

Modyfikacje nieliniowych właściwości optycznych w kryształach przy użyciu ultraszybkich impulsów laserowych

Optyka nieliniowa zajmuje się badaniem interakcji między materią a światłem zależnych od jego natężenia. Jednymi z najciekawszych nieliniowych efektów optycznych są parametryczne efekty konwersji promieniowania, których najbardziej znanym przykładem jest generacja drugiej harmonicznej światła. Efekt ten pozwala na zmianę barwy lasera (jego długości fali), a generacja drugiej harmonicznej pozwala na wytworzenie jednego nowego fotonu o dużej energii (np. w kolorze niebieskim) z dwóch fotonów o dwukrotnie mniejszych energiach (czerwonych). Innym przykładem nieliniowego procesu optycznego jest wielofotonowa absorpcja, czyli proces, w którym przy niskim natężeniu światła materiał jest przezroczysty, a przy dużym zaczyna absorbować. Efekt ten występuje gdy natężenie światła jest na tyle duże, że statystycznie istotne staje się prawdopodobieństwo jednoczesnej absorpcji wielu fotonów.

Lasery są szeroko stosowane w biomedycynie, bezpieczeństwie wewnętrznym, elektronice i wielu innych gałęziach przemysłu. Wszystkie te zastosowania wymagają światła o odpowiedniej długości fali. Zapotrzebowanie na lasery świecące na różnych, czasem bardzo specyficznych długościach fal, napędza fotonikę i optykę nieliniową od czasu wynalezienia lasera przez Theodora H. Maimana w 1960 roku. Nie da się stworzyć lasera emitującego światło w dowolnym, potrzebnym zakresie spektralnym, ale wykorzystując nieliniowe efekty optyczne, można przekształcić wiązkę lasera o jednej (podstawowej) długości fali w inną i pokryć szeroki zakres spektralny, od głębokiego ultrafioletu poprzez światło widzialne, podczerwone, aż do promieniowania terahercowego.

Efektywna konwersja promieniowania w procesach parametrycznych wymaga spełnienia kilku warunków. Po pierwsze, konieczny jest materiał, który posiada właściwości nieliniowe optycznie, w przypadku generacji drugiej harmonicznej światła jest to nieliniowa podatność drugiego rzędu. Po drugie, ponieważ nieliniowe podatności są niezwykle małe, natężenie światła wzbudzającego musi być wystarczająco duże, aby pojawił się jakikolwiek widoczny efekt. Ostatnim, ale nie mniej ważnym warunkiem, jest zrównanie prędkości fal fundamentalnej i generowanej. Prędkość światła w próżni, określana jako c , nie zależy od jego barwy, ale w materiałach, takich jak szkło czy krystały, prędkość ta jest wolniejsza niż w próżni i zależy od jego barwy, efekt ten nazywamy dyspersją. Oznacza to, że fale fundamentalna i wygenerowana, np. drugiej harmonicznej, będą poruszać się z różnymi prędkościami i wystąpi niedopasowanie fazowe między tymi falami. Niedopasowanie faz jest jednym z głównych ograniczeń stosowania efektów parametrycznych do konwersji światła.

Zapis laserem femtosekundowym pozwala lokalnie modyfikować właściwości materiałów poprzez wielofotonową absorpcję. Światło skupione wewnątrz materiału będzie pochłaniane tylko w ognisku, gdzie jego intensywność jest wielokrotnie większa niż gdzie indziej. W ten sposób można zmieniać właściwości materiału bardzo lokalnie i tworzyć trójwymiarowe struktury. Mikrofabrykacja wielofotonowa jest z powodzeniem wykorzystywana do produkcji zintegrowanych obwodów optycznych, a po dodatkowej obróbce przy użyciu środków trawiących, także do wytwarzania struktur mikrofluidycznych w różnych szklach.

Celem projektu jest badanie modyfikacji nieliniowych właściwości optycznych kryształów ferroelektryków, półprzewodników, związków organicznych i nieorganicznych, indukowanych przez zogniskowane ultraszybkie impulsy laserowe. We wszystkich tych trzech grupach kryształów można znaleźć materiały o bardzo wysokich współczynnikach nieliniowych, ale tylko w ferroelektrykach wytwarzanie struktur okresowych, umożliwiających dopasowanie fazowe jest stosunkowo łatwe, przy czym tylko w dwóch wymiarach. W przypadku półprzewodników, wytwarzanie struktury okresowej jest niezwykle skomplikowane i nawet małe próbki osiągają ceny liczone w dziesiątkach tysięcy dolarów, a dla kryształów organicznych i nieorganicznych taka metoda w zasadzie nie istnieje. Pozytywne wyniki tego projektu umożliwią tworzenie trójwymiarowych nieliniowych struktur fonicznych, umożliwiających dopasowywanie faz i wydajną nieliniową konwersję światła w kryształach, w których nie jest to możliwe przy użyciu innych, istniejących metod.

W ramach tego projektu założę nowy zespół badawczy *FemtoScribe*, ukierunkowany na lepsze zrozumienie interakcji ultraszybkich impulsów laserowych z materią i zmian strukturalnych w ferroelektrykach, półprzewodnikach, kryształach organicznych i nieorganicznych. Opracowanie metody całkowicie optycznej inżynierii nieliniowych właściwości materiałów krystalicznych pozwoli na uzyskanie najnowocześniejszych struktur fonicznych dla zintegrowanych nieliniowych obwodów fonicznych, nieliniowej parametrycznej konwersji światła i potencjalnie generacji promieniowania terahercowego.