

PENENTUAN TEBAL BAHAN TRANSPARAN (ZnO) MENGGUNAKAN INTERFEROMETER MICHELSON

Sulung Edy Nugroho, K. Sofjan Firdausi, Indras Marhaendarjaya

Laboratorium Elektronika-Optik dan Laser

Jurusan Fisika, FMIPA UNDIP Semarang

ABSTRACT

Thickness' determination of ZnO material on a substrate (microscope slide) by using Michelson Interferometer has been carried out. The material used in the research was ZnO transparent material deposited on a 1 mm-thickness of a microscope slide. Refractive index of the microscope slide and the thickness of ZnO were measured by counting the fringes transitions as the materials rotated large as ϕ , on the other words, fringes transitions N as function of sinus incident angles ϕ of laser ray, $N \equiv N(\sin \phi)$. Incident angles of laser ray, which are used in the measurement of ZnO transparent material thickness on microscope slide, are $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 6^\circ, 7^\circ, 8^\circ, 9^\circ$, and 10° . Laser ray used in this research was He-Ne laser, which has $\lambda = 633$ nm and its output power was < 1 mW. The results of this research show that there were N fringes transitions as research-materials rotated large as ϕ . The measured fringes transitions still have remarkable agreement with the theoretical fringes transitions. As the incident angles increases, the fringes transitions N will increase as well as. The thickness of the ZnO thin film, which is resulted from the research, is equal to $(6.0 \pm 1.8) \times 10^{-5}$ m.

INTISARI

Telah dilakukan penelitian untuk menentukan tebal bahan transparan (ZnO) pada suatu substrat (kaca preparat) dengan menggunakan Interferometer Michelson. Bahan yang digunakan berupa kaca preparat dengan tebal 1 mm dan kaca preparat berlapis ZnO. Indeks bias kaca preparat dan tebal lapisan tipis ZnO pada kaca preparat dapat diketahui dengan menghitung jumlah perubahan frinji atau transisi frinji N akibat bahan-transparan-uji diputar sebesar ϕ , atau dengan kata lain, jumlah perubahan frinji N sebagai fungsi sinus sudut datang ϕ sinar laser, $N \equiv N(\sin \phi)$. Besar sudut datang sinar laser yang digunakan untuk penentuan tebal lapisan ZnO pada kaca preparat adalah sebesar $1^\circ, 2^\circ, 3^\circ, 4^\circ, 5^\circ, 6^\circ, 7^\circ, 8^\circ, 9^\circ$, dan 10° . Sinar laser yang digunakan berupa sinar laser He-Ne dengan $\lambda = 633$ nm dan daya keluaran < 1 mW. Hasil penelitian menunjukkan bahwa terdapat jumlah perubahan frinji N akibat bahan-transparan-uji diputar sebesar ϕ . Bila dibandingkan jumlah perubahan frinji hasil teori, jumlah perubahan frinji N hasil eksperimen ternyata masih sesuai. Makin besar sudut datang ϕ maka makin besar pula jumlah perubahan frinji. Tebal lapisan tipis ZnO hasil penelitian ini adalah sebesar $(6,0 \pm 1,8) \times 10^{-5}$ m.

PENDAHULUAN

ZnO (seng oksida) merupakan semikonduktor II-VI dengan *band-gap* lebar, yaitu $E_g = 3,3$ eV [1]. Beberapa tahun terakhir, terdapat peningkatan penelitian berkenaan aplikasi ZnO, sehingga menjadikan lapisan tipis ZnO dipertimbangkan sebagai pesaing ITO (*indium tin oxide*) dalam penggunaannya sebagai elektroda transparan [2]. Lapisan tipis logam oksida memiliki aplikasi yang luas, antara lain alat gelombang akustik permukaan (*surface acoustic wave*

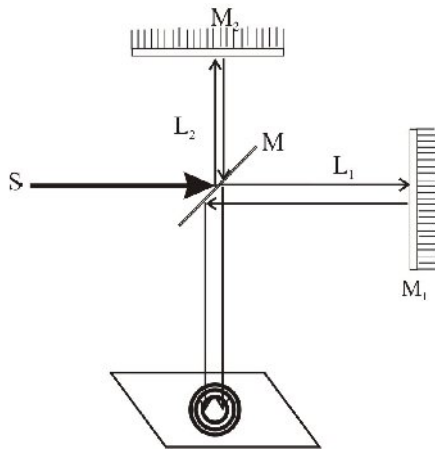
devices/SAW), alat gelombang bulk akustik (*bulk acoustic wave devices*/BAW), alat optik-akustik (*acoustic-optic devices*), sistem mikro-elektromekanik (*micro-electromechanical systems*), filter lolos pita (*band pass filters*), pandu gelombang optik (*optical wave-guide*) dan deflektor laser yang menggunakan kesifatan piezoelektrik dan piezooptik [3].

Studi terakhir yang berkaitan dengan penentuan tebal lapisan ZnO pada kaca preparat berlapis ZnO menggunakan

interferometer Michelson dilakukan oleh Muhamad Adi, berupa kaca preparat dengan tebal 1 mm berlapis ZnO, didapat pengukuran sebesar $5,4 \times 10^{-5}$ m [4], namun hasil tersebut merupakan nilai rata-rata berdasarkan perbandingan nilai koefisien magnetooptis terukur.

Dalam penelitian ini digunakan interferometer Michelson untuk mendapatkan tebal lapisan bahan transparan ZnO yang melekat pada kaca preparat. Jumlah perubahan frinji dihitung dengan merotasikan sampel. Karena sampel melekat pada kaca preparat, maka pengukuran menggunakan metode dua lapis.

Gambar 1 mengilustrasikan konfigurasi Interferometer Michelson. Berkas cahaya dari sumber S mengenai cermin pemecah berkas di M, sehingga cahaya terbagi menjadi dua gelombang. Berkas pertama diteruskan menuju cermin M_1 , yang lain dipantulkan menuju ke M_2 . Oleh masing-masing cermin, kedua sinar ini direfleksikan kembali ke arah datangnya, dan akhirnya berinterferensi pada layar dengan pola lingkaran gelap terang.



Gambar 1 Skema Interferometer Michelson

Bila M_2 digeser sehingga sehingga cincin terang pertama berubah menjadi pusat pola (interferensi), maka lintasan cahaya yang menumbuk M_2 telah berubah sebesar satu panjang gelombang. Karena cahaya dua kali (bolak-balik) melalui lintasan udara yang sama, maka cermin M_2 telah mundur sejauh setengah panjang gelombang. Berubahnya cincin terang pertama menjadi pusat terang tersebut mengindikasikan adanya perubahan beda fase $\Delta\delta$ dan perubahan beda lintasan optis Δd , diberikan oleh persamaan [5] :

$$\Delta\delta = k\Delta d = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)\Delta d \quad (1)$$

Secara umum, beda fase merupakan kelipatan bulat sebesar:

$$\Delta\delta = (2\Delta m + 1)\pi, \quad \Delta m = 0, 1, 2, \dots \quad (2)$$

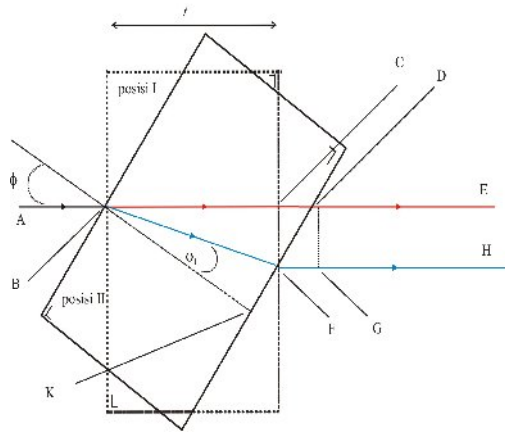
Metode Satu Lapis

Penentuan jumlah perubahan frinji N dapat dilakukan dengan memutar kaca preparat sebesar ϕ (gambar 2) secara perlahan sehingga beda lintasan optis merupakan fungsi tebal kaca preparat t , sudut datang ϕ dan indeks bias kaca preparat n_1 . Hubungan antara N terhadap ϕ pada kaca preparat adalah [6,7]:

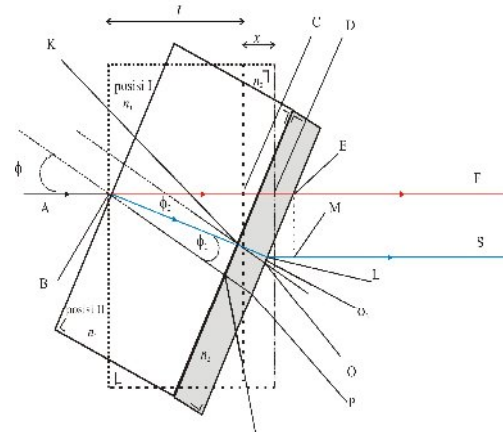
$$\frac{2}{\lambda} \left\{ (n_1^2 - \sin^2 \phi)^{1/2} - t(1 - \sin^2 \phi)^{1/2} + t - n_1 \right\} = N \quad (3)$$

Indeks bias n_1 dalam persamaan (3) dapat ditentukan bila tebal kaca preparat t , sudut datang ϕ dan jumlah perubahan frinji N diketahui [6], yang dinyatakan oleh :

$$n_1 = \frac{(2t - N\lambda)(1 - \cos \phi) + \left(\frac{N^2 \lambda^2}{4t}\right)}{2t(1 - \cos \phi) - N\lambda} \quad (4)$$



Gambar 2.3 Penentuan indeks bias kaca preparat menggunakan interferometer Michelson



Gambar 3. Skema jalannya berkas pada dua sampel untuk penentuan tebal lapisan ZnO pada kaca preparat berlapis ZnO menggunakan Interferometer Michelson. n_1 , n_2 , t dan x berturut-turut adalah indeks bias kaca preparat, indeks bias lapisan ZnO, tebal kaca preparat dan tebal lapisan ZnO.

Metode Dua Lapis

Persamaan (3) atau (4) tidak dapat digunakan dalam penentuan tebal bahan transparan ZnO, dalam penelitian ini, karena lapisan ZnO melekat pada kaca preparat, atau dengan kata lain terdapat dua lapisan yang berbeda dalam sampel lapisan bahan transparan yang digunakan yang digunakan. Gambar 3 memperlihatkan skema jalannya berkas untuk penentuan tebal x lapisan ZnO berindeks bias n_2 , yang melekat pada kaca preparat menggunakan interferometer Michelson. Jumlah perubahan frinji atau transisi frinji N pada kaca preparat berlapis ZnO sebagai fungsi sinus sudut datang ϕ , $N \equiv N(\sin \phi)$, dinyatakan oleh persamaan (5) berikut:

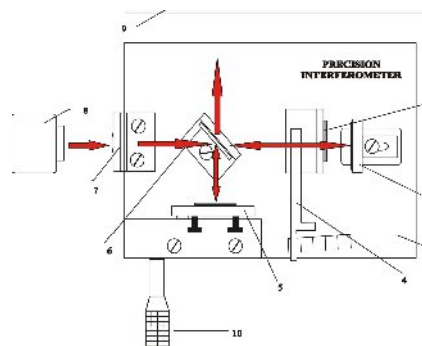
$$N = \frac{2}{\lambda} \left\{ (n_1^2 - \sin^2 \phi)^{1/2} - t(1 - \sin^2 \phi)^{1/2} + t - n_1 t + x(n_2^2 - \sin^2 \phi)^{1/2} - x(1 - \sin^2 \phi)^{1/2} + x - n_2 x \right\} \dots (5)$$

Dengan memanipulasi persamaan (5), diperoleh tebal lapisan ZnO yaitu:

$$x = \frac{\frac{N\lambda}{2} - t \left\{ (n_1^2 - \sin^2 \phi)^{1/2} - \cos \phi + 1 - n_1 \right\}}{\left\{ (n_2^2 - \sin^2 \phi)^{1/2} - \cos \phi + 1 - n_2 \right\}} \quad (6)$$

METODE PENELITIAN

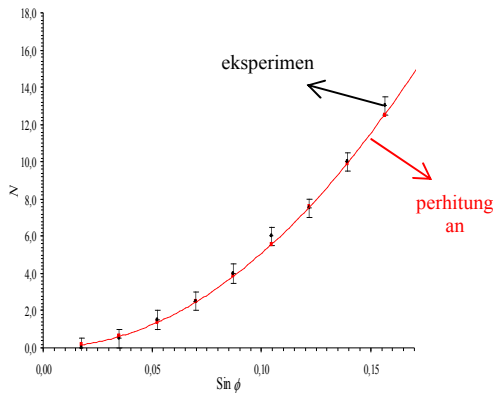
Besar sudut datang sinar laser yang digunakan untuk penentuan tebal lapisan ZnO pada kaca preparat adalah sebesar 1° , 2° , 3° , 4° , 5° , 6° , 7° , 8° , 9° , dan 10° . Sinar laser yang digunakan berupa sinar laser He-Ne dengan $\lambda = 633 \text{ nm}$ dan daya keluaran $< 1 \text{ mW}$. Skema peralatan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilukiskan seperti pada gambar 4 berikut:



Gambar 4. Skema peralatan yang digunakan dalam penelitian, 1.Sampel (kaca preparat dan kaca preparat-ZnO), 2.Cermin-geser, 3.Kotak-dasar Interferometer Michelson, 4.Penunjuk sudut, 5.Cermin-atur, 6.Beam splitter, 7.Lensa positif, 8.Laser He-Ne, 9.Layar, 10.Mikrometer

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hubungan jumlah perubahan frinji N , yang didapat dengan Interferometer Michelson, terhadap sinus sudut datang ϕ sinar laser He-Ne ternyata masih sesuai dengan hasil perhitungan $N \equiv N(\sin \phi)$. Pengujian kesesuaian hasil penelitian tersebut menggunakan persamaan (3), untuk kaca preparat, dan persamaan (4), untuk kaca preparat berlapis ZnO.

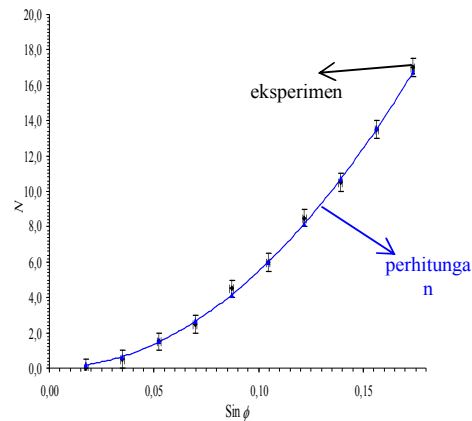


Gambar 5. Grafik hubungan jumlah perubahan frinji N terhadap sinus sudut datang ϕ pada kaca preparat. Plot garis merah menyatakan hasil perhitungan menggunakan persamaan (3) sedangkan plot titik hitam dengan *error bar* menyatakan data eksperimen.

Plot garis merah dalam gambar 5 mewakili hubungan jumlah perubahan frinji N secara teori terhadap sinus sudut datang ϕ yang didapat dengan cara mensubstitusikan nilai $t = 10^{-3}$ m, $\lambda = 0,633 \times 10^{-6}$ m, dan $n_1 = 1,470$ [4], ke dalam persamaan (3). Secara umum berdasar gambar 5 pula, jumlah perubahan frinji N (hasil pengukuran) mengalami peningkatan seiring bertambahnya besar sinus sudut datang ϕ sinar laser He-Ne pada kaca preparat. Terdapat peningkatan jumlah perubahan frinji N secara signifikan untuk $\sin \phi > 0,085$ pada kaca preparat. Peningkatan jumlah perubahan frinji N yang makin besar pada sinus sudut-sudut datang tersebut menunjukkan beda lintasan optis Δd , yang dialami oleh

sinar laser He-Ne yang menuju dan dari cermin-geser saat melalui kaca preparat yang diputar sebesar ϕ , semakin lebih besar. Akibat terjadi peningkatan beda lintasan optis Δd , peningkatan beda fase $\Delta \delta$ antara kedua sinar laser.

Plot kurva garis biru dalam gambar 6, yang mewakili hubungan antara jumlah perubahan frinji N (menurut teori) dengan sinus sudut datang ϕ , didapat dengan cara mensubstitusikan nilai tebal kaca preparat t pada bahan-transparan-uji berupa kaca preparat berlapis ZnO (10^{-3} m), panjang gelombang laser He-Ne λ yang digunakan ($0,633 \times 10^{-6}$ m), indeks bias kaca preparat n_1 referensi, 1,470 [4], indeks bias ZnO n_2 referensi (1,922, [8]), tebal x lapisan ZnO pada kaca preparat berlapis ZnO ($5,4 \times 10^{-5}$

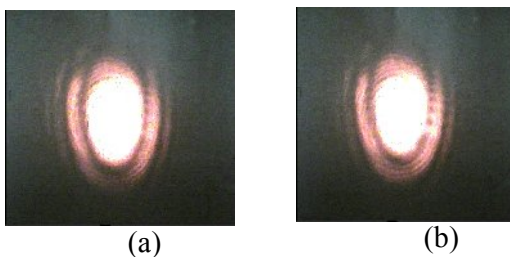


Gambar 6. Grafik hubungan jumlah perubahan frinji N terhadap sinus sudut datang ϕ pada kaca preparat berlapis ZnO. Plot garis biru menyatakan hasil perhitungan dari teori menggunakan persamaan (4), sedangkan plot titik hitam dengan *error bar* menyatakan data eksperimen

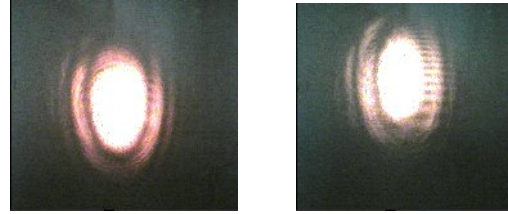
m [4]), ke dalam persamaan (4). Hasil pengukuran, seperti halnya pada kaca preparat, jumlah perubahan frinji N mengalami peningkatan seiring bertambahnya besar sinus sudut datang ϕ sinar laser He-Ne pada kaca preparat berlapis ZnO. Jumlah perubahan frinji N , akibat kaca preparat berlapis ZnO diputar

sebesar ϕ , mengalami peningkatan secara signifikan untuk $\sin \phi > 0,065$. Hanya saja, jumlah perubahan frinji N pada kaca preparat berlapis ZnO lebih besar bila dibandingkan dengan jumlah perubahan frinji N pada kaca preparat, seperti yang diperlihatkan dalam gambar 6. Peningkatan jumlah perubahan frinji N pada kaca preparat berlapis ZnO lebih besar daripada peningkatan jumlah perubahan frinji N pada kaca preparat tunggal, karena sinar laser He-Ne, yang menuju dan dari cermin-geser, melalui kaca preparat dan lapisan tipis ZnO yang diputar sebesar ϕ . Masing-masing bahan transparan tersebut memiliki indeks bias, berturut-turut, sebesar 1,470 [4] dan 1,922 [8]. Akibatnya, terdapat penambahan beda lintasan optis Δd dan peningkatan beda fase $\Delta \delta$ yang lebih besar antara kedua sinar laser He-Ne yang saling berinterferensi pada layar.

Timbulnya transisi frinji sebesar N pada layar tersebut (gambar 7), akibat suatu bahan transparan diputar sebesar $\phi = 1^\circ, 2, \dots, 10^\circ$ (dari 0° hingga ϕ) sehingga sudut datang sinar laser He-Ne dari *beam splitter* yang jatuh pada kedua bahan-transparan-uji berharga ϕ , mengindikasikan adanya perubahan beda fase $\Delta \delta$ antara kedua sinar laser He-Ne yang saling berinterferensi pada layar tersebut karena $N \propto \Delta d(\sin \phi) \propto \Delta \delta$. Perubahan $\Delta \delta$ tersebut mengalami peningkatan positif (bertambah besar) bila terdapat pemanjangan beda lintasan optis Δd .



Gambar 7. Sistem frinji untuk kaca preparat (a) pada $\phi = 0^\circ$ (b) pada $\phi = 6^\circ$



Gambar 8. Sistem frinji untuk kaca preparat berlapis ZnO (a) pada $\phi = 0^\circ$ (b) pada $\phi = 6^\circ$

Gambar 7 memperlihatkan bahwa untuk kaca preparat, cincin-cincin gelap dan terang dalam sistem frinji akhir, pada $\phi = 6^\circ$, kembali menempati daerah yang ditempati oleh cincin-cincin gelap dan terang dalam sistem frinji awal, pada $\phi = 0^\circ$. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah perubahan frinji N berkelipatan bilangan bulat, $N \pm \delta N = 6,0 \pm 0,5$, dan oleh karena itu, terdapat terdapat $\Delta \delta$ yang berkelipatan 2π . Seperti halnya gambar 7, tidak terdapat perbedaan antara sistem frinji awal, pada $\phi = 0^\circ$, dan akhir, pada $\phi = 6^\circ$ untuk kaca preparat berlapis ZnO seperti yang diperlihatkan dalam gambar 8. Hal ini mengindikasikan bahwa jumlah perubahan frinji N berkelipatan bilangan bulat, $N \pm \delta N = 6,0 \pm 0,5$, dan oleh karena itu, juga terdapat terdapat $\Delta \delta$ yang berkelipatan 2π .

Tebal lapisan tipis ZnO pada kaca preparat hasil penelitian ini, $(6,0 \pm 1,8) \times 10^{-5}$ m, lebih besar daripada yang diperoleh Muhamad Adi; yaitu $5,4 \times 10^{-5}$ m [4]. Hubungan jumlah perubahan frinji N hasil eksperimen terhadap sinus sudut datang ϕ sinar laser He-Ne pada kaca preparat berlapis ZnO digunakan untuk menentukan tebal lapisan ZnO x pada kaca preparat. Persamaan (2.8) digunakan dalam penentuan tebal lapisan tipis ZnO x dengan mensubstitusikan indeks bias referensi ZnO n_2 (1,922, [8]), indeks bias referensi kaca preparat n_1 (1,470 [4]), tebal kaca preparat t (10^{-3} m), panjang gelombang laser He-Ne λ yang digunakan ($0,633 \times 10^{-6}$ m) dan jumlah perubahan

frinji N (yang didapat dari percobaan) pada sinus sudut datang ϕ yang bersesuaian.

KESIMPULAN

Dari hasil dan pembahasan maka didapat kesimpulan sebagai berikut :

1. Transisi frinji atau jumlah perubahan frinji mengalami peningkatan seiring penambahan beda lintasan optis pada bahan transparan dan hasil teoritis sesuai dengan hasil eksperimen.
2. Tebal lapisan tipis ZnO pada kaca preparat hasil penelitian ini adalah sebesar $(6,0 \pm 1,8) \times 10^{-5}$ m.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Hummel, R.E., 1993, *Electronic Properties of Materials*, Springer-Verlag, New York
- [2] Larciprete, M.C., Passeri, D., Michelotti, F., Paoloni, S., Sibilina, C., Bertolotti, M., Belardini, A., Sarto, F., Somma, F., Lo Mastro, S., 2005, *Second Order Nonlinear Optical Properties of Zinc Oxide Films Deposited by Low Temperature Dual Ion Beam Sputtering*, Journal of Applied Physics, Nomor 97 : 23501
- [3] Eya, D.D.O, Ekpunobi, A.J., dan Okeke, C.E., 2005. *Structural and Optical Properties and Applications of Zinc Oxide Thin Films Prepared by Chemical Bath Deposition Technique*, The Pacific Journal of Science and Technology, Volume 6, Nomor 1 : 16 – 22
- [4] Adi, M., 2006, *Studi Efek Magneto Optis Pada Lapisan Tipis (ZnO) Menggunakan Interferometer Michelson*, Skripsi S1, Universitas Diponegoro, Semarang
- [5] Hecht, E., 1987, *Optics*, 2nd ed, Addison-Wesley Publishing Co., Reading, Mass.
- [6] Morgan, J., 1953, *Introduction to Geometrical and Physical Optics*, McGraw-Hill Book Company, Inc., New York
- [7] Jenkins, F.A. dan White, H.E., 1976, *Fundamentals of Optics*, 4th ed, McGraw-Hill, Inc., New York
- [8] <http://www.mticrystal.com/II-IV.html>. 25 Agustus 2006