

01; 04

© 1993

ОБ АНАЛОГИИ МЕЖДУ СИЛОЙ МИЛЛЕРА
И ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ДИФФУЗИЕЙ

И.Д. Каганович

В ВЧ разряде при средних давлениях существен коэффициент высокочастотной диффузии [1]. Ему дано несколько интерпретаций [1, 2]. Ниже будет показано, что это явление имеет ясную физическую аналогию: силу Миллера в бесстолкновительном случае (когда частота ВЧ поля $\omega \ll \nu$ – частоты столкновений электрона с нейтралями). Разница заключается в том, что в столкновительном случае для получения среднего движения надо учитывать зависимость от координаты не амплитуды поля, а фазы. Рассмотрим для простоты случай когда частота столкновений электрона с газом не зависит от энергии. Тогда для каждого электрона можно записать уравнение движения в поле $E_0(x)e^{i\omega t + \phi(x)}$

$$(i\omega + \nu)\dot{x} = (e/m)E_0(x)e^{i\omega t + \phi(x)}. \quad (1)$$

Наличие слабой неоднородности амплитуды и фазы поля приводит к дрейфу электронов в среднем по времени; средняя сила, действующая на электрон

$$F = \frac{e}{m} \left\langle \left(\frac{\partial E_0(x,t)}{\partial x} \xi + E_0(x,t) \frac{\partial \phi}{\partial x} i\xi \right) \right\rangle, \quad (2)$$

$$\xi = eE_0(x,t)/mi\omega(\nu + i\omega),$$

где $\langle \rangle$ означает усреднение, ξ – смещение электрона с частотой ω .

После усреднения мы получим выражение для средней силы, действующей на электрон:

$$F = \frac{e^2}{2m} \left(\frac{1}{2(\nu^2 + \omega^2)} \frac{\partial E_0^2}{\partial x} + \frac{\nu E_0^2}{\omega(\nu^2 + \omega^2)} \frac{\partial \phi}{\partial x} \right). \quad (3)$$

Если движение можно считать бесстолкновительным, то мы получаем силу Миллера, в обратном случае ВЧ диффузию. Действительно, при заданном высокочастотном токе, состоящем из тока смещения и электронного тока проводимости:

$$j_0 e^{i\omega t} = \frac{e^2 n F}{m(\nu + i\omega)} + \frac{i\omega F}{4\pi}, \quad (4)$$

можно найти фазу между током и полем

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi &= \omega(\tau - \nu^{-1}), \\ \tau &= \frac{m(\nu^2 + \omega^2)}{4\pi e^2 n \nu} \end{aligned} \quad (5)$$

и поток электронов

$$n(\dot{x}) = \frac{nF}{\nu m} = -\frac{1}{2} \frac{U_{gp} \tau}{1 + (\omega(\tau - \nu^{-1}))^2} \frac{\partial n}{\partial x}, \quad U_{gp} = \frac{eE_0}{m\sqrt{\nu^2 + \omega^2}}. \quad (6)$$

При

$$\omega\tau \ll 1, \quad \omega/\nu \ll 1 \quad (7)$$

получаем хорошо известное выражение для коэффициента ВЧ диффузии электронов

$$D_{B4} = D_e \frac{\langle E^2(x, t) \rangle}{12T_e} \quad (8)$$

где D_e — электронный коэффициент диффузии.

При выполнении хотя бы одного из обратных неравенств (7) ВЧ диффузия сильно подавлена.

С п и с о к л и т е р а т у р ы

- [1] Шапиро Г.И., Сорока А.М. // Письма в ЖТФ. 1979. Т. 5. С. 129.
- [2] Велихов Е.П., Ковалев А.С., Рахимов А.Т. Физические явления в газоразрядной плазме. М.: Наука, 1987. 160 с.

Поступило в Редакцию
23 марта 1993 г.