XV. FIATAL MŰSZAKIAK TUDOMÁNYOS ÜLÉSSZAKA

Kolozsvár, 2010. március 25-26.

REAKTÍV PLAZMAPORLASZTÁS OPTIKAI SPEKTRUM INTENZITÁSÁNAK MÉRÉSE

PAPP Sándor, JAKAB-FARKAS László, BIRÓ Dominic

Abstract

Automatic control of reactive sputtering process involves diagnosing electrical discharge plasma state and the definition of control variables. Optical intensity of characteristic radiation emitted by sputtered target atoms (titanium) can be a state dependent variable on sputtering process. In the present study, to obtain effective control of the deposition rate, we studied the plasma optical emission monitor method using optical emission spectroscopy.

At the end of the paper are presented experimental results that justify the functionality of the monitoring system. These results and conclusions will help the study of advanced control algorithm of the magnetron sputtering process to obtain thin layers.

Key words:

reactive sputtering, plasma optical emission, titanium spectral emission intensity

Összefoglalás

A reaktív plazma porlasztás folyamatának automata szabályozása feltételezi a plazma kisülés állapotának ismeretét és a jelentősebb folyamatparaméterek meghatározását. A porlasztott céltárgy (titán) atomjainak karakterisztikus optikai sugárzás intenzitása a porlasztás állapotának fontos jellemzője. Dolgozatunkban, a rétegépítési sebesség szabályozhatóságának céljából, a plazma kisülés optikai spektrumát tanulmányoztuk, az optikai spektroszkópia módszereit felhasználva. A dolgozatban a kísérleti eredmények láthatók, amelyek az általunk kifejlesztett mérőrendszer működőképességet igazolják. További célunk egy fejlett reaktív porlasztási folyamatszabályzó algoritmus kidolgozása.

Kulcsszavak:

reaktív plazma porlasztás, karakterisztikus optikai sugárzás, optikai spektroszkópia

1. Bevezetés

Nanoszerkezetű vékonyréteg keménybevonatok előállítása és tulajdonságaik vizsgálata napjaink egyik kiemelt kutatási feladatának számít. A nanokompozit szerkezetű bevonatok iránt tapasztalható növekvő érdeklődést elsősorban az általuk mutatott különleges fizikai-kémiai tulajdonságok magyarázzák. Nagy keménységük, magas hőmérsékletű stabilitásuk, korrózió és oxidációval szembeni ellenállásuk révén a nanoszerkezetű vékonyrétegek jelentős lehetőséget kínálnak a tribo-mechanikai kopásvédelem számára. A bevonatok tervezése számos tényező ismeretét és figyelembevételét teszi szükségessé, amelytől alapvetően függ a felhasználható anyagok, a rétegnövesztési módszer, illetve a folyamatparaméterek megválasztása.

Kutatásaink középpontjában egy DC-PVD reaktív magnetronos porlasztó berendezésben a titán optikai spektrum intenzitásának méréséhez használható módszer és mérőrendszer tanulmányozása és kivi-

telezése állt. A plazma zsinór irányából a fényt egy kollimációs optikai rendszeren és vákuum átmenettel rendelkező optikai kábelén át, egy Cerny-Turner típusú nagyfelbontású monokromátorba vezettük. A monokromátor megfelelő hangolásával kiválaszthatóvá vált a vizsgált anyagra jellemző spektrális vonalak egyike. Az így elkülönített fényt egy Hamamatsu gyártmányú fénysokszorozó érzékelő millivolt nagyságrendű feszültséggé alakította át. Annak érdekében, hogy az így kinyert jelet illeszteni tudjuk az adatbegyűjtő kártyán át a számítógéphez, építettünk egy, sajátosan e célra megfelelő erősítőt.

2. Elméleti vonatkozások

A dolgozatban bemutatott optikai plazma diagnózis a fotospektrometria néven ismert módszeren alapszik.

A fotospektrometria elve

A spektrofotometria a vizsgált anyaggal kölcsönhatásba lépő elektromágneses sugárzás intenzitása és az anyag atomi vagy molekuláris összetételének a kapcsolatának tanulmányozását teszi lehetővé. Ismert, hogy egy anyag atomjainak energia leadása vagy felvétele kizárólag diszkrét formában jön létre, az energia szintek függvényében. Az energia átadás diszkrét értéke jól meghatározott, elkülönülő spektrális vonalakat eredményez. A spektrumon belül a vonalak hullámhossza a gerjesztési szinttől függ. A kvantumfizika törvényei alapján, az energia leadás diszkrét (ΔE) mennyiségekben történik. Az energia kvantum elsősorban a (λ) hullámhossztól és a $\bar{\nu} = 1 / \lambda$ hullámszámtól, a (ν) frekvenciától és a (E) kinetikus energiától függ, az alábbi összefüggés alapján:

$$\Delta E = h \cdot \nu = \frac{h \cdot c}{\lambda} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

ahol, h a Plank állandó, c a fénysebesség, m az elektron tömege és v az elektron sebessége.

A karakterisztikus spektrális vonalak helyét a spektrumban a ($\bar{\nu}$) hullámszám határozza meg:

$$\bar{\nu} = \frac{E_u - E_e}{h \cdot c}$$

ahol, E_e az elektronok energiája az energia felvétel előtt, E_u pedig az elektronok energiája az energia átadás után. Az $E_e < E_u$ energia mérleg egy emissziós spektrumot eredményez.

A rácsspektrométer elve

A diffrakciós rács üveglapon, több egyforma, egymáshoz nagyon közel elhelyezkedő keskeny, karcolatot tartalmaz, amelyeken a karcolatok közötti épen maradt átlátszó részek képezik a réseket. Ha a diffrakciós rács L hosszúságán N számú karcolat van, akkor a két szomszédos karcolat közötti távolságot rácsállandónak nevezzük. A következőképpen határozható meg:

$$l = \frac{L}{N}$$

A diffrakciós rácsra beeső fénynyaláb az alábbi törvényszerűség alapján verődik vissza:

$$n \cdot \lambda = d \cdot \sin \varphi$$

ahol, n egész szám, λ hullámhossz, d rácsállandó, φ karcolatok dőlésszöge.

A fénysokszorozó elve

A fénysokszorozó cső áramerősítése egyenlő az anódáram és fotókatód fényelektromos áramának arányával. Ideális esetben, egy n dinódás cső, δ másodlagos elektron kibocsátási érték esetén, a μ áramerősítése $A_i = \delta \cdot n$. Ha a δ másodlagos elektron kibocsátási arány $\delta = A \cdot E^\alpha$ ahol, A állandó, E potenciálkülönbség, α dinóda anyag és geometria együttható, az áramerősítési tényező egyenlő:

$$\mu = \delta^n = (A \cdot E^\alpha)^n = \left\{ A \cdot \left(\frac{V}{n+1} \right)^\alpha \right\}^n = \frac{A^n}{(n+1)^{\alpha \cdot n}} \cdot V^{\alpha \cdot n} = K \cdot V^{\alpha \cdot n}$$

3. Kísérleti munka

A kísérletek elvégzéséhez a következő berendezéseket és eszközöket használtunk:

- egyenfeszültségű PVD reaktív magnetronos porlasztó;
- Cerny-Turner monokromátor;
- Hamamatsu fénysokszorozó;
- saját fejlesztésű jelerősítő;
- Advantech PCI 1710 típusú adatbegyűjtő kártya;
- Számítógép és C++ alapú software fejlesztőkörnyezet.

A mérések hitelességének ellenőrzése véget, a monokromátor működési pontosságát tartottuk fontosnak ellenőrizni. E célból felvettük egy etalon hélium kisülés lámpa emissziós spektrumát. Méréseinket összevetettük a NIST (National Institut of Standards and Technology) adatbázisában található referencia értékekkel. Az alábbi ábrán a hélium 587,56 nm hullámhosszú referencia vonalát összevetettük az általunk mért 587,44 nm értékkel:

1. ábra Hélium 587,54 nm spektrális vonal mérése – referencia és mért érték összevetése

A kalibrálási folyamat kielégítő eredménye után, felvettük a 394-404 nm tartományban a spektrumot három különböző porlasztási teljesítmény esetén (Pd1=250W, Pd2=350W, Pd3=450W). A céltárgy titán, az munkagáz (Ar) hozama $q_{Ar}=6$ [sccm] volt. Az alábbi ábrán együtt van ábrázolva a titán karak-

terisztikus vonalak intenzitásváltozása a különböző porlasztási teljesítmény függvényében.

2. ábra Titán karakterisztikus vonalak intenzitásváltozása a különböző porlasztási teljesítmény függvényében

4. Következtetések

Az optikai spektrumfigyelő rendszer az elvárt módon működik, az így kinyert plazma diagnosztikai eredmények alkalmasak, egy jövőbeni optimális szabályzó algoritmus tanulmányozásához.

Irodalom

- [1] Biro, D., Barna, P.B., Hattori, T., Devenyi, A., Jakab-Farkas, L., Papp, S., *Preparation and microstructure characterization of MoS₂ added TiAlN/CrN multilayered nanocrystalline thin films*, Román Akadémia Kiadó, Bukarest, 2007
- [3] Biro, D., David, L., Haller, P., *Dynamic control of reactive magnetron d.c. sputtering process for tribological coatings development*, in COST 516 Tribology Symposium, Finland, 14-15 May 1998
- [4] Hutley, M. C., *Diffraction Gratings*, Academic Press Inc., London, 1982
- [5] Hamamatsu, Photomultiplier tube, Basics and applications, 2007
- [6] Jakab-Farkas, L., Papp, S., Biró D., *Effect of N Concentration on Microstructure Evolution of the Nanostructured (Al, Ti, Si)N Coatings Prepared by d.c. Reactive Magnetron Sputtering*, „Inter-Eng 2009” Konferencia, Petru Maior Egyetem Kiadó, Marosvásárhely, 2009

Papp Sándor, doktorandus

EMTE Sapientia, Műszaki és Humántudományok Kar, Marosvásárhely, Villamosmérnöki Tanszék
 Románia, Marosvásárhely/Koronka, Segesvári út 1C., 540485, OP 9, CP 4
 Tel./Fax : +40745698939/0040265206211 E-mail: spapp@ms.sapientia.ro

Jakab-Farkas László

EMTE Sapientia, Műszaki és Humántudományok Kar, Marosvásárhely, Villamosmérnöki Tanszék
 Románia, Marosvásárhely/Koronka, Segesvári út 1C. 540485, OP 9, CP 4
 Tel./Fax : +40744957550/0040265206211 E-mail: jflaci@ms.sapientia.ro

Biró Domokos, doktor

EMTE Sapientia, Műszaki és Humántudományok Kar, Marosvásárhely, Gépészmérnöki Tanszék
 Románia, Marosvásárhely/Koronka, Segesvári út 1C., 540485, OP 9, CP 4
 Tel./Fax : +40746407736/0040265206211 E-mail: dbiro@ms.sapientia.ro