

PENGARUH DOSIS ION OKSIGEN YANG DIIMPLANTASIKAN KE DALAM SEMIKONDUKTOR SILIKON PADA TENAGA 100 keV TERHADAP PEMBENTUKAN LAPISAN ISOLATOR SiO₂ TERKUBUR

Sayono, Darsono, Tjipto Suyitno
P3TM, Batan, Yogyakarta

Toto Trikasjono
PATN, Batan, Yogyakarta

ABSTRAK

PENGARUH DOSIS ION OKSIGEN YANG DIIMPLANTASIKAN KE DALAM SEMIKONDUKTOR SILIKON PADA ENERGI 100 keV TERHADAP PEMBENTUKAN LAPISAN ISOLATOR SiO₂ TERKUBUR. Telah dilakukan karakterisasi pengaruh pembentukan lapisan isolator SiO₂ terkubur di dalam semikonduktor silikon type N yang diimplantasi dengan ion oksigen. Implantasi dilakukan pada energi 100 keV dengan dosis $9,715 \times 10^{16}$ ion/cm²; $2,472 \times 10^{18}$ ion/cm²; $1,275 \times 10^{19}$ ion/cm² dan $1,530 \times 10^{20}$ ion/cm². Setelah diimplantasi cuplikan dianil pada suhu 1000 °C selama 4 jam. Terbentuknya lapisan isolator terkubur diamati resistivitasnya dengan menggunakan metode probe empat titik dan juga diamati gambar mikronya dan kandungan unsur dengan menggunakan SEM-EDS. Hasil percobaan menunjukkan bahwa resistivitas meningkat dengan penambahan dosis ion oksigen. Tebal lapisan isolator terkubur berturut-turut untuk dosis $2,472 \times 10^{18}$ ion/cm²; $1,275 \times 10^{19}$ ion/cm² dan $1,530 \times 10^{20}$ ion/cm², masing-masing adalah $(2 \pm 0,05) \mu\text{m}$; $(2,6 \pm 0,04) \mu\text{m}$ dan $(3 \pm 0,03) \mu\text{m}$. Kadungan unsur oksigen dalam silikon untuk dosis $9,715 \times 10^{16}$ ion/cm²; $2,472 \times 10^{18}$ ion/cm²; $1,275 \times 10^{19}$ ion/cm² dan $1,530 \times 10^{20}$ ion/cm², masing-masing adalah $(40,24 \pm 0,77) \% \text{atom}$; $(41,24 \pm 0,68) \% \text{atom}$; $(42,28 \pm 0,70) \% \text{atom}$ dan $(42,75 \pm 0,72) \% \text{atom}$.

ABSTRACT

THE INFLUENCE OF OXYGEN ION DOSE IMPLANTED INTO SILICON AT ENERGY OF 100 keV TO THE FORMATION OF BURRIED SiO₂ ISOLATOR LAYER. The influence of oxygen ion dose formation of burried SiO₂ in N-type silicon semiconductor implanted by oxygen ion. The implantation was done at energy 100 keV in a doses of 9.175×10^{16} ion/cm², 2.472×10^{18} ion/cm², 1.275×10^{19} ion/cm² and 1.530×10^{20} ion/cm², respectively. After implantation the samples were annealed at 1000 °C for 4 hours. The formation of burried SiO₂ layer, was observed by measuring samples resistivites using four-point-probe method and also by analyzing their microphotographs and element contents using SEM-EDS. The experimental resulis show that the resistivity increases with the additon of oxygen ion doses. The thickness of the burried SiO₂ layer for doses were 2.472×10^{18} ion/cm²; 1.275×10^{19} ion/cm²; and 1.530×10^{20} ion/cm² were $(2 \pm 0,05) \mu\text{m}$; $(2,6 \pm 0,04) \mu\text{m}$ and $(3 \pm 0,03) \mu\text{m}$ respectively. The oxygen contents in silicon for doses of $9,715 \times 10^{16}$ ion/cm²; $2,472 \times 10^{18}$ ion/cm²; $1,275 \times 10^{19}$ ion/cm² dan $1,530 \times 10^{20}$ ion/cm², were $(40,24 \pm 0,77) \% \text{atom}$; $(4,24 \pm 0,68) \% \text{atom}$; $(42,28 \pm 0,70) \% \text{atom}$ and $(42,75 \pm 0,72) \% \text{atom}$, respectively.

PENDAHULUAN

Perkembangan bidang mikroelektronik yang begitu pesat dewasa ini sangat didukung oleh temuan-temuan baru dalam bidang semikonduktor. Komponen terpenting dalam sistem elektronik belakangan ini didominasi oleh peralatan semikonduktor silikon (Si) dengan kecepatan tinggi, ukuran kecil tetapi mempunyai kapasitas besar dan konsumsi daya rendah. Untuk memperoleh bahan semikonduktor tersebut sedang dikembangkan teknologi SOI (*Silicon-On-Insulator*). SOI (*Silicon-On-Insulator*) adalah bahan

semikonduktor yang ditumbuhkan dengan memasukkan atom oksigen ke dalam keping Si sehingga diperoleh lapisan isolator pada substrat silikon. Salah satu cara untuk membuat SOI adalah dengan membuat lapisan SiO₂ yang bersifat isolator di dalam keping Si, yang dilakukan dengan mengimplantasikan ion oksigen ke dalam keping Si, kemudian diikuti proses anil. Teknologi semacam ini dikenal sebagai SIMOX (*Separation By Implanting Oxygen*). Teknologi SOI memiliki beberapa keunggulan diantaranya yaitu mempunyai kecepatan tinggi dalam hal memproses data, konsumsi daya rendah, dan mempunyai hamburan lateral minimal.

keuntungan lainnya adalah rendahnya kapasitansi yang mengganggu (*low parasitic capacitance*) pada operasi dengan kecepatan tinggi, rangkaian CMOS bebas *latch-up* (hasil dari sambungan transistor bipolar yang mengganggu pada konfigurasi CMOS), dan IC tiga dimensi dapat disusun dengan mengulangi proses. Untuk mengetahui pembentukan lapisan isolator, diantaranya dapat dilakukan pengamatan struktur mikro dan ketebalan lapisan isolator SiO₂, maupun analisis unsur pada bahan silikon setelah diimplantasi ion oksigen dengan menggunakan alat SEM (*Scanning Electron Microscope*) yang dikopel dengan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*).

Parameter yang berpengaruh terhadap pembentukan lapisan SiO₂ adalah energi maupun dosis ion. Pada penelitian ini parameter dibatasi pada pengaruh variasi dosis ion oksigen yang diimplantasikan ke dalam keping silikon dengan energi tetap terhadap pembentukan lapisan isolator SiO₂ pada keping silikon. Dengan cara ini diharapkan dapat diketahui berapa besarnya dosis minimum yang dibutuhkan agar terbentuk lapisan isolator SiO₂ dan berapa besarnya dosis optimum yang diperlukan untuk membuat lapisan isolator SiO₂ tetapi tidak sampai merusak struktur silikon.

Manfaat penelitian ini adalah dengan diperolehnya lapisan SiO₂ yang terkubur di dalam keping Si yang dikenal sebagai bahan SOI, diperoleh bahan semikonduktor yang memiliki kecepatan tinggi, tahan frekuensi tinggi, konsumsi daya rendah dan kemampuan tinggi dalam ukuran yang kecil. Penerapan lebih lanjut untuk pembuatan komponen konfigurasi CMOS, transistor MOS (MOSFET) dan JMOS

DASAR TEORI

Dalam pembuatan rangkaian terintegrasi sangat diperlukan isolasi antara komponen satu dengan komponen lainnya dengan menggunakan lapisan isolator dioksida (SiO₂). Isolasi ini diperlukan untuk memperkecil timbulnya kapasitor parasitik antar komponen pada penggunaan tegangan tinggi maupun frekuensi tinggi. Lapisan SiO₂ tersebut diantaranya dihasilkan melalui proses implantasi ion oksigen ke keping silikon (Si) yang dikenal dengan teknik SIMOX (*Separation by Implanted Oxygen*). Untuk memperoleh lapisan isolator di dalam silikon diantaranya dilakukan dengan implantasi ion oksigen ke dalam silikon.

Implantasi ion adalah suatu metode untuk menempatkan atom ke dalam suatu bahan dengan cara mengionisasi atom-atom dopan, mempercepat di dalam medan listrik dan selanjutnya menembakkan ke permukaan bahan. Dalam teknik

implantasi ion setiap unsur bermuatan dapat diimplantasikan. Selama proses implantasi ion, atom-atom atau molekul-molekul terionisasi dipercepat dalam suatu medan elektrostatis dan diimplantasikan ke dalam suatu permukaan bahan padat. Kedalaman penetrasi dari ion dopan tidak hanya tergantung pada energi, tetapi juga massa ion dopan dan massa atom sasaran (Sudjatmoko, 1998).

Keuntungan implantasi ion, selama proses implantasi dilakukan pada suhu kamar dengan demikian timbulnya *thermal stress* dapat dihindari, prosesnya cepat dan tidak diperlukan *reheat treatment*. Kedalaman penyisipan atom dapat dikendalikan secara akurat dengan cara mengatur tegangan pemercepat, sedangkan kekurangannya adalah kedalaman yang dihasilkan sangat dangkal, perlu modal awal yang besar dan teknologinya cukup rumit.

Jangkauan Ion Dopan

Dalam proses implantasi ion, peranan dosis dan energi sangat mempengaruhi hasil akhir yaitu jangkauan kedalaman ion dopan dan konsentrasi distribusi ion yang terimplantasi pada sasaran. Di samping dosis dan energi, hasil akhir implantasi juga ditentukan oleh massa ion dopan dan atom sasaran. Kedalaman penetrasi dalam sasaran dapat dihitung menggunakan persamaan (Mayer, 1970 dan Ziegler, 1985).

$$R_i(A) = \frac{60(m_i + m_s)(Z_i^{2/3} + Z_s^{2/3})^{1/2}}{N_o m_i Z_i Z_s} E \dots (1)$$

dengan

- R_i = jangkauan ion terimplantasi (Å)
- m_i = massa ion dopan (amu)
- m_s = massa ion sasaran (amu)
- Z_i = nomor atom ion dopan
- Z_s = nomor atom sasaran
- N_o = kerapatan atom sasaran (atom/cm³)
- E = energi ion dopan (keV)

Kerapatan atom sasaran di hitung menggunakan persamaan

$$N = \frac{\rho N_A}{m_s} \quad (2)$$

dengan

- ρ = rapat massa atom sasaran (g/cm³)
- N_A = bilangan Avogadro ($6,02 \times 10^{23}$ atom/g atom)
- m_s = massa ion sasaran

Dosis Ion

Dosis adalah jumlah ion yang diimplantasikan ke dalam bahan per satuan luas.

Jumlah ion yang diimplantasikan dapat dihitung dengan persamaan

$$D = \frac{It}{qA} \quad (3)$$

dengan

D = dosis ion dopan (ion/cm²)

I = arus dopan (ampere)

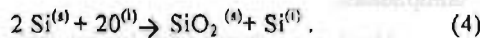
t = waktu implantasi (detik)

q = muatan elektron ($1,602 \times 10^{-19}$ c.

A = luas sasaran (cm²)

MEKANISME PEMBENTUKAN LAPISAN ISOLATOR

Dengan masuknya ion oksigen hasil implantasi ke dalam silikon, maka akan terjadi proses reaksi oksidasi antara ion oksigen dengan atom silikon. Dengan mematuhi proses stoikhiometri akan terbentuk lapisan isolator SiO₂ dalam semikonduktor silikon. Pada peristiwa ini akibat terjadinya penyisipan ion oksigen diantara atom-atom Si, dua ion oksigen yang tersisip akan bereaksi dengan dua atom Si membentuk SiO₂ dan Si. Reaksi kimia antara oksigen dengan Si dapat ditulis dengan



dengan

(s) = substitusi, (i) = interstisi

Struktur mikro Si yang telah terimplantasi yang diikuti proses anil menentukan morfologi dari struktur SOI (Silikon-On-Insulator). Kualitas optimum struktur SOI dapat dicapai dengan kondisi implantasi yang optimum pula (Van Ommen, 1988)

TATA KERJA PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dalam beberapa tahap yaitu percobaan pendahuluan dengan simulasi TRIM, pembuatan cuplikan; pengolahan mekanis, pengolahan kimia, implantasi, penganilan, *pe-mounting*, penghalusan permukaan (polis), etsa dan pencucian, pengamat struktur mikro dan tahap analisis hasil.

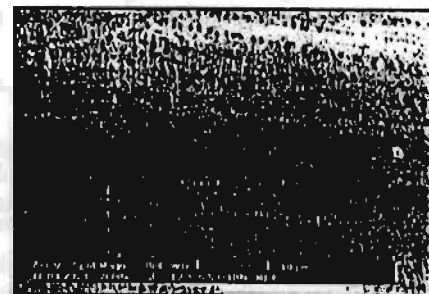
Dengan simulasi program TRIM (*Transport of Ions in Matter*) dapat ditentukan jangkauan ion dalam materi dan distribusi kerusakan yang diakibatkan. Simulator yang dipakai adalah TRIM 90 ciptaan : Ziegler, Biersack, dan U.Littmart dari IBM-Research. Simulasi memakai TRIM ini dimasukkan untuk memperkirakan kedalaman penetrasi ion oksigen dalam kristal silikon dengan memvariasi energi ion dopan. Persiapan cuplikan semikonduktor silikon tipe N yang berbentuk

lembaran tipis (sebagai bahan dasar/*bulk*), dipotong-potong dengan menggunakan gergaji intan. Ukuran cuplikan sekitar $\pm 1,0 \times 1,0$ cm dan kemudian diberi tanda pada potongan-potongan kristal tersebut. Kemudian dilakukan pencucian dilakukan dengan menggunakan alkohol dan air murni. Setelah dibersihkan keping silikon diukur resistivitasnya menggunakan *Probe Empat Titik FPP 5000* buatan *Veeco*. Kedua adalah etsa kimia untuk menghilangkan lapisan SiO₂ dengan cara dilarutkan dalam larutan HF (5%) selama kurang lebih 3 menit.

Keping silikon yang telah diproses secara mekanik dan kimia, selanjutnya siap untuk diimplantasi dengan mesin implantasi ion. Silikon tipe N diimplantasi dengan ion dopan oksigen dan untuk setiap dosis implantasi dipasang satu cuplikan. Kemudian cuplikan dianil pada suhu 1000 °C selama 240 menit, selanjutnya diukur resistivitasnya. Cuplikan dipotong melintang dan *dismounting* kemudian dilakukan pemolisan agar permukaannya merata, selanjutnya dietsa untuk mengetahui gambar mikronya. Karakterisasi dilakukan dengan SEM (*Scanning Electron Spectroscopy*) dan EDS (*Energy Dispersive Spectroscopy*) meliputi: gambar mikro, tebal isolator dan kandungan unsur oksigen dalam silikon.

HASIL DAN PEMBAHASAN

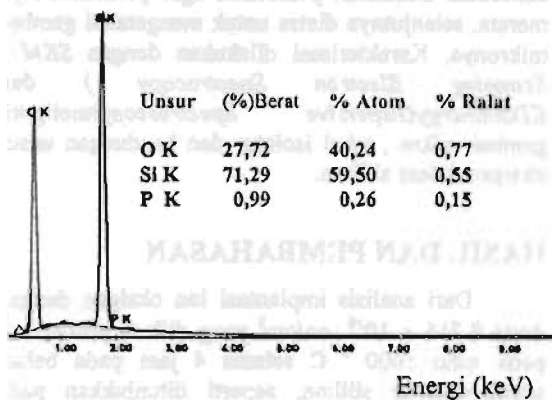
Dari analisis implantasi ion oksigen dengan dosis $9,715 \times 10^{16}$ ion/cm² yang diikuti proses anil pada suhu 1000 °C selama 4 jam pada bahan semikonduktor silikon, seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Struktur mikro permukaan silikon yang diimplantasi ion oksigen pada dosis $9,715 \times 10^{16}$ ion/cm² dianil pada suhu 1000 °C selama 4 jam

Pada Gambar 1 ternyata telah terjadi adanya perubahan struktur mikro permukaan walaupun masih kecil. Hal ini disebabkan karena masih terlalu sedikitnya atom oksigen yang masuk/menyisip ke dalam bahan silikon. Dari hasil pengukuran resistivitas lapisan isolator SiO₂ dengan *probe* empat titik (*four-point-probe*) yang terbentuk masih relatif

kecil (349 ± 6) ohm/cm². Nilai ini bila dibandingkan dengan resistivitas cuplikan silikon sebelum diimplantasi ($117,1 \pm 0,19$) ohm/cm² masih relatif kecil terjadi, karena dosis implantasi ion oksigen masih terlalu kecil, sehingga struktur SOI yang terbentuk belum mencapai kondisi yang optimum atau belum tercapainya kondisi stoikhiometri dalam proses pembentukan lapisan isolator terkubur pada bahan silikon. Menurut *Sze (1970)*, implantasi untuk membentuk lapisan isolator SiO₂ pada silikon dibutuhkan dosis implantasi diatas 10¹⁷ ion/cm² dengan suhu anil 1200 °C selama 4 jam sedangkan *Krause (1987)* dengan suhu anil 1150 °C selama 4 jam. Dari hasil analisis spektrum energi sina-x pada permukaan tersebut diperoleh kandungan unsur oksigen dalam silikon sebesar 40,24% atom seperti ditunjukkan pada Gambar 2, ternyata unsur kandungan tersebut belum dapat memberikan perubahan struktur mikro permukaan silikon yang lebih jelas.



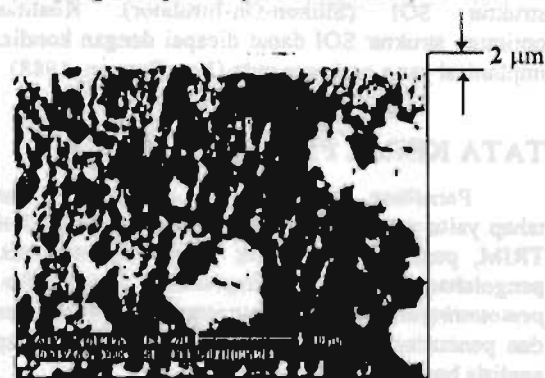
Gambar 2. Spektrum Energi Sinar-X permukaan silikon diimplantasi ion oksigen pada dosis $9,715 \times 10^{16}$ ion/cm² dan dianil pada suhu 1000°C selama 4 jam.

Apabila dosis implantasi ion oksigen semakin ditambah, maka hasil pengamatan struktur mikro permukaan silikon yang diimplantasi ion oksigen berturut-turut pada dosis $2,472 \times 10^{18}$ ion/cm²; $1,275 \times 10^{19}$ ion/cm² dan $1,530 \times 10^{20}$ ion/cm² dan diikuti proses anil sebesar 1000 °C selama 4 jam, ternyata mulai tampak adanya perubahan yang semakin jelas. Semakin tinggi dosis yang diimplantasikan, maka ion oksigen yang masuk atau menyisip di antara atom-atom silikon akan semakin banyak. Hal ini akan mempengaruhi konsentrasi atom pada permukaan silikon untuk menjadi besar,

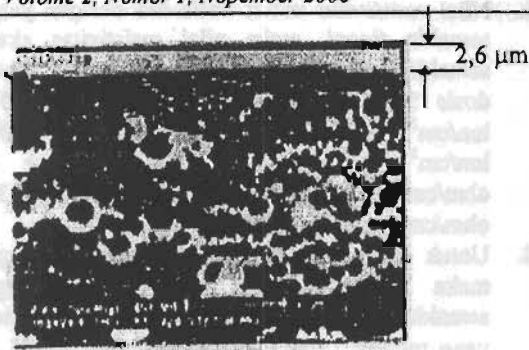
sehingga dengan bertambahnya dosis ion oksigen yang mengenai silikon, akan menyebabkan perubahan susunan atom pada permukaan silikon semakin rapat. Ini juga terbukti dari hasil pengukuran resistivitas yang semakin meningkat bila dosis implantasi ditambah, hal ini sesuai dengan teori *Lindhard Schraff and Schiott (teori LSS)* bahwa penambahan dosis ion dopan pada sasaran akan meningkatkan konsentrasi ion yang diimplantasikan pada sasaran tersebut, yaitu semakin banyak atom-atom oksigen yang masuk di antara atom-atom silikon. Akibat proses anil pada suhu 1000 °C selama 4 jam, maka atom oksigen yang telah menyisip di antara atom-atom silikon semakin rapat dan menyatu membentuk ikatan SiO₂ yang bersifat isolator.

Dari hasil pengamatan struktur mikro pada potongan melintang, terlihat bahwa semakin tinggi dosis ion oksigen yang diimplantasikan, maka struktur mikro yang terjadi dan tebal lapisan isolator yang terbentuk akan lebih tampak. Hal ini ditandai dengan butiran atom yang semakin besar dan pada bagian dekat permukaan yang diimplantasi dengan ion oksigen ditandai dengan warna putih. Warna putih tersebut disebabkan oleh adanya efek *charging*, yaitu adanya perbedaan muatan antara bagian yang terimplantasi dengan yang tidak diimplantasi.

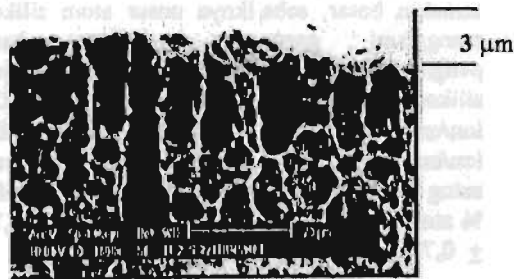
Hasil pengukuran tebal lapisan isolator untuk dosis $2,472 \times 10^{18}$ ion/cm² diperoleh tebal isolator sebesar $2 \pm 0,05$ μm; dosis $1,275 \times 10^{19}$ ion/cm² tebal isolator sebesar $2,6 \pm 0,04$ μm dan untuk dosis $1,530 \times 10^{20}$ ion/cm² tebal isolator sebesar $3 \pm 0,04$ μm yang ditunjukkan pada Gambar 3.,4 dan 5.



Gambar 3. Struktur mikro silikon potongan melintang yang diimplantasi ion oksigen pada dosis $2,472 \times 10^{18}$ ion/cm² dianil pada suhu 1000°C selama 4 jam.



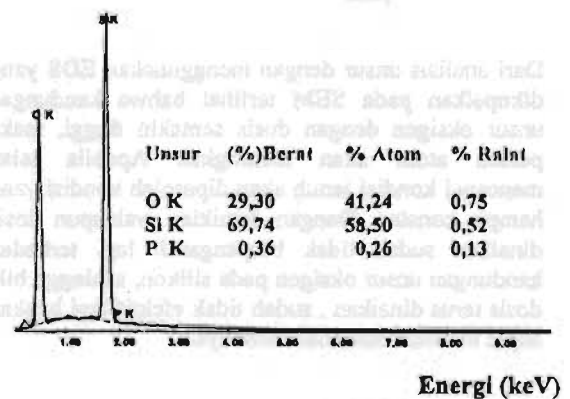
Gambar 4. Strukturmikro silikon potongan melintang yang diimplantasi ion oksigen pada dosis $1,275 \times 10^{19}$ ion/cm² dianil pada suhu 1000 °C selama 4 jam.



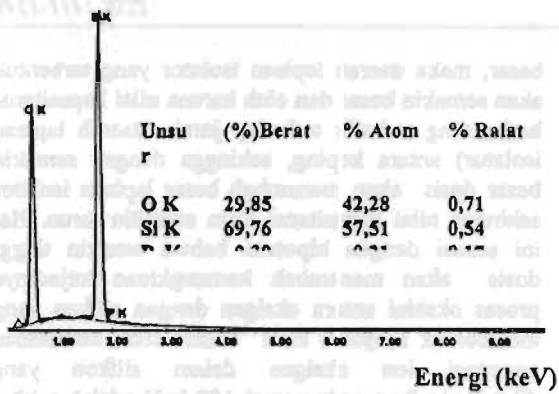
Gambar 5. Struktur mikro silikon potongan melintang yang diimplantasi ion oksigen pada dosis $1,53 \times 10^{20}$ ion/cm² dianil pada suhu 1000 °C selama 4 jam.

Dari gambar potongan melintang tersebut terbukti ternyata dosis implantasi ion oksigen mempunyai pengaruh terhadap pembentukan lapisan isolator, semakin tinggi dosis maka akan semakin besar lapisan isolator yang terbentuk. Hal ini terbukti dari hasil pengukuran resistivitas, bahwa semakin tinggi ion diimplantasikan maka nilai resistivitas semakin besar, sedangkan hasil pengukuran nilai kapasitansi yang telah dilakukan peneliti sebelumnya yakni karakterisasi kapasitansi dengan teknik C-V dengan semakin tinggi dosis ion oksigen, maka nilai kapasitansinya semakin turun. Penurunan nilai kapasitansi ini disebabkan karena semakin tinggi dosis ion oksigen yang diimplantasikan ke dalam silikon, maka akan semakin besar dan tebal terjadinya proses oksidasi untuk membentuk lapisan isolator pada silikon. Dengan terbentuknya lapisan isolator di bawah permukaan silikon, keping silikon tersebut telah berstruktur *Silicon On Insulator (SOI)*, yang tak lain adalah seperti kapasitor plat sejajar yang dipisahkan oleh lapisan isolator. Pada dosis yang semakin

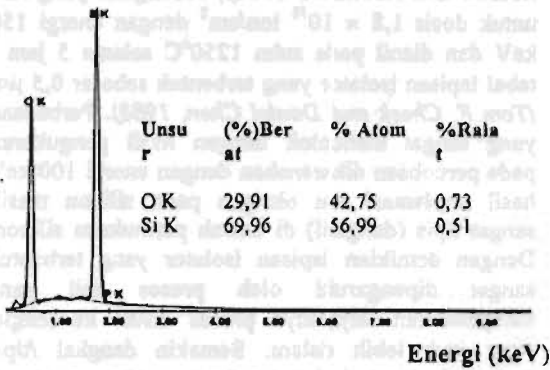
besar, maka daerah lapisan isolator yang terbentuk akan semakin besar dan oleh karena nilai kapasitansi berbanding terbalik terhadap jarak (daerah lapisan isolator) antara keping, sehingga dengan semakin besar dosis akan menambah besar lapisan isolator sehingga nilai kapasitansi akan semakin turun. Hal ini sesuai dengan hipotesa bahwa semakin tinggi dosis akan menambah kemungkinan terjadinya proses oksidasi antara oksigen dengan silikon yang membentuk senyawa baru. Secara teori kedalaman penetrasi ion oksigen dalam silikon yang diimplantasikan pada energi 100 keV adalah sekitar 200-300 nm (hasil simulasi dengan TRIM'90) pada lampiran 1. Penelitian yang dilakukan sebelumnya untuk dosis $2,2 \times 10^{18}$ ion/cm² pada energi 200 keV dengan suhu anil 1300°C selama 5 jam, diperoleh tebal lapisan isolator sebesar 4750 angstrom (Reeson and Robinson, 1988), sedangkan yang lain untuk dosis $1,8 \times 10^{18}$ ion/cm² dengan energi 150 keV dan dianil pada suhu 1250°C selama 5 jam, tebal lapisan isolator yang terbentuk sebesar 0,5 μm (Tom F, Cheek and Daniel Chen, 1988). Perbedaan yang sangat mencolok dengan hasil pengukuran pada percobaan dikarenakan dengan energi 100 keV hasil implantasi ion oksigen pada silikon masih sangat tipis (dangkal) di bawah permukaan silikon. Dengan demikian lapisan isolator yang terbentuk sangat dipengaruhi oleh proses anil yang menyebabkan terjadinya proses difusi ke tempat yang jauh lebih dalam. Semakin dangkal /tipis lapisan isolator dari permukaan, maka pengaruh difusi akan semakin besar. Adapun besarnya kandungan unsur oksigen dalam silikon seperti terlihat pada analisis spektrum energi pada Gambar 6, 7 dan 8.



Gambar 6.. Spektrum energi sinar X potonga melintang silikon diimplantasi ion oksigen pada dosis $2,472 \times 10^{18}$ ion/cm² dianil pada 1000 °C selama 4 jam.



Gambar 7. Spektrum energi sinar X potongan melintang silikon diimplantasi ion oksigen pada dosis $1,275 \times 10^{19}$ ion/cm² dianil pada 1000 °C selama 4 jam.



Gambar 8. Spektrum energi sinar X potongan melintang silikon diimplantasi ion oksigen pada dosis $1,530 \times 10^{20}$ ion/cm² dianil pada 1000 °C selama 4 jam.

Dari analisis unsur dengan menggunakan EDS yang dikopelkan pada SEM terlihat bahwa kandungan unsur oksigen dengan dosis semakin tinggi, maka persen atom akan meningkat. Apabila telah mencapai kondisi jenuh akan diperoleh kondisi yang hampir konstan. Dengan demikian walaupun dosis dinaikan sudah tidak berpengaruh lagi terhadap kandungan unsur oksigen pada silikon, sehingga bila dosis terus dinaikan, sudah tidak efektif lagi bahkan dapat merusak material induknya.

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan, pengamatan maupun analisis unsur yang telah dilakukan terhadap permukaan semikonduktor silikon yang diimplantasi dengan ion oksigen untuk berbagai dosis pada energi 100 keV dapat disimpulkan :

1. Nilai resistivitas untuk dosis ion oksigen yang semakin tinggi, maka nilai resistivitas akan semakin besar. Besarnya nilai resistivitas untuk dosis $9,715 \times 10^{16}$ ion/cm²; $2,472 \times 10^{18}$ ion/cm²; $1,275 \times 10^{19}$ ion/cm² dan $1,530 \times 10^{20}$ ion/cm² masing-masing adalah 396 ± 6 ohm/cm²; 3180 ± 26 ohm/cm²; 4270 ± 30 ohm/cm² dan 6760 ± 35 ohm/cm²
2. Untuk dosis ion oksigen yang semakin tinggi, maka lapisan isolator yang terbentuk juga semakin tebal, adapun tebal lapisan isolator yang terukur $2,472 \times 10^{18}$ ion/cm²; $1,275 \times 10^{19}$ ion/cm² dan $1,53 \times 10^{20}$ ion/cm², masing-masing diperoleh ketebalan $(2 \pm 0,05) \mu\text{m}$; $(2,6 \pm 0,04) \mu\text{m}$ dan $(3 \pm 0,03) \mu\text{m}$.
3. Untuk dosis ion oksigen yang semakin besar, maka kandungan unsur oksigen dalam silikon semakin besar, sebaliknya unsur atom silikon mengalami penurunan. Adapun hasil pengamatan kandungan unsur oksigen dalam silikon dengan EDS untuk dosis $9,715 \times 10^{16}$ ion/cm²; $2,472 \times 10^{18}$ ion/cm²; $1,275 \times 10^{19}$ ion/cm² dan $1,530 \times 10^{20}$ ion/cm², masing-masing $(40,24 \pm 0,77) \%$ atom; $(41,24 \pm 0,68) \%$ atom; $(42,28 \pm 0,70) \%$ atom dan $(42,75 \pm 0,72) \%$ atom.

SARAN

1. Untuk proses implantasi ion kedalaman sangat dangkal (dalam orde angstrom), maka tegangan tinggi (HV) pemercepat pada alat SEM/EDAXS dioperasikan pada tegangan yang tidak terlalu tinggi (di bawah 5 kV), hal ini dimaksudkan agar penetrasi elektron yang dimanfaatkan untuk mendeteksi unsur tidak terlalu dalam/tidak sampai mengenai material induk.
2. Untuk penelitian lanjutan perlu dilakukan pengamatan variasi energi terhadap perubahan struktur mikro silikon dan tebal lapisan isolator SiO₂ yang terbentuk.

DAFTAR PUSTAKA

1. Krause, S.J., Jung, C.O., Ravi, T.S., Wilson, S.R., Burke, D.E., *Precipitate and Defect Formation in Oxygen Implanted Silicon-On-Insulator*, Material, Proc. Vol. 107, Material Res. Society Symposium, 1988.
2. MAYER, J.W., ERIKSON, L., DEVIES, J.A., *Ion Implantation in Semiconductors Silicon and Germanium*, Academic Press, New York, 1970.
3. RYSSEL, H. and RUGE, I., *Ion Implantation*, John Wiley and Sons Ltd, New York, 1986.
4. ROBINSON, A.K. and REESON, K.J. *Total Dielectric Isolation of Device Islands Using SIMOX/ SOI Technology*, Material Res Society Symposium, Proc. Vol.107, 1988.

