



Warszawa, 06.10.2017

Dr hab. inż. Ryszard Piramidowicz, prof. PW  
Politechnika Warszawska  
Wydział Elektroniki i Technik Informatycznych  
Instytut Mikroelektroniki i Optoelektroniki

**RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ  
DLA RADY WYDZIAŁU CHEMII UNIWERSYTETU MARIE-CURIE SKŁODOWSKIEJ**

**Tytuł rozprawy (ang.):** Optimization of microstructured polymer optical fibers drawing

**Tytuł rozprawy (pol.):** Optymalizacja technologii wytwarzania mikrostrukturalnych światłowodów polimerowych

**Autor rozprawy:** Onur Cetinkaya

**1. Jakie zagadnienie naukowe jest rozpatrzone w pracy/teza pracy/ i czy zostało ono dostatecznie jasno sformułowane przez autora? Jaki charakter ma rozprawa (teoretyczny, doświadczalny, inny)?**

Jak wynika z tytułu rozprawy – jej ogólnym celem była optymalizacja procesów technologicznych wytwarzania mikrostrukturalnych polimerowych włókien światłowodowych mPOF (microstructured polymer optical fibers). We wstępie Autor precyzuje i kwantyfikuje ten cel, ograniczając zakres tematyczny pracy do zagadnienia minimalizacji fluktuacji średnicy wyciąganego włókna na poziomie poniżej 3% poprzez optymalizację kilku parametrów procesu – siły wyciągania (drawing tension), szybkości podawania preformy (preform feeding speed), średnicy preformy i przepływu argonu. Pewne rozszerzenie celu i zakresu pracy wprowadza Autor w rozdziale 8, pisząc o optymalizacji parametrów procesu w celu otrzymania włókien o lepszych parametrach mechanicznych i optycznych, doborze modyfikatorów długości łańcucha (chain transfer agents – CTA) oraz o badaniach długoczasowej stabilności włókien.

Autor niestety nie formułuje żadnej tezy rozprawy, choć wobec wyżej opisanego celu nie wydaje się to trudne. Niezależnie jednak od braku tezy, można stwierdzić, że postawiony cel wystarczająco dobrze określa zagadnienie badawcze, które stawia przed sobą Autor rozprawy.

Sama rozprawa ma wyraźnie charakter doświadczalny – składa się z szeregu eksperymentów technologicznych, zmierzających do wskazania zależności pomiędzy wybranymi parametrami procesu a parametrami geometrycznymi i optycznymi wytwarzanych włókien mPOF.

**2. Czy w rozprawie przeprowadzono analizę źródeł (w tym literatury światowej, stanu wiedzy i zastosowań w przemyśle) w sposób właściwy, świadczący o dostatecznej wiedzy autora? Czy wnioski z przeglądu źródeł sformułowano w sposób jasny i przekonujący?**

Wprowadzenie teoretyczne rozpiął Autor aż na siedem rozdziałów (rozdziały 1-7), poświęconych kolejno: rozwojowi włókien POF, wykorzystywanym materiałom, procesom wytwarzania, stratom zgięciowym, testom mechanicznym, modułowi Younga oraz siatkom braggowskim.

Analizę źródeł rozpoczyna Autor od rozdziału zatytułowanego „Optical fibers” zawierającego jedynie pojedynczy podrozdział pt. „History of optical fibers” z kilkustronicowym, nieco chaotycznym opisem rozwoju światłowodów włóknowych, a właściwie włókien polimerowych (choć Autor wplata również informacje o włóknach ze szkła krzemionkowego).

W kolejnym rozdziale Autor charakteryzuje materiały wykorzystywane do wytwarzania włókien POF - PMMA, PC, PS, TOPAS i CYTOP i zwięźle porównuje ich podstawowe właściwości.

W rozdziale 3, najdłuższym i jak się wydaje najważniejszym z punktu widzenia analizy źródeł, opisuje Autor zagadnienia technologii wytwarzania włókien POF, podejmując próbę klasyfikacji i charakteryzując metody stosowane do wytwarzania włókien o różnych profilach współczynnika załamania (skokowym, wieloskokowym, gradientowym) oraz włókien mPOF. Opisuje również metody wytwarzania preform światłowodowych (szczególnie dla włókien mPOF). Podobnie, jak w przypadku poprzednich rozdziałów struktura tekstu sprawia wrażenie nie do końca przemyślanej. Nasuwa się wrażenie braku systematycznego ujęcia problemu i usystematyzowania zagadnienia – choćby przez tabelaryczne zestawienie metod i porównanie ich krytycznych cech, jak wydajność, szybkość, koszt produkcji, stopień skomplikowania technologii, wady, zalety, etc.

W kolejnym, zaledwie dwuakapitowym rozdziale 4 pt. „Bending losses” wspomina Autor o dużym znaczeniu strat zgięciowych (szczególnie dla zastosowań sensorycznych) oraz przywołuje kilka publikacji dotyczących problemów strat zgięciowych w światłowodach POF.

Podobnie krótki jest rozdział 5, zatytułowany „Mechanical tests of POF”, skoncentrowany bynajmniej nie na zapowiadanych w tytule zagadnieniach testowania parametrów mechanicznych POF (które z kolei są skrótowo opisane w rozdziale 11 „Mechanical test of the fibers”) ale na naprężeniach mechanicznych pojawiających się w procesach technologicznych i mogących skutkować anizotropią właściwości optycznych. Autor odnosi się m.in. do możliwości wykorzystania celowo wprowadzanych naprężeń w zastosowaniach czujnikowych, co samo w sobie może być ciekawe ale nie pozostaje w korelacji z tytułem rozdziału. Rozdział 5 kończy Autor, nieco zaskakująco, kilkoma informacjami o siatkach braggowskich w zastosowaniach czujnikowych.

Rozdział 6 to z kolei rozważania na temat modułu Younga, zakończone luźno powiązaniem z tym tematem akapitem na temat kompatybilności włókien POF z różnego typu materiałami organicznymi pozwalającymi na modyfikacje właściwości optycznych włókien POF.

Przegląd literatury kończy Autor jednoakapitowym rozdziałem 7 pt. „Fiber Bragg Gratings”, słabo powiązaniem z pozostałymi rozdziałami wstępu teoretycznego.

Muszę stwierdzić, że zawartość przeglądu literaturowego jest nieco zniechęcająca – większość rozdziałów pozostawia czytelnika w zakłopotaniu, związanym z niejasną celowością przedstawianych przez Autora informacji. Gdyby nie rozdziały o charakterze ściśle technologicznym (rozdział 2 i 3), analizę stanu wiedzy należałoby uznać za przeprowadzoną w sposób niewłaściwy. Biorąc jednak pod uwagę zakres poruszonych zagadnień technologicznych oraz liczbę przywołanych źródeł literaturowych (w rozprawie Autor odnosi się do ponad 100 pozycji) analizę źródeł uznaję za przeprowadzoną w sposób akceptowalny, potwierdzający rozeznanie Autora w opisywanych zagadnieniach i znajomość najważniejszych pozycji literaturowych dotyczących technologii wytwarzania włókien polimerowych.

**3. Czy autor rozwiązał postawione zagadnienia, czy użył właściwej do tego metody i czy przyjęte założenia są uzasadnione?**

Rozwiązanie postawionego zagadnienia naukowego przedstawione jest przede wszystkim w rozdziale 14, z niewielkim udziałem rozdziałów 9-13, poświęconych krótkiemu opisowi materiałów i metod pomiarowych, parametrom procesu wyciągania włókien, preparatyce preform, stanowisku do testów mechanicznych, zapisu siatek braggowskich etc.

Najważniejszy fragmentem rozprawy jest z całą pewnością rozdział 14 pt. „Results and discussion”. W rozdziale tym (nawiasem mówiąc zaskakująco krótkim, bo liczącym zaledwie 24 strony) przedstawia Autor wyniki swoich prac nad optymalizacją technologii wytwarzania włókien polimerowych, rozpoczynając od analizy wpływu modyfikatorów długości łańcucha (chain transfer agent - CTA) na masę cząsteczkową PMMA i optymalizacji ich stężenia. Autor analizuje wpływ trzech różnych modyfikatorów (n-BMC, IPA i oczyszczonego PDMS) i różnych ich stężeń na właściwości optyczne uzyskiwanego materiału objętościowego porównując parametry rozpraszania i transmisji oraz wartości współczynnika załamania. Wskazuje PDMS jako najlepszy z badanych modyfikatorów, ale konkluduje jednocześnie, że żaden z uzyskanych materiałów nie pozwala na wyciągnięcie włókien, co potwierdza wynikami badań termogravimetrycznych.

W dalszej części (rozdział 14.2) Autor zajmuje się optymalizacją parametrów wyciągania włókien (jak rozumiem przy wykorzystaniu komercyjnie dostępnych materiałów), analizując wpływ szybkości podawania preformy, siły wyciągania i średnicy preformy na fluktuacje średnicy wyciąganego włókna. Dodatkowo, bada wpływ przepływu argonu na parametry wyciąganych włókien – fluktuacje średnicy i wartość modułu Younga, oraz wpływ siły wyciągania na naprężenia we włóknie i wrażliwość naprężeniową włókna. Pokazuje również wyniki testów długoterminowej stabilności parametrów mechanicznych włókien (choć tylko dla włókien prętowych - rod fibers) oraz wyniki zapisu siatek braggowskich na włóknach mPOF uzyskanych dla włókien o różnych parametrach procesu wytwarzania.

Przeprowadzone przez Autora badania pokazują, że modyfikując odpowiednie parametry procesu technologicznego można optymalizować parametry wytwarzanych włókien mPOF. Autor wskazuje m.in. optymalne wartości podawania preformy i optymalną wartość przepływu argonu. Bezpośrednim wynikiem pracy są włókna o polepszonych parametrach (w szczególności o zmniejszonych fluktuacjach średnicy i modułu Younga). Autorowi udało się zrealizować główny cel pracy i uzyskać poziom fluktuacji średnicy rdzenia poniżej 3%.

Podsumowując, można stwierdzić, że Autor wybrał do rozwiązania postawionego zagadnienia właściwą metodę badawczą, sformułował prawidłowe założenia i rozwiązał problem badawczy, czego dowodem jest przytoczony wyżej wynik. Muszę jednak przyznać, że o ile cel rozprawy został zrealizowany, to realizacja części eksperymentalnej pozostawia wrażenie niedosytu, wynikającego z braku systematycznej optymalizacji parametrów technologicznych, która została zastąpiona punktowym przetestowaniem kilku różnych parametrów procesu, bez głębszej refleksji nad wynikami badań.

**4. Na czym polega oryginalność rozprawy, co stanowi samodzielny i oryginalny dorobek autora, jaka jest pozycja rozprawy w stosunku do stanu wiedzy czy poziomu techniki reprezentowanych przez literaturę światową?**

Oceniając oryginalność rozprawy należy przede wszystkim zwrócić uwagę na fakt, że tematyką technologii wytwarzania włókien polimerowych zajmuje się stosunkowo niewiele ośrodków naukowych, a technologicznie istotne wyniki uzyskuje jeszcze mniejsza grupa. Zespół badawczy, w którym Autor realizował swoje badania jako jedyny w Polsce opanował niuanse technologiczne w stopniu wystarczającym do produkowania pełnowartościowych włókien polimerowych o praktycznie dowolnych geometriach do zastosowań specjalnych (w tym czujnikowych). Ze względu na specyfikę

tematyki, wszelkie prace, których istotą jest optymalizacja procesów technologicznych, skutkująca poprawą właściwości wytwarzanych włókien POF, w sposób naturalny noszą znamiona oryginalności i nowości.

W mojej ocenie oryginalnym wynikiem prac prowadzonych przez doktoranta jest przede wszystkim analiza wpływu modyfikatora na właściwości optyczne (współczynnik rozpraszania i absorpcji) materiałów na włókna polimerowe, której wynikiem jest wskazanie najbardziej odpowiedniego modyfikatora i jego koncentracji. Do oryginalnych wyników zaliczyłbym również optymalizację parametrów procesu technologicznego wyciągania włókna pod kątem minimalizacji fluktuacji średnicy włókna.

Oryginalność dorobku potwierdzają publikacje naukowe Autora. Pan Onur Cetinkaya jest współautorem 8 artykułów naukowych (4 w czasopismach indeksowanych na liście JCR, 4 w materiałach konferencyjnych konferencji o zasięgu międzynarodowym), oraz 7 komunikatów konferencyjnych (w tym 3 wystąpienia ustne oraz 4 komunikaty posterowe).

**5. Czy autor wykazał umiejętność poprawnego i przekonującego przedstawienia uzyskanych przez siebie wyników (zwięzłość, jasność, poprawność redakcyjna rozprawy)?**

Rozprawa została przygotowana w sposób poprawny, bez istotnych uchybień jeśli idzie o stronę edycyjną. Wydaje się jednak, że jej organizacja nie została do końca przemyślana. Rozprawa, licząca 80 stron, składa się z 14 rozdziałów, nie licząc wprowadzenia i podsumowania. Taki układ sprzyja przesadnemu (i niepotrzebnemu) rozdrobnieniu jej treści, szczególnie, że niektóre z rozdziałów mają długość zaledwie kilku akapitów (vide rozdziały 4-7). Wydaje się, że nieco niewłaściwe są proporcje pomiędzy wprowadzeniem teoretycznym a częścią eksperymentalną, którą zawarł Autor na zaledwie 24 stronach. Mam również zastrzeżenia odnośnie sekwencji i pewnej chaotyczności wywodu naukowego, sugerujących nadmierny pośpiech przy redagowaniu ostatecznego tekstu. Łatwo wskazać w pracy fragmenty z zaburzonym ciągiem narracji i sekwencje tekstu nie łączącego się ze sobą logicznie (dobrym przykładem mogą być dwa pierwsze akapity rozdziału 1.1; zresztą cała konstrukcja tego rozdziału jest wewnętrznie niespójna).

W trakcie lektury dokuczliwe dla czytelnika są również pewne niedoskonałości oraz dezynwoltura w odniesieniu do reguł gramatycznych i poprawności językowej tekstu. Poniżej wskazuję na kilka przykładów niedoskonałości, utrudniających percepcję rozprawy.

- Str. 11 „Bending loss is the result curvature of the fiber from the ideal straight-line configuration”
- Str. 18 „In some studies PS was used as polymer matrix GI POFs (...) and due to this it has become a popular and costless polymer” – abstrahując od pewnej niepoprawności gramatycznej, Autorowi chyba nie chodziło o bezpłatny polimer.
- Str. 19 „...absorption of its humidity of PS is lower than that of PMMA...”
- Str. 31 „The refractive index profile in the preform is achieved as the main difference between the procedures.”
- Str. 36 „In comparison to the total fiber geometry air holes are quite small...”
- Str. 80 „According to the results, it can be considered that it was achieved the project’s purpose by decreasing the diameter fluctuation ...”

Należy jednak pamiętać, że język angielski, w którym napisana jest praca nie jest podstawowym językiem Autora, co pozwala zaakceptować pewne niedoskonałości tekstu.

## 6. Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?

Pomimo interesującej tematyki rozprawy, traktującej o rzadko dyskutowanych zagadnieniach niuansów technologii wytwarzania światłowodów polimerowych, jej uważna lektura pozostawia wrażenie niedosytu i nasuwa pewne uwagi krytyczne. Jak już wspomniałem wyżej, za największą wadę rozprawy uważam jej nieprzemyślaną konstrukcję, skutkującą chaosem w przedstawianych informacjach i wynikach badań, oraz bardzo wąsko zdefiniowany zakres przeprowadzonych badań.

We wprowadzeniu i części teoretycznej pracy zabrakło przekonującego uzasadnienia celowości podjęcia takiego tematu i skoncentrowania rozprawy na zagadnieniach technologii włókien polimerowych. Brakuje również ogólnego wprowadzenia w technikę światłowodową – zdefiniowania światłowodu jako takiego, zaproponowania jakiegokolwiek klasyfikacji włókien światłowodowych, choćby ze względu na zastosowane materiały, modowość, rozkład współczynnika załamania, etc. Całkowicie zbędne z kolei (w obecnej formie) wydają się być rozdziały 4-7.

Jeśli idzie o część praktyczną, to mam nieodparte wrażenie niewykorzystania przez Autora pełni możliwości technologicznych Pracowni Technologii Światłowodów Wydziału Chemii UMCS. Liczba przeprowadzonych i opisanych w rozprawie eksperymentów jest niewielka. Autor zadowolili się badaniami przeprowadzonymi dla ograniczonej liczby parametrów i niewielkiego zbioru wartości tych parametrów. Same eksperymenty sprawiają wrażenie przeprowadzonych bez należytej docieklivosti naukowej, czego dobrym przykładem może być zaskakujący wynik badań transmisji próbek objętościowych (po optymalizacji termicznej) przedstawiony na rys. 33, pokazujący wyniki różne jakościowo od przedstawionych na rys. 31c dla tego samego materiału (nieoczekiwane obniżenie transmisji dla największej koncentracji PDMS), skomentowany przez Autora jako „uncontrolled errors during polymerization”. W takim przypadku docieklivy badacz powinien powtórzyć eksperymenty i upewnić się, że wyniki nie są obarczone „niekontrolowanymi błędami”.

W podsumowaniu części technologicznej zabrakło syntezy rezultatów i wskazania ogólnych reguł pozwalających na optymalizację procesu wytwarzania włókien mPOF. Co więcej, uzyskane wyniki nie zostały odniesione w żaden sposób do stanu wiedzy, co uważam za znaczące uchybienie, które powinno być wyjaśnione podczas publicznej obrony rozprawy.

## 7. Jaka jest przydatność rozprawy dla dyscypliny naukowej?

Prace nad rozwojem i optymalizacją technologii wytwarzania polimerowych światłowodów włóknowych do zastosowań specjalnych stanowią bez wątpienia jeden z intensywnie eksplorowanych obszarów techniki światłowodowej. Praca Pana Onura Cetinkaya, poświęcona zagadnieniom optymalizacji procesów technologicznych wytwarzania włókien polimerowych POF, wpisuje się w ten nurt badań, reprezentowany w nielicznych europejskich jednostkach badawczych.

Przeprowadzone badania, pomimo wszystkich uwag krytycznych sformułowanych powyżej stanowią z pewnością wkład w rozwój technologii światłowodowej, poszerzając stan wiedzy w tym obszarze i tym samym potwierdzając przydatność niniejszej rozprawy dla dyscypliny naukowej reprezentowanej przez Autora.

## 8. Do której z następujących kategorii Recenzent zalicza rozprawę:

- a) Nie spełniająca wymagań stawianych rozprawom doktorskim przez obowiązujące przepisy
- b) Wymagająca wprowadzenia poprawek i ponownego recenzowania
- c) Spełniająca wymagania
- d) Spełniająca wymagania z wyraźnym nadmiarem
- e) Wybitnie dobra, zasługująca na wyróżnienie

## 9. Wnioski końcowe

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska Pana Onura Cetinkaya spełnia podstawowe kryteria oryginalności rozwiązania problemu naukowego i umiejętności samodzielnego prowadzenia pracy naukowej sformułowane w *Ustawie o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki*.

Autor wykazał się odpowiednim poziomem wiedzy teoretycznej oraz wystarczającymi kompetencjami badawczymi. Wynikiem prowadzonych przez Autora prac są konkretne rozwiązania technologiczne, możliwe do wykorzystania w realnych scenariuszach produkcyjnych. Mając powyższe na uwadze wnoszę o dopuszczenie pracy doktorskiej Pana Onura Cetinkaya do publicznej obrony.

Dr hab. inż. Ryszard Piramidowicz, prof. PW

