

Prof. zw. Krzysztof M. Abramski,
Katedra Torii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki
Wydział Elektroniki
Politechnika Wroclawska
50-37- Wrocław, Wybrzeże Wyspiańskiego 27
Tel. (71) 320 30 24, Fax (71) 320 31 89
e-mail: krzysztof.abramski@pwr.edu.pl

Wrocław, 21 lipca 2016

**Ocena rozprawy habilitacyjnej oraz
całokształtu dorobku naukowego dr Jacka Hoffmana,
„Badania eksperymentalne ablacji grafitu
wywołanej nanosekundowym impulsem lasera”**

Pan dr Jacek Hoffman ukończył studia na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego w 1980 roku (praca magisterska – „*Badania kinetyki powstawania aerozolu w parach CS₂*” pod promotorstwem niezapomnianego Profesora Krzysztofa Ernsta), zatrudniając się w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki PAN. Pracę doktorską pod promotorstwem Profesora Zygmunta Szymańskiego zatytułowaną „*Oddziaływanie wiązki lasera CO₂ z kanałem parowym w procesie spawania metali*” obronił w 2001. Jest wiernym pracownikiem IPPT PAN, bo pracuje w tej instytucji do chwili obecnej, od asystenta do adiunkta/głównego specjalisty.

Wstępne uwagi i dane bibliometryczne

Do rozprawy habilitacyjnej dr Jacek Hoffman przedstawił jednotematyczny cykl pięciu publikacji z IF, które zostały opublikowane po doktoracie w dwóch renomowanych czasopismach – *Applied Physics A* (3 publikacje) i *Journal Physics D: Applied Physics* (2 publikacje), a w których Habilitant jest jednoznacznie dominującym autorem i których całkowity IF =10,257. Liczba pięciu publikacji wydawać się może za skromną, natomiast należy tę propozycję rozważać w kontekście całego dorobku Habilitanta, na który składa się Jego cały dorobek publikacyjny:

przed doktoratem:

- 5 publikacji w czasopismach z IF,

po doktoracie:

- 31 publikacji w czasopismach z IF (o całkowitym IF = 39,221)
- 6 publikacji w innych publikacjach recenzowanych o zasięgu krajowym,
- 21 prestiżowych konferencji o zasięgu międzynarodowym,
- 1 współautorska książka (monografia), wydana w Wydawnictwie IPPT PAN.

Habilitant wnioskuje o przeprowadzenie postępowania habilitacyjnego w dziedzinie nauk technicznych w dyscyplinie Mechanika. W zasadzie dziedzinę, którą deklaruje Habilitant stosując aktualniejsze standardy kwalifikacyjne zdefiniowałbym jako Fotonikę. Zgodnie z Wikipedia (<https://en.wikipedia.org/wiki/Photonics>) :

Photonics is the science of light (**photon**) generation, detection, and manipulation through **emission**, **transmission**, **modulation**, **signal processing**, switching, **amplification**, and **detection/sensing**. Though covering all **light**'s technical applications over the whole **spectrum**, most photonic applications are in the range of visible and near-**infrared** light. **Applications of photonics are ubiquitous**. Included are all areas from everyday life to the most advanced science, e.g. light detection, **telecommunications**, **information processing**, **lighting**, **metrology**, **spectroscopy**, **holography**, **medicine** (surgery, vision correction, endoscopy, health monitoring), **military technology**, **laser material processing**, visual art, **biophotonics**, **agriculture**, and **robotics**. The potential

applications of photonics are virtually unlimited and include chemical synthesis, medical diagnostics, on-chip data communication, laser defense, and [fusion energy](#), to name several interesting additional examples.

- Consumer equipment: [barcode](#) scanner, printer, CD/DVD/Blu-ray devices, remote control devices,
- [Telecommunications](#): [optical fiber communications](#), optical down converter to microwave,
- [Medicine](#): correction of poor eyesight, [laser surgery](#), surgical endoscopy, tattoo removal,
- [Industrial manufacturing](#): the use of lasers for welding, drilling, cutting, and various methods of surface modification,
- [Construction](#): laser leveling, laser rangefinding, smart structures,
- [Aviation](#): photonic [gyroscopes](#) lacking mobile parts,
- [Military](#): IR sensors, command and control, navigation, search and rescue, mine laying and detection,
- [Entertainment](#): [laser shows](#), beam effects, [holographic art](#),
- [Information processing](#),
- [Metrology](#): time and frequency measurements, [rangefinding](#),
- [Photonic computing](#): clock distribution and communication between [computers](#), [printed circuit boards](#), or within optoelectronic [integrated circuits](#);
- in the future: [quantum computing](#).

Fotonika jest interdyscyplinarnym konglomeratem wielu dziedzin: fizyki (fizyka kwantowa), chemii (spektroskopii), elektroniki (optoelektronika, technika laserowa) i kilku innych. I szkoda, że w naszych sztywnych ramach przepisów Fotonika jeszcze nie znalazła swego miejsca, jako oficjalna dyscyplina naukowa. Jest to oczywiście kwestia bezwładności biurokratycznej i czasu. Przypomina to wirtualną Polskę z czasów zaborów.

Sam fakt, że cykl habilitacyjnych publikacji dr Jacek Hoffman opublikował w dwóch czasopismach z nazwą *Applied Physics*, a cykl ten dotyczy ablacji, **czyli swoistego sposobu obróbki/modyfikacji materiału**, a nadto dotyczy spektroskopii i diagnostyki plazmy indukowanej w czasie takiej obróbki, **to posadowienie tematyki przewodniego habilitacyjnego w dyscyplinie Mechanika jest w tym przypadku formalnie uzasadnione**. Ja też, jako **nominowany przez CK recenzent, czuję się bardziej specjalistą od fotoniki, zdecydowanie nie czując się specjalistą od mechaniki**. Mając na uwadze powyższe, chcę tylko wyjaśnić, że czuję się kompetentnym recenzentem w tym przewodzie habilitacyjnym.

Ocena osiągnięcia naukowego (monotematycznego cyklu publikacji) dr Jacka Hoffmana

Ocenię poddany jest cykl spójnych tematycznie 5 publikacji (każda z IF>2) poświęconych ablacji grafitu pod wpływem wiązki laserowej o nanosekundowych długościach. Badania dotyczą jednego typu ablacji – tzw. ablacji termicznej, co determinuje praktycznie długość impulsów stosowanych laserów. Za granicę między termalną a zimną ablacją praktycznie uznaje się długość pojedynczego impulsu laserowego, który szacuje się na pojedyncze pikosekundy, w zależności od materiału i długości fali promieniowania laserowego. Tematyka ablacji grafitu jest ważnym problemem naukowym, o istotnym aspekcie technologicznym, polegających na syntezie różnych struktur węglowych – fulereny, nanorurki, płatki grafenowe, włącznie z mikropokryciami diamentowymi. Mogę tu dołożyć restrukturyzującą grafitowych powierzchni sztucznych zastawek serca metodą ablacji laserowej, ostatnio prowadzoną w moim zespole badawczym.

Publikacja H1, *Plasma plume induced during laser ablation of graphite*, Applied Physics A, Materials Science & Processing (2008) 92, 921-926, dr Hoffman jest pierwszym i głównym autorem z 80% udziałem. Przedstawiono przede wszystkim stanowisko badawcze opracowane do badań plazmy. Do specjalnego próżniowego kioska wprowadza się wiązkę laserową z lasera ekscymerowego ArF (193nm, energia impulsu 440mJ, długość impulsu

20ns) na obiekt leżący na translacyjnym stoliku. Układ diagnostyczny stanowiły klasyczny układ LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) na który składały się: układ monochromatora wraz z bramkowaną kamerą CCD stosownie wyzwalaną sygnałem laserowym, a rolę fotodetektora spełniał fotopowielacz.

W ten sposób obłok powstającej plazmy mógł być analizowany w różnych jej fragmentach: przestrzennie, czasowo i spektralnie. Analizowane były dwie charakterystyczne linie spektralne węgla: wzbudzonego atomu, CI (505,22nm) i wzbudzonego jonu, CII (426,72nm). Czasowe ewolucje profili obu linii w czasie i wzdłuż obłoku plazmy pozwoliły oszacować podstawowe parametry dynamiki plazmy: prędkość przemieszczania się środka masy obłoku plazmy i prędkość ekspansji plazmy. Zwrócono uwagę na różnice w zmierzonych prędkościach atomów i jonów w plazmie, przy czym prędkość jonów jest wyższa od prędkości atomów, co jest tematem trzeciej publikacji z cyklu habilitacyjnego [H3]. Znajomość poszerzeń Starkowskich linii 723,132nm, 723,642 i 426,70nm/426,72 linii CII oraz linii 505,217nm linii CI pozwoliła na obliczenia rozkładu gęstości elektronów wzdłuż obłoku, a także czasową ewolucję gęstości elektronów i rozkład temperatury elektronów wzdłuż obłoku plazmy. Ta praca prezentuje bardzo wysokiej klasy warsztat doświadczalny Habilitanta i Jego olbrzymie wyczucie zagadnień związanych ze spektroskopia laserową i diagnostyką plazmy.

Publikacja H2, *The effect of laser wavelength on heating of ablated carbon plume, Applied Physics A, Materials Science & Processing (2011) 815-819* (pierwszy i główny autor, udział Habilitanta – 80%). To bardzo ciekawy wątek badawczy plazmy indukowanej laserowo w graficie w procesie ablacji laserowej dla zasadniczo różniących się długości fal impulsów laserowych. W tym eksperymencie zastosowano laser Nd:YAG z trzema długościami fali: podstawową 1064nm i harmonicznymi 532nm i 355nm. Dla gęstości elektronów poniżej gęstości krytycznej pochłanianie promieniowania plazmy rośnie ze wzrostem długości fali. W części eksperymentalnej zmierzono gęstości elektronów dla każdej z dostępnych długości fal i pokazano, że są one poniżej tzw. gęstości krytycznej. Na bazie tych pomiarów opartych na rejestracji kształtów i szerokości stosownych linii spektralnych, uwzględniając podstawowe mechanizmy pochłaniania promieniowania przez indukowaną plazmę (tzw. *inverse Bremsstrahlung*), obliczono stosunek współczynników pochłaniania dla fal 1064nm, 532nm, 355nm, które wynoszą jak 9:2:1. Te obliczenia pozwoliły określić temperatury elektronów oraz ich gęstości w funkcji odległości od obiektu, a także prędkości przemieszczania środka masy obłoku i prędkości ekspansji obłoku. Publikacja H2 istotnie poszerza wiedzę o procesie ablacji laserowej grafitu i tworzy istotne ogniwo jego procesu diagnostycznego.

Publikacja H3, *Acceleration and distribution of laser-ablated carbon ions near the target surface, Journal of Physics D: Applied Physics, 45 (2012), 1-8* (główny autor, udział Habilitanta – 80%). Istotą tej publikacji było eksperymentalne i teoretyczne badanie mechanizmu kinetyki jonów i atomów węgla w procesie termalnej ablacji laserowej grafitu. Autor zajął się wyjaśnieniem większej prędkości jonów w porównaniu do prędkości atomów w obłoku plazmy, którego przyczyna do tej pory była interpretowana dodatkowym przyspieszeniem jonów w polu elektrycznym wytworzonym przez tzw. supertermiczne elektrony. W tej pracy Habilitant wykazał, że większa prędkość jonów spowodowana jest dużym gradientem temperatury, występującym w wierzchnich warstwach plazmy bardziej grzanych przez promieniowanie laserowe, a w których to dominują właśnie jony. Jest to ważna konkluzja tej pracy zmieniająca kinetyczny obraz interpretacyjny obłoku plazmy indukowanej promieniowaniem laserowym. Habilitant zaproponował hydrodynamiczny model opisu tego zjawiska. Przedstawił rozkłady podstawowych parametrów plazmy – ciśnienia, temperatury, prędkości, w różnych fazach jej rozwoju. Na podstawie analizy w

czasie wybranych linii emisyjnych jonów i atomów węgla potrafi wyznaczyć ewolucje temperatury i gęstości jonów w plazmie grafitowej.

Publikacja H4, *The effect of laser wavelength on the laser ablation rate of carbon*, Applied Physics A, Materials Science & Processing (2014) 117, 395-400 (pierwszy i główny autor, udział Habilitanta – 80%). Ta publikacja poświęcona jest badaniom mechanicznych efektów powierzchni grafitu w wyniku ablacji promieniowaniem laserowym. Podstawowym parametrem ablacji jest tzw. wydajność ablacji, wyrażaną na dwa równoważne sposoby:

- w pierwszym przypadku wydajność ablacji wyraża się masą usuniętą z powierzchni przez jeden impuls promieniowania laserowego,
- w drugim przypadku wydajność wyraża się objętością krateru wytwarzanego w trakcie impulsu laserowego.

Istotnymi osiągnięciami tej publikacji są charakterystyki wydajności ablacji przeprowadzone dla dwóch typów grafitu (grafit polikrystaliczny i anizotropowy grafit pyrolityczny) w funkcji fluencji promieniowania laserowego (do 120 J/cm^2) dla trzech różnych długości fali: 1064nm, 532nm i 355nm. Badania przeprowadzono dwiema technikami pomiarowymi wydajności ablacji. Zmierzono ważny parametr – próg ablacji – 1 J/cm^2 . Wydajność ablacji najpierw rośnie liniowo, potem logarytmicznie (do 10 J/cm^2), a potem się wysycza, a od fluencji około 30 J/cm^2 wykazuje szybki quasi-liniowy wzrost spowodowany przejściem do stanu wrzenia objętościowego. Wyznaczono progowe wartości fluencji, przy których następuje przejście od ablacji termicznej do wrzenia objętościowego, które wynoszą odpowiednio 10, 25 i 55 J/cm^2 dla długości fal odpowiednio 355, 532 i 1064nm. Te charakterystyki są bardzo cenne dla celów praktycznych. Okazują się być niezmiernie przydatne dla mojego doktoranta, który prowadzi badania nad modyfikacją powierzchni grafitowych sztucznych zastawek serca promieniowaniem laserów nanosekundowych, pikosekundowych i femtosekundowych.

Publikacja H5, *The effect of recoil pressure in the ablation of polycrystalline graphite by a nanosecond laser pulse*, Journal of Physics D: Applied Physics, 48 (2015), 1-8 (pierwszy i główny autor, udział Habilitanta – 100%). Ta publikacja poświęcona jest nowemu mechanizmowi usuwania materiału w procesie ablacji laserowej z grafitu, którą Autor nazwał fragmentyzacją materiału przez falę ściskania wnikałą w materiał. Fala ta powstaje w wyniku działania na powierzchnię ciśnienia odrzutu par wytwarzanych w czasie ablacji, gdy ciśnienie pary przekroczy tzw. punkt krytyczny (temperatura 6800K, ciśnienie 220 MPa). Autor pokazał, że te warunki można stosunkowo łatwo uzyskać przy umiarkowanych fluencjach powyżej 6 J/cm^2 . Jest to praca bardzo dociekliwa i dojrzała. Autor przedstawił matematyczny model zjawiska i eksperymentalne ewidencje efektu fragmentyzacji materiału. Efekt fragmentyzacji grafitu w procesie ablacji potwierdza mój doktorant, Bogusz Stępak, który zaobserwował tego typu efekt i z pewnością będzie intensywnie studiował cały cykl habilitacyjny zaproponowany przez dr Jacka Hoffmana.

Istotę osiągnięcia naukowego tego cyklu, według mojej opinii, stanowi:

- Solidne opracowanie diagnostyki obłoku plazmy (stosując techniki spektroskopii laserowej typu LIBS) w procesie ablacji grafitu promieniowaniem laserowym o impulsach nanosekundowych z podaniem szeregu istotnych, konkretnych wartości parametrów tej plazmy,
- Wyjaśnienie mechanizmu ewolucji obłoku plazmy jako procesu hydrodynamicznego,
- Określenie szeregu ważnych parametrów wydajności ablacji i progów faz ablacji,
- Odkrycie nowego zjawiska w procesie ablacji laserowej, tak zwanej fragmentyzacji materiału na skutek działania tzw. efektu ciśnienia odrzutu.

Oceniając „istotę osiągnięcia naukowego” stwierdzam, że monotematyczny cykl publikacji dr Jacka Hoffmana poświęcony „badaniom eksperymentalnym ablacji grafitu wywołanej nanosekundowym impulsem lasera” stanowi obszerny, solidny, samodzielny i spójny zestaw prac naukowych charakteryzujący się kompleksowością i oryginalnością i może być uznany za cykl procesu habilitacyjnego. Moja ocena tego osiągnięcia naukowego jest wysoka.

Ponadto nadmieniam, że powyższy cykl publikacji o ablacji laserowej grafitu swoją tematyką, zakresem merytorycznym i potencjalnymi aplikacjami, stanowi znaczący wkład w tak zwaną obróbkę laserową i jej diagnostykę, a przez to w rozwój dyscypliny Mechanika.

Ocena istotnej aktywności naukowej dr Jacka Hoffmana

Ważnym elementem aktywności naukowej procesu habilitacyjnego jest dorobek naukowy. Pan dr Jacek Hoffman cały okres Swjej działalności naukowej w Instytucie Podstawowych Problemów Techniki od 1980 roku poświęcił dziedzinie oddziaływania promieniowania laserowego z materia, diagnostyce plazmy i pokrewnych zagadnień. Należy podkreślić, że dorobek Habilitanta, poza pięcioma publikacjami z cyklu habilitacyjnego, zawiera współautorstwo 26 publikacji z IF, które pośrednio ściśle wiążą się z cyklem habilitacyjnym i które naturalnie uzupełniają „dorobek około habilitacyjny”. Całkowity Impact Factor tych 26 publikacji wynosi 29 punktów, co daje średnią ponad 1/publikację, a co należy uznać za bardzo dobry wskaźnik.

Na aktywność naukową Habilitanta składają się:

- Szeroko pojęta analiza spawania laserowego laserem na dwutlenku węgla. Poświęcono tej tematyce 11 publikacji [D1-D10, D-12] diagnozując plazmę w procesie spawania i używając technik spektroskopowych. Ten obszerny cykl publikacji poświęcony jest monitorowaniu procesu parametrów spawania laserowego i kontroli jakości spawania. Ważnym elementem tego wątku badawczego była analiza spektralna obłoku plazmy realizowana w czasie rzeczywistym [D8]. Ważnym elementem dorobku publikacyjnego w tej tematyce jest współautorstwo książki „Fizyka spawania laserowego”, wydana w przez Wydawnictwo IPPT PAN wydana w 2004 roku.
- Zagadnienia obróbki laserowej laserami impulsowymi, zwłaszcza ablacji różnych materiałów takich jak grafit [D11, D15, D17, D-18] czy miedź [D-20]. W przypadku ablacji grafitu opracowano technologie czyszczenia grafitowych elementów reaktora termojądrowego.
- Kolejna spójna z habilitacją tematyka to nanoszenie techniką ablacji laserowej supertwardych pokryć ceramicznych borkiem renu (ReB_2) i borkiem wolframu (WB_2) [D23-D24] i hydroksyapatytu [D13, D-14].
- Opanowanie bardzo oryginalnej technologii syntezy węglowych nanorurek wytwarzanych techniką laserowej ablacji grafitu z domieszkami katalizatorów niklu i kobaltu [D-25]
- Osobną tematykę badań stanowiło badania parametrów plazmy i strumienia plazmy generowanego przez plazmotron w ramach europejskiego programu badawczego

PHYS4ENTRY, wykorzystując Swoją wiedzę w zakresie spektralnej analizy emisyjnej plazmy.

Powyższe wątki badawcze były nie tylko publikowane w czasopismach z IF, ale również w 21 konferencjach o zasięgu międzynarodowym.

Ponadto należy podkreślić, że całkowita liczba cytowań prac dr Hoffmana (bez autocytowań) wynosi 223, przy współczynniku $h=9$, co należy uznać za lepsze niż przeciętne parametry postrzegania dorobku habilitanta w zakresie nauk technicznych.

Ponadto należy zauważyć, że dr Jacek Hoffman brał praktycznie ciągle aktywny udział w grantach. W ciągu ostatnich 13 lat brał udział w 10 grantach, w jednym przypadku jako kierownik, w pozostałych jako wykonawca. Były to granty KBN, NCN, NCBiR, a także jeden w ramach 7 Programu Ramowego. W ramach grantów współpracował z naukowcami z Rumunii, Belgii, Francji, Włoch i Rosji. W ramach grantów krajowych współpracował z Instytutem Optoelektroniki WAT oraz z Instytutem Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy, z firmą Pratt & Whitney Kalisz, a także z Centrum Technologii Laserowych Politechniki Świętokrzyskiej.

Pan dr Jacek Hoffman jest recenzentem NCN. Recenzuje także publikacje w czasopismach z IF: Journal Physics B, Chemical Papers, Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer.

Jest również dr Jacek Hoffman opiekunem pomocniczym jednej doktorantki. Elementy dydaktyczne przejawia uczestnicząc w szkoleniach w dziedzinie techniki laserowej i aplikacjach dla pracowników firmy Pratt & Whitney Kalisz.

Podsumowując dorobek naukowy dr Jacka Hoffmana stwierdzam, że jest on znaczący, solidny i zauważalny na forum międzynarodowym. Dokonując tak zwanej „oceny istotnej działalności naukowej” dr Jacka Hoffmana, chcę podkreślić, że tę działalność naukową można zdefiniować jako „istotny wkład w rozwój diagnostyki plazmy w procesie obróbki laserowej oraz w rozwój technologii obróbki laserowej”, a przez to w rozwój dyscypliny Mechanika. Pana dr Jacka Hoffmana można uznać za specjalistę formatu międzynarodowego w dziedzinie diagnostyki plazmy, bardzo dobrze zorientowanego w zawilej fizyce plazmy laserowej, zorientowanego na eksperyment i aplikacje.

Ponadto stwierdzam, że monotematyczny cykl publikacji dr Jacka Hoffmana poświęcony „badaniom eksperymentalnym ablacji grafitu wywołanej nanosekundowym impulsem lasera” jest bardzo dobrze skorelowany i kompatybilny z wyżej opisaną „istotną działalnością naukową” Habilitanta.

Biorąc pod uwagę dorobek dr Jacka Hoffmana, na który składa się całokształt działalności naukowo-technicznej, dydaktycznej, organizacyjnej oraz Jego rozprawę habilitacyjną, na którą składa się wyznaczony cykl publikacji stwierdzam, że w mojej opinii dr Jacek Hoffman spełnia, wymagane stosowną Ustawą z dnia 14 marca 2003 (uzupełnioną Rozporządzeniami MNiSW z 1 września 2011, 30 października 2015 oraz Komunikatem nr 1/2015 CK), warunki stawiane kandydatom do stopnia doktora habilitowanego i wniosuję o nadanie dr Jackowi Hoffmanowi stopnia naukowego doktora habilitowanego nauk technicznych w dyscyplinie Mechanika.