

MEASUREMENTS OF TEMPERATURE DEPENDENCE OF SEMICONDUCTOR DEVICES

Jiří Růžička, Martin Modlitba, Jan Slavotínek

Bachelor Degree Programme (1), FEEC BUT

E-mail: xruzic41@stud.feec.vutbr.cz, xmodli02@stud.feec.vutbr.cz, xslavo01@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Miloš Chvátal

E-mail: chvatal.milos@phd.feec.vutbr.cz

Abstract: We have developed an automatic measuring system for measuring properties of PN junction (diode). In our project we decided to measure the VA characteristics of different samples of diodes for temperature range from 10 to 350 K. The measuring system was developed in LabView program. We used measuring devices Lakeshore 340 temperature controller and Keithley semiconductor characterization system.

Keywords: semiconductor, automatic measurement system, electron transport, cryo temperature

1. ÚVOD

Z teorie o elektronických součástkách (polovodičích) víme [1], že s klesající teplotou jejich rezistivita stoupá. U polovodičových součástek jako dioda nás můžou dále zajímat parametry difuzní napětí a průběh voltampérové charakteristiky. Za normálních podmínek je zapotřebí k získání relevantních výsledků provést měření v širokém rozsahu teplot, což znamená velký počet jednotlivých měřících úkonů. Proto je velmi výhodné k tomuto účelu využít automatizované měření za pomoci programu vytvořeného například v prostředí LabView.

2. POPIS PROJEKTU

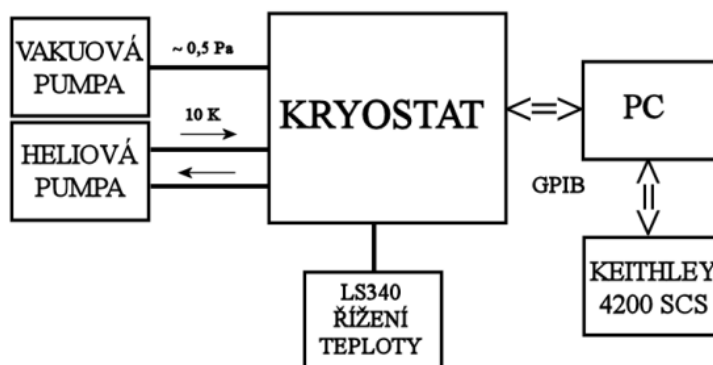
Nejprve na začátku projektu bylo nutné vypracovat program, který komunikuje s měřicími přístroji pomocí sběrnice GPIB [2]. V další části našeho projektu se zabýváme vyhodnocováním naměřených dat v programu EasyPlot. Naměřená data jsou použita pro tvorbu grafů, které současně srovnáváme s hodnotami teoretickými, stanovenými pomocí Shockleyho rovnice (1). V poslední podkapitole dokumentu uvádíme grafické závislosti naměřených hodnot.

2.1. PROGRAM A KOMUNIKACE S PŘÍSTROJI

Program obstarávající průběh celého měření byl sestaven v prostředí LabView, zajišťuje plnou automatizaci měření, které pak není zatíženo faktorem lidské chyby. Měření probíhá sekvencí naprogramovaných příkazů nastavujících a odečítajících měřené veličiny.

Komunikace s přístroji probíhá pomocí sběrnice GPIB. Vzhledem k tomu, že jsme k práci využívali soukromý počítač, který nedisponoval rozhraním GPIB, bylo nutné použít převodník GPIB/USB. Aplikace LabView pomocí rozhraní VISA dokáže tuto sběrnici obsluhovat.

2.2. MĚŘÍCÍ APARÁT A JEHO POPIS



Obr. 1: Blokové schéma pro měření teplotních závislostí VA charakteristik polovodičových součástek v héliovém kryostatu

Srdcem našeho měřícího aparátu je héliový kryostat (Obr. 1), chlazený pomocí plynného hélia na 10 K. K ohřevu slouží topná spirála umístěná uvnitř kryostatu. Řízení teploty je prováděno pomocí teplotního kontroléru LS340, který nám umožňuje měnit teplotu v rozsahu 10 až 500 K. Měřící atmosféra v kryostatu je vakuovou pumpou udržována při tlaku řádově desetin Pascalu. Dále je ke kryostatu zapojen systém pro měření charakteristik polovodičů KEITHLEY 4200 SCS, jenž je sběrnici GPIB propojen s počítačem, na kterém je spuštěn měřící program.

2.3. MĚŘENÍ A ZPRACOVÁNÍ VÝSLEDKŮ

Měření probíhalo na sedmi různých Schottkyho diodách. Výstupem z měřícího programu je velké množství dat, které bychom mohli zobrazit a vzájemně porovnávat, ale pro stručnou ukázkou naší práce, jsme vybrali jeden vzorek (dioda 1N5818), kterému v této práci věnujeme pozornost a v grafických závislostech zobrazíme a porovnáme jeho vlastnosti v závislosti na teplotě. Ke zpracování tabulek naměřených hodnot využíváme editor grafů EasyPlot, díky němuž jsme srovnali naměřenou VA charakteristiku s ideální křivkou ze Shockleyho rovnice (1) pro teplotu $T = 300$ K.

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{U_D}{nU_T}} - 1 \right), \quad (1)$$

kde I_D je proud tekoucí diodou, I_S saturační proud, U_D napětí na diodě, U_T tepelné napětí a n je emisní koeficient, který se pohybuje v rozmezí od 1 do 2 v závislosti na výrobním procesu a polovodičovém materiálu. V našem případě je roven 1. Tepelné napětí se dále vypočítá podle vztahu:

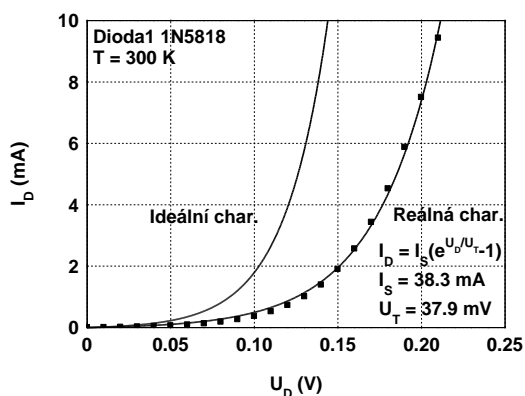
$$U_T = \frac{kT}{q}, \quad (2)$$

kde k je Boltzmannova konstanta, T je teplota v Kelvinech a q je elementární náboj. Při teplotě 300 K vychází ideální tepelné napětí přibližně 25,85 mV.

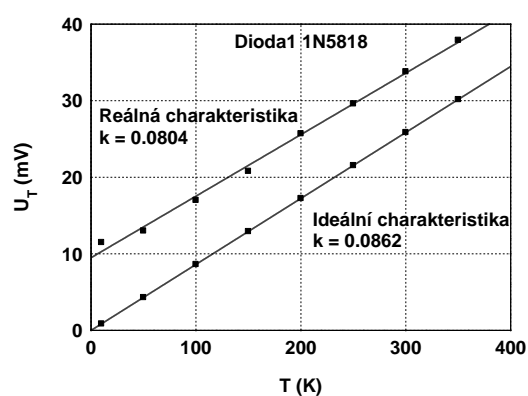
Naměřené teplotní závislosti VA charakteristik diody 1N5818 v rozmezí od 10 do 350 K jsme aproximovali pomocí Shockleyho rovnice a stanovili jsme saturační proud I_S a tepelné napětí U_T .

Na Obr. 2 je znázorněna VA charakteristika diody 1N5818 pro teplotu 300 K. Aproximací pomocí rovnice (2) nám saturační proud vyšel 3,2 mA a tepelné napětí 0,12 V.

2.4. NAMĚŘENÉ HODNOTY



Obr. 2: Naměřená VA charakteristika diody 1N5818 při teplotě T = 300 K.



Obr. 3: Závislost tepelného napětí U_T na teplotě od 10 až 350 K pro diodu 1N5818.

3. ZÁVĚR

Závěrem by bylo vhodné zmínit, co jsme doposud v našem projektu vytvořili, naučili se, a kam bychom chtěli směřovat do budoucna.

První ověřovanou vlastností byla VA charakteristika této diody a její teplotní závislost U_T . Tyto změřené závislosti jsme dále srovnali s ideálními průběhy stanovenými pomocí Shockleyho rovnice (1) a vztahu pro teplotní napětí (2). Rozdíly, patrné mezi ideálními a námi změřenými průběhy, jsou způsobeny parazitními vlastnostmi součástek. Největší měrou se na těchto nepřesnostech podílí úbytky napětí na přívodech diod, což je velmi patrné na grafu závislosti tepelného napětí na teplotě (Obr. 3), jehož průběh je jasně zatížen touto chybou.

Při návrhu programu a obsluze přístrojů potřebných k realizaci měření, jsme se naučili pracovat s prostředím LabView, poučili se o zásadách obsluhy měřících přístrojů disponujících rozhraním GPIB a v neposlední řadě se poučili o vlastnostech PN přechodu diody při extrémních teplotách.

Výhledově plánujeme rozšíření tohoto měřícího programu také na ostatní parametry diod, ať už žádoucích či nikoliv. Konkrétně již nyní pracujeme na měření kapacity přechodu a její závislosti na teplotě okolního prostředí.

PODĚKOVÁNÍ

Tento příspěvek vznikl na Ústavu fyziky FEKT VUT za podpory Operačních programů EU CZ.1.05/2.1.00/03.0072 „Centrum senzorických, informačních a komunikačních systémů“ (SIX) a OPVK CZ.1.07/2.2.00/15.0147 „Nanovědy pro elektroinženýry – inovace studijních programů“ (Nanovědy).

REFERENCE

- [1] BOUŠEK, J., J. BRZOBOHATÝ, V. MUSIL, A. BAJER a R. PROKOP. FEKT VUT. *Elektronické součástky* [elektronické skriptum]. Brno: FEKT VUT, 2001, 238 s. [cit. 3.3.2012]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/www_base/priloha.php?dpid=28260>
- [2] NATIONAL INSTRUMENTS. *GPIB Instrument Control Tutorial*. 2009, 3 s. Dostupné z: <<http://sine.ni.com/nipdfgenerator/nipdfgenerator?pageURL=http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/2761&clientAppName=dz&dotsPerPixel=&dotsPerPoint=>>>