

Termin "laser" jest zwykle kojarzony z dużym i ciężkim urządzeniem. Celem niniejszego projektu jest zaprojektowanie i wytworzenie przestrajalnego mikro-lasera o bardzo niskim progu laserowania. Pierwszym z elementów służących do wytworzenia takiej struktury jest tzw. siatka podfalowa, czyli siatka dyfrakcyjna wykonana z dielektryka lub metalu o okresie mniejszym niż długość fali światła. Mimo niewielkich wymiarów przestrzennych element taki jest w stanie pełnić rolę wysoce wydajnego lustra. Inaczej jednak niż w przypadku typowego lustra, zasadą jego działania jest interferencja destruktywna pomiędzy światłem przechodzącym przez obszary siatki o różnej grubości optycznej. Siatki podfalowe stanowią obecnie atrakcyjną alternatywę dla wielowarstwowych luster typu braggowskiego, które są powszechnie stosowane konstrukcji mikrowęknę optycznych.

Kolejnym komponentem proponowanego mikro-lasera jest ultracienka warstwa wydajnego emitera półprzewodnikowego. Najlepszymi kandydatami są tutaj cienkie dwuwymiarowe warstwy perowskitowe lub monowarstwy materiałów typu van der Waalsowskiego, takich jak dichalkogeniki metali przejściowych, intensywnie rozwijane i badane w ciągu ostatnich lat. Jedną z ich głównych zalet jest wysoka wydajność emisji, utrzymująca się do temperatury pokojowej.

Integracja dielektrycznej siatki podfalowej z ultracienką warstwą wydajnego emitera półprzewodnikowego pozwoli na uzyskanie hybrydowej struktury działającej jak mikro-laser o niskim progu pracy. W pierwszym kroku procesu produkcji, warstwa dielektryka lub półprzewodnika o grubości kilku mikrometrów zostanie poddana mikrostrukturyzacji tak, aby powstała siatka podfalowa. Następnie na powierzchnię siatki zostanie nałożona warstwa półprzewodnika przy zastosowaniu metody wytrącenia z roztworu, epitaksji z wiązek molekularnych, gdzie atomy osadzone są warstwa po warstwie lub eksfoliacja z próbki objętościowej.

Proponowane struktury hybrydowe zostaną zaprojektowane za pomocą obliczeń numerycznych we współpracy z Instytutem Fizyki Politechniki Łódzkiej. Obliczenia te wskazują, że silne związanie światła w niewielkiej objętości struktury wiąże się z dużą amplitudą oscylującego pola elektrycznego w rejonie cienkiej warstwy półprzewodnikowej osadzonej na powierzchni siatki. Wynikające z tego wzmocnienie oddziaływania światło-materia powinno doprowadzić do powstania quasi-cząstek zwanych polarytonami ekscytonowymi, czyli hybrydowych quasi-cząstek łączących cechy światła i materii. Ze względu na ich bozonowy charakter, polarytony ulegają kondensacji Bose-Einsteina. Promienisty zanik kondensatu skutkuje koherentną emisją światła. Emisja taka, w analogii do typowego laserowania, opisywana jest jako laserowanie polarytonowe. Jako konsekwencja stymulowanego rozpraszania polarytonów, laserowanie polarytonowe wymaga jednak znacznie mniejszej mocy wzbudzenia niż typowe laserowanie, które wymaga inwersji obsadzeń. Oznacza to, że proponowany mikro-laser będzie się charakteryzował nie tylko bardzo małą objętością przestrzenną, ale również jego działanie będzie charakteryzowało się niskim progiem pracy, czyli będzie wymagało dostarczenia niewielkiej ilości energii.

Kwestia spektralnego strojenia proponowanego mikro-lasera zostanie rozwiązana poprzez nałożenie struktur na piezo-element i rozciąganie ich w kierunku prostopadłym do siatki. Problem strojenia siatek podfalowych nie został dotychczas rozwiązany, zatem obecny projekt ma szansę przyczynić się do jego rozwiązania.

Warto podkreślić, że zaproponowane w projekcie właściwości struktur hybrydowych czynią z nich doskonałą platformę do realizacji różnorodnych mikro-urządzeń dyfrakcyjnych. Należą do nich modulatory światła, płytki falowe, filtry kolorowe czy czujniki, których działanie będzie uzależnione od takich właściwości wiązki jak kierunek jej padania czy polaryzacja. Ostatnie osiągnięcia w zakresie mikrostrukturyzacji i technologii półprzewodnikowej 2D zapewniającej najwyższy stopień kontroli procesu produkcji są obiecujące dla masowej produkcji takich urządzeń.