

KAJIAN PEMANFAATAN AKSELERATOR ION UNTUK INDUSTRI KOMPONEN MIKROELEKTRONIK

Aminus Salam, Djoko S. Pudjorahardjo, Slamet Santoso

Puslitbang Teknologi Maju - BATAN

ABSTRAK

KAJIAN PEMANFAATAN AKSELERATOR ION UNTUK INDUSTRI MIKROELEKTRONIKA. Telah dikaji pemanfaatan akselerator ion untuk industri mikroelektronika. Tujuan dari kajian ini adalah untuk mempersiapkan dokumen tentang pemanfaatan teknologi akselerator ion untuk industri mikroelektronika. Hal tersebut berkaitan dengan rencana pembangunan laboratorium berbasis akselerator di P3TM BATAN Yogyakarta. Akselerator ion sebagai alat untuk mempercepat partikel ion dengan energi tertentu. Partikel ion sebagai proyektil akan menumbuk atom target sehingga material target akan terimplantasi ion. Salah satu aplikasinya adalah untuk mengubah sifat-sifat bahan semikonduktor dengan teknik implantasi ion. Dengan teknik implantasi ion dapat difabrikasi rangkaian terpadu (IC) berbasis MOS (Metal Oxide Semiconductor) atau CMOS (Complementary MOS) yang berupa LSI, MSI, VLSI dan ULSI. Jenis ion dopan yang digunakan sebagai proyektil pada bahan semikonduktor ialah B, P, As, In, Sb, sedangkan bahan material target 95% menggunakan silikon (Si). Arus berkas ion yang diperlukan dalam orde μA hingga 10 mA, sedangkan energi ion yang diperlukan pada range 20 keV s/d 3 MeV. Oleh karena itu untuk merealisasi pemanfaatan laboratorium berbasis akselerator ion untuk fabrikasi komponen mikroelektronika diperlukan akselerator ion dengan jangkauan energi 20 keV s/d 3 MeV.

Kata kunci : Akselerator ion, komponen mikroelektronik

ABSTRACT

ASSESSMENT OF ION ACCELERATOR APPLICATION FOR INDUSTRY OF MICROELECTRONIC COMPONENTS. The assesment of ion accelerator for industry of microelectronic componets has been carried out. The objective of the assesment is to prepare the document about application of ion accelerator application for industry of microelectronic components. The assesment is related with the plan of establishment of accelerator laboratory at CRDAT of BATAN Yogyakarta. The ion accelerator is an instrument to accelerate ions with a certain kinetic energy. The ions strike a target and interact with atoms in the target material so that they are implanted into target material. It can be applied for modification of semiconductor characteristic by ion implataion technique. The ion implantation technique can be used for fabrication of MOS or CMOS based IC, such as LSI, MLSI, VLSI and ULSI. In this case the B, P, As, In and Sb elements are usually used as dopan, and 95 % of the target materials is silicon. The ion beam current needed for the process is in the range from μA up to 10 mA, while the energy of ions is the range from 20 KeV to 3 MeV. The implementation of accelerator based labolatory for fabrication of micro-electronics components needs ion implantation which can provide ions with energy from 20 KeV to 3 MeV

Key words : ion accelerator, microelectronic components

PENDAHULUAN

Pada awal abad ke 21 hampir di semua bidang kehidupan telah banyak kemudahan yang dapat dirasakan oleh manusia. Hal ini berkat perkembangan iptek yang sangat pesat, termasuk iptek nuklir. P3TM Batan Yogyakarta merencanakan pembangunan laboratorium berbasis teknologi akselerator ion dalam rangka turut serta memanfaatkan iptek nuklir untuk peningkatan kesejahteraan masyarakat dan kinerja industri, salah satu industri yang dapat memanfaatkan teknologi akselerator adalah industri mikroelektronik.

Manfaat dari akselerator ion/implantasi ion adalah dapat menanamkan ion-ion atom dopan yang digunakan sebagai ketakmurnian bahan semikonduktor, untuk mengubah sifat bahan semikonduktor dalam orde mikrometer untuk membuat rangkaian terpadu (IC) yang pada dasarnya sebagai gabungan dari piranti/komponen elektronika dioda, tahanan (R), kapasitor (C), induktan (L) dll.^[1]. Saat ini fabrikasi IC berupa LSI, MLSI, VLSI dan ULSI telah berkembang dengan pesat. Lebih dari 15 negara telah memanfaatkan teknologi implantasi ion dalam bidang industri mikroelektronika dan sudah kita rasakan hasilnya berupa produk-produk

telekomunikasi, informasi, transportasi, industri elektronika dan kedokteran. Lebih dari milyaran dollar dapat diperoleh dari industri mikroelektronika dengan teknologi akselerator ion. Keuntungan yang begitu besar tersebut memerlukan teknologi tinggi yang sangat rumit, karena ukurannya yang sangat kecil (dalam orde mikrometer bahkan nanometer) dalam material semikonduktor. Untuk miniaturisasi hingga ukuran nanometer diperlukan pengetahuan mekanika kuantum yang diperlukan pada industri komponen mikroelektronik.

Penduduk Indonesia lebih dari 200 juta dan mempunyai wilayah sangat luas, sehingga kebutuhan akan teknologi tinggi khususnya mikroelektronik sangat diperlukan. Disamping itu hasil produksi komponen mikroelektronika dapat dijadikan sebagai salah satu komoditi barang ekspor seperti negara tetangga (Singapura, Jepang). Dengan demikian sumber pendapatan tersebut sangat menjanjikan untuk mensejahterakan bangsa. Meskipun kita ketinggalan sangat jauh dari negara maju dalam menguasai industri mikroelektronika berbasis akselerator ion, tetapi karena hasilnya yang sangat menjanjikan maka Batan perlu mempersiapkan SDM untuk menguasai ilmu pengetahuan dan teknologi akselerator ion untuk diaplikasikan pada industri komponen mikroelektronika.

BAHAN KAJIAN

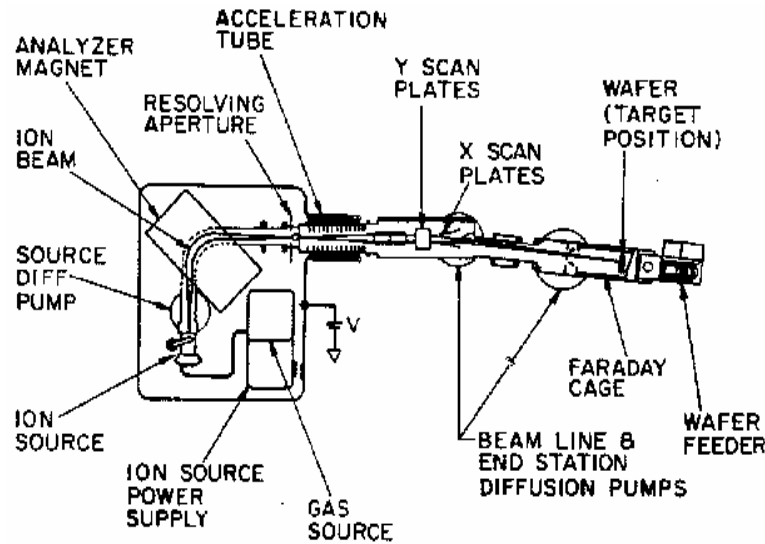
Peran Akselerator Ion Dalam Industri Mikroelektronika

Ilmu pengetahuan dan teknologi nuklir, khususnya teknologi akselerator ion dapat memberikan dukungan yang sangat berarti pada proses pembuatan piranti elektronika dari bahan semikonduktor di industri mikroelektronika. Pada pembuatan rangkaian terpadu (IC) dilakukan langkah-langkah yang rumit dan detail, yaitu dari proses awal hingga terwujudnya chip IC. Pada proses awal dilakukan desain dengan sistem *computer aided design* (CAD)^[2] yaitu program untuk simulasi yang menampung ukuran, tataletak komponen, gerbang masuk dan keluar, bentuk tampilan dan ukuran. Sistem simulasi untuk pemodelan perangkat keras dan pemodelan watak komponen tersebut terakomodasi dengan menggunakan bahasa pemrograman Pascal dan C. Desain yang telah sempurna kemudian digandakan sesuai keinginan dengan proses litrography untuk memperoleh bentuk yang sama. Proses litrography dapat dilakukan dengan cara *extreme ultraviolet litrography* (EUVL), *X ray litrography* (XRL),

electron projection litrography (EPL), *ion projection litrography*. Hasil dari proses litrography kemudian dilakukan etching, yaitu proses untuk memindahkan material pada wafer secara selektif, dilakukan secara kimia, fisika dan kombinasi proses kimia dan fisika. Langkah proses berikutnya yaitu deposisi atau pelapisan pada permukaan material/wafer secara physical vapor deposition (PVD) dan chemical vapor deposition (CVD), kemudian mempolis secara kimia, oksidasi, implantasi ion dan diffusi.

Implantasi ion menggunakan akselerator ion adalah salah satu proses pada pembuatan rangkaian terpadu (IC)/ULSI^[2], mempunyai banyak kelebihan. Keunggulan proses implantasi ion pada material adalah terletak pada pengontrol proses ion-ion doping pada material semikonduktor yang lebih baik dibanding dengan metoda difusi thermal dan epitaksi^[3]. Dengan implantasi ion semua jenis ion dopan dapat dicangkokkan pada substrat semikonduktor, dalam waktu yang cepat (orde menit) dan kontaminasinya rendah^[3]. Partikel ion dipercepat pada energi 20 keV - 3 MeV^[4,5] kemudian ditumbukkan pada material target. Pada sistem implantor ion terdapat komponen-komponen penting terdiri dari sumber ion, sumber tegangan tinggi, sistem hampa, sistem pembelok, sistem pemisah berkas ion, tabung pemercepat, sistem penyapu berkas dan tempat target yang ditunjukkan pada Gambar 1^[5].

Proses yang terjadi tergantung dari temperatur kritis material target, untuk material Si, Ge dan GaAs masing-masing 650 °C, 400 °C, 250 °C. Proses implantasi ion akan mengakibatkan kerusakan pada kisi-kisi material target dan untuk memperbaiki sifat material seperti semula dilakukan proses anil yang memerlukan suhu > 900 °C^[3]. Perkembangan teknologi miniaturisasi untuk industri sangat mendukung karena kemampuan ukuran yang sangat kecil^[6]. Kemampuan miniaturisasi dari orde millimeter menuju orde mikrometer hingga nano-meter telah memberi arti dalam ilmu pengetahuan, khususnya pengukuran dan instrumentasi. Mekanika kuantum yang membahas hingga orde mikrometer telah lama menjelaskan sebelum adanya mikroskop elektron. Hal ini memberikan prospek pada ukuran semikonduktor, terutama material dasar, untuk fabrikasi mikroelektronika. Ukuran sebesar 50 nanometer atau 1/20 mikrometer telah dapat digunakan untuk fabrikasi mikroelektronika sehingga teknologi nanometer memberi sumbangan yang berarti pada fabrikasi chips dalam pembuatan ULSI^[7].



Gambar 1. Gambar sistem proses implantasi ion.

Reaksi nuklir yang terjadi adalah gerak partikel ion yang dipercepat (disebut akselerator ion /implantasi ion) yang terkendali karakteristiknya (intensitas, ukuran berkas, energi kinetik, dll.) sebagai proyektil partikel ion ditumbukkan dengan atom dari material target, mengakibatkan interaksi dengan material target sehingga terjadi penempelan ion (ion dopan) pada material target. Akibat penempelan berkas ion pada material target maka teknologi ini dapat dibuat rangkaian terpadu (IC) yang berkemampuan sangat tinggi pada ukuran yang sangat kecil hingga mencapai ULSI (*Ultra Large Scale Integration*). Secara umum efek interaksi berkas partikel ion dengan material sasaran adalah penyerapan berkas ion pada bahan sehingga terjadi penembusan berkas ion sampai dengan ion berhenti. Proses terjadinya berkas ion berhenti disebabkan oleh adanya daya henti nuklir dan daya henti elektronik^[7,8] :

Daya Henti Nuklir

Daya henti nuklir adalah daya henti pada berkas ion yang terjadi dari transfer momentum akibat tumbukan dua buah massa yaitu massa partikel ion dan atom target pada energi dE sepanjang dX, besar daya henti nuklir adalah :

$$S_n(E)_n = \frac{1}{N_n} \left(\frac{dE}{dX} \right)_n = \int_0^{T_n} T_n(E, \rho) 2\pi \rho d\rho$$

$$= \int_0^{T_n} d\sigma(ET_n) \tag{1}$$

dengan :

- $S_n(E)_n$ = daya henti nuklir
- N_n = rapat atom
- T_n = transfer energi maksimal

Daya Henti Elektronik

Daya henti elektronik adalah daya henti pada berkas partikel ion hingga berhenti akibat proses tumbukan partikel ion dengan elektron target, besar daya henti elektronik adalah^[8] :

$$S_e(E) = - \frac{1}{N} \left(\frac{dE}{dX} \right)_e = \int_0^{\infty} (E, \rho) 2\pi \rho d\rho \tag{2}$$

- dengan $S_e(E)_n$ = daya henti elektronik
- N_n = rapat atom
- T_n = transfer energi maksimal

Secara umum masing-masing daya henti nuklir $S_n(E)$ dan daya henti elektronik $S_e(E)$ berpengaruh pada daerah energi yang berbeda, $S_n(E)$ berpengaruh pada daerah pada energi rendah ($S_n(E) < 30$ keV) sedangkan $S_e(E)$ berpengaruh kuat pada energi yang tinggi ($S_e(E) > 30$ keV)

Jangkauan\Daya Tembus

Jangkauan (*range*)/daya tembus ion adalah jarak yang ditempuh partikel ion sebagai proyektil yang dipercepat gerakanya sehingga menumbuk sasaran (*target*) dan terjadi interaksi antara partikel ion dengan inti target dan atau elektron yang mengakibatkan berkas ion kehilangan energi. Berhentinya partikel ion pada target terdistribusi secara statistik Gaussian, dimana partikel makin jauh terdistribusi makin kecil kebolehjadiannya^[8]:

$$R = \frac{dE}{dX} = \left(\frac{dE}{dX} \right)_e + \left(\frac{dE}{dX} \right)_n = N (S_e + S_n) \quad (3)$$

dengan :

- R = jangkauan (μm)
- N = jumlah atom
- S_e = daya henti elektronik
- S_n = daya henti nuklir
- dE/dX = daya henti sejauh x meter

Jarak total yang ditempuh oleh partikel ion didalam bahan/material target (partikel dari saat masuk hingga berhenti pada suatu lokasi dalam material/target), secara matematis jangkauan total dapat dituliskan sebagai berikut^[9]:

$$R_t = \frac{60 (Z_i^{2/3} + Z_s^{2/3})^2 (m_i + m_s)}{\rho m_i m_s} E_0 \quad (4)$$

dengan :

- R_t = jangkauan total (μm)
- m_i = massa atom partikel (amu, gram)
- m_s = massa atom target (amu, gram)

- Z_i = nomor atom partikel
- Z_s = nomor atom target
- E_0 = energi partikel (keV)
- ρ = rapat massa target (g/cm^2)

Pada umumnya untuk keperluan teknis digunakan jangkauan partikel yang searah dengan arah mula-mula pada saat partikel masuk dan disebut sebagai jangkauan terproyeksi (R_p) sedangkan jangkauan ion yang searah dengan ion mula-mula (R_t). Korelasi antara (R_p) dan (R_t) adalah^[9]:

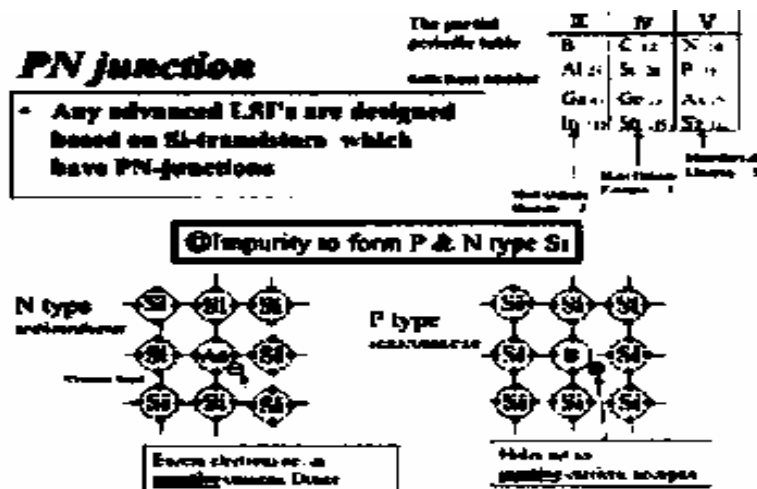
$$\frac{R_t}{R_p} = \frac{1}{4} \left\{ (5+A) \frac{(1+A)}{2A} \text{arcCos} \left(\frac{1-A}{1+A} \right) - 1 - 3A \right\} \quad (5)$$

dengan $A = m_s/m_i$, jika $A \leq 1$ maka persamaan (5) dapat dituliskan^[1,11]:

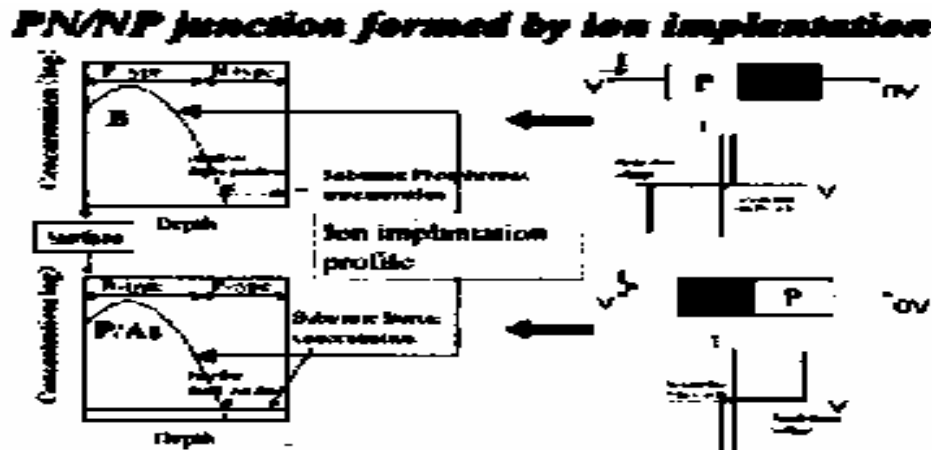
$$\frac{R_t}{R_p} \approx 1 + \frac{1}{3} A \quad (6)$$

Pembentukan Diode P dan N pada Wafer Si

Sebagai dasar pembentukan rangkaian aktif adalah diode dan transistor, untuk pembentukan rangkaian aktif diode adalah dibangun persambungan semikonduktor tipe N dan semikonduktor tipe P. Untuk persambungan tipe P sebagai ion dopan adalah B, In (unsur Gol III) dan ion dopan tipe N adalah P, As, Sb (unsur Gol V). Pembentukan semikonduktor tipe N dan P berdasarkan ikatan elektron yang ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Ikatan elektron ion dopan As dengan wafer Si untuk tipe N dan ion dopan B dengan wafer Si.



Gambar 3. Gambar bentuk persambungan PN/NP pada ion B dengan implantasi ion.

Pembentukan diode dari persambungan P-N yaitu wafer Si diimplantasi dengan ion B atau In sedangkan pembentukan diode persambungan N-P adalah wafer Si diimplantasi dengan P, As sehingga terbentuk diode jenis N-P. Untuk ion dopan boron dan fosfor ditunjukkan pada Gambar 3.

Pada pembuatan transistor dibuat persambungan gabungan diode jenis N-P dan jenis P-N. Transistor jenis N-P-N merupakan persambungan dari diode N-P dan transistor P-N-P merupakan persambungan dari diode PN. Rangkaian terpadu (IC) merupakan susunan dari banyak komponen aktif transistor dan diode beserta pendukung lainnya (R,C) yang disusun secara rapi dan proses penempelan ion dopan dengan menggunakan implantasi ion proses ini disebut pembuatan IC yang berbasis MOS (*Metal Oxide Semiconductor*) dan untuk peningkatan kapasitas yang lebih besar berupa LSI, MLSI, VLSI dan ULSI merupakan fabrikasi rangkaian terpadu berbasis CMOS (*Complementary MOS*).

Software TRIM (*Transport of Ions in Material*)

TRIM merupakan program/perangkat lunak yang digunakan untuk simulasi transport berkas ion dopan. Sebagai masukan pada program Trim untuk simulasi adalah energi, jenis ion dopan, material target, kerapatan (g/cm^2), satuan penghentian dalam MeV. Dengan memasukan parameter-parameter tersebut pada program Trim dengan energi yang

bervariasi akan diperoleh secara berurutan daya henti elektronik (dE/dX_e), daya henti nuklir (dE/dX_n), jangkauan penetrasi, (\AA) ion straggling (\AA), lateral straggling (\AA) sesuai dengan besar energinya^[7,11].

Parameter Proses Implantasi ion

Untuk mendapatkan hasil optimum implantasi ion pada bahan, material target harus diperhatikan parameter proses. Parameter proses implantasi ion adalah jenis dopan, energi berkas ion (E) dan dosis intensitas (D) dan jenis bahan target^[5,9]:

Jenis Dopan

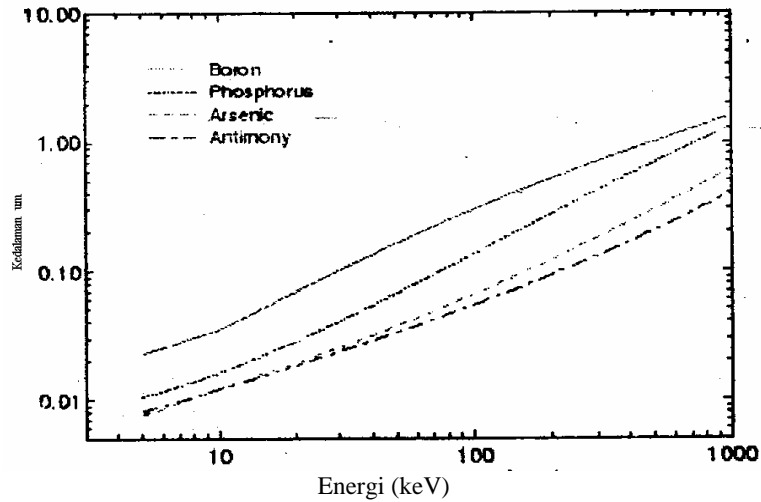
Unsur kimia yang digunakan sebagai impuritas pada bahan target silikon adalah unsur golongan valensi III dan V dalam tabel periodik, karena mudah membentuk persambungan sebagai ion dopan. Unsur-unsur tersebut digunakan untuk tipe p (positip) dan tipe n (negatip) sebagai dopan pada bahan semikonduktor. Untuk doping tipe p biasanya digunakan unsur Boron dan Indium, sedangkan bahan doping tipe n digunakan unsur Phosphor, Arsenit dan Antimon^[4,11]:

Energi Berkas ion

Kedalaman penetrasi dari partikel ion tergantung dari energi ion tersebut. Sebagai pembentukan pada berbasis MOS (metal oxide semikonduktor) digunakan energi s/d 200 keV,

sedangkan untuk fabrikasi komponen mikro-elektronik digunakan energi 20 keV s/d 3 MeV.^[9,10] Untuk dopan unsur B, P, Ar, Sb yang diimplan-

tasikan pada bahan/material silikon (Si), hubungan energi (keV) dengan jangkauan (µm) pada material Si ditunjukkan pada Gambar 4^[2] :



Gambar 4. Gambar hubungan antara energi (keV) dengan jangkauan penetrasi (µ m) pada bahan silikon (Si).

Dosis Ion

Dosis ion didefinisikan sebagai jumlah ion yang sampai pada permukaan target persatuan luas. Besarnya dosis berbanding langsung dengan arus berkas ion, lamanya proses implantasi (dt) dan berbanding terbalik dengan charge state, muatan elektron serta luas penampang berkas yang ditunjukkan pada persamaan^[9] :

$$D = \frac{i t}{q e A} \tag{8}$$

dengan :

- i* = arus berkas (Ampere)
- t* = lama proses implantasi ion (detik)
- q* = charge state ion
- e* = muatan elektron (coulomb)
- A* = luas penampang (cm²)

Material Bahan Semikonduktor

Bahan semikonduktor sebagai material target proyektil ion yang digunakan untuk komponen

elektronika dengan kecepatan tinggi adalah Si, Ge, GaAs, SiGe dan bahan semikonduktor lainnya (bahan superlative semikonduktor) yaitu GeSi / Si (GeSi yang ditumbukkan diatas wafer Si) dan GaAlAs/GaAs(GaAl/As yang ditumbukkan diatas wafer GaAs). Hingga saat ini dalam industri mikro-elektronika hampir semuanya (95 %) menggunakan bahan semikonduktor Silikon (Si), karena bahannya relatif murah dapat dioperasikan pada suhu kamar dan kemampuan kecepatan yang tinggi^[4,11].

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil bahan kajian diperoleh kesimpulan bahwa akselerator ion yang digunakan pada industri komponen mikroelektronika memerlukan energi s/d 3 MeV dengan bahan material yang diimplantasi ialah bahan silikon, karena mudah diperoleh, murah harganya dan dapat dioperasikan pada suhu kamar (95 % industri komponen mikroelektronika menggunakan bahan material Si). Berdasarkan klasifikasi energi penggunaan akselerator adalah sebagai berikut pada bahan/material silikon terlihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hubungan energi dengan kemampuan ukuran berkas.

No	Energi	Digunakan untuk	Ukuran berkas ion
01	20 keV - 180 keV	rekayasa bahan	> 0.5 mikron

02	10 keV - 3.000 keV	fabrikasi mikroelektronik	≤ 0.5 mikron
03	0.5 keV - 10.000 keV	riset	orde nano

Unsur kimia yang digunakan untuk berkas ion dopan adalah unsur dari golongan III A dan IVA pada tabel periodik unsur kimia, dengan parameter lainnya seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Parameter yang diperlukan dalam industri mikroelektronika.

Energi range	20 keV s/d 3 MeV
Jenis Ion Dopan	B, P, As, In, Sb
Arus berkas	orde μA hingga 10 mA
Jangkauan	10 nm - 3 μm
Dosis	10^{12} - 10^{16} ion/cm ²

Dalam industri komponen mikroelektronika dengan menggunakan implantasi ion energi yang diperlukan 20 keV s/d 3 MeV untuk ion dopan dari unsur golongan III dan V dimana masing-masing unsur memerlukan energi yang berbeda dan bervariasi untuk mencapai kedalaman penetrasi 10 nm - 3 μm seperti pada Tabel:3

Tabel 3. Hubungan Unsur dopan dengan energi untuk mencapai kedalaman pada 10 nm - 3 μm .

Unsur	Energi pada kedalaman 10 nm - 3 μm
B	200 eV - 800 keV
P	20 keV - 3 MeV
As	1 keV - 250 keV
In	- -150 keV

Dengan jangkauan yang dicapai 10 nm - 3 μm , energi bervariasi dengan dosis yang digunakan bervariasi pada 10^{12} - 10^{16} ion/cm² dengan arus berkas ion yang diperlukan adalah orde μA - 10 mA.

Pemanfaatan akselerator ion untuk fabrikasi komponen mikroelektronika khususnya ULSI dapat menghasilkan keuntungan yang besar. Untuk mewujudkan keinginan ini diperlukan kesiapan yang tinggi baik dari segi pendanaan dan sumber daya manusianya (SDM) serta kerjasama dengan instansi terkait baik negeri maupun swasta

(Perguruan Tinggi di Indonesia). Hal ini telah dibuktikan oleh negara maju yaitu dengan penguasaan teknologi yang didukung oleh SDM telah terbukti dapat meng-hasilkan keuntungan yang sangat besar. Negara kita yang terdiri dari ribuan pulau dan penduduk lebih dari 200 juta orang sangat memerlukan teknologi ini yaitu dapat menambah lapangan kerja/mengurangi pengangguran, memajukan perekonomian Indonesia dan dengan harapan dapat mensejahterakan perekonomian bangsa Indonesia.

KESIMPULAN

Dari kajian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa akselerator ion untuk implantasi ion pada industri komponen mikroelektronika memerlukan jenis akselerator ion energi menengah 20 keV s/d 3 MeV yang harus dilengkapi dengan fasilitas pendukung lainnya. Akselerator ion yang telah ada di Puslitbang Teknologi Maju BATAN Yogyakarta yang merupakan hasil rekayasa sendiri dengan energi s/d 100 keV diperlukan peningkatan energi ion yang lebih tinggi sehingga mencapai energi 3 MeV diperlukan peningkatan energi ion atau membeli perangkat akselerator ion untuk energi lebih besar hingga mencapai 3 MeV sehingga hasil penelitiannya dapat diaplikasikan untuk industri komponen mikroelektronika.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] MILLMAN, HALKIAS, M. BARMAWI, M.O. TJIA, *Rangkaian Terpadu*, Penerbit Erlangga, Jakarta, 1984.
- [2] ANDREAS HOSSINGER, *Simulation of Ion Implantation for ULSI Technology*, Wien, in Juli 2000.
- [3] DARSONO, *Applikasi Akselerator Ion Untuk Fabrikasi Mikroelektronik*, Rapat Koordinasi Tim Akselerator, P3TM-BATAN, Yogyakarta, 22 Juli 1999
- [4] SUGITANI, M., *Accelerator Application for Microelectronic*, Batan Accelerator School (BAS) 2002, Yogyakarta, January 2003.
- [5] SZE, S.M, *VLSI Technology*, McGraw-Hill, 1988.
- [6] H.ROHRER, *Possibilities And Limits of Miniaturization*, Material Science And

- manufacturing Technology to be held in Chiba, Japan, September, 1992.
- [7] SZE, SM (Ed), *High Speed Semiconductor Devais*, John Wiley and Sons, 1990.
- [8] IYOS R. SUBKI, BUDI SANTOSO, YAZIZ HASAN, *Stopping Power And Range In Ion Implantation*, Prosiding Seminar Pertemuan dan Presentasi Ilmiah Penelitian Dasar Ilmu Pengetahuan dan Teknologi Nuklir, PPNY-BATAN, Yogyakarta 25 - 27 Juli, 1997.
- [9] H. RYSSEL, I. RUGE, *Ion Implantation*, John Wiley & Sons, New York, 1986.
- [10] DJOKO S.P, dkk., *Kajian Teknologi Akselerator Ion Untuk Rekayasa Bahan*, Prosiding Seminar Teknologi dan Aplikasi Akselerator VI, P3TM - BATAN, Yogyakarta 2003. SUKIRNO, *Simulasi Implantasi Ion Oksigen Pada Substrate Silikon dengan Energi 100 - 400 keV Dengan Software TRIM*, Proceeding XVI National Symposium on Physics, Bandung, 1996.
- [11] SUKIRNO, *Simulasi Implantasi Ion Oksigen Pada Substrate Silikon dengan Energi 100 - 400 keV Dengan Software TRIM*, Proceeding XVI National Symposium on Physics, Bandung, 1996.

TANYA JAWAB

Gatot Wurdianto

- Bagaimana proses memasukkan unsur doping B / In atau tipe N (P, As dll.)?
- Apakah ada perubahan struktur atom setelah dimasukkan doping.

Aminus Salam

- Sumber ion masing-masing (B, In, P, As, Sb) dalam bentuk gas (bila padat, cair dipanaskan

dahulu (dionisasi) sehingga berupa gas), ion tersebut dipompa dengan pompa diffusi dan berkas ion tersebut dipilih yang benar-benar berkas ion yang digunakan sebagai ion dopan dalam proses pemilihan berkas ion melalui *analyzer* magnet. Berkas ion dilewatkan celah masuk tabung pemercepat, dilewatkan y *scan plates*, x *scan plates* menuju mangkok Faraday yang akhirnya dimasukkan pada *wafer* (target material).

- Struktur atom tersebut menjadi stabil (untuk B, P dengan melepas 3 elektron dan P, As dan Sb menangkap 5 elektron).

Agus Purwadi

- Mengapa banyak digunakan wafer Si, apakah tidak ada wafer yang lain yang lebih baik.
- Mengapa diperlukan energi sampai 3 MeV, sedangkan untuk industri/fabrikasi mikroelektronik ada yang menggunakan energi s/d 1 MeV.

Aminus Salam

- Secara umum *wafer* yang dapat digunakan adalah Si, Ge, GaAs, GeSi/Si, GaAlAs/GaAs, ZnTe/Si, ZnSe/Si *wafer* Si dapat digunakan pada suhu kamar/mudah didapat dalam bentuk SiCl₄. Ge tidak dapat beroperasi pada suhu kamar/diperlukan pendingin dan untuk *wafer* yang lain sulit diperoleh dan mahal harganya (lebih baik dari Si). Dengan pertimbangan diatas maka *wafer* Si banyak digunakan.
- Energi berkas ion untuk mencapai kedalaman 10 nm - 3 μ m masing-masing unsur energinya berbeda-beda. Untuk B 200 eV - 800 keV, P 20 keV - 3 MeV, As 1 keV - 250 keV, maka untuk industri komponen elektronik untuk energi \leq 1 MeV pada kedalaman s/d 3 μ m unsur yang digunakan B atau As, bila ingin menggunakan P, E = 3 MeV.