



5 marca 2016

RECENZJA**Rozprawy doktorskiej mgr Grzegorza Babiara
pt. „Wpływ modyfikacji szkieł użytkowych na ich właściwości
optyczne i powierzchniowe”**

Przedstawiona do recenzji praca doktorska została wykonana na Wydziale Chemii UMCS w Lublinie w Zakładzie Zjawisk Międzyfazowych pod kierunkiem prof. dr hab. Lucyny Hołysz, znanego specjalisty w dziedzinie badań zjawisk powierzchniowych oraz właściwości powierzchni ciał stałych.

Szkło jest jednym z najważniejszych powszechnie wykorzystywanych materiałów. Jego wytwarzanie jest energochłonne, ale podstawowe materiały do jego wytwarzania są tanie i były zawsze ogólnie dostępne (piasek i soda lub kreda oraz topniki), co miało niewątpliwie wpływ na to, że szkło okazało się jednym z najwcześniej wytwarzanych materiałów (w Mezopotamii co najmniej 3500 lat p.n.e), chociaż naturalne szkło wulkaniczne (obsydian) było używane znacznie wcześniej. Ze względu na swoje właściwości – odporność chemiczną i termiczną, łatwość formowania w praktycznie dowolne kształty, właściwości izolacyjne, nietoksyczność oraz przepuszczalność dla światła widzialnego, ma bardzo różnorodne zastosowania. Szkło jest również jednym z materiałów, który może podlegać w całości recyklingowi, co oznacza znaczne zmniejszenie niekorzystnych skutków energochłonności pierwotnego procesu produkcyjnego.

Jednym z najważniejszych typów produktów szklanych są szyby okienne – m.in. dla budownictwa, produkcji samochodów czy ogrodnictwa (szklarnie). Obecnie od wielu lat szyby okienne przechodzą znaczącą ewolucję, a nawet można powiedzieć rewolucję – zarówno procesy ich wytwarzania jak i właściwości znacząco różnią się od zwykłego szkła produkowanego masowo jeszcze w latach 50-tych XX wieku. Szkło okienne produkowano wieloma metodami (dmuchanie, walcowanie, ciągnięcie), jednak podstawowa wada takiego szkła – nierówna grubość, pozostawała (choć stopniowo coraz mniejsza). Prawdziwą rewolucją było wprowadzenie metody *float* (tzw. proces Pilkingtona), gdzie roztopione szkło jest wylewane w sposób ciągły na warstwę stopionej cyny, a powstała wstęga (o szerokości

nawet kilku m) jest stopniowo schładzana i cięta na arkusze. Otrzymane szkło może mieć praktycznie dowolną grubość a jednocześnie obie jego powierzchnie są bardzo gładkie i równoległe. Zmianom w podstawowym procesie produkcyjnym towarzyszyło wynalezienie i powszechne wykorzystanie szkieł wielowarstwowych (m.in. bezpiecznie szyby samochodowe) oraz wprowadzenie różnych modyfikacji powierzchniowych (warstwy antyrefleksyjne, warstwy półprzepuszczalne, blokujące promieniowanie UV, katalityczne warstwy samoczyszczące i inne), co zasadniczo zmienia możliwości wykorzystania szkła.

Metoda *float* jest obecnie najważniejszą metodą wytwarzania szkła płaskiego wysokiej jakości. Wykorzystanie modyfikacji jego powierzchni umożliwia zwiększenie jego efektywności (np. zwiększona przepuszczalność światła widzialnego przy zachowaniu tej samej izolacyjności termicznej) przy zachowaniu tej samej grubości i właściwościach mechanicznych oraz niewielkim koszcie modyfikacji. Odpowiedni dobór parametrów szkła pozwala zaoszczędzić ogromne ilości energii, nieporównywalnie większe niż energochłonność wytwarzania i modyfikacji szkła.

Jednym z liderów badań i wykorzystania modyfikacji powierzchniowej szkła jest polska firma D.A. Glass z główną siedzibą w Rzeszowie. W Polsce ma swoje centrum badawczo rozwojowe oraz produkcyjne (140 pracowników), a w USA filię produkcyjną (40 pracowników). Dzięki otwartej polityce firmy, Mgr Grzegorz Babiarz, jako jej pracownik mógł wykorzystać w swojej pracy doktorskiej wykonywane przez siebie badania wpływu modyfikacji szkła typu *float* na jego właściwości optyczne. Badania topografii powierzchni, zwilżalności i energii powierzchniowej prowadzono poza firmą DA Glass za pomocą aparatury Wydziału Chemii UMCS.

Rozprawa doktorska mgr Grzegorza Babiarza jest oparta na wynikach badań opublikowanych w 3 artykułach w monografiach krajowych, 1 komunikatu zaprezentowanego na konferencji międzynarodowej a także 2 komunikatach i 2 posterach na konferencji krajowej. Mgr Babiarz jest też współautorem 3 patentów związanych z tematyką pracy. Autor realizował 2 projekty badawczo-wdrożeniowe, w tym 1 projekt o tematyce prezentowanej w pracy doktorskiej.

Tematyka pracy jest aktualna i ma ogromne znaczenie gospodarcze i proekologiczne, gdyż bezpośrednie wykorzystanie wyników takich badań w skali przemysłowej pozwala na znaczące oszczędności energii i ograniczenie materiałochłonności produkcji szyb okiennych i specjalnych. Bardzo istotny jest też aspekt poznawczy – szerokie badania wpływu różnych typów modyfikacji powierzchniowej różnych szkieł – zarówno optyczne jak i badania pozostałych właściwości powierzchniowych – pozwalają na zwiększenie poziomu

zrozumienia procesów modyfikacji powierzchni szkła jak i relacji pomiędzy różnymi charakterystykami tak zmodyfikowanych warstw powierzchniowych i szkła jako całości.

Recenzowana praca doktorska jest bardzo obszerna. Zgodnie z tradycją rozprawa podzielona została na dwie części, które poprzedza szczegółowy spis treści oraz spis symboli i skrótów (4 str.). We wstępie Autor przedstawił ogólny obraz historii i teraźniejszości wytwarzania i wykorzystania różnych rodzajów szkła i przyczyny dla których modyfikacja właściwości szkieł jest tak ważna, a także motywację, **cele i zakres pracy**.

Na obszerną **część literaturową** (około 30% pracy) składa się 5 rozdziałów. Autor przedstawił w nich zagadnienia związane ściśle z realizowaną tematyką pracy doktorskiej i niezbędne dla zrozumienia podstawowych właściwości badanych szkieł. W pierwszych 2 krótkich rozdziałach (10 str.) przedstawiono podstawowe definicje szkła (stanu szklistego), opis struktury i składu chemicznego szkieł krzemionkowych a także znaczenie gospodarcze, szczegóły produkcji i właściwości szkła wytwarzanego w procesie Pilkingtona (w skrócie: szkła typu *float*). W kolejnym obszernym rozdziale 3 (ok. 200 poz. literaturowych, 35 str.) Autor omówił metody modyfikacji powierzchni szkła dzieląc je na 3 podstawowe grupy – mechaniczne lub chemiczne usuwanie warstw powierzchniowych, modyfikacja powierzchni poprzez zmianę jej składu, modyfikacja poprzez naniesienie nowych warstw powierzchniowych, przy czym metody te mogą być łączone. Szczegółowo opisane zostały poszczególne metody usuwania warstwy powierzchniowej przez matowanie oraz trawienie na sucho lub mokro, zmiany składu i właściwości poprzez wymianę jonową w stopionych solach oraz poprzez działanie plazmy. Najszerzej opisana grupa 12 metod wykorzystuje nanoszenie dodatkowych warstw powierzchniowych, przy czym różnice pomiędzy tymi metodami polegają zarówno na rodzaju tworzonych warstw (np. przewodzące, pochłaniające UV, elektrochromowe, fotokatalityczne, podnoszące twardość powierzchni), metody ich wytworzenia (np. metody zol-żel, osadzanie w fazie ciekłej) a także metody wytwarzania. Ze względu na to, że nanoszenie warstw na powierzchnię najczęściej wymaga jej odpowiedniego przygotowania, wiele spośród tych metod jest bardziej złożona niż wynika to z takiego uproszczonego podziału na 3 typy. Innym sposobem uzyskania interesujących właściwości powierzchniowych jest utworzenie organiczno-nieorganicznych warstw nanokompozytowych (określanych tutaj jako hybrydowe).

W kolejnych krótkim **rozdziale 4** zdefiniowano najistotniejsze dla badanych materiałów właściwości optyczne (1 poz. literatury, 3 str.) mierzalne za pomocą odpowiednio skonfigurowanego spektrofotometru. W ostatnim **rozdziale 5** części teoretycznej (28 poz. literatury, 9 str.) opisano pozostałe istotne właściwości charakteryzujące powierzchnię, w tym zjawisko zwilżania i jego parametry energetyczne oraz metody pomiaru (kąty zwilżania, histereza kąta zwilżania). Przedstawiono też koncepcję i metody wyznaczania

składowych swobodnej energii powierzchniowej (międzyfazowej) poprzez analizę histerezy kąta zwilżania (metoda CAH) lub przez analizę wstępujących kątów zwilżania powierzchni w kilku cieczach dla których znane są składowe napięcia powierzchniowe (metoda LWAB).

Skupienie się na powyżej wskazanych parametrach optycznych umożliwia określenie podstawowych przydatnych użytkowo właściwości szkieł, natomiast druga grupa metod pokazuje i wyjaśnia te właściwości powierzchniowe, które mają zasadnicze znaczenie dla zrozumienia interakcji powierzchni szkieł ze środowiskiem zewnętrznym. W pracy używano też takich metod badania powierzchni jak mikroskopia optyczna, skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM) czy profilometria optyczna (OP) i inne opisane w kolejnym rozdziale należącym już do części doświadczalnej pracy.

Obszerna część doświadczalna składa się z 6 rozdziałów (130 str., prawie 90 poz. dodatkowej literatury, długość rozdziałów 15-30 str.), z których każdy zawiera krótkie podsumowanie – ze względu na zróżnicowanie materiałów i mnogość wyników jest to bardzo przydatne dla czytelnika. W **rozdziale 6** przedstawiono stosowane materiały, odczynniki oraz aparaturę i metodykę pomiarów. Jako materiały stosowano kilka rodzajów szkła typu *float* wytwarzanego przez różnych producentów. Jako że badane modyfikacje (poza działaniem plazmą) prowadzono w różnej skali (od laboratoryjnej do technicznej) w firmie DA Glass, wybór rodzaju materiałów wynikał najprawdopodobniej z realiów rynkowych oraz zróżnicowania oferty szkła *float* wysokiej jakości (DA Glass nie wytwarza szkła „surowego” *float*), co uważam w tym przypadku za zaletę: zapewniło to zarówno możliwość uzyskania pożądanych efektów ekonomicznych (bez konieczności przenoszenia wyników z układu typu materiał badawczy/metoda laboratoryjna na układ aplikacyjny w skali technicznej) jak też zróżnicowanie właściwości substratu do modyfikacji, wysoce pożądane przy formułowaniu wniosków, chociaż wielość stosowanych materiałów i metod ich modyfikacji oraz metod badawczych stanowi niewątpliwie przeszkodę dla łatwego formułowania wniosków ogólnych. W rozdziale 6 umieszczono także obszerną tabelę opisującą rodzaj modyfikacji (oczyszczenie szkła niemodyfikowanego; wytworzenie warstwy antyrefleksyjnej (AR); uzyskanie szkieł dyfuzyjnych matowych i rowkowanych; uzyskanie szkieł antyrefleksyjnych modyfikowanych PTFE; uzyskanie szkieł modyfikowanych plazmą i polimerami). Należy nadmienić, że niektóre szczegóły modyfikacji prowadzonych w firmie DA Glass są utajnione lub opatentowane. W ostatniej części rozdziału 6 opisano metodykę i aparaturę pomiarową oraz niektóre techniki badawcze – m.in. specjalistyczne fotospektrometry: do pomiarów transmitancji bezpośredniej (światło padające pod kątem 90°) w zakresie 250 – 2400 nm, do pomiarów transmitancji hemisferycznej (ze sferą całkującą o średnicy 1 m), do pomiarów stopnia zaciemnienia (HF) (w firmie DA Glass a także mikroskopię optyczną i SEM, profilometrię optyczną, aparaturę do pomiaru kątów zwilżania.

Opisano również aparaturę do modyfikacji powierzchni za pomocą plazmy niskotemperaturowej.

W pozostałych rozdziałach części eksperymentalnej w sposób systematyczny przedstawiano procedury badań doświadczalnych a następnie ich wyniki, dyskusję i podsumowanie. W **rozdziale 7** zaprezentowane wyniki badań wybranych właściwości optycznych (transmitancja bezpośrednia i hemisferyczna, współczynnik rozpraszania HF lub uproszczony DLTF) dla zwykłych szkieł typu *float*, szkieł *float* z warstwą AR oraz szkieł dyfuzyjnych (zmatowionych). Stwierdzono znaczną zmienność właściwości optycznych szkieł *float* w zależności od wytwórcy – najkorzystniejsze ze względu na największą przepuszczalność światła w obszarze widzialnym okazały się szkła niskożelazowe. W przypadku szkieł z warstwą AR znacząco zwiększającą przepuszczalność światła, w tym także przy kątach dalekich od 90° z warstwą wytworzoną metodą trawienia chemicznego w celu usunięcia z powierzchni alkaliów (płukanie w wodzie, HCl a potem HF, a następnie trawienie w podwyższonej temperaturze w roztworze wodorofosforanu glinu i glinianu sodu i ponowne płukanie w wodzie i chlorku mocznika) określono optymalne warunki trawienia. W ostatnim podrozdziale 7.3.3 analizowano właściwości optyczne szkieł matowionych chemicznie (zwykłych i głęboko trawionych). Stwierdzono, że kosztem niewielkiego pogorszenia transmitancji bezpośredniej (DLT) i hemisferycznej (HLT), można uzyskać duży wzrost rozproszenia (HF, DLTF). Ze względu na typowe kąty padania światła słonecznego jest to korzystne zwłaszcza w przypadku szkła do budowy szklarni w rejonach subtropikalnych.

W kolejnych częściach doktoratu przedstawiono wyniki badań zarówno właściwości optycznych jak i właściwości powierzchniowych różnych rodzajów szkieł. W **rozdziale 8** skupiono się na badaniu charakterystyki szkieł niskożelazowych pod kątem ich przydatności do budowy kolektorów słonecznych, gdzie korzystna jest jak największa przepuszczalność szkła w szerokim zakresie spektralnym (wymagana jest niska zawartość żelaza, obniżenie współczynnika odbicia światła) i kątowym oraz odporność na zanieczyszczenia. Dobra przepuszczalność szkła w zakresie niskich kątów padania może być uzyskana np. przez wykorzystanie szkła pryzmatycznego (ornamentowego) i matowionego. Stwierdzono, że szkła gładkie typu *float* charakteryzują się nanoszorstkowością rzędu 1 nm, przy czym zawsze jedna ze stron (stykająca się w produkcji z warstwą cyny) jest gładzsza. Wyznaczono także wartości całkowitej swobodnej energii powierzchniowej uzyskując dobrą zgodność dla metod CAH i LWAB, przy czym wyniki CAH były nieznacznie wyższe, ze względu na wykorzystanie dodatkowej informacji wynikającej z analizy obu kątów zwilżania.

W kolejnych rozdziałach badano właściwości optyczne i powierzchniowe szkieł niskożelazowych modyfikowanych powierzchniowo. W **rozdziale 9** przeanalizowano wpływ modyfikacji powierzchniowych (matowienie i głębokie trawienie oraz wytworzenie warstwy

AR) na właściwości powierzchniowe (topografia, zwilżalność, energia powierzchniowa). Stwierdzono że wprowadzenie warstwy AR znacząco zwiększa chropowatość powierzchni, jednak w mniejszym stopniu niż trawienie (szkło dyfuzyjne), które powodowało wzrost szorstkości do ponad 1µm. Badając kąty zwilżania i obliczając energie powierzchniowe i ich składowe dla różnych rodzajów szkielek i ich modyfikacji stwierdzono, że właściwości te są bardzo wrażliwe na charakter materiału wyjściowego (zależny od surowców i procesu produkcyjnego) i wszystkich etapów modyfikacji – objętościowej (usuwanie żelaza) i powierzchniowej. W niektórych przypadkach nie można było wyznaczyć kątów zwilżania na skutek rozptyływania się kropli (pokrycia antyrefleksyjne o dużej hydrofilowości), wówczas obliczano energię powierzchniową jedynie metodą LWAB.

Szczególnie interesujące wydają się 2 ostatnie rozdziały prezentujące właściwości antyrefleksyjne szkielek niskożelazowych modyfikowanych krzemionką i teflonem oraz polimerami. Modyfikacja szkielek niskożelazowych opisana w **rozdziale 10** polegała na otrzymaniu warstwy AR przez wypłukiwanie alkaliów (uzyskano wzrost transmitancji do nawet 98%), a pozostałe modyfikacje (kąpiele HF/SiO₂, HF/H₂SiF₆/SiO₂, PTFE, H₂SiF₆/SiO₂/PTFE) prowadzą do pewnego obniżenia transmitancji, jednak w przypadku powłoki dwufunkcyjnej (amorficzna krzemionka i teflon) obniżenie jest stosunkowo niewielkie i malejące wraz ze wzrostem czasu modyfikacji. Analiza topografii pokazała, że nanoszenie krzemionki powoduje wygładzenie chropowatości będącej wynikiem wypłukiwania alkaliów. Modyfikacja za pomocą komercyjnej dyspersji PTFE (teflon) prowadziła do wzrostu chropowatości, w przeciwieństwie do hybrydowej powłoki krzemionkowo-teflonowej o znacznie mniejszej chropowatości wynikającej z wyrównywania nierówności po wypłukiwaniu alkaliów. Poziom hydrofobowości powierzchni (największy dla jednego ze szkielek modyfikowanych SiO₂ z HF/H₂SiF₆) wzrastał dla modyfikacji krzemionką lub teflonem jednak towarzyszył temu spadek transmitancji. Przeciwnie, dla hybrydowej warstwy SiO₂/PTFE wysokiej hydrofobowości towarzyszyły znacznie korzystniejsze parametry optyczne. Oznacza to, że tak zmodyfikowane szkło ma zarówno odpowiednie właściwości optyczne, jak też że jest dobrze zabezpieczone przed degradacją powodowaną przez wodę atmosferyczną i inne zanieczyszczenia.

W ostatnim **rozdziale 11** opisano modyfikację powierzchni szkielek z warstwą AR poprzez hydrofobizację polimerami poprzedzoną przez aktywację powierzchni szkła niskotemperaturową plazmą argonową lub powietrzną (w celu polepszenie przylegania takiej powłoki – a więc i jej trwałości – bez zmiany właściwości objętościowych). Warstwy AR najczęściej są hydrofilowe i chropowate, a więc silnie podatne na zabrudzenie – hydrofobizacja ogranicza dostęp wody i hydrofilowych zanieczyszczeń, a jednocześnie warstwa polimerowa wyrównuje typową dla warstw AR chropowatość. W badaniach

wykorzystywano jeden rodzaj zwykłego szkła *float* - z warstwą AR oraz bez tej warstwy. Szkła te modyfikowano przez dwustronne naniesienie warstw 6 różnych polimerów bezpośrednio na oba rodzaje szkła albo poprzedzając tą modyfikację działaniem plazmy powietrznej lub argonowej. Wszystkie warstwy polimerowe powodowały hydrofobizację szkła, jednak bardzo zróżnicowaną. Podobnie zróżnicowane były wyniki pomiarów wpływu polimerów na transmitancję (obniżenie nawet do 25%), jednak użycie plazmy z reguły powodowało zwiększenie przepuszczalności światła, chociaż w niewielkim stopniu wpływało na zwilżalność powierzchni. Dla części polimerów stwierdzono niekorzystne interferencje światła, co wyklucza je z wielu zastosowań (lub wymaga dobrania odpowiednich warunków modyfikacji). W przypadku powierzchni szkieł bez warstw polimerowej stwierdzono, że warstwa AR zwiększa hydrofilowość a aktywacja plazmą jeszcze zwiększa polarność powierzchni. Analizując wyniki stwierdzono, że najbardziej hydrofobową powierzchnię przy zachowaniu dobrych parametrów optycznych uzyskuje się dla polimeru olefinowego (POE), a najniższą hydrofobowość i najwyższą pracę adhezji dla poli(t)alamidu (PPA). Należy podkreślić, że o ile działanie plazmy ma negatywny wpływ na właściwości szkła surowego oraz z warstwą AR, to odwrotnie wygląda sytuacja po pokryciu takich szkieł polimerami. Zdaniem recenzenta, interesujące byłoby również zbadanie różnic we właściwościach mechanicznych wytwarzanych warstw, a w przyszłych badaniach należałoby uwzględnić badanie różnic trwałości i zmiany w czasie właściwości (transmitancji i zwilżalności) warstw wytworzonych bez i z udziałem plazmy, co oczywiście (ze względu na obfitość przedstawionych wyników) nie jest zarzutem wobec Autora rozprawy.

W kończącym pracę **rozdziale 12** Autor przedstawia obszerne podsumowanie oraz wnioski pogrupowane według poszczególnych rozdziałów części doświadczalnej (prawie 5 stron), co ze względu na ilość i zróżnicowanie przedstawionych wyników jest w pełni uzasadnione. Wnioski z rozprawy mogą stanowić doskonałe przygotowanie do dalszych prac o charakterze wdrożeniowym (co jest jednak zależne od firmy DA Glass, gdzie wykonano większość modyfikacji oraz pomiary optyczne), a porównanie ilości i jakości przedstawionego materiału badawczego z listą prac Autora sugeruje możliwość opublikowania co najmniej 2-3 prac w dobrych czasopiśmie w oparciu o w/w wyniki.

Rozprawa doktorska mgr Grzegorza Babiarza została zredagowana estetycznie i dość starannie. W trakcie jej lektury znalazłem pewną ilość uchybień o charakterze redakcyjnym, bez negatywnego wpływu na możliwość zrozumienia tekstu:

- Rys. 1.3 – dwukrotnie N_2O zamiast Na_2O ; proporcje wycinków wykresu lewego górnego nie odpowiadają opisowi (wizualnie SiO_2 75% zamiast 63% lub 65% - suma tutaj to 98%).
- Spis symbol i skrótów (błędy literowe lub angielski szyk wyrazów):
 - angielski szyk definicji: str. 13: ASP, CEMS; str. 15: RIE, TCO,

- str. 14: GW-PR i PR - *prismatik* zamiast *prismatic*; pp – *plasma* zamiast *plazma*; NMR – *nuklearny* zamiast *jądrowy*; POCh – powinno być dużymi literami (przedsiębiorstwo),
- str. 15: TPA – kwas *tetraftalowy* zamiast *tereftalowy*,
- Błędy literowe, np.: *foat* zamiast *float* (str. 18); PEGS zamiast PEG, *elektoluminescencyjny* zamiast *elektroluminescencyjny* (str. 46), 7-krotnie: *pizolityczny* zamiast *pirolityczny* (str. 46 i dalsze); *stosqć* zamiast *stosujqć* (str. 56); *niskożłazowych* zamiast *niskożelazowych* (str. 213); 5-krotnie: *Rodział* zamiast *Rozdział* (str. 212 do 216).
- Indeksy górne i dolne (wykładniki potęgowe, ilości atomów w cząsteczkach itp.), np. str. 157, 181, 182, 184.
- Angielski szyk wyrazów:
 - str. 51 pod rys. 3.19 – szyk: „przezroczyste przewodzące tlenki”,
 - str. 53, akapit nad rys. 3.22 – szyk „z wykorzystaniem metalicznych masek”,
- Pewne niespójności formatowania tekstu i podpisów części rysunków i tabel.
- Bibliografia:
 - wszystkie cytowane strony www – brak dat dostępu,
 - niekompletne lub błędne dane pozycji 28, 29, 63, 90, 124, 269,
 - niespójna numeracja stron, brak strony końcowej, brak stron w poz. 56, 139, 140, 163, 288, 300,
 - błędny zakres stron w pozycjach 52 i 210,
 - błędy literowe w pozycjach 12, 74, 103, 271-274,
 - brak spacji/formatowanie w poz. 20, 34, 99, 146, 148, 156, 158, 160, 197, 210, 239.

Wszystkie powyższe uwagi nie wpływają na ocenę merytoryczną pracy doktorskiej mgr Grzegorza Babiara. Doktorant dokonał bardzo szerokiego przeglądu literatury przedmiotu, wykonał rzetelne badania doświadczalne i przeprowadził dyskusję otrzymanych wyników opisując zachodzące w badanych układach procesy, co świadczy o dobrym przygotowaniu do pracy naukowej. Jednocześnie praca jest doskonałym przykładem badań na pograniczu nauki i technologii. Podsumowując stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr Grzegorza Babiara reprezentuje dobry poziom naukowy i spełnia wymagania stawiane pracom doktorskim. Wyniki przedstawione w niej wnoszą poważny wkład do badań nad właściwościami optycznymi i powierzchniowymi cienkich warstw materiałów i mogą stanowić inspirację dalszych badań nad właściwościami różnymi cienkich warstw i ich wpływem na łączne właściwości warstw i ich podłoża.

W związku z tym wnoszę do Rady Wydziału Chemii UMCS o przyjęcie rozprawy i dopuszczenie mgr Grzegorza Babiara do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

Dr hab. Adam W. Marczewski

