



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",
SEBEȘ, 2012

DETERMINAREA ELIPSOMETRICĂ A GROSIMII ȘI A CONSTANTELOR OPTICE ALE FILMELOR SUPERFICIALE OPTIC ABSORBANTE

Simon JITIAN

THE ELLIPSOMETRICAL DETERMINATION OF THICKNESS AND OPTICAL CONSTANTS FOR SUPERFICIAL, OPTICALLY ABSORBENT FILMS

The paper presents a graphical method for the simultaneous determination of thickness and optical constants of a superficial, optically absorbent film. The data used have been obtained by ellipsometrical measurements of a superficial layer of uneven thickness at several points.

The thickness and optical constants are determined for PMMA films deposited on a copper surface highly polished.

Cuvinte cheie: constante optice, elipsometrie, film superficial, metodă grafică

Keywords: optical constants, ellipsometry, surface film, graphical method

1. Introducere

Pentru studierea proprietăților optice ale suprafețelor solide, una dintre cele mai adecvate și mai exacte metode este elipsometria. Această metodă este bazată pe model și de aceea este foarte importantă utilizarea unui model cât mai corect pentru a obține rezultate foarte bune.

În figura 1 este prezentată incidența sub unghiul φ_0 a unei radiații monocromatice de lungime de undă λ pe suprafața de separație dintre

mediul de incidență (aerul) cu indice de refracție n_0 și sistemul format din substrat de indice de refracție $\tilde{n}_s = n_s - i \cdot k_s$, respectiv film superficial de grosime d și indice de refracție $\tilde{n} = n - i \cdot k$. După reflexie se produce o modificare a stării de polarizare a radiației incidente. Această modificare este exprimată cu ajutorul mărimilor elipsometrice Δ și Ψ .

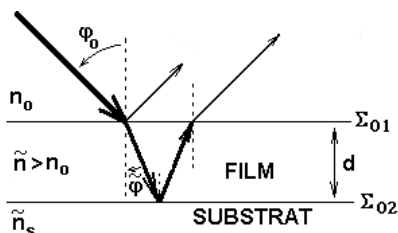


Fig. 1 Modelul reflexiei speculare a unei radiații pe un film superficial deasupra oglinzii metalice

În cazul suprafețelor lipsite de filme superficiale ($d = 0$), o singură măsurătoare elipsometrică (Δ , Ψ) permite determinarea constantelor optice ale suprafeței. Relația fundamentală a elipsometriei:

$$\tilde{\rho} = \text{tg} \Psi \cdot \exp(i\Delta) = \frac{\tilde{r}_p}{\tilde{r}_s} \quad (1)$$

leagă mărimile elipsometrice Δ și Ψ de constantele optice ale substratului și ale filmului superficial prin intermediul coeficienților de reflexie Fresnel [1].

$$\tilde{r}_p = \tilde{r}_{0s}^p = \frac{\tilde{n}_s \cos \varphi_0 - n_0 \cos \tilde{\varphi}}{\tilde{n}_s \cos \varphi_0 + n_0 \cos \tilde{\varphi}}; \quad \tilde{r}_s = \tilde{r}_{0s}^s = \frac{n_0 \cos \varphi_0 - \tilde{n}_s \cos \tilde{\varphi}}{n_0 \cos \varphi_0 + \tilde{n}_s \cos \tilde{\varphi}} \quad (2)$$

Indicele complex de refracție al suprafeței este exprimat de relația:

$$\tilde{n}_s = n_s - i \cdot k_s = \sin \varphi_0 \sqrt{1 + \left(\frac{1 - \tilde{\rho}}{1 + \tilde{\rho}} \right)^2 \text{tg}^2 \varphi_0} \quad (3)$$

În cazul suprafețelor acoperite cu filme superficiale ca în modelul prezentat în figura 1, relația fundamentală a elipsometriei:

$$\tilde{\rho} = \frac{\tilde{R}_p}{\tilde{R}_s} = \tan \Psi \cdot \exp(i\Delta) = f(\varphi_0, \lambda, n_0, n_s, k_s, n, k, d) \quad (4)$$

leagă mărimile elipsometrice Δ și Ψ de constantele optice ale substratului și ale filmului superficial prin intermediul coeficienților de

reflexie Fresnel \tilde{r}_{01}^p și \tilde{r}_{01}^s la interfața Σ_{01} , respectiv \tilde{r}_{12}^p și \tilde{r}_{12}^s la interfața Σ_{12} [2].

$$\tilde{R}_p = \frac{\tilde{r}_{01}^p + \tilde{r}_{12}^p \cdot e^{-i2\tilde{\delta}}}{1 + \tilde{r}_{01}^p \cdot \tilde{r}_{12}^p \cdot e^{-i2\tilde{\delta}}}; \quad \tilde{R}_s = \frac{\tilde{r}_{01}^s + \tilde{r}_{12}^s \cdot e^{-i2\tilde{\delta}}}{1 + \tilde{r}_{01}^s \cdot \tilde{r}_{12}^s \cdot e^{-i2\tilde{\delta}}}; \quad \tilde{\delta} = \frac{2\pi\tilde{n}d\cos\tilde{\varphi}}{\lambda} \quad (5)$$

Pentru suprafețe cu indice de refracție \tilde{n}_s cunoscut, acoperite cu un film superficial transparent ($k=0$, $n \neq n_0$) este de asemenea posibil ca dintr-o singură măsurătoare elipsometrică (Δ , Ψ) să se determine indicele de refracție n al filmului și grosimea d a acestuia. Pentru ușurința determinării lui n și d este utilă reprezentarea grafică a curbelor $\Delta = f(\Psi)$ pentru diferite valori ale lui n și d pentru filmul superficial depus pe substratul de indice de refracție \tilde{n}_s .

Dacă filmul superficial este transparent atunci curbele $\Delta = f(\Psi)$ sunt închise, ca în figura 2.

Pentru filme superficiale transparente, mărimile elipsometrice Δ și Ψ sunt funcții periodice de grosimea filmului astfel încât pentru determinarea corectă a grosimii filmului este necesară precizarea ordinului de mărime a grosimii filmului printr-o altă măsurătoare [3]. Pentru determinarea grosimii filmelor superficiale transparente se folosesc frecvent metode interferometrice.

Pentru filme superficiale optic absorbante ($k \neq 0$) curbele $\Delta = f(\Psi)$ sunt deschise, ca în figura 3.

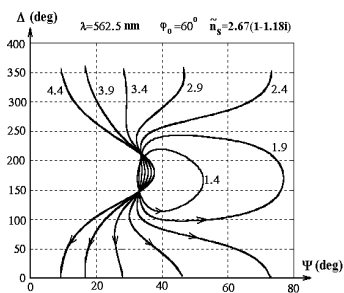


Fig. 2 Curbele periodice $\Delta = f(\Psi)$ pentru filme superficiale transparente depuse pe oțel

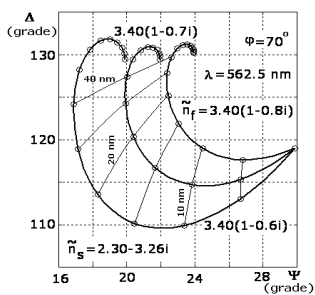


Fig. 3 Curbele deschise $\Delta = f(\Psi)$ pentru filme superficiale optic absorbante depuse pe oțel

O singură pereche de valori (Δ , Ψ) este insuficientă pentru determinarea a trei necunoscute n , k și d astfel încât este necesară o condiție suplimentară.

În mod frecvent se determină prima dată grosimea filmului superficial printr-o altă metodă, apoi după ce este cunoscută grosimea filmului mai rămân două necunoscute n și k care se pot determina dintr-o singură măsurătoare elipsometrică (Δ , Ψ).

În literatura de specialitate sunt prezentate metode grafice de determinare simultană a grosimii d și a constantelor optice n , k ale filmului superficial optic absorbant prin efectuarea a două măsurători elipsometrice diferite fie la două unghiuri de incidență diferite fie folosind două medii de incidență cu indici de refracție diferiți [4].

2. Partea experimentală

Pentru determinarea constantelor optice ale filmelor superficiale s-a utilizat un elipsometru fotoelectric IFTAR-București în montaj PCSA. Alinierea elipsometrului s-a realizat după procedeul descris de McCrackin și colaboratorii [5].

Pentru verificarea metodei propuse au fost depuse filme superficiale de polimeri pe oglinzi metalice din cupru, ce prezintă o suprafață care reflectă foarte bine radiația luminoasă incidentă. Probele metalice au fost șlefuite apoi lustruite cu pulbere de oxid de crom. Suprafețele lustruite au fost apoi spălate cu apă și cu etanol pentru îndepărtarea impurităților.

Constantele optice ale substratului de cupru au fost calculate din valorile citirilor elipsometrice pentru suprafața cuprului proaspăt lustruit. A fost utilizat programul de calcul elaborat de McCrackin [6].

Pe suprafața probelor metalice au fost depuse filme de polimetacrilat de metil (PMMA). Filmul superficial s-a obținut prin evaporarea lentă a solventului (benzen) din soluțiile polimerului. Mărimile elipsometrice Δ și Ψ obținute prin măsurarea probelor metalice acoperite cu polimer au fost utilizate pentru determinarea constantelor optice și a grosimii filmelor.

3. Rezultate și discuții

Metoda propusă utilizează două seturi de măsurători elipsometrice (Δ_1 , Ψ_1) și (Δ_2 , Ψ_2) efectuate pentru două filme superficiale de grosimi diferite d_1 și d_2 dar de același indice de refracție $\tilde{n} = n - i \cdot k$. Modelul reflexiei unei radiații incidente pe un astfel de sistem este reprezentat în figura 4.

Ecuția fundamentală a elipsometriei scrisă pentru cele două seturi de măsurători formează sistemul:

$$\begin{cases} \operatorname{tg}\Psi_1 \cdot \exp(i\Delta_1) = f(\varphi_0, \lambda, n_0, \tilde{n}_s, n, k, d_1) \\ \operatorname{tg}\Psi_2 \cdot \exp(i\Delta_2) = f(\varphi_0, \lambda, n_0, \tilde{n}_s, n, k, d_2) \end{cases} \quad (6)$$

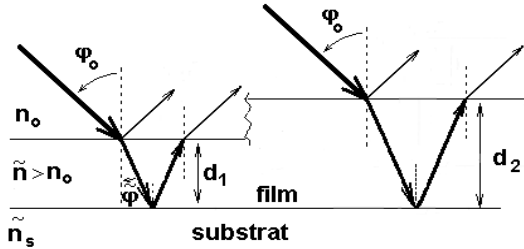


Fig. 4 Modelul reflexiei radiației incidente pe un film superficial optic absorbant având grosimi diferite în puncte de incidență diferite

Atunci când se utilizează valorile elipsometrice (Δ_1, Ψ_1) se poate obține curba $k = f_1(n)$ pentru diferite valori ale grosimii filmului, alese arbitrar în jurul valorii presupuse. Din cealaltă măsurătoare elipsometrică (Δ_2, Ψ_2) se obține curba $k = g_1(n)$ pentru diferite valori ale grosimii filmului superficial. În același mod se pot obține curbele $k = f_2(d)$ și $k = g_2(d)$.

În figura 5 sunt prezentate aceste 4 curbe pentru două filme de grosimi diferite de polimetacrilat de metil depuse pe cupru metallic.

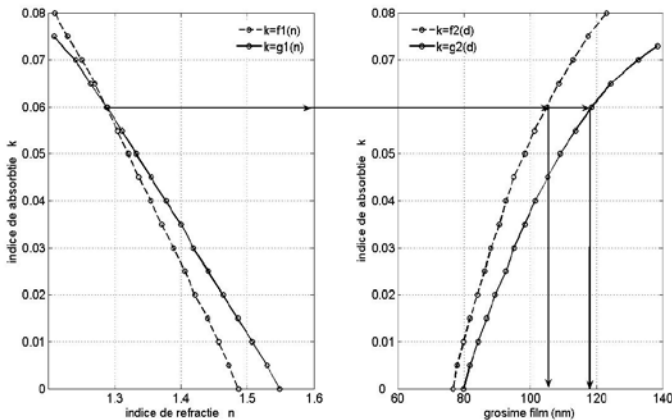


Fig. 5 Metoda grafică pentru determinarea grosimii și a constantelor optice ale filmelor superficiale optic absorbante depuse pe oglinzi metalice

Intersecția curbelor $f_1(n)$ cu $g_1(n)$ determină valorile n și k ale filmului.

Pentru valoarea obținută a indicelui de absorbție k , din curbele $k = f_2(d)$ și $k = g_2(d)$ se determină valorile d_1 și d_2 ale grosimilor filmelor superficiale corespunzătoare celor două măsurători elipsometrice.

Prin această metodă s-a găsit că filmele de PMMA depuse pe oglinda metalică de cupru au grosimile de 105 nm, respectiv 117 nm, iar indicele de refracție este $n = 1.29 - 0.06i$.

4. Concluzii

- Este propusă o metodă grafică de determinare a grosimilor și a constantelor optice ale filmelor superficiale optic absorbante, ce utilizează două măsurători elipsometrice, la un singur unghi de incidență pentru același film superficial dar de grosimi diferite.

- Pentru realizarea celor două măsurători nu este necesară alinierea elipsometrului la diferite unghiuri de incidență și nici utilizarea unor dispozitive speciale pentru efectuarea de măsurători în medii de imersie cu indici de refracție diferiți.

- Deoarece filmele superficiale depuse pe un anumit substrat nu au, de obicei, aceeași grosime în puncte diferite, este suficientă măsurarea substratului cu film superficial în cel puțin două puncte, obținându-se astfel proprietățile optice și grosimile acestora.

- Pot fi efectuate măsurători în mai multe puncte, crescând astfel precizia de determinare a constantelor optice n și k .

BIBLIOGRAFIE

- [1] Azzam, R.M.A., Bashra, N.M., *Ellipsometry and Polarized Light*, Elsevier, Amsterdam, 1977.
- [2] Jitian, S., Studia Univ. Babeș-Bolyai, *Chemia*, **31**(2), 69, (1986).
- [3] Beckmann, K.H., Harrick, N.J., *Optical properties of dielectric films*, Boston, 1968.
- [4] Moisil, D., Moisil, G., *Teoria și practica elipsometriei*, Editura tehnică, București, 1973.
- [5] McCrackin, F.L., Passaglia, E., Stromberg, R.R., Steinberg, H.L., J. Res. Natl. Bur. Std., **67A**, 383, 1963.
- [6] McCrackin, F.L., *A Fortran program for analysis of ellipsometer measurements*, Natl. Bur. Std. Technical Note 479, 1969.

Conf. univ. Dr. Simion JITIAN, Inginerie și Management,
Facultatea de Inginerie Hunedoara, Universitatea "Politehnica" Timișoara,
membru AGIR, e-mail: jitian_s@fih.upt.ro