

Elaborato Finale di
Tecnologie e Dispositivi Elettronici
Corso di Laurea in Ingegneria Informatica – A.A. 2020-2021
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA

Diodo Verticale

studenti

321310 **Alex Ardelean** alexnicolae.ardelean@studenti.unipg.it

0. Indice

1	Descrizione del dispositivo	2
1.1	Parametri Geometrici	2
1.2	Drogaggio	2
1.3	Griglia	3
1.4	Interpretazione dei risultati	3
2	Risultati analisi microscopica	5
2.1	Concentrazione Accettori	5
2.2	Campo Elettrico	6
3	Risultati analisi macroscopica	7
3.1	Curva IV	7
4	Variazione Drogaggio	9
5	Variazione Contatto anodo	15

1. Descrizione del dispositivo

Si è definito un diodo verticale con ossidazione tramite il programma "sde".

1.1 Parametri Geometrici

Il dispositivo è composto da un substrato verticale con una dimensione di $2\text{ }\mu\text{m} \times 4\text{ }\mu\text{m}$ e due spessori di ossido(SiO_2) della dimensione di $1\text{ }\mu\text{m} \times 0.5\text{ }\mu\text{m}$. Il contatto di anodo è stato posto nella parte superiore in modo che ricopra la parte di silicio superiore scoperta e parte dell'ossido, mentre il contatto di catodo ricopre l'intera parte di silicio inferiore.

1.2 Drogaggio

Il substrato è drogato tramite atomi di fosforo con una concentrazione costante di $10^{16}\text{ atomi}/\text{cm}^3$, si è inoltre creata una tasca nella regione di anodo drogata con atomi di boro, la tasca è stata creata con un drogaggio di tipo analitico definendo la finestra in cui entra il materiale drogante come la parte dell'anodo non coperta da ossido, il profilo verticale è di tipo gaussiano con una concentrazione di picco(a $y=0$) di $10^{18}\text{ atomi}/\text{cm}^3$, inoltre è stata impostata la profondità a cui la concentrazione di atomi di boro e fosforo si equivalgono a $0.2\text{ }\mu\text{m}$.

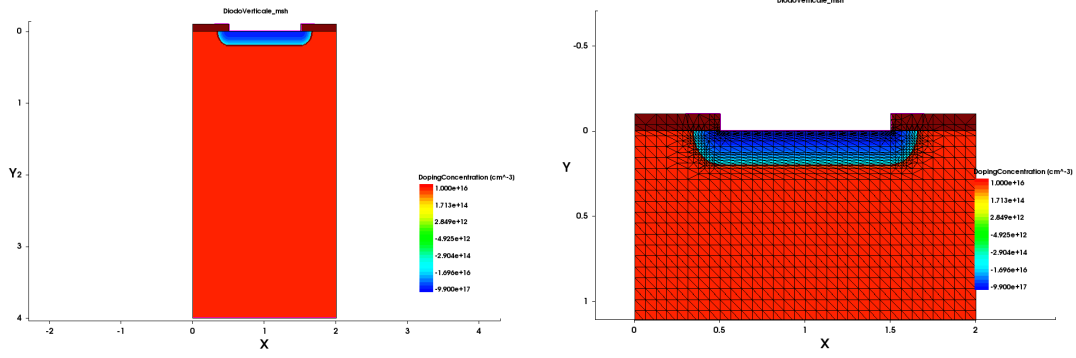


Figura 1.1: Concentrazione Dopaggio

1.3 Griglia

La griglia è stata creata usando una distanza massima di $0.1\mu\text{m}$ e una distanza minima di $0.01\mu\text{m}$. Per raffinare la griglia si è considerato la concentrazione del doping e il punto di separazione tra contatti e silicio in modo da avere una griglia più densa lungo la linea di separazione tra boro/fosforo e quella tra silicio/contatto. Per migliorare la griglia tra contatti e silicio si è impostato la distanza del primo punto a $0.01\mu\text{m}$ con un fattore di incrementale di 1.5.

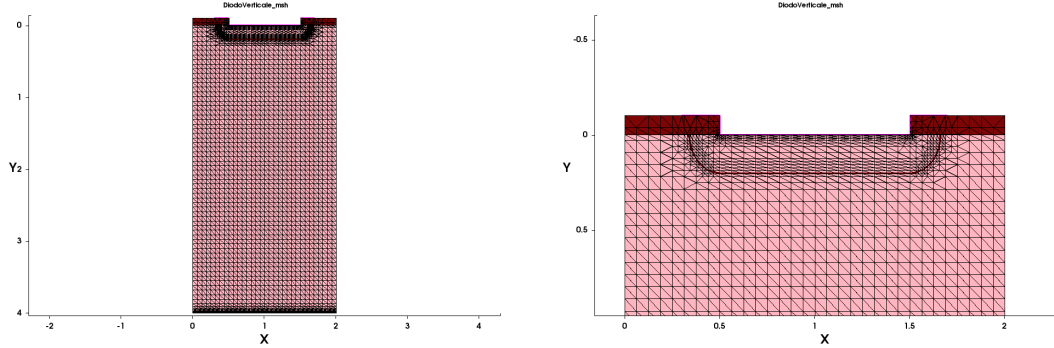


Figura 1.2: Griglia

1.4 Interpretazione dei risultati

Dalla concentrazione del dopaggio si evidenzia come si sia creata una tasca dopata con atomi di boro che si è diffusa secondo un profilo gaussiano verso il basso, ha un picco nella regione di contatto e a $0.2\mu\text{m}$ raggiunge la concentrazione di $10^{16}\text{atomi}/\text{cm}^3$. Da notare il fatto che il drogaggio di boro si è diffuso anche nella

regione sottostante all'ossido. La griglia è stata correttamente creata in modo da essere più densa nella regione di separazione del drogaggio boro/fosforo e nella regione di separazione silicio/contatto.

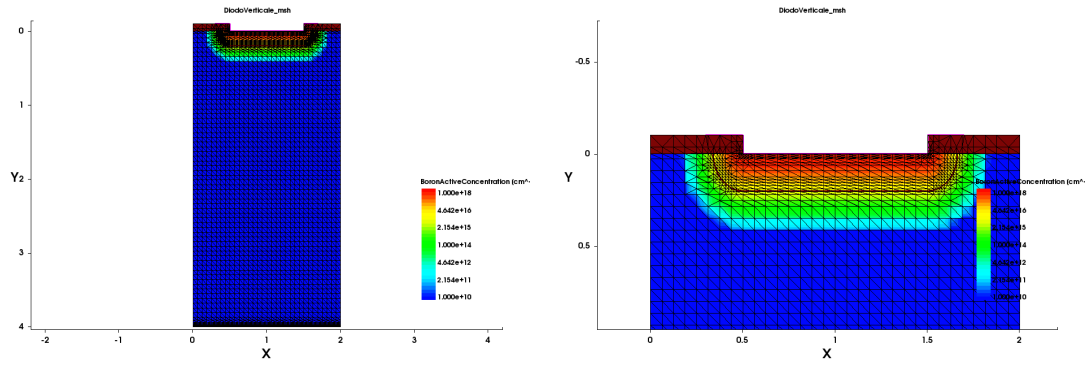


Figura 1.3: Concentrazione Boro

2. Risultati analisi microscopica

Dopo aver portato la tensione esterna a $1V$ si ha:

2.1 Concentrazione Accettori

Da un cut verticale si puo notare come il numero di punti della griglia siano sufficientemente densi ad evidenziare la concentrazione di accettori nei punti di interesse, si evidenzia inoltre un profilo di tipo gaussiano.

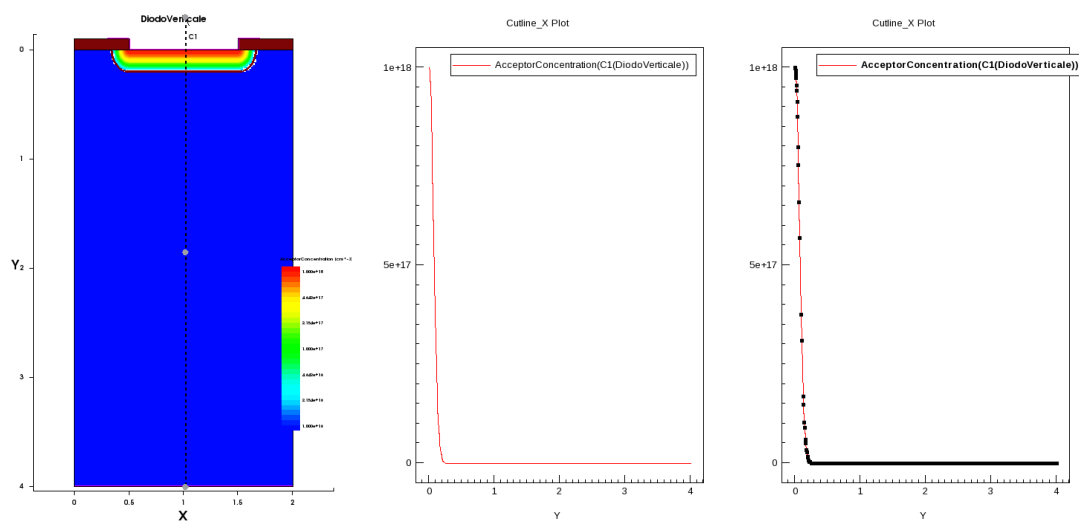


Figura 2.1: Concentrazione Accettori

2.2 Campo Elettrico

Da un cut verticale si può notare che il campo elettrico ha una intensità maggiore nella regione ossidata, questo è dovuto al fatto che la sagoma del contatto genera degli effetti punta, ovvero si ha un massimo del campo elettrico all'interno dell'ossido. Quindi le porzioni di ossido consentono di diluire il gradiente del campo elettrico e non avere un massimo localizzato nella giunzione, questo consente di diminuire il rischio di breakdown.

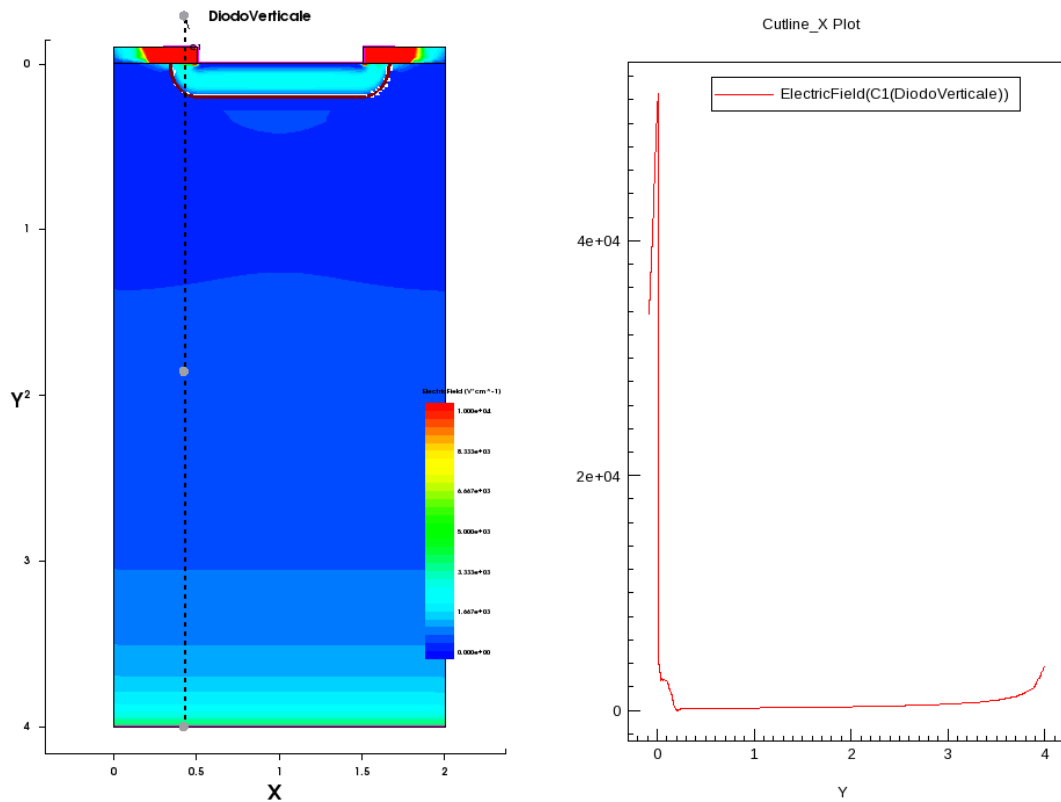


Figura 2.2: Campo Elettrico

3. Risultati analisi macroscopica

L'analisi macroscopica permette di evidenziare il corretto funzionamento del diodo attraverso l'analisi della curva IV.

3.1 Curva IV

La curva IV presenta il tipico andamento della curva di un diodo, ovvero una legge esponenziale del tipo: $I_D = I_S(e^{V_D/V_T} - 1)$.

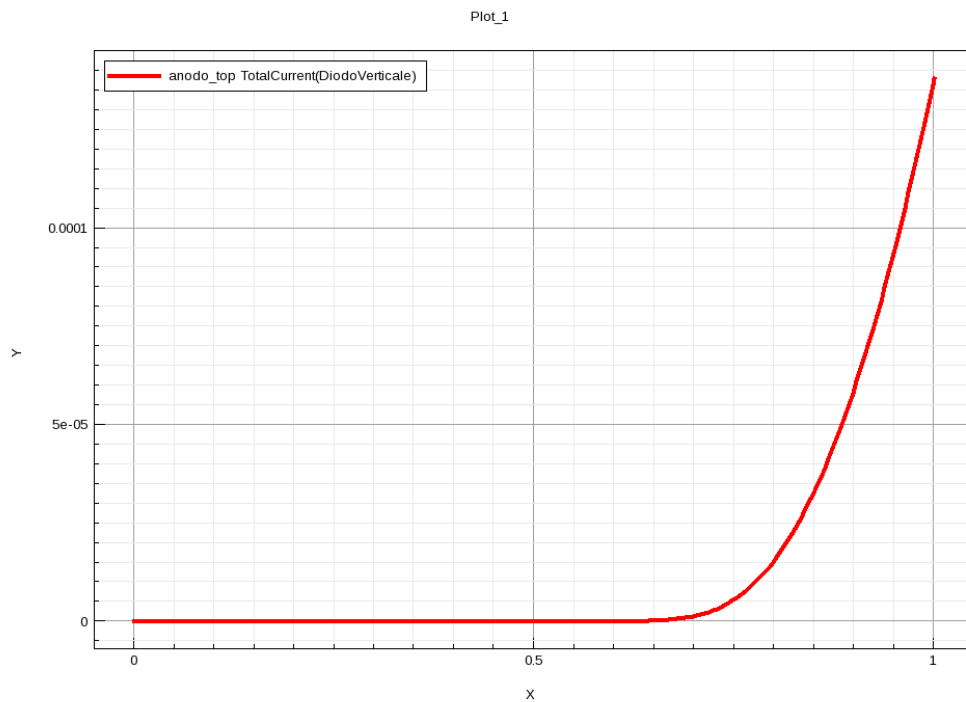


Figura 3.1: Curva IV

Si può notare come la corrente sia formata principalmente da elettroni

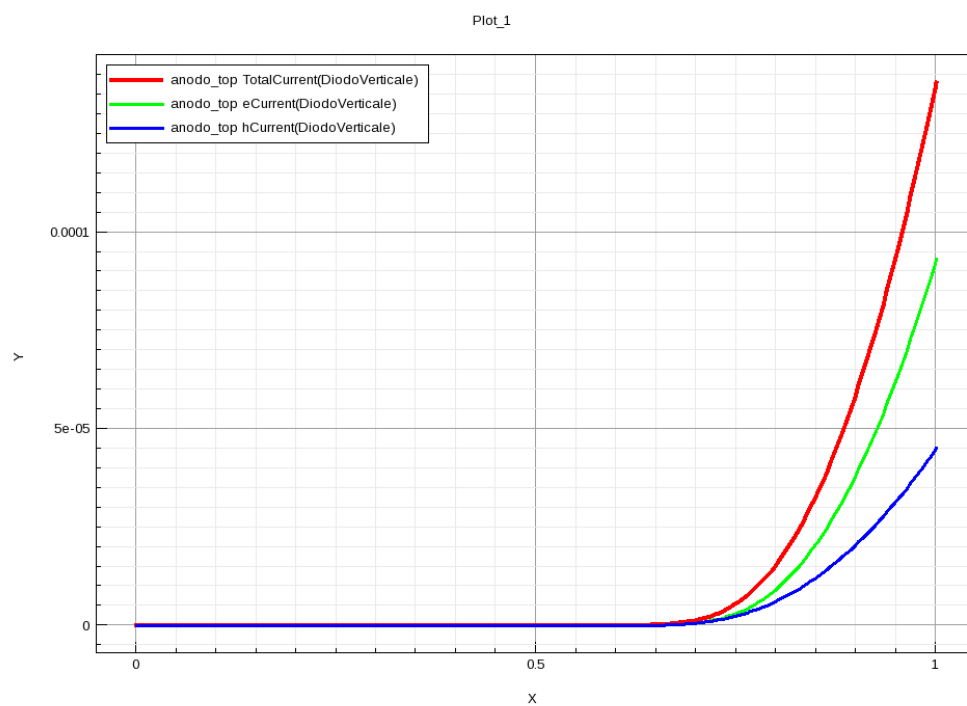


Figura 3.2: Componenti della corrente

4. Variazione Drogaggio

Si è realizzata una variazione del drogaggio nella regione p aumentando la concentrazione di picco di atomi accettori da $10^{18} \text{ atomi/cm}^3$ a $10^{20} \text{ atomi/cm}^3$:

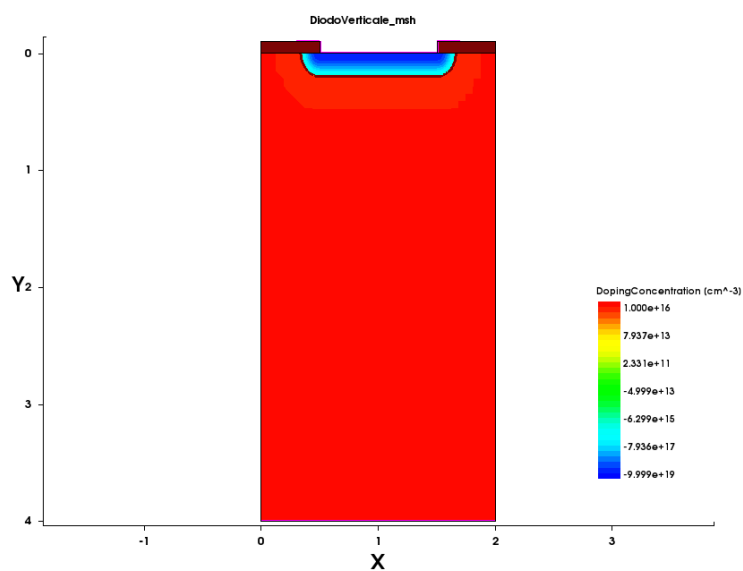


Figura 4.1: Concentrazione boro $10^{20} \text{ atomi/cm}^3$

Dalla curva IV si può notare come ci sia stato un aumento della corrente rispetto al drogaggio iniziale

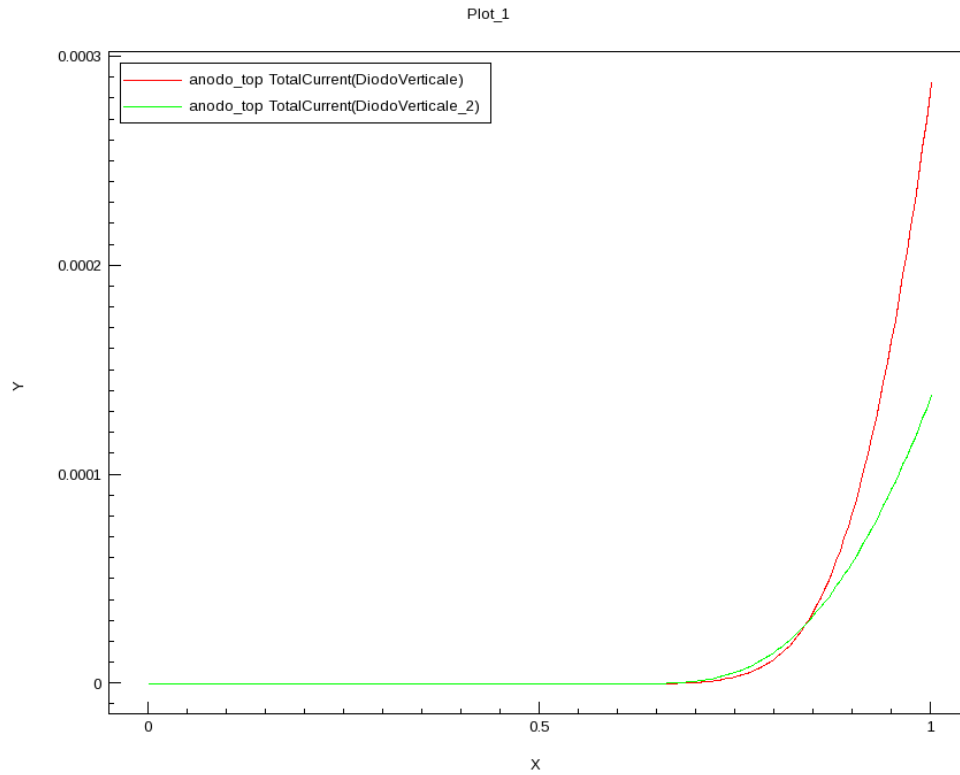


Figura 4.2: IV iniziale(verde) - IV dopaggio superiore(rosso)

Rispetto alla condizione iniziale c'è stato un aumento dei portatori positivi(lacune) dovuto all'elevato numero di atomi accettori introdotti. In questo caso infatti la corrente totale è formata da una componente di lacune leggermente superiore rispetto agli elettroni, nella condizione iniziale invece prevalevano nettamente gli elettroni.

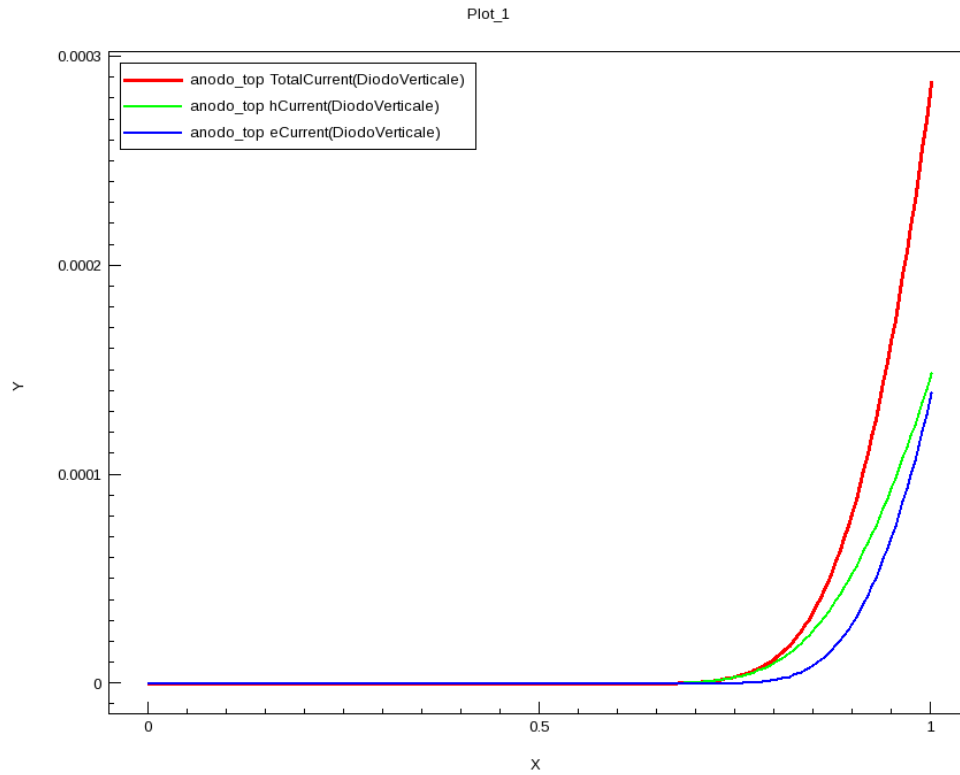


Figura 4.3: Componenti della corrente

Si è inoltre realizzato un'ulteriore variazione del dopaggio nella regione p diminuendo la concentrazione di picco di atomi accettori da $10^{18} \text{ atomi/cm}^3$ a $10^{17} \text{ atomi/cm}^3$. Come ci si aspettava c'è stata una diminuzione della corrente totale e la componente di lacune è notevolmente diminuita, la corrente totale è infatti formata quasi esclusivamente da elettroni.

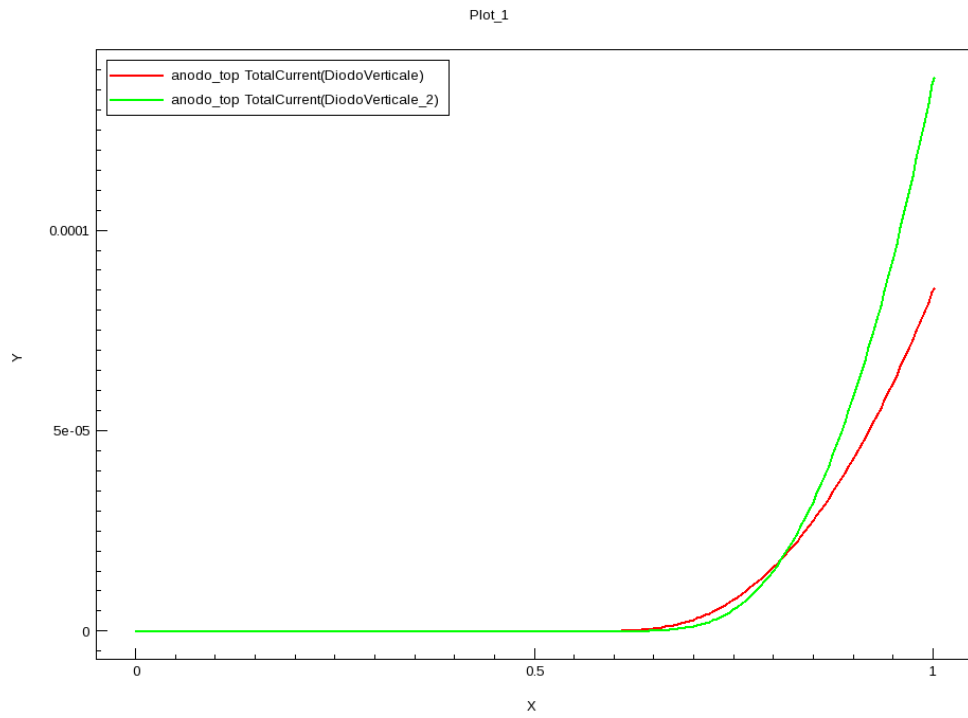


Figura 4.4: IV iniziale(verde) - IV dopaggio inferiore(rosso)

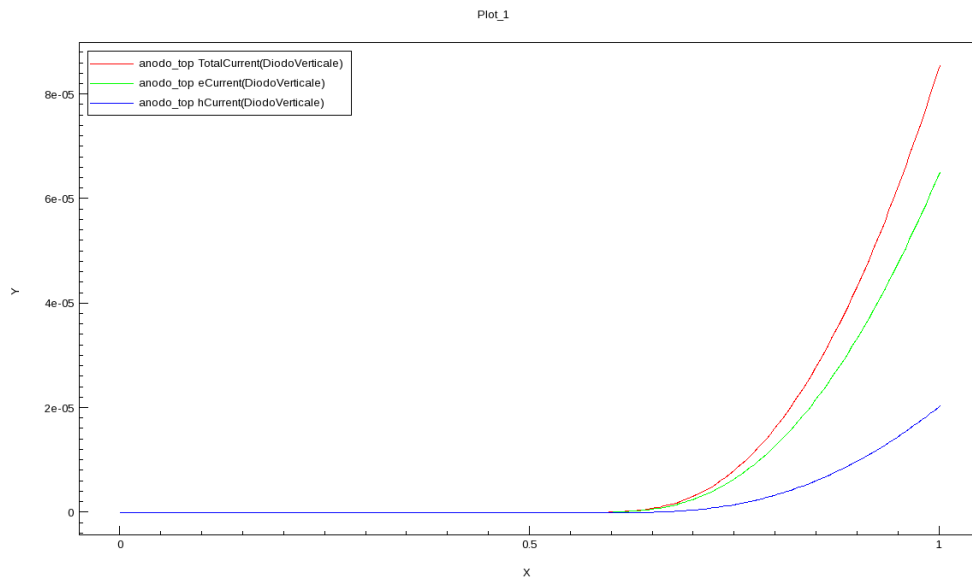


Figura 4.5: Componenti della corrente

Risulta quindi evidente che un aumento della concentrazione di picco di atomi accettori porti ad un aumento della corrente totale che sarà però composta principalmente da lacune.

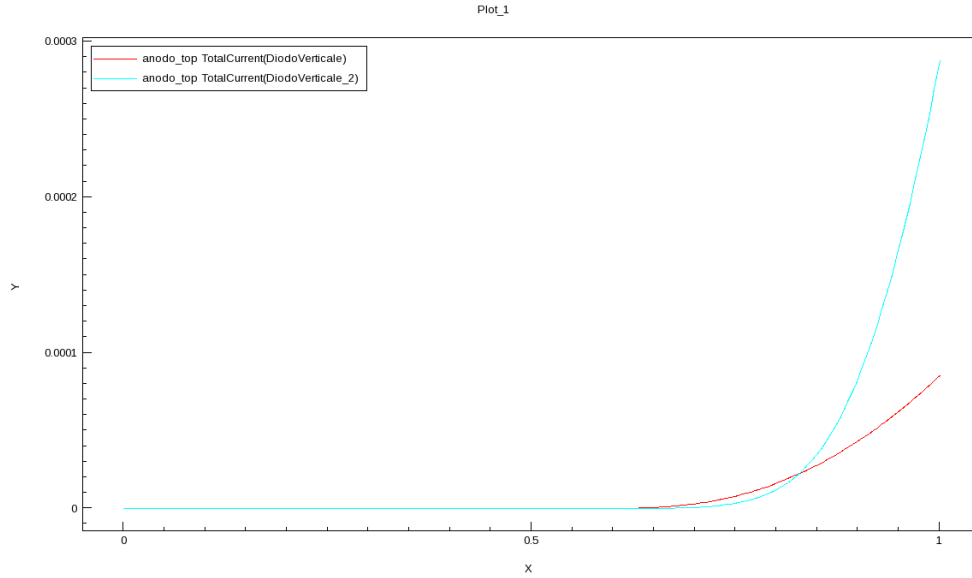


Figura 4.6: IV aumento doping(blu) - IV diminuzione doping(rosso)

La diminuzione della componente della corrente di elettroni rispetto a quelle delle lacune, oltre a dipendere dal maggiore numero di lacune presenti, potrebbe dipendere dal fatto che la mobilità di elettroni è maggiore(di circa 2.5 volte) della mobilità delle lacune solo per concentrazioni di drogaggio relativamente basse ($10^{16} \text{ atomi/cm}^3$). Aumentando la concentrazione di drogaggio($10^{20} \text{ atomi/cm}^3$) le mobilità μ_n e μ_p tendono ad equivalersi e visto che le lacune sono molte di più la corrente risulta essere formata principalmente da lacune.

All'aumentare del drogaggio infatti $\mu_n \rightarrow \mu_p$ dato che aumenta la probabilità di interazione tra elettroni e lacune e anche la forza di Coulomb delle cariche cariche fisse. Entrambe le mobilità diminuiscono, μ_n però risente una diminuzione maggiore all'aumentare del drogaggio fino a equivalersi a μ_p .

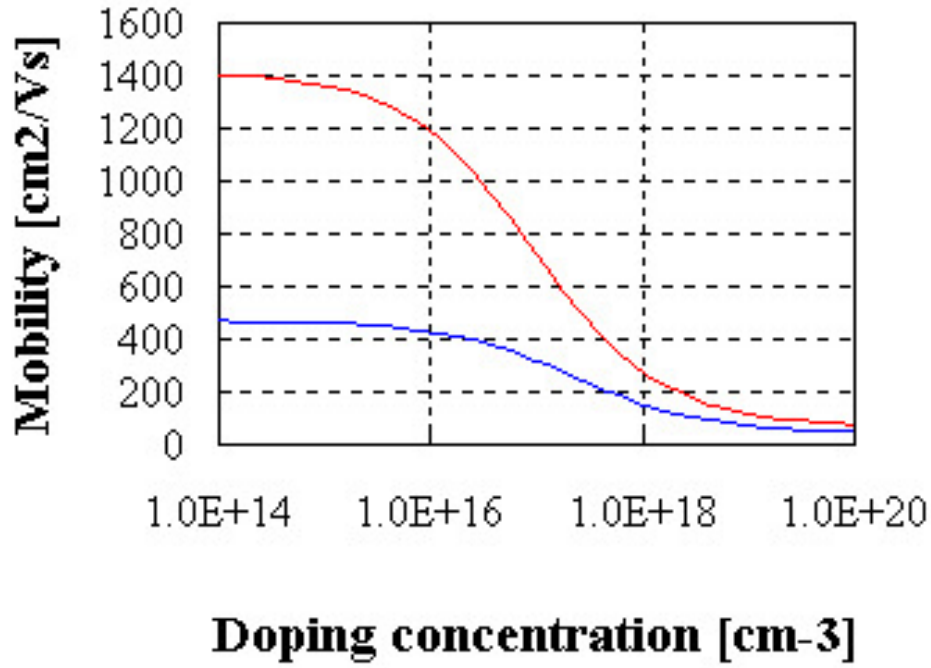


Figura 4.7: Variazione mobilità in funzione del dopaggio μ_n (rosso) μ_p (blu)

Ricordando che le componenti della densità di corrente sono:

$$j_p = \frac{qD_p n_i^2}{N_D L_p} (e^{\frac{v_D}{v_T}} - 1)$$

$$j_n = \frac{qD_n n_i^2}{N_A L_n} (e^{\frac{v_D}{v_T}} - 1)$$

e la relazione di Einstein $D_n = \frac{\mu_n kT}{q}$ e $D_p = \frac{\mu_p kT}{q}$ risulta evidente come la mobilità, e quindi il dopaggio, influenzino i coefficienti di diffusione e quindi la corrente I_D e le sue componenti I_n e I_p .

5. Variazione Contatto anodo

Si è modificato il contatto di anodo affinché si avesse una indicazione di quanto alteri il campo elettrico all'interno della struttura.

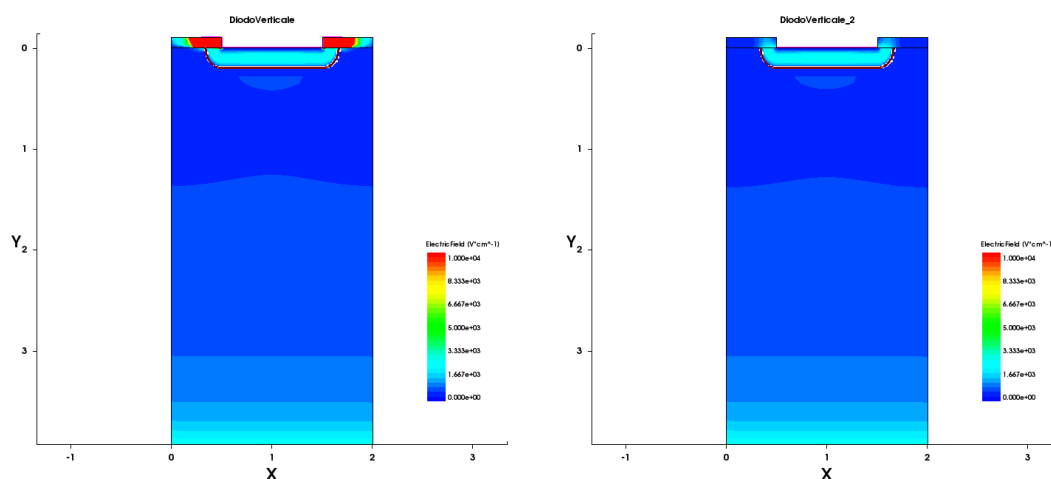


Figura 5.1: Campo elettrico iniziale(sinistra) - con contatto limitato al silicio(destra)

Dai risultati si evidenzia il fatto che i contatti sopra la regione ossidata creino un effetto capacitivo e quindi un campo elettrico elevato nell'ossido, questo consente di diluire il gradiente del campo elettrico e non avere un massimo localizzato nella giunzione, il che potrebbe limitare effetti di generazione a valanga o effetti Zener e quindi si avrebbe una tensione di breakdown in modulo maggiore.

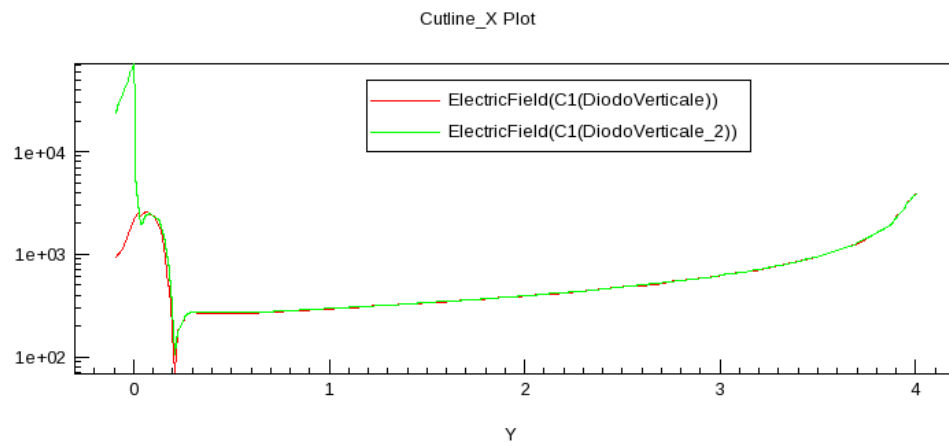


Figura 5.2: Campoelettrico iniziale(verde) - con contatto limitato al silicio(rosso)