

Wrocław, 09.11.2022

Dr hab. Grażyna Antczak, prof. UWr
Instytut Fizyki Doświadczalnej
Wydział Fizyki i Astronomii
Uniwersytet Wrocławski
Pl. Maksa Born'a 9
50-204 Wrocław

RECENZJA PRACY DOKTORSKIEJ

mgr. Wojciecha Bełzy

pt. „Morphology and properties of organic thin films deposited on
semiconducting titanium dioxide”

Przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr. Wojciecha Bełzy dotyczy badań własności warstw molekularnych złożonych z molekuł para-heksafenylu (6P) oraz dihydro-tetraaza-pentacenu (DHTAP) zaadsorbowanych na powierzchni (110) dwutlenku tytanu (TiO_2). Badania przeprowadzone zostały na dwóch typach powierzchni: płaskiej oraz zmodyfikowanej bombardowaniem wysokoenergetycznymi jonami do powierzchni pofałdowanej o ściśle określonej morfologii. Tematyka pracy dotyczy bardzo aktualnych badań nad własnościami materiałów wykorzystanych w szeroko rozumianej elektronice molekularnej. W ramach pracy wyznaczone zostały podstawowe parametry strukturalne (ułożenia molekuł), elektronowe (praca wyjścia), stabilności termicznej warstw molekularnych (energia desorpcji) oraz przebadano stabilność warstwy molekularnej w kontakcie z powietrzem. Badania w znacznej części wykonywane były w ultra wysokiej próżni (UHV), która sama w sobie stanowi wyzwanie.

Doktorant obrazował powierzchnie $\text{TiO}_2(110)$ następującymi technikami: mikroskopia sił atomowych (AFM), skaningowa mikroskopia tunelowa (STM), skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) oraz dyfrakcja niskoenergetycznych elektronów (LEED). Do badań własności elektronowych zastosował mikroskopię sił sondy Kelwina (KPFM). Stabilność termiczną sprawdził przy użyciu spektroskopii desorpcji termicznej (TDS). Istotną wartością pracy jest tym samym zastosowanie

różnorodnych technik do badań własności, co pozwala na obserwację zarówno w skali nanometrowej, jak i atomowej oraz na wyznaczenie zależności między własnościami strukturalnymi a np. elektrycznymi badanych warstw molekularnych. Badania są uzupełnione obliczeniami DFT, które wykonane zostały w ramach współpracy z prof. dr hab. Mariuszem Krawcem z Uniwersytetu Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.

Praca doktorska powstała w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Jagiellońskiego w Krakowie pod opieką naukową prof. dr hab. Franciszka Kroka. Praca napisana jest w języku angielskim i ma standardowy układ. Liczy 125 stron, zawiera 184 referencje literaturowe oraz spis publikacji Doktoranta. Warto tutaj zauważyć, że Doktorant jest współautorem 7 publikacji, z czego trzy są bezpośrednio związane z tematem pracy doktorskiej.

Pracę rozpoczyna wstęp, który składa się z pięciu podrozdziałów. Pierwszy podrozdział, zatytułowany „Scientific background”, zawiera głównie motywację podjęcia badań z zakresu elektroniki molekularnej. Podrozdział drugi poświęcony jest zaprezentowaniu pierwszej badanej molekuly organicznej – Para-heksafenylu (6P). Sama molekula jest zaprezentowana bardzo skrupulatnie. Jednakże informacje literaturowe o ułożeniu tych molekuł na powierzchniach przedstawione zostały bardzo pobieżnie. Możemy dowiedzieć się tutaj, że molekuly mogą być zaadsorbowane na powierzchniach zarówno płasko, jak i w pozycji stojącej. Jednakże przyczyny obserwacji poszczególnej konfiguracji skomentowane są bardzo ogólnym stwierdzeniem, że odpowiedzialne za ten fakt są oddziaływania molekula-powierzchnia. Nie dowiemy się tutaj niczego, co obecnie wiadomo o lateralnym rozmieszczeniu molekuł, ani zależnościach ułożenia od ilości materiału zaadsorbowanego na powierzchni. Mówiąc krótko, brakuje przeglądu literatury na temat obserwowanych ułożeń strukturalnych molekuł.

Podrozdział trzeci poświęcony jest drugiej badanej molekuule organicznej: dihydro-tetraaza-pentacenowi (DHTAP) oraz porównaniu jej z pentacenenem (5A). Analogicznie jak w poprzednim podrozdziale, molekula ta przedstawiona jest bardzo skrupulatnie. Tutaj także brakuje informacji o jej strukturalnym ułożeniu na powierzchniach. Co prawda brak ten jest częściowo uzasadniony, gdyż molekula ta nie była badana na powierzchniach półprzewodnikowych.

W kolejnym podrozdziale przedstawiono cechy charakterystyczne powierzchni $\text{TiO}_2(110)$. Ostatni podrozdział zatytułowany jest „Thesis goals and structure”. W pierwszym zdaniu czytamy „This work concerns the investigation of thin molecular

layers grown in titanium dioxide substrate in regard of morphology and properties". Sugeruje to, że celem pracy jest poznanie struktury warstw molekularnych złożonych z molekuł 6P i DHTAP na powierzchni $\text{TiO}_2(110)$ oraz korelacji ułożenia i własności, np. elektronowych takich warstw. W mojej opinii, Doktorantowi udało się osiągnąć ten cel. W pracy pokazano strukturę warstw molekularnych oraz wyznaczono niektóre własności, np. pracę wyjścia oraz energię desorpcji warstw molekularnych.

W rozdziale drugim pracy Autor rozprawy przedstawia techniki badawcze oraz metody teoretyczne wykorzystane w pracy. W pierwszym podrozdziale zamieszczono wprowadzenie. W podrozdziale drugim opisane są techniki należące do grupy skaningowych technik próbnikowych, takie jak skaningowy mikroskop tunelowy (STM), mikroskop sił atomowych (AFM), mikroskopia sił sondy Kevina (KPFM). W trzecim podrozdziale – techniki bazujące na wykorzystaniu wiązki elektronowej do obrazowania, takie jak skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM), dyfrakcja elektronów niskoenergetycznych (LEED). W podrozdziale trzecim znajduje się opis spektroskopii desorpcji termicznej (TDS). Używane techniki opisane są dość szczegółowo, co wskazuje na dobre techniczne przygotowanie doktoranta do przeprowadzenia badań.

W rozdziale trzecim Doktorant przedstawił „Experimental details”. Składa się on z czterech podrozdziałów. Pierwszy poświęcony jest aparaturze użytej do pomiarów przedstawionych w pracy. Drugi – procedurom przygotowania powierzchni $\text{TiO}_2(110)$ do badań. Trzeci z kolei procedurom związanym z naparowaniem warstwy molekularnej. Czwarty – metodom teoretycznym, bazującym na wykorzystaniu teorii funkcjonału gęstości (DFT). Ku mojemu zaskoczeniu, w podrozdziale poświęconym przygotowaniom powierzchni do badań znajduje się także procedura przygotowania ostrzy do badań STM.

Poważnym mankamentem pracy jest brak jednoznacznej informacji, jak zdefiniowana została monowarstwa (ML) molekuł. W późniejszej części pracy doktorant wielokrotnie używa pojęcia monowarstwy jako dobrze zdefiniowanej jednostki. Domyślić się można, że została ona wyznaczona na podstawie wagi kwarcowej i prawdopodobnie została ona przypisana ilości molekuł potrzebnej dla stworzenia na powierzchni warstwy molekularnej złożonej z płasko zaadsorbowanych molekuł. Jednakże w pewnych warunkach badane przez Doktoranta molekuly nie układają się płasko na powierzchni, lecz adsorbują na stojąco. To znacznie komplikuje definicję monowarstwy i warto byłoby ten parametr określić bardziej precyzyjnie.

W rozdziale czwartym Doktorant przedstawił oryginalne wyniki eksperymentalne

dotyczące adsorpcji molekuly 6P na $\text{TiO}_2(110)$. Rozdział składa się z czterech podrozdziałów. W pierwszym przedstawione są wyniki na temat zaobserwowanych struktur 6P na płaskiej oraz zmodyfikowanej bombardowaniem jonami powierzchni $\text{TiO}_2(110)$. Znajduje się tutaj także podrozdział mający na celu stwierdzenie czy na powierzchni tworzy się warstwa zwilżająca. Brakuje jednak definicji, czym jest warstwa zwilżająca i jaka jest jej grubość. W podrozdziale 4.1.1 przedstawiony został wynik adsorpcji kilku monowarstw 6P na płaskiej powierzchni $\text{TiO}_2(110)$. Od razu nasuwa się pytanie, ile to jest „kilka”? W obrazach SEM widoczne tutaj są nanodrut molekularne. Rozmiary nanodrutów zostały podane jako $\mu\text{m} \times \text{setki nm} \times \text{nm}$. Brakuje tutaj statystyki (rozkładu) tych rozmiarów. Praca zyskałaby gdyby Doktorant oszacował ile materiału organicznego jest zgromadzone w nanodrucie, a ile w warstwie zwilżającej. Podrozdział 4.1.2. poświęcony jest adsorpcji molekuł 6P na powierzchni $\text{TiO}_2(110)$ zmodyfikowanej bombardowaniem jonami. Nie jest zaskoczeniem, że zmodyfikowana powierzchnia znacznie zmienia specyfikę adsorpcji molekuł. W opisie przedstawionym przez Doktoranta czytamy „Increase of the substrate height modulation amplitude in a certain area enlarges the amount of step-edges concentration, which results in lowering of the average molecule-substrate interactions due to the enforcement of the over-the-edge molecular arrangement”. Stwierdzenie, że obecność stopni obniża oddziaływania molekuła-substrat wymaga dodatkowych argumentów, gdyż standardowo stopnie atomowe są miejscami powodującymi np. unieruchomienie molekuł, co sugeruje wzmocnienie, a nie osłabienie oddziaływań molekuła-substrat. Nie jasne jest także sformułowanie „over-the-edge molecular arrangement”. Na powierzchni pofałdowanej zaobserwowano adsorpcję molekuł na stojąco („up-right”). Wynika to z niedopasowania rozmiarów molekuly do pofałdowania powierzchni. Ciekawe byłoby sprawdzenie, czy molekuly będą zaadsorbowane na stojąco także w niższych pokryciach. W podrozdziale zamieszczone jest zdanie „A further rise in 6P coverage leads to the increase of the islands occurrence and vertical growth of consequent “up-right standing” levels on top of each other instead of a full and compact single layer on $\text{TiO}_2(110)$ ”. Aby je zrozumieć należałoby posiadać informacje, ile materiału zostało zdeponowane na powierzchni. Czy mamy tutaj warstwę zwilżającą i wyspy, czy może tylko wyspy na czystej $\text{TiO}_2(110)$? Następnie, dodając materiał do tego stanu, otrzymujemy kolejne warstwy molekuł złożonych z molekuł w konfiguracji stojącej. Znając ilość materiału zdeponowanego na powierzchni można by wydedukować typ wzrostu molekularnego: warstwowo-wyspowy

(Stransky-Krastanov) czy wyspowy (Volmer-Weber). Zacytowane powyżej zdanie sugeruje wzrost wyspowy, lecz w kolejnym podrozdziale następuje sprawdzanie występowania warstwy zwilżającej, która jest obecna zarówno na powierzchni płaskiej, jak i pofałdowanej, co sugeruje wzrost warstwowo-wyspowy. W rozdziale 4.1.3. przedstawiono pośredni dowód na istnienie molekularnej warstwy zwilżającej na powierzchni $\text{TiO}_2(110)$. Z pracy nie wynika, skąd wiadomo, że pojawiające się po ekspozycji w powietrzu dodatkowe struktury złożone są z 6P molekuł. Brakuje tutaj także opisu zmian zachodzących w warstwie zwilżającej podczas procesu „de-wetting”.

Rozdział 4.2 zawiera charakterystykę molekularnej warstwy zwilżającej. Wynika z niego, że doktorant za warstwę zwilżającą uważa monowarstwę. W tym podrozdziale zdeponowano na powierzchni ilość materiału potrzebną do utworzenia monowarstwy i zbadano ułożenie strukturalne molekuł w takiej warstwie. Doktorant wykonał bardzo szczegółową i rzetelną analizę strukturalną przy pomocy STM i LEED na obu: płaskiej i zmodyfikowanej bombardowaniem powierzchni $\text{TiO}_2(110)$. W rozdziale 4.2.2 Doktorant przedstawia obrazy LEED oraz atomowej rozdzielczości obrazy STM. Z obrazów STM wynika, że na płaskiej powierzchni molekuly 6P układają się w rzędy molekularne wzdłuż kierunku $[1\bar{1}0]$. Z obrazów LEED wynika konstruktywna interferencja rozproszonych elektronów pochodząca z co drugiego rzędu molekularnego. Równocześnie na obrazach STM widzimy dobrą rozdzielczość molekularną w co drugim rzędzie molekularnym. Obserwacje przy pomocy tych dwóch technik dobrze ze sobą korelują. Doktorant nie wyjaśnia jednak przyczyn zaistnienia takiej korelacji. Skomentowane jest to jednym krótkim zdaniem: „Such a visual appearance can be explain by substrate and an unsymmetrical STM probe”. Objaśnienie jednak tego faktu znajdujemy później w porównaniu obrazów STM z obliczeniami DFT, które znajduje się w podrozdziale 4.3.2. Z porównania tego wyniku pochylenie molekuł 6P względem powierzchni o ok. 20 stopni, co powoduje powstanie dwóch typów naprzemiennie ułożonych rzędów molekularnych na powierzchni.

Podrozdział 4.2.3 zatytułowany został „The limiting factor for the wetting layer formation”. Doktorant informuje, że utworzenie się molekularnej warstwy zwilżającej na powierzchni uprzednio zmodyfikowanej bombardowaniem jonami wysokoenergetycznymi zależy od kierunku modulacji powstałego pofałdowania powierzchni względem rzędów atomowych podłoża. W przypadku modulacji poprzecznej do rzędów powierzchni, molekuly 6P przebywają na powierzchni w postaci gazu

molekularnego, a zwiększenie pokrycia powoduje utworzenie się wysp składających się ze stojących molekuł. Ekspozycja na powietrze powoduje powiększenie się wysp molekularnych o molekuły z gazu. Zastanawiam się tutaj, dlaczego doktorant twierdzi, że nie tworzy się warstwa zwilżająca. Spodziewałabym się, że jeśli będziemy kontynuować naparowanie molekuł, to na powierzchni utworzy się monowarstwa złożona z molekuł stojących. Jednakże utworzenie takiej warstwy będzie wymagać znacznie większej ilości molekuł zdeponowanych na powierzchni. Dlatego wracamy tutaj do problemu zdefiniowania monowarstwy molekuł na powierzchni.

W ostatnim podrozdziale rozdziału 4 Doktorant scharakteryzował oddziaływania na interfejsie molekula-substrat. Na podstawie obliczeń DFT wyznaczył energię wiązania molekuł 6P. Metodę KPFM zastosował do wyznaczenia pracy wyjścia elektronu z powierzchni pokrytej warstwą zwilżającą oraz z nanodrutów molekularnych, natomiast technikę TDS do wyznaczenia wartości energii desorpcji z monowarstwy oraz multiwarstwy. Porównał energię wiązania otrzymaną z obliczeń DFT z energiami desorpcji uzyskanymi z TDS. Porównanie to wykonane jest bardzo solidnie i wykazana jest zgodność otrzymanych wartości w granicach niepewności pomiarowych wykorzystywanych technik badawczych.

Rozdział 5 poświęcony jest oryginalnym wynikom eksperymentalnym dotyczącym adsorpcji na powierzchni $\text{TiO}_2(110)$ dihydro-tetraaza-pentacenu (DHTAP). W pierwszym podrozdziale opisana jest morfologia adsorpcji 2 ML molekuł w trzech temperaturach. W temperaturze pokojowej powyżej monowarstwy w SEM widzimy zestaw drobnych struktur. W 110°C obserwuje się wytworzenie molekularnych nanodrutów. W 125°C druty molekularne są niewidoczne, co prawdopodobnie spowodowane jest osiągnięciem temperatury desorpcji. Kolejny podrozdział Doktorant rozpoczyna od przedstawienia obrazu LEED czystej powierzchni $\text{TiO}_2(110)$ i analizy ostrości refleksów LEED w celu otrzymania informacji o jakości krystaliczności powierzchni $\text{TiO}_2(110)$. Następnie przedstawia obrazy SEM dla 2 ML DHTAP w temperaturze 110°C , które znacznie różnią się od tych przedstawionych w analizie ewolucji temperaturowej warstwy molekularnej. Widoczne są tutaj wyspy o strukturze fraktalnej. Wykazany więc został tutaj znaczny wpływ stanu powierzchni startowej na molekularne struktury wytworzone na powierzchni. Wysokość zaobserwowanych fraktalnych wysp molekularnych Doktorant wyjaśnił poprzez subtelny balans przyciągających i odpychających oddziaływań między powierzchnią a dipolem elektrycznym molekuly, powodujący adsorpcję molekuly pod

kątem względem powierzchni. Podobną zależność kształtu powstałych struktur molekularnych – nanodrut/wyspy fraktalne – od stanu powierzchni startowej Doktorant zaobserwował dla pokrycia powierzchni 6ML molekuł. Wpływ morfologii powierzchni na otrzymane struktury został więc wykazany.

W kolejnym podrozdziale Doktorant zaprezentował adsorpcję molekuł DHTAP na pofałdowanej powierzchni. Nie jest zaskakujące, że adsorpcja na powierzchni pofałdowanej w kierunku prostopadłym do atomowych rzędów $\text{TiO}_2(110)$ wykazuje kombinację adsorpcji z powierzchni szorstkiej i płaskiej. Obserwuje się tutaj struktury fraktalne wydłużone wzdłuż kierunku pofałdowania, będące tworem pośrednim między wyspami a nanodrutami molekularnymi. Wyspy są wydłużone w kierunku $[1\bar{1}0]$. Anizotropia tych tworów wzrasta wraz z gęstością pofałdowania powierzchni. Sytuacja zmienia się, gdy powierzchnia jest pofałdowana w kierunku równoległym do rzędów atomowych powierzchni. Wtedy za anizotropię wysp odpowiada dyfuzja powierzchniowa i wyspy są wydłużone w kierunku $[001]$. Kierunek pofałdowania powierzchni modyfikuje więc anizotropię otrzymanych struktur molekularnych.

Podrozdział 5.2 został poświęcony zbadaniu ułożeń molekuł DHTAP w monowarstwie. Brakuje w tym miejscu informacji o badaniach LEED oraz badań teoretycznych. W niepełnej monowarstwie preferencyjnym ułożeniem molekuł jest ułożenie z długą osią wzdłuż kierunku $[1\bar{1}0]$, oraz obróconą o 36° względem tego kierunku. W tekście Doktorant zamieścił zdanie „Finally with the further molecular coverage increase, the molecules are packed more closely, which lead to larger molecule-molecule interaction. As interaction become larger than substrate-molecule interaction, the molecules find another local minimum of energy in the form of a rotated orientation (either 54° or 90° with respect to former configuration).” Niestety Doktorant nie zilustrował tej sytuacji, ani nie rozwinął tego tematu. Wyobrażam sobie, że obrót molekuły obniży lokalne upakowanie, co jest niezgodne z większym pokryciem molekularnym. Co dzieje się więc na powierzchni z nadmiarem materiału?

W podrozdziale 5.2.3 zamieszczono informację o początkowym stadium wzrostu molekularnego w 3D. Przedstawione tutaj zostały wyniki tylko dla powierzchni pofałdowanej. Badania prowadzono dla pokrycia 1.5 ML. Wyniki wykazują na uporządkowanie molekuł w wyspach, ale szczegóły uporządkowania niestety nie zostały zaprezentowane. Otrzymane wyniki wskazują na dekompozycję oraz mobilność małych wysp. Jednakże nie zostały przeprowadzone badania, co powoduje ruchliwość tych wysp

molekularnych: oddziaływanie molekula-ostrze czy temperatura? Podrozdział 5.2.4 poświęcony jest wewnętrznej strukturze molekularnych nano-drutów. Doktorant wspomina tutaj o multi-poziomowej strukturze molekularnej, niestety opis jest troszkę zawiły. Czytelnik zyskałby dzięki graficznemu przedstawieniu tego wzrostu.

Podrozdział 5.3. poświęcony jest własnościom elektronowym warstw DHTAP/TiO₂(110). Nie jest dla mnie zrozumiałe, dlaczego w podrozdziale tym znajduje się informacja o energiach aktywacji dla desorpcji termicznej oraz stabilność po ekspozycji na powietrze. Podrozdział raczej powinien być zatytułowany „stabilność układów molekularnych”. W tym rozdziale pojawia się też nowa jednostka LML, która nie została wyjaśniona w tekście pracy. Nie jest też jasne, dlaczego Doktorant dopiero tutaj objaśnia metodologię pomiarów TDS. W pracy wcześniej zamieszczony został już rozdział o metodologii pomiarów oraz rozdział przedstawiający wyniki z TDS dla molekuł 6P. Jednakże analiza danych z TDS wykonana jest bardzo rzetelnie i szczegółowo. Z porównania danych desorpcji termicznej dla DHTAP z 5A wynika różnica w energiach aktywacji dla desorpcji termicznej rzędu 0.65 eV. Oczywiście różnicą jest posiadanie przez DHTAP elektrycznego momentu dipolowego, którego nie posiada molekula 5A.

Kolejny podrozdział poświęcony jest badaniom zmian pracy wyjścia wywołanych adsorpcją DHTAP oraz 5A na powierzchni TiO₂(110). Molekuły DHTAP obniżają pracę wyjścia układu mniej niż 5A. Jak słusznie doktorant zauważył, związane jest to z współdziałaniem elektrycznego momentu dipolowego molekuly z momentem dipolowy powierzchni. Ostatni podrozdział poświęcony jest stabilnością warstw DHTAP na powierzchni TiO₂(110) w warunkach atmosferycznych, czyli po ekspozycji na powietrze. Wyspy fraktalne ulegają dekompozycji w tych warunkach, podczas gdy nano-wstążki nie wykazują znacznych zmian nawet po półrocznej ekspozycji na normalne warunki atmosferyczne. Niewidoczne są także zmiany w warstwie zwilżającej. Wniosek o braku zmian w warstwie zwilżającej może być trochę przedwczesny, gdyż nie przedstawiono tutaj obrazów o wysokiej rozdzielczości potwierdzających, że zmiany w warstwie zwilżającej nie zachodzą na poziomie molekularnym.

Pracę kończą podsumowania i wnioski. Rozdział ten został podzielony na trzy podrozdziały. Pierwszy poświęcony jest molekułom 6P, drugi molekułom DHTAP, a trzeci porównaniu tych wyników. Brakuje tutaj zwartej listy wyznaczonych parametrów. Jednakże w opisowym przedstawieniu wniosków recenzent jest w stanie dostrzec istotne parametry. Najbardziej wartościowe jest porównanie przedstawione w podrozdziale 6.3.,

gdyż tych informacji nie zamieszczono we wcześniejszych rozdziałach.

Na liście publikacji Doktoranta znajdują się niekompletne dane bibliograficzne. W pozycjach 1, 6 i 7 brakuje numeru stron publikacji Doktoranta.

Podsumowując – w pracy przedstawione zostały wartościowe, oryginalne wyniki eksperymentalne. Analiza wyników została wykonana rzetelnie. Zaobserwować można drobne potknięcia Doktoranta w opisie uzyskanych wyników, jednakże nie umniejsza to wartości otrzymanych wyników. Stwierdzam więc, że przedstawiona do recenzji praca spełnia wymogi ustawy o tytule naukowym i stopniach naukowych.

Dr hab. Grażyna Antczak, prof. UWr

Lista niekonsekwencji edytorskich:

1. Niekonsekwencja w odnośnikach do numerów równań. W rozdziale drugim Doktorant odnosi się do wcześniej przedstawionego równania poprzez notację (nr rozdziału. Nr. Równania) – patrz str. 30 linia 16: ..."Hook's law (equation 2.4)..." podczas gdy w rozdziale trzecim w analogicznej sytuacji mamy na str. 44, linia 5 equation (16)" i linia 22 „ ... Polanyi-Wigner equation (16)".
2. Str. 60: linia nr 3: powinno być $6 \times 6 \mu\text{m}^2$ jest $6 \times 6 \text{um}^2$
3. Str. 75: Mamy (Figure 48 Figure 49)
4. Str. 82: W tekście - Rysunek 57 a i b a powinien być Rysunek 54 a i b
5. Str. 85: 3 linia: powinien być rysunek 57a, a jest 54a
6. Str. 85: jest "...irridiation (Figure 58a.dFigure 56)"
7. Str. 86: w tekście wspomniany jest rysunek 61 a-b. Jednakże rysunek 61 nie ma panelu a i b i nie odpowiada opisowi
8. Str. 88: W tekście wspomniany jest Rysunek 63a, ale opis rysunku nie odpowiada zawartości rysunku 63a. Raczej jest to rysunek 60a.
9. Str. 98: mamy donośnik do rysunku „ (Figure 55Figura 54)