

ROZPRAWA DOKTORSKA

Opracowanie metody pomiaru wymiarów krytycznych i optymalizacja procesu naświetlania z użyciem zintegrowanego mikroskopu bliskich oddziaływań i systemu bezpośredniego naświetlania wzoru

Andrzej Sierakowski

Instytut Technologii Elektronowej

STRESZCZENIE

Prezentowana rozprawa doktorska dotyczy istotnych problemów związanych z optymalizacją procesu fotolitografii – metody powszechnie używanej do definiowania wzorów w przemyśle półprzewodnikowym.

W teoretycznej części pracy szczegółowo opisano parametry charakteryzujące proces fotolitografii, jego ograniczenia, rodzaje emulsji światłoczułych najczęściej stosowanych w mikro- i nanoelektronice oraz przedstawiono aktualny stan wiedzy dotyczący technik definiowania wzoru. Omówiono także zagadnienia związane z charakteryzacją i optymalizacją procesu fotolitograficznego.

W kontekście przedstawionego stanu wiedzy poruszono zagadnienia związane z prawidłowym doбором optymalnych parametrów naświetlania emulsji techniką fotolitografii bezpośredniej *DWL* (ang. Direct Writing Lithography). Technika *DWL* jest bardzo często wykorzystywana przy wytwarzaniu układów scalonych i systemów mikro- i nanoelektromechanicznych, szczególnie na etapie prac badawczo rozwojowych oraz przy produkcji małoseryjnej. Należy zwrócić uwagę, że w przypadku unikalnych projektów o charakterze badawczym wykonanie kompleksowej optymalizacji procesu naświetlania przy użyciu standardowych metod jest bardzo utrudnione lub wręcz niemożliwe. Z tego względu autor opracował oryginalną metodę optymalizacji procesu naświetlania wykorzystującą mikroskopię sił atomowych *AFM* (ang. Atomic Force Microscopy).

Celem pracy było opracowanie metody optymalizacji procesu fotolitograficznego z wykorzystaniem systemu do bezpośredniego naświetlania wzoru ze zintegrowanym mikroskopem sił atomowych *AFM*.

Jedną z najistotniejszych zalet opracowanej metody, wynikającej z zastosowania mikroskopu *AFM*, jest możliwość przeprowadzenia charakteryzacji naświetlonego ale niewywołanego wzoru co przekłada się bezpośrednio na poniesione koszty (minimalizując liczbę koniecznych procesów i używanych podłoży).

Implementacja metody wymusiła opracowanie mikroskopu *AFM* (nazwanego przez autora systemem *ShFM-piezo-DWL*) o zwartej budowie głowicy umożliwiającej jej integrację z urządzeniem *DWL*. Z tego też względu, w skonstruowanym mikroskopie *ShFM-piezo-DWL*, który pracuje w trybie sił ścinających *ShFM* (ang. Shear Force Microscopy), zastosowano magnetoelektryczną metodę aktuacji i piezorezystywną detekcję wychylenia dźwigni sprężystej. Na wybór trybu pracy mikroskopu wpływ miała bardzo istotna cecha – w mikroskopach sił ścinających tłumienie drgań dźwigni zależy nie tylko od odległości pomiędzy ostrzem a próbką ale także od reaktywności chemicznej mierzonej warstwy. Dodatkowo tryb ten umożliwia stosowanie dźwigni z planarnym ostrzem, któremu dzięki odpowiedniej technologii trawienia ostrzy wiązką skupionych jonów *FIB* (ang. Focused Ion Beam) można nadać kształt odpowiedni do charakteryzacji wzorów naświetlonych w emulsji światłoczułej.

W pracy szczegółowo przedstawiono konstrukcję, technologię wytwarzania oraz metodę charakteryzacji dźwigni piezorezystywnych wykorzystywanych w opracowanym dla potrzeb realizacji celu pracy mikroskopie *ShFM-piezo-DWL*. W rozprawie przedstawiono także architekturę mikroskopu oraz sposób jego integracji z systemem *DWL*.

W części eksperymentalnej przedstawiono wyniki charakteryzacji struktur naświetlonych (ale niewywołanych) potwierdzając, że opracowana metoda może być wykorzystana jako skuteczne i uniwersalne narzędzie do optymalizacji procesu technologicznego.

W konkluzji założony cel pracy tzn. opracowanie metody optymalizacji parametrów procesu fotolitograficznego z wykorzystaniem systemu do bezpośredniego naświetlania wzoru ze zintegrowanym mikroskopem sił atomowych został osiągnięty.