

# Rivelatori e Apparati

Slides\_6 – Fabbricazione sensori

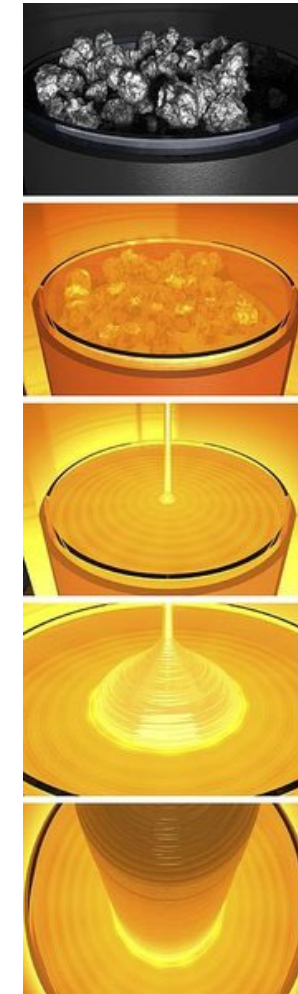
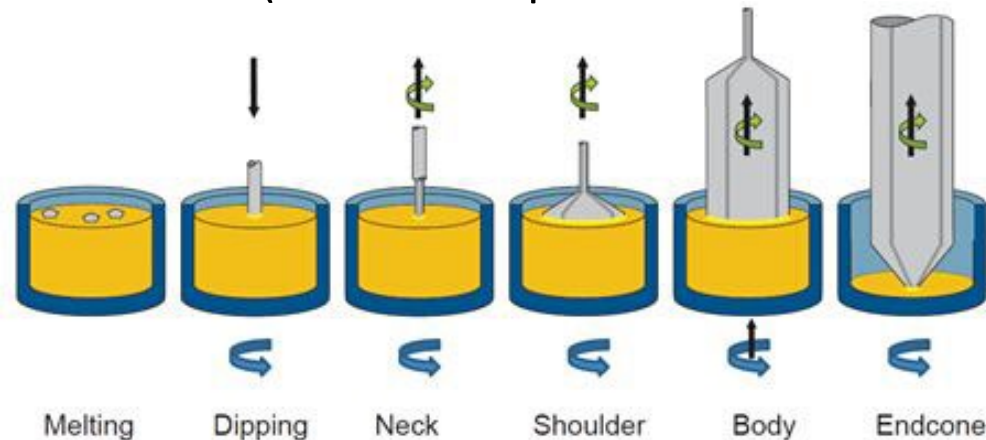
# Materiale di partenza

- Il silicio viene isolato dalla quarzite, una forma abbastanza pura di sabbia, attraverso una riduzione col carbonio a  $T > 1400$  C.
- Il silicio solido così ottenuto (98% puro) è trattato per formare un composto del Cloro ( $\text{SiHCl}_3$ ) che può essere distillato per rimuovere le impurità
- Il triclorosilano è poi trasformato in silicio solido con una concentrazione di impurità  $< 10^{-9}$
- Tale materiale serve poi da materiale di partenza per la crescita del cristallo di silicio per i sensori

# Fabbricazione dei monocristalli di silicio

## Metodo Czochralski

- Polisilicio fuso a 1420 C in crogiolo
- Seme <111> purissimo immerso
- Rotazione e estrazione ( $\sim 10\mu\text{m}/\text{sec}$ )
- Interfaccia solido-liquido forma cristallo
- Purezza ok per CMOS, non per sensori (max  $\rho = 10 \text{ Ohm cm}$  )
- Ossigeno  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  presente in atmosfera irrobustisce il cristallo
- Aggiunta Boro/Fosforo nel crogiolo per creare drogaggio p,n
- 30-45 cm wafer (diametro dipende da velocita' di estrazione)



# Fabbricazione dei monocristalli di silicio

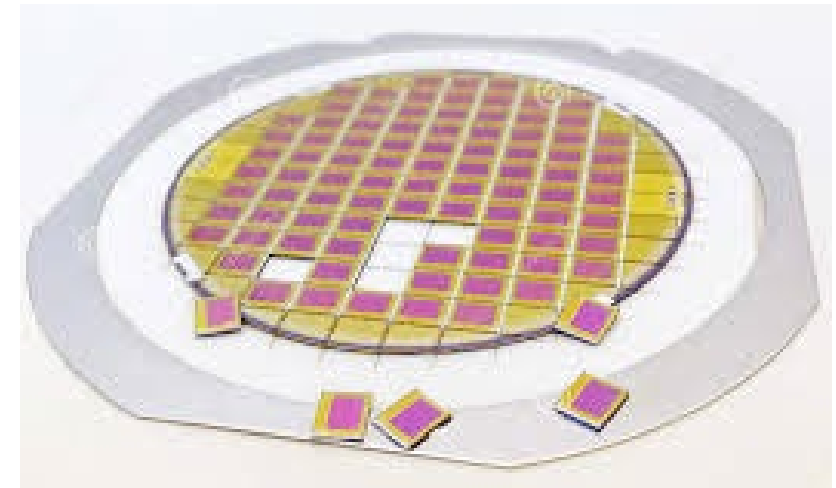
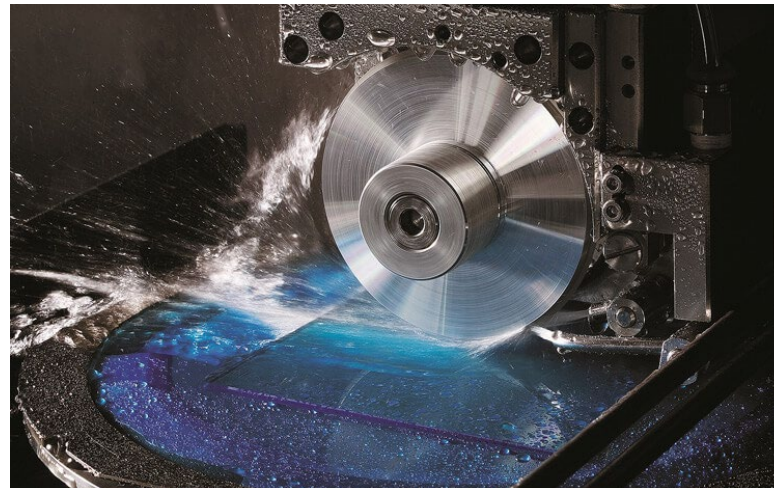
## Metodo **Float-zone**

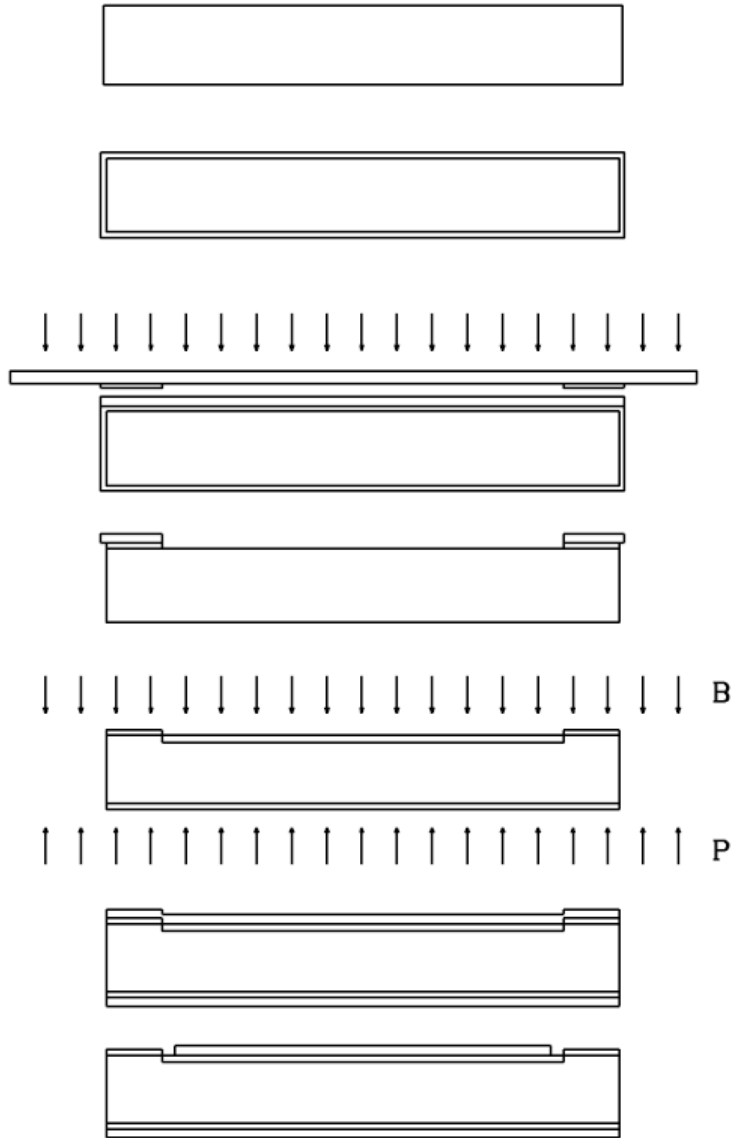
- Cilindro di Polisilicio attraverso bobina
- Strato sottile fuso per induzione RF
- La sezione fusa viene spostata verticalmente e si porta via le impurita (poco solubili nel silicio)
- Purezza molto alta, aggiunta di azoto per irrobustire meccanicamente, adatta a giunzioni pn classiche (non a SDD)
- Dimensioni tipiche: 15cm
- Aggiunta Boro/Fosforo per creare p,n in atmosfera
- Resistivita'  $5\text{k}\Omega\text{cm}$  (fino a  $10\text{-}50\text{ k}\Omega\text{cm}$ )



# Taglio del wafer

- Cilindro lavorato al tornio per ottenere diametro voluto, e rettificato
- Segato in fette con utensili diamantati
- Rugosita' ridotta (lapping) con paste abrasive
- Si raggiunge uniformita 2um
- Rimozione chimica danni e lucidatura (rugosita' di pochi passi atomici su piccola scala)
- Spessori 200-750um
- Diametro fino a 45 cm
- Assottigliamento e taglio





- Wafer lucidato (Si, Ge, GaAs)
- Ossidazione: deposito di vapore o crescita termica di  $\text{SiO}_2$
- Fotolitografia:
  - Illuminazione attraverso maschera (positiva o negativa)
  - Su wafer rivestito con Fotoresist (centrifuga per controllo spessore)
- Sviluppo e rimozione chimica della parte (non) illuminata
  - Plasma etching (reagenti gassosi rimossi con frequenze) o wet etching
  - La parte non polimerizzata si dissolve
- Impianto di Boro/Fosforo per drogare p/n
- Deposito di alluminio
  - Per evaporazione o “spruzzamento” (sputtering)
- Rimozione alluminio dove non serve

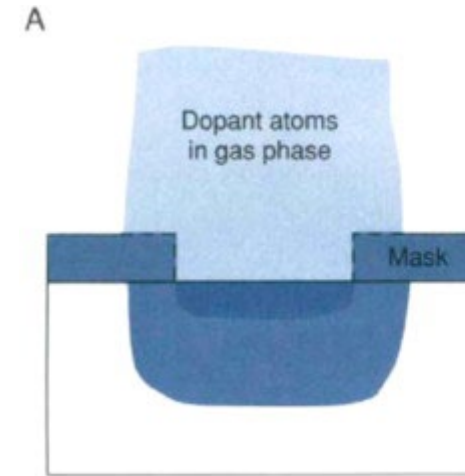


# Metodi di drogaggio: diffusione

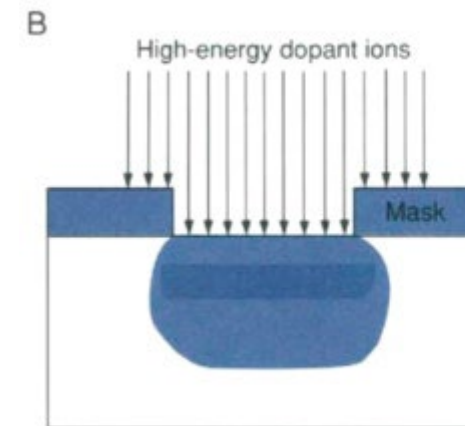
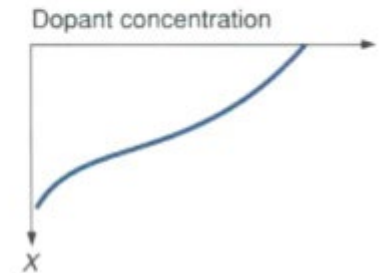
- Impianto di Boro/Fosforo or Arsenio per drogare p/n
- wafer esposto ad atmosfera di gas inerte con il drogante a temperature  $\sim 1000$  C per un certo tempo; tali gas sono infiammabili e tossici
- Uno strato di ossido copre le zone da non drogare (il fotoresist non puo' essere riscaldato cosi' tanto)
- Il gradiente di concentrazione porta il drogante a diffondere nel silicio, con una concentrazione massima in superficie e una profondita che dipende dal tempo di esposizione, dalla temperatura e la concentrazione in superficie (massimo alcuni  $\mu\text{m}$ )
- Gradiente risultate e' molto dolce
- Diffusione laterale  $\sim 0.8$  x profondita'

# Metodi di drogaggio: impianto ionico

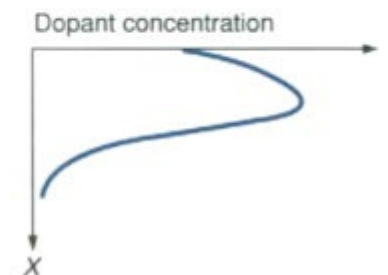
- bombardamento dei wafer con ioni droganti agli acceleratori (keV-MeV) a temperature ambiente, con fasci piccoli per scan di precisione molto uniformi.
- L'uso di fotoresist e' premesso, e il suo spessore determina la profondita' di penetrazione degli ioni
- Anche strati di ossido o di poliresistori si puo' usare per auto-allineare strutture sottostanti
- Ioni inizialmente inattivi in posizione interstiziale (casuale) e cristallo danneggiato dall'impianto
- Annealing termico successive per muovere gli atomi in posizione legata nel cristallo.
- La profondita' dipende dal potere penetrante degli ioni all'energia di impatto.



**diffusione**



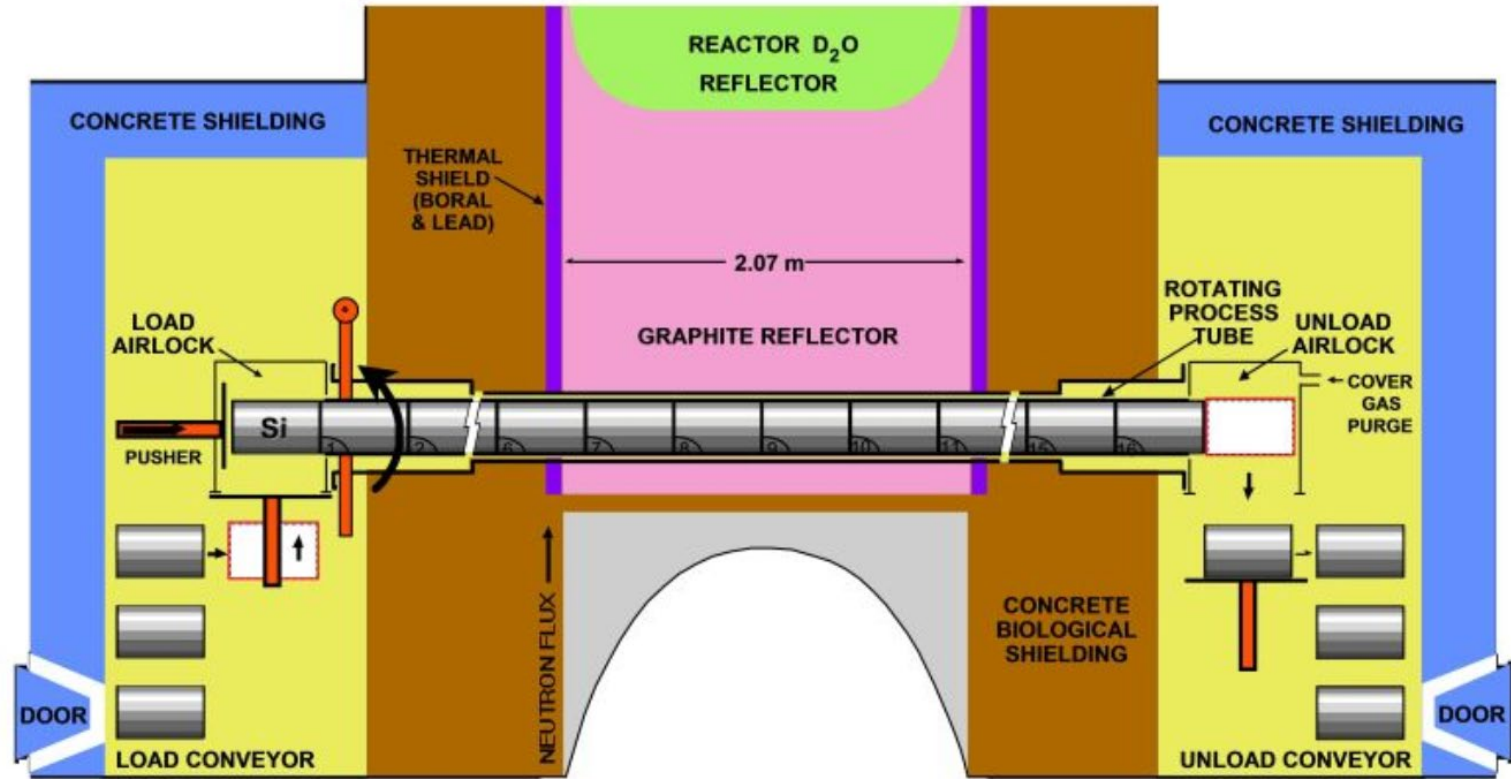
**impianto ionico**





# Drogaggio a Trasmutazione Neutronica (NTD)

- Irraggiamento di silicio purissimo con flusso di neutroni termici.
- Il neutron termico viene catturato dal  $^{30}\text{Si}$ , che ha abbondanza 3% nel Silicio puro
- Grazie all'alto rapporto neutroni/protoni nel  $^{31}\text{Si}$ , rilascia un beta convertendo un neutrone in protone
- Il  $^{31}\text{Si}$  si converte il  $^{31}\text{P}$ , fosforo, drogando il Silicio.



- Risultato: bassa resistività con grande omogeneità

# Processo planare fabbricazione rivelatore

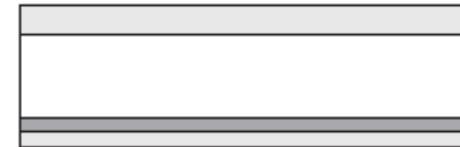
a) DEPOSIT P-DOPED POLY-Si  
BACKSIDE CONTACT



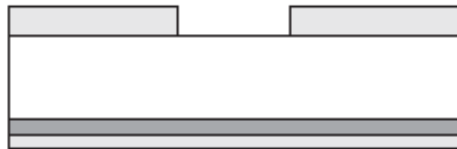
b) BACK CONTACT PROTECTED  
BY Si-NITRIDE CAPPING LAYER



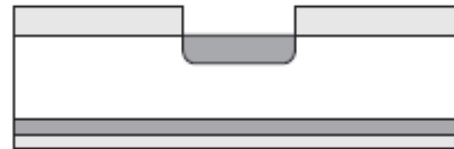
c) THERMAL OXIDATION OF  
TOP SURFACE



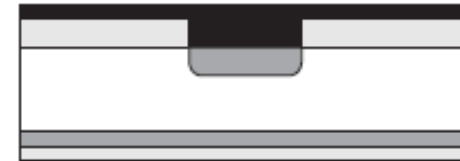
d) OPEN WINDOW FOR p+  
ELECTRODE



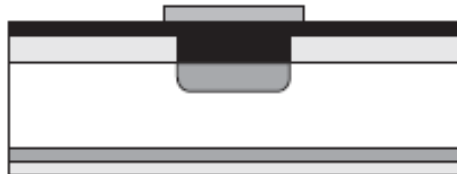
e) B-DOPING TO FORM p+  
ELECTRODE



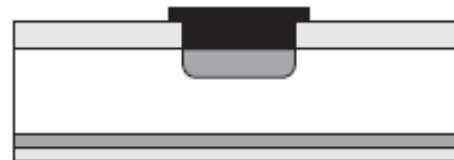
f) ALUMINUM METALLIZATION  
FOR FRONT CONTACT



g) PHOTORESIST MASK  
FOR FRONT CONTACT



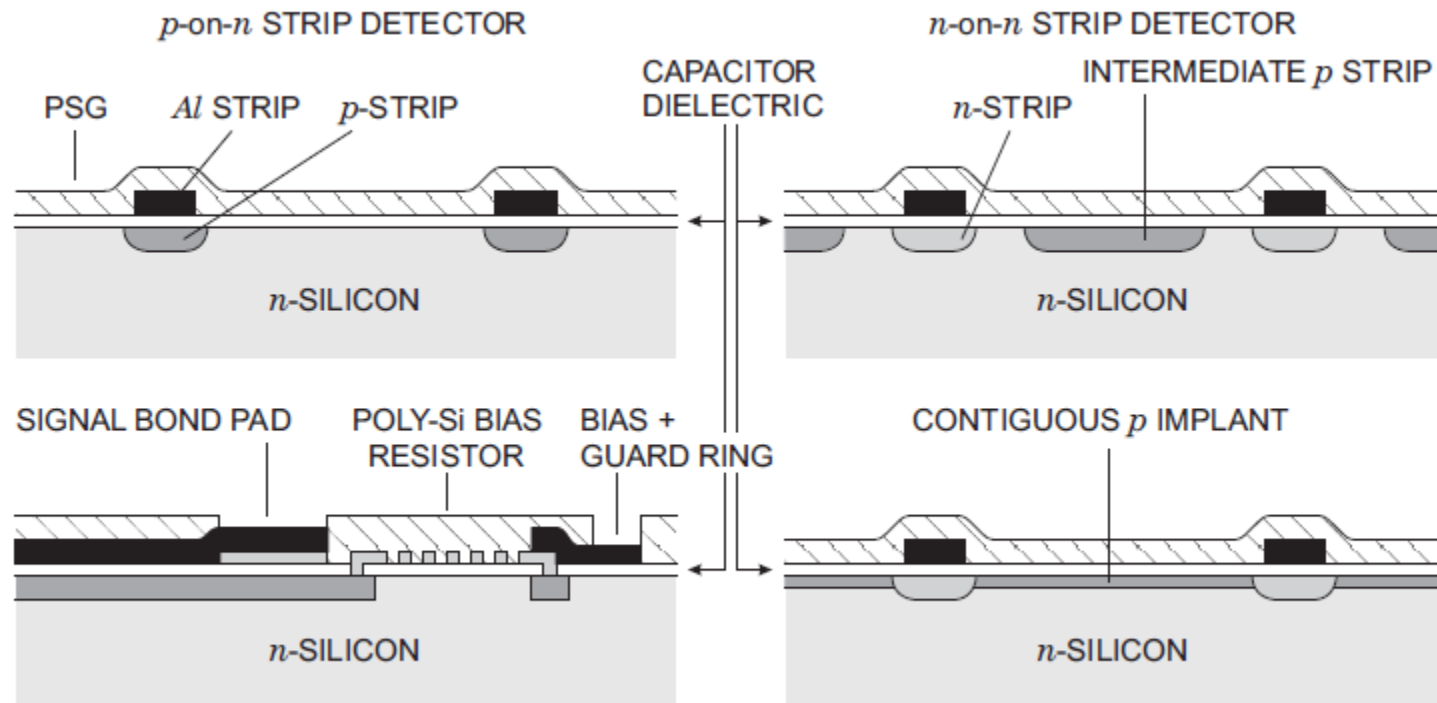
h) ETCH FRONT CONTACT



i) ALUMINUM METALLIZATION  
FOR BACK CONTACT



# Sezione trasversale Strip detector



# Sezione trasversale struttura CMOS

