

Warszawa, 18 grudnia 2020 r.

dr hab. inż. Mateusz Śmietana, prof. uczelni
Politechnika Warszawska
Wydział Elektroniki i Technik Informacyjnych
Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki
ul. Koszykowa 75
00-662 Warszawa
Tel. 22 234 6364
Fax. 22 234 6063
e-mail: M.Smietana@elka.pw.edu.pl

RECENZJA

rozprawy doktorskiej pt. „Metody charakteryzacji profilu powierzchni soczewek kontaktowych z użyciem mikroskopii sił atomowych oraz optycznej mikroskopii konfokalnej” autorstwa pana mgr inż. Rafała Brygoły

wykonana na wniosek Przewodniczącego Rady Naukowej Dyscypliny Nauki Fizyczne
Uniwersytetu Warszawskiego z dnia 13.10.2020 r.

1. Jaki jest problem naukowy (teza) rozprawy i czy został on trafnie i jasno sformułowany?

Rozprawa doktorska pana mgr inż. Rafała Brygoły dotyczy zagadnień metrologicznych, w szczególności analizy powierzchni szerokiej gamy dostępnych na rynku miękkich soczewek kontaktowych. Autor sformułował cztery tezy rozprawy. Dwie z nich dotyczą możliwości wiarygodnego i powtarzalnego pomiaru powierzchni silikonowo-hydrożelowych soczewek kontaktowych z użyciem mikroskopu sił atomowych (AFM), w tym monitorowania zmian wynikających z użytkowania tych soczewek. Dwie kolejne tezy dotyczą wpływu materiału sondy AFM na pomiar powierzchni soczewek hydrożelowych o przedłużonym trybie użytkowania oraz możliwości oceny chropowatości soczewek silikonowo-hydrożelowych o przedłużonym trybie użytkowania z użyciem mikroskopii konfokalnej w trybie bez użycia barwników fluorescencyjnych. Uzasadnienie postawienia powyższych tez zostało opisane w Rozdziałach 1.1. i 6.3. Autor pracy trafnie identyfikuje potrzebę analizy powierzchni soczewek kontaktowych w odniesieniu do wpływu cech charakterystycznych ich powierzchni na komfort użytkowania soczewek i potencjalne pojawienie się zaburzeń funkcjonowania oka wynikający z ich stosowania, w tym też długoterminowego. Zależność między parametrami powierzchni soczewki, w szczególności ustalonymi z wykorzystaniem AFM, a jej właściwościami użytkowymi, jest przedmiotem badań wielu zespołów badawczych na świecie. W tym kontekście tezy dotyczące możliwości analizy powierzchni soczewek z użyciem AFM zostały już potwierdzone - AFM jest powszechnie stosowaną metodą analizy powierzchni soczewek kontaktowych. Wnikliwy przegląd literatury związanej z tematyką rozprawy pozwala jednak zauważyć brak standardowych procedur badania powierzchni soczewek z użyciem metod mikroskopowych. W odpowiedzi na ten problem Autor rozprawy opracował procedury pozwalające na ograniczenie powstawania możliwych błędów

pomiarowych, co sprzyja podniesieniu jakości uzyskanego materiału pomiarowego. W nawiązaniu do sformułowanych tez czytelnik spodziewa się więc uzyskać potwierdzenie poprawności zaproponowanych procedur i usprawnień pomiarowych, w szczególności ich przewagi w stosunku do stosowanych przez inne zespoły badawcze i opisywanych w literaturze. Dopiero w takim ujęciu możliwe jest ustalenie na ile wykorzystanie zaproponowanych procedur daje lepsze wyniki jakościowo lub ilościowo. W moim przekonaniu przede wszystkim wspomniana wiarygodność i powtarzalność pomiaru wymagają doprecyzowania ilościowego. Częściowo, jedynie w przypadku przeprowadzonej modyfikacji sondy AFM, przedstawione w pracy wyniki pozwalają na ustalenie wpływu zastosowanej procedury na poprawę możliwości pomiarowych.

Nieco odrębnie należy potraktować tezę obejmującą możliwość pomiaru chropowatości soczewek z wykorzystaniem mikroskopii konfokalnej. W przypadku tej metody Autor zauważa brak doniesień literaturowych odnośnie jej wykorzystania do analizy powierzchni soczewek kontaktowych (str. 100). Fakt ten wynika z fundamentalnych ograniczeń tej metody, co też potwierdzają wyniki przedstawione dalej w rozprawie. Podobnie jak w przypadku nieprecyzyjnego zdefiniowania wiarygodności i powtarzalności pomiaru w przypadku AFM, mam analogiczną uwagę co do precyzji określenia tezy dotyczącej wykorzystania mikroskopii konfokalnej do oceny powierzchni soczewek. W tak ogólnym ujęciu, bez doprecyzowania szczegółów, ocena topografii powierzchni (chropowatości) soczewek jest zawsze możliwa z użyciem mikroskopu konfokalnego.

2. Czy Autor rozwiązał postawiony problem i czy użył do tego właściwych metod dowodząc, że posiadał umiejętności związane z metodyką i metodologią prowadzenia badań naukowych?

Rozprawa ma charakter teoretyczno-doświadczalny i jest poświęcona przede wszystkim zagadnieniom pomiarowym w zakresie analizy powierzchni soczewek kontaktowych. W wstępie rozprawy Autor skupił się na wnikliwym opisie problemu wykorzystania soczewek kontaktowych, uwzględniając ich wpływ na funkcjonowanie oka, rozwój technologii wykonania soczewek oraz ich parametrów użytkowych. Następnie opisana została mikroskopia sił atomowych, w szczególności w odniesieniu do jej wykorzystania do analizy powierzchni i właściwości mechanicznych różnych soczewek silikonowo-hydrożelowych. Od tego etapu rozprawy, analizie danych literaturowych i opisowi teoretycznemu towarzyszą wyniki badań własnych Autora. Analizowane są m.in. czynniki sprzyjające standaryzacji pomiarów topografii powierzchni, czy wpływ użytkowania i przechowywania soczewek oraz materiału wykorzystanej sondy AFM odpowiednio na topografię ich powierzchni oraz uzyskane wyniki. Kolejna część pracy dotyczy mikroskopii konfokalnej użytej do charakteryzacji powierzchni wybranych soczewek wraz z przedstawieniem możliwości szczegółowej analizy uzyskanych danych pomiarowych.

Wykorzystanie metod pomiarowych, w szczególności AFM, jest poprawne. Zarówno opis pomiarów, zaproponowane usprawnienia i procedury pomiarowe jak i towarzyszący im opis

teoretyczny świadczą o głębokim zrozumieniu analizowanego problemu przez Autora rozprawy. Część praktyczna rozprawy potwierdza umiejętności Autora w zakresie metodyki i metodologii prowadzenia badań naukowych. Nieco wątpliwości co do doboru metod pomiarowych może budzić wykorzystanie mikroskopii konfokalnej jako jednej z metod analizy powierzchni soczewek. Krytyczna analiza uzyskanych wyników i świadomość ograniczeń metody częściowo uzasadnia jednak motywację próby wykorzystania na potrzeby rozprawy tego rodzaju obrazowania powierzchni.

3. Czy tematyka rozprawy jest aktualna lub dostatecznie ważna?

Analizą powierzchni soczewek kontaktowych i korelacja uzyskanych wyników z cechami funkcjonalnymi soczewek, też w aspekcie medycznym, są zagadnieniami wysoce interdyscyplinarnymi. W odniesieniu do dynamicznie zmieniających się możliwości technologicznych i materiałowych producentów soczewek, a także powszechności wykorzystania soczewek, tematyka rozprawy jest ważna i wpisuje się w aktualne trendy badawcze w tym obszarze naukowym na świecie.

4. Na czym polega oryginalny dorobek Autora i jakie jest jego znaczenie poznawcze lub przydatność praktyczna dla nauki bądź techniki?

Dorobek Autora rozprawy obejmuje analizę powierzchni szerokiej gamy dostępnych na rynku soczewek kontaktowych. Dzięki opracowanej i wykorzystanej na potrzeby analiz standardowej procedurze pomiarowej, uzyskany materiał badawczy wraz z jego analizą jest wartościowy w perspektywie identyfikacji różnic między dostępnymi produktami i po korelacji z aspektami medycznymi, potencjalnie sprzyja ich lepszemu dostosowaniu do indywidualnych potrzeb użytkownika soczewek. Względnie szeroka rozpiętość badanych materiałów i technologii wytwarzania pozwala na sformułowanie szeregu ogólnych wniosków dotyczących zagadnień technologicznych. Należy również podkreślić dużą wartość dydaktyczną jaką stanowi opracowanie materiału teoretycznego na potrzeby analiz zawartych w rozprawie.

O oryginalności rozprawy świadczy pośrednio fakt publikacji częściowych wyników badań w recenzowanym artykule naukowym (Brygoła i in., Colloids and Surfaces B: Biointerfaces, 165(2028), 229-234).

5. Czy rozprawa świadczy o dostatecznej wiedzy Autora, wiedzy na zaawansowanym poziomie, o charakterze podstawowym dla nauk fizycznych oraz o charakterze szczegółowym, odpowiadającej obszarowi prowadzonych badań naukowych?

Rozprawa dotyczy problematyki metrologicznej, w szczególności obejmującej powierzchnię soczewki kontaktowej. W moim przekonaniu Autor w pełni wykazał dostateczną wiedzę dotyczącą zjawisk fizycznych związanych z układem optycznym oka, a także problemów natury technicznej w zakresie prowadzenia eksperymentów metrologicznych. Zaawansowany poziom wiedzy Autora potwierdza przede wszystkim treść

Rozdziałów 4 i 5, gdzie szczegółowo opisano funkcjonowanie oka, w tym w układzie z soczewką kontaktową oraz właściwości materiałów i technologii wykorzystywanych do wytwarzania soczewek wraz z ich parametrami. Wiedzę o charakterze szczegółowym obejmują z kolei Rozdziały 6 do 13, gdzie Autor dokonuje analizy uzyskanych wyników w odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy.

6. Czy rozprawa obejmuje najnowsze osiągnięcia nauki i świadczy o znajomości współczesnej literatury z dyscypliny naukowej, której dotyczy?

Autor rozprawy ujął problem naukowo-badawczy bardzo szeroko, o czym świadczy powołanie na ponad 102 pozycje literaturowe (wyłączając 2 publikacje własne). W ramach opracowanego przeglądu zostało ujętych kilka pozycji historycznych, zaś pozostałe pozycje opublikowano w ostatnich 20 latach. Nie mam wątpliwości co do aktualności przeglądu literaturowego. Jest on przygotowany w sposób wyróżniający, nie tylko pod względem merytorycznym, ale też językowym. Przegląd świadczy o bardzo dobrej znajomości literatury dotyczącej tematyki pracy i w sposób wiarygodny identyfikuje jej motywację.

7. Jakie są wady i słabe strony rozprawy?

Poza wspomnianym wcześniej problemem dotyczącymi precyzji w formułowaniu tez rozprawy, za najważniejszą jej wadę uważam względnie ograniczony zasób materiału badawczego wykorzystany do powstania rozprawy. Należy zauważyć, że jedynie ok. 1/3 objętości rozprawy to wyniki pomiarów i ich analiza, zaś pozostała część obejmuje analizę problemu i towarzyszący jej opis teoretyczny. Dominująca część teoretyczna jest przygotowana w sposób bardzo dobry, zaś część pomiarowa pozostawia w moim przekonaniu dużo aspektów wymagających dalszego rozwinięcia, nawet na potrzeby weryfikacji tez pracy. Jako przykład można podać procedurę pomiarową opisaną na Str. 75. Wynika z niej, że „wykonywano po 15 pomiarów każdej próbki, każdorazowo zmieniając lokalizację obszaru skanowania na powierzchni próbki”, lecz nie znalazłem informacji, że powtarzano pomiary dla innej sztuki soczewki tego samego typu, materiał i producenta. Wyniki uzyskane tylko dla jednej próbki nie muszą być reprezentatywne dla większej grupy, a jedynie świadczyć o indywidualnym charakterze próbki lub serii produkcyjnej. Co więcej, nie powtarzano również badań po ponownym poddaniu całej procedurze badawczej tej samej soczewki. Dopiero realizacja takich badań pozwoliłaby w pełni zidentyfikować możliwość powtarzalnych pomiarów, czyli potwierdzić część Tezy 1.

Niepokoi także związany z ograniczonym materiałem badawczym fakt braku dogłębnej analizy wyników obserwacji, w tym szczególnie przy wykorzystaniu technik uzupełniających, które pozwoliłyby ustalić genezę obserwacji lub zweryfikować ich poprawność. Wiele z wątków pracy kończy się jedynie sugestią co do dalszych postępowań badawczych i koniecznych analiz, a nie dążeniem do ich realizacji. Jako przykład można wymienić spostrzeżenie odnośnie powstałych depozytów na powierzchni soczewki po jej użytkowaniu. Ustalenie ich pochodzenia pośrednio mogłoby świadczyć o samej soczewce i charakterze jej

powierzchni. Jak zaznaczono na Str. 99, mikroskopia konfokalna pozwala na identyfikację osadów. Szkodą dla pracy jest, że takich badań nie podjęto mimo dostępności właśnie mikroskopu konfokalnego. Szereg możliwości kontynuacji badań Autor sformułował w Rozdziale 11 i ponownie szkoda, że są to jedynie sugestie, a nie zaspokojenie potrzeby dążenia do poprawy wiarygodności przedstawionych wyników (znowu potwierdzenie części Tezy 1). Przykładem potencjalnie niskiej wiarygodności uzyskanych wyników jest stwierdzenie sformułowane na Str. 103, gdzie Autor zauważa, że materiał balafilkon A wykazywał się największą i najmniejszą chropowatością spośród zmierzonych odpowiednio z użyciem AFM i mikroskopu konfokalnego.

W pracy można też znaleźć kilka błędów merytorycznych i niedociągnięć o charakterze edycyjnym np.:

- Na Str. 52 wspomniano o wykorzystaniu metod plazmowych do utleniania powierzchni materiału soczewki. Błędym jest sformułowanie „nakłada cienką warstwę plazmy”. Plazma jako zjonizowana materia nie może być „nakładana”. W opisywanym przypadku interakcję ze zjonizowanym gazem powodują chemiczne lub/i fizyczne modyfikacje powierzchni, w tym możliwe osadzanie materiału (technika CVD), a nie plazmy;
- Autor używa sformułowania „środowisko hydrofobowe” (Str. 54). Zdolność do zwilżania jest jednym z parametrów powierzchni i pośrednio materiału. Nie jest więc poprawne odniesienie zwilżalności do środowiska;
- Po procesie obróbki skrawaniem, polerowaniu i uwodnieniu wg. Autora soczewka przechodzi proces czyszczenia z „niespolimeryzowanego” materiału (Str. 55). Przypuszczam, że intencją Autora było opisanie usunięcia z powierzchni materiału z nią niezwiązanego chemicznie, a tylko fizycznie;
- Niefortunne użycie określenia „generuje” w odniesieniu do tarcia (Str. 61);
- Nie jest zrozumiałe czym różni się modyfikacja powierzchni określona w Tabeli 1 jako „obróbka w plazmie” od „oksydacja w plazmie” (Str. 71).

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę?

a/ nie spełniająca wymagań,

b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,

c/ zadawalająco spełnia wymagania,

d/ wyraźnie wykracza poza poziom przeciętny (spełniająca wymagania z nadmiarem),

e/ wybitna.

Podsumowując stwierdzam, że rozprawa ma charakter teoretyczno-eksperymentalny i obejmuje oryginalne rozwiązanie problemu naukowego. Autor wykazał wiedzę teoretyczną dotyczącą dyscypliny naukowej oraz dostateczną umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej. Mając powyższe na uwadze, mimo szeregu moich uwag krytycznych, rozprawę zaliczam do kategorii „zadawalająco spełnia wymagania” i wnoszę o dopuszczenie mgr inż. Rafała Brygoły do dalszych etapów przewodu doktorskiego.

