

KARAKTERISTIKE NOVE IONSKO RAZPRŠEVALNE ČRPALKE

CHARACTERISTICS OF A NEW, SPUTTER-ION PUMP

Alenka Vesel, Miran Mozetič

Institut Jožef Stefan, Jamova 39, 1000 Ljubljana, Slovenija
alenka.vesel@ijs.si

Prejem rokopisa – received: 2003-06-08; sprejem za objavo – accepted for publication: 2003-09-01

V prispevku opisujemo konstrukcijo nove ionsko razprševalne črpalke, ki nasprotno od navadnih Penningovih črpalk temelji na magnetronski razelektritvi. Črpalka je bila sestavljena iz kombinacije 13 Penningovih in 6 magnetronskih celic, ki so vsebovale titanovo katodno palico okroglo oblike. Stranske katodne plošče so bile opuščene. Namesto njih smo v Penningovih celicah uporabili majhne čepke. Magnetno polje v črpalci je bilo konstantno 0,15 T. V območju med $1 \cdot 10^{-8}$ mbar in $1 \cdot 10^{-6}$ mbar je v črpalci nastala stabilna razelektritev. Raziskovali smo odvisnost razelektritvenega toka od delovne napetosti. Rezultati so pokazali, da mora biti minimalna delovna napetost 5 kV, saj je pri nižjih napetostih tok zelo šibek. Izmerili smo tudi črpalno hitrost črpalke, ki je bila okoli 25 l/s. Maksimalno črpalno hitrosti je bil pri tlaku okoli $5 \cdot 10^{-7}$ mbar. Črpalna hitrost je bila izmerjena za plin dušik pri napetosti 6 kV.

Ključne besede: UUV, magnetronska celica, Penningova celica, črpanje, črpalna hitrost, ionsko razprševalna črpalka

In this contribution we describe a new type of a sputter-ion pump that is based on a magnetron discharge. The pump consisted of a combination of 13 Penning and 6 magnetron cells with a cylindrical cathode rod. The end cathode plates were removed. Instead of these plates small caps were used in the Penning cells. The magnetic field of 0.15 T was kept constant. A stable discharge was established in the pressure range between $1 \cdot 10^{-8}$ mbar and $1 \cdot 10^{-6}$ mbar. The discharge current versus the anode voltage was investigated. The results showed that the minimum anode voltage should be 5 kV, since at a lower voltage the current is too weak. The pumping speed for nitrogen was measured at an anode voltage of 6 kV. The pumping speed of the new pump was 25 l/s. The maximum pumping speed was reached at a pressure of $5 \cdot 10^{-7}$ mbar.

Key words: UHV, magnetron cell, Penning cell, pumping, pumping speed, sputter-ion pump

1 UVOD

Za doseganje in vzdrževanje ultravisokega vakuumu se največ uporabljajo ionskorazprševalne črpalke, ki so navadno sestavljene iz Penningovih celic.^{1,2} Penningova celica (**slika 1a**) je sestavljena iz votlega anodnega valja, ki ga na obeh koncih omejujeta katodni plošči. Med obema elektrodama je velika potencialna razlika (nekaj kV). V električnem polju v celici pride pri trkih hitrih elektronov z molekulami plina do nastanka razelektritve. Ioni, ki pri tem nastanejo, se v električnem polju pospešijo proti katodnim ploščama in izbijajo iz njiju atome kovine. Razpršeni atomi se napršijo na površino anode, kjer kemijsko reagirajo s plini. Na ta način dosežemo črpalni učinek.^{1,2} Katodni plošči sta navadno narejeni iz čistega titana zaradi izredne sposobnosti vezave plinov v čvrsto vezane spojine. Za črpanje plinov je zato potreben stalen dotok izbitih kovinskih atomov, ki jih dobimo le ob zadostnem obstreljevanju katode z ioni. To pa lahko zagotovimo le, če z ustrezno kombinacijo električnega in magnetnega polja podaljšamo poti elektronov in s tem povečamo verjetnost trka z molekulo plina in nastanka iona. Celica se zato nahaja še v zunanem magnetnem polju gostote okoli 0,1 T, ki je vzporedno z osjo anode in tako pravokotno na električno polje. Tako celica deluje kot past za elektrone, ki ostanejo ujeti v prečnem električnem in magnetnem polju v celici.

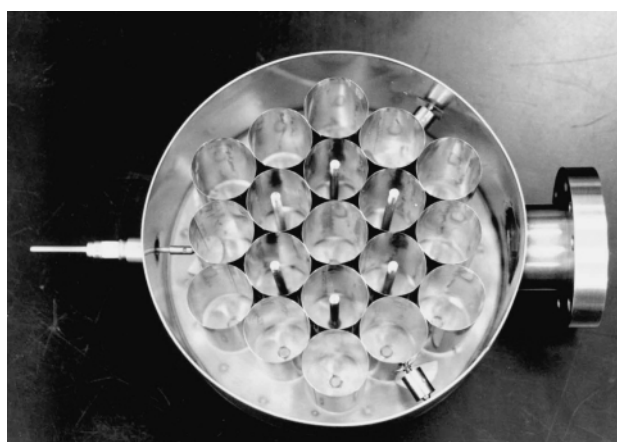
Če v anodni valj vstavimo katodno palico, tako da povezuje stranski katodni plošči, dobimo t. i. magnetronsko celico (**slika 1b**). V tej celici je električno polje vseskozi radialno in ni odvisno od vzpostavitve oblaka elektronov kot v Penningovi celici,^{3,4} zato je razelektritev bolj stabilna. Penningova celica pa ima še eno slabo lastnost. Ioni, ki se v električnem polju pospešijo, trkajo v ozko področje na stranskih katodah (**slika 1a**), medtem ko je ostala površina katode popolnoma neizkoriščena. Na mestu, kjer ioni trkajo v katodo, pride do močne erozije katodnega materiala, zato tam sčasoma nastanejo luknjice in taka katoda postane neuporabna. Nasprotno pa v magnetronski celici poteka obstreljevanje in razprševanje osrednje katode po vsej njeni površini, medtem ko na stranskih katodnih ploščah pride celo do naprševanja razpršenega titana, zato sta lahko le-ti v magnetronski celici opuščeni, saj nimata takega pomena kot v Penningovi celici. Zaradi stalne erozije katodne palice v magnetronski celici je njena površina veliko bolj čista kot površina katod v Penningovi celici, kar ugodno vpliva na črpanje vodika.⁵ Vodik se namreč črpa preko difuzije v notranjost katod, ki je v primeru kontaminirane površine otežena.^{6,7}

Magnetronska celica se v glavnem uporablja le kot merilnik tlaka,⁸ bilo pa je tudi že nekaj poskusov, da bi jo uporabili kot črpalco. Pri tem so opazili, da dosežejo nižji končni tlak kot pri Penningovih.^{9,10} Zato smo se

odločili za konstrukcijo in preskus nove črpalke, sestavljene iz kombinacije Penningovih in magnetronskih celic.¹¹

2 KONSTRUKCIJA NOVE ČRPALKE

Preskusna kombinirana magnetronsko-Penningova črpalka je bila sestavljena iz 19 celic (slika 2). Ohišje črpalke je bilo narejeno iz nerjavnega jekla debeline 1mm. Anodni valji so bili narejeni iz 0,5 mm debele folije nerjavnega jekla AISI 314L. Z uporabo tankostenskih materialov smo zmanjšali maso črpalke. Premer anodnih valjev je bil 27 mm, dolžina pa 66 mm. Na ohišje črpalke smo postavili Arnoldove feritne magnetne, ki jih je obdajal železni jarem, tako da smo v črpalke dosegli magnetno polje okoli 0,15 T. Črpalka je bila sestavljena iz 13 Penningovih in 6 magnetronskih celic. Magnetronske celice so vsebovale okrogle titanove katodne palice debeline 3 mm. Stranski titanovi katodni plošči sta bili opuščeni. Namesto tega smo v Penningovih celicah uporabili majhne titanove čepke $\phi 3$ mm, ki smo jih pričvrstili na ohišje črpalke na mestu, kjer os anodnih valjev seka ohišje črpalke in kjer poteka najintenzivnejše razprševanje katodnega materiala. Z opustitvijo stranskih katodnih plošč se je povečal raz-



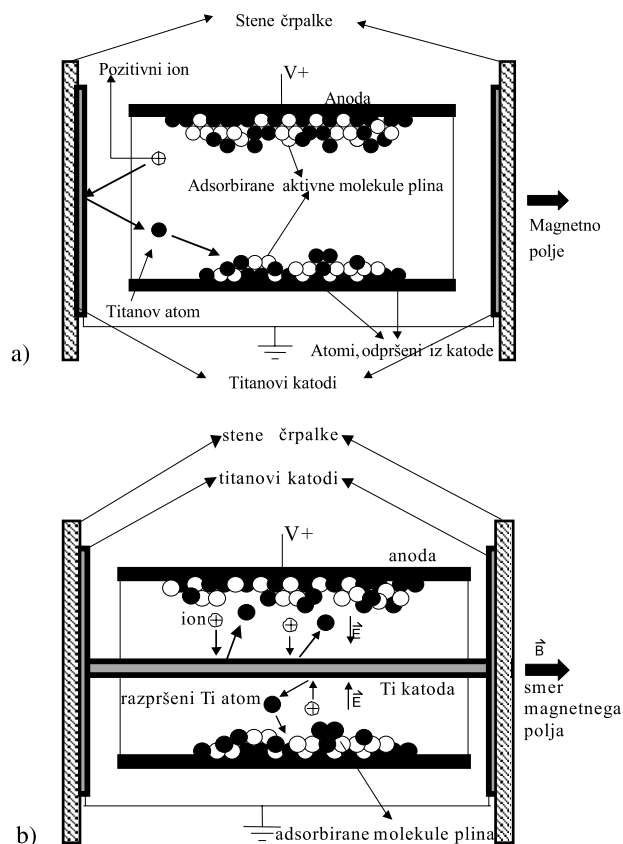
Slika 2: Fotografija nove črpalke

Figure 2: Photo of a new pump

elektrivni volumen celice in zmanjšala masa črpalke. Premer črpalke je bil 158 mm.

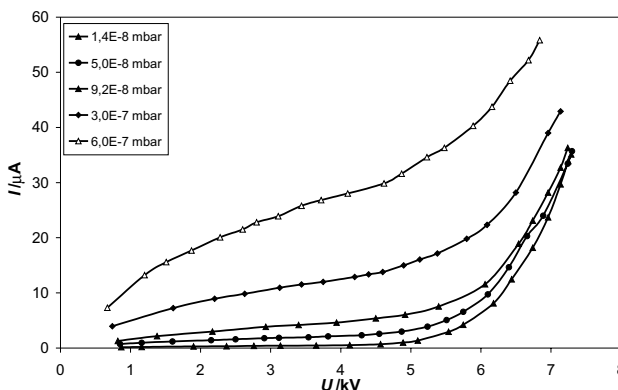
3 MERITVE RAZELEKTRITVENEGA TOKA

Raziskovali smo odvisnost razelektritvenega toka v novi magnetronski črpalke od napetosti in tlaka. Črpalko smo preko prirobnice CF40 namestili na vakuumski sistem, ki je bil črpan z ionsko črpalke Varian Starcell z nazivno črpalno hitrostjo 120 l/s. Za predčrpanje smo uporabili turbomolekularno in rotacijsko črpalko. Tlak v sistemu smo merili z Bayard-Alpertovim merilnikom tlaka, sestavo atmosfere pa z masnim spektrometrom. Z njim smo izvajali tudi kontrolo netesnosti. Da bi zmanjšali razplinjevanje sten in dosegli boljši vakuum, smo sistem predhodno pregrevali na 150 °C. Po pregrevanju sistema, ki je potekalo 40 h, smo dosegli končni tlak okoli $5 \cdot 10^{-9}$ mbar. Residualno atmosfero je pri tem tlaku sestavljal večinoma le še vodik, kar je pokazal masni spektrometer. Tlak v sistemu smo spreminjali z dovajanjem dušika v sistem skozi precizni dozirni ventil. Spreminjali smo ga v območju od $1 \cdot 10^{-8}$ mbar do



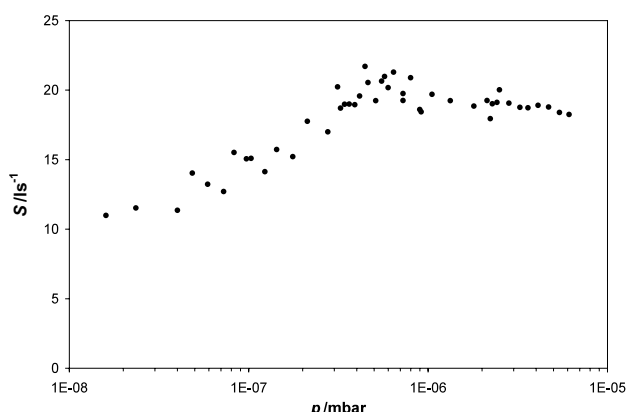
Slika 1: Prikaz črpanja v: a) Penningovi celici in b) magnetronski celici

Figure 1: Pumping mechanism in: a) Penning cell and b) magnetron cell



Slika 3: Razelektritveni tok v preskusni črpalke v odvisnosti od anodne napetosti. Parameter je tlak v mbar.

Figure 3: The discharge current through a pump versus the anode voltage. The parameter is pressure in mbar.



Slika 4: Črpalna hitrost preskusne črpalke v odvisnosti od tlaka
Figure 4: Pumping speed of a new pump versus the pressure

$1 \cdot 10^{-6}$ mbar. Črpalno smo preko visokonapetostne prevodnice priključili na napetost, ki smo jo lahko spreminjali od 1 kV do 7 kV.

Na **sliki 3** je prikazana odvisnost razelektritvenega toka I od anodne napetosti U , izmerjene pri petih različnih tlakih v območju med $1 \cdot 10^{-8}$ mbar in $6 \cdot 10^{-7}$ mbar. S slike je razvidno, da tok z napetostjo narašča. Pri napetostih, nižjih od 5 kV, je tok šibek, nato pa strmo naraste. Zato mora biti delovna napetost črpalke najmanj 5 kV, saj večji razelektritveni tok pomeni močnejše razprševanje in s tem tudi večjo črpalno hitrost. S **slike 3** je razvidno, da pri višjih tlakih tečejo večji tokovi.

4 MERITVE ČRPALNE HITROSTI

Črpalno hitrost (S) smo merili pri napetosti 6 kV. Določili smo jo z merjenjem končnega tlaka (p), ki ga je pri danem vpuščanju plina dušika (Q) lahko vzdrževala preskusna črpalna, pri čemer je bila Varianova ionska črpalna izklopljena. Črpalno hitrost (S) smo nato izračunali po enačbi (1):²

$$S = \frac{Q}{p} \quad (1)$$

Črpalna hitrost nove kombinirane črpalke v odvisnosti od tlaka je prikazana na **sliki 4**. S slike je razvidno, da črpalna hitrost narašča s tlakom, doseže maksimum pri tlaku okoli $5 \cdot 10^{-7}$ mbar, nato pa se zmanjša. To je posledica dejstva, da z naraščajočim tlakom narašča tudi razelektritveni tok, pri višjih tlakih pa začne črpalna hitrost padati, ker pride do spremembe porazdelitve potenciala zaradi prostorskega naboja. Nastali ioni nimajo več zadosti energije, zato se razprševanje

zmanjša.^{12,13} Maksimalna črpalna hitrost je bila okoli 25 l/s, pri nižjih tlakih pa okoli 15 l/s. Navadne Penningove črpalke ponavadi dosežajo maksimum črpalne hitrosti v območju 10^{-6} mbar, torej pri precej višjih tlakih kot kombinirana črpalna. To napeljuje na misel, da bi lahko črpalke sestavljene iz samih magnetronskih celic, imele maksimum pri še nižjem tlaku, torej v UVV območju, kar bi ugodno vplivalo na doseganje nizkih končnih tlakov.

5 SKLEPI

V prispevku prikazujemo novo ionsko razprševalno črpalno, sestavljeno iz kombinacije Penningovih in magnetronskih celic, ki je namenjena za črpanje UVV-sistemov. Meritve toka v odvisnosti od anodne napetosti so pokazale, da mora biti minimalna delovna napetost najmanj 5 kV, saj je tok pri nižjih napetostih prešibek. Pri napetostih, višjih od 5 kV, pa strmo naraste. Črpalna doseže maksimalno črpalno hitrost pri tlaku $5 \cdot 10^{-7}$ mbar, torej nižje od navadnih Penningovih črpal, ki dosežejo maksimum v območju 10^{-6} mbar. Črpalna, sestavljena iz samih magnetronskih celic, bi po vsej verjetnosti imela maksimum pri še nižjem tlaku. Maksimalna črpalna hitrost preskusne črpalke je bila 25 l/s.

ZAHVALA

Raziskave je financiralo ministrstvo za znanost, šolstvo in šport v okviru projekta št. L2-4484. Zahvaljujemo se tudi podjetju Vacutech, d. o. o., za izdelavo preskusne črpalke.

6 LITERATURA

- ¹ VARIAN, *Varian Vacuum Products, The Complete Solution To All Ion Pumping Needs*, Varian SpA, Torino, 1993
- ² Lafferty J. M., *Foundations of Vacuum Science and Technology*, Wiley, New York, 1998
- ³ Jepsen R. L., *Appl. Phys.*, 32 (1961), 2619-2626
- ⁴ Knauer W., Lutz M. A., *Appl. Phys. Lett.*, 2 (1963), 109-111
- ⁵ Mozetič M., Praček B., Pregelj A., Zorko B., *Kovine, zlitine, tehnologije*, 33 (1999) 1-2, 161-163
- ⁶ Singleton J. H., *J. Vac. Sci. Technol.*, 6 (1969) 2, 316-321
- ⁷ Singleton J. H., *J. Vac. Sci. Technol.*, 8 (1971) 1, 275-282
- ⁸ Redhead P. A., *Can. J. Phys.*, 36 (1958), 255-270
- ⁹ Asamaki T., *US patent*, 3.141.605, 1964
- ¹⁰ Klopfer A. M., Flunkert H., *US patent*, 3.546.510, (1970)
- ¹¹ Vesel A., Mozetič M., *SI patent*, No. 20840 A2, 2002
- ¹² Audi M., *Vacuum*, 38 (1988) 8-10, 669-671
- ¹³ Pierini M., *J. Vac. Sci. Technol.*, A2(2) (1984), 195-197