

STUDI FABRIKASI ISOLATOR SILIKON DIOKSIDA (SiO₂) BERBASIS LAPISAN TIPIS MENGGUNAKAN TEKNIK PLASMA GLOW DISCHARGE

Sri Agustini Sulandari, Lely Susita Dwi Murwani

Pendidikan Fisika, JPMIPA FKIP Universitas Sanata Dharma Yogyakarta, Badan Tenaga Nuklir Nasional Yogyakarta
Kampus III Jl. Paingan Maguwoharjo Sleman Yogyakarta, Jl Babarsari Sleman Yogyakarta
agustfis@usd.ac.id

Abstrak – Telah dilakukan penelitian tentang pengaruh parameter plasma oksidasi pada proses pembentukan lapisan tipis isolator silikon dioksida (SiO₂) dengan plasma lucutan pijar. Lapisan yang terbentuk dikarakterisasi sifat elektriknya menggunakan probe empat titik (FPP), sifat struktur mikro, komposisi kimia, maupun pengukuran ketebalan lapisan tipis menggunakan Scanning Electron Microscope (SEM) yang dikopel dengan Energy Dispersive X-Rays Spectroscopy (EDX). Agar proses pembentukan lapisan tipis lebih cepat, silikon harus dietsa/dicuci dengan larutan etsa. Akan tetapi etsa ini berdampak mengubah silikon yang awalnya tipe P menjadi N. Lapisan isolator terbentuk pada temperatur sekitar 500°C, dengan waktu proses hingga 5 jam, yang ditandai dengan resistivitas irisannya E30 (∞) (tahanan tidak terukur). Indikasi terbentuknya lapisan oksida juga diperkuat dari analisis struktur mikro maupun analisis komposisi kimia. Pada kondisi P=1,4 mbar, V=1026 volt, I=725 mA, T= 502 °C, t=5 jam kandungan Si = 46,74 mass% dan O= 53,26 mass%. Pada kondisi tersebut ketebalan lapisan oksida sekitar 0,4 μm

Kata kunci: lucutan pijar, lapisan tipis, resistivitas, probe empat titik.

Abstract – Parameter effect of oxidation plasma in the formation process of Silikon dioxide (SiO₂) thin layer with plasma glow discharge have been studied. The layer formed was characterized electrical properties using four point probe (FPP), micro structure properties, chemical composition, as well as measurement of thin layer thickness using Scanning Electron Microscope (SEM) that was coupled with Energy Dispersive X-Rays Spectroscopy (EDX). In order to thin layer formation process was faster, silikon had to be etched/washed with etsa solution. Although this etsa was impact to change silikon that previous type P to N. Isolator layer was formed in temperature of 500°C, with process time until 5 hours, that marked with resistivity slice E30 (∞) (unmeasurement resistant). Indication of oxide layer formation was strengthened from micro structure analysis or chemical composition analysis. In condition of P=1,4 mbar, V=1026 volt, I=725 mA, T= 502 °C, t=5 hours, containing of Si = 46,74 mass% and O= 53,26 mass%. In that condition, oxide layer thickness approximately was 0,4 μm

Key words: glow discharge, thin layer, resistivity, four point probe.

I. PENDAHULUAN

Lapisan tipis adalah suatu lapisan yang sangat tipis dari bahan organik, anorganik, metal maupun campuran metal-organik yang memiliki sifat konduktor, semikonduktor, superkonduktor maupun insulator. Aplikasi lapisan tipis saat ini telah menjangkau hampir semua bidang, baik dalam pembuatan piranti elektronika seperti kapasitor, transistor, fotodetektor, sel surya silikon amorf, rangkaian hybrid dan teknologi bidang elektronika; bidang optik dalam pembuatan lapisan antirefleksi, filter interferensi, cermin reflektor tinggi, kaca mata pelindung cahaya dan transmisi daya tinggi; maupun bidang mekanik dalam pembuatan lapisan keras sebagai bahan pelindung terhadap keausan dan anti korosi. Dengan melakukan variasi parameter plasma lucutan pijar (*glow discharge*) pada proses deposisi maupun modifikasi sifat-sifat lapisan tipis selama deposisi, dapat diperoleh suatu sifat luar biasa yang tidak mungkin terdapat pada *bulk materials* [1]

Sejak tahun 1950 lapisan tipis telah dipelajari secara luas yang berkaitan dengan aplikasinya untuk

membuat piranti elektronika. Pada awal tahun 1960 Weiner mengusulkan transistor lapisan tipis (TFT: *thin film transistor*) yang menggunakan lapisan tipis SiO₂ sebagai insulator pada transistor tersebut. Silikon oksida (SiO₂) digunakan sebagai *gate dielectric* karena bentuk non kristal (*amorphous*) yang sesuai untuk insulator, dengan daya tahan terhadap medan listrik yang tinggi (sekitar 10 MV/cm), kestabilan terhadap panas dan bahan mentah yang melimpah ruah dan *surface roughness* yang rendah.

Kemajuan terakhir dari piranti-piranti lapisan tipis berbasis silikon adalah berkembangnya teknologi *Si-Large Scale Integration* (LSI), termasuk proses penumbuhan lapisan tipis, *microfabrication*, dan teknologi analisis permukaan dan antar muka lapisan tipis.

Beberapa metode yang dapat digunakan untuk penumbuhan lapisan tipis antara lain CVD (*Chemical Vapor Deposition*), MOCVD (*Metal Organic Chemical Vapor Deposition*), Sputtering, ion planting, plasma lucutan pijar dan lain-lain [2] Keunggulan teknik plasma lucutan pijar dibandingkan dengan teknik yang lain adalah prosesnya

lebih cepat, dan bersih karena dilakukan dalam ruang hampa serta mudah dikontrol. Dalam penelitian ini diijazki kemungkinan dapat difabrikasi lapisan tipis SiO₂ yang bersifat insulator dengan teknik plasma lucutan pijar diatas substrat Si dan mengoptimasi parameter penumbuhan lapisan tipis yang baik.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Penumbuhan Lapisan Tipis Dengan Teknik Plasma Lucutan Pijar

Teknik plasma lucutan pijar merupakan cara untuk membuat lapisan tipis dengan menggunakan lucutan pijar gas (*glow discharge*) pada tekanan antara 10⁻³- 10 torr. Kelebihan dari teknik plasma lucutan pijar dibanding teknik yang lain adalah prosesnya sederhana, pengoperasian mudah, menghasilkan lapisan tipis yang keras dan bersih tidak terpengaruh oleh gas-gas lain karena dilakukan dalam ruang (tabung) hampa [3]

Plasma didefinisikan sebagai gas yang diionisasikan dengan medan frekwensi radio (RF), medan DC atau gelombang mikro didalam bejana (reaktor) yang bertekanan rendah (10⁻³ – 10 torr). Kemudian ion-ion yang terbentuk oleh karena pengaruh medan listrik menuju ke permukaan substrat yang akan dilapisi dan selanjutnya akan berdifusi ke tempat yang lebih dalam. Apabila elektroda di dalam reaktor plasma diberi tegangan listrik sebesar V volt, akan terjadi ionisasi elektron yang mengumpul pada elektroda, sedang ion-ion positif akan banyak berada di ruang antara anoda dan katoda [3]

Terbentuknya plasma sangat dipengaruhi oleh beberapa parameter yaitu aliran tekanan gas, temperatur substrat, tegangan elektroda, daya RF, frekwensi, waktu, dan suhu yang digunakan selama proses perlakuan.

Proses pertumbuhan lapisan tipis melibatkan 3 tahapan utama, yaitu: (1), pembentukan dari jenis ion, atom atau molekul, (2), pemindahan jenis ion, atom atau molekul ke substrat melalui medium, (3), kondensasi lapisan pada substrat secara langsung atau melalui reaksi kimia dan reaksi elektrokimia untuk membentuk endapan padat. Pembentukan suatu lapisan tipis melalui proses nukleasi dan pertumbuhan [4]

Sifat listrik dari suatu penghantar dapat dicirikan dari resistivitas (ρ) yang berbanding terbalik konduktivitas (σ). Keduanya merupakan besaran-besaran volumetrik yang menggambarkan kualitas (baik atau buruknya) suatu bahan penghantar listrik [5]

Bila pada ujung-ujung semikonduktor dihubungkan dengan beda potensial V maka akan timbul medan listrik pada setiap titik di dalam semikonduktor tersebut yang menghasilkan arus listrik I.

Besar arus listrik yang mengalir pada semikonduktor ditunjukkan oleh persamaan 1 ;

$$I = \frac{\sigma A}{d} V \quad (1)$$

Karena $R = \frac{d}{\sigma A}$, dan $\rho = \frac{1}{\sigma}$, maka diperoleh hubungan antara ρ , A, d dan R seperti pada persamaan 2:

$$\rho = \frac{A}{d} R \quad (2)$$

Bahan Semikonduktor

Semikonduktor adalah bahan yang memiliki nilai resistivitas (ρ) antara bahan isolator dan konduktor. Sedangkan isolator adalah bahan yang tidak dapat menghantarkan listrik dengan baik atau bahan yang mempunyai nilai resistivitas elektrik yang tinggi. Perbedaan nilai resistivitas bahan-bahan tersebut dapat dilihat pada Tabel .1 [6].

Tabel 1. Nilai resistivitas bahan semikonduktor, konduktor dan isolator

Sifat Bahan	Resistivitas, ρ (Ω .m)	Contoh Bahan
Isolator	10 ¹⁰ - 10 ¹²	Plastik dan karet
Semikonduktor	10 ⁻³ – 10 ⁶	Silikon dan germanium
konduktor	10 ⁻⁸	Logam

Bahan semikonduktor dapat digolongkan dalam 2 jenis, yaitu semikonduktor intrinsik dan semikonduktor ekstrinsik [7]

Semikonduktor intrinsik sifat kelistrikkannya ditentukan oleh sifat-sifat alami yang melekat pada unsur itu sendiri.

Semikonduktor ekstrinsik dibagi menjadi 2 macam, yaitu. Apabila jumlah elektron dalam pita konduksi jauh lebih besar daripada jumlah lubang dalam pita valensi, dalam hal ini elektron sebagai pembawa muatan mayor, maka semikonduktor ini disebut semikonduktor tipe-n. Apabila jumlah elektron dalam pita konduksi lebih kecil daripada jumlah lubang dalam pita valensi, dalam hal ini hole sebagai pembawa muatan, maka semikonduktor ini disebut semikonduktor tipe-p.

Perbedaan mendasar antara logam dan semikonduktor adalah untuk logam unipolar berarti menghantarkan arus hanya dengan muatan-muatan (elektron-elektron) yang mempunyai satu tanda saja, sedangkan semikonduktor adalah bipolar (mengandung pembawa-pembawa arus dengan muatan yang berlawanan). Dalam semikonduktor, satu pembawa negatif (elektron) mempunyai mobilitas μ_n dan yang lain positif (lubang) dengan mobilitas μ_p . Partikel-partikel ini bergerak dalam arah yang berlawanan dalam medan listrik ϵ , oleh karena itu rapat arus J memenuhi persamaan 3:

$$J = (n\mu_n + p\mu_p) q\epsilon = \sigma\epsilon \quad (3)$$

dengan : n = konsentrasi elektron bebas (muatan negatif)

p = konsentrasi lubang (muatan positif)

σ = konduktivitas

Oleh karena itu $\sigma = (n\mu_n + p\mu_p) q$, untuk semikonduktor murni $n = p = n_i$, dimana n_i adalah konsentrasi intrinsik. Dengan naiknya temperatur, rapat pasangan elektron lubang naik dan sejalan dengan itu konduktivitas juga naik, sehingga konsentrasi n_i berubah

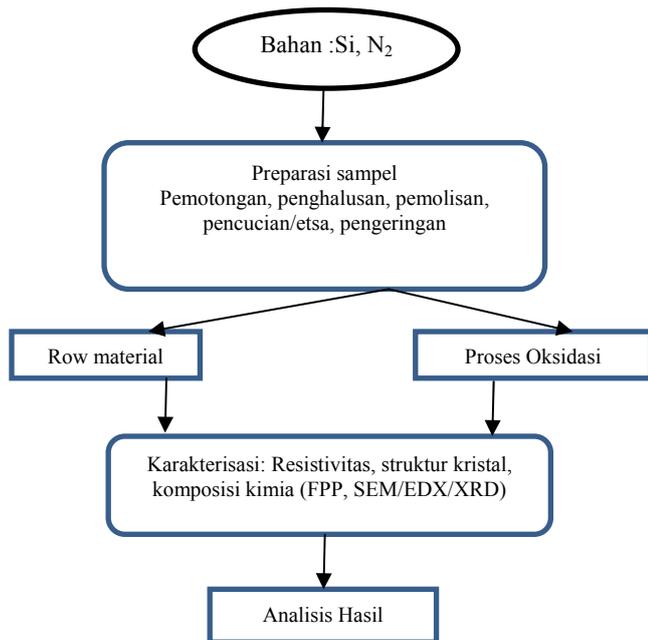
dengan berubahnya temperatur T, yang dirumuskan seperti pada persamaan 4 :

$$n_i^2 = A_o T^3 e^{-\frac{E_{go}}{kT}}$$

(4) dengan E_{go} adalah energi celah pada 0°K dalam eV, k adalah konstanta Boltzman dalam eV/°K dan A_o konstanta yang bergantung pada temperatur T.

III. METODE PENELITIAN/EKSPERIMEN

Tahapan dalam penelitian ini disajikan pada diagram alir Gambar 1



Gb1: Diagram alir tahapan Penelitian

Proses etsa pada preparasi sampel, dilakukan dengan larutan etsa dengan komposisi H₂O₂:H₂O:HCl = 20 cc :20 cc: 20 cc. Sampel dioksidasi dengan alat plasma lucutan pijar yang sudah dilengkapi dengan alat kecepatan aliran gas dan pengukur suhu. Sampel row material baik yang dietsa maupun tidak, dan sampel yang sudah dioksidasi, dikarakteristisasi melalui resistivitas, struktur kristal dan komposisi kimia dengan FPP, SEM/EDX maupun XRD. Terjadi isolator apabila semua pengukuran resistivitasnya tidak terukur, ditandai dengan hasil E30(∞).

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil pengukuran sifat elektrik menggunakan alat Probe Empat Titik (FPP) untuk silikon murni, yang dietsa maupun non etsa, serta yang telah diplasma oksidasi disajikan pada Tabel 2 dan Tabel 3 , sedang struktur mikro maupun komposisi kimia, serta ketebalan lapisan tipis SiO₂ disajikan pada gambar 2 sampai dengan gambar 4.

Tabel 2. Hasil Pengukuran Sifat Eleketrik untuk Silicon Yang Dietsa Maupun Non Etsa Sebelum di Treatment

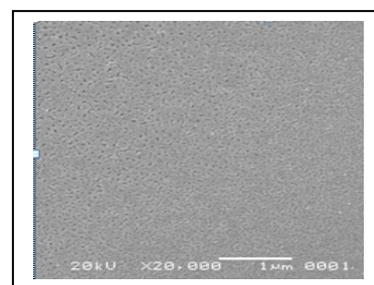
Kondisi	V/I	Sheet	Slice	Thick	T
---------	-----	-------	-------	-------	---

Keping	Ω	Ω/cm ²	Ω-cm	Å	
Tanpa etsa NonTreatment	0,714×10 ²	0,309×10 ⁶	0,822×10 ⁰	0,324×10 ³	P
Dietsa dengan larutan	0,870×10 ¹	0,253×10 ⁷	1,002×10 ¹	0,394×10 ³	N

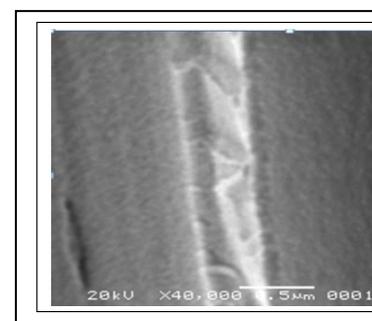
Tabel 3. Hasil Pengukuran Sifat Elektrik untuk Silicon yang telah dietsa dan telah diplasma Oksidasi untuk berbagai variasi parameter proses (SiO₂, dietsa)

Parameter Nitridasi	V/I Ω	Sheet Ω/cm ²	Slice Ω-cm	Thick Å	
P=1,4 mbar, V=648 volt, I=328 mA, T= 503 °C, t=30 menit	0,585×10 ³	0,377×10 ⁵	0,673×10 ¹	0,265×10 ³	P
P=1,4 mbar, V=395 volt, I=57 mA, T=201 °C, t=20 menit	1,179×10 ²	1,872×10 ⁵	1,357×10 ⁰	0,534×10 ³	N
P=1,4 mbar, V=1086volt, I=708 mA, T= 502 °C, t=1 jam	0,890×10 ²	0,248×10 ⁶	1,025×10 ⁰	0,404×10 ³	N
P=1,6 mbar, V=905 volt, I=820 mA, T= 503°C, t=1 jam	0,854×10 ⁵	0,378×10 ⁶	0,960×10 ³	0,265×10 ³	P
P=1,6 mbar, V=902 volt, I=774 mA, T= 501 °C, t=1,5 jam	0,467×10 ⁵	0,212×10 ⁶	0,537×10 ³	0,473×10 ³	P
P=1,4mbar, V=1026 volt, I=725 mA, T= 502 °C, t=5 jam	E30 (~)	E30 (~)	E30 (~)	0,450×10 ⁴	

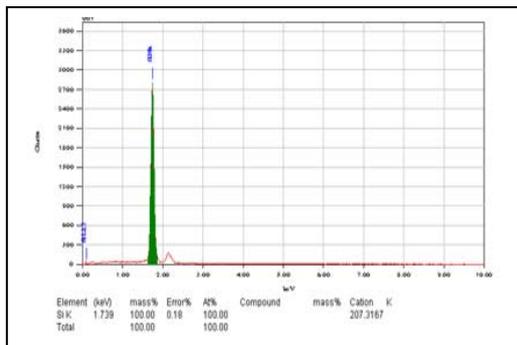
HASIL PENGAMATAN STRUKTUR MIKRO DAN ANALISA KOMPOSISI/UNSUR



Gb. 2. Struktur mikro permuk Silicon dioksida,, 20.000 X



Gb. 3 Struktur mikro potongan melintang dari Silicon Dioksida (SiO₂), hasil plasma oksidasi pada kondisi P=1,4 mbar, V=1026 volt, I=725 mA, T= 502 °C. t=5 iam



Gb. 4. Komposisi Kimia permukaan Silikon Dioksida (SiO₂), yang di plasma oksidasi pada kondisi P=1,4 mbar, V=1026 volt, I=725 mA, T=502 °C, t=5 jam dengan Si = 46,74 mass% dan O= 53,267 mass%

Pembahasan

Dari eksperimen yang telah dilakukan, dapat dihasilkan data seperti pada tabel 1 dan 2 untuk uji resistivitas, dan Gambar 2, 3 dan 4 untuk uji struktur mikro dan komposisi bahan. Data dianalisis hasilnya adalah;

- Untuk silikon yang tidak di etsa ternyata pertumbuhan oksida sangat lambat. Hal ini dikarenakan secara alami pada permukaan silikon akan terbentuk lapisan oksida yang sangat tipis, yang kalau tidak dicuci/dietsa akan menjadi *barrier*/penghambat difusi atom oksigen. Disisi lain ternyata dengan perlakuan etsa/cuci, tipe konduksi dari silikon yang digunakan yang awalnya tipe P menjadi N. Ini dimungkinkan karena saat dilakukan etsa, atom-atom phosphor sebagai doping dan yang menjadikan silikon bertipe P ikut terlarut atau bereaksi dengan bahan etsa, sehingga saat dioksidasi, atom-atom oksigen yang bervalensi 3 dan 4 berperilaku sebagai doping sehingga silikon berubah menjadi tipe N. Tetapi apabila dilakukan penambahan oksigen maka lama-kelamaan, pada permukaan silikon akan terbentuk lapisan tipis silikon dioksida yang bersifat isolator.
- Dari data eksperimen, terlihat bahwa temperatur sangat dominan dalam pembentukan lapisan isolator. Pada temperatur sekitar 500°C, perubahan slice resistivity mulai terasa yaitu dari yang awalnya orde satuan Ω-cm menjadi orde

ribuan, Perubahan besaran tersebut dicapai dalam kurun waktu 30 menit hingga 1,5 jam. Tetapi apabila prosesnya diperlama hingga 5 jam, ternyata silikon telah berubah menjadi isolator yang ditandai dengan E30 (∞) yang artinya tahanan tidak terukur atau tidak terhingga.

- Indikasi terbentuknya lapisan oksida juga diperkuat dari analisis struktur mikro maupun analisis komposisi kimia menggunakan SEM-EDX yang untuk SiO₂ pada kondisi P=1,4 mbar, V=1026 volt, I=725 mA, T= 502 °C, t=5 jam kandungan Si = 46,74 mass% dan O= 53,267 mass% Pada kondisi tersebut ketebalan lapisan oksida sekitar 0,4 μm

V. KESIMPULAN

Terbentuk isolator SiO₂ pada kondisi P=1,4 mbar, V=1026 volt, I=725 mA, T= 502 °C, t=5 jam kandungan Si = 46,74 mass% dan O= 53,267 mass% Pada kondisi tersebut ketebalan lapisan oksida sekitar 0,4 μm

PUSTAKA

Artikel

- [1] **Suryadi., (2003)**, Fisika Plasma, Workshop *Sputtering Untuk Rekayasa Permukaan Bahan*, P3TM-BATAN, Yogyakarta
- [2] **Sujitno, B.A. Tjipto., (2003)**, *Aplikasi Plasma dan Teknologi Sputtering Untuk Surface Treatment*, P3TM-BATAN, Yogyakarta.

Buku:

- [3] **Konuma, M., (1991)**, *Film Deposition by Plasma Techniques*, Internal Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, New York.
- [4] Wasa, K. dan Hayakawa, S., (1992), *Handbook of Sputter Deposition Technology, Principles, Technology and Applications*, Noyes Publications, Osaka, Japan.
- [5] **Suyoso.,(2000)**, Listrik Magnet, FMIPA UNY, Yogyakarta
- [6] **Milman., Halkias., (1997)**, Elektronika Terpadu Jilid I, Erlangga, Jakarta.
- [7] **Krane, S.Kenneth., (1992)**, *Fisika Modern*, UI-Press, Jakarta.