



Warszawa, 22 sierpnia 2024

Nowatorskie falowody perowskitowe z efektem laserowania krawędziowego

Zintegrowane obwody fotoniczne działające w temperaturze pokojowej w połączeniu z optycznymi efektami nieliniowymi mogą zrewolucjonizować zarówno klasyczne, jak i kwantowe przetwarzanie sygnałów. Naukowcy z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, we współpracy z innymi instytucjami z Polski a także Włoch, Islandii i Australii zademonstrowali tworzenie kryształów perowskitów o predefiniowanych kształtach, które mogą służyć w nieliniowej fotonice jako falowody, sprzęgacze, rozdzielacze i modulatory. Wyniki badań, opublikowane w prestiżowym czasopiśmie „Nature Materials” opisują wytwarzanie tych nowatorskich struktur oraz efekt laserowania krawędziowego. W szczególności, pokazano, że efekt ten jest wynikiem tworzenia się kondensatu polarytonów ekscytonowych, będących kwazicząstkami zachowującymi się częściowo jak światło, a częściowo jak materia.*

Profesor Barbara Piętka z Wydziału Fizyki UW, inicjatorka projektu i osoba odpowiedzialna za przebieg badań podkreśla, że „perowskity wykazują dużą wszechstronność: od polikrystalicznych warstw, nano- i mikro- kryształów do kryształów objętościowych. Mogą być używane w różnorodnych aplikacjach, od ogniw słonecznych po lasery. Niektóre z nich, na przykład użyty przez nas perowskit CsPbBr_3 , dzięki dużej energii wiązania ekscytonów i sile oscylatora, są także idealnymi półprzewodnikami do zastosowań optycznych. Te efekty pozwalają na wzmocnienie oddziaływań ze światłem, co znacznie obniża energię potrzebną do nieliniowego wzmocnienia światła”.

Badacze zastosowali powtarzalne i skalowalne metody syntezy, aby uzyskać kryształy perowskitowe o dokładnie zdefiniowanych wymiarach i kształtach. Wykorzystali podejście mikrofluidyczne, w którym kryształy hodowane są z roztworu w wąskich polimerowych formach, odciskanych z matryc o zadanym kształcie. Kluczowym elementem było sterowanie zarówno stężeniem roztworu jak i temperaturami wzrostu oraz zapewnienie atmosfery nasyconych par rozpuszczalnika. To podejście, wraz z wykorzystaniem niemal atomowo gładkich matryc z arsenku galu, wykonanych metodą elektronolitograficzną oraz trawieniem plazmowym w Instytucie Mikroelektroniki i Fotoniki Sieci Badawczej Łukasiewicz w zespole kierowanym przez dr hab. Annę Szerling, zapewniło otrzymanie wysokiej jakości monokryształów. W ten sposób kryształy CsPbBr_3 mogą być formowane w dowolne kształty, z krawędziami od narożników pod kątem prostym po gładkie zakrzywienia, co jest prawdziwym osiągnięciem w świecie krystalicznych materiałów. Dodatkową zaletą jest to, że mogą być wytwarzane na dowolnym podłożu, co zwiększa ich kompatybilność z istniejącymi urządzeniami fonicznymi.

Mgr Mateusz Kędziora, doktorant na Wydziale Fizyki UW i pierwszy autor pracy, który

opracował metody syntezy kryształów, dodaje: "Kryształy te dzięki swojej wysokiej jakości tworzą między ściankami bocznymi rezonator typu Fabry-Pérot, umożliwiając obserwację silnych efektów nieliniowych bez potrzeby wykorzystania zewnętrznych luster Bragga", co daje nadzieję na zastosowanie tych materiałów w technologii zintegrowanych obwodów fotonicznych.

Realizacja laserowania polarytonowego z interfejsów i narożników mikrodrutów, to kolejny przełom. „Długość fali emitowanego światła jest modyfikowana przez efekty silnego oddziaływania ze światłem, co wskazuje na to, że za emisję odpowiada tworzenie się nierównowagowego kondensatu Bosego-Einsteina polarytonów ekscytonowych. Nie jest to zatem konwencjonalne laserowanie z powodu efektu Purcella, a emisja z kondensatu w reżimie silnego sprzężenia światło-materia” wyjaśnia Barbara Piętka. „Wysoka koherencja pomiędzy różnymi sygnałami emitowanego światła z krawędzi i narożników, potwierdzona w fotoluminescencji dalekiego pola i spektroskopii kątowno-rozdzielonej, wskazuje na powstanie spójnego, rozciągającego się na makroskopowe odległości kondensatu polarytonowego” uzupełnia dr Helgi Sigurðsson, z Wydziału Fizyki UW oraz Science Institute, University of Iceland w Reykjavíku. Dodatkowym potwierdzeniem efektów nieliniowych jest wzrost energii wraz z rosnącym obsadzeniem danego modu (czyli tak zwany blueshift), co jest rezultatem oddziaływań wewnątrz kondensatu. Dzięki unikatowym właściwościom struktur perowskitowych kondensat może przemieszczać się na duże odległości wewnątrz kryształów, a emitowane światło propagować przez przerwy powietrzne do sąsiadujących struktur.

„Nasze symulacje pokazują jak naturalnie wytworzony rezonator dla modów światła i rozpraszanie wpływają na emisję z krawędzi i zagięć w kryształach” dodaje dr Andrzej Opala z Wydziału Fizyki UW i Instytutu Fizyki PAN, jeden z głównych autorów pracy i twórca modelu teoretycznego pokazującego jak apertura numeryczna i ograniczenie przestrzenne w mikrodrutach wpływają na obserwowane efekty. „Ponadto, dzięki obliczeniom bazującym na rozwiązaniu równań Maxwella w trójwymiarowych strukturach o skomplikowanych kształtach, mogliśmy zwizualizować mody fotonowe i pokazać, jak tworzy się ich obraz w polu dalekim” opisuje prof. Tomasz Czystanowski z Instytutu Fizyki Politechniki Łódzkiej zajmujący się symulacjami struktur fotonicznych i laserowych. Nowe odkrycie pozwala na wykorzystanie ich w kompaktowych systemach „on-chip”, które mogą obsługiwać zarówno klasyczne, jak i kwantowe zadania obliczeniowe. „Przewidujemy, że nasze odkrycia otworzą drzwi do przyszłych urządzeń, które będą mogły działać na poziomie pojedynczych fotonów, integrując nanolasery z falowodami i innymi elementami na jednym chipie” podsumowuje prof. Michał Matuszewski z Centrum Fizyki Teoretycznej Polskiej Akademii Nauk.

Perowskity mogą odegrać kluczową rolę w dalszym rozwoju technologii optycznych, a odkrycia fizyków z UW mogą znacząco zwiększyć szansę na wykorzystanie kryształów perowskitów w nieliniowej fotonice działającej w temperaturze pokojowej. Co więcej, opracowane struktury mogą być kompatybilne z technologią krzemową, co dodatkowo zwiększa ich potencjał komercyjacyjny.

*Badania zostały przeprowadzone na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego (UW) we współpracy z Institute of Nanotechnology CNR-Nanotec in Lecce we Włoszech, School of Physics at the Australian National University in Canberra (UAU), Siecią Badawczą Łukasiewicz - Instytutem Mikroelektroniki i Fotoniki (Łukasiewicz-IMI), Instytutem Fizyki Politechniki Łódzkiej (PŁ), Science Institute at the University of Iceland in Reykjavik (UIs), Centrum Fizyki Teoretycznej Polskiej Akademii Nauk (CFT PAN).

Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

Fizyka i astronomia na Uniwersytecie Warszawskim pojawiły się w 1816 roku w ramach ówczesnego Wydziału Filozofii. W roku 1825 powstało Obserwatorium Astronomiczne. Obecnie w skład Wydziału Fizyki UW wchodzi Instytuty: Fizyki Doświadczalnej, Fizyki Teoretycznej, Geofizyki, Katedra Metod Matematycznych Fizyki oraz Obserwatorium Astronomiczne. Badania pokrywają niemal wszystkie dziedziny współczesnej fizyki, w skalach od kwantowej do kosmologicznej. Kadra naukowo-dydaktyczna Wydziału składa się z ponad 250 nauczycieli akademickich. Na Wydziale Fizyki UW studiuje ponad 1100 studentów i ok. 170 doktorantów. Uniwersytet Warszawski w rankingu szanghajskim dla poszczególnych dziedzin (Shanghai's Global Ranking of Academic Subjects) znajduje się wśród 150 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

M. Kędziora, A. Opala, R. Mastria, L. De Marco, M. Król, K. Łempicka-Mirek, K. Tyszka, M. Ekielski, K. Bogdanowicz, M. Guziewicz, A. Szerling, H. Sigurðsson, T. Czyszanowski, J. Szczytko, M. Matuszewski, D. Sanvitto, B. Piętka, *Predesigned perovskite crystal waveguides for room temperature exciton-polariton condensation and edge-lasing*, Nature Materials (2024)
<https://www.nature.com/articles/s41563-024-01980-3>
DOI: 10.1038/s41563-024-01980-3

KONTAKT:

Dr hab. Barbara Piętka, prof. UW
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
barbara.pietka@fuw.edu.pl
tel. +48 22 55 32 764

POWIAZANE STRONY WWW:

<https://www.fuw.edu.pl>
Strona Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
<https://www.fuw.edu.pl/informacje-prasowe.html>
Serwis prasowy Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego

MATERIAŁY GRAFICZNE:

FUW240822b_01.png
https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2024/FUW240822b_01.png
Nowatorskie falowody perowskitowe z efektem laserowania krawędziowego. (Wizualizacja: dr Mateusz Król Uniwersytet Warszawski, the School of Physics at the Australian National University in Canberra)