

## ULTRAVISOKOVAKUUMSKA ČRPALKA Z MAGNETRONSKIMI CELICAMI

### AN ULTRA-HIGH-VACUUM PUMP WITH MAGNETRON CELLS

**Alenka Vesel, Miran Mozetič**

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

*Prejem rokopisa – received: 2003-10-06; sprejem za objavo – accepted for publication: 2003-08-20*

V prispevku prikazujemo novo ultravisokovakuumsko črpalko, sestavljeno iz magnetronskih celic. Magnetronske celice so narejene iz anodnega valja, ki ga na obeh koncih omejujeta katodni plošči, le-ti pa sta na sredini povezani še s katodno palico. Po priključitvi anodne napetosti pride v celici do nastanka razelektritve. Ioni, ki pri tem nastajajo, trkajo v katodo iz getskega materiala in jo razpršujejo. Razpršeni material se odlaga na notranje površine anode, kjer pride do reakcije razpršenega getra z molekulami plinov. Tako dosežemo črpalni učinek. Za črpanje je pomemben velik ionski tok, ta pa je odvisen od napetosti, magnetnega polja in tlaka v celici.

V novi črpalci smo raziskovali odvisnost razelektritvenega toka od delovne napetosti in tlaka. Jakost magnetnega polja je bila konstantna 0,15 T. Rezultati so pokazali, da dobimo stabilno razelektritev v tlačnem območju med  $1 \cdot 10^{-8}$  mbar in  $1 \cdot 10^{-6}$  mbar. Tok je najprej z napetostjo naraščal, nato pa je pri neki napetosti dosegel maksimum. Z nadaljnjim večanjem napetosti je tok padel. Maksimalni tok je linearno naraščal s tlakom. Napetost, pri kateri je tok dosegel maksimum, pa je bila le znatno odvisna od tlaka.

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

In this contribution we describe a new, ultra-high-vacuum pump that consists of magnetron cells. Each magnetron cell was made of an anode cylinder positioned between two cathode plates, which were connected with a cathode rod. After the high voltage was turned on, the discharge struck out. The ions that were created in the discharge, bombarded the cathode and sputtered the cathode material. The freshly sputtered atoms were deposited on the inner anode walls and reacted with the gas molecules. In this way the pumping mechanism was achieved. The ion current depended on the anode voltage, the magnetic field and the pressure.

The dependence of discharge current versus anode voltage and pressure was investigated. The results showed that a stable discharge was established in the pressure range between  $1 \cdot 10^{-8}$  mbar and  $1 \cdot 10^{-6}$  mbar. The discharge current first increased with increasing voltage and then reached a maximum value. With a further increase in the anode voltage the current dropped. The maximum discharge current linearly increased with the pressure. The voltage at which the current reached a maximum was slightly dependent on the pressure.

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

## 1 UVOD

Za doseganje in vzdrževanje ultravisokega vakuumu se največ uporabljajo ionsko-razprševalne črpalke, ki so navadno sestavljene iz Penningovih celic.<sup>1,2</sup> Le-te so sestavljene iz votlega anodnega valja, katerega na obeh koncih omejujeta katodni plošči. Med obema elektrodama je velika potencialna razlika (nekaj kilovoltov). 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. Tako dosežemo črpalni učinek.<sup>1,2</sup> 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, ki ima določene prednosti pred Penningovo, o čemer smo že pisali.<sup>9</sup> Magnetronska celica se v glavnem uporablja le kot merilnik tlaka,<sup>8</sup> medtem ko se Penningove uporabljajo tudi kot sestavni deli ionsko-razprševalnih črpalok. Zato smo se odločili za konstrukcijo in preskus nove črpalke, ki je bila sestavljena iz samih magnetronskih celic, namesto iz Penningovih.

## 2 KONSTRUKCIJA NOVE ČRPALKE

Nova magnetronska ionsko-razprševalna črpalka je bila narejena iz 19 magnetronskih celic (slika 1). Te so bile sestavljene iz anodnih valjev, izdelanih iz 0,5 mm debele folije nerjavnega jekla AISI 314L, v njih pa so se nahajale okrogle titanove katodne palice debeline 3 mm. Premer anodnih valjev je bil 27 mm, dolžina pa 66 mm.

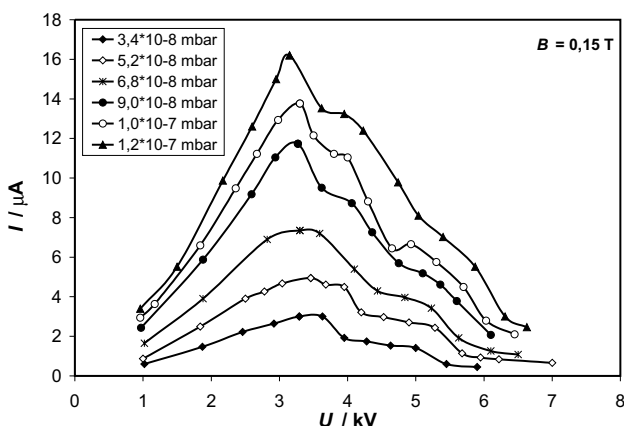


**Slika 1:** Fotografija nove magnetronske ionske črpalke  
**Figure 1:** Photograph of a new magnetron ion pump

Celice so bile zaprte v ohišje črpalke, ki je bilo narejeno iz nerjavnega jekla debeline 1 mm. Z uporabo tankostenskih materialov smo pridobili pri manjši masi črpalke. Masa črpalke, katere premer je bil 158 mm, je bila 1 kg. Na ohišju črpalke so bili Arnoldovi feritni magneti, ki jih je obdajal železni jarem, tako da smo v črpalki dosegli jakost magnetnega polja okoli 0,15 T.

### 3 EKSPERIMENT

Ena izmed pomembnih lastnosti črpalke je razelektritveni tok, saj je od njega odvisno, kakšna bo črpalna hitrost črpalke. Večji tok ionov na katodo pomeni močnejše razprševanje katodnega materiala, kar zagotavlja vedno svežo plast getra, ki potem veže nase molekule plina. Raziskovali smo odvisnost razelek-



**Slika 2:** Razelektritveni tok v magnetronske črpalke v odvisnosti od anodne napetosti. Parameter je tlak v mbar v območju od  $3 \cdot 10^{-8}$  mbar do  $1 \cdot 10^{-7}$  mbar. Jakost magnetnega polja je bila 0,15 T.

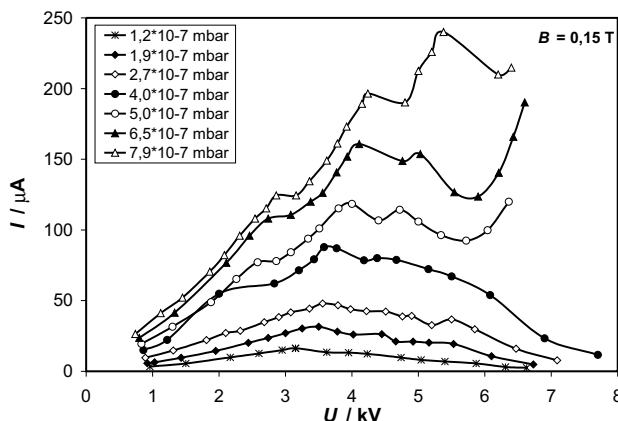
**Figure 2:** The discharge current through a magnetron pump versus the anode voltage, measured in the pressure range between  $3 \cdot 10^{-8}$  mbar and  $1 \cdot 10^{-7}$  mbar. The magnetic field was 0.15 T.

tritvenega toka v novi magnetronske črpalke od napetosti in tlaka. Črpalke smo s pribornico CF40 spojili z vakuumskim sistemom, ki je bil črpan z ionsko črpalke Varian Starcell z nazivno črpalno hitrostjo 120 L/s. Za predčrpanje smo uporabili turbomolekularno in rotacijsko črpalke. Tlak v sistemu smo merili z Bayard-Alpertovim merilnikom tlaka, sestavo atmosfere pa z masnim spektrometrom. Z njim smo izvajali tudi kontrolo tesnosti. Da bi zmanjšali razplinjevanje sten in dosegli boljši vakuum, smo sistem predhodno pregrevali na  $150 \text{ }^\circ\text{C}$ . Po pregrevanju sistema, ki je potekalo 30 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  $1 \cdot 10^{-6}$  mbar. Črpalke smo preko visokonapetostne prevodnice priključili na napetost, ki smo jo lahko spreminjali od 1 kV do 7 kV.

### 4 REZULTATI

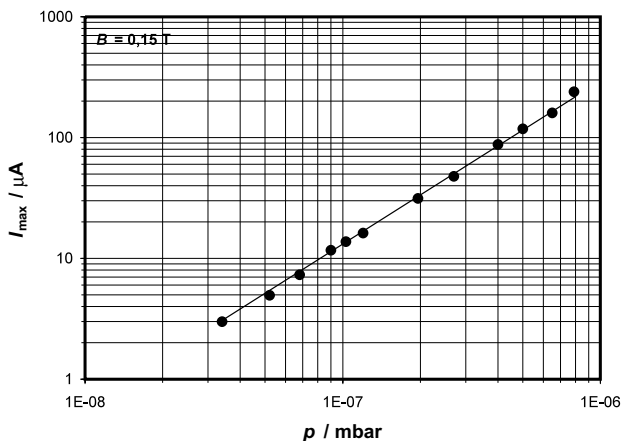
Na **sliki 2** in **3** prikazujemo odvisnost razelektritvenega toka  $I$  od anodne napetosti  $U$ . Prikazane karakteristike  $I(U)$  so bile izmerjene pri različnih tlakih v območju med  $3 \cdot 10^{-8}$  mbar in  $8 \cdot 10^{-7}$  mbar. S slike je razvidno, da tok z napetostjo narašča, doseže pri neki napetosti maksimum, nato pa z nadaljnjim večanjem napetosti pade. Odvisnost toka od napetosti v magnetronske črpalke je tako podobna kot je v posameznih magnetronskih celicah.<sup>10</sup>

Na **sliki 4** prikazujemo maksimalni ionski tok  $I_{\text{max}}$  v odvisnosti od tlaka  $p$ . Ugotavljamo, da je ta s tlakom naraščal linearno. Napetost, pri kateri je tok dosegel maksimum ( $U_{\text{max}}$ ), pa je bila le znatno odvisna od tlaka (**slika 5**).



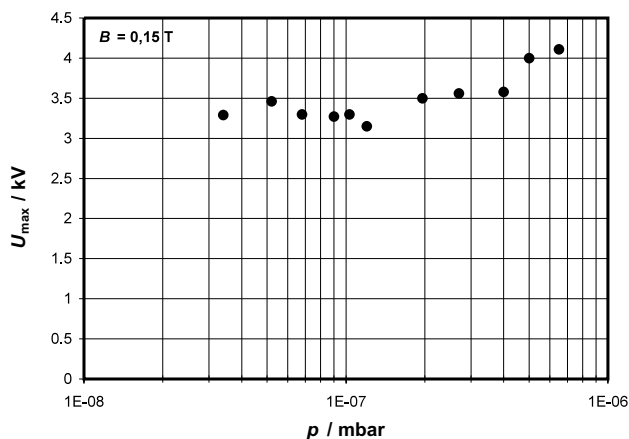
**Slika 3:** Razelektritveni tok v magnetronske črpalke v odvisnosti od anodne napetosti. Parameter je tlak v mbar v območju od  $1 \cdot 10^{-7}$  mbar do  $8 \cdot 10^{-7}$  mbar. Jakost magnetnega polja je bila 0,15 T.

**Figure 3:** The discharge current through a magnetron pump versus the anode voltage, measured in the pressure range between  $1 \cdot 10^{-7}$  mbar and  $8 \cdot 10^{-7}$  mbar. The magnetic field was 0.15 T.



**Slika 4:** Maksimalni ionski tok v odvisnosti od tlaka. Jakost magnetnega polja je bila 0,15 T.

**Figure 4:** Maximum ion current versus pressure. The magnetic field was 0.15 T.



**Slika 5:** Napetost, pri kateri je tok dosegel maksimum, v odvisnosti od tlaka. Jakost magnetnega polja je bila 0,15 T.

**Figure 5:** Voltage at which the maximum ion current was reached versus the pressure. The magnetic field was 0.15 T.

## 5 DISKUSIJA IN SKLEPI

V prispevku prikazujemo novo ionsko-razprševalno črpalko, ki je namenjena za črpanje ultravisokovakuumskih sistemov. Črpalka je bila sestavljena iz magnetronskih celic, namesto iz navadnih Penningovih. Raziskovali smo odvisnost razelektritvenega toka črpalke od napajalne napetosti. Meritve toka so bile ponovljene pri različnih tlakih. Rezultati so pokazali, da je v črpalki odvisnost toka od napetosti podobna kot v posameznih magnetronskih celicah – tj. na krivulji  $I = I(U)$  obstaja izrazit maksimum. Ker večji ionski tok pomeni močnejše razprševanje katode in s tem večjo črpalno hitrost, mora biti napajalna napetost izbrana tako, da črpalka ves čas deluje v maksimumu. Maksimalni ionski tok je bil linearno odvisen od tlaka, kar daje misliti, da lahko črpalko hkrati uporabimo tudi kot merilnik tlaka.

## 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 ter podjetju Akrapovič – Exhaust system technology za vzorce titana.

## 6 LITERATURA

- <sup>1</sup> VARIAN, *Varian Vacuum Products*, The complete solution to all ion pumping needs, Varian SpA, Torino, 1993
- <sup>2</sup> Lafferty J. M., *Foundations of vacuum science and technology*, Wiley, New York, 1998
- <sup>3</sup> Jepsen R. L., *Appl. Phys.*, 32 (1961), 2619–2626
- <sup>4</sup> Knauer W., Lutz M. A., *Appl. Phys. Lett.*, 2 (1963), 109–111
- <sup>5</sup> Mozetič M., Praček B., Pregelj A., Zorko B., *Kovine, zlitine, tehnologije*, 33 (1999) 1–2, 161–163
- <sup>6</sup> Singleton J. H., *J. Vac. Sci. Technol.*, 6 (1969) 2, 316–321
- <sup>7</sup> Singleton J. H., *J. Vac. Sci. Technol.*, 8 (1971) 1, 275–282
- <sup>8</sup> Redhead P. A., *Can. J. Phys.*, 36 (1958), 255–270
- <sup>9</sup> Vesel A., Mozetič M., *Vakuumist*, 23 (2003) 1, 10–12
- <sup>10</sup> Vesel A., Mozetič M., *Vacuum*, 67 (2002), 629–633