

## Efectul de catod dublu

Am arătat că electronii primari, accelerați în spațiul întunecos catodic, au proprietăți de fascicul normal pe suprafața catodului. Din această cauză folosirea unui catod concav are un efect de focalizare a electronilor primari, ceea ce conduce la o creștere mare a ionizării în lumina negativă. Aceasta face ca pentru întreținerea aceluiași curent de descărcare să fie necesară o cădere catodică mult mai mică sau la aceeași cădere catodică curentul să fie cu câteva ordine de mărime mai mare decât în cazul catodului plan.

Acest efect se poate studia cu ajutorul a doi catozi plani așezați față în față (catod dublu) și variind distanța dintre ei sau presiunea gazului, încât cele două lumini negative să se suprapună.

Un efect similar are loc în cazul catozilor concavi cilindrici, sferici, sau de alte forme, astfel că fenomenul menționat poate fi denumit, în general, efectul catodului concav. Tranziția de la o descărcare luminiscentă normală la o descărcare cu efectul catodului dublu se poate urmări acolo unde este dat curentul la cei doi catozi și respectiv grosimea stratului întunecos (studiind atât dependența curentului la cei doi catozi cât și grosimea spațiului întunecos prin variația potențialului catodului de la potențialul catodului până la potențialul anodului).

Este interesant mecanismul de formare a stratului de sarcină spațială pe catodul de potențial variabil [7]. Criteriul de formare al acestui strat se poate scrie  $eEl \geq 3kT_2/2$ , adică diferența de potențial pe un drum liber mediu de transfer  $l = 1/Q_t p$  să devină mai mare decât aceea pe care o pot învinge electronii din plasmă.

Pentru o descărcare în argon (catod de fier  $V_c = 450$  V,  $p = 0,35$  torr,  $d = 1$  cm) va rezulta  $E \approx 400$  V/cm (determinat din panta inițială),  $Q_t \approx 150$  (cm · torr)<sup>-1</sup>,  $p = 0,35$  torr și  $l = 2 \cdot 10^{-2}$  cm. Deci, din condiția de mai sus, rezultă  $3kT_e/2 \approx 8$  eV, valoare în bun acord cu cea determinată direct cu metoda sondei plane [7].

Calitativ, efectul catodului dublu se explică în felul următor: datorită geometriei speciale se produce o suprapunere a acțiunii ionizante a electronilor primari în lumina

negativă comună. Ionizarea în lumina negativă crește și datorită faptului că electronii primari energetici, odată injectați în plasma luminii negative, sunt reținuți acolo de barierele înalte de potențial ale căderilor catodice.

De asemenea, datorită geometriei catodului concav, pierderile de purtători de sarcină prin difuzia ambipolară spre pereți sunt mult reduse.

Creșterea masivă a excitărilor și ionizărilor în lumina negativă, în condițiile efectului catodului dublu, conduce la creșterea coeficienților specifici emisiilor electronice [7].

Pentru ca efectul de catod dublu să fie inițiat, este necesar ca dinamicele specifice celor două lumini negative, descrise prin integrala eliptică completă de prima speță

$\bar{F}(\varphi, \bar{s})$ , trebuie să fie comune. Matematic rezultă

$$\left[ \frac{2D_a}{\tau(\Phi_2 - \Phi_3)(\Phi_2 - \Phi_4)} \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \int \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - \bar{s}^2 \sin^2 \varphi}} = \bar{F}(\varphi, \bar{s}) \quad (1.56)$$

$$\bar{K}(\varphi, \bar{s}) = c_1 = \text{const.} \quad (1.57)$$

În acest caz din relația (1.53), pentru  $n_0 = p/k_B T$ , unde  $p$  este presiunea gazului de lucru și  $T$  este temperatura electronilor și din relația (1.57) se obține relația

$$xp = c_1 c_2 = c = \text{const.} \quad (1.58)$$

Deoarece  $c_1$  este variabil, în funcție de natura gazului prin parametrii  $D_a$  și  $r$  iar  $c_2 = k_B T$  și de potențialul pe catozi [7], rezultă că constanta globală  $c$  depinde atât de natura gazului cât și de geometria câmpului așa cum se verifică experimental [3,5]

## Consecințe

Am dezvoltat o teorie a efectului de catod dublu utilizând elemente de dinamică neliniară. Acest lucru a fost posibil prin utilizarea formalismului funcțiilor eliptice. Efectul de catod dublu ca să fie inițiat, este necesar ca cele două lumini negative ale electrozilor plani să se suprapună. Din punct de vedere matematic, aceasta înseamnă echivalența a două funcții eliptice, funcții rezultate prin inversiunea unor integrale eliptice complete de speța întâi. Reamintim că două funcții eliptice sunt echivalente, dacă și numai dacă între raportul perioadelor lor există o transformare omografică. Mai mult, echivalența funcțiilor eliptice implică o relație algebrică între acestea. Considerând acum că presiunea gazului de lucru satisface ecuația gazului ideal, în final se obține că produsul dintre lungimea descărcării și presiunea gazului din incintă este o constantă. Această constantă este o funcție atât de natura gazului, cât și de potențialul pe catod.

## Referințe

1. Axinte, M., Nejneru, C., Stroe, A., Poll, E., Agop, M., A Unitary Theory to the Hollow Cathode Effect with Implications in Ionic Nitriding, *Metalurgia International*, Vol. 18, No. 1, 2013.
2. Popa, G., Sîrghi, L., *Bazele fizicii plasmei*, Ed. Universității „Al. I. Cuza” Iași, 2000.
3. Sîrghi, L., *Contribuții la studiul unor instalații în plasmăle colizionale*, Teză de doctorat, Iași, 1997.
4. Sîrghi, L., Ohe, K., Costin, C., Popa, G., Electron Kinetics in the Hot-Cathode Negative Glow of a Helium Discharge, *Jpn J. Appl. Phys.*, Vol. 39, 1338, 2000.
5. Popescu, I.I., Ciubotaru, D. St., *Bezele fizicii plasmei*, Ed. Tehnică, București, 1987.
6. Bădărău, E., Popescu, I.I., *Gaze ionizate. Descărcări electrice în gaze*, Ed. Tehnică, București, 1965.
7. Bădărău, E., Popescu, I.I., *Gaze ionizate. Descărcări electrice în gaze*, Ed. Tehnică, București, 1963.



