

Posudek doktorské práce

„Room-temperature semiconducting detectors“

autor: RNDr. Jakub Pekárek

Předložená doktorská práce se věnuje obecně důležité problematice vlastností detektorů typu CdTe a CdZnTe, a to konkrétně povrchové úpravě, problematice polarizace, vývoji rychlých testovacích metod polovodičových detektorů typu CdTe a CdZnTe. Výzkum byl prováděn ve Fyzikálním ústavu Univerzity Karlovy ve skupině pod vedením doc. Ing. E. Belase, CSc., ve které se koncentrují experti na problematiku CdTe a CdZnTe polovodičových materiálů. Posudek je koncipován v souladu s požadavky kladenými na doktorské práce na MFF UK v Praze.

Problematika polovodičových detektorů pracujících při pokojových teplotách je vysoce aktuální. V dané oblasti detektory typu CdTe nebo CZT mají výsadní postavení (vysoká účinnost detekce, výborné energetické rozlišení), což dokládá jejich široká využitelnost (jaderná fyzika, částicová fyzika, bezpečnost, letecké skenování).

Doktorská práce je rozsáhlá (celkem 127 stran) a je přehledně rozdělena do 7 kapitol, přehledu použité literatury a povinných příloh. První tři kapitoly obsahují teoretickou část, vlastní výsledky doktoranda jsou uvedeny v kapitolách 4-6. V úvodní části (kapitola 1. 3.) jsou uvedené cíle doktorské práce. Druhá kapitola obsahuje teoretický popis detekce radiace v polovodičových materiálech, vysvětlení detektorů typu CPG (coplanar-grid), vysvětlení vlivu povrchové úpravy a kontaktů na kvalitu detektorů či sběr nosičů náboje a jejich zachycení uvnitř detektoru. Třetí kapitola se věnuje popisu metod používaných pro charakterizaci detektorů.

Kapitoly 4,5 a 6 tvoří hlavní část doktorské práce. Kapitola 4 na 13 stránkách popisuje problematiku přípravy vzorků (celkem 5 vzorků, 2 vlastní, 3 zakoupeny, $5 \times 5 \times 2 \text{ mm}^2$), vlivu povrchové úpravy (různé postupy, např. pro jeden vzorek bylo provedeno 6 různých typů úprav povrchu) na I-V charakteristiku, na energetické spektrum (měřeno se zdrojem ^{241}Am , 59.6 keV), na vnitřní elektrické pole časovou stabilitu. Z hlediska povrchové úpravy byl nejlepší výsledek pro energetického rozlišení získán pro kombinaci BEBM a pasivace KOH, přičemž kombinace BE a NHF je z hlediska rozlišení srovnatelná a zároveň poskytuje nejvyšší potlačení leakage current (bohužel ale dochází k podstatnému zhoršení během krátké doby).

Kapitola 5 podrobně popisuje problematiku polarizace a depolarizace CdZnTe detektorů při detekci vnějšího záření s vysokými toky. Experimenty byly provedeny se dvěma vzorky detektorů (CdZnTe s rozměry $5 \times 4,3 \times 1,5 \text{ mm}^3$, $5 \times 4 \times 0,9 \text{ mm}^3$) při depolarizaci po měření či během měření se zdrojem rentgenových gama kvant. Vliv depolarizace je jasně viditelný v počtu detekovaných událostí (CPS), kdy lineární závislost CPS bez depolarizace existuje pouze do úrovně $1,7 \times 10^6 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$, zatímco pro měření s depolarizací bylo dosaženo úrovně $3,7 \times 10^6 \text{ mm}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. S jedním vzorkem byla provedena série měření vlivu polarizace a depolarizace na energetické rozlišení gama kvant z ^{241}Am (59,6 keV). Výsledky opět potvrdily pozitivní vliv depolarizace.

Kapitola 6 se věnuje problematice charakterizace detektorů CdTe/CdZnTe a CdZnTe CPG pomocí metody Transient-Current-Technique (TCT) a pomocí spektroskopických měření (zdroj ^{137}Cs , energie gama kvant 662 keV). K měření byly použity dvě aparatury, z nichž jedna byla významně doplněna (laser L-TCT, pulzní zdroj napětí, úprava pro CPG detektory). Z měření byly stanoveny tvary pulzů z detektorů, sběr náboje či určena vnitřní elektrická pole v detektorech. Celkem bylo studováno 5 detektorů označených jako CZT-D1, CZT-D2, CZT-D3 (obsahující nehomogenity krystalické mřížky), CPG1 a CPG2 (výrobce Redlen, citlivý objem 1 cm^3). Kapitola obsahuje i výsledky Monte Carlo simulací pro detekci gama kvant v CdZnTe detektorech.

Kapitola 7 shrnuje vykonané činnosti a dosažené výsledky.

Výsledky uvedené v doktorské práci byly získány především měřeními a omezeně Monte Carlo simulacemi. Předností práce je praktická využitelnost dosažených výsledků (úprava povrchů, kontakty, depolarizace, úprava testovacích aparatur pro charakterizaci detektorů). Z mého pohledu je práce bez viditelných nedostatků. Výsledky mají velký význam pro vylepšení energetického rozlišení CZT detektorů při vysokém počtu detekovaných částic či vylepšení sběru náboje. Pokud by se podařilo vyrábět tyto detektory s většími objemy, mělo by to významný dopad do mnoha oborů, bezpečnost, radiační medicína, fundamentální výzkum apod. Autor prokázal schopnost samostatné a tvůrčí experimentální práce (úprava aparatury, výroba a úprava detektorů, dlouhodobá měření, až 1 rok).

J. Pekárek je uveden jako spoluautor v celkem 10 publikacích (podle databáze WoS v letech 2012-2017, 9 článků, 1 konferenční příspěvek). Výsledky dosažené v rámci doktorské práce byly publikovány v pracích uvedených v seznamu literatury pod čísly 45, 53, 102, 116-119.

Při vlastní obhajobě bych rád uvítal jasné vymezení vlastního přínosu autora doktorské práce. Dále bych se rád dozvěděl od autora doktorské práce, čím je omezena možnost produkce CdTe nebo CdZnTe detektorů velkých objemů na úrovni cm^3 ? Proč nejsou v tabulce 4.2 uvedeny chyby u energetického rozlišení? Dále bych rád znal jeho názor na možnost produkce CdZnTe detektorů při použití izotopu ^{116}Cd ?

Závěrem konstatuji, že odborná práce RNDr. Jakuba Pekárka při řešení dané problematiky je na vysoké úrovni, její zaměření je převážně experimentální a že získal důležité prakticky využitelné výsledky. Na základě výše zmíněných faktů doporučuji, aby mu byl přiznán titul Ph.D.

Doc. Ing. Ivan Štekl, CSc.