



Warszawa, 23 lutego 2017

## **Niemożliwy (lecz działający!) przepis na ultrakrótkie impulsy laserowe**

*Impulsowe lasery zbudowane w całości na światłowodach są coraz chętniej stosowane przez przemysł. Optycy z warszawskiego Centrum Laserowego Instytutu Chemii Fizycznej PAN i Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego wytworzyli w światłowodzie ultrakrótkie impulsy o dużej energii, używając w tym celu sposobu, który dotychczas uchodził za niemożliwy do zrealizowania. Rozwiązanie okazało się nie tylko użyteczne, ale także zaskakująco proste!*

W Centrum Laserowym Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk (IChF PAN) i Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (FUW) powstała nowatorska odmiana lasera światłowodowego. Za pomocą pomysłowego i prostego w realizacji rozwiązania warszawscy optycy „zmusili” jedną z odmian światłowodów do generowania ultrakrótkich impulsów o dużej energii. Szczególnie ciekawy jest przy tym fakt, że użyta metoda była uznawana przez specjalistów za niemożliwą do zrealizowania! Nowy laser jest przy tym pozbawiony mechanicznie wrażliwych części zewnętrznych, co czyni go atrakcyjnym rozwiązaniem dla przemysłu. Zgłoszony do opatentowania wynalazek już niedługo powinien wielokrotnie skrócić czas obróbki materiałów w obrabiarkach laserowych.

„Laser światłowodowy można skonstruować tak, żeby wszystkie procesy ważne dla powstania i kształtowania ultrakrótkich impulsów zachodziły w samym światłowodzie. Takie urządzenia, pozbawione zewnętrznych, mechanicznie wrażliwych elementów, działają bardzo stabilnie i idealnie nadają się do pracy w trudnych warunkach”, mówi dr hab. Yuriy Stepanenko (IChF PAN).

Akcja laserowa w światłowodzie prowadzi do powstania ciągłego strumienia światła. Uwalnianie energii w jak najkrótszych impulsach jest jednak znacznie korzystniejsze, ponieważ oznacza duży wzrost ich mocy. Za generowanie impulsów w laserach światłowodowych odpowiada układ nazywany nasycalnym absorberem. Gdy natężenie światła jest małe, absorber blokuje światło, gdy jest ono duże – przepuszcza. Ponieważ w impulsach femtosekundowych (a więc trwających milionowe części jednej miliardowej sekundy) natężenie światła jest znacznie większe niż w ciągłej wiązce, parametry absorbera można tak dobrać, żeby ten przepuszczał wyłącznie impulsy.

„W światłowodach jako nasycalny absorber stosowano m.in. płatki grafenu, nakładane cienką warstwą na końcówkę światłowodu. Ale światłowody mają średnice rzędu pojedynczych mikronów. Nawet niewielka energia upchnięta w tak małym przekroju ma znaczną gęstość na jednostkę powierzchni, co wpływa na żywotność materiałów. Dlatego gdy próbowano zwiększać moc impulsów femtosekundowych, grafen nałożony na czoło złączki ulegał zniszczeniu. Inne absorbery, na przykład z nanorurek węglowych, także mogą ulec degradacji”, wyjaśnia mgr Jan Szczepanek,

doktorant z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego i pierwszy autor publikacji w czasopiśmie „Optics Letters”.

W celu wygenerowania w światłowodzie impulsów femtosekundowych o wyraźnie większej energii warszawscy fizycy postanowili usprawnić nasycalne absorbery innego typu, działające nie dzięki wyjątkowym właściwościom materiałów, a wskutek sprytnego wykorzystania takich zjawisk optycznych jak efekty nieliniowe, powodujące zmianę współczynnika załamania szkła.

Światło jest falą elektromagnetyczną, której pola elektryczne i magnetyczne zwykle drgają w przypadkowych, wzajemnie prostopadłych kierunkach. Gdy pola drgają cały czas w tej samej płaszczyźnie, falę nazywa się spolaryzowaną liniowo. W zwykłej optyce przyjmuje się, że gdy taka fala przemieszcza się przez ośrodek, odczuwa stały współczynnik załamania, niezależnie od natężenia światła. W optyce nieliniowej jest inaczej: przy dostatecznie dużym natężeniu światła współczynnik załamania zaczyna nieco rosnać, tym bardziej, im większa jest wartość natężenia.

Nasycalny absorber zbudowany dzięki zmianom stanu polaryzacji w wyniku efektów nieliniowych działa następująco. Na wejściu spolaryzowane liniowo światło jest dzielone na część o małym natężeniu i część o dużym natężeniu. Ośrodek absorbera można tak dobrać, by obie części odczuwały nieco inny współczynnik załamania, a więc by się poruszały z nieco innymi prędkościami (fazowymi). Wskutek różnicy prędkości płaszczyzna polaryzacji zaczyna się obracać. Na wyjściu z absorbera znajduje się filtr polaryzacyjny przepuszczający wyłącznie fale drgające prostopadle do płaszczyzny polaryzacji światła wchodzącego. Gdy laser pracuje w trybie ciągłym, światło w wiązce ma względnie małe natężenie, różnica dróg optycznych się nie pojawia, polaryzacja się nie zmienia i filtr na wyjściu blokuje światło. Przy odpowiednio dużym natężeniu, typowym dla impulsów femtosekundowych, obrót polaryzacji spowoduje, że impuls przeleci przez polaryzator.

Aby nasycalny absorber z obrotem polaryzacji działał stabilnie, światłowód nie tylko musi mieć różne współczynniki załamania w dwóch kierunkach (a więc być dwójłomny), ale oba te współczynniki muszą być stałe. Problem w tym, że w zwykłych światłowodach dwójłomność pojawia się przypadkowo, np. wskutek naprężeń wywołanych naciśnięciem palca. Lasery zbudowane z takich światłowodów są niezwykle wrażliwe na czynniki mechaniczne. Z kolei światłowody zachowujące polaryzację są tak silnie dwójłomne, że impuls rozchodzi się w nich praktycznie tylko w jednym kierunku i skonstruowanie absorbera z obrotem polaryzacji przestaje być fizycznie możliwe.

„Na świecie produkuje się już dwójłomne światłowody zachowujące stan polaryzacji wpuszczanego do nich światła. My jako pierwsi zademonstrowaliśmy, jak z ich użyciem skonstruować nasycalny absorber: tniemy światłowód na segmenty o odpowiedniej długości i łączymy je ponownie, każdy kolejny obracając o 90 stopni względem poprzedniego”, mówi doktorant Szczepanek.

„Obrót powoduje, że jeśli w jednym segmencie impuls o polaryzacji powiedzmy pionowej przemieszczał się wolniej, w kolejnym będzie biegł szybciej i dogoni drugi impuls, spolaryzowany prostopadle. Prosty zabieg pozwolił nam zatem wyeliminować główną przeszkodę na drodze do zwiększenia energii, czyli dużą różnicę prędkości między impulsami o różnych polaryzacjach, typową dla światłowodów zachowujących polaryzację”, wyjaśnia dr Stepanenko.

Im więcej obróconych segmentów, tym lepsza jakość impulsów generowanych w światłowodzie. W laserze zbudowanym w warszawskim laboratorium nasycalny absorber składał się ze światłowodu długości ok. 3 m, podzielonego na 3 segmenty, oraz filtrującego elementu polaryzacyjnego. Potencjalnie liczbę obróconych segmentów można zwiększyć nawet do kilkunastu.

Nowy laser wytwarza impulsy femtosekundowe o wysokiej jakości i dużej energii, nawet tysiąc razy większej niż w laserach z absorberami materiałowymi. Z kolei w porównaniu do dotychczasowych laserów z absorberami z obrotem polaryzacji urządzenie warszawskich fizyków ma znacznie prostszą konstrukcję, a więc i większą niezawodność.

Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk (<http://www.ichf.edu.pl/>) został powołany w 1955 roku jako jeden z pierwszych instytutów chemicznych PAN. Profil naukowy Instytutu jest silnie powiązany z najnowszymi światowymi kierunkami rozwoju chemii fizycznej i fizyki chemicznej. Badania naukowe są prowadzone w dziewięciu zakładach naukowych. Działający w ramach Instytutu Zakład Doświadczalny CHEMIPAN wdraża, produkuje i komercjalizuje specjalistyczne związki chemiczne do zastosowań m.in. w rolnictwie i farmacji. Instytut publikuje około 200 oryginalnych prac badawczych rocznie.

#### **KONTAKT:**

dr hab. **Yuriy Stepanenko**  
Instytut Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk w Warszawie  
tel.: +48 22 3433446, +48 22 3433412  
email: [stepanenko@ichf.edu.pl](mailto:stepanenko@ichf.edu.pl)

#### **PUBLIKACJE NAUKOWE:**

1. „Ultrafast laser mode-locked using Nonlinear Polarization Evolution in Polarization Maintaining Fibers”  
J. Szczepanek, T. M. Kardaś, Cz. Radzewicz, Y. Stepanenko  
Optics Letters Vol. 42, Issue 3, pp. 575-578 (2017)  
DOI: <https://doi.org/10.1364/OL.42.000575>

#### **POWIĄZANE STRONY WWW:**

<http://www.ichf.edu.pl/res/CL/>  
Strona Centrum Laserowego Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk i Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego.

<http://www.ichf.edu.pl/>  
Strona Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk.

<http://www.ichf.edu.pl/press/>  
Serwis prasowy Instytutu Chemii Fizycznej PAN.

<http://www.ichfdlafirm.pl/>  
Oferta Instytutu Chemii Fizycznej Polskiej Akademii Nauk skierowana do przedsiębiorców i przemysłu.

#### **MATERIAŁY GRAFICZNE:**

**ICHF170223b\_fot01s.jpg**

HR: [http://ichf.edu.pl/press/2017/02/ICHF170223b\\_fot01.jpg](http://ichf.edu.pl/press/2017/02/ICHF170223b_fot01.jpg)

Warszawscy fizycy wytworzyli w światłowodzie ultrakrótkie impulsy o dużej energii, używając w tym celu sposobu, który dotychczas uchodził za niemożliwy do zrealizowania. Na zdjęciu doktorant Jan Szczepanek przy innowacyjnym laserze światłowodowym. (Źródło: IChF PAN, Grzegorz Krzyżewski)

**ICHF170223b\_fot02s.jpg**

HR: [http://ichf.edu.pl/press/2017/02/ICHF170223b\\_fot02.jpg](http://ichf.edu.pl/press/2017/02/ICHF170223b_fot02.jpg)

Zasada działania nasycalnego absorbera z obrotem polaryzacji. W absorberze płaszczyzna polaryzacji światła o małym natężeniu tylko nieznacznie się obraca i ciągła wiązka jest blokowana przez polaryzator (zdjęcia dolne). Ultrakrótkie impulsy mają duże natężenie światła, w absorberze ich płaszczyzna polaryzacji obraca się o 90 stopni i dlatego przechodzą przez polaryzator. (Źródło: IChF PAN, Grzegorz Krzyżewski)