

PRAKTIKUM Z FYZIKY PLAZMATU

Paschenův zákon, katodový spád potenciálu v doutnavém výboji

Zpracovali: Radek Horňák, Lukáš Vrána

Naměřeno: 15. 3. 2022

1 Teorie

1.1 Paschenův zákon

Z Townsendovy teorie lavin víme, že působením elektrického pole na zředěný plyn dochází k urychlování přítomných elektronů. Takto urychlené elektrony mohou ionizovat neutrální částice a vytvořit takzvanou Townsendovu lavinu. Počet elektronů vzniklých v důsledku Townsendovy laviny závisí exponenciálně na dráze d

$$n = n_0 e^{\alpha d} \quad (1)$$

kde n_0 je počet elektronů v počátečním bodě $d = 0$ a α je první Townsendův nebo také ionizační koeficient. Elektrické pole můžeme charakterizovat napětím V přiloženým mezi dvě rovinné elektrody, dráha d je vzdálenost mezi elektrodami. Elektronovou lavinu doprovází vznik iontů, jejichž počet lze vyjádřit jako

$$n_i = n_0 [e^{\alpha d} - 1] \quad (2)$$

Ionty jsou polem urychlovány ke katodě, dopadají na ni a vyvolávají sekundární emisi elektronů. Tu popisuje Townsendův třetí koeficient neboli koeficient sekundární emise γ . Konkrétně udává průměrný počet elektronů emitovaných jedním iontem při jeho dopadu na katodu. Pomocí γ lze vyjádřit podmínku zapálení výboje jako

$$\gamma (e^{\alpha d} - 1) = 1 \quad (3)$$

tedy že v lavině musí být jedním primárním elektronem vytvořeno tolik iontů, které dopadem na katodu způsobí emisi jednoho nového elektronu. Ionizační koeficient α závisí na intenzitě elektrického pole

$$\frac{\alpha}{p} = A e^{-\frac{Bp}{E}} \quad (4)$$

kde $A = 1/\lambda_1$ a $B = U_i/\lambda_1$ jsou konstanty závislé na druhu plynu, λ_1 je střední volná dráha elektronů při jednotkovém tlaku. Dále lze (4) přepsat jako

$$\frac{\alpha}{p} = A e^{-\frac{Bpd}{V}} \quad (5)$$

Logaritmováním a úpravou (5) získáme

$$V = \frac{Bpd}{\ln A - \ln \frac{\alpha}{d}} \quad (6)$$

Dosazením αd z (6) do (3), logaritmováním a dalšími úpravami dojdeme k tvaru

$$A p d e^{-\frac{B p d}{V_z}} = \ln \left(\frac{1}{\gamma} + 1 \right) \quad (7)$$

(7) kde V_z je zápalné napětí výboje. Pro daný plyn a materiál katody položíme pravou stranu

$$\ln \left(\frac{1}{\gamma} + 1 \right) = C \quad (8)$$

Úpravami dostáváme

$$V_z = \frac{B p d}{C' + \ln(p d)} \quad (9)$$

kde $C' = \ln C - \ln A$.

1.2 Katodový spád potenciálu v doutnavém výboji

2 Měření a výsledky

3 Závěr