

CİVƏ BUXARININ ELEKTRİK BOŞALMASINDA
İONLARIN PAYLANMA FUNKSİYASIT.X. HÜSEYNOV, B.B. DAVUDOV, M.N. AĞAYEV,
E.A. RƏSULOV, Ş.A. ALLAHVERDİYEV

Bakı Dövlət Universiteti

Azərbaycan, AZ-1148, Bakı, Z.Xəlilov küç., 23

htarlan@mail.ru

Civə buxarının elektrik boşalmasında ionların sürətlərə görə paylanma funksiyası ölçülmüş və məlum olmuşdur ki, plazma dəstəsindəki zərrəciklərin sürəti yüksək olduqca, dəstənin saxlanması üçün kiçik konsentrasiya tələb olunur. E/p nisbəti artdıqca, ionların paylanma funksiyasının aşağı düşmə sürəti azalır və $\varepsilon_0 \approx E/p_0\sigma$ parametri - elektrik sahə intensivliyinin civə buxarının təzyiqinə olan nisbətinin rezonans yükötürmə prosesinin effektiv kəsiyinə olan hasil ilə təyin olunur. Plazmada sürətli yüklü zərrəciklər qrupuna uyğun olaraq, ionların enerjiyə görə paylanma funksiyasında bütün hallarda maksimum müşahidə olunur və yüklü zərrəciklərin enerjisi artdıqca, həmin maksimum böyük enerjilər oblastına tərəf sürüşür.

Açar sözlər: qaz boşalması, zond üsulu, ionların paylanma funksiyası, ionların enerjisi, differensiallayıcı dövrə, Lejandr sırası.

Təcrübi qurğu və zondun potensialına görə zond cərəyanının ikinci tərtib törəməsinin ölçülmə üsulu [1, 4]-işində ətraflı verilmişdir. Həmin işdə istifadə edilən modullaşmış siqnalın riyazi ifadəsi:

$$U(t) = \Delta\varepsilon(1 + \cos \omega_1 t) \cos \omega_2 t. \quad (1)$$

şəklindədir.

Tətbiq edilən üsulda aparat funksiyası $|z| < 2\sqrt{2}$ olduqda [82]:

$$A(z) = \frac{8}{\pi} \int_{\frac{|z|}{2\sqrt{2}}}^1 \left[\frac{u^2 - \frac{z^2}{8}}{u} (1-u) \right]^{1/2} du \quad (2)$$

və $|z| > 2\sqrt{2}$ olduqda isə

$$A(z) = 0.$$

Burada $z = \frac{\sqrt{2(\varepsilon' - \varepsilon)}}{\Delta\varepsilon}$, $\Delta\varepsilon$ – differensiallayıcı siqnalın amplitudur.

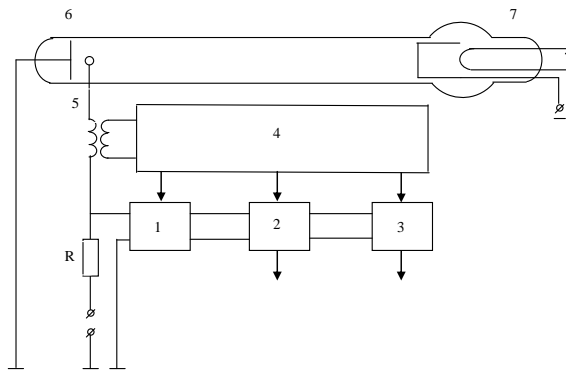
Təcrübi işdə differensiallayıcı siqnalın optimal

amplitud qiyməti seçilmiş ($\Delta\varepsilon$) və qeydetmə sisteminin xəttliliyinə nəzarət edilmişdir. İstifadə edilən parametrlərin qiymətləri: $\Delta\varepsilon = 0,05; 0,1$ və $0,2$ V; $\omega_1 = 6 \cdot 10^3$ Hz; $\omega_2 = 6 \cdot 10^5$ Hz götürülmüşdür.

İPF-i dəqiq ölçmək məqsədi ilə zond ölçmələrinə təsir edən bütün amillər hərtərəfli təhlil edilmişdir [3]. Ölçmələrdə buraxılan xətalara azaltmaq məqsədi ilə boşalma borusuna katoddan 20 və 25 sm uzaqlıqda olan iki müstəvi və sferik (diametri 0,3 mm) zondlar yerləşdirilmişdir. Zondlardan biri əsas, digəri isə köməkçi funksiyasını icra edir. Ölçmələr aparıldıqda, aparat funksiyasının xətasının [3], cüt-cüt toqquşmaların [5], zondun ölçüsünün, onun səthinin çirklənməsinin [2] və s. təsirləri nəzərə alınmışdır.

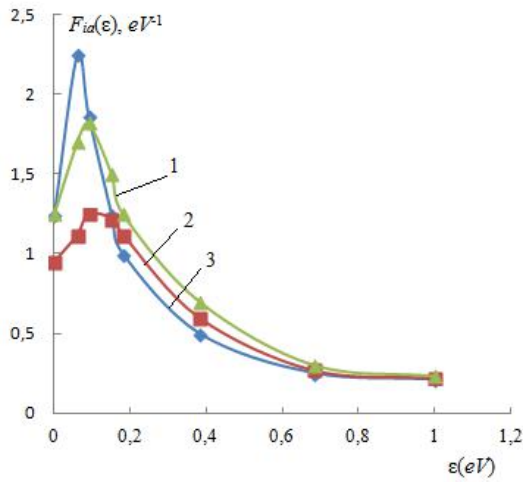
Ölçmələr civə buxarının 10^{-3} Tor, cərəyan sıxlığının $j = 100$ mA/sm², $E/p = 400$ V/smTor və neytral atomların $T_a = 410$ K temperatur qiymətlərində (2) aparat funksiyasının köməyi ilə aparılmışdır.

Zondun mənfi potensial oblastlarında I_U'' kəmiyyəti elektronların sürətlərə görə paylanma funksiyası ilə mütənəib olan, zond cərəyanının elektron hissəsindən təyin edilmişdir. Potensialın tədqiq olunan 0÷1 V oblastında I_U'' kəmiyyəti ionların paylanmasını təsvir edir. I_U'' kəmiyyəti qeyd edilərkən, boşalmada elektron cərəyanının stabil qalmasına əsas diqqət yetirilmişdir.



Şəkil 1. Zond ölçmələrinin sxemi: 1 – 3 – sinxron detektorlar; 4 – generator; 5 – birtərəfli müstəvi zond; 6, 7 – uyğun olaraq, boşalma borusunda yerləşdirilmiş anod və katod.

Civə buxarı boşalmasında ionların paylanma funksiyasını ölçmək üçün istifadə edilən qurğunun blok sxemi şəkil 1-də göstərilmişdir. Aparılan ölçmələrdən məlum olmuşdur ki, elektronların temperaturu yüksəldikcə, ionların paylanma əyrisinin quyruq hissəsi yüksək enerjilər oblastına doğru genişlənir. Verilmiş temperaturda alınan paylanma funksiyaları Maksvel paylanmasından fərqlənir, paylanma əyrisində elektrik sahəsi ilə müəyyən olunan, atomların istilik hərəkətinin enerjisinə uyğun qiymətlərdə maksimum müşahidə edilir və həmin maksimum yüksək enerjilər oblastına doğru getdikcə, kiçilir. İonların paylanma əyrisindəki maksimumun kiçilməsinə səbəb, dəstədəki sürətli ionların öz enerjilərini dəstədən kənarıda hərəkət edən yüklü zərrəciklərə ötürməsidir. Bundan başqa, differensiallayıcı siqnalın qiyməti artdıqca, İPF-ın mütləq qiyməti də azalır və paylanma funksiyasının kəskin dəyişdiyi enerji oblastlarında həmin effekt daha güclü müşahidə edilir. Təcrübi ölçmələrdən alınan həmin nəticə nəzəri hesablamalardan alınan nəticələrlə üst-üstə düşür.



Şəkil 2. Civə buxarı plazmasında müstəvi zond üsulu ilə ölçülmüş Hg^+ ionların enerjiyə görə paylanma funksiyasının enerjidən asılılığı: cərəyan sıxlığı $j = 100 \text{ mA/sm}^2$; təzyiq $p = 10^{-3} \text{ Tor}$; $E/p = 400 \text{ V/smTor}$; normal atomların temperaturu isə $T_a=410 \text{ K}$. 1 – $\Delta\varepsilon=0,1 \text{ V}$; 2 – $\Delta\varepsilon=0,2 \text{ V}$; 3 – $\Delta\varepsilon=0,05 \text{ V}$.

İonların enerjilərə görə paylanma funksiyasının formasını aşkar etmək üçün, civə buxarının qövs boşalması plazmasında aşağı təzyiqdə ($p = 10^{-3} \text{ Tor}$) və $E/p \approx 400 \text{ V/smTor}$ -da bir tərəfi keçirici olan müstəvi zondun köməyi ilə $F_{ia}^n = f(\varepsilon)$ asılılığı ölçülmüşdür (şəkil 2). Həmin şəkildən görüldüyü kimi, enerji artdıqca, İPF-ın anizotropluğu daha da yüksəlir. Bu halda ən böyük anizotropluq enerjinin kiçik $\varepsilon = 0,05 \text{ eV}$ qiymətində müşahidə edilir. Buna səbəb ölçmələrin güclü elektrik sahələrində aparılmasıdır. Qeyd edək ki, Lejandr həddlərinin sıraya ayrılışına uyğun olaraq İPF-ın həmin şəkildə formalaşması realdır. İPF-da anizotropluq artdıqca, onu təsvir edən həddlərin sayı da artır. Bundan başqa, ionların enerjisi artdıqca da, həddlərin sayı artır, çünki İPF-ı anizotrop olur və ionlar radial istiqamətdə yaranaraq, paylanır. Yaranan ionlar tətbiq edilən xarici elektrik sahəsinin istiqamətində sürətlənərək hərəkət edirlər. Qeyd edək ki, baxdığımız civənin müsbət ionları halında, $E/p \approx 400 \text{ V/smTor}$ qiymətində, ionların enerjisi $0,1 \text{ eV}$ olduqda, İPF-ın formasını aşkar etmək üçün, Lejandr həddləri sırasında 7 həddin olması kifayət etmir.

Şəkil 2-dən görüldüyü kimi $\Delta\varepsilon$ – aparat funksiyası artdıqca, İPF-ın forması və maksimumu dəyişir. İonların enerjisi artdıqca, İPF-ın azalma sürəti ləngiyir. Paylanması izotropluğa və Maksvel paylanmasına yaxın olan İPF-ın maksimumu, yenidən yaranmış ionlar hesabına formalaşır. Həqiqətən də, yükötürmə prosesi yenidən yaranan ionların konsentrasiyanı formalaşdırır. Sürətli zərrəciklər dəstəsi misali ilə bunu asanlıqla izah edə bilərik. Dəstədəki zərrəciklərin sürəti yüksək olduqca, dəstənin saxlanması üçün konsentrasiyanın qiyməti kiçik olur. Nəticədə, E/p nisbəti artanda, İPF-ın aşağı düşmə sürəti yavaşlayır. Odur ki, İPF, $\varepsilon_0 \approx E/p\sigma$ parametri ilə təyin olunur və verilmiş halda qiyməti ionların sürətinin yüksək olduğu güclü elektrik sahələrində təyin edilir. Burada σ – rezonans yükötürmə prosesinin effektiv kəsiyidir. Həmin şəkildən görüldüyü kimi, bütün hallarda İPF, maksimuma malikdir.

Beləliklə, İPF-i təsvir etmək üçün Lejandr sırasında həddlərin sayını baxdığımız üsulla təyin edə bilərik.

[1] А.Н. Ключарев, В.Г. Мишиаков, Н.А. Тимофеев. Введение в физику низкотемпературной плазмы. М: СПбГУ, 2008.
 [2] V.I. Demidov, V.A. Godyak. J. Appl. Phys., 2011. Vol. 44. p. 233001.
 [3] Ф.С. Мустафаев, А. Грабовский. Зондовая диагностика анизотропной функции распределения электронов в плазме. ТВТ, 2012. Т. 50, №6. с. 841.

[4] A.Kh. Muradov, T. Kh. Huseynov. Noiseless Gaseous Discharge in Conic Tube and its Dynamic Properties. Radioelectronics and Communications Systems, USA, 2010. vol. 53, No 9. p. 475-479.
 [5] J.P. Verboncoeur. Particle simulation of plasmas: review and advances. Plasma Phys. Control. Fusion., 2005. vol. 47. A231- A260.

T. KH. Quseinov, B. B. Davudov, M. N. Agaev, E. A. Rasulov, SH. A. Allakhverdiyev

ION DISTRIBUTION FUNCTION IN MERCURY VAPOR ELECTRIC DISCHARGE

The velocity distribution function of ions in an electric discharge of mercury vapor has been measured, and it has been found that, with an increase in the particle velocity in a plasma beam, a lower concentration of particles is required to maintain it. As the E/p ratio increases, the rate of decay of the ion distribution function slows down, and the parameter $\varepsilon_0 \approx E/p\sigma$ is determined by the product of the ratio of the electric field strength to the mercury vapor pressure and the effective cross section

of the resonant charge transfer process. Corresponding to high-speed charged particles in a plasma beam, in the energy distribution function of ions, in all cases, a maximum is observed, and with an increase in the energy of charged particles, this maximum shifts towards higher energies.

Т. Х. Гусейнов, Б.Б. Давудов, М.Н. Агаев, Э. А. Расулов, Ш. А. Аллахвердиев

ФУНКЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ИОНОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ РАЗРЯДЕ В ПАРАХ РТУТИ

Измерена функция распределения ионов по скоростям в электрическом разряде паров ртути и выявлено, что с ростом скорости частиц в плазменном пучке для его сохранения требуется меньшая концентрация частиц. С увеличением отношения E/r скорость спада функции распределения ионов замедляется, и параметр $\varepsilon_0 \approx E/r\sigma$ определяется произведением отношения напряжённости электрического поля к давлению паров ртути и эффективного сечения процесса резонансной передачи заряда. Во всех случаях в функции распределения ионов по энергиям наблюдается максимум, соответствующий группе скоростных ионов в плазме, и с увеличением энергии заряженных частиц этот максимум смещается в сторону больших энергий.