



**GDAŃSK UNIVERSITY  
OF TECHNOLOGY**

FACULTY OF CHEMISTRY

**Prof. dr hab. Anna Lisowska-Oleksiak**

Gdańsk University of Technology

Faculty of Chemistry

Department of Chemistry and Technology  
of Functional Materials

80-232 Gdańsk, Narutowicza 11/12

email: alo@pg.edu.pl

## **Review of the doctoral dissertation**

**presented by Mr Maciej Kwiatkowski for obtaining a doctorate degree  
in physical chemistry**

The doctoral dissertation entitled „*ZnO (core/TiO<sub>2</sub> (shell) composites: influence of TiO<sub>2</sub> microstructure, N-doping and decoration with Au nanoparticles on photocatalytic and photoelectrochemical activity*” by Maciej Kwiatkowski has been prepared under supervision of Professor Magdalena Skompska from the University of Warsaw, Poland and dr hab. Igor Bezverkhyy from Université de Bourgogne Franche—Comté, France. The thesis has been performed under *i)* the ‘co-tutelle’ doctoral program funded by the French Government and *ii)* supported partially by the National Science Center (Poland), within the project Dec 2012/07/B/ST5/02431).

The thesis is devoted to studies on novel photoactive nanostructures, combining titania and zinc oxide, in a special combination as a core-shell system. Also both oxides are well studied and the literature assigned to their photocatalytic and photoelectrocatalytic properties is much more than numerous, the presented work is devoted to surface and bulk modifications and characterization of core/shell composites based on ZnO/TiO<sub>2</sub> junction. Effort in this work is focused on elaboration of peculiarly engineered microstructures, aiming to reach the best photoactivity and photoelectroactivity. Similar research studies are known<sup>1</sup> and here the novelty is seen in elaboration of the procedures for nanocomposite manufacture and among them, an easily scalable one for possible further applications in the field of photo-assisted water oxidation and/or removal of organic contaminants from sewage water. The aim of the presented dissertation, declared on pp.80-81, was to provide the systematic studies

---

<sup>1</sup> According to Web of Science search for TiO<sub>2</sub>:ZnO composite and photoactivity, in period between 2010-2017 above 40 references have been recorded.

on core/shell ZnO/TiO<sub>2</sub> nano-composites deposited on the conductive substrate (ITO) to establish correlation between preparation conditions of the system, the morphology and their photocatalytic and photoelectrocatalytic properties.

The choice of a semiconductor hetero-junction implies the role of TiO<sub>2</sub> (anatase, tetragonal) as a shell with a conduction band edge below the CB of the ZnO (wurtzite, hexagonal) core (inner part) of the constructed composite. This type of semiconductor-based composites SC1/SC2 is classified by the Author according to literature as a type I SC-junction, (p.69, please check the scale on Fig. 33).

This composite (ZnO/TiO<sub>2</sub>) has been modified to increase photoactivity of the microstructural junction. Both bulk and surface of titania were the subjects of modification. First, doping of TiO<sub>2</sub> by nitrogen was undertaken. Obtained N-TiO<sub>2</sub>, was decorated with Au nanoparticles as the outer part of a core/shell system. This modification was performed to enable a plasmonic effect and other phenomena enriching photoactivity to occur. The essence of this work lies in finding optimal conditions for producing a composite with unique photocatalytic properties owing to the existence of an interfacial zone between both oxides.

The Doctoral Dissertation is a document written in English on 204 (A4 format) pages, having a traditional structure. It is divided into six parts preceded by the Abstract (in Polish, English and French) and Introduction (Part I). The thesis contains 15 tables, 98 figures (some multiple A,B,C,D), there are 427 items in References.

Pages 31- 81, called 'Bibliography', contain theoretical information on the electronic structure of matter (metal, insulator, semiconductor), the characterization of transition type in direct and indirect semiconductors, refers to principle equations and gathers numeric data on charge carries' life-span etc., (unfortunately font-size is too tiny for a printed document and the reviewer needs a magnifying glass not only glasses, see Fig. 5, page 33 and others). A separate chapter comprises a comprehensive short description on nanomaterials followed by the classification on optical properties of semiconductors in respect to nanoparticulate matter. Interfacial phenomena, photoelectrochemical water oxidation, heterogeneous catalysis, photoactivity of Au nanoparticles, the mechanism of N-doping of TiO<sub>2</sub> and other sub-chapters of this introductory part are written in a comprehensible and synthetic way, proving that the author freely and skillfully uses theoretical knowledge in the field of his interest. This part may serve as a script for other adepts active in the field of nanoparticulate semiconductors photo and photoelectrocatalysis, especially that presented information is based on top articles and reviewed monographs.



Part No 3 contains a clear description of the preparation and synthesis procedures, information about the methodology and techniques used in order to collect an experimental data. Author explains that preparation of the core /shell composite requires a multi-stages procedure and is based on *i)* electrochemical seeding of ITO with ZnO nanocrystals, *ii)* hydrothermal synthesis of nano-ZnO, and finally *iii)* the final preparation of the TiO<sub>2</sub> quilt (cover). As the last one can be obtained by atomic layer deposition, or chemical vapour deposition or using the sol-gel method all are described. Modification of titania with photo-deposited Au nanoparticles is shortly introduced. Methods used for characterization of the obtained composite such as morphology and structure, optical properties are described and illustrated with photos and graphs, the description is dedicated to SEM, TEM, STEM, EDX, XRD, TGA-DSC, analytical TOC measurements, optical spectra analysis and electrochemical techniques such as cyclic voltammetry and linear sweep voltammetry, chronoamperometry as photocurrent and OCV measurements. The data on the electrochemical set-up for photoelectrochemical and photocatalytic experiments are described in short. The last one is based on an International Standarts Procedure in respect to Methylene Blue decoloration. This description is proof of well-established expertise in the presented topics. However, the Author omits information on the measurements accuracy and the error in measurement is not discussed, which is not in line with the principles in physical chemistry.

The key part of the thesis it is Results and Discussion (Part 4.) It starts with electrochemical experiments documenting electrodeposition of Zn-metal onto the conductive substrate ITO as a precursor for zinc oxide formation. The Author refers to an article describing electrodeposition (seeding) from electrolyte containing methanol, however his bath is methanol-free. Presence of oxygen is found to consume the electric charge and causes diminution in cathodic efficiency. Nevertheless, an air containing bath is used for ITO seeding deliberately as an easy, facile way. A cyclic voltammetry curve is shown to illustrate zinc deposition as a chronoamperometric, very nice run, allowing calculation of the nucleation time, the nucleation type (progressive or instantaneous) the type of crystal growth (1D-3D), kinetic control. SEM pictures show pentagonal and hexagonal templates created during progression stages of Zn crystal formation seen here as crystals twinning (Fig. 46 C, D). Seeds are used for further ZnO nanostructure formation by the hydrothermal method. Results are clearly described and illustrated with XRD patterns and SEM images. ZnO nanorods were manufactured as uniform arrays or as urchin-like ZnO (on a Zn support). ZnO nanoarrays were used for further modification with TiO<sub>2</sub>. This stage was performed by *i)* the sol-gel

method, *ii*) CVD technique or *iii*) Atomic Layer Deposition (ALD) technique. Chemicals used in sol-gel method contained carbon and removal of carbon residues is found to be important in respect to photocatalytic properties of the composite. This procedure is supported by TGA –DSC. Great emphasis is given to studies on influence of the microstructure of TiO<sub>2</sub> cover on the photoactivity of ZnO/TiO<sub>2</sub> composite.

Systematic studies allowed to observe creation of voids between both components calcinated in a separate procedure. Interpretation of the observed changes as the Kirkendall effect seems to be correct as in detail supported by XPS data (O, Ti, Zn) and TEM, HAADF-STEM, HR-TEM images. However, one would like to get more information on these “voids-containing” electrodes, especially on how such an effect influences resistivity of the sample. Impedance spectra unfortunately are missing. (Besides, well conducting layered titanates containing Zn(II) may serve as a negative electrode in LiBs (J. Mater. Chem. A 2013 1 4403)).

The optical band gap of the composite is found to be narrowed in comparison with  $E_g$  of both oxides components. The Author is pointing out the importance of the interface as responsible for the improved catalytic activity via *i*) additional sub-band gaps formation or/and *ii*) enhancement of the separation efficiency of generated h<sup>+</sup>/e<sup>-</sup> pairs. It is proven that additional calcination (sintering) of the ZnO/TiO<sub>2</sub> brings about an increase of the lifetime of the charge carriers.

Numerous ZnO/TiO<sub>2</sub> samples were tested towards MB-water decoloration. The rate constant  $k$  was estimated, (unfortunately only sharp values given). Electrochemical tests with redox couple (Fc/Fc<sup>+</sup>) and photo-assisted water oxidation tests helped to find out optimal thickness of the TiO<sub>2</sub> cover (measured as Zn:Ti ratio). Performed experiments allowed to depict the sol-gel method, used for TiO<sub>2</sub> formation, as the most appropriate. And it is difficult to disagree. Especially, that the sol-gel procedure can be easily performed on the technical scale.

The core/shell composite modification towards visible light activity was performed successfully by N-doping of titania and by Au nano particles decoration. The last chapter contains the description of the ZnO/N-TiO<sub>2</sub>/Au composite photoactivity starting with absorption spectra of N-TiO<sub>2</sub>. Discussion on the shift of absorption spectra into the visible range is based on the broad literature data. The  $E_g$  value was estimated on the basis



of the Tauc plot and it is shown that the aim is achieved; the band gap has been narrowed (2.78 eV). The such elaborated composite, decorated with Au nanoparticles exhibits increased photoactivity in comparison with non modified core/shell studied structures. Doping of TiO<sub>2</sub> with non-metals, known in literature, has been exploited to increase catalytic activity of the novel system with great success. Results are presented in a recent article published in *Electrochimica Acta* (2017). The Thesis is amended with comprehensive, mature, critical chapter General Conclusions and Perspectives. Concluded opinions are adequate and reviewer agrees with the Author that the presented results may help other researchers to obtain photocatalysts of engineered structure, active under visible light illumination.

A similar system combining ZnO and TiO<sub>2</sub> with Ag nanoparticles has been presented in a recently published article and the reviewer would like to attract Author's attention to the presented electron transfer mechanism shown in the *New Journal of Chemistry* 2017 41 6445-6454, scheme 2, and to compare it with his own findings.

Mr Maciej Kwiatkowski published already four articles listed in JCR (*Electrochimica Acta* (2), *Applied Catalysis B Environmental*, *J. Materials Chemistry A*), in 3 of them Mr Maciej Kwiatkowski is the first author. He presented his research works many times at the international conferences and got an award for the best poster presentation.

I would like to express my appreciation for Mr. Kwiatkowski's scientific work on photocatalytic properties of the core/shell composite, especially for explaining of the role of the interface between both oxides and laborious tracking of a formation of Zn titanates accompanied by the voids formation between counterparts of the core/shell system. Such findings required great accuracy and inquisitiveness. The whole project is well planned and the Author showed great care in carrying out difficult experiments and tedious measurements as well as inquisitiveness in interpretation of the obtained results. His research contributed to a better understanding of photocatalytic and photoelectroactivity of the ZnO/TiO<sub>2</sub> core-shell composite.

In my opinion the statutory criteria stated in Polish Law on Higher Education, in Article 13 of the Act of 14 March 2003 (*Journal of Laws*, No 65, item 595 with amendments) for doctoral dissertations are fulfilled by the reviewed thesis. I ask for admission of Mr Maciej Kwiatkowski to the public defense of the dissertation.

*Anna Lisowska-Oleksiak*

---

**Prof. Dr hab. Anna Lisowska-Oleksiak**

Politechnika Gdańska  
Wydział Chemiczny  
Katedra Chemii i Technologii  
Materiałów Funkcjonalnych  
80-233 Gdańsk, Narutowicza 11/12

### **Recenzja pracy doktorskiej Pana mgr Macieja Kwiatkowskiego**

Praca doktorska zatytułowana „*Układy hybrydowe ZnO rdzeń / TiO<sub>2</sub> powłoka: wpływ mikrostruktury TiO<sub>2</sub>, domieszkowania azotem i obecności nanocząstek Au na aktywność fotokatalityczną i fotoelektrokatalityczną układu*” Pana mgr Macieja Kwiatkowskiego powstała pod kierunkiem Profesor Magdaleny Skompskiej z Uniwersytetu Warszawskiego i dr hab. Igora Bezverkhyy’ego z Uniwersytetu Burgundzkiego w Dijon. Doktorat zrealizowano dzięki programowi „co-tutelle” rządu francuskiego i wsparciu finansowemu Narodowego Centrum Nauki poprzez projekt Dec. 2012/07/B/ST5/02431).

Praca dotyczy badań fotoaktywności nowych struktur złożonych z ditlenu tytanu i tlenku cynku, tworzących specjalną kombinację *rdzeń-powłoka*. Oba tlenki (ZnO i TiO<sub>2</sub>) są poznane dzięki licznym badaniom nad ich właściwościami fotokatalitycznymi i fotoelektrokatalitycznymi. Obecna praca swoją nowość zawiera w szczególności ich połączeniu. Wysiłek badawczy skoncentrowany jest głównie na wytworzeniu specjalnej mikro/nanostruktury w celu osiągnięcia najlepszej fotoaktywności i fotoelektroaktywności. Znane są badania o podobnej tematyce<sup>1</sup> i w przedstawionej pracy oryginalnym jest opracowanie metod wytwarzania mikro/nanostruktur, wśród nich dające się implementować w większej skali w procesach fotoutleniania wody (photo-assited water oxidation) lub/oraz w usuwaniu zanieczyszczeń organicznych z wód ściekowych. Cel pracy, sprecyzowany przez

---

<sup>1</sup> Według bazy Web of Science pod hasłem „TiO<sub>2</sub> ZnO composite; photoactivity” w latach (2010-2017) jest indeksowanych ponad 40 publikacji.



Autora w dysertacji, to przeprowadzenie systematycznych badań nano-kompozytu *rdzeń–otoczka* ZnO/TiO<sub>2</sub> na podłożu przewodzącym (ITO) w celu znalezienia zależności pomiędzy warunkami przygotowania struktury, morfologii materiału a jego właściwościami fotokatalitycznymi i fotoelektrokatalitycznymi.

Dokonany wybór tlenkowych półprzewodników implikuje rolę TiO<sub>2</sub> (anataz struktura tetragonalna) jako otoczki o położeniu krawędzi pasma przewodnictwa poniżej pasma CB tlenku cynku ZnO (wurcyt, struktura heksagonalna), rdzenia tej konstrukcji. Tego typu złącze zostało sklasyfikowane przez Autora zgodnie z literaturą jako tzw. złącze półprzewodnikowe typu I (type I SC-junction), (str. 69 –rys. 33).

Kompozyt (ZnO/TiO<sub>2</sub>) został zmodyfikowany zarówno w objętości jak i na powierzchni. W pierwszym etapie domieszkowano azotem TiO<sub>2</sub>. Uzyskany materiał N-TiO<sub>2</sub> został poddany modyfikacji powierzchniowej poprzez nanocząstki Au osadzone na zewnętrznej części kompozytu *rdzeń /otoczka*. Modyfikacja ta miała na celu umożliwienie wystąpienia efektów plazmonowych i innych zjawisk wynikających z obecności nanocząstek Au, wzmacniających fotoaktywność.

Istotą tej pracy jest znalezienie optymalnych warunków wytwarzania kompozytu o wyjątkowych właściwościach fotokatalitycznych, wynikających z istnienia nowego obszaru w przestrzeni złącza między oboma półprzewodnikami.

Dysertacja jest dokumentem napisanym po angielsku na 204 stronach formatu A4, mającym tradycyjną konstrukcję. Jest podzielona na 6 części poprzedzone przez Abstrakt po polsku, angielsku i francusku i część I o tytule *Introduction*. Doktorat zawiera 15 tabel, 98 rysunków (część o multiplikowanej numeracji literowej ABCD). Spis literatury zawiera 427 odnośników.

W części 2 (*Bibliography*) zawarto informacje teoretyczne dotyczące struktury elektronowej materii (*metal, półprzewodnik, izolator*), charakterystykę dotyczącą typów przejścia w półprzewodnikach, przywołano podstawowe prawa i równania, zebrano dane dotyczące czasu życia nośników ładunku generowanych światłem, (użyto często zbyt małego rozmiaru czcionki dla dokumentu drukowanego, np.: Fig. 5 str.33). W oddzielnym rozdziale scharakteryzowano nanomateriały i następnie sklasyfikowano właściwości optyczne półprzewodników w odniesieniu do nanocząstek materii. Zjawiska na granicy faz, fotoelektrochemiczne utlenianie wody, kataliza heterogeniczna, foto-aktywność nanocząstek Au, mechanizm domieszkowania azotem (N-doping) TiO<sub>2</sub> i inne zagadnienia omówione zostały w części wstępnej w sposób zrozumiały i syntetyczny, dowodząc, że Autor swobodnie

i umiejętnie (ze znawstwem) posługuje się teorią w tematyce swoich zainteresowań. Część ta może być bardzo pomocna dla innych zainteresowanych zjawiskami fotoelektrokatalizy. Zwłaszcza, że zawarty opis bazuje na uznanych monografiach i artykułach naukowych.

Część 3. (*Experimental*) zawiera opis procedur syntezy i wytwarzania, informację o metodologii i technikach pomiarowych. Autor wyjaśnia, że przygotowanie struktur rdzeń / otoczka wymaga procedury wieloetapowej opartej na *i*) elektrochemicznym zasiewaniu podłoża ITO nanokryształami ZnO, *ii*) hydrotermalnej syntezie nano-ZnO, i w etapie końcowym *iii*) tworzeniu otoczki TiO<sub>2</sub>. Warstwa TiO<sub>2</sub> jest wytworzona na kilka sposobów: na drodze osadzania metodą ALD, za pomocą metody CVD, czy też w metodzie zol-żel. Przedstawiono metodę modyfikacji TiO<sub>2</sub> przez nanocząstki foto-redukowanego złota jak i procedury związane z domieszkowaniem ditlenu tytanu azotem. Przedstawiono informacje dotyczące stosowanych metod w charakterystyce morfologii, struktury, właściwości optycznych. Są to: skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM), mikroskopia TEM, STEM, analiza EDX, dyfraktometria rentgenowska (XDR), metody analizy termogravimetrycznej TGA-DSC, metoda analityczna oznaczania całkowitego węgla TOC, metody pomiaru widm absorpcji i metody elektrochemiczne: woltamperometria cykliczna i liniowa, chronoamperometria w wyznaczaniu fotoprądów i pomiar SEM). Pomiar dotyczące usuwania (dekoloryzacji) błękitu metylenowego są przeprowadzone w oparciu o standardowe procedury (International Standards Procedure in Respekt to MB decoloration). Przedstawiony opis dowodzi dobrej znajomości technik i procedur. Nie opisano dla żadnej z prezentowanych metod dokładności pomiarów, co nie jest w zgodzie z zasadami chemii fizycznej.

Najistotniejsza część pracy to część 4. *Results and Discussion*. Rozdział rozpoczyna opis eksperymentu przedstawiający osadzanie elektrodowe cynku, jako prekursora ZnO, na podłożu ITO. Autor odwołuje się do opublikowanych prac dotyczących procedur zasiewania m. in. do prac dotyczących elektroosadzania z elektrolitów zawierających metanol, jednak w doktoracie zastosowano elektrolit bez metanolu z sukcesem. Przyjęto, że to obniżenie wydajności elektrodukcji na skutek obecności tlenu, nie jest na tyle duże, aby w praktyce prowadzić odtlenianie. Proces zilustrowano krzywą woltamperometryczną i za pomocą chronoamperometrii. Dobrze wykształcona krzywa chronoamperometryczna mogłaby posłużyć do wyznaczenia czasu nukleacji, typu wzrostu kryształów (1-3D) i typu zarodkowania



(progresywnego, natychmiastowego). Obraz skaningowego mikroskopu elektronowego ilustruje etapy wzrostu kryształów Zn (Fig. 46 C,D). Wytworzone ziarna użyto do generacji nanostruktur ZnO, których obecność dokumentowano pomiarami XRD i SEM. Uzyskano tlenek cynku o zróżnicowanej morfologii. W kolejnym etapie przeprowadzono procedurę wytwarzania otoczki TiO<sub>2</sub>. Usuwanie zanieczyszczeń węglowych z warstw uzyskanych w metodzie zol-gel udokumentowano za pomocą metod termooanalitycznych (TGA-DSC).

Dużo uwagi poświęcono badaniom wpływu mikrostruktury otoczki TiO<sub>2</sub> na właściwości fotokatalityczne kompozytu ZnO/TiO<sub>2</sub>. Systematyczne badania pozwoliły na udokumentowanie powstawania „wolnych” nano-przestrzeni pomiędzy składnikami kompozytu. Opisano to zjawisko jako efekt Kirkendall’a, co wydaje się być słuszną interpretacją przedstawionych faktów w postaci wyników badań XPS (O, Ti, Zn) i badań mikroskopowych TEM, HAADF-STEM, HR-TEM. Nie ma jednak wyników ilustrujących właściwości elektryczne kalcynowanych (spiekanych) kompozytów, co mogłoby pozwolić ocenić wpływ powstałych wolnych przestrzeni na impedancję próbki.

Wyznaczona optyczna przerwa energetyczna próbki ZnO/TiO<sub>2</sub> została zmniejszona w porównaniu z wartościami  $E_g$  każdego z tlenków oddzielnie. Autor wskazuje, iż zwiększenie aktywności katalitycznej układu rdzeń/otoczka jest wynikiem pojawienia się nowych poziomów elektronowych jak również wydajniejszej dysocjacji par elektron/dziura. Wykazano, że dodatkowa kalcynacja (spiekanie ?) kompozytu ZnO/TiO<sub>2</sub> skutkuje wydłużeniem czasu życia nośników ładunku.

Przeprowadzono liczne próby usuwania błękitu metylenowego z wody. Wyznaczono stałe szybkości  $k$  reakcji. Testy elektrochemiczne dla pary redoksowej Fc/Fc<sup>+</sup> pozwoliły na optymalizację grubości warstwy TiO<sub>2</sub>. Przeprowadzone badania wykazały, że najdogodniejszą metodą dla uzyskania powłoki TiO<sub>2</sub> jest metoda zol-żel. Metoda ta pozwala na przeprowadzanie procedur w skali technicznej.

Z powodzeniem przeprowadzono modyfikację kompozytu rdzeń/otoczka w celu uzyskania aktywności w zakresie światła widzialnego stosując domieszkowanie TiO<sub>2</sub> azotem oraz osadzenie nanocząstek Au na powierzchni zewnętrznej układu. Wyniki opisano w ostatnim rozdziale pracy. (Autor przywołał liczne prace dotyczące domieszkowania ditlenku tytanu azotem). W wyniku przeprowadzonego domieszkowania azotem szerokość przerwy energetycznej ditlenku tytanu została zmniejszona i wyniosła 2,78 eV. Wartość  $E_g$  została wyznaczona

dla obu typów przejścia: prostego i skośnego. Wyniki badań dotyczące aktywności kompozytu zawierającego rdzeń ZnO i otoczkę N-TiO<sub>2</sub> z nanocząstkami złota zostały opublikowane w czasopiśmie *Electrochimica Acta* (2017). Podobny układ, zawierający ZnO i TiO<sub>2</sub> oraz nanocząstki srebra, został scharakteryzowany jako fotokatalizator w pracy *New Journal of Chemistry* 2017 41 6445-6454. Recenzent chciałby poznać opinię Doktoranta na temat przedstawionego mechanizmu przeniesienia ładunku w kontekście do własnych obserwacji i interpretacji przedstawionych w doktoracie, w szczególności w odniesieniu do schematu 2 pracy (N.JCh 2017).

Pan mgr Maciej Kwiatkowski opublikował cztery prace w czasopismach JCR (*Electrochim. Acta* – 2 artykuły, *Applied Catalysis B Environmental*, *J. Materials Chemistry A*), w trzech z nich jest pierwszym autorem. Wielokrotnie prezentował swoje wyniki na konferencjach krajowych i międzynarodowych i uzyskał nagrodę za najlepszą prezentację posterową.

Podsumowując, chciałabym wyrazić moje uznanie dla Pana Macieja Kwiatkowskiego za przeprowadzenie systematycznych badań nad fotokatalitycznymi i fotoelektrokatalitycznymi właściwościami nowych struktur rdzeń/otoczka, łączących tlenki ZnO i TiO<sub>2</sub>. W szczególności za wyjaśnienie roli przestrzeni złącza pomiędzy oboma tlenkami, w tym wyjaśnienie powstawania zmian chemicznych prowadzących do utworzenia tytanianów cynku, kosztem pojawienia się „nanoszczelin”. Tak dogłębny wgląd w budowę złącza wymagał od eksperymentatora wielkiej uwagi i dociekliwości w interpretacji wyników. Badania zostały bardzo dobrze zaplanowane i przeprowadzone z wymaganą starannością. Praca doktorska przyczynia się do lepszego zrozumienia roli morfologii nano/mikrostruktury złącza ZnO/TiO<sub>2</sub> w jego właściwościach fotokatalitycznych.

Moim zdaniem dysertacja Pana mgr Macieja Kwiatkowskiego spełnia z nawiązką kryteria stawiane pracom doktorskim zawarte w Ustawie o Szkolnictwie Wyższym w Art. 13 Ustawy z dn. 14 marca 2003 r. (Dz.U. art. 595 z nowelami). Proszę o dopuszczenie mgr Macieja Kwiatkowskiego do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

*Anna Lisowska-Oleksiak*