



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-18-0273

Radiačne odolnejší senzor pre RTG zobrazovanie vyššej kvality

Zodpovedný riešiteľ **doc. Ing. Andrea Šagátová, PhD.**

Príjemca

**Slovenská technická univerzita v Bratislave - Fakulta
elektrotechniky a informatiky**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

1. Ústav jadrového a fyzikálneho inžinierstva, Fakulty elektrotechniky a informačných technológií, Slovenskej technickej univerzity v Bratislave
2. Elektrotechnický ústav Slovenskej akadémie vied v Bratislave a detašované pracovisko v Piešťanoch

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. Advacam, U Pergamenky 12, 17000 Praha 7, Czech Republic

Udelené patenty/podané patentové prihlášky, vynálezy alebo úžitkové vzory, ktoré sú výsledkami projektu

nie

Najvýznamnejšie publikácie (knihy, články, prednášky, správy a pod.) zhrňujúce výsledky projektu – uveďte aj publikácie prijaté do tlače

- [1] ŠAGÁTOVÁ, A., ZAŤKO, B., NEČAS, V., FULOP, M.: Radiation hardness limits in gamma spectrometry of semi-insulating GaAs detectors irradiated by 5 MeV electrons. In Journal of Instrumentation (JINST 15), 2020 JINST 15 C01024, IF: 1.454
- [2] Zaťko, B., Šagátová, A., Zápražný, Z., Boháček, P., Sekáčová, M., Kováčová, E., Zemlička, J., Jakúbek, J., Korytár, D., Gál, N., Nečas, V.: Study of the contrast resolution of Timepix detector with a semi-insulating GaAs sensor. In Journal of Instrumentation (JINST 15), 2020 JINST 15 C04004, IF: 1.454
- [3] Zaťko, B., Hrubčín, L., Šagátová, A., Osvald, J., Boháček, P., Kováčová, E., Halahovets, Y., Rozov, S.V., and Sandukovskij, V.G.: The study of Schottky barrier detectors based on high quality 4H-SiC epitaxial layer with different thickness, Applied Surface Sci 536 (2021) 147801. IF:6.707
- [4] Šagátová, A., Kršjak, V., Sojak, S., Riabukhin, O., Kováčová, E., and Zaťko, B.: Semi-insulating GaAs detectors degraded by 8 MeV electrons up to 1500 kGy, J. Instrum. 16 (2021) C12032. IF: 1.415
- [5] Zápražný, Z., Zaťko, B., Korytár, D., Gál, J., Jergel, M., Halahovets, Y., and Ferrari, C.: Testing of thickness homogeneity of Si crystal membranes using GaAs Timepix detector, J. Instrument. 16 (2021) P06015. IF:1.415
- [6] Šagátová, A., Kováčová, E., Novák, A., Fulöp, M., and Zaťko, B.: Current-voltage characterization of GaAs detectors and their holders irradiated by high-energy electrons,

Applied Surface Sci 552 (2021) 149474. IF:6.707

[7] B. Zaťko, A. Šagátová, N. Gál, A. Novák, J. Osvald, P. Boháček, S. Polanský, J. Jakubek, E. Kováčová.: From a single silicon carbide detector to pixelated structure for radiation imaging camera. In Journal of Instrumentation, 2022, vol. 17, no. C12005. IF: 1.121 [8] Gál, N., Hrubčín, L., Šagátová, A., Vanko, G., Kováčová, E., Zaťko, B.: High-resolution alpha-particle detector based on Schottky barrier 4H-SiC detector operated at elevated temperatures up to 500 °C, In Applied Surface Science 635 (2023) 157708. IF: 6.7 [9] Novák, A., Granja, C., Šagátová, a., Zach V., Štursa J., Oancea C.: Spectral tracking of protons by the Timepix3 detector with GaAs, CdTe and Si sensors, In Journal of Instrumentation 18 (2023) C01022. IF: 1.121

Uplatnenie výsledkov projektu

Pixelové detektory na báze semiizolačného GaAs a epitaxne rasteného 4H-SiC sú využiteľné v mnohých oblastiach ako je materiálový výskum, kozmický výskum, časticová fyzika, radiačná bezpečnosť, diagnostika v medicíne a pod. Senzory na báze GaAs a najmä SiC sú vysoko radiačne odolné v porovnaní so štandardne využívanými Si a CdTe senzormi. SiC senzor je navyše schopný pracovať do vysokých teplôt (niekoľko sto stupňov Celzia) bez výraznej degradácie detekčných vlastností. Je vhodný najmä na prácu v extrémnom prostredí (vysoké teploty, vysoké intenzity radiačných polí). Ďalšou výhodou je jeho vysoká rýchlosť odozvy, ktorá súvisí s vysokými pracovnými napätiami, ktoré je možné na senzor pripojiť a jeho malou hrúbkou. Vďaka tomu sú SiC senzory vhodné pri časových experimentoch (tzv. tracking – sledovanie dráhy častíc). Výrazné uplatnenie je možné očakávať v spojení s novou generáciou pixelových vyčítavacích čipov umožňujúcich časové rozlíšenie 200 ps (napr. Timepix4 vyčítavací čip). Tu sa otvára množstvo aplikácií, kde je možné tieto senzory uplatniť.

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v slovenskom jazyku (max. 20 riadkov)

Hlavným cieľom projektu bolo skúmanie senzorov žiarenia na báze SiC a GaAs využiteľných pre vyčítavací čip Timepix3 a sledovať vlastnosti týchto pixelových detektorov, tzv. radiačných kamier. V rámci projektu sme pripravili viacero detekčných štruktúr na báze GaAs a SiC. Tieto štruktúry pozostávali z multi-pixelových senzorov a tiež jednotlivých tzv. single detektorov. Pri single detektoroch sme skúmali ich detekčné parametre v závislosti od pripojeného predpätia, teplotné závislosti a tiež ich radiačnú odolnosť. Ukázalo sa, že SiC detektory sú schopné pracovať až do 1000x vyššej radiačnej dávky ako štandardne využívané kremíkové detektory. Taktiež sú tieto detektory schopné pracovať pri teplote 500 °C bez výrazného zhoršenia detekčných parametrov.

V prípade pripravených multi-pixelových senzorov boli v rámci projektu získané nové originálne poznatky o technológii prípravy pixelových senzorov, kde sme zvládli prípravu pixelových senzorov na báze 4H-SiC aj ich funkčné pripojenie k vyčítavaciemu čipu Timepix3, čím sme ako prvý na svete vytvorili radiačné kamery s 4H-SiC senzorom. Ich experimentálne testovanie ukázalo porovnateľné výsledky ako majú kamery so štandardnými senzormi, avšak novo vyvinuté senzory sú schopné pracovať oveľa dlhšie v prostredí s vysokým radiačným zaťažením, a tiež pri zvýšenej teplote. Ďalej sme skúmali ich životnosť s využitím zrýchlenej degradácie s vysokou radiačnou dávkou. Využili sme simulačné metódy (SRIM) pri verifikácii experimentálnych výsledkov ako aj rôzne programové prostredia (Pixet, Clusterer, DPE) a programovacie jazyky (Python) pre vedecké spracovanie veľkého množstva experimentálnych dát typu matíc.

Ciele projektu sa podarili naplniť .

Súhrn výsledkov riešenia projektu a naplnenia cieľov projektu v anglickom jazyku (max. 20 riadkov)

The main objective of the project was to investigate radiation sensors based on SiC and GaAs usable for the Timepix3 readout chip and to evaluate the properties of these pixelated detectors, called radiation cameras. In the frame of the project, we have prepared several detection structures based on GaAs and SiC. These structures consisted of multi-pixel sensors and also single detectors. Single detectors were used for basic characterization of detection parameters depending on the applied bias, temperature and also for their radiation resistance studies. It has been shown that SiC detectors are capable of operating up to

1000-times higher radiation dose than standardly used silicon detectors. These detectors are also capable of operating at 500 °C without any significant deterioration their detection parameters.

In the case of prepared multi-pixel sensors, new original knowledge about the technology of preparation of pixel sensors was obtained, where we managed the preparation of multi-pixel sensors based on 4H-SiC, which were connected for the first time to the Timepix3 readout chip with proof of their functionality. By this fact, we have become the first in the world who prepared radiation camera with 4H-SiC sensor.

Their experimental testing showed comparable functionality to cameras with standard sensors, however, newly developed sensors are able to work much longer in environments with high radiation dose and also at elevated temperatures. Next, we investigated their lifespan using quicker degradation with a high radiation dose. During the project we have utilized simulations (SRIM) for experimental results verification and programmes (Pixet, Clusterer, DPE) and programming languages (Python) for scientific evaluation of large amount of experimental data of matrix type. The objectives of the project have been achieved.