

## **Development of monolithic pixel detectors**

Głównym celem przedstawionej pracy były badania możliwości oferowanych przez technologię Lapis 200 nm SOI (Silicon-On-Insulator) w kontekście jej wykorzystania do produkcji monolitycznych pikselowych detektorów promieniowania jonizującego. Istotą tego rozwiązania jest wykorzystanie wafla krzemowego, który zawiera cienką warstwę krzemu dedykowaną pod elektronikę, oddzieloną izolatorem od podłoża. Podłoże, które może być wykonane z użyciem wysoko-rezystywnego krzemu, stanowi zarazem element detekcyjny. Przeprowadzone badania miały na celu poszerzenie obecnej wiedzy na temat zachowania detektorów wyprodukowanych w technologii SOI, poprzez badanie właściwości wyprodukowanych prototypów jak i projektowanie nowych.

Prace badawcze rozpoczęły się od pomiarów detektorów z rodziny INTPIX6. Są to wielkopowierzchniowe detektory pikselowe pracujące w trybie całkującym, odpowiednie do zastosowań w obrazowaniu. Są one rozwijane przez japońską grupę naukowców z KEK (The High Energy Accelerator Research Organization) w Tsukubie. Pomiary kilku prototypów wyprodukowanych z wykorzystaniem różnych podłoży pokazały, że detektory te charakteryzują się wysoką rozdzielczością energetyczną, potwierdzoną przez ekwiwalentny ładunek szumowy (ENC) na poziomie  $70 e^-$ . Wyniki pomiarów wskazują również na ich wysokie predyspozycje do wykorzystania w obrazowaniu. Bez trudu rekonstruowały one detale fotografowanych struktur o rozmiarach rzędu  $100 \mu\text{m}$ . Badania prowadzone z wykorzystaniem tych detektorów pokazały także największą słabość technologii SOI, jaką niewątpliwie jest słaba odporność radiacyjna. Jeden z prototypów napromieniowany został dawką około 60 krad, a jego właściwości zaczęły się znacząco pogarszać już po przekroczeniu 25 krad.

Dalsze badania dotyczyły nie tylko pomiarów kolejnych prototypów detektorów, lecz także ich projektowania oraz przygotowywania dedykowanej infrastruktury pomiarowej. Krakowska grupa, w której skład wchodzi autor niniejszej pracy, przygotowała kilka własnych prototypów, z których dwa najbardziej znaczące w kontekście tematyki tej pracy zostały szczegółowo przedstawione.

Pierwszym z nich jest detektor, którego projekt miał na celu zaznajomienie się z technologią Lapis 200 nm SOI CMOS oraz przetestowanie różnych architektur odczytu detektora oraz geometrii sensorów. Szczegółowe pomiary tego detektora przeprowadzone z wykorzystaniem różnych typów promieniowania jonizującego (począwszy od miękkiego promieniowania X aż po cząstki minimalnie jonizujące) pozwoliły na jego pełną charakteryzację. Przeprowadzone badania dotyczyły również porównania działania prototypów wyprodukowanych na różnych podłożach, czyli standardowej struktury SOI oraz jej modyfikacji zwanej Double SOI. Analiza zebranych danych wskazała na silną zależność pomiędzy zachowaniem elektroniki odczytu, a użytym podłożem, jak i geometrią sensora. Zebrane informacje pozwoliły na wypracowanie szeregu rozwiązań mających na celu zminimalizowanie negatywnego

wpływu sensora na elektronikę. Wyniki pomiarów wskazują, że zaproponowany detektor cechuje się rozdzielczością energetyczną wyrażoną ekwiwalentnym ładunkiem szumowym na poziomie  $100 e^-$ . Jego szczególną zaletą jest znakomita rozdzielczość przestrzenna, sięgająca  $2.1 \mu\text{m}$  przy rozmiarach piksela  $30 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$ .

Kolejnym z przedstawionych układów jest detektor pikselowy o nazwie CLIPS (CLIC pixel SOI), który zaprojektowany został z myślą o potencjalnym wykorzystaniu w układzie detekcji wierzchołka w przyszłym zderzacz liniowym CLIC. W tym wypadku wymagane było przygotowanie detektora potrafiącego nie tylko precyzyjnie wyznaczyć pozycję przechodzącej cząstki, ale także czas jej przybycia. Detektor został już wyprodukowany i obecnie przygotowany jest dedykowany układ pomiarowy, który pozwoli na rozpoczęcie pomiarów. Niemniej jednak, wyniki symulacji wskazują na to, że można oczekiwać rozdzielczości przestrzennej poniżej  $3 \mu\text{m}$  i dokładności pomiaru czasu rzędu pojedynczych nanosekund, uwzględniając pocienienie detektora do  $150 \mu\text{m}$ .

Wyniki pomiarów oraz symulacji prezentowanych w niniejszej pracy pozwoliły uzyskać szeroki wgląd w potencjał technologii SOI w kontekście zastosowania jej do produkcji monolitycznych detektorów pikselowych. Przeprowadzone badania wskazują jednoznacznie na wysoki potencjał użytej technologii zarówno dla eksperymentów fizyki wysokich energii, jak i dla zastosowań w obrazowaniu.