

# NOISE CHARACTERISTICS ANALYSIS OF RADIATION DETECTORS

**Ondřej Šik**

Master Degree Programme (2), FEEC BUT  
E-mail: xsikon00@stud.feec.vutbr.cz

Supervised by: Alexey Andreev  
E-mail: andreev@feec.vutbr.cz

## ABSTRACT

The main goal of this study is to describe relationship between noise characteristics of Cadmium-Telluride radiation detectors depending on applied voltage and detectors reaction to illumination of various wavelengths. Several samples with different resistivity were tested. By comparing results, we are able to estimate the quality of detectors and their sensitivity to illumination. We have found that all the studied CdTe detectors are sensitive to one particular wavelength of 548nm.

## 1. ÚVOD

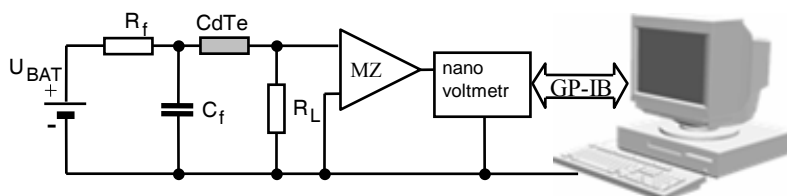
Díky svým vlastnostem se mezi nejméně sledované polovodiče zařadil CdTe (telurid kadmennatý). Materiál vykazuje velký absorpční koeficient pro vysokoenergetické záření a přímý zakázaný pás, který zajišťuje účinnější rekombinaci. Tyto parametry směřují materiál k výrobě v současné době nejefektivnějších solárních článků, optických detektorů, dozimetřů ionizujícího záření a dalších zařízení. Vysoká atomová čísla zastoupených prvků předurčují materiál k užití v oblasti záření X a  $\gamma$ . Detektor reaguje na výskyt ionizujícího záření zvýšením napětí na výstupu. Mechanismus detekce ionizujícího záření je založen na překonání energetické hladiny zakázaného pásu CdTe. Elektrony v nižších sférách atomu získají energii nutnou k překročení zakázaného pásu následujícími jevy: fotoefektem, Comptonovým jevem a generací páru elektron-díra. Do vodivostního pásu mohou také proniknout elektrony s nižší energií než energie zakázaného pásu a to díky tunelového jevu. Ten spočívá v tom, že existuje určitá pravděpodobnost, se kterou elektron bariéru překoná.

## 2. ROZBOR

Kvalitu polovodičového vzorku ovlivňuje koncentrace nežádoucích prvků v polovodičovém substrátu a poruchy jeho krystalické struktury. Materiál CdTe vykazuje, narozdíl od polovodičových materiálů III-V skupiny, vyšší koncentraci poruch. To je způsobeno vyšším podílem iontové vazby. Tyto nedostatky se projeví zvýšeným vlastním šumem detektoru. Z tohoto důvodu se pro posouzení výrobní kvality vzorků s výhodou používá šumové spektroskopie v časové a frekvenční oblasti. Hlavními zdroji šumu je nízkofrekvenční  $1/f$  šum, tepelný šum, výstřelový šum a proces zadržení nosiče náboje a jeho následné uvolnění.

## 2.1. MĚŘÍCÍ PRACOVNÍŠTĚ

Napětí na výstupních svorkách je zesíleno měřícím zesilovačem a poté snímáno voltmetrem ze zatěžovacího odporu  $R_L = 10\text{M}\Omega$ . Naměřené hodnoty jsou předány do PC, kde jsou podrobeny frekvenční analýze pomocí algoritmu FFT. Soustava je uzpůsobena tak, aby se co nejméně projevil šum okolí a rozvodné sítě. Z tohoto důvodu je napájena bateriemi, které mají nízkou hladinu vlastního šumu, zanedbatelnou v porovnání se šumem pozadí.



**Obrázek 1:** Zapojení měřícího pracoviště

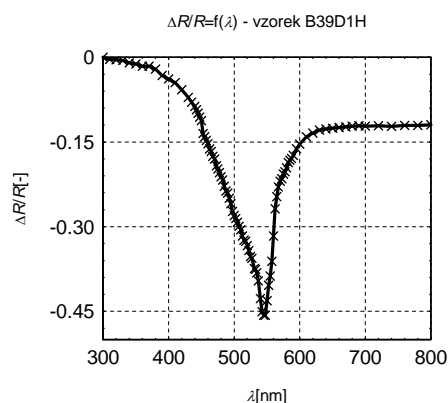
Měřené vzorky byly napájeny napětím 12V, 24V a 43V. Měření probíhalo při pokojové teplotě bez přítomnosti světla, při ozáření vzorku vlnovou délkou, na kterou je zkoumaný vzorek nejcitlivější a dvojicí vlnových délek různých od vlnové délky, na kterou je testovaný vzorek nejcitlivější. Vlnovou délkou, při které detektor má nejnižší odpor, jsem zjistil plynulou změnu vlnové délky světla na výstupu monochromátoru a zaznamenával jsem hodnoty odporu vzorku. Následně jsem sestavil charakteristiku  $\Delta R / R = f(\lambda)$  odpovídající vztahu

$$\frac{\Delta R}{R} = \frac{R_{\text{meas}} - R_0}{R_0}, \quad (1)$$

kde  $R_0$  je hodnota odporu vzorku při daném napájecím napětí a bez osvětlení délce a  $R_{\text{meas}}$  je hodnota odporu na aktuálně měřené vlnové délce taktéž při právě nastaveném napájecím napětí.

## 2.2. NAMĚŘENÉ CHARAKTERISTIKY DETEKTORU

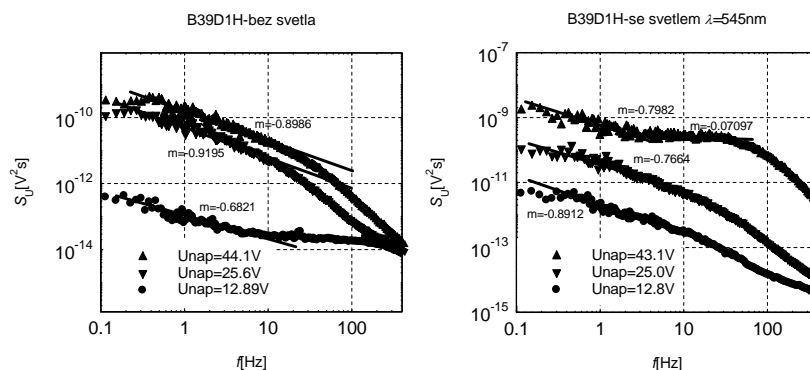
Na obrázku 2 je znázorněna závislost změny odporu vzorku na osvětlení monochromatickým světlem o různých vlnových délkách. Vlnová délka, při které měřený vzorek vykazuje nejmenší odpor, byla zjištěna na  $\lambda = 548\text{nm}$ .



**Obrázek 2:** Závislost odpor polovodiče na vlnové délce

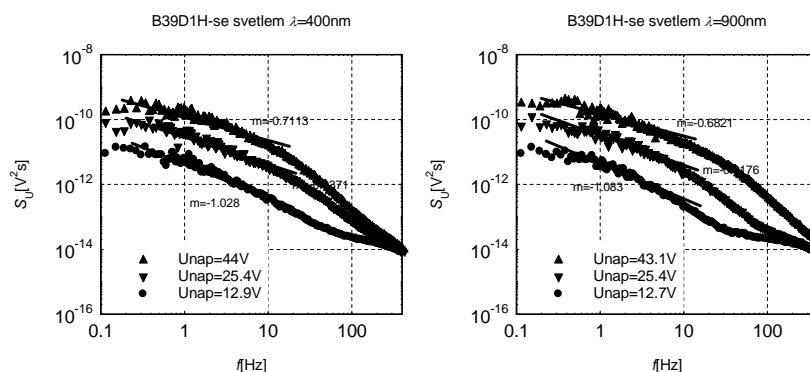
S rostoucí vlnovou délkou odpor vzorku stále klesal. U žádného z měřených vzorků se neobjevila více než jedna vlnová délka, při které má vzorek nejnižší odpor oproti stavu bez osvětlení. Přítomnost jiných, méně výrazných minim odporu poukazuje na zvýšené množství nečistot v substrátu polovodičového materiálu.

Z charakteristik spektrální hustoty šumu na Obrázek 3: Je patrné, že osvětlení vzorku světlem vlnové délce, na kterou je nejcitlivější, má výrazný vliv na úroveň šumu. Hodnoty spektrálního šumu nabírají hodnot o dva řády vyšší než neosvětlený vzorek.



**Obrázek 3:** Spektrální hustota šumu vzorku bez osvětlení a při osvětlení při světle s nejvyšší citlivostí

Zobrazená směrnice  $m$  je parametr nízkofrekvenčního šumu  $1/f^m$ , který dosahuje hodnot  $0,6 < m < 1,5$ .



**Obrázek 4:** Spektrální hustota šumu o vlnových délkách 400nm a 900nm

Při měření šumu vzorku ozářeného dvojicí vlnových délek různých od 545nm je vzorek nepatrně citlivější na světlo o vlnové délce 400nm. Šumové vlastnosti jsou ale takřka identické. Charakteristiky při obou vlnových délkách jsou velmi vyrovnané.

### 3. ZÁVĚR

Ve své práci jsem se zabýval popisem  $1/f$  šumu, který se nejvýrazněji uplatňuje pro parametr odstupů signál-šum. Velikost  $1/f$  šumu ovlivňuje zejména koncentrace volných nosičů náboje a podle tohoto údaje je možno posoudit výrobní kvalitu detektoru. Hodnota nízkofrekvenčního šumu také narůstá s napájecím napětím. Opakovaného měření šumových charakteristik lze využít pro posouzení časové stálosti parametrů detektorů.

### 4. LITERATURA

- [1] SIKULA, J., STOURAC, L.: Noise spectroscopy of semiconductor materials and devices. In 23rd International Conference on Microelectronics. 2002,
- [2] ANDREEV, A.: Investigation of  $1/f$  Noise of p-type CdTe Detectors. Student EE-ICT, Brno 2007