

Warszawa, dnia 02.01.2025 r.

Prof. dr hab. inż. Sławomir Wronka
Narodowe Centrum Badań Jądrowych
Ul. A.Soltana 7
05-400 Otwock

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY DISCYPLINY NAUKOWEJ
AUTOMATYKA, ELEKTRONIKA, ELEKTROTECHNIKA I TECHNOLOGIE
KOSMICZNE POLITECHNIKI WROCŁAWSKIEJ**

Tytuł rozprawy: Wielokanałowy system pomiaru ładunków w zakresie femtokulombów do zastosowań w detektorach promieniowania rentgenowskiego.

Autor rozprawy: mgr inż. Michał Babij

Podstawą recenzji jest uchwała Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika, Elektrotechnika i Technologie Kosmiczne Politechniki Wrocławskiej z dnia 14 października 2024r. oraz pismo Przewodniczącego Rady z dnia 21 października 2024r. w tej sprawie.

Wstęp

Detektory promieniowania są urządzeniami, których konstrukcja i parametry są wciąż ulepszone pod kątem zastosowań badawczych oraz aplikacyjnych. Wymagają połączenia odpowiedniej konstrukcji mechanicznej oraz elektronicznych, często zaawansowanych, układów odczytu, zapisu i przetwarzania sygnałów w jeden działający system, u którego podstaw leży konieczność znajomości praw fizyki.

Pomimo niskiej wydajności kwantowej, gazowe detektory promieniowania, w tym obrazujące, są wciąż wykorzystywane, a w wielu zastosowaniach wprost niezastąpione.

Autor rozprawy przedstawił wyniki badań elektronicznych układów rejestracji ładunków, jednak ich testy wymagały de facto zbudowania całych, kompletnych detektorów promieniowania opartych o folie GEM, z funkcją obrazowania w zakresie promieniowania rentgenowskiego.

Ocena formalna pracy

Przedłożoną do recenzji rozprawę stanowi spójny tematycznie zbiór sześciu publikacji oraz opracowanie będące komentarzem Autora, przewodnikiem i uzupełnieniem informacji

zawartych w artykułach naukowych. Ma ono zwartą formę, liczącą 86 stron opisu, bibliografię, kopie opublikowanych prac oraz oświadczenia współautorów. W pięciu rozdziałach Doktorant zawarł: cel i zakres pracy, przegląd stosowanych gazowych detektorów cząstek opartych o mikrostruktury, opis opracowanych układów, omówienie i podsumowanie wyników oraz wniosek Autora.

Z uwagi na fakt, iż jeden z sześciu zgłoszonych artykułów wciąż ma status „wysłanego”, ale nawet nie „zaakceptowanego”, z powodów formalnych pod uwagę biorę pięć artykułów, tj.:

- 1) M. Babij, P. Bielówka, S. Gburek, K. Malecha „A Segmental 2D Readout Board Manufactured in Printed Circuit Board Technology for Gas Electron Multiplier Detectors”, *Sensors* 2023, 23(19), udział Autora 80%, IF 3,4
- 2) P. Bielówka, M. Babij, A. Dąbrowski, K. Malecha „The application of Low-Temperature Cofired Ceramics technology in Gas Electron Multiplier microstructures”, *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, Volume 1047, 2023, udział Autora 25%, IF 1,5
- 3) M. Babij, P. Bielówka, A. Dąbrowski, W. Nawrot, M. Czok, K. Malecha, „Manufacturing of a 70 × 70 mm² LTCC strip electrode readout for Gas Electron Multiplier detectors”, *Sensors and Actuators A: Physical*, Volume 342, 2022, 113656, udział Autora 55%, IF 4,1
- 4) A. Ahmed, A. Kumar, Md. Naimuddin, M. Babij, P. Bielowka „The qualification of GEM detector and its application to imaging”, *Journal of Instrumentation*, Volume 17, 2022, udział Autora 20%, IF 1,3
- 5) A. Dąbrowski, W. Nawrot, M. Czok, N. Babij, P. Bielówka, K. Malecha „LTCC Strip Electrode Arrays for Gas Electron Multiplier Detectors”, *Sensors* 2022, 22(2), 623, udział Autora 40%, IF 3,4

Nazwisko Autora pojawia się na pierwszym miejscu w dwóch pozycjach, natomiast ma on istotny i potwierdzony wkład we wszystkich artykułach. Obecność współautorów potwierdza umiejętność pracy Doktoranta w zespołach badawczych.

Artykuł szósty traktuję zaś jako materiał nowy, nie recenzowany i oceniam jego treść zgodnie z komunikatem nr 19/2020 Rady Doskonałości Naukowej.

Ocena merytoryczna pracy

Jasno sprecyzowanym w rozprawie celem doktoranta było opracowanie konstrukcji i technologii wytwarzania miniaturowych, wielokanałowych systemów pomiaru ładunku oraz płyt odczytu do zastosowań w detektorach strukturyzowanych np. typu GEM. Temat ten jest aktualny i ważny, z dużym potencjałem komercjalizacyjnym, a przedstawiona praca ma charakter doświadczalny. Opisane detektory mogą być wykorzystane m.in. w misjach kosmicznych.

Autor starał się wariantowo opracować układ o jak najlepszych parametrach, a niejako równolegle – o akceptowalnych parametrach przy niskich kosztach i wysokiej dostępności. W efekcie powstały płyty oparte o niskotemperaturową ceramikę współwypalaną (LTTC) oraz klasyczny laminat FR4.

Rozdział drugi rozprawy przedstawia dobrze opracowane kompendium wiedzy o mikro-strukturyzowanych detektorach gazowych (MPGD), w szczególności w zakresie praktycznych aspektów wykorzystania i uzyskiwanych parametrów, typowych płyt odczytu, a także przegląd literaturowy elektronicznych układów pomiaru ładunków w detektorach GEM. Poruszone zagadnienia znalazły właściwe umocowanie w przytoczonej literaturze, z uwzględnieniem najnowszej światowej wiedzy w wymaganym zakresie.

W rozdziale trzecim i czwartym Autor przybliży szczegółowo i wyczerpująco sposób opracowania elektronicznego układu pomiaru ładunku oraz płyt odczytu. Zakres i szczegółowość opisu wszystkich niuansów projektowych, technicznych i pomiarowych potwierdzają samodzielność wykonanych prac oraz istotny deklarowany udział procentowy w przedstawionych publikacjach. W przeprowadzonych badaniach Doktorant przyjął prawidłowe założenia projektowe oraz pokonał napotkane problemy techniczne i technologiczne. Scenariusze eksperymentów zostały logicznie i właściwie dobrane. Pozytywną weryfikacją i walidacją przeprowadzonych prac eksperymentalno-badawczych są zrekonstruowane obrazy rentgenowskie uzyskane z kompletnych detektorów GEM. Czasy uzyskiwania obrazów są długie, ale są to detektory do zastosowań z nisko-wydajnymi źródłami.

Chociaż przedstawione artykuły przeszły już surowy proces oceny i recenzji proszę Doktoranta o ustosunkowanie się do czterech zagadnień:

- z czego wynika wzrost a następnie spadek szumów systemu mierzącego ładunki w okolicy kanału 112 (Rys. 3.17) ?
- jaka jest rozdzielczość rzeczywista detektorów mierzona klasycznymi metodami oceny radiogramów (wskaźniki pręcikowe lub otworkowe) ?
- jaki jest możliwy zakres pomiaru ładunku (patrz tytuł rozprawy: „w zakresie femtokulombów”) ?
- czy i jak wykorzystać można opracowany układ odczytu do pomiarów XRF, co Autor wskazuje jako dodatkowy atut (str. 60) ?

Uwagi redakcyjne

W przedstawionym opracowaniu mgr. inż. Michał Babij nie ustrzegł się od zaskakująco dużej liczby błędów językowych i edytorskich, których przykłady przytaczam z obowiązku recenzenta:

- powszechnie występujące tzw. „sieroty”, czyli pojedyncze spójniki lub przymyki na końcu wiersza, praktycznie w całej pracy
- używanie słowa „ilość” zamiast liczba (np. str. 50 – ilość rezystorów)
- liczne błędy interpunkcyjne
- stosowanie przecinków na początku wiersza (str. 43)
- wykorzystywanie losowo kursywy do oznaczania jednostek (np. mm)
- cudzysłów w wersji angielskiej – tzn. rozpoczynający się i kończący na górze
- cudzysłów bez zamknięcia (str. 56)
- skróty w bibliografii pisane małą literą – np. gem, ltcc, tpc
- wykorzystywanie potocznego wyrażenia „obróbka” zamiast „przetwarzanie” danych (str. 49, 51)

- pozostawiony znak zapytania zamiast odniesienia do pozycji w bibliografii (str. 33) – powinno być zapewne [81] ?
- nieczytelne rysunki 2.1 i 3.7
- „położona i spozycjonowany szablon” – str. 52.
- „ih” zamiast „ich” na str. 50

Pomimo przytoczonych uwag rozprawa napisana jest zrozumiale, czytelnie, a zamieszczone tabele i rysunki są adekwatne do treści. Nie mam również zastrzeżeń do struktury pracy. Rozprawę jako całość oceniam pozytywnie.

Podsumowanie:

Przedstawiona do recenzji rozprawa mgr inż. Michała Babija spełnia wymagania formalne przepisów o rozprawach doktorskich zgodnie ustawą z dnia 20 lipca 2018 roku Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z.2023 r. poz. 742 ze zm.), wnioskuję o dopuszczenie Doktoranta do publicznej obrony.

