

HVM Plasma

1 Úvod

Firma HVM Plasma mne zaujala zejména proto, že se zabývá povlakováním a výrobou tenkých vrstev stejnými, resp. obdobnými metodami, jaké jsou vyvíjeny na Ústavu fyzikální elektroniky Přírodovědecké fakulty Masarykovy univerzity. Svě pojednání jsem rozdělil do následujících částí. Po tomto úvodu stručně představuji činnost firmy a její historii, v další popisují některé vybrané technologie a fyzikální principy, které společnost využívá a vyvíjí a v poslední bych rád vyjádřil svůj názor na firmu HVM Plasma.

2 Základní informace o společnosti HVM Plasma

2.1 Historie

Společnost byla založena roku 1992. Dle jejího ředitele pana Ing. Jiřího Vyskočila, CSc. byla zakládána v pěti lidech, kteří se do té pracovali jako výzkumní pracovníci v akademické sféře. V kontrastu s dnešní dobou nutila tehdejší politika tuto sféru orientovat se téměř výhradně na základní výzkum, což mělo za následek nevyhovující pracovní podmínky pro vývoj plazmových technologií povlakování, kterým se zabývali. Firma tak stavěla na myšlence, že přímá průmyslová aplikace, výroba a prodej výsledných produktů bude financovat jejich další výzkum. V roce 1994 bylo otevřeno jejich první povlakovací středisko v Praze, roku 1996 byla založena jejich dceřiná společnost Aviko Praha, 1998 se získala firma nové sídlo a v roce 2000 pak bylo otevřeno povlakovací středisko v Brně. V současnosti má firma zhruba 75 zaměstnanců na čtyřech pracovištích a přibližně 50 lidí je zaměstnáno v jejich dceřiné společnosti.

2.2 Činnost

Firma se zabývá vývojem, konstrukcí a přesnou výrobou vakuových zařízení, dále povlakováním různých dílů a součástí a nástrojů na zakázku, rovněž pro samotné povlakování vyvíjí nové technologie a v neposlední řadě se zabývá přesným měřením vlastností tenkých vrstev, samozřejmě zejména těch, které vytváří. Rozvíjení metod těchto měření je taktéž jednou z významných činností. Tato společnost se však ve své výzkumné činnosti nezabývá pouze řešením záležitostí, které by se jen úzce týkaly aktuálních potřeb úprav jejich komerčních produktů. Naopak pracuje na celé řadě výzkumných projektů, spolupracuje s výzkumnými ústavami a univerzitami a to i na mezinárodní úrovni. Kromě vývoje PVD a PECVD technologií se podílejí na vývoji zdrojů částic (magnetrony, obloukové zdroje, iontové zdroje), rozvíjením metod diagnostiky plasmatu (zejména sondových měření, optických metod a metod hmotnostní spektrometrie) a také numerickým modelováním elektrických a magnetických polí, mechanického namáhání, nebo tepelných úloh. Svoji otevřenost na poli výzkumu pak potvrzuje i poradenskými službami v oblasti vakuové techniky a povrchových technologií.

3 Fyzika a její aplikace ve firmě

Rád bych popsal jednu z metod tvorby ochranných vrstev, která je ve firmě průmyslově využívána a to konkrétně PECVD (Plasma-enhanced chemical vapor deposition). (Společnost používá pojem PACVD: Plasma-assisted chemical vapor deposition, což je ovšem to samé. Jak je zmíněno výše, tak kromě povlakování se ve firmě výzkumní pracovníci zabývají i diagnostikou plazmatu, a proto bych se rád zmínil například i sondovém měření, jež se zde rovněž provádí.

3.1 PECVD

Tenké vrstvy vznikají nanášením materiálu na podložku, nebo-li depozicí. Metody, kdy je substrát vystaven plynu a při kterých se uplatňují často složitější chemické vazby se nazývají CVD (Chemical Vapor deposition – depozice z plynné fáze) a obvykle probíhají tak, že je substrát vystaven těkavým látkám, které s ním reagují. Aby tyto reakce proběhly, musí být obvykle látkám dodávána energie, většinou ve formě tepla. Substrát pak musí být vystaven vysoké teplotě (řádu stovek, někdy i tisíce stupňů), což dosti omezuje výběr materiálu, na který má být vrstva nanášena. Existují však typy CVD, které nevyžadují vysokou teplotu. Jednou z nich je PECVD (Plasma-enhanced chemical vapor deposition – depozice v plazmatu z plynné fáze) která, jak plyne z názvu, iniciuje a udržuje proces CVD pomocí plazmatu. Tato metoda je rovněž obecně nejvyužívanější metodou při tvorbě DLC vrstev.

PECVD probíhá v reaktoru, kde se za nízkého tlaku vyskytuje směs pracovního plynu (užívané jsou obvykle ty nejjednodušší, jako vodík) a reakčního plynu (uhlovodík). Generátor střídavého napětí ionizuje principem elektronových lavin pracovní plyn a zažehne tak doutnavý výboj. Poté dochází ke srážkám vysoce energetických elektronů s molekulami reakčního plynu, které jsou takto ionizovány a disociovány. Vzhledem k tomu, že se substrát nachází na elektrodě, začnou na něj disociované molekuly a ionty dopadat a reagovat s jeho povrchem, čímž se může začít tvořit požadovaná vrstva.

Kromě toho, že může dojít k poškození vrstvy energetickými ionty, nebo hromaděním náboje, a že u některých (zejména tlustších vrstev) dochází k velkému pnutí, které zapříčiňuje delaminaci vrstvy, uvádí se také jako jedna z nevýhod PECVD fakt, že výsledek depozice je závislý na celé řadě parametrů depozice (jako jsou tlak, složení směsi a poměry průtoků plynů, dodávaná energie, atd.), a tak vzhledem ke komplexnosti procesu není možné příliš dobře výsledek předvídat. I malá změna některého z parametrů depozice může výsledek výrazně ovlivnit.

3.2 Sondové měření

Sondové měření je jedna z nejmocnějších metod diagnostiky plazmatu. Spočívá v umístění sondy (vodiče malých rozměrů) přímo do plazmatu. Napětí na sondě ovlivňuje množství elektronů a iontů, které na ni dopadají a tvoří tak elektrický proud sondou. Na základě měření volt-ampérové charakteristiky sondy lze určit parametry plazmatu, jako jsou koncentrace, teplota a rozdělovací funkce energie elektronů, nebo potenciál plazmatu. Tvar V-A charakteristiky sondy je znázorněn na obrázku 1. Tuto charakteristiku lze rozdělit na tři oblasti.

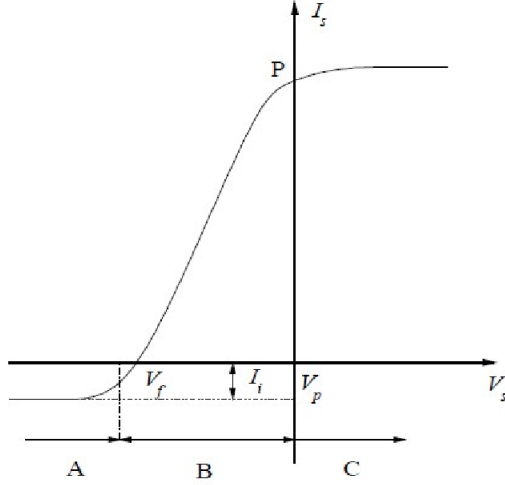


Figure 1: Volt-ampérová charakteristika jednoduché elektrostatické sondy

V oblasti A má sonda záporný potenciál, elektrony jsou odpuzovány a pouze kladné ionty, které jsou naopak přitahovány, zapříčiňují proud sondou. Tento proud lze považovat za úměrný napětí na sondě, čehož se využívá pro určení iontového proudu v dalších oblastech.

Na začátku oblasti B začínají na sondu dopadat nejenergetičtější elektrony a při dalším zvyšování potenciálu nastane okamžik, kdy celkový proud daný součtem proudu elektronů a iontů bude nulový. Potenciál, při kterém k tomu dochází, se nazývá *plovoucí potenciál* V_f . Při dalším zvyšování potenciálu na sondě se polarita proudu změní a proud začne rychle růst. Z hodnot naměřených v této oblasti můžeme stanovit teplotu elektronů T_e . To lze provést tak, že je nejprve provedeno určení elektronového proudu I_e odečtením iontového proudu I_i od celkového proudu sondou I_s a dosadíme do závislosti $\ln I_e = f(V_s)$ která je v případě Maxwellova rozdělení energie elektronů lineární, ve tvaru:

$$\ln I_e = -\frac{e}{kT}V_s + C \quad (1)$$

Určením směrnice této přímky pomocí lineární regrese naměřených dat lze stanovit teplotu elektronů. V oblasti C je už sonda vzhledem k plazmovému potenciálu V_p kladná, ionty odpuzuje a elektrony přitahuje, díky čemuž můžeme pozorovat na V-A charakteristice oblast nasyceného proudu. Hodnota V_p může být stanovena jako maximum první derivace proudu podle napětí, resp. nulová hodnota druhé derivace. Jelikož neokrajové části oblastí B a C mohou být aproximovány přímkami, lze toto místo na charakteristice také určit jako průsečík těchto přímek. Poté lze určit koncentraci elektronů na základě vztahu:

$$n_e = \frac{|I_{ep}|}{Se} \sqrt{\frac{2\pi m}{kT_e}} \quad (2)$$

kde I_{ep} je proud sondou ve chvíli, kdy $V_s = V_p$ a S je plocha sondy.

4 Závěr

Firma HVM Plasma je jedna z mála českých firem, které se věnuje i vlastnímu výzkumu. Ba co více, nezaměřuje se ve svém výzkumu pouze na to, co lze okamžitě zpeněžit, ale zabývá se i obecnějšími otázkami problematiky plazmatu a technologií tvorby vrstev. Myšlenka vlastního nezávislého výzkumu financované přímo z jeho průmyslových aplikací je velice krásná a téměř dvacetiletá existence firmy HVM Plasma dokazuje, že i reálná. Osobně jsem se v Brně setkal s výzkumem tvorby ochranných vrstev pomocí nízkotlakých výbojů jak na Ústavu fyzikální elektroniky MU, tak na Ústavu přístrojové techniky AVČR. Nabízí se otázka, zda by obě instituce nemohli z možností zkoumaných technologií vytěžit finanční prostředky ať už vznikem podobné spin-off firmy, nebo jen investicí do stavby průmyslového reaktoru. Takovýto reaktor by my mohl sloužit nejen k výrobě takzvaně na zakázku, ale i experimenty prováděné na něm by přinášely relevantnější výsledky, než malé experimentální reaktory, neboť geometrie reaktoru je jeden z nejzásadnějších parametrů depozice a výsledky získané na jedné geometrii jsou stěží reprodukovatelné na jiné.