

ПОЛУАВТОМАТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ
КОНЦЕНТРАЦИИ И ЧАСТОТЫ СТОЛКНОВЕНИЙ ЭЛЕКТРОНОВ

Б. Косма, А. Г. Свиридов

УДК 537.525.1; 621.039.66

Для определения добротности резонатора и изменения резонансной частоты его при измерениях концентрации и частоты соударений электронов в плазме разрядов резонаторным методом был применен самописец для записи спектра резонатора и использован аттенватор в 3 дБ.

I. Введение

Известно, что высокочастотный резонаторный метод используется для определения концентрации и частоты столкновений электронов в плазме по сдвигу резонансной частоты и изменению коэффициента добротности резонатора $/I/$. Соотношения, дающие среднюю концентрацию электронов \bar{n}_e и частоту соударений электронов $\nu_{эфф}$, имеют следующий вид:

$$\bar{n}_e = \frac{n_c}{A} \frac{\Delta\omega}{\omega} \left[1 + \left(\frac{\Delta(1/Q)}{2\Delta\omega/\omega} \right)^2 \right], \quad (Ia)$$

$$\nu_{эфф} = \frac{\omega}{2} \frac{\Delta(1/Q)}{\Delta\omega/\omega}, \quad (Iб)$$

где $n_c = m\omega^2/4\pi e^2$ - критическая концентрация электронов, A - коэффициент формы, $\Delta\omega/\omega$ - относительный сдвиг частоты резонатора за счет плазмы, и $\Delta(1/Q) = \frac{1}{Q} - \frac{1}{Q_0}$, где Q и Q_0 - добротность резонатора с плазмой и без плазмы.

При $\nu_{эфф} \ll \omega$ второе слагаемое формулы (Ia) мало по сравнению с единицей, так как $[\Delta(1/Q)/2\Delta\omega/\omega]^2 = (\nu_{эфф}/\omega)^2$. Поэтому определение \bar{n}_e возможно только по сдвигу частоты без учета изменения добротности за счет плазмы. Напротив, когда $\nu_{эфф} \sim \omega$, вторым слагаемым в (Ia) пренебречь нельзя и необходимы измерения Q и Q_0 . В этом случае экспериментатору приходится встречаться, когда исследуется плазма при сравнительно высоких давлениях или в трубках большого диаметра, когда приходится применять резонаторы боль-

шого диаметра с низкими собственными частотами. В этих обоих случаях, как следует из вышесказанного, необходимо надежное измерение добротности. Для определения добротности необходима проверка измерительной системы на линейность или градуировка системы по мощности. В данной статье описана методика, с помощью которой можно повысить точность определения Q и Q_0 резонатора в несколько раз и тем самым увеличить точность определения \bar{n}_e .

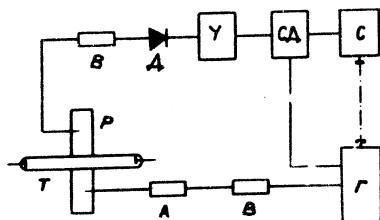
2. Экспериментальная установка и методика

Для определения сдвига частоты $\Delta\omega/\omega$ и изменения обратной величины добротности $\Delta(1/Q)$ мы собрали установку, с помощью которой можно записать резонансную кривую резонатора (см. рис. I). Промодулированный высокочастотный сигнал от генератора Г через вентиль В и калиброванный аттенуатор А поступает в резонатор Р. Ручка регулировки частоты генератора стыкуется механически с самописцем. После детектора Д сигнал поступает в усилитель У и синхронный детектор СД. Импульсы для синхронизации детектора берутся от генератора Г. Детектированный сигнал подается на самописец.

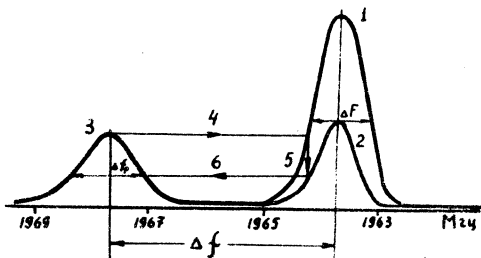
На рис. 2 приведена запись резонансных кривых, где схематично показано, как определяется сдвиг частоты и коэффициент добротности. Кривые 1 и 2 - резонансные кривые резонатора без плазмы, причем кривая 2 снята с ослаблением 3 дБ. Таким образом, для любой частоты $f = 2\pi/\omega$ ординаты кривой 2 в единицах мощности в два раза меньше ординат кривой 1. Ширина Δf кривой 1 на уровне вершины резонансной кривой 2 дает коэффициент добротности резонатора без плазмы $Q_0 = f_0/\Delta f$. Кривая 3 - резонансная кривая резонатора с плазмой. Для того, чтобы определить полуширину Δf_p кривой 3 необходимо из ее вершины провести горизонтальную прямую до пересечения с градуировочной кривой 1, из точки пересечения провести вертикальную прямую до пересечения с кривой 2 и, затем из этой точки пересечения провести горизонтальную прямую до пересечения с кривой 3. Стрелками 4, 5 и 6 показана последовательность операций для определения полуширины Δf_p резонансной кривой резонатора с плазмой. При использовании градуированного аттенуатора, дающего ослабление в 3 дБ, отпадает необходимость градуировать детектор Д, усилитель, синхронный детектор и усилитель самописца.

С помощью описанного резонансного метода нами измерялась концентрация электронов и частота столкновений электронов в плаз-

ме разряда смеси $\text{CO}+\text{He}+\text{O}_2$. Разряд осуществлялся на постоянном токе в кварцевой трубке диаметром 3,4 см и длиной 70 см при естественном охлаждении. Резонатор цилиндрический, диаметр его - 26 см. Резонансная частота на TM_{020} моде $f = 1964$ МГц. Коэффициент формы A определялся экспериментально.



Р и с. 1. Схема установки. Г - генератор, В - вентиль, А - калиброванный аттенуатор, Т - разрядная трубка, Р - резонатор, Д - детектор, У - усилитель, СД - синхронный детектор, С - самописец



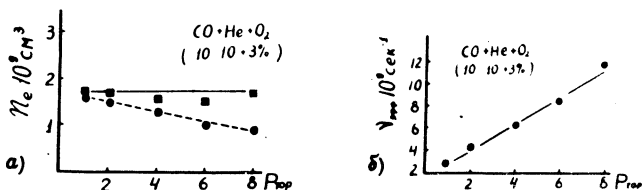
Р и с. 2. Запись спектра резонатора

3. Результаты эксперимента

а) Опыты показали, что концентрация электронов линейно увеличивается с ростом разрядного тока, как это было показано в /1/. Однако, в отличие от результатов III группы опытов, приведенных в таблице I в работе /1/, наблюдалось увеличение концентрации электронов с увеличением доли He в смеси при постоянном давлении.

Так, если при соотношении $\text{CO} : \text{He} = 1:1$ коэффициент пропорциональности между концентрацией электронов и плотностью разрядного тока $\gamma = 0,44 \cdot 10^9 / \text{ма.см.}$, то при соотношении $1:3$ $\gamma = 0,49 \cdot 10^9$, а при $1:10$ $\gamma = 0,60 \cdot 10^9 / \text{ма.см.}$ (добавка O_2 в этих опытах составляла 3% от суммарного объема CO и He).

б) Концентрация электронов \bar{n}_e не зависит от давления смеси при одном и том же токе разряда. На рис. 3а в качестве примера приведена зависимость \bar{n}_e от общего давления смеси. Если не учитывать второй член в формуле (1), то может создаться ошибочное представление, что концентрация электронов уменьшается с ростом



Р и с. 3. а) Зависимость концентрации электронов \bar{n}_e от давления. Ток разряда 55 ма. 1 - без учета поправочного члена, 2 - с учетом поправочного члена. б) Зависимость частоты соударений электронов $\nu_{\text{эфф}}$ от давления P . Ток разряда 55 ма, диаметр трубки 34 мм

давления (см. штрихованную прямую на рис. 3а). При небольших давлениях (~ 1 тора) поправка незначительна. При давлении 7-8 тор учет второго члена дает увеличение концентрации \bar{n}_e в 2 раза (прямая 2). Ток разряда всюду поддерживался равным 55 ма.

в) На рис. 3б для иллюстрации приведена зависимость частоты соударений электронов $\nu_{\text{эфф}}$ с тяжелыми частицами. Из графика видно, что частота соударений линейно возрастает с ростом давления.

Заключение

Приведенные данные показывают, что описанный метод может с успехом применяться для исследования газоразрядной плазмы, для которой $\nu_{\text{эфф}}/\omega \sim 1$.

Авторы благодарны Н. Н. Соболеву за обсуждение результатов.

Поступила в редакцию
15 марта 1974 года

Л и т е р а т у р а

Г. М. З. Новгородов, А. Г. Свиридов, Н. Н. Соболев. ЖТФ, 42, 1471 (1972).