

dr hab. inż. Andrzej Smolarz
Politechnika Lubelska
Katedra Elektroniki i Technik Informatycznych
ul. Nadbystrzycka 38a
20-618 Lublin

*KWESTIONARIUSZ-RECENZJA ROZPRAWYDOKTORSKIEJ DLA
RADY WYDZIAŁU ELEKTRONIKI I TECHNIK
INFORMACYJNYCH POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ*

Tytuł rozprawy: Photon Emission Detection for Tracing and Classification of Semiconductor Defects

Autor rozprawy: Piotr Laskowski

1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy /teza rozprawy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?

Na skutek rosnącej konkurencji znacznie skrócił się czas od projektu do produkcji. Skutkuje to rosnącymi problemami z niezawodnością. W przypadku przemysłu elektronicznego kluczowym czynnikiem jest czas wykrycia defektu, a koszt rośnie wraz ze złożonością procesu produkcyjnego. Włączenie analizy awarii/uszkodzeń do zarządzania procesem produkcji wymusiło poszukiwanie efektywnych i tanich metod detekcji defektów struktur półprzewodnikowych. Jednym z kluczowych aspektów analizy błędów w układach scalonych pracujących w sposób dynamiczny jest śledzenie ścieżek propagacji sygnałów. Jest to proces kosztowny, dlatego najbardziej zaawansowane techniki analizy, np. TRE (Time Resolved Emission), są dostępne tylko w nielicznych laboratoriach.

Doktorant stawia tezę, że rozwiązaniem tego problemu może być zastosowanie stosunkowo niedrogiej statycznej metody analizy błędów w układach scalonych – mikroskopii emisji fotonów. W rozprawie opisuje on opracowany przez siebie model matematyczny, który aproksymuje całkowitą wartość sygnału emisji fotonów dla danej technologii w zależności od częstotliwości pracy i czasów przełączania.

W pracy opisana jest również weryfikacja metody dla różnych technologii i materiałów. Skuteczność metody została potwierdzona poprzez zastosowanie jej do dynamicznie działającego, rzeczywistego układu scalonego. Doktorant wykazuje również możliwość stosowania opracowanej metody do materiałów o szerokiej przerwie energetycznej.

O ile cel pracy jest jasno określony w rozdziale 6, jej teza wymaga już wyczytania się w treść rozprawy. Praca ma charakter zarówno teoretyczny, jak i doświadczalny –doktorant opracowuje model, który następnie sprawdza doświadczalnie.

2. Czy w rozprawie przeprowadzono w sposób właściwy analizę źródeł / w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle /świadczący o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?

Praca zawiera 57 pozycji bibliografii w tym 10 prac, w których doktorant jest współautorem. Prace współautorskie doktoranta wydane zostały w latach 2008 – 2009 i 2014 – 2016. Prace

zostały opublikowane na konferencjach krajowych i międzynarodowych oraz w miesięczniku *Microelectronics Reliability* tom 48 i 49. Zakres opublikowanych prac doktoranta jest spójny z tematyką pracy doktorskiej. W rozprawie analiza źródeł została przeprowadzona w sposób właściwy przede wszystkim na bazie literatury światowej oraz aktualnego stanu wiedzy aplikacyjnej i praktycznej. Zgodnie z opinią recenzenta stan wiedzy autora w zakresie badań niezawodności elektronicznych układów scalonych jest odpowiedni do zrealizowania celu postawionego w rozprawie doktorskiej. Wnioski z przeglądu źródeł są sformułowane w sposób jasny i przekonujący.

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

Rozprawa składa się z dwunastu rozdziałów, które składają się na 3 logiczne sekcje. W rozdziałach 1 i 2 następuje ogólny opis problemu oraz opis struktury i treści pracy. Rozdział 3 zawiera opis elementów wchodzących w skład badanych układów. Rozdział 4 poświęcony został technikom analizy uszkodzeń urządzeń półprzewodnikowych, w szczególności optycznym technikom lokalizacji defektów, jak fotonowa mikroskopia emisyjna (PEM) lub stymulacja laserowa (LS). W rozdziale 5 autor opisuje metodykę pomiaru, doboru napięć i prądów, przeprowadza również wstępną analizę w celu oszacowania najbardziej odpowiednich parametrów do dalszych badań.

W rozdziale 6 określony został cel rozprawy. Rozdział 7 jest poświęcony skonstruowaniu modelu matematycznego, który pozwoli na skuteczne dostosowanie prostej, statycznej kamery CCD do testów dynamicznych.

W rozdziale 8 autor opisuje aparaturę pomiarową, metodykę pomiarów i sposób przygotowanie próbek. Pomiary wykonano dla układów wykonanych w czterech różnych technologiach, każda z nich wymaga odrębnego sposobu przygotowania próbek i metodyki pomiaru.

Rozdział 9 zawiera główne wyniki. W przypadku struktur testowych z pojedynczym tranzystorem, model został pozytywnie zweryfikowany, a częstotliwość robocza koreluje z granicą wykrywalności. Wyniki badań oscylatora pierścieniowego potwierdzają, że tylko ułamek czasu przełączania przetwornicy towarzyszy emisji fotonów. Praktyczna wartość modelu została potwierdzona poprzez jego zastosowanie do rzeczywistego układu scalonego.

W rozdziale 10 zostały porównane techniki DLS (Device Laser Stimulation) i PEM. W technice DLS zastosowano laser termiczny i foniczny. Na koniec dokonano dokładne jakościowe i ilościowe porównanie użytych technik pomiarowych.

Rozdział 11 poświęcony jest zastosowaniu autorskiej techniki doktoranta do analizy pracy układów wykonanych na bazie materiałów o szerokiej przerwie energetycznej – AlGaIn/GaN. Wykazana została przydatność techniki opisywanej przez autora do analizy pracy układów wykonanych na bazie takich materiałów.

Rozdział 12 zawiera podsumowanie i wnioski z wyników przedstawionych w rozprawie a także krótki opis perspektyw dalszego rozwoju.

Podsumowując, w mojej opinii, autor rozwiązał postawione zagadnienia i użył do ich rozwiązania właściwych metod. Przyjęte przez autora założenia projektowe i teoretyczne były uzasadnione.

4. 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?

Oryginalność rozprawy i samodzielny dorobek Autora polega na opracowaniu i weryfikacji modelu matematycznego, który rozszerza funkcjonalność statycznej kamery CCD do obserwacji stanów dynamicznych układów. Dodatkowo potwierdził, że PEM jest skuteczna, jako narzędzie do analizy uszkodzeń nie tylko układów opartych na krzemie, ale również dla materiałów o szerokiej przerwie energetycznej, takich jak AlGaIn/GaN.

Pozycja rozprawy wobec stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanej przez literaturę światową jest aktualna. Rozprawa jest też częścią szerszych prac zespołowych nad analizą uszkodzeń na skutek promieniowania.

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

Praca w wyczerpujący sposób opisuje kolejność działań autora prowadzących do dowiedzenia postawionej tezy. Szczególnie obszerny jest opis części doświadczalnej. Autor wykazał również umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników pracy. Do formy pracy, a w tym zwięzłości, jasności przekazu i poprawności redakcyjnej nie mam zasadniczych zarzutów. Struktura rozdziałów jest logiczna i prowadzi od opisu obszaru badawczego, i kolejno zawężenia tego obszaru do przedmiotu prac własnych, a następnie opisu prac własnych. Te prace własne są dobrze zdefiniowane i pokazują wkład doktoranta.

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

Jak już stwierdzono, merytoryczny poziom pracy nie budzi większych zastrzeżeń.

Główną słabością pracy jest język, jakim została napisana. Pracę bardzo trudno się czyta, znaczenia niektórych sformułowań można się tylko domyślać. Bardzo obniża to ocenę przedłożonej do recenzji pracy. Wydaje się, że autor nie przyłożył się do korekty językowej, proste narzędzie jak Grammarly w wersji darmowej wykrywa ponad 700 błędów językowych. Nawet w przedostatnim zdaniu autor nie ustrzegł się podwójnego błędu pisząc „... to these king of failures...” zamiast „...to this kind of failures...”.

Następną słabością pracy jest strona edytorska. Typografia pozostawia wiele do życzenia, style nagłówek nie są ujednolicone, np. rozdział 4.2. Część wzorów (np. 21 – 28) jest niezgodna z notacją matematyczną. Autor nie zadbał o jednolite brzmienie oznaczeń we wzorach i w opisach w tekście.

Jakość obcych rysunków pozostawia wiele do życzenia. Moje zastrzeżenia budzi również sposób opisywania własnych rysunków (np. niekonsekwentnie stosowana wielkość i krój czcionki), a brak opisu parametrów i nagminne stosowanie nieoczywistych skrótów sprawia, że rysunki nie mogą istnieć bez tekstu, co podważa sens ich zamieszczania.

7. Jaka jest przydatność rozprawy dla nauk technicznych?

Przedstawiony przez Doktoranta model emisji w stanach dynamicznych jest przydatny z punktu widzenia nauk technicznych. Oprócz dużego znaczenia poznawczego istotny jest również aspekt użyteczny. Wybrane wyniki oraz metodę można wykorzystać w innych pracach naukowych i badawczo-rozwojowych, jak również w praktycznych systemach diagnostyki uszkodzeń przełączających struktur półprzewodnikowych.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a) nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b) wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c) spełniająca wymagania
- d) spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

Wnioskuje o dopuszczenie doktoranta do dalszych etapów procesu doktoryzowania.

