

Prof. dr hab. inż. Grzegorz Karwasz
Instytut Fizyki
Uniwersytet Mikołaja Kopernika
87100 Toruń
zam. 81862 Sopot, Kujawska 12

Recenzja dorobku naukowego i rozprawy habilitacyjnej dr Andrzeja Kasztelanica

Dr Andrzej Kasztelanica (ur. 1969) z datą 21.03.2012 założył do Centralnej Komisji ds. Stopni i Tytułów Naukowych wniosek o nadanie mu stopnia naukowego doktora habilitowanego i jako podstawę tego wniosku przedstawia monografię pt. „Głęboka litografia jonowa”. Zapoznałem się szczegółowo z dorobkiem habilitanta oraz ww. monografią.

Sylwetka kandydata i jego tematyki badawcze

Habilitant ukończył studia magisterskie a później doktoranckie (1993-1997) na Wydziale Fizyki Technicznej i Matematyki Stosowanej Politechniki Warszawskiej. Rozprawa doktorska (promotor p. prof. dr hab. Katarzyna Chałasińska-Macukow) dotyczyła modelowania pamięci optoelektronicznych. Od 1998 roku (z przerwą na staż podoktorski programu Marie Curie 2001-2003) jest zatrudniony na stanowisku adiunkta w Instytucie Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

Dorobek naukowy habilitanta (14 artykułów w recenzowanych czasopismach z listy ISI, 13 artykułów w materiałach pokonferencyjnych SPIE, 1 rozdział w książce i 10 innych publikacji, głównie pokonferencyjnych) dotyczy trzech tematów.

1. Pierwsza z tematów to optyczne przetwarzanie obrazów i analiza frontu falowego, tj. zagadnienia z pracy magisterskiej i doktorskiej, wykorzystane przez habilitanta również w jego dalszych badaniach o charakterze aplikacyjnym. W tej tematyce habilitant jest autorem 7 prac w czasopismach z listy ISI, w tym 3 prac opublikowanych samodzielnie (m.in. w *Applied Optics*, IF=1,66), kolejnych siedmiu prac w *Proceedings SPIE* oraz jednego rozdziału w książce.

2. Tematyka realizowana doświadczalnie głównie w latach 2001-2003 w ramach pobytu habilitanta w ramach programu MC „European Network of Ion Track Technology” w Instytucie Mikroelektroniki w Moguncji dotyczy litografii jonowej. Habilitant, jak wynika z autoreferatu (i m.in. publikacji internetowej w SPIE Newsroom) skonstruował i uruchomił układ do głębokiej litografii protonowej w powietrzu, wyprowadzający wiązkę wysokoenergetycznych protonów z akceleratora.

3. Najnowsza tematyka naukowa habilitanta dotyczy światłowodów i struktur fotonicznych. W tematyce tej habilitant przytacza w autoreferacie 4 artykuły z listy ISI (będące wspólnym dorobkiem kilku autorów). Prace te mają stosunkowo największą ilość cytowań, mimo że zostały opublikowane w ostatnich 2 latach. Praca z *Laser Physics* z 2012 roku na dzień 03.11.2012 posiadała 2 cytowania a praca z *Laser Physics Letters* – 13 cytowań (7 po wyłączeniu autocytowań).

Monografia „Głęboka litografia jonowa”

Monografia oparta jest o doświadczenie habilitanta wyniesione z pracy w Instytucie Mikroelektroniki w Moguncji, gdzie zaprojektował, przeprowadził modelowanie, skonstruował i dokonał testowych pomiarów głębokiej litografii za pomocą wiązki protonów o energii kilku MeV, wyprowadzonej na zewnątrz układu próżniowego. Innowacyjnym elementem tego systemu jest możliwość przeprowadzania litografii bez konieczności umieszczania próbek w komorze próżniowej. Wiązka protonów pochodziła z akceleratora (w Erlangen). Proces zaproponowany przez habilitanta polega na wypaleniu (za pomocą wiązki protonów) prekursora kanału a następnie jego chemicznym wytrawieniu. Monografia opiera się na kilku pracach habilitanta dotyczących samego układu doświadczalnego oraz procesów litografii a także na artykułach luźniej związanych z tematyką, jak wytwarzanie i testowanie układów mikrosoczewek w polimerach oraz mikro-diagnozowanie optyczne.

Sama monografia jest bardzo obszerna, liczy 268 stron, została podzielona na 10 rozdziałów i podsumowanie oraz cytuje 333 pozycje literatury. Podział materiału jest na poszczególne rozdziały jest jednak wysoce nierównomierny: rozdział III o zasadniczym tytule „Litografia jonowa” liczy zaledwie 4 strony a rozdział V pt. „Naświetlanie” – ponad 80. Rozdział II nosi tytuł „Wprowadzenie do litografii” a rozdział IV - „Przyspieszacze jonów”; oba mają głównie charakter ogólny, opisowy.

Istotniejszy dla oceny dorobku habilitanta jest rozdział V, który z jednej strony opisuje główne mechanizmy zmian w różnego typu materiałach pod wpływem litografii jonowej, z drugiej – prace własne habilitanta przy budowie aparatury (m.in. par 5.2.2. „Układ odcinający wiązkę” i par. 5.3.2.2 „Układ do litografii protonowej w powietrzu”). Rozdziały VI pt. „Trawienie” (30 stron) i VII pt. „Formowanie” (10 stron) mają charakter głównie opisowy, mimo że trawienie chemiczne jest w procedurach stosowanych przez habilitanta procesem o zasadniczym znaczeniu.

Istotny dla oceny dokonań habilitanta jest rozdział VIII pod dość lakonicznym tytułem „Pomiary” a przedstawiający sposoby oceny jakości mikroelementów wytworzonych w procesach litografii, m.in. mikrosoczewek uzyskanych metoda puchnięcia naświetlonych polimerów. Habilitant zbudował w tym celu układ pomiarowy w układzie korelatora optycznego 4f. Do celów analizy stosuje własny algorytm oparty na wielomianach Zernikego.

Istotny jest też rozdział IX pt. „Modelowanie w litografii jonowej”, w szczególności par. 9.2.4 „Wynik modelowania procesu trawienia” i par. 9.4.1. „Modelowanie procesu tłoczenia na gorąco” str. 212, poz. lit. [137]. W rozdziale X „Zastosowana litografii jonowej” (str. 215-228) habilitant opisuje sprzęgacz pryzmatyczny wytworzony metodą litografii protonowej w powietrzu (prace grupy belgijskiej, z którą habilitant współpracuje), czujnik chemiczny (par. 10.1.2) i mikrosoczewki refrakcyjne (par. 10.2), dla których opracował metody diagnostyczne, poz. lit. [308].

Autor monografii porusza szeroki „wachlarz” zagadnień, od wytwarzania wiązek szybkich jonów, przez zagadnienia litografii, wytrawiania, diagnostyki. Opisane są tak zagadnienia aparaturowe, doświadczalne jak modelowanie procesów. Całokształt pracy kwalifikuje ją jako pracę o charakterze głównie przeglądowym, kompilacyjnym, mimo że autor opiera się również na własnych dokonaniach, jak to opisujemy dalej.

Oceniając ogólnie pracę należy stwierdzić, że wiele omówionych zagadnień i szczegółowo przygotowanych przez autora schematów dotyczy jedynie marginalnie tematu głębokiej litografii jonowej. Tak jest np. w opisie technologii *spin-coating* (par. 2.2.2), która ma wiele zastosowań, wcale nie specyficznych dla litografii; tak jest opisu przyspieszania jonów oraz metod ich wytwarzania.

Wybór poruszanych zagadnień i szczegółowych stwierdzeń jest w dużej mierze arbitralny i nie do końca przekonujący, tak dla początkującego jak zaawansowanego czytelnika zob. np. wprowadzenie do litografii jonowej na str. 24.

Inny podział technik litografii jonowej uwzględnia rodzaj wykorzystywanych jonów. Granica przebiega tu między jonami lekkimi a ciężkimi. Te ostatnie stosuje się najczęściej w niedużej koncentracji do tworzenia pojedynczych kanałów. Lekkie jony, a w szczególności protony, wykorzystywane są najczęściej w dużej koncentracji do naświetlania szeroką lub skupioną wiązką.

W wielu miejscach stwierdzenia autora są dość oczywiste, np. str. 25.

Naświetlanie odbywa się przy wykorzystaniu wysokoenergetycznych jonów, którym nadaje się odpowiednią energię w urządzeniach przyspieszających.

Szeroki zakres materiału prowadzi w wielu miejscach do hasłowego potraktowania tematyk, np. w opisie źródeł jonów, str. 30.

4.1.1. Lampy wyładowcze

Są to najprostsze i historycznie pierwsze źródła jonów. Jony powstają w wyniku wyładowań elektrycznych w rozrzedzonych gazach. Zmiana właściwości jonów możliwa jest dzięki zmianie ciśnienia gazu i natężenia prądu.

4.1.2. Źródła mikrofalowe

Autor porusza częstokroć zagadnienia o charakterze elementarnym, niezbyt istotne dla tematyki pracy, jak ruch cząstek w polu elektromagnetycznym, efekty relatywistyczne, rozpraszanie cząstek w polu potencjału, zderzenia sprężyste. Traci na tym jasność wywodu, zob. np. str. 38

Przy niskich energiach efekty te można pominąć, jednak wraz ze wzrostem energii, prędkości i pędu efekty relatywistyczne zaczynają grać coraz większą rolę. Tym większą, im bardziej prędkość cząstki zbliżona jest do prędkości światła ($c = 299\,792\,458\text{ m/s}$).

lub str. 40

Jądro danego pierwiastka pozbawione jednego lub kilku nukleonów, najczęściej neutronów, może okazać się niestabilne. W takim przypadku dąży ono do stanu równowagi i podlega wówczas kolejnym przekształceniom jądrowym, polegającym np. na wygenerowaniu cząstki alfa. Obniżanie energii jądra przebiega też w wyniku emisji promieniowania gamma.

a także str. 49

Rozpędzona cząstka, poruszając się w jakimś ośrodku, napotyka na swej drodze atomy lub molekuły wchodzące w jego skład. Następujące zderzenia lub rozproszenia zmniejszają energię cząstek oraz powodują, że rozkład energii w wiązce ulega poszerzeniu.

Świecenie jest wynikiem luminescencji i dzieli się na fluorescencję i fosforescencję. (str. 69)

Mało przekonujące są też liczne inne stwierdzenia autora, nawet o charakterze nieco bardziej specjalistycznym, jak:

Naświetlanie polimerów, takich jak np. PMMA, wiązką promieniowania X, UV czy wiązką elektronów lub protonów powoduje cięcie łańcuchów polimerowych, co prowadzi do zmiany ich długości i w konsekwencji do zmniejszenia masy cząsteczkowej polimeru (rozd. 5.8).

Aby utrwalić kształt wybruszonego polimeru, utwardza się powierzchnię przy wykorzystaniu podwyższonej temperatury lub za pomocą naświetlania promieniowaniem UV. Procesy te inicjują proces sieciowania struktury polimeru, dzięki czemu na koniec masa cząsteczkowa 'spuchniętego' obszaru jest identyczna jak otaczającego go materiału.

Z nadmiaru przedstawionego materiału wynikają też pewne niedopracowania. Przytaczamy tu niektóre z nich:

- rys. 5.61 (zasięg protonów) dla jakiego materiału jest wyliczony?
- rys. 5.7 – zasięg maksymalny czy maksimum Bragga?
- rys. 5.63 – tor jonu – wynik modelowania czy schemat graficzny?
- tab. 5.30 – 5-cyfrowa dokładność zasięgu w krzemie?
- rys. 6.4 – źródło danych?
- bardzo jakościowa dyskusja roli defektów w trawieniu (str. 140)
- rys. 9.4, wielkość dawki zdeponowanej – obliczenia własne? użyty pakiet numeryczny?

Niewątpliwą zaletą monografii jest jej charakter interdyscyplinarny. Autor właściwie tę interdyscyplinarność prezentuje, jak np. na schemacie 5.22 ilustrującym różnorodność standardów przetwarzania analogowo-cyfrowego używanych przez habilitanta w układzie sterowania procesem litografii. Ta interdyscyplinarność niesie jednak ryzyko uproszczeń, jak np. w cytowanych powyżej opisach procesów chemiczno- fizycznych zachodzących w polimerach pod wpływem bombardowania jonami czy naświetlania UV.

Nieliczne błędy składu drukarskiego, np. równanie (5.52) powinno być *scattering*, po równaniu (5.54) „obliczenie”, w rozdziale IX „Foucaulta”.

Strona edytorska jest dopracowana – w szczególności bardzo pracołłonne były przygotowane na potrzeby tej monografii różnego rodzaju schematy i wykresy: koncepcji, procedur, aparatów, procesów technologicznych.

Ogólna ocena dorobku

Przedstawiona powyżej, dość krytyczna ocena monografii nie powinna jednak rzutować na pozytywną ocenę całości dorobku naukowego habilitanta. W szczególności mając na uwadze, że przedstawiona monografia ma być podstawą nadania stopnia naukowego wydaje się, że

habilitant powinien, na szerokim tle różnych poruszanych zagadnień, w większym stopniu podkreślać osiągnięcia własne. I tak np. nie jest dostatecznie jasne z opisów fotografii i rycin, czy układy sterujące (fot. 5.6) i wykonane wzorce (fot. 5.12, fot. 5.20, gdzie *nb.* brak skali) są dziełem habilitanta. Rozdział X przedstawiający głównie wyniki prac habilitanta nosi ogólny tytuł „Zastosowania litografii jonowej” i liczy zaledwie 14 stron. Bez wątpienia własnym osiągnięciem badawczym habilitanta są też paragrafy 8.2.4 („Pomiar kształtu mikrosoczewek”) i 9.2.4 („Modelowanie procesów trawienia”).

Podkreślamy, że w tematyce przedstawionej monografii kandydat wymienia trzy pozycje literaturowe z listy ISI z czego dwie samodzielne: *J. Micro/Nanolith. MEMS MOEMS* (wydawca SPIE) i *Optica Applicata* (Politechnika Wroclawska). Pierwsza z tych publikacji „Multilevel structures in deep proton lithography”, dotyczy ściśle tematyki litografii jonowej, ma charakter doświadczalno- modelowy i oparta jest na pracy kandydata w Erlangen. Druga praca „Surface plasmon resonance sensors - novel architecture and improvements” jest związana dość luźno z tematyką monografii, jako że dotyczy metody diagnostycznej (światłowodu opartego na propagacji fali na granicy metal- szkło); jest to praca modelowa. Obie prace wskazują na dobrą znajomość tematu przez kandydata i mają charakter innowatorski. Dodatkowo, w tematyce litografii jonowej habilitant cytuje 6 swoich prac w recenzowanych *Proceedings SPIE* (w tym 3 jednoautorskie) i 5 komunikatów pokonferencyjnych. Również niektóre z prac z listy ISI przypisane w autoreferacie habilitanta do tematyki nr. 1 (np. jedno-autorskie prace w *Applied Optics*, 2010 i w *Optical Engineering*, 2011) dotyczą zagadnień poruszanych w monografii.

Stosunkowo niska liczba cytowań (w momencie złożenia wniosku habilitacyjnego zaledwie 22) wynika zapewne z kilku powodów – różnorodności tematyk, krótkiego czasu aktywnej pracy badawczej w tematyce litografii jonowej i opisanych w autoreferacie trudności organizacyjnych.

Podsumowanie


Praca „Głęboka litografia jonowa” przedstawiona we wniosku habilitanta, w opinii recenzenta ma bardziej charakter kompilacyjny niż dokumentujący oryginalny wkład habilitanta w rozwój tej tematyki naukowej. Oryginalny wkład habilitanta w rozwój litografii jonowej oraz pokrewnych dziedzin naukowo- technologicznych wynika natomiast w sposób jasny z 6 jedno-autorskich artykułów w czasopismach z listy ISI (i kilku prac o pomniejszym

znaczeniu). Głównym wkładem dr A. Kasztelanica jest zbudowanie i przetestowanie układu do litografii za pomocą wiązki protonów w powietrzu. Habilitant jest też autorem kilku znaczących prac o charakterze modelowym i diagnostycznym.

Reasumując ocenę przedstawionej monografii wydaje się, że prezentowałyby się ona bardziej jednorodnie, gdyby autor zawęził zakres poruszanych tematyk, usuwając przede wszystkim zagadnienia elementarne i te potraktowane hasłowo, a rozwinął aspekty fizyczne litografii (np. wpływ defektów różnych defektów powstających w materiale na procesy trawienia chemicznego) lub technologiczne (różnorodność zastosowań technik litografii jonowej).

W całości oceny sylwetki i dokonań naukowych habilitanta warto, aby dokładniej określił on główną tematykę naukową (ang. *expertise*), którą uważa za swoje zasadnicze osiągnięcie oraz aktualne zainteresowania i perspektywy badawczo- dydaktyczne.

Pomimo uwag krytycznych stwierdzam, że przedstawiona monografia wraz z wyszczególnionym we wniosku pozostałym dorobkiem naukowym może stanowić podstawę nadania stopnia doktora habilitowanego nauk fizycznych doktorowi Andrzejowi Kasztelanicowi.

KIEROWNIK ZAKŁADU
DYDAKTYKI FIZYKI

Prof. dr hab. inż. Grzegorz Karwasz

Prof. dr hab. inż. Grzegorz Karwasz
Kierownik Zakładu Dydaktyki Fizyki UMK

Sopot, dnia 03.11.2012.