

Gliwice, 19.09.2022

RECENZJA
rozprawy doktorskiej mgr. Mileny Kiliszkiwicz
p.t.
„Właściwości struktur elektronicznych i fotonicznych wykonanych
w technice druku strumieniowego”

Podstawą prawną dla przygotowanie recenzji rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Mileny KILISZKIEWICZ jest pismo Pana Przewodniczącego Rady Dyscypliny Naukowej Automatyka, Elektronika i Elektrotechnika Politechniki Wrocławskiej, prof. dr hab. inż. Andrzeja Dziedzica nr RDN AEE/118/2022 z dnia 20.07.2022 r.

Przedmiotem recenzowanej rozprawy doktorskiej, wykonanej pod kierunkiem Pana dr. hab. inż. Ryszarda Korbutowicza z Wydziału Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej była próba wytworzenia oraz charakteryzacji wybranych właściwości struktur elektronicznych i fotonicznych wykonanych w technice druku strumieniowego. Zagadnienia te są ważne ze względów nie tylko poznawczych, ale przede wszystkim w aspekcie ich potencjalnych zastosowań elektronicznych.

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

W ostatnich kilku dekadach, z uwagi na naturalną tendencję do miniaturyzacji urządzeń elektronicznych, przedmiotem szerokiego zainteresowania elektroniki ciała stałego są zagadnienia wytwarzania wybranych elementów i struktur elektronicznych z wykorzystaniem osiągnięć tzw. elektroniki drukowanej, w tym zwłaszcza tzw. elektroniki elastycznej. W ramach tej technologii możliwe jest bezpośrednie naniesienie pożądanego wzoru struktury na wybranym podłożu, co stało się ważną alternatywą dla tradycyjnych procesów np. litograficznych ze względu m.in. na zmniejszoną czasochłonność. Ponadto, co bardzo istotne, procedury stosowane w elektronice drukowanej pozwalają na zmniejszenie niezbędnych kroków technologicznych oraz zmniejszenie ilości powstających odpadów poprodukcyjnych, co ma bardzo istotne znaczenie w aspekcie ochrony środowiska.

Głównym problemem naukowym recenzowanej rozprawy doktorskiej są zagadnienia z zakresu technologii oraz charakteryzacji wybranych właściwości struktur elektronicznych i fotonicznych wykonanych w technice druku strumieniowego.

Na podstawie pogłębionej analizy dostępnych informacji literaturowych, oraz uwzględniając wyniki dotychczasowych prac w przedmiotowej tematyce prowadzonych na Wydziale Elektroniki, Fotoniki i Mikrosystemów Politechniki Wrocławskiej Autorka sformułowała następujące cele rozprawy:

- automatyzacja pomiarów struktur drukowanych,
- opracowanie metod przygotowywania podłoży do druku techniką strumieniową,
- analiza jakości warstw przewodzących oraz wykonanie testów starzeniowych uzyskanych wydruków,

Politechnika Śląska
Wydział Automatyki, Elektroniki i Informatyki
Katedra Cybernetyki, Nanotechnologii
i Przetwarzania Danych
monika.kwoka@polsl.pl

ul. Krzywoustego 2, pok.432, 40-100 Gliwice
+48 668039191
NIP 631 020 07 36
ING Bank Śląski S.A. o/Biłwice 60 1050 1230 1000 0002 0211 3056

- opracowanie sposobu drukowania jednorodnej warstwy dielektrycznej poprzez analizę wpływu czynników na drukowanie warstw izolacyjnych,
- analiza możliwości wykorzystania druku strumieniowego w technikach mikrofalowych,
- analiza możliwości wykorzystania druku strumieniowego przy stosowaniu tuszów bazujących na kropkach kwantowych.

Brakuje jednak w recenzowanej pracy doktorskiej jasno sformułowanej tezy pracy w odniesieniu do aktualnego stanu wiedzy w dostępnej literaturze w międzynarodowej przestrzeni badawczej, w tym zwłaszcza w odniesieniu do w dalszym ciągu nierozwiązanych w pełni problemów technologicznych i badawczych w przedmiotowej tematyce.

2. Czy autorka rozwiązała postawiony problem i czy użyła do tego właściwych metod dowodząc, że posiadała umiejętności związane z metodyką i metodologią prowadzenia badań naukowych?

Autorka rozwiązała postawiony problem naukowy, przy czym dobrała właściwą metodykę oraz metodologię zaproponowanych i przeprowadzonych własnych prac technologicznych i badawczych. Prace te można podzielić na 5 etapów.

W pierwszym etapie prac własnych, które zostały opisane w rozdziale 6 rozprawy, Autorka, przy współpracy z kilkoma ośrodkami zagranicznymi, zapoznała się z technologią wytwarzania wybranych struktur drukowanych na określonych podłożach, oraz wykonała pomiary m.in. charakterystyk elektrycznych drukowanych struktur organicznych tranzystorów cienkowarstwowych OTFT. Najważniejsze przeprowadzone prace oraz uzyskane wyniki podsumowała dodatkowo w podrozdziale 6.3.

W drugim etapie prac własnych, które zostały opisane w rozdziale 7 rozprawy, Autorka wykonała wybrane drukowane struktury przewodzące na wybranych podłożach, oraz przeprowadziła m.in. badania mikroskopowe i profilometryczne ich właściwości morfologicznych, a także ich testy niezawodnościowe (czasowe zmiany rezystancji) w komorze klimatycznej, w aspekcie potencjalnego wykorzystania tych struktur w rezystancyjnym czujniku temperatury. Najważniejsze przeprowadzone prace oraz uzyskane wyniki podsumowała dodatkowo w podrozdziale 7.5.

W trzecim etapie prac własnych, które zostały opisane w rozdziale 8 rozprawy, Autorka wykonała wybrane drukowane płaskie struktury kondensatorowe na określonych podłożach, oraz przeprowadziła m.in. badania morfologiczne chropowatości powierzchni dielektryków, a także pomiary charakterystyk pojemnościowych. Ponadto przeprowadziła systematyczne prace nad właściwościami kondensatorowych struktur palczastych, dla których przeprowadziła dodatkowo symulacje zależności ich pojemności od warunków geometrycznych, które dodatkowo zweryfikowała doświadczalnie. Analogicznie jak w wypadku warstw przewodzących Autorka wykonała też testy niezawodności tych struktur (czasowe zmiany pojemności) w komorze klimatycznej. Najważniejsze przeprowadzone prace oraz uzyskane wyniki podsumowała dodatkowo w podrozdziale 8.5.

W czwartym etapie prac własnych, które zostały opisane w rozdziale 9 rozprawy, Autorka wykonała wybrane drukowane planarne obwody mikrofalowe na wybranych podłożach, w tym linie mikroskopowe (do propagacji fali elektromagnetycznej) oraz rezonatory pierścieniowe (w aspekcie zastosowań czujnikowych), dla których przeprowadziła m.in. badania ich charakterystyk optycznych, w tym

częstotliwościowych współczynników transmitancji, oraz mikroskopowe badania ich właściwości morfologicznych. Najważniejsze przeprowadzone prace oraz uzyskane wyniki podsumowała dodatkowo w podrozdziale 9.3.

W piątym, końcowym etapie prac własnych, które zostały opisane w rozdziale 10 rozprawy, Autorka wykonała wybrane struktury fotoniczne na wybranych podłożach, w tym niskowymiarowe kropki kwantowe na bazie CdSe, dla których przeprowadziła m.in. badania profilometryczne ich właściwości morfologicznych (chropowatości powierzchni). Najważniejsze przeprowadzone prace oraz uzyskane wyniki podsumowała dodatkowo w podrozdziale 10.2.

Należy w tym miejscu podkreślić, że wszystkie przeprowadzone prace technologiczne oraz towarzyszące prace badawcze, których wyniki zostały poprawnie przeanalizowane i opisane, jednoznacznie potwierdzają, że Autorka posiada wystarczające umiejętności związane z metodyką i metodologią prowadzenia badań naukowych.

Co istotne, recenzowana rozprawa ma z jednej strony charakter eksperymentalny, a z drugiej - interdyscyplinarny, gdyż obejmuje nie tylko zagadnienia technologii i inżynierii materiałowej, ale również charakteryzując podstawowych właściwości wybranych materiałów elektronicznych.

3. Czy tematyka rozprawy jest aktualna lub dostatecznie ważna?

Tematyka recenzowanej rozprawy jest aktualna oraz ważna w międzynarodowej przestrzeni badawczej i technologicznej gdyż dotyczy wykorzystanie technologii druku strumieniowego do wytwarzania wybranych elementów elektronicznych i fotonicznych. Uzyskane przez Autorkę rozprawy wyniki własnych prac technologicznych i badawczych wnoszą z pewnością wkład do rozwoju wiedzy z obszaru tematycznego elektroniki drukowanej.

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

Oryginalny dorobek autorki recenzowanej rozprawy obejmuje uzyskane przez nią nowe informacje naukowe uzyskane na podstawie przeprowadzonych własnych prac technologicznych i badawczych, wraz z interpretacją uzyskanych wyników prac własnych, na temat możliwości wykorzystania procedur technologicznych stosowanych w elektronice drukowanej do wytwarzania oraz charakteryzacji wybranych elementów elektronicznych i fotonicznych, w tym m.in. struktur przewodzących, struktur kondensatorowych, planarnych obwodów mikrofalowych oraz niskowymiarowych struktur kwantowych.

Uzyskane przez Autorkę i opisane w jej rozprawie doktorskiej wyniki własnych prac technologicznych i badawczych mają z jednej strony ważne znaczenie poznawcze. Potwierdza to fakt, że ważniejsze uzyskane wyniki zostały już wcześniej częściowo rozpowszechnione w formie 2 publikacji w międzynarodowych czasopismach naukowych takich jak Circuit World (2020) - publikacja ta jest cytowana w Bibliografii jako pozycja [19], oraz Soldering and Surface Mount Technology (2020) – publikacja ta jest cytowana w Bibliografii jako pozycja [34]. Oba te czasopisma są rozpoznawane w Bazie JCR (tzw. Lista Filadelfijska), ale mają one niezbyt wysoki tzw. *Współczynnik Wpływu - Impact Factor*), o wartościach odpowiednio 1.33 oraz 1.54.

Z drugiej strony należy podkreślić, że uzyskane przez Autorkę informacje na bazie wyników prac własnych mają też duże znaczenie praktyczne i z pewnością powinny przyczynić się do coraz szerszego wykorzystania technologii elektroniki drukowanej do wytwarzania oraz charakteryzacji wybranych elementów elektronicznych i fotonicznych.

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

Recenzowana rozprawa ewidentnie świadczy o dostatecznej wiedzy Autorki na zaawansowanym poziomie, zarówno o charakterze podstawowym dla dziedziny nauk inżyniersko-technicznych, jak i o charakterze szczegółowym, odpowiadającej tematyce prowadzonych przez nią prac technologicznych oraz towarzyszących badań naukowych, co zostało potwierdzone zwłaszcza przez:

- szczegółowy opis aktualnego stanu wiedzy w tematyce przedmiotowej pracy doktorskiej,
- własne prace technologiczne i badania eksperymentalne, w połączeniu z analizą - interpretacją uzyskanych wyników o charakterze eksperymentalnym i interdyscyplinarnym.

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

Recenzowana rozprawa z pewnością obejmuje najnowsze osiągnięcia nauki ponieważ dotyczy zagadnień będących przedmiotem wzrastającego zainteresowania nad wykorzystaniem wybranych procedur technologicznych elektroniki drukowanej do wytwarzania m.in. w/w wybranych elementów elektronicznych i fotonicznych, co jednoznacznie potwierdza dobrą znajomość Autorki rozprawy współczesnej literatury z obszaru dyscypliny naukowej, której praca dotyczy.

7. Jakie są wady i słabe strony rozprawy?

Na wstępie należy podkreślić, że przedstawione w recenzowanej rozprawie wyniki własnych prac technologicznych i badawczych Autorki wnoszą wkład do rozwoju wiedzy na temat technologii oraz charakteryzacji właściwości wybranych struktur elektronicznych i fotonicznych wykonanych w technice druku strumieniowego w aspekcie ich potencjalnych zastosowań w elektronice. Należy jednak zwrócić uwagę, że rozprawa zawiera jednak pewne wady i słabe strony, głównie natury redakcyjno-edytorskiej, które zestawiono poniżej:

- tytuł samej rozprawy jest zbyt ogólny i nie odnosi się do głównego celu oraz zakresu przeprowadzonych własnych prac technologicznych oraz badawczych,
- tekst rozprawy (139 stron) został stylistycznie napisany dobrze, ale informacje zawarte w samej rozprawie zostały nieco chaotycznie i sztucznie rozdzielone, aż na 12 rozdziałów, przy czym z niezrozumiałych powodów w ostatnim z rozdziałów (12) zestawiono Bibliografię, która standardowo nie jest numerowana, podobnie jak np. wykazy, zestawienia itd. Co bardziej istotne już same ich tytuły (podtytuły) nie pozwalają na łatwe rozróżnienie informacji dostępnych w literaturze (jako State of the Art), oraz informacji otrzymanych na podstawie przeprowadzonych bardzo kompleksowych własnych prac technologicznych i badawczych,

- w nawiązaniu do informacji wspomnianej powyżej również chaotyczny i nie do końca logiczny jest też spis treści odpowiadający w/w rozdziałom pracy oraz ich tytułom, co dokładnie wyszczególniono poniżej,
- co kluczowe, w nawiązaniu do informacji powyżej, w rozprawie ewidentnie brakuje wyraźnie wydzielonego w rozdziale 1 (Wprowadzenia), oprócz samej motywacji podjęcia tematu, tzw. tezy pracy, z której zawsze bezpośrednio wynika cel i zakres prac własnych,
- zestawione przez Autorkę na str.8 cele jej pracy doktorskiej są zestawione chaotyczne i raczej przypadkowo i nie do końca jasno opisane, gdyż Autorka na początek proponuje automatyzację pomiarów struktur drukowanych, przez opracowanie metod przygotowywania podłoży do druku techniką strumieniową, analizę jakości warstw przewodzących oraz wykonanie testów starzeniowych uzyskanych wydruków, opracowanie sposobu drukowania jednorodnej warstwy dielektrycznej poprzez analizę wpływu czynników na drukowanie warstw izolacyjnych, analizę możliwości wykorzystania druku strumieniowego w technikach mikrofalowych, oraz na końcu - analizę możliwości wykorzystania druku strumieniowego przy stosowaniu tuszów bazujących na kropkach kwantowych. Jest chyba oczywiste, że przed rozpoczęciem pomiarów właściwości struktur drukowanych w celu określenia jakości (właściwości) warstw przewodzących oraz sprawdzenia efektów starzeniowych uzyskanych wydruków, trzeba je wcześniej otrzymywać, co właśnie było jednym z najważniejszych celów pracy.
- również w nawiązaniu do informacji wspomnianych powyżej brakuje w recenzowanej pracy doktorskiej wyraźnie wydzielonego jednego standardowego rozdziału dotyczącego analizy aktualnego stanu wiedzy w literaturze w przedmiotowej tematyce (jako State of the Art). Nie spełnia tego zestaw informacji sztucznie rozdzielonych w czterech rozdziałach (2-5), gdzie kolejno opisano, nie do końca w ciągu logicznym, podstawy elektroniki drukowanej, zastosowania technik drukarskich w elektronice, zjawiska występujące podczas drukowania, oraz materiały stosowane w druku strumieniowym, w tym podłoża, jak i różne rodzaje atramentów. Pomijając fakt, że informacje te są nieco sztucznie i nie do końca logicznie ułożone, brakuje wyraźnie zestawienia najważniejszych, dotychczas nierozwiązanych głównych problemów technologicznych w przedmiotowej tematyce. Co prawda Autorka w końcowej części kolejnych rozdziałów proponuje dodatkowo, raczej niepotrzebnie, podsumowanie opisanych w nich informacji, w tym najważniejszych, wybranych problemów czekających na rozwiązanie, ale należałoby je raczej wspólnie zestawić na końcu tego wspólnego rozdziału. Próba rozwiązania nawet ich części mogłaby stanowić jednoznacznie określone elementy nowości naukowej w realizowanej przez Autorkę pracy doktorskiej,
- również w nawiązaniu do informacji wspomnianych powyżej, w recenzowanej pracy doktorskiej brakuje wyraźnie wydzielonego jednego wspólnego rozdziału dotyczącego opisu metodyki przeprowadzonych prac technologicznych i badawczych, oraz własnych uzyskanych wyników. Nie spełnia tego zestaw informacji sztucznie rozdzielonych po czterech rozdziałach 6-10. W pierwszym z nich opisano prace wstępne nad charakteryzacją właściwości elektrycznych wybranych struktur drukowanych, przy współpracy z kilkoma ośrodkami zagranicznymi (raczej zbędne), a następnie kolejno drukowane struktury przewodzące, kondensatorowe, planarne obwody mikrofalowe oraz struktury fotoniczne, przy czym w tytułach wybranych rozdziałów

wyduje się raczej zbędne (niewłaściwe) powtarzanie słowo drukowanie wybranych struktur, ponieważ w tych rozdziałach opisano też wyniki charakteryzacji wybranych właściwości elektrycznych tych struktur, a także ich właściwości morfologicznych, z wykorzystaniem wybranych metod mikroskopowych, w tym profilometrycznych,

- Rozdział 11 rozprawy - Uwagi końcowe jest nieco chaotyczny, a poza tym zawiera przy tym trochę zbędnych informacji, podczas gdy przede wszystkim powinien zawierać bardziej szczegółowe odniesienie do celów oraz zakresu planowanych i przeprowadzonych prac technologicznych i badawczych. Poza tym główne wnioski, na bazie informacji zawartych m.in. podsumowaniach w końcowych fragmentach kolejnych rozdziałów 6-10, powinny być bardziej czytelnie i oddzielnie wypunktowane w celu łatwiejszego ich rozpoznania przez potencjalnego czytelnika. Co również istotne, brakuje też bardziej wyraźnego podkreślenia (wyróżnienia) jakie informacje technologiczne i badawcze uzyskane w wyniku realizacji recenzowanej pracy doktorskiej stanowią ewidentne elementy nowości naukowej w stosunku do informacji powszechnie dostępnych w międzynarodowej przestrzeni technologicznej i badawczej,
- Bibliografia zestawiona w końcowej części rozprawy jest niepotrzebnie ponumerowana jako Rozdział 12. Co również istotne, obejmuje ona aż 197 pozycji, co jest nieco wątpliwe, ponieważ Autorka cytuje nie tylko publikacje w dostępnych czasopismach naukowych o zasięgu międzynarodowym, ale także prace w raczej trudno dostępnych materiałach konferencyjnych, oraz w wydawnictwach lokalnych. Poza tym, dla niektórych pozycji brak jest pełnych danych bibliograficznych, w tym m.in. dla własnej publikacji [19]; wątpliwe jest też cytowanie prywatnych danych jednej z firm - poz. [197],
- w Rozprawie można też znaleźć pojedyncze błędy literowe, ale ponieważ są one raczej nieistotne zrezygnowano z ich szczegółowego zestawienia. Poważniejszym potknięciem jest natomiast słaba jakość niektórych rysunków (słaba rozpoznawalność informacji na nich pokazanych, zwłaszcza przy dużym pomniejszeniu, np. wartości liczbowe na osiach) – przykładowo dotyczy to np. Rys.7.12, w połączeniu z różnymi wielkościami liter oraz formatami oznaczeń elementów na wybranych rysunkach, np. Rys.2.11 i Rys.2.19. Poza tym w pracy zauważono nie do końca poprawne (dokładne) informacje w podpisach pod niektórymi rysunkami - przykładowo: w ciągu Rys.7.5-7.7 - Ocena mikroskopowa wykonanych linii ... - powinny być one raczej podpisane (nazwane), że są to obrazy mikroskopowe linii, następnie dla Rys.7.16 - Zmiana rezystancji w wyniku testów w komorze klimatycznej - powinno być raczej w trakcie testów, oraz w ciągu Rys.8.17-8.19 - wyniki pojemności kondensatora o szerokości elektrody ...- przecieź samo słowo wyniki jest zbędne, natomiast bardziej potrzebna jest dodatkowa informacja, że są to zmiany pojemności w zależności od warunków (miejsc) pomiaru.

Uważam, że Doktorantka rozwiązując postawione sobie zadanie wykazała się wystarczającą wiedzą z dziedziny nauk inżynierjno-technicznych w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika, a krytyczna ocena stylu napisanej rozprawy powinna zmotywować Doktorantkę do poprawy swoich umiejętności w tym zakresie.

Wszystkie wymienione wyżej wady i słabe strony nieco obniżają wartość samej rozprawy doktorskiej Pani mgr inż. Mileny KILISZKIEWICZ, niemniej jednak niniejsza rozprawa stanowi mimo wszystko ciekawą próbę oryginalnego rozwiązania ważnych problemów naukowych, poprzez uzyskanie wybranych nowych informacji w stosunku do dostępnej światowej literatury na temat właściwości wybranych struktur elektronicznych i fotonicznych wykonanych w technice druku strumieniowego.

8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a/ nie spełniająca wymagań,
- b/ wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania,
- c/ **zadowalająco spełniająca wymagania.**
- d/ wyraźnie wykraczająca poza poziom przeciętny (spełniająca wymagania z nadmiarem),
- e/ wybitna.

Podsumowanie oceny rozprawy doktorskiej i wnioski końcowe

Podsumowując, uważam że:

- tematyka rozprawy doktorskiej mgr inż. Mileny Kiliszkiwicz stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego,
- mieści się w dziedzinie nauk inżyniersko-technicznych, w dyscyplinie automatyka, elektronika i elektrotechnika,
- doktorantka wykazała się dostateczną wiedzą z tematyki, która jest przedmiotem niniejszej rozprawy oraz umiejętnościami w zakresie samodzielnego prowadzenia badań naukowych.

Biorąc powyższe pod uwagę stwierdzam, że przedstawiona rozprawa, mimo pewnych niedociągnięć merytorycznych i językowych, na podstawie art. 179 Ustawy z dnia 3 lipca 2018 r. - Przepisy wprowadzające ustawę - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce (Dz. U. z 2018 r., poz. 1669, z późn. zm.) spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone w art. 13 ust. 1 i ust. 2 Ustawy z dnia 14 marca 2003 r. (Dz. U. z 2017 r., poz. 1789) o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki.

Wnoszę zatem o przyjęcie i dopuszczenie rozprawy doktorskiej mgr inż. Mileny Kiliszkiwicz do publicznej obrony.

Monika Kwoka