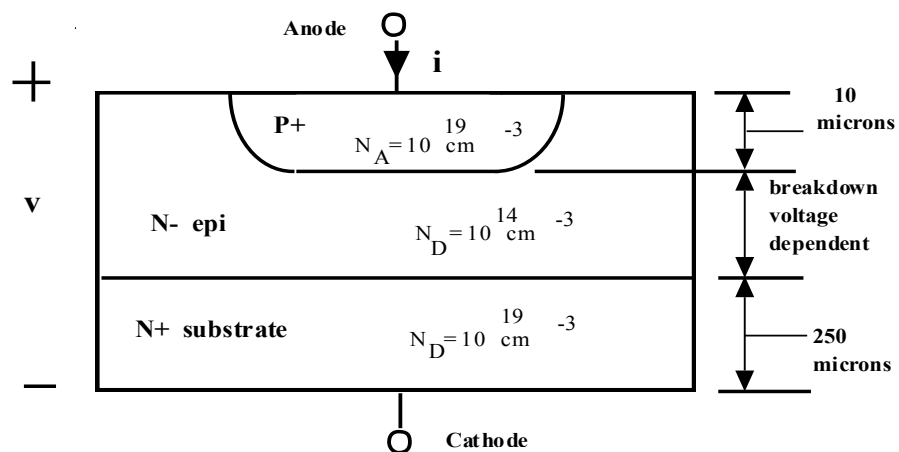


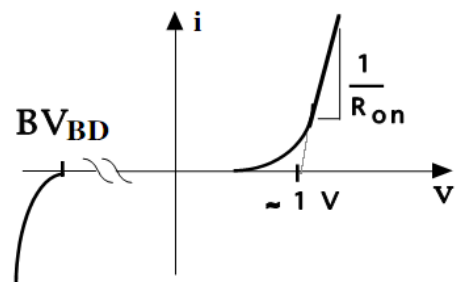
Diodi di potenza

Diodi di potenza



Zona n- ad alta resistività (regione di drift)

- aumentare V_{BD} (riduce il campo in inversione)
- Aumenta R_{ON} (i-v lineare in conduzione)



Diodi senza punch through

- La zona di svuotamento non raggiunge la regione n+
- Giunzione brusca, caduta di potenziale e zona di svuotamento tutta in n- << p+

$$E_{\max} = \frac{qN_d W}{\epsilon} \quad \phi = \frac{qN_d W^2}{2\epsilon} = \frac{E_{\max}^2 \epsilon}{2qN_d} = \frac{E_{\max} W}{2}$$

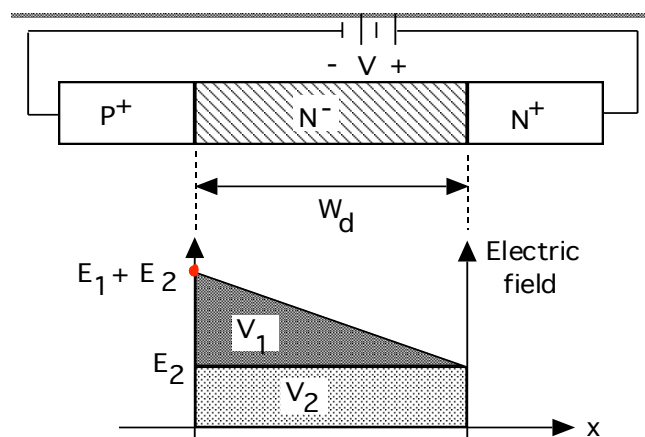
- Silicio $E_{\max} = 2e5 \text{ V/cm}$, per avere $\phi = V_{BD} = 1000 \text{ V}$
 $\rightarrow N_d < 1e14 \text{ cm}^{-3}$, $W_{\max} = 130 \text{ }\mu\text{m}$.

Diodi con punch through

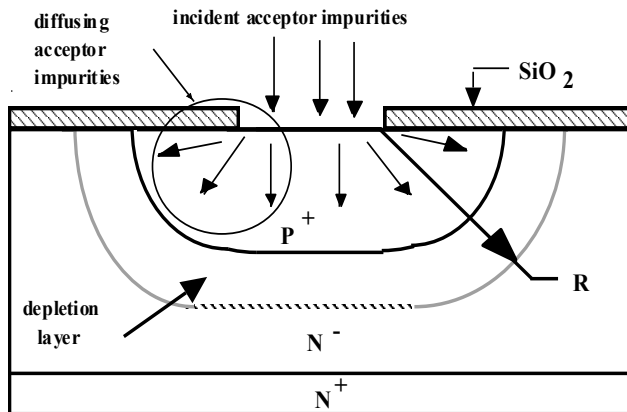
- La regione di svuotamento arriva alla zona n+
- Caso semplice: $n^- \sim 0$, il campo è costante nella zona n- e il potenziale cade tutto nella zona n-

$$\phi = E_{\max} W_d$$

- La zona di svuotamento è la metà del caso precedente
- n- ad ancora più alta resistività del caso precedente

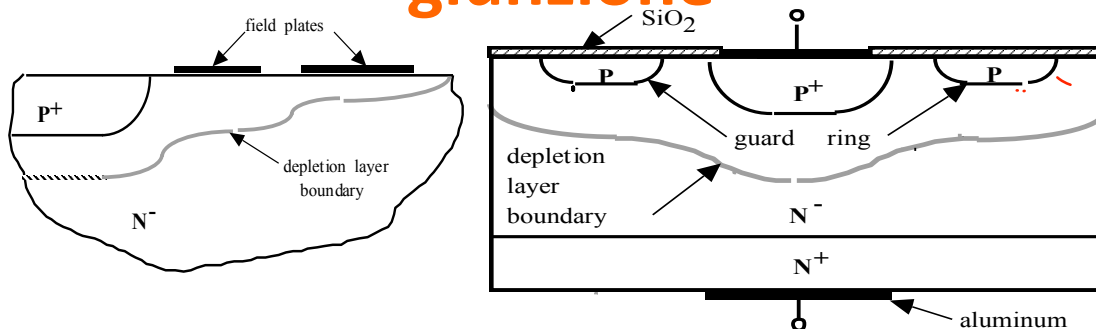


Curvatura della diffusione p+



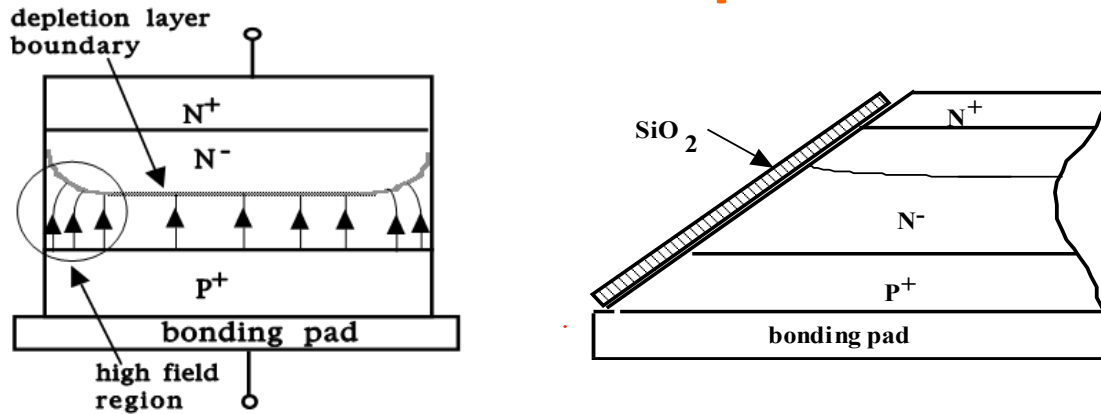
- campo elettrico più alto nelle regioni curve → riduzione V_{BD}
- Per ridurre V_{BD} di meno del 10% dobbiamo avere $R > 6 W_{max}$
- per $V_{BD} \sim 1000$ V non è fattibile ($R \sim 800$ um richiederebbe tempi di diffusione troppo lunghi) → controllo della curvatura della giunzione mediante elettrodi flottanti o anelli di guardia

Controllo della curvatura della giunzione



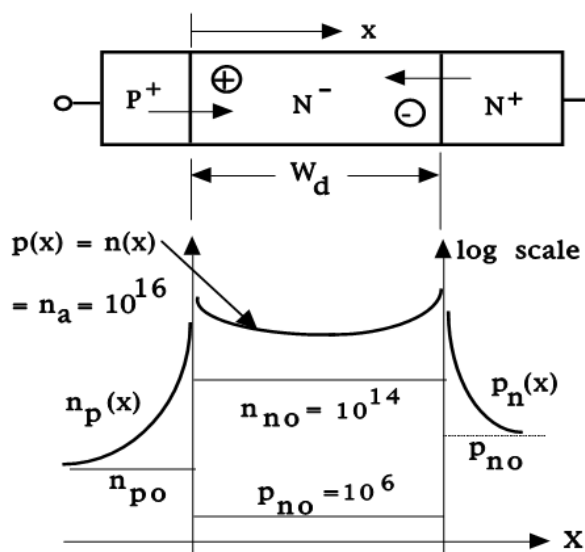
- Gli elettrodi metallici flottanti (*field plate*) sono superfici equipotenziali che estendono lateralmente la zona di svuotamento → riducono la curvatura
- Anche gli anelli di guardia sono flottanti. La loro zona di svuotamento si fonda con quella del diodo riducendo la curvatura complessiva.
- La tensione inversa sugli anelli di guarda è minore (p flottante)

Gestione della superficie



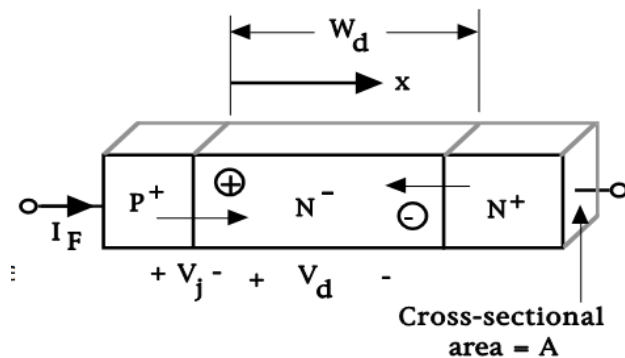
- Se la giunzione metallurgica si estende all'interfaccia aria-semiconduttore si ha incremento del campo elettrico che può portare a una riduzione di VBD del 20-30%
- Taglio obliquo (beveling) e rivestimento con SiO₂ possono evitare l'aumento di campo.

Modulazione della conduttività (on)



- $V_{ON} > 0.7$ V per la caduta di tensione nella regione di drift
- il valore della conduttività nella regione di drift è molto più alta di quello che ci aspetteremo dal drogaggio perché ci sono portatori in eccesso.
- **Doppia iniezione**
- se $W_d <$ lunghezza di diffusione $\rightarrow p \sim n = n_a \gg n_{no}$
- Conduttività $\propto n_a$

Stima di V_{ON}



$$I_F \sim \frac{q(\mu_n + \mu_p)n_a A V_d}{W_d}$$

$$I_F \sim \frac{q A W_d n_a}{\tau} = \frac{Q}{\tau}$$

$$V_d \sim \frac{W_d^2}{(\mu_n + \mu_p)\tau}$$

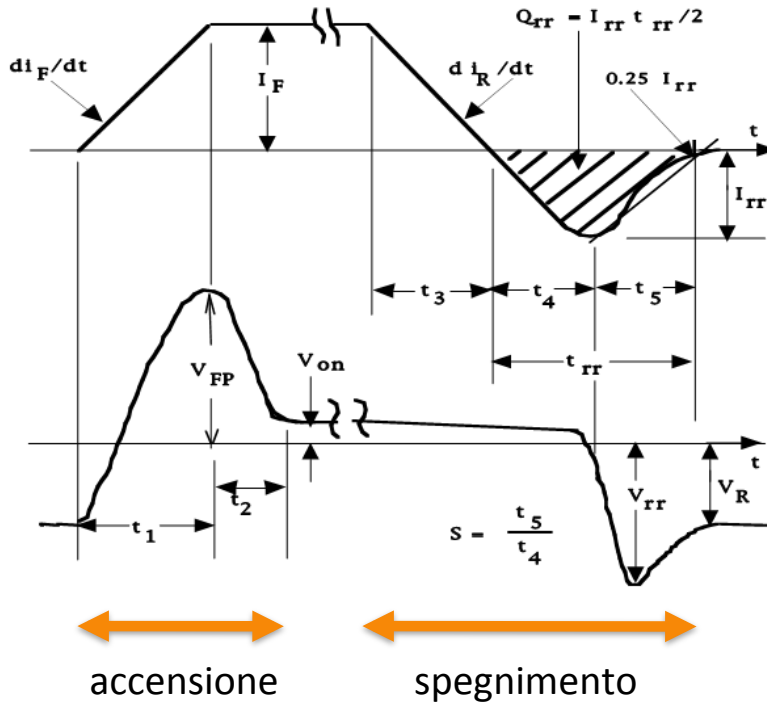
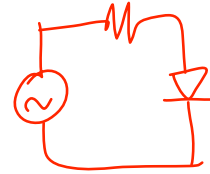
- Nota: V_d sembra quasi indipendente da I_F (a prezzo di alta Q)
- Il tempo di vita τ e μ si riduce se n_a cresce sopra $1e17 \text{ cm}^{-3}$ per ricombinazione Auger e scattering e-e:
- Per alte n_a : $(\mu_n + \mu_p) \sim n_a^{-1}$

$$V_{ON} = V_j + V_d \sim V_j + R_{ON} I$$

Impatto della V_{ON}

- Considerazioni:
 - La V_d dipende molto meno da I_{on} di quello che ci si potrebbe aspettare dato il basso drogaggio
 - La bassa V_{ON} implica alta carica nella regione di drift, che sarà responsabile di alti tempi di spegnimento
 - Nota che $V_{BD} \propto W_d$, $W_{ON} \propto W_d^2$: alta $V_{BD} \rightarrow$ alta V_{ON}
 - $I_F \propto V_d/V_{BD} \rightarrow$ a parità di V_d , se aumenta V_{BD} diminuisce I_F

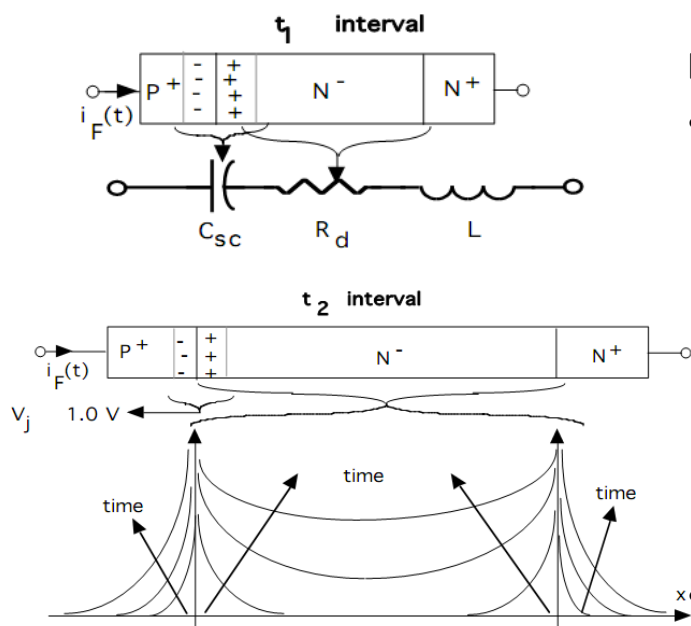
Commutazione



Parametri importanti:

- Tensione di overshoot all'accensione (non esiste nei diodi di segnale)
- Transitorio della corrente nello spegnimento

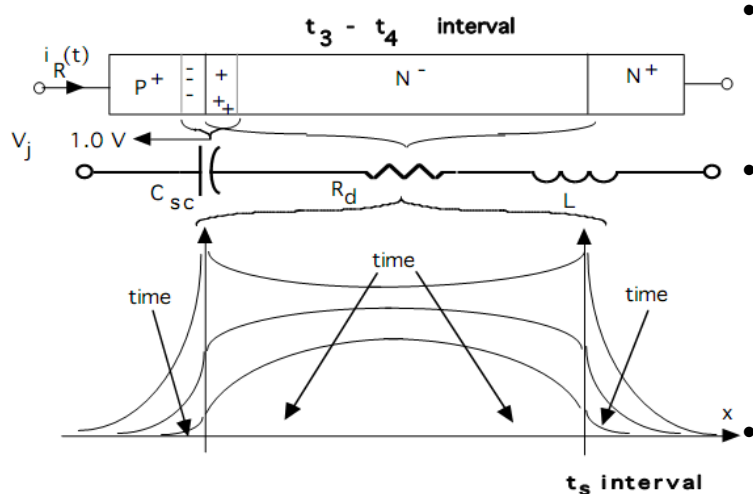
Transitorio di accensione



Due fasi:

- t_1 (ns) eliminazione (scarica) della zona di svuotamento
 - C'è un overshoot di tensione perché in questa fase la resistività della zona è alta + componente induttiva del diodo
- t_2 (us): formazione dell'eccesso di carica nella regione n-

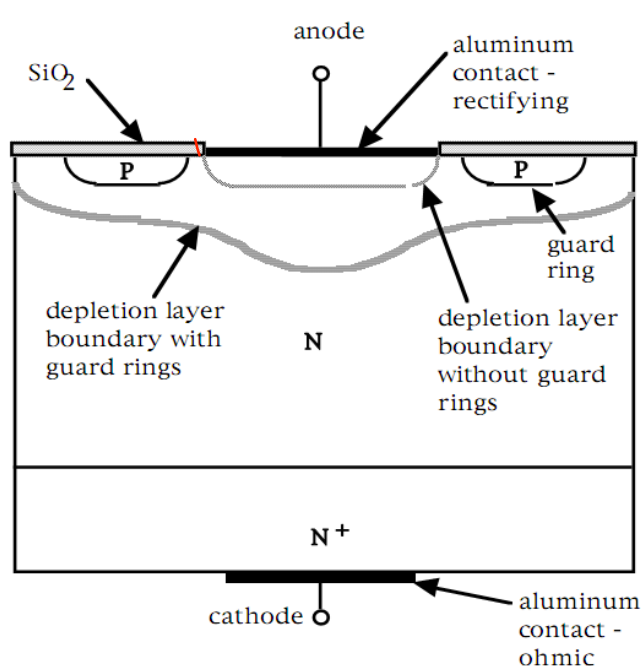
Transitorio di spegnimento



$$t_{rr} \propto V_{BD}$$

- t_3 : i portatori in eccesso nella regione di drift vengono rimossi
- t_4 : rimozione ulteriore dei portatori in eccesso nella regione di drift fino allo svuotamento completo ($v \sim V_{ON}$)
- t_5 : la corrente decresce perché i portatori in regione drift sono troppo pochi
- reverse recovery time:
 $t_{rr} = t_4 + t_5$

Diodi Schottky



- $V_{ON} \sim 0.3-0.4 V$
- $V_{BD} \sim 100-200 V$
 - piccolo raggio di curvatura
 - Zona ad alto campo vicina alla superficie
 - Drogaggio n piu` alto (per diminuire R_{ON})
- Solo portatori maggioritari.
 - Spegnimento veloce
 - Piccolo overshoot di tensione all'accensione