

Jednym z poważnych wyzwań współczesnego świata jest opracowanie skutecznych sposobów przetwarzania informacji. Komputery, od czasu ich wynalezienia, stały się szybsze i bardziej złożone, a najmniejsze tranzystory osiągają skalę kilku atomów. Dalsza miniaturyzacja urządzeń elektronicznych oraz zwiększanie szybkości i wydajności przetwarzania informacji nie są zatem już możliwe ze względu na fundamentalne ograniczenia fizyczne. Jednym ze sposobów przezwyciężenia tych ograniczeń jest użycie światła jako nośnika informacji zamiast prądu elektrycznego.

Fotony mają trzy główne zalety. Po pierwsze, są szybsze niż elektrony. Po drugie, rozchodzą się na bardzo duże odległości z dużo mniejszymi stratami. Po trzecie, pozwalają na kodowanie informacji w natężeniu światła, polaryzacji, fazie lub energii. Wciąż jednak zarówno analogowe, jak i cyfrowe schematy obliczeniowe wymagają nieliniowej transformacji sygnałów, jaką w przypadku elektroniki zapewniają tranzystory lub bramki. Fotony są jednak cząstkami słabo oddziałującymi, a fotoniczne zjawiska nieliniowe zachodzą głównie przy oświetlaniu ośrodka wiązką laserową o wysokiej mocy. Z tego względu fotony do tej pory były wykorzystywane do szybkiego przesyłu informacji za pomocą światłowodów, nie znajdując praktycznego zastosowania w układach obliczeniowych.

Dotychczasowe badania sugerują, że quasi-cząstki światła i materii powstające we wnękach optycznych, tzw. polarytony ekscytonowe, są źródłem zjawisk nieliniowych zachodzących przy stosunkowo niskich mocach pobudzania. Niedawno wykazaliśmy, że polarytony mogą realizować nieliniowe działanie bramki logicznej XOR w sposób efektywny energetycznie. Następnie zastosowaliśmy polarytony do opracowania sztucznej sieci neuronowej i nauczania jej rozpoznawania obrazów. Jednak wyniki te uzyskaliśmy stosując mikrownęki optyczne oparte są na strukturach półprzewodnikowych, które do działania wymagają temperatur kriogenicznych.

Do praktycznego zastosowania w urządzeniach fotonicznych proponujemy opracowanie nowej platformy fotonicznej opartej na polarytonach ekscytonowych pracujących w temperaturze pokojowej. Dążymy do osiągnięcia wydajności transformacji nieliniowej przekraczającej możliwości obecnie dostępnych krzemowych urządzeń fotonicznych oraz opracowania nowej geometrii falowodów polarytonowych lub obwodów z możliwością propagacji spinowo spolaryzowanych prądów polarytonowych.

Nasz pomysł opiera się na wprowadzeniu perowskitów do wnęki optycznej wypełnionej ciekłymi kryształami. Perowskity mają doskonałe właściwości optyczne i idealnie nadają się do układów, w których oddziaływania światło-materia są istotne, a co ważniejsze działających w temperaturze pokojowej. Nasza nowatorska metoda wzrostu pozwala na wytwarzanie stabilnych optycznie kryształów perowskitu, które można pobudzać laserem impulsowym w szerokim zakresie energii impulsów. Komponent ciekłokrystaliczny zapewnia nową funkcjonalność, tj. przestrajalność mikrownęki dzięki wysokiej dwójłomności i efektem sprzężenia spinowo-orbitalnego z fotonami wnękowymi. Tym samym jedno urządzenie pozwala na kontrolę energii, fazy, natężenia i polaryzacji emitowanego światła. W ramach projektu wykorzystamy optyczne efekty nieliniowe, aby osiągnąć laserowanie polarytonowe o niskim progu. Jest to szczególnie ważne np. w fotonicznym neuromorficznym schemacie obliczeniowym, gdzie wydajne przetwarzanie danych wymaga nieliniowej transformacji danych wejściowych. Proponujemy wzrost kryształów perowskitów w różnych geometriach. Geometria falowodu, sprzęgacza i dzielnika optycznego pozwoli nam przetestować przydatność naszego systemu w urządzeniach fotonicznych, takich jak przełączniki optyczne, czy akceleratory fotoniczne. To, w połączeniu z dwójłomnym ciekłym kryształem, pozwoli osiągnąć reżim, w którym prądy spolaryzowane spinowo będą propagować się wzdłuż naszego falowodu. Wierzymy, że nasz nowatorski system fotoniczny pozwoli w przyszłości na energooszczędne i ultraszybkie, w pełni optyczne przetwarzanie informacji.