

Prof. dr hab. inż. Anna Piotrowska  
Instytut Technologii Elektronowej  
Al. Lotników 32/46  
02-668 Warszawa

**Recenzja rozprawy doktorskiej mgr Marty Witkowskiej-Baran**  
pt.  
***Otrzymywanie elektrycznych kontaktów do półizolującego (CdMn)Te jako materiału na detektory promieniowania X i gamma***

Tematyką recenzowanej rozprawy są półprzewodnikowe detektory promieniowania jonizującego wytwarzane ze związków półprzewodnikowych na bazie CdTe, a jej zasadniczym celem było opracowanie procesu wytwarzania kontaktów omowych do wysokooporowego (CdMn)Te stanowiącego obszar aktywny opracowywanych w zespole detektorów promieniowania X i gamma. Bardzo wyraźną motywacją do podjęcia takiego zadania jest wielkie znaczenie wysokiej jakości kontaktów omowych w zapewnieniu pożądanych parametrów i stabilności czasowej nowoczesnych detektorów promieniowania jonizującego ze związków półprzewodnikowych II-VI oraz ogromne doświadczenie i wiodąca w skali światowej pozycja się zespół badawczego z którego wywodzi się doktorantka w zakresie technologii wzrostu tychże materiałów. Wielkim wyzwaniem jest tu niewątpliwie półizolujący charakter stosowanych materiałów półprzewodnikowych oraz wprowadzanie zaawansowanych konstrukcji, w tym matryc detektorowych czy detektorów unipolarnych.

Rozprawę można podzielić na dwie zasadnicze części. W części pierwszej (rozdz. 1-4, str. 5-106) autorka wprowadza czytelnika w problematykę pracy i podejmuje ambitne zadanie zaprezentowania całokształtu zagadnień związanych z detekcją promieniowania X i gamma - poczynając od zjawisk oddziaływania promieniowania X i gamma z materią, poprzez zasady działania różnego typu detektorów promieniowania jądowego, materiały przydatne do konstrukcji półprzewodnikowych detektorów promieniowania X i gamma, a na tym tle zalety wykorzystania do tego celu detektorów z (CdMn)Te. Część druga (rozdziały 5 i 6, str. 107-164) odnosi się do właściwego przedmiotu pracy określonego w tytule rozprawy i omawia specyfikę złącz metal/półprzewodnik, metody wytwarzania omowych kontaktów metal/półprzewodnik, zastosowane metody charakteryzacji materiałów i struktur oraz wyniki prac własnych nad technologią kontaktów do wysokooporowego (CdMn)Te. W zakończeniu tej części rozprawy, w rozdz. 7 *Wnioski i podsumowanie* (str. 165 – 166) autorka przedstawia rekomendowane procedury wytwarzania kontaktów i pasywacji powierzchni (CdMn)Te oraz

podaje wykaz projektów badawczych w realizacji których brała udział prowadząc prace badawcze przedstawione w rozprawie. W uzupełnieniu powyższych załącza (str. 167 - 168) wykaz publikacji będących wynikiem pracy doktorskiej oraz publikacji w których jest współautorką a związanych z tematyką rozprawy.

Patrząc na przedstawiony powyżej układ pracy nie sposób nie zauważyć braku proporcji pomiędzy częścią odnoszącą się do stanu wiedzy w szeroko pojętej dziedzinie rozprawy i prezentującą wyniki literaturowe, a częścią dotyczącą przyjętej metodyki badań i prezentującą wyniki prac własnych związanych z tematyką rozprawy. Opis stanu wiedzy jest przy tym nieporadny, razi ogólnikowością i brak w nim rzetelnych informacji zarówno o konstrukcji i parametrach współczesnych detektorów promieniowania jonizującego, jak i mechanizmach formowania, strukturze elektronowej i mikrostrukturze struktur kontaktowych, w tym wytwarzanych w oparciu o inżynierię przerwy zabronionej. Trudno o uzasadnienie nadmiernej rozbudowy fragmentów rozprawy opisujących wykorzystywaną w pracy aparaturę technologiczną, tym bardziej, że w znacznej części przynoszą one informacje powszechnie znane.

Taki układ rozprawy powoduje, że niejako giną rzeczywiste zalety i nowatorskie aspekty przeprowadzonych prac badawczych, w tym przede kontroli stanu powierzchni (CdMnTe) i wytwarzania kontaktów omowych z użyciem pośrednich heterostruktur półprzewodnikowych.

Niewątpliwym sukcesem recenzowanej pracy było opracowanie - metodą prób i błędów - szeregu procedur/operacji technologicznych niezbędnych dla uzyskania struktury przyrządowej detektorów z (CdMn)Te. Za najważniejsze osiągnięcia doktorantki uważam:

- opracowanie metody wytwarzania powierzchni *epi-ready* (CdMn)Te z użyciem techniki selektywnego trawienia w roztworze  $\text{Br}_2\text{-CH}_3\text{OH}$ ;
- opracowanie procesów wzrostu epitaksjalnego i naparowywania próżniowego cienkich warstw CdTe:In, CdTe:I oraz ZnTe:Sb do zastosowań w technologii kontaktów omowych do (CdMn)Te;
- opracowanie metody chemicznej pasywacji powierzchni (CdMn)Te z użyciem roztworu  $(\text{NH}_4\text{F})_2\text{S}$ .

Wyniki te zostały opublikowane - mogą więc być przydatne dla badaczy i technologów pracujących w tej dziedzinie.

Recenzowana praca ma szereg słabości merytorycznych. Poważne zastrzeżenia budzą przyjęta metodyka badań, przede wszystkim brak pomiarów rezystywności kontaktów omowych, ich podstawowej charakterystyki funkcjonalnej, oraz dobór właściwych metod mikroanalizy strukturalnej, chemicznej i morfologicznej dla charakteryzacji struktury

kontaktowych w różnych stadiach ich formowania. Prezentacja wybranych metod charakteryzacji zawarta w rozdz. 6, nie uzasadnia przyjętej metodyki badań i nie wskazuje na sposoby ich komplementarnego stosowania. Dobór metod nie do końca jest trafny, n.p. SIMS do badania składu przypowierzchniowej warstwy (CdMn)Te o grubości 20-50 Å (odpowiedniejszą byłaby technika XPS), a biorąc pod uwagę dostępność stosownych urządzeń i kompetencji w macierzystym Instytucie doktorantki, nie końca zrozumiały.

Przedstawiony w rozprawie zbiór wyników trudno uznać za systematycznie uporządkowany, poparty wnikliwą analizą i przekonującą interpretacją. Autorka nie pokazuje całości wyników poszczególnych eksperymentów, a ogranicza się do ilustrowania wyводу przykładowymi zdjęciami, widmami, czy też stabelaryzowanymi danymi pomiarowymi.

Praca zawiera wiele błędów merytorycznych, czego przykładem mogą być odpowiednie akapity dotyczące badania stechiometrii powierzchni (CdMn)Te techniką SIMS (str. 99, rys. 4.3.2 i 4.3.3, - błędna skala głębokościowa (?) czy też fragmenty dotyczące badań techniką dyfrakcji rentgenowskiej monokrystalicznych warstw CdTe:I, ZnTe:Sb i (CdMn)Te:V (str. 116-117, rys. 5.2.7, tabl. 5.2.1; - błędne określenie szerokości połówkowych, brak niektórych refleksów) oraz badań XRD "amorficznych" warstw CdTe:In i ZnTe:Sb (str. 130, rys. 5.3.7 - brak dowodu na amorficzność struktury - na rys. (a) widać szereg ostrych linii dyfrakcyjnych, rys. (b) pokazuje prawidłowe względem (CdMn)Te)położenie pików od CdTe:I, brak pików od podłoża). Niejednoznaczna jest więc odpowiedź na pytanie o poziom i wszechstronność wiedzy doktorantki w dziedzinie fizyki i technologii cienkich warstw, powierzchni i międzypowierzchni oraz jej biegłość w stosowaniu metod mikroanalizy i charakteryzacji elektrycznej zarówno od strony eksperymentalnej jak i interpretacyjnej.

Z uwag czysto redakcyjnych nie mogę nie zauważyć, że praca napisana jest bardzo źle pod względem stylistycznym oraz zawiera szereg nieścisłości/błędów w nazewnictwie, np. konsekwentne używanie terminu "nanowarstwa" dla określenia cienkich warstw o grubości kilkuset i więcej nm, terminu "parametr stałej sieci" (albo "parametr sieci" albo ""stała sieci") oraz wyrażen kolokwialnych (np. "nasza maszyna MBE", "warstwy prof. Wojtowicza", etc.).

Reasumując, nie jest to z pewnością, zarówno pod względem merytorycznym jak i formalnym, praca na bardzo wysokim poziomie. Nie waham się jednak przed uznaniem za zupełnie wyjątkowe jej walorów użytecznych. Stwierdzam więc, że jako całość rozprawa doktorska mgr Marty Witkowskiej-Baran spełnia wymogi stawiane przez ustawę o stopniach i tytule naukowym i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

*A. Piórkowski*