Warszawa 28.10.2015

Jacek Jerzy Hoffman

Autoreferat

Spis treści

1. Imię i Nazwisko
2. Posiadane dyplomy/stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania
3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych
4. Wskazanie osiągnięcia naukowego
    a. Tytuł osiągnięcia naukowego
    b. Wykaz prac stanowiących monotematyczny cykl publikacji
    c. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania.
    d. Oryginalne elementy monotematycznego cyklu publikacji
    e. Literatura dodatkowa cytowana w tekście
5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych
    a. Dorobek publikacyjny
        Czasopisma indeksowane w JCR
        Pozostałe artykuły recenzowane i abstrakty konferencyjne
    b. Omówienie dorobku publikacyjnego
    c. Projekty badawcze
    d. Opieka naukowa nad doktorantami
    e. Recenzowanie projektów badawczych
    f. Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych
    g. Ekspertyzy i konsultacje

1. Imię i Nazwisko

Jacek Jerzy Hoffman

2. Posiadane dyplomy/stopnie naukowe z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania

Tytuł magistra fizyki, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego 1980,
tytuł pracy: „Badanie kinetyki powstawania aerozolu w parach CS_2 wzbudzanych światłem laserowym". Opiekun prof. dr hab. Krzysztof Ernst.

Tytuł doktora nauk technicznych w dziedzinie mechaniki, Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN 2001, tytuł rozprawy: Oddziaływanie wiązki lasera CO_2 z kanałem parowym w procesie spawania metali, promotor prof. dr hab. Zygmunt Szymański.

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych

Instytut Podstawowych Problemów Techniki PAN od 15.03.1980 do chwili obecnej.
15.03.1980 – 01.11.1990 asystent i st. asystent
01.11.1990 – 31.01.2001 specjalista
01.02.2001 – 30.06.2009 adiunkt
01.07.2009 – do chwili obecnej st./gł. specjalista

4. Wskazanie osiągnięcia wynikającego z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.):

4a. Tytuł osiągnięcia naukowego

Badania eksperymentalne ablacji grafitu wywołanej nanosekundowym impulsem lasera

4b. Wykaz prac stanowiących monotematyczny cykl publikacji

W skład cyklu wchodzi wymienione poniżej 5 publikacji w czasopismach znajdujących się w bazie Journal of Citation Reports (Impact factor zgodnie z rokiem publikacji).

H1. **J.Hoffman**, W.Mróz, A.Prokopiuk, Z.Szymański, „Plasma plume induced during laser ablation of graphite" Appl.Phys.A **92** (2008) 921-926, doi:10.1007/s00339-008-4559-2, IF=1.884, 30 pkt., mój udział 80%, *Miałem decydujący wkład w przygotowanie koncepcji pracy, wykonałem badania spektroskopowe, opracowałem i przeanalizowałem wyniki oraz przygotowałem manuskrypt.*

H2. **J.Hoffman**, T.Mościcki, Z.Szymański, „The effect of laser wavelength on heating of ablated carbon plume" Appl.Phys.A **104** (2011) 815-819, doi:10.1007/s00339-011-6420-2, IF=1.630, 30 pkt., mój udział 80%, *Opracowałem koncepcję pracy, przeprowadziłem całość eksperymentu, opracowałem i przeanalizowałem wyniki eksperymentu oraz przygotowałem manuskrypt.*

H3. **J.Hoffman**, T.Mościcki and Z.Szymański, „Acceleration and distribution of laser-ablated carbon ions near the target surface" J.Phys.D: Appl.Phys. **45** (2012) 025201 (8pp), doi:10.1088/0022-3727/45/2/025201, IF=2.528, 35 pkt., mój udział 80%, *Opracowałem koncepcję pracy, przeprowadziłem całość eksperymentu, opracowałem i przeanalizowałem wyniki eksperymentów oraz przygotowałem manuskrypt.*

H4. **J.Hoffman**, J.Chrzanowska, S.Kucharski, T.Mościcki, I.N.Mihailescu, C.Ristoscu, Z.Szymański, „The effect of laser wavelength on the ablation rate of carbon" Appl.Phys.A **117** (2014) 395-400, doi:10.1007/s00339-014-8506-0, IF=1.694, 30 pkt., mój udział 65%, *Opracowałem koncepcję pracy, wykonałem większość badań eksperymentalnych (poza pomiarami kraterów za pomocą profilometru), opracowałem i przeanalizowałem wyniki oraz przygotowałem manuskrypt.*

H5. **J.Hoffman**, „The effect of recoil pressure in the ablation of polycrystalline graphite by a nanosecond laser pulse" J.Phys.D: Appl.Phys. **48** (2015) 235201 (8pp), doi:10.1088/0022-3727/48/23/235201, IF=2.521, 35 pkt., mój udział 100%

4c. Omówienie celu naukowego ww. prac i osiągniętych wyników wraz z omówieniem ich ewentualnego wykorzystania

Ablacją laserową nazywamy proces usuwania materiału z jego powierzchni na skutek oddziaływania promieniowania laserowego o dużym natężeniu. W wyniku działania promieniowania laserowego następuje zmiana stanu skupienia materiału na ciekły i gazowy, a następnie jego wzbudzenie i jonizacja. Przy zastosowaniu promieniowania o dostatecznie dużym natężeniu możliwe jest odparowanie praktycznie każdego materiału. Ten typ ablacji nazywamy ablacją termiczną (możliwe są również inne rodzaje ablacji, np. przy bardzo dużych energiach kwantu lub bardzo dużych natężeniach wiązki może następować wyrywanie materiału bez zmiany stanu skupienia). Dzięki temu zjawisko ablacji laserowej jest wykorzystywane w wielu dziedzinach. Przykładami są - badanie składu materiałów (LIBS - Laser Induced Breakdown Spectroscopy) oraz osadzanie pokryć (PLD - Pulsed Laser Deposition). Ablacja laserowa jest również wykorzystywana do modyfikacji własności powierzchni lub usuwania zanieczyszczeń z powierzchni, np. przy konserwacji zabytków.

Laserowa ablacja grafitu zajmuje szczególne miejsce z powodu wyjątkowych własności węgla. W szczególności wiele metod syntezy struktur węglowych bazuje na ablacji laserowej grafitowej tarczy. Odparowanie grafitu impulsem lasera (PLV - Pulsed Laser Vaporization) pozwala na uzyskanie wielu odmian alotropowych węgla, takich jak fulereny [A1], nanorożki, grafeny [A2-A6] oraz nanorurki [A8-A16]. Na drodze ablacji laserowej grafitu uzyskiwane są także super-twarde pokrycia diamentopodobne (DLC - Diamond

Like Carbon) [A17]. Wiele z wymienionych struktur może być uzyskiwane różnymi metodami, ale ablacja impulsem promieniowania laserowego zajmuje wśród nich ważne miejsce. Z tego powodu badania prowadzące do lepszego zrozumienia tego procesu są niezmiernie ważne nie tylko ze względów naukowych, ale i zastosowań technologicznych.

Ablacja impulsem laserowym o czasie trwania kilku nanosekund lub dłuższym ma zasadniczo charakter termiczny. Promieniowanie laserowe jest pochłaniane w stosunkowo cienkiej warstwie materiału tarczy o grubości rzędu ułamka mikrometra. Powoduje to nagrzanie materiału do temperatury przekraczającej jego temperaturę wrzenia, a często także temperaturę krytyczną. Skutkiem gwałtownego parowania nagrzanej warstwy powstaje obłok plazmowy o początkowej temperaturze rzędu kilku tysięcy kelwinów. Równocześnie część promieniowania laserowego jest pochłaniana przez obłok, powodując dalszy wzrost jego temperatury do kilkudziesięciu tysięcy kelwinów. Po fazie powstawania i nagrzewania obłoku następuje faza ekspansji i związanego z tym rozrzedzania i ochładzania. Obłok plazmowy składa się z molekuł, atomów, jonów i elektronów. Skład obłoku, to znaczy stopień dysocjacji i jonizacji materii wchodzącej w jego skład zależy od temperatury i gęstości w obłoku.

Rozmiary obłoku w fazie początkowej są rzędu ułamka milimetra. Następnie, w czasie mikrosekund rosną do kilku centymetrów. Własności obłoku gwałtownie zmieniają się w czasie. Ponadto występują w nim duże gradienty przestrzennych rozkładów gęstości i temperatury. Cechy te powodują, że eksperymentalne określenie parametrów obłoku jest trudnym zadaniem. Wymaga ono stosowania zaawansowanych technik eksperymentu i analizy wyników. Równocześnie własności obłoku mają decydujący wpływ na przebieg procesów osadzania warstw lub syntezy nanostruktur, a w rezultacie na efekty tych procesów. W przypadku wykorzystywania ablacji do celów badań LIBS własności obłoku mają kluczowe znaczenie przy interpretacji wyników. Przykładowo, gdy gęstości atomów lub jonów w obłoku są dostatecznie duże, może wystąpić zjawisko samoabsorpcji niektórych linii widmowych. Wywołane tym zmiany natężenia tych linii mogą prowadzić do błędnego wyznaczenia składu lub temperatury obłoku.
Z powyższych powodów wykonane przeze mnie i opisane w cyklu prac [**H1-H5**] badania procesu ablacji grafitu oraz własności powstającego podczas ablacji obłoku plazmowego mają duże znaczenie zarówno poznawcze, jak i praktyczne.

Hottman

Badania zostały przeprowadzone dla początkowej fazy ekspansji, która dotychczas nie była badana a jest kluczowa dla dalszej ekspansji obłoku. W tej fazie (początkowe 100 ns) gęstości cząstek są tak duże, że temperatury cząstek ciężkich i elektronów stają się równe praktycznie natychmiast po ustaniu impulsu laserowego i do celów analizy można przyjąć, że plazma jest w lokalnej równowadze termodynamicznej [**H3**]. Ten fakt znacząco ułatwia analizę wyników.

W pracy **[H1]** badałem obłok plazmowy powstający podczas ablacji tarczy grafitowej impulsem lasera excimerowego ArF. Długość fali lasera była równa 193 nm a czas trwania impulsu 20 ns. Badania wykonywano w laboratorium Instytutu Optoelektroniki WAT. Stosując metody spektroskopii emisyjnej, wyznaczyłem gęstość i temperaturę elektronów w funkcji czasu i odległości od tarczy. Gęstość elektronów wyznaczyłem z poszerzenia starkowskiego linii emisyjnych atomów i jonów węgla. Temperaturę określiłem na podstawie stosunku natężeń linii jonowych do atomowych pomnożonego przez gęstość elektronów. Maksymalna gęstość elektronów zmierzona w odległości 1.2 mm od tarczy w czasie 30 ns od początku impulsu lasera wynosiła $9.5 \cdot 10^{23}$ m^{-3}. Następnie w czasie 160 ns zmalała do wartości $1.2 \cdot 10^{23}$ m^{-3}. Zmierzone wartości temperatury zmieniały się od około 30000 K przy powierzchni tarczy do 10000 K w odległości 4 mm.

W przypadku ekspansji do próżni, po początkowej, trwającej kilkadziesiąt nanosekund fazie przyspieszania dalszy ruch materii w obłoku jest jednostajny. Wykorzystując metodę czasu przelotu, określiłem prędkości obłoku na podstawie zmian czasowych jego promieniowania. Przy analizie można wyróżnić dwie prędkości składowe: prędkość przemieszczania się środka masy obłoku i prędkość jego rozszerzania się (ekspansji). W eksperymencie wyznaczano prędkość środka masy i prędkość frontu. Ta ostatnia jest sumą prędkości przemieszczania i ekspansji. Obie prędkości wyznaczono na podstawie zarówno świecenia linii atomowych, jak i jonowych. Interesująca jest obserwacja, że prędkości wyznaczone na podstawie promieniowania linii jonowych są znacząco wyższe od prędkości uzyskanych z linii atomowych. Przykładowo prędkość środka masy wyznaczona na podstawie linii atomowych była równa 17 km/s, podczas gdy prędkość wyznaczona z linii jonowych była ponad dwukrotnie większa i wynosiła 38 km/s. Wskazuje to, że prędkości jonów są większe od prędkości atomów. Może to sugerować istnienie szczególnego mechanizmu przyspieszania, który działa wyłącznie na jony. Ponieważ wielu autorów obserwowało wyższą prędkość jonów niż atomów, różne prawdopodobne

mechanizmy przyspieszania jonów były w tamtym okresie sugerowane i analizowane w wielu pracach [A18, A19, A20].

Oddziaływanie promieniowania laserowego zarówno z ciałami stałymi, jak i z plazmą silnie zależy od długości fali. Praca **[H2]** została poświęcona badaniu wpływu długości fali promieniowania laserowego na nagrzewanie obłoku plazmowego. W eksperymencie wykorzystano laser Nd:YAG Quantel 981 E. W zależności od potrzeb może on generować promieniowanie o długości fali 1064 nm, 532 nm i 355 nm odpowiadające częstości podstawowej oraz 2 i 3 harmonicznej. Pochłanianie promieniowania przez plazmę rośnie ze wzrostem długości fali w zakresie gęstości elektronów poniżej gęstości krytycznej. Gęstość krytyczna elektronów dla długości fali 1064 nm jest równa $9.8 \cdot 10^{26}$ m^{-3} a dla drugiej i trzeciej harmonicznej jest odpowiednio 4 i 9 razy większa. Zmierzone we wszystkich eksperymentach gęstości elektronów pozostawały poniżej gęstości krytycznej. Współczynniki pochłaniania promieniowania laserowego w plazmie zostały obliczone z uwzględnieniem wszystkich mechanizmów pochłaniania tj. odwrotnego promieniowania hamowania (*inverse Bremsstrahlung*) w zderzeniach elektronów z atomami i kolejnymi jonami oraz fotojonizacji. Pokazano, że w warunkach ablacji wartości współczynników pochłaniania dla długości fali 1064, 532 i 355 nm pozostają w stosunku 9:2:1. Na tej podstawie można było oczekiwać najwyższych wartości temperatur obłoku plazmowego w przypadku promieniowania o najdłuższej fali. Wyznaczone w eksperymencie temperatury i gęstości elektronów wykazują oczekiwaną zależność, jednakże różnice wartości temperatury obłoku pomiędzy 532 i 355 nm są zbyt małe, aby można je było wykazać eksperymentalnie. W przypadku 1064 nm temperatura elektronów osiąga 68000 K przy tarczy, a w odległości 4 mm od niej spada do 30000 K. Dla promieniowania o długości fali 532 i 355 nm odpowiednie wartości wynoszą 44000 i 24000 K. Natomiast gęstości elektronów dla promieniowania 1064 nm wynoszą $5 \cdot 10^{24}$ m^{-3} w odległości 0.4 mm od tarczy, a następnie opadają do $5.5 \cdot 10^{22}$ m^{-3} w odległości 4 mm. W przypadku promieniowania 532 i 355 nm określenie gęstości elektronów przy tarczy nie było możliwe, gdyż nie można było rozdzielić rejestrowanych tam linii spektralnych. Linie ulegają tam tak silnemu poszerzeniu, że zlewają się. W większej odległości zmierzone gęstości elektronów dla 355 i 532 nm były nieznacznie większe niż w przypadku 1064 nm.

Brak różnic temperatury pomiędzy 532 a 355 nm można wyjaśnić zależnością współczynnika pochłaniania promieniowania przez tarczę od długości fali. Jest ona

odwrotna od zależności pochłaniania w plazmie, to znaczy, że głębokość wnikania promieniowania w tarczę jest mniejsza dla krótszych fal. Skutkiem tego dla krótszych fal energia promieniowania jest dostarczana do mniejszej objętości materiału i następuje nagrzewanie parującego materiału do wyższych temperatur i związany z tym wzrost ciśnienia. Efekt ten może zmieniać wartości temperatury i gęstości plazmy w stosunku do oczekiwanych wyłącznie na podstawie pochłaniania przez plazmę. Jak pokazały później zainspirowane tym wynikiem obliczenia teoretyczne [A21], prowadzi to do większej gęstości obłoku dla 355 nm i co za tym idzie zwiększenia pochłaniania w plazmie.

Zauważmy, że opisane wcześniej wyniki dla promieniowania lasera o długości 193 nm są zgodne z obserwowanymi tendencjami w zmianach temperatury i gęstości elektronów to znaczy temperatury rosną wraz z długością fali, podczas gdy gęstości elektronów nieco maleją. Z kolei prędkości obłoku wyraźnie rosną z długością fali i wynoszą: prędkości frontu ~58 i 70 km/s, a ekspansji 8 i 10 km/s odpowiednio w przypadku 355/532 nm i 1064 nm.

Omówione w pracy **[H1]** zagadnienie różnicy prędkości atomów i jonów zostało dokładnie zbadane w pracy **[H3]**. Dla identycznych czasów opóźnienia od impulsu laserowego promieniowanie jonów obserwowano w większej odległości od tarczy niż promieniowanie atomów. Przez długi czas wyjaśnieniem tego zjawiska postulowanym przez większość autorów [A18, A19, A20] była różnica prędkości spowodowana dodatkowym przyspieszaniem jonów przez pole elektryczne generowane przez supertermiczne elektrony. Wykonane przeze mnie w pracy **[H3]** szczegółowe pomiary plazmy wykazały, że obserwowane różnice prędkości atomów i jonów są pozorne. Wynikają one z ewolucji w czasie rozkładu temperatury plazmy oraz ze stosowanej metody pomiaru (metoda czasu przelotu). Rozkład gęstości atomów i kolejnych jonów w plazmie zależy od temperatury. W wyniku nagrzewania przez promieniowanie lasera w plazmie występują duże gradienty temperatury. Ponieważ skutkiem pochłaniania natężenie promieniowania przenikającego w głąb plazmy maleje, zewnętrzna warstwa plazmy jest silniej grzana przez promieniowanie laserowe niż głębsze warstwy. Ta zewnętrzna, silniej nagrzana warstwa plazmy składająca się głównie z jonów porusza się szybciej, co powoduje, że obserwowane są większe prędkości jonów. Wykazałem, że mechanizm przyspieszania cząstek obłoku jest hydrodynamiczny. Wskutek nagrzewania obłoku do wysokich

temperatur w czasie kilku nanosekund przy powierzchni tarczy powstaje potężny gradient ciśnienia, który przyspiesza plazmę do prędkości 65 km/s.

Plazma zachowuje się jak płyn, a przyśpieszanie plazmy spowodowane jest wyłącznie powstającym przy powierzchni tarczy skokiem ciśnienia (w kierunku prostopadłym do tarczy) oraz gradientami ciśnienia w samym obłoku (ekspansja). Podczas ekspansji obłoku prędkości danego obszaru plazmy są tym większe, im większa jest odległość obszaru od centrum ekspansji. Zarówno jony, jak i atomy przyspieszane są tak samo. Nie można stwierdzić działania żadnego dodatkowego mechanizmu przyśpieszania działającego wybiórczo na jony. Wnioski zostały potwierdzone przez porównanie wyników eksperymentu z wynikami obliczeń hydrodynamicznego modelu plazmy. Dzięki tej pracy można więc zdecydowanie wykluczyć występowanie znaczącego wpływu dodatkowych mechanizmów przyspieszania jonów przez pole elektryczne, jakie były do tej pory sugerowane w literaturze. Takie procesy przyśpieszania jonów występują w rzeczywistości, ale zachodzą one przy wartościach natężenia promieniowania laserowego o wiele rzędów wielkości wyższych, na przykład w eksperymentach związanych z laserową syntezą termojądrową. Procesy te mają zatem znaczenie poza zakresem natężenia promieniowania laserowego stosowanego przy ablacji na potrzeby LIBS, PLD lub produkcji nanostruktur. Porównując wyniki eksperymentów w pracach **[H1]** i **[H3]** należy mieć na uwadze, że zastosowanie lasera Nd:YAG pracującego na długości fali 1064 nm spowodowało wzrost wszystkich prędkości obłoku w stosunku do pracy **[H1]**, gdyż promieniowanie o większej długości fali jest silniej pochłaniane przez plazmę, a więc dostarcza do niej więcej energii.

Opisane powyżej prace dotyczyły głównie fazy ekspansji obłoku i oddziaływania plazmy z promieniowaniem lasera. W kolejnych pracach zająłem się przede wszystkim oddziaływaniem wiązki laserowej z tarczą grafitową.

Wydajność ablacji grafitu zależy od energii impulsu laserowego i długości fali. Zależności te badałem w pracy **[H4]**. Wydajność ablacji jest jednym z najważniejszych parametrów w technice osadzania, ponieważ decyduje o ilości impulsów potrzebnych do osadzenia warstwy o odpowiedniej grubości. W celu wygodniejszego porównywania wyników uzyskanych w różnych eksperymentach wprowadzana jest miara nazywana fluencją impulsu laserowego. Fluencja równa jest całce z natężenia po czasie trwania impulsu i ma

wymiar fizyczny energii na jednostkę powierzchni. Wydajność ablacji określona jest jako masa usunięta z jednostki powierzchni przez jeden impuls. Po podzieleniu wydajności ablacji przez gęstość materiału tarczy otrzymujemy wydajność wyrażoną jako objętość usuniętą z jednostki powierzchni. Jest ona liczbowo równa głębokości krateru utworzonego w wyniku działania impulsu lasera. W pracy **[H4]** wydajność ablacji wyznaczano, wykorzystując dwie metody. Pierwsza metoda polega na porównaniu masy tarczy przed oraz po serii kilku tysięcy impulsów. Przy pomiarze drugą metodą określano przy pomocy profilometru objętość krateru utworzonego skutkiem działania jednego lub kilku impulsów. Wyniki uzyskane obydwoma metodami są zgodne, z tym że wyniki uzyskane na podstawie ważenia, będąc średnią z wielu impulsów, wykazują mniejsze rozrzuty. Wydajność mierzono w szerokim zakresie fluencji 1-120 J/cm^2. Wyznaczone wartości wydajności mieściły się w zakresie 0-10 μg/mm^2.

Stwierdzono, że próg ablacji wynosi około 1 J/cm^2. Początkowo, po przekroczeniu progu ablacji wydajność jest funkcją liniową fluencji. Przy wyższych fluencjach występuje jej nasycenie. Dzieje się tak dlatego, że na wydajność ablacji wpływ wywiera zarówno pochłanianie promieniowania laserowego w materiale tarczy, jak i pochłanianie przez plazmę. Dopóki efekt pochłaniania promieniowania laserowego przez obłok plazmowy jest zaniedbywalny wydajność rośnie liniowo wraz z fluencją. Z dalszym wzrostem fluencji omówione wcześniej pochłanianie w obłoku plazmowym zatrzymuje część energii promieniowania laserowego, zanim dotrze ono do powierzchni tarczy. Efekt jest najsilniej zaznaczony przy długości fali 1064 nm, gdyż pochłanianie w obłoku jest największe dla dłuższych fal. Wzrost ilości materiału odparowanego z tarczy zwiększa udział pochłaniania w obłoku w bilansie energetycznym. W wyniku tego im większa jest fluencja impulsu laserowego, tym mniejsza jej część dociera do tarczy. Jak pokazano w pracy **[H5]**, dobrym przybliżeniem zależności wydajności ablacji od fluencji może być funkcja logarytmiczna. Zależność logarytmiczną obserwuje się w zakresie niewielkich fluencji F<10 J/cm^2.

Przy jeszcze wyższych fluencjach zależność obserwowana w eksperymencie zmienia swój charakter. Po niewielkim odcinku nasycenia następuje ponowny, szybki wzrost wydajności. Związane jest to ze zmianą mechanizmu ablacji. Część materiału jest wyrzucana z powierzchni w postaci kropelek lub stałych mikro- i nano-cząstek. Do tej pory za jedyną przyczynę ponownego takiego wzrostu wydajności uważano wybuchowe wrzenie

objętościowe (tzw. eksplozja fazy) zachodzące po przekroczeniu punktu krytycznego. Progowe wartości fluencji, przy których następuje przejście od ablacji termicznej do wrzenia objętościowego mają ważne znaczenie dla procesów technologicznych. Większość z tych procesów (np. osadzanie, synteza nanorurek) jest niemożliwa po przekroczeniu punktu krytycznego. Inne procesy technologiczne, jak na przykład drążenie można prowadzić po przekroczeniu progowej wartości fluencji. Należy jednak mieć świadomość, że uzyskany w tym zakresie wzrost wydajności związany może być z pogorszeniem jakości (np. wzrost chropowatości powierzchni drążonych otworów lub osadzanych cienkich warstw). Wartości progowe dla grafitu zostały wyznaczone w pracy **[H4]**. Zależą one od długości fali i wynoszą 10, 25 i 55 J/cm^2 odpowiednio dla długości fali 355, 532 i 1064 nm.

W pracy **[H5]** wykazałem występowanie nowego, nieznanego do tej pory mechanizmu usuwania materiału podczas ablacji. Ma on znaczenie w przypadku materiałów kruchych, takich jak grafit polikrystaliczny. Mechanizmem tym jest fragmentacja materiału przez falę ściskania przemieszczającą się w głąb materiału. Przyczyną powstania fali ściskania w tarczy jest działające na jej powierzchnię ciśnienie odrzutu par powstających podczas ablacji. Na powierzchni tarczy przekroczony zostaje punkt krytyczny (dla węgla T_c = 6810 K, p_c = 220 MPa), a więc ciśnienie pary przekracza ciśnienie krytyczne. W przypadku gwałtownego wypływu pary do próżni liczba Macha może osiągać wartość M=1 [A22]. Wtedy ciśnienie odrzutu jest równe 0.55 ciśnienia pary. Jak wykazałem w pracy **[H5]** ciśnienie odrzutu p_r=121 MPa, które odpowiada punktowi krytycznemu węgla, jest osiągane przy stosunkowo niewielkich wartościach fluencji (około 6 J/cm^2 dla długości fali 1064 nm).

Powstanie otwartych pęknięć jest możliwe tylko dzięki występowaniu w materiale naprężeń rozciągających. Podczas działania fali ściskania na ośrodek naprężenia rozciągające mogą powstać na przykład przy odbiciu fali od granicy ośrodka. Zwykle jest to tylna strona tarczy. Związane z tym zjawisko zniszczenia materiału opisane jest w literaturze, jako spal (ang. *spallation*) [A23]. W pracy **[H5]** pokazano dwa możliwe mechanizmy rozdrabniania materiału przez falę ściskania. Są to a) wewnętrzny spal oraz b) niejednorodna sztywność. W obu przypadkach znaczącą rolę odgrywa anizotropia własności mechanicznych ziaren grafitu. W graficie polikrystalicznym orientacja sąsiednich

ziaren może być różna, stąd dla płaskiej fali ściskania sąsiednie ziarna mogą charakteryzować różne wartości impedancji falowej oraz modułów sprężystości. W pierwszym przypadku przyczyną jest odbicie fali na granicy różnie zorientowanych ziaren lub porowatości. W przypadku b) naprężenia rozciągające pojawiają się w wyniku tarcia sąsiednich ziaren o różnych modułach sprężystości podczas ich odciążania po uprzednim ściśnięciu.

4d. Oryginalne elementy monotematycznego cyklu publikacji

1. Zbadałem ewolucję obłoku plazmowego powstającego podczas ablacji grafitu nanosekundowym impulsem lasera w początkowej fazie ekspansji. Stosując metody spektroskopii emisyjnej, wyznaczyłem gęstość i temperaturę elektronów w obłoku w funkcji czasu i odległości od tarczy jak również prędkości obłoku po osiągnięciu ruchu jednostajnego. Wyniki obejmujące okres 0 – 100 ns od impulsu laserowego dla fluencji lasera z zakresu typowego dla zastosowań technologicznych (ok.15 J/cm^2) zostały przedstawione po raz pierwszy.

2. Określiłem wpływ długości fali promieniowania laserowego na parametry obłoku plazmowego - jego gęstość, skład i temperaturę i prędkość. Pokazałem, że temperatury i prędkości obłoku rosną, a gęstości plazmy maleją z długością fali lasera.

3. Zbadałem i wyjaśniłem mechanizm przyspieszania obłoku plazmy podczas ablacji. Mechanizm przyspieszania jest hydrodynamiczny, a ewolucja rozkładu temperatury wyjaśnia różnice obserwowanych prędkości atomów i jonów w obłoku plazmowym.

4. Zbadałem zależność wydajności ablacji grafitu impulsem lasera od długości fali promieniowania laserowego i wyznaczyłem próg przejścia od ablacji termicznej do eksplozji fazy. Wartości progowe fluencji zależą od długości fali i wynoszą 10, 25 i 55 J/cm^2 odpowiednio dla długości fali 355, 532 i 1064 nm.

5. Wykazałem występowanie nowego, nie uwzględnianego do tej pory mechanizmu usuwania materiału podczas ablacji. Jest to fragmentacja materiału na skutek działania ciśnienia odrzutu. Mechanizm ten ma znaczenie w przypadku materiałów kruchych, takich jak grafit polikrystaliczny.

Hoffman

4e. Literatura dodatkowa cytowana w tekście

[A1] J.Hunter, J.Fye, and M.F.Jarrold, Science **260** (1993) 784.

[A2] A.A.Puretzky, D.J.Styers-Barnett, C.M.Rouleau, H.Hu, B.Zhao, I.N.Ivanov and D.B.Geohegan, Appl.Phys. A **89** (2007) 121

[A3] S.Z.Mortazavi, P.Parvin and A.Reyhani, Laser Phys.Lett. **9** (2012) 547.

[A4] T.T.Koh, Y.M.Foong and D.H.C.Chua, Appl.Phys.Lett. **97** (2010) 114102.

[A5] M.Qian, Y.S.Zhou, Y.Gao, J.B.Park, T.Feng, S.M. Huang, Z.Sun, L.Jiang and Y.F.Lu, Appl.Phys.Lett. **98** (2011) 173108.

[A6] M.Qian, Y.S.Zhou, Y.Gao, T.Feng, Z.Sun, L.Jiang and Y.F.Lu, Appl.Surf.Sci. **258** (2012) 9092.

[A7] G.Compagnini, M.Sinatra, P.Russo, G.C.Messina, O.Puglisi and S.Scalese, Carbon **50** (2012) 2347.

[A8] A.Thess, R.Lee, P.Nikolaev, H.Dai, P.Petit, J.Robert, Ch. Xu, Y.H.Lee, S.Gon, Kim, A.G.Rinzler, D.T.Colbert, G.E.Scuseria, D.Tomanek, J.E.Fischer and R.E.Smalley, Science **273** (1996) 483–487.

[A9] A.C.Dillon, P.A.Parilla, K.M.Jones, G.Riker and M.J. Heben, Mater.Res Soc. Symp.Proc. **526** (1998) 403–408.

[A10] H.Kataura, Y.Kumazawa, Y Maniwa, Y.Ohtsuka, R.Sen, S.Suzuki and Y.Achiba, Carbon **38** (2000) 1691–1697.

[A11] A.A.Puretzky, H.Schittenhelm, X.Fan, M.J.Lance, F.L.Allard Jr. and D.B.Geohegan, Phys.Rev. B **65** (2002) 245425.

[A12] P.Nikolaev, W.Holmes, E.Sosa, P.Boul, S.Arepalli and L.Yowell, J.Nanosci. Nanotechnol. **10** (2010) 3780.

[A13] C.D.Scott, S.Arepalli, P.Nikolaev and R.E.Smalley, Appl.Phys. A **72** (2001) 573.

[A14] N.Braidy, M.A.El Khakani and G.A.Botton, Chem.Phys. Lett. **354** (2002) 88.

[A15] F.Kokai, K.Takahashi, M.Yudasaka and S.Iijima, J.Phys. Chem. B **104** (2000) 6777.

[A16] J.Chrzanowska, J.Hoffman, A.Małolepszy, M.Mazurkiewicz, T.A.Kowalewski, Z.Szymański, L.Stobiński, "Synthesis of carbon nanotubes by the laser ablation method: Effect of laser wavelength", Phys. Status Solidi B **252** (2015) 1860-1867

[A17] T.Yoshitake, T.Nishiyama, H.Aoki, K.Suizu, K. Takahashi and K.Nagayama, Diam.Relat.Mater. **8** (1999) 463.

[A18] R.J.Lade and M.N.R.Ashfold, Surf.Coat.Technol. **120-121** (1999) 313-318

[A19] M.N.R.Ashfold, F.Claeyssens, G.M.Fuge and S.J.Henley, Chem.Soc.Rev. **33** (2004) 23-31

[A20] L.Torrisi, D.Mascali, R.Miracoli, S.Gammino, N.Gambino, L.Giuffrida and D.Margarone, J.Appl.Phys. **107** (2010) 123303

[A21] T.Mościcki., J.Hoffman, Z.Szymański, "The effect of laser wavelength on laser-induced carbon plasma", Journal of Applied Physics **114** (2013) 083306

[A22] C.J.Knight AIAA J. **17** (1979) 519–23

[A23] High-Pressure Shock Compression of Solids II, eds. L.Davison, D.E.Grady, M.Shahinpoor, Springer 1996

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych

5a. Dorobek publikacyjny

Dane wg Web of Science (23 października 2015)
Query: **AUTHOR:** (Hoffman JJ*) *AND* **ADDRESS:** (Univ* Warsaw) *OR* **AUTHOR:** (Hoffman J*) *AND* **ADDRESS:** (Inst* Fund* Technol*)

Liczba cytowań	267
Liczba cytowań bez samocytowań	223
Indeks Hirscha	9

Inne, uzupełniane na bieżąco serwisy identyfikacji naukowców i ich dorobku publikacyjnego:
http://www.researcherid.com/rid/B-2983-2015 (Thomson Reuters)

http://orcid.org/0000-0002-1571-6808 (rejestr ORCID)

https://scholar.google.pl/citations?user=szUI1mgAAAAJ&hl=en

Sumaryczny impact factor publikacji po doktoracie
(IF zgodny z rokiem publikacji):

cyklu **[H1-H5]**	10.257
z wykazu **[D1-D27]**	28.964
Razem	**39.221**

Wykaz publikacji stanowiących dorobek publikacyjny po doktoracie

Książka

Zygmunt Szymański, Jacek Hoffman, „Fizyka spawania laserowego", Wydawnictwo IPPT PAN, Warszawa 2004, mój wkład 35%, *napisałem w całości rozdział 2 i uczestniczyłem w pisaniu pozostałych.*

Czasopisma indeksowane w JCR (impact factor zgodnie z rokiem publikacji)

2001

[D1] Szymanski Z., **Hoffman J.**, Kurzyna J., "Plasma plume oscillations during welding of thin metal sheets with a CW CO2 laser", Journal of Physics D-Applied Physics **34** (2001) pp. 189-199, IF.= 1.260, mój udział 50%, *Brałem udział w przygotowaniu koncepcji pracy, wykonałem pomiary oscylacji plazmy podczas spawania i opracowałem wyniki, wyjaśniłem teoretycznie związek sygnałów optycznych i akustycznych, uczestniczyłem w przygotowaniu manuskryptu.*

[D2] Kurzyna J., **Hoffman J.**, Szymanski Z., "Plasma oscillations during CW CO2 laser welding", High Temperature Material Processes 5(4) (2001) pp.497-500, IF.= 0.342, mój udział 50%, *Brałem udział w przygotowaniu koncepcji pracy, wykonałem pomiary oscylacji plazmy podczas spawania i opracowałem wyniki, uczestniczyłem w przygotowaniu manuskryptu.*

2002

[D3] Hoffman J., Szymanski Z., "Time-resolved spectroscopic measurements of plasma under laser welding conditions", Czechoslovak Journal of Physics **52** (2002) D272-D278, IF.= 0.311, mój udział 90%, *Przygotowałem koncepcję pracy, wykonałem eksperyment, opracowałem wyniki i przygotowałem manuskrypt.*

[D4] Hoffman J., Szymanski Z., "Titanium plasma under laser welding conditions", High Temperature Material Processes **6**(4) (2002) pp.505-514, IF.= 0.225, mój udział 90%, *Przygotowałem koncepcję pracy, wykonałem eksperyment, opracowałem wyniki i przygotowałem manuskrypt.*

[D5] Hoffman J., Szymanski Z., "Absorption of the laser beam during welding with CO2 laser", Optica Applicata **32**(1-2) (2002) pp. 129-145, IF.= 0.291, mój udział 90%, *Przygotowałem koncepcję pracy, wykonałem obliczenia i ich analizę, przygotowałem manuskrypt.*

2003

[D6] Moscicki T., **Hoffman J.**, Szymanski Z., "Dynamics of the plasma plume induced during laser welding", Optica Applicata **33** (2003) pp. 433-443, IF.= 0.221, mój udział 50%, *Przygotowałem koncepcję eksperymentu, wykonałem pomiary spektroskopowe plazmy, opracowałem wyniki i brałem udział w przygotowaniu manuskryptu.*

2004

[D7] Moscicki T., **Hoffman J.**, Szymanski Z., "Emission coefficients of low temperature

thermal iron plasma" Czechoslovak Journal of Physics **54** (2004) pp. C677-C682, IF.= 0.292, mój udział 40%, *Wykonałem obliczenia składu plazmy oraz emisji przez sferyczny obłok plazmy z uwzględnieniem samoabsorpcji, brałem udział w przygotowaniu manuskryptu.*

[D8] Hoffman J., Szymanski Z., "Time-dependent spectroscopy of plasma plume under laser welding conditions" Journal of Physics D-Applied Physics **37** (2004) pp. 1792-, IF.= 1.642, mój udział 90%, *Przygotowałem koncepcję pracy, wykonałem eksperyment oraz opracowałem wyniki , przygotowałem manuskrypt.*

2006

[D9] Moscicki T., **Hoffman J.**, Szymanski Z., "Modelling of plasma plume induced during laser welding", Journal of Physics D-Applied Physics **39** (2006) pp. 685-692, IF.= 2.077, mój udział 10%, *Wykonałem obliczenia składu i właściwości plazmy.*

[D10] Hoffman J., Moscicki T., Szymanski Z., "Modelling of time dependent plasma plume induced during laser welding", Czechoslovak Journal of Physics **56** (2006) B938-B943, IF.= 0.568, mój udział 50%, *Wykonałem obliczenia składu i właściwości plazmy oraz pomiary oscylacji jej promieniowania podczas spawania laserowego.*

[D11] Gasior P., Czarnecka A., Parys P., Rosinski M., Wolowski J., **Hoffman J.**, Szymanski Z., Philipps V., Rubel M., "Effective laser-induced removal of co-deposited layers from plasma-facing components in a tokamak", Czechoslovak Journal of Physics **56** (2006) B67-B72, IF.= 0.568, mój udział 10%, *Brałem udział w przeprowadzeniu eksperymentu oraz opracowaniu wyników – wykonałem pomiary spektroskopowe do celów monitorowania procesu.*

2008

[D12] Moscicki T., **Hoffman J.**, Szymanski Z., "Net emission coefficients of low temperature thermal iron-helium plasma", Optica Applicata **38** (2008), pp. 365-373, IF.= 0.204, mój udział 30%, *Wykonałem obliczenia składu plazmy w zależności od ciśnienia i temperatury oraz przeanalizowałem współczynniki promieniowania netto (tzn. z uwzględnieniem samoabsorpcji) dla plazmy sferycznej.*

[D13] Jedynski M., **Hoffman J.**, Mroz W., Szymanski Z., "Plasma plume induced during ArF laser ablation of hydroxyapatite", Applied Surface Science **255**(5) (2008) pp. 2230-2236, IF.= 1.576, mój udział 15%, *Wykonałem pomiary spektroskopowe i zdjęcia ekspandującej plazmy.*

2010

[D14] Jedynski M., **Hoffman J.**, Moscicki T., et al. "Deposition of thin hydroxyapatite films

by 335 nm Nd:YAG laser ablation", Materials Science-Poland **28** (2010), pp. 693-702, IF.= 0.336, mój udział 15%, *Wykonałem pomiary spektroskopowe i zdjęcia ekspandującej plazmy.*

[D15] Wolowski J., Gasior P., **Hoffman J.**, Kubkowska M., Rosinski M., Szymanski Z., "Study of laser-induced removal of co-deposits from tokamak plasma-facing components using ion diagnostics and optical spectroscopy", Radiation Effects and Defects in Solids **165**(6-10) (2010) pp. 434-440, IF.= 0.66, mój udział 10%, *Brałem udział w przeprowadzeniu eksperymentu oraz opracowaniu wyników – wykonałem pomiary spektroskopowe do celów monitorowania procesu.*

2011

[D16] Moscicki T., **Hoffman J.**, Szymanski Z., "Modelling of plasma formation during nanosecond laser ablation", Archives of Mechanics **63** (2011), pp. 99-116, IF. = 0.396, Mój udział 5%, *wykonałem zdjęcia ekspandującego obłoku plazmy.*

2012

[D17] Moscicki T., **Hoffman J.**, Szymanski Z., "Laser ablated carbon plume; experiment and modelling" Nukleonika **57**(2) (2012), pp. 283−286, IF.=0.507, mój udział 15%, *wykonałem pomiary spektroskopowe plazmy.*

2013

[D18] Moscicki T., **Hoffman J.**, Szymanski Z., "The effect of laser wavelength on laser-induced carbon plasma", Journal of Applied Physics **114** (2013), 083306, IF.= 2.185, mój udział 10%, *wykonałem obliczenia składu plazmy.*

[D19] Kaminska A., **Hoffman J.**, Szymanski Z., Dudeck M., "Plasmatron for Simulation of Re-entry Conditions in a Planetary Atmosphere", IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation **20**(5) (2013) pp. 1607-1615, IF.= 1.228, mój udział 40% , *wykonałem i opracowałem pomiary spektroskopowe plazmy.*

2014

[D20] Nalepka K., **Hoffman J.**, Kret S., Nalepka P., Szymanski Z., "Laser-deposited Cu/alpha-Al2O3 nanocomposite: experiment and modeling", Applied Physics A-Materials Science & Processing **117** (2014), pp. 169-173, IF.= 1.694, mój udział 30%, *określiłem parametry procesu i nałożyłem warstwy miedzi na podkłady z Al2O3, wyznaczyłem strumienie cząstek o różnych energiach docierające do podkładu.*

[D21] Kaminska A., Dudeck M., **Hoffman J.**, Szymanski Z., Gouy P-A., Vacher D., "A plasma jet produced in a segmented plasmatron: modelling and experiment", Physica Scripta Volume: **T161** (2014), Article Number: 014072, IF.= 1.296, mój udział 20% ,

wykonałem i opracowałem pomiary spektroskopowe plazmy.

2015 (IF za rok 2014)

[D22] Kamińska A., **Hoffman J.**, Vacher D., Dudeck M., Szymański Z., "Electrical and plasma flow characteristics of a segmented plasmatron operating with mixture of gases", Plasma Sources Science and Technology **24** (2015) 055007, IF.= 3.591, mój udział 35% , *wykonałem i opracowałem pomiary spektroskopowe plazmy.*

[D23] Mościcki T., Radziejewska J., **Hoffman J.**, Chrzanowska J., Levintant-Zayonts N., Garbiec D., Szymański 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.= 2.086, mój udział 15%, *Dokonałem doboru parametrów osadzania warstw.*

[D24] 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, IF.= 1.659, mój udział 20%, *uczestniczyłem w opracowaniu koncepcji pracy, eksperymentach i pisaniu manuskryptu.*

[D25] Chrzanowska J., **Hoffman J.**, Małolepszy A., Mazurkiewicz M., Kowalewski T.A., Szymański Z., Stobiński L., "Synthesis of carbon nanotubes by the laser ablation method: Effect of laser wavelength", Phys. Status Solidi B, **252** (2015) pp.1860-1867, IF.= 1.605, mój udział 25%, *Brałem udział w przygotowaniu koncepcji pracy, zaprojektowałem i zbudowałem reaktor do laserowej produkcji nanorurek, uczestniczyłem w eksperymentach wytwarzania nanorurek i pisaniu manuskryptu.*

[D26] 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, IF.=2.142, mój udział 15%, *wykonałem obliczenia składu plazmy oraz promieniowania obłoku dla zadanej temperatury i gęstości.*

Pozostałe artykuły recenzowane i abstrakty konferencyjne.

1. Słowicka A., Walenta Z., Szymański Z., **Hoffman J.**, Moscicki T., „Structure and Expansion of a Plume Emitted During Laser Ablation of MultiComponent Materials", 30th Int. Symposium on Shock Waves, Tel-Aviv, Israel, 19-27 July 2015, pp. 562-563, mój udział 20%, *wykonałem zdjęcia kolejnych faz ekspansji obłoku plazmowego.*

2. 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, mój udział 20%, *uczestniczyłem w opracowaniu koncepcji pracy i pisaniu tekstu.*

3. 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, mój udział 30%, *uczestniczyłem w opracowaniu koncepcji pracy, nakładaniu powłok i pisaniu tekstu i tworzeniu plakatu.*

4. Mościcki T., **Hoffman J.**, Radziejewska J., Chrzanowska J.,Levintant-Zayonts N., Garbiec D., "Formation of WB4 thin films using nanosecond Nd-YAG laser", 4th National Conference on Nano- and Micromechanics, Wrocław, Poland, July 8-10, 2014, Abstracts 4 KKNM pp. 152-154, mój udział 20%, *uczestniczyłem w opracowaniu koncepcji pracy, eksperymentach i pisaniu tekstu i tworzeniu plakatu.*

5. Chrzanowska J., **Hoffman J.**, Kowalewski T.A., Małolepszy A., Mazurkiewicz M., Stobiński, Szymański Z., „Synthesis of Carbon Nanotubes by Laser Ablation Method", 4th National Conference on Nano- and Micromechanics, Wrocław, Poland, July 8-10, 2014, Abstracts 4 KKNM pp. 117-118, mój udział 20%, *Brałem udział w przygotowaniu koncepcji pracy, zaprojektowałem i zbudowałem reaktor do laserowego wytwarzania nanorurek, uczestniczyłem w eksperymentach, pisaniu tekstu i tworzeniu plakatu.*

6. Radziejewska J., Marczak J., **Hoffman J.**, Sarzyński A., Strzelec M., „Zastosowanie laserowo indukowanych fal uderzeniowych do badania dynamicznych właściwości materiałów", Inżynieria Materiałowa, **35** Nr. 6 (2014) pp. 544-547, mój udział 10%, *uczestniczyłem w formułowaniu koncepcji badań i analizie wyników.*

7. Babou Y., Lequang D., Chazot O., Surzhikov S.T., Dikaljuk A.S., Panarese A., Cicala G., Longo S., **Hoffman J.**, Szymanski Z., Kaminska A., Dudeck M., Vacher D., "Thermodynamic characterization of high-speed and high-enthalpy plasma flows", The

Open Plasma Physics Journal **7** Suppl1:M10 (2014) pp. 155-172, *mój udział 10% , wykonałem pomiary spektroskopowe plazmy.*

8. 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, mój udział 20%, *wykonałem obliczenia składu i własności plazmy dla różnych ciśnień i temperatur.*

9. Nalepka K., **Hoffman J.**, Kret S., Nalepka P., Szymański Z., „Laser-deposited Cu/alpha_Al2O3 Nanocomposite: Experiment and Modelling", Book of abstracts 12th International Conference on Laser Ablation (COLA 2013), Ischia, Italy, October 6-11, 2013, p. 95, mój udział 30%, *określiłem parametry procesu i nałożyłem warstwy miedzi na podkłady z Al2O3, wyznaczyłem strumienie cząstek o różnych energiach docierające do podkładu, zaprezentowałem pracę na konferencji.*

10. Hoffman J., Kucharski S., Mościcki T., Mihailescu I.N., Ristoscu C., Szymański Z., "The Effect of Laser Wavelength on the Ablation Rate of Carbon", Book of abstracts 12th International Conference on Laser Ablation (COLA 2013) , Ischia, Italy, October 6-11, 2013, p.143, mój udział 80%, *Opracowałem koncepcję pracy, wykonałem większość badań eksperymentalnych (poza pomiarami kraterów za pomocą profilometru), opracowałem i przeanalizowałem wyniki, przygotowałem abstrakt i poster oraz zaprezentowałem na konferencji.*

11. Kamińska A., Dudeck M., **Hoffman J.**, Szymański Z., Vacher D., „Segmented plasmatron for simulation of re-entry conditions in a planetary atmosphere", 31st Int. Conference on Phenomena in Ionized Gases, Granada Spain 14-19 July 2013, 31st ICPIG Proceedings, pp. 11-14, mój udział 35%, *wykonałem i opracowałem pomiary spektroskopowe plazmy.*

12. Hoffman J., Szymański Z., Kamińska A., Dudeck M., Vacher D., „Non-Equilibrium Plasma in Segmented Plasmatron", Book of abstracts 5th Central European Symposium on Plasma Chemistry,Balatonalmadi, Hungary, August 25-29 2013, p. 130, mój udział 70%, *wykonałem pomiary spektroskopowe plazmy, przygotowałem tekst i poster oraz zaprezentowałem na konferencji.*

13. Hoffman J., Moscicki T., Mróz W., Szymanski Z., "Laser-induced carbon plasma; modelling and experiment", proceedings of ESCAMPIG XXI, Viana do Castelo, Portugal, July 10-14, 2012, mój udział 30%, *wykonałem pomiary spektroskopowe plazmy.*

14. Hoffman J., Małolepszy A., Mazurkiewicz M., Stobiński L., Szymański Z., „Carbon nanotubes synthesis by the Nd:YAG laser ablation process", III National Conference of

Nano and Micromechanics", Warsaw 4-6 July 2012, Abstracts 3 KKNM 2012, pp. 121-122, mój udział 30%, *Brałem udział w przygotowaniu koncepcji pracy, zaprojektowałem i zbudowałem reaktor do laserowego wytwarzania nanorurek, uczestniczyłem w eksperymentach, przygotowaniu tekstu i posteru.*

15. Maździarz M., Nalepka K., Szymański Z., **Hoffman J.**, Kret S., Kucharski S., Nalepka P., „Atomistic model of decohesion of copper-corrundum interface", 38th Solid Mechanics Conference, Warsaw 27-31 August 2012, Abstracts 38 SOLMECH 2012, pp. 204-205, mój udział 15%, *określiłem parametry procesu i nałożyłem warstwy miedzi na podkłady z Al2O3, wyznaczyłem strumienie cząstek o różnych energiach docierające do podkładu.*

16. Hoffman J., Jedynski M., Mróz W., Prokopiuk A, Szymański Z., „Spectroscopic measurements of the plasma plume induced during laser ablation of graphite", 28th Int. Conference on Phenomena in Ionized Gases, Praga 2007, ICPIG Proceedings pp.1512-1514, mój udział 80%, *Miałem decydujący wkład w przygotowanie koncepcji eksperymentu, wykonałem badania spektroskopowe, opracowałem i przeanalizowałem wyniki, przygotowałem tekst i poster oraz zaprezentowałem na konferencji.*

17. Mościcki T., **Hoffman J.**, Szymański Z., Emission coefficients of low temperature iron-helium plasma mixture, 28th Int. Conference on Phenomena in Ionized Gases, Praga 2007, ICPIG Proceedings p.1778-1780, mój udział 20%, *wykonałem obliczenia składu i własności plazmy dla różnych ciśnień i temperatur.*

18. Mróz W.,Jedyński M., **Hoffman J.**, Jelinek M., Major B., Prokopiuk A., Szymański Z., "Effect of reactive atmosphere on pulsed laser deposition of hydroxyapatite thin films", J.Physics; Conference Series **59** (2007) 720, mój udział 10%, *wykonałem pomiary spektroskopowe plazmy podczas PLD.*

19. Mościcki T., **Hoffman J.**, Szymanski Z., "Modelling of plasma plume induced during laser welding", Plasma 2005, AIP Conference Proceedings, **812** (2006) pp. 165-168, mój udział 10%, *Wykonałem obliczenia składu i właściwości plazmy.*

20. Hoffman J., Szymański Z., Azharonok V., "Plasma plume induced during laser welding of magnesium alloy",.Plasma 2005, AIP Conference Proceedings, **812** (2006) pp.469-472, mój udział 80%, *wykonałem próby spawania z równoczesną rejestracją sygnałów optycznych I analizą spektralną, przygotowałem manuskrypt.*

21. Jedyński M., **Hoffman J.**, Szymański Z., Mróz W., "Plasma generated during pulsed laser deposition of hydroxyapatite", Plasma 2005, AIP Conference Proceedings **812** (2006) pp. 481-484, mój udział 20%, *wykonałem pomiary spektroskopowe i zdjęcia obłoku plazmowego.*

22. Kalita W., **Hoffman J.**, Kolasa A., Kołodziejczyk P., "Properties of magnesium alloy joints welded by a CO_2 laser beam", Welding International **19**(3) (2005) pp. 205-208, mój udział 50%, *opracowałem koncepcje pracy, wykonałem próby spawania, uczestniczyłem w przygotowaniu manuskryptu.*

23. Hoffman J., Moscicki T., Szymanski Z., "Laser beam-plasma plume interaction during laser welding", Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (SPIE) 5229 (2003), pp. 228-232, IF=0.2, mój udział 30%, *wykonałem próby spawania, uczestniczyłem w opracowaniu koncepcji pracy oraz przygotowaniu pracy.*

24. Pokhmurska H., Kwiatkowski L., Kalita W., **Hoffman J.**, „Corrosion behaviour of laser remelted aluminium alloy", Proceedings of the Society of Photo-optical Instrumentation Engineers (SPIE) 5229 (2003), pp. 260-265, IF=0.2, mój udział 25%, *wykonałem próby przetapiania stopów aluminium laserem CO2.*

25. Kalita W., Kołodziejczak P., **Hoffman J.**, Mościcki T., Szymański Z., „Spawanie stopu magnezu AM20 laserem CO_2", Przegląd Mechaniczny 7-8 (2003), pp. 48-51, mój udział 30%, *wykonałem próby spawania, uczestniczyłem w opracowaniu koncepcji pracy oraz przygotowaniu manuskryptu.*

26. Hoffman J., Szymański Z., Jakubowski J., Kolasa A., „Analysis of acoustic and optical signals used as a basis for controlling laser-welding processes", Welding International **16** (2002) pp. 18-25 (wybrane z: Przegląd Spawalnictwa **73** (4) (2001) pp. 1-7), mój udział 80%, *sformułowałem koncepcję pracy, wykonałem eksperymenty spawania z jednoczesną rejestracją sygnałów optycznych i akustycznych, przygotowałem manuskrypt.*

27. Czujko T., Zasada D., Przetakiewicz W., Kalita W., **Hoffman J.**, „Struktura stopu na osnowie Ni3Al po obróbce laserowej", Przegląd Mechaniczny 6 (2001) 23, mój udział 25%, *określiłem parametry procesu i przeprowadziłem obróbkę laserową próbek z Ni3Al.*

Wykaz publikacji przed doktoratem - czasopisma indeksowane w JCR

[E1] Ernst K., Hoffman J.J., „Laser-induced aerosol formation in CS_2 vapour", Chemical Physics Letters **68** (1979) 40-43

[E2] Ernst K., Hoffman J.J., „Oscillatory evolution of laser-induced aerosol in CS_2 vapour", Chemical Physics Letters **75** (1979) 388-391

[E3] Ernst K., Hoffman J.J., „Laser-induced convection instability", Physics Letters A **87** (1981) 133-136

[E4] Szymański Z., Peradzyński Z., Kurzyna J., Hoffman J., Dudeck M., deGraaf M., Lago

V., „Spectroscopic study of a supersonic jet of laser-heated argon plasma", Journal of Physics D-Applied Physics **30** (1997) 998-1006

[E5] Zimnicki J., Rożniakowski K., Wendler B., Kalita W., Hoffman J., „Creation of TiN paths on titanium alloy OT4-1 by the use of a laser beam", Journal of Materials Science **33** (1998) 1385-1388

5b. Omówienie dorobku publikacyjnego

Studia na Uniwersytecie Warszawskim ukończyłem w 1980 roku, uzyskując tytuł magistra fizyki w zakresie optyki. Tematem mojej pracy magisterskiej pod kierunkiem dr. Krzysztofa Ernsta było „Badanie kinetyki powstawania aerozolu w parach CS_2 wzbudzanych światłem laserowym". Po studiach, pracując już w IPPT PAN, kontynuowałem współpracę z Wydziałem Fizyki. Efektem mojej pracy magisterskiej i tej współpracy są 3 publikacje z lat 1979-81 [E1-E3]. W pierwszych dwóch badaliśmy reakcje fotochemiczne i zjawiska transportu produktów tych reakcji w parach dwusiarczku węgla pobudzanych promieniowaniem lasera azotowego o długości fali 337.1 nm. Efektem tych procesów jest powstawanie aerozolu - zawiesiny drobnych cząstek stałych utworzonych z produktów reakcji. Przeanalizowaliśmy warunki powstawania aerozolu oraz czynniki decydujące o ewolucji w czasie rozkładu wielkości cząstek. Jako narzędzie badawcze wykorzystywaliśmy rozproszenie promieniowania lasera He-Ne, co było w owych czasach metodą nowatorską. W pracy trzeciej, korzystając z podobnych narzędzi badawczych, wykorzystaliśmy aerozol jako narzędzie do wizualizacji przepływów. Badaliśmy konwekcję wywołaną nagrzewaniem gazu przez absorbowane promieniowanie lasera. Wykazaliśmy, że po przekroczeniu krytycznej wartości liczby Rayleigha w badanym układzie następuje zmiana charakteru przepływu ze stacjonarnego na oscylacyjny.

Tematem mojej pracy doktorskiej wykonanej w IPPT PAN było „Badanie oddziaływania wiązki lasera CO_2 z kanałem parowym podczas laserowego spawania metali". Promotorem był prof. dr hab. Z. Szymański. Po doktoracie kontynuowałem tematykę spawania laserowego z użyciem lasera CO_2. Efektem są prace [D1-D10, D12], w których badano obłok plazmowy powstający podczas spawania. Badania te mają duże znaczenie zarówno poznawcze, jak i aplikacyjne. Spektroskopia obłoku plazmowego pozwala na monitorowanie procesu spawania, ponieważ skład spektralny promieniowania niesie informacje ilościowe na temat temperatury, gęstości i składu obłoku. Z kolei określenie proporcji udziału gazu osłonowego i par metalu w obłoku umożliwia kontrolę przebiegu i prawidłowości procesu spawania. Zależność promieniowania od czasu może wykazywać występowanie oscylacji kanału parowego oraz obłoku. Oscylacje te wpływają na kształt i jakość uzyskanej spoiny. Obłok plazmowy oddziałuje z wiązką laserową, pochłaniając ją i powodując jej rozogniskowanie. Oba te zjawiska, absorpcja i refrakcja są przyczyną

zmniejszenia efektywności procesu i pogorszenia jakości spawania. Nie można ich całkowicie wyeliminować, ale monitorowanie procesu i dobór właściwych wartości parametrów pozwala na minimalizację ich wpływu.

Praca [D8] była pierwszą pracą, w której wykonywałem badania nieuśrednione w czasie, to znaczy oparte na pomiarach wartości chwilowych. Chwilowe widma emisji linii spektralnych żelaza i gazu osłonowego, argonu, mierzono w obłoku plazmy generowanej podczas spawania stali laserem CO_2 o pracy ciągłej. Widma zależne od czasu zostały zarejestrowane przy użyciu spektrografu i bramkowanego wzmacniacza obrazu połączonego z wielokanałowym analizatorem optycznym OMA III. Wyniki w połączeniu z analizą koloru zdjęć wykonanych za pomocą szybkiej kamery pokazały, że istnieją dwie plazmy: plazma argonu i plazma żelaza. Stwierdzono, że w czasie silnych impulsów obłok plazmy emitowany z kanału parowego składa się głównie z pary metalu, nie jest rozcieńczany przez gaz osłonowy. Nie zaobserwowałem widocznego mieszania się pary metalu i gazu osłonowego. W związku z tym pochłanianie wiązki laserowej w obłoku plazmowym zależało od momentu czasowego, a wynosiło ~ 5% mocy wiązki w przypadku argonu i 10% w przypadku plazmy par metalu.
Podsumowaniem naszych badań spawania laserowego jest książka „Fizyka spawania laserowego" (Wyd. IPPT PAN 2004), której jestem współautorem.

W kolejnych pracach brałem udział w badaniach ablacji ciał stałych promieniowaniem lasera impulsowego. Stosowany do spawania laser CO_2 jest laserem o pracy ciągłej. Zastąpienie ciągłej wiązki lasera przez nanosekundowy impuls promieniowania laserowego powoduje radykalną zmianę charakterystyk czasowych procesów zachodzących pod ich wpływem. Ponadto natężenie promieniowania stosowanego podczas cięcia i spawania laserowego jest rzędu 10 MW/cm^2, podczas gdy stosowane do celów ablacji jest tysiące razy większe i wynosi ponad 10 GW/cm^2. Powoduje to istotne zmiany efektów działania promieniowania laserowego, zarówno procesów zachodzących na powierzchni materiału, jak i parametrów powstającej plazmy. Brałem udział w badaniach zarówno procesów fizycznych związanych ze zjawiskiem ablacji impulsem lasera, jak i zastosowań ablacji w wielu dziedzinach, takich jak nanoszenie pokryć z różnych materiałów, czyszczenie powierzchni oraz synteza nanorurek węglowych.

Początkowo badania dotyczyły ablacji hydroksyapatytu (prace [D13, D14]). Hydroksyapatyt jest to materiał mineralny będący nieorganicznym składnikiem kości i zębów. Ablacja laserowa hydroksyapatytu jest jedną z metod uzyskiwania pokryć tym materiałem elementów endoprotez w celu zwiększenia ich biozgodności. Osadzanie przeprowadzano w Instytucie Optoelektroniki WAT przy użyciu lasera excimerowego ArF, który generuje impulsy promieniowania o długości fali 193 nm i czasie trwania 20 ns. W celu uzyskania właściwej krystalizacji depozytu na podkładzie stosuje się atmosferę reaktywną albo podczas osadzania, albo już po osadzeniu podczas wygrzewania próbek w piecu. W związku z tym badano proces osadzania zachodzący zarówno w atmosferze pary wodnej pod ciśnieniem 20 Pa, jak i w próżni. Atmosfera otaczająca ma wpływ na dynamikę obłoku plazmowego i na jego własności. W przypadku osadzania w próżni energie atomów docierających do podkładu były wysokie i wynosiły odpowiednio 64, 49 i 25 eV dla atomów Ca, P i O. Obecność pary wodnej zmniejszała te energie do wartości ułamka eV. Oznacza to, że w wypadku stosowania atmosfery pary wodnej w komorze konieczne jest podgrzewanie podkładu w celu dostarczenia energii niezbędnej do krystalizacji.

W kolejnych pracach zajmowałem się badaniem ablacji innych materiałów: grafitu [D11, D15, D17, D18], miedzi [D20] oraz borków wolframu i renu [D24, D25]. Znaczenie badań ablacji grafitu omówiono w części opisującej monotematyczny cykl publikacji [**H1-H5**]. Dodatkowo w pracach [D11, D15] zbadano nową możliwość zastosowania ablacji grafitu - do oczyszczania grafitowych elementów komory reaktora termojądrowego. Skutkiem narażenia tych elementów na działanie plazmy jest osadzanie się na graficie atomów deuteru, który jest stosowany jako paliwo. Ma to negatywny wpływ na bezpieczeństwo i wydajność pracy reaktora. Badania wykonano w Instytucie Fizyki Plazmy i Laserowej Mikrosyntezy w międzynarodowym zespole działającym w ramach programu EURATOM. Wykazaliśmy, że za pomocą kilkudziesięciu impulsów lasera Nd:YAG możliwe jest skuteczne usuwanie depozytu z równoczesnym monitorowaniem procesu. Dzięki temu czyszczenie można prowadzić w całkowicie kontrolowany sposób i bez ryzyka uszkodzenia elementu.

Niezależnie od tematyki ablacji laserowej brałem udział w badaniach charakterystyk plazmotronu i strumienia plazmy generowanego przez plazmotron (prace [D19, [D21, D22]). Badania rozpoczęto w ramach europejskiego programu badawczego

PHYS4ENTRY obejmującego zagadnienia związane z eksploracją planet Układu Słonecznego. Warunki i zjawiska występujące podczas wejścia sond lub statków kosmicznych w atmosfery planetarne były modelowane komputerowo przez zespoły specjalistów z ośrodków badawczych w Belgii, Francji, Włoch i Rosji. Eksperymenty z plazmotronem wykonano w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Poznańskiej. Wyniki eksperymentów posłużyły do weryfikacji modeli komputerowych. Generowany w plazmotronie strumień plazmy wypływał następnie z prędkością okołodźwiękową do komory niskociśnieniowej. Metodami spektroskopowymi wyznaczono parametry plazmy powstającej przy różnym składzie gazów dostarczanych do plazmotronu. Stosowano gazy charakterystyczne dla atmosfer Ziemi, Marsa i Wenus. Własności plazmy powstającej w komorze za plazmotronem są zbliżone do występujących podczas wejścia w atmosferę tych planet. W takiej plazmie występuje znaczny stopień nierównowagi, zatem charakteryzacja stanu plazmy wymaga podania więcej niż jednej temperatury. Temperatura elektronów jest o kilka tysięcy kelwinów wyższa od temperatury atomów i jonów. Analogicznie, w przypadku molekuł temperatury wibracyjne są wyższe od rotacyjnych. Pokazano, że różnica temperatur zależy od ciśnienia oraz rodzaju i proporcji użytych gazów. Do badań wykorzystywano plazmotron sekcyjny tj. skonstruowany z segmentów. Oprócz pomiarów spektroskopowych przeanalizowano różne tryby pracy plazmotronu. Zmierzono jego charakterystyki elektryczne w zależności od użytych gazów. W obszar łuku w pobliżu katody wprowadzano główny gaz roboczy. Gazy pomocnicze były wprowadzane dodatkowo do strumienia plazmy poza łukiem. Wykazano, że gaz, który jest wstrzykiwany do strumienia, na skutek oscylacji łuku zostaje zasysany do obszaru łuku i zmienia warunki jego pracy.

Kolejna tematyka, w której biorę udział, opisana w pracach [D23] i [D24] dotyczy otrzymywania super-twardych pokryć na bazie borków renu i wolframu. Tarcze z materiałów ceramicznych ReB_2 i WB_2 zostały przygotowane metodą spiekania impulsowo-plazmowego w Instytucie Obróbki Plastycznej w Poznaniu. Tarcze te następnie wykorzystywano w IPPT PAN do nanoszenia pokryć metodą ablacji impulsem laserowym. Przeprowadzone badania uzyskanych warstw wykazały, że zgodnie z oczekiwaniami mają one wysoką twardość rzędu 40 GPa. Niestety, powłoki te charakteryzowały się wysoką chropowatością spowodowaną obecnością na powierzchni kropel oraz fragmentów stałych pochodzących z tarczy. Przyczyną chropowatości są prawdopodobnie wybuchowy

przebieg ablacji oraz niejednorodność tarczy. Kluczem do wyjaśnienia przebiegu ablacji może być analiza rozkładu liczby kropel na powierzchni w zależności od fluencji i długości fali. Taką analizę wykonano w pracy [D24]. Wzrost fluencji skutkuje powiększeniem ułamka powierzchni zajętego przez krople oraz zwiększeniem liczby kropel dużych i zmniejszeniem małych. Przyczyną pojawienia się kropli jest przekroczenie progu eksplozji fazy. Powyżej tej granicy następuje przegrzanie materiału tarczy i gwałtowne wrzenie w objętości. Skutkiem tego jest wyrzucanie z tarczy kropli i drobnych fragmentów stałych, które ulegają przyklejeniu do podkładu. Stosowano promieniowanie laserowe o długości fali 1064 oraz 355 nm. Dla 355 nm liczba kropel znacznie wzrasta z powodu niższej wartości progu eksplozji fazy przy tej długości fali. Dodatkowo porowatość oraz niejednorodności tarczy mogą być przyczyną lokalnego występowania eksplozji fazy nawet przy mniejszych wartościach fluencji. Celem dalszych badań jest zminimalizowanie chropowatości warstw nakładanych metodą PLD. Niezależnie od tych badań, rozpoczęto nakładanie analogicznych warstw za pomocą rozpylania magnetronowego. Uzyskano gładkie warstwy o wysokiej twardości, ale wyniki nie zostały jeszcze opublikowane.

Kolejną tematyką, w której uczestniczę, jest synteza nanorurek węglowych impulsem laserowym. Jako źródło par węgla zastosowano odparowanie impulsem lasera (PLV) tarczy wykonanej z grafitu z domieszką metalicznego katalizatora (nanocząstki Ni lub Co). Do ablacji używano impulsów promieniowania lasera Nd:YAG o długości fali 1064 i 355 nm. Stosowano niewielkie wartości fluencji, nie więcej niż 6 J/cm^2 w celu uniknięcia przekroczenia progu eksplozji fazy lub rozdrabniania ciśnieniem odrzutu i związanego z tym pojawienia się mikro- i nanocząstek w parach węgla. Specyficzną cechą użytego lasera Ekspla 303D jest możliwość generacji dwu kolejnych impulsów w krótkim (kilkadziesiąt ns) odstępie czasu. Drugi impuls praktycznie nie dociera do tarczy, gdyż jest absorbowany przez obłok powstający w wyniku działania pierwszego impulsu. Skutkiem jego działania jest podniesienie temperatury obłoku oraz ewentualne odparowanie kropelek i fragmentów grafitu, które mogły zostać wyrwane z tarczy. Tarcza znajdowała się w reaktorze kwarcowym w kształcie rury, który umieszczono w piecu nagrzewanym do 1000°C. Przez reaktor przepływał argon pod ciśnieniem 0.66 bar, a nanorurki osiadały na kolektorze umieszczonym przy wylocie reaktora. Zebrany osad badano metodami mikroskopii elektronowej (SEM/STEM) oraz spektroskopii Ramana. Dla obu długości fali w różnych zakresach fluencji uzyskiwano zarówno nanorurki metaliczne, jak i półprzewodzące. Stwierdzono, że stosunek nanorurek metalicznych do

półprzewodnikowych zależy od fluencji lasera. Porównanie wyników uzyskanych przy dwóch długościach fali lasera wykazało także, że zakres użytecznych fluencji jest szerszy dla promieniowania 1064 nm. Wyniki zostały opublikowane w pracy [D25].

5c. Udział w krajowych i międzynarodowych projektach badawczych od 2003

1. Opracowanie technologii laserowego spawania stopów magnezu, 4 T08C 00925, 2003-2005, KBN, 182000 PLN, rola: kierownik
2. a. Badania parametrów użytkowych lasera i układu optycznego w Pratt & Whitney Kalisz, b. Badania wpływu różnych warunków cięcia na efekt obróbki laserowej. Projekt celowy nr 6 ZR6 2006 C/06718 IPPT PAN wspólnie z Pratt & Whitney Kalisz. Rola: wykonawca.
3. Wpływ atmosfery roboczej na struktury nanowarstw osadzanych impulsem laserowym, N501 02531/1604, 2006-2009, kierownik: prof. Z Szymański, wartość projektu: 196300 PLN, rola: wykonawca
4. Zdalne wykrywanie i identyfikacja skażeń biologicznych z zastosowaniem zaawansowanych metod optoelektroniki, K147/T02/2007, NCBiR,17 446 000 PLN, koordynator: Wojskowa Akademia Techniczna, 2007-2011, rola: wykonawca
5. European Community's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under grant agreement n° 242311. PHYS4ENTRY – Planetary Entry Integrated Models, rola: wykonawca
6. Ablacja laserowa grafitu i nanostruktury węglowe, N N501 0691 38, 2010-2013, kierownik: prof. Z Szymański, wartość projektu: 312650 PLN, rola: wykonawca
7. Technologie laserowego spawania dla energetyki i ochrony środowiska (LAS-ENERG), PBS1/B5/13/2012, Kierownik: prof. Bogdan Antoszewski, Koordynator :Politechnika Świętokrzyska, czas realizacji 2012-2015 Finansowanie: NCBiR, 3480892 PLN, rola: wykonawca
8. Super-twarde pokrycia osadzane impulsem laserowym, 2012/05/D/ST8/08052 Okres realizacji od 2013-01-31 do 2016-01-30, Finansowanie: NCN, SONATA, 493000 PLN, kierownik dr Tomasz Mościcki, rola: wykonawca
9. Opracowanie nowej metody badania dynamicznej twardości oraz wybranych właściwości mechanicznych materiałów jednorodnych i cienkich warstw w warunkach wysokich prędkości odkształcenia, 2013/09/B/ST8/03468, NCN, OPUS, Kierownik: dr hab. Joanna Radziejewska, data rozpoczęcia i zakończenia 2014-2017, całkowita wartość projektu: 956000 PLN, rola: główny wykonawca
10. Synteza nanostruktur węglowych laserem impulsowym, 2014/13/B/ST8/04290, 2015-2018, Finansowanie: NCN, OPUS, 975820 PLN, kierownik prof. dr hab. Zygmunt Szymański, rola: główny wykonawca

5d. Opieka naukowa nad doktorantami

Od października 2014 roku jestem opiekunem naukowym mgr inż. Justyny Chrzanowskiej, która jest doktorantką prof. Zygmunta Szymańskiego w IPPT PAN.

5e. Recenzowanie projektów krajowych

Jestem recenzentem NCN zarejestrowanym w systemie OSF. Do tej pory recenzowałem 2 wnioski na projekty badawcze, po jednym w latach 2013 i 2014.

5f. Recenzowanie publikacji w czasopismach międzynarodowych

Regularnie recenzuję prace nadsyłane do czasopism naukowych. Ostatnio, w 2015 roku recenzowałem 4 prace dla następujących czasopism:

2 recenzje dla Journal of Physics B: Atomic, Molecular and Optical Physics (IOP, ISSN: 0953-4075, IF = 1.975)

1 recenzja dla Chemical Papers (De Gruyter Open, ISSN: 0336-6352, IF = 1.468)

1 recenzja dla Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer (Elsevier, ISSN: 0022-4073, IF = 2.645)

5g. Ekspertyzy i konsultacje

2006

Firma Pratt & Whitney Kalisz – wykłady i szkolenie pracowników w zakresie własności promieniowania laserowego i optyki laserów stosowanych w przemyśle.

2006-2014

Centrum Technologii Laserowych Politechniki Świętokrzyskiej – pomiary rozkładu natężenia w wiązce lasera CO_2 dużej mocy, konsultacje w zakresie optyki laserowej, diagnostyki promieniowania laserowego i monitorowania procesów obróbki laserowej.