

Warszawa 22 kwietnia 2017

Prof. dr hab. Marek Godlewski
Instytut Fizyki Polskiej Akademii Nauk
Warszawa

Recenzja rozprawy doktorskiej Jakuba Kaczmarskiego

Pan Jakub Kaczmarski wykonał pracę doktorską zatytułowaną „Nanostructure and Transport Properties of In-Ga-Zn-O Amorphous Thin Films and Their Applications in Transparent and Flexible Electronics” pod kierunkiem profesor Eliany Kamińskiej z Instytutu Technologii Elektronowej. Praca napisana jest w języku angielskim.

1. Struktura rozprawy

Pracę rozpoczyna **Wstęp** w którym autor rozprawy opisuje historię badań które doprowadziły do rozwoju dwóch nowych gałęzi elektroniki – transparentnej elektroniki i elastycznej (na elastycznych podłożach) elektroniki. Jest to bardzo fachowo napisany tekst.

W tej części rozprawy autor opisuje także swój dotychczasowy dorobek naukowy będący podstawą złożonej pracy doktorskiej – dziewięć publikacji i trzy wnioski

patentowe. Jest to bardzo znaczący dorobek biorąc pod uwagę długość kariery naukowej kandydata.

W kolejnych rozdziałach autor opisuje:

Rozdział drugi – opis właściwości tlenków szeroko-przerwowych wykorzystywanych w transparentnej elektronice.

Rozdział trzeci – opis struktur elektronicznych wykorzystujących złącza typu Schottky'ego.

Rozdział czwarty – opis wykorzystanej metody technologicznej (rozpylanie magnetronowe) oraz technik badawczych zastosowanych do analizy właściwości otrzymanych warstw.

Rozdział piąty – główna część rozprawy, w której opisane są uzyskane wyniki eksperymentalne.

W rozdziale szóstym autor podsumowuje rozprawę.

Rozprawa liczy 109 stron i zawiera 137 odnośników do prac naukowych z dziedziny rozprawy.

Każdy z rozdziałów rozprawy jest doskonale napisany i wyraża głębokie zrozumienie przedmiotu zainteresowania naukowego. I tak w rozdziale drugim wyjaśniona jest „tajemnica” wysokiej ruchliwości elektronów w amorficznych warstwach tlenków z grupy TCO (Transparent Conductive Oxide) jak i nietypowy wzrost ruchliwości

obserwowanych dla silniej domieszkowanych warstw tych materiałów. Autor omawia najnowsze teorie wyjaśniające te nietypowe właściwości szeroko-przerwowych tlenków.

Bardzo ważne informacje zestawione są w rozdziale trzecim rozprawy. Autor analizuje trzy możliwe architektury tranzystora polowego i tłumaczy przewagi struktury typu MESFET (metal-semiconductor field effect transistor) w przypadku tranzystora z kanałem wykorzystującym tlenek szeroko-przerwowy. Jestem pod dużym wrażeniem fachowości autora rozprawy. Ten rozdział napisany jest z wielką wiedzą na temat badanych zjawisk.

W czwartym rozdziale autor opisuje użytą metodę technologiczną jak i użyte techniki eksperymentalne zastosowane do charakteryzacji uzyskanego materiału.

Uzyskane wyniki zestawiono w rozdziale piątym (strony 51-99). Już sama długość tego rozdziału wskazuje jak olbrzymi materiał doświadczalny zawiera rozprawa.

Najważniejsze wyniki dotyczące samych warstw IGZO podsumowuję poniżej:

- 1) Zastosowano inną konfigurację w systemie osadzania warstw umożliwiającą wysokie tempo osadzania – bardzo ciekawa opcja!
- 2) Zoptymalizowano metodę otrzymywania warstw amorficznych.
- 3) Bardzo starannie wybrano metodę wykonania warstw o stechiometrii optymalizowanej tak aby otrzymać najlepsze właściwości elektryczne (transportowe) warstw IGZO.
- 4) Zaobserwowano (omawiane wcześniej) „dziwne” zachowanie warstw tlenkowych – wzrost ruchliwości elektronów z koncentracją nośników.

5) Opisano relacje pomiędzy stechiometrią warstw (ciekawe dane dotyczące cynku!) a ich właściwościami transportowymi – niezwykle ciekawa analiza uzyskanych wyników!

6) W oparciu o pomiary z wykorzystaniem techniki TDS zaproponowano inną (niż dostępną w literaturze) interpretację wpływu wygrzewania na poprawę właściwości transportowych warstw – bardzo cenny wynik!

7) Przeprowadzono analizę wpływu warunków osadzania warstw na ich gęstość.

W drugiej części piątego rozdziału omówiono sposób wykonania kontaktów typu Schottky'ego do warstw IGZO. Znakomite wyniki zaprezentowane są w tej części rozprawy. Grupa badawcza kierowana przez profesor Elianę Kamińską od lat należy do czołówki światowej w tej dziedzinie badań.

Przeprowadzona optymalizacja procesu technologicznego jak i optymalizacja technologii wytwarzania przezroczystych kontaktów typu Schottky'ego umożliwiły wytworzenie „praktycznych” przyrządów elektronicznych.

W części trzeciej rozdziału piątego autor rozprawy opisuje wykonane przez niego tranzystory typu MESFET na elastycznych podłożach. W pierwszym etapie prac optymalizowano koncentrację nośników w materiale kanału tranzystora i grubość tej warstwy. Po wyborze optymalnej koncentracji elektronowej i grubości warstwy kanału analizowany był optymalny stosunek długości kanału do jego szerokości (W/L). Następnie wykonano zoptymalizowane struktury tranzystorowe na dwóch podłożach – szklanym i folii PET. W tym drugim przypadku wykonane zostały testy wpływu gięcia folii z tranzystorem na jego parametry pracy.

Niska temperatura procesów osadzania warstw i kontaktów umożliwiła także wytworzenie struktury MESFET na papierze. To bardzo interesująca demonstracja zalet opracowanego procesu technologicznego.

Część czwarta rozdziału piątego zawiera krótkie zestawienie kierunków przyszłych prac autora rozprawy. Bardzo interesujące są wyniki dotyczące możliwości amorfizacji warstwy ZnO poprzez azot. To może być bardzo interesujący nowy kierunek badań.

Praca zakończona jest krótkim podsumowaniem.

2. Ocena końcowa pracy

Praca robi doskonałe wrażenie i zawiera olbrzymi materiał badawczy. Do jej zalet zaliczam:

- 1) Praca napisana jest bardzo starannie.
- 2) Podziwiam systematyczność przeprowadzonych badań – autor bardzo logicznie planował kolejne eksperymenty, tak aby końcowy rezultat – tranzystor na przezroczystym/elastycznym podłożu był optymalny.
- 3) Autor wykazuje się bardzo dobrą znajomością prac teoretycznych dotyczących tematyki prac rozprawy.

4) Uzyskane wyniki mają duże znaczenie praktyczne i są porównywalne z poziomem badań światowych.

Podsumowanie

Podsumowując uważam, że przedstawiona rozprawa a także dorobek mgr Jakuba Kaczmareckiego w pełni uzasadniają nadanie kandydatowi stopnia naukowego doktora. Ponadto jest to znakomita praca zawierająca światowej klasy wyniki eksperymentalne. Zgłaszam wniosek o dopuszczenie kandydata do publicznej obrony rozprawy a także o wyróżnienie jego rozprawy doktorskiej.

