

Experimentálne stanovenie šírky zakázaného pásma diód

Marián Janek, Štefan Hardoň a Jozef Kúdelčík

20. februára 2025

Cieľom merania je stanovenie šírky zakázaného pásma diódy zmeraním teplotnej závislosti napätia na dióde pri konštantnom prúde.

Pomôcky: nádoba, prípravok na meranie napätia, diódy a termistor.

1 Teoretický úvod

1.1 Polovodičové diódy

Dióda je polovodičový prvok s **p-n prechodom**, tvoreným spojením p-typu (s prevahou dier) a n-typu (s prevahou elektrónov). V rovnovážnom stave spôsobuje difúzia elektrónov cez prechod vznik **deplečnej oblasti** s vnútorným elektrickým poľom. Toto pole vytvára potenciálovú bariéru, ktorá obmedzuje tok prúdu v jednom smer pri pripojení napätia.

Šírka zakázaného pásma, E_g , je minimálna energia potrebná na presun elektrónu z valenčného pásu do vodivostného pásu. Pre polovodiče platí:

- Kremík (Si): $E_g \approx 1,1 \text{ eV}$ pri 300 K
- Germánium (Ge): $E_g \approx 0,67 \text{ eV}$ pri 300 K

E_g určuje elektrickú vodivosť, tepelnú odozvu a optické vlastnosti. Užšie zakázané pásmo (napr. Ge) umožňuje vyššie koncentrácie nosičov pri izbovej teplote v porovnaní so širším pásmom (napr. Si).

1.2 Rovnica diódy a určenie E_g

Prúdovo-napätiová charakteristika diódy v priepustnom smere je popísaná **ideálnou diódovou rovnicou**:

$$I = I_0 \left[\exp \left(\frac{eV}{kT} \right) - 1 \right], \quad (1)$$

kde I_0 je saturačný spätný prúd, e je náboj elektrónu, k je Boltzmannova konštanta a T je teplota. Hodnota I_0 exponenciálne závisí od E_g :

$$I_0 \propto \exp\left(-\frac{E_g}{kT}\right). \quad (2)$$

Pri konštantnom prúde klesá priepustné napätie V lineárne s teplotou T . Úpravami rovnice 1 dostaneme:

$$T = aV + b \quad \Rightarrow \quad E_g = -\frac{b}{a}e, \quad (3)$$

kde a a b sú sklon a priesečník s osou y . Cieľom merania je stanovenie šírky zakázaného pásma diódy zmeraním teploty a napätia na dióde pri konštantnom prúde, prípravok zabezpečí konštantný prúd diódou ($6 \mu\text{A}$). Napätie na dióde bude zobrazené na displeji prípravku, teplota sa určí z druhého zobrazeného napätia, ktoré odpovedá napätiu na termistore.

1.3 Výpočet teploty termistora a diódy

Pri meraní využívame NTC termistor zapojený do deliča napätia spolu s predradeným rezistorom. Z nameraného napätia na termistore určíme jeho odpor a následne z neho vypočítame teplotu pomocou Steinhartovej-Hartovej rovnice. Detailný postup a potrebné vzorce sú uvedené v nasledujúcich podsekcích.

1.3.1 Výpočet odporu termistora

NTC termistor je zapojený v sérii s predradeným rezistorom, $R_s = 20 \text{ k}\Omega$. Na termistore zmerané napätie označme U_{NTC} a zdrojové napätie U_{CC} ($4,9\text{V}$). Vzhľadom na to, že prúd v sérii je rovnaký pre rezistor R_s aj termistor R_{NTC} , platí:

$$I = \frac{U_{CC} - U_{NTC}}{R_s}.$$

Následne odpor termistora vypočítame z Ohmovho zákona:

$$R = \frac{U_{NTC}}{I} = \frac{U_{NTC}}{\frac{U_{CC} - U_{NTC}}{R_s}} = R_s \frac{U_{NTC}}{U_{CC} - U_{NTC}}. \quad (4)$$

Ak teda vieme veľkosť zdrojového napätia U_{CC} a napätie na termistore U_{NTC} , môžeme odpor termistora určiť priamo z uvedeného vzťahu.

1.3.2 Steinhartova-Hartova rovnica

Steinhartova-Hartova rovnica je empirický vzťah pre presnú konverziu odporu termistora na teplotu. Na rozdiel od jednoduchšej Beta rovnice zohľadňuje nelineárny vzťah medzi teplotou a odporom pomocou polynómu tretieho stupňa:

$$\frac{1}{T} = A + B \ln(R) + C(\ln(R))^3, \quad (5)$$

kde T je absolútna teplota v Kelvinoch, R je odpor termistora a A , B , C sú kalibračné koeficienty pre daný termistor. Tieto koeficienty sa určujú kalibráciou pri známych teplotách.

Steinhart-Hart koeficienty termistora, A: 0.0018161187, B: 0.0000563787 a C: 0.0000006071.

2 Postup merania

- Zohrejte vodu na variči približne na 70 °C.
- Po ukončení ohrevu nechajte vodu pomaly chladnúť prirodzeným spôsobom.
- Ponorte puzdro s termistorom a diódou do vody a sledujte zmeny napätí na dióde a termistore. Napätia (v mV) sa zobrazujú na dvoch 7-segmentových LCD displejoch.
- Vykonajte 10 meraní a zaznamenajte hodnoty do tabuľky (napätie na dióde a termistore).
- Prejdite napäťový interval na dióde (100 mV) s krokom 10 mV.
- Prepočítajte napätie na termistore na teplotu, viď kapitola 1.3 rovnice (4) a (5).
- Nakreslite graf závislosti termodynamickej teploty od napätia na dióde.
- Lineárnou regresiou získajte rovnicu priamky $y = ax + b$ a hodnoty a , b .
- Vypočítajte šírku zakázaného pásma podľa rovnice (3).
- Vykonajte merania pre germániovú, kremíkovú a LED diódu.
- Diskutujte výsledky.

3 Úlohy

- Zmerajte šírku zakázaného pásma pre 3 diódy.
- Diskutujte získané výsledky v porovnaní s referenčnými hodnotami.

4 Diskusia: Analýza chýb

- Neistota merania napätia.
- Nelinearita termistora mimo kalibrovaného rozsahu.
- Tepelné oneskorenie medzi vodou a púdzrom.

Tabuľka 1: Namerané hodnoty napätí na dióde a termistore

Meranie č.	Napätie na dióde (mV)	Napätie na termistore (mV)	Odpor termistora (Ω)	Teplota (K)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				