. И. В. Обреимова за предоставленную возможность обсудить материал статьи на коллоквиуме лаборатории.

Институт общей и неорганической химии
им. Н. С. Курпакова
Академии наук СССР
Москва

Поступило
18 X 1971

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ С. Браун, Элементарные процессы в плазме газового разряда, М., 1961.
² А. Энгель, Ионизованные газы, М., 1959. ³ А. В. Чернетский, Введение в физику плазмы, М., 1969. ⁴ Н. А. Капцов, Электроника, М., 1959. ⁵ В. И. Гапонов, Электроника, ч. 1, М., 1960. ⁶ Л. Леб, Элементарные процессы в электрических разрядах, М.—Л., 1950. ⁷ О. В. Козлов, Электрический зонд в плазме, М., 1969. ⁸ Ф. Чен, Сборн. Диагностика плазмы, М., 1967, стр. 94. ⁹ Ф. Пеннинг, Электрические разряды в газах, ИЛ, 1960. ¹⁰ В. Глазер, Основы электронной оптики, М., 1957. ¹¹ Р. Ромпе, М. Штеенбек, УФН, 25, 2, 190 (1941); 25, 3, 310 (1941). ¹² В. И. Горгорак, А. В. Герасимова, ДАН, 196, № 3, 583 (1971). ¹³ В. И. Горгорак, А. В. Герасимова, ДАН, 199, 350 (1971). ¹⁴ В. К. Олейник, Ю. С. Рутгайзер, А. М. Шерешевский, Приборы и техн. эксп., № 1, 141 (1965). ¹⁵ Дж. Пальмер, Сборн. Успехи масс-спектрометрии, М., 1963, стр. 95. ¹⁶ Дж. Робин, Сборн. Физические методы анализа следов элементов, М., 1967, стр. 321.