

## KARAKTERISTIKE MAGNETRONSKE CELICE V PODROČJU UVV

### CHARACTERISTICS OF A MAGNETRON CELL IN THE ULTRA-HIGH VACUUM REGION

Alenka Vesel, Miran Mozetič

Inštitut za tehnologijo površin in optoelektroniko, Teslova 30, 1000 Ljubljana, Slovenija  
alenka.vesel@guest.arnes.si

Prejem rokopisa - received: 2001-12-28; sprejem za objavo - accepted for publication: 2001-10-03

Merili smo karakteristike magnetronske celice v tlačnem območju med  $5 \cdot 10^{-9}$  in  $1 \cdot 10^{-6}$  mbar. Celica je bila narejena iz ohišja iz nerjavnega jekla, v katerem je bila vgrajena titanova katodna palica debeline 6 mm. Dolžina celice je bila 35 mm, premer pa 25 mm. Ionski tok v celici smo merili sistematično pri različnih napetostih in jakostih magnetnega polja. Ugotovili smo, da tok v celici v splošnem narašča z naraščajočo napetostjo, doseže maksimum, nato pa pade z nadaljnjim naraščanjem napetosti. Pri tlaku  $1 \cdot 10^{-8}$  mbar smo dosegli maksimalni tok okoli  $0,05 \mu\text{A}$  pri napetosti 4,7 kV in magnetnem polju 0,13 T. Napetost, pri kateri tok doseže maksimum, je odvisna od jakosti magnetnega polja in tlaka. Pri majhnih magnetnih poljih doseže tok maksimum pri razmeroma nizki napetosti. Podobno velja tudi za tlak. Vsekakor je bila razelektritev stabilna v širokem območju tlakov med  $5 \cdot 10^{-9}$  in  $1 \cdot 10^{-6}$  mbar, napetosti med 1 in 8 kV in jakosti magnetnega polja med 0,1 in 0,2 T.

Ključne besede: UVV, magnetronska celica, razelektritev, merilnik, ionska črpalka

The characteristics of a magnetron cell in the pressure range between  $5 \cdot 10^{-9}$  and  $1 \cdot 10^{-6}$  mbar were measured. The magnetron cell was made of a stainless-steel housing and a titanium cathode. The length of the cell was 35 mm and the diameter was 25 mm. A bridge electrode with a diameter of 6 mm was placed between the cathode plates. The discharge current was measured systematically at different voltages and magnetic fields. It was found that in general the current at first slowly increased with increasing voltage, reached a maximum at a certain voltage and then decreased rapidly with a further increase of voltage. At a pressure of  $1 \cdot 10^{-8}$  mbar, the maximum current of  $0.12 \mu\text{A}$  was reached at a voltage of 6 kV and a magnetic field of 0.13 T. The voltage at which the ion current reached the maximum depended on the magnetic field density and the pressure. At low magnetic field the peak current was obtained at a relatively low voltage. The same applied for the pressure. In any case the discharge expressed good stability in a wide range of pressure between  $5 \cdot 10^{-9}$  and  $1 \cdot 10^{-6}$  mbar, voltage between 1 and 8 kV and magnetic field density between 0.1 and 0.2 T.

Key words: UHV, magnetron gauge, discharge, gauge, ion pump

## 1 UVOD

Razelektritve v električnih in magnetnih poljih so bile v prejšnjih desetletjih predmet velikega zanimanja zaradi možnosti njenega vzdrževanja v ultravisokem vakuumu (UVV).<sup>1-6</sup> Glavno področje uporabe tovrstne razelektritve je pri merilnikih tlaka na hladno katodo<sup>7-11</sup> in pri ionsko naprševalnih črpalkah.<sup>12-19</sup> V osnovi so možne tri različne konfiguracije elektrod, s katerimi lahko dosežemo stabilno razelektritev v UVV: Penningova celica, magnetronska in invertna magnetronska celica. Večina ionskih črpalk je sestavljena iz Penningovih celic, medtem ko je večina sodobnih merilnikov tlaka na hladno katodo zasnovanih na osnovi invertnega magnetrona. Razelektritveni tok se v posameznih celicah razlikuje, saj je odvisen od konfiguracije elektrod in njihovih dimenzij ter od napajalne napetosti in magnetnega polja. V obeh primerih uporabe celic je želeno, da je tok čim večji. V primeru merilnikov na hladno katodo pomeni večji tok večjo občutljivost merilnika, medtem ko pri ionskih črpalkah pomeni večji tok močnejše odprševanje in s tem tudi večjo črpalno hitrost.<sup>20, 21</sup>

Najbolj znane so Penningove celice, ki so se najprej začele uporabljati, zato lahko najdemo v literaturi veliko

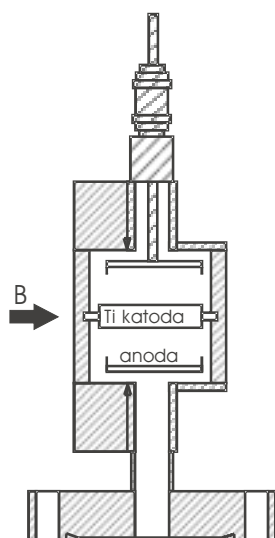
prispevkov na to temo.<sup>1-3,6-7</sup> Tistih, ki obravnavajo značilnosti magnetronske razelektritve v UVV pa je bolj malo.<sup>11,22,23,27</sup> Še največ se je z njimi ukvarjal Redhead.<sup>11,26</sup>

V članku opisujemo rezultate meritev električnih karakteristik magnetronske celice. Pri tem smo spreminjali napetost, magnetno polje in tlak, da bi dobili bolj podroben vpogled v značilnosti magnetronske razelektritve.

## 2 EKSPERIMENT

Z namenom, da bi preučevali električne karakteristike magnetronske celice, smo konstruirali magnetronsko celico prikazano na **sliki 1**. Bila je narejena iz ohišja iz nerjavnega jekla, v katerem sta bila anodni valj in katodna palica. Anodni valj je bil narejen iz 0,5 mm debele folije nerjavnega jekla AISI 314L. Dolžina anode je bila 35 mm, premer pa 25 mm. V anodni valj smo vstavili katodno palico, ki je bila narejena iz čistega titana. Bila je valjaste oblike debeline 6 mm.

Celico smo pričvrstili na vakuumski sistem, ki je bil črpan z ionsko črpalko z nazivno črpalno hitrostjo 120 l/s. Za predčrpanje smo uporabili turbomolekularno in rotacijsko črpalko. Tlak v sistemu smo merili z

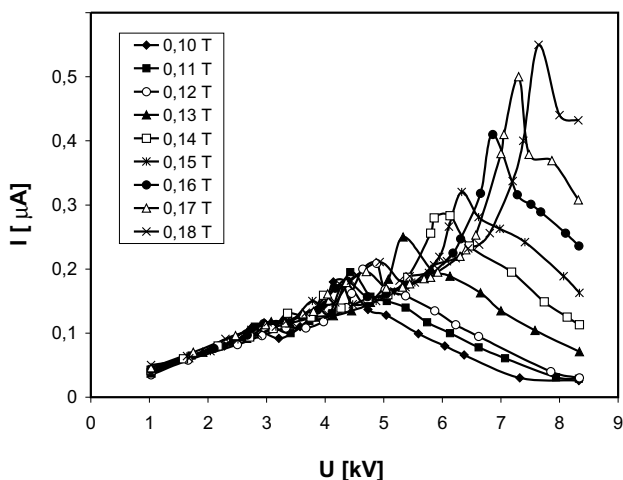


**Slika 1:** Shema eksperimentalne magnetronske celice  
**Figure 1:** Schematic of the experimental magnetron cell

Bayard-Alpertovim merilnikom. Po pregrevanju sistema, ki je potekalo 40 h pri 150 °C, smo dosegli končni tlak  $4 \cdot 10^{-9}$  mbar. V residualni atmosferi je bil večinoma le vodik, kar je pokazal masni spektrometer. Tlak v sistemu smo spreminjali z dovajanjem dušika skozi precizni dozirni ventil.

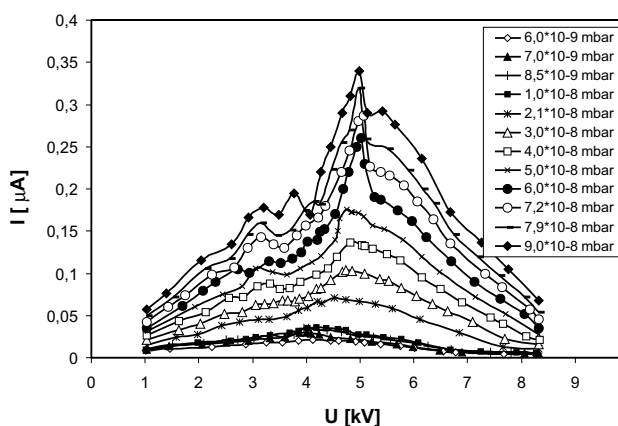
Magnetronska celica je bila v sredini elektromagneta, katerega pola sta bila veliko večja od celice, tako da je bilo magnetno polje v celici homogeno. Spreminjali smo ga s tokom skozi elektromagnet. Gostoto magnetnega polja smo merili s Hallovo sondo.

Razelektritveni tok v magnetronski celici smo merili sistematično pri različnih napetostih, gostotah magnetnega polja in različnih tlakih. Kot primer prikazujemo na **sliki 2** tok kot funkcijo napetosti pri tlaku  $5 \cdot 10^{-8}$  mbar in pri različnih magnetnih poljih. Podobne karakteristike smo izmerili tudi pri drugih tlakih v območju med  $5 \cdot 10^{-9}$



**Slika 2:** Električne karakteristike celice pri tlaku  $6 \cdot 10^{-8}$  mbar. Parameter je gostota magnetnega polja.

**Figure 2:** Discharge characteristics at a pressure of  $6 \cdot 10^{-8}$  mbar. The parameter is the density of the magnetic field.



**Slika 3:** Električne karakteristike celice pri magnetnem polju 0,13 T. Parameter je tlak (dušika).

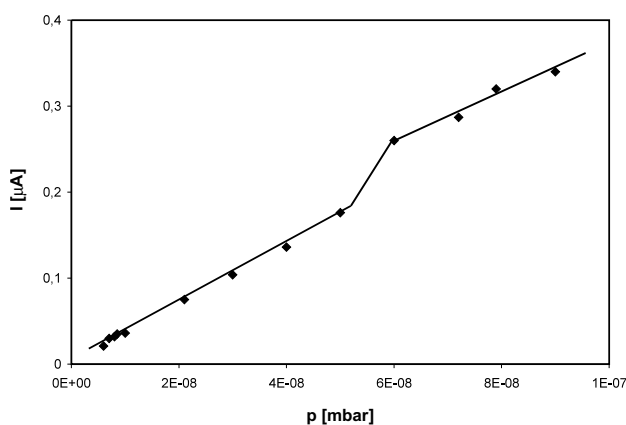
**Figure 3:** Discharge characteristics at a magnetic field density of 0,13 T. The parameter is the pressure (nitrogen).

in  $1 \cdot 10^{-6}$  mbar. Razelektritev je bila stabilna v širokem območju napetosti med 1 in 8 kV. Pri nizkih napetostih je tok linearno naraščal z naraščajočo napetostjo (**slika 2**). Pri neki napetosti je tok dosegel maksimum, z nadaljnjim večanjem pa je zopet padel.

Na **sliki 3** prikazujemo karakteristike celice pri fiksnem magnetnem polju 0,13 T in različnih tlakih. Ne glede na napetost tok narašča z naraščajočim tlakom. Na **sliki 4** prikazujemo maksimalni tok kot funkcijo tlaka pri magnetnem polju 0,13 T. Tudi pri drugih magnetnih poljih smo dobili podobne rezultate. Odvisnost je odseka linearna z naklonom 4 A/mbar. Občutljivost naše celice je torej podobna komercialnim celicam na hladno katodo.

### 3 REZULTATI IN DISKUSIJA

Pojav maksimuma na krivulji  $I = I(U)$  lahko razložimo na naslednji način. Elektroni se gibljejo v prečnem električnem in magnetnem polju po cikloidnih poteh, ki



**Slika 4:** Maksimalni tok razelektritve kot funkcija tlaka (dušika) pri magnetnem polju 0,13 T

**Figure 4:** Maximum discharge current as a function of pressure (nitrogen) at a magnetic field of 0,13 T

so reda velikosti nekaj desetink milimetra. Kinetična energija elektronov narašča z naraščajočo anodno napetostjo. V prvem približku narašča približno s kvadratom napetosti.<sup>5,6,24</sup> Višja kinetična energija pomeni večji sipalni presek za ionizacijo.<sup>7</sup> Zato tok pri nižji napetosti narašča z naraščajočo napetostjo.

Višina cikloide je odvisna od magnetnega polja in napetosti ter narašča z naraščajočo napetostjo in pada z naraščajočim magnetnim poljem.<sup>5,6,24</sup> Dokler je višina cikloide majhna v primerjavi z razdaljo med osrednjo katodo in anodnim valjem (majhna napetost in veliko magnetno polje), lahko elektroni doživijo veliko neelastičnih trkov, preden dosežejo anodo. Pri velikih napetostih in (ali) majhnih magnetnih poljih pa višina cikloide postane primerljiva z razdaljo med katodo in anodo, zato se ionizacija zmanjša.

Oba omenjena procesa vplivata na razvoj razelektivitve v celici. Na eni strani število ionizacijskih trkov narašča z naraščajočo napetostjo (zaradi večje kinetične energije elektronov) in zato narašča tudi tok. Na drugi strani pa število ionizacijskih trkov pada z naraščajočo napetostjo, ker višina cikloide postane primerljiva z razdaljo med elektrodama. Pri majhnih napetostih prvi pojav prevladuje, zato tok narašča z naraščajočo napetostjo. Pri visokih napetostih pa postane drugi pojav pomembnejši in tok začne padati z naraščajočo napetostjo. Maksimum, ki ga opazimo na krivulji (slika 2), je tako posledica vsote obeh učinkov.

Glede na zgornjo diskusijo, bi morala napetost, pri kateri opazimo maksimum toka, naraščati z magnetnim poljem. To je v skladu z našimi rezultati (slika 2).

V preiskovanem tlačnem območju napetost, pri kateri tok doseže maksimum, ni bila opazno odvisna od tlaka (slika 3). Zato tlak ni bistveno vplival niti na kinetično energijo elektronov niti na višino cikloide.

#### 4 SKLEP

Merili smo električne karakteristike magnetronske celice pri različnih anodnih napetosti, jakostih magnetnega polja in različnih tlakih. Ugotovili smo, da tok sprva narašča z naraščajočo napetostjo, doseže maksimum, nato pa začne z nadaljnjim naraščanjem napetosti padati. Pojav smo kvalitativno razložili z upoštevanjem dveh konkurenčnih procesov pri razelektivitvi. Ugotovili smo, da maksimalni tok narašča odsekoma linearno z

naraščajočim tlakom v tlačnem območju med  $5 \cdot 10^{-9}$  in  $1 \cdot 10^{-6}$  mbar.

#### ZAHVALA

Preskusne količine titana visoke čistoče nam je podarilo podjetje Akrapovič - Exhaust system technology. Direktorju podjetja, g. Igorju Akrapoviču, se zahvaljujemo tudi za dragocene nasvete glede obdelave titana.

#### 5 LITERATURA

- <sup>1</sup> Jepsen R. L., *Appl. Phys.*, 32 (1961) 2619-2626
- <sup>2</sup> Knauer W., Lutz M. A., *Appl. Phys. Lett.*, 2 (1963) 109-111
- <sup>3</sup> Lange W. J., *J. Vac. Sci. Technol.*, 7 (1970) 228-232
- <sup>4</sup> Peacock R. N., Peacock N.T., Hauschulz D.S., *J. Vac. Sci. Technol.*, A9 (1991) 1978-1985
- <sup>5</sup> Redhead P. A., *Vacuum*, 38 (1988) 901-906
- <sup>6</sup> Schuurman W., *Physica*, 36 (1967) 136-160
- <sup>7</sup> Conn G. K. T., Daglish H. N., *Vacuum*, 3 (1953) 24-34
- <sup>8</sup> Beck A. H., Brisbane A. D., *Vacuum*, 2 (1952) 137-146
- <sup>9</sup> Peacock R. N., Peacock N. T., *J. Vac. Sci. Technol.*, A6 (1988) 1141-1144
- <sup>10</sup> Redhead P. A., Hobson J. P., *Can. J. Phys.*, 36 (1958) 271-288
- <sup>11</sup> Redhead P. A., *Can. J. Phys.*, 37 (1959) 1260-1271
- <sup>12</sup> Guo Hua S., Nozomu T., Toshihiro T., Tsuyoshi K., Katsuji N., Hiroyuki M., *US Patent*, No. 5.980.212, 1999
- <sup>13</sup> Hall L. D., *Rev. Sci. Instrum.*, 29 (1958) 367-370
- <sup>14</sup> Okano T., Ohsaki A., Tuzi Y., *J. Vac. Sci. Technol.*, A2 (1984) 191-194
- <sup>15</sup> Pierini M., Dolcino L., *J. Vac. Sci. Technol.*, A1 (1983) 140-142
- <sup>16</sup> Rutherford S., *US patent*, No. 6.004.104, 1999
- <sup>17</sup> Suetsugu Y., *J. Vac. Sci. Technol.*, A12 (1994) 248-250
- <sup>18</sup> Tom T., James B. D., *J. Vac. Sci. Technol.*, 6 (1969) 304-307
- <sup>19</sup> Welch K. M., *J. Vac. Sci. Technol.*, 13 (1976) 498-502
- <sup>20</sup> Hartwig H., Kouptsidis J. S., *J. Vac. Sci. Technol.*, 11 (1974) 1154-1159
- <sup>21</sup> Pierini M., *J. Vac. Sci. Technol.*, A2 (1984) 195-197
- <sup>22</sup> Hseuh H. C., Jiang W. S., Mapes M., *J. Vac. Sci. Technol.*, A12 (1994) 1722-1726
- <sup>23</sup> Thomas S.R., Goerz D.A., Pickels W.L., *J. Vac. Sci. Technol.*, A4 (1986) 1736-1739
- <sup>24</sup> Redhead P.A., *Can. J. Phys.*, 36 (1958) 255-270
- <sup>25</sup> Vesel A., Mozetič M., Nemanič V., *Kovine zlitine tehnologije*, 34 (2000)1-2, 77-80
- <sup>26</sup> Redhead P. A., *Can. J. Phys.*, 43 (1965) 1001-1014
- <sup>27</sup> Erjavec B., Šetina J., Irmančnik Belič L., *Kovine zlitine tehnologije*, 35 (2001) 3-4, 143-150