

AUTOREFERAT

1. Imię i Nazwisko

Jarosław Sotor

2. Posiadane dyplomy, stopnie naukowe/artystyczne – z podaniem nazwy, miejsca i roku ich uzyskania oraz tytułu rozprawy doktorskiej

- Dyplom studiów podyplomowych „Zarządzanie projektem badawczym i komercjalizacja wyników badań” uzyskany na Wydziale Informatyki i Zarządzania Politechniki Wrocławskiej. Studia ukończone z wynikiem bardzo dobrym w 2012 roku.
- Certyfikat Międzynarodowego Stowarzyszenia Menadżerów Projektów IPMA na poziomie D, nr certyfikatu: 217/2012, uzyskany w 2012 roku, ważny do 08.06.2017.
- Doktor nauk technicznych w zakresie telekomunikacji, Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki Politechniki Wrocławskiej, dyplom uzyskany w 2011 roku.
Tytuł rozprawy doktorskiej: „*Mikrolasery na ciele stałym z wymuszoną pracą jednoczęstotliwościową*” (praca obroniona z wyróżnieniem),
Promotor: prof. Krzysztof M. Abramski.
- Magister Inżynier (Elektronika i Telekomunikacja), Wydział Elektroniki Politechniki Wrocławskiej, dyplom uzyskany w 2005 roku.
Tytuł pracy magisterskiej: „*Badanie struktury częstotliwościowo – modowej mikrolasera Nd:YVO₄/KTP*”,

3. Informacje o dotychczasowym zatrudnieniu w jednostkach naukowych/artystycznych

Od 01.06.2013: Adiunkt naukowy w Katedrze Teorii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki, Wydział Elektroniki, Politechnika Wroclawska,

01.07.2012 – 31.05.2013: Adiunkt naukowy w Katedrze Teorii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki, Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki, Wydział Elektroniki, Politechnika Wroclawska,

- 01.05.2011 – 30.06.2012 Asystent naukowy w Katedrze Teorii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki, Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki, Wydział Elektroniki, Politechnika Wroclawska,
- 06.07.2009 – 30.04.2011 Samodzielny referent inzynieryjno- techniczny w Katedrze Teorii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki, Instytut Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki, Wydział Elektroniki, Politechnika Wroclawska,

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.):

Osiągnięciem naukowym wynikającym z art. 16 ust. 2 ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. nr 65, poz. 595 ze zm.) jest jednotematyczny cykl publikacji naukowych pt.

„Badania nad zastosowaniem grafenu i izolatorów topologicznych do generacji ultrakrótkich impulsów laserowych”

Cykl publikacji stanowiący podstawę ubiegania się o stopień doktora habilitowanego składa się z 17-tu pozycji o sumarycznym współczynniku wpływu **IF = 56,994¹**:

- [A1] **J. Sotor**, G. Soboń, K. Krzempek, K.M. Abramski, “Fundamental and harmonic mode-locking in erbium-doped fiber laser based on graphene saturable absorber”, Opt. Commun. 285, 3174–3178 (2012), **IF = 1,486**
Mój udział procentowy szacuję na: 70%,
- [A2] **J. Sotor**, G. Soboń, K.M. Abramski, “Er-doped fibre laser mode-locked by mechanically exfoliated graphene saturable absorber”, Opto-Electron. Rev. 20, 1-5 (2012), **IF = 0,966**,
Mój udział procentowy szacuję na: 80%,

W pracach [A1, A2] zaproponowałem i zrealizowałem cykl badań nad zastosowaniem grafenu do generacji ultrakrótkich impulsów. Przeprowadziłem proces mechanicznej eksfoliacji grafenu z bloku grafitowego. Brałem udział w procesie optymalizacji rezonatora laserowego oraz przeprowadzeniu pomiarów i ich opracowaniu oraz dyskusji. Przygotowałem treść publikacji.

¹ Współczynniki wpływu IF właściwe dla roku opublikowania publikacji

- [A3] G. Soboń, **J. Sotor**, K.M. Abramski, "Passive harmonic mode-locking in Er-doped fiber laser based on graphene saturable absorber with repetition rates scalable to 2,22 GHz", Appl. Phys. Lett. 100, 161109-1 - 161109-4 (2012), **IF = 3,844**,
Mój udział procentowy szacuję na: 45%,

Jestem współautorem koncepcji badań nad optymalizacją procesu harmonicznej synchronizacji modów. Przeprowadziłem mechaniczną eksfoliację grafenu z bloku grafitowego oraz zoptymalizowałem konfigurację rezonatora laserowego. Uczestniczyłem w procesie przeprowadzania pomiarów i ich opracowaniu oraz dyskusji. Brałem udział w przygotowywaniu treści publikacji.

- [A4] **J. Sotor**, G. Soboń, K.M. Abramski, "Scalar soliton generation in all-polarization-maintaining, graphene mode-locked fiber laser", Opt. Lett. 37, 2166-2168 (2012), **IF = 3,399**,
Mój udział procentowy szacuję na: 70%,

- [A5] G. Soboń, **J. Sotor**, K.M. Abramski, "All-polarization maintaining femtosecond Er-doped fiber laser mode-locked by graphene saturable absorber", Laser Phys. Lett. 9, 581-586 (2012), **IF = 9,97**
Mój udział procentowy szacuję na: 45%,

Jestem współautorem koncepcji badań nad budową rezonatorów bazujących na światłowodach utrzymujących stan polaryzacji światła z nasycalnymi absorberami na bazie grafenu. W ramach prac [A4,A5] przeprowadziłem mechaniczną eksfoliację grafenu z bloku grafitowego oraz zoptymalizowałem konfigurację rezonatora laserowego. Uczestniczyłem w procesie przeprowadzania pomiarów i ich opracowaniu oraz dyskusji. Przygotowałem treść publikacji [A4]. Brałem udział w przygotowywaniu treści publikacji [A5].

- [A6] G. Soboń, **J. Sotor**, I. Pasternak, K. Grodecki, P. Pałetko, W. Strupiński, Z. Jankiewicz, K.M. Abramski, "Er-doped fiber laser mode-locked by CVD-graphene saturable absorber", J. Lightwave Technol. 30, 2770-2775 (2012), **IF = 2,784**,
Mój udział procentowy szacuję na: 35%,

- [A7] G. Sobon, **J. Sotor**, I. Pasternak, K. Krzempek, W. Strupinski, K.M. Abramski, "Tunable, linearly polarized Er-fiber laser mode-locked by graphene/PMMA composite", Laser Phys. 23, 125101 (2013), **IF = 2,545**,
Mój udział procentowy szacuję na: 35%,

- [A8] G. Sobon, **J. Sotor**, I. Pasternak, A. Krajewska, W. Strupinski, K. M Abramski, "Thulium-doped all-fiber laser mode-locked by CVD-graphene/PMMA saturable absorber," Opt. Express 21 (10), 12797-12802 (2013), **IF = 3,546**,
Mój udział procentowy szacuję na: 35%,

Jestem współautorem koncepcji badań nad zastosowaniem kompozytów grafen/PMMA do generacji ultrakrótkich impulsów w laserach światłowodowych z włóknami aktywnymi domieszkowanymi jonami erbu [A6, A7] i tulu [A8]. Jestem autorem koncepcji wykorzystania regulowanego tłumika do przestrajania i kontroli spektralnej widma optycznego generowanych solitonów optycznych [A7]. W ramach tych prac brałem udział w przygotowywaniu nasycalnych absorberów na bazie kompozytów

grafen/PMMA. Przygotowywałem i optymalizowałem rezonatory laserowe. Uczestniczyłem w procesie przeprowadzania pomiarów i ich opracowaniu oraz dyskusji. Brałem udział w przygotowywaniu treści publikacji.

[A9] **J. Sotor**, G. Sobon, I. Pasternak, A. Krajewska, W. Strupinski, K. M. Abramski, “Simultaneous mode-locking at 1565 nm and 1944 nm in fiber laser based on common graphene saturable absorber”, Opt. Express 21, 18994-19002 (2013), **IF = 3,546**,
Mój udział procentowy szacuję na: 60%,

[A.10] **J. Sotor**, G. Sobon, J. Tarka, I. Pasternak, A. Krajewska, W. Strupinski, K.M. Abramski, “Passive synchronization of erbium and thulium doped fiber mode-locked lasers enhanced by common graphene saturable absorber”, Opt. Express 22, 5536-5543 (2014), **IF = 3,525**,
Mój udział procentowy szacuję na: 60%,

Jestem pomysłodawcą badań nad generacją ultrakrótkich impulsów w różnych zakresach spektralnych [A9] oraz ich synchronizacji [A10]. Przeprowadziłem prace eksperymentalne polegające na budowie i optymalizacji rezonatorów dwupętlowych. Optymalizowałem nasycalne absorbery na bazie kompozytu grafen/PMMA. Brałem udział w procesie przeprowadzania pomiarów i ich opracowaniu oraz dyskusji. Optymalizowałem układ pomiaru kroskorelacji generowanych impulsów w stanie synchronizacji. Przygotowałem treść publikacji.

[A11] G. Sobon, **J. Sotor**, J. Jagiello, R. Kozinski, M. Zdrojek, M. Holdynski, P. Paletko, J. Boguslawski, L. Lipinska, K.M. Krzysztof, “Graphene Oxide vs. Reduced Graphene Oxide as saturable absorbers for Er-doped passively mode-locked fiber laser”, Opt. Express 20, 19463-19473 (2012), **IF = 3,587**,
Mój udział procentowy szacuję na: 30%,

[A12] G. Sobon, **J. Sotor**, J. Jagiello, R. Kozinski, K. Librant, M. Zdrojek, L. Lipinska, K. M. Abramski, „Linearly polarized, Q-switched Er-doped fiber laser based on reduced graphene oxide saturable absorber”, Appl. Phys. Lett. 101, 241106 (2012), **IF = 3,844**,
Mój udział procentowy szacuję na: 35%,

Jestem współautorem koncepcji badań nad zastosowaniem tlenku grafenu i zredukowanego tlenku grafenu do pasywnej synchronizacji modów [A11] i modulacji dobroci [A12] światłowodowego rezonatora laserowego. W ramach tych prac brałem udział w przygotowywaniu nasycalnych absorberów. Przygotowywałem i optymalizowałem rezonatory laserowe. Uczestniczyłem w procesie przeprowadzania pomiarów i ich opracowaniu oraz dyskusji. Brałem udział w przygotowywaniu treści publikacji.

[A13] **J. Sotor**, G. Sobon, W. Macherzynski, P. Paletko, K. Grodecki, K. M. Abramski, “Mode-locking in Er-doped fiber laser based on mechanically exfoliated Sb_2Te_3 saturable absorber”, Opt. Mater. Express 4, 1–6 (2014), **IF = 2,923**,
Mój udział procentowy szacuję na: 70%,

- [A14] **J. Sotor**, G. Sobon, W. Macherzynski, K.M. Abramski, "Harmonically mode-locked Er-doped fiber laser based on a Sb_2Te_3 topological insulator saturable absorber", *Laser Phys. Lett.* 11, 055102 (2014), **IF = 2,964**,
Mój udział procentowy szacuję na: 80%,
- [A15] **J. Sotor**, G. Sobon, K. Grodecki, K.M. Abramski, "Mode-locked Erbium-doped fiber laser based on evanescent field interaction with Sb_2Te_3 topological insulator," *Appl. Phys. Lett.* 104, 251112 (2014), **IF = 3,515**,
Mój udział procentowy szacuję na: 80%,
- [A16] **J. Sotor**, G. Sobon, K.M. Abramski, "Sub-130 fs mode-locked Er-doped fiber laser based on topological insulator," *Opt. Express* 22, 13244-13249 (2014), **IF = 3,525**,
Mój udział procentowy szacuję na: 80%,
- [A17] J Boguslawski, **J Sotor**, G Sobon, J Tarka, J Jagiello, W Macherzynski, L Lipinska, K M Abramski, "Mode-locked Er-doped fiber laser based on liquid phase exfoliated Sb_2Te_3 topological insulator," *Laser Phys.* 24 105111 (2014), **IF = 1,025**,
Mój udział procentowy szacuję na: 35%,

Jestem pomysłodawcą badań nad generacją ultrakrótkich impulsów z wykorzystaniem izolatora topologicznego - tellurku antymonu (Sb_2Te_3) [A13-A17]. Przeprowadziłem proces mechanicznej eksfoliacji Sb_2Te_3 i przetransferowałem otrzymane cienkie warstwy na czoło światłowodu. Zbudowałem i zoptymalizowałem układ lasera światłowodowego z podstawową [A13] i harmoniczną synchronizacją modów [A14]. Jestem autorem koncepcji wykorzystania światłowodów ze szlifem bocznym do budowy nasycalnych absorberów [A15-A17]. Przygotowałem i zoptymalizowałem nasycalny absorber i rezonatory laserowe generujące solitony optyczne [A15] i impulsy gaussowskie [A16]. Jestem autorem koncepcji wykorzystania chemicznie eksfoliowanego Sb_2Te_3 do budowy nasycalnych absorberów [A17]. Uczestniczyłem w procesie przeprowadzania pomiarów i ich opracowaniu oraz dyskusji. Przygotowałem treść publikacji [A13-A16]. Brałem udział w przygotowywaniu publikacji [A17].

- **Uzasadnienie podjęcia tematyki badawczej**

Generacja ultrakrótkich impulsów światła, jest niezmiernie istotna dla szeregu praktycznych aplikacji takich jak: precyzyjna obróbka materiałów, metrologia optyczna, spektroskopia laserowa, optokomunikacja, medycyna (narzędzie do przeprowadzania nanooperacji oraz obrazowania optycznego), inicjowanie procesów chemicznych i fizycznych itp. Jedną z najczęściej wykorzystywanych metod generacji ultrakrótkich impulsów światła jest pasywna synchronizacja modów lasera z wykorzystaniem sztucznych (nieliniowa rotacja polaryzacji) bądź rzeczywistych nasycalnych absorberów. Powszechnie stosowanym układem nasycalnego absorbera, w komercyjnie dostępnych systemach laserowych, są nieliniowe półprzewodnikowe zwierciadła (*ang. Semiconductor Saturable Absorber Mirrors, SESAM*). Technologia wytwarzania SESAM-ów jest bardzo dobrze

opanowana i pozwala na precyzyjną kontrolę parametrów tych struktur, istotnych dla pasywnej synchronizacji modów tj. głębokości modulacji, intensywności nasycenia i absorpcji nienasyconej^{2,3}. Wygenerowane impulsy laserowe o mocy średniej 275 W i czasie trwania na poziomie 600 fs w układzie dyskowego lasera Yb:YAG⁴ wykorzystującego SESAM jako nasycalny absorber potwierdza również, iż elementy te charakteryzują się wysokim progiem zniszczenia. Wydawać by się mogło, że SESAM-y są praktycznie idealnymi nasycalnymi absorberami do generacji ultrakrótkich impulsów w układach laserów z pasywną synchronizacją modów. Ze względu jednak na fakt, że konstrukcja tych elementów bazuje na technologii materiałów półprzewodnikowych, optyczny zakres spektralny, w którym można uzyskać synchronizację modów z wykorzystaniem raz wykonanego SESAM-u jest ograniczony. Zmiana długości fali (np. z 1030 nm na 1550 nm) wymusza wymianę absorbera. Dodatkowo technologia ta bazuje na bardzo drogim i skomplikowanym procesie epitaksji z wiązek molekularnych (MBE).

Szybko rosnąca liczba praktycznych aplikacji bazujących na źródłach laserowych generujących ultrakrótkie impulsy oraz ograniczenia nasycalnych absorberów na bazie SESAM-ów powodują, że badania nad nowymi materiałami do tego typu aplikacji są niezmiernie istotne. Ukierunkowane są one na poszukiwanie materiałów mogących pracować jako nasycalne absorbery w maksymalnie szerokim zakresie spektralnym. Istotnym czynnikiem jest również zastosowanie do wytwarzania tego typu absorberów technologii o mniejszym stopniu komplikacji niż MBE. Pierwszym z intensywnie badanych materiałów tego typu były nanorurki węglowe, które wykazują efekt nasycalnej absorpcji i umożliwiają generację ultrakrótkich impulsów⁵. Nasycalne absorbery na bazie nanorurek węglowych pozwalają na generację ultrakrótkich impulsów w szerokim zakresie bliskiej podczerwieni. Jednakże spektralny zakres pracy zależy od średnicy zastosowanych nanorurek półprzewodnikowych⁶ co wymusza ich odpowiednią selekcję. Niedogodność tą eliminuje zastosowanie materiałów charakteryzujących się strukturą pasmową z liniową zależnością dyspersyjną energii do pędu (struktura pasmowa ze stożkami Diraca). Do tej grupy materiałów należą: grafen i izolatory topologiczne. Liniowa zależność dyspersyjna, którą się one cechują decyduje o ich płaskiej i

² U. Keller, K. J. Weingarten, F. X. Kartner, D. Kopf, B. Braun, I. D. Jung, R. Fluck, C. Honninger, N. Matuschek, J. Aus der Au, "Semiconductor Saturable Absorber Mirrors (SESAMs) for femtosecond to nanosecond pulse generation in solid-state lasers," IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron. 2, 435–453 (1996),

³ D. Maas, A. Bellancourt, M. Hoffmann, B. Rudin, Y. Barbarin, M. Golling, T. Südmeyer, U. Keller, "Growth parameter optimization for fast quantum dot SESAMs," Opt. Express, 16, 18646-18656 (2008)

⁴ C.J. Saraceno, F. Emaury, O.H. Heckl, C.R.E. Baer, M. Hoffmann, C. Schriber, M. Golling, T. Südmeyer, U. Keller, "275 W average output power from a femtosecond thin disk oscillator operated in a vacuum environment," Opt. Express 20, 23535-23541 (2012)

⁵ S. Set, H. Yaguchi, Y. Tanaka, and M. Jablonski, "Laser mode locking using a saturable absorber incorporating carbon nanotubes," J. Lightwave Technol. 22, 51-56 (2004),

⁶ S.M. Bachilo, M.S. Strano, C. Kittrell, R.H. Hauge, R.E. Smalley, R.B. Weisman, "Structure-Assigned Optical Spectra of Single-Walled Carbon Nanotubes", Science 298 (5602), 2361-2366 (2002),

niezależnej od długości fali charakterystyce absorpcji liniowej^{7,8}. Badania nad zastosowaniem grafenu i izolatorów topologicznych do generacji ultrakrótkich impulsów prowadzone są na świecie przez wiele grup badawczych od odpowiednio 2009r^{9,10} i 2012r¹¹. Uzyskane dotychczas wyniki pokazują, że zarówno grafen jak i izolatory topologiczne mogą stanowić nową klasę nasycalnych absorberów w komercyjnie stosowanych laserach z pasywną synchronizacją modów. Badania, które rozpocząłem w 2011 roku nad zastosowaniem tych materiałów do generacji ultrakrótkich impulsów w laserach światłowodowych stanowią istotny wkład do światowego stanu wiedzy. W dużej mierze są to badania pionierskie a wykreowana wokół tego tematu Grupa badawcza jest jednym z czołowych zespołów na świecie pracującym nad zastosowaniem nowych materiałów do pasywnej synchronizacji modów w laserach światłowodowych.

- **Omówienie wyników prac badawczych stanowiących podstawę postępowania habilitacyjnego**

Generacja ultrakrótkich impulsów światła w laserach światłowodowych z wykorzystaniem nasycalnych absorberów na bazie grafenu.

Istotną z punktu widzenia zastosowań grafenu do generacji impulsów światła jest jego płaska i szerokopasmowa charakterystyka absorpcji liniowej jak również prostsze niż MBE metody wytwarzania tj.: mechaniczna eksfoliacja („metoda noblowska”), eksfoliacja chemiczna i epitaksja z fazy gazowej na podłożach metalicznych i węgliku krzemu.

Badania nad zastosowaniem grafenu do synchronizacji modów w laserach światłowodowych, które rozpocząłem w 2011 roku, bazowały na mechanicznej eksfoliacji grafenu z bloku grafitowego. W ramach prowadzonych badań w bardzo dobrym stopniu opanowano uzyskiwanie w ten sposób grafenu i jego transfer na czoła światłowodów. Przykład przeniesionej na rdzeń światłowodu warstwy przedstawiono na Rys.1. Pomiar morfologii powierzchni czoła światłowodu (Rys. 1a) z przeniesioną warstwą grafenu wykonany mikroskopem sił atomowych (AFM) potwierdza obecność pojedynczych warstw atomowych węgla tzn. grafenu jak również grafen wielowarstwowy. Obecność jednej warstwy grafenu potwierdza dodatkowo zmierzone charakterystyczne spektrum Ramana (Rys. 1b).

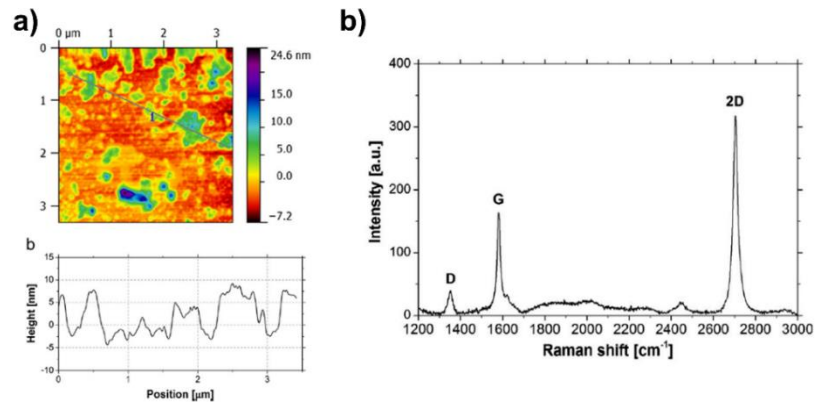
⁷ R. Nair, P. Blake, A. N. Grigorenko, K. S. Novoselov, T. J. Booth, T. Stauber, N. M. R. Peres, A. K. Geim “Fine Structure Constant Defines Visual Transparency of Graphene”, Science 320, 1308 (2008)

⁸ H. Peng, W. Dang, J. Cao, Y. Chen, D. Wu, W. Zheng, H. Li, Z. Shen, Z. Liu “Topological insulator nanostructures for near-infrared transparent flexible electrodes,” Nature Chemistry 4, 281 (2012),

⁹ Q. L. Bao, H. Zhang, Y. Wang, Z. H. Ni, Z. X. Shen, K. P. Loh, D. Y. Tang, “Atomic layer graphene as saturable absorber for ultrafast pulsed laser,” Adv. Funct. Mater. 19, 3077–3083 (2009),

¹⁰ T. Hasan, Z. Sun, F. Wang, F. Bonaccorso, P. H. Tan, A. G. Rozhin, and A. C. Ferrari, “Nanotube–Polymer Composites for Ultrafast Photonics,” Adv. Mater. 21, 3874–3899 (2009),

¹¹ C. Zhao, H. Zhang, X. Qi, Y. Chen, Z. Wang, S. Wen, D. Tang “Ultra-short pulse generation by a topological insulator based saturable absorber,” Appl. Phys. Lett. 101, 211106 (2012)



Rys. 1. Warstwa grafenu eksfoliowana mechanicznie przeniesiona na czoło światłowodu: a) morfologia próbki zmierzona mikroskopem AFM, b) zmierzone spektrum Ramana charakterystyczne dla jednej warstwy grafenu

Wykonane w tej technologii nasycalne absorbery wykorzystano do generacji solitonów optycznych w układzie lasera pierścieniowego z światłowodem aktywnym domieszkowanym jonami erbu. W tego typu układzie wygenerowano pierwsze w Polsce solitony optyczne na bazie grafenowego nasycalnego absorbera [A1]. Impulsy o czasie trwania ok. 850 fs powtarzane były na wyjściu lasera z podstawową częstotliwością repetycji 16,3 MHz. Zwiększając poziom mocy pompującej uzyskano zwiększenie liczby impulsów propagowanych w rezonatorze laserowym. Dobierając odpowiedni stan polaryzacji wewnątrz wnęki laserowej przy pomocy kontrolera polaryzacji doprowadzono do równomiernego rozłożenia tych impulsów w rezonatorze laserowym co skutkowało uzyskaniem harmonicznej synchronizacji modów. W tym trybie synchronizacji modów uzyskano generację maksymalnie 49-ciu równoodległych solitonów optycznych co odpowiadało zwiększeniu częstotliwości repetycji lasera (bez zmiany jego długości) od 16.3 MHz do 800 MHz [A1] (była to pierwsza na świecie demonstracja harmonicznej synchronizacji modów z lasera światłowodowego wykorzystującego nasycalny absorber na bazie mechanicznie eksfoliowanego grafenu). W ramach realizowanych badań nad mechaniczną eksfoliacją grafenu i jego wykorzystania do generacji ultrakrótkich impulsów uzyskano impulsy o maksymalnej szerokości połówkowej 9 nm co odpowiadało generacji impulsów o czasie trwania 630 fs [A2].

Zgodnie z teorią propagacji solitonów optycznych, rezonator laserowy o mniejszej wypadkowej dyspersji anomalnej umożliwia harmoniczną synchronizację modów z większymi częstotliwościami repetycji¹². W związku z czym przeprowadzono optymalizację rezonatora laserowego z nasycalnym absorberem wytworzonym w procesie mechanicznej eksfoliacji. Stosując światłowód aktywny o dyspersji normalnej i zmniejszając długość pasywnego światłowodu o dyspersji anomalnej do 1,6 m zbudowano laser o podstawowej częstotliwości repetycji 106 MHz i wypadkowej dyspersji $-0,031 \text{ ps}^2$ [A3]. Dla tak zoptymalizowanego rezonatora laserowego uzyskano harmoniczną

¹² C. Jun, S.Y. Choi, F. Rotermund, B.Y. Kim, D-I. Yeom, "Toward higher-order passive harmonic mode-locking of a soliton fiber laser," Opt. Lett. 37, 1862-1864 (2012),

synchronizację modów z rekordową dla laserów grafenowych częstotliwością repetycji 2,22 GHz. Na podkreślenie zasługuje fakt, że zmiana częstotliwości repetycji (generacja kolejnych harmoniczych) była liniowo zależna od poziomu mocy pompującej i nie wymagała zmian raz dobranego stanu polaryzacji wewnątrz rezonatora laserowego.

Wymagania stawiane laserom stosowanym w praktycznych aplikacjach to: duża odporność na zakłócenia zewnętrzne, samostartujący tryb pracy (brak konieczności kontroli polaryzacji wewnątrz wnęki laserowej) oraz liniowa polaryzacja wyjściowa. Spełnienie tych warunków w układach laserów światłowodowych możliwe jest praktycznie wyłącznie przez zastosowanie do konstrukcji rezonatorów światłowodów podtrzymujących stan polaryzacji światła (PM). W związku z faktem, że prowadzone prace mają w ujęci długoterminowym prowadzić do praktycznych aplikacji kolejne badania koncentrowały się na układach tego typu. Mechanicznie eksfoliowany grafen przekładano na czoła światłowodów PM i na ich bazie budowano rezonatory laserowe wykorzystujące tylko elementy pasywne z światłowodami PM (z typowego rezonatora pierścieniowego wyeliminowano kontroler polaryzacji inicjujący synchronizację modów w laserach z standardowymi światłowodami typu SMF-28). Dla tak skonstruowanych rezonatorów laserowych uzyskano samostartujący tryb pracy i generację ultrakrótkich impulsów o czasie trwania na poziomie 580 fs i stopniu spolaryzowania wiązki wyjściowej lepszym niż 93% [A4, A5]. Generacja impulsów spolaryzowanych liniowo w układzie lasera światłowodowego jest jednoznaczna z generacją solitonów skalarnych [A4]. Prace [A4,A5] stanowiły pierwsze na świecie demonstracje laserów samostartujących o liniowej polaryzacji wyjściowej wykorzystujących grafen jako nasycalny absorber.

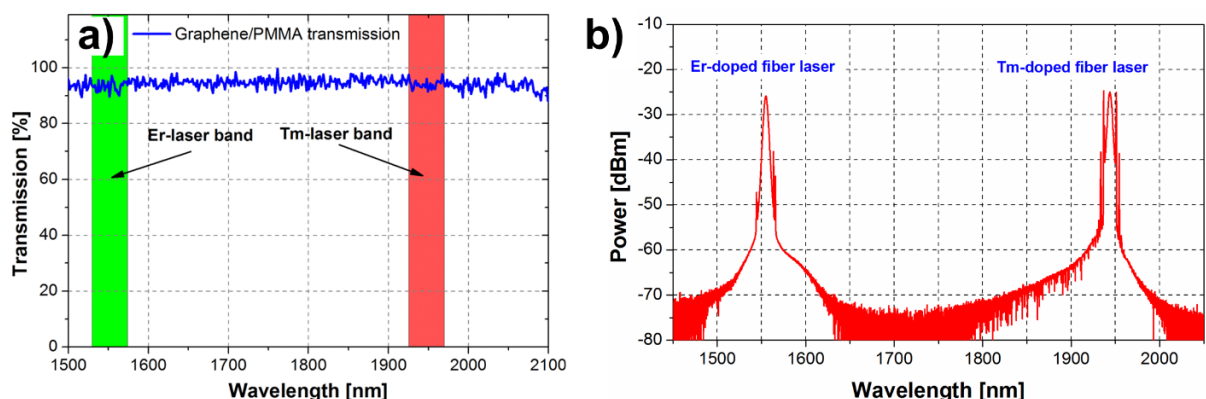
Wadą procesu mechanicznej eksfoliacji jest mała powtarzalność otrzymywanych struktur grafenowych jak również duża trudność ich przenoszenia na ferule światłowodowe. W celu ich eliminacji dalsze prace badawcze prowadzono przy współpracy z grupą dra W. Strupińskiego z Instytutu Technologii Materiałów Elektronicznych, która specjalizuje się w wytwarzaniu grafenu metodą epitaksji z fazy gazowej (CVD) na podłożach metalicznych (miedź, nikiel) i węgliku krzemu. Zastosowanie takiej technologii gwarantuje powtarzalność parametrów nasycalnych absorberów na bardzo wysokim poziomie. Pierwsze prace nad wykorzystaniem tego typu grafenu do synchronizacji modów lasera światłowodowego przeprowadzono z wykorzystaniem grafenu wytworzonego metodą CVD na podłożu miedzianym i przeniesionego na podłoże optyczne jakim była topiona krzemionka. Tak spreparowany nasycalny absorber umożliwił generację solitonów optycznych o szerokości 11,3 nm i czasie trwania impulsu 315 fs [A6] (były to wówczas najkrótsze impulsy solitonowe wygenerowane z wykorzystaniem nasycalnego absorbera na bazie grafenu).

Proces przekładania grafenu CVD na szklane podłoża optyczne charakteryzuje się dużą powtarzalnością jednakże wymusza budowę światłowodowych rezonatorów z elementami optyki

objętościowej co powoduje pogorszenie stabilności i niezawodności typowej dla rezonatorów całkowicie światłowodowych. W związku z tym do budowy rezonatorów całkowicie światłowodowych i bazujących na grafenie CVD wykorzystano kompozyty grafen/polimetakrylan metylu (PMMA) – cienki folie PMMA stanowią przezroczyste w zakresie bliskiej podczerwieni podłoże dla grafenu CVD. Kompozyt tego typu można w stosunkowo prosty sposób formować i nakładać warstwa po warstwie na feruli światłowodowej co pozwala na kontrolę głębokości modulacji nasycalnego absorbera. Wykorzystując w ten sposób wytworzony nasycalny absorber zbudowano samostartujący laser światłowodowy z światłowodem aktywnym domieszkowanym jonami erbu generujący impulsy o czasie trwania na poziomie 600 fs [A7]. W układzie tego lasera zastosowano regulowany tłumik, który umożliwiał przestrajanie długości fali w zakresie 4 nm a co najważniejsze pozwalał na eliminację składowej promieniowania ciągłego ze spektrum optycznego przez kontrolowane wprowadzanie strat do rezonatora laserowego.

Kompozyt grafen/PMMA wykorzystano również do generacji solitonów optycznych w układzie lasera światłowodowego z włóknem aktywnym domieszkowanym jonami tulu [A8]. Wygenerowane impulsy laserowe o szerokości spektralnej 4 nm i środkowej długości fali 1880 nm charakteryzowały się czasem trwania na poziomie 1,2 ps. Była to wówczas pierwsza demonstracja pasywnej synchronizacji modów w światłowodowym laserze bazującym na włóknie aktywnym domieszkowanym jonami tulu i nasycalnym absorberze z grafenem CVD.

Uzyskanie generacji impulsów z wykorzystaniem światłowodów aktywnych domieszkowanych jonami tulu i erbu oraz kompozytów grafen/PMMA, o płaskiej charakterystyce absorpcji liniowej w szerokim zakresie spektralnym (rys.2a), spowodowało, że naturalną konsekwencją prowadzonych badań był eksperymentalny dowód na możliwość zastosowania tego samego absorbera na bazie grafenu w różnych zakresach spektralnych.



Rys. 2. a) Płaska i szerokopasmowa charakterystyka absorpcji liniowej nasycalnego absorbera na bazie kompozytu grafen/PMMA, b) widmo optyczne lasera jednocześnie generującego ultrakrótkie impulsy w zakresach spektralnych odległych o ok. 400 nm z wykorzystaniem wspólnego nasycalnego absorbera

W układzie laserowym składającym się z dwóch rezonatorów pierścieniowych, wykorzystujących włókna aktywne domieszkowane talem i erbem, połączonych wspólną gałęzią zawierającą nasycalny absorber na bazie kompozytu grafen/PMMA uzyskano generację solitonów optycznych na długościach fali 1565 nm i 1944 nm (rys. 2b) i czasach trwania odpowiednio 933 fs i 1,03 ps [A9]. Częstotliwości repetycji obu rezonatorów pierścieniowych różniły się o 1,75 MHz.

Kolejnym etapem badań nad generacją ultrakrótkich impulsów w zakresach spektralnych 1550 nm i 1950 nm była próba synchronizacji generowanych impulsów laserowych. W tym celu zrównano długości optyczne obu pętli rezonatora badanego w pracy [A9]. W pętli lasera erbowego wstawiono dodatkowo optyczną linię opóźniającą, która umożliwiała zmianę jej częstotliwości repetycji. W momencie zrównania częstotliwości repetycji obu pętli następowała synchronizacja obu laserów co powodowało gwałtowny wzrost sygnału kroskorelacji pomiędzy generowanymi impulsami. Dalsza zmian długości optycznej pętli lasera erbowego powodowała jednoczesną zmianę częstotliwości repetycji lasera tulowego (praca w trybie master – slave). Zakres trzymania synchronizacji obu pętli wynosił 1,08 kHz co odpowiadało zmianie długości pętli lasera erbowego o 0,78 mm. Przeprowadzone badania [A10] stanowiły pierwszą demonstrację synchronizacji laserów generujących ultrakrótkie impulsy pracujących w zakresach spektralnych typowych dla światłowodów aktywnych domieszkowanych jonami tulu i erbu.

Prowadzone badania nad zastosowaniem nowych materiałów obejmują również tlenek grafenu i zredukowany tlenek grafenu. Wykorzystując podłoża z topionej krzemionki z naniesionymi warstwami tlenku grafenu i zredukowanego tlenku grafenu (uzyskane w procesie chemicznej eksfoliacji) przeprowadzono próby generacji impulsów w erbowym laserze światłowodowym. W obu przypadkach uzyskano generację solitonów optycznych o szerokościach połówkowych na poziomie 9 nm i czasach trwania impulsów 390 fs [A11]. Przeprowadzone badania pokazują, że oba badane materiały mogą być wykorzystywane w układach laserów do generacji ultrakrótkich impulsów.

Wykorzystując zredukowany tlenek grafenu, bezpośrednio naniesiony na złączkę światłowodową, uzyskano również pracę w trybie modulacji dobroci rezonatora w układzie lasera erbowego wykorzystującego światłowody PM [A12]. Wygenerowane liniowo spolaryzowane impulsy charakteryzowały się: czasem trwania na poziomie 1,85 μ s, częstotliwością repetycji 115 kHz i energią 125 nJ przy maksymalnej mocy pompującej 175 mW. Była to pierwsza demonstracja lasera światłowodowego z przełączaniem dobroci bazującego na włóknach PM i zredukowanym tlenku grafenu.

Generacja ultrakrótkich impulsów światła w laserach światłowodowych z wykorzystaniem nasycalnych absorberów na bazie izolatorów topologicznych.

Izolatory topologiczne (TI) są to materiały, które w swojej objętości zachowują się jak typowe izolatory o skończonej przerwie zabronionej, z powierzchniowymi stanami przewodzącymi, zamykającymi pasmową strukturę stanów objętościowych stożkami Diraca. Istnienie tego nowego stanu materii kwantowej zostało teoretycznie przewidziane w 2005 roku¹³. Eksperymentalna weryfikacja istnienia TI nastąpiła w roku 2007, kiedy to w układzie studni kwantowych HgTe/CdTe o szerokościach większych od 6,5 nm zaobserwowano powierzchniowe stany przewodzące (izolatory topologiczne 2D)¹⁴. Kolejnym przełomem była eksperymentalna weryfikacja teoretycznych przewidywań istnienia objętościowych TI (izolatory topologiczne 3D)^{15,16}. Do tej pory niezwykle właściwości powierzchniowe charakterystyczne dla TI odkryto w około 30 materiałach¹⁷. Zbliżona do grafenu struktura pasmowa TI powoduje, że jest to materiał transparentny w szerokim zakresie spektralnym, co determinuje ich potencjalne aplikacje takie jak przezroczyste kontakty elektryczne, detektory średniej i dalekiej podczerwieni, źródła terahercowe, tranzystory, spintronika, itp. Kolejnym niezmiernie istotnym potencjalnym zastosowaniem TI są szerokopasmowe nasycalne absorbery do synchronizacji modów w laserach i generacja ultrakrótkich impulsów światła.

Ze względu na fakt, że prace prowadzone przez inne grupy badawcze nad wykorzystaniem TI do generacji ultrakrótkich impulsów, koncentrowały się na wykorzystaniu selenku bizmutu (Bi_2Se_3) oraz tellurku bizmutu (Bi_2Te_3) rozpoczęłem badania nad wykorzystaniem do tego celu tellurku antymonu (Sb_2Te_3). Struktura krystaliczna Sb_2Te_3 podobna jest do grafitu – kwintety (odpowiednik pojedynczej warstwy grafenu) połączone ze sobą słabymi siłami Van der Waalsa. W związku z czym w celu uzyskania cienkich warstw Sb_2Te_3 , wykorzystano wcześniej opanowaną metodę mechanicznej eksfoliacji wychodząc z materiału objętościowego, tj. materiału wysokiej czystości (Goodfellow, fotografia na rys. 3b). W wyniku tego procesu uzyskano naniesioną na powierzchnię rdzenia światłowodu (rys. 3a,b) warstwę TI o grubości od 50 nm do 100 nm (zdjęcie z mikroskopu sił atomowych przedstawiono na rys. 3c).

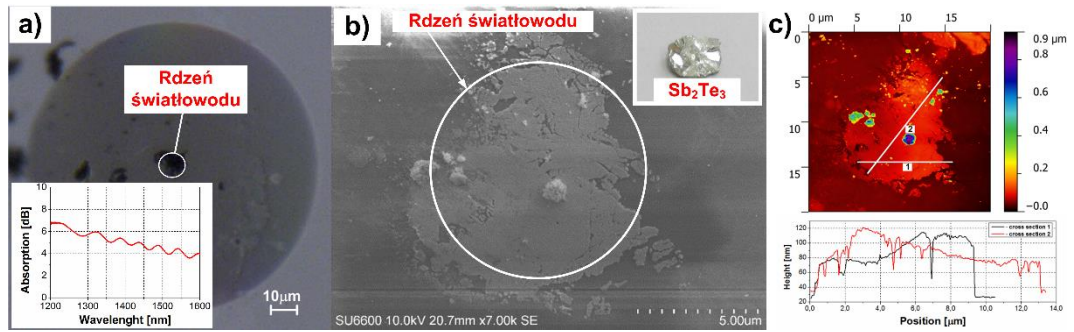
¹³ C. L. Kane and E.J. Mele, "Z2 topological order and the quantum spin hall effect," *Phys. Rev. Lett.* 95, 146802 (2005),

¹⁴ M. König *et al*, "Quantum spin hall insulator state in HgTe quantum wells," *Science* 318, 766 (2007),

¹⁵ D. Hsieh, *et al*, "A topological Dirac insulator in a quantum spin Hall phase," *Nature* 452, 970 (2008),

¹⁶ H. Zhang, *et al*, "Topological insulators in Bi_2Se_3 , Bi_2Te_3 and Sb_2Te_3 with a single Dirac cone on the surface," *Nature Phys.* 5, 438 (2009),

¹⁷ Y. Ando, "Topological Insulator Materials," *J. Phys. Soc. Jpn.* 82, 102001 (2013)

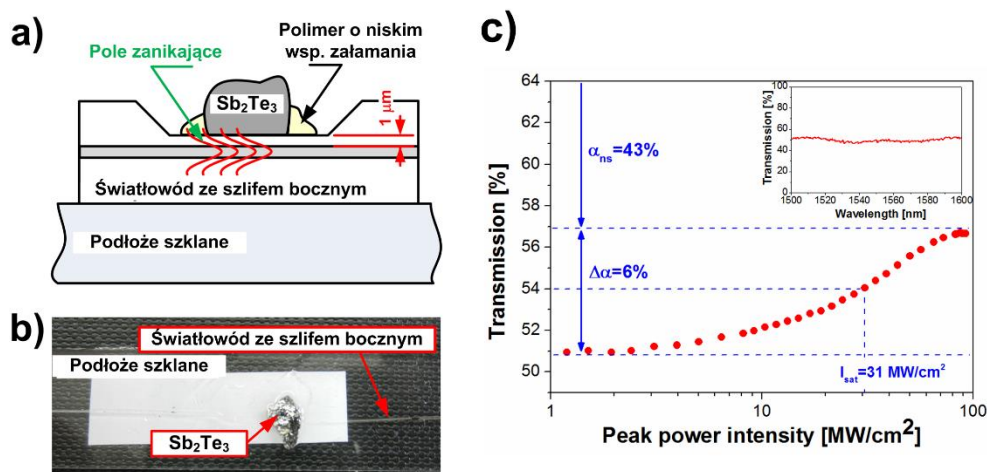


Rys. 3. Nasycalny absorber na bazie Sb_2Te_3 : a) czoło światłowodu z naniesioną warstwą TI (wstawienie: liniowa charakterystyka absorpcji), b) zdjęcie z SEM (bardzo dobre pokrycie rdzenia światłowodu z warstwą Sb_2Te_3), c) morfologii próbki (pomiar AFM)

Tak wykonany absorber wstawiano w układ pierścieniowego lasera światłowodowego ze światłowodem aktywnym domieszkowanym jonami erbu. Dla mocy pompujących na poziomie 70 mW i przez odpowiednie ustawienie stanu polaryzacji w rezonatorze, przy użyciu kontrolera polaryzacji, uzyskano pracę w trybie synchronizacji modów, tzn. generację solitonów optycznych o środkowej długości fali 1558,5 nm, czasie trwania 1,9 ps i częstotliwości repetycji 3,75 MHz z odstępem sygnału do szumu lepszym niż 55dB. Uzyskane wyniki stanowiły pierwszą na świecie demonstrację wykorzystania: nasycalnego absorbera na bazie mechanicznie eksfoliowanego TI oraz Sb_2Te_3 do synchronizacji modów w laserze światłowodowym [A13].

Wykorzystując tak uzyskany nasycalny absorber przeprowadzono również badania nad możliwością zwiększenia częstotliwości repetycji opracowanego lasera światłowodowego poprzez harmoniczną synchronizację modów. Optymalizując stan polaryzacji wewnątrz wnęki laserowej uzyskano generację kolejnych harmonicznych uzyskując maksymalną częstotliwość repetycji 304 MHz co odpowiadało 81-szej harmonicznej podstawowej częstotliwości repetycji lasera [A14]. Regulacja częstotliwości repetycji lasera z rozdzielczością 3,75 MHz uzyskiwana była jedynie przez zmianę mocy pompującej i nie wymagała dodatkowej kontroli stanu polaryzacji wewnątrz wnęki laserowej. Badania te stanowiły pierwszą demonstrację harmoniczną synchronizacji modów z wykorzystaniem nasycalnego absorbera na bazie Sb_2Te_3 .

Podobnie jak w przypadku mechanicznej eksfoliacji grafenu uzyskiwanie tą metodą cienkich warstw TI było obarczone bardzo niską powtarzalnością procesu. Powoduje to, że preparatyka nasycalnych absorberów tą metodą dla potencjalnych zastosowań aplikacyjnych jest praktycznie nieprzydatna. W celu eliminacji niedogodności towarzyszących mechanicznej eksfoliacji dalsze badania nad wykorzystaniem TI do generacji ultrakrótkich impulsów prowadzono z wykorzystaniem nasycalnych absorberów zbudowanych w oparciu o światłowody ze szlifem bocznym (Rys. 4.).



Rys. 4. Nasycalny absorber bazujący na oddziaływaniu pola zanikającego propagowanego w płaszczu światłowodu z Sb_2Te_3 : a) schemat przedstawiający zasadę działania układu, b) realizacja praktyczna, c) parametry optyczne wykonanego absorbera: głębokość modulacji $\Delta\alpha = 6\%$, absorpcja nienasycona $\alpha_{ns} = 43\%$, intensywność nasycenia $I_{sat} = 31 \text{ MW/cm}^2$, transmisja liniowa w zakresie spektralnym 1500 nm do 1600 nm na poziomie 50%.

W nasycalnym absorberze tego typu o zmianie absorpcji promieniowania propagowanego w światłowodzie decyduje oddziaływanie pomiędzy polem elektromagnetycznym propagowanym w płaszczu a izolatorem topologicznym umieszczonym na powierzchni wyszlifowania. W przeprowadzonych eksperymentach wykorzystano światłowody ze szlifem bocznym zoptymalizowane na zakres spektralny 1500 – 1600 nm (odległość rdzenia do powierzchni szlifu wynosiła 1 μm). Zaletą nasycalnych absorberów wytworzonych w tej technologii jest:

- wysoki próg zniszczenia – z izolatorem topologicznym oddziałuje jedynie promieniowanie wyciekające do płaszczu światłowodu (przy pompowaniu laserów światłowodowych mocą do 600 mW nie zaobserwowano optycznego zniszczenia absorbera),
- możliwość zastosowania izolatora topologicznego w formie materiału objętościowego (brak konieczności stosowania warstw o grubościach rzędu kilkunastu – kilkudziesięciu nanometrów), gdyż o liniowej zależności dyspersyjnej energii do pędu decydują stany powierzchniowe, które efektywnie oddziałują z promieniowaniem wyciekającym do płaszczu (w badaniach stosowano płatki Sb_2Te_3 o grubościach od 0,5 – 1 mm),
- powtarzalność wykonywania kolejnych struktur.

Dla absorberów wykorzystujących światłowody ze szlifem bocznym uzyskiwano głębokości modulacji na poziomie kilku procent. Praktyczną realizację i zmierzone parametry optyczne jednego z wykonanych absorberów przedstawiono odpowiednio na Rys. 4b i Rys. 4c.

Wykorzystując wykonany w ten sposób nasycalny absorber na bazie Sb_2Te_3 , o parametrach optycznych przedstawionych na Rys. 4c, w układzie lasera światłowodowego o dyspersji całkowicie anomalnej z włóknem aktywnym domieszkowanym jonami erbu wygenerowano solitony optyczne o

rekordowo krótkim czasie trwania 270 fs [A15]. Szerokość połówkowa generowanych solitonów optycznych wynosiła 10,3 nm a ich środkowa długość fali 1561 nm.

Kompensując anomalną dyspersję rezonatora laserowego generującego solitony optyczne przez zastosowanie odcinaka światłowodu o dyspersji normalnej (DCF – dispersion compensating fiber) uzyskano strukturę lasera ze zbalansowaną dyspersją. Wykorzystując ten sam nasycalny absorber co w laserze generującym solitony optyczne [A15] uzyskano generację impulsów o kształcie Gaussowskim i czasie trwania 128 fs przy szerokości połówkowej 30 nm [A16]. Częstotliwość repetycji tego lasera wynosiła 22,3 MHz. Była to pierwsza na świecie demonstracja lasera ze zbalansowaną dyspersją (ang. stretched – pulse laser) z nasycalnym absorberem na bazie izolatorów topologicznych. Wygenerowane impulsy o czasie trwania 128 fs są jak do tej pory najkrótszymi na świecie uzyskanymi z wykorzystaniem izolatorów topologicznych. Przeprowadzone badania pokazują również, że tego rodzaju nasycalne absorbery są elementami uniwersalnymi i mogą być z powodzeniem stosowane w układach laserów pracujących w różnych trybach dyspersyjnych.

Badania nad nasycalnymi absorberami na bazie izolatorów topologicznych prowadzone są również z wykorzystaniem zawiesin tych materiałów w rozpuszczalnikach. Otrzymywane są one w procesie eksfoliacji z fazy ciekłej. W przeprowadzonych badaniach wykorzystywano zawiesinę nanopłatków Sb_2Te_3 w chitozanie. W celu wytworzenia nasycalnego absorbera przy pomocy mikropipety nakładano na światłowody ze szlifem bocznym zawiesinę izolatora topologicznego. Po odparowaniu rozpuszczalnika uzyskiwano strukturę nasycalnego. Z wykorzystaniem tak wykonanych elementów w układzie lasera o dyspersji całkowicie anomalnej uzyskano generację solitonów optycznych o szerokości połówkowej 6 nm i czasie trwania 450 fs [A17]. Była to pierwsza demonstracja generacji ultrakrótkich impulsów z lasera światłowodowego wykorzystującego izolator topologiczny eksfoliowany w fazy ciekłej.

Podsumowanie

Omówiony jednotematyczny cykl publikacji prezentuje moje osiągnięcia w dziedzinie wykorzystania nowych materiałów takich jak grafen i izolatory topologiczne do generacji impulsów światła w laserach światłowodowych. Efektywna realizacja interdyscyplinarnego programu badawczego wymagała zaangażowania wiedzy i technologii z takich dziedzin jak: inżynieria i technologia nowych materiałów (wytwarzanie grafenu i izolatorów topologicznych metodami epitaksji oraz mechanicznej i chemicznej eksfoliacji), zaawansowane techniki badania i charakteryzacji materiałów (mikroskopia sił atomowych (AFM), skaningowa mikroskopia elektronowa (SEM), spektroskopia Ramana, spektroskopia rentgenowska z dyspersją energii (EDX), spektroskopia rentgenowska (XPS)) oraz technika laserów światłowodowych i wiedzy z optyki nieliniowej.

Implikowało to konieczność współpracy wielu grup badawczych o zdywersyfikowanych kompetencjach. W efekcie ich umiejętnego połączenia i ukierunkowania na badania nad generacją ultrakrótkich impulsów z wykorzystaniem nasycalnych absorberów na bazie nowych materiałów uzyskano szereg wyników pionierskich w skali globalnej. Do najważniejszych z nich zaliczyć należy:

- opanowanie metody mechanicznej eksfoliacji grafenu z bloku grafitowego oraz wykonywania nasycalnych absorberów wykorzystujących tak uzyskany grafen. Bazując na tego typu absorberach zademonstrowano: pierwszy w Polsce laser z grafenowym nasycalnym absorberem [A1], pierwszy raz na świecie harmoniczną synchronizację modów [A1] oraz uzyskano rekordową częstotliwość repetycji z tego typu lasera [A3], pierwszy raz na świecie samostartujące układy laserów na bazie włókien utrzymujących stan polaryzacji [A4, A5],
- zwiększenie powtarzalności parametrów wykonywanych absorberów przez zastosowanie kompozytów grafen/PMMA. Wykorzystując tego typu materiał uzyskano generację solitonów optycznych w zakresach spektralnych: 1550 nm (zakres wzmocnienia włókien domieszkowanych jonami erbu) [A7] oraz 1950 nm (zakres wzmocnienia włókien domieszkowanych jonami tulu) [A8],
- pierwsza na świecie demonstracja: jednoczesnej generacji solitonów optycznych w różnych zakresach spektralnych (1550 nm i 1950 nm) z wykorzystaniem wspólnego nasycalnego absorbera na bazie grafenu [A9] oraz pasywnej synchronizacji impulsów laserowych wygenerowanych w tych zakresach spektralnych [A10],
- wykorzystanie tlenku grafenu i zredukowanego tlenku grafenu do generacji: solitonów optycznych o czasach trwania kilkuset femtosekund [A11] jak również impulsów o czasach trwania pojedynczych mikrosekund [A12],
- generacja ultrakrótkich impulsów z wykorzystaniem izolatorów topologicznych eksfoliowanych mechanicznie [A13, A14],
- opracowanie nasycalnych absorberów na bazie Sb_2Te_3 wykorzystujących światłowody ze szlifem bocznym oraz generacja rekordowo krótkich impulsów solitonowych [A15] i gaussowskich [A16].

Wypracowany podczas realizacji przedstawionego programu badawczego efektywny schemat współpracy pomiędzy poszczególnymi zespołami naukowymi pozwolił na prowadzenie badań w tej dziedzinie na najwyższym światowym poziomie o czym świadczą liczne cytowania prac opublikowanych w ostatnich dwóch latach.

5. Omówienie pozostałych osiągnięć naukowo – badawczych (artystycznych).

5.1. Opis działalności naukowej przed uzyskaniem stopnia doktora

Działalność naukową jak również pracę magisterską rozpocząłem w Zakładzie Teorii Pola Elektromagnetycznego i Elektroniki Kwantowej, Instytutu Telekomunikacji, Teleinformatyki i Akustyki Politechniki Wrocławskiej na czwartym roku studiów pod kierunkiem dr inż. Arkadiusza Antończaka. Zapoczątkowane wówczas badania ukierunkowane były na opracowanie jednoczęstotliwościowych laserów ciała stałego pracujących na długości fali 532 nm do zastosowań w interferometrii i wibrometrii laserowej. Prowadzone prace eksperymentalne ograniczały się do badania struktury częstotliwościowo – modowej monolitycznych mikrolaserów w konfiguracji Nd:YVO₄/KTP [D1.4]¹⁸. W wyniku przeprowadzonych badań stwierdzono, że układy laserowe tego typu umożliwiają generację jednego modu podłużnego, jednakże bardzo niska powtarzalność uzyskiwanych parametrów dyskwalifikuje możliwość zastosowania tego typu rezonatorów w praktycznych aplikacjach. Monolityczna konfiguracja badanych rezonatorów była niezwykle atrakcyjna ze względu na prostotę praktycznego zastosowania w głowicach laserowych. Spowodowało to, że dalsze prace badawcze ukierunkowane były na opracowaniu metody wymuszania pracy jednoczęstotliwościowej mikrolaserów na ciele stałym z zachowaniem monolitycznej konfiguracji rezonatora laserowego.

Zapoczątkowana tematyka badawcza stanowiła myśl przewodnią realizowanej, od 01.10.2005 roku, pracy doktorskiej pod promotorstwem prof. Krzysztofa M. Abramskiego w Katedrze Teorii Pola Elektromagnetycznego, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki Politechniki Wrocławskiej. Badania nad wymuszaniem pracy jednoczęstotliwościowej w układach laserów na ciele stałym pracujących w zakresie światła widzialnego rozpocząłem od projektowania rezonatora laserowego z filtrem dwójłomnym utworzonym przez płytkę Brewstera i kryształ nieliniowy KTP. Badana konfiguracja umożliwiała na powtarzalną i efektywną generację promieniowania laserowego o długości fali 532 nm i jednym modzie podłużnym [B1.8, B1.9, C1.13, D1.3, E1.1, E1.2]. Rozwiązanie to jednak nie pozwalało na budowę rezonatora monolitycznego. Badania te realizowano

¹⁸ Odniesienia do dorobku przedstawionego w bibliografii na str. 23:

- [B1.1 – B1.9] – publikacje w czasopismach przed uzyskaniem stopnia doktora,
- [B2.1 – B2.24] – publikacje w czasopismach po uzyskaniu stopnia doktora,
- [C1.1 – C1.13] – publikacje pokonferencyjne przed uzyskaniem stopnia doktora indeksowane w bazie Web of Science,
- [C2.1 – C2.20] – publikacje pokonferencyjne po uzyskaniu stopnia doktora indeksowane w bazie Web of Science,
- [D1.1 – D1.4] – Prezentacje i wystąpienie konferencyjne przed uzyskaniem stopnia doktora, w których efekcie nie powstały materiały indeksowane w bazie Web of Science,
- [D2.1 – D2.16] - Prezentacje i wystąpienie konferencyjne po uzyskaniu stopnia doktora, w których efekcie nie powstały materiały indeksowane w bazie Web of Science,
- [E1.1 – E1.7] – patenty i zgłoszenia patentowe przed uzyskaniem stopnia doktora,
- [E2.1 – E2.11] - patenty i zgłoszenia patentowe po uzyskaniu stopnia doktora,

w ramach projektu zamawianego „Opracowanie układu kontroli i aktywnej stabilizacji częstotliwości mikrolaserów jednoczęstotliwościowych ciała stałego”.

Zdobyta podczas tych badań wiedza i doświadczenie pozwoliły na intensyfikację prac nad monolityczną strukturą rezonatora laserowego umożliwiającego generację jednego modu podłużnego. Moim oryginalnym osiągnięciem w tej dziedzinie jest modyfikacja konfiguracji filtra dwójłomnego poprzez zastąpienie płytki Brewstera kryształem nieliniowym YVO₄ w konfiguracji przestrzennego dzielnika polaryzacji. Pozwoliło to na budowę monolitycznego rezonatora laserowego składającego się z trzech kryształów optycznych połączonych ze sobą klejem optycznym, ze zwierciadłami naniesionymi bezpośrednio na powierzchnie kryształów optycznych. Zbudowany rezonator laserowy w konfiguracji Nd:YVO₄/YVO₄/KTP o wymiarach 1x1x10.5 mm³ pozwalał na kontrolowaną pracę jednoczęstotliwościową na długości fali 532 nm z mocą wyjściową na maksymalnym poziomie 160 mW [B1.4, B1.5, C1.3, C1.6, C1.8, D1.1]. W celu uzyskania stabilności częstotliwości na poziomie 10⁻⁸ wymaganym w aplikacjach metrologicznych zaproponowałem oryginalną metodę aktywnej stabilizacji częstotliwości wykorzystującą jako wzorzec częstotliwości ultra-wąską światłowodową siatkę Bragga w obudowie atermicznej [C1.9, C1.11, C1.12]. Metoda ta została opatentowana [E2.2, E2.3]. Prace badawcze nad monolitycznymi układami mikrolaserów mających potencjał w aplikacjach metrologicznych ukierunkowane były również na opracowanie laserów dwuczęstotliwościowych o ortogonalnych polaryzacjach [D1.2, E2.1].

Rozwojem opracowanej metody wymuszania pracy jednoczęstotliwościowej i stabilizacji częstotliwości zainteresowana była Europejska Agencja Kosmiczna, która w ramach programu Plan for European Cooperating States (PECS) wyraziła chęć finansowania dalszych badań rozwojowych w tym temacie. Projekt „Construction, development and optimization of single frequency microchip lasers” został pozytywnie oceniony i zakwalifikowany do finansowania w 2009 roku. Ze względów administracyjnych niezależnych od Politechniki Wrocławskiej faktyczna realizacja projektu rozpoczęła się w 2012 roku.

Prócz prac badawczych w zakresie mikrolaserów na ciele stałym brałem również aktywny udział w badaniach struktur wzmacniaczy światłowodowych wykorzystujących włókna aktywne z podwójnym płaszczem (prace prowadzone w ramach projektu rozwojowego). W ramach projektu byłem odpowiedzialny za opracowanie oraz wykonanie układów sterowania pompujących diod laserowych średniej i dużej mocy. Zajmowałem się również projektowaniem układów zabezpieczających diody pompujące przed zniszczeniem w wyniku propagowanego wstecznie rozpraszanego promieniowania laserowego [B1.2, B1.3, B1.7, C1.4, C2.19, C2.20, E1.3, E2.4 - E2.11]

Byłem również zaangażowany w badania nad zastosowaniem techniki światłowodowej do bezkontaktowego pomiaru drgań różnych obiektów, które prowadzono w ramach projektu

międzynarodowego „Opracowanie i rozwój nowatorskiej techniki wielopunktowego monitorowania laserowo-światłowodowego na potrzeby ochrony środowiska przed hałasem i wibracjami” [C1.2, C1.5, C2.15, C2.18, E1.4 – E1.7]. Obok zaangażowania w prace rozwojowe odpowiadałem za zarządzanie projektem od strony finansowej i administracyjnej pełniąc funkcję koordynatora projektu ds. administracyjnych i finansowych. Byłem odpowiedzialny za prowadzenie dokumentacji finansowej projektu oraz przygotowywanie wniosków o płatność oraz raportów okresowych.

Wyniki uzyskane w ramach prowadzonych prac badawczych przed uzyskaniem stopnia doktora zostały opublikowane w 9-ciu pracach w czasopismach (w tym 7 z tzw. listy filadelfijskiej o łącznym współczynniku wpływu **IF=12,548**) oraz w 13-tu publikacjach pokonferencyjnych indeksowanych w bazie Web of Science. Prace rozwojowe zaowocowały powstaniem siedmiu zgłoszeń patentowych.

Prowadzona działalność naukowa została doceniona przez Komisję przyznającą stypendia Rektora Politechniki Wrocławskiej dla najlepszych doktorantów, które otrzymałem dwukrotnie w latach 2009 i 2010. Urząd Marszałkowski Województwa Dolnośląskiego przyznał mi dwukrotnie stypendia w ramach programu „Grant”.

5.2. Opis działalności naukowej po uzyskaniu stopnia doktora

Po obronie pracy doktorskiej 05.07.2011 roku zostałem zatrudniony na stanowisku naukowym (w okresie 05.2011 – 06.2012: asystent naukowy, od 06.2012: adiunkt naukowy) w Katedrze Teorii Pola, Układów Elektronicznych i Optoelektroniki Politechniki Wrocławskiej. W swojej pracy naukowej skoncentrowałem się na dwóch tematykach badawczych:

- optymalizacji jednoczęstotliwościowych mikrolaserów ciała stałego,
- wykorzystaniu nowych materiałów takich jak grafen i izolatory topologiczne jako nasycalne absorbery do generacji ultrakrótkich impulsów w laserach światłowodowych.

Pierwsze z zagadnień badawczych wsparte było finansowo przez Europejską Agencję Kosmiczną poprzez projekt „Construction, development and optimization of single frequency microchip lasers”. W ramach prowadzonych badań zoptymalizowano układ jednoczęstotliwościowego mikrolasera ciała stałego pracującego na długości fali 532 nm [B2.5, B2.17, C2.17]. Moduł rezonatora laserowego wyposażono w zminiaturyzowane: układy wzbudzania optycznego, kontroli prądu i temperatury oraz w układ aktywnej stabilizacji częstotliwości wykorzystujący jako wzorzec częstotliwości światłowodową siatkę Bragga. Układ lasera doprowadzono do postaci prototypu [C2.4].

Przeprowadzono szereg prac badawczych nad możliwością wykorzystania opracowanej podczas doktoratu metody wymuszania pracy jednoczęstotliwościowej do uzyskania generacji promieniowania laserowego na innych długościach fali. W ich efekcie zoptymalizowano układ rezonatora laserowego w konfiguracji Nd:YVO₄/YVO₄/YVO₄ o wymiarach 1x1x7.5 mm³ umożliwiającą generację jednego

modu podłużnego na długości fali 1064,4 nm o maksymalnej mocy wyjściowej na poziomie 0,5 W [C2.7]. Zademonstrowano również możliwość uzyskania pracy jednoczesnościowej na długości fali 1342 nm (układ rezonatora Nd:YVO₄/YVO₄/YVO₄ wykorzystujący pasmo wzmocnienia ośrodka aktywnego w zakresie długości fali 1342 nm) oraz na długości fali 671 nm (układ rezonatora z podwajaniem częstotliwości w konfiguracji Nd:YVO₄/YVO₄/BiBO/YVO₄).

Opracowany układ lasera pracujący na długości fali 1064,4 nm został zastosowany jako laser sygnałowy w układzie komercyjnego wzmacniacza światłowodowego wykorzystującego włókna aktywne domieszkowane jonami iterbu. Uzyskane obiecujące rezultaty tych badań spotkały się ze znacznym zainteresowaniem firm komercyjnych czego efektem jest aktualnie podejmowana w ramach programu Tango (wniosek projektowy „Opracowanie, optymalizacja i integracja jednoczesnościowego lasera sygnałowego pracującego na długości fali 1064 nm ze wzmacniaczem światłowodowym średniej mocy”) próba komercjalizacji tego typu lasera.

Drugim z obszarów badawczych, który intensywnie eksplorowałem, jest zastosowanie nowych materiałów (grafen, tlenek grafenu, izolatory topologiczne, nanorurki węglowe) do generacji ultrakrótkich impulsów światła. Prace, które zainicjowałem wspólnie z ówczesnym doktorantem Grzegorzem Soboniem (autorzy pierwszego w Polsce lasera wykorzystujący grafen jako nasycalny absorber) w tym zakresie stanowią niezmiernie istotny wkład w światowe osiągnięcia w dziedzinie laserów ultraszybkich, a liczne z uzyskanych rezultatów mają charakter pionierski i unikalny na skalę światową. W ramach dotychczas prowadzonych badań opanowano proces mechanicznej eksfoliacji grafenu i izolatorów topologicznych, zaprojektowano, skonstruowano i uruchomiono szereg układów laserów światłowodowych wykorzystujących te materiały jako nasycalne absorbery do generacji femtosekundowych impulsów laserowych w zakresie bliskiej podczerwieni. Rezultaty trwających od niespełna trzech lat badań, nad wykorzystaniem tych materiałów jako nasycalnych absorberów w układach laserów światłowodowych, zostały opublikowane w 23-ech artykułach w recenzowanych czasopismach z listy filadelfijskiej. Do najważniejszych osiągnięć w tej tematyce należy zaliczyć:

- Pierwszą na świecie demonstrację generacji ultrakrótkich impulsów w układzie lasera światłowodowego zbudowanego z światłowodów utrzymujących stan polaryzacji światła z nasycalnym absorberem na bazie grafenu. Laser emitujący ciąg spolaryzowanych liniowo impulsów o czasie trwania ok. 570 fs [B2.20, C2.13]. Pierwsza eksperymentalna weryfikacja generacji solitonów skalarnych z użyciem nasycalnego absorbera na bazie grafenu [B2.23],
- pierwszą na świecie demonstrację harmoniczną synchronizacji modów w laserze światłowodowym wykorzystującym grafen eksfoliowany mechanicznie [B2.24],

- demonstrację lasera, wykorzystującego grafen do pasywnej synchronizacji modów, z najwyższą dotychczas prezentowaną na świecie częstotliwością repetycji 2.22 GHz [B2.21, C2.9],
- pierwsze na świecie bezpośrednie porównanie możliwości generacji impulsów z wykorzystaniem tlenku grafenu oraz zredukowanego tlenku grafenu (publikacja w Optics Express, wymieniona wśród 15 najczęściej cytowanych artykułów w ciągu ostatnich 2 lat w tym czasopiśmie) [B2.18, D2.13],
- pierwszy na świecie liniowo spolaryzowany laser światłowodowy z pasywną modulacją dobroci z użyciem zredukowanego tlenku grafenu [B2.15],
- pierwsza na świecie demonstracja lasera światłowodowego domieszkowanego tlenkiem z kompozytem grafenowo – polimerowym [B2.13, D2.8],
- pierwsza na świecie demonstracja generacji promieniowania w dwóch zakresach spektralnych (1565 nm i 1944 nm) z lasera światłowodowego z wspólnym nasycalnym absorberem – praca stanowi eksperymentalny dowód na możliwość użycia grafenu do synchronizacji modów w różnych zakresach spektralnych [B2.12, C2.5],
- pierwsza na świecie demonstracja pasywnej synchronizacji dwóch laserów generujących ultrakrótkie impulsy w zakresach długości fali 1550 nm i 1940 nm – praca stanowi eksperymentalny dowód na możliwość wykorzystania nieliniowości grafenu zarówno do uzyskania generacji impulsów ultrakrótkich jak również do zwiększenia zakresu pracy w synchronizmie dwóch niezależnych laserów [B2.7, D2.1, D2.6],
- pierwsza na świecie demonstracja generacji impulsów ultrakrótkich z wykorzystaniem topologicznego izolatora – tellurku antymonu (Sb_2Te_3) [B2.8, B2.1, C2.12, D2.2, D2.10],
- pierwsza na świecie demonstracja harmonicznej synchronizacji modów w laserze światłowodowym wykorzystującym topologiczny izolator Sb_2Te_3 [B2.4],
- pierwsza na świecie demonstracja generacji impulsów ultrakrótkich z wykorzystaniem topologicznego izolatora w laserze światłowodowym ze zbalansowaną dyspersją. Jak do tej pory wygenerowane impulsy o czasie trwania 128 fs są najkrótszymi uzyskanymi w laserach z topologicznymi izolatorami [B2.3].

W mojej opinii prowadzone prace badawcze określić można jako pionierskie w skali świata. Uzyskane wyniki stanowią istotny wkład w światowy stan wiedzy wykorzystania nowych materiałów do generacji ultrakrótkich impulsów laserowych.

Prace badawcze nad zastosowaniem grafenu, tlenku grafenu i zredukowanego tlenku grafenu do generacji ultrakrótkich impulsów realizowane są przy wsparciu dwóch projektów badawczych (programy: OPUS i Iuventus Plus) oraz projektu badawczo – rozwojowego w ramach programu Graf-Tech (projekt UltraGRAPH). Prace prowadzone w ramach projektu UltraGRAPH ukierunkowane są

na opracowanie prototypu femtosekundowego lasera światłowodowego wykorzystującego grafen jako nasycalny absorber oraz jego komercjalizację przy współpracy partnera przemysłowego.

Opracowane rezonatory laserowe wykorzystujące grafen i izolatory topologiczne jako nasycalne absorbery charakteryzują się mocą średnią na niskim poziomie kilku mW. Większość praktycznych aplikacji wymaga mocy na poziomie kilku watów. W związku z tym prowadzone są prace nad wzmacnianiem promieniowania sygnałowego w układach typu „*chirped pulse amplification*” (CPA) [B2.6, B2.16, C2.6, D2.3, D2.14]. Jedną z aplikacji, do których wykorzystywane są wzmacnione impulsy światła o czasach trwania na poziomie kilkuset femtosekund jest generacja supercontinuum w światłowodach fotonicznych [B2.9, B2.11, C2.2, C2.3, C2.8, C2.11].

Prowadzone badania nad wykorzystaniem nowych materiałów do generacji ultrakrótkich impulsów mają charakter interdyscyplinarny. Efektywna ich realizacji wymaga zaangażowania grup badawczych specjalizujących się w: wytwarzaniu nowych materiałów, ich charakteryzacji z wykorzystaniem zaawansowanych metod pomiarowych (SEM, AFM, spektroskopia Ramana itp.). W związku z czym aby możliwe było prowadzenie badań na najwyższym poziomie nawiązałem współpracę badawczą z licznymi grupami badawczymi z Polski i ze świata¹⁹. Badania te obok charakteru poznawczego właściwego dla badań podstawowych mają również charakter aplikacyjny. Na tym polu prowadzona jest współpraca z światowym liderem produkującym systemy laserowe dla zastosowań przemysłowych – firmą Trumpf.

Badania naukowe, w których realizację byłem/jestem zaangażowany prowadzone były/są w ramach 15-tu projektów²⁰. W 4-rech z nich pełniłem rolę kierownika projektu, w 6-ciu głównego wykonawcy a w pozostałych wykonawcy. Trzy projekty finansowane były z funduszy europejskich (Norweski Mechanizm Finansowy, Unia Europejska, Europejska Agencja Kosmiczna).

Wyniki uzyskane w ramach prowadzonych prac badawczych po uzyskaniu stopnia doktora zostały opublikowane w 24-ech publikacjach w czasopiśmie (w tym 23 z tzw. listy filadelfijskiej o łącznym współczynniku wpływu **IF=77,624**). Prezentowane były w ramach 35-ciu wystąpień konferencyjnych, z których 19-cie opublikowano w materiałach konferencyjnych indeksowanych w Web of Science. Aplikacyjny charakter prowadzonych prac został potwierdzony uzyskaniem 9-ciu patentów i dwóch zgłoszeń patentowych (w tym jednego międzynarodowego). Na dzień 01.09.2014r zgodnie z danymi z bazy Web of Science moje prace były **cytowane 178 razy** (z wyłączeniem autocytowań) a indeks **H=10**.

W ramach prowadzonych badań naukowych pełnię funkcję opiekuna pomocniczego dwóch doktorantów: mgr inż. Jana Tarki i mgr Macieja Kowalczyka. Sprawuję również opiekę nad

¹⁹ Szczegóły dotyczące prowadzonej współpracy zamieszczono w załączniku nr 3 w punkcie III H

²⁰ Szczegóły dotyczące realizowanych projektów zamieszczono w załączniku nr 3 w punkcie II G

studentami realizującymi projekt w ramach programu „Generacja przyszłości” finansowanego przez MNiSW.

W okresie po obronie pracy doktorskiej pogłębiałem również zainteresowania związane z metodyką zarządzania projektami. Zdobyte w tej dziedzinie doświadczenie w ramach realizacji projektu „Opracowanie i rozwój nowatorskiej techniki wielopunktowego monitorowania laserowo-światłowodowego na potrzeby ochrony środowiska przed hałasem i wibracjami” ugruntowałem, przez zdobycie odpowiedniej wiedzy teoretycznej, kończąc studia podyplomowe „Zarządzanie projektem badawczym i komercjalizacja wyników badań” oraz uzyskując Certyfikat Międzynarodowego Stowarzyszenia Menadżerów Projektów IPMA na poziomie D.

Dorobek naukowy oraz prowadzone badania naukowe zostały wysoko ocenione przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, które przyznało mi trzyletnie stypendium (2013 – 2016) dla najlepszych młodych naukowców oraz grant badawczy w ramach programu Iuventus Plus.

Bibliografia

1. Dorobek naukowy przed uzyskaniu stopnia doktora

1.1. Publikacje w czasopismach naukowych

- [B1.1] A. Antończak, P. Kozioł, **J. Sotor**, P. Kaczmarek, K. Abramski, “Laser Doppler vibrometry with a single-frequency microchip green laser”, *Meas. Sci. Technol.* 22, 115306-1- 115306-10 (2011), **IF = 1,353**,
- [B1.2] G. Sobon, P. Kaczmarek, A. Antonczak, **J. Sotor**, A. Waz, K.M. Abramski, “Pulsed dual-stage Fiber-MOPA source operating at 1550 nm with arbitrarily shaped output pulses”, *Appl. Phys., B Lasers Opt.*, 105, 721-727 (2011), **IF = 2,24**,
- [B1.3] G. Sobon, P. Kaczmarek, A. Antonczak, **J. Sotor**, K.M. Abramski, Controlling the 1 μm spontaneous emission in Er/Yb co-doped fiber amplifiers, *Opt. Express*, 19, 19104-19113 (2011), **IF = 3,753**,
- [B1.4] **J.Z. Sotor**, G. Dudzik, A.J. Antonczak, K.M. Abramski, “Single-longitudinal mode, monolithic, green solid-state laser”, *Appl. Phys., B Lasers Opt.* 103, 67-74 (2011), **IF = 2,24**,
- [B1.5] **J.Z. Sotor**, A.J. Antonczak, K.M. Abramski, “Single-longitudinal mode Nd:YV0₄/YV0₄/KTP green solid state laser” *Opto-Electron. Rev.* 18, 75-79 (2010), **IF = 1,168**,
- [B1.6] A.J. Antonczak, **J.Z. Sotor**, M. Matysiak, K.M. Abramski, “Blue 473-nm solid state diode pumped Nd:YAG/BiB0 microchip laser.” *Opto-Electron. Rev.* 18, 71-74 (2010), **IF = 1,168**,
- [B1.7] K. Kaczmarek, G. Sobon, **J.Z. Sotor**, A.J. Antonczak, K.M. Abramski, “Fiber-MOPA sources of coherent radiation” *Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences.* 58, 485-489 (2010), **IF = 0,626**,

- [B1.8] A.J. Antonczak, **J.Z. Sotor**, K.M. Abramski, “Single frequency microchip solid state diode pumped lasers.” Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences. 56, 113-116 (2008),
- [B1.9] A.J. Antonczak, **J.Z. Sotor**, K.M. Abramski, „Układy kontroli i aktywnej stabilizacji częstotliwości jednoczesnościowych mikrolaserów ciała stałego”, Elektronika (Warszawa) 49 (11), 104-108 (2008)

1.2. Publikacje pokonferencyjne indeksowane w bazie Web of Science

- [C1.1] A.J. Antonczak, P.E. Koziol, **J.Z. Sotor**, K.M. Abramski, “Green laser vibrometry based on single frequency monolithic microchip laser”, Proc. SPIE 8037, Laser Radar Technology and Applications XVI, 80370W (9 June 2011),
- [C1.2] A. Waz, P.R. Kaczmarek, A.J. Antonczak, G. Dudzik, **J.Z. Sotor**, G. Sobon, K. Krzempek, K.M. Abramski, “Multichannel flexible fiber vibrometer”, Proc. SPIE 8037, Laser Radar Technology and Applications XVI, 80370X (9 June 2011),
- [C1.3] **J.Z. Sotor**, A.J. Antonczak, K.M. Abramski, “Single frequency, monolithic green DPSS laser”, Proc. SPIE 7578, Solid State Lasers XIX: Technology and Devices, 75782J (17 February 2010),
- [C1.4] G. J. Sobon, P. Kaczmarek, A. Antonczak, **J. Sotor**, A. Waz, and K. Abramski, “Pulsed Fiber-MOPA source operating at 1550 nm with pulse distortion pre-compensation”, in Optical Fiber Communication Conference/National Fiber Optic Engineers Conference 2011, OSA Technical Digest (CD) (Optical Society of America, 2011), paper OMQ5,
- [C1.5] A. Waz, P. Kaczmarek, A. Antonczak, **J. Sotor**, G. Dudzik, M. Nikodem, G. Sobon, M. Walczakowski, „WDM-Vibrometry at 1550 nm”, AIP Conference Proceedings 1253, 249-253 (2010),
- [C1.6] **J. Sotor**, A. Antonczak, K.M. Abramski, „Single frequency monolithic solid state green laser as a potential source for vibrometry systems” AIP Conference Proceedings 1253, 313-316 (2010),
- [C1.7] A. Antonczak, P. Koziol, J. Sotor, P. Kaczmarek, A. Waz, K.M. Abramski, „Elementary experiments in green laser vibrometry”, AIP Conference Proceedings 1253, 321-324 (2010),
- [C1.8] **J.Z. Sotor**, A.J. Antonczak, K.M. Abramski, “Single frequency, widely tunable green microchip laser”, Proceedings of ICTON '09. 11th International Conference on Transparent Optical Networks 2009, pp.1-4, doi: 10.1109/ICTON.2009.5185157,
- [C1.9] J. Antonczak, **J.Z. Sotor**, K.M. Abramski, “Single frequency solid state laser stabilized by FBG”, Proceedings of ICTON '08. 10th International Conference on Transparent Optical Networks 2008. vol.4, pp.346-349, doi: 10.1109/ICTON.2008.4598808,
- [C1.10] A.J. Antonczak, M. Matysiak, **J.Z. Sotor**, K.M. Abramski, “Diode Pumped Compact Nd:YAG/BiBO Blue Laser at 473 nm”, Proceedings of ICTON '07. 9th International Conference on Transparent Optical Networks 2007 vol.4, pp.227-229, doi: 10.1109/ICTON.2007.4296385

- [C1.11] **J.Z. Sotor**, A. Antonczak, K. Abramski, "Optical FM demodulation by Fibre Bragg Grating", Proceedings of ICTON '07. 9th International Conference on Transparent Optical Networks 2007 vol.4, pp.216-218, doi: 10.1109/ICTON.2007.4296382,
- [C1.12] **J.Z. Sotor**, A. Antonczak, K. Abramski, "Fiber Bragg Gratings as references for frequency stabilization of microchip laser", Proceedings of ICTON '06. 8th International Conference on Transparent Optical Networks 2006 vol. 4, pp. 167-169, doi: 10.1109/ICTON.2006.248529,
- [C1.13] A.J. Antończak, **J.Z. Sotor**, K.M. Abramski, "Single frequency green laser with birefringent filter", Proceedings of ICTON '06. 8th International Conference on Transparent Optical Networks 2006 vol. 4, pp. 178-180, doi: 10.1109/ICTON.2006.248532

1.3. Prezentacje i wystąpienie konferencyjne, w których efekcie nie powstały materiały indeksowane w bazie Web of Science

- [D1.1] **J.Z. Sotor**, A.J. Antończak, K.M. Abramski, *Single-longitudinal mode miniature, green solid state laser*, 4th EPS-QEOD Europhoton Conference, Hamburg Niemcy, 29.08-3.09.2010,
- [D1.2] **J.Z. Sotor**, A. Antonczak, K. Abramski, *Two frequency, orthogonal polarized Nd:YVO₄ microchip laser*, 3rd EPS-QEOD Europhoton Conference, Paryż Francja, 31.08-5.09.2008,
- [D1.3] A.J. Antończak, **J.Z. Sotor**, K.M. Abramski, *Single frequency Nd:YAG/KTP stabilized by fiber Bragg grating*, 2nd EPS-QEOD Europhoton Conference, Piza Włochy, 10-15.09.2006,
- [D1.4] A.J. Antończak, P.R. Kaczmarek, **J.Z. Sotor**, K.M. Abramski, *Fast frequency modulation of hybrid Nd:YVO₄/KTP 532 nm microchip laser*, Lasers and Electro-Optics Europe, CLEO/Europe, Monachium Niemcy, 12-17.06.2005,

1.4. Patenty i zgłoszenia patentowe

- [E1.1] Zgłoszenie patentowe w UP RP nr P391923 z dnia 23.07.2010, A. Antończak, **J. Sotor**, P. Kaczmarek, K. Abramski, „Sposób kontroli i stabilizacji częstotliwości promieniowania laserowego oraz układ kontroli i stabilizacji częstotliwości promieniowania laserowego”,
- [E1.2] Zgłoszenie patentowe w UP RP nr P391924 z dnia 23.07.2010, A. Antończak, **J. Sotor**, P. Kaczmarek, K. Abramski „Sposób kontroli i stabilizacji częstotliwości promieniowania laserowego oraz układ kontroli i stabilizacji częstotliwości promieniowania laserowego”,
- [E1.3] Zgłoszenie patentowe w UP RP nr P391595 z dnia 22.06.2010, P. Kaczmarek, G. Soboń, **J. Sotor**, A. Antończak, A. Wąż, K. Abramski „Układ wzmacniacza światłowodowego ze światłowodem aktywnym z podwójnym płaszczem”,
- [E1.4] Zgłoszenie patentowe w UP RP nr P393799 z dnia 31.01.2011, A. Wąż, K.M. Abramski, A. Antończak, P. Kaczmarek, **J. Sotor**, G. Dudzik, G. Soboń, K. Krzempek, „Układ detekcji sygnału optycznego, zwłaszcza dla wibrometru laserowo-światłowodowego”,
- [E1.5] Zgłoszenie patentowe w UP RP nr P393800 z dnia 31.01.2011, Wąż, K.M. Abramski, A. Antończak, P. Kaczmarek, J. Sotor, G. Dudzik, G. Soboń, K. Krzempek, „Urządzenie do pomiaru drgań i przemieszczeń obiektów”,

- [E1.6] Zgłoszenie patentowe w UP RP nr P394327 z dnia 24.03.2011, A. Antończak, K.M. Abramski, A. Wąż, P. Kaczmarek, **J. Sotor**, G. Dudzik, G. Soboń, K. Krzempek, „Sposób pomiaru drgań i przemieszczeń obiektów oraz urządzenie do pomiaru drgań i przemieszczeń obiektów”,
- [E1.7] Zgłoszenie patentowe w UP RP nr P394328 z dnia 24.03.2011, A. Antończak, K.M. Abramski, A. Wąż, P. Kaczmarek, **J. Sotor**, G. Dudzik, G. Soboń, K. Krzempek, „Głowica czujnika światłowodowego”,

2. Dorobek naukowy po uzyskaniu stopnia doktora

2.1. Publikacje w czasopismach naukowych

- [B2.1] **J. Sotor**, G. Sobon, K. Grodecki, K.M. Abramski, ”Mode-locked Erbium-doped fiber laser based on evanescent field interaction with Sb_2Te_3 topological insulator,” Appl. Phys. Lett. 104, 251112 (2014), **IF = 3,515**,
- [B2.2] J Boguslawski, **J Sotor**, G Sobon, J Tarka, J Jagiello, W Macherzynski, L Lipinska, K M Abramski, ”Mode-locked Er-doped fiber laser based on liquid phase exfoliated Sb_2Te_3 topological insulator,” Laser Phys. 24 105111 (2014), **IF = 1,025**,
- [B2.3] **J. Sotor**, G. Sobon, K.M. Abramski, “Sub-130 fs mode-locked Er-doped fiber laser based on topological insulator,” Opt. Express 22, 13244-13249 (2014), **IF = 3,525**,
- [B2.4] **J. Sotor**, G. Sobon, W. Macherzynski, K.M. Abramski, “Harmonically mode-locked Er-doped fiber laser based on a Sb_2Te_3 topological insulator saturable absorber”, Laser Phys. Lett. 11, 055102 (2014), **IF = 2,964**,
- [B2.5] **J. Sotor**, G. Dudzik, K. M. Abramski, “Compact single-longitudinal mode microchip laser operating at 532 nm,” Photonics Letters of Poland, 6(1), 2-4 (2014),
- [B2.6] G. Sobon, P.R. Kaczmarek, D. Sliwinska, **J. Sotor**, K.M. Abramski, “High-power Fiber-based Femtosecond CPA System at 1560 nm”, IEEE J. Sel. Top. Quant. Electron. 20, 1-5 (2014), , **IF = 3,465**,
- [B2.7] **J. Sotor**, G. Sobon, J. Tarka, I. Pasternak, A. Krajewska, W. Strupinski, K.M. Abramski, “Passive synchronization of erbium and thulium doped fiber mode-locked lasers enhanced by common graphene saturable absorber”, Opt. Express 22, 5536-5543 (2014), **IF = 3,525**,
- [B2.8] **J. Sotor**, G. Sobon, W. Macherzynski, P. Paletko, K. Grodecki, K. M. Abramski, “Mode-locking in Er-doped fiber laser based on mechanically exfoliated Sb_2Te_3 saturable absorber”, Opt. Mater. Express 4, 1–6 (2014), **IF = 2,923**,
- [B2.9] G. Sobon, M. Klimczak, **J. Sotor**, K. Krzempek, D. Pysz, R. Stepien, T. Martynkien, K. M. Abramski, R. Buczynski, “Infrared supercontinuum generation in soft-glass photonic crystal fibers pumped at 1560 nm”, Opt. Mater. Express 4, 7-15 (2014), **IF = 2,923**,
- [B2.10] G. Sobon, **J. Sotor**, I. Pasternak, K. Krzempek, W. Strupinski, K.M. Abramski, “Tunable, linearly polarized Er-fiber laser mode-locked by graphene/PMMA composite”, Laser Phys. 23, 125101 (2013), **IF = 2,545**,
- [B2.11] R. Buczynski, G. Sobon, **J. Sotor**, M. Klimczak, G. Stepniewski, D. Pysz, T. Martynkien, R. Kasztelaniec, R. Stepien, K.M. Abramski, “Broadband infrared supercontinuum generation in

- soft-glass photonic crystal fiber pumped with sub-picosecond Er-doped fiber laser mode-locked by graphene saturable absorber”, *Laser Phys.* 23, 105106 (2013), **IF = 2,545**,
- [B2.12] **J. Sotor**, G. Sobon, I. Pasternak, A. Krajewska, W. Strupinski, K. M. Abramski, “Simultaneous mode-locking at 1565 nm and 1944 nm in fiber laser based on common graphene saturable absorber”, *Opt. Express* 21, 18994-19002 (2013), **IF = 3,546**,
- [B2.13] G. Sobon, **J. Sotor**, I. Pasternak, A. Krajewska, W. Strupinski, K. M Abramski, “Thulium-doped all-fiber laser mode-locked by CVD-graphene/PMMA saturable absorber,” *Opt. Express* 21 (10), 12797-12802 (2013), **IF = 3,546**,
- [B2.14] M. C. Paul, G. Sobon, **J. Sotor**, K. M. Abramski, J. Jagiello, R. Kozinski, L. Lipinska, M. Pal, „A graphene-based mode-locked nano-engineered zirconia–yttria–aluminosilicate glass-based erbium-doped fiber laser”, *Laser Phys.* 23, 035110 (2013), **IF = 2,545**,
- [B2.15] G. Sobon, **J. Sotor**, J. Jagiello, R. Kozinski, K. Librant, M. Zdrojek, L. Lipinska, K. M. Abramski, „Linearly polarized, Q-switched Er-doped fiber laser based on reduced graphene oxide saturable absorber”, *Appl. Phys. Lett.* 101, 241106 (2012), **IF = 3,844**,
- [B2.16] G. Soboń, **J. Sotor**, I. Pasternak, W. Strupiński, K. Krzempek, P.Kaczmarek, K.M. Abramski “Chirped pulse amplification of a femtosecond Er-doped fiber laser mode-locked by a graphene saturable absorber”, *Laser Phys. Lett.* 10, 035104 (2013), **IF = 7,714**,
- [B2.17] **J.Z. Sotor**, G. Dudzik, K.M. Abramski, “Single frequency, monolithic Nd:YVO₄/YVO₄/KTP diode pumped solid state laser optimization by parasitic oscillations elimination”, *Opt. Commun.* 291, 279-284 (2013), **IF = 1,438**,
- [B2.18] G. Sobon, **J. Sotor**, J. Jagiello, R. Kozinski, M. Zdrojek, M. Holdynski, P. Paletko, J. Boguslawski, L. Lipinska, K.M. Krzysztof, “Graphene Oxide vs. Reduced Graphene Oxide as saturable absorbers for Er-doped passively mode-locked fiber laser”, *Opt. Express* 20, 19463-19473 (2012), **IF = 3,587**,
- [B2.19] G. Soboń, **J. Sotor**, I. Pasternak, K. Grodecki, P. Paletko, W. Strupiński, Z. Jankiewicz, K.M. Abramski, “Er-doped fiber laser mode-locked by CVD-graphene saturable absorber”, *J. Lightwave Technol.* 30, 2770-2775 (2012), **IF = 2,784**,
- [B2.20] G. Soboń, **J. Sotor**, K.M. Abramski, “All-polarization maintaining femtosecond Er-doped fiber laser mode-locked by graphene saturable absorber”, *Laser Phys. Lett.* 9, 581-586 (2012), **IF = 9,97**
- [B2.21] G. Soboń, **J. Sotor**, K.M. Abramski, “Passive harmonic mode-locking in Er-doped fiber laser based on graphene saturable absorber with repetition rates scalable to 2,22 GHz”, *Appl. Phys. Lett.* 100, 161109-1 - 161109-4 (2012), **IF = 3,844**,
- [B2.22] **J. Sotor**, G. Soboń, K.M. Abramski, “Er-doped fibre laser mode-locked by mechanically exfoliated graphene saturable absorber”, *Opto-Electron. Rev.* 20, 1-5 (2012), **IF = 0,966**,
- [B2.23] **J. Sotor**, G. Soboń, K.M. Abramski, “Scalar soliton generation in all-polarization-maintaining, graphene mode-locked fiber laser”, *Opt. Lett.* 37, 2166-2168 (2012), **IF = 3,399**,

- [B2.24] **J. Sotor**, G. Soboń, K. Krzempek, K.M. Abramski, “Fundamental and harmonic mode-locking in erbium-doped fiber laser based on graphene saturable absorber”, *Opt. Commun.* 285, 3174–3178 (2012), **IF = 1,486**,

2.2. Publikacje pokonferencyjne indeksowane w bazie Web of Science

- [C2.1] K. Krzempek, G. Sobon, G. Dudzik, **J. Sotor**, K.M. Abramski, “Difference frequency generation of Mid-IR radiation in PPLN crystals using a dual-wavelength all-fiber amplifier”, *Photonics West 2014, SPIE Proceedings Series Vol. 8964, ISSN 0277-786X*, (2014),
- [C2.2] G. Sobon, M. Klimczak, **J. Sotor**, D. Pysz, R. Stepien, T. Martynkien, G. Dudzik, K.M. Abramski, R. Buczynski, “Mid-infrared supercontinuum generation using lead-bismuth-gallium-oxide glass-based photonic crystal fibers pumped at 1560 nm”, *Photonics West 2014, SPIE Proceedings Series Vol. 8964, ISSN 0277-786X*, (2014),
- [C2.3] M. Klimczak, B. Siwicki, G. Sobon, **J. Sotor**, D. Pysz, R. Stepien, T. Martynkien, K.M. Abramski, R. Buczynski, “Influence of pump fiber laser conditions at 1550 nm on broadband infrared supercontinuum generation in all-solid all-normal dispersion photonic crystal fibers”, *Photonics West, SPIE Proceedings Series Vol. 8964, ISSN 0277-786X*, (2014),
- [C2.4] G. Dudzik, **J. Sotor**, K. Krzempek, G. Sobon, K.M. Abramski, “Single-frequency, fully integrated, miniature DPSS laser based on monolithic resonator”, *Photonics West 2014, SPIE Proceedings Series Vol. 8959, ISSN 0277-786X*, (2014),
- [C2.5] **J. Sotor**, G. Sobon, I. Pasternak, K. Krzempek, G. Dudzik, A. Krajewska, W. Strupinski, K. M. Abramski, “Dual-wavelength fiber mode-locked laser based on graphene-saturable absorber” *Photonics West 2014, SPIE Proceedings Series Vol. 8961, ISSN 0277-786X*, (2014),
- [C2.6] G. Sobon, **J. Sotor**, K. Krzempek, G. Dudzik, K.M. Abramski, “Femtosecond CPA System operating at 1560 nm Seeded by a Graphene Mode-Locked Fiber Laser” *CLEO:2013 Laser science to photonic applications OSA Technical Digest, Optical Society of America, ISBN: 978-1-55752-972-5* (2013),
- [C2.7] **J. Sotor**, G. Dudzik, G. Sobon, K. Krzempek, K.M. Abramski, “0.5W single-longitudinal mode, monolithic Nd:YVO4 microchip laser” *CLEO:2013 Laser science to photonic applications OSA Technical Digest, Optical Society of America, ISBN: 978-1-55752-972-5*, (2013),
- [C2.8] R. Buczynski, G. Sobon, **J. Sotor**, G. Stepniewski, D. Pysz, T. Martynkien, M. Klimczak, R. Stepien, K. Abramski, „Infrared supercontinuum generation in soft-glass photonic crystal fiber pumped with a femtosecond Er-doped fiber laser mode-locked by graphene saturable absorber” *2013 Conference on Lasers and Electro-Optics - International Quantum Electronics Conference (CLEO/Europe-IQEC), Optical Society of America, ISBN: 978-1-4799-0594-2*, (2013),
- [C2.9] G. Sobon, **J. Sotor**, K. M. Abramski, „Sub-picosecond Graphene-based Harmonically Mode-locked Fiber Laser With Repetition Rates up to 2.22 GHz” *Proceedings of the XVIIIth*

International Conference on Ultrafast Phenomena, EPJ Web of Conferences, ISBN:978-2-7598-0956-1, (2013),

- [C2.10] K. Krzempek, G. Sobon, **J. Sotor**, K.M. Abramski, „Difference frequency generation of mid-IR radiation using novel dual-wavelength all-fiber double-clad Er/Yb doped amplifier” Nonlinear Optics OSA Technical Digest, Optical Society of America, ISBN: 978-1-55752-977-0, (2013),
- [C2.11] G. Sobon, **J. Sotor**, K. Krzempek, D. Pysz, R. Stepien, M. Klimczak, T. Martynkien, K. M. Abramski, R. Buczynski, “Infrared supercontinuum generation in soft-glass photonic crystal fibers pumped at 1560 nm” Nonlinear Optics OSA Technical Digest, Optical Society of America, ISBN: 978-1-55752-977-0, (2013),
- [C2.12] **J. Sotor**, G. Sobon, K. Krzempek, K.M. Abramski, “Er-doped fiber laser mode-locked by mechanically exfoliated Sb₂Te₃ saturable absorber” Nonlinear Optics OSA Technical Digest, Optical Society of America, ISBN: 978-1-55752-977-0, (2013),
- [C2.13] **J. Sotor**, G. Soboń, K.M. Abramski, “Graphene saturable absorber based all-polarization maintaining Er-doped fiber mode-locked laser” SPIE Proceedings Series Vol. 8702, ISSN 0277-786X, (2012),
- [C2.14] G. Soboń, **J. Sotor**, K. M. Abramski, “Passive harmonic mode-locking in fiber lasers with graphene” SPIE Proceedings Series Vol. 8702, ISSN 0277-786X, (2012),
- [C2.15] G. Dudzik, A. Waz, P. Kaczmarek, A. Antonczak, **J. Sotor**, K. Krzempek, G. Sobon, K. Abramski, “Multichannel laser-fiber vibrometer” SPIE Proceedings Series, ISSN 0277-786X, (2012),
- [C2.16] G. Dudzik, A.T Waz, P.R. Kaczmarek, A.J. Antonczak, **J.Z. Sotor**, K. Krzempek, G.J. Sobon, K.M. Abramski, “Demodulator electronics for laser vibrometry” 10th International Conference on Vibration Measurements by Laser and Noncontact Techniques - AIVELA 2012, AIP Conference Proceedings Vol. 1457, ISSN 0094-243X (2012),
- [C2.17] **J.Z. Sotor**, G. Dudzik, A.J. Antonczak, K.M. Abramski, “Development and optimization of single-mode green solid state microchip laser”, Proc. SPIE 7578, Solid State Lasers XIX: Technology and Devices, 75782J (17 February 2010)
- [C2.18] A.T Waz, G. Dudzik, P.R. Kaczmarek, A.J. Antonczak, **J.Z. Sotor**, K. Krzempek, G.J. Sobon, K.M. Abramski, “Recent development of WDM fiber vibrometry” 10th International Conference on Vibration Measurements by Laser and Noncontact Techniques - AIVELA 2012, AIP Conference Proceedings Vol. 1457, ISSN 0094-243X, (2012),
- [C2.19] G. Sobon, P. Kaczmarek, A. Antonczak, **J. Sotor**, A. Waz, G. Dudzik, K. Krzempek, K. M. Abramski, „3-stage all-in-fiber MOPA source operating at 1550 nm with 20W output power” Photonics West 2012, SPIE Proceedings Series vol. 8237, ISSN 0277-786X, (2012),
- [C2.20] G. Sobon, P. Kaczmarek, A. Antonczak, **J. Sotor**, A. Waz, G. Dudzik, K. Krzempek, K. M. Abramski „Erbium-ytterbium co-doped fiber amplifier with controlled 1060-nm Yb-ASE” Photonics West 2012, SPIE Proceedings Series vol. 8237, ISSN 0277-786X, (2012),

2.3. Prezentacje i wystąpienie konferencyjne, w których efekcie nie powstały materiały indeksowane w bazie Web of Science

- [D2.1] J. Tarka, **J. Sotor**, G. Sobon, J. Bogusławski, K. Krzempek, I. Pasternak, A. Krajewska, W. Strupinski, K.M. Abramski, „Synchronization of Er- and Tm-doped fiber mode-locked lasers by a common graphene saturable absorber”, Europhoton 2014, 24-29 sierpnia 2014, Neuchatel, Szwajcaria
- [D2.2] **J. Sotor**, G. Sobon, J. Boguslawski, J. Tarka, K. Krzempek, K.M. Abramski, „Fiber mode-locked lasers based on topological insulator saturable absorbers”, Europhoton 2014, 24-29 sierpnia 2014, Neuchatel, Szwajcaria,
- [D2.3] G. Sobon, **J. Sotor**, D. Sliwinska, A. Gluszek, K. Krzempek, P. Kaczmarek, K.M. Abramski, “High-power, kHz-repetition rate femtosecond Fiber-CPA system at 1.55 μm ” Europhoton 2014, 24-29 sierpnia 2014, Neuchatel, Szwajcaria,
- [D2.4] J. Boguslawski, **J. Sotor**, G. Sobon, J. Tarka, K. Krzempek, R. Kozinski, K. Librant, L. Lipinska, K.M. Abramski, “Graphene Oxide paper as a saturable absorber for erbium and thulium doped fiber lasers”, Europhoton 2014, 24-29 sierpnia 2014, Neuchatel, Szwajcaria,
- [D2.5] K. Krzempek, G. Sobon, **J. Sotor**, K.M. Abramski, “All PM fiber dual-wavelength amplifier for Mid-IR radiation generation via DFG processes”, Europhoton 2014, 24-29 sierpnia 2014, Neuchatel, Szwajcaria,
- [D2.6] **J. Sotor**, G. Sobon, I. Pasternak, A. Krajewska, W. Strupinski, K. M. Abramski, “Passive synchronization of mode-locked thulium- and erbium-doped fiber lasers by common graphene saturable absorber” Graphene Week 2014, 23-27 czerwca, Goteborg, Szwecja
- [D2.7] G. Sobon, **J. Sotor**, J. Tarka, J. Bogusławski, I. Pasternak, A. Krajewska, W. Strupiński, J. Jagiełło, R. Koziński, K. Librant, L. Lipińska, K.M. Abramski, „Ultraszybkie lasery światłowodowe na bazie grafenu”, XIII Krajowa Konferencja Elektroniki, Darłówko Wschodnie, 9-13.06.2014
- [D2.8] **J. Sotor**, G. Sobon, I. Pasternak, A. Krajewska, W. Strupinski, K.M. Abramski „Passively mode-locked thulium-doped fiber laser based on CVD graphene/PMMA saturable absorber”, GRAPHEsp2014 - A European Conference/Workshop on the Synthesis, Characterization and Applications of Graphene, Lanzarote, 18 - 21 luty 2014, Hiszpania,
- [D2.9] G. Sobon, **J. Sotor**, J. Tarka, J. Boguslawski, J. Jagiello, M. Zdrojek, L. Lipinska, K.M. Abramski “Ultrashort optical pulse generation using graphene/chitosan composite”, GRAPHEsp2014 - A European Conference/Workshop on the Synthesis, Characterization and Applications of Graphene, 18 - 21 luty 2014, Lanzarote, Hiszpania,
- [D2.10] **J. Sotor**, G. Sobon, K. Krzempek, K.M. Abramski „Izolatory topologiczne jako nowa klasa nasycalnych absorberów do synchronizacji modów w laserach światłowodowych” III Polska Konferencja Optyczna, III PKO 2013, Sandomierz, 30.06 - 4.07.2013,
- [D2.11] G. Sobon, **J. Sotor**, K. Krzempek, I. Pasternak, A. Krajewska, W. Strupiński, J. Jagiełło, R. Koziński, K. Librant, L. Lipińska, K.M. Abramski „Ultraszybkie lasery światłowodowe na

bazie grafenu” III Polska Konferencja Optyczna, III PKO 2013, Sandomierz, 30.06 - 4.07.2013,

- [D2.12] **J. Sotor**, G. Sobon, I. Pasternak, K. Grodecki, W. Strupinski, K.M. Abramski “Passive mode-locking of Er-doped fiber lasers with CVD-graphene”, Graphene Week 2013, 2-7 czerwiec 2013, Chemnitz, Niemcy,
- [D2.13] G. Sobon, **J. Sotor**, J. Jagiello, R. Kozinski, M. Zdrojek, L. Lipinska, K.M. Krzysztof, “Graphene oxide and reduced graphene oxide as saturable absorbers for fiber lasers”, Graphene Week 2013 2-7 czerwiec 2013, Chemnitz, Niemcy,
- [D2.14] G. Sobon, **J. Sotor**, K. Krzempek, P. Kaczmarek, K.M. Abramski, “Chirped pulse amplification of Er-doped ultrafast fiber laser based on graphene saturable absorber”, Ultrafast Optics 2013 Conference (UFO IX), 4-8 marzec 2013, Davos, Szwajcaria,
- [D2.15] G. Sobon, **J. Sotor** “Ultra-short pulse fiber lasers with carbon saturable absorbers”, X International Krutyń Summer School „Frontiers in Science & Technology of Carbon Nano - Materials“, Krutyń Polska, 19 -25 czerwca 2012,
- [D2.16] G. Sobon, **J. Sotor**, I. Pasternak, K. Grodecki, P. Paletko, W. Strupiński, Z. Jankiewicz, K.M. Abramski, “Graphene saturable absorbers on glass substrates for passive mode-locking of fiber lasers”, Europhoton 2012, 26-31 sierpnia 2012, Sztokholm, Szwecja

2.4. Patenty i zgłoszenia patentowe

- [E2.1] Patent RP nr 214235, opublikowany dnia 31.07.2013, **J. Sotor**, P. Kaczmarek, A. Antończak, K.M. Abramski, „Sposób generacji promieniowania laserowego o dwóch częstotliwościach i ortogonalnych polaryzacjach i układ lasera dwuczęstotliwościowego o ortogonalnych polaryzacjach”,
- [E2.2] Patent RP nr 213946, opublikowany dnia 31.05.2013, **J. Sotor**, A. Antończak, K.M. Abramski, „Sposób stabilizacji częstotliwości promieniowania laserowego i układ stabilizacji częstotliwości promieniowania laserowego”,
- [E2.3] Patent RP nr 213947, opublikowany 31.05.2013, **J. Sotor**, A. Antończak, K.M. Abramski „Sposób stabilizacji częstotliwości promieniowania laserowego i układ stabilizacji częstotliwości promieniowania laserowego”,
- [E2.4] Patent RP przyznany decyzją UP RP z dnia 21.03.2014 na podstawie zgłoszenia patentowego nr P.395088 z dnia 01.06.2011, G. Soboń, P. Kaczmarek, K. Krzempek, A. Antończak, **J. Sotor**, A. Wąż, G. Dudzik, K.M. Abramski „Układ dwuczęstotliwościowego wzmacniacza światłowodowego”,
- [E2.5] Patent RP przyznany decyzją UP RP z dnia 21.03.2014 na podstawie zgłoszenia patentowego nr P.395087 z dnia 01.06.2011, G. Soboń, P. Kaczmarek, K. Krzempek, A. Antończak, **J. Sotor**, A. Wąż, G. Dudzik, K.M. Abramski „Układ dwuczęstotliwościowego wzmacniacza światłowodowego”,
- [E2.6] Patent RP przyznany decyzją UP RP z dnia 21.03.2014 na podstawie zgłoszenia patentowego nr P.395086 z dnia 01.06.2011, G. Soboń, P. Kaczmarek, K. Krzempek, A. Antończak, **J.**

- Sotor**, A. Wąż, G. Dudzik, K.M. Abramski „Układ wzmacniacza światłowodowego opartego na włóknie domieszkowanym jonami erbu i iterbu”,
- [E2.7] Patent RP przyznany decyzją UP RP z dnia 9.01.2014 na podstawie zgłoszenia patentowego nr P389082 z dnia 21.09.2009, P. Kaczmarek, G. Soboń, **J. Sotor**, K.M. Abramski „Układ impulsowego wzmacniacza światłowodowego domieszkowanego jonami erbu z zabezpieczeniem laserowych diod pompujących przed zniszczeniem”,
- [E2.8] Patent RP przyznany decyzją UP RP z dnia 23.12.2013 na podstawie zgłoszenia patentowego nr P.395085 z dnia 01.06.2011, G. Soboń, P. Kaczmarek, K. Krzempek, A. Antończak, **J. Sotor**, A. Wąż, G. Dudzik, K.M. Abramski „Układ do generacji promieniowania optycznego w średniej podczerwieni”,
- [E2.9] Patent RP przyznany decyzją UP RP z dnia 23.12.2013 na podstawie zgłoszenia patentowego nr P.395084 z dnia 01.06.2011, G. Soboń, P. Kaczmarek, K. Krzempek, A. Antończak, J. Sotor, A. Wąż, G. Dudzik, K.M. Abramski „Układ do generacji promieniowania optycznego w średniej podczerwieni”,
- [E2.10] Międzynarodowe zgłoszenie patentowe PCT nr PCT/IB2013/051196 z dnia 14.02.2013, G. Soboń, P. Kaczmarek, D. Śliwińska, K. Krzempek, A. Antończak, **J. Sotor**, A. Wąż, G. Dudzik, K.M. Abramski „High efficient system based on erbium-ytterbium co-doped fiber amplifier”,
- [E2.11] Zgłoszenie patentowe w UP RP nr P.398119 z dnia 15.02.2012, G. Soboń, P. Kaczmarek, D. Śliwińska, K. Krzempek, A. Antończak, **J. Sotor**, A. Wąż, G. Dudzik, K. Abramski „Układ wzmacniacza światłowodowego opartego na włóknie domieszkowanym jonami erbu i iterbu o zwiększonej sprawności”,

01/09/2019

Jaworski Sator