

Warszawa, 23 stycznia 2018

Prof. dr hab. Radosław Przeniosło
Wydział Fizyki
Uniwersytetu Warszawskiego
ul. Pasteura 5
02-093 Warszawa

**Opinia o osiągnięciu naukowym dr Ryszarda Sobierajskiego zatytułowanym
„Mechanizmy zmian strukturalnych w wybranych ciałach stałych pod wpływem
impulsów krótkofalowych laserów na swobodnych elektronach”
oraz o jego działalności naukowej, dydaktycznej i organizacyjnej**

Ocena osiągnięcia naukowego

Przedstawione do oceny osiągnięcie naukowe dr. Ryszarda Sobierajskiego, pt. „Mechanizmy zmian strukturalnych w wybranych ciałach stałych pod wpływem impulsów krótkofalowych laserów na swobodnych elektronach” stanowi cykl pięciu wieloautorskich artykułów naukowych opublikowanych w czasopiśmie z listy filadelfijskiej. Publikacje są zdecydowanie jednotematyczne i dotyczą oddziaływania bardzo krótkich impulsów promieniowania emitowanego przez lasery na swobodnych elektronach z ciałami stałymi. Wyniki prac są ważne zarówno z punktu widzenia badań podstawowych, jak też mają duże znaczenie dla wyboru optymalnych materiałów do użycia jako elementy optyczne w układach z promieniowaniem emitowanym przez lasery na swobodnych elektronach.

Omówienie poszczególnych prac rozpoczynam od pracy metodologicznej i instrumentalnej [H4] opublikowanej w Journal of Instrumentation. Praca [H4] dotyczy układu doświadczalnego stosowanego do badania zmian strukturalnych indukowanych w ciałach stałych impulsami promieniowania ze źródła FLASH w Hamburgu. Układ składa się z komory w warunkach ultra wysokiej próżni, uchwytu na próbki z możliwością regulacji położenia i kąta padania wiązki oraz szeregu urządzeń zezwalających na diagnostykę badanych próbek in-situ. Dr Ryszard Sobierajski nie tylko zbudował ww układ doświadczalny, ale także zoptymalizował parametry pracy dostosowując je do zmiennych warunków wynikających z różnych trybów pracy źródła FLASH jak i potrzeby dostosowania się do badanych próbek. Ryszard Sobierajski jest pierwszym autorem pracy [H4], a oświadczenia współautorów jednoznacznie wskazują na jego wiodący wkład w budowę, optymalizację a także używanie układu w pomiarach opisanych w pracach H1-H5.

W dalszej części osiągnięcia naukowego opisane zostały badania zmian strukturalnych wielowarstw Mo/Si [H1] oraz wielowarstw MoN/SiN [H2] pod wpływem pojedynczych impulsów o długości rzędu 10 fs i długości fali promieniowania UV: 13.5 nm. Zastosowano układ doświadczalny opisany w [H4]. Dla impulsów o fluencji powyżej progu 45 mJ/cm² na powierzchni warstw Mo/Si powstawały kratery, a także dochodziło do deformacji warstw i powstawania nowej fazy MoSi₂. Wykonano porównawcze badania z wygrzewaniem

wielowarstw Mo/Si w piecu. Wnioskiem z pracy [H1] jest następujące modelowe wyjaśnienie: jeżeli powierzchnia wielowarstwy Mo/Si ulega stopieniu po wzbudzeniu impulsem XUV (tj. w czasie ok. 10 ps) to mobilność atomów w fazie ciekłej jest wystarczająco duża, aby wymieszać atomy z sąsiadujących warstw i aby powstała faza MoSi₂. Ze względu na różnice gęstości Mo, Si oraz MoSi₂ dochodzi też do zmiany kształtu i grubości całej próbki. Jeżeli natomiast energia zdeponowana przez impuls jest zbyt mała i nie nastąpi topnienie warstw przypowierzchniowych, to mobilność atomów jest niewielka i nie następują przejścia fazowe. Tłumaczy to obserwowany progowy charakter przejść fazowych w Mo/Si oraz innych układach wielowarstwowych [H1]. W pracy [H1] opisany jest też ilościowy model transportu ciepła w głąb wielowarstw Mo/Si oparty o bilans energii reakcji $\text{Mo} + 2\text{Si} \rightarrow \text{MoSi}_2$ oraz przewodnictwo termiczne. Wykonane obliczenia modelowe (rys. 8, str. 17) końcowej grubości wielowarstwy w funkcji fluencji impulsu zgadzają się z wynikami doświadczalnymi z dokładnością do ok. 25%. Wnioski z pracy [H1] są ważne w kontekście badań podstawowych, jak i dla rozwoju metodologii eksperymentów przy FEL. Praca [H1] ma obecnie 35 cytowań. Warto też dodać, że R. Sobierajski jest drugim autorem pracy [H1], natomiast pierwszym autorem jest A.R. Khorsand, magistrant, pracujący pod jego opieką.

Praca [H2] opisuje analogiczne badania dla wielowarstw MoN/SiN. Motywacją takiego wyboru składu jest znacznie wyższa temperatura topnienia azotków w porównaniu ze składnikami wielowarstwy Mo/Si. Opisano morfologię kraterów oraz powstające w wysokiej temperaturze nowe fazy $\beta\text{-Mo}_2\text{N}$ oraz $\gamma\text{-Mo}_2\text{N}$. Opisano kształty kraterów i deformacje wielowarstw MoN/SiN. Deformacje są bardziej wyraziste niż w układach Mo/Si ze względu na reakcje chemiczne uwalniające gazowy azot, co prowadzi do nieregularności w kształcie „bąbli”. Pomimo wyższych temperatur topnienia składników MoN/SiN ich współczynnik odbicia promieniowania XUV jest znacznie mniejszy niż dla Mo/Si. Z tego powodu układ MoN/SiN wydajniej akumuluje ciepło od impulsu UV i ostatecznie próg zniszczeń dla MoN/SiN oraz Mo/Si jest bardzo podobny. Praca [H2] także wzbudziła znaczne zainteresowanie i ma 16 cytowań.

Praca [H3] stanowi kontynuację badań doświadczalnych i modelowych rozpoczętych w [H1,H2]. Autorzy [H3] wykonali systematyczne obliczenia modelowe dla wielu składów oparte o modelowy opis zjawiska poznane dla Mo/Si [H1] oraz MoN/SiN [H2]. Obliczenia prowadzono dla energii fotonów z okolicy zakresu tzw. „okna wodnego”. Obliczenia są prowadzone od momentu startu, w którym temperatura gazu elektronowego i atomów pierwszej dwuwarstwy wyrównują się po zaabsorbowaniu impulsu UV. Założono że każda dwuwarstwa ma swoją średnią temperaturę i obliczano krok po kroku proces transportu ciepła w głąb próbki. Wyniki obliczeń progowej fluencji odpowiadającej zniszczeniu powierzchni wielowarstwy w funkcji energii fotonów są pokazane na rys. 15 (str. 26). Autorzy pokazali wyniki dla sześciu przykładowych składów wielowarstw. Wyniki są interesujące, istnieją wielowarstwy dla których progowa fluencja wynosi około 400 mJ/cm^2 [H3] tj. około 10 razy więcej niż dla Mo/Si [H1] lub MoN/SiN [H2].

W pracy [H5] badano wytrzymałość radiacyjną krzemu na serię kilkuset impulsów XUV o stosunkowo niskiej fluencji, ale w krótkich odstępach czasu. Wyniki doświadczalne zostały także opisane ilościowo przy pomocy numerycznego modelu. Równanie transportu ciepła w głąb próbki było rozwiązywane dla czasu między impulsami, tzn. dla czasu $1\mu\text{s}$ z krokiem czasowym $\Delta t=2\text{ps}$ [H5]. Obliczenia przeprowadzono iteracyjnie, tj. końcowy stan symulacji po n -tym impulsie był brany jako stan początkowy dla $(n+1)$ -go impulsu. Pomiar doświadczalny pokazał trzy typy zniszczeń radiacyjnych charakteryzujące się rosnącymi progowymi wartościami fluencji. W pracy [H5] pokazano wyniki symulacji, które zgadzają się z obserwacjami doświadczalnymi oraz pozwalają na prawdopodobne określenie przyczyn ww przemian fazowych. Pierwsza, tj. nanokropki, wynika z lokalnego przypowierzchniowego stopienia krzemu. Druga, tj. warstwa z dużą liczbą defektów, powstaje z wielokrotnego lokalnego topnienia i krzepnięcia małych fragmentów objętości krzemu. Trzecia przemiana polega na topnieniu dużych obszarów i ze względu na wysoką mobilność atomów krzemu w fazie ciekłej prowadzi do niewielkiej liczby defektów. W obliczeniach modelowych, dla ustalonej wartości fluencji impulsów określono czy dla danego numeru impulsu (1 do 400) nastąpi stopienie fragmentów próbki, a jeśli tak, to do jakiej głębokości? Uzyskane wyniki są w zadowalającym stopniu zgodne z obserwacjami doświadczalnymi [H5]. Uważam, że wyniki pracy [H5] są ważne i będą przydatne w dalszym rozwoju techniki XUV FEL.

Ocena dorobku naukowego (poza osiągnięciem przedstawionym do oceny)

Dr Ryszard Sobierajski jest współautorem 67 prac (wg bazy Web-of-Science), z których pewna część została opublikowana w renomowanych czasopismach, m.in. Nature Physics, Phys. Rev. Lett., Phys. Rev. B, Appl. Phys. Lett. Prace te były cytowane 1195 razy (bez autocytowań), co daje wysoką średnią 17.8 (obcych) cytowani na pracę. Indeks Hirscha, $h=20$ jest wysokim wynikiem dla kandydatów do habilitacji w dziedzinie fizyki. R. Sobierajski prowadził wiele różnych badań z wykorzystaniem źródeł FEL niezwiązanych bezpośrednio z osiągnięciem naukowym przedstawionym do oceny. Brał udział w pionierskiej pracy [P2], w której pokazano pierwsze impulsy VUV z lasera na swobodnych elektronach w Hamburgu (opublikowana w Phys. Rev. Lett. ma obecnie 229 cytowań). Brał też udział w badaniach tzw. ciepłej gęstej plazmy (warm dense matter), w których po naświetlaniu bardzo wysokoenergetycznymi impulsami z FEL atomy Al. przechodziły w egzotyczny stan w którym większość atomów ma dziurę w powłoce L, średnia temperatura elektronów walencyjnych wynosi 9 eV i pomimo tego, atomy znajdują się w położeniach struktury krystalicznej Al. Wyniki opublikowano w Nature Physics, praca ta ma 174 cytowania. Prowadził też badania współczynnika odbicia wielowarstw Si/C pojedynczymi impulsami o fluencji znacznie przekraczające próg zniszczeń [P15]. Badania pokazały, że pomimo całkowitego zniszczenia wielowarstwy w czasie około 25 fs, próbki zachowywały swoją strukturę, a współczynnik odbicia był taki sam jak przy niskich energiach. Potwierdza to fakt, że ultrakrótkie impulsy XUV nie powodują znaczących zniszczeń w trakcie ich trwania. Można więc takie impulsy stosować do badania struktur pojedynczych cząsteczek biologicznych nawet jeśli na końcu procesu próbka zostanie zniszczona (opublikowana w Phys. Rev. Lett. ma obecnie 39 cytowań). Ryszard Sobierajski zajmował się też innymi zagadnieniami jak np. charakteryzacja rozkładu przestrzennego impulsów krótkofalowych XUV w FEL, nieodwracalny obrót momentów

magnetycznych w epitaksjalnych trójwarstwach Pt/Co/Pt wywołany przez naświetlanie nanosekundowymi impulsami XUV.

Ryszard Sobierajski jest od około 16 lat zaangażowany w konsorcja wykonujące pomiary przy źródłach FEL. Brał udział w wielu pionierskich badaniach i ma w swoim dorobku bardzo znaczące prace. Całkowity dorobek naukowy dr Ryszarda Sobierajskiego oceniam zdecydowanie bardzo wysoko.

Ocena działalności dydaktycznej i organizacyjnej

Dr Ryszard Sobierajski wykazał się skutecznością w zdobywaniu środków na finansowanie badań, był m. in. kierownikiem i koordynatorem w kilku grantach NCN. Skonstruowanie układu doświadczalnego opisanego w pracy [H4] też wymagało zdobycia finansowania oraz wielu wysiłków organizacyjnych. Dr R. Sobierajski zdobywał dla swojego zespołu badawczego dostęp do wielkich urządzeń badawczych (large scale facilities) w drodze konkursu projektów (beamtime proposals) w bardzo trudnej międzynarodowej konkurencji. Zdobywał czas przy takich źródłach promieniowania jak FLASH (Niemcy), LCLS (USA), VUV oraz SACLA (Japonia), CEA Saclay (Francja), PETRA (Niemcy) oraz ESRF (Francja). Sukcesy naukowe spowodowały, że prace R. Sobierajskiego stały się znane w środowisku, co spowodowało zaproszenia z referatami na wiele międzynarodowych konferencji, jak i również zaproszenia do komitetów organizacyjnych wielu konferencji międzynarodowych. Działalność organizacyjną dr Ryszarda Sobierajskiego oceniam zdecydowanie pozytywnie.

Jako pracownik IF PAN dr Ryszard Sobierajski miał ograniczone możliwości prowadzenia pracy dydaktycznej i opieki nad studentami. Mimo to był opiekunem jednej pracy magisterskiej na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej (D. Sobota) oraz jednej na Wydziale Fizyki Uniwersytetu w Utrechcie (A.R. Khorsand) – podczas pobytu na stażu post-doc w FOM Rijnhuizen w Holandii. Dr Ryszard Sobierajski prowadził też semestralny wykład na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Przez ponad 10 lat brał udział w organizacji turniejów fizycznych dla młodzieży. Działalność dydaktyczną dr Ryszarda Sobierajskiego oceniam pozytywnie.

Podsumowanie

Po zapoznaniu się z opisem osiągnięcia naukowego oraz całościowego dorobku naukowego, organizacyjnego i dydaktycznego stwierdzam, że dr Ryszard Sobierajski jawi się jako dojrzały i ukształtowany badacz. Wykazał się dobrą motywacją, konsekwencją i intuicją fizyczną, dzięki którym osiągnął nowe i ważne wyniki w pionierskiej dziedzinie. W mojej ocenie kandydat spełnia ustawowe i zwyczajowe kryteria wymagane przy habilitacji. Wnoszę o dopuszczenie dr. Ryszarda Sobierajskiego do dalszych etapów procedury habilitacyjnej.