

Stejnoseměrný výboj

1. Pro bezsrážkovou Child-Langmuirovu stejnoseměrnou stěnovou vrstvu a srážkovou stejnoseměrnou stěnovou vrstvu s konstantní pohyblivostí iontů spočítejte
 - a) profil koncentrace iontů ve stěnové vrstvě
 - b) dobu průletu iontu vrstvou.
2. Spočítejte průběh koncentrace iontů i elektronů, potenciálu a elektrického pole v bezsrážkové stejnoseměrné stěnové vrstvě u plovoucí rovinné elektrody. Můžete použít numerické řešení. Řešte v bezrozměrných veličinách.
3. Jaký je vztah mezi Bohmovou rychlostí, Debyeovou délkou a plazmovou frekvencí iontů?

Kapacitně vázaný výboj – impedance výboje

4a, jednodušší verze. Odvoďte vzoreček pro indukčnost elektronů v bezsrážkovém „bulkovém“ plazmatu (L_e) a ukažte, že plazmová frekvence elektronů splňuje vztah $\omega_{pe} = 1/\sqrt{L_e C}$, kde C je kapacita prostoru vyplněného „bulkovým“ plazmatem.

4b, kompletní verze. Odvoďte vzoreček pro indukčnost bezsrážkového „bulkového“ plazmatu (L). Následně popište stěnové vrstvy jejich kapacitou (C) a ukažte, jakému jevu odpovídá rezonance při frekvenci $\omega = 1/\sqrt{LC}$.

5. Nakreslete závislost imaginární části impedance kapacitního výboje na poměru ω/ω_{pe}

- a) pro plazma bez srážek (jednodušší verze),
- b) pro srážkové plazma (zdlouhavější verze).

Stěnové vrstvy aproximujte kondenzátory.

Kapacitně vázaný výboj – vf. stěnové vrstvy

6. K plazmatu stejnoseměrného Ar výboje s koncentrací elektronů 10^{14} m^{-3} , teplotou elektronů 1 eV a potenciálem plazmatu 10 V přiložíme malou rovinnou sondu s plochou 2 cm^2 , na kterou je přes kondenzátor (100 pF) přivedeno vf. napětí s amplitudou 50 V a frekvencí 13.56 MHz. Vf. napětí je vždy po 10 ms zapínáno a vypínáno. Kvalitativně předpovězte, jak se bude vyvíjet stejnoseměrné napětí sondy po zapnutí vf. napětí a kvantitativně spočítejte časový průběh stejnoseměrného napětí sondy po vypnutí vf. napětí. Pokud bychom stejnoseměrné napětí sondy měřili, co z něj můžeme zjistit o plazmatu?

7. Kapacitně vázaný geometricky symetrický výboj je zapálen v Ar s malou příměsí H_2 za tlaku 1 Pa. Přiložené napětí má frekvenci 2 Mz, elektrony v plazmatu mají koncentraci $2 \cdot 10^{14} \text{ m}^{-3}$ a teplotou 1 eV, výbojem teče monofrekvenční proud s amplitudou hustoty 5 mA/cm^2 . Spočítejte napětí na stěnové vrstvě za podmínky, že jí neprotéká žádný stejnoseměrný proud. Spočítejte

rozdělovací funkci energie iontů H^+ dopadajících na elektrodu za předpokladu, že se tyto ionty ve stěnové vrstvě nesrážejí a že stěnovou vrstvou proletí za dobu mnohem kratší než je perioda vf. pole. Jaké jiné ionty v tomto plazmatu očekáváte? Kvalitativně předpovězte, jak se ve skutečnosti budou rozdělovací funkce jednotlivých typů iontů lišit od spočítaného tvaru IED.

8. Vf. napětí s frekvencí 13,56 MHz a amplitudou 300 V je přivedeno na elektrodu s průměrem 5 cm. Zeměná elektroda má průměr 10 cm. Kapacitní výboj je zapálen v argonu za tlaku 5 Pa, koncentrace elektronů v plazmatu je 10^{15} m^{-3} , střední energie elektronů 3 eV, střední volná dráha iontů Ar^+ je přibližně 1 mm.

a) Odhadněte hodnotu stejnosměrného napětí na buzené elektrodě a amplitudy vf. napětí na obou stěnových vrstvách.

b) Použijte amplitudy vysokofrekvenčního napětí spočítané v části 8a a najděte takové hodnoty stejnosměrných napětí na stěnových vrstvách, aby byla splněna podmínka nulového stejnosměrného proudu výbojem.

c) Načrtněte přibližný tvar rozdělovací energie iontů dopadajících na zeměnou elektrodu.

9. Geometricky symetrický vysokofrekvenční výboj je buzen obdélníkovými napěťovými pulzy s frekvencí 2 MHz a rozpětím 500 V. Navrhněte takovou střihu, která na živé elektrodě povede ke stejnosměrnému předpětí -200 V.

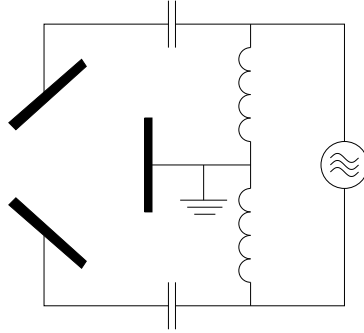
Kapacitně vázaný výboj – vf. stěnové vrstvy, špeky

10. Na buzenou elektrodu geometricky symetrického kapacitního výboje je kromě vf. napětí přivedeno i stejnosměrné napětí -200 V. Výbojem protéká proud $I_1 \cos \omega t$, který na buzené elektrodě vytváří napětí s úhlovou frekvencí ω a amplitudou 200 V. Jaká budou stejnosměrná napětí na obou stěnových vrstvách? Vznikne na celém výboji i napětí s nějakou vyšší harmonickou frekvencí?

11. Geometricky symetrickým vf. výbojem teče proud $I \cos \omega t + I \cos n\omega t$, kde n je přirozené číslo. Jaké frekvenční složky budou obsahovat potenciál plazmatu a napětí na elektrodě? Závisejí na tom, jestli je n liché nebo sudé?

12. Pulzované výboje přinesly zdokonalení nejednoho procesu využívajícího plazma. Představme si symetrický nízkotlaký CCP. Amplituda přiváděného vf. napětí je pulzovaná mezi hodnotami U_{e1} a $U_{e1}/2$. Jaká musí být frekvence pulzování, aby během výboje nedocházelo k výrazným změnám střední energie iontů bombardujících elektrody?

13. Nízko tlaký kapacitní výboj je zapálen mezi třemi symetricky umístěnými elektrodami se stejnými plochami. První elektroda je zemněná, na druhou je přivedeno napětí $U_1 \cos(2\pi ft)$ a na třetí napětí $-U_1 \cos(2\pi ft)$. Druhou ani třetí elektrodou nemůže protékat stejnosměrný proud. Spočítejte průběh napětí na jednotlivých stěnových vrstvách a stejnosměrná napětí na jednotlivých elektrodách pro $U_1 = 100 \text{ V}$, $f = 27.12 \text{ MHz}$.



Kapacitně vázaný výboj – globální modely

14. Ukažte, že když v nízko tlakém kapacitním výboji dominuje srážkový ohřev, tak platí, že koncentrace elektronů roste s druhou mocninou frekvence přiloženého napětí. Doporučuji předpokládat, že srážková frekvence je mnohem menší než frekvence napětí, že proud vlastním plazmatem je nesen především elektrony a že napětí na vlastním plazmatu je mnohem menší než napětí na stěnových vrstvách.

15. Představme si symetrický kapacitně vázaný výboj v argonu za tlaku 20 Pa buzený napětím s frekvencí $13,56 \text{ MHz}$ a amplitudou 200 V . Kvalitativně předpovězte, jak se budou měnit amplituda proudu výbojem, teplota elektronů a koncentrace elektronů v centru, když budeme zvětšovat vzdálenost elektrod (v mezích $3 - 10 \text{ cm}$).