

## Návod k úloze Korpuskulární diagnostika kapacitního RF výboje

### Úkol

Úkolem tohoto praktika je seznámit se s korpuskulární diagnostikou plazmatu pomocí spektrometru Hiden EQP 500. Tento spektrometr je umístěn na aparatuře R4 (laboratoře CEITEC Nano), v níž je možné zapálit kapacitně vázaný radiofrekvenční výboj a studovat plazmatem obohacenou chemickou depozicí z plynné fáze (PECVD). Před zahájením měření je nutné se seznámit se všemi hlavními komponentami aparatury a typem výboje. Cílem praktika je odhad ionizačních prahů Ar iontů, určení energetického rozdělení různých iontů z plazmatu kapacitního RF výboje a rozšířování hmotnostního spektra směsi neznámé látky (organická sloučenina obsahující dusík) a argonu.

### Teoretický úvod k použitému typu plazmatu

Jako zdroj plazmatu budeme používat kapacitně vázaný výboj (CCP), což je jeden z typů radiofrekvenčního výboje. Typická frekvence radiofrekvenčních výbojů je 13,56 MHz. Tato frekvence patří mezi povolené frekvence pro vědecké experimenty a neruší tedy rádiové vysílání. Takto vysokou frekvenci elektrického pole již hmotnější ionty nestíhají sledovat a „vidí“ pouze jeho střední hodnotu, zatímco elektrony na radiofrekvenční změny pole reagují.

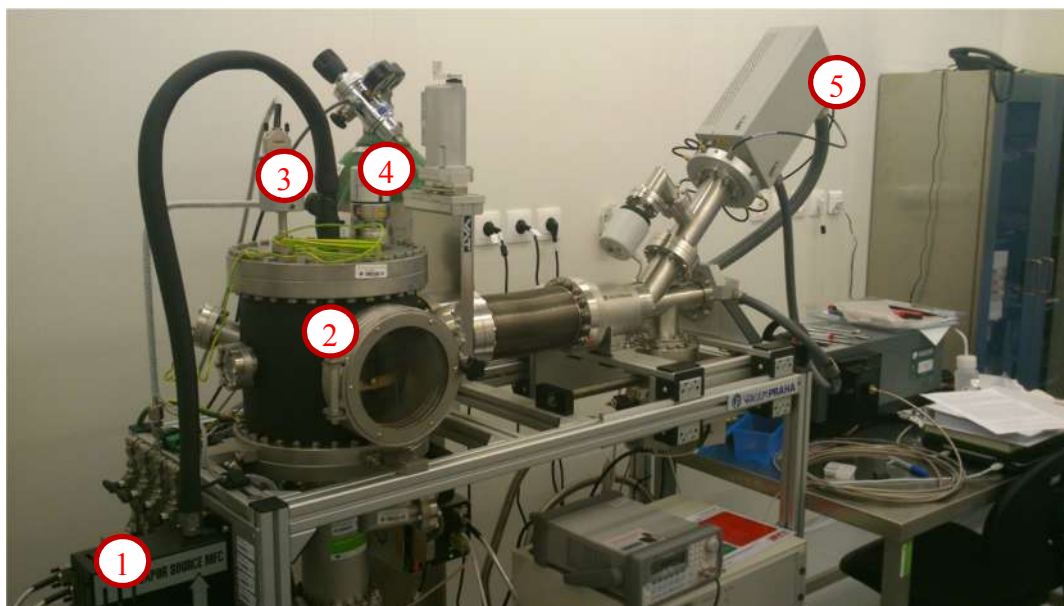
V libovolných typech výbojů obecně platí, že se potenciálu plazmatu ustavuje tak, aby vyrovnával toky elektronů a iontů na stěny a elektrody. Díky velkému rozdílu hmotností elektronů a kladných iontů se plazma obecně chová vůči spádu potenciálu u stěn nelineárně podobně jako dioda. U povrchů se tak vytváří vrstva ochuzeného náboje, tzv. stěnová vrstva, která má kapacitní charakter. Stěny v kontaktu s plazmatem a dielektricky oddělené od dalších částí el. obvodu výboje (tedy plovoucí) se nabíjí záporně vůči potenciálu plazmatu, dokud nedojde k vyrovnání toku kladného a záporného náboje.

CCP výboj je udržován pomocí radiofrekvenčních proudů a napětí, které jsou aplikovány přes kapacitní stěnové vrstvy radiofrekvenční a zemněné elektrody výboje. Plocha buzené (radiofrekvenční) elektrody je obvykle menší než plocha zemněné elektrody (včetně zemněných stěn) – výboj je asymetrický. Pokud je do vnějšího obvodu zapojen oddělovací kondenzátor, nemůže obvodem téct stejnosměrný proud a stěnové vrstvy se chovají tedy vlastně jako kapacitní dělič - napětí na stěnových vrstvách se dělí úměrně k poměru ploch elektrod. Menší buzená elektroda tak může získat stejnosměrný záporný potenciál vůči plazmatu (samopředpětí, angl. dc self-bias) až stovky voltů. Toto samopředpětí urychluje kladné ionty, které pak mohou ovlivňovat tvořenou vrstvu. Mohou ji energetickými dopady zhutňovat nebo odleptávat méně stabilní části, čímž zvyšují kvalitu výsledné vrstvy.

### Popis aparatury

PECVD reaktor použitý v tomto cvičení je experimentální PECVD reaktor konstruovaný pro plazmovou diagnostiku procesů PECVD. Jedná se o kovový UHV reaktor se dvěma rovnoběžnými elektrodami. Jedna z nich je kapacitně připojena k řídicímu RF napětí a druhá je uzemněna. Reaktor R4 využívá RF generátor Cito 136 (COMET) s nominální frekvencí 13,56 MHz a maximálním příkonem 600 W. Vysokofrekvenční výkon je dodáván do výboje přes přizpůsobovací člen, který automaticky doladuje celkovou impedanci zátěže generátoru na jeho výstupní impedanci. Takto se minimalizuje výkon odražený zpět do generátoru. V elektrickém obvodu je také zapojen oddělovací kondenzátor (součástí přizpůsobovacího členu). Přizpůsobovací člen může pracovat v režimu automatického doladění na minimální odražený výkon nebo doladění na předem nastavené stejnosměrné samopředpětí (self-bias). Dodávaný výkon je nezávisle měřen pomocí sondy Octiv VI (Impedans), která měří amplitudy napětí a proudu a příslušný fázový posun. Horní uzemněná elektroda dodává plyny

do plazmové komory prostřednictvím sady malých otvorů. Reakční komora je čerpána systémem turbomolekulární (HiPace 300, Pfeifer) a rotační olejové vývěvy, který umožňuje čerpat až na tlak  $\approx 5 \times 10^{-5}$  Pa. Rychlost čerpání, a tudíž i tlak, lze regulovat pomocí dálkově ovládaného ventilu (VAT). Tlak v komoře je měřen kapacitronem (Baratron, MKS) a kompaktním manometrem velkého rozsahu (PKR 251, Pfeifer). Plyny jsou dodávány a jejich průtok regulován pomocí elektronických jednotek pro měření malých hmotnostních průtoků (MF1, MKS), zatímco páry jsou odebírány z baňky s příslušnou kapalinou přes jehlový ventil. Spektrometr Hiden EQP 500 je připojen k aparatuře z boku mezi elektrodami (viz Obr. 1). Více informací o konstrukci a funkci spektrometru naleznete v dalších materiálech k předmětu.



Obr.1 Použitá aparatura: (1) Regulátory průtoku plynů, (2) Komora s elektrodami, (3) Kapacitron, (4) Manometr s velkým měřícím rozsahem, (5) Spektrometr Hiden EQP 500