

Warszawa, 26.05.2014

Prof. dr hab. inż. Jan Szmidt
Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Politechnika Warszawska

**KWESTIONARIUSZ - RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
INSTYTUTU FIZYKI POLSKIEJ AKADEMII NAUK**

Tytuł rozprawy:

„Tlenki o wysokiej stałej dielektrycznej otrzymywane metodą osadzania warstw atomowych (ALD) i ich zastosowanie w elektronice”

Autor rozprawy: **mgr Sylwia Gieraltowska**

Praca ma charakter eksperymentalny. Chciałbym podkreślić, że należy to rozumieć wielowątkowo. Dotyczy to zarówno eksperymentów o charakterze technologicznym, głównie w trudnym obszarze przezroczystych materiałów podłożowych i warstw dielektrycznych o specyficznych, pożądanych w wielu aplikacjach elektronicznych właściwościach, tj. wysokiej stałej dielektrycznej, jak i niemniej złożonych problemów charakterystyki tych warstw i ich kontaktu z intensywnie badanym w wielu laboratoriach podłożem przezroczystym ZnO/szkło kwarcowe. Oczywiście szereg badań wymagało stosowania klasycznego podłoża-krzemu i nie ma w tym nic dziwnego ze względu na typowe, niezawodne techniki pomiarowe.

Bardzo ważnym i nowym podejściem technologiczno-pomiarowym było nakładanie i charakterystyka wielowarstwowych dielektryków czy kompozytowych dielektryków, takich jak: Al₂O₃, HfO₂, ZnO₂ i TiO₂ i w końcu warstw ZnO jako podłoża półprzewodnikowych. Nakładanie takich warstw na podłoża szklane czy inne, takie jak: Si, SiC, GaN, GaN/AlGaN i w końcu grafen jest samym w sobie poważnym wyzwaniem technologicznym.

Elementem spajającym całość prowadzonych badań było zastosowanie nowoczesnej techniki osadzania warstw ALD (Atomic Layer Deposition) do wytwarzania tych

warstw, w tym kompozytowych, a w efekcie formowanie wielowarstwowych struktur półprzewodnikowych.

Wszystkie te zagadnienia lokują się w głównym nurcie rozwojowym elektroniki, a w szczególności elektroniki elastycznej i niewątpliwie znajdą w przyszłości zastosowania w konstrukcjach przyrządowych na potrzeby bioelektroniki, sensoryki, fotoniki, itp.

Jak wcześniej zauważyłem, praca ze swej natury jest wielowątkowa, o kompleksowym charakterze i obszernej tematyce (co z resztą sugeruje jej temat). Te cechy pracy zostały wyraźnie przedstawione we wstępie, a co ważniejsze jednoznacznie zweryfikowane przez wartościowe, główne artykuły naukowe z dominującym udziałem Doktorantki, a także zgłoszenia patentowe.

Głównymi obszarami eksperymentów były:

- procesy technologiczne wytwarzania warstw dielektrycznych i półprzewodnikowych metodą ALD w warunkach niskotemperaturowych i konstrukcji struktur wielowarstwowych o pożądanych właściwościach adhezyjnych i elektronowych,
- wieloparametryczna ocena właściwości tych warstw i struktur półprzewodnikowych, aż do etapu charakterystyk elektrycznych wytwarzanych demonstratorów technologii.

Teza, ani cel nie zostały wprawdzie sformułowane wyraźnie w pracy, ale zarówno Wstęp jak i wprowadzenia do poszczególnych rozdziałów wskazują zarówno na cel pracy jak i jej cele cząstkowe (wprowadzenia do rozdziałów 2, 3, 4, 5), a główne osiągnięcia uzyskane w wyniku procesu badawczego, klarownie przedstawione w Podsumowaniu potwierdzają ich osiągnięcie. Przy tego rodzaju badaniach i rodzaju pracy, teza byłaby z resztą zapewne truizmem lub/i niepotrzebnie ograniczała jej zakres i w efekcie wartość.

Bibliografia tematyki pracy, zarówno ta ogólna ujęta w Rozdziałach 1 i 2, jak i szczegółowa (Rozdziały 3 - 5) oraz jej analiza to bardzo obszerny zbiór (200 pozycji oraz wydzielone zestawy dorobku Autorki - artykuły naukowe, prezentacje konferencyjne, patenty). W szczególności zwraca uwagę kompetentny i krytyczny przegląd literatury dotyczący technologii ALD (Rozdział 3, strony 52 i dalsze), z którego wyciągnięte wnioski posłużyły Autorce do planowania eksperymentów technologicznych. Także analiza parametru RMS (Root Mean Square) umożliwiająca ocenę porównawczą chropowatości otrzymanych warstw (Rozdział 4) jest bardzo wartościowa.

W trakcie realizacji pracy Autorka dokonała wyboru otrzymywanych warstw, przeprowadziła ponad 500 eksperymentów technologicznych logicznie zaplanowanych, a następnie zastosowała kilkanaście metod charakteryzacji samych warstw, złożonych struktur

wielowarstwowych i w końcu przyrządów jako demonstratorów. Zostały one opisane w Rozdziale 4, str. 65-70 i w Rozdziale 5. Metody te były stricte materiałowe i fizykochemiczne, ale także elektrofizyczne i elektroniczne (te ostatnie, co warto podkreślić dotyczyły najbardziej krytycznych i trudnych do charakterystyki obszarów przejściowych: podłoże-warstwa i warstwa-warstwa). Analizy tych wyników zawarte w Rozdziałach 4 i 5, a także w Podsumowaniu to wartościowe części pracy, świadczące o dojrzałości naukowej Doktorantki i Jej umiejętności krytycznej analizy wieloobszarowych wyników pomiarów.

Za oryginalne osiągnięcia Autorki uważam:

- opracowanie takich warunków prowadzenia procesów w technologii ALD, że temperatury poszczególnych procesów nie przekraczały 150 °C, a dla poszczególnych procesów nie przekroczono nawet 100°C!, co dla struktur przezroczystej elektroniki jest krytyczne,
- wykazanie, że zaprojektowane procesy ALD umożliwiają wytwarzanie wielowarstwowych struktur, w tym z warstwami kompozytowymi o dobrych, a czasem zaskakująco dobrych, pożądanych właściwościach tych struktur, co otwiera nowe perspektywy dla stosowania tej metody przy wytwarzaniu struktur elektronowych i fotonowych o unikatowych właściwościach,
- wytworzenie i charakterystyka elektrofizyczna i elektryczna elementów elektronicznych typu TFT (Thin Film Transistor) i TFC (Thin Film Capacitor) na różnych, często znacząco odmiennych podłożach (Si, SiC, grafen, szkło, ZnO).

W pracy znajduje się poza tym szereg elementów nowatorskich. Można znaleźć je głównie w opisie poszczególnych działań technologicznych. Będą one stanowiły zapewne ważny element w dalszych pracach naukowych Autorki i współpracujących zespołów.

Należy ponadto zwrócić uwagę, że praca zawiera kilka nurtów badawczych, co stworzyło trudność w interpretacji i korelacji wyników badań. Autorka wybrnęła z tego bardzo dobrze i stanowi to samo w sobie o wartości rozprawy.

Główna część pracy mieści się na 120 stronach, a więc jak na tak szeroką tematykę Autorka potrafiła przedstawić wyniki w zwięzłej, przystępnej dla czytelnika formie, odsyłając często do swoich publikacji załączonych do pracy i wymienionych w odrębnych zestawieniach.

Praca zredagowana jest bardzo dobrze, jedynie można mówić o drobnych błędach czy niejasnościach w niektórych podpisach pod rysunkami (np. rysunek 2.3 na stronie 47 ma złe odwołanie literaturowe, a rysunek 4.1.3 ma niezbyt trafny opis). Bardzo brakuje wykazu

skrótów i akronimów występujących w pracy – utrudnia to jej płynną lekturę, zwłaszcza osobom mniej zorientowanym w tematyce.

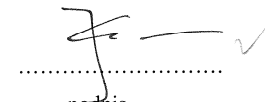
Czytając pracę można mieć czasami pewien niedosyt, jak np. w zakresie.:

- analizy technologicznej i przyrządowej w stosowaniu materiałów o bardzo dużych stałych dielektrycznych (sięgających setek i tysięcy),
- analizy zastosowań biotechnologicznych badanych warstw i struktur, czy odniesienia się do innych technologii wytwarzania unikatowych warstw- np. plazmowych.

Wszystkie te uwagi nie obniżają wartości pracy i nie wpływają na jej ocenę.

Praca posiada znaczącą wartość dla nauk fizycznych w kontekście aplikacji technicznych w elektronice i fotonice. Jej przydatność, zwłaszcza w zakresie technologii złożonych struktur elektronowych jest bardzo wysoka, a uzyskane wyniki będą zapewne wykorzystywane w dalszych badaniach.

Stwierdzam, że praca z nadmiarem spełnia wymagania ustawowe i zwyczajowo stawiane rozprawom doktorskim.


.....
_____ podpis