

PENENTUAN KONSTANTA OPTIK FILM POLI(3-METILTIOFEN) DENGAN METODA ELLIPSOMETRI*

Oleh
Dra. Henok Singan, M.Si

A. PENDAHULUAN

Ellipsometri adalah suatu cara optik yang digunakan untuk menganalisa berbagai sifat fisis pada suatu daerah antarmuka antara dua medium (zat antara). Cara ini didasarkan pada perubahan keadaan polarisasi yang terjadi bila sebuah berkas cahaya terpolarisasi dipantulkan, diteruskan atau dihamburkan oleh sebuah antarmuka atau suatu lapisan tipis (film). Metoda ellipsometri mengukur perbandingan amplitudo dan beda fase komponen vektor gelombang elektromagnetik/cahaya yang sejajar dengan bidang datang (p) dengan komponen yang tegak lurus bidang datang (s). Ellipsometer yang digunakan menganalisa polarisasi cahaya yang dipantulkan oleh bahan disebut Ellipsometer Refleksi dan yang menganalisa polarisasi cahaya yang diteruskan (transmisi) disebut Ellipsometer transmisi.

Ellipsometer L115A merupakan ellipsometer refleksi.

Parameter-parameter optik bahan yang dapat ditentukan dengan metoda ellipsometri ini antara lain : indeks bias n , koefisien pemadaman K dan ϵ dari nilai n serta K ini dapat dihitung parameter-parameter lain misalnya, koefisien serapan α ketebalan d , skin depth, waktu relaksasi, konduktivitas logam dan lain-lain¹.

B. ELLIPSOMETR REFLEKSI (PANTULAN)

Ellipsometer refleksi (pantulan) ini didasarkan pada perubahan keadaan polarisasi yang terpantul atau terbias pada antarmuka dua medium yang berbeda sifat optiknya. Perubahan polarisasi ini disebabkan karena perbedaan koefisien refleksi dan koefisien transmisi pada kedua komponen polarisasi linier yang sejajar (p) dan tegak lurus (s) terhadap bidang datang.

Ellipsometer dapat juga digunakan untuk menyelidiki permukaan lapisan tipis, yaitu sifat optik bahan dan kebergantungannya pada frekuensi cahaya yang digunakan. Alat ini juga dapat dipakai untuk menentukan tebal lapisan di atas substrat. Bahan yang akan diteliti dapat berupa cairan, padatan yang bersifat isotropik maupun tak isotropik, berbentuk bulk ataupun film.

Ellipsometer refleksi ada dua jenis yaitu :

1. Ellipsometer PCSA, yaitu ellipsometer yang komponennya terdiri dari polarisator, kompensator, sampel dan analisator. Cahaya yang keluar dari polarisator terpolarisasi linier, kemudian memasuki kompensator dan keluar dengan terpolarisasi eliptik. Cahaya terpolarisasi eliptik ini mengenai sampel dan meninggalkan sampel dengan keadaan polarisasi berbeda, kemudian memasuki analisator untuk diteruskan ke photodetektor.

2. Ellipsometer PSCA, yaitu ellipsometer yang komponennya terdiri dari polarisator, sampel, kompensator dan analisator. Cahaya yang keluar dari polarisator terpolarisasi linier, kemudian mengenai sampel lalu meninggalkan sampel dengan keadaan polarisasi eliptik. Cahaya ini memasuki kompensator lalu keluar dengan polarisasi linier dan akhirnya memasuki analisator untuk diteruskan ke Photodetektor.

Jadi ellipsometer refleksi ini adalah menganalisa perubahan keadaan cahaya terpolarisasi eliptik atau perubahan keadaan cahaya terpolarisasi linier menjadi terpolarisasi eliptik atau perubahan keadaan cahaya terpolarisasi eliptik menjadi terpolarisasi linier yang di sebabkan oleh pemantulan. Pengambilan data biasanya di lakukan pada posisi polarisator, kompensator dan analisator tertentu sehingga pada posisi tersebut intensitas cahaya yang keluar dari analisator berharga minimum. Ellipsometer yang bekerja seperti ini disebut Ellipsometer Nol (Null Ellipsometer).

Intensitas cahaya yang sampai pada detektor merupakan fungsi dari azimut, polarisator, kompensator dan analisator (P.C.A) serta fungsi dari parameter ellipsometer Δ dan Ψ .

C. PEMANTULAN DAN PEMBIASAN PADA ANTARMUKA

Pemantulan dan pembiasan merupakan gejala yang terjadi pada permukaan atau bidang batas dari dua medium yang berbeda. Dengan demikian perumusannya merupakan perumusan soal syarat batas. maka sebagian cahaya akan dipantulkan dan sebagian lagi akan dibiaskan.

Berdasarkan sifat optik bahan, sudut bias gelombang cahaya ditentukan oleh indeks bias bahan tersebut. Snellius merumuskan dalam pernyataan matematika sebagai berikut :

$$n_1 \sin i = n_2 \sin r \quad (C.1)$$

dengan n_1 dan n_2 masing-masing menyatakan indeks bias medium 1 dan medium 2, i dan r menyatakan sudut datang dan sudut bias yang diukur terhadap garis normal bidang batas.

Bila cahaya datang dari udara menuju medium konduktif, maka $n_1 = 1$ dan n_2 dinyatakan dengan indeks bias kompleks bahan yaitu :

$$N = n_2 (1 + jk) \quad (C.2)$$

diang N indeks bias kompleks bahan, n indeks bias riil, dan k koefisien peredaman (extinction).



Geometri Pemantulan dan Pembiasan pada Antarmuka²

pemantulan dari gelombang elektromagnetik pada permukaan dielektrik bergantung pada keadaan vektor medan listrik gelombang tersebut, yaitu komponen gelombang sejajar (p) dan komponen gelombang tegak lurus (s) terhadap bidang datang.

Dengan membandingkan amplitudo kompleks vektor medan listrik gelombang pantul (E_r) dengan amplitudo kompleks vektor medan listrik gelombang datang (E_i), akan diperoleh koefisien pemantulan yaitu :

$$\frac{E_{rp}}{E_{ip}} = r_p = \frac{n_2 \cos i - n_1 \cos r}{n_2 \cos i + n_1 \cos r}$$

$$\frac{E_{rs}}{E_{is}} = r_s = \frac{n_1 \cos i - n_2 \cos r}{n_1 \cos i + n_2 \cos r} \quad (C.3)$$

Pers. (C.3) disebut persamaan Fresnel untuk pemantulan.

Koefisien Fresnel dari komponen vektor listrik yang sejajar dengan bidang datang tidak sama dengan koefisien Fresnel komponen vektor listrik yang tegak lurus dengan bidang datang. Pembahasan disini difokuskan hanya pada masalah pemantulan yaitu yang berhubungan dengan perumusan ellipsometri.

Dengan substitusi pers. (C.1), maka pers.(C.3) dapat dituliskan dalam bentuk perumusan yang hanya bergantung pada sudut datang i dan sudut bias r :

$$\begin{aligned} r_p &= \frac{\tan(i - r)}{\tan(i + r)} \\ r_s &= -\frac{\sin(i + r)}{\sin(i - r)} \end{aligned} \quad (C.4)$$

r_p : amplitudo koefisien refleksi untuk polarisasi sejajar dan

r_s : amplitudo koefisien refleksi untuk polarisasi tegak lurus.

Hubungan amplitudo dan fase antara kedua komponen sejajar dan komponen tegak lurus berubah akibat pemantulan dan pembiasan. Berarti polarisasi cahaya terpantul dan polarisasi cahaya terbias tidak sama dengan polarisasi cahaya datang.

Untuk melihat pengaruh pemantulan terhadap amplitudo dan fase pada vektor medan listrik secara terpisah, maka koefisien Fresnel³ akan dituliskan dalam bentuk :

$$\begin{aligned} r_p &= |r_p| \exp(j\delta_{rp}) \\ r_s &= |r_s| \exp(j\delta_{rs}) \end{aligned} \quad (C.5)$$

$|r_p|$ dan $|r_s|$ ialah harga mutlak perbandingan amplitudo getaran vektor listrik cahaya terpantul dan vektor listrik cahaya datang terhadap bidang datang masing-masing untuk komponen sejajar dan tegak lurus. δ_{rp} dan δ_{rs} menyatakan pergeseran fase masing-masing komponen akibat pantulan. Perbandingan antara koefisien Fresnel komponen sejajar dan komponen tegak lurus terhadap bidang datang dapat dinyatakan dengan³⁻⁵ :

$$\rho = r_p/r_s = \tan \Psi \exp (j\Delta) \quad (C.6)$$

dari pers (C.5) dan (C.6) dapat kita tulis bahwa :

$$\begin{aligned} \tan \Psi &= |r_p/r_s| \\ \text{dan} \quad \Delta &= \delta_{rp} - \delta_{rs} \end{aligned} \quad (C.7)$$

Besaran Ψ dan Δ dikenal dengan parameter Ellipsometer yang dapat diukur dengan ellipsometer dan besarnya sangat bergantung pada indeks bias bahan pemantul.

Pada suatu harga sudut tertentu, indeks bias kompleks bahan pemantul dapat dihitung melalui hasil pengukuran Ψ dan Δ .

Dari (C.4), (C.6) dan (C.7) serta hukum Snellius,

$$\sin i = N \sin r \quad (C.8)$$

akan diperoleh^{6,7}

$$n^2 (1 - \kappa^2) = \sin^2 i \left(1 + \frac{\tan^2 i (\cos^2 2\Psi - \sin^2 2\Psi \sin^2 \Delta)}{(1 + \sin 2\Psi \cos \Delta)^2} \right) \quad (C.9)$$

dan

$$2n^2 \kappa = \frac{\sin^2 i \tan^2 i \sin 4\Psi \sin \Delta}{(1 - \sin 2\Psi \cos \Delta)^2} \quad (C.10)$$

Pers. (C.9) dan (C.10) dapat digunakan untuk sudut datang sembarang dan panjang gelombang sembarang pula.

Indeks bias kompleks bahan yang terdiri dari parameter n dan κ dapat dihitung melalui pengukuran parameter ellipsometer Ψ dan Δ , kemudian mensubstitusinya ke persamaan di atas.

Parameter Ψ dan Δ ditentukan oleh indeks bias bahan, sehingga kalau parameter tersebut dapat diukur atau dihitung maka indeks bias bahan dapat ditentukan. Persamaan (C.9) dan (C.10) di atas tidak menghasilkan n dan κ secara langsung tetapi dalam kombinasi $n^2 (1 - \kappa^2)$ dan $n^2 \kappa$.

D. POLARISASI ELLIPTIK

Cahaya yang datang pada sampel biasanya di buat terpolarisasi eliptik dan keadaan polarisasinya berubah dari keadaan semula setelah meninggalkan sampel, atau cahaya mengenai sampel keadaan polarisasi linier dan setelah meninggalkan sampel keadaan polarisasinya berubah, biasanya berupa ellips dengan karakteristik tertentu. Perubahan inilah yang diamati dengan Ellipsometer.

Cahaya terpolarisasi eliptik, yaitu hasil superposisi dua cahaya terpolarisasi yang mempunyai amplitudo sama tetapi berbeda fase dengan $\delta = \pm m\pi/2$ ($m = 0, 1, 2, \dots$). Keadaan polarisasi eliptik dapat dinyatakan dengan meninjau penjalaran berkas cahaya terpolarisasi eliptik dalam arah sumbu z yang digambarkan sebagai hasil dari dua gerak harmonis sederhana^{7,8} yang dibuat sepanjang sumbu x dan y , dengan frekuensi sama, amplitudo a_1 dan a_2 , sudut fase δ_1 dan δ_2 :

$$\begin{aligned} E_x &= a_1 \cos(\tau + \delta_1) \\ E_y &= a_2 \cos(\tau + \delta_2) \\ E_z &= 0 \end{aligned} \quad (D.1)$$

dengan $\tau = \omega t - \vec{k} \cdot \vec{r}$
 dari pers. (D.1), E_x dibagi dengan a_1 dan E_y dibagi dengan a_2 , kemudian τ dieleminasi maka diperoleh :

$$\left[\frac{E_x}{a_1} \right]^2 + \left[\frac{E_y}{a_2} \right]^2 - 2 \left[\frac{E_x E_y}{a_1 a_2} \right] \cos \delta = \sin^2 \delta \quad (D.2)$$

$\delta = \delta_2 - \delta_1$, menyatakan beda fase kedua komponen gelombang.

Persamaan ini merupakan untuk polarisasi eliptik, dan dapat dilihat apabila beda fase $\delta = m\pi/2$ ($m = \pm 1, \pm 2, \dots$) dan $a_1 = a_2 = a$, maka persamaan tersebut berubah menjadi persamaan lingkaran :

$$E_x^2 + E_y^2 = a^2 \quad (D.3)$$

dan cahaya menjadi terpolarisasi lingkaran.

Selanjutnya bila beda fase $\delta = n\pi$ ($n = \pm 1, \pm 2, \dots$), maka persamaan di atas berubah menjadi persamaan linier dan cahaya terpolarisasi linier.

E. PERALATAN DAN PENGUKURAN BESARAN FISIS



Bagan sebuah Ellipsometer Pantulan⁹

Cahaya dari sumber $\lambda = 632,8 \text{ nm}$ setelah melalui filter, terpolarisasi lingkaran sebelum memasuki polarisator P. Sesudah melewati P cahaya terpolarisasi linier, kemudian sesudah melewati kompensator C, cahaya berubah menjadi terpolarisasi lingkaran. Dengan memutar P, cahaya yang dipantulkan oleh sampel menjadi terpolarisasi eliptik.

F. HASIL PENGUKURAN DENGAN ELLIPSOMETER DAN DISKUSI

Film poli (3-metiltiofen) yang akan diukur dengan Ellipsometer dibuat dengan polimerisasi elektrokimia galvanostatik dan konduktivitasnya dikarakterisasi dengan metode empat probe.

Hasil pengukuran Ellipsometer L115A berupa pasangan asimut polarisator-analisator (P.A) pada kondisi kompensator 90° . Dari data mentah P dan A yang diukur pada sudut datang 70° dengan panjang gelombang sumber cahaya $\lambda = 632,8 \text{ nm}$, akan diperoleh parameter ellipsometer Δ dan Ψ .

Harga Δ dan Ψ disubstitusi ke pers. (C.9) dan (C.10) sehingga diperoleh harga indeks bias n dan koefisien pemadaman K .

Tetapan optik film poli (3-metiltiofen)

Sampel No	i	Δ	Ψ	$n+jK$	$\sigma(\text{S/cm})$
1	70°	$60,1^\circ$	$8,85^\circ$	$2,32 + 0,23j$	166,67
2	70°	$33,9^\circ$	$12,9^\circ$	$1,93 + 0,21j$	152,78
3	70°	$47,3^\circ$	$16,75^\circ$	$1,78 + 0,37j$	138,89
4	70°	$42,3^\circ$	$16,75^\circ$	$1,76 + 0,34j$	107,14

5	70°	30,7°	18,35°	1,63 + 0,27j	64,81
6	70°	49,8°	17,95°	1,73 + 0,42j	41,67

Sifat optik film poli (3-metiltiofen) yang dikarakterisasi dengan Ellipsometer L115A menunjukkan bahwa indeks bias film diperoleh berkisar dari 1,63 sampai 2,32 dan koefisien pemadaman berkisar 0,21 sampai 0,42.

Data menunjukkan bahwa jika konduktivitas makin besar, maka indeks biasnya juga semakin besar. Hal yang sama pun diperoleh oleh Marlianto dkk¹⁰ bahwa untuk film tipis SnO₂ : Sb, indeks bias makin besar bila konduktivitas makin besar.

Franciscus¹¹ telah menyelidiki film polipirrol dengan memakai ellipsometer dan diperoleh indeks bias sekitar 1,38 sampai 1,54 dan koefisien pemadaman 0,08 sampai 1,29. Indeks biasnya juga bertambah dengan pertambahannya konduktivitas film tersebut.

Panjang gelombang (λ) dari sumber cahaya yang digunakan pada ellipsometer akan berpengaruh terhadap besarnya indeks bias film, dimana jika λ semakin kecil maka indeks bias n akan semakin besar, sesuai dengan rumus :

$$n = c/v ; v = \lambda/f \rightarrow n = c.f/\lambda$$

Karena keterbatasan sumber cahaya yang ada, maka pada eksperimen ini yang digunakan hanya satu panjang gelombang $\lambda = 632,8$ nm. Sehingga kita tak dapat melihat secara langsung pengaruh panjang gelombang terhadap indeks bias film poli (3-metiltiofen)

G. KESIMPULAN

Film poli (3-metiltiofen) yang diperoleh dikarakterisasi dengan ellipsometer L115A dan harga konduktivitasnya diukur dengan metode empat probe.

Hasil karakteristik dengan Ellipsometer L115A diperoleh hasil, indeks bias berkisar 1,63 sampai 2,32.

Koefisien pemadam : 0,21 sampai 0,34 data pada tabel di atas menunjukkan jika konduktivitas makin besar, maka indeks bias semakin besar. Indeks bias film poli (3-metiltiofen) lebih besar dari indeks bias film SnO₂ : Sb yang diperoleh Franciscus¹¹.

Pengukuran ellipsometer dapat memberikan nilai n dan K yang cermat, tetapi secara normal terbatas pada panjang gelombang yang dioperasikan ellipsometer. Metode ellipsometri di batasi pada antarmuka yang halus, dan kekasaran permukaan mempengaruhi hasil pengukuran.

oooo000000oooo

DAFTAR PUSTAKA

1. Syarium Sy, Penentuan konstanta optis logam Cu dengan Metode Ellipsometri, Karya Tulis Sarjana, FMIPA UI, 1987.
2. Meeten, G.-H. (eds), Optical Properties of polymers, Elsevier Science pUB. ltd., New York, 1989.
3. Azzam, R.M.A. and Bashara, N.M., Ellipsometry and Polarized Light Nort Holland, Amsterdam, 1987.
4. Schroder, Dieter K., Semiconductor Material and Device Characterization, John Wiley & Sons, Inc. Singapore, 1990.
5. D.A. Holmes and D.L. Feucht, J. Opt. Soc. Am., Vol.57, No.4, 466-472 (1967)
6. D.K.Burge, and H.E.Bennett, J.Opt.Soc. Am., Vol.54, No. 12 1428-1433 (1967)
7. Born M. and E. wolf, Principles of Optics, Pergamon Press. Inc., New York, 1959
8. A.C. Hall, J.Opt.Soc. Am., Vol. 53, No.7, 801-803 (1963)
9. Instruction Manual Ellipsometer L115A
10. Marlianto, Eddy, dkk. Penaruh Suhu Substrat Terhadap sifat optik dan sifat Elektris Film Tipis SnO_2 :Sb, Simposium Fisika Nasional XIV, Medan, 1993.
11. Francisco, T.A.V., Dissertation, Univ. Eindhoven, 1988.
12. Brandrup, J., (ed), Poymer handbook, John Wiley & Sons, Inc. New York, 1975.