

PERANAN TEKNOLOGI AKSELERATOR DALAM PERKEMBANGAN TEKNOLOGI INFORMASI

Darsono

Puslitbang Teknologi Maju-BATAN

ABSTRAK

PERANAN TEKNOLOGI AKSELERATOR DALAM PERKEMBANGAN TEKNOLOGI INFORMASI. Teknologi informasi telah memberikan kemudahan bagi manusia untuk mengakses informasi. Berbagai kemudahan itu antara lain: kemudahan untuk memperoleh informasi melalui telepon seluler dan internet, kemudahan dalam bertransaksi dengan menggunakan kartu kredit atau debit, kemudahan melakukan pendidikan jarak jauh lewat internet, kemudahan telekonferensi, dan kemudahan untuk mengambil uang melalui anjungan tunai mandiri (ATM). Hal ini ditunjang oleh kemajuan dibidang komputer dan telekomunikasi yang merupakan basis teknologi informasi. Perkembangan teknologi komputer dan telekomunikasi ini tak lepas dari kemajuan dibidang fabrikasi mikroelektronik yang merupakan pembuat komponen-komponen dua bidang tersebut. Peranan teknologi akselerator sangat penting dalam fabrikasi mikroelektronik karena tanpa akselerator implanti ion dan akselerator sinkroton tak mungkin IC yang berisi ratusan ribu transistor dapat terwujud. Tentunya peranan ilmu fisika, teknik bahan, teknik elektronika, dan mikroelektronika sangat besar andilnya dalam perkembangan teknologi informasi ini. Pada makalah ini diuraikan perkembangan teknologi informasi (TI) dan peranan teknologi akselerator dalam fabrikasi mikroelektronik yang merupakan component utama TI.

Kata kunci: *Komputer, informasi, telekomunikasi, mikroelektronik, akselerator.*

ABSTRACTS

CONTRIBUTION OF THE ACCELERATOR TECHNOLOGY TO THE DEVELOPMENT OF INFORMATION TECHNOLOGY. Information technology (IT) has given an easy way to human being in access of information. For example to ease in getting information by cellular telephone and internet, to ease in doing business and bank transaction using credit card, and to ease doing remote education via internet. This ease is supported by development in the field of computer and communication technologies. The development of these fields is due to the development in fabrication of microelectronic which is the main component of the fields above. The accelerator technology has a big contribution in the development of microelectronic fabrications because without using ion implantor and synchrotron accelerator the IC contained hundred thousand transistor will not be existed. Of cause other fields such as physics, material and electronic engineering, as well as microelectronic have also given a big contribution to the development of information technology. In this paper the development of IT and the contribution of the accelerator technology in fabrication of microelectronic which is the main component of the IT are described.

Keywords: *Accelerator, computer, information, telecommunication, microelectronic*

PENDAHULUAN

Teknologi informasi berkembang begitu pesat dan dampaknya telah kita rasakan. Saat ini. Berbagai kemudahan yang kita terima seperti kemudahan untuk memperoleh informasi melalui telepon seluler dan internet, kemudahan dalam bertransaksi dengan menggunakan kartu kredit atau debit, pendidikan jarak jauh lewat internet, telekonferensi, dan kemudahan untuk mengambil uang melalui anjungan tunai mandiri (ATM), adalah berkat kemajuan teknologi informasi. Teknologi informasi memungkinkan

seseorang dapat mengirim-kan atau menerima informasi ke atau dari pihak lain yang letaknya berjauhan secara *online* atau bahkan "tatap muka" lewat komputer.

Teknologi informasi didefinisikan sebagai teknologi yang menggabungkan komputasi (komputer) dengan jalur komunikasi berkecepatan tinggi yang membawa data, suara, dan video^[1]. Dengan kata lain **teknologi informasi** adalah gabungan antara **teknologi komputer** dan **teknologi telekomunikasi**. Komponen pertama dari teknologi informasi adalah teknologi telekomunikasi. Teknologi ini mempunyai peranan yang sangat penting

dalam teknologi informarsi. Berbagai peralatan informasi yang memiliki kemampuan untuk mengakses informasi melalui sarana telekomunikasi juga mudah didapat dipasaran dengan harga yang murah misal HP. Perkembangan kemajuan teknologi media transmisi melalui kabel serat optik, gelombang mikro dan satelit telah mempercepat waktu komunikasi dan memperluas jangkauan wilayah komunikasi.

Komponen kedua dari teknologi informasi adalah teknologi komputer. Teknologi ini berkembang pesat khususnya mesin pemroses (CPU, mikroprosesor) yang merupakan teknologi kunci dari komputer CPU berfungsi menjadi pusat pengolah data dengan cara menjalankan program yang mengatur pengolahan tersebut. Disamping itu kemajuan teknologi penyimpan data informasi, teknologi perangkat lunak dan teknologi penunjang lainnya telah membuat teknologi komputer semakin handal dan murah.

Teknologi komputer dan telekomunikasi ini tak terlepas dari kemajuan teknologi fabrikasi mikroelektronik, teknologi akselerator, teknologi semikonduktor, dan IPTEK penunjang lainnya. Pada makalah ini diuraikan mengenai perkembangan teknologi informasi, fabrikasi mikroelektronik, dan peranan fisika akselerator dalam menunjang perkembangan teknologi informasi.

PERKEMBANGAN TEKNOLOGI INFORMASI

Banyak orang menganggap bahwa teknologi informasi adalah teknologi yang berhubungan dengan komputer sehingga timbul berbagai definisi teknologi informasi. Pada awal perkembangannya memang betul bahwa teknologi informasi berkonotasi komputer karena teknologi informasi digunakan untuk memproses data sehingga dihasilkan informasi. Berbagai definisi teknologi informasi dimunculkan sesuai dengan perkembangan jaman. Sebagai contoh pada akhir abad 20 teknologi informasi didefinisikan sebagai seperangkat alat yang membantu manusia bekerja dengan informasi dan melakukan tugas-tugas yang berhubungan dengan pemrosesan informasi^[2]. Namun pada abad 21 ini sesuai dengan kemajuan teknologi komputer dan telekomunikasi maka teknologi informasi didefinisikan sebagai teknologi yang menggabungkan komputasi (komputer) dengan jalur komunikasi berkecepatan tinggi yang membawa data, suara, dan video^[1]. Dengan kata lain **teknologi informasi** adalah gabungan antara **teknologi komputer** dan **teknologi**

telekomunikasi. Sesuai dengan kebutuhan masyarakat yang menghendaki kemudahan dalam menggunakan teknologi informasi, dan harganya yang murah maka dua bidang utama sebagai pondasi teknologi informasi tersebut diatas telah dibagi menjadi bidang garapan-garapan tersendiri yang melakukan litdas, litbang, inovasi teknologi dan fabrikasi untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Teknologi informasi dikelompokkan menjadi enam bidang garapan yaitu satu bidang berhubungan dengan teknologi komunikasi, dan lima bidang yang berhubungan dengan teknologi komputer.

Teknologi Komunikasi

Teknologi komunikasi atau telekomunikasi adalah teknologi yang berhubungan dengan komunikasi jarak jauh. Teknologi ini mempunyai peranan yang sangat penting dalam teknologi informasi. Berbagai peralatan informasi yang memiliki kemampuan untuk mengakses informasi melalui sarana telekomunikasi juga telah tercipta misal internet TV yaitu peralatan yang memungkinkan televisi dapat digunakan untuk mengakses internet. Alat komunikasi selain telpon kabel juga bermunculan seperti HP (*Hand phone*) atau telepon selular dan GPS. (*Global Positioning System*). Dengan teknologi ini memungkinkan seseorang dapat mengirimkan atau menerima informasi ke atau dari pihak lain yang letaknya berjauhan secara *online* atau bahkan "tatap muka" lewat komputer.

Berbagai media transmisi untuk komunikasi berkembang sangat pesat baik berupa media transmisi berkabel atau tidak berkabel. Media transmisi berkabel seperti kabel serat optik sekarang mudah didapat dipasaran dengan harga cukup murah. Kabel serat optik mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan kabel terpilin (*twisted pair cable*) atau kabel koaksial yaitu^[3] :

1. Memiliki lebar jalur (*bandwidth*) yang lebih besar;
 - a. volume transmisi data besar
 - b. kecepatan transmisi tinggi.
1. Lebih ringan dan kecil
2. Tidak terpengaruh medan elektromagnetik
3. Tidak bisa disadap

Media transmisi kabel serat optik ini sangat cocok untuk komunikasi LAN (*local area network*). LAN jangan diartikan hanya daerah perkantoran, tetapi bisa wilayah seperti wilayah propinsi ataupun pulau bahkan antar pulau.

Media transmisi lainnya yaitu takberkabel dengan memanfaatkan spektrum gelombang elektromagnetik. Media tak berkabel yang digunakan untuk media transmisi yaitu mikrogelombang, satelit, gelombang radio, dan inframerah. Gelombang radio dengan frekuensi 400 MHz s/d 1900 MHz banyak digunakan untuk komunikasi telpon selular atau HP (*Hand Phone*) dan radio panggil (*pager*). Pada saat ini teknologi komunikasi digital generasi ketiga menggunakan teknologi GSM (*Global System for Mobile Communications*), TDMA (*Time Division Multiple Access*), CDMA (*Code Division Multiple Access*) dan IDEN (*Integrated Digital Enhanced Network*). Media transmisi gelombang mikro banyak digunakan untuk MAN (*Metropolitan Area Network*) dan warnet (untuk menghubungkan warnet dengan penyedia layanan internet (*Internet Service Provider*)). Dengan kemajuan teknologi satelit yaitu memposisikan tiga buah satelit pada 120° terhadap satu dengan lainnya dan menempatkan satelit pada GEO (*Geostationary Earth Orbit* = 22.300 mill tepat diatas garis katulistiwa) maka komunikasi keseluruhan penjuru bumi bisa dijangkau^[4]. Pada komunikasi satelit tentunya diperlukan stasiun bumi pengirim dan penerima sedangkan satelit berfungsi sebagai transponder.

Dengan kemajuan teknologi telekomunikasi ini membuat jarak seakan tak ada lagi.

Teknologi Komputer

Perlu diperhatikan bahwa komputer tidak harus berupa PC, Laptop, atau Workstation tetapi semua peralatan yang menggunakan *chip* mikroprosesor seperti ponsel, TV, *microwave oven*, VCD player, mesin photo copy dll. Jadi teknologi informasi tidak hanya berupa komputer yang berhubungan dengan komputer melalui alat telekomunikasi tetapi juga dapat berupa piranti ponsel atau peralatan elektronika lainnya yang berhubungan dengan penyajian informasi.

Teknologi komputer berkembang sangat pesat karena didukung kemajuan litbang dan inovasi teknologi perangkat lunak dan perangkat keras. Teknologi komputer dibagi lebih rinci menjadi 5 bidang yaitu^[5]:

1. teknologi masukan,
2. teknologi keluaran,
3. teknologi perangkat lunak,
4. teknologi penyimpanan,
5. teknologi mesin pemroses.

Teknologi masukan adalah teknologi yang berhubungan dengan peralatan untuk memasukan

data kedalam sistem komputer misal *keybord*. Teknologi keluaran adalah teknologi yang berhubungan dengan segala piranti yang berfungsi untuk menyajikan informasi hasil pengolahan sistem misal monitor dan printer. Teknologi perangkat lunak atau program adalah deretan instruksi yang digunakan untuk mengendalikan komputer sehingga komputer dapat melakukan tindakan sesuai yang dikehendaki pembuatnya misal perangkat lunak sistem (Window, Linux) dan perangkat lunak aplikasi (Adobe Photoshop). Teknologi penyimpan adalah teknologi yang berhubungan dengan penyimpanan data yang dibagi menjadi penyimpan data internal misal ROM (*Read Only Memory*) dan penyimpan data eksternal misal hardisk, disket dan CD. Teknologi mesin pemroses (CPU, mikroprosesor) adalah teknologi kunci komputer yang berfungsi menjadi pusat pengolahan data dengan cara menjalankan program yang mengatur pengolahan tersebut. CPU berupa sebuah *chip* atau IC (*integrated circuit*) yang terbuat dari bahan keping silikon berukuran orde milimeter persegi yang memuat puluhan ribu s/d ratusan ribu transistor dan komponen mikroelektronik lainnya^[6].

FABRIKASI PIRANTI MIKRO ELEKTRONIK

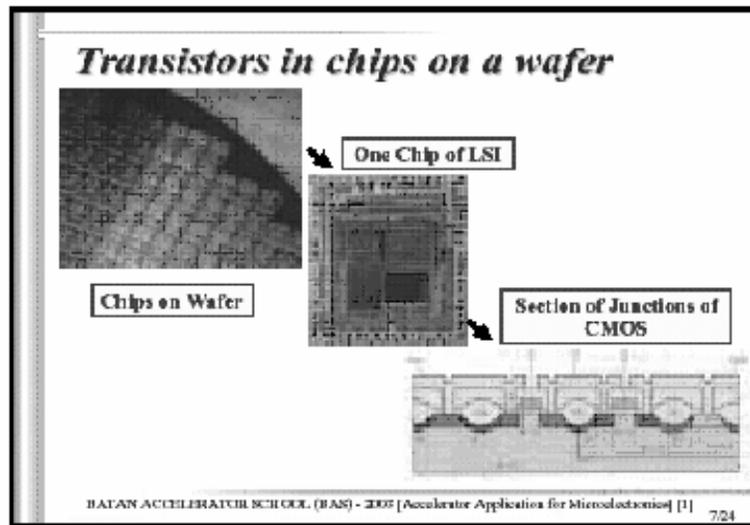
Proses Fabrikasi Mikroelektronik

Fabrikasi piranti mikro elektronik (dioda, transistor, IC) sampai saat ini sebagian besar masih menggunakan teknologi planar silikon^[7]. Teknologi planar silikon adalah suatu deret proses yang digunakan dalam fabrikasi piranti semikonduktor mulai dari piranti sederhana (dioda, transistor) sampai rangkaian rumit IC (rangkaiannya terintegrasi) berukuran LSI (*Large scale integrarion*) atau VLSI (*very large scale intergration*) yang menggabungkan ribuan transistor MOS (Metal Oxide Silicon) atau CMOS (*Complimentary Metal Oxide layer Silicon*) pada suatu silikon "*Chip*"^[1,8]. Contoh chip pada keping Silikon terlihat pada Gambar 1.

Proses dasar teknologi planar meliputi fotoligrafi untuk masker photo resist, teknik etsa planar dengan lapisan yang ditutup *masker photo resist*, oksidasi untuk membentuk lapisan isolator, dan doping bahan impuritas pada keping Silikon. Pada fabrikasi ini memerlukan kontrol doping spasial yang sangat presisi dalam keping Silikon untuk membentuk suatu piranti mikroelektronik yang handal. Disamping persyaratan tersebut, proses fabrikasi ini harus mengeliminasi kontaminasi pada permukaan keping Silikon sehingga pada fabrikasi

piranti mikroelektronik diperlukan proses pekerjaan

dengan ketelitian sangat tinggi, dan rumit.



Gambar 1. Transistor di dalam Chip keping Silikon.^[6]

Untuk membentuk suatu piranti mikroelektronik diperlukan dosis impuritas dopan 10^{12} - 10^{16} per cm^2 atau konsentrasi dopan 10^{17} - 10^{21} per cm^3 dalam substrat Silikon. Pengontrolan doping suatu impuritas pada bahan semikonduktor yang sering digunakan sampai saat ini ada tiga cara yaitu : Teknik difusi termal, Teknik epitaksi, dan Teknik implantasi ion. Suatu contoh dalam pembuatan satu transistor dengan teknik difusi paling sedikit diperlukan 12 langkah dengan 5 proses difusi secara terpisah pada satu lapisan epitaksi. Namun apabila menggunakan teknik implantasi ion hanya diperlukan 3 langkah dalam 2 proses fabrikasi^[9,14]. Pada teknik difusi mempunyai kelemahan yaitu adanya kontaminasi dari impuritas dopan pada permukaan semikonduktor dan distribusi impuritas dopan di dalam semikonduktor agak susah dikontrol. Teknik epitaksi merupakan pelengkap dari dua teknik tersebut karena teknik ini tidak bisa menyisipkan dopan di dalam keping Silikon.

Teknik Implantasi Ion

Fabrikasi piranti mikroelektronik rumit seperti IC menggunakan teknik implantasi ion. Teknik ini sesuai dengan berbagai proses yang harus dilakukan pada teknologi Silikon planar. Keunggulan implantasi ion adalah^[9,14]:

1. Mudah untuk membentuk distribusi impuritas dopan secara spasial (tiga dimensi).

2. Berbagai jenis dopan dapat dicangkokkan atau disisipkan tanpa komplikasi *masker photo resist*.
3. Pengontrolan profil dopan tidak tergantung temperatur.
4. Dosis (10^{12} - 10^{16} per cm^2) dan energi ion ($R_p = 10 \text{ nm} - 3 \mu\text{m}$) dapat dikontrol secara presisi.
5. Konsentrasi impuritas dopan mempunyai derajat keseragaman yang tinggi.
6. Proses implantasi ion terjadi pada temperatur kamar sehingga dapat mengurangi difusi dari impuritas yang tak dikehendaki.
7. Proses implantasi ion dilakukan pada lingkungan bersih dan vakum tinggi (orde 10^{-9} torr) sehingga bebas resiko kontaminasi permukaan keping Silikon

Keunggulan nomor 1, 4, dan 5 itulah yang memperbaiki teknologi Silikon planar sehingga dengan menggunakan implantasi ion memungkinkan membuat komponen mikroelektronik dengan teknik tiga dimensi. Kedalaman profil dopan dapat dikontrol dengan mudah dengan memvariasi energi dopan sedangkan distribusi planar dikontrol dengan masker photo resist. Disamping itu isolasi antar komponen transistor dapat dikontrol menggunakan lapisan SiO_2 terkubur.

Kelemahannya adanya efek kerusakan kisi akibat implantasi ion namun hal ini dapat dikurangi

dengan mendinginkan keping Silikon yang di-implantasi dan melakukan proses aniling.

Aplikasi implantor ion untuk fabrikasi piranti mikroelektronik digunakan dalam proses berikut^[10]:

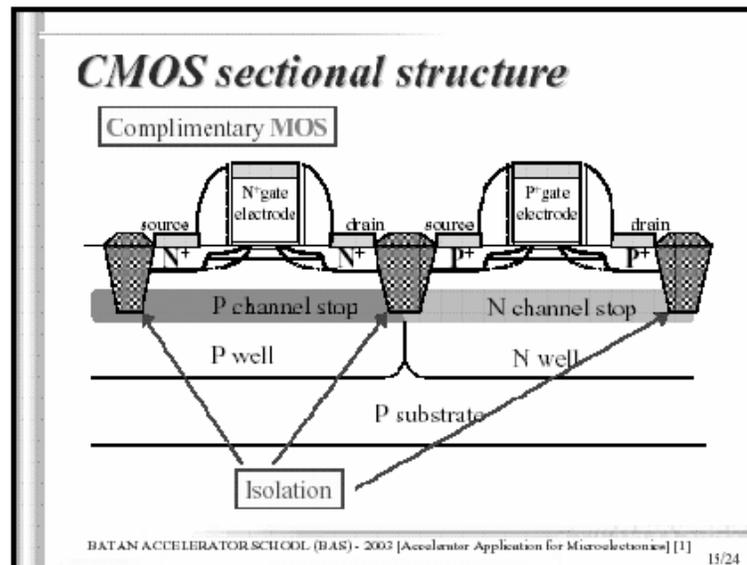
1. *Controlled surface doping* (pengontrolan doping permukaan).
2. *Burried layer* (lapisan terkubur).
3. *Precision alignment* (pengarahan presisi).
4. *Doping of imperfect material* (doping bahan tak sempurna).

Controlled surface doping

Shallow diffusion source. Dapat mempermudah pembuatan transistor CMOS, pada proses planar normal sukar menghasilkan daerah tipe-p dalam keping Silikon tipe-n dengan metode difusi. Dengan teknik implantasi ion, daerah ini dapat dibuat dengan mengimplantasi boron secara terkontrol. Struktur tampang lintang CMOS dapat dilihat pada Gambar 2

High value resistor. Teknik implantasi ion dapat membuat resistor yang tinggi pada komponen piranti rangkaian bipolar dan MOS digital serta

rangkain linier digital dengan presisi tinggi sehingga piranti ini dapat beroperasi pada daya rendah. Pada metode difusi hanya mampu menghasilkan distribusi dopan planar, pembuatan resistor yang tinggi maksimum 500 ohm/area karena terbatas oleh fotolitografi. Untuk membuat resistor 100 kilo ohm maka memerlukan nisbah panjang terhadap lebar 100 dibagi 1. Sedangkan kemampuan fotolitografi ter-batas 10 miko meter maka untuk membuat resistor tersebut diperlukan panjang 1000 mikro meter dan ini tentunya akan menutupi sebagian besar rangkaian yang dibuat. Resistor pada piranti mikroelektronik memakai prinsip isolasi lapisan dengan menggunakan hubungan p-n yang hanya dapat dikerjakan dengan teknik implantasi ion. Sebagai contoh dengan mengimplantasi B pada energi 55 keV pada Silikon tipe-p dan anil 900 °C dapat dibuat resistor yang sempit dan tinggi dengan orde puluhan killo ohm. Pembuatan resistor tinggi bisa juga dengan mengimplantasi B pada 40 keV kemudian P pada 110 keV atau bisa juga mengimplantasi B pada energi yang berbeda. Contoh struktur transistor N-MOS terlihat pada Gambar 3.



Gambar 2. Struktur tampang lintang CMOS^[6].

Doped channel regions of MOST. Pada hal ini teknik implantasi ion digunakan untuk mengimplantasi boron dosis rendah pada daerah kanal dari N-channel MOST yang dibuat pada substrat

Silikon p⁻. Dengan bertambahnya doping tipe-p dari boron pada kanal mencegah lubang dari drain ke source namun membuat volume deplesi besar

berada dibawah drain sehingga mengurangi kapasitansi keluaran.

Burried layer

Distribusi gaussian dari dari dopan yang di dalam sampel terimplantasi memungkinkan pembuatan lapisan impuritas terkubur dalam semikonduktor. Makin besar energi makin dalam lapisan terkubur sedangkan makin besar dosis maka makin tebal lapisan terkubur yang terbentuk. Fenomena fisis ini dimanfaatkan dalam pembuatan komponen mikroelektronik berikut:

Varactor Diode. Dioda ini digunakan sebagai kontrol tegangan pada radio, TV, gelombang mikro, dan penguat. Prinsip kerja varaktor adalah hubungan p-n dengan perubahan kapasitansi cepat bila tegangan balik diterapkan. Dengan implantasi P dibawah Schottky barrier dapat dibuat sensitivitas hubungan varaktor yang besar.

Impatt Diode (impact avalanche transit time diode). Merupakan sumber gelombang mikro yang baik (100 GHz). Dioda ini mempunyai struktur p⁻ - n - n⁺. Pada metode difusi pengontrolan konsentrasi lapisan p pada permukaan dari lapisan epitaksi n dengan jumlah konsentrasi yang sama sukar dibuat. Namun hal ini dengan mudah dilakukan dengan teknik implantasi ion.

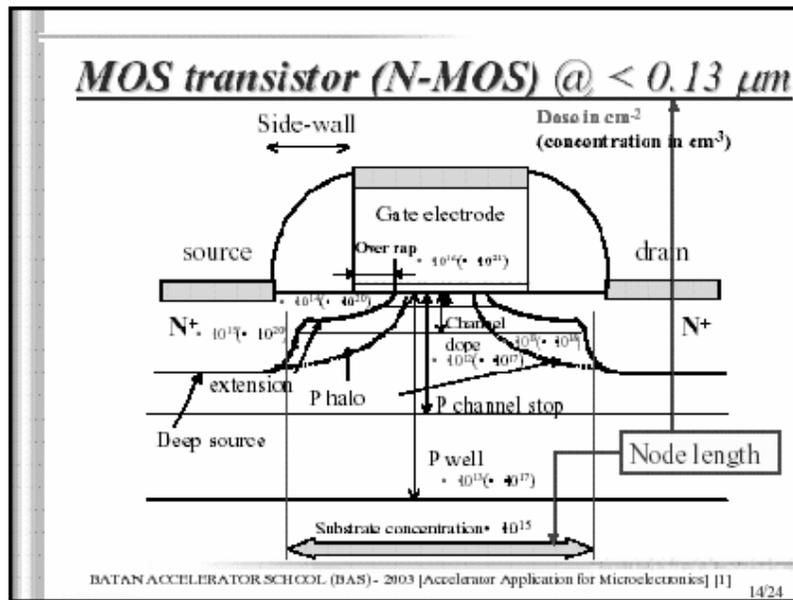
Isolation Layer. Teknik implantasi ion digunakan untuk mengisolasi komponen satu dan lainnya dari IC pada lapisan permukaan keping Silikon dan substrat dengan mengimplantasikan oksigen atau nitrogen pada pemilihan daerah implantasi tertentu sehingga terbentuk lapisan terkubur kemudian me-

misahkan lapisan permukaan menjadi daerah-daerah. Ini adalah suatu proses dari teknik fabrikasi komponen mikroelektronik tiga dimensi.

Narrow Base Bipolar Transistor. Masalah dalam teknik difusi dalam pembuatan emitter dari transistor base sempit adalah adanya *the emitter push effect* yaitu hubungan *collector-base* bergerak kemuka dari hubungan *base-emitter* sehingga susah untuk membuat base yang sempit. Dengan teknik implantasi ion transistor p-n-p atau n-p-n dengan base sempit 0,25 mikro meter dapat dibuat.

Doping of imperfect material

Banyak piranti memanfaatkan “*abrupt implanted ion*”. Dioda dengan teknik ini mempunyai unjuk kerja lebih baik dibandingkan dengan dioda dengan metode difusi misalnya nisbah sinyal terhadap nois lebih baik. Contoh abrupt junction adalah *Impatt diode structure* dan *Avalanche photodiode*.

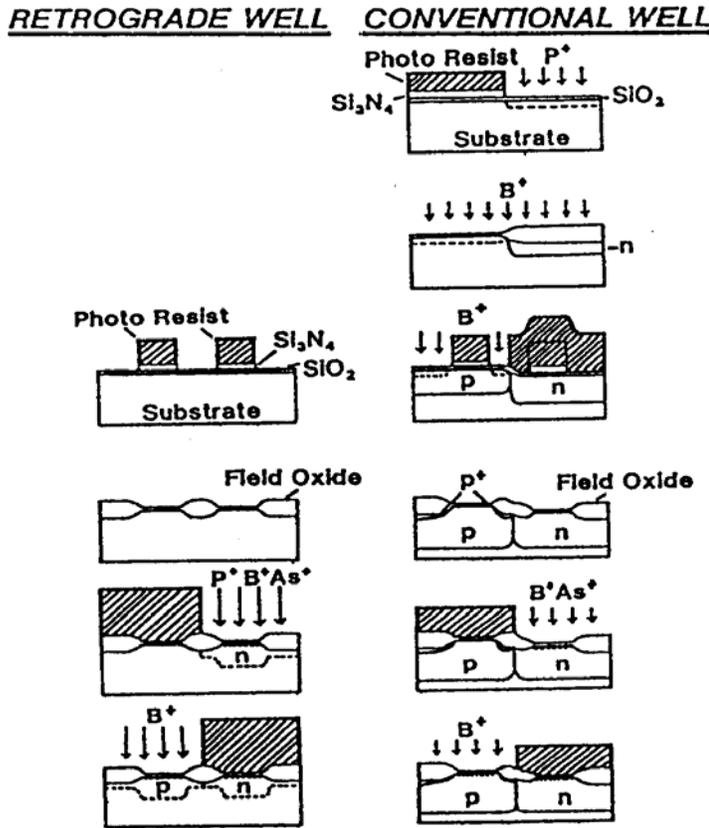


Gambar 3. Struktur transistor N-MOS^[6].

Precision alignment

Fabrikasi MOST pada teknologi planar konvensional mengharuskan gerbang (*gate*) elektroda tumpang tindih dengan daerah *source* dan *drain* sedemikian hingga seluruh panjang kanal dikontrol oleh *gate*. Namun hal ini akan

menyebabkan timbulnya kapasitansi feedback. Dengan teknik implantasi ion, kapasitansi ini dapat diperbaiki dengan metode "*gate self alignment*" sehingga kecepatan MOST jauh lebih baik. Gambar 4 memperlihatkan perbandingan teknik implantasi ion dan konvensional.



Gambar 4. Perbandingan teknik difusi dan implantasi ion pada fabrikasi MOST^[11].

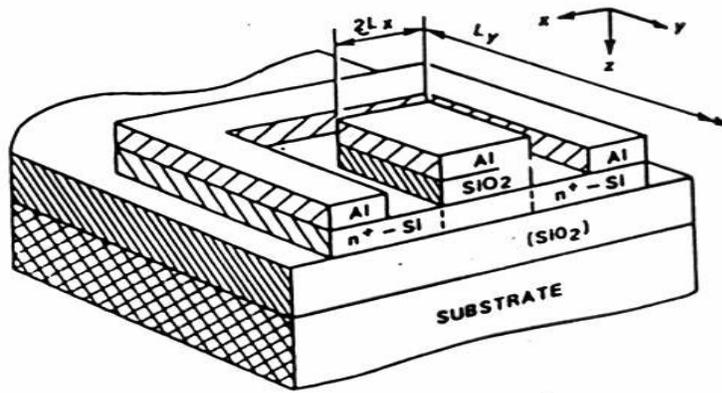
Tren Fabrikasi Mikroelektronik

Fabrikasi IC sekarang mengarah pada LSI dan VLSI yaitu berusaha membuat jutaan transistor berada pada satu IC. Dengan teknologi ini diharapkan akan memberikan dua manfaat yaitu kecepatan proses tinggi dan daya rendah. IC ini tetap berbasis pada MOS dan CMOS. Itu artinya ukuran sisi MOS atau CMOS harus orde beberapa persepuluh mikrometer. Suatu tantangan bagi fisikawan akselerator bagaimana cara menghasilkan arus berkas ion intensitas tinggi namun diameter berkas sekecil mungkin. Disamping itu bagaimana cara membuat Mikrofotolitografi untuk *masker photo resistnya*. Tidak mungkin hal ini dilakukan

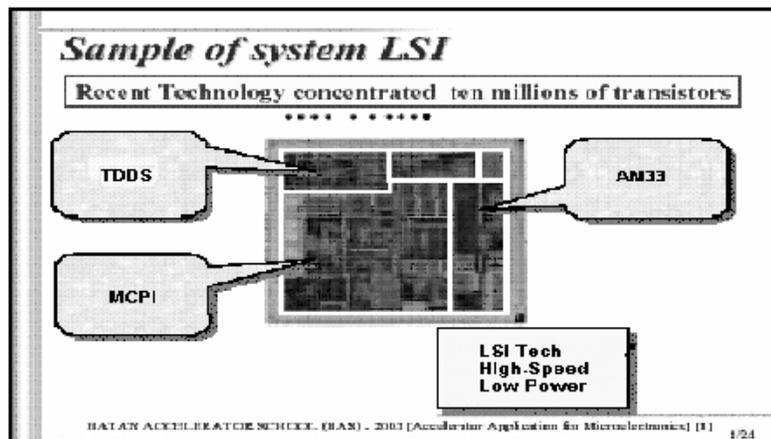
dengan menggunakan sinar tampak karena akan dibatasi oleh batas resolusi panjang gelombang. Sinar tampak mempunyai panjang gelombang orde mikro meter. Untuk pembuatan *masker photo resist* dengan ukuran orde dibawah mikro meter tentunya diperlukan foton dengan panjang gelombang orde Angstrom, hal ini hanya mungkin dilakukan dengan menggunakan Mikrofotolitografi sinar X. Permasalahan timbul bagaimana bisa membuat sinar X dengan intensitas tinggi agar dapat menghasilkan *masker photo resist* yang kualitas baik. Sinar X dapat diproduksi melalui akselerator sinkrotron dan teknologi ini telah dimanfaatkan dalam fabrikasi mikroelektronik LSI dan VLSI.

Seperti dijelaskan di atas bahwa implantasi ion mempunyai banyak keunggulan yang memungkinkan untuk membuat piranti mikroelektronik tidak hanya planar tetapi juga tiga dimensi dengan energi tinggi (MeV). Disamping itu implantasi ion memungkinkan membentuk lapisan isolator terkubur atau yang lebih dikenal dengan teknologi

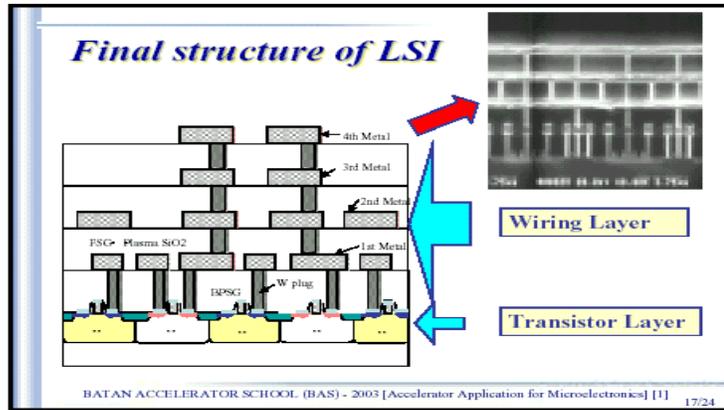
SOI (*Silicon On Insulator*). Dengan teknik ini kecepatan proses lebih baik, konsumsi daya dan noise rendah. Gambar 5 memperlihatkan skematik MOST pada bahan SOI. Contoh sistem LSI terlihat pada Gambar 6 sedangkan contoh struktur LSI seperti ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 5. Skematik MOST pada bahan lapisan tipis SOI^[8].



Gambar 6. Contoh sistem LSI^[6].



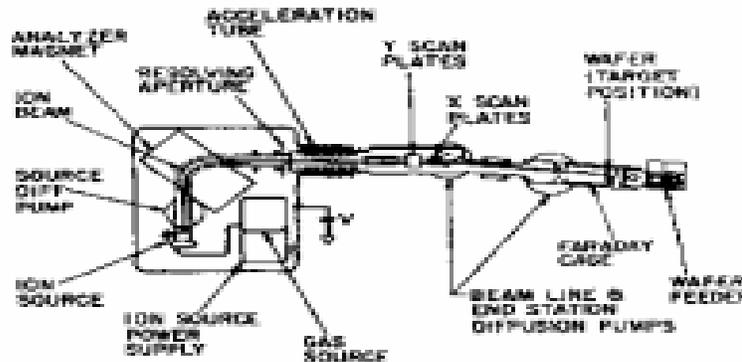
Gambar 7. Contoh struktur akhir LSI^[6].

PERAN FISIKA AKSELERATOR

Akselerator Implantasi Ion

Salah satu aplikasi akselerator ion dalam bidang industri ialah fabrikasi piranti elektronik dan

mikroelektronik dengan menggunakan mesin implantasi ion. Akselerator implantasi ion adalah alat pemercepat berbagai jenis impuritas dopan pada suatu bahan. Alat ini banyak digunakan pada industri mikroelektronik. Skema implantor ion seperti ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Skema akselerator implantasi ion^[12].

Awalnya akselerator ion diciptakan untuk menentukan tampang lintang reaksi nuklir dan mempelajari struktur nuklir. Selanjutnya adanya tantangan dari bidang elektronika bahwa proses difusi menghasilkan distribusi dopan dan reka ulang yang jelek, juga susah mendeposisikan padatan pada Silikon membuat fisikawan akselerator berinovasi. Pada tahun 1954 implantor ion dipatenkan oleh Shockley, dan riset dibidang implantasi ion berkembang pesat kemudian pada tahun 1972 implantor ion pertama untuk keperluan fabrikasi mikroelektronik dibuat. Sejak adanya implantor ion

kemajuan dibidang mikroelektronik juga berkembang pesat. Tantangan demi tantangan terus berdatangan kepada fisikawan akselerator sesuai kemajuan teknologi semikonduktor dan fabrikasi mikroelektronik mulai dari kestabilan energi, keakuratan dosis, dan teknik iradiasi keping Silikon.

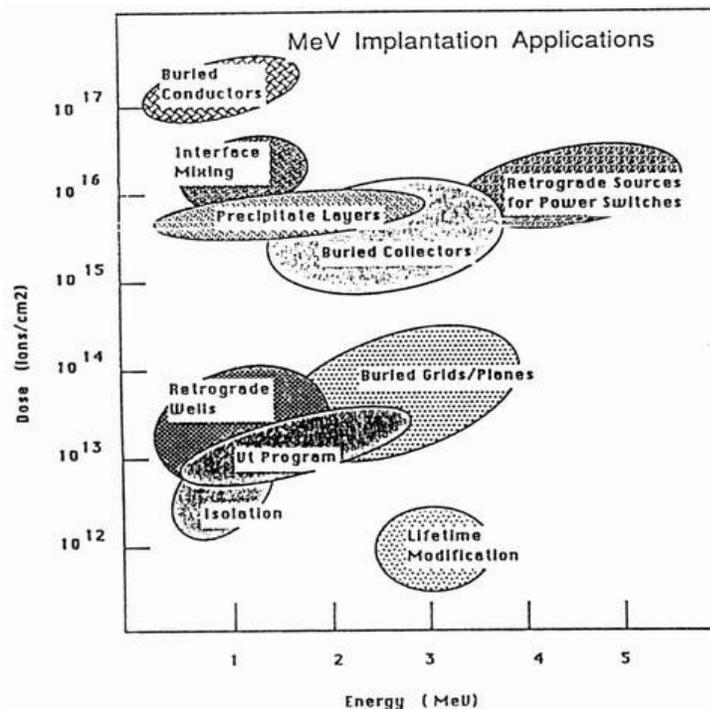
Energi yang digunakan untuk keperluan fabrikasi mikroelektronik awalnya antara 20 keV sampai 800 keV dengan arus berkas ion orde mikro amper sampai dengan mili amper. Namun saat ini energi yang digunakan antara 20 keV sampai 3 MeV dengan arus orde puluhan mili amper.

Diameter berkas ion yang dapat dihasilkan mencapai orde mikro meter dengan kemampuan pemayaran (*beam scanning*) keping Silikon berdiameter 12 inch. Untuk fabrikasi LSI atau VLSI dengan struktur SOI maka tren implantor ion untuk mikroelektronik dimasa datang orde MeV seperti ditunjukkan pada Gambar 9.

Saat ini diseluruh dunia ada lebih dari 6000 implantor ion yang diproduksi selama 30 tahun sehingga rata-rata per tahun 200 alat. Pada abad 21 ini hampir 200 s/d 400 alat per tahun diproduksi dengan harga antara 1,5 s/d 6 juta \$ USA tergantung jenis aplikasinya.^[6] Sekitar 1,2 milyar USA dollar per tahun dihasilkan dari produksi mesin implantsi ion. Pelaku bisnis implantor ion didunia adalah Axcelis Group (termasuk SEN), Varian, Applied Materials, Nisin Ion Equipment, dan ULVAC. Axcelis Group merupakan gabungan perusahaan Amerika dan Jepang yang bergabung pada abad 21. Dapat dibayangkan berapa uang yang dihasilkan dari teknologi informasi?

Akselerator Sinkrotron^[13]

Akselerator yang digunakan adalah sinkrotron yang portabel dengan energi ratusan GeV. Produksi rangkaian terpadu saat ini menggunakan fotolitografi yaitu suatu teknik mereplika pola dengan cara *master mask* diproyeksikan pada permukaan keping Silikon yang dilapisi *masker photoresist*. Dengan menggunakan cahaya tampak dan lensa yang kuat menghasilkan resolusi orde mikrometer. Teknik ini hanya dapat mencapai 16 Mbit memori. Mikrolitografi sinar-X menggunakan foton sinar-X untuk mereplika *master mask* mampu memberikan resolusi orde 0.1 mikrometer. Teknik ini mampu menghasilkan 256 Mbit memori. Sinar-X berasal dari akselerator elektron sinkrotron orde GeV yang didefleksikan oleh medan magnet. Elektron yang diperlambat ini akan memancarkan sinar X Bream Strahlung dengan panjang gelombang orde Angstrom. Mikrolitografi sinar-X yang portabel sudah digunakan oleh pabrik semikonduktor IBM di New York, USA.



Gambar 9. Daerah aplikasi implantor ion orde MeV untuk LSI^[11].

KESIMPULAN

Dari uraian kajian diatas dapat disimpulkan bahwa peran fisika akselerator, khususnya akse-

lerator implantasi ion dan elektron sinkrotron, fisika ilmu dan teknik bahan, teknik elektronika dan telekomunikasi, dan mikroelektronika sangat besar

andilnya dalam perkembangan teknologi informasi ini. Satu hal yang perlu dicatat ialah keseriusan dan komitmen pada bidang garapan masing-masing akan memberikan manfaat besar kepada kehidupan manusia.

PUSTAKA

- [1] WILLIAM, B., AND SAWYER, S.C., *Using Information Technology A Practical Introduction to Computers & Communications*, McGrawHill, .2003.
- [2] HAAG, S., AND KEEN, P., *Information Technology, Tommorrow's Advantage Today*, McGraw-Hill, 1996.
- [3] WIDODO, T.S., *Optoelektronika: Komunikasi Serat Optik*, ANDI OFFSET, Yogyakarta, 1995.
- [4] WINCH, R.G, *Telecommunication Transmission System*, McGrawHill, Inc. New York, 1993.
- [5] KADIR, A., DAN TRIWAHYNI, T.C., *Pengenalan Teknologi Informasi*, ANDI OFFSET, Yoyakarta, 2003.
- [6] SUGITANI, M., *Accelerator Application for Microelectronic*, Batan Accelerator School, P3TM-BATAN, Yogyakarta, Januari, 2003.
- [7] MATSUMARU, M., *Ion Implantation Technology in Giant Micro Electronics*, in Proceedings of the Fourteenth Symposium on Io Source and Ion-Assisted Technology, The ion Engineering Society, Japan, 1991.
- [8] KUROI, T, *et.al.*, *MeV Ion Implantation in ULSI Technology*, in Proceedings of the Fourteenth Symposium on Io Source and Ion-Assisted Technology, The ion Engineering Society, Japan, 1991.
- [9] RYSSEL, H., and RUGE, I., *Ion Implantation*, John Wiley and Sons, New York, 1986.
- [10] DARSONO, *Aplikasi Akselerator Ion Untuk Fabrikasi Mikroelektronik*, Lap.Tek. Rapat Koordinasi Tim Akselerator-BATAN, Yogyakarta, 2000.
- [11] CURRENT, M.I., *Ion implantation for ULSI: Challenge and New Directions*, in Proceedings of the Fourteenth Symposium on Io

Source and Ion-Assisted Technology, The ion Engineering Society, Japan, 1991.

- [12] *Manual Implantor Ion by Varian Inc*, USA, 1989.
- [13] DARSONO, *Aplikasi Teknologi Akselerator Partikel*, PPI-Seminar Teknologi dan Aplikasi Akselerator, P3TM-BATAN, Yogyakarta, Oktober, 2001.
- [14] DEARNALEY, G., *et.al.*, *Ion Implantation*, North Holand Publishing Company, Amsterdam, 1973.

TANYA JAWAB

Aminus S.

– Keuntungan menggunakan implantasi ion dibanding dengan plasma mana yang lebih menguntungkan dalam fabrikasi IC.

Darsono

– Jelas implantasi ion lebih unggul dibanding dengan teknologi plasma untuk fabrikasi IC.

Trimardji A.

– Fotolithography selalu dibatasi oleh panjang gelombang cahaya yang digunakan terutama pada microlithography. Bagaimana cara mengatasi efek difraksi yang muncul?

– Presentasi berupa REVIEW, bagaimana perkembangan mikroelektronik di Indonesia? Bagaimana di BATAN?

– Mengapa harus pesimis bahwa bangsa kita tidak bisa mengejar teknologi mikroelektronik. Ingat Korea Selatan maju sangat pesat.

Darsono

– Tidak terjadi defraksi pada microlithography, karena hanya mereplika pola.

– Sepengetahuan saya di Indonesia baru tarap pemakai seandainya ada litbang masih tarap mengkaji atau meniru.

– Saya tidak pesimis tapi hanya lihat fakta.