

## Oponentský posudek disertační práce Jindřicha Pipka „Charge transport in semiconductors”.

Disertační práce je zaměřena na studium transportu náboje a jeho vlivu na vlastnosti polovodičových detektorů ionizačního záření. Detektory ionizujícího záření na bázi polovodičů GaAs, CdZnTe a CdZnTeSe jsou studovány několika elektrooptickými a spektroskopickými technikami. Naměřená data jsou velmi podrobně analyzována s cílem získat podrobnou charakteristiku přenosu elektrického náboje v detektoru, určit driftovou pohyblivost nosičů náboje, časové konstanty lokalizace a delokalizace náboje, profil elektrického pole a polarizace detektoru. Jedním z hlavních cílů disertace bylo využít simulace Monte Carlo a zkombinovat ji s numerickým řešením difúzní rovnice a Poissonové rovnice.

Práce je rozdělena do šesti kapitol. V první úvodní kapitole je podrobně popsána motivace a cíle disertační práce. Kromě toho úvod obsahuje i popis studovaných polovodičů a vlastnosti ionizujícího záření. V druhé kapitole je shrnuta teorie transportu nositelů náboje v polovodičových detektorech. Jsou definovány důležité pojmy a podrobně jsou uvedeny předpoklady řešení transportních rovnic a Poissonové rovnice. V kapitole 3, o numerických simulacích, je podrobně popsána metoda Monte Carlo. Jsou zde uvedeny příklady simulace Monte Carlo a studována stabilita řešení. Experimentální techniky jsou popsány v kapitole 4. Těžiště disertační práce je v páté kapitole, kde jsou ukázány a diskutovány hlavní experimentální výsledky. Kapitola je rozdělena do tří částí odpovídajících studovanému polovodičovému materiálu. V první části jsou studovány transportní vlastnosti GaAs, ve druhé části je studováno chování komerčního CdZnTe detektoru pod vysokým tokem Rentgenova záření a ve třetí části jsou studovány vlastnosti přenosu elektronů a děr v CdZnTeSe krystalu. Tyto části představují práce disertanta publikované v renomovaných recenzovaných časopisech (E. Belas, R. Grill, J. Pipek, P. Praus, J. Bok, A. Musiienko, P. Moravec, O. Tolbanov, A. Tyazhev, and A. Zarubin, Space Charge Formation in Chromium Compensated GaAs Radiation Detectors, *J. Phys. D Appl. Phys.* 53, 475102 (2020); J. Pipek, R. Grill, M. Betušiak, and K. Iniewski, Modelling Polarization Effects in a CdZnTe Sensor at Low Bias, *Sensors (Basel)* 23, 5681 (2023) 115; J. Pipek, M. Betušiak, E. Belas, R. Grill, P. Praus, A. Musiienko, J. Pekarek, U. N. Roy, and R. B. James, Charge Transport and Space-Charge Formation in  $Cd_{1-x}Zn_xTe_{1-y}Se_y$  Radiation Detectors, *Phys. Rev. Appl.* 15, (2021)). V závěru jsou shrnuty všechny podstatné dosažené výsledky a nastíněn další směr pokračování tohoto výzkumu.

Práce je velmi aktuální, protože se jedná o jeden z nejvíce se rozvíjejících směrů aplikované fyziky v lékařství. Použité experimentální metody a teoretické postupy jsou na vysoké úrovni. Práce je psána přehledně s minimem chyb. Grafická stránka disertace je na vysoké úrovni.

Dosažené výsledky jsou velmi pěkné, zde bych vyzvedl studium vlivu prostorového náboje na transportní vlastnosti detektorů.

K práci mám následující dotazy a připomínky:

1. Na straně čtyři je tvrzení: „This direct conversion allows faster operation and superior energy resolution than other radiation detectors like scintillators.“, které je podle mě sporné, proto při obhajobě disertační práce srovnajte jednotlivé typy detektorů ionizujícího záření co do rychlosti a rozlišení.

2. V disertaci jsou použity různé typy pohyblivosti (drift mobility, Hall mobility a mobility) můžete je definovat a diskutovat rozdíly mezi nimi?
3. Při řešení rovnic se často vyskytuje předpoklad konstantního vnitřního elektrického pole např. Hechtova rovnice 2.68, ale v reálném detektoru tato podmínka nebývá splněna, jak to ovlivní výsledek transportu náboje?
4. Při měření časové závislosti průchodu proudu v nanosekundové oblasti jsou pozorovány velmi silné oscilace (např. Fig. 5.1), které svědčí o špatném přizpůsobení elektrického obvodu. Lze zlepšit přizpůsobení elektrického obvodu, protože pro rychlé detektory to může být kritické.
5. V části 5.2 používáte výsledky měření Pockelsovou technikou, ale ve čtvrté kapitole není posána. Při obhajobě stručně popište tuto techniku.

**Disertační práce Jindřicha Pipka „Charge transport in semiconductors” splňuje požadavky kladené na disertační práci a prokazuje předpoklady autora k samostatné vědecké práci. Disertační práci doporučuji k obhajobě.**

V Praze dne 12. 9. 2023

Ing. Jiří Oswald CSc.  
Fyzikální ústav AV ČR v.v.i.