

Н. И. ИОНОВ

ИЗМЕРЕНИЕ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОНОВ И ПОЛОЖИТЕЛЬНЫХ ИОНОВ В ПЛАЗМЕ ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

(Представлено академиком П. И. Лукирским 3 VI 1952)

Основные параметры газоразрядной плазмы обычно получают из измерений тока, поступающего на помещенный в плазму электрод (зонд), в зависимости от потенциала этого электрода по отношению к катоду или аноду разрядной трубки. Анализ зондовых характеристик позволяет определить концентрацию и температуру электронов, а также потенциал плазмы вблизи поверхности зонда. Однако из зондовых измерений нельзя получить распределение по энергиям положительных ионов плазмы, и вопрос об «ионной температуре» до настоящего времени не может считаться экспериментально решенным.

Делались попытки использовать для определения параметров плазмы зонды, состоящие из двух электродов (сетки и коллекторной пластины), разность потенциалов между которыми, в дополнение к разности потенциалов между сеткой и плазмой, могла обеспечить раздельное измерение электронного тока и тока положительных ионов, поступающих на коллектор. Но так как давление газа между электродами зонда оставалось таким же, как и во всем объеме разрядной трубки, то наложенные на электроды зонда потенциалы, так же как и в случае одноэлектродных зондов, разрушали плазму вблизи электродов, а измеренные зондовые характеристики не могли дать истинного распределения положительных ионов и электронов по энергиям в невозмущенной плазме.

Для анализа электронов и положительных ионов в плазме мы воспользовались методом, который был применен нами ранее ⁽²⁾ для определения распределения по энергиям положительных ионов калия, образующихся при поверхностной ионизации.

Измерительный зонд (см. рис. 1) представлял собой трехэлектродный плоский конденсатор с диаметром пластин 20 мм, изготовленный из платиновой ленты толщиной 0,1 мм. Пластины 4, 3 и 2 в их средней части имели щели площадью $0,07 \times 4 \text{ мм}^2$, $1 \times 4 \text{ мм}^2$ и $0,1 \times 4 \text{ мм}^2$, соответственно. Пластина 4 была заварена в стенку газоразрядной трубки и находилась в постоянном электрическом контакте с пластиной 3.

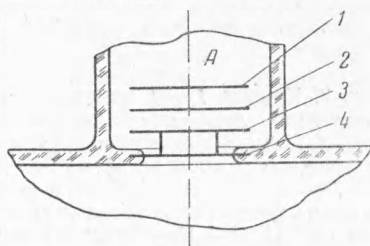


Рис. 1

Вся система находилась в стеклянном отростке А, приваренном к разрядной трубке посередине между катодом и анодом. Этот отросток оканчивался шаровой ловушкой, в которую при измерениях наливался жидкий азот.

Разряд горел в парах ртути в трубке с оксидным катодом прямого накала. Упругость паров ртути определялась температурой специального отростка газоразрядной трубки, который был погружен в воду. Температура разрядной трубки во время опытов поддерживалась более высокой, чем температура отростка. Диаметр разрядной трубки равен 50 мм, а расстояние катод — анод равно 160 мм.

Так как отросток А был отделен от разрядной трубки диафрагмой с узкой щелью (площадью 0,07 — 4 мм²), то при наличии жидкого азота в ловушке в пространстве между электродами измерительной системы упругость паров ртути была значительно ниже, чем в разрядной трубке, что существенно для этого метода.

Задавая электродам 4 и 3 потенциал относительно анода, равный потенциалу плазмы у поверхности пластины 4, а между электродами 3 и 2 прикладывая постоянную разность потенциалов V_{32} (в наших опытах равную $\pm 40 \div \pm 60$ в), можно было разделить положительно заряженную и отрицательно заряженную компоненты плазмы, так что через щель в электроде 2 могла пройти только одна из них, дополнительно ускоренная разностью потенциалов V_{32} . Изменяя с помощью декадного делителя разность потенциалов V_{31} между электродами 3 и 1, можно было измерить распределение положительных ионов или электронов, достигающих пластинки 1, по энергиям. Ток частиц, поступающих на пластинку 1, измерялся зеркальным гальванометром с магазинным шунтом для изменения его чувствительности.

Рис. 2. Кривые 1—4 измерены при следующих значениях параметров разряда. Давление паров ртути P (в тысячных долях тора): 1 — $P = 0,05$; 2 — $P = 1,5$; 3 — $P = 4,05$; 4 — $P = 6,5$. Разность потенциалов катод — анод V (в вольтах): 1 — $V = 78$; 2 — $V = 28$; 3 — $V = 32$; 4 — $V = 30$. Разрядный ток I (в амперах): 1 — $I = 0,24$; 2 — $I = 0,51$; 3 — $I = 0,48$; 4 — $I = 0,49$. Разность потенциалов зонд — анод (в вольтах): 1, 2, 3 — 0; 4 — 12,7

Графики зависимости тока положительных ионов на коллектор 1 в зависимости от анализирующей разности потенциалов V_{31} приведены на рис. 2. Из этих графиков видно, что энергии ионов, поступающих на электрод 1, заключены в интервале 1,5 эв. Из наклона прямолинейной части графика $\lg I^+ = f(V_{31})$ получилось значение «ионной температуры», равное 1500° К. Учитывая что действие ионной оптики и магнитных полей земли и разряда могло привести только к увеличению разброса измеряемой в наших опытах составляющей скоростей ионов по отношению к начальному распределению ионов по энергиям в плазме, можно сделать заключение, что, возможно, «температура ионов» в плазме газового разряда была значительно ниже (температура стенок разрядной трубки при горящем разряде была порядка 400° К).

Наклон линейных частей графиков $I^+ = f(V_{31})$ не зависел от потенциала электрода 4 по отношению к аноду, от силы разрядного тока в трубке, от разности потенциалов катод — анод и от упругости паров ртути в разрядной трубке. При изменении потенциала электрода 4 относительно анода графики $I^+ = f(V_{31})$ смещались параллельно,

без изменения наклона их линейных частей, на величину этого изменения потенциала. При увеличении положительных, по отношению к плазме, значений потенциала электрода 4 ионный ток быстро падал до нуля.

Из графиков $I^+ = f(V_{31})$ с большой точностью может быть определен потенциал плазмы у поверхности зонда (электрода 4).

Графики зависимости электронного тока на коллектор $I \lg I^- = f(V_{31})$ приведены на рис. 3. Наклон прямолинейных частей этих графиков несколько меняется в зависимости от потенциала электрода 4 по отношению к аноду. Если этот потенциал равен потенциалу плазмы у поверхности электрода 4, то электронная температура, определенная из наклона прямолинейных частей графиков $\lg I^- = f(V_{31})$, совпадает, в пределах точности определений, с температурой электронов, определенной обычным способом из зондовых характеристик, когда электрод 4 используется как обычный плоский зонд.

Следует отметить, что при упругости паров ртути в разрядной трубке вплоть до 40μ имеется заметное число быстрых электронов с немаксвелловским распределением по энергиям.

Когда разряд зажигался между катодом и электродом 4 в качестве анода (анод трубки при этом отключался от электрической схемы), ионный ток на коллектор I поступал только в том случае, если анодное падение потенциала было или нулевым или отрицательным. В этом случае величина смещения графика $I^+ = f(V_{31})$ относительно потенциала анода равнялась величине анодного падения. Наклон линейной части графика $\lg I^+ = f(V_{31})$ попрежнему давал для «ионной температуры» значение порядка 1500°K .

При положительных значениях анодного падения его величина могла быть определена по смещению линейных частей графиков $\lg I^+ = f(V_{31})$ относительно потенциала анода.

Ленинградский физико-технический институт
Академии наук СССР

Поступило
12 V 1952

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ R. L. F. Boyd, Nature, 165, 228 (1950). ² Н. И. Ионов, ЖЭТФ, 18, 96 (1948).

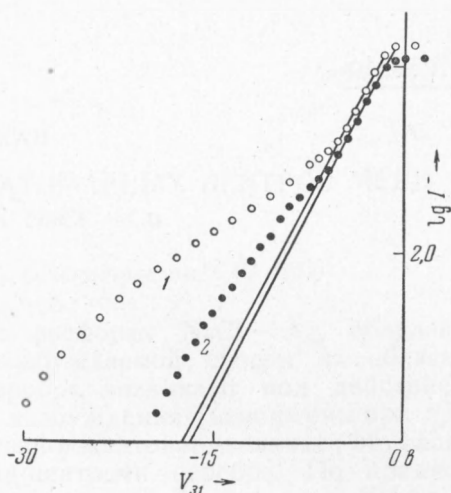


Рис. 3. Кривые 1 и 2 измерены при следующих значениях параметров разряда. Давление паров ртути P (в тысячных долях тора): 1 — $P = 1,2$; 2 — $P = 4,0$. Разность потенциалов катод — анод V (в вольтах): 1 — 23; 2 — 36. Разрядный ток $I = 0,5$ а. Разность потенциалов зонд — анод (в вольтах): 1 — — 1,0; 2 — — 5,0