

Optyczne impulsy attosekundowe to najkrótsze wydarzenia wytwarzane i kontrolowane przez człowieka. 1 attosekunda ma się do 1 sekundy tak, jak 1 sekunda do ok. 2,3 szacowanego wieku Wszechświata. Tak krótkie impulsy światła znajdują wiele zastosowań związanych ze spektroskopią, obrazowaniem, wykrywaniem gazów czy jakościową analizą produktów spożywczych. Ostatnie dekady przyniosły ogromny rozwój technik wzmacniania impulsów laserowych, rozpoczęty wraz z opracowaniem metody CPA (ang. *chirped pulse amplification*) w 1985 r. (Nagroda Nobla z fizyki, 2018). Technika ta zakłada rozciągnięcie w czasie impulsu światła i wymaga odpowiedniego rodzaju dyspersji, czyli wielkości związanej z zależnością współczynnika załamania od długości fali. Wykorzystywany ośrodek musi posiadać dyspersję normalną, czyli taką, przy której światło czerwone rozchodzi się szybciej niż niebieskie.

Generacja superkontinuum to zjawisko optyki nieliniowej, w którym uzyskuje się tzw. światło białe z – w uproszczeniu – monobarwnej wiązki lasera. W odróżnieniu od klasycznej żarówki, takie białe światło zachowuje wiele cech światła laserowego, w tym bardzo dużą jasność i spójność przestrzenną. Światło superkontinuum można uzyskać oświetlając laserem wiele materiałów optycznych. Na ogół wybiera się jednak światłowody, które dzięki małej powierzchni przekroju rozchodzącego się światła oraz możliwej dużej nieliniowości optycznej, pozwalają na dużą wydajność tego procesu. Komercyjnie dostępnym źródłem superkontinuum brak zwykle spójności czasowej, która jest wymagana przy pokrywaniu pasma (tzw. zasiewaniu) wzmacniaczy światłowodowych. Odpowiednim ośrodkiem zapewniającym pełną spójność wygenerowanego superkontinuum jest wysoce nieliniowy światłowód o całkowicie normalnym profilu dyspersji. Dodatkowo powinien być dwójłomny, czyli mieć różne współczynniki załamania dla dwóch prostopadłych do siebie kierunków. Wtedy wygenerowane superkontinuum również będzie spolaryzowane (w uproszczeniu zawierające jeden kierunek drgań pola elektromagnetycznego), co pozwoli uniknąć oddziaływania składowych o różnych polaryzacjach, co mogłoby skutkować utratą spójności czasowej widma.

Projekt ma na celu opracowanie włókna światłowodowego o podwójnym zastosowaniu – do kompensacji dyspersji w układach ultraszybkich wzmacniaczy oraz jako ośrodek do generacji spolaryzowanego, czasowo koherentnego superkontinuum. Realizacja pierwszego zadania zakłada małą nieliniowość użytego światłowodu. Aby spełnić dwa przeciwstawne wymogi, proponujemy użycie światłowodu o znacznie różniącej się nieliniowości wzdłuż dwóch prostopadłych do siebie kierunków (tzw. „dwójłomność nieliniowości”). Wtedy wykorzystując obie polaryzacje światła będzie można uzyskać różne właściwości nieliniowe. Typem światłowodu rozwijanym w projekcie będzie włókno mikrostrukturalne, czyli zawierające elementy płaszcza (obszaru wokół rdzenia, w którym z kolei rozchodzi się światło) o rozmiarach rzędu mikrometrów, czyli kilkadziesiąt razy mniej niż grubość włosa ludzkiego. Całkowicie normalny profil dyspersji uzyskać można dzięki odpowiedniemu zaprojektowaniu płaszcza. Natomiast dużą dwójłomność oraz kontrast nieliniowości możliwy jest dzięki odpowiedniej nanostrukturyzacji rdzenia światłowodu. Złożony on będzie z pasków wykonanych z dwóch rodzajów szkielek o różniących się współczynnikami załamania oraz właściwościach nieliniowych. Wstępne wyniki obliczeń, przeprowadzone dla włókna ze szkielek miękkich (o niskiej temperaturze przejścia w fazę ciekłą) wykazały sporą możliwą do uzyskania dwójłomność takiej struktury, a także różną nieliniowość dla obu kierunków.

Współczynnik nieliniowy zależy od nieliniowego współczynnika załamania (cechy charakterystycznej danego materiału) oraz efektywnego pola modu (rozkładu pola elektromagnetycznego) światła w danym ośrodku (którego wielkość jest zdefiniowana przez dany światłowód). W tego rodzaju strukturze zauważono inne preferowane lokalizowanie się światła przy obu polaryzacjach – dla jednej w obszarach o większym, przy drugiej o mniejszym nieliniowym współczynniku załamania. Jest to pierwszy mechanizm powstawania kontrastu nieliniowości (materiałowy) – większy nieliniowy współczynnik załamania oznacza większą nieliniowość. Drugi mechanizm (falowodowy) związany jest z różnymi wartościami efektywnego pola modu przy różnych polaryzacjach. Im większe pole modu, tym nieliniowość mniejsza (światło jest mniej skoncentrowane, zatem ma mniejszą moc).

Celem prowadzonych prac jest uzyskanie jak największego kontrastu nieliniowości między obiema polaryzacjami. Wykonanie projektu planowane jest w całości na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego. Prace obejmować będą zaprojektowanie (znalezienie odpowiednich parametrów geometrycznych i szkielek) światłowodu przez symulacje numeryczne. Pierwsze dwa zadania dotyczą włókna ze szkielek miękkich. Trzecim zadaniem będzie optymalizacja włókna wykonanego ze szkła krzemionkowego, częściowo domieszkowanego germanem. Zadanie czwarte ma na celu próbę technologiczną wytworzenia zaprojektowanego włókna oraz – w razie powodzenia – eksperymentalne zweryfikowanie jego właściwości.