

ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Дерибас. Физика упрочнения и сварки взрывом. Новосибирск, «Наука», 1972.
2. G. E. Lundin, D. I. McPherson, M. Hansen. Trans. Met. Soc. AIME. 1953, 197, 273.
3. Г. В. Бердичевский, Т. М. Соболенко. Автоматич. сварка, 1968, 9, 12.
4. J. C. Jamieson. Science, 1963, 140, 3562.
5. Г. Н. Герман, А. А. Баканова и др. ФТТ, 1970, 12, 2.
6. Е. М. Тарараева, О. С. Иванов. В сб. «Диаграммы состояния металлических систем». М., «Наука», 1971.
7. Higozo Kimura, Iukio Minode a. o. J. Jap. Inst. Metals, 1973, 37, 5.
8. М. Хансен, К. Андерко. Структуры двойных сплавов. Т. 2. М., Металлургия, 1962.
9. Amer. society for testing materials, X-ray powder data file.
10. E. Rauh. M. Engel. Z. Metallkunde, 1948, 39, 127.
11. Л. Л. Рохлин, Н. Р. Бочвар, Е. В. Лысова. Изв. вузов, Цветные металлы, 1972, 4.

УДК 537.566

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФУНКЦИИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОНОВ ПО ЭНЕРГИЯМ И ПЛАЗМЕ ПЛАМЕНИ МЕТОДОМ ПРИРАЩЕНИЯ ПОСТОЯННОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЗОНДОВОГО ТОКА

А. С. Зайцев

(Днепропетровск)

Подавляющее большинство работ по определению функции распределения электронов по энергиям относится к газоразрядной плазме. Первые сведения получены в работе [1], где функция распределения определялась методом второй гармоники. Поскольку в литературе отсутствуют работы по определению функции распределения в плазме пламени, полученные нами и другими исследователями данные нельзя сопоставить и сравнить, имеет смысл найти функцию распределения способом, отличающимся от ранее примененного в работе [1].

В данном исследовании функция распределения $f(eU)$ определялась на основе использования формулы Дрювестейна [2]

$$f(eU) = \frac{2}{eSn} \sqrt{\frac{2mU}{e}} \frac{d^2 I}{dU^2}, \quad (1)$$

где I — электронный ток на зонд; U — потенциал зонда относительно плазмы; S — площадь рабочей поверхности зонда; n — концентрация электронов; m — масса электрона; e — элементарный заряд.

Вторая производная зондового тока по потенциалу зонда находилась методом, впервые предложенном в работе [3]. На медленно изменяющееся напряжение зонда U накладывается слабый сигнал синусоидальной формы $\varepsilon = a \sin \omega t$. Если разложить модулированный электронный ток в ряд Тейлора, то получим

$$I(u + a \sin \omega t) = I + \frac{a^2}{4} I^{II} + \frac{a^4}{64} I^{IV} + \left[aI + \frac{a^3}{8} I^{III} + \dots \right] \sin \omega t - \left[\frac{a^2}{4} I^{II} + \frac{a^4}{64} I^{IV} + \dots \right] \cos 2\omega t - \left[\frac{a^3}{24} I^{III} + \dots \right] \sin 3\omega t + \dots \quad (2)$$

Выделяя постоянную составляющую, можно из соотношения

$$\Delta I = I(U + a \sin \omega t) - I(U) = \frac{a^2}{4} I'' \quad (3)$$

найти вторую производную.

Блок-схема для измерения второй производной показана на рис. 1 (1 — генератор, 2 — барокамера, 3 — зонд, 4 — противозонд). Напряжение пилообразной формы для питания зондовой цепи снимали с кругового потенциометра ($R=60$ Ом), ось которого жестко соединялась с валом реверсивного двигателя РД-09.

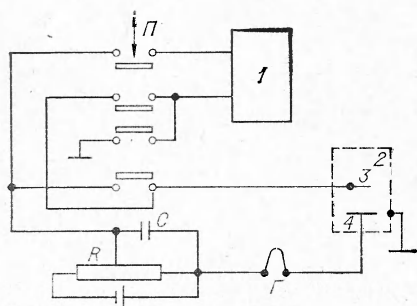


Рис. 1.

Скорость изменения напряжения равнялась 5 В/с, время записи вольт-амперной характеристики составляло 0,5 с. Применение кругового потенциометра позволило производить запись зондовых характеристик как по точкам, так и в виде непрерывной кривой.

В качестве источника переменного напряжения синусоидальной формы использовался звуковой генератор ГЗ-34. Напряжение переменного сигнала с частотой 10^3 Гц и амплитудой 0,15 В снималось с симметричного

50-омного выхода. Вольт-амперные характеристики получались с помощью рамочных гальванометров типа М-001 или ГБ-1У, установленных в светолучевом осциллографе Н-700. При работе с гальванометрами типа М-001 вследствие их недостаточной чувствительности использовался усилитель постоянного тока УЧ-1. Для записи осциллограмм применяли осциллографическую бумагу, которая проявлялась обычными фотографическими методами.

Записав вольт-амперную характеристику с включенной переменной э. д. с. и без нее, находим приращение тока ΔI , вызванное переменной э. д. с., и строим график I'' , как функции от U .

Исследовалось ацетилено-кислородное пламя с концентрацией топлива в горючей смеси $C=32\%$, измерения проводились при давлении в камере 2 мм рт. ст. Применялась горелка плоского пламени с диаметром 90 мм, а зондом служила платиновая проволока диаметром 0,1 мм и рабочей длиной 10 мм, а противозондом — основание горелки.

На рис. 2, 1 приведен график экспериментальной функции распределения электронов по энергиям. Кривая строилась на основе формулы (1) по найденной экспериментальной величине I'' . За потенциал плазмы принималась точка, в которой $I''=0$ [4, 5]. На кривой отчетливо выделяется максимум, который приходится на энергию $E_0=0,3$ эВ.

Среднюю энергию электронов находим по формуле

$$\bar{E} = \frac{\int_0^{\infty} U f(eU) dU}{\int_0^{\infty} f(eU) dU} \quad (4)$$

Для распределения, изображенного на рис. 2, 1, $\bar{E}=0,36$ эВ. Как и следовало ожидать, $\bar{E} > E_0$, но не в такой пропорции, какая свойственна максвелловскому распределению. Для сравнения экспериментальной функции распределения с функцией распределения Максвелла на рис. 2 нанесена кривая 2, которая выражает максвелловскую функцию распределения, построенную для той же \bar{E} , что и средняя энергия экспериментального распределения. Причем обе графические зависимости одинаково нормированные.

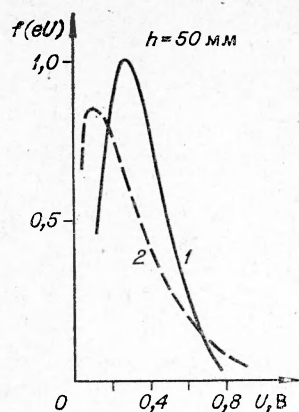


Рис. 2.

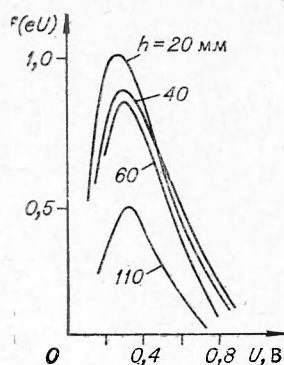


Рис. 3.

Сравнение кривых 1 и 2 показывает, что у экспериментальной функции распределения срезан высокоэнергетический хвост, т. е. в плазме пламени обнаруживается недостача электронов с энергиями $E > 0,7$ эВ. Одновременно в плазме пламени недостает электронов очень малых энергий. Последнее утверждение следует воспринимать с некоторой осторожностью ввиду того, что точность зондового метода в области, где потенциал зонда близок к потенциалу плазмы, заметно падает.

Графики функций распределения электронов по энергиям на разных высотах пламени приведены на рис. 3. На всех изученных высотах экспериментальные функции распределения $f(eU)$ мало отличаются друг от друга по внешнему виду, но все они существенно расходятся с функцией распределения Максвелла. Энергия, на которую приходится максимум функции распределения, на всех кривых $E_0 = (0,30 \div 0,35)$ эВ. Энергия электронов заметно не меняется по высоте пламени. Концентрация электронов пропорциональна площади под кривой. Качественное сравнение кривых показывает, что с удалением от реакционной зоны наблюдается спад концентрации электронов. Реакционная зона приходится на интервал $10 \text{ мм} < h < 60 \text{ мм}$.

Основные результаты, полученные данным методом, в общем согласуются с результатами работы [1] и сводятся к следующему: функция распределения электронов по энергиям в плазме ацетилено-кислородного пламени низкого давления отличается от функции распределения Максвелла. Энергия, на которую приходится максимум функции распределения, составляет около $(0,2 \div 0,3)$ эВ, а средняя энергия электронов равна $(0,30 \div 0,35)$ эВ.

Автор выражает благодарность проф. В. И. Твердохлебову за обсуждение и помощь в работе.

Поступила в редакцию
25/1 1974

ЛИТЕРАТУРА

1. А. С. Зайцев, В. И. Твердохлебов. Докл. АН СССР, 1972, 205, 818.
2. M. I. Druyvesteyn. Z. Physik, 1930, 64, 781; Z. Physik, 1932, 33, 856.
3. R. H. Sloane, E. I. R. MacGregor. Philos. Mag., 1934, 18, 193.
4. В. М. Миленин. ЖТФ, 1971, 41, 831.
5. K. Hirao, K. Oyama. F. Geomagn. and Geolag, 1971, 23, 1, 47.