

Kraków, 16.08.2022r.

Prof. dr hab. Tomasz Stapiński  
Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica  
w Krakowie  
Instytut Elektroniki  
al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków

## **Recenzja rozprawy doktorskiej**

**Pana mgr inż. Mateusza Czoka**

Pt. „Czujniki i mikrosystemy ceramiczne wykorzystujące optyczne metody detekcji”

Promotor:

Pan Prof. dr hab. inż. Leszek Golonka

### **Problematyka rozprawy**

Problematyka rozprawy związana jest z opracowaniem konstrukcji mikrosystemów analitycznych, o wybranych funkcjonalnościach. Autor opracował technologię wytworzenia niezbyt skomplikowanych czujników i mikrosystemów ceramicznych. W zaproponowanych urządzeniach wykorzystano zjawisko fluorescencji i absorpcji światła. Opracowane urządzenia umożliwić mogą np. pomiary ilościowe komórek prokariotycznych, eukariotycznych, detekcji zakażenia bakteriami. Wybór Autora dysertacji padł na zastosowanie niskotemperaturowej ceramiki współwypalanej (LTCC - Low Temperature Co-fired Ceramics).

Autor w swojej pracy naukowej działał kompleksowo, poczynając od nanoszenia metodą zol-żel warstw  $\text{SiO}_2$  jako powłok zabezpieczających powierzchnie struktur ceramicznych przed adsorpcją niepożądanych substancji. Zastosowane warstwy tlenkowe uzyskane w technologii zol-żel prowadziły do modyfikacji powierzchni ceramicznej. Autor zaobserwował zmiany chropowatości powierzchni warstw ceramicznych. Wykonano też pomiary kąta zwilżania, swobodnej energii powierzchniowej i inhibicji łańcuchowej reakcji polimerazy. Wyniki potwierdzają pozytywny wpływ warstw na zmniejszenie oporów



przepływu w kanałach cieczowych. Dzięki współpracy naukowej z Zakładem Technik Molekularnych Uniwersytetu Medycznego we Wrocławiu i innymi Instytucjami możliwe było wykonanie badań biokompatybilności wybranych podłoży ceramicznych. Wyniki badań i charakteryzacja warstw i struktur ceramicznych potwierdzają pozytywny wpływ warstw tlenkowych na inhibicję łańcuchowej reakcji polimerazy przez ceramikę LTCC, co jest obiecujące dla celów diagnostyki.

Pan mgr Mateusz Czok opracowywał konstrukcje mikrosystemów cieczowych w technologii LTCC, wykorzystane jest zjawisko fluorescencji. Na uwagę zasługuje fakt że wyniki przeprowadzonych prac zostały opublikowane w czasopiśmie oraz stanowią podstawę 2 patentów RP. Autor empirycznie potwierdził poprawność działania skonstruowanego czujnika. W pracy opisano również opracowany ceramiczny analizator komórek MCCA (micro ceramic cell analyzer). Urządzenie to znajduje zastosowanie ilościowym oznaczaniu próbek biologicznych. Funkcjonalność analizatora MCCA została potwierdzona poprzez pomiary odpowiedzi elektrycznej dla komórek prokariotycznych oraz eukariotycznych, co otwiera drogę do stosowania urządzenia w ilościowych pomiarach np. bakterii Gram-ujemnych.

Kolejnym rozwiązaniem opracowanym przez Pana mgr inż. Mateusza Czoka było wykonanie i charakteryzacja czujników i mikrosystemów działających w oparciu o optyczne metody detekcji. Autor skonstruował i przebadął miniaturowy czujnik ceramiczny mikroprzepływowy do pomiaru absorpcji światła. Skorzystano z wcześniej rozwiązanego w ramach innej pracy doktorskiej w Zespole Naukowym Prof. Leszka Golonki problemu użycia elementu szklanego z materiału o współczynniku rozszerzalności termicznej zbliżonym do ceramiki LTCC oraz dobranie szkła o temperaturze mięknienia niższym niż temperatura skurczu ceramiki LTCC, w celu uniknięcia deformacji podczas procesu spiekania i zapewnienia wymaganej lepkości płynnego szkła. Dla lepszej funkcjonalności (np. zabezpieczenie przed uszkodzeniem) w czujniku źródło światła oraz fotodetektor są dołączane do układu za pomocą osobnych modułów zewnętrznych. Autor uzyskał dobrą stabilność poziomu sygnału w trakcie wykonanych pomiarów absorpcji. Stwierdzono, że absorpcja promieniowania widzialnego była proporcjonalna do stężeń zastosowanych roztworów. Zastosowanie trzech źródeł światła, diod elektroluminescencyjnych GaAsP/GaP, GaP i GaN, umożliwia wykorzystanie czujnika do szybkiej diagnostyki (np. do monitorowania namnażania kolonii bakterii).

Dwa ostatnie opracowane w ramach pracy doktorskiej urządzenia to mikrozawór w hybrydowej technologii ceramiczno-polimerowej oraz pompy mikroprzepływowej. Pole elektromagnetyczne służyło sterowaniu zaworem cieczowym, a urządzenie cechował krótki czas reakcji, mały pobór mocy i duże siły przyciągania. Autor wyznaczył parametry użytkowe mikrozaworu, a wyniki wskazywały na wymaganą mniejszą moc niż w przypadku wcześniej opracowanej konstrukcji przez profesora Mario Ricardo Gongora-Rubio. Funkcjonalności urządzenia to precyzyjna kontrola przepływu substancji, precyzyjne dozowanie reagentów, markerów, próbek biologicznych i chemicznych. Mikropompę wykonano w hybrydowej

technologii ceramiczno-polimerowej, a jej koncepcja przypomina antyczną pułkę na ryby „an ancient fish trap” wg. An-Bang Wang i Ming-Che Hsieha. Wykonanie tego urządzenia było również wyzwaniem technologicznym dla Pana mgr inż. Mateusza Czoka. Wykonane testy potwierdziły skuteczność działania urządzenia. Dodatkowo Autor wykonał sterownik elektroniczny dla mikropompy. Pan mgr inż. Mateusz Czok dał się poznać nie tylko jako naukowiec ale również jako dojrzały technolog.

Recenzent z uznaniem dostrzega bardzo ważny (pośredni) związek obiektu badań Pana mgr inż. Mateusza Czoka z potencjalnym pozytywnym jego wpływem na realizację polityk Unii Europejskiej w obszarze środowiska i tzw. „life science”.

### **Charakterystyka rozprawy**

Rozprawa ukazała się w formie zwartej i posiada oryginalny układ. Rozprawa ukazała się w formie wydania książkowego Politechniki Wrocławskiej Wydziału Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów w 2022 roku. Zasadniczo językiem rozprawy jest język polski jednakże zamieszczono tekst angielskojęzycznych publikacji Pana mgr inż. Mateusza Czoka stanowiących dzieła Autora o udziale własnym od 75 do 35%. Rozprawa doktorska wraz z załącznikami składa się ze 163 stron i ma prawidłowy układ edytorski, a jej struktura jest przejrzysta. Przytoczona bibliografia jest w pełni wystarczająca dla naświetlenia problematyki i zawiera 105 pozycji w większości z kilku ostatnich lat wydanych w liczących się czasopismach naukowych, z czego Pan mgr inż. Mateusz Czok powołuje się na 10 publikacji i patentów, w których w większości jest pierwszym autorem. Bibliografia świadczy o dobrym rozeznaniu literaturowym Autora w uprawianej przez Niego dyscyplinie naukowej oraz o znacznym dorobku naukowym. Rozprawa zawiera 7 rozdziałów, streszczenie, spis tabel, spis akronimów oraz wybranych symboli i związków chemicznych, co bez wątpienia jest przydatne. Po bibliografii zamieszczono przedruk opublikowanych prac naukowych i opisów uzyskanych patentów. Autor zamieścił również oświadczenia Współautorów prac mówiących o merytorycznym udziale w poszczególnych pracach. Pierwszy rozdział obejmuje opis celu i zakresu pracy doktorskiej. W rozdziale 2 Autor opisał zagadnienia podstawowe dotyczące czujników i metod detekcji sygnału. W rozdziale 3 Pan mgr inż. Mateusz Czok określił właściwości niskotemperaturowej ceramiki współwypalanej (LTCC) oraz sposobów modyfikacji właściwości ceramiki. Rozdział 4 poświęcony jest opisowi konstrukcji i technologii czujników fluorescencyjnych. Rozdział 5 dotyczy konstrukcji, technologii i zastosowania czujnika absorpcyjnego. W 6 rozdziale Autor przedstawił opracowanie własne ceramicznego mikrozaworu elektromagnetycznego oraz ceramicznej mikropompy elektromagnetycznej. W rozdziale 7 Pan mgr inż. Mateusz Czok dokonał podsumowania prowadzonych badań własnych i przedstawił najistotniejsze wnioski wynikające z badań.

## Oryginalne osiągnięcia Autora

Należy zauważyć, iż Pan mgr inż. Mateusz Czok podjął się trudnego zadania opracowania konkretnych urządzeń, z wykorzystaniem tanich i dostępnych elementów i podzespołów elektronicznych, takich jak ceramiczny analizator komórek wykorzystujący zjawisko fluorescencji, uniwersalny ceramiczny mikrosystem cieczowy z trzema źródłami promieniowania w oparciu o zjawisko absorpcji światła oraz opracowania konstrukcji zaworu oraz pompy mikroprzepływowej w hybrydowej technologii ceramiczno-polimerowej. W szczególności zawór oraz pompa były urządzeniami skomplikowanymi i trudnymi do wytworzenia elementami systemów analitycznych na chipie. Znaczenie prowadzonych badań potwierdza również fakt opublikowania wyników w siedmiu publikacjach naukowych a znaczenie praktyczne dokumentują aż trzy Patenty RP.

## Mocne strony rozprawy

Nie ulega wątpliwości, iż fakt uprzedniego opublikowania wyników badań składających się na doktorat Pana mgr inż. Mateusza Czoka w czasopiśmie z tzw. Listy filadelfijskiej świadczy o randze prowadzonych badań. Przytoczone publikacje naukowe potwierdzają mocne strony doktoratu i merytoryczne przygotowanie doktoranta. Udzielone patenty, gdzie udział Autora dysertacji dochodzi do 50% świadczą o praktycznym znaczeniu prowadzonych badań. Recenzent zauważył nieliczne nieścisłości natury redakcyjnej w przedstawionej do oceny pracy (przykładowo na str. 50 napisano „...Prace oraz wyniki prezentowanych poniżej rozwiązań opublikowano na łamach trzech recenzowanych czasopism [78,79]...”). Recenzent nie ma wątpliwości, iż mocne strony rozprawy są dominujące.

## Wnioski końcowe

Recenzent bardzo wysoko ocenia przedłożoną rozprawę doktorską. Autor w czasie realizacji swojej pracy doktorskiej wykazał się dużą intuicją jako naukowiec oraz wiedzą i doświadczeniem praktycznym. Podkreśleniu zasługuje możliwość wykorzystania wyników badań dla rozwoju sensoryki. Cel pracy został osiągnięty a recenzowana rozprawa doktorska posiada wysoki poziom naukowy i stanowi znaczący wkład w dyscyplinę naukową Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika. Dojrzałość naukową Autora potwierdza fakt, iż wyniki prac były już opublikowane w czasopiśmie naukowym z listy filadelfijskiej (Microelectronics Reliability, International Journal of Applied Ceramic Technology, Sensors and Actuators, Journal of Chemistry and Chemical Engineering) a samodzielny wkład Autora był znaczny. Aspekt praktyczny wyników uzyskanych przez Autora potwierdzają udzielone 3 Patenty RP. Podkreślić też należy, że Autor część prac badawczych wykonał w ramach Projektu NCN „Preludium”, którego był Kierownikiem.

Reasumując stwierdzam, że cel pracy został osiągnięty, recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Mateusza Czoka posiada wysoki poziom naukowy i spełnia warunki stawiane rozprawom doktorskim. Na podstawie stosownej Ustawy wnoszę o jej dopuszczenie do publicznej obrony. **Równocześnie, po przyjęciu publicznej obrony pracy doktorskiej stwierdzam, że cel pracy został osiągnięty, recenzowana rozprawa doktorska Pana mgr inż. Mateusza Czoka z uwagi na znaczenie wyników dla rozwoju dyscypliny naukowej składam wniosek o jej wyróżnienie.**

Tomasz Stapiński



