



Záverečná karta projektu

Názov projektu

Evidenčné číslo projektu

APVV-18-0243

Výskum radiačne odolných polovodičových detektorov pre jadrovú energetiku

Zodpovedný riešiteľ **Mgr. Bohumír Zaťko, PhD.**

Príjemca **Elektrotechnický ústav SAV, v. v. i.**

Názov pracoviska, na ktorom bol projekt riešený

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

Názov a štát zahraničného pracoviska, ktoré spolupracovalo pri riešení

1. Spojené ústavy jadrového výskumu, Dubna, Ruská federácia

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

1. Podaná patentová prihláška v SR.

Podacie číslo: 1000039324

Číslo prihlášky: PP50017-2021

Dátum podania: 31.3.2021

Názov: Veľkoplošný detektor jadrových častíc a žiarenia s podložkou, spôsob jeho výroby a zapojenie obsahujúce veľkoplošný detektor.

Prihlasovateľ: Elektrotechnický ústav SAV, Bohumír Zaťko, František Dubecký

2. Podaná medzinárodná PCT prihláška:

Podacie číslo: 050004

Číslo prihlášky: PCT/SK2022/050004

Dátum podania: 21.3.2022

Názov: Large area detector of nuclear particles and ionizing radiation with its support, method of production and system comprising large area detector

Prihlasovateľ: Elektrotechnický ústav SAV, Bohumír Zaťko, František Dubecký.

3. Udelený úžitkový vzor.

Číslo prihlášky: 50028-2021

Dátum podania: 31.3.2021

Dátum zápisu: 9.2.2022

Úžitková vzor č: 9442

Názov: Veľkoplošný detektor jadrových častíc a žiarenia s podložkou, spôsob jeho výroby a zapojenie obsahujúce veľkoplošný detektor.

Prihlasovateľ: Elektrotechnický ústav SAV, Bohumír Zaťko, František Dubecký

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

1. A. Šagátová, B. Zaťko, V. Nečas, M. Fulop.: Radiation hardness limits in gamma spectrometry of semi-insulating GaAs detectors irradiated by 5 MeV electrons. In Journal of Instrumentation 2020 JINST 15 C01024 IF: 1.454
2. B. Zaťko, L. Hrubčín, A. Šagátová, J. Osvald, P. Boháček, E. Kováčová, Y. Halahovets, S. V. Rozov, V. G. Sandukovskij.: 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
3. A. Šagátová, V. Kršjak, S. Sojak, O. Riabukhin, E. Kováčová, B. Zaťko.: Semi-insulating GaAs detectors degraded by 8 MeV electrons up to 1500 kGy, J. Instrum. 16 (2021) C12032. IF: 1.415
4. A. Šagátová, E. Kováčová, A. Novák, M. Fulöp, B. Zaťko.: Current-voltage characterization of GaAs detectors and their holders irradiated by high-energy electrons, Applied Surface Sci 552 (2021) 149474. IF: 6.707
5. J. Osvald, L. Hrubčín, B. Zaťko.: Temperature dependence of electrical behaviour of inhomogeneous Ni/Au/4H-SiC Schottky diodes. Materials science in semiconductor processing, 2022, vol. 140, no. 106413. IF: 4.644
6. K. Sedláčková, B. Zaťko, A. Šagátová, V. Nečas.: Polarization effect of Schottky-barrier CdTe semiconductor detectors after electron irradiation. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A. Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, 2022, vol. 1027, no. 166282. IF: 1.335
7. A. Šagátová, N. Gál, A. Novák, S. Kotorová, O. Riabukhin, E. Kováčová, B. Zaťko.: GaAs radiation-degrade detectors: gamma spectrometry at lowered temperatures. Journal of Instrumentation, 2022, vol. 17, no. C12018. IF: 1.121
8. J. Osvald.: Intersection of 4H-SiC Schottky diodes I-V curves due to temperature dependent series resistance. Semiconductor Science and Technology, 2022, vol. 37, no. 125003. IF: 2.048

Uplatnenie výsledkov projektu

Detektory na báze semiizolačného GaAs a epitaxne rasteného 4H-SiC si nájdu uplatnenie v mnohých oblastiach ako je kozmický výskum, časticová fyzika, radiačná bezpečnosť, materiálový výskum a tiež zobrazovanie s využitím rôzneho typu žiarenia. Podľa typu aplikácie je možné tieto detektory následne optimalizovať. Semiizolačný GaAs je vysoko-radiačne odolný materiál vhodný najmä pre pixelové detektorové polia, ktoré sa využívajú pri zobrazovaní. Taktiež ich je možné využiť ako polohovo-citlivé stripové detektory. GaAs má dobrú citlivosť pre rtg a gama žiarenie, a preto sú tieto detektory vhodné pre rôzne zobrazovacie systémy. 4H-SiC detektory preukázali vysokú spektrometriu najmä pri detekcii nabitých častíc. Tieto detektory sú ešte radiačne odolnejšie ako GaAs a dokážu pracovať pri vysokých teplotách. Sú vhodné tiež pre spektrometriu a zobrazovanie pomocou neutrónov. Sú málo citlivé na rtg a gama žiarenie, čo je veľká výhoda pri detekcii neutrónov. Zobrazovanie pomocou neutrónov je doplnková metóda k rtg zobrazovaniu. Kombinácia týchto polovodičových detektorov do systému zobrazovania pomocou rtg a neutrónov je ideálna aplikácia pre nedeštruktívne testovanie rôznych typov materiálov a štruktúr.

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

Hlavným cieľom projektu bol návrh, realizácia a testovanie polovodičových detekčných štruktúr na báze semiizolačného GaAs a 4H-SiC. Počas riešenia projektu sme pripravili a optimalizovali viacero detekčných štruktúr, na ktorých boli testované ich elektrické a detekčné vlastnosti. Výsledkom bol a podaný patent a prijatý úžitkový vzor na prípravu veľkoplošných detektorov. Ďalším cieľom bolo testovanie radiačnej odolnosti pripravených detektorov a ich degradácia v závislosti od celkovej dávky, kde sme urobili porovnávaci výskum, v ktorom sme sledovali degradáciu nielen GaAs a SiC pripravených detektorov ale aj štandardne využívané Si a CdTe detektory. Tu sa ukázalo, že radiačná odolnosť GaAs a najmä SiC je v určitých prípadoch až 1000x vyššia. Ďalším cieľom bola simulácia elektrických a detekčných vlastností pripravených štruktúr, kde sme skúmali najmä elektrické parametre Schottkyho kontaktov, ktoré poukazujú na kvalitu detektora. Tu sme objavili aj určitú elektrickú anomáliu v správaní niektorých SiC detektorov. Pripustné charakteristiky merané pri rôznych teplotách sa pretínali v jednom konkrétnom bode, čo znamená, že pri určitom napätí bude diódou tiež rovnaký prúd nezávislý od teploty, čo by v

budúcnosti mohlo byť využité v určitých typoch elektrických obvodov. Posledným cieľom bolo štúdium amplitúdového deficitu pri detekcii ťažkých iónov. Tento efekt sme preskúmali a porovnali pre SiC a Si detektory. Plány pre meranie s GaAs detektormi nám prekazila vojna na Ukrajine. Taktiež sme skúmali 4H-SiC detektory pri zvýšených teplotách a optimalizovali sme štruktúry pre detekciu alfa častíc, ktoré sú schopné dlhodobo pracovať až do 500 °C len s minimálnym zhoršením detekčných vlastností.

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

The main objective of the project was the design, preparation, and testing of detector structures based on semi-insulating GaAs and 4H-SiC. Various detection structures were prepared and optimized during the project solution, and their electrical and detection properties were evaluated. As a result, a patent was applied, and a utility model was accepted for the preparation of large-scale detectors. Another goal was to test the radiation resistance of prepared detectors and their degradation depending on the total dose; we did a comparative study in which we utilized not only GaAs and SiC detectors but also the standard Si and CdTe ones. Here, it has been shown that the radiation hardness of GaAs and especially SiC is up to 1000 times higher in certain cases. Another goal was to simulate the electrical and detection properties of the prepared structures, where we tested electrical parameters of Schottky contacts, which indicate the quality of the detector. Here we also discovered a certain electrical anomaly in the behavior of some SiC detectors. The forward current-voltage characteristics measured at different temperatures are intersecting at a specific point, which means that at a certain voltage, the temperature-independent current is flowing through the diode, which could be used in electrical circuits in the future. The last goal was to study the amplitude defect in the detection of heavy ions. We examined and compared this effect for SiC and Si detectors. Plans for measurements with GaAs detectors were thwarted by the war in Ukraine. We also examined 4H-SiC detectors at elevated temperatures and optimized alpha particle detection structures that are capable of operating up to 500°C for a long time with only minimal degradation in detection properties.