

Boltzman

Sara Lisjak Tavčar

Fizikalni praktikum 4: 7/12

1 Uvod

Meritev Boltzmannove konstante k_B je osnovana na diskusiji tokov znotraj bipolarnega tranzistorja (angl. bipolar-junction transistors – BJT) z oznako n-p-n. Ima tri značilne priključke: emitor bazo in kolektor, med katerimi sta dva p-n spoja: emitorski spoj (e,b) in kolektorski spoj (k,b).

Tranzistor največkrat deluje tako, da je na emitorskem spoju prevodna, na kolektorskem pa zaporna napetost. Tranzistor prevaja, ko se elektroni premikajo iz emitorja na kolektor. To si lahko predstavljamo kot dve diodi, ki imata skupno anodo. Da res prevaja, mora biti na spoju med emitorjem in bazo prevodna napetost (večina elektronov ne teče skozi bazo, ampak najprej proti kolektorju). Razlog se nahaja v tem, da je v bazi dodatna spremenljiva koncentracija primesi in ta povzroča takšno električno polje v bazi, da elektrone potisne proti kolektorju.

V vaji kolektor in bazo kratko staknemo in merimo odvisnost toka skozi kolektor (kolektorskega toka) od napetosti med bazo in emitorjem.

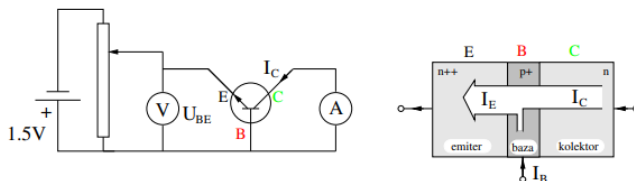
$$C = I_S(T) \exp\left(\frac{e_0 U_{BE}}{k_B T} - 1\right) \quad (1)$$

Tu je $I_S(T)$ velikost nasičenega toka v zaporni smeri.

V praksi pogosto razmišljamo o tranzistorju kot ojačevalcu toka skozi bazo, ki ga povečamo s kolektorskim, kot pove zveza: $I_C = \beta I_B$. Skupni tok je emitorski tok: $I_E = I_C + I_B$. Predstavljeno tokovno-napetostno karakteristiko tranzistorja lahko uporabimo za merjenje konstant e_0/k_B ali merjenja temperature. Električno prevodnost p-n stika pri napetosti v prevodni smeri določa več mehanizmov, med drugimi so to

- difuzija nosilcev naboja preko zaporne plasti (Za nizke gostote je odvisnost podana z 1)
- generacija in rekombinacija nosilcev naboja znotraj zaporne plasti
- tuneliranje nosilcev naboja med nivoji v vrzeli,
- površinski efekti, kjer površinski ioni tvorijo zrcalne naboje znotraj polprevodnika

Vsak od teh mehanizmov zavisi na različen način od napetosti in prispeva svoj delež toka preko stika. Pri diodah delujejo vsi prispevki, zato niso primerne za določanje konstante. Na našem bipolarnem tranzistorju kratko sklenemo bazo in kolektor. S tem dosežemo, da z napetostjo med bazo in emitorjem v prevodni smeri kolektorski tok določa le difuzija elektronov preko zaporne plasti od baze na kolektor.



2 Naloga

1. Izmerite kolektorski tok tranzistorja I_C v odvisnosti od U_{BE} pri treh temperaturah: približno 15, 35 in 55 °C.
2. Določite razmerje e_0/k_b
3. Izmerite temperaturno odvisnost kolektorskega toka tranzistorja pri dveh napetostih U_{BE} približno 0.5 in 0.58 V.

3 Meritve

3.1 1. del - Meritev karakteristike pri treh temperaturah

V Dewarjevo posodo smo dodali vodo pri neki temperaturi in vanjo potopili tranzistor. Na eni strani je povezan z multimetrom, ki nam pove kolektorski tok, na drugi pa z ročnim multimetrom, ki nam ali pove spreminjanje temperature ali napetosti. Izberemo temperaturo in spreminjamo napetosti na potenciometru. Podatke prikažemo na grafu $\ln(I_C/I_1)$ od U_{bc} . Prilegati bi se moral premici dani z enačbo

$$\ln(I_C/I_1) = \ln(IS(T)/I_1) + \frac{e_0}{k_b T} U_{bc} \quad (2)$$

iz naklona premice odčitamo konstanto.

| Meritve | |
|--------------|-------------------|
| Napetost [V] | $\ln(I_C/I_0[/])$ |
| 0.4077 | 1.21954e-07 |
| 0.4193 | 1.92995e-07 |
| 0.4258 | 2.46571e-07 |
| 0.4343 | 2.94524e-07 |
| 0.4407 | 4.23582e-07 |
| 0.4458 | 5.31031e-07 |
| 0.4511 | 6.06809e-07 |
| 0.4561 | 7.62211e-07 |
| 0.4629 | 1.02832e-06 |
| 0.4687 | 1.2814e-06 |
| 0.4745 | 1.60109e-06 |
| 0.4785 | 1.82723e-06 |
| 0.4825 | 2.13449e-06 |
| 0.4858 | 2.46068e-06 |
| 0.4887 | 2.64243e-06 |
| 0.4924 | 3.17109e-06 |
| 0.4961 | 3.63671e-06 |
| 0.4985 | 3.75422e-06 |
| 0.5017 | 4.44539e-06 |
| 0.5041 | 4.74199e-06 |
| 0.5068 | 5.57968e-06 |
| 0.5098 | 6.04293e-06 |
| 0.5137 | 7.27549e-06 |
| 0.5167 | 8.33755e-06 |
| 0.5192 | 8.73124e-06 |
| 0.5252 | 1.08249e-05 |
| 0.5276 | 1.22738e-05 |
| 0.5298 | 1.3356e-05 |
| 0.5332 | 1.57113e-05 |
| 0.5361 | 1.70389e-05 |
| 0.5386 | 1.96639e-05 |
| 0.5417 | 2.20908e-05 |
| 0.5431 | 2.27231e-05 |
| 0.5447 | 2.50565e-05 |
| 0.5463 | 2.57914e-05 |
| 0.5483 | 2.83338e-05 |
| 0.5498 | 2.99192e-05 |
| 0.5517 | 3.30575e-05 |
| 0.5538 | 3.57322e-05 |
| 0.5555 | 3.81857e-05 |
| 0.5585 | 4.23372e-05 |
| 0.5607 | 4.46845e-05 |
| 0.5662 | 5.41735e-05 |
| 0.571 | 6.5979e-05 |
| 0.5743 | 7.96941e-05 |
| 0.5776 | 8.68095e-05 |
| 0.5808 | 0.000102241 |
| 0.5839 | 0.000108796 |
| 0.5885 | 0.000140099 |
| 0.5948 | 0.000177139 |

3.2 Meritev I-T karakteristike pri dveh različnih napetostih

Vajo izvedemo enako kot v prvem delu, le da je spreminjajoči parameter temperatura in ne napetost. Nastavek za merjenje temperature je termočlen tipa K. Narišemo dva grafa v odvisnosti od temperature in posredno izmerimo saturacijski tok, katerega temperaturna odvisnost je podana z nastavkom:

$$I_s(T) \propto T^n \exp\left(\frac{-E_G(T)}{k_b T}\right)$$

E_G je širina energetske vrzeli nedopiranega silicija, ki je odvisna od temperature.

4 Rezultati

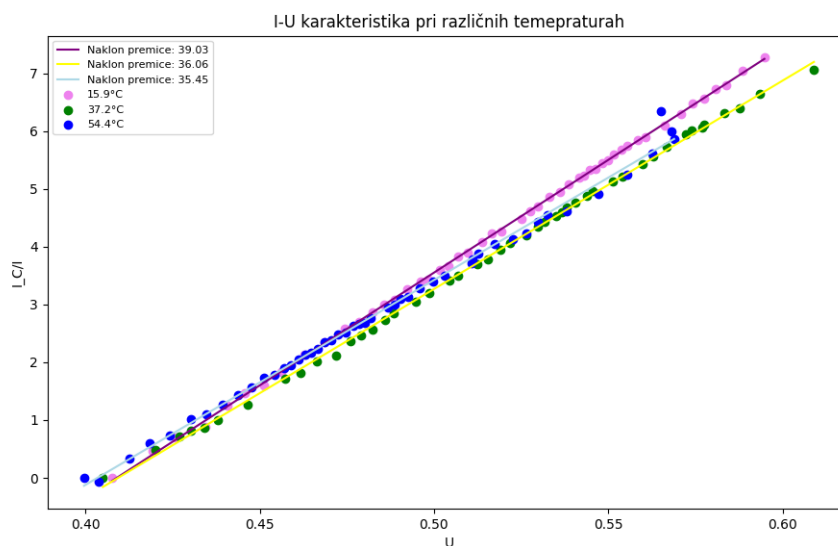
4.1 1.del

Pri prvem delu sem preko enačbe

$$k_B = e_0 / \text{koef} * T$$

, ob upoštevanju, da je koef strmina premice iz enačbe .

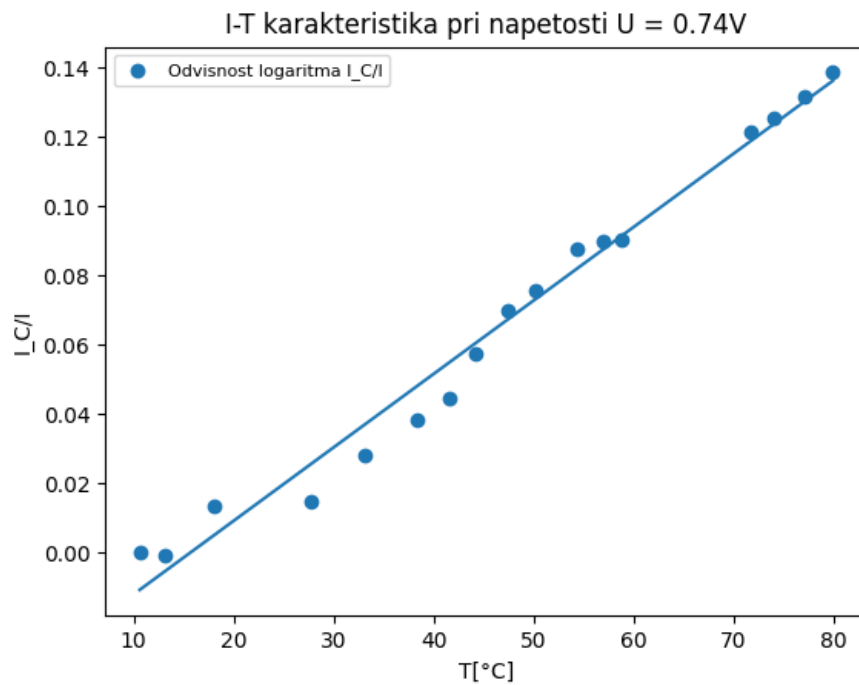
| Izračuni | | | |
|----------|------|---------------------------|---------------------------|
| T[°C] | koef | k_B | k_B -napaka |
| 15.9 | 39.0 | $1.42 \cdot 10^{**(-23)}$ | $0.15 \cdot 10^{**(-23)}$ |
| 37.2 | 36.1 | $1.43 \cdot 10^{**(-23)}$ | $0.24 \cdot 10^{**(-23)}$ |
| 54.4 | 35.5 | $1.38 \cdot 10^{**(-23)}$ | $0.51 \cdot 10^{**(-23)}$ |



4.2 2.del

Pri drugem delu smo izračunali saturacijski tok, preko enačbe $I_S = \exp(zac_v red)$, kjer ponovno pogledamo enačbo . Upoštevamo, kje razmerje logaritmov doseže ničlo in po preureditvi je enačba:

$$J_S(T) = J_1 * \exp - \frac{e_0}{K_b T} * U_{EB}$$



Podatki:

- $U_{EB} = 0.74V$
- $T = 16\text{ }^{\circ}C$
- $e_0/k_b = 11000$
- $J_1 = 1.4mA$

| Meritve | |
|-----------------|-------------------|
| Temperatura[°C] | $\ln(I_C/I_0[/])$ |
| 10.6 | 0.00140203 |
| 13.2 | 0.00140102 |
| 18.0 | 0.0014209 |
| 27.7 | 0.00142278 |
| 33.1 | 0.0014418 |
| 38.4 | 0.00145661 |
| 41.6 | 0.0014661 |
| 44.2 | 0.00148481 |
| 47.4 | 0.00150339 |
| 50.1 | 0.00151222 |
| 54.3 | 0.00153045 |
| 57.0 | 0.00153412 |
| 58.8 | 0.00153486 |
| 71.7 | 0.00158349 |
| 74.0 | 0.00158928 |
| 77.0 | 0.00159933 |
| 79.9 | 0.00161055 |

5 Zaključek

Pri nalogi smo s pomočjo tranzistorja tipa n-p-n določali karakteristiki I-U in I-T. Preko odčitkov iz grafov ter izračunov sem prišla do rezultatov:

$$k_B = (1.41 \pm 0.29) * 10 * (-23) \frac{m^2 kg}{s^2 K} \quad J_S = 3.32 * 10 * (-16) A$$

Opomba: Do saturacijskega toka pride zaradi difuzije snovi, kot posledice temperaturnega gradienta (STD- križni transportni pojav).