

Gdynia, 03 grudnia 2016 r.

dr hab. inż. Adam Cenian, prof. IMP PAN
Instytut Maszyn Przepływowych PAN
im. Roberta Szewalskiego
80-952 Gdańsk
ul. Fiszer 14

**Recenzja jednotematycznego cyklu publikacji
pt. *Modelowanie numeryczne procesów zachodzących podczas ablacji
nanosekundowym impulsem lasera*
i dorobku naukowego doktora nauk technicznych Tomasza Piotra Mościckiego**

1. Informacje podstawowe o kandydacie:

- **Imię i nazwisko: Tomasz Piotr Mościcki**

- **przebieg pracy zawodowej:**

styczeń 2002 – marzec 2007 - asystent, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN,
Warszawa

od kwiecień 2007 – adiunkt Instytut Podstawowych Problemów Techniki, PAN, Warszawa

- **rozwój naukowy - uzyskanie stopnia doktora:**

magisterium: Wydział Mechaniczny Energetyki i Lotnictwa, Politechnika Warszawska, mechanika
2001

w zakresie Ekologicznych problemów energetyki cieplnej

doktorat: Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN; mechanika, 2007

Tytuł rozprawy: "Badanie właściwości fizycznych obłoku plazmowego powstającego
przy spawaniu laserowym stali"

Promotor: dr hab. Zygmunt Szymański, prof. IPPT

- **stanowiska organizacyjne pełnione w uczelni, jednostkach badawczych i inne.**

2013-01-31 do 2016-01-30; kierownik projektu NCN, SONATA, „Super-twarde pokrycia osadzone
impulsem laserowym”. Finansowanie: 493000 PLN.

- **ocena liczebności dorobku i czasopism, w których publikowane były prace,**

Habilitant opublikował łącznie 22 prac w czasopismach znajdujących się w bazie Journal Citation
Reports (JRC) z liczbą cytowań LC = 98 (72 bez autocytowań) oraz sumarycznym impact factorem
IF = 28,13. Index Hirscha Habilitanta wynosi 7.

7 prac stanowiących jednotematyczny cykl publikacji składających się na osiągnięcie naukowe jest
wynikiem jego pracy w całości bądź 65-80 %.

Ponadto, Habilitant po doktoracie był autorem bądź współautorem 14 referatów na konferencjach
naukowych.

- główne kierunki badawcze,

Zainteresowania badawcze Habilitanta koncentrują wokół zagadnień związanych z symulacją zjawisk plazmowych oraz obróbką laserową, w tym:

- modelowanie procesu ablacji różnych materiałów;
- plazmowe metody osadzania warstw o różnym charakterze: supertwardych, nanowęglowych, ...;
- absorpcja i emisja promieniowania obłoków plazmowych;
- przetapianie laserowe z nagniataniem;
- technologie laserowego spawania.

- udział kandydata w publikacjach zbiorowych (na podstawie oświadczeń)

Z zakresu jednotematycznego cyklu publikacji

H1. **Mościcki T.**; Hoffman J.; Szymanski Z., *MODELLING OF PLASMA FORMATION DURING NANOSECOND LASER ABLATION*, Archives of Mechanics 63 (2011), 99-116; IF: 0.75, 20 pkt.

Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, modelu numerycznego, opracowaniu i analizie wyników modelu oraz przygotowaniu manuskryptu; udział procentowy Habilitanta szacowany jest na ok. 90%.

H2. **Mościcki T.**, Hoffman J., Szymański Z., *LASER ABLATED CARBON PLUME: EXPERIMENT AND MODELLING*, Nukleonika. International Journal of Nuclear Research 57 (2012), 283-286; IF: 0.40, 15 pkt.

Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, modelu numerycznego, opracowaniu i analizie wyników modelu oraz przygotowaniu manuskryptu; udział Habilitanta szacowany na ok. 80%.

H3. **Mościcki T.**; Hoffman J., Szymanski Z., *THE EFFECT OF LASER WAVELENGTH ON LASER-INDUCED CARBON PLASMA*, Journal of Applied Physics 114 (2013), 083306; IF: 2.19, 35 pkt.

Wkład Habilitanta w powstanie prac polegał na opracowaniu koncepcji pracy, modelu numerycznego, na opracowaniu i analizie wyników modelu oraz przygotowaniu manuskryptu; udział Habilitanta szacowany na ok. 80%.

H4. **Mościcki T.**, *EXPANSION OF LASER-ABLATED TWO-COMPONENT PLUME WITH DISPARATE MASSES*, Physica Scripta T161 (2014), 014024, IF: 1.13, 25 pkt.

Udział Habilitanta 100%.

H5. **Mościcki T.**, Hoffman J., Chrzanowska J., *THE ABSORPTION AND RADIATION OF A TUNGSTEN PLASMA PLUME DURING NANOSECOND LASER ABLATION*, Physics of Plasmas 22 (2015), 103303; impact factor: 2.14, 30 pkt.

Wkład Habilitanta w powstanie pracy polegał na opracowaniu koncepcji pracy, modelu numerycznego, na opracowaniu i analizie wyników modelu oraz przygotowaniu manuskryptu; udział Habilitanta szacowany na ok. 80%.

H6. **Mościcki T.**, Radziejewska J., Hoffman J., Chrzanowska J., Levintant-Zayonts N., Garbiec D., Szymanski Z., *WB2 TO WB3 PHASE CHANGE DURING REACTIVE SPARK PLASMA SINTERING AND PULSED LASER ABLATION/DEPOSITION PROCESSES*, Ceramics International 41 (2015), pp. 8273-8281 IF: 2.61, 40 pkt.,

Wkład Habilitanta w powstanie prac polegał na opracowaniu koncepcji pracy oraz warunków

eksperymentu, na opracowaniu i analizie wyników modelu oraz przygotowaniu manuskryptu; udział Habilitanta szacowany na 65%,

H7. Mościcki T., DIFFERENCES IN NANOSECOND LASER ABLATION AND DEPOSITION OF TUNGSTEN, BORON AND WB₂/B COMPOSITE DUE TO OPTICAL PROPERTIES, International Journal of Optics 2016, Art. ID 5438721, pp. 1-13; <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5438721>; IF: 0.30 (SJR), 15 pkt.

Udział Habilitanta 100%.

Inne publikacje poza jednotematycznym cyklem na podstawie oświadczenia

1. Chrzanowska J., Kurpaska Ł., Giżyński M., Hoffman J., Szymański Z., **Mościcki T.**, *Fabrication and characterization of superhard tungsten boride layers deposited by radio frequency magnetron sputtering*, (2016), doi: 10.1016/j.ceramint.2016.04.166;
udział Habilitanta 10%; kierownik projektu, udział w analizie wyników oraz pisaniu manuskryptu;
2. Maździarz M., **Mościcki T.**, *Structural, mechanical and optical properties of potentially superhard WB_x polymorphs from first principles calculations*, Materials Chemistry and Physics (2016), dx.doi.org/10.1016/j.matchemphys.2016.05.014;
udział Habilitanta 20%; udział w opracowaniu koncepcji manuskryptu, analizie wyników modelu oraz pisaniu manuskryptu;
3. Banak R., **Mościcki T.**, Tofil S., Hoffman J., Antoszewski B., *Laser welding of spark plug electrode - modelling problem of metals with disparate melting points*, Lasers in Engineering (2016), przyjęty do publikacji (14.03.2016);
udział Habilitanta 35%; udział w opracowywaniu modelu, analizie wyników oraz pisaniu manuskryptu;
4. Maździarz M., **Mościcki T.**, *Structural, mechanical, optical, thermodynamical and phonon properties of stable ReB₂ polymorphs from density functional calculations*, Journal of Alloys and Compounds 657 (2016), pp. 878-888,
udział Habilitanta 20%; udział w opracowaniu koncepcji manuskryptu, analizie wyników modelu oraz pisaniu manuskryptu.
5. Chrzanowska J., Hoffman J., Denis P., Giżyński M., **Mościcki T.**, *The effect of process parameters on rhenium diboride films deposited by PLD*, Surface and Coatings Technology 277 (2015), pp.15-22;
udział Habilitanta 10%; kierowanie projektem, udział w analizie wyników oraz pisaniu manuskryptu;
6. Garbiec D., Jurczyk M., Levintant-Zayonts N., **Mościcki T.**, *Properties of Al-Al₂O₃ composites synthesized by spark plasma sintering method*, Archives of Civil and Mechanical Engineering 15 (2015), pp.933-939;
udział Habilitanta 5%; udział w analizie wyników twardości i pisaniu manuskryptu;
7. Hoffman J., Chrzanowska J., Kucharski S., **Mościcki T.**, Mihailescu I.N., Ristoscu C., Szymański Z., *The effect of laser wavelength on the ablation rate of carbon*, Applied Physics A-Materials Science & Processing 117 (2014), pp. 395-400;
udział Habilitanta 15%; opracowanie modelu numeryczny ablacji i wyznaczenie tempa ablacji;
8. **Mościcki T.**, Radziejewska J., *Numerical simulation and experimental analysis of simultaneous melting and burnishing of 304 stainless steel with oscillatory laser heat source*, Kovové materiály - Metallic Materials 51(1) (2013), pp. 37-44;
udział Habilitanta 75%; opracowanie modelu i analiza wyników, przygotowanie manuskryptu.
9. Hoffman J., **Mościcki T.**, Szymanski Z., *Acceleration and distribution of laser-ablated carbon ions near the target surface*, Journal of Physics D-Applied Physics 45 (2012), pp. 025201;
udział Habilitanta 15%, model numeryczny ablacji węgla, udział w analizie wyników;

10. Hoffman J., **Mościcki T.**, Szymanski Z., *The effect of laser wavelength on heating of ablated carbon plume*, Applied Physics A-Materials Science & Processing 104 (2011), pp. 815-819;
udział Habilitanta 15%; wyznaczenie współczynników pochłaniania obłoku plazmowego;
11. Jedynski M., Hoffman J., **Mościcki T.**, Mroz W, Burdyńska S, Diduszko R, Kołodziejczak P, Szymański Z, *Deposition of thin hydroxyapatite films by 335 nm Nd:YAG laser ablation*, Materials Science-Poland 28 (2010), pp. 693-702;
udział Habilitanta 2%; udział w przygotowaniu warstw;
12. **Mościcki T.**, Hoffman J., Szymanski Z., *Net emission coefficients of low temperature thermal iron-helium plasma*, Optica Applicata 38 (2008), pp. 365-373.
udział Habilitanta 65%; wyznaczenie współczynników emisji obłoku plazmowego, przygotowanie manuskryptu.

- **wykaz ważniejszych osiągnięć naukowych z podsumowaniem, co one wnoszą do nauki.**

Prace z udziałem Habilitanta umożliwiły:

- wyznaczenie parametrów plazmy (niemożliwe lub trudne do wyznaczenia eksperymentalnie);
- szczegółową analizę zjawisk pochłaniania i emisji promieniowania obłoku plazmy ablacyjnej oraz ich roli w kształtowaniu procesu ablacji i widma emisyjnego oraz wyznaczenie strat promieniowania docierającego do tarczy wynikających z ekranowania tarczy przez obłok plazmowy;
- wyjaśnienie mechanizmu przyspieszania obłoku plazmy podczas ablacji zjawiskami gazodynamicznymi;
- wyjaśnienie różnic w zachowaniu się obłoku podczas ablacji materiałów, w których skład wchodzi pierwiastki o znacząco różnych masach;
- wyjaśnienie wpływu długości fali promieniowania laserowego na parametry obłoku plazmowego;
- wyjaśnienie różnic w mechanizmie ablacji w zależności od materiału tarczy oraz gęstości mocy lasera - wrzenie wybuchowe, parowanie oraz mechanizm mieszany;
- opracowanie metod osadzania super-twardych warstw ReB2 i WB3 [H6];

3. Ocena rozprawy habilitacyjnej lub zestawu publikacji składających się na habilitację wraz z uzasadnieniem, co przeprowadzone badania wnoszą do nauki.

Do recenzji przedłożono osiągnięcie naukowe, będące **jednotematycznym cyklem publikacji** pt. *Modelowanie numeryczne procesów zachodzących podczas ablacji nanosekundowym impulsem lasera*

Cykl stanowi 7 publikacji w renomowanych czasopismach [H1-H7]:

H1. **Mościcki T.**; Hoffman J.; Szymanski Z., *MODELLING OF PLASMA FORMATION DURING NANOSECOND LASER ABLATION*, Archives of Mechanics 63 (2011), 99-116; IF: 0.75, 20 pkt.

W pracy przedstawiono wyniki opracowanego modelu ablacji termicznej w próżni pod wpływem oddziaływania z nanosekundowym impulsem lasera o długości fali 1064 nm oraz gęstością mocy ok. 10 J/cm². Model wykorzystując zmodyfikowane komercyjne oprogramowanie CFD ANSYS - Fluent opisuje zjawisko ogrzewania targetu, formowania się obłoku plazmowego oraz jego ekspansję opisane równaniami zachowania masy, pędu oraz energii. Modyfikacja oprogramowania polegała na opracowaniu szeregu funkcji zewnętrznych pozwalających na uwzględnienie zjawiska pochłaniania i promieniowania w plazmie oraz tarczy, wprowadzenie zależnych od temperatury i ciśnienia parametrów charakterystycznych plazmy tj. ciepła właściwego i gęstości. Ponadto, Habilitant zbudował funkcję opisującą promieniowanie lasera jako źródła energii, umożliwiającą zbadanie wpływu różnych parametrów lasera tj. gęstości mocy, długości impulsu, rozkładu promieniowania w wiązce oraz długości fali promieniowania laserowego, na przebieg zjawiska ablacji. Habilitant wykazał się znajomością metod numerycznych zastosowanych w pakiecie Ansys-Fluent jak i podstaw fizycznych procesu ablacji. Model można stosować dla opisu ewolucji plazmy podczas pierwszych 100 ns, gdy liczba Knudsena jest mniejsza niż 0.1. Powyżej tej wartości droga swobodna jest zbyt długa aby usprawiedliwić stosowalność modelu hydrodynamicznego.

Zaproponowany model umożliwił wyznaczenie parametrów plazmy, które są niemożliwe lub bardzo trudne do wyznaczenia eksperymentalnie, zwłaszcza w początkowych kilkudziesięciu nanosekundach. W ciągu kilkunastu nanosekund plazma z ablacji targetu aluminiowego osiąga maksymalną temperaturę 61 500 K, ciśnienie 2×10^8 Pa oraz prędkości w zakresie 3.8×10^4 m/s. Rezultaty obliczeń dość dobrze potwierdzają wyniki eksperymentalne. Wykazano, że absorpcja Mie przyspiesza moment zapalenia plazmy (plasma ignition) oraz zwiększa jej temperaturę maksymalną. Otrzymane wyniki wskazują na gazodynamiczny charakter procesu propagacji obłoku plazmowego przynajmniej na badanym początkowym etapie jej rozwoju; nie ma potrzeby uwzględniania mechanizmów przyspieszania jonów w polu elektrycznym wygenerowanym przez foto- i termiczną emisję elektronów.

Model umożliwia wyznaczenie pola ciśnień, temperatur oraz gęstości dla ablacji popularnych materiałów (węgiel, aluminium) jak i materiałów dotychczas nie analizowanych, ale mających duży potencjał aplikacyjny – wolfram i bor [H1-H7].

Warto zaznaczyć, że Habilitant w sposób właściwy definiuje temperaturę statyczną. Jednak, problemem modelowania może być zaniedbanie faktu, że część energii promieniowania jest przekształcona w energię propagacji fali uderzeniowej w targecie. Procentowy udział tej energii różnie z częstotliwością promieniowania lasera.

H2. **Mościcki T.**, Hoffman J., Szymański Z., *LASER ABLATED CARBON PLUME: EXPERIMENT AND MODELLING*, Nukleonika. International Journal of Nuclear Research 57 (2012), 283-286; IF: 0.40, 15 pkt.

H3. **Mościcki T.**; Hoffman J., Szymanski Z., *THE EFFECT OF LASER WAVELENGTH ON LASER-INDUCED CARBON PLASMA*, Journal of Applied Physics 114 (2013), 083306; IF: 2.19, 35 pkt.

W przypadku ablacji z wykorzystaniem targetu grafitowego (prace [H2 i H3] wykorzystano model [H1] uzupełniony o absorpcję promieniowania wgłębni targetu (a nie jedynie przez atomy na powierzchni). Zbadano efekt zmiany długości fali promieniowania lasera na proces ablacji, pierwszej (1064 nm) i trzeciej harmonicznej (355 nm) lasera Nd:YAG.

Rezultaty obliczeń wskazują na fakt wpływu absorpcji promieniowania w obłoku plazmy na szybkość ablacji. W przypadku gęstości energii $\sim 15 \text{ J/cm}^2$ szybkość ablacji spada o 15% po uwzględnieniu absorpcji promieniowania 1064 nm.

Ponadto, Habilitant wykazał, że temperatura plazmy w przypadku ablacji węgla jest wyższa w przypadku stosowania pierwszej harmonicznej co wynika z silniejszej absorpcji promieniowania 1064 nm w obłoku plazmowym. Z tego samego powodu (niższej absorpcji) więcej promieniowania 355 nm dochodzi do targetu grafitowego, co przyczynia się do zwiększenia gęstości odparowanego węgla oraz elektronów. Ponadto określono, że za absorpcję w plazmie odpowiadają procesy odwrotne do promieniowania hamowania (inverse bremsstrahlung) w trakcie zderzeń elektron-atom oraz elektron-jon. Tempo ablacji dla tego promieniowania jest potęgowane niższym współczynnikiem odbicia i większą absorpcją w materiale co powoduje wzrost temperatury powierzchni; 10 500 K i 9500K dla promieniowania 355nm i 1064 nm, odpowiednio.

Większa gęstość materiału i mniejsze pochłanianie w obłoku skutkuje wolniejszą ekspansją i rozmiarami obłoku dla promieniowania 355 nm. Obliczone i zmierzone wielkości temperatury plazmy i gęstości elektronów były w zakresie błędu pomiarowego.

H5. **Mościcki T.**, Hoffman J., Chrzanowska J., *THE ABSORPTION AND RADIATION OF A TUNGSTEN PLASMA PLUME DURING NANOSECOND LASER ABLATION*, Physics of Plasmas 22 (2015),103303; impact factor: 2.14, 30 pkt.

Badania zależności procesu ablacji od długości fali promieniowania (355 i 1064 nm) lasera Nd:YAG kontynuowano dla targetu o znacznie cięższych atomach tj. wolframu. W pracy przedyskutowano różne mechanizmy absorpcji promieniowania w obłoku plazmowym. Na początkowym etapie gdy temperatury w obłoku plazmowym nie przekraczają 7 000 K dominuje absorpcja Mie i fotojonizacja. Ze wzrostem ciśnienia rośnie rola procesów odwrotnych do promieniowania hamowania (inverse bremsstrahlung) w trakcie zderzeń elektronów z atomami. Powyżej 10000 K zaczynają dominować procesy jonizacji oraz odwrotne do promieniowania hamowania w trakcie zderzeń elektron-jon. Wówczas absorpcja w plazmie dla promieniowania 1064 nm jest ponad 8-krotnie większa niż dla promieniowania 355 nm.

W pracy zbadano promieniowanie obłoku ablacyjnego. W przypadku wysokich ciśnień, powyżej 10^8 Pa (w momencie zapłonu - plasma ignition), rekombinacja jest głównym źródłem promieniowania widma ciągłego, niezależnie od długości promieniowania lasera. Jednak w przypadku ablacji wolframu, w przeciwieństwie do plazmy w ablacji węgla, promieniowania w postaci linii spektralnych nie można zaniedbać; stanowi one ok. 46% promieniowania całkowitego.

Niższa długość fali lasera skutkuje (jak w przypadku ablacji węgla) szybszym ogrzaniem targetu oraz szybkością ablacji (parowania). Dalszym skutkiem jest wolniejsza ekspansja oraz mniejszy rozmiar obłoku plazmowego, jednak większa absorpcja w związku z większym ciśnieniem. Wyższa temperatura plazmy w przypadku promieniowania 1064 wynika z mniejszej gęstości i niższej mocy emisji promieniowania.

H4. **Mościcki T.**, *EXPANSION OF LASER-ABLATED TWO-COMPONENT PLUME WITH DISPARATE MASSES*, Physica Scripta T161 (2014), 014024, IF: 1.13, 25 pkt.

H6. **Mościcki T.**, Radziejewska J., Hoffman J., Chrzanowska J., Levintant-Zayonts N., Garbiec D., Szymanski Z., *WB2 TO WB3 PHASE CHANGE DURING REACTIVE SPARK PLASMA SINTERING AND PULSED LASER ABLATION/DEPOSITION PROCESSES*, Ceramics International 41 (2015), pp. 8273-8281 IF: 2.61, 40 pkt.

H7. Mościcki T., DIFFERENCES IN NANOSECOND LASER ABLATION AND DEPOSITION OF TUNGSTEN, BORON AND WB₂/B COMPOSITE DUE TO OPTICAL PROPERTIES, International Journal of Optics 2016, Art. ID 5438721, pp. 1-13; <http://dx.doi.org/10.1155/2016/5438721>; IF: 0.30 (SJ), 15 pkt.

W pracach [H4, H6 i H7] Habilitant rozpatrywał różnice w zachowaniu się obłoku plazmowego podczas ablacji materiałów, w których skład wchodzi pierwiastki o znacząco różnych masach. Jako przedmiot badań przyjął bor, wolfram oraz spiek wolframu z borem, który może być wykorzystany w celu tworzenia bardzo twardych warstw.

Habilitant wykazał, że 50 ns od początku impulsu laserowego prędkości maksymalne boru i wolframu wynoszą odpowiednio 44×10^3 i 17×10^3 m/s. Po upływie 100 ns od początku impulsu lasera prędkość i wielkość obłoku lekkiego boru jest większa, a gęstości atomów i elektronów oraz temperatura mniejsza w porównaniu z ciężkim wolframem [H4]. Ta zależność wielkości obłoku od masy pierwiastka jest dodatkowym świadectwem czysto gazodynamicznego rozwoju ekspansji obłoku plazmy. Niższa temperatura obłoku plazmowego boru wynika z niższej współczynnika absorpcji oraz większej współczynnika emisji (głównie silnych linii spektralnych).

W pracy [H6] przedstawiono nową metodę syntezy odpowiednich targetów WB_x metodą SPS (spark plasma sintering). Wykazano, że wraz ze wzrostem ciśnienia spiekania zwiększa się w targacie ilość korzystnej fazy WB₃. Warstwy WB₃ deponowano na substracie krzemowym wykorzystując promieniowanie lasera Nd:YAG o długości 355 nm. Pokazano, że w trakcie deponowania metodą PLD wzrasta ilość fazy WB₃ z 8.2% w targacie do 93.3 w deponowanym filmie. Transformacja fazy realizuje się głównie w trakcie procesu ablacji (do 86.9%); pozostała część w trakcie depozycji oraz oziębiania na substracie. Deponowany film (1mm w ciągu 90 min.) charakteryzuje znaczna chropowatość, ze względu na osadzanie się materiału w postaci nano- i mikro-kropel. Zarejestrowane wartości twardości oraz modułu Young'a warstwy wyniosły (HV= 44 ± 8.7 GPa, E= 479.8 ± 28.5 GPa) wskazują, że film jest nieściśliwy i super-twardy.

W pracy [H7] Habilitant podjął próbę wyjaśnienia osadzania się nano- i mikro-kropel w przypadku PLD z wykorzystaniem targetu WB_x. Badania wykazały, że ablacja wolframu, boru oraz WB₂/B różni się w sposób zasadniczy. W przypadku ablacji wolframu proces jest kontrolowany przez formowanie się obłoku plazmowego oraz absorpcji promieniowania lasera w tym obłoku. Absorpcja ta blokuje dalszy transfer energii do targetu.

W przypadku boru ma miejsce ablacja z eksplozją fazy ciekłej dla tych samych gęstości mocy. Jest to wynikiem przekroczenia temperatury krytycznej pod powierzchnią targetu, co wzmacnia jeszcze głębsza penetracja promieniowania o długości fali 1064 nm. Zjawisko to wpływa na ablację spieków WB₂/B. Pod wpływem promieniowania lasera temperatura boru może przekroczyć krytyczną wartość gdy pozostały materiał dopiero się stopił. Powstające fale uderzeniowe (detonacji w fazie ciekłej) wyrzucają materiał w postaci kropel o wielkości ponad-mikrometrowej obserwowanych w pracy [6]. Proces detonacji w fazie ciekłej wynika z nadmiaru boronu w spieku.

Habilitant zwrócił uwagę, że obserwowana zwiększona chropowatość warstw WB₃ powstających z wykorzystaniem promieniowania 1064 nm odróżnia ten materiał od innych. Wynika on z niskiej absorpcji (głębokiego wnikania) promieniowania w materiale targetu. Wykorzystanie mniejszej długości fali (355 nm) z wyższą wartością absorpcji powoduje szybsze ogrzanie powierzchni targetu oraz większą szybkość ablacji.

Podsumowując, głównym osiągnięciem Habilitanta jest opracowanie modelu ablacji, który w sposób skuteczny opisał obserwowane zjawiska i zależność od masy atomowej parującej substancji oraz częstotliwości promieniowania lasera stosowane w procesie ablacji. Warto zaznaczyć, że Habilitant w sposób właściwy definiuje temperaturę statyczną oddzielając ją od wpływu dynamiki obłoku plazmowego.

Problemem może być zaniedbanie faktu, że część energii promieniowania jest przekształcana w energię propagacji fal uderzeniowych w targacie. Procentowy udział tej energii rośnie z częstotliwością promieniowania. Brakuje dyskusji na temat różnic charakterystycznych procesu ablacji w metalach, półprzewodnikach izolatorach oraz polimerach. Habilitant wspomina jedynie

o spodziewanym bardziej powierzchniowym charakterze ablacji w metalach, choć zauważa różnice w zakresie głębokości wnikania przy zastosowaniu różnych długości fali promieniowania lasera. Moim zdaniem w pracach mogłoby znaleźć się więcej informacji na temat ilościowego (procentowego) opisu blokowania przez obłok plazmy transferu energii do tarczy.

W autoreferacie Habilitant używa w języku polskim dziwnych sformułowań - żargonu, np. **pochłanianie inverse-bremsstrahlung elektronów na jonach, promieniowanie linii, etc.**, których należałoby w przyszłości unikać.

Powyższe uwagi krytyczne nie podważają wartości naukowej i praktycznej przedstawionego osiągnięcia.

Reasumując, prace związane z modelowaniem plazmy ablacyjnej opisane w jedno-tematycznym cyklu publikacji [H1 - H7] umożliwiły:

- wyznaczenie parametrów plazmy (niemożliwe lub trudne do wyznaczenia eksperymentalnie), w początkowych kilkudziesięciu nanosekundach, w tym pola ciśnienia, temperatur czy gęstości materiałów popularnych (węgiel, aluminium) jak i nowych, mających olbrzymi potencjał aplikacyjny – np. wolfram czy bor [H1-H7];
- szczegółową analizę zjawisk pochłaniania i emisji promieniowania obłoku plazmy ablacyjnej oraz ich roli w kształtowaniu procesu ablacji i widma emisyjnego oraz wyznaczenie strat promieniowania docierającego do tarczy wynikających z ekranowania tarczy przez obłok plazmowy [H2,H5];
- określenie zmienności czasowej i przestrzennej widma emisyjnego, istotnych z punktu widzenia stosowania LIBS (Laser Induced Breakdown Spectroscopy) [H2,H5];
- wyjaśnienie mechanizmu przyspieszania obłoku plazmy podczas ablacji zjawiskami gazodynamicznymi bez uwzględniania mechanizmów przyspieszania jonów w polu elektrycznym wygenerowanym przez foto- i termiczną emisję elektronów [H1,H4];
- wyjaśnienie różnic w zachowaniu się obłoku podczas ablacji materiałów, w których skład wchodzi pierwiastki o znacząco różnych masach, w oparciu o zjawiska czysto gazodynamiczne [H4] (wielkość obłoku i prędkość większa dla lekkiego atomu - boru; a gęstość i temperatura mniejsza niż dla ciężkiego wolframu);
- wyjaśnienie wpływu długości fali promieniowania laserowego na parametry obłoku plazmowego (wzrost temperatur i prędkości propagacji oraz zmniejszenie gęstości plazmy z długością fali lasera) [H3, H7];
- wyjaśnienie różnic w mechanizmie ablacji w zależności od materiału tarczy oraz gęstości mocy laser - wrzenie wybuchowe (explosive boiling) dla boru, parowanie dla wolframu oraz mechanizm mieszany dla kompozytu WB₂/B przy fluencji 10 J/cm²; wyjaśnienie wpływu mechanizmu na struktury warstw [H7];
- opracowanie metod osadzania super-twardych warstw ReB₂ i WB₃ [H6].

Uzyskane przez Habilitanta wyniki symulacji są w dobrej zgodności z wynikami eksperymentu. Temperatura i gęstość elektronów, a także prędkość obłoku uzyskana w modelu jest bliska tej, która jest obserwowana podczas eksperymentu wykonanego w podobnych warunkach.

Ostatecznie, uważam, że osiągnięcia naukowe habilitanta, uzyskane po otrzymaniu stopnia doktora, stanowią znaczny wkład autora w rozwój gazodynamiki plazmy. Biorąc pod uwagę aspekt aplikacyjny prowadzonych przez Habilitanta badań, na szczególne wyróżnienie zasługuje **wkład w rozwój teoretycznych podstaw procesu ablacji, który umożliwił lepsze poznanie procesów pochłaniania i emisji promieniowania przez obłok plazmy oraz wyjaśnienie zależności procesu propagacji obłoku od masy pierwiastków i długości fali promieniowania lasera, które mogą mieć duże znaczenie dla rozwoju technologii PLD różnych warstw funkcjonalnych.**

4. Charakterystyka dorobku dydaktycznego:

-liczba wypromowanych magistrów,

brak informacji

-liczba wypromowanych doktorów,

Habilitant był opiekunem naukowym podczas stażu w IPPT PAN oraz jest promotorem pomocniczym doktoranta na wydziale Mechatroniki i Budowy Maszyn Politechniki Świętokrzyskiej – mgr inż. Rafała Banaka, tytuł przewodu doktorskiego: „Analiza pola temperatur i kształtu strefy przetopieniowej w procesie spawania laserowego”. Przewód doktorski mgr. Banaka został otwarty 11 grudnia 2014 r. Praca ta dotyczy modelowania teoretycznego zjawisk zachodzących podczas spawania laserowego materiałów różnoimiennych.

- liczba i rodzaj publikacji dydaktycznych,

brak informacji

5. Działania innowacyjne i wdrożeniowe:

Habilitant był kierownikiem projektu NCN, SONATA „Super-twarde pokrycia osadzone impulsem laserowym” o dużym potencjale wdrożeniowym. Okres realizacji od 2013-01-31 do 2016-01-30.

Udział Habilitanta w projektach o dużym potencjale wdrożeniowym:

NCN, OPUS, 2014/13/B/ST8/04290, kierownik Prof. Zygmunt Szymański, *Synteza nanostruktur węglowych laserem impulsowym*, 2015-2018;

NCN, OPUS, 2013/09/B/ST8/03468, Kierownik: dr hab. Joanna Radziejewska, *Opracowanie nowej metody badania dynamicznej twardości oraz wybranych właściwości mechanicznych materiałów jednorodnych i cienkich warstw w warunkach wysokich prędkości odkształcenia*, 2014-2017 ,

PBS1/B5/13/2012, Kierownik: prof. Bogdan Antoszewski, *Technologie laserowego spawania dla energetyki i ochrony środowiska (LAS-ENERG)*, 2012-2015

N N501 0691 38, kierownik: prof. Z. Szymanski, *Ablacja laserowa grafitu i nanostruktury węglowe*, 2010-2013,

NCBiR, K147/T02/2007, *Zdalne wykrywanie i identyfikacja skażeń biologicznych z zastosowaniem zaawansowanych metod optoelektroniki*, 2007-2011,

N501 02531/1604, kierownik: prof. Z Szymanski, *Wpływ atmosfery roboczej na struktury nanowarstw osadzanych impulsem laserowym*, 2006-2009.

- patenty, wdrożenia, wzory użytkowe, wyhodowane rasy zwierząt i odmiany roślin,

brak informacji

- działania na rzecz upowszechniania badań,

Udział w konferencjach

1. Mościcki T., Chrzanowska J., Hydrodynamic model of nanosecond laser ablation of tungsten and boron, Proceedings of Conference on Modelling Fluid Flow (CMFF'15), Budapest, Hungary, September 1-4, 2015, pp. 1-8;
2. Banak R., Zowczak W., Mościcki T., Theoretical Model of the Laser Welding Process, 11TH EUROPEAN CONFERENCE OF YOUNG RESEARCHERS AND SCIENTISTS - TRANSCOM, 22-24.06, ŽILINA, SLOVAK REPUBLIC, pp.13-18, 2015;
3. Mościcki T., Garbiec D., Chrzanowska J., Hoffman J., Pulsed laser deposition of superhard rhenium and tungsten borides, 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIONS IN THIN FILM PROCESSING AND CHARACTERIZATION ITFPC'2015, 16-20 NOVEMBER, NANCY, FRANCE, pp.99-99, 2015;
4. Hoffman J., Chrzanowska J., Mościcki T., Comparison of WB2.5 thin films deposited by pulsed laser deposition and magnetron sputtering, 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIONS IN THIN FILM PROCESSING AND CHARACTERIZATION ITFPC'2015, 16-20 NOVEMBER, NANCY, FRANCE, pp.94-94, 2015;
5. Chrzanowska J., Hoffman J., Denis P., Mościcki T., The effect of substrate heating on the ReB2 layers deposited by PLD method, 7TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON INNOVATIONS IN THIN FILM PROCESSING AND CHARACTERIZATION ITFPC'2015, 16-20 NOVEMBER, NANCY, FRANCE, pp.93-93, 2015;
6. Chrzanowska J., Mościcki T., Hoffman J., Garbiec D., Radiofrequency assisted pulsed laser deposition of WBN and ReBN thin films, EUROPEAN CONGRESS AND EXHIBITION ON ADVANCED MATERIALS AND PROCESSES EUROMAT 2015, WARSAW, POLAND, SEPTEMBER 20-24, pp.1-2, 2015;
7. Słowicka A., Walenta Z., Szymański Z., Hoffman J., Mościcki T., Structure and expansion of a plume emitted during laser ablation of multi-component materials, THE 30TH INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SHOCK WAVES, ISSW30 TEL-AVIV, ISRAEL, 19-24.07, pp.562-571, 2015;
8. Banak R., Mościcki T., Zowczak W., Modelowanie procesu przewodnościowego spawania laserowego z wykorzystaniem oprogramowania CFD, IV SYMPOZJUM KATEDR I ZAKŁADÓW SPAWALNICTWA PT. NOWOCZESNE ZASTOSOWANIA TECHNOLOGII SPAWALNICZYCH, 16-17.06.2015, ISTEBA, POLSKA, pp.4-8, 2015;
9. Mościcki T., Hoffman J., Antoszewski B., Grabas B., Radziejewska J., Theoretical modelling of laser welding of Ni – Pt spark plug for bio-fuel engine, Abstracts of international conference "MODERN LASER APPLICATIONS" 4th edition - INDLAS 2014, May 19-23, Bran, Romania, 2014, pp. 58-59;
10. Mościcki T., Hoffman J., Radziejewska J., Chrzanowska J., Levintant-Zayonts N., Garbiec D., Formation of WB4 thin films using nanosecond Nd-YAG laser, Book of abstracts, 4th National Conference on Nano- and Micromechanics, Wrocław, Poland, July 8-10, 2014, pp. 152-154;
11. Chrzanowska J., Hoffman J., Giżyński M., Mościcki T., Investigation of Wavelength Influence on Rhenium Diboride Films Prepared by PLD Method, Abstracts of international conference "MODERN LASER APPLICATIONS" 4th edition - INDLAS 2014, May 19-23, Bran, Romania, 2014, pp. 24-25;
12. Mościcki T., Hoffman J., Expansion of Laser- Ablated Plumes with Disparate Masses, Book of abstracts 12th International Conference on Laser Ablation (COLA 2013), Ischia, Italy, October 6-11, 2013, pp. 154-155;
13. Hoffman J., Mościcki T., Mróz W., Szymanski Z., Laser-induced carbon plasma; modelling and experiment, proceedings of ESCAMPIG XXI, Viana do Castelo, Portugal, July 10-14, 2012;

14. Banak R., Mościcki T., Antoszewski B., Wpływ parametrów spawania laserowego na właściwości złącza NI-PT w świecach zapłonowych dla silników na biopaliwo, IX KONFERENCJA NAUKOWO-TECHNICZNA TEROTECHNOLOGIA, KIELCE, 15-16.10, pp.1-8, 2015.

6. Współpraca krajowa i międzynarodowa:

- staże i misje naukowe

brak informacji

- efekty współpracy w nauce

Recenzja dla Plasma Chemistry and Plasma Processing (Springer, ISSN: 0272-4324 , IF = 2.056), 2011
Recenzja dla Computational Materials Science (Elsevier, ISSN: 0927-0256, IF=2.131), 2016.

7. Wyróżnienia i odznaczenia.

2012 - Wyróżnienie Dyrektora IPPT PAN za osiągnięcia naukowe w kategorii młodych pracowników, a w szczególności publikacje w najwyższej punktowanych czasopismach;

2016 - Wyróżnienie Dyrektora IPPT PAN za osiągnięcia naukowe w kategorii pracowników powyżej 35 lat, a w szczególności publikacje w najwyższej punktowanych czasopismach.

8. Podsumowanie i wnioski

Na podstawie dokonanej oceny jednotematycznego cyklu publikacji, dorobku naukowego oraz działalności dydaktyczno-organizacyjnej stwierdzam, że dr Tomasz Piotr Mościcki spełnia wymagania postawione osobie ubiegającej się o nadanie stopnia doktora habilitowanego (Ustawa o Stopniach i Tytule Naukowym oraz o Stopniach i Tytule w Zakresie Sztuki z dnia 14 marca 2003 roku wraz z późniejszymi zmianami) w dziedzinie nauk technicznych.

Podsumowując, wysoko oceniam dorobek habilitanta w zakresie modelowania zjawisk oraz diagnostyki plazmy. Wnoszę zatem do Rady Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN o nadanie dr Tomaszowi Piotrowi Mościckiemu stopnia naukowego doktora habilitowanego w dyscyplinie mechanika.


KIEROWNIK ZAKŁADU
Fizycznych Aspektów Ekoenergii
IMP PAN

dr hab. inż. Adam Cenian, prof. IMP PAN