

Falowody polarytonowe oparte o kryształy chiralnych perowskitów.

Polarytony ekscytonowe (dalej: polarytony) to wyjątkowe kwazicząstki, które łączą cechy światła i materii. Powstają w wyniku sprzężenia fotonów (cząstek światła) z ekscytonami, czyli związanymi parami elektron–dziura w materiale. Dzięki temu mogą być wykorzystywane m.in. do optycznego przetwarzania informacji, czy tworzenia sztucznych neuronów. Aby wytworzyć polarytony, zwykle stosuje się mikrownękę optyczną — strukturę złożoną z dwóch zwierciadeł Bragga (DBR) oraz emitera, w którym można wzbudzić ekscytony. Kluczową rolę odgrywa również strukturyzacja przestrzenna takiego układu, która pozwala precyzyjnie kontrolować jego właściwości i dostosować go do zastosowań w fotonice.

Z praktycznego punktu widzenia istotne jest stosowanie materiałów, w których ekscytony mogą istnieć w temperaturze pokojowej. Takimi materiałami są m.in. perowskity, które zyskały dużą popularność również ze względu na łatwość syntezy (niewymagającą wysokich temperatur i ciśnień) oraz możliwość sterowania ich właściwościami poprzez modyfikację składu. Dzięki tym cechom perowskity mogą przyjmować różną strukturę — od quasi-dwuwymiarowej po trójwymiarową — a w obrębie każdej z tych grup można dostrajać energię emisji w szerokim zakresie.

W naszym projekcie skupiamy się na perowskitach mających jeszcze jedną interesującą właściwość — chiralności, czyli braku symetrii względem własnego odbicia lustrzanego. Przykładami są związki o wzorze $(R/S\text{-MBA})_2\text{PbX}_4$ ($\text{MBA} = \text{C}_6\text{H}_5\text{C}_2\text{H}_4\text{NH}_3$, $\text{X} = \text{jod lub brom}$). Te materiały nie tylko same są chiralne, ale również emitują światło o chiralnych właściwościach.

Nowatorskim aspektem projektu będzie tworzenie z takich perowskitów monokrystalicznych falowodów o zadanej geometrii. Zrealizujemy to za pomocą rozwijanej na Uniwersytecie Warszawskim unikatowej techniki mikrofluidycznie wspomaganey pseudomorfozy. Metoda ta pozwala na jednoczesne wytwarzanie złożonych struktur — od prostych falowodów po sprzęgacze, dzielniki wiązki i interferometry — bez konieczności wielu etapów obróbki. Cała struktura powstaje w trakcie procesu krystalizacji z roztworu.

Wcześniej wykazaliśmy, że w monokryształach achiralnych perowskitów mogą powstawać polarytony nawet bez użycia zwierciadeł DBR, co znacząco upraszcza proces produkcji, obniża koszty i zwiększa potencjał zastosowań. Teraz chcemy rozszerzyć to podejście na chiralne polarytony, które będą emitować światło o określonej chiralności. W celu integracji tych układów z przyszłymi urządzeniami fonicznymi planujemy również wykonanie sprzęgaczy w postaci podfalowych siatek polimerowych bezpośrednio na kryształach. Elementy te pozwolą precyzyjnie wprowadzać światło do układu, badać relacje dyspersyjne i zwiększyć efektywność energetyczną eksperymentów.

Ostatnim etapem projektu będzie połączenie falowodów z konwencjonalną mikrownęką opartą na zwierciadłach DBR lub lustrach srebrnych. W takim hybrydowym układzie powstaną silnie zlokalizowane stany polarytonowe przypominające stany znane z drutów kwantowych. Pozwoli to na dokładną kontrolę energii emisji chiralnego światła oraz separacji między poszczególnymi modami.

Główną techniką badawczą będzie przestrzennie i kątowno rozdzielona tomografia spektralna, która umożliwi analizę sygnałów pochodzących z odbicia, transmisji oraz fotoluminescencji. Eksperymenty przeprowadzimy zarówno w trybie nierezonansowym (gdy polarytony powstają pośrednio, z użyciem impulsu lasera o krótszej długości fali niż energia emisji), jak i rezonansowym, w którym polarytony są bezpośrednio wstrzykiwane do układu za pomocą odpowiednio dostrojonego lasera — umożliwiając precyzyjną kontrolę ich właściwości już na wejściu, np. polaryzacji światła.

Wyniki naszych badań przyczynią się do rozwoju chiralnej fotoniki – pokażemy, jak z chiralnych perowskitów tworzyć falowody, sprzęgacze, dzielniki wiązki i inne komponenty umożliwiające precyzyjne sterowanie światłem w reżimie silnego sprzężenia światła z materią.