



2004-2006 m. Bendrojo programavimo dokumento 2 prioriteto „Žmogiškųjų išteklių plėtra“ 4 priemonė „Mokymosi visą gyvenimą sąlygų plėtra“

Projekto sutarties numeris: **ESF/2004/2.4.0-K01-160/SUT-261**

Projekto pavadinimas: **Inovatyvūs mokymosi metodai ir naujausios technologijos gamtos mokslų bakalauro rengimui**

FIZ 314. PLAZMOS FIZIKA

Laboratorinis darbas

Plazmos parametrų tyrimas Langmuir zondų

Darbo tikslas:

1. Nustatyti pagrindines plazmos charakteristikas;
2. Nubraižyti zondo voltamperinę priklausomybę.

Teorija

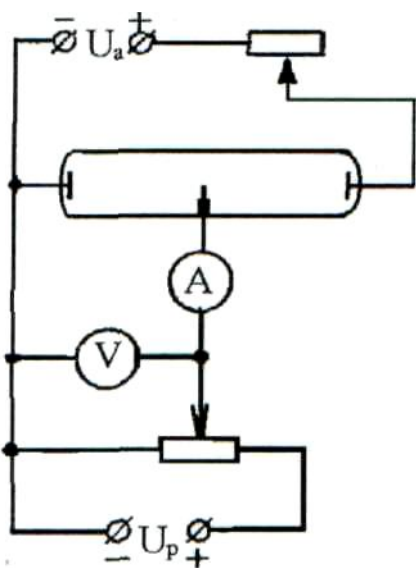
Dujų plazma - kvazineutrali dujų būseną, kai laisvųjų krūvininkų koncentracija jose yra pakankamai didelė, kad Debajaus ekranavimo nuotolis būtų daug mažesnis už plazmos matmenis. Daugelis plazmos parametrų yra tarpusavyje susiję, todėl dalis parametrų yra išmatuojama, dalis apskaičiuojama. Vienas iš plazmos parametrų nustatymo metodų yra Lengmiūro zondas. Jo pagalba galime sužinoti elektronų ir jonų koncentracijas, temperatūras, rasti plazmos potencialą, dielektrinės sienelės potencialą, elektroninės srovės tankį, joninės srovės tankį.

Zondas - pagalbinis metalinis elektrodas, kuris yra įvedamas į plazmą. Jis gali būti įvairios formos: plokštelės, cilindrinis, sferinis. Paprastai Lengmiūro zondas yra mažo diametro izoliuota viela su nedideliu atviru galu, kuris atrenka iš plazmos elektronus arba jonus, priklausomai nuo to koks zondo potencialas plazmos atžvilgiu. Zondas yra jungiamas

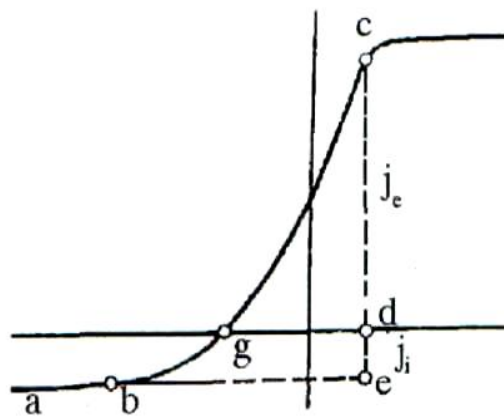
prie maitinimo šaltinio, miliamperometro arba oscilografo (pav. 1). Šaltinis palaiko teigiamas arba neigiamas įtampas plazmos atžvilgiu, o srovė tekanti į zondą pateikia informaciją apie plazmos parametrus.

Esant dideliems neigiamiems zondo potencialams (pav. 2 ab) katodo ir plazmos atžvilgiu, nuo zondo yra stumiami elektronai, apie zondą susidaro teigiamas jonų sluoksnis – apvalkalas. Jo storis δ automatiškai nusistato toks, kad teigiamas jonų krūvis neutralizuotų zondo neigiamo potencialo veikimą. Už apvalkalo ribų zondo poveikio nebėra. Sakoma, kad už apvalkalo ribų yra plazma.

Elektronai, ateinantys prie apvalkalo dėl chaotinio judėjimo, yra gražinami į plazmą, o teigiami jonai patenka į greitinantį lauką ir juda link zondo, sudarydami joninę srovę. Išorinėje apvalkalo dalyje yra pereinamoji sritis, kurioje yra ne tik jonai, bet ir greitesni elektronai. Jos storumas yra daug mažesnis nei apvalkalo, esant labai neigiamam zondo potencialui. Todėl joninę srovę galime ieškoti pagal formulę: $I_j = j_i S_{ap}$ kur j_i - joninės srovės tankis, S_{ap} -joninio apvalkalo paviršiaus plotas.



Pav. 1. Zondo jungimo schema



Pav. 2. Plokščiojo zondo voltamperinė charakteristika

Mažinant neigiamą potencialą pereiname prie grafiko bc dalies. Įveikdami stabdantį lauką, greitesni elektronai pasiekia zondą, sudarydami elektroninę srovę. Pagal ženklą elektroninė ir joninė srovės yra priešingos, o tai mažina matuojamą pilną srovę, nes $I = I_e + I_j$. Zondo potencialas taške g atitinka potencialą, kurį įgyja dielektrikas zondo buvimo vietoje. Čia elektroninė srovė kompensuoja joninę, todėl pilnoji srovė lygi nuliui.

Didinant potencialą, auga elektroninė srovė, o tuo pačiu ir pilnoji. Taške c zondo potencialas atitinka plazmos potencialą. Joninis apvalkalas išnyksta. Elektronai ir jonai tik chaotinio judėjimo dėka pasiekia zondą. Šiame taške jų neveikia nei stūmimo, nei traukos jėgos. Joninę ir elektroninę sroves galima išreikšti formulėmis: $I_i = j_i S_z$, $I_e = j_e S_z$, kur S_z - zondo paviršiaus plotas.

Kai zondo potencialas yra teigiamesnis plazmos atžvilgiu, apie zondą susidarys elektroninis apvalkalas. Turime ef grafiko dalį. Teigiami jonai, patekę į apvalkalą, bus gražinami atgal į plazmą, o elektronai pagreitinami, nes juos veiks zondo laukas. Elektroninė srovė $I_e = j_e S_{ap}$, kur S_{ap} - elektroninio apvalkalo paviršiaus plotas. Šioje grafiko dalyje lieka tik elektroninė srovė, nes, padidinus potencialą, auga elektroninio apvalkalo storis δ , o paviršiaus plotas beveik nepakinta.

Išmatavus zondo voltamperinę charakteristiką, radę tašką c, mes galime rasti:

- 1) plazmos potencialą zondo buvimo vietoje;
- 2) joninės srovės tankį plazmoje; dėl to joninės srovės tiesiąją dalį ab ekstrapoliuojame iki potencialo, atitinkančio tašką c, randame d_e , charakterizuojantį joninę srovę, kai zondo potencialas lygus plazmos potencialui. Joninės srovės tankis: $j_i = I_{de} / S_z$
- 3) elektroninės srovės tankį plazmoje; elektroninę srovę atitinka c_e dalis ir elektroninės srovės tankis: $j_e = I_{ce} / S_z$
- 4) dielektrinės sienelės potencialą, atitinkantį potencialų skirtumą tarp taškų g ir c:
 $\Delta U_{sien} = \varphi_g - \varphi_d$.

Žinodami elektroninę temperatūrą ir elektroninės srovės tankį plazmoje, galime rasti elektronų koncentraciją, kuri yra lygi teigiamų jonų koncentracijai:

$$n_e = n_i = 4.03 \cdot 10^{15} j_e / \sqrt{T_e}$$

Nustatant plazmos parametrus dažnai naudojami cilindriniai arba sferiniai Lengmiūro zondai. Jų charakteristika šiek tiek skiriasi nuo plokštelės formos zondo. Keičiant zondo įtampą, keičiasi elektroninio arba joninio apvalkalo paviršiaus plotas, todėl skiriasi charakteristikos forma prie didelių teigiamų ir didelių neigiamų įtampų.

Matuojant zondų metodu, reikalaujama, kad zondo įvedimas į plazmą, neiškraipytų joje vykstančių procesų. Iškraipymai gali atsirasti, kai zondas yra per didelių arba per mažų parametrų. Pavyzdžiui, per ploname cilindriniam zonde, kurio skersmuo yra daug kartų mažesnis nei apvalkalo, negalima užregistruoti visos elektroninės srovės, nes dalis elektronų, turinčių pakankamai energijos, kad įveiktų zondo lauką, gali praeiti pro zondą ir grįžti į

plazmą. Prie labai aukštų įtampų zondas pradeda veikti pats kaip elektrodas, o tai taip pat iškreipia charakteristiką.