

IZVIRI ATOMARNEGA VODIKA

Miran Mozetič, Miha Kveder, Andrej Pregelj in Matjaž Drobnič*,
 Inštitut za elektroniko in vakuumsko tehniko, Teslova 30, 61000 Ljubljana,
 *Inštitut "Jožef Stefan", Jamova 39, 61000 Ljubljana

Atomic hydrogen sources

Abstract

Recently developed atomic hydrogen sources based on electron impact dissociation of molecular hydrogen are described. A source is a cylindrical vessel made of glass with a low recombination coefficient. Free electrons are produced and accelerated by an inductively coupled RF generator with the maximum output power of 700 W. The degree of the dissociation of hydrogen molecules and the flow of hydrogen atoms at the output throttle of the source are controlled by the effective pumping speed, the input flow of molecular hydrogen, and the output power of the RF generator. The flow of atomic hydrogen is measured with catalytic probes. The flow up to 10^{19} atoms per second was obtained.

Povzetek

Opisujemo izvire atomarnega vodika, ki temeljijo na disociaciji molekul vodika pri trkih z elektroni. Izvir je cev, narejena iz stekla z nizkim rekombinacijskim koeficientom. Proste elektrone produciramo in pospešimo z induktivno vezanim RF generatorjem z maksimalno izhodno močjo 700 W. Stopnjo disociiranosti in pretok atomarnega vodika na izhodu izvira kontroliramo z učinkovito črpalno hitrostjo, vpustom molekularnega vodika in izhodno močjo RF generatorja. Pretok atomarnega vodika merimo s katalitičnimi sondami. Dosegli smo pretoke do 10^{19} atomov na sekundo.

1 UVOD

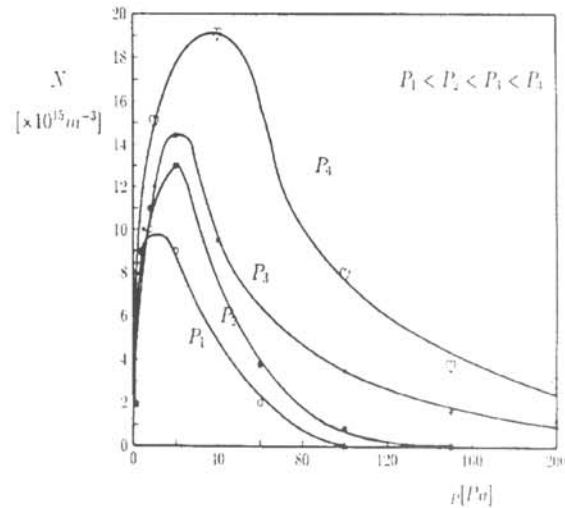
Pri sodobnih vakuumskih tehnologijah se pogosto srečamo z izviri najrazličnejših delcev, ki jih uporabljamo za obdelavo površin. Delci so lahko nabiti ali električno nevtralni, počasni (termični) ali hitri (pospešeni), lahki ali težki. Edina skupna lastnost teh delcev je, da jih težko pridobimo proste v zadostnih koncentracijah. Pričujoči članek na kratko opiše izvire atomarnega vodika, ki smo jih razvili na IEVT.

2 VODIKOVA PLAZMA

Za izvire delcev se po večini uporablja plazma. Vrsta plinske mešanice in način vzbujanja plazme sta odvisna od specifičnih potreb. Za izvir atomarnega vodika smo vzeli RF vodikovo plazmo. V stekleno komoro premera 4 cm vpuščamo vodik iz jeklenke. Okrog komore je ovita tuljava, ki je priključena na RF generator s frekvenco 27,12 MHz in največjo izhodno močjo 700 W. Moč, ki jo dovajamo plazmi, lahko razmeroma dobro kontroliramo s številom ovojev tuljave.

V razelektritveni komori dobimo šibko ionizirano vodikovo plazmo s temperaturo elektronov okoli $5 \cdot 10^4$ K (povprečna kinetična energija reda nekaj eV). Gostota plazme je odvisna predvsem od tlaka plina in izhodne moči RF generatorja. Parametre plazme merimo z dvojno električno sondo /1/. Slika 1 prikazuje odvisnost gostote plazme od tlaka pri različni moči RF generatorja.

Opazimo, da je gostota plazme razmeroma majhna, največ $10^{16}/m^3$, kar prinese stopnjo ioniziranosti (razmerje med gostoto ionov in gostoto nevtralnih delcev) reda 10^{-6} . Takšna plazma zanesljivo ni najboljša za izvir nabitih delcev, je pa izredno primerna za izvir nevtralnih atomov vodika. Gostota atomov vodika v takšni plazmi je namreč bistveno večja od gostote ionov. Tako smo dosegli stopnjo disociiranosti (razmerje med gostoto atomov in gostoto vseh delcev) 60% in to v razmeroma širokem območju tlakov /2/.



Slika 1. Gostota plazme v izviru atomarnega vodika.

Poskusimo razložiti visoko stopnjo disociiranosti v tako redki plazmi. Tabela 1 prikazuje nekatere procese, ki potekajo v vodikovi plazmi pri trkih elektronov s težkimi delci. Energijski prag za disociacijo je 8.5 eV, za ionizacijo atoma vodika pa 13.6 eV. Razlika je razmeroma majhna. Tudi ob upoštevanju dejstva, da je visokoenergijski "rep" elektronske porazdelitve v plazmi eksponenten, bi pričakovali razmerje med stopnjo disociiranosti in stopnjo ioniziranosti kvečjemu 10^2 , nikakor pa ne 10^5 ali 10^6 , kot jo dejansko izmerimo. Za ravnovesno koncentracijo delcev v nizkotlačni plazmi je namreč zelo pomembna rekombinacija delcev na površini komore, v kateri plazmo generiramo. Kakršnakoli površina že je, med plazmo in steno posode je vedno padec potenciala (ki skrbi za to, da je gostota toka elektronov na steno enaka gostoti toka pozitivnih ionov), ali z drugimi besedami, na površini je vedno dovolj elektronov, ki čakajo na rekombinacijo s pozitivni ioni.

Prispevek je bil predstavljen na 1. srečanju vakuumistov Slovenije in Hrvaške v Zagrebu.

Tabela 1. Nekatere reakcije v vodikovi plazmi /3/

reakcija	energ. prag [eV]	maks. presek [10^{-16}cm^2]
$\text{H}_2 + e \rightarrow \text{H}_2^+ + 2e$	15.4	1.1
$\text{H}_2 + e \rightarrow \text{H}^+ + \text{H} + 2e$	18.0	0.005
$\text{H}_2 + e \rightarrow \text{H}^+ + \text{H}^+ + 3e$	46	0.005
$\text{H}_2^+ + e \rightarrow \text{H}^+ + \text{H} + e$	12.4	3-16
$\text{H}_2 + e \rightarrow \text{H} + \text{H} + e$	8.5	0.6
$\text{H}_2^+ + e \rightarrow \text{H} + \text{H}$	0	100
$\text{H} + e \rightarrow \text{H}^+ + 2e$	13.6	0.65
$\text{H} + e \rightarrow \text{H}^* (2P) + e$	10.2	0.7
$\text{H}^* + e \rightarrow \text{H}^+ + 2e$	3.3	15
$\text{H}_2 + e \rightarrow \text{H}_2^* + e$	10.3	0.2

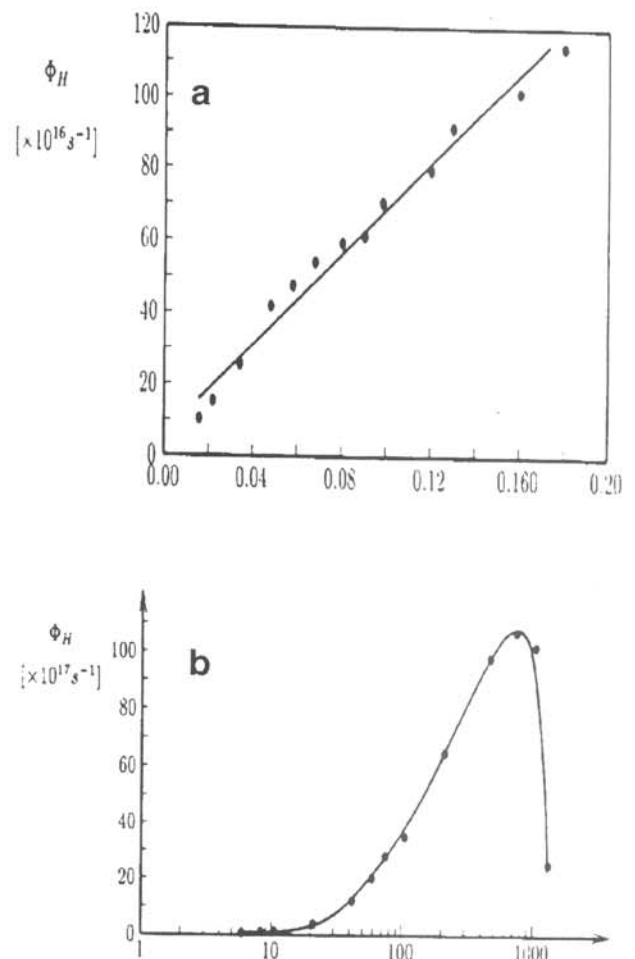
Atom vodika se rekombinira na steni z drugim atomom vodika. Pri tem pa je koncentracija atomov vodika na steni bistveno odvisna od vrste površine. Na površinah materialov, ki kemisorbirajo vodik, imamo v plazmi vedno (pre)nasičeno koncentracijo atomov vodika. Atomi, ki priletijo na takšno površino, se zato na njej z veliko verjetnostjo rekombinirajo. Nasprotno je rekombinacija na površinah materialov, ki ne kemisorbirajo vodika (stekla, keramike in večina kovinskih oksidov), malo verjeten proces, saj morata ob istem času na majhno površino pasti dva atoma vodika, da pride do rekombinacije. Izguba atomov vodika na stenah je torej močno odvisna od vrste materiala. Zaradi tega lahko v steklenih komorah pridobimo visoke koncentracije atomarnega vodika kljub razmeroma majhni gostoti plazme.

Na tem mestu takoj omenimo še to, da pri višjih tlakih vedno bolj prihajajo do izraza rekombinacije v plinu (trki tretjega reda). Zato v splošnem razmerje med stopnjo disociiranosti in stopnjo ioniziranosti z naraščajočim tlakom pada.

3 KARAKTERIZACIJA IZVIROV

Nizkotlačna šibko ionizirana RF plazma je torej primeren medij za razcep molekul vodika. S primernim pretokom plina skozi razelektrivno komoro nam lahko rabi kot izvir atomarnega vodika. Nabite delce, ki prav tako nastajajo v plazmi, so pa pri izviru nezaželeni, nevtraliziramo na izhodu razelektrivne komore. Iz komore dobimo tok atomarnega vodika, ki je odvisen od učinkovite črpalne hitrosti na ustju komore, prevodnosti dozirnega ventila in izhodne moči RF generatorja. Pretok atomarnega vodika merimo s katalitičnimi sondami. Slika 2 predstavlja rezultat meritev pretoka v dveh vakuumskih sistemih. V obeh primerih podajamo odvisnost pretoka atomarnega vodika od tlaka v komori, v kateri se nahaja katalitična sonda. V primeru (a) je bila učinkovita črpal-

na hitrost na ustju razelektrivne komore 60 l/s (sistem črpamo z difuzijsko črpalno), v drugem primeru (slika 2(b)) pa 2.2 l/s (sistem črpamo z rotacijsko črpalno).



Slika 2. Pretok atomov vodika iz dveh različnih izvirov

4 SKLEP

Opisali smo osnovne značilnosti RF vodikove plazme in razložili, kako jo lahko uporabimo kot stabilen izvir atomarnega vodika. Izdelali smo nekaj takšnih izvirov, ki so sedaj pripravljene za nadaljnjo rabo, npr. študij redukcije tankih plasti kovinskih oksidov ali kontrolirano vodičenje kovin.

5 LITERATURA

- 1/ J. D. Swift and M. J. R. Schwar, *Electrical Probes for Plasma Diagnostics*, Iliffe Books Ltd., London (1970)
- 2/ F. Breclj, M. Mozetič, M. Drobnič, K. Zupan and M. Murko-Jezovšek, *Vacuum*, 44 (1993) 459
- 3/ C. C. Goodyear and A. von Engel, *Proc. Phys. Soc.* 79 (1962), 732