

Streszczenie:

Krzemowe detektory od kilku już dekad stanowią kluczowy element infrastruktury badawczej w fizyce wysokich energii i w zastosowaniach medycznych. Precyzyjne pomiary torów cząstek z użyciem detektorów śladowych oraz czasu życia hadronów wymagają znakomitej zdolności rozdzielczej zarówno przestrzennej, jak i czasowej. Nowa generacja eksperymentów, a w szczególności modernizacja Wielkiego Zderzacza Hadronów (High-Lumi LHC) oraz eksperymenty na akceleratorze Elektronowo-Jonowym (EIC), stawiają rygorystyczne wymagania wobec technologii detekcyjnych. Obejmują one osiągnięcie rozdzielczości czasowej poniżej 50 ps, wysokiej rozdzielczości przestrzennej oraz wysokiej odporności na uszkodzenia radiacyjne — przy jednoczesnej integracji tych parametrów w ramach stosunkowo łatwo dostępnej technologii.

Przedmiotem niniejszej pracy jest rozwój oraz kompleksowa charakteryzacja detektorów lawinowych o niskim wzmocnieniu (Low-Gain Avalanche Detectors, LGAD), przeznaczonych do pracy w środowiskach radiacyjnych o wysokich fluencjach. Ze względu na globalny charakter prowadzonych badań, działania realizowano w ścisłej współpracy z międzynarodowymi ośrodkami naukowymi oraz wyspecjalizowanymi fabrykami półprzewodników, co umożliwiło wspólne projektowanie, wytwarzanie i testowanie opracowywanych struktur detekcyjnych.

W pracy przeprowadzono systematyczne badania odporności radiacyjnej oraz parametrów czasowych detektorów LGAD o różnej grubości i odmiennych strukturach. Szczególną uwagę poświęcono zagadnieniu zwiększenia gradualności oraz maksymalizacji współczynnika wypełnienia w pikselowych detektorach, co stanowi jedno z kluczowych wyzwań współczesnej mikroelektroniki detekcyjnej. W tym kontekście opracowano oraz poddano analizie detektory Trench-Isolated LGAD, stanowiące strategię segmentacji kompatybilną z architekturami odczytowymi Timepix oraz Medipix. Optymalizacja współczynnika wypełnienia została przeanalizowana zarówno dla cząstek o wysokiej, jak i niskiej zdolności penetracji, z uwzględnieniem niejednorodności pola elektrycznego, efektywności multiplikacji ładunku oraz skuteczności separacji pola między pikselami.

W perspektywie przyszłych infrastruktur badawczych, takich jak Future Circular Collider (FCC), w których przewidywane poziomy fluencji przekroczą wartości charakterystyczne dla HL-LHC, szczególnego znaczenia nabierają detektory 3D, uznawane za technologię o podwyższonej odporności radiacyjnej. W niniejszej pracy dokonano oceny ich właściwości czasowych w kontekście zastosowań do rozróżnienia czasu, w którym cząstki docierają do sensorów, wykorzystując dwustronny proces technologiczny oraz analizując różnorodne geometrie pikseli.

Całość przeprowadzonych badań obejmuje projektowanie i symulacje numeryczne struktur półprzewodnikowych, ich wytwarzanie w różnych wariantach technologicznych, a także szczegółową charakteryzację elektryczną, jak również odpowiedź na wzbudzenie laserem. Opracowane konfiguracje detektorów zostały zoptymalizowane pod kątem specyficznych zastosowań zarówno w fizyce wysokich, jak i niskich energii, stanowiąc wkład w rozwój nowej generacji szybkich i odpornych radiacyjnie systemów detekcyjnych.