

4. Basic of Cryopumping, Air Products and Chemicals, Inc. Allentown, PA, 1980, p. 1-29
5. Guy S. Venuti, Use of vibration - isolated cryopumps to improve electron microscopes and electron beam lithography units, J.Vac. Sci. Technol., A1(2), 1983, p. 237-240

Andrej Banovec, dipl.ing.
Inštitut za elektroniko in
vakuumsko tehniko
Teslova 30, 61000 Ljubljana

PLAZEMSKE TEHNOLOGIJE

1. Uvod

V zadnjem desetletju je bilo organiziranih nekaj deset mednarodnih konferenc, ki so bile posvečene problemom razvoja plazemskih tehnologij. Prva tovrstna konferenca je bila leta 1977 v Edinburgu pod imenom IPAT (Ion & Plasma Assisted Techniques). Doslej se jih je zvrstilo že sedem. Mednarodne konference s podobno vsebino so še ISIAT (Ion Sources and Ion Assisted Technology), ICMC (International Conference on Metallurgical Coatings) in PSE konferenca (Conference on Plasma Surface Engineering), ki je bila preteklo leto organizirana prvič. Glavne teme, ki jih obravnavajo na teh konferencah so:

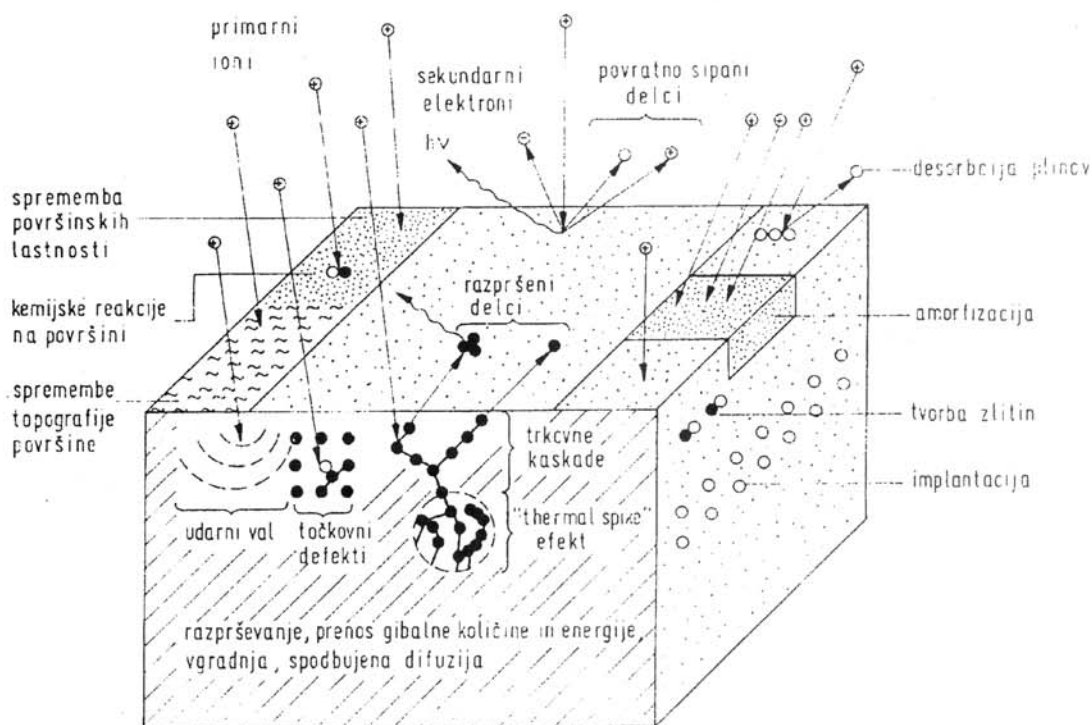
- * fizika površin in interakcija plazme s površinami trdih snovi
- * ionski izviri
- * naprave za naprševanje, jedkanje in ionsko implantacijo
- * plazemska kemija
- * modifikacija materialov z ionskim curkom
- * plazemska diagnostika

* pospeševalniki

* plazemske tehnologije v tribologiji (plazemsko nitriranje, trde zaščitne prevleke) in pri zaščiti materialov pred korozijskimi procesi itd.

Našteta tematska področja delno pokrivajo tudi vakuumske konference in konference s področja mikroelektronike.

Zanimanje raziskovalcev za plazmo je pogojeno s številnimi možnostmi njene uporabe. Tako je plazma lahko aktivacijski medij za različne fizikalno-kemijske procese. Delci v plazmi imajo visoko energijo, zato povzročajo vrsto različnih procesov, kot so disociacija, ekscitacija in ionizacija atomov ter molekul [1]. Vsi ti procesi znatno pospešujejo ali pa celo omogočajo potek kemijskih reakcij. Plazma je lahko tudi izvir najrazličnejših ionov, ki jim lahko poljubno izbiramo energijo in smer gibanja. Plazmo lahko ustvarimo z enosmerno, RF ali z mikrovalovno razelektrivijo. Do faznega prehoda v plazemsko stanje pride, če je povprečna energija sistema na delec istega velikostnega reda ali večja od vezavne energije elektronov v atomu. Najenostavnejši način za pripravo plazme je razelektritev med dvema elektrodama



Slika 1: Osnovni mehanizmi interakcije ionov s trdno snovjo

v vakuumu približno 10 Pa. Takšno razelektrjenje je odvisno predvsem od vrste in tlaka plina, od napetosti med elektrodama in od geometrije sistema. Razelektrjenje vzdržujejo elektroni, ki jih iz katode izbijejo pozitivni ioni /1/. Energijo, potrebno za ionizacijo, pridobivajo v tki. katodnem temnem prostoru, kjer se pojavi skoraj celoten skok električnega potenciala. Vsak elektron mora ionizirati toliko atomov (10 do 20), da nastali ioni izbijejo iz tarče vsaj en elektron. Gostota plazme pri takih razelektritvah je od 10^9 do 10^{12} ionov na 1cm^3 . Povprečna energija elektronov je od 2 do 10 eV, kar ustreza temperaturi 10^4 do 10^5 K, medtem ko je temperatura ionov blizu okoliški temperaturi, tj. 500 K. Stopnja ionizacije je navadno 10^{-4} . Povečamo jo lahko na dva načina: s povečanjem učinkovitosti ionizacije (to lahko realiziramo bodisi z radiofrekvenčnim vzbujanjem ali pa tako, da z magnetnim poljem podaljšamo pot elektronov) in s povečanjem števila elektronov, ki jih dobimo iz dodatnih elektronskih izvirov.

S fizikalnega vidika so zelo zanimive interakcije plazme zlasti interakcije ionov (sl.1) s površinami trdnih snovi. Nizkoenergijski ioni iz plazme (nekaj eV) ali ionskega izvira povzročajo migracijo površinskih atomov, desorbicijo nečistoč, kemijske reakcije, polimerizacijo itd. Uporabljamo jih lahko za lokalno segrevanje površin trdnih snovi, saj je temperatura, ki ustreza energiji ionov zelo visoka ($1\text{eV} = 100\text{K}T_{\text{Sob}}$). Ioni z višjo energijo (več kot nekaj deset eV) povzročajo nastanek točkovnih defektov oz. aktivacijskih centrov. Če energija ionov presega energijo atomov na površini (ki je približno enaka sublimacijski energiji), potem pride do razprševanja površine. Razprševanje je proces, ki ga izkoriščamo za čiščenje površin in nanos tankih plasti. V ta namen so zanimivi ioni inertnih plinov, ki imajo energijo v energijskem področju 300 do 2000 eV. Ioni z višjimi energijami (10 do 200 keV) se uporabljajo pri ionski implantaciji, plazemski metalurgiji, pri RBS spektroskopiji itd.

2. Primeri uporabe

Število tehnoloških postopkov, ki so vezani na plazmo, se je v zadnjem desetletju zelo povečalo. Nekateri od njih so našteti in opisani v nadaljevanju prispevka.

a) Obdelava materialov v plazmi (rezanje, varjenje,..)

b) Vakuumske metode nanašanje tankih plasti (naprševanje, ionsko prekrivanje itd.) /2/

Vakuumske metode nanašanja tankih snovi (PVD-Physical Vapour Deposition) so v zadnjih dveh desetletjih doživele izreden razvoj. Uporabljajo pa se povsod, kjer potrebujemo zelo čiste plasti in kjer zahtevamo ponovljivost postopka (tanke plasti v mikroelektroniki, optiki, integrirani optiki, magnetne tanke plasti, trde prevleke, senzorske plasti, antikorozijske, samomazivne in dekorativne plasti,...). Uporaba plazme je v sklopu zgoraj naštetih metod nanašanja pomembna dopolnitev, s katero lahko kontroliramo lastnosti plasti. Obstreljevanje podlage in rastoče plasti (med nanašanjem) z nizkoenergijskimi ioni (25-5000 eV) lahko povzroči velike spremembe lepljivosti (sticking probability), hitrosti reakcije na površini, kinetike rasti, hitrosti difuzije na mejnih površinah. Plasti so zato bolj kompaktne in imajo boljšo oprijemljivost.

c) Jedkanje v plazmi in s plazemskim snopom /3/

V submikronskih tehnologijah ($<2\ \mu\text{m}$) moramo uporabiti anizotropne postopke jedkanja. Takšni postopki so vakuumsko plazemsko jedkanje in jedkanje z ionskim snopom. Mehanizem jedkanja je lahko razprševanje površine ali pa kemijsko jedkanje, ki se ga aktivira z obstreljevanjem površine z nizkoenergijskimi ioni (elektroni in fotoni) iz plazme ali iz ionskega izvora.

d) Plazemska energetika (npr. termonuklearni fuzijski reaktorji) /4/

e) Plazemska kemija

TEHNOLOGIJE 21. STOLETJA
(Študija ameriškega ministrstva za trgovino)
novi materiali
elektronika
avtomatizacija in tehnologije senzorjev
biotehnologija
računalniškatehnologija
tehnologije v medicini
tehnologije površin

Tabela 1:

Plazemska kemija omogoča gospodarnejšo, ekološko sprejemljivejšo in kvalitetnejšo pripravo nekaterih kemijskih snovi. Plazma v splošnem pospeši, pogosto pa sploh omogoči nekatere kemijske reakcije. Tako lahko neravnotežno plazmo uporabimo za aktiviranje kemijskih reaktanov pri nanašanju tankih plasti s kemijsko depozicijo iz parne faze. Na ta način lahko pripravimo tanke plasti refraktornih materialov pri relativno nizkih temperaturah podlage (npr. TiN, TiC, Si₃N₄, BN). Tudi amorfni silicij, ki se uporablja pri izdelavi amorfnih silicijevih sončnih celic, pripravimo v plazmi. Nanos poteka iz plazme silana (SiH₄) in nekaterih drugih plinov, pri temperaturi 200 do 300 °C. Razelektrivni procesi, ki omogočijo rast silicija, so zelo kompleksni in še ne dovolj pojasnjeni. V praksi se široko uporabljajo tudi različni procesi plazemskega nitriranja, boriranja in karbiranja. Obdelovanec je navadno katoda pri razelektritvi v ustrezni mešanici plinov. Pri obstreljevanju obdelovanca (orodno jeklo, strojni deli) s ioni iz plazme nastanejo v površinskih plasteh različni nitridi oziroma karbidi ali boridi, ki znatno utrdijo površino. Proces poteka pri temperaturi obdelovanca 350 do 580 °C; segrevajo ga ioni iz plazme. Del energije ionov pa se porabi za potek kemijske reakcije.

f) Modifikacija površin z ionsko implantacijo /5/

Vpadli ioni se vgrajujejo v plast, hkrati pa na svoji poti izbijajo atome iz njihovih mrežnih mest. Tako pride do mešanja atomov v vseh smereh. Pri večjih dozah ionov se spremeni površinska sestava, struktura in kemijska vezavna stanja atomov na površini. Dobra stran kaskadnega mešanja atomov je možnost priprave zlitin in spreminjanja (površinskih) lastnosti materialov. Prenasičene trdne raztopine dobimo z atomskim mešanjem tudi v nekaterih primerih (npr. kombinacija zlato-kobalt), ko ne pričakujemo, da bi lahko prišlo do tvorbe zlitine glede na Hume-Rotheryjeva pravila /6/.

g) Plazma kot izvir svetlobe (npr. plinski laserji)

h) Površinske in globinske profilne analize /7/

Emisijski procesi, ki spremljajo obstreljevanje z ioni, so lahko osnova za površinsko analizo (npr. SIMS-sekundarna ionska masna spektroskopija), saj je vsak izbit delec nosilec informacije o sestavi in strukturi (površine) trdne snovi. Sestavo po globini merimo s površinskimi analiznimi metodami tako, da vrhno plast odstranjujemo z ionskim obstreljevanjem.

3. Zaključek

Plazemske tehnologije se uporabljajo v čedalje širšem obsegu. Danes so osnova mikroelektronike, integrirane optike, razvoja novih materialov in tehnologij površin. Po študiji ameriškega ministrstva za trgovino sodijo našeta področja tudi med ključne tehnologije, ki bodo dominirale v 21. stoletju (tabela 1). Razširjenost plazemskih tehnologij pri nas je na žalost daleč za ravnim svetom.

4. Literatura

- /1/ M.Venugopalan, Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B23 (1987) 405-417
- /2/ Brian Chapman, Glow Discharge Processes, John Wiley & Sons, New York, (1980)
- /3/ P.Panjan, B.Navinšek in A.Žabkar, Zbornik X jugoslovskega vakuumskega kongresa, urednik T.Nenadović, stran 118, Beograd (1986)
- /4/ P.Panjan, A.Žabkar in B.Navinšek, Vakuunist št.16,(1988), stran 4
- /5/ O.Auciello and R.Kelly, Ion Bombardment Modification of Surfaces, Elsevier, Amsterdam, (1984)
- /6/ W.Hume-Rothery et al, Inst. of Metals, London (1969)
- /7/ O.Brümmer, J.Heydenreich, K.H.Krebs und H.G.Schneider (ed.), Festkörperanalyse mit Elektronen, Ionen und Röntgenstrahlen, VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin (1980)

Peter Panjan, dipl.ing.
 Institut Jožef Stefan
 61000 Ljubljana, Jamova 39

TALJENJE IN LITJE ZLITIN NIZKOLEGIRANEGA BAKRA V ELEKTROINDUKCIJSKI VAKUUMSKI PEČI

Mariborska livarna se ukvarja z izdelavo in predelavo zlitin nizkolegiranega bakra že približno 25 let. Do nedavnega smo talili take zlitine v 500 kg lončni elektroindukcijski peči. Talina je bila pri taljenju in litju izpostavljena vplivu zunanjega okolja, kar se je močno odražalo na kvaliteti dobljenega materiala; ekonomski pokazatelji takšne proizvodnje so bili neugodni. Zlitine nizkolegiranega bakra so legirane s Cr, Zr, Be, Ni, Si, Mn, Ti, Te, Co, Cd, itd. Vsi ti elementi imajo visoko afineteto do kisika in so se nam pri taljenju in litju v veliki meri oksidirali. Veliko oksidnih vključkov v ulitem materialu pa pomeni poslabšanje mehanskih in fizikalnih lastnosti zlitine in s tem zmanjšanje življenjske dobe materiala v

industrijski uporabi. Zaradi neposrednega vpliva okolja pri taljenju in litju je prišlo velikokrat tudi do naplinjenja taline; odliti material je bil porozen, celo toliko, da smo morali celotno šaržo zavreči in jo pretopiti kot cenen vložek. V splošnem je bila kvaliteta našega materiala precej pod nivojem identičnih uvoženih materialov, kar se je odražalo tudi na slabši prodaji.

Zaradi vedno večjega povpraševanja po specialnih zlitinah nizkolegiranega bakra z visoko zahtevnimi mehanskimi in fizikalnimi lastnostmi na eni strani in zaradi nekvalitetnega postopka na drugi strani, smo se odločili za nakup elektroindukcijske vakuumske peči tip ISG 150 V2 pri Leybold Heraeus iz ZRN. Osnovni princip