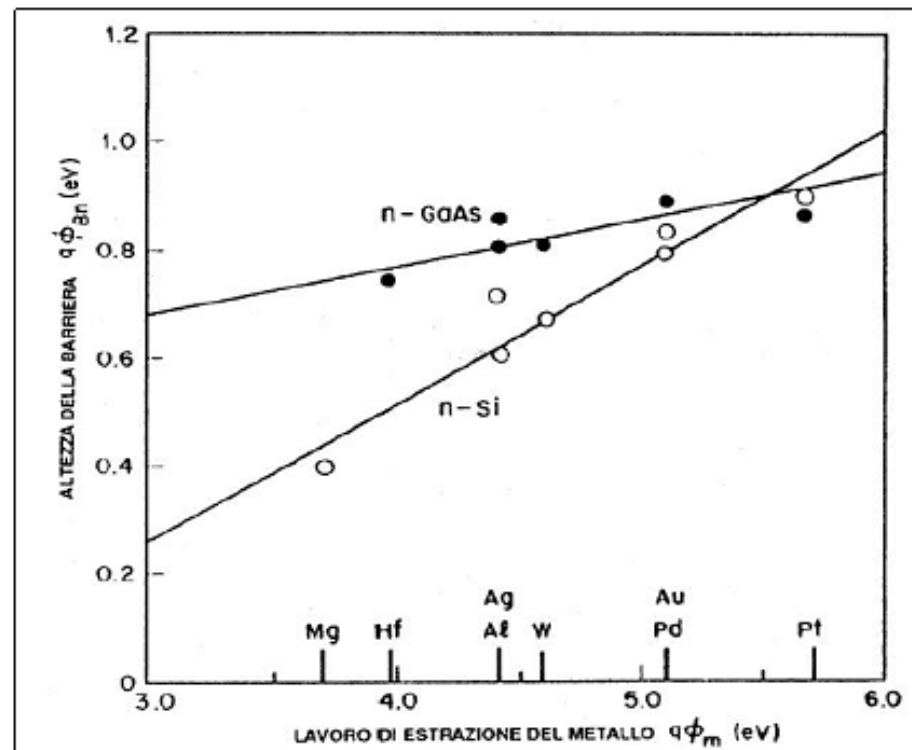


**Il contatto
metallo/semiconduttore
Non idealità**

Metallo-semiconduttore non idealità

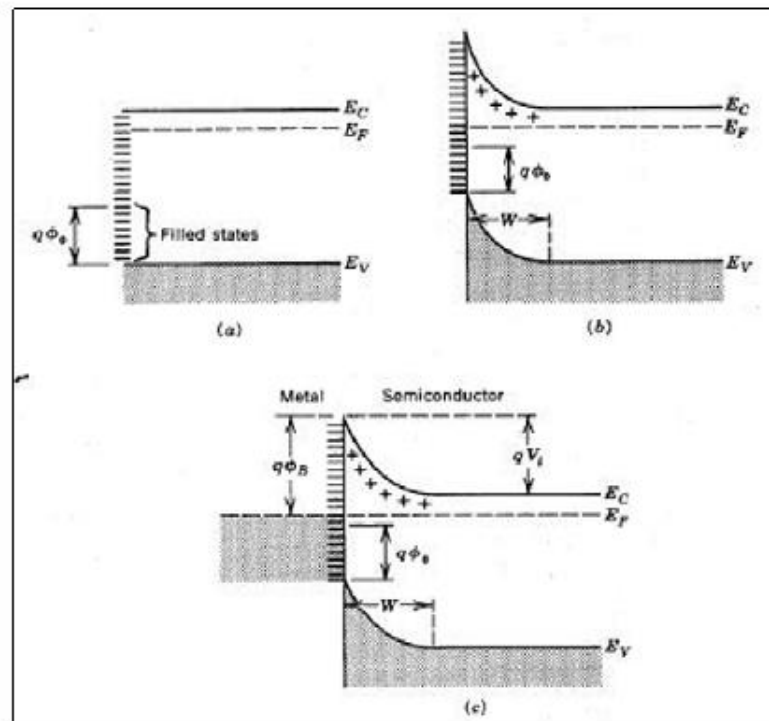
La teoria prevede una variazione lineare della φ_B con la φ_m

Ciò viene **difficilmente verificato** nei contatti aventi semiconduttori a **legame covalente**, come il Silicio e il Germanio.



Metallo-semiconduttore non idealità

La presenza di stati localizzati fa sì che gli elettroni nel semiconduttore si trasferiscano negli stati liberi all'interfaccia, creando un piegamento delle bande, svuotamento, che esiste già prima del contatto con il metallo



Metallo-semiconduttore non idealità

Nella pratica è possibile notare che, indipendentemente dai valori di ψ_m e ψ_s , **la maggior parte dei contatti metallo – semiconduttore sono di tipo rettificante**

Nei semiconduttori a legame covalente, gli atomi in superficie presentano un **legame non saturato**

Questo genera una serie di **stati energetici distribuiti** uniformemente **entro il band gap** che influenzano il livello di Fermi e dunque la dimensione della barriera di Schottky

Metallo-semiconduttore non idealità

Tali effetti di interfaccia, passanti anche sotto il nome di **teoria di Bardeen – Mead**, provocano una variazione della barriera pari, al limite di una densità infinita di stati superficiali:

$$q\phi_B = E_g - q\phi_0 \approx \frac{2}{3} E_g$$

Metallo-semiconduttore non idealità

Tale problema non sussiste nei semiconduttori a legame ionico, non aventi stati energetici nel band gap, e per i quali la dimensione della barriera può essere determinata principalmente mediante la differenza $\varphi_m - \chi$

Empiricamente possiamo individuare una relazione generale per la barriera nei due casi del tipo

$$q\phi_B = S\chi_m + \phi_0(s)$$

In cui χ_m è l'elettronegatività del metallo e $0 < S < 1$

S è piccolo per i semiconduttori a legame covalente e grande per quelli a legame ionico

In generale, l'interazione di tipo chimico-fisico all'interfaccia metallo-semiconduttore influenza in maniera significativa il comportamento della giunzione

Metallo-semiconduttore non idealità

1. Il metallo può essere solo fisi – assorbito sulla superficie del semiconduttore senza formare alcun legame chimico;
2. Il metallo può fermare un debole legame chimico con semiconduttore senza però formare alcun composto;
3. Il metallo può reagire con il semiconduttore dando vita ad uno o più composti;
4. Sul semiconduttore può formarsi naturalmente un sottile strato di ossido che previene il contatto tra metallo e semiconduttore.

La teoria di Schottky descrive bene solo il primo caso

Il secondo viene ben rappresentato dalla teoria di Bardeen

Negli altri due casi il tipo di contatto dipende fortemente dalle possibili reazioni (3) e dal tipo di preparazione delle superfici (4) durante il processo realizzativo

Metallo-semiconduttore: non idealità

Esistono una serie di deviazioni dall'idealità, che riportiamo qui di seguito:

1. Come già visto per la giunzione p – n, la caratteristica corrente – tensione può non avere esattamente l'andamento trovato in precedenza, ma può dipendere da un **fattore di idealità η** secondo la relazione

$$J = J_s \left(e^{qV / \eta kT} - 1 \right)$$

con $\eta = 1.11$

2. Esiste una **resistenza serie associata alla zona neutra** del semiconduttore, rilevante per le **alte correnti**;

Schottky: non idealità

3. **La barriera non è completamente indipendente dalla tensione applicata** ($\Delta\Phi_B \propto V^{1/4}$), il che può comportare una variazione della corrente di saturazione inversa anche abbastanza rilevante;

4. In analogia al caso p – n, esistono dei fenomeni di **generazione e ricombinazione**, per cui nella corrente di saturazione inversa occorre tener conto anche di un termine

$$J_{R-G} = \frac{qn_i W}{2\tau_0}$$

5. deviazioni dall'idealità sono rappresentati anche dai già considerati **effetti di interfaccia**.

Vantaggi:

1. Fattore di idealità molto vicino a 1;
2. Velocità di risposta dovuta alla mancanza di C_{diff} ;
3. Minore sensibilità alla temperatura.

Svantaggi:

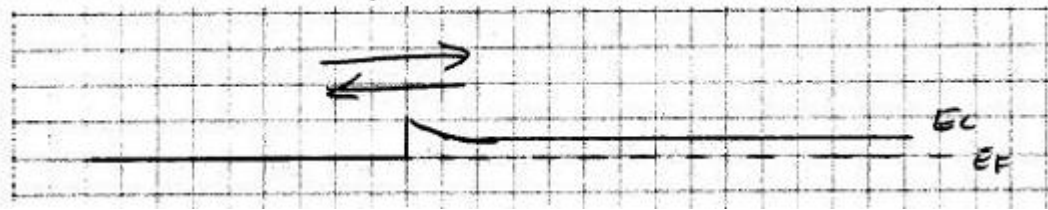
1. grande corrente inversa;
2. scarsa riproducibilità

Il contatto metallo/semiconduttore Contatti Ohmici

Contatti Ohmici

Abbiamo già avuto modo di vedere che in alcune circostanze, le giunzioni metallo-semiconduttore presentano delle caratteristiche ohmiche

Tali condizioni possono essere raggiunte anche per diodi Schottky in cui la barriera è molto piccola



Se Φ_{Bn} è piccola nel dispositivo può scorrere corrente

e la resistenza di contatto vale:

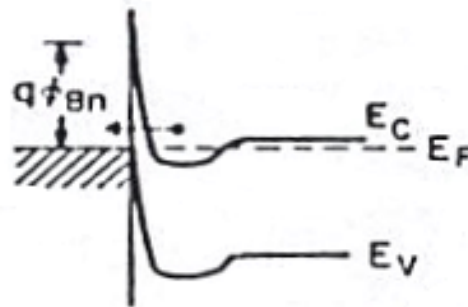
$$R_C = \left(\frac{\partial J}{\partial V} \right)^{-1} = \frac{k}{qA^*T} e^{q\phi_{Bn}/kT}$$

- Se diminuisce $\Phi_{Bn} \rightarrow R_C$ diminuisce
- Conduzione bidirezionale

Contatti Ohmici

Una condizione ohmica può essere raggiunta anche per alti livelli di drogaggio

In questo caso, la distorsione delle bande è tale da **restringere la barriera vista dal metallo** e da favorire dunque il passaggio di elettroni per **effetto tunnel**



Questo fatto, di per se, non sorprende, essendo un semiconduttore fortemente drogato assimilabile ad un metallo

Se il semiconduttore è molto drogato il livello di Fermi è molto vicino alla banda di conduzione, per cui la regione di svuotamento si riduce (se si riduce a qualche Armstrong → passaggio di carica per effetto Tunnel)

Contatti Ohmici

In tal caso la resistenza di contatto, è inversamente proporzionale alla corrente, I^{-1}

Ma è anche inversamente proporzionale alla probabilità di passaggio di una carica per effetto tunnel

$$I \propto e^{-2W} \sqrt{\frac{2m_n q (\phi_{Bn} - V)}{\hbar^2}}$$

$$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_S}{qN_D} (V_{bi} - V)} \approx \sqrt{\frac{2\varepsilon_S}{qN_D} (\phi_{Bn} - V)}$$

$$I \propto e^{-2W} \sqrt{\frac{2m_n q (\phi_{Bn} - V)}{\hbar^2}} \propto e^{-2\sqrt{\frac{2\varepsilon_S}{qN_D} (\phi_{Bn} - V)}} \sqrt{\frac{2m_n q (\phi_{Bn} - V)}{\hbar^2}}$$

$$C_2 = 2\sqrt{\frac{m_n \varepsilon_S}{\hbar^2}}$$

$$I \propto e^{-2\sqrt{\frac{4m_n \varepsilon_S (\phi_{Bn} - V)^2}{N_D \hbar^2}}} \propto e^{-4\sqrt{\frac{m_n \varepsilon_S}{\hbar^2} \frac{(\phi_{Bn} - V)}{\sqrt{N_D}}}} \propto e^{-2C_2 \frac{(\phi_{Bn} - V)}{\sqrt{N_D}}}$$

$$R_C \propto e^{2C_2 \frac{(\phi_{Bn} - V)}{\sqrt{N_D}}}$$

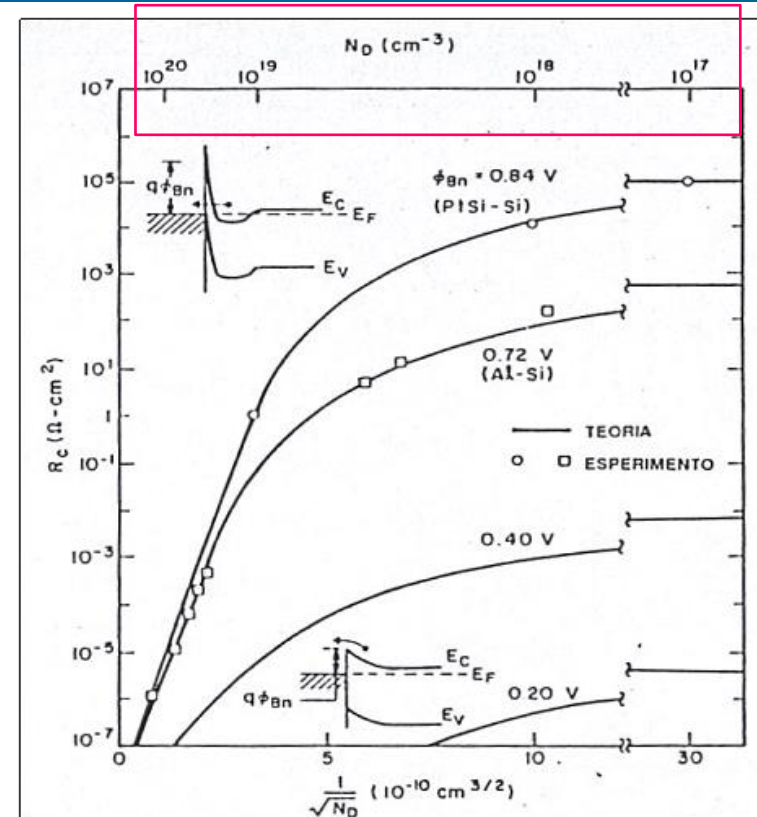
È necessario avere una bassa barriera e alti valori di drogaggio

Caratteristiche Corrente-Tensione

Resistenza specifica di un contatto

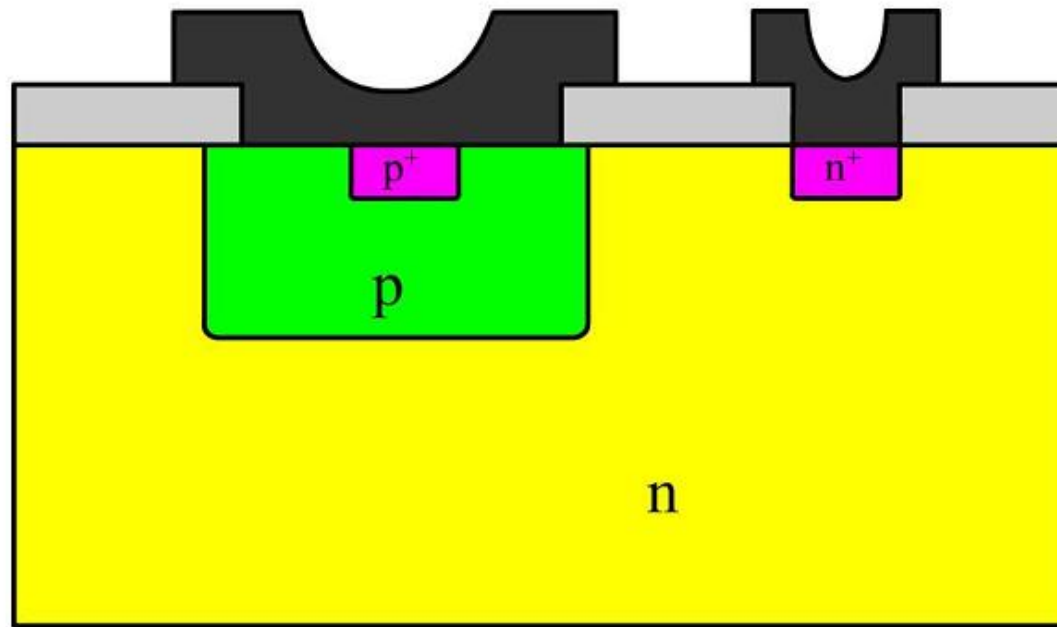
$$R_C = \left(\frac{\partial J}{\partial V} \right)^{-1} \Omega \text{cm}^2$$

Per ottenere la resistenza di un contatto, occorre dividere R_C per l'area di questo, espressa in cm^2 .



- **$N_D > 10^{19}$ Effetto Tunnel**, R_C diminuisce rapidamente
- **$N_D < 10^{17}$ Emissione termoelettrica**, R_C risulta praticamente indipendente dal drogaggio

Caratteristiche Corrente-Tensione



In generale, quando si vuole ottenere un contatto ohmico si è soliti usare **alti livelli di drogaggio**, in quanto questa soluzione (ottenibile, ad esempio, creando delle tasche molto drogate in corrispondenza della zona dove si deve porre il contatto) **permette di usare differenti tipi di metallo per i contatti piuttosto che un solo tipo** (il processo di metallizzazione diviene, in questo caso, decisamente complesso).

Esercizio

Si consideri una giunzione pn di Silicio in cui, in una zona si abbia $E_F - E_i = 0,4$ eV mentre nell'altra si ha $E_F - E_i = -0,5$ eV. Assumendo che la struttura sia ideale, calcolare:

- la tensione di built-in della giunzione,
- il drogaggio di ciascuna zona,
- disegnare il diagramma a bande all'equilibrio
- la resistenza delle zone neutre quando la tensione applicata è pari a $0,5$ V
- calcolare la corrente che scorre nel diodo per una tensione applicata $V_A = 5$ V considerando il diodo come se fosse ideale, con una resistenza in serie pari a quella calcolata nel punto precedente (si intenda V_A applicata alla serie diodo resistenza)

(considerare che i due lati della giunzione, intesi come distanza tra il piano della giunzione e i contatti esterni, siano pari a $200 \mu\text{m}$ e la sezione è 1 mm^2).

Esercizio

Si consideri un contatto metallo-silicio, con le seguenti caratteristiche:

$$q\Phi_M = 4.71 \text{ eV}$$

$$q\chi = 4.05 \text{ eV}$$

$$N_D = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$$

Rispondere alle seguenti domande:

- 1) Il contatto è di tipo ohmico o raddrizzante?
- 2) Se è raddrizzante, stabilire la densità di corrente di saturazione inversa;