

KAJIAN PEMBUATAN PROTOTIPE KAPASITIF-RESISTIF RH MIKROSENSOR BERBAHAN DIELEKTRIK Al_2O_3

Tjipto Sujitno

Badan Tenaga Nuklir Nasional

Iping Suhariadi, Kamsul Abraha

Jurusan Fisika, FMIPA, UGM

ABSTRAK

KAJIAN PEMBUATAN PROTOTIPE KAPASITIF-RESISTIF RH MIKROSENSOR BERBAHAN DIELEKTRIK Al_2O_3 . Telah dilakukan kajian pembuatan prototipe kapasitif-resistif RH mikrosensor berbahan dielektrik aluminium oksida (Al_2O_3). Pendeposisian lapisan tipis Al_2O_3 dilakukan melalui teknik DC Sputtering konvensional. Pengujian dengan UV/Visible Spectroscopy dilakukan untuk menyelidiki keadaan stoikiometri dan menentukan ketebalan dari lapisan tipis Al_2O_3 yang dihasilkan. Pengujian dengan difraksi sinar-X dilakukan untuk mengetahui efek dari variasi suhu substrat terhadap struktur kristal lapisan tipis Al_2O_3 . Hasil pengkarakterisasian dari ketiga sensor menunjukkan karakter yang sama dimana ketiga sensor tersebut sangat sensitif untuk kelembaban tinggi diatas 60% dengan respon waktu kurang dari 5 detik.

Kata kunci: lapisan tipis Al_2O_3 , DC sputtering, kapasitif-resistif RH mikrosensor

ABSTRACT

STUDY ON THE FABRICATION OF A PROTOTYPE OF CAPACITIVE-RESISTIVE RH MICROSENSOR FROM Al_2O_3 DIELECTRIC MATERIAL A study on the fabrication of capacitive-resistive relative humidity microsensor prototype has been performed. The deposition of Al_2O_3 thin films was done using conventional DC sputtering method. UV/Visible test was performed to investigate the stoichiometric of the thin films and to determine their thickness. X-Rays Diffraction analysis was performed to investigate the effect of substrate's temperature variation on crystal structure of Al_2O_3 thin films. Characterization result of three sensors showed the same character where all of them were found to be very sensitive for high relative humidity, i.e above 60%, with time responses were found to be less than 5 second.

Key words: Al_2O_3 thin films, DC sputtering, capacitive-resistive RH microsensor

PENDAHULUAN

Hingga saat ini penggunaan sensor kelembaban telah meningkat pesat dalam proses industri dan kontrol lingkungan seperti pada BMG, bidang kedokteran, bioteknologi, industri kertas dll. Karena kelembaban merupakan faktor lingkungan yang bersifat permanen, pengukuran dan pengontrolannya menjadi sangat penting, tidak hanya untuk kenyamanan manusia tetapi juga untuk bidang industri dan teknologi. Sejauh ini telah banyak publikasi artikel atas sensor kelembaban dengan tinjauan berupa mekanisme proses dan bahan (Arai dan Seiyama, 1992).

Al_2O_3 sebagai *porous material* sensitif terhadap uap air. Kemampuan aluminium oksida untuk mendeteksi kelembaban dikarenakan adanya konduksi ionik akibat adanya mekanisme Grotthuss. Secara umum Al_2O_3 memiliki 2 fase yaitu α - Al_2O_3 (*corundum*) dan γ - Al_2O_3 (*amorphous*). Bentuk amorf dari aluminium oksida (γ - Al_2O_3) memiliki

lebih dibandingkan bentuk korundumnya, yaitu memiliki porositas yang lebih tinggi sehingga lebih sensitif. Tetapi kelemahan γ - Al_2O_3 adalah kurang stabil sehingga mudah terdegradasi pada kelembaban normal, sedangkan α - Al_2O_3 adalah bentuk yang stabil (Chen dan Lu, 2005)

Metode pendeposisian Al_2O_3 sebagai bahan keramik yang lazim digunakan adalah dengan anodisasi, *electron beam evaporation*, dan *sputtering*. Untuk pendeposisian dengan metode *sputtering*, *dual magnetron mid frequency ac reactive sputtering* dan *pulsed dc reactive sputtering* dipandang sebagai metode terbaik dalam mendeposisikan bahan isolator dengan laju deposisi tinggi (Carter et al, 2006). Metode yang diusulkan dalam penelitian ini adalah dengan DC sputtering konvensional yang tersedia di PTAPB-BATAN.

Struktur tipe geometri elektroda interdigital digunakan pada prototipe kapasitif-resistif RH Mikrosensor kali ini. Berdasarkan penelitian sebe-

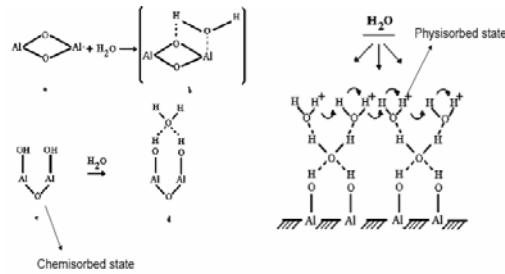
lumnya, ketika struktur tipe sandwich yang digunakan dimana bahan dielektrik Al_2O_3 diapit diantara dua elektroda, timbul permasalahan berupa short circuit, meskipun lapisan tipis Al_2O_3 telah benar-benar terbentuk diantara dua elektroda tersebut. Satu alasan yang mungkin adalah lapisan tipis Al_2O_3 yang terbentuk memiliki struktur pori-pori terbuka sehingga mengakibatkan short circuit (Chen et al, 1991).

TEORI

Pengukuran terhadap kelembaban menentukan jumlah uap air yang ada pada suatu gas yang dapat berupa campuran seperti udara, atau berupa gas murni seperti nitrogen atau argon. Berdasarkan teknik pengukurannya, satuan yang hampir selalu digunakan dalam pengukuran kelembaban adalah Kelembaban Relatif (RH), titik embun/beku (D/F PT) dan bagian perjuta (ppm). Kelembaban relatif (RH) merupakan perbandingan dari tekanan parsial uap air terhadap uap air jenuh suatu gas pada suhu tertentu.

Mekanisme penyerapan uap air pada permukaan aluminium oksida terdiri atas penyerapan secara kimia dan secara fisis. Penyerapan kimiawi uap air pada permukaan oksida melalui mekanisme disosiatif membentuk dua permukaan hidroksil untuk setiap molekul air, misalnya penyerapan grup hidroksil pada permukaan kation dan proton dari logam membentuk grup hidroksil kedua dengan sebuah ion O^{2-} permukaan yang berdekatan. Disisi lain, lapisan pertama uap air yang diserap secara fisis pada substrat hidroksilat terlokalisasi oleh ikatan hidrogen ganda dari sebuah molekul air tunggal.

Uap air yang diserap termampatkan pada permukaan dari bahan dan proton akan dihantarkan pada lapisan akuatik yang terbentuk. Di dalam air, proton adalah pembawa muatan dominan yang bertanggung jawab untuk konduktivitas listrik. Konduksi tersebut dikarenakan adanya mekanisme Grotthuss, yang mana proton menerobos dari satu molekul air ke molekul air lainnya melalui ikatan hidrogen. Jika lebih banyak lapisan yang mengalami kondensasi, keteraturan dari permukaan awal mungkin akan hilang secara perlahan dan proton akan memiliki lebih dan lebih lagi kebebasan untuk bergerak di bagian dalam lapisan air yang termampatkan melalui mekanisme Grotthuss. Hal ini berakibat pada berubahnya nilai tetapan dielektrik dan bertambahnya daya hantar listrik



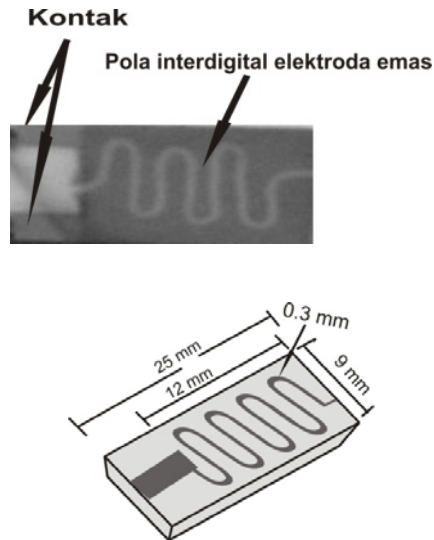
Gambar 1 Empat tahapan absorpsi (A) dan struktur multilayer dari air yang termampatkan (B) (Electronic Material II, 2004)

TATA KERJA DAN PERCOBAAN

Pertama, substrat alumina yang telah dipotong dengan ukuran $9 \text{ mm} \times 16.5 \text{ mm}$ dibersihkan menggunakan litrosome cleaner. Tahap pembersihan dimulai dengan merendam substrat alumina dalam larutan acetone, deterjen, acetone dan terakhir larutan ethanol, diikuti dengan pengeringan substrat menggunakan hair dryer selama 2 menit. Masing-masing tahap perendaman dilakukan selama 60 menit. Elektroda Au dideposisikan di atas substrat alumina melalui evaporasi termal dengan pola interdigital pada tekanan sekitar 1×10^{-7} mbar dan tegangan sekitar 60 volt. Substrat alumina yang telah terlapis elektroda emas ini dilapisi dengan lapisan tipis Al_2O_3 sebagai bahan penyensor dengan metode DC sputtering. Al_2O_3 berupa pellet dengan diameter $\pm 6 \text{ cm}$ dan tebal $\pm 1 \text{ cm}$ digunakan sebagai target. Selain substrat alumina tersebut, substrat kaca yang telah dibersihkan juga dimasukkan ke dalam substrat holder untuk memastikan keadaan visual stokiometri dari lapisan tipis Al_2O_3 yang terbentuk (keadaan stokiometri lapisan tipis Al_2O_3 seharusnya coklat transparan) (Li et al, 2006). Pendeposisian melalui DC sputtering dilakukan pada tekanan 5×10^{-2} torr, dengan tegangan deposisi 5×10^3 volt dan laju gas argon mencapai 30 ccm. Selama proses deposisi, medan magnet dihidupkan melalui solenoida eksternal untuk meningkatkan rapat arus dari ion. Pendeposisian dilakukan dengan variasi suhu substrat 200°C , 250°C dan 300°C masing-masing selama 1 jam. Selama proses deposisi berlangsung, tegangan deposisi berfluktuatif dan arus mengalami penurunan cukup signifikan akibat gejala *poisoning target*. Pada saat terjadi gejala *poisoning target*, laju gas argon terus ditambah secara bertahap untuk mempertahankan rapat arus dari ion.

UV/Visible Spectrofotometer digunakan untuk menganalisa sifat optis dan mengukur ketebalan dari lapisan tipis Al_2O_3 yang terbentuk. Struktur kristal dari lapisan tipis Al_2O_3 dikarak-

terisasi dengan standard difraksi sinar-X menggunakan sumber $\text{Cu } K \alpha$ (0.154 nm). Pengujian sensitivitas dari sensor kelembaban dilakukan di dalam desikator tertutup menggunakan *silica gel* sebagai pengering, dengan mengamati perubahan nilai kapasitansi dan resistansi terhadap perubahan kelembaban relatif yang diberikan pada suhu lingkungan 25°C dan 40°C.



Gambar 2. Desain prototipe sensor kelembaban

HASIL DAN PEMBAHASAN

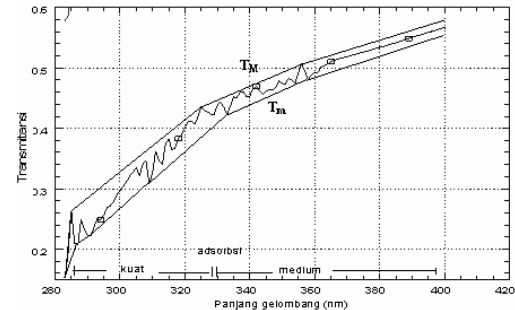
Sifat Optis Dari Lapisan Tipis Al_2O_3

Indeks bias dari lapisan tipis Al_2O_3

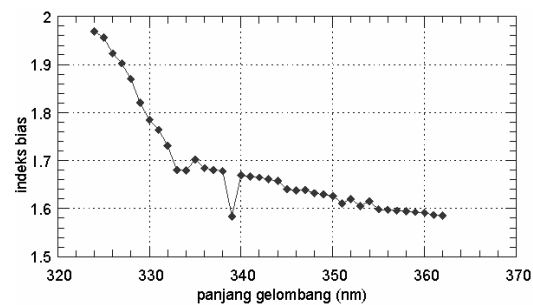
Selama proses pendeposisian lapisan tipis Al_2O_3 terjadi gejala *poisoning target*, seperti yang telah dijelaskan pada seksi sebelumnya. *Poisoning target* atau target dikatakan dalam keadaan teracuni merupakan suatu ungkapan untuk menggambarkan target sputtering yang tertutup dengan lapisan yang direaksikan, dan ketika teracuni sifat listrik dan fisis dari target mungkin dapat berubah (Carter et al, 2006). Penentuan indeks bias dari lapisan tipis Al_2O_3 yang terbentuk menjadi penting untuk menyelidiki sejauh mana perubahan sifat fisis dan listrik yang dialami lapisan tipis Al_2O_3 tersebut.

Dengan mengacu pada Gambar 3, dari hasil simulasi dapat diketahui bahwa spektrum transmisi dengan kenaikan tajam berada pada daerah 280 nm hingga 323 nm, sehingga daerah ini merupakan daerah dengan tingkat absorpsi kuat. Pada daerah absorpsi kuat, jari-jari interferensi tidak muncul, dan tidak ada cara untuk menghitung indeks bias (n) dan tingkat absorpsi (x) secara terpisah, karenanya perhitungan dengan menggunakan metode-metode

di atas akan memberikan hasil n dan x yang kurang sesuai (Swanepoel, 1983). Hal serupa ditunjukkan oleh nilai indeks bias n_1 , dimana untuk daerah $\lambda < 324$ nm nilai n_1 sangat besar ($n_1 > 2$). Oleh sebab itu, akar-akar persamaan kuadrat pertama (s_1 dan n_1) lebih tepat untuk digunakan dalam analisa.



Gambar 3. Grafik interpolasi spektrum transmisi film Al_2O_3 pada substrat kaca

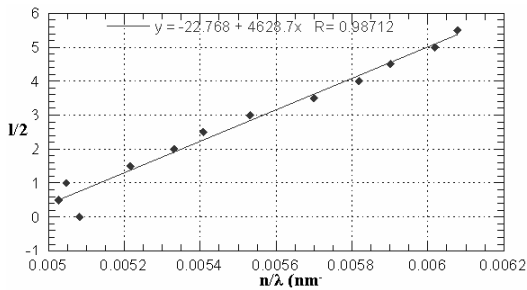


Gambar 4. Nilai indeks bias lapisan tipis untuk tiap-tiap panjang gelombang

Lapisan tipis Al_2O_3 dari hasil uji UV-Vis memberikan nilai indeks bias $n = 1.58-1.97$ (gambar 4). Berdasarkan literatur, nilai indeks bias untuk Al_2O_3 adalah $n = 1.65-1.77$ (Carter et al, 2006), dan nilai ini berbeda tipis dengan nilai indeks bias yang diperoleh. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa lapisan tipis Al_2O_3 yang terbentuk hasil dari sputtering berada dalam keadaan stoikiometri.

Pengukuran ketebalan dari lapisan tipis Al_2O_3

Untuk nilai $n(\lambda)$ yang sudah diketahui, maka ketebalan dari lapisan tipis dapat ditentukan dengan persamaan 11 dalam lampiran. Dari grafik (5) dapat diketahui bahwa nilai gradien dari grafik adalah 4628.7 dan menghasilkan nilai $d = 2.31 \mu\text{m}$. Dari titik potong grafik dengan sumbu y diketahui bahwa nilai $c = -22.77$ yang menghasilkan nilai orde pertama interferensi untuk titik ekstrim $m_0 = 23$.

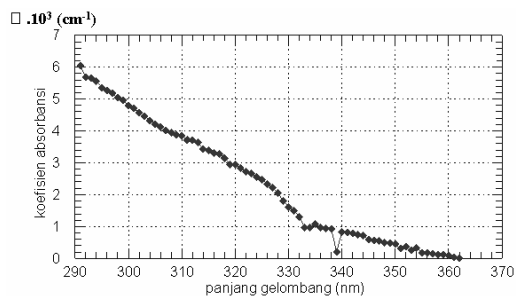


Gambar 5. Grafik n/λ vs $l/2$

Koefisien Absorpsi

Tipe spektrum absorpsi dari lapisan tipis Al_2O_3 dapat ditunjukkan pada Gambar 6 di bawah ini. Dari Gambar 6 tampak bahwa untuk daerah dengan panjang gelombang yang semakin pendek maka tingkat absorpsi semakin tinggi.

Penentuan sifat optis diatas dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya prosedur dalam pengolahan data. Kesalahan relatif pada nilai s sebesar 1% akan mengakibatkan kesalahan relatif 0.5% pada nilai n . Kesalahan 1% pada T_M akan menghantarkan kesalahan relatif n sebesar 0.5% untuk daerah absorpsi lemah, dan meningkat menjadi 1% untuk daerah absorpsi medium. Kesalahan relatif 1% pada T_m akan mengakibatkan kesalahan relatif n sebesar 1.5% pada daerah absorpsi lemah dan menjadi 3% pada daerah absorpsi medium (Swanepoel, 1983).



Gambar 6. Spektrum koefisien absorpsi dari Al_2O_3

Pengaruh dari suhu substrat

Pada penelitian ini dilakukan uji XRD terhadap struktur kristal dari lapisan tipis Al_2O_3 pada substrat kaca dengan suhu substrat $T=300^\circ\text{C}$ dan $T=250^\circ\text{C}$. Hasil dari uji XRD seperti tampak pada grafik 2θ vs intensitas di bawah ini. Dari Gambar 7 dapat diketahui kecenderungan hasil deposisi lapisan tipis Al_2O_3 yang lebih bersifat amorf. Namun, fenomena munculnya fase kristalin α dari Al_2O_3 sudah muncul, meski dengan tingkat

kekristalan yang kecil. Hal ini ditunjukkan dengan semakin tingginya puncak difraksi sinar X untuk suhu substrat yang semakin tinggi pada daerah sekitar $20\sim 68^\circ$ seperti yang terlihat pada gambar 7, dan dengan membandingkan hasil yang diperoleh dengan data JCPDS dapat diketahui fase α (*corundum*) dengan struktur kristal rhombohedral seperti yang terlihat pada Tabel 1.

Untuk puncak lain pada lapisan tipis Al_2O_3 dengan suhu substrat 300°C terdapat pada $2\theta\sim 20.99^\circ, 21.48^\circ, 22.82^\circ, 25.25^\circ, 25.71^\circ, 26.36^\circ, 27.07^\circ, 28.01^\circ, 32.16^\circ, 35.30^\circ, 38.86^\circ,$ dan 39.79° . Sedangkan pada lapisan tipis Al_2O_3 dengan suhu substrat 250°C , puncak-puncak yang lain terdapat pada $2\theta\sim 20.61^\circ, 21.48^\circ, 22.98^\circ, 30.58^\circ, 37.48^\circ, 50.98^\circ, 51.70^\circ$ dan 67.95° . Keberadaan puncak-puncak yang lain tersebut mengindikasikan keberadaan fase γ , fase θ atau fase κ dari Al_2O_3 . Untuk mengidentifikasi puncak-puncak tersebut secara lebih spesifik tidaklah mudah dikarenakan adanya tekanan terinduksi yang mudah mengubah puncak difraksi sinar-X (Li et al, 2000).

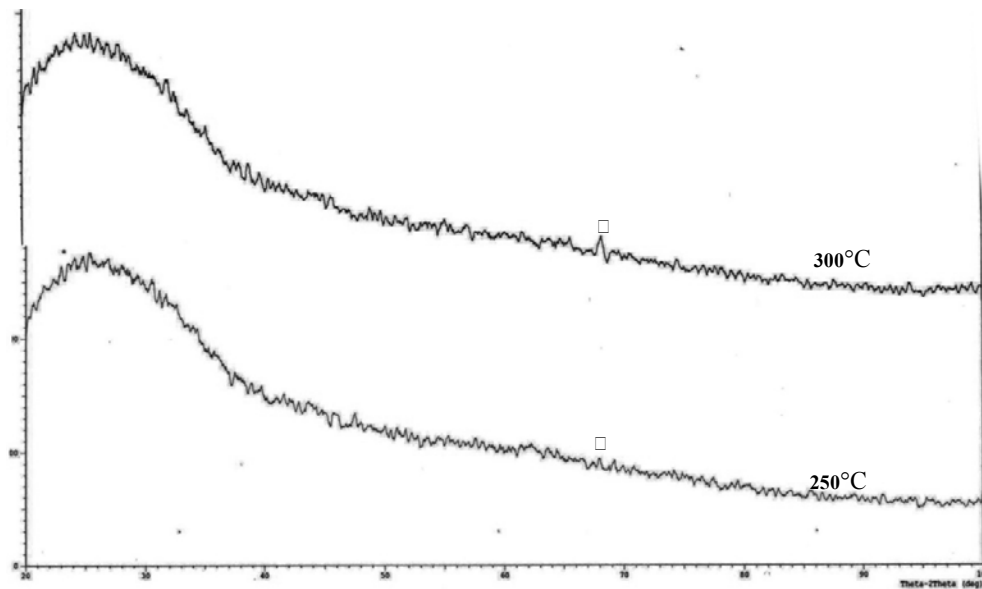
Dari tabel (1) di atas dapat dilihat bahwa untuk lapisan tipis Al_2O_3 dengan suhu substrat 300°C memiliki fase kristalin α lebih tinggi daripada lapisan tipis Al_2O_3 dengan suhu substrat 250°C , sehingga dapat disimpulkan suhu substrat mempengaruhi struktur kristal dari lapisan tipis Al_2O_3 . Semakin tinggi suhu substrat, maka lapisan Al_2O_3 yang dihasilkan akan semakin bersifat fase kristalin α . Untuk mengubah lapisan tipis Al_2O_3 dari amorf ke fase α diperlukan suhu minimal 800°C (Chen dan Lu, 2005), tetapi hal ini tidak dapat terpenuhi pada penelitian ini dikarenakan keterbatasan alat dimana pemanas substrat pada DC Sputtering hanya mampu memanaskan maksimal 400°C

Karakterisasi Sensor Kelembaban Dengan Bahan Dielektrik Al_2O_3

Pengaruh suhu karakterisasi terhadap lapisan tipis Al_2O_3

Pada penelitian juga dilakukan karakterisasi sensor yang telah dihasilkan pada suhu 40°C untuk menjajagi kemungkinan penggunaan sensor pada suhu luar ruangan serta mengkajinya. Hasil dari karakterisasi seperti yang tampak pada Gambar 8

Dari grafik 8a tampak bahwa sensor Al_2O_3 dapat mendeteksi kelembaban dari kelembaban relatif 90% hingga serendah 20% yang diberikan, baik untuk karakterisasi pada suhu 25°C maupun 40°C . Untuk grafik 8b menunjukkan karakteristik yang sama baik untuk karakterisasi pada suhu 25°C



Gambar 7. Hasil uji XRD untuk Al_2O_3 dengan suhu substrat $T=300^\circ C$ dan $T=250^\circ C$

Tabel 1. Data Indeks Miller fase $^\circ C$ dari lapisan tipis Al_2O_3

T substrat	Data yang diperoleh		Data JCPDS d(A)	h	k	l
	2 θ	d(A)				
1. 250 \square	$\sim 67.95^\circ$	1.3784	1.3743	3	0	0
2. 300 \square	~ 68.19	1.3742	1.3743	3	0	0

maupun $40^\circ C$, dimana grafik cenderung menurun untuk RH 90% hingga 50% dan bernilai konstan untuk RH kurang dari 50%, sehingga disimpulkan daerah pendeteksian sensor dengan suhu substrat $250^\circ C$ berada pada kelembaban di atas 50%.

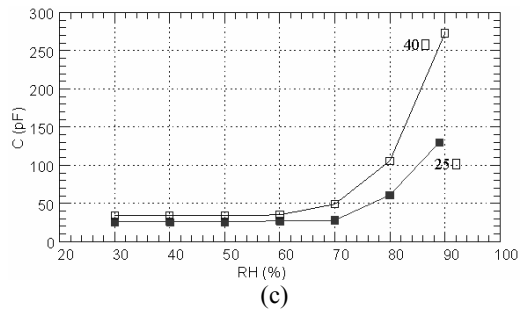
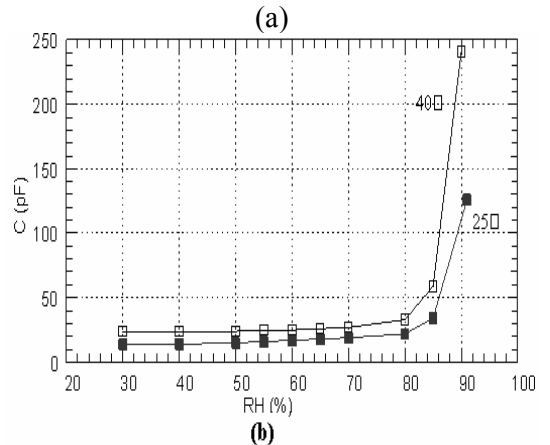
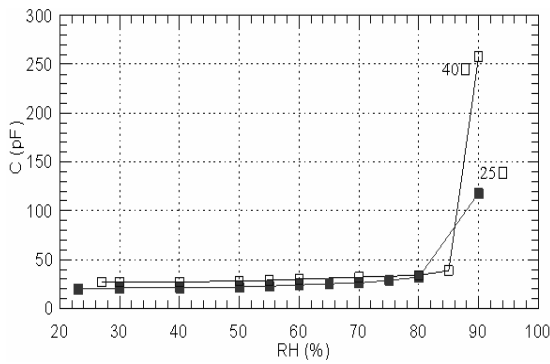
Sedangkan grafik 8c untuk pengkarakterisasian pada suhu $25^\circ C$ dan $40^\circ C$ menunjukkan perubahan nilai grafik hanya berada pada kelembaban relatif 60 hingga 90%, dan bernilai konstan untuk RH kurang dari 60%. Hal ini mengindikasikan sensor dengan suhu substrat $300^\circ C$ tidak mampu mendeteksi kelembaban di bawah 60%.

Pada Gambar 9 di bawah ini dapat diamati bahwa semakin kecil nilai RH maka nilai R akan semakin tinggi. Hal ini berbeda dengan grafik 8 di atas dimana nilai C akan menurun untuk nilai RH yang semakin kecil. Hal ini dapat dipahami karena hambatan berbanding terbalik dengan kapasitansi. Tetapi untuk nilai output sensor berupa resistansi

menunjukkan karakterisasi yang lebih baik dari nilai output berupa kapasitansi karena dari grafik RH versus R di atas, ketiga sensor menunjukkan nilai R yang berubah di setiap nilai RH yang diberikan, sehingga dapat dikatakan ketiga sensor mampu mendeteksi kelembaban untuk daerah kelembaban hingga di bawah 50%. Untuk daerah RH di atas 50%, pengkarakterisasian tidak dapat dilakukan karena keterbatasan alat ukur yang hanya mampu membaca hambatan maksimal $2000 M\Omega$.

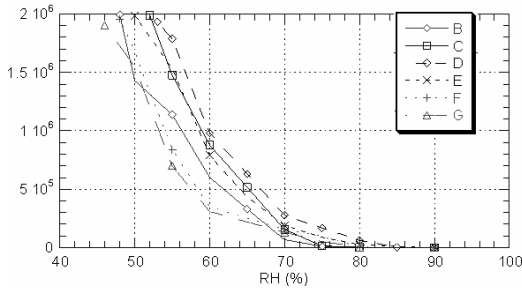
Pengkarakterisasian dengan variasi suhu baik untuk nilai R maupun C menunjukkan perilaku yang sama, dimana nilai C lebih tinggi dan nilai R lebih rendah untuk karakterisasi pada suhu $40^\circ C$ dibandingkan dengan nilai R dan C pada suhu $25^\circ C$. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu lingkungan karakterisasi, maka semakin banyak uap air di udara dan tingkat kelembabannya semakin tinggi pula.

Ditinjau dari segi pengaruh suhu substrat terhadap sensitivitas sensor, dari grafik 8 dapat dilihat bahwa sensor dengan suhu substrat lebih rendah, yaitu 200°C memiliki sensitivitas hampir diseluruh RH yang diberikan. Hal ini dapat dipahami berdasarkan data hasil uji XRD dimana lapisan Al₂O₃ dengan suhu substrat lebih rendah cenderung bersifat amorf (sedikit fase α yang dimiliki). Untuk sensor kelembaban dengan fase kristalin, umumnya mekanisme konduksi murni didasarkan pada konduksi proton dari air yang tidak cukup sensitif untuk kelembaban rendah, dimana uap air jarang membentuk lapisan-lapisan yang dapat bergerak secara kontinu pada permukaan sensor. Sedangkan untuk wujud amorf, terjadi efek penerobosan elektron diantara situs air donor. Pada efek penerobosan, yang bersamaan dengannya energi terinduksi oleh anion permukaan, memfasilitasi elektron untuk melompat di sepanjang permukaan yang tertutup oleh oleh lapisan yang tak bergerak dan karenanya memberikan kontribusi terhadap konduktivitas. Mekanisme ini cukup membantu untuk mendeteksi tingkat kelembaban yang rendah, dimana pada kelembaban rendah mekanisme konduksinya bukanlah konduksi proton yang efektif (Chen dan Lu, 2005).



- (a) Lapisan tipis Al₂O₃ suhu substrat 200°C
- (b) Lapisan tipis Al₂O₃ suhu substrat 250°C
- (c) Lapisan tipis Al₂O₃ suhu substrat 300°C

Grafik 8. Grafik kapasitansi versus kelembaban relatif untuk variasi suhu karakterisasi

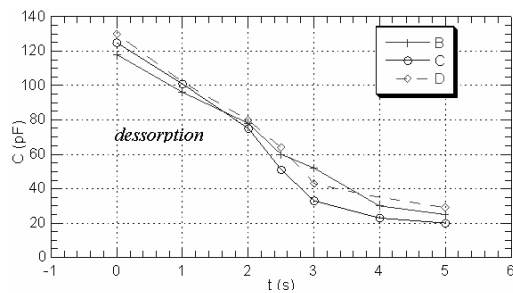


- (a) lapisan tipis Al₂O₃ suhu substrat 200°C pada karakterisasi 25°C (F) dan 40°C (G)
- (b) lapisan tipis Al₂O₃ suhu substrat 250°C pada karakterisasi 25°C (C) dan 40°C (B)
- (c) lapisan tipis Al₂O₃ suhu substrat 300°C pada karakterisasi 25°C (D) dan 40°C (E)

Gambar 9. Grafik perubahan nilai resistansi terhadap perubahan kelembaban relatif untuk

Waktu tanggap dari sensor

Waktu tanggap didefinisikan sebagai kemampuan sensor untuk mencapai nilai 90% dari nilai akhir yang diberikan (Elizabeth et al, 2002). Berdasarkan data baik dari grafik (8) maupun grafik (9), ketiga sensor menunjukkan karakteristik yang sama baik pengkarakterisasian pada suhu 25°C maupun 40°C, dimana nilai pada sumbu y mengalami perubahan secara drastis untuk RH lebih dari 60%. Oleh karena itu, pengujian waktu tanggap dilakukan pada RH 60% hingga 90%. Hasil dari pengujian seperti yang tampak pada Gambar 10 menunjukkan bahwa waktu tanggap dari ketiga sensor untuk daerah ini kurang dari 5 detik. Dapat disimpulkan bahwa ketiga sensor sangat sensitif untuk kelembaban tinggi (lebih dari 60%).



Gambar 10. Grafik respon waktu dari ketiga sensor Al_2O_3 dengan suhu substrat 200°C (B), 250°C (C), dan 300°C (D)

KESIMPULAN

Telah ditunjukkan bahwa metode DC sputtering konvensional mampu mendeposisikan lapisan tipis Al_2O_3 meski terjadi penurunan tegangan deposisi secara signifikan selama proses berlangsung, dan lapisan tipis Al_2O_3 yang dihasilkan dari metode ini masih berada dalam keadaan stoikiometrinya. Berdasarkan data uji XRD, Fase kristalin α Al_2O_3 optimum dapat dicapai melalui optimasi suhu substrat. Dari hasil di atas, pengkarakterisasian nilai resistansi dari sensor menunjukkan hasil yang lebih menggembarakan daripada pengkarakterisasian nilai kapasitansi dari ketiga sensor, dimana pada pengkarakterisasian berupa nilai resistansi menunjukkan bahwa ketiga sensor dapat merespon perubahan kelembaban relatif hingga di bawah 50%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arai H. dan Seiyama T., 1992, "Humidity sensors", *Sensors, A Comprehensive Survey Volume 3*, Chemical and Biochemical Sensors Part II, Germany
- [2] 2004, "Humidity sensor", *Electronics Materials II*, Korea University
- [3] D.C Carter, W. D. Sproul, dan D. J. Cristie, 2006, "Effective control for reactive sputtering process", *Vacuum Technology and Coating* www.vactechmag.com
- [4] Li Quan, Y. H. Yu, C. S. Bathia, L. D. Marks, S. C. Lee, dan Y.W. Chung, 2000, "Low temperature magnetron sputter-deposition, hardness, and electrical resistivity of amorphous and crystalline alumina thin films", *J. American Vacuum Society*

- [5] Swanopoeel R., 1983, "Determination of thickness and Optical Constant of Amorphous Silicon", *J. Phys. E.Sci. Instrument*, vol 16
- [6] Z. Chen dan Lu C., 2005, "Humidity sensors: A review of materials and mechanisms", *Sensors Letters*.3, 274-295
- [7] Z. Chen, M. C. Jin, dan G. Chen, 1991, *J. Am. Ceram. Soc.* 74, 1325

TANYA JAWAB

Lilis Susanti

- Se jauh ini apakah sudah ada contoh mass production pembuatan microsensor berbahan dielektrik Al_2O_3 tersebut?
- Selain teknik DC sputtering konvensional yang dibandingkan dengan untuk kajian ini? Keunggulan, kelemahan dan syarat aplikasi apa saja (untuk DC sputtering ini)

Iping Suhariadi

- Se jauh yang saya ketahui pembuatan microsensor berbahan dielektrik Al_2O_3 telah banyak dilakukan diluar negeri, tetapi untuk di Indonesia kajian tentang Al_2O_3 , saya kurang tahu

LAMPIRAN

Rumus dalam penentuan sifat optis dan pengukuran ketebalan

$$T = \frac{2s}{s^2+1} \quad (1)$$

$$T = T(\lambda, s, n, d, \alpha) \quad (2)$$

$$T = \frac{Ax}{B-Cx\cos\varphi+Dx} \quad (3)$$

dimana $A=16n^2s$ (4a)

$$B=(n+1)^3(n+s^2) \quad (4b)$$

$$C=2(n^2-1)(n^2-s^2) \quad (4c)$$

$$D=(n-1)^3(n-s^2) \quad (4d)$$

$$\varphi=4\pi nd/\lambda \quad (4e)$$

$$x=\exp(-\alpha d) \quad (4f)$$

Dengan menggunakan bentuk ini, jejari interferensi yang melalui titik-titik ekstrim pada spektrum ($\cos\varphi=\pm 1$) didefinisikan sebagai

$$T_M = \frac{Ax}{B-Cx+Dx^2} \quad (5a)$$

$$T_m = \frac{Ax}{B+Cx+Dx^2} \quad (5b)$$

Pada daerah absorpsi lemah dan medium, nilai $\alpha \neq 0$ dan $x < 1$, pengurangan timbal balik antara persamaan (IV.5a) dengan persamaan (IV.5b) memberikan persamaan yang takbergantung x

$$\frac{1}{T_m} - \frac{1}{T_M} = \frac{2C}{A} \quad (6)$$

$$n = [N + (N^2 - s^2)^{1/2}]^{1/2} \quad (7)$$

$$N = 2s \frac{T_M - T_m}{T_M T_m} + \frac{s^2 + 1}{2} \quad (8)$$

$$2nd = m\lambda \quad (9)$$

$$2nd = (m_0 - l/2)\lambda \quad (10)$$

$$\frac{l}{2} = 2d \left(\frac{n}{\lambda} \right) - m_0 \quad (11)$$

dimana l adalah integer = 0,1,2,... dan m_0 adalah orde tak dikenal dari jari interferensi pada spektrum yang diukur, n merupakan indeks bias lapisan tipis, d adalah tebal dari lapisan tipis, α adalah koefisien absorpsi dan bernilai $\alpha = 4\pi k/\lambda$, k adalah koefisien ekstingsi, T_M merupakan fungsi yang melewati puncak-puncak spektrum, sedangkan T_m adalah fungsi yang melewati lembah-lembah pada spektrum.