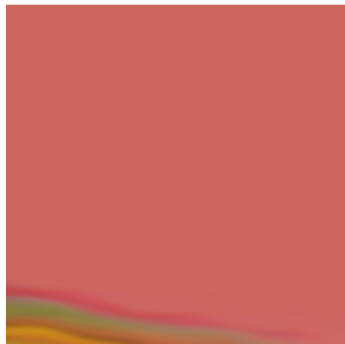
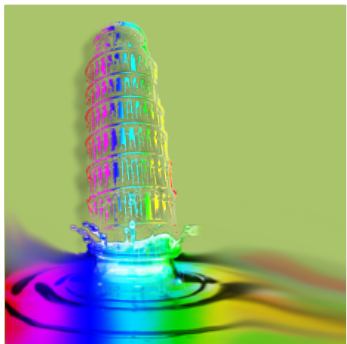
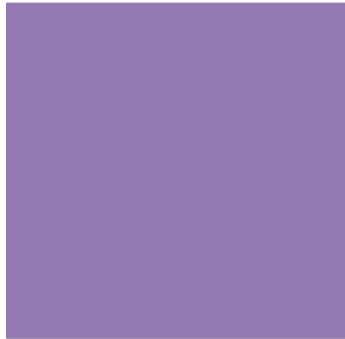


Impiantazione Ionica

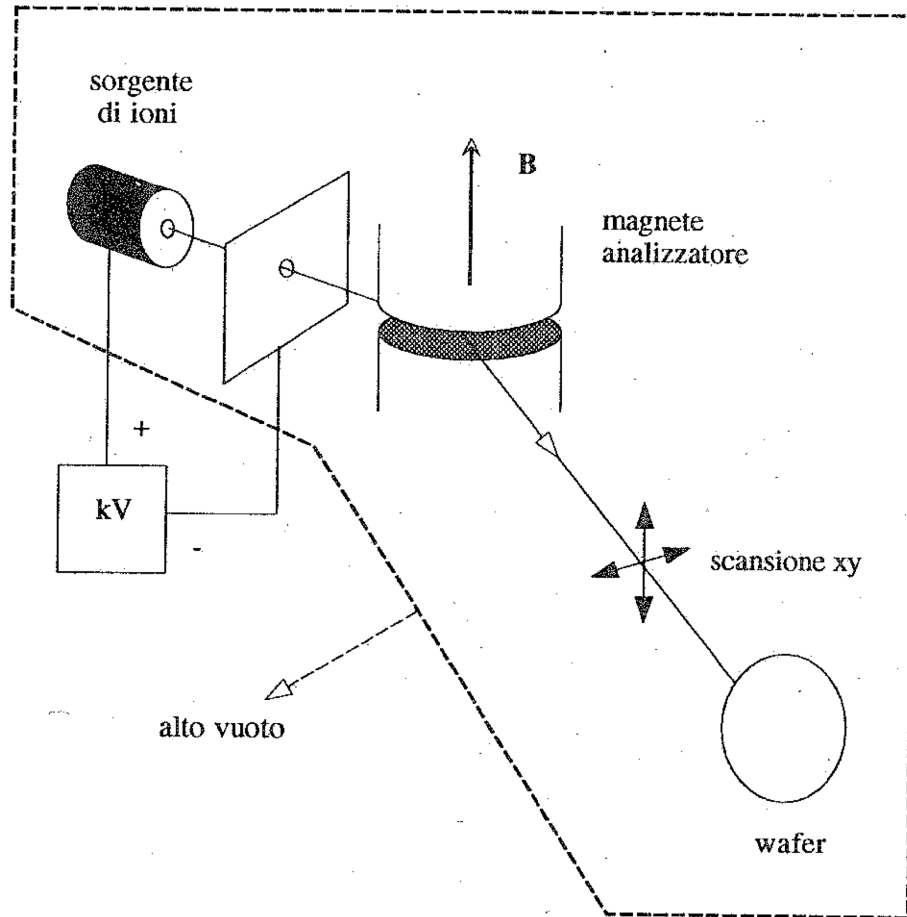
G. Vozzi



Impiantazione Ionica

- Tecnica alternativa alla diffusione
- Miglior controllo della dose
- Processo a bassa temperatura
- Possibilità di drogare anche l'ossido di silicio
- Si possono usare come barriera molti più materiali compreso il fotoresist
- Bassa penetrazione laterale del drogante
- Possibilità di avere un'ampia varietà di profili di drogaggio

Impiantazione Ionica



Gli ioni della specie drogante, accelerati da una differenza di potenziale tra 10 e 500kV, filtrati per eliminare contaminanti e deflessi in modo da illuminare il bersaglio, incidono sul wafer e dopo una serie di collisioni si arrestano in posizione sostituzionale o interstiziale

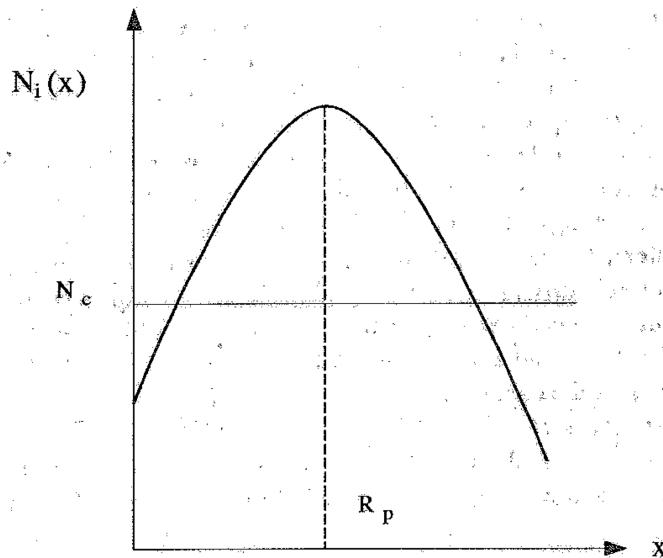
Impiantazione Ionica

Il fascio ionico trasporta da 1 a 15 microampere.

Si possono drogare 100 fette a ciclo.

Il profilo di impiantazione non coincide con quello di drogaggio poiché non tutti gli atomi hanno posizioni sostituzionali e dipende dalla x di drogaggio che è in genere di tipo gaussiano con valor medio R_p .

Su scala logaritmica il profilo di impianto $N(x)$ è una parabola con vertice in R_p e concavità rivolta verso il basso



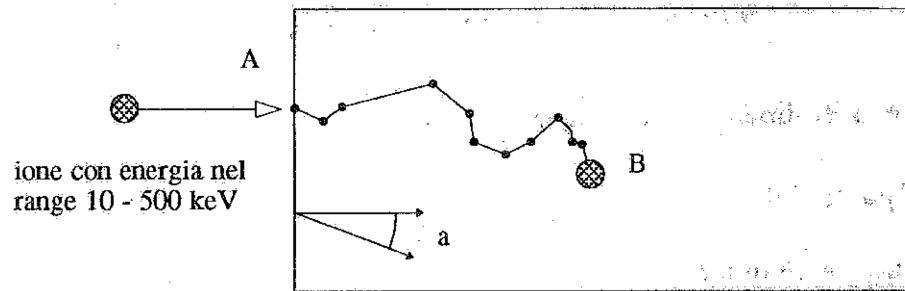
$$N(x) = \frac{N_0}{\sqrt{2\pi\Delta R_p}} e^{-\left[\frac{(x-R_p)}{\sqrt{2\Delta R_p}}\right]^2}$$

R_p dipende:

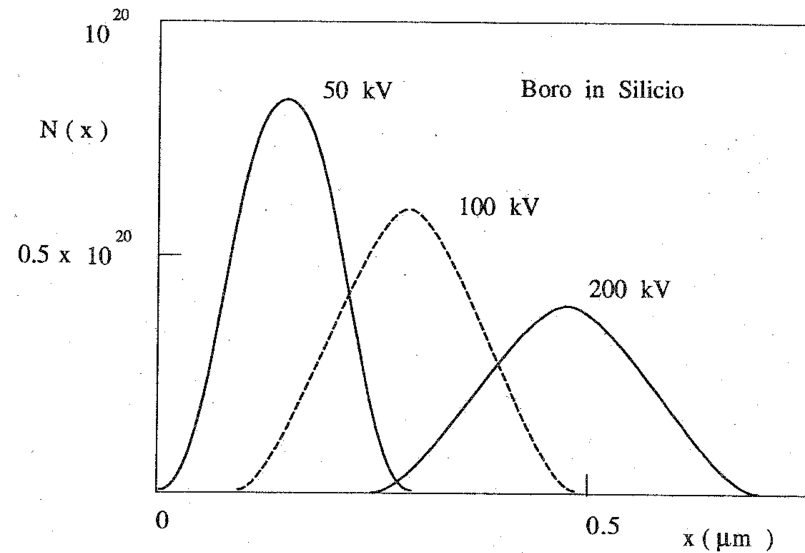
- Tipo di ione
- Energia dello ione
- Tipo di substrato

Impiantazione Ionica

A differenza della diffusione, in cui il massimo del profilo si ha per $x=0$, R_p è sempre maggiore di 0. Se si fanno impiantazioni successive con energie diverse si può ottenere un drogaggio costante in una ampia zona lineare.

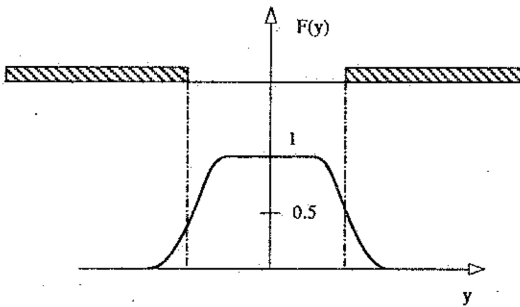
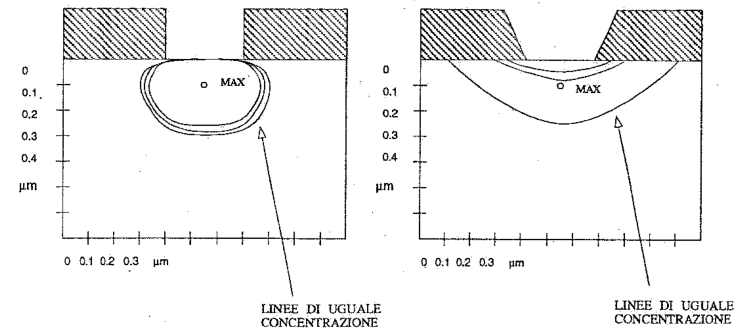
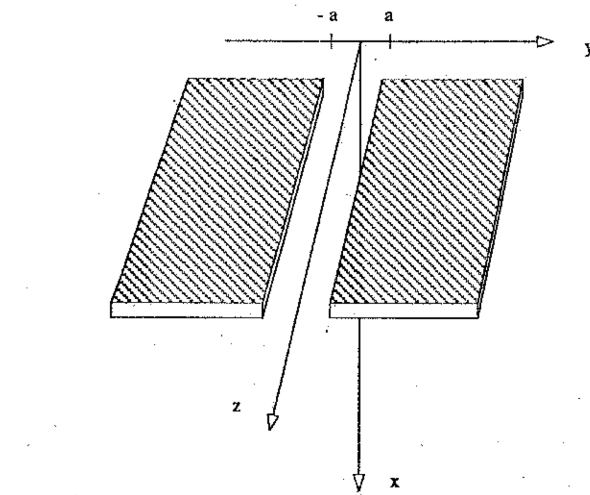


Se gli ioni penetrando urtano il reticolo possono essere deviati in direzioni ortogonali a quelle di incidenza generando una impiantazione laterale non desiderata



Impiantazione Ionica

Se la maschera lascia scoperto un tratto 2 a si vede che si ha una impiantazione laterale, che dipende dal materiale usato per la mascheratura



Impiantazione Ionica

Per energie dello ione incidente minori di 100 KeV il frenamento dello ione è dovuto:

- Collissioni ioni –nucleo del substrato, rimuovono i nuclei dalle posizioni di equilibrio generando difetti
- Interazioni ione-elettroni del substrato, non inducono danno

Lo ione incidendo sul substrato perde energia che cede al reticolo, i poteri frenanti sono indicati come S_n e S_e .

Il potere frenante è la perdita di energia da parte dello ione per unità di lunghezza

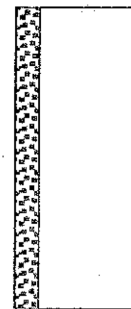
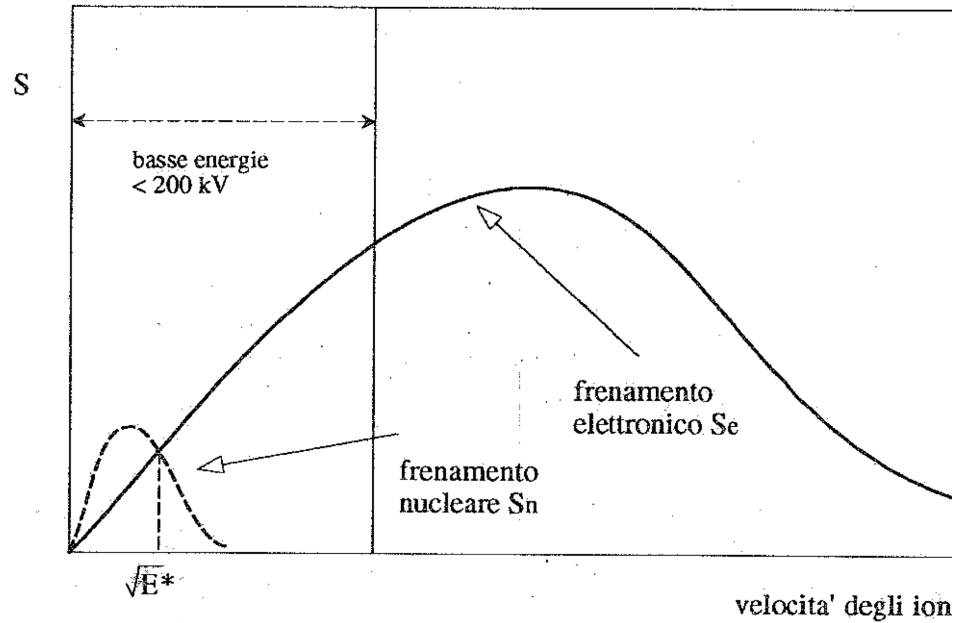
$$S = -\frac{\partial E}{\partial x}$$

Combinando i due poteri frenanti si ha la legge di Lindhard, Scharff e Schiott, dove N è la concentrazione di atomi del substrato

$$-\frac{\partial E}{\partial x} = N(S_n + S_e)$$

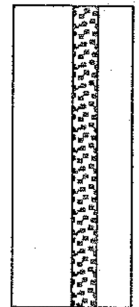
Impiantazione Ionica

ione	E^* (keV)
<i>B</i>	17
<i>P</i>	140
<i>As</i>	800
<i>Sb</i>	2000



impiantazione a bassa energia ;
danneggiamento superficiale

perdita di energia prevalentemente per frenamento nucleare



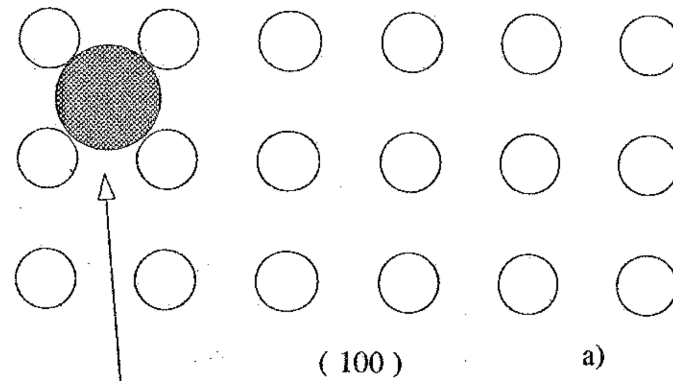
impiantazione ad alta energia :
danneggiamento profondo

perdita di energia prima per frenamento elettronico, poi per frenamento nucleare
($E < E^*$)

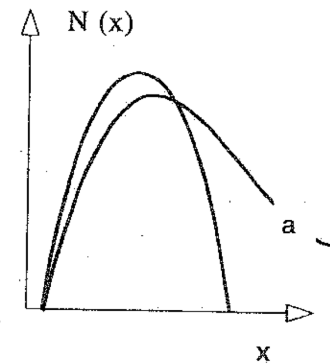
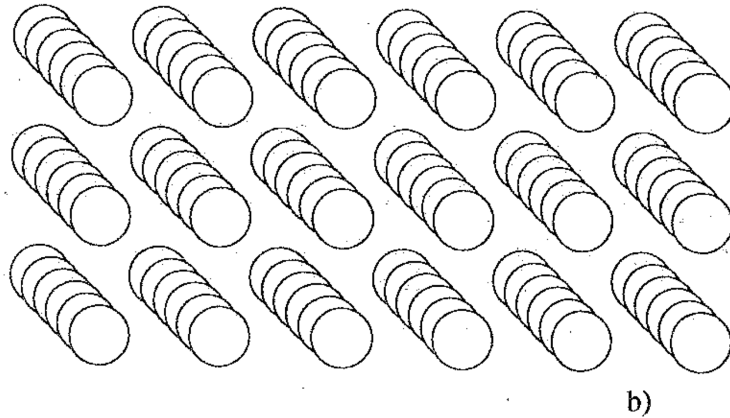
Il danneggiamento rende necessario il processo di annealing

Channeling

Il Channeling è o scarso potere frenante del reticolo e quindi il rischio che l'impiantazione ionica non abbia il profilo desiderato



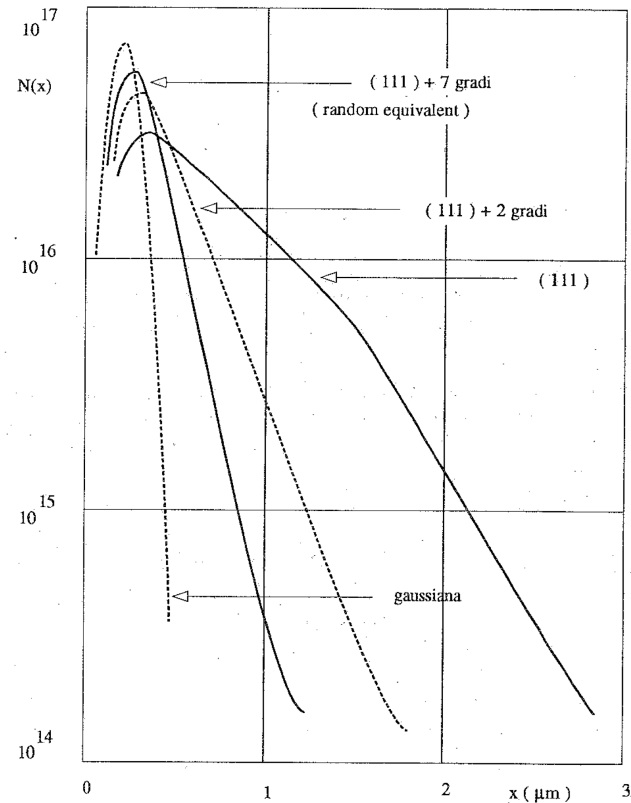
CHANNEL



Channeling

Soluzioni:

- Inclinare il substrato
- Impiantare attraverso uno strato di materiale amorfo (ossido, resist) sovrapposto allo substrato di impiantazione



Annealing

Annealing serve a far coincidere il profilo impiantato con quello di drogaggio e per ricristallizzare il substrato danneggiato.

Tale processo deve essere condotto con attenzione per non danneggiare il profilo di drogante impiantato.

Annealing Convenzionale

Effettuato in forno con atmosfera inerte.

Se il silicio è stato reso amorfo completamente durante la fase di impiantazione, la ricristallizzazione avviene stile metodo CZ o FZ.

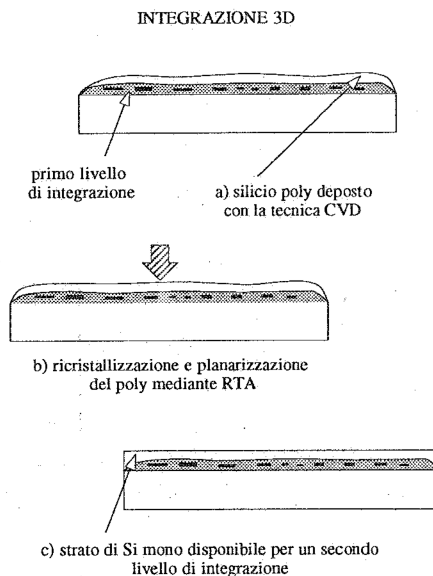
Se ci sono solo dei difetti si muovono i difetti puntiformi.

Annealing Termico Rapido (RTA)

L'RTA è adottato quando si vuole minimizzare la diffusione del profilo impiantato.

Può essere:

- Adiabatico: tempo di riscaldamento inferiore a 0.1 microsecondi, la diffusione è così rapida che si perde il profilo di impiantazione laterale
- A flusso termico: tempo di riscaldamento tra 0.1 microsecondi ed 1 s. Non si ha fusione del silicio e non si varia il profilo di impiantazione, nel raffreddamento si possono creare dei difetti.



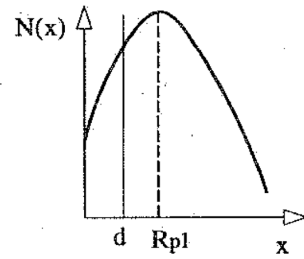
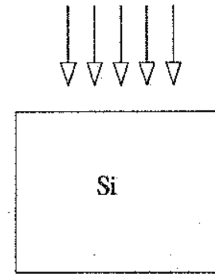
Impianto attraverso uno strato amorfo

L'impiantazione attraverso uno strato amorfo permette di avere una impiantazione randomica ed evitare fuoriuscita di drogante a causa della presenta ad esempio dell'ossido.

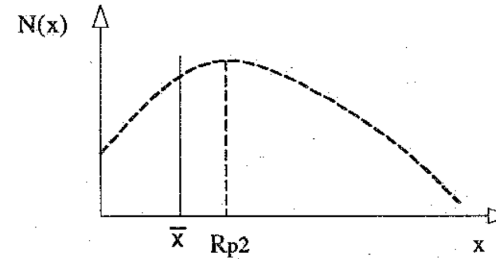
Il profilo di concentrazione si determina così:

- 1) Si determina il profilo di concentrazione come se l'impianto avvenisse nell'ossido (profilo 1)
- 2) Si determina il profilo di concentrazione come se l'impianto avvenisse nel substrato senza ossido (profilo 2)
- 3) Il profilo 1 e lo spessore dello strato di ossido d determinano quanto drogante c' è realmente nell'ossido
- 4) Nota questa quantità si calcola sul profilo 2 la ascissa X dove tagliare il profilo
- 5) Si uniscono i due profili

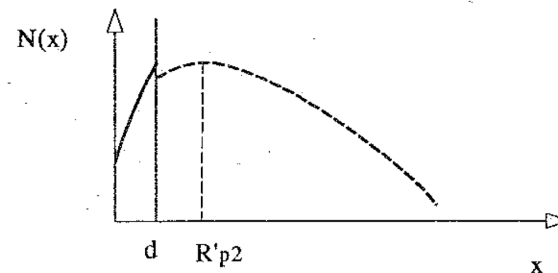
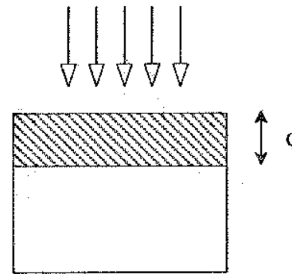
Impianto attraverso uno strato amorfo



1)



2)



Valutazione degli strati impiantati e diffusi

Per valutare gli strati impiantati si ricorre alla misura della resistenza di strato.

$$R = \rho \frac{l}{wx_i}$$

Se vogliamo conoscere la resistenza di un materiale semiconduttore drogato allora abbiamo:

$$R = \rho \frac{l}{wx_i} = \frac{1}{\sigma x_i} \cdot \frac{l}{W}$$

Dove σ è la conducibilità media che è l'inverso della resistività media ed è definita come:

$$\sigma = \frac{1}{x_i} \int_0^{x_i} q\mu_n(x)n(x) dx$$

Sia μ_n che n dipendono da x

Valutazione degli strati impiantati e diffusi

Per valutare gli strati impiantati si ricorre alla misura della resistenza di strato.

$$R = \rho \frac{l}{wx_i}$$

Se vogliamo conoscere la resistenza di un materiale semiconduttore drogato allora abbiamo:

$$R = \rho \frac{l}{wx_i} = \frac{1}{\sigma x_i} \cdot \frac{l}{W}$$

Dove σ è la conducibilità media che è l'inverso della resistività media ed è definita come:

$$\sigma = \frac{1}{x_i} \int_0^{x_i} q\mu_n(x)n(x)dx$$

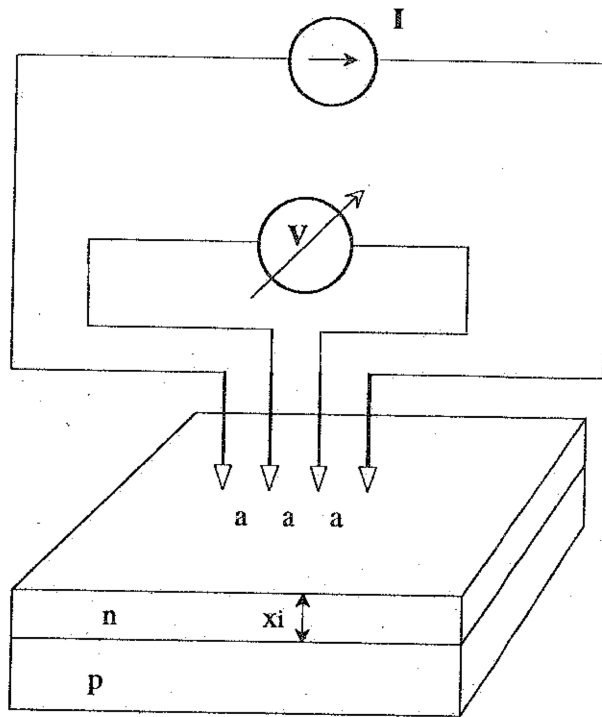
Sia μ_n che n dipendono da x

$$R = \rho_{\square} \frac{l}{w}$$

È la resistenza di un quadrato di lato w

Valutazione degli strati impiantati e diffusi

Per valutare gli strati impiantati si ricorre alla misura della resistenza di strato.



$$V = \frac{I\rho}{\pi x_i} \ln(2) = 0.22 \frac{I\rho}{x_i}$$

$$\rho_{\emptyset} = 4.532 \frac{V}{I}$$

$$\rho_{\emptyset} = F \frac{V}{I}$$

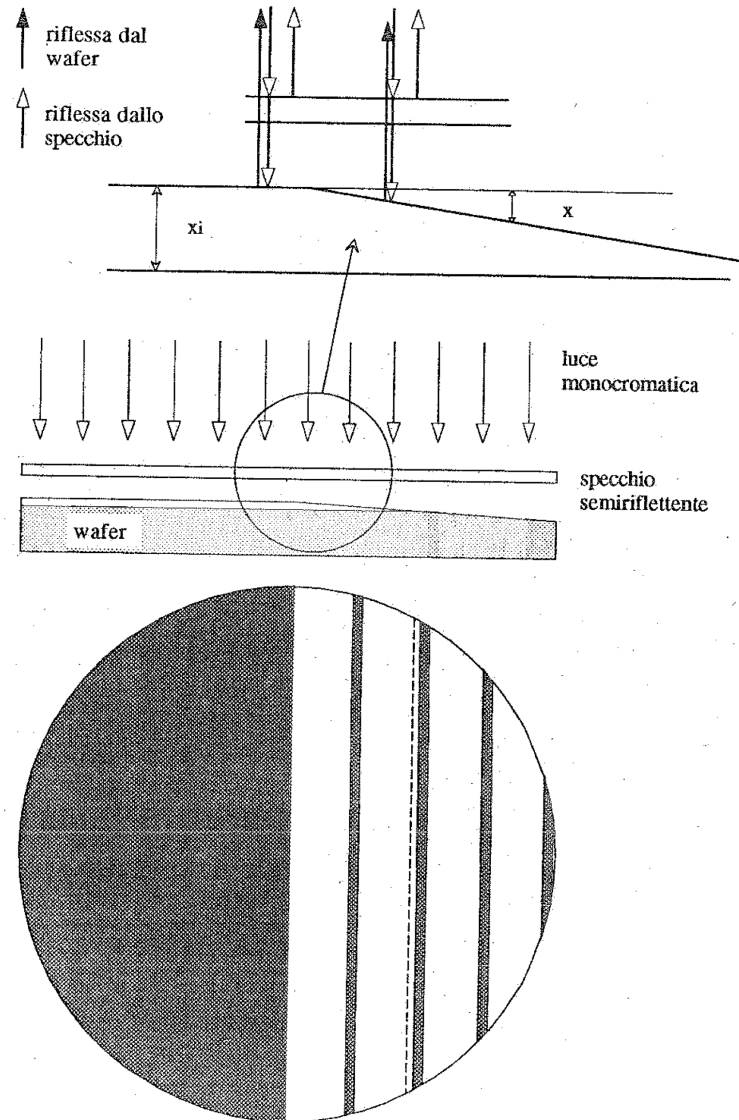
d/a	cerchio ○	quadrato □	rettangolo □□	rettangolo □□□
3.0	2.2662	2.4575	2.7000	2.7005
5.0	3.3625	3.5098	3.5749	3.5750
10.0	4.1716	4.2209	4.2357	4.2357
20.0	4.4364	4.4516	4.4553	4.4553
40.0	4.5076	4.5120	4.5129	4.5129

Misura della profondità di giunzione

Metodo interferometrico

- Si lappa una fetta con angolo tra 1 e 3 in modo da amplificare la zona di giunzione.
- Si immerge in soluzione di $\text{HF} + \text{CuSO}_4$ che deposita rame solo nella zona n
- La zona viene evidenziata dalla colorazione
- Si illumina il wafer con luce monocromatica attraverso uno specchio semiriflettente, in modo che le onde elettromagnetiche riflesse dal wafer e dallo specchio si sommano in controfase (minimo di intensità) e ciò si ripete ogni volta che $x = \lambda/2$.
- Il numero N di frange scure fornisce il valore di profondità che sarà pari a $N\lambda/2$

Misura della profondità di giunzione Metodo interferometrico



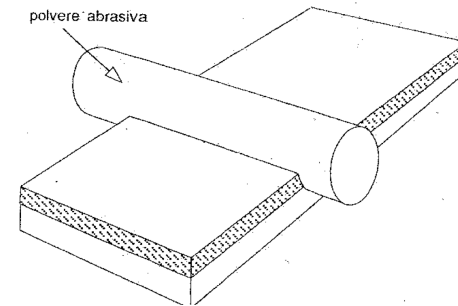
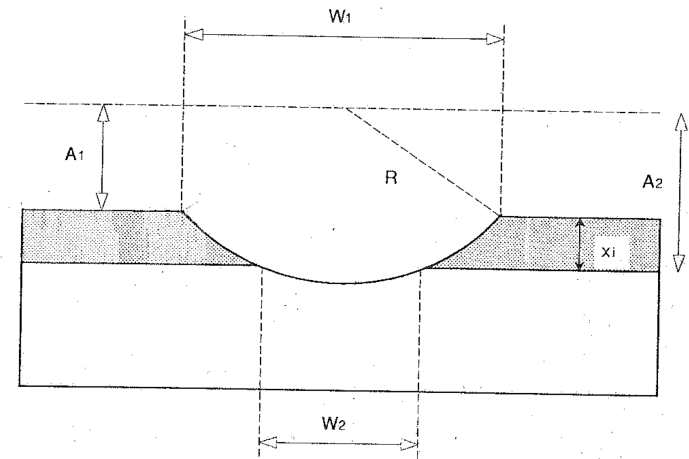
Misura della profondità di giunzione

Metodo Groove and Stain

- Si scava il wafer con un rullo
- Si immette nella soluzione colorante
- Si misurano le distanze W_1 e W_2

$$x_i = A_2 - A_1$$

$$x_i = \left[R^2 - \left(\frac{W_1}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} - \left[R^2 - \left(\frac{W_2}{2} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$$

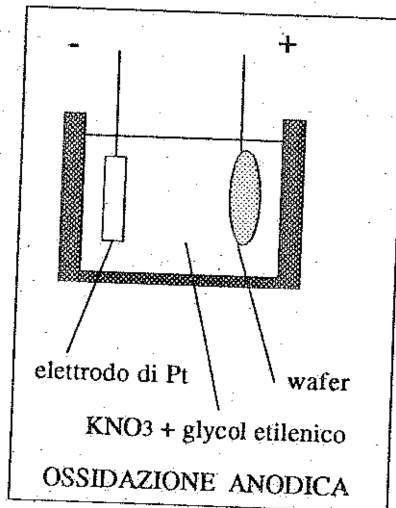


Misura della profondità di giunzione

Metodo Groove and Stain

Per sezionare il wafer in direzione orizzontale in modo che lo spessore rimosso sia piccolo e noto con precisione di opera così:

- Si ossida il wafer tramite ossidazione anodica
- Rimuovere l'ossido con un attacco selettivo



L'ossidazione anodica permette di crescere in modo preciso Spessori del centinaio di $^{\circ}\text{A}$ e rimuoverne strati dell'ordine di 50°A . è un processo che avviene a temperatura ambiente e lascia inalterato il profilo di drogaggio.

Misura della profondità di giunzione Metodo Groove and Stain

