

Prof. dr hab. Zygmunt Ciota

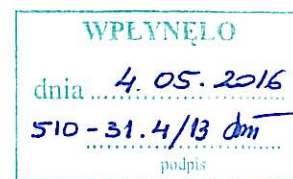
tytuł, stopień, imię i nazwisko

Łódź, dn. .21.04.2016 r.

data

Katedra Mikroelektroniki i Technik Informatycznych
Politechnika Łódzka

miejsce pracy



**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ
DLA RADY WYDZIAŁU ELEKTROTECHNIKI, AUTOMATYKI,
INFORMATYKI I INŻYNIERII BIOMEDYCZNEJ
AKADEMII GÓRNICZO-HUTNICZEJ**

Tytuł rozprawy: **“Modułowy system do obrazowania z wykorzystaniem promieniowania X pracujący w trybie zliczania pojedynczych fotonów”**

Autor rozprawy: **mgr inż. Jacek Rauza**

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora?

Rozprawa dotyczy bardzo ważnej dziedziny współczesnej mikroelektroniki, obejmującej wybrane zagadnienia technologii hybrydowych w realizacji układów analogowo-cyfrowych. Doktorant zajął się metodami analizy, efektywnego projektowania i weryfikacji scalonych struktur czujników promieniowania X zapewniających poprawne działanie kamer rentgenowskich. Dokładność proponowanych rozwiązań, bazujących na metodzie zliczania fotonów z uwzględnieniem występowania uszkodzonych pikseli i w obecności szumów, została zweryfikowana na podstawie pomiarów laboratoryjnych krzemowych struktur prototypowych. Dodatkową trudnością, którą należało pokonać w pracy, są niekompletne zestawy komponentów analogowych w bibliotekach współczesnych technologii CMOS. Autor skoncentrował się na zapewnieniu jak największej powierzchni matrycy odczytowej przy jednoczesnej minimalizacji powierzchni pojedynczych pikseli, poprzez zastosowanie technologii hybrydowej.

W pracy nie sformułowano tez, natomiast przedstawiono jasny cel rozprawy:

„Celem autora niniejszej rozprawy doktorskiej jest budowa prototypu szybkiej, cyfrowej kamery promieniowania X, bazującej na hybrydowych detektorach pikselowych, pracujących w trybie zliczania pojedynczych impulsów. Ze względu na pożądane szerokie spektrum potencjalnych zastosowań, kamera powinna mieć budowę modułową, a wypracowane rozwiązania, dotyczące sterowania i komunikacji z układem scalonym do odczytu detektorów pikselowych, mają umożliwić stosunkowo łatwe konfigurowanie kamery i jej pracę w różnych trybach.”

Weryfikacja topografii analogowego układu scalonego pod kątem dokładności i szybkości działania już na etapie projektowania, znakomicie skraca i upraszcza proces jego realizacji, zmniejszając liczbę prototypów i badań laboratoryjnych niezbędnych do uzyskania wysokiej jakości produktu finalnego.

Doktorant aktywnie uczestniczył w procesie projektowania matryc detektorów promieniowania X, zbudował stanowiska laboratoryjne do ich badania, oraz opracował dedykowany szybki procesor programowy zaimplementowany jako kontroler układów scalonych UFXC. Opracowane rozwiązania zapewniają wszechstronną analizę hybrydowych układów scalonych wspomagając znacząco proces projektowania kamer rejestrujących obrazy rentgenowskie. Prezentowana problematyka badań określa zatem nowe i oryginalne zagadnienie naukowe, rozwijając dziedzinę analizy i projektowania współczesnych mikrosystemów hybrydowych.

2. Jaki charakter ma rozprawa /teoretyczny, doświadczalny, konstrukcyjny/?

Praca ma charakter teoretyczno-doświadczalny. Opracowano narzędzia wspomagające komercyjne środowiska do projektowania układów hybrydowych, szczególnie przydatne do realizacji czujników promieniowania rentgenowskiego. Zaproponowane podejście zostało pozytywnie zweryfikowane w badaniach laboratoryjnych scalonych i hybrydowych układów prototypowych.

3. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł /w tym literatury światowej i stanu zagadnień w przemyśle/ świadczącej o dostatecznej wiedzy autora. Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Bogata i dobrze dobrana bibliografia świadczy o bardzo dobrej znajomości tematyki. Przeprowadzona została obszerna analiza porównawcza najważniejszych metod projektowania kamer detektorów promieniowania X.

4. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione ?

Cel pracy postawiony w rozdziale wstępnym został osiągnięty. Autor opracował własne oryginalne algorytmy projektowania i weryfikacji analizowanych w pracy układów.

W krótkim drugim rozdziale przedstawiono porównanie dwóch głównych grup detektorów promieniowania: integracyjnych oraz zliczających fotony. Rozdział trzeci zawiera informacje o istniejących kamerach promieniowania X bazujących na metodzie zliczania poszczególnych fotonów, przy czym szczególną uwagę zwrócono na szybkość odczytu i przetwarzania danych pochodzących z matryc, oraz opisano zalety i wady łączenia pojedynczych matryc scalonych w celu uzyskania większej powierzchni obrazowania.

Krótki lecz ważny czwarty rozdział poświęcono na scharakteryzowanie matrycy UFXC, zaprojektowanej w zespole w którym pracuje Doktorant i która została wykorzystana w niniejszej pracy doktorskiej przy budowie kamery. Obszerny piąty rozdział przedstawia stanowiska pomiarowe, opis procedur testowych, charakteryzuje zastosowane wektory testowe oraz prezentuje wyniki badań laboratoryjnych. W rozdziale szóstym opisano strukturę kamery promieniowania X z wykorzystaniem układów scalonych UFXC. Szczególną uwagę zwrócono na system zasilania, ze względu na dużą liczbę różnych napięć

niezbędnych do zasilania poszczególnych modułów oraz konieczność minimalizacji szumów.

Jednym z najważniejszych rozdziałów rozprawy jest rozdział siódmy, w którym przedstawiono autorski dedykowany procesor programowy do generowania sygnałów sterujących układami scalonymi. Po analizie innych możliwych rozwiązań wykorzystujących gotowe cyfrowe karty wejścia/wyjścia lub mikroprocesory, zdecydowano się na realizację programową, której głównymi zaletami są niska cena, małe wymiary oraz wystarczająco duża częstotliwość pracy. Zwrócono szczególną uwagę na zapewnienie synchronizacji za pomocą sygnałów zewnętrznych, jak również na możliwość sterowania dwoma układami scalonymi, połączonymi w jedną matrycę, z możliwością dalszego powiększania matrycy-detektora promieniowania X.

Kolejny ósmy rozdział zawiera testy opracowanego prototypu kamery. Po opisie budowy stanowiska pomiarowego z wykorzystaniem lampy rentgenowskiej, przedstawiono obszernie wyniki testów. Porównano charakterystyki pojedynczych pikseli matrycy uwzględniając rozrzuty stałych poziomów, zakres regulacji wzmocnienia i wpływ szumów. Następnie przedstawiono opracowane metody wykrywania wadliwych pikseli w matrycach wstępnie zakwalifikowanych do dokładnych testów. Ostatnia część rozdziału 8 opisuje metody pomiaru i analizy przykładowych obrazów dla dwóch trybów pracy: standardowego i ciągłego. Pracę kończy podsumowanie oraz wykaz literatury.

5. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?

Za oryginalne osiągnięcie Autora należy uznać przede wszystkim opracowanie nowej metody budowy szybkich kamer działających na zasadzie zliczania pojedynczych fotonów i rejestrujących obrazy w technice rentgenowskiej, oraz budowę poprawnie działającego prototypu.

Na szczególną uwagę zasługuje autorska koncepcja i realizacja dedykowanego procesora programowego do zarządzania sekwencjami sterującymi układu scalonego UFXC. Udało się uzyskać pełną funkcjonalność procesora przy ograniczeniu liczby instrukcji assemblera do 15 oraz zachować dużą szybkość działania poprzez minimalizację długości kodu programu.

Opracowanie modułowej architektury kamery promieniowania X pozwala na stosunkowo łatwą rozbudowę i powiększanie matryc-detektorów poprzez implementację dodatkowych układów scalonych. Należy tu jeszcze zwrócić uwagę na przeprowadzenie przez Doktoranta pozytywnych testów połączeń pionowych typu TSV (Through Silicon Via), które pozwolą na znaczne zmniejszenie stref martwych w przypadku konieczności implementacji dużych matryc.

Nie bez znaczenia są też prace przygotowawcze umożliwiające prowadzenia kompleksowych testów dotyczące uzysku i jakości. Doktorant, w ramach procedur testowych układu scalonego UFXC, zaprojektował dedykowaną kartę pomiarową do testowania płytek krzemowych z modułem pomiarowych elektrod ostrzowych, o minimalnej ingerencji w strukturę padów, które po pomyślnym przejściu procedur testowych, muszą być połączone z wyjściami układów scalonych metodą termokompresji. Ponadto, zbudował stanowiska pomiarowe do półautomatycznego testowania układów UFXC i brał udział w pomiarach laboratoryjnych prototypowych struktur scalonych oraz testowaniu prototypu kamery.

6. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych wyników /zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy/?

Plan rozprawy przedstawiony we wstępie został w pełni zrealizowany. Wnioski wynikające z przeprowadzonego rozumowania są zwięzłe i jasne. Niewielka ilość błędów, głównie edytorskich, nie ma istotnego wpływu na jakość pracy.

7. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

W rozdziale trzecim przedstawiono przykładowe kamery promieniowania X pracujące w trybie zliczania pojedynczych fotonów, natomiast zdecydowanie zabrakło podsumowania tego rozdziału. Przedstawiono dużo parametrów poszczególnych kamer. Dlaczego wybrano właśnie takie przykłady, czy kształtują się jakieś tendencje dotyczące architektur takich kamer, czy można oszacować tendencje ich rozwoju w przyszłości? Czy są znane aktualne i spodziewane wymagania użytkowników dotyczące kluczowych parametrów?

Układ scalony UFXC wykonano w technologii CMOS 120 nm i z pracy wynika, że Doktorant był współautorem również tego projektu. Interesujący byłby komentarz, czy matryce tego samego typu można wykonywać w najnowszych technologiach krzemowych, jeżeli tak to jakim nakładem pracy? Jak wygląda skalowalność rozwiązań zaproponowanych przy testowaniu układu UFXC i jego sterowaniu?

Praca jest napisana starannie, dostrzeżono tylko niewielką liczbę błędów, głównie edytorskich, nie mających jednak istotnego wpływu na jakość pracy (np. na str. 32: „jest oraz filtrowany”, na rys. 4.12h usunięcie warstwy metalu jest słabo widoczne porównując z rys. 4.12g)

W konkluzji należy podkreślić, że powyższe uwagi krytyczne nie mają wpływu na moją wysoką merytoryczną oceną pracy - przeprowadzone badania zostały wsparte pomyślnymi eksperymentami z wykorzystaniem prototypowych układów scalonych.

8. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Czy i jaka jest przydatność praktyczna rozprawy dla gospodarki narodowej?

Rozprawa porusza najnowsze zagadnienia z zakresu projektowania kamer rejestrujących obrazy rentgenowskie i umożliwia zwiększenie efektywności wykorzystania współczesnych krzemowych układów scalonych. Algorytmy zaproponowane przez Autora rozprawy z pewnością okażą się bardzo przydatne dla projektantów zarówno matryc scalonych jak i systemów sterowania kamerami, skracając czasy projektowania i testowania kluczowych komponentów kamer pracujących w trybie zliczania pojedynczych fotonów.

9. Ocena końcowa

Rozprawa mgr inż. Jacka Rauzy ma charakter teoretyczno-doświadczalny z przewagą komponentów doświadczalnych. Sposób rozwiązywania problemów świadczy o bardzo dobrym rozeznaniu w aktualnym stanie wiedzy dotyczącym projektowania analogowo-cyfrowych układów scalonych w technologiach submikronowych. Ponadto, Doktorant wykazał się doskonałą wiedzą w zakresie programowania w językach opisu sprzętu oraz projektowania i realizacji efektywnych procedur testowych. Cel rozprawy osiągnięto przy użyciu właściwych metod badawczych.

W konkluzji stwierdzam, że praca mgr inż. Jacka Rauzy pt.: *“Modułowy system do obrazowania z wykorzystaniem promieniowania X pracujący w trybie zliczania pojedynczych fotonów”* spełnia wymagania *Ustawy o tytule i stopniach naukowych* stawiane rozprawom doktorskim. Wnoszę zatem o dopuszczenie rozprawy do publicznej obrony.

Z Cioba