

Warszawa 26 kwietnia 2024 r.

Prof.dr hab. Witold Dobrowolski
Instytut Fizyki PAN
Al. Lotników 32/46
03-946 Warszawa
Email: dobro@ifpan.edu.pl

**Ocena osiągnięć naukowych Dr. Bruno Camargo z Wydziału Fizyki Uniwersytetu
Warszawskiego w związku z ubieganiem się kandydata o stopień doktora
habilitowanego.**

Bruno Cury Camargo jest zdolnym badaczem, którego kariera skupiała się na badaniu metodami doświadczalnymi właściwości elektronowych i magnetycznych grafitu. Posiada on stopień doktora nauk przyrodniczych z Instytutu Fizyki Gleb Wataghin Uniwersytetu Stanowego w Campinas, specjalizując się w fizyce półprzewodników. Przez całą swoją karierę zawodową Dr. Camargo piastował różne stanowiska w instytutach badawczych i wydziałach uniwersyteckich w kilku krajach, w tym USA, Niemczech, Francji i Polsce.

Badania Dra Camargo koncentrowały się wokół znalezienia właściwej metody oceny jakości próbek grafitu i domieszkowania grafitu w celu modyfikowania jego właściwości, sterowaniem przejściami faz elektronowych w silnych polach magnetycznych oraz badaniami nowatorskich urządzeń wykorzystujących grafity. Wkład Dra Camargo można uznać za kluczowy w wyjaśnieniu złożoności zachowań grafitu i jego potencjalnych zastosowań technologicznych.

Na pracę habilitacyjną Dra Camargo składa się seria ośmiu publikacji, które zgłębiają subtelności właściwości grafitu, w tym efektów związanych z nieuporządkowaniem strukturalnym, zjawiskami kwantowymi oraz wpływem domieszkowania na jego cechy elektronowe.

Poza kilkoma pracami na temat grafitu nie wchodzącymi w skład pracy habilitacyjnej Dr Camargo jest współautorem prac na pograniczu fizyki i biofizyki a dotyczących walki z rakiem czy prac bliższych tematyce pracy habilitacyjnej poświęconych badaniami nad nadprzewodnictwem. Przykłady te ilustrują szerokie zainteresowania naukowe Dr. Camargo oraz brak monotematycznego ograniczenia, co jest byłoby niekorzystne dla rozwoju naukowego.

Przyjemnością było dla mnie napisanie tej recenzji habilitacyjnej, ponieważ osiągnięcia naukowe kandydata w pełni odpowiadają prawnym i zwyczajowym wymaganiom stawianym kandydatom na stopień doktora habilitowanego. Przedstawione badania wyczerpująco odpowiadają na szereg istotnych pytań i stanowią oryginalny wkład w wiedzę.

Ocena osiągnięć naukowych w oparciu o wskaźniki bibliometryczne oraz osiągnięcia organizacyjne i dydaktyczne:

Badania Dra Camargo oraz ich tematyka znajdują się w czołówce światowych badań, co potwierdzają publikacje kandydata w uznanych czasopismach fizycznych. Dr Camargo opublikował 38 prac (Web of Science) w prestiżowych czasopismach fizycznych. Współczynnik wpływu tych czasopism waha się od 1 do 11. Większość prac ma współczynnik wpływu 3-4, co jest dobrym wynikiem w fizyce. Kandydat ma prace w czasopismach takich jak Carbon, Appl. Phys Letters, Physical Review B itp. Prace kandydata były cytowane blisko 100 razy a indeks czy wskaźnik Hirscha wynosi 6. Nie są to oszałamiające wyniki, ale niemniej świadczą o zainteresowaniu społeczności akademickiej pracami Dra Camargo. Recepcja (liczba cytowań) prac kandydata przez innych naukowców mieści się w średniej w Polsce dla kandydatów na stopień doktora habilitowanego to jest 100-200 cytowań.

W przeciwieństwie do wielu kandydatów na stopień doktora habilitowanego, Dr Camargo odbył liczne staże zagraniczne. Po uzyskaniu w 2014 roku stopnia doktora na Uniwersytecie Stanowym w Campinas w Brazylii, swoim kraju ojczystym, z rozprawą pt. "Efeitos quanticos em semimetals de Dirac e heteroestruturas relacionadas" (Zjawiska kwantowe w półmetalach Diraca i związanych z nimi heterostrukturach), pełnił staże podoktorskich w kilku krajach.

Od 2014 do 2015 roku Dr Camargo był stażystą na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Lipskiego (obecnie znanym jako Instytut Felixa Blocha ds. Fizyki Stanu Stałego) w Lipsku. Następnie pracował jako stażysta postdoktorancki w Laboratoire National des Champs Magnetiques Intenses (Narodowe Laboratorium Silnych Pól Magnetycznych) - LNCMI Toulouse w Tuluzie - od 2015 do 2016 roku. Następnie Dr Camargo pełnił funkcję adiunkta w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk w Warszawie w latach 2016-2020. Obecnie, od 2021 roku, Dr Camargo jest zatrudniony jako adiunkt na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

Dr Camargo kierował trzema grantami i był współpracownikiem kilku innych. W szczególności otrzymał grant Polonez. Także tę część jego działalności organizacyjnej i naukowej oceniam zdecydowanie pozytywnie.

Wyniki naukowe Dr Camargo prezentowane były na licznych konferencjach i warsztatach. Wygłosił trzy wykłady zaproszone (w Brazylii i Niemczech).

Opisując profil Dr Camargo, nie można pominąć jego pracy dydaktycznej na macierzystym uniwersytecie w Brazylii, a później także w Polsce. Godna podkreślenia jest również jego działalność popularyzatorska fizyki, na przykład podczas organizowanego corocznie w Warszawie Naukowego Pikniku i innych wydarzeniach.

Ponadto warto wspomnieć o jego udziale w budowaniu infrastruktury badawczej w Instytucie Fizyki Polskiej Akademii Nauk. Tu można wspomnieć, że Dr Camargo w trakcie swojej dotychczasowej pracy poznał unikalne techniki badawcze, w tym prace z ultraniskimi temperaturami w zakresie milikelwinów, czy pracę z impulsowymi polami magnetycznymi w zakresie mega-Gaussów.

Podsumowując tę część recenzji stwierdzam, że osiągnięcia bibliometryczne, organizacyjne i dydaktyczne Dr Camargo w pełni spełniają wymogi stawiane kandydatom na stopień doktora habilitowanego.

Można jeszcze dodać, że prośby o recenzje znaczących czasopism fizycznych, takich jak Physical Review Letters, Carbon, Physical Review, Applied Physics Letters itp., świadczą o ugruntowanej pozycji naukowej Dr Camargo.

Ocena osiągnięć naukowych: "Badanie wpływu dopingu i efektów nieuporządkowania strukturalnego na właściwości elektroniczne grafitu"

Autor wybrał osiem publikacji jako podstawę do oceny osiągnięć naukowych. Niektóre artykuły zawierały materiały dodatkowe. Wybrane przez kandydata publikacje spełniają kryterium sine qua non dla prac habilitacyjnych. Publikacje wybrane do habilitacji są tematycznie spójne. Rozprawa habilitacyjna składa się z ośmiu artykułów, przy czym kandydat jest pierwszym autorem w pięciu z nich a w pozostałych pełnił kluczową rolę.

1. M. Muszynski, I. Antoniazzi, B. Camargo, Ion-beam-milled graphite nanoribbons as mesoscopic carbon-based polarizers, Appl. Phys Lett (2023)

Praca stanowi znaczący postęp w dziedzinie właściwości optycznych grafitu, wykorzystując do badań nano-paski grafitu wypreparowane strumieniem jonów. Ich praca prezentuje nowatorskie podejście do badania zależności polaryzacyjnej modów Ramana i odbicia w mikrostrukturach grafitu. Dzięki polerowaniu krawędzi nanopasek za pomocą obróbki jonowej, autorzy pokonali ograniczenia mechanicznego polerowania, które często wprowadza nieregularności podczas pomiarów.

Jednym z kluczowych osiągnięć tej pracy jest wykazanie silnej zależności polaryzacyjnej modów D, G i 2D w efekcie Ramana w nanopaskach grafitu. Dostarcza to cennych informacji o zachowaniu optycznym grafitu. Ponadto badacze podkreślają potencjał aplikacyjny tych węglowych polaryzatorów dla układów scalonych, otwierając nową ścieżkę dla zintegrowanej fotoniki i optoelektroniki.

Jednak konieczne są dalsze badania choćby optymalizacji jakości nanopasek poprzez sterowanie grubością warstwy amorficznej pokrywającej nanopaski grafitu. Mogłoby to zwiększyć stopień polaryzacji i ogólne osiągi urządzeń. Pomimo tego, badanie reprezentuje znaczący postęp w dziedzinie mezoskopowych węglowych polaryzatorów, otwierając możliwości przyszłych zastosowań w technologiach optycznych.

2. B. Camargo, B. Kerdi, A. Alaferdov, S. Zhuri, M. Birowska, W. Escoffier, Self-doped graphite nanobelts, Carbon 207, 240 (2023).

Artykuł omawia wprowadzenie nowej grupy nośników ładunku w graficie poprzez deformację mechaniczną za pomocą uderzeń fali uderzeniowej. Ważnym osiągnięciem jest wykazanie, że nośniki tej nowej grupy mają większą masę efektywną i większą koncentrację w porównaniu nośnikami w niedomieszkowanym materiałem, zachowując jednocześnie charakter 2D. Badanie ujawnia, że defekty wprowadzone podczas mechanicznej eksfoliacji mogą umożliwić zachowanie oscylacyjne w polach magnetycznych powyżej 50 T, stanowiąc nową sondę do badania przejść fazowych indukowanych polem w tym materiale. Pewnym brakiem pracy jest brak szczegółowej analizy wpływu tej nowej grupy nośników ładunku na właściwości grafitu.

3. B. Camargo, P. Gierłowski, M. Kuzmiak, R. Jesus, O. Onufrienko, P. Szabó, Y. Kopelevich, Macroscopic-ranged proximity effect in graphite, *J. Phys: Cond Mat* 33, 495602 (2021).

Artykuł przedstawia fascynujące odkrycie makroskopowego zasięgu efektu bliskości w graficie. Badanie wyróżnia się unikalną obserwacją właściwości nadprzewodzących rozciągających się na odległości rzędu milimetrów, w przeciwieństwie do typowego dla innych materiałów efektu bliskości na skali nanometrów. Badacze przypisują to zjawisko obecności uprzednio istniejącego nadprzewodnictwa w zlokalizowanych małych obszarach grafitu.

Jednym z znaczących osiągnięć tego badania jest rzucenie nowego światła na nietypowe zachowanie nadprzewodnictwa w graficie oraz poszerzenie wiedzy na temat efektu bliskości. Poprzez wykazanie istnienia cech nadprzewodzących na makroskopowych odległościach, badanie otwiera nowe możliwości eksploracji i wykorzystania właściwości nadprzewodzących w nowatorski sposób.

Potencjalnym ograniczeniem tego badania jest konieczność dalszych badań w celu pełnego zrozumienia mechanizmów odpowiedzialnych za makroskopowy zasięg efektu bliskości w graficie. Ponadto praktyczne implikacje i zastosowania tego odkrycia w rzeczywistych technologiach pozostają jeszcze do zbadania i opracowania.

4. B. Camargo i W. Escoffier, Taming the magnetoresistance anomaly in graphite, *Carbon* 139, 210 (2018).

W tej pracy dokładnie zbadano anomalie magnetooporu w graficie, dostarczając informacji na temat przejścia do stanu wysokiego oporu (HRS) powyżej krytycznego pola magnetycznego. Badanie kwestionuje obecne wyjaśnienie zjawiska, eksperymentalnie wykazując możliwość modulowania HRS poprzez sterowanie koncentracją nośników ładunku w pobliżu poziomu neutralności ładunków.

Znaczące osiągnięcia tego badania to odkrycie, że HRS w graficie jest wyzwalany zarówno przez elektrony, jak i dziury oraz na jego osłabienie w pobliżu poziomu neutralności ładunku. Wyniki dostarczają cennych informacji o złożonym zachowaniu magnetooporu w graficie.

Ogólnie rzecz biorąc, artykuł wnosi znaczący postęp we wglądzie w anomalie magnetooporu w graficie, dostarczając cennych informacji na temat mechanizmów leżących u podstaw tego zjawiska, jednocześnie pozostawiając pole do dalszych badań i zastosowań w powiązanych dziedzinach.

5. R. Jesus, A. Turatti, B. Camargo, R. Silva, Y. Kopelevich, M. Behar, M. Gusmao, P. Pureur, Electronic Transport and Raman Spectroscopy Characterization in Ion-Implanted Highly Oriented Pyrolytic Graphite, *J. Low Temp. Phys* 190, 141 (2018).

W tym artykule autorzy zagłębiają się w charakterystykę próbek wysoko uporządkowanego grafitu pizolitycznego (HOPG) poddanego implantacji jonowej arsenem (As) i manganem (Mn). Badanie dostarcza cennych informacji na temat wpływu implantacji jonowej na właściwości HOPG.

Znaczącymi osiągnięciami badania są szczegółowa analiza zmian w spektroskopii Ramana, temperaturowej zależności oporu w płaszczyźnie oraz magnetooporu w płaszczyźnie po

implantacji. Ważnym odkryciem jest obserwacja, że powierzchnia HOPG staje się amorficzna przy wyższych dawkach jonów. Ponadto identyfikacja przepływu prądu elektrycznego w pobliżu zaimplantowanej powierzchni ze względu na anizotropię HOPG rzuca światło na unikalne właściwości przewodzenia tego materiału.

Jednak można mieć uwagi do danych przedstawionych w badaniu. Jedną z nich jest brak dyskusji na temat długoterminowej stabilności zmodyfikowanych właściwości elektrycznych oraz brak eksploracji potencjalnego wpływu implantacji na inne właściwości fizyczne grafitu. Ponadto głębsze zbadanie mechanizmów leżących u podstaw obserwowanych zmian w spektroskopii Ramana i magnetooporze mogłoby wzmocnić zrozumienie tych zjawisk.

Ogólnie rzecz biorąc, badanie prezentowane w tym artykule dostarcza cennych informacji na temat wpływu implantacji jonowej na próbki HOPG, zawierając zarówno istotne osiągnięcia, jak i obszary wymagające dalszych badań i wyjaśnień.

6. B. Camargo, R. Jesus, B. Semenenko and C. Precker, Electrical properties of in-plane implanted graphite nanoribbons, *J. Appl. Phys* 122, 244302 (2017).

Badanie B.C. Camargo i współpracowników bada wpływ niskoenergetycznej implantacji jonami Ga⁺ równoległe do płaszczyzn grafitowych na uporządkowane nanopaski grafitowe. Wyniki badań pokazują zmniejszenie oporu elektrycznego po implantacji, wskazując na występowanie kanałowania jonowego. Jako kluczowe osiągnięcia mogą wskazać wykazanie obniżenia rezystancji elektrycznej po niskoenergetycznej implantacji jonowej oraz powtarzalność wyników świadcząca o możliwości modulowania gęstości nośników ładunku w nanopaskach grafitowych. Pewną wadą pracy jest ograniczona dyskusja na temat długoterminowej stabilności zmodyfikowanych właściwości elektrycznych oraz brak eksploracji potencjalnego wpływu implantacji na inne właściwości fizyczne nanopasek grafitowych.

7. R. Jesus, B. Camargo, R. Silva, Y. Kopelevich, M. Behar, M. Gusmao, P. Pureur, Magneto-transport properties of As-implanted highly oriented pyrolytic graphite. *Phys B: Cond Mat.* 118, 500 (2016).

Praca ta przedstawia wpływ implantacji jonowej wysoko uporządkowanego grafitu pirolitycznego arsenem na właściwości przewodnictwa w polu magnetycznym. Znaczącymi osiągnięciami badania są obserwacja oscylacji kwantowych zarówno w magnetooporze, jak i w efekcie Halla, co pozwoliło na wyznaczenie podstawowych częstotliwości i efektywnych mas dla elektronów i dziur w próbce. Badanie ujawniło także odwrócenie znaku efektu Halla w funkcji pola magnetycznego we wszystkich zaimplantowanych stanach, wskazując na złożoną interakcję między jonami implantowanymi a właściwościami materiału.

W pracy brakuje szczegółowej dyskusji na temat konkretnych mechanizmów odpowiedzialnych za obserwowane efekty implantacji jonowej arsenu w próbkach grafitu. Dalsze wyjaśnienie leżących u podstaw procesów mogłoby wzmocnić zrozumienie oddziaływania między jonami implantowanymi a elektronicznymi właściwościami materiału.

Ogólnie rzecz biorąc, artykuł dostarcza jednak cennych informacji na temat wpływu implantacji jonowej arsenu na właściwości magnetooporu wysoko uporządkowanego grafitu pirolitycznego

8. B. Camargo, Y. Kopelevich, A. Usher i S. Hubbard, Effect of structural disorder on quantum oscillations in graphite, Appl. Phys. Lett. 108, 031604 (2016).

Ten artykuł przedstawia wyniki badania właściwości magneto-transportowe grafitu zaimplementowanego jonowo, ujawniając negatywny magnetoopór przy niskich polach magnetycznych oraz pozytywny magnetoopór przy wysokich polach magnetycznych. Badania sugerują, że magnetoopór jest związany z kombinacją słabej lokalizacji i interakcji elektron-elektron. Wyniki dostarczają wglądu w mechanizmy magnetotransportowe w graficie zaimplementowanym jonowo.

Podsumowanie

Uważam, że najważniejszymi wynikami pracy kandydata są:

1. Seria badań, która pogłębiającą wiedzę na temat manipulowania grafitem i jego właściwościami, dostarczającą cennych informacji na temat zachowania tego materiału. Jednym z kluczowych osiągnięć jest eksploracja właściwości optycznych jonowo wypreparowanych nanopasków grafitowych. Wykorzystując innowacyjne techniki, badacze byli w stanie zbadać zależność polaryzacyjną modów efektu Ramana i odbicia światła w mikrostrukturach grafitu, dostarczając nowych informacji o optycznych właściwościach tego materiału. Ponadto wprowadzenie nowej grupy nośników ładunku do grafitu poprzez deformację mechaniczną stanowi znaczący postęp w badaniach, wskazując na zmiany elektronowych właściwości grafitu pod wpływem obciążenia mechanicznego.

Kolejnym wartym podkreślenia odkryciem jest obserwacja cech nadprzewodzących w graficie z makroskopowym zasięgiem efektu bliskości. Unikalne zjawisko prezentuje właściwości nadprzewodzące rozciągające się na odległościach rzędu milimetrów, kwestionując konwencjonalną wiedzę i poszerzając zrozumienie nadprzewodnictwa w graficie. Ponadto badania anomalii magnetooporu oraz wpływu implantacji jonowej na wysoko uporządkowany grafit pirolityczny dostarczyły cennych informacji na temat złożonego zachowania grafitu, otwierając nowe ścieżki eksploracji w fizyce ciała stałego.

Pomimo tych znaczących osiągnięć, należy wspomnieć o kilku ograniczeniach. Konieczne są na przykład dalsze badania w celu optymalizacji jakości urządzeń polaryzujących i zwiększenia ich wydajności. Ponadto niezbędna jest bardziej dogłębna analiza wpływu nowych nośników ładunku na właściwości grafitu czy głębsze zbadanie mechanizmów odpowiedzialnych za makroskopowy zasięg efektu bliskości. Są to elementy konieczne do całościowego zrozumienia tych zjawisk.

Podsumowując, badania przedstawione w artykule stanowią krok naprzód w poznaniu właściwości grafitu co na przykład otwiera drogę do dalszych postępów w dziedzinie instrumentów optycznych.

Z pełną odpowiedzialnością mogę potwierdzić, że badania Dr Bruno Camargo nad grafitem w znaczący sposób poszerzyły wiedzę naukową na temat tego materiału i otworzyły nowe możliwości jego zastosowania w różnych dziedzinach. Pomimo kilku uwag zawartych w recenzji, uważam, że te przykłady osiągnięć naukowych przedstawione przez kandydata w rozprawie habilitacyjnej wystarczająco dokumentują, że ma on na wyrobioną pozycje w światowej nauce.

Podsumowując, potwierdzam, że osiągnięcia i dorobek naukowy Dr Bruno Camargo spełniają wymogi stawiane kandydatom na stopień doktora habilitowanego zgodnie z ustawą o stopniach i tytułach zawodowych.



Prof. dr hab. Witold Daniel Dobrowolski

Instytut Fizyki PAN