

F7900 Studentský seminář

Diagnostika plazmy
Meranie koncentrácie elektrónov

16.04.2012

Tomáš Gancarčík

Diagnostika plazmy

Najčastejšie skúmané parametre :

- koncentrácia nabitých častíc
- stredná kinetická energia (teplota)
- chemické zloženie – druhy a koncentrácie iónov
- druhy a koncentrácie excitovaných stavov molekúl a iónov
- intenzita el. a mag. poľa

Základné metódy diagnostiky :

- pomocou výbojového prúdu (dve elektródy na U_F)
- elektrostatická (Langmuirova) sonda
- bezkontaktné metódy (optická a vysokofrekvenčná diagnostika)

Diagnostika plazmy

Najčastejšie skúmané parametre :

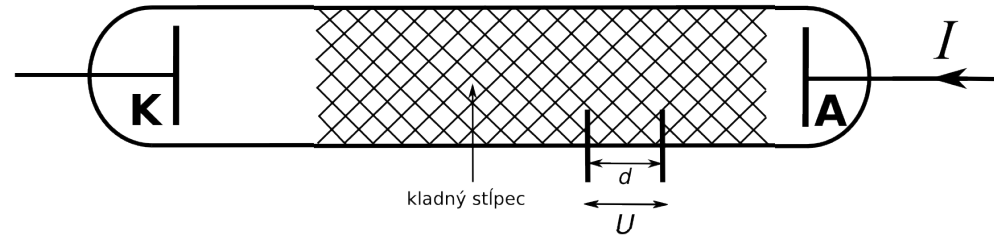
- koncentrácia nabitých častíc
- stredná kinetická energia (teplota)
- chemické zloženie – druhy a koncentrácie iónov
- druhy a koncentrácie excitovaných stavov molekúl a iónov
- intenzita el. a mag. poľa

Základné metódy diagnostiky :

- pomocou výbojového prúdu (dve elektródy na U_F)
- elektrostatická (Langmuirova) sonda
- bezkontaktné metódy (optická a vysokofrekvenčná diagnostika)

Určovanie koncentrácie elektrónov z výbojového prúdu

Príklad: kladný stípec doutnavého výboja



- el. prúd vypočítame z prúdovej hustoty :

$$I = \int_0^R i(r) 2\pi r dr = 2\pi e \int_0^R n(r) \mu(E) E r dr ,$$

- profil $n(r)$ dostaneme zo Schottkyho teórie
- pohyblivosť elektrónov $\mu(E)$ zistíme z literatúry
- zavedieme :

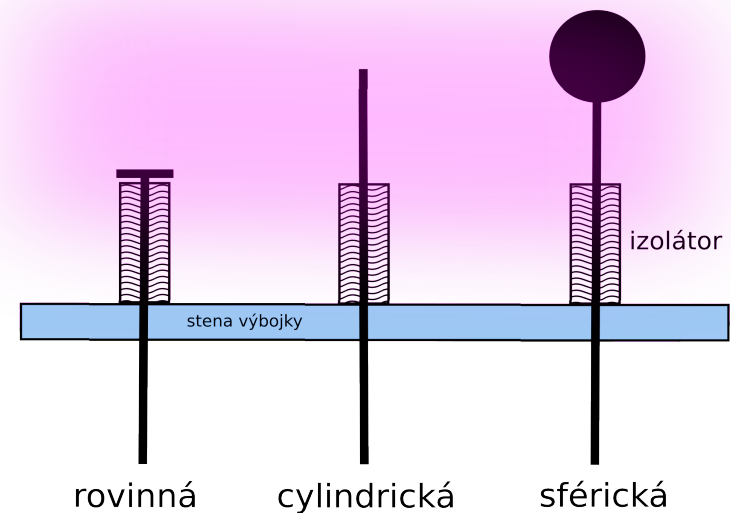
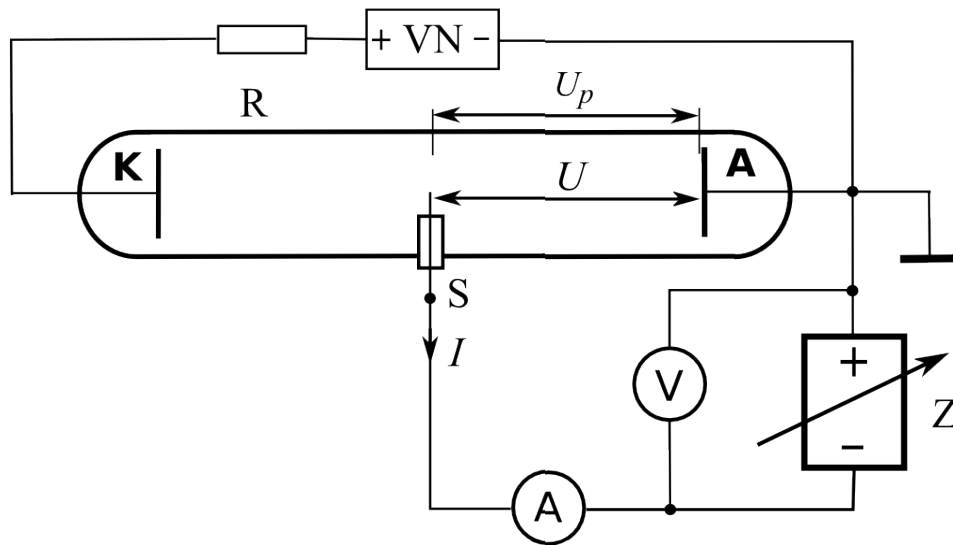
$$K = 2\pi \int_0^R J_0 \left(\rho_B \frac{r}{R} \right) r dr = 2\pi R^2 \frac{J_1(\rho_B)}{\rho_B}, \quad J_1(\rho_B) = 0.5191 \dots$$

koncentráciu n_e elektrónov v osi výbojky získame zo vzťahu:

$$I = e n_e \mu(E) E K$$

Elektrostatická (Langmuirova) sonda

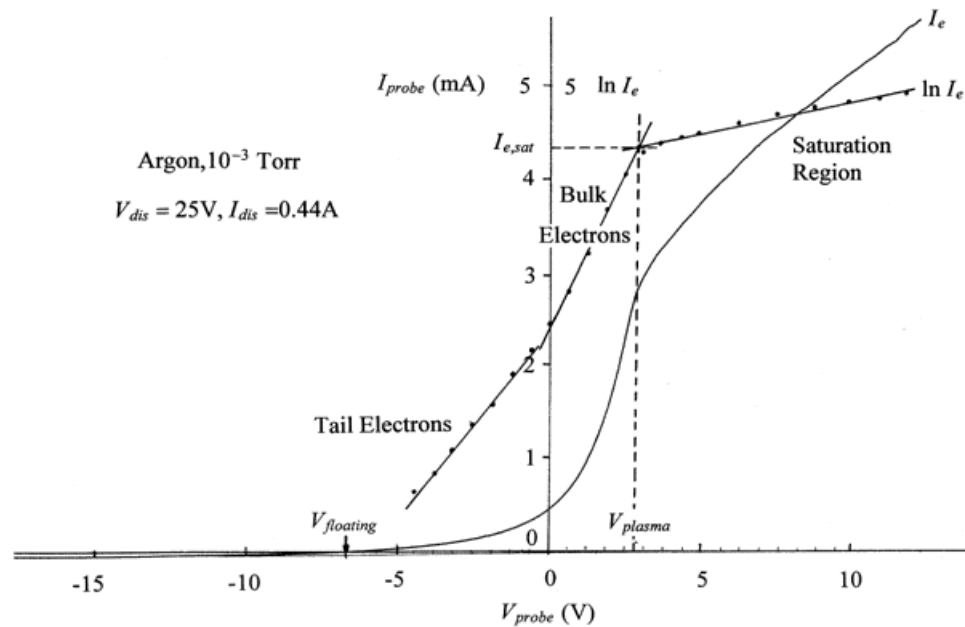
- kovová elektróda zavedená do plazmy
- meriame jej VA charakteristiku



- usporiadanie: jednoduchá a dvojité
- druhy : rovinná, valcová, guľová

Elektrostatická (Langmuirova) sonda

- Nameriame VA charakteristiku
- Zameriame sa na elektrónovú vetvu:



Nasýtený elektrónový prúd pri $U = U_p$:

$$I_-^{Pl} = -\frac{1}{4}eS n_- \sqrt{\frac{8kT_-}{\pi m_-}}$$

Teplotu elektrónov získame zo smernice $\ln(I_e)$ a **koncentráciu** pomocou :

$$n_- = \frac{I_-^{Pl}}{eS} \sqrt{\frac{2\pi m_-}{kT_-}}$$

Vysokofrekvenčná diagnostika

- ◆ bezkontaktná metóda
- ◆ princíp spočíva v interakcii slabého vf poľa s elektrónmi plazmy
- ◆ rezonátorová metóda umožňuje merať permitivitu plazmy a určiť koncentráciu elektrónov

Rovnica permitivity :
$$\epsilon = \epsilon_0 \left[1 - \frac{\omega_p^2}{\omega^2(1 - j\nu_-/\omega)} \right], \quad \nu_- \ll \omega$$

Plazmová frekvencia :
$$\omega_p = \frac{n_e e^2}{m_e \epsilon_0}$$

- ◆ po zapálení výboja sa mení rezonančná frekvencia rezonátora
- ◆ sledujeme posun maxima rezonančnej frekvencie (napr. pomocou vlnomeru)
- ◆ rozladenie závisí od permitivity a objemu plazmy v rezonátore

Koncentrácia elektrónov v plazme :
$$n_e = \frac{\omega^2 m_e}{e^2} (\epsilon_0 - \epsilon)$$

Literatúra

Viktor Martišovitsš : *Základy fyziky plazmy*

Jaromír Brož : *Základy fyzikálních měření*

<http://www.physics.ucla.edu/plasma-exp/180E-W97/LprobeAnalysis.html>