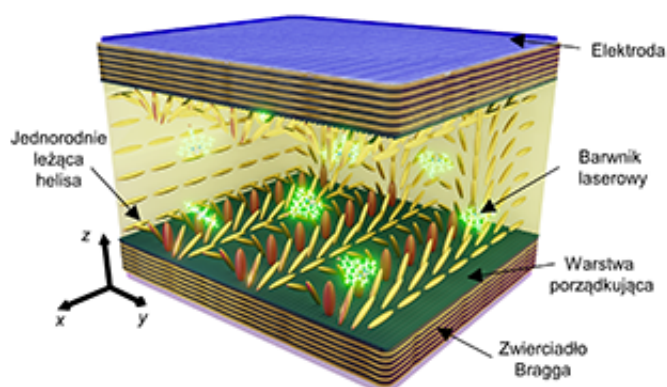


Nowa platforma fotoniczna opracowana przez polski zespół badawczy

2025-06-25

Zespół naukowców z Wydziału Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego, Wojskowej Akademii Technicznej oraz Institut Pascal przy Université Clermont Auvergne opracował nowatorską metodę wykorzystania cholesterycznych ciekłych kryształów w mikrownękach optycznych. Stworzona przez badaczy platforma umożliwia formowanie oraz dynamiczne przestrajanie kryształów fotonicznych z wbudowanym sprzężeniem spin-orbita (SOC) i kontrolowaną emisją laserową. Wyniki tych przełomowych badań zostały opublikowane w renomowanym czasopiśmie „Laser & Photonics Reviews”.



– We wnętrze optycznej ułożono jednorodną strukturę helikalną (ang. uniform lying helix - ULH), ciekłego kryształu w fazie cholesterycznej. Samoorganizująca się struktura helisy z osią leżącą w płaszczyźnie wnętrza działa jako jednowymiarowa, okresowa sieć fotoniczna. Jest to możliwe dzięki wyjątkowym właściwościom ciekłych kryształów, które są wydłużonymi molekułami, przypominającymi ołówki – wyjaśnia prof. Jacek Szczytko z Wydziału Fizyki UW, gdzie prowadzone są badania nad nowatorskimi mikrownękami optycznymi. – Struktura cholesteryczna, to spiralna struktura zbudowana z warstw niemal równolegle zorientowanych molekuł, leżących w jednej płaszczyźnie. Z warstwy na warstwę, kierunek ułożenia molekuł jest delikatnie skręcony, co w sumie buduje strukturę spiralną (helikalną) przypominającą helisy DNA lub makaron typu „świderki”. Kierunek prostopadły do warstw molekuł

wyznacza oś utworzonej helisy. Okazuje się, że gdy w odpowiednim oświetleniu obserwujemy taką strukturę w kierunku prostopadłym do osi helisy, to zauważymy wyraźne pasy o szerokości równej skokowi helisy. Wykorzystanie ciekłych kryształów reagujących na pole elektryczne umożliwia precyzyjne sterowanie tym skokiem, a więc i strukturą pasm fotonicznych, otwierając nowe perspektywy w inżynierii fotonicznej – dodaje prof. Szczytko.

Opisywane efekty są możliwe dzięki zastosowaniu mikrownek optycznych, które ograniczają ruch światła w jednym wymiarze, nadając mu właściwości podobne do cząstek obdarzonych masą. Fotony, które nie mają masy spoczynkowej, we wnęce zaczynają zachowywać się jak cząstki masywne. Dodanie powtarzającego się w przestrzeni potencjału o zadanym okresie związanym ze skokiem helisy, rozszerza tę analogię i umożliwia dalsze manipulowanie tymi właściwościami. – Celem naszych badań jest odkrywanie, w jaki sposób światło może nabywać właściwości przypisywane zwykle materii, zachowując jednocześnie swoje unikalne cechy. W naszej grupie, wykorzystując ciekłokrystaliczne mikrowneki optyczne wytwarzane we współpracy z zespołem Wojskowej Akademii Technicznej, od lat badamy optyczne analogie efektów znanych dotychczas z fizyki ciała stałego – dodaje prof. Jacek Szczytko.

Mikrowneki optyczne zostały wykonane przez naukowców z Wojskowej Akademii Technicznej, w grupie prof. Wiktora Piecka, z wykorzystaniem struktur helikalnych wykreowanych przez prof. Evę Oton we wnękach wytwarzanych przez dr. inż. Przemysława Morawiaka i dr. inż. Rafała Mazura.

– Opracowanie odpowiedniej mieszaniny ciekłokrystalicznej oraz warunków umożliwiających formowanie dobrze uporządkowanej jednorodnej helisy na dużej powierzchni wnęki optycznej stanowi złożone wyzwanie z zakresu inżynierii materiałowej i technologii ciekłokrystalicznej. Nasz zespół ma wieloletnie doświadczenie w kontrolowaniu samoorganizujących się struktur ciekłokrystalicznych – podkreśla prof. Wiktor Piecek z WAT.

– Naukowcy od lat opracowują nano- i mikrostruktury modulujące właściwości światła, które z nimi oddziałuje. Szczególne miejsce zajmują tu kryształy fotoniczne – powtarzalne struktury o okresach porównywalnych z długością fali światła, które prowadzą do powstania struktur pasmowych i przerw wzbronionych, uniemożliwiających fotonom przyjmowanie określonych energii, podobnie jak ma to miejsce w przypadku elektronów w półprzewodnikach – wyjaśnia Marcin Muszyński, pierwszy autor pracy i doktorant realizujący badania na Wydziale Fizyki UW. – Typowe technologie wytwarzania kryształów fotonicznych mają jednak wiele wad: ich wytworzenie jest złożone technologicznie, przez to kosztowne i czasochłonne. Same sieci mają ograniczony rozmiar, a parametry gotowych struktur, takie jak okres czy „głębokość” raz zbudowanej pułapki, trudno zmienić. Nasza praca rozwiązuje te problemy – struktury powstałe dzięki samoorganizacji mają powierzchnię rzędu setek mikrometrów kwadratowych, a dzięki reakcji molekuł ciekłego kryształu na pole elektryczne możemy dynamicznie kontrolować strukturę pasmową światła uwięzionego w mikrowniece.

– Unikalność naszego układu polega na tym, że powstaje w wyniku samoorganizacji molekuł ciekłego kryształu, a samo medium zachowuje właściwości cieczy. Przyłożenie napięcia elektrycznego pozwala nam w czasie rzeczywistym obserwować za pomocą kamery, jak struktura ewoluuje, zachowując jednocześnie periodyczny porządek – dodaje Marcin Muszyński.

– Molekuły ciekłych kryształów mają kształt elipsoidy wydłużonej w jednym kierunku. Ta charakterystyczna cecha prowadzi do wytworzenia dużej dwójłomności, która jest kluczowa w prowadzonych badaniach. Dzięki niej światło o różnej polaryzacji oddziałuje z siecią w odmienny sposób, tworząc niezależne pasma energetyczne. Zaobserwowaliśmy, że wprowadzenie nachylenia molekuł względem osi helisy prowadzi do uzyskania oddziaływania między niektórymi z podpasem energetycznych dla dwóch sieci. Efekt ten nazwaliśmy międzypasmowym sprzężeniem spin-orbita (ang. interband spin-orbit coupling, ISOC) - mówi Przemysław Oliwa, drugi autor artykułu oraz doktorant realizujący badania na Wydziale Fizyki UW. Interpretację i dokładny opis teoretyczny tego efektu zasugerowali współpracujący z naszym zespołem prof. Guillaume Malpuech oraz prof. Dmitry

Solnyshkov, naukowcy z Institut Pascal, Université Clermont Auvergne we Francji.

– Bazując na naszych doświadczeniach z poprzednich prac, również do tej ciekłokrystalicznej periodycznej struktury wprowadziliśmy organiczny barwnik. Ten nowy system pozwolił na zaobserwowanie laserowania z dwóch stanów o różnej energii, czyli podwójnego laserowania. Co więcej, w związku z istnieniem oddziaływania spin-orbita między pasmami w periodycznej strukturze zaobserwowaliśmy laserowanie zarówno w polaryzacji liniowej jak i kołowej. Te ostatnie wyniki pokazują, że nasze badania mają zarówno charakter fundamentalny, jak i aplikacyjny – dodaje dr inż. Piotr Kapuściński z Wydziału Fizyki UW, współautor pracy.

– Nasze wyniki otwierają drzwi do zastosowań w dziedzinie fotoniki topologicznej i nowoczesnych technologii laserowych. Pokazujemy nowe możliwości łączenia efektów SOC z periodycznymi strukturami fonicznymi, a także wskazujemy kierunki dalszych badań nad takimi zjawiskami jak topologiczne przejścia fazowe, model Su-Schrieffer-Heeger czy nieabelowe pola cechowania – podsumowuje prof. Jacek Szczytko. Badania przeprowadzone przez naukowców z UW były współfinansowane przez Narodowe Centrum Nauki oraz projekt „TopoLight”, wyłoniony w konkursie European Innovation Council (EIC) Future and Emerging Technologies (FET-Open) H2020, którego koordynatorem jest Wydział Fizyki UW.

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 300 najlepszych na świecie jednostek, kształcących w dziedzinie fizyki.

PUBLIKACJA NAUKOWA:

Marcin Muszyński, Przemysław Oliwa, Pavel Kokhanchik, Piotr Kapuściński, Eva Oton, Rafał Mazur, Przemysław Morawiak, Wiktor Piecek, Przemysław Kula, Witold Bardyszewski, Barbara Piętka, Daniil Bobylev, Dmitry Solnyshkov, Guillaume Malpuech, Jacek Szczytko Electrically Tunable Spin-Orbit Coupled Photonic Lattice in a Liquid Crystal Microcavity, Laser Photonics Rev. 19(7)/2025)

<https://doi.org/10.1002/lpor.202570027> (okładka)

<https://doi.org/10.1002/lpor.202400794> (artykuł)

KONTAKT:

dr hab. Jacek Szczytko, prof. UW
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
jacek.szczytko@fuw.edu.pl

Mgr Marcin Muszyński
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
marcin.muszynski@fuw.edu.pl

POWIĄZANE STRONY WWW:

<http://polariton.fuw.edu.pl/>

Strona Grupy Polaritonowej

<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:

FUW250625b_01

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2025/FUW250625b_01.jpg

Artykuł został zaprezentowany na okładce czasopisma Laser & Photonics Reviews (rys. Marcin Muszyński, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego),

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/lpor.202400794>

FUW250625b_02

https://www.fuw.edu.pl/tl_files/press/images/2025/FUW250625b_02.png

Przestrzalalny kryształ fotoniczny oparty na samoorganizującej się strukturze ciekłego kryształu w mikrownęce optycznej (rys. Marcin Muszyński, Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego).



[FUW250625aNowa_platforma_fotoniczna_opracowana_przez_polski_zespol_badawczy.pdf \(257.9 kB\)](#)