

Caratteristica IV diodi al Silicio e Germanio

Benazzi Marco, Galante Sofia

10 Novembre 2022, Primo Turno

Abstract

Nell'esperimento proposto è stata effettuata una misura della caratteristica IV di un diodo. Sui dati sperimentali è stato eseguito un fit rispetto l'equazione di Shockley per diodi ideali e si sono ottenuti come risultati per corrente inversa $I_0 = (7.2 \pm 0.2)10^{-9} A$ e prodotto $\eta V_T = (5 \pm 2)10^{-2} V$ per il diodo al Silicio, mentre $I_0 = (2 \pm 1)10^{-5} A$ e $\eta V_T = (7 \pm 1)10^{-2} V$ per quello al Germanio.

1 Introduzione

Lo scopo dell'esperimento è costruire le caratteristiche IV di diodi al Germanio e al Silicio e confrontarli. A questo scopo dobbiamo misurare ciascun punto corrente-tensione da mettere nel piano I-V. Inoltre è utile calcolare i due valori di soglia per vedere come si comportano due semiconduttori diversi.

2 Svolgimento dell'esperimento

2.1 Apparato Sperimentale

- Alimentatore di bassa tensione modello: EB2025T TRIPLE OUTPUT PSU.
- Multimetro digitale modello: FLUKE 77 IV.
- Oscilloscopio modello: GOS-652G.
- Potenzimetro da $1K\Omega$ composto da tre terminali.
- Diodo p-n: AAZ15/OA47 Germanio, 1N914A/1N4446/1N4148 Silicio.
- Scheda mille fori, utilizzata come base per realizzare il circuito, modello: GB3-243.
- Cavi per la realizzazione del circuito e cacciavite per variare la tensione sul potenziometro.

2.2 Realizzazione del circuito

Prendendo il potenziometro si collega un terminale esterno con il ground e, successivamente, si connette l'altro terminale esterno all'uscita più positiva dell'alimentatore a bassa tensione, in questo caso quella corrispondente a +5 Volt. Il terminale centrale, invece, sarà collegato al puntale rosso del multimetro. L'altro puntale nero del multimetro si connette alla boccola del ground. Collegato a sua volta in un altro punto della piastra in cui sarà presente il ponte AB presente in Figura 1. Nella fase di calibrazione questo ponte sarà occupato da un cavo e successivamente dai diodi al germanio e al silicio.

2.3 Calibrazione multimetro e oscilloscopio

Questa fase è costituita dalla calibrazione degli strumenti che si ottiene confrontando la tensione misurata con l'oscilloscopio in funzione di quella misurata con il multimetro. Bisogna verificare quindi che tra le misure non ci sia uno scarto. Se gli strumenti sono calibrati otterremo, graficando le due tensioni, una retta inclinata di 45° . Se così non fosse invece avremo un offset e andranno

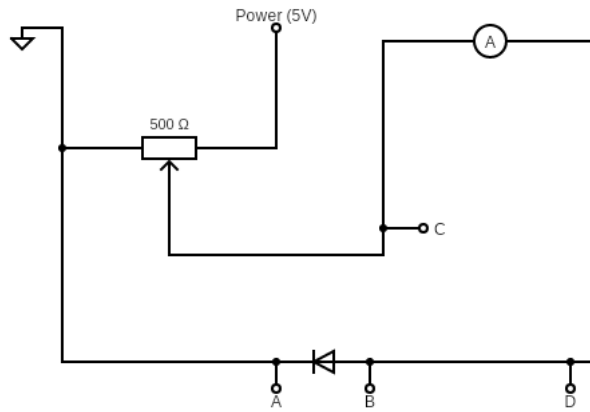


Figure 1: Circuito utilizzato nell'esperimento e sottoposto a tensione iniziale di 5V

modificati i valori di tensione presi con l'oscilloscopio in funzione di una successiva analisi dei dati. A questo proposito si utilizza il circuito realizzato nella prima fase e rappresentato in Figura 1 e nel punto C si inserisce la sonda dell'oscilloscopio. Si prendono circa 8 misure di tensioni (vedi Tabella 1) che nel nostro caso sono comprese tra i 40 e i 210mV variando la tensione sul potenziometro. Per fare ciò si utilizza un cacciavite e si gira leggermente la vite sul potenziometro, così facendo stiamo variando il valore della resistenza. Avendo settato il multimetro su Volt possiamo leggere il valore della tensione che cambia sullo schermo.

2.4 Misura di tensione dei diodi

Per prima cosa bisogna impostare la resistenza del potenziometro a 500Ω. Dopo aver spostato il potenziometro fuori dal circuito fissiamo il multimetro sulla resistenza e giriamo la vite del potenziometro finché non vediamo sullo schermo del multimetro il valore di 500Ω. Dopodiché possiamo posizionare nuovamente il potenziometro nella posizione iniziale. Si sostituisce al cavo nel ponte AB il diodo, al cui anodo colleghiamo la sonda dell'oscilloscopio (punto D, figura circuito) mentre al catodo sarà collegato a massa. Si prendono quindi circa 8 misure agendo sulla vite del potenziometro per variare la differenza di potenziale, misurata con l'oscilloscopio, e quindi la corrente misurata con il multimetro. Si procede utilizzando prima il diodo del silicio e in seguito quello del germanio.

3 Analisi dati

3.1 Retta di calibrazione

ddp oscilloscopio(mV)	Incertezza(mV)	fondoscala(mV/div)	ddp multimetro (mV)	incertezza (mv)
40	4	20	31.9	0.01
48	2	20	40.0	0.01
68	2	20	59.9	0.01
88	3	20	79.3	0.01
108	4	20	100.1	0.01
130	6	50	120.7	0.01
150	11	50	140.5	0.01
170	7	50	160.0	0.01
190	8	50	180.2	0.01
210	8	50	200.1	0.01

Table 1: Punti sperimentali della tensione misurata dall'oscilloscopio e dal multimetro

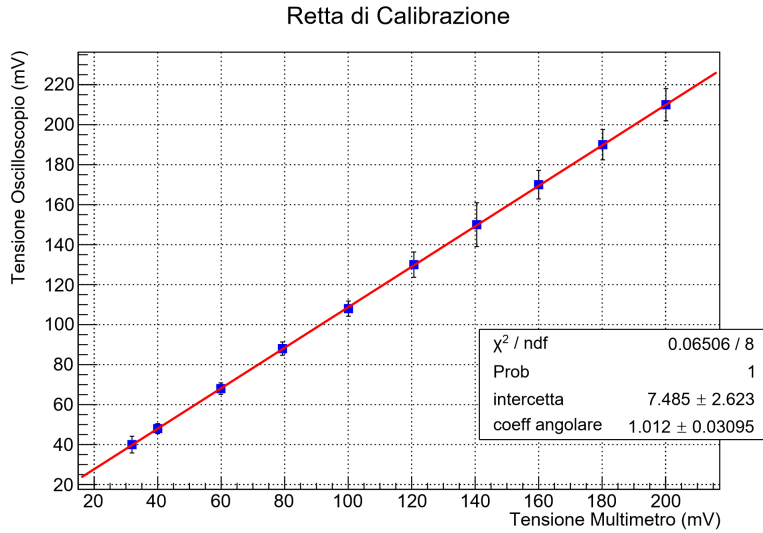


Figure 2: Retta di calibrazione per misure di tensione di oscilloscopio e multimetro

Il fit effettuato tramite ROOT ha riportato un valore pari a $m = (1.01 \pm 0.03)mV$ per il coefficiente angolare, consistente ad un fattore moltiplicativo unitario. L'intercetta della retta, invece, presenta una discrepanza dall'origine pari a $q = (7 \pm 3)mV$, perciò, nelle misure successive di tensione sui diodi è stato propagato linearmente l'errore, dovuto all'offset della retta di calibrazione, secondo l'equazione seguente:

$$V = (V_o - q) \pm (\sigma_o + \Delta q) \quad (1)$$

Dove V_o è la ddp misurata dall'oscilloscopio, q l'offset della retta di calibrazione, σ_o e Δq gli errori associati. In particolare, l'errore sulle misure effettuate tramite l'oscilloscopio è stato ottenuto tramite una propagazione in quadratura dell'errore del costruttore, quello sulla lettura e quello sulla misura dello zero.

$$\sigma_o = \sqrt{\sigma_c^2 + \sigma_l^2 + \sigma_z^2} \quad (2)$$

3.2 Caratteristica IV diodo al Silicio

Di seguito sono riportati in tabella le misure di tensione e intensità di corrente restituite rispettivamente da oscilloscopio e multimetro; le misure sull'oscilloscopio tengono conto dell'offset della retta di calibrazione e il fondoscala utilizzato è lo stesso per tutte le misure, pari a $200mV/div$.

Intensità corrente(mA)	errore(mA)	Tensione diodo($10^{-2}V$)	errore($10^{-2}V$)
0.10	0.01	52	5
0.21	0.01	56	5
0.41	0.01	60	5
1.03	0.01	64	5
2.22	0.01	68	5
4.29	0.01	72	5
8.46	0.01	76	5
14.84	0.01	80	5

Table 2: Punti sperimentali di intensità corrente elettrica e tensione ai capi del diodo con fondoscala dell'oscilloscopio usato per le misure di tensione a $200mV/div$

Il corrispondente grafico è stato riportato in scala semilogaritmica ed è stato sottoposto ad un fit attraverso l'equazione caratteristica di un diodo ideale, o equazione di Shockley. In questa equazione compare I_0 corrente inversa di saturazione del diodo, dipendente dalle caratteristiche interne al diodo e parametro di cui vogliamo effettuare una stima. V_D differenza di potenziale ai capi del diodo, η parametro adimensionale dipendente dalla geometria interna del cristallo (circa 2

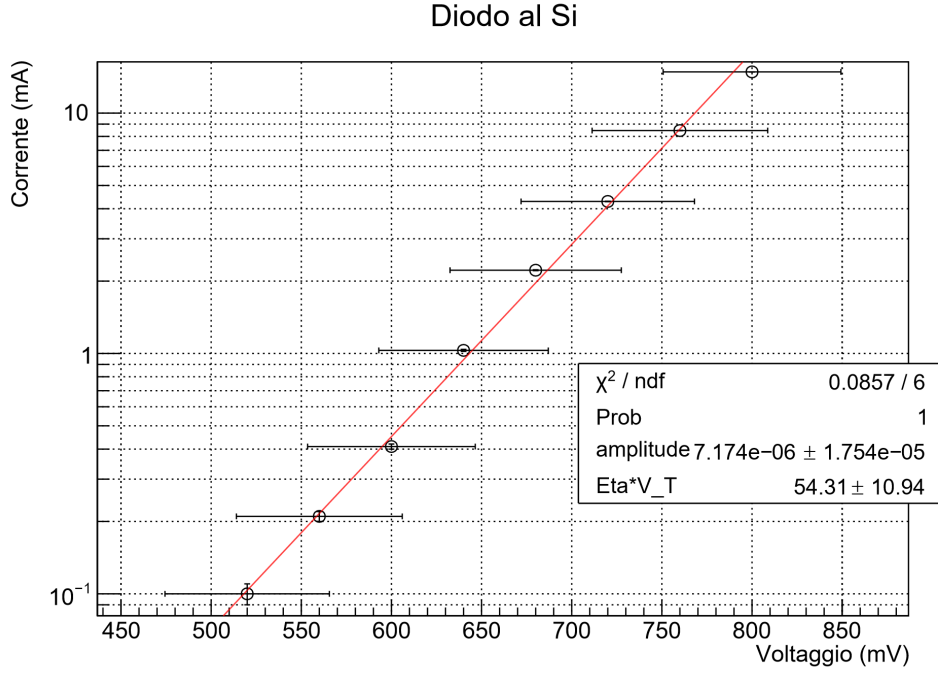


Figure 3: Caratteristica IV di un diodo al Silicio in scala semilogaritmica

per il silicio) e V_T corrispondente della temperatura in Volt, di valore atteso $0.026V$ per temperature intorno ai $300K$.

$$I = I_0 \left[\exp\left(\frac{V_D}{\eta V_T}\right) - 1 \right] \quad (3)$$

Dal fit abbiamo potuto riscontrare una stima della corrente inversa del diodo $I_0 = (7.2 \pm 0.2)10^{-6}mA$ e un valore per il prodotto $\eta V_T = (5 \pm 1)10mV$, in accordo con il valore atteso di circa $52mV$, in quanto ηV_T atteso era $26mV$ da moltiplicare per il fattore adimensionale $\eta = 2$ per il Silicio. Si nota, inoltre, come i dati sperimentali seguano l'equazione modello utilizzata per il fit anche se il valore di chiquadro ridotto che si è ottenuto è inferiore a 1 di due ordini di grandezza, ciò supponiamo a causa di una sovrastima degli errori sull'oscilloscopio.

3.3 Caratteristica IV diodo al Germanio

In modo analogo al caso precedente, abbiamo misurato la caratteristica IV di un diodo al Germanio. Di seguito sono riportati i punti sperimentali utilizzati per effettuare il fit tramite ROOT, con equazione modello (3). Così abbiamo ottenuto un grafico della caratteristica IV che presenta un parametro di ampiezza $I_0 = 0.02 + / - 0.01mA$ e un prodotto $\eta V_T = (7 + / - 1)10mV$. Diversamente dal caso precedente, il secondo parametro ηV_T risulta sensibilmente maggiore del valore atteso, pari circa a $26mV$, in quanto $\eta = 1$ per il Germanio e $V_T = 0.026V$ per diodi a temperature prossime a $300K$. Ciò può essere causato dal fatto che non siamo riusciti a lavorare con fondiscala dell'oscilloscopio più bassi di $100mV$ per misurare correnti di intensità prossime a quelle riportate in Tabella 2, mentre per ottenere un valore ottimale sarebbe stato più opportuno effettuare un numero maggiore di misure comprese nell'intervallo tra i $100mV$ e i $150mV$.

Intensità corrente(mA)	errore(mA)	Tensione diodo(10^{-2} V)	errore(10^{-2} V)	fondoscala(mV/div)
0.10	0.01	12	2	200
0.12	0.01	16	4	200
0.27	0.01	20	4	200
0.56	0.01	24	4	200
1.00	0.01	28	2	100
1.33	0.01	30	2	100
1.77	0.01	32	2	100
2.45	0.01	34	2	100
3.25	0.01	36	3	100
4.32	0.01	38	3	100
5.62	0.01	40	3	100

Table 3: Punti sperimentali di intensità di corrente elettrica e tensione ai capi del diodo

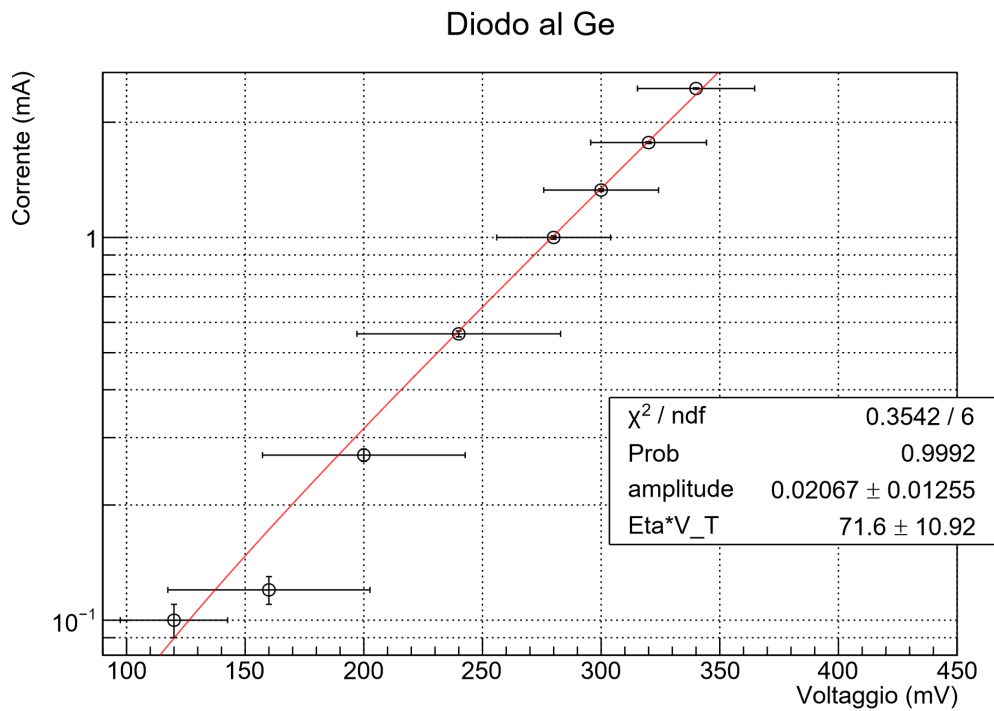


Figure 4: caratteristica IV di un diodo al Germanio

4 Conclusione

Dall'esperimento realizzato sono state misurate la corrente inversa dei diodi e il prodotto tra il parametro η e il corrispondente in Volt della temperatura V_T . I valori ottenuti per il diodo al Silicio sono: $I_0 = (7.2 \pm 0.2)10^{-9}A$ e prodotto $\eta V_T = (5 \pm 2)10^{-2}V$, mentre $I_0 = (2 \pm 1)10^{-5}A$ e $\eta V_T = (7 \pm 1)10^{-2}V$ per quello al Germanio, nel primo caso i parametri misurati sono attendibili, nel secondo le misure effettuate si discostano notevolmente dal valore atteso.

5 Referenze

A seguire è riportato il link alla pagina GitHub dove sono contenuti i codici utilizzati per l'analisi dati <https://github.com/rkomahub/LaboratorioElettronica2022-23/tree/main/prova1>