

RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

Tytuł rozprawy: Algorytmy wyznaczania parametrów charakteryzujących oddziaływanie sondy z powierzchnią materiału badanego mikroskopem sił atomowych

Autor rozprawy: mgr Grzegorz Dobiński

Promotor rozprawy: Dr hab. inż. Mariusz Zubert, prof. PŁ

Mikroskop sił atomowych należy do podstawowych narzędzi wykorzystywanych do badań powierzchniowych materiałów w skali nanometrowej w technice oraz w biologii do wizualizacji procesów zachodzących na powierzchni preparatu. Udoskonalanie istniejących systemów pomiarowych, które umożliwiłyby szybszą i dokładniejszą analizę badanych materiałów oraz stworzyły możliwość badania zachodzących procesów jest zagadnieniem niezbędnym do dalszego rozwoju różnych dziedzin techniki i biologii.

Przedstawiona do recenzji rozprawa prezentuje nowe lub udoskonalone algorytmy detekcji oddziaływania sondy z powierzchnią, umożliwiające uzyskanie szerszej i dokładniejszej informacji o topografii i własnościach powierzchni badanej próbki. Autor sformułował dwie tezy: (1) Opracowany algorytm obliczający sekwencje dyskretnych transformat Fouriera (SDFT) pozwala na co najmniej dwukrotne zmniejszenie liczby operacji mnożenia w stosunku do istniejących algorytmów przy porównywalnym błędzie numerycznym zaokrąglenia. (2) Analiza wyższych harmonicznych drgań wywołanych oddziaływaniem sondy mikroskopu sił atomowych (AFM) z badaną powierzchnią pozwala na wykrywanie heterogeniczności własności mechanicznych badanych struktur nanometrowych.

Podjętą w rozprawie tematykę uważam za w pełni uzasadnioną, interesującą i aktualną dla współczesnych prac z zakresu projektowania systemów pomiarowych, szczególnie opracowania algorytmów oraz ich weryfikacji.

Praca zawiera 155 stron podzielonych na 5 rozdziałów, podsumowanie i załącznik, poprzedzonych wykazem oznaczeń i jest zakończona spisem prawidłowo dobranej bibliografii liczącej 137 pozycji.

Rozdział pierwszy, po krótkim wstępie, przedstawia przedmiot, cel, tezy i zakres rozprawy doktorskiej.

Rozdział drugi wprowadza w ideę mikroskopii sił atomowych, omawia typy oddziaływania pomiędzy sondą a powierzchnią i opisuje trzy tryby pracy: statyczny, dynamiczny i rezonansową mikroskopię oddziaływań odpychających. W dalszej części rozdziału opisana jest budowa mikroskopu, w tym układ detekcji wychYLENIA belki i metody jej pomiaru, typy głowic ze skanującą próbką i skanującą sondą oraz pętlę sprzężenia zwrotnego, utrzymującą stałą wartość oddziaływania pomiędzy ostrzem belki pomiarowej i badaną powierzchnią. Dużo uwagi poświęcił Autor problematyce detekcji parametrów oscylacji sondy oraz analizie oddziaływania sondy z powierzchnią. Szczególną uwagę zwrócono na zagadnienia związane z belką T-kształtną oraz algorytmy pomiaru parametrów mechanicznych powierzchni wykorzystane przy użyciu tejże belki.

Rozdział trzeci poświęcono tematyce dyskretnej transformaty Fouriera (DFT). Omówiono algorytmy wyznaczania zarówno pojedynczej składowej widma częstotliwościowego jak i algorytmy wyznaczające sekwencje DFT. Efektywność opisanych algorytmów została porównana z metodami opracowanymi przez Autora i opisanymi w dalszej części rozprawy.

W rozdziale czwartym opisano mikroskop sił atomowych opracowany i wykonany w ramach projektu finansowanego przez Departament Badań na Rzecz Gospodarki Ministerstwa Nauki. Autor recenzowanej rozprawy doktorskiej, będąc członkiem zespołu badawczego, był odpowiedzialny za opracowanie i implementację oprogramowania systemów wbudowanych, m.in. algorytmów akwizycji krzywych spektroskopowych, procedur skanowania powierzchni preparatu oraz protokołów komunikacyjnych. W rozdziale przedstawiono głowicę mikroskopu, układy elektroniczne oraz oprogramowanie.

W rozdziale piątym omówiono autorskie rozwiązanie rekurencyjnego wyznaczania sekwencji DFT oraz metodę synchronicznej detekcji drgań belki pomiarowej. Przedstawiono wyniki eksperymentalne wykorzystania algorytmów w badaniu parametrów powierzchni mikroskopem sił atomowych pracującym w trybie rezonansowej mikroskopii oddziaływań odpychających. Szerszy opis zawartości rozdziału przedstawiono poniżej.

Rozdział szósty podsumowuje osiągnięcia Autora i uzyskane wyniki.

Rozdział siódmy stanowi spis literatury.

W załączniku zamieścił Autor kod źródłowy pokazujący implementację algorytmu SDFT.

Do istotnych elementów rozprawy zaliczam:

1. Opracowanie algorytmu rekurencyjnego wyznaczania sekwencji DFT. Istotą modyfikacji algorytmu była redukcja złożoności obliczeniowej przy zachowaniu dokładności obliczeń i błędu zaokrągleń. Algorytm poddany został weryfikacji dla trzech różnych serii liczb rzeczywistych w formacie zmiennopozycyjnym o podwójnej precyzji oraz formacie stałopozycyjnym. Cele oceny wrażliwości algorytmu na zakłócenia, Autor wykorzystał szum biały, sygnał okresowy będący sumą wzbudzeń sinusoidalnych przed i po dodaniu szumu typu „sól i pieprz”. Dlaczego wybrano gęstość szumu 5%? Czy wybór ten był czymś uwarunkowany? Do analizy numerycznej wybrano trzy harmoniczne widma częstotliwościowego dla sygnału okresowego. Wyniki porównano z wynikami otrzymanymi po zastosowaniu innych algorytmów, m.in. SGT, SDFT, D&S.
2. Opracowanie i wykorzystanie metody synchronicznej detekcji drgań belki pomiarowej mikroskopu sił atomowych z zastosowaniem, opisanego wcześniej, autorskiego algorytmu obliczania sekwencji DFT. Detektor wykorzystuje układ bezpośredniej syntezy cyfrowej oraz układ sprzężenia fazowego, dopasowujący częstotliwość sygnału zegarowego do częstotliwości sygnału wzbudzającego drgania sondy w taki sposób, aby częstotliwość próbkowania była zawsze jej całkowitą wielokrotnością. Pozwoliło to na eliminację przeciekania widma. Algorytmy obliczające DFT zaimplementowano w układach FPGA. Układ detekcji jest oddzielnym modułem, kontrolowanym przez aplikację opracowaną także przez Autora rozprawy. Aplikacja komunikuje się z mikrokontrolerem zaimplementowanym w strukturze FPGA przez protokół TCP/IP. Analizę numeryczną wykonano przy zastosowaniu próbek o znanej strukturze. Wykonano badania rozdzielczości. Czym kierował się Autor dobierając konfigurację PLL, powodującą powielenie częstotliwości wzbudzającej drgania belki na poziomie 256 (str. 120)? Ponadto, wykorzystując analizę wyższych harmonicznych, badaniu poddano próbki o dwóch rodzajach polimerów, różniących się modułem Younga. Wyniki potwierdziły możliwość rozróżnienia sztywności obu polimerów. Jaka jest czułość metody? Czy można oszacować granice rozróżnialności materiałów o różnej sprężystości? Autor porównał szybkość reakcji oraz wrażliwość na zakłócenia układu detekcji synchronicznej z trzema dotychczas wykorzystywanymi rozwiązaniami (wzmacniaczem fazoczułym, konwerterem wartości skutecznej oraz metodą Peak-Hold). W obu eksperymentach opracowany detektor wykazał lepsze własności.
3. Opracowanie algorytmu szybkiego wyznaczania wartości siły szczytowej w oddziaływaniu belki T-kształtnej z powierzchnią. Parametr ten umożliwi kontrolę odległości sondy od badanej powierzchni, pozwalając na redukcję ryzyka uszkodzenia delikatnej próbki oraz poprawiając jakość obrazów topograficznych próbek heterogenicznych.

Rozprawa jest przygotowana starannie z edytorskiego punktu widzenia. Opracowane metody oraz wyniki analizy są dobrze udokumentowane. Istniejące oraz opracowane przez Autora metody analizy częstotliwościowej zostały opisane z zachowaniem właściwego formalizmu matematycznego a wyniki testów zostały bardzo starannie udokumentowane. Na podkreślenie zasługuje bogaty przegląd literatury światowej.

Podsumowanie

Mgr Grzegorz Dobiński wykazał się odpowiednią wiedzą z zakresu projektowania systemów współpracujących z zaawansowaną aparaturą pomiarową, w szczególności z mikroskopem sił atomowych oraz implementacją opracowanych algorytmów w strukturze mikrokontrolera. Przedstawiona do recenzji praca zawiera poprawnie sformułowany i rozwiązany problem badawczy oraz stanowi wartościowy wkład w obszarze wykorzystania mikroskopii w detekcji zmian topograficznych próbki z rozdzielczością subnanometrową. Zawarte w pracy oryginalne badania, obejmują opracowanie nowatorskiej metody detekcji synchronicznej drgań belki pomiarowej mikroskopu sił atomowych, która wykazuje mniejszą złożoność obliczeniową, mniejszą wrażliwość na zakłócenia, a obrazy wyższych harmonicznych widma częstotliwości oscylacji belki pozwalają na ocenę sztywności badanych struktur nanometrowych.

Reasumując uważam, że mgr Grzegorz Dobiński wykazał się wiedzą i umiejętnościami wymaganymi do uzyskania stopnia doktora nauk technicznych. Przedstawiona do recenzji **praca spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim** i wnoszę o dopuszczenie jej Autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Ca. P. 17 8