

Prof. dr hab. Jakub Rysz
Wydział Fizyki Astronomii
Informatyki Stosowanej
Uniwersytet Jagielloński
Ul. Łojasiewicza 11
30-348 Kraków

Kraków, 26.05.2021 r.

Ocena dorobku naukowego i jednotematycznego cyklu publikacji dra Tomasza Makowskiego pt.: "Elektroprzewodzące, superhydrofobowe i antybakteryjne materiały włókniste, w tym biodegradowalne, uzyskiwane poprzez modyfikację powierzchni"

Dr Tomasz Makowski przedstawił do oceny jednotematyczny cykl publikacji składający się z ośmiu oryginalnych prac, które ukazały się w okresie od 2014 do 2020 roku w recenzowanych czasopismach naukowych takich jak *Celulose* (4 prace), *Applied Surface Science* (2 prace), *Materials and Design* (2 prace). Wśród tych prac jest jedna, której dr Makowski jest jedynym autorem, warto podkreślić, że w dziedzinie nauk doświadczalnych jest to raczej rzadki przypadek. W przypadku pozostałych prac zespół liczył nie więcej niż 7 osób. Dołączone do dokumentacji oświadczenia współautorów pozostałych artykułów nie pozostawiają wątpliwości, że dr Makowski był ich wiodącym autorem co znajduje również odzwierciedlenie w tym, że był on w większości pierwszym i korespondującym autorem. Jedynym wyjątkiem jest praca *Applied Surface Science* (2015)357:1007-1014, której jak wynika z oświadczeń był jednym z pomysłodawców. Informacje na temat wkładu poszczególnych autorów pokazują, że habilitant nie tylko wykonywał pomiary, ale był pomysłodawcą badań, prowadził w analizę wyników oraz brał udział w redakcji tekstów większości publikacji.

Przedstawiony jako osiągnięcie habilitacyjne cykl prac opisuje metody modyfikacji tkanin i materiałów włóknistych, które nadają im nowe, bardzo interesujące z aplikacyjnego punktu widzenia właściwości takie jak przewodnictwo elektryczne, superhydrofobowość czy właściwości bakterioobójcze. Tak zmodyfikowane tekstylia mogą znaleźć zastosowanie np. w produkcji inteligentnej odzieży czy też artykułów medycznych. Jak zostało to pokazane, zaproponowaną w cyklu metodą można modyfikować zarówno materiały naturalne, takie jak bawełna, ale również materiały syntetyczne, w tym biodegradowalne. Ważną cechą opisanego rozwiązania jest to, że może być ono stosowane do modyfikacji gotowych tkanin, a nie na etapie wytwarzania pojedynczych włókien.

Przewodnictwo elektryczne modyfikowanych materiałów uzyskiwane było poprzez osadzanie na powierzchni ich włókien przewodzących nanorurek węglowych oraz płatków grafenu. Do osadzania wykorzystano bardzo prostą metodę zanurzenia w dyspersji wodnej lub też metodę napawania. W przypadku osadzania grafenu, dyspersja wodna zawierała tlenek grafenu, który po naniesieniu był następnie redukowany. Mimo swojej prostoty, metoda pozwala na uzyskanie trwałego pokrycia, co pokazały testy rozciągania tkanin. W większości przypadków osadzenie nanorurek czy też płatków grafenu powodowało zwiększenie hydrofobowości tkanin, który to efekt był później wzmacniany przez dodatkową modyfikację silanami.

Ciekawym pomysłem było wykorzystanie faktu, że przewodzące tkaniny mogą pełnić w procesie elektroosadzania rolę elektrody pracującej. Autor wykazał, że metodą woltoamperometrii cyklicznej można dokonać osadzania na takich tkaninach nanocząstek srebra, które nadają jej właściwości bakteriobójcze. Tą samą metodą dokonał elektropolimeryzacji polipirolu na powierzchni modyfikowanych włókien przewodzących.

Pierwsza praca cyklu (H1: *Cellulose* (2014), 21:4659-4670) pokazuje, że można uzyskać przewodnictwo elektryczne tkaniny bawełnianej poprzez pokrycie jej włókien wielościennymi nanorurkami węglowymi. Dodatkowo w tej samej pracy pokazano, że modyfikacja za pomocą metylotrichlorosilanu nadaje tkaninie właściwości superhydrofobowe. Tkanina staje się superhydrofobowa, ponieważ na jej powierzchni formują się cząstki PMSQ, co pokazały zdjęcia uzyskane mikroskopią SEM. Szczegółowe badania przyczyn zwiększania kąta zwilżania tkaniny bawełnianej modyfikowanej różnymi rodzajami silanów prezentowane są w artykule H7: *Cellulose* (2020), 27:1-9. W pracy tej dr Makowski pokazał, że hydrofobizacja powierzchni kondycjonowanej przed modyfikacją w różnych warunkach następuje tylko w przypadku zastosowania silanów zawierających więcej niż jeden atom chloru przyłączony do atomu krzemu. W przeciwieństwie do obserwacji z pracy H1, tutaj nie zaobserwowano powstawania globularnych struktur, a jedynie obecność cienkich warstw prawdopodobnie oligo(siloksanów).

W kolejnej pracy (H2: *Cellulose* (2015), 22:3063-3075) udowodnione zostało, że pokrywanie tkanin naturalnych (bawełnianych) oraz syntetycznych (poliestrowych) nanorurkami węglowymi nadaje im właściwości przewodzące na tyle duże, że mogą być one następnie modyfikowane metodami elektrochemicznymi. Wykorzystanie tak przygotowanej tkaniny, która w dalszym procesie modyfikacji pełniła rolę elektrody, pozwoliło na pokrywanie elektrochemicznie nanocząstkami srebra, co nadało jej właściwości antybakteryjne. Wykorzystując również woltoamperometrię cykliczną autorzy przeprowadzili udaną próbę elektropolimeryzacji polipirolu na powierzchniach modyfikowanych tkanin.

Rozwinięcie koncepcji pokrywania tkanin bawełniano-poliestrowych zostało pokazane w pracy trzeciej (H3: *Applied Surface Science* (2015), 357:1007-1014), gdzie mierzono zmiany zarówno przewodnictwa elektrycznego jak również zwilżalności tkaniny po kolejnych krokach modyfikacji metodą napawania. Rezultaty tej pracy pokazują, że już po czterech cyklach modyfikacji rezystancja powierzchniowa spada z poziomu kilku GΩ do poziomu pojedynczych kilo Ohmów. Pokazano, również, że hydrofobizacja za pomocą komercyjnego środka nie wpływa znacząco na wartość przewodnictwa.

Wyniki badań właściwości elektrycznych tkanin bawełnianych i poliestrowych modyfikowanych nanorurkami prezentowane są w pracy czwartej (H4: *Materials and Design* (2016), 90:1026-1033). Wykazano w niej między innymi, że opór powierzchniowy modyfikowanych materiałów maleje wraz z temperaturą, podobne zachowanie obserwowane jest przy rozciąganiu, przy czym efekt ten jest odwracany. O trwałości pokrycia nanorurkami świadczy fakt, że opór powierzchniowy tkanin obu typów nie zmienił się znacząco nawet po czterystu cyklach rozciągania. Ponadto wykazano, że modyfikacja tkaniny poliestrowej metodą zastosowaną w pracy H1 nadaje jej właściwości hydrofobowe (kąta zwilżania osiąga wartość 140°).

Metody modyfikacji powierzchni prowadzące do zwiększania przewodnictwa i hydrofobowości opisane w pracach H1-H4 zostały z powodzeniem wykorzystane również w przypadku nowych materiałów włóknistych na bazie włókien syntetycznych z HDPE/PVDF i PP/HDPE (H6: *Materials and Design* (2019), 162:219-228) oraz biodegradowalnego polilaktydu (PLA) (praca H8: *Applied Surface Science* (2020), 527:146898). W przypadku wszystkich badanych typów materiałów udało się wytworzyć pokrycia nanorurkami, które pozwalają uzyskać wysokie przewodnictwo (na poziomie poniżej $100\Omega/\text{sq}$), a dalsza modyfikacja przy użyciu metylotrychlorosilanu prowadziła do silnej hydrofobizacji powierzchni (kąt zwilżania wody powyżej 165°).

Nieco odmienny sposób modyfikacji powierzchni tkaniny bawełnianej został opisany w pracy H5 (*Cellulose* (2018), 25:5377-5388), gdzie w procesie napawania zamiast dyspersji nanorurek węglowych zastosowano dyspersję zawierającą tlenek grafenu. Naniesiony w ten sposób tlenek grafenu był następnie redukowany termicznie, również z zastosowaniem kwasu L-askorbinowego oraz Inorganoxu 1010. Przewodnictwo elektryczne tak uzyskanych materiałów jest jednak znacznie niższe niż w przypadku modyfikacji za pomocą nanorurek węglowych.

Zaprezentowany w cyklu habilitacyjnym zbiór prac prezentuje bardzo efektywny sposób modyfikacji naturalnych oraz syntetycznych tkanin, dzięki któremu uzyskują one nowe istotne z aplikacyjnego punktu widzenia właściwości. Zarówno koncepcja prac jak i wyniki zyskały uznanie recenzentów renomowanych czasopism naukowych, a w moim przekonaniu stanowią istotny wkład w rozwój technologii tak zwanych inteligentnych tkanin. Wszystkie artykuły wchodzące w skład cyklu zostały opublikowane po uzyskaniu przez Pana Tomasza Makowskiego tytułu doktora.

Poza omówionymi powyżej ośmioma publikacjami, Pan doktor Tomasz Makowski jest współautorem 29 innych artykułów, które ukazały się w czasopismach indeksowanych w bazie Web Of Science. O ich znaczeniu dla środowiska naukowego świadczy fakt, że były cytowane prawie 250 razy (nie licząc autocytowań). Habilitant wygłosił również pięć referatów na międzynarodowych i krajowych konferencjach naukowych. Jego wkład w rozwój dziedziny zauważony został przez edytorów renomowanych czasopism naukowych, takich jak *ACS Applied Materials & Interfaces*, *The Journal of Physical Chemistry*, *Synthetic Metals*, którzy powierzyli jemu do oceny manuskrypty artykułów.

Ważnym elementem świadczącym o dojrzałości naukowej jest umiejętność wyszukiwania ciekawych problemów badawczych, planowania zadań i skutecznej ich realizacji, czyli mówiąc w skrócie zdobywania i realizacji grantów. Na tym polu pan doktor Makowski również może poszczycić się osiągnięciami w postaci jednego zrealizowanego projektu finansowanego ze środków Narodowego Centrum Nauki (w ramach programu OPUS) oraz drugiego, który jest w trakcie realizacji (SONATA). Oprócz tych dwóch grantów habilitant kierował jednym projektem finansowanym ze środków Europejskiego Funduszu Społecznego. Ponadto był wykonawcą w 6 innych finansowanych ze środków krajowych i międzynarodowych oraz wykonywał ekspertyzy na zamówienie zewnętrznych ośrodków naukowych.

Realizując swoje badania pan doktor Makowski nawiązywał współpracę z innymi ośrodkami w kraju i za granicą, dzięki czemu uzyskiwał dostęp do nowych materiałów oraz poszerzał swój warsztat eksperymentatora o nowe techniki badawcze niedostępne w jego macierzystej jednostce. Zamieszczone w dokumentacji deklaracje świadczą o tym, że współpraca ta będzie nadal rozwijana.

Oprócz działalności czysto naukowej doktor Tomasz Makowski zajmuje się opieką nad młodszymi pracownikami naukowymi, przekazywaniem wiedzy, popularyzacją nauki oraz działalnością organizacyjną. Pracował w komitetach organizacyjnych konferencji naukowych, zarówno krajowych jak i międzynarodowych. Prowadził wykład dla słuchaczy studiów doktoranckich oraz wykłady popularno-naukowe. Jest promotorem pomocniczym w przewodzie doktorskim pani mgr Marii Svyntkivskiej. Wszystkie te fakty świadczą o wysokiej aktywności naukowej habilitanta.

Podsumowując uważam, że doktor Tomasz Makowski spełnił wszystkie wymagania ustawy z dnia 20 lipca 2018 r. - Prawo o szkolnictwie wyższym i nauce stawiane w kandydatom do stopnia doktora habilitowanego. W szczególności uważam, że zaprezentowany w cyklu prac habilitacyjnych sposób modyfikacji właściwości tkanin i materiałów włóknistych stanowi istotny wkład w rozwój nauki, o czym świadczą również cytowania w/w prac w liczbie 77 (według bazy Web of Science, maj 2021). Biorąc pod uwagę liczbę pozostałych prac, realizowanych projektów, udział w kształceniu młodej kadry oraz popularyzację nauki, w moim przekonaniu również aktywność naukową kandydata należy uznać za istotną. Dlatego z pełnym przekonaniem wnioskuję o przystąpienie do dalszych kroków postępowania o nadanie stopnia doktora habilitowanego panu Tomaszowi Makowskiemu.

