

PROSES FABRIKASI IC

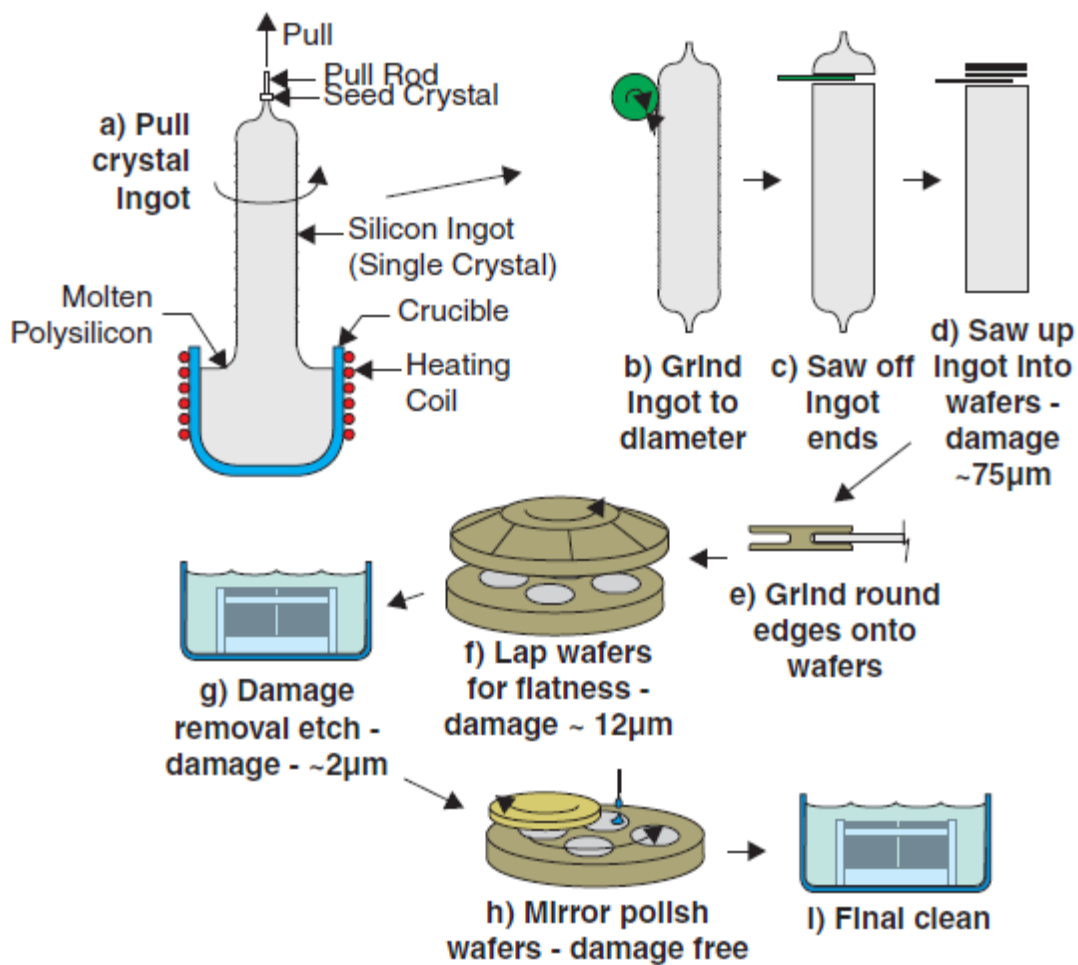
Struktur IC adalah sangat kompleks baik dari sisi topografi permukaan maupun komposisi internalnya. Masing-masing elemen pada suatu piranti mempunyai arsitektur tiga-dimensi yang harus dapat diproduksi secara sama untuk setiap rangkaian. Masing-masing komponen merupakan struktur yang terdiri dari banyak lapisan, masing-masing memiliki pola yang spesifik. Sebagian lapisan tertanam dalam silikon dan sebagian lagi menumpuk di atasnya.

Proses pabrikasi IC memerlukan urutan kerja yang persis dan diperlukan desain rangkaian yang cermat.

Pada saat ini, sebuah IC dapat berisi jutaan komponen. Komponen-komponen tersebut sedemikian kecilnya sehingga keseluruhan rangkaian hanya menempati luas area kurang dari 1 cm². Wafer kristal silikon sebagai bahan awal, berdiameter sekitar 10 cm sampai 30 cm sehingga pada permukaan wafer ini dapat dibuat puluhan sampai ratusan rangkaian lengkap.

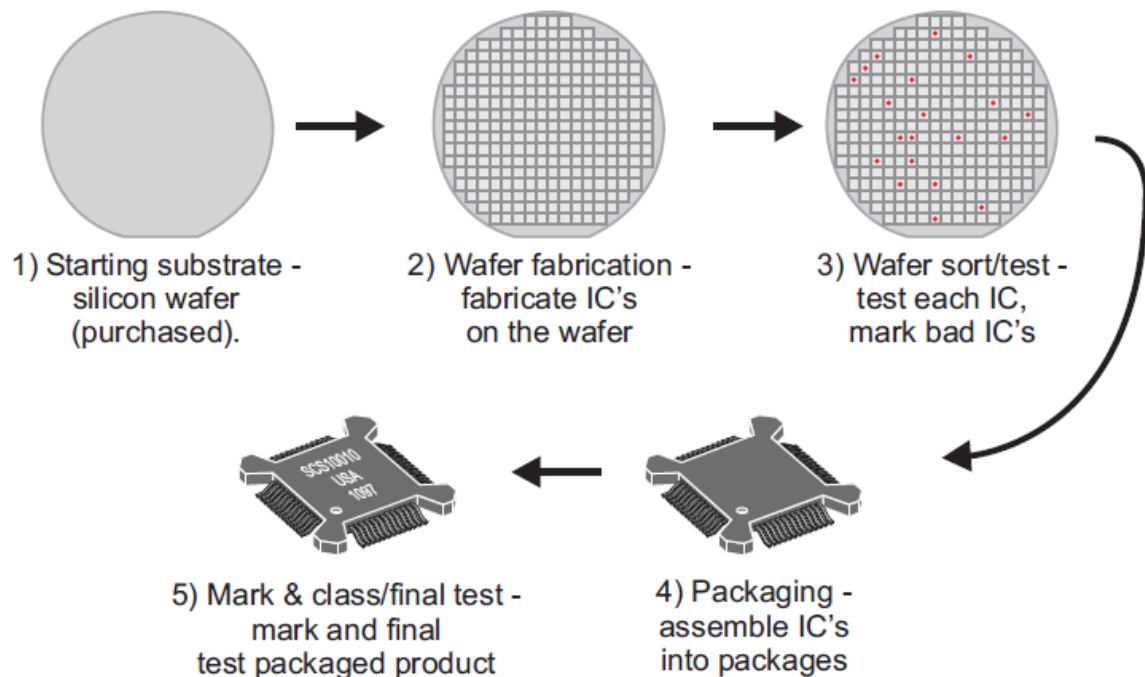
Untuk produksi massal bahkan ratusan wafer dapat sekaligus digunakan dalam suatu proses pabrikasi secara bersamaan. Tentu saja ini sangat menguntungkan dari sisi biaya dan tenaga yang digunakan. Namun demikian sebelum sampai pada tingkat produksi massal, serangkaian proses pengujian berbagai langkah produksi harus dilakukan dengan cermat.

Secara garis besar, proses pembuatan silikon kristal wafer dapat dijelaskan dengan gambar berikut ini:



Silicon wafer manufacturing process

Pada awalnya, silikon kristal wafer diproduksi sendiri oleh perusahaan pembuat IC sampai dengan pembuatan circuit di atasnya. Tetapi saat ini hampir semua perusahaan pembuat IC membeli silikon kristal wafer dari pihak ketiga (supplier).



IC manufacturing

Saat ini pabrik atau lab pembuat IC telah banyak berkembang, diantaranya MOSIS yang berada di USA, TMC yang berada di Taiwan, TIMA berada di Perancis, NEC di Jepang, Samsung di Korea, MIMOS ada di Malaysia, dan masih banyak yang lainnya.

Umumnya perusahaan-perusahaan tersebut mengawali proses dari Wafer Fabrication, yaitu proses pembuatan circuit pada silikon kristal wafer yang masih utuh.

Wafer Fabrication

a) Cleaning

Silikon wafer harus senantiasa bersih (tidak terkontaminasi partikel organik maupun logam) dalam setiap tahapan proses Wafer Fabrication. Adapun yang paling banyak digunakan adalah metode RCA Clean.

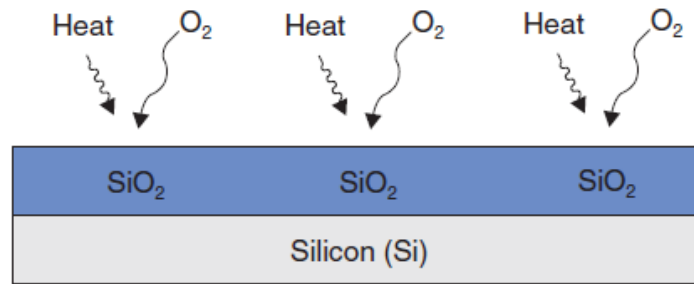
b) Oxidation

Salah satu alasan utama mengapa silikon paling banyak dipilih sebagai bahan semi-konduktor adalah karena silikon menawarkan berbagai kemudahan, antara lain kemudahan untuk membentuk lapisan insulator berkualitas tinggi di atas permukaannya melalui proses oksidasi.

Yaitu terjadinya reaksi kimia antara silikon dengan oksigen atau uap air pada temperatur antara 1000oC - 1200oC sehingga membentuk lapisan film Silicon Dioxide (SiO₂) pada permukaan wafer.

Jurnal Teknologi IC | DENI NURMAN

SiO₂ bersifat stabil pada temperatur tinggi dan merupakan salah satu bahan insulator terbaik.

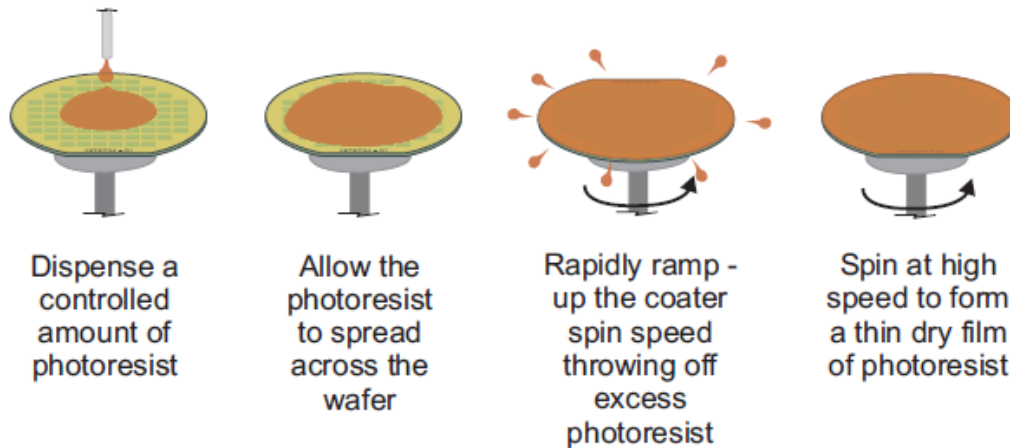


Silicon oxidation

c) Photolithography

Photolithography merupakan proses utama pada Wafer Fabrication, dimana pola mikroskopik yang telah didesain dipindahkan dari masker ke permukaan wafer dalam bentuk rangkaian nyata.

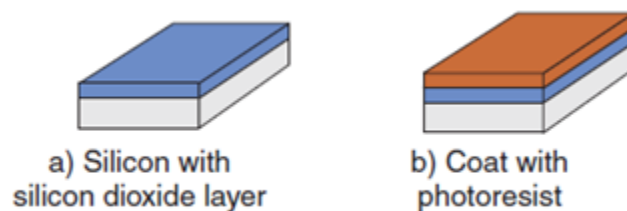
Diawali dengan memberikan lapisan photoresist (cairan kimia yang bersifat photosensitive) pada permukaan wafer.

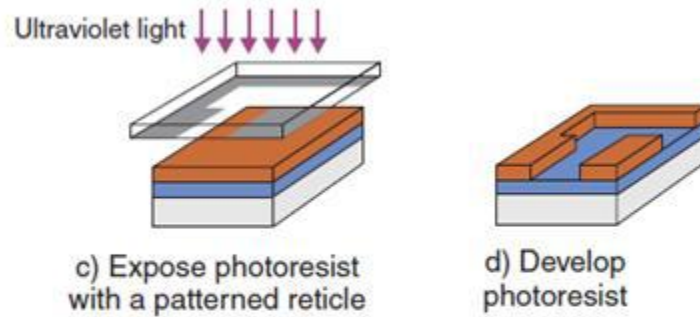


Photoresist coating process

Kemudian pada silikon wafer yang sudah dilapisi photoresist tersebut diletakkan di atasnya masker/reticle berbentuk lempengan kaca transparan yang telah dipenuhi pola circuit (die) yang sejenis yang akan dibuat, lalu dipaparkan terhadap sinar UV sehingga lapisan photoresist pada permukaan wafer yang terekspos langsung sinar UV akan mudah dikelupas dengan bantuan cairan kimia khusus.

Maka pada permukaan wafer akan terlihat pola circuit seperti pola pada masker/reticle.



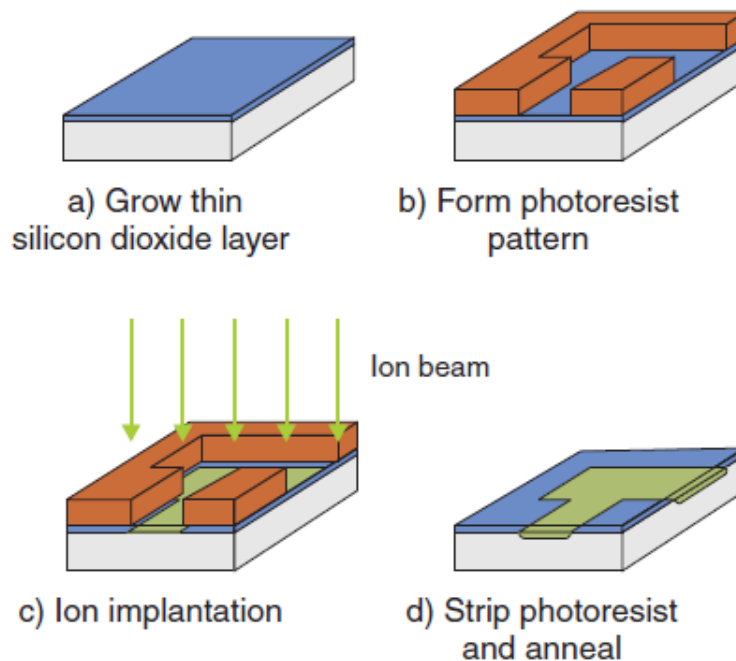


Photolithography process

d) Ion Implantation

Dalam proses pembuatan IC, tahapan ini merupakan tahapan yang memerlukan pengontrolan khusus. Ion implantation ialah proses menanamkan atom impuritas (ion) ke dalam silikon wafer yang tidak tertutup oleh lapisan photoresist dengan bantuan tegangan listrik (untuk mengatur kedalaman penetrasi ion) dan arus listrik (untuk mengatur jumlah ion)

Atom impuritas itu sendiri berfungsi untuk mengubah sifat kelistrikan dari silikon wafer.



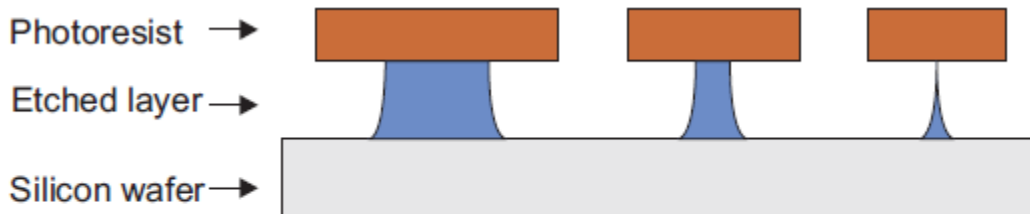
Ion Implantation

Teknik ion implantation ini lebih banyak digunakan walaupun sebenarnya ada teknik lain untuk menanamkan atom impuritas ke dalam silikon wafer yang disebut dengan teknik Difussion, yaitu teknik untuk menanamkan atom (dopant) pada silikon wafer agar terjadi perubahan sifat resistivity-nya dengan bantuan temperatur tinggi antara 1000oC - 1200oC.

Proses difussion ini mirip dengan proses merambatnya tinta yang ditetaskan pada gelas berisi air bening. Pada saat silikon wafer dikeluarkan dari temperatur tinggi ke temperatur ruangan, maka atom yang merambat tersebut akan berhenti merambat (berada di posisinya yang terakhir).

e) Etching

Di tahun-tahun awal berkembangnya teknologi IC, teknik etching yang dipakai adalah Wet Etching yaitu dengan menggunakan cairan kimia yang mampu menyebar ke segala arah dengan sama rata (isotropic) untuk meluruhkan lapisan SiO₂ pada permukaan silikon wafer. Kelemahannya adalah bagian lapisan SiO₂ yang berada tepat di bawah lapisan photoresist juga sebagian ada yang ikut luruh, sehingga akan menjadi masalah tersendiri jika jalur polanya sangat tipis.



Isotropic etching versus linewidth

Seiring perkembangan teknologi IC yang kemudian menggunakan material lain seperti Silicon Nitride (Si₃N₄) dan Polysilicon dimana pada kedua material ini tidak bisa menggunakan teknik Wet Etching maka pada saat ini teknik Wet Etching tersebut sudah ditinggalkan.

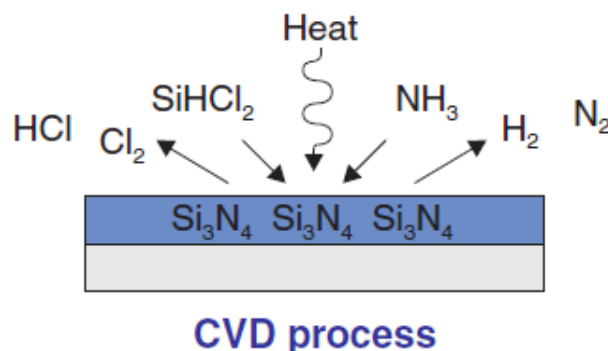
Sebagai penggantinya dikenalkan teknik Dry Etching yang menggunakan gas (flourine, chlorine dan bromine) yang memiliki efek Anisotropic yaitu kemampuan untuk meluruhkan dengan kecepatan penetrasi yang tidak sama rata.



Isotropic versus anisotropic etching

f) Chemical Vapor Deposition (CVD)

Pada tekanan rendah dan temperatur tertentu gas atau uap kimia akan bereaksi terhadap lapisan film pada permukaan silikon wafer



Gas Ammonia (NH₃) dan Dichlorosilane (SiHCl₂) akan bereaksi untuk menghasilkan lapisan film Silicon Nitride (Si₃N₄) yang solid dengan ketebalan beberapa micron atau beberapa nanometer saja. Sedangkan gas-gas sisa reaksi berupa Hydrogen Chloride (HCl), Chlorine (Cl₂), Hydrogen (H₂) dan Nitrogen (N₂) akan dipompa keluar dari reaktor.

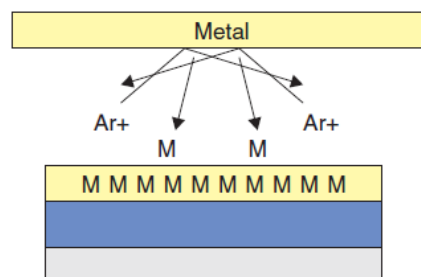
Film name	Chemical formula
Silicon dioxide	SiO ₂
Silicon oxynitride	SiO _x N _y
Silicon nitride	Si ₃ N ₄
Polysilicon	Si
Titanium nitride	TiN
Tungsten	W
Fluorinated Silicon Glass (low-k)	SiO _x F _y
Hydrogen and carbon doped oxide films (low-k).	

- insulator
- protects the finished IC
- conductor and control electrode of transistors
- barrier between films to prevent interactions

IC thin films commonly deposited by CVD

g) Sputter Deposition

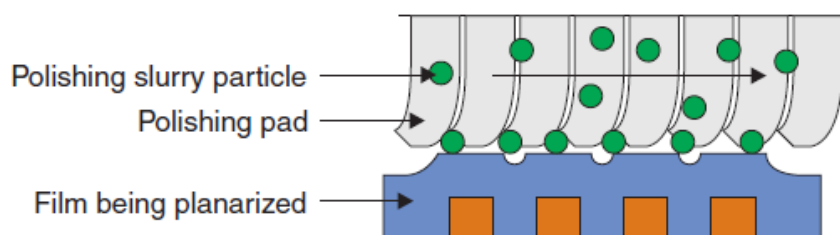
Walaupun secara umum proses CVD lebih unggul dari pada sputtering tetapi tidak semua logam yang diperlukan dalam proses pabrikasi IC bisa terbentuk pada permukaan silikon wafer. Proses sputtering memanfaatkan medan listrik untuk mengambil ion Argon positif agar membentuk lapisan logam tipis (film) pada target yang berada di permukaan silikon wafer.



Sputter process

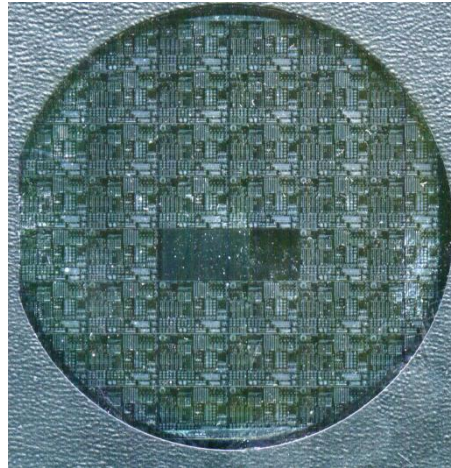
h) Chemical Mechanical Planarization (CMP)

CMP adalah kombinasi penggunaan metode kimia (untuk melunakkan terlebih dahulu lapisan material yang akan dibuang) dan mekanik (penggosokkan dengan polishing slurry) untuk membuang material-material yang tidak diperlukan pada permukaan silikon wafer sehingga hanya material-material yang dibutuhkan saja (sesuai desain) yang masih menempel pada permukaan wafer.



Chemical mechanical planarization

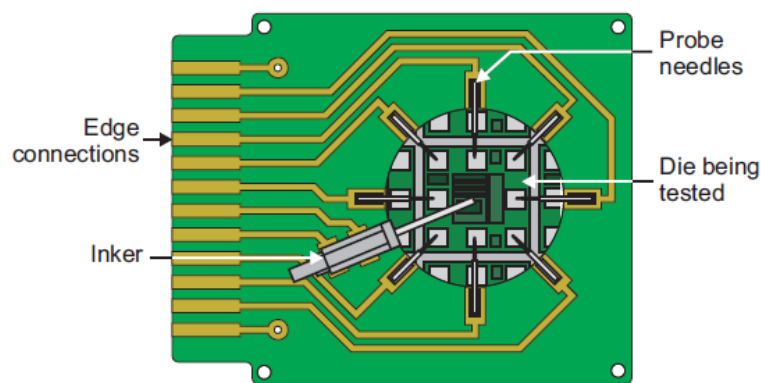
Dari semua proses yang sudah dijelaskan di atas dan dikombinasikan dengan proses lainnya yang jumlahnya sangat banyak, salah satunya adalah Metallization (untuk menghubungkan semua komponen yang terkandung (resistor, kapasitor, transistor dll) sehingga membentuk rangkaian IC yang sesuai dengan desain yang sudah direncanakan), maka hasil akhirnya adalah sejumlah IC (die) yang masih menyatu pada sebuah silikon wafer.



Wafer Test

Die-die yang dihasilkan pada proses Wafer Fabrication tidak 100% berfungsi dengan baik. Untuk mengetahui die mana saja yang rusak, diperlukan pengetesan awal.

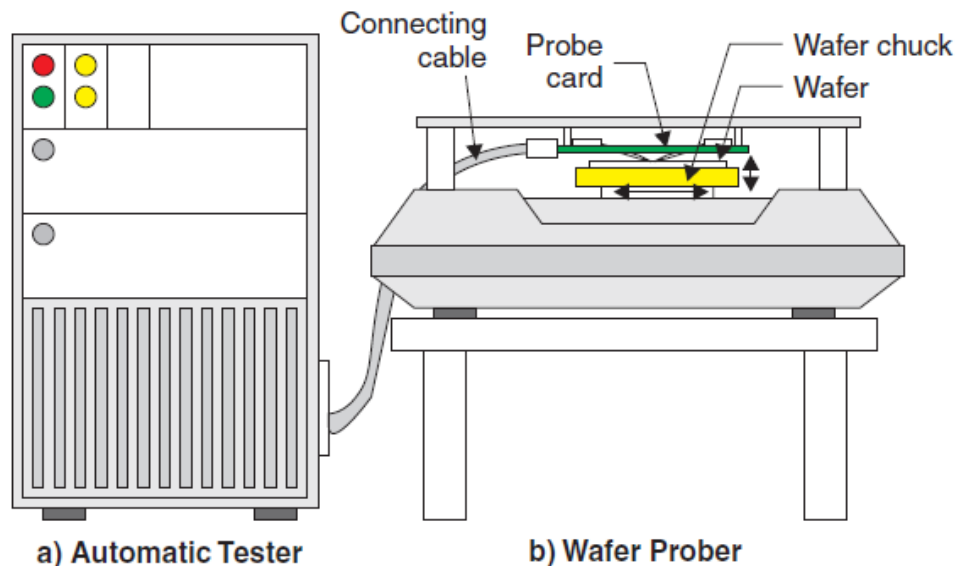
Setiap jenis die yang diproduksi memiliki alat pengetesan tersendiri yang disebut probe card. Alat spesial ini dibuat khusus untuk setiap jenis die yang berbeda, tetapi semuanya telah dilengkapi dengan jarum kecil yang dirancang sedemikian rupa supaya pas dengan posisi bond pad pada die yang akan dites.



Simple probe card

Silikon wafer yang akan dites kemudian dijepit pada alat penjepit yang terdapat pada Wafer Prober. Wafer Prober sepenuhnya dikendalikan oleh Tester, yaitu sistem komputerisasi yang bisa 9 Jurnal Teknologi IC | DENI NURMAN

diprogram secara otomatis untuk menggerakkan Probe Card guna melakukan pengetesan berbagai sifat kelistrikan pada setiap die yang terdapat pada permukaan silikon wafer kemudian menandai setiap die yang tidak berfungsi dengan baik (rusak).



Wafer test set-up

Packaging

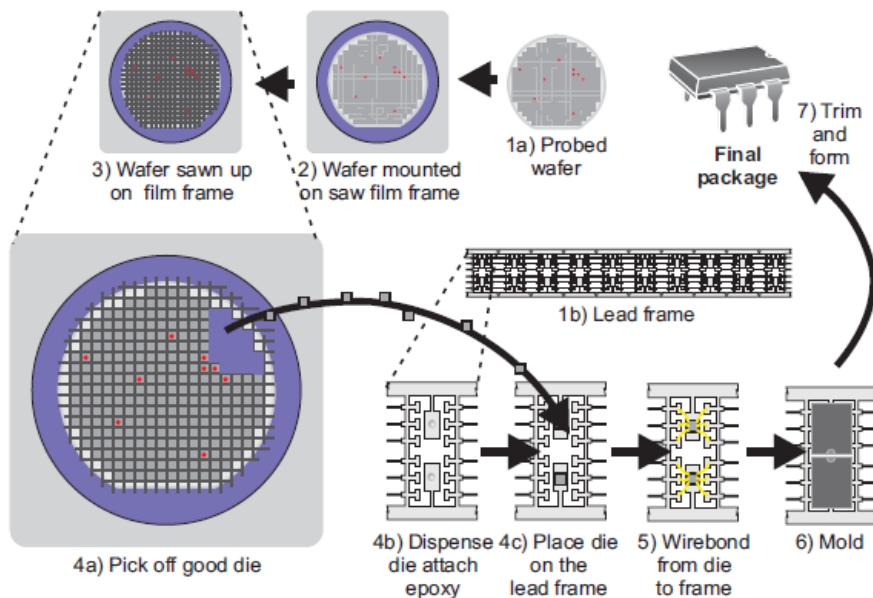
IC Silicon yang sudah berbentuk die perlu penanganan yang hati-hati karena mudah pecah walaupun sudah diberi lapisan pelindung khusus. Selain itu, bond pad-nya memiliki ukuran yang sangat kecil sehingga sangat sulit untuk dihubungkan dengan komponen lainnya pada sebuah rangkaian aplikasi elektronika.

Untuk melindungi die tersebut dan untuk memudahkan penanganan serta penyambungan dengan komponen elektronika lainnya, maka diperlukan pengemasan/packaging.

- a) Silikon wafer yang sudah dites diletakkan di atas blue tape yang dibentangkan pada logam yang permukaannya rata dengan bagian belakang yang tidak memiliki circuit menempel pada permukaan blue tape tersebut. Kemudian dilanjutkan dengan pemotongan silikon wafer menjadi potongan-potongan die dengan menggunakan pisau khusus (bermata berlian) yang berkecepatan tinggi. Potongan-potongan die akan tetap menempel pada permukaan blue tape.
- b) Potongan die yang bagus (telah lolos pengujian awal) dicabut dari blue tape dan dipindahkan ke atas leadframe (komponen yang terbuat dari tembaga yang berfungsi sebagai kaki-kaki pada IC) dan direkatkan dengan epoxy kemudian dipanaskan agar epoxy mengeras dan die tidak terlepas dari leadframe. Proses pencabutan dari blue tape dan pemindahan ke atas leadframe dilakukan oleh mesin secara otomatis.
- c) Wirebonding, yaitu proses dimana kaki-kaki leadframe dihubungkan ke bond pad yang terdapat pada die dengan menggunakan benang emas (gold wire). Pekerjaan ini juga dilakukan oleh mesin secara otomatis.
- d) Molding, yaitu menutup leadframe dengan menggunakan compound yang dipress pada temperatur dan tekanan udara tertentu sehingga die dan benang emas yang semula terbuka akan tertutup oleh compound.

e) Solder Plating, yaitu proses penyepuhan kaki-kaki IC dengan timah sehingga kaki-kaki yang terbuat dari tembaga tersebut berwarna perak.

f) Marking, yaitu proses pemberian label tipe IC , part number, nama perusahaan, tanggal dan lain sebagainya untuk memudahkan identifikasi selanjutnya.



Plastic packaging process

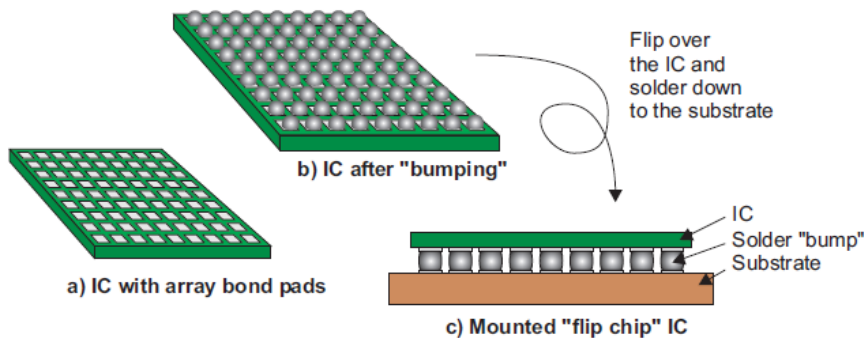
Teknik molding seperti yang diuraikan di atas, menyebabkan kemasan luar IC lebih besar daripada ukuran die di dalamnya. Efeknya, sinyal frekuensi tinggi dari IC sedikit terganggu.

Untuk menanggulangi kelemahan tersebut, saat ini telah dikembangkan teknologi yang memungkinkan untuk memproduksi IC dengan ukuran kemasan yang hampir sama besar dengan ukuran die di dalamnya. Teknik ini juga telah berhasil memperbaiki kualitas sinyal frekuensi tingginya.

Teknik tersebut diberi nama Flip Chip.

Pada teknik ini, terlebih dahulu dibuat bond pad yang merupakan pasangan untuk connecting pad yang terdapat pada die yang akan dikemas. Kemudian pada bond pad yang telah disiapkan tersebut diberi timah yang membentuk bola-bola kecil (bump).

Setelah semua bond pad terisi oleh bump, selanjutnya dipasangkan dengan connecting pad pada die untuk kemudian dipanaskan sehingga keduanya menyatu oleh timah yang meleleh.



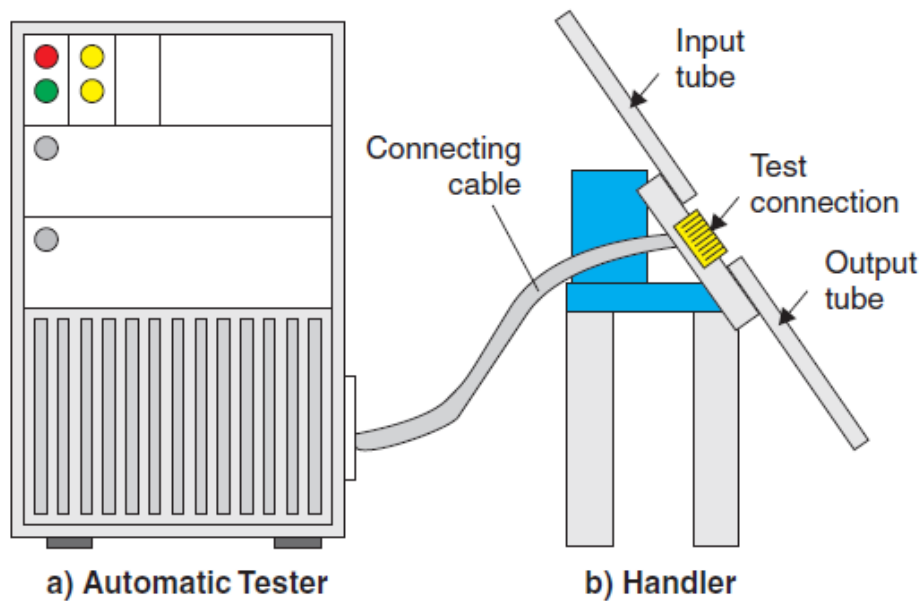
Flip chip process

Final Test

Selama proses packaging ada kemungkinan die mengalami kerusakan atau proses packaging yang kurang sempurna. Pengujian akhir dilakukan terhadap semua IC yang sudah selesai dikemas dengan tujuan agar IC yang mengalami kerusakan selama proses packaging tidak ikut terkirim bersama-sama dengan IC yang bagus.

Metode pengujian akhir ini hampir sama dengan pengujian awal terhadap silikon wafer, bedanya IC yang sudah jadi tidak memerlukan lagi Wafer Prober tetapi menggunakan Handler.

Handler juga sepenuhnya dikendalikan oleh Tester guna melakukan pengetesan berbagai sifat kelistrikan pada setiap IC sekaligus memilah-milah kualitas dari masing-masing IC.



Final test system