

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI DIODE BERSTRUKTUR MIS DENGAN METODE IMPLANTASI ION

Toto Trikasjono

PATN, Batan, Yogyakarta

Darsono, Sayono

P3TM, Batan, Yogyakarta

ABSTRAK

PEMBUATAN DAN KARAKTERISASI DIODE BERSTRUKTUR MIS DENGAN METODE IMPLANTASI ION. Telah dilakukan pembuatan dan karakterisasi diode berstruktur MIS dengan metode implantasi ion oksigen pada energi 60 keV. Dosis dopan yang diimplantasikan berturut-turut $9,715 \times 10^{16}$ ion-cm⁻², $7,731 \times 10^{17}$ ion-cm⁻², $2,472 \times 10^{18}$ ion-cm⁻², $6,181 \times 10^{18}$ ion-cm⁻² dan $1,275 \times 10^{19}$ ion-cm⁻². Setelah diimplantasi, cuplikan di anil pada suhu 1000 °C selama 240 menit. Cuplikan diukur resistivitas, kapasitansi dan tegangan dadal MIS dengan karakteristik V-I. Tebal SiO₂ untuk energi ion 60 keV diukur secara tidak langsung dengan mengukur besarnya kapasitansi dari MIS yang terbentuk. Pada pengukuran metode V-I didapatkan tegangan dadal paling besar adalah 15,0 volt dan ini dicapai pada dosis $1,275 \times 10^{19}$ ion-cm⁻², sedangkan tebal lapisan Silikon dioksida pada dosis $1,275 \times 10^{19}$ ion-cm⁻² adalah 0,48 μm. Dapat disimpulkan bahwa nilai resistivitas, tegangan dadal dan tebal lapisan silikon dioksida akan semakin besar dengan bertambahnya dosis ion dopan yang diimplantasikan pada target.

ABSTRACT

FABRICATION AND CHARACTERIZATION OF MIS STRUCTURED DIODE WITH ION IMPLANTATION METHOD. MIS structured diode of semiconductor silicon type-n implanted with oxygen dopant ion has been constructed and characterized. The implantation was held at energy 60 keV with the dosages $9,715 \times 10^{16}$ ion-cm⁻², $7,731 \times 10^{17}$ ion-cm⁻², $2,472 \times 10^{18}$ ion-cm⁻², $6,181 \times 10^{18}$ ion-cm⁻² and $1,275 \times 10^{19}$ ion-cm⁻² respectively. After implanted the samples were annealed temperature of 1000 °C for 240 minutes. The sample was then measured its resistivity, capacitance and breakdown voltage using I-V characteristic. The silicon dioxide layer thickness was measured indirectly, that is by measuring the capacitance from of MIS structure. Based on the measurement of I-V characteristic, it was obtained that the highest breakdown voltage was 15,0 volt. This condition was achieved at the energy 60 keV and dosage $1,275 \times 10^{19}$ ion-cm⁻², while the biggest thickness of dioxide silicon layer was 0.48 μm. It can be concluded that the resistivity value, breakdown voltage and silicon dioxide layer thickness increased according to the addition of dopant ion doses.

PENDAHULUAN

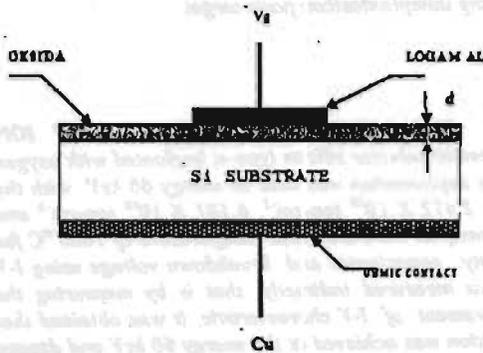
Semikonduktor merupakan bahan yang sangat penting dalam teknologi pembuatan komponen mikroelektronika, sehingga penelitian-penelitian terus dikembangkan. Jenis bahan semikonduktor yang paling banyak digunakan adalah kristal Silikon.^[1,2] Teknologi implantasi ion telah berjalan cukup pesat terutama dalam penelitian material-material baru yang banyak dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti sel surya dan piranti elektronika. Berbagai penelitian terhadap material baru ini terus dilakukan terutama untuk meningkatkan mutu, hasil guna dan aplikasinya yang lebih luas. Salah satu pemanfaatan teknologi implantasi ion adalah untuk membuat diode berstruktur MIS (*Metal Insulator Semiconductor*) dengan membuat lapisan SiO₂ yang bersifat isolator di dalam wafer Silicon.^[3] Metode pembuatan

lapisan SiO₂ seperti diatas dikenal sebagai teknik SIMOX (*Separation Implanted by Oxygen*) yang akan menghasilkan wafer SOI (*Silicon On Insulator*) berstruktur MIS. Teknologi SOI dapat diaplikasikan dalam pembuatan diode, transistor MOS atau bipolar diatas substrat SIMOX, sehingga dapat dihasilkan komponen semikonduktor yang mempunyai keunggulan dibanding dengan teknologi yang lain.^[4] Tujuan penelitian ini ialah pengembangan teknologi implantasi ion untuk pembuatan diode berstruktur MIS dengan teknik SIMOX. Sifat kelistrikan yang diteliti meliputi resistivitas, konduktivitas dan breakdown voltage dari diode MIS yang terbentuk. Disamping itu juga dilakukan perhitungan tebal lapisan Silikon dioksida yang terbentuk dari masing-masing cuplikan hasil implantasi. Sifat-sifat kelistrikan tersebut diperlukan sebagai salah satu cara pembuatan komponen semikonduktor yang memiliki

kemampuan tinggi untuk mendukung kemajuan industri mikroelektronika di masa mendatang.

DASAR TEORI

Perangkat mikroelektronika dengan susunan MIS telah lama dibuat dan dikenal serta banyak penerapannya dalam rangkaian terpadu, seperti CMOS, MOSFET dan lain sebagainya. Struktur dari MIS merupakan kapasitor plat paralel yang terdiri dari elektroda plat logam yang disebut gate dan elektroda yang lain yaitu silikon, yang disebut substrat.^[5] Kedua elektroda ini dipisahkan oleh lapisan insulator yang tipis yaitu silikon dioksida (SiO₂). Di atas permukaan isolator tersebut, dideposisikan lapisan tipis suatu logam dengan kemurniaan yang sangat tinggi sebagai kontak elektroda, sedangkan pada permukaan silikon lain dideposisikan lapisan tipis yang berfungsi sebagai kontak ohmik.^[6] Struktur dari MIS dapat disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Tampang Lintang Struktur MIS (Sze.S.M, 1981)

Pada sistem SiO₂ - Si ini terdapat empat tipe muatan. Muatan-muatan tersebut adalah muatan oksida tetap (*fixed oxide charge*) bermuatan positif dan terletak kurang dari 25Å dari antar muka SiO₂ - Si, muatan oksida yang bergerak (*mobile oxide charge*) terutama yang berasal dari pengotor ionik, muatan jebakan oksida (*oxide trapped charge*) dapat bermuatan positif atau negatif mengacu pada elektron atau *hole* yang terjebak pada oksida dan muatan jebakan antarmuka (*interface trapped charge*) yang bermuatan positif atau negatif, yang berasal dari kerusakan yang disebabkan proses oksidasi atau pengotor logam. Muatan jebakan antarmuka terletak pada antar muka SiO₂ - Si. Muatan-muatan yang bervariasi seperti yang telah dikemukakan diatas

dapat diukur melalui beberapa metode.^[5,6] Penentuan besarnya kapasitansi hasil implantasi dapat menggunakan metode pengukuran kapasitansi-tegangan. Untuk keperluan pengukuran teknik C-V ini dibuat hubungan metal semikonduktor. Jika tegangan yang melewati sambungan berubah oleh ΔV dan ΔC dihubungkan dengan perubahan muatan maka kapasitansi persatuan luas ditetapkan sebagai C = dQ/dV, C sebagai kapasitor plat sejajar yang terpisah sejauh d. Tebal lapisan silikon dioksida diukur secara tidak langsung yaitu dengan cara mengukur kapasitansi dari struktur MIS melalui persamaan

$$X_0 = d = (\epsilon_r \epsilon_0 A) / C_{(VR)} \tag{1}$$

dengan

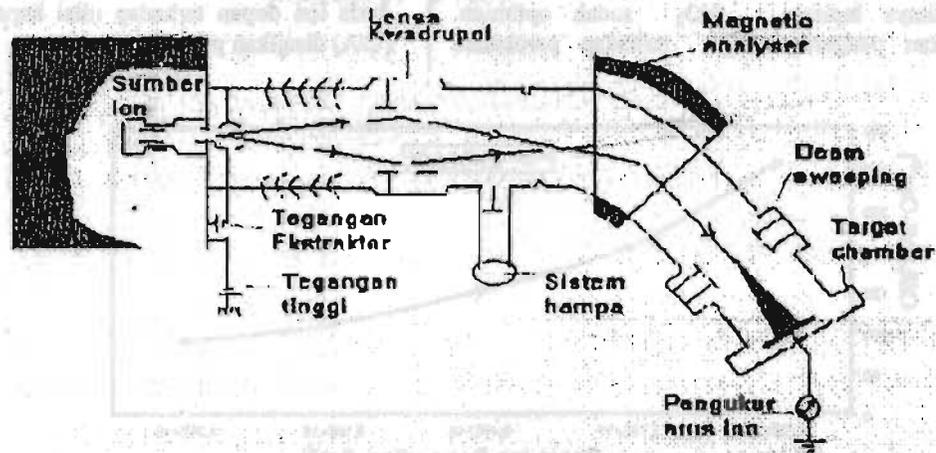
- ε₀ = permitivitas ruang hampa, 8,854 10⁻¹² F/m
- ε_r = konstanta dielektrik silikon dioksida (3,8)
- A = luas elektrode (cm²)
- d = tebal lapisan silikon dioksida (cm²)
- C = kapasitansi dari MIS terukur (pF)

Kapasitansi yang terukur dari sistem ini merupakan kapasitansi plat sejajar yang dipisahkan oleh medium silikon dioksida dengan konstanta dielektrik ε_r = 3,8.

METODE PENELITIAN

Mula-mula semikonduktor silikon dipotong dengan luas permukaan tertentu. Potongan semikonduktor silikon dengan ukuran sekitar 1X1 cm tersebut dibersihkan memakai alkohol dan HF 5 % untuk menghilangkan kotoran dan lapisan silikon oksida yang menempel, kemudian langsung diukur resistivitasnya dengan probe empat titik FPP5000 buatan Veeco. Langkah selanjutnya dibersihkan dengan alkohol. Keping silikon yang telah dibersihkan diletakkan dalam tempat target dengan skema peralatan implantasi ion seperti pada Gambar 2

Proses implantasinya dengan cara menentukan dosis ion dopan divariasi antara 9,715 X 10¹⁶ ion/cm² hingga 1,279 X 10¹⁹ ion/cm² dengan cara mengatur besarnya arus berkas ion dari sistem ion sebesar 100 μA dan 200 μA masing-masing pada energi 60 keV. Cuplikan yang telah diimplantasi kemudian dianil pada suhu 1000°C selama 240 menit dengan tujuan memulihkan kembali susunan atom kristal yang telah rusak akibat implantasi. Pengukuran resistivitas keping dari bahan yang diimplantasi dan telah melewati proses anil dilakukan dengan menggunakan probe empat titik type FPP 5000. Setelah cuplikan dianil, diukur resistivitas lapisnya (*sheet resistivity*)

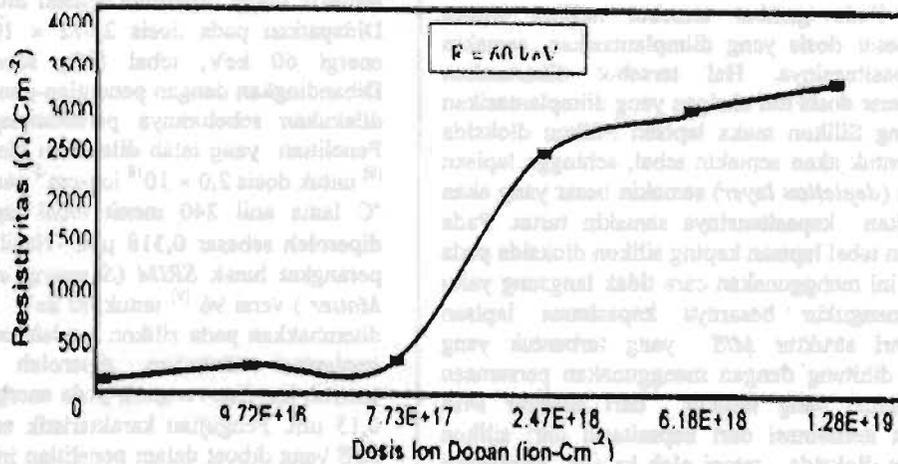


Gambar 2. Skema Sistem Implantasi Ion

dan dipasang kontak ohmik, kemudian diukur kapasitansinya. menggunakan LCR-meter digital type 4271B. Tegangan dadal diperoleh dengan karakteristik arus- tegangan menggunakan multimeter YF-3140. Dari karakteristik ini diperoleh tegangan dadal (*breakdown voltage*) untuk masing-masing cuplikan. Untuk setiap cuplikan hanya dapat satu kali dilakukan pengukuran tegangan dadalnya, sebab cuplikan yang telah diperoleh tegangan dadalnya akan rusak.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Ketebalan lapisan insulator yang terbentuk tergantung pada besarnya dosis ion dopan yang diimplantasikan. Bila lapisan insulator makin tebal maka akan mengakibatkan resistivitas keping silikon juga makin besar. Pengaruh dosis dan energi ion dopan terhadap perubahan resistivitas ditunjukkan pada Gambar 3



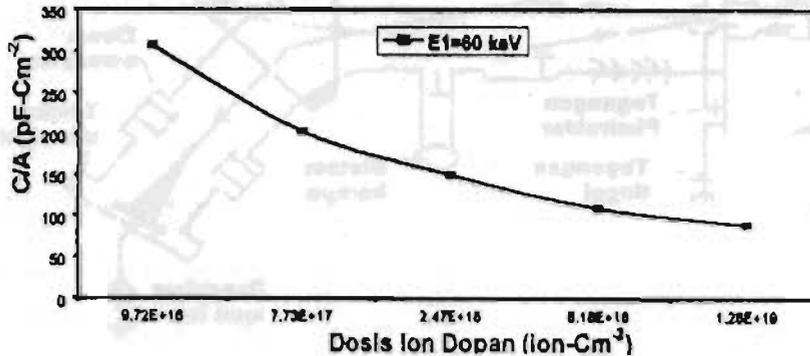
Gambar 3: Grafik hubungan antara dosis ion dopan terhadap resistivitas dengan energi 60 keV.

Pada Gambar 3 untuk energi 60 keV menunjukkan bahwa semakin besar dosis ion dopan maka nilai resistivitas akan semakin besar. Terlihat bahwa pada dosis $9,715 \times 10^{16}$ ion-cm⁻² dan $7,731 \times 10^{17}$ ion-cm⁻², nilai resistivitas naik secara bertahap/landai berarti terbentuknya lapisan silikon

dioksida masih relatif kecil dan belum optimum. Sedangkan pada dosis $2,472 \times 10^{18}$ ion-cm⁻², kenaikan resistivitas secara tajam/ curam berarti ketebalan SiO₂ semakin besar, terbukti kenaikan resistivitas mencapai 2285,3 %. Pada dosis ion $6,18 \times 10^{18}$ ion-cm⁻² dan $1,28 \times 10^{19}$ ion-cm⁻² kenaikan

resistivitas lapis landai/datar karena dimungkinkan terbentuknya lapisan SiO_2 sudah optimum. Sedangkan pengaruh dosis terhadap perubahan

kapasitansi dapat terlihat pada grafik hubungan antara dosis ion dopan terhadap nilai kapasitansi per luas (C/A) disajikan pada Gambar 4

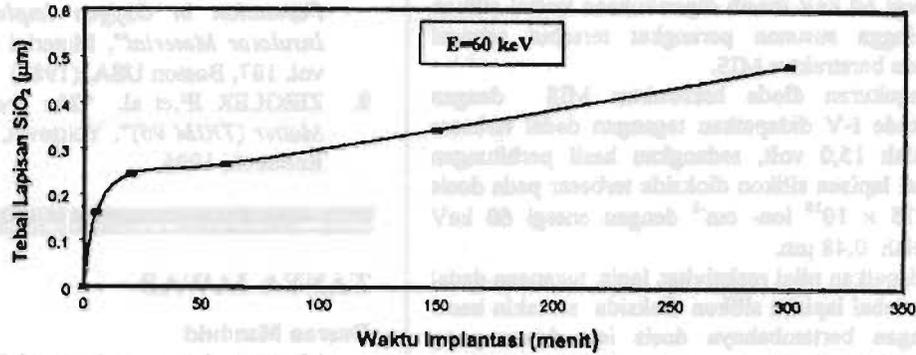


Gambar 4: Grafik hubungan antara dosis ion dopan terhadap nilai C/A dengan variasi energi ion dopan pada energi 60 keV.

Dari grafik tersebut dapat dijelaskan sebagai berikut. Karena hasil implantasi dengan energi masih cukup rendah 60 keV maka lapisan silikon dioksida berada pada permukaan, sehingga keping silikon tersebut akan terbentuk metal, insulator dan semikonduktor. Dengan demikian cuplikan tersebut akan menjadi persambungan diode berstruktur MIS. Pada masing-masing tipe persambungan terdapat penumpukan muatan negatif dan positif, sehingga dapat dianggap sebagai kapasitor. Pada gambar tersebut terlihat bahwa semakin besar dosis yang diimplantasikan, semakin kecil kapasitansinya. Hal tersebut dikarenakan semakin besar dosis ion oksigen yang diimplantasikan pada keping Silikon maka lapisan Silikon dioksida yang terbentuk akan semakin tebal, sehingga lapisan deplesinya (*depletion layer*) semakin besar yang akan menyebabkan kapasitansinya semakin turun. Pada pengukuran tebal lapisan keping silikon dioksida pada penelitian ini menggunakan cara tidak langsung yaitu dengan mengukur besarnya kapasitansi lapisan deplesi dari struktur MIS yang terbentuk yang kemudian dihitung dengan menggunakan persamaan 1. Kapasitansi yang terukur dari struktur MIS merupakan kombinasi dari kapasitansi dari silikon dan silikon dioksida, tetapi oleh karena kapasitansi silikon begitu besar dibanding dengan kapasitansi dari SiO_2 , maka sumbangan dari kebalikan kapasitansi silikon yang terukur sama dengan kapasitansi SiO_2 . Metode ini dapat dilakukan karena energi ion dopan masih relatif kecil (60 keV) sehingga lapisan SiO_2 pada kedalaman yang sangat dangkal atau masih pada permukaan kristal silikon. Dengan demikian setelah permukaan silikon terimplantasi, kemudian dilapisi dengan logam aluminium dengan menggunakan

coating system, maka dihasilkan persambungan MIS yang terbentuk dapat dianggap sebagai kapasitor plat sejajar dan pemisah kedua plat merupakan fungsi tegangan yang dikenakan. Setelah besarnya kapasitansi lapisan deplesi terukur tebal lapisan SiO_2 dapat dihitung. Grafik hubungan antara waktu implantasi terhadap tebal lapisan SiO_2 pada energi 60 keV yang ditunjukkan pada Gambar 5.

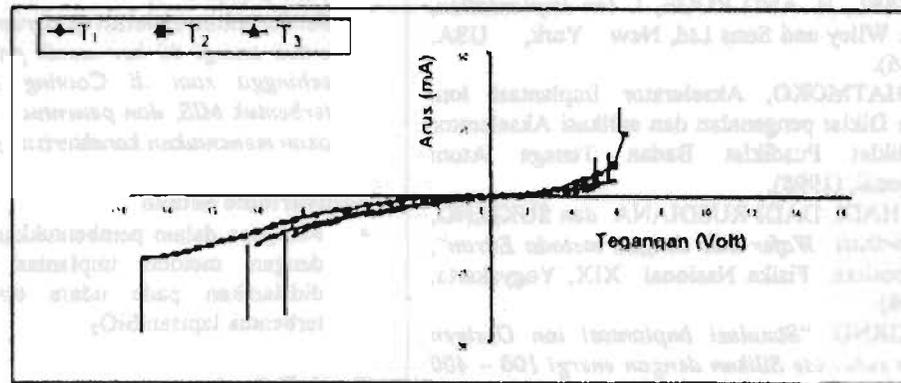
Dari Gambar 5 terlihat bahwa dengan dosis semakin tinggi diperoleh lapisan SiO_2 semakin tebal. Didapatkan pada dosis $2,472 \times 10^{18}$ ion-cm⁻² dan energi 60 keV, tebal SiO_2 sebesar 0,266 μm . Dibandingkan dengan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya perbedaannya relatif kecil. Penelitian yang telah dilakukan oleh Burke DE dkk [8] untuk dosis $2,0 \times 10^{18}$ ion-cm⁻² pada suhu anil 1210 °C lama anil 240 menit tebal lapisan SiO_2 yang diperoleh sebesar 0,318 μm . Hasil simulasi dengan perangkat lunak SRIM (*Stopping and range Ion in Matter*) versi 96 [9] untuk 60 keV ion oksigen yang ditembakkan pada silikon setelah keseluruhan proses implantasi dilakukan, diperoleh distribusi jarak tempuh ion (*ion ranges*), pada energi 60 keV sebesar 0,13 μm . Pengujian karakteristik arus-tegangan dari MIS yang dibuat dalam penelitian ini bertujuan untuk mengetahui besarnya tegangan dadal. Semikonduktor yang telah diimplantasi, kemudian diukur karakteristik I-V dengan diberi tegangan bias maju dan tegangan bias mundur. Besarnya dosis dan energi ion dopan oksigen akan menentukan karakteristik I-V dan tegangan dadal persambungan MIS yang terbentuk. Selain itu tegangan dadal juga bergantung pada



Gambar 5: Grafik hubungan antara waktu implantasi terhadap tebal lapisan SiO₂ dengan energi 60 keV, I=200 µA

energi selanya. Pada sambungan MIS saat diberi tegangan bias mundur melebihi arus maksimum maka akan terjadi tegangan dadal. Dengan mengetahui tegangan dadal dari MIS yang terbentuk, maka bahan yang telah diimplantasi dapat digunakan dengan baik sesuai batas kemampuannya, yaitu tegangan yang

dipakai tidak boleh melebihi tegangan dadalnya. Grafik yang menunjukkan karakterisasi arus-tegangan serta besarnya tegangan dadal pada dosis $1,275 \times 10^{19}$ ion-cm⁻² dan energi ion dopan 60 keV disajikan pada Gambar 6.



Gambar 6: Grafik karakteristik arus - tegangan pada dosis ion dopan $1,275 \times 10^{19}$ ion-cm⁻² untuk energi 60 keV, arus 200 µA

Gambar 6 adalah karakteristik arus-tegangan untuk tiga titik pengukuran, yang diimplantasi dengan energi 60 keV, dosis ion dopan $1,275 \times 10^{19}$ ion-cm⁻², suhu anil 1000 °C, resistivitas lapis 3432,5 Ω-cm⁻² dan tebal lapisan silikon dioksida sebesar 0,48 µm, menghasilkan tegangan dadal 7,5, 15,0, dan 10,0 volt. Dari grafik arus-tegangan untuk ketiga titik pengukuran menunjukkan bahwa besarnya tegangan dadal tidak homogen dan pada titik puncak mempunyai tegangan dadal yang paling besar, hal ini dikarenakan untuk energi sama pada ion tertentu dapat menghasilkan jangkauan implantasi yang

berbeda. Kedalaman penetrasi ion dopan tersebut akan menentukan besarnya distribusi konsentrasi. Distribusi konsentrasi ion dopan oksigen yang diimplantasi sebagai fungsi kedalaman mendekati distribusi Gauss.^[1] Karakteristik arus-tegangan dari MIS yang dibuat telah menunjukkan adanya respon terhadap tegangan bias yang diberikan. Dengan demikian naiknya dosis dan energi ion dopan yang diimplantasikan pada target akan menyebabkan semakin besar tebal lapisan silikon dioksida sehingga semakin tinggi tegangan dadal dari MIS yang terbentuk.

KESIMPULAN

- Lapisan silikon dioksida yang terbentuk pada energi 60 keV masih dipermukaan kristal silikon sehingga susunan perangkat tersebut sebagai diode berstruktur MIS.
- Pengukuran diode berstruktur MIS dengan metode I-V didapatkan tegangan dadal terbesar adalah 15,0 volt, sedangkan hasil perhitungan tebal lapisan silikon dioksida terbesar pada dosis $1,275 \times 10^{19}$ ion- cm^{-2} dengan energi 60 keV adalah 0,48 μm .
- Didapatkan nilai resistivitas lapis, tegangan dadal dan tebal lapisan silikon dioksida semakin besar dengan bertambahnya dosis ion dopan yang diimplantasikan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Bapak A Sunarto dan Bapak Sumaryadi atas bantuan yang telah diberikannya selama penulis melaksanakan penelitian di laboratorium Akselerator Batan Yogyakarta sehingga paper ini dapat tersusun.

DAFTAR PUSTAKA

1. RYSEL, H. AND RUGE, I. *Ion Implantation*, John Wiley and Sons Ltd, New York, USA, (1986).
2. SUDJATMOKO, Akselerator Implantasi ion, Pada Diklat pengenalan dan aplikasi Akselerator Pusdiklat Pusdiklat Badan Tenaga Atom Nasional, (1998).
3. SULHADI, DADI RUSDIANA dan SUKIRNO, "Fabrikasi Wafer SOI dengan metoda Eltran", Simposium Fisika Nasional XIX, Yogyakarta, (1998).
4. SUKIRNO, "Simulasi Implantasi ion Oksigen pada substrate Silikon dengan energi 100 - 400 Kev dengan Software TRIM", Simposium Fisika Nasional XIV, (1996).
5. SZE, S.M, "Physics of Semiconductor Devices", John Wiley and Sons, New York, USA, (1971).
6. TSAUR B-Y, "Assessment of Silicon On Insulator Technologies for VLSI", Material Research Society, vol. 107, Boston USA, (1987)
7. Ibis Technology Corporation, Semiconductor International of The Industrial Source Book for

Processing, Assembly and Testing, Danvers, April (1997)

8. BURKE DE dkk, "Precipitate and defect Formation in Oxygen Implanted Silicon On Insulator Material", Material Research Society, vol. 107, Boston USA, (1987)
9. ZIEGLER JF, et al. "The Transport of Ions in Matter (TRIM 96)". Yoktown, New York IBM-Research, 1996.

TANYA JAWAB

Busron Masduki

- * Mengapa dalam pembuatan MIS tersebut dengan dosis 10^{16} s/d 10^{19} ion- cm^{-2} dan bagaimana dosisnya kalau dinaikkan ?
- * Mengapa dalam implantasi ion tersebut memakai energi 60 keV ?

Totok Trikasjono:

- * Untuk mencari dan mengetahui berapa ketebalan lapisan SiO_2 yang paling optimum, dan apabila dosis dinaikkan terus maka pada dosis tertentu lapisan SiO_2 akan konstan karena sudah pada dosis stokiometri.
- * Berdasarkan simulasi program TRIM diketahui untuk energi 60 keV masih pada permukaan Si, sehingga saat di Coating dengan Al akan terbentuk MIS, dan penentuan tebal tipisan SiO_2 akan menentukan karakteristik yang dihasilkan.

Soedyartomo Setono

- * Mengapa dalam pembentukan lapisan SiO_2 ini dengan metode implantasi ion, pada hal dididamikan pada udara terbuka juga akan terbentuk lapisan SiO_2

Totok Trikasjono

- * Pembentukan lapisan SiO_2 dengan teknologi SOI dengan metode implantasi ion mempunyai keuntungan hamburan lateral minimal sehingga memungkinkan untuk membuat komponen dengan dimensi kecil, rendahnya kapasitansi parasitik, arus bocor sangat kecil dan bebas latch up.