

1 Diode

Queste simulazioni sono state condotte all'interno del pacchetto ISE-TCAD.

In questa prima lezione si va a simulare il diodo (giunzione p-n) unidimensionale.

I profili di drogaggio analitici sono quelli che si possono ottenere attraverso una tecnologia sviluppata presso l'ITC-IRST di Trento. Per una prima comprensione, essi fungono solamente da contatto ohmico, mentre la giunzione, l'area attiva del diodo (il substrato nel nostro caso) sono profili di drogaggio costanti. Da pagina 6 in poi il profilo utilizzato nelle simulazioni cambia, ed è mostrato in figura 8, per trattare più chiaramente la simulazione di capacità.

Si riportano i grafici ottenuti dalle simulazioni, con qualche riga di doveroso commento. Sono i grafici che ci si aspetta di trovare su un qualsiasi libro di testo, ma sono anche quelli che ci dicono di più sulla fisica del dispositivo

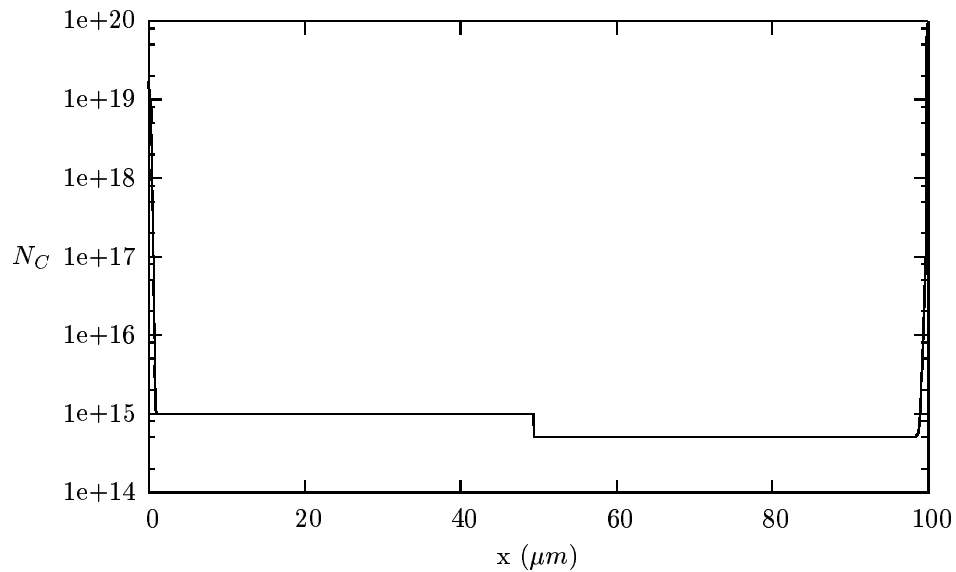


Figure 1: Il diodo è stato preso di $100 \mu m$. Agli estremi ci sono gli impianti p^+ di Boro (a sinistra) e n^+ di Arsenico (a destra) che fungono da contatti ohmici. La giunzione p-n si realizza attraverso un profilo costante di boro ($N_A = 10^{15} cm^{-3}$) e di fosforo ($N_D = 5 \cdot 10^{14} cm^{-3}$)

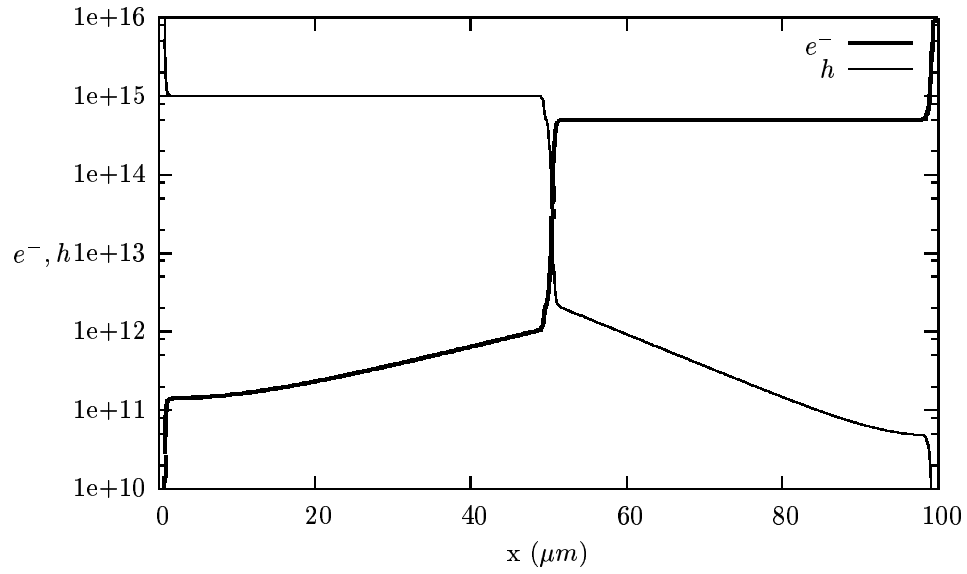


Figure 2: Concentrazione di portatori (e^- , h) in funzione della posizione nel cristallo per una polarizzazione diretta di 0.5 V. Poichè gli e^- nella regione n sono pari alla concentrazione di atomi donatori siamo ancora in regime di basso livello d'iniezione.

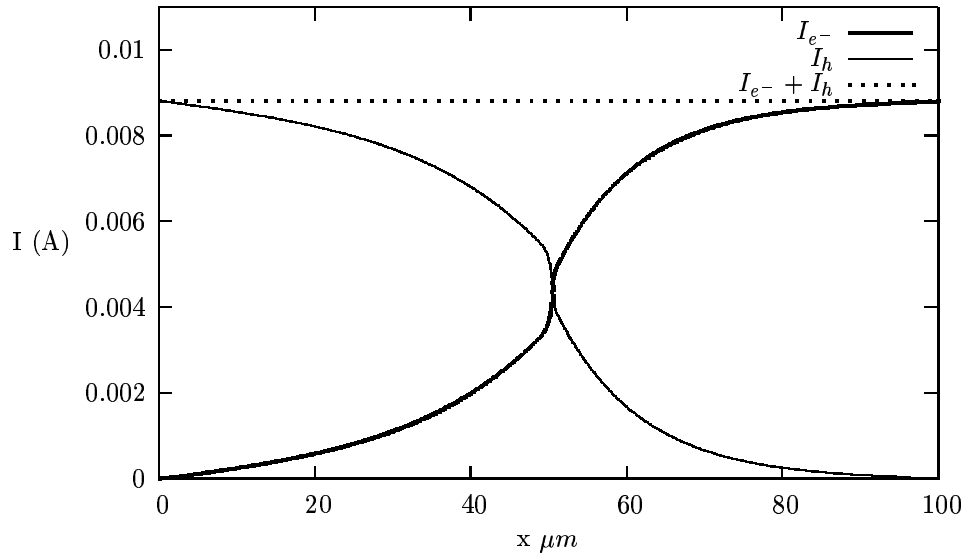


Figure 3: Correnti di elettroni e di lacune in funzione della posizione per $V_{diretta} = 0.5V$. Si noti che la somma è ovunque costante.

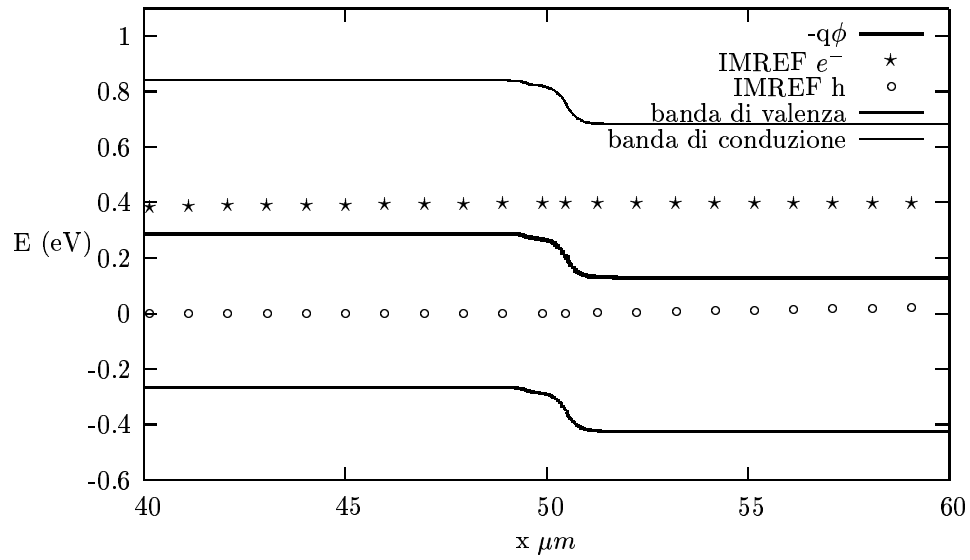


Figure 4: Visualizzazione delle bande di valenza e di conduzione, del potenziale elettrostatico (cambiato di segno) e dei quasi livelli di fermi (IMREF) in polarizzazione diretta. Essendo in polarizzazione diretta, ed essendo $np = n_i^2 e^{(E_{Fn} - E_{Fp})/kT}$, $E_{Fn} > E_{Fp}$ e il prodotto np è molto maggiore che nel caso della giunzione in equilibrio ($V_{BIAS} = 0$)

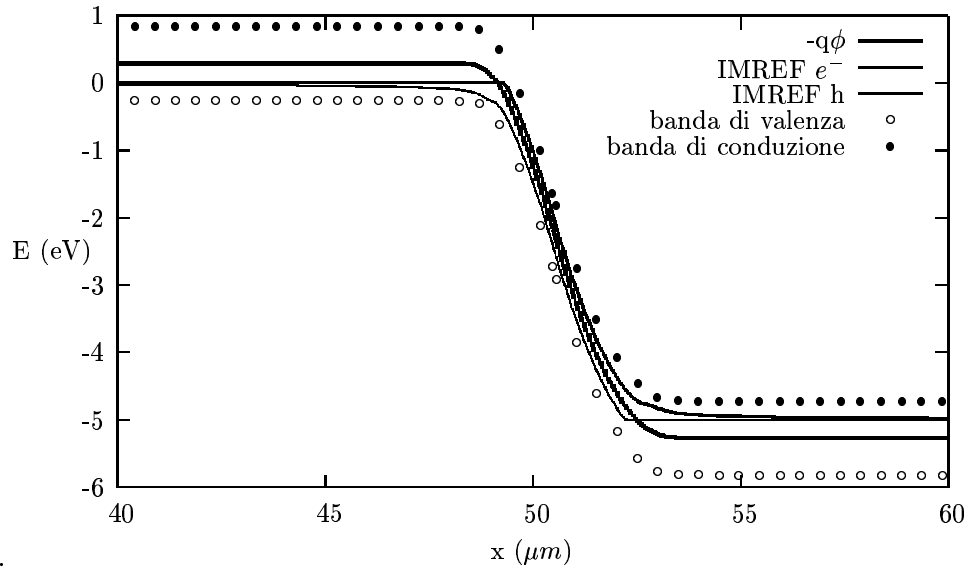


Figure 5: Visualizzazione delle bande di valenza e di conduzione, del potenziale elettrostatico (cambiato di segno) e dei quasi livelli di fermi (IMREF) in polarizzazione inversa. Essendo in polarizzazione inversa, $E_{Fn} < E_{Fp}$ e il prodotto np è molto minore che nel caso della giunzione in equilibrio.

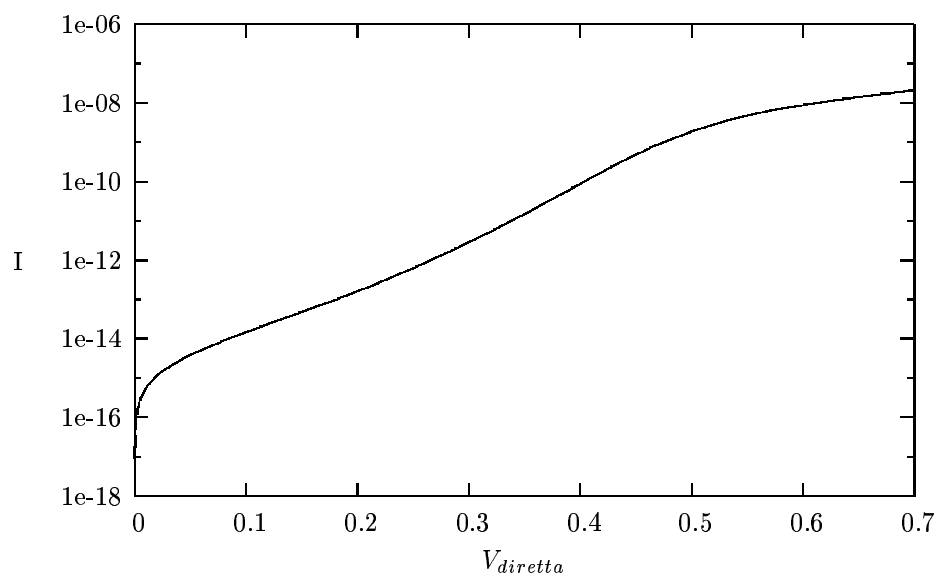
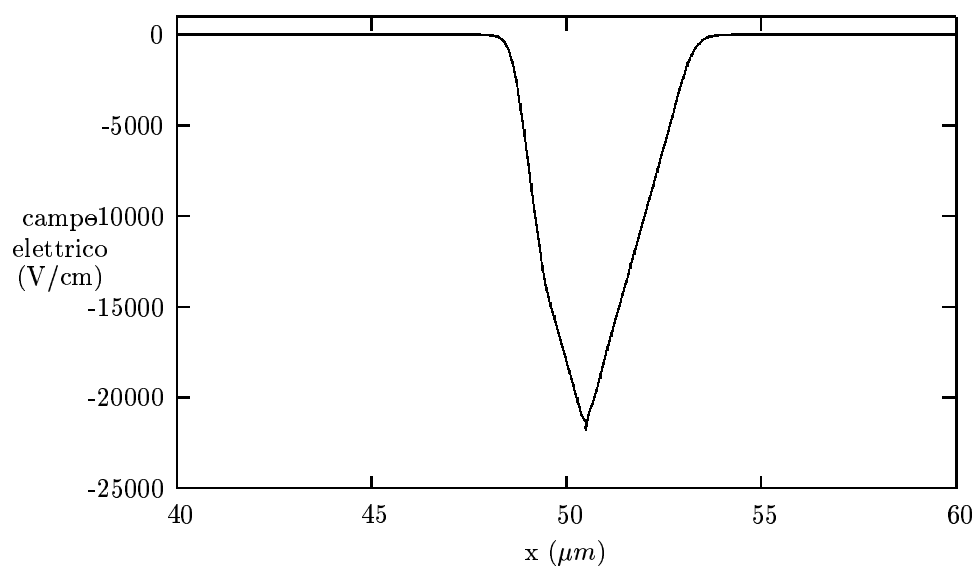


Figure 6: Curva I-V in polarizzazione diretta.

Figure 7: Campo elettrico per una polarizzazione inversa di 5 V. Le unità sono in V/cm

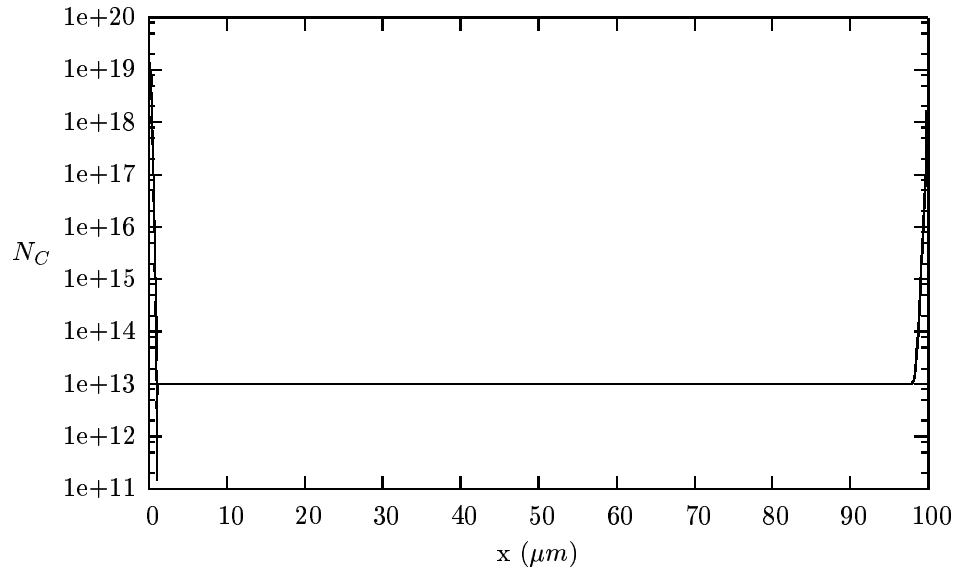


Figure 8: Profilo di drogaggio utilizzato in questa sezione. Di nuovo la parte drogata p è sulla sinistra. Del profilo di drogaggio usato per il diodo nella sezione precedente restano solo gli impianti p^+ e n^+ che fungono da contatto ohmico. Il substrato è ad alta resistività e presenta una concentrazione di atomi di fosforo (è pertanto drogato n) di 10^{13} cm^{-3} .

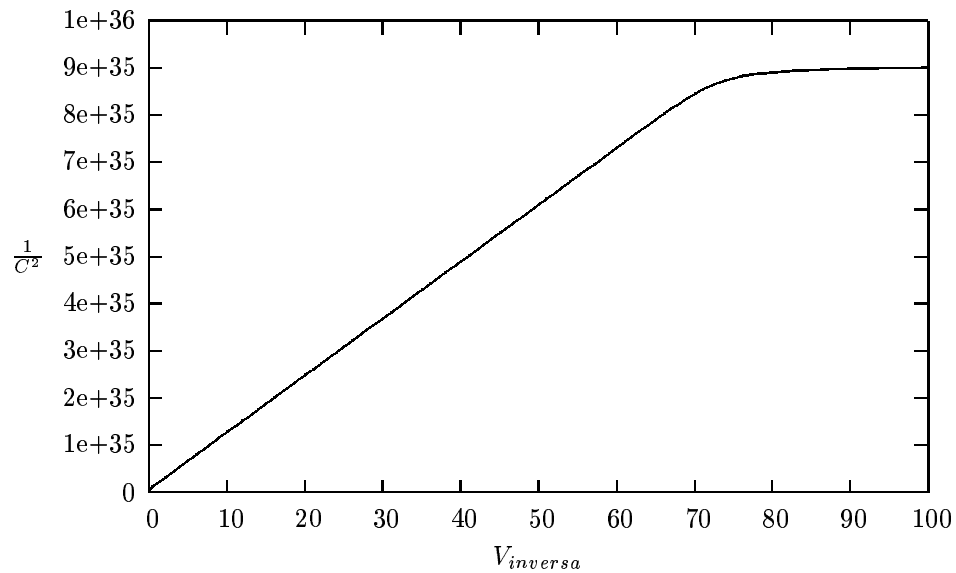


Figure 9: È utile plottare la capacità in polarizzazione inversa come C^{-2} - V , da qui si ricavano due importanti informazioni. Primo, dalla derivata $\frac{dC^{-2}}{dV}$ il profilo di drogaggio della diffusione meno drogata (in questo caso è costante essendo il drogaggio del substrato costante). È utile come esercizio sostituire a un profilo di drogaggio costante un profilo analitico e ricavarlo a posteriori da una misura di questo tipo. Secondo, la tensione di svuotamento (nel nostro caso circa 80 V).

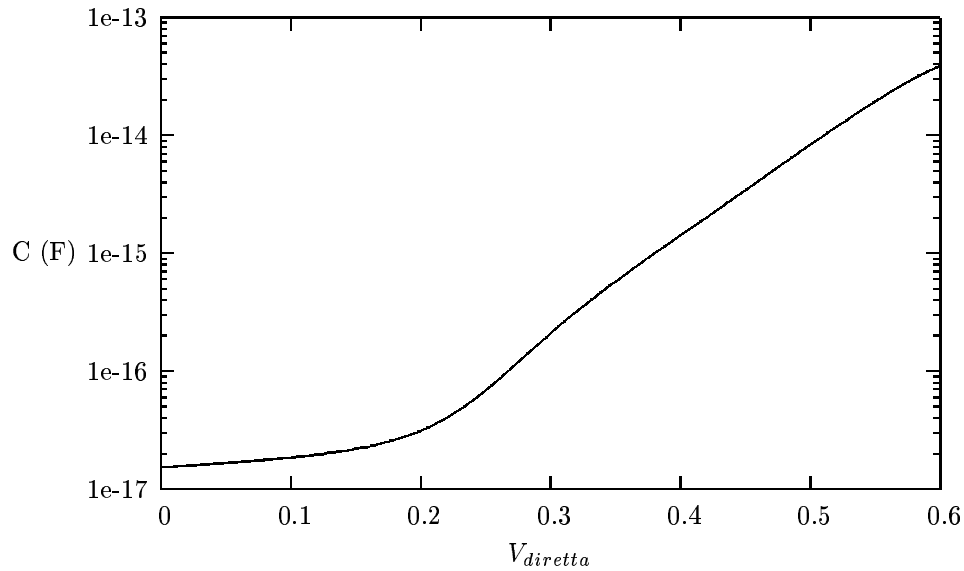


Figure 10: Curva della capacità in polarizzazione diretta. Si nota che per basse tensioni la capacità è dominata dalla capacità di svuotamento della giunzione pn, mentre per alte tensioni dalla capacità di diffusione, proporzionale al numero di portatori presenti nelle regioni quasi neutre sia p che n e che hanno un andamento \sim esponenziale con la tensione diretta applicata

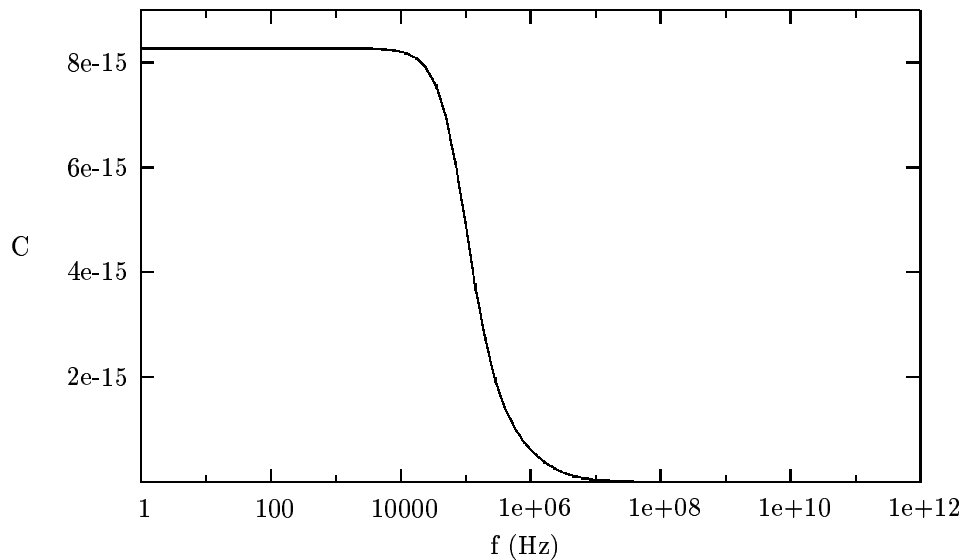


Figure 11: Scan in frequenza della capacità in polarizzazione diretta ($V_{BIAS} = 0.5V$). Questa non è una misura che si trova spesso. Per $V_{BIAS} = 0.5V$ siamo in una regione di polarizzazione in cui il numero di portatori minoritari nelle regioni quasi neutre non è trascurabile. Nella curva della capacità in polarizzazione diretta domina quindi la capacità di diffusione. Il tempo che le lacune iniettate dall'impianto p nel substrato n impiegano per raggiungere l'estremità di tale substrato è dell'ordine di: $t_{transito} = \Delta x / 2D_h$, dell'ordine di $10\mu sec$. La frequenza di taglio si nota essere infatti $\sim 10^5$ Hz. In molti dispositivi il limite superiore in frequenza è dovuto al tempo che i portatori ci impiegano per modulare i bordi delle regioni di carica spaziale.