

## PLAZMA DEPOZICIJA TIN PRIMENOM NERAVNOTEŽNOG MAGNETRONA SA OTVORENIM MAGNETSKIM POLJEM

Miodrag Zlatanović, Radomir Beloševac, Amir Kunosić, *Elektrotehnički fakultet u Beogradu*  
Nada Popović, Žarko Bogdanov, *INN Vinča, Beograd*

**Sadržaj** - U radu su prikazani rezultati izučavanja depozicije TiN u jednosmernom tinjavom pražnjenju primenom neravnotežnog magnetrona. Sistem se sastoji od magnetronske katode sa magnetskim kalemom namotanim oko nje, anode paralelne površini mete i dva kaveza sa stalnim magnetima, koji čine otvoreno magnetsko polje u vakuum komori. Plazma depozicija je vršena na uzorcima od brzoreznog čelika (C.7680) na četiri različita rastojanja od mete, sa neravnotežnim i ravnotežnim magnetronom.

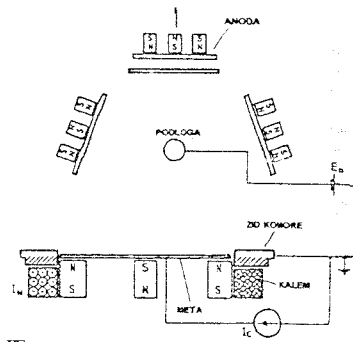
### 1. UVOD

Primena ravnotežnog magnetrona za depoziciju tvrdih prevlaka je ograničena niskim stepenom jonizacije i visokom nehomogenošću magnetronske plazme. Ovakav magnetron nije pogodan za depoziciju tvrdih prevlaka na velikim podlogama složene prostorne geometrije. Poslednjih godina su se pojavili radovi Window-a [1,2], Kadlec-a i Musil-a [3], Spencer-a [4] i drugih autora, u kojima je pokazano da se navedeni nedostaci mogu otkloniti upotrebom tzv. neravnotežnog magnetrona. Magnetron se smatra ravnotežnim ako su intenziteti magnetskih flukseva kroz spoljašnje i unutrašnje polove jednaki, dok pojačavanje jednog od polova, najčešće spoljašnjeg, vodi neravnoteži.

### 2. APARATURA

Sistem korišćen u eksperimentu sastoji se od jednog magnetrona sa stalnim magnetima, dodatne anode postavljene iza uzoraka u ravni paralelnoj meti i držača uzoraka koji se može dovesti na negativan napon (bias) [5,6]. Stepem neravnotežnosti magnetrona može se kontrolisati menjanjem jednosmerne struje kroz magnetni kalem, sa 400A-navojaka, postavljen oko magnetrona. Sistem za depoziciju, prikazan na

Sl.1., montiran je na vakuumsku komoru prečnika 700mm, koja se evakuše do pritiska od  $2 \times 10^{-6}$  mbar pomoću dve turbomolekularne pumpe. Rastojanje između katode i anode je 25cm. Sa Sl.1. vidi se da je u ovom eksperimentu korišćeno otvoreno magnetsko polje. Za kontrolu parametara procesa koriste se četiri nezavisna izvora napajanja: izvor magnetnorskog pražnjenja, izvor za negativnu polarizaciju uzoraka, izvor anodnog potencijala i izvor napajanja dodatnog magnetskog kalema.



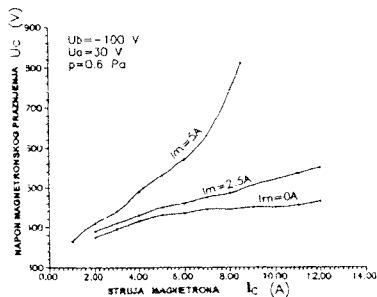
Sl.1. Sistem za depoziciju

### 3. KARAKTERISTIKE PRAŽNJENJA

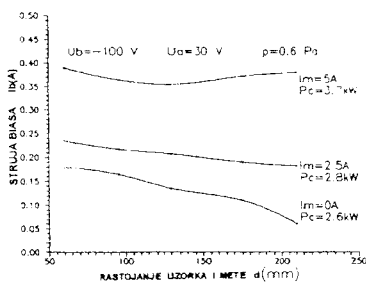
Glavno gasno pražnjenje je ravnotežno pražnjenje između zidova komore koji su na potencijalu zemlje i magnetronske katode. Struja, napon i snaga pražnjenja su obeleženi sa  $I_c$ ,  $U_c$  i  $P_c$ , respektivno. Na Sl.2. je dat uticaj neravnotežnosti magnetrona na U-I karakteristiku pražnjenja, pri potencijalu bias-a od -100V, anodnom potencijalu od 30V i ukupnom pritisku 0,6 Pa.

Sa porastom struje magneta ( $I_M$ ) smanjuje se napon paljenja plazme, ali naponsko

ograničenje snage magnetronskog napajanja dostiže se za relativno niske struje magnetrona.



Sl.2. U-I karakteristika magnetronskog praznjenja



Sl.3. Struja bias-a u funkciji rastojanja podloge od mete

Da bi bila moguća depozicija tvrdih prevlaka [7] na velikim radnim komadima složene prostorne geometrije potrebno je da gustina struje bias-a bude približno konstantna na različitim rastojanjima podloge od mete. Na Sl.3. je prikazana struja bias-a kao funkcija rastojanja podloge od mete  $d_{S-T}$  za različite stepene neravnoteže magnetrona.

Sa slike se vidi da, sa povećanjem stepena neravnoteže magnetrona, rastojanje sve manje utiče na struju bias-a.

#### 4. OSOBINE DOBIJENIH TIN PREVLAKA

Uzorci su napravljeni od brzoreznog čelika Č.7680, u oblika diska  $\varnothing 27 \times 3$  mm. Posle kaljenja na  $1200^\circ\text{C}$  i otpuštanja na temperaturi od  $530^\circ\text{C}$ , tvrdoća uzoraka iznosila je  $65 \pm 1 \text{ HRc}$ .

Uzorci su pre depozicije brušeni i polirani do hrapavosti  $R_a = 0,2 \mu\text{m}$ , a zatim odmaščivani u pari trihloretilena, čišćeni u ultrazvučnim kadama, ispirani destilovanom vodom i alkoholom i sušeni uz pomoć komprimovanog vazduha.

Uzorci su u komoru postavljeni na četiri različita rastojanja od mete i to tako da se izbegne efekat zasenčenja pri depoziciji. Depozicija TiN je vršena u dva eksperimenta: sa ravnotežnim i neravnotežnim magnetronom. U svakom eksperimentu su istovremeno obradena po četiri uzorka i to pri istim ostalim uslovima:  $U_B = -100 \text{ V}$ ,  $P_C = 5,4 \text{ kW}$ ,  $p = 5 \times 10^{-3} \text{ mbar}$ , vreme depozicije 25 min. Anodni napon je bio 30V i 20V za ravnotežni i neravnotežni magnetron, respektivno.

U Tabeli 1. je data debljina prevlake D, brzina depozicije  $\alpha$ , mikrotvrdoća i kritično opterećenje  $L_c$  u zavisnosti od rastojanja uzorka od mete, u slučaju ravnotežnog (RM) i neravnotežnog (NM) magnetrona.

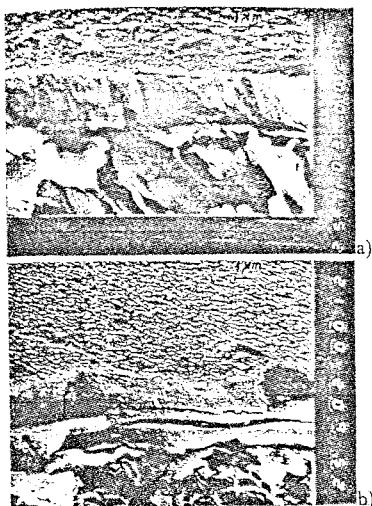
Za ravnotežni magnetron brzina depozicije opada sa porastom rastojanja, a za neravnotežni magnetron je približno konstantna na rastojanjima 115mm i 210mm od mete. Mikrotvrdoća je merena sa opterećenjem od 30g i približno je ista za sve uzorke, osim za uzorke deponovane na rastojanju 210mm. Velika razlika u tvrdoći na ovom rastojanju je delimično uzrokovana malom debljinom prevlake dobijene pri radu sa neravnotežnim magnetronom.

Athezija između prevlake i podloge se karakteriše kritičnim opterećenjem koje se određuje scratch-test metodom. Na rastojanju 55mm od mete kritično opterećenje je oko 40N u oba eksperimenta. U oblasti tragova dijamantske igle uočavaju se kohezioni lomovi u prevlaci. Na rastojanjima 80mm i 115mm od mete kritična opterećenja su oko 40N i 45N u oba eksperimenta. Tek na rastojanju 210mm od mete mogu se zapaziti veće razlike u kritičnom opterećenju. Za ravnotežni magnetron prvo pucanje prevlake se javlja već na 15N, a drugo pucanje je primećeno na 30N. Analiza pokazuje da se veća vrednost može uzeti kao kritično opterećenje. TiN deponovan u sistemu sa neravnotežnim magnetronom ima kritično opterećenje 42N.

SEM analizom je utvrđeno da prevlake u oba sistema, deponovane na rastojanju 55 mm od mete, imaju gusto pakovanu kompaktnu strukturu bez jasno izraženih kolona, naročito u slučaju neravnotežnog magnetrona. Tek na

Tabela 1.

	$d_{c,T}$ [mm]	D[ $\mu$ m]	$\alpha$ [nm/s]	HV <sub>0,05</sub>	L <sub>c</sub> [N]
RM	55	8,3	5,53	3680	39
RM	80	5,1	3,4	3750	43
RM	115	2,0	1,33	3700	38
RM	210	1,3	0,87	2200	30
NM	55	10,0	6,67	3600	40
NM	80	6,2	4,13	3460	45
NM	115	3,4	2,3	3480	40
NM	210	3,8	2,5	3520	42



Sl.4. Izgled preloma TiN filma deponovanog u a) ravnotežnom b) neravnotežnom magnetronu na rastojanju 210mm od mete (SEM)

rastojanju 210 mm od mete zapaža se razlika u strukturi slojeva za ova dva sistema. Kod sistema sa ravnotežnim magnetronom kolumnarna struktura je izražena (Sl.4a), dok za neravnotežni magnetron struktura sloja ostaje gusto pakovana (Sl. 4b).

## 5. ZAKLJUČAK

Nanošenjem TiN prevlaka na uzorke od brzoreznog čelika Č.7680 na različitim rastojanjima od mete, poređene su karakteristike ravnotežnog i neravnotežnog magnetronskog sistema za depoziciju sa otvorenim magnetskim poljem i dodatnom anodom. Utvrđeno je da se pomoću neravnotežnog magnetrona ostvaruju mnogo homogeniji uslovi depozicije, a postiže

se i veća gustina struje bias-a. Zbog toga se u ovom slučaju postižu veće kritično opterećenje, gušće pakovana struktura prevlake i ujednačenija mikrotvrdoća. Iz svega navedenog može se zaključiti da je opisani sistem sa neravnotežnim magnetronom pogodan za depoziciju tvrdih prevlaka na većim radnim komadima složene prostorne geometrije.

## LITERATURA

- [1] B.Window, N.Savvides, *J.Vac.Sci.Technol.*, A4 (1986) 453
- [2] B.Window, N.Savvides, *J.Vac. Sci.Technol.*, A4 (1986) 504
- [3] S.Kadlec, J.Musil, V.Valvoda, W.D.Munz, G.Hakanson, J.-E.Sundgren, *Surf.Coat.Technol.* 39/40 (1989) 487
- [4] A.R.Spencer, K.Oka, R.W.Levin, R.P.Howson, *Vacuum*, 38 (1988) 857
- [5] M.Zlatanović, *Surf.Coat.Technol.* 48 (1991) 19
- [6] M.Zlatanović, D.Kakaš, Lj. Mažibrada, A.Kunosić, W-D.Munz, *Surf.Coat. Technol.*, 64 (1994) 173-181
- [7] M.Milić, N.Popović, Ž.Bogdanov, N.Bibić, T.Nenadović, *Vacuum* 40, 1/2 (1990) 145

**Abstract** - Deposition of TiN in DC glow discharge in unbalanced magnetron system was studied. System allows independent control of the substrate current by using several discharge power supplies. Deposition system performance was tested during reactive deposition of TiN coatings on HSS steel substrates.

## TiN DEPOSITION IN OPEN FIELD UNBALANCED MAGNETRON

Miodrag Zlatanović, Radomir Beloševac, Amir Kunosić, Nada Popović, Žarko Bogdanov