

Głównym celem projektu badawczego dotyczy detekcji bardzo małych natężeń światła, tzn. pomiarów najmniejszych wielkości światła tj. pojedynczych fotonów. Badania dotyczące poszukiwania metod detekcji pojedynczych fotonów zyskały duże zainteresowanie dzięki pracom opisanym przez Alberta Einsteina na temat tzw. efektu fotoelektrycznego. Efekt ten dotyczy obserwacji zjawiska, gdzie metale, na które padała wiązka światła emitowały elektrony, nazwane później fotoelektronami. Zjawisko to stało się od tego przedmiotem badań fizyki i chemii kwantowej oraz elektrochemii. Detekcja pojedynczych fotonów była problematyczna ze względu na fakt, iż pojedynczy foton padający na powierzchnię metalu emitował pojedynczą parę elektron-dziura. Jest to zbyt mały ładunek by mógł on zostać zmierzony. Jednak po latach badań opracowano metodę wykrywania pojedynczych fotonów przy użyciu tzw. fotopowielaczy lampowych (PMT). Detektory te funkcjonowały w bardzo dużych polach elektrycznych (napięcia powyżej 1kV). Pojedyncza para elektron-dziura pojawiająca się wskutek efektu fotoelektrycznego zostawała przybieżona w silnym polu elektrycznym i była skierowywana na zestaw metalowych płytek zwanych dynodami. Zderzenie elektronu z dynodą powodowało wybijanie kolejnych par elektron-dziura. Przy wielokrotnych zderzeniach wiązka elektronowa została zwielokrotniona. Po przejściu wiązki przez cały detektor z jednego elektronu powstałego w konsekwencji efektu fotoelektrycznego otrzymywanych było 100 milionów elektronów. Wzmocnienie detektora było więc na poziomie 10 milionów. Wadami PMT były duże rozmiary, wysokie napięcia polaryzacji (>1kV), wrażliwość na oddziaływania magnetyczne oraz niską wytrzymałość mechaniczną. Do niedawna PMT był jedynym detektorem wykorzystywanym do pomiaru pojedynczych fotonów. W późnych latach 90. XX wieku zbudowany został nowoczesny detektor – krzemowy fotopowielacz (SiPM), który odmienił tę sytuację. SiPM to urządzenie półprzewodnikowe, budowane z matrycy równoległych połączonych fotodiod. Każda element matrycy składa się z fotodiody i rezystora tłumiącego, który ogranicza prąd płynący przez diodę. Kiedy SiPM jest spolaryzowany napięciem przekraczającym napięcie przebicia (tryb Geigera), typowe wzmocnienie detektora zawiera się w przedziale od 10^5 do 10^6 (porównywalnie z PMT). Pojedynczy foton padający na fotodiodę wskutek efektu fotoelektrycznego generuje parę elektron-dziura. Para ta zostaje przybieżona w polu elektrycznym, dzięki przyłożonemu napięciu oraz odpowiedniemu domieszkowaniu struktury detektora. Osiągając duże prędkości zderza się ze strukturą detektora wybijając z niej kolejne pary elektron-dziura. W ten sposób następuje zwielokrotnienie się strumienia elektronów. Dzięki odpowiedniej polaryzacji (tryb Geigera) powielanie jest zawsze identyczne, tzn. powstaje tyle samo par elektron-dziura i tak paczki nazywamy lawiną. Każda foton może być źródłem powstania lawiny w pojedynczej komórce matrycy i dzięki zastosowaniu pierścieni izolujących lawina nie rozprzestrzenia się poza tę komórkę. Każda lawina reprezentuje ten sam ładunek. Sygnał wyjściowy SiPM to suma sygnałów z wszystkich komórek matrycy, w związku z czym sygnał wyjściowy jest proporcjonalny do liczby lawin oraz do natężenia światła padającego na detektor. Jest to sygnał dyskretny. Głównymi zaletami SiPM w odniesieniu do PMT są: mały rozmiar, duża czułość pomiarowa, niskie zużycie energii, niskie napięcie polaryzacji (poniżej 100V), odporność na oddziaływania magnetyczne oraz mechaniczne. Celem projektu jest wykorzystanie krzemowych fotopowielaczy do pomiarów pojedynczych fotonów. Detektory te stają się coraz bardziej popularne w dziedzinach detekcji światła. Jednak modele samych detektorów oraz metody pomiarów z ich zastosowaniem są wciąż udoskonalane i rozwijane. Projekt skupiony jest na jednej z głównych wad SiPM czyli silnej podatności na oddziaływania temperatury. Gdy temperatura ulega zmianie, wzmocnienie detektora również fluktuuje. Wpływa to bardzo negatywnie na czułość i precyzję pomiarów, zwłaszcza w pomiarach pojedynczych fotonów, gdzie parametry układu detekcji powinny pozostawać niezmiennie podczas trwania badań. Ten niechciany wpływ może ulec redukcji poprzez wprowadzenie modułów Peltiera, które regulują temperaturę. Jest to jednak związane z dodatkowymi kosztami systemu pomiarowego, dodatkowym sterowaniem, okablowaniem samych modułów. Może to być dopuszczalne w przypadku systemów pomiarowych z pojedynczymi detektorami. Jednak w wielokanałowych systemach z wieloma detektorami istnieje potrzeba znalezienia innego rozwiązania. Napięcie polaryzacji detektora również ma duży wpływ na wartość jego wzmocnienia. Obie zależności mogą być wykorzystane w taki sposób aby wpływ temperatury był kompensowany przez regulację napięcia polaryzacji SiPM. W rezultacie wzmocnienie detektora zostanie ustabilizowane. Kolejnym celem projektu jest stworzenie systemu pomiarowego do detekcji sygnałów z krzemowych fotopowielaczy. Detektory nie mogą być używane samodzielnie ze względu na małe amplitudy ich sygnałów. Dlatego istnieje potrzeba zaprojektowania dedykowanych układów scalonych front-end, które wzmocnią i przekonwertują sygnały z krzemowych fotopowielaczy. Wykonanie szybkiego układu elektronicznego do pomiarów wielkości fizycznych związanych z detekcją fotonów, takich jak amplituda czy czas wymagają sprostania wielu naukowym wyzwaniom. Ostatecznym aspektem projektu jest weryfikacja skuteczności proponowanych metod detekcji pojedynczych fotonów zarówno w kwestii stabilizacji wzmocnienia jak i zaprojektowanych układów front-end. Weryfikacja zostanie przeprowadzona podczas pomiarów fluorescencji biomarkerów. Fluorescencja jest zjawiskiem, gdzie substancja, która pochłonięła światło o określonej długości fali, w chwili potem emituje światło o innej długości fali. Mierząc natężenie emitowanego światła można określić objętość substancji biorącej udział w zjawisku. Substancja jest określana jako barwnik fluorescencyjny i może zostać połączona np. z przeciwciałem odpowiadającym wybranemu enzymowi. W ten sposób możliwe jest pomiar ilości tego enzymu. Przykłady możliwości zastosowania systemu pomiarowego: detekcja cząstek w eksperymentach fizyki wysokich energii; wykrywanie bardzo małych próbek DNA z plamy krwi, skrawków tkanek; badanie bioluminescencji substancji występujących naturalnie w roślinach; oznaczanie enzymów działających jako aktywatory w reakcji chemicznej; oddziaływanie substancji w komórkach; monitorowanie aktywne białka w żywych komórkach; badania genów in vivo; korzystanie z różnych bioluminescencyjnych markerów (np. choroby zakaźne); oznaczanie antygenów, przeciwciał lub cząstek w układzie odpornościowym; monitorowanie procesów biotechnologicznych, badania kwasów nukleinowych; badanie próbek żywności; ochrona środowiska (np. badanie wody); testy HIV, zapalenia w trocyty, pewnych hormonów, enzymów, bakterii.

Zaprojektowane układy scalone będą mogły zostać wykorzystane w badaniach bardzo małych natężeń światła. Można będzie budować aplikacje o bardzo dużej czułości pomiarowej. Zaimplementowany algorytm stabilizacji wzmocnienia będzie szczególnie atrakcyjny w badaniach z wykorzystaniem dużej liczby detektorów, gdzie utrzymywanie temperatury wszystkich detektorów na stałym poziomie jest często bardzo trudne. Do badań tych można zaliczyć m.in. eksperymenty fizyczne z systemami wyposażonymi w scyntylatory, aplikacje z detektorami do badań promieniowania Cherenkova, systemy typu PET. Prowadzone prace będą miały również ogromny wpływ na badania luminescencji, z wyszczególnieniem badań fluorescencji biomarkerów w układach mikroprzepływowych, które będą prowadzone w ramach projektu. Uniwersalność metody może pozwolić na dostosowanie jej do pomiarów dowolnych substancji. Opracowanie metody pomiarowej wykonanej na bardzo precyzyjnych, ale niedrogich krzemowych fotopowielaczach może przyczynić się do zwiększenia dostępnosci tego typu badań dla innych odcinków

naukowych, co ma szansę zaowocować nowymi odkryciami z dziedziny medycyny i biochemii.