

Projekt dotyczy opracowania platformy materiałowej dla nowych, energooszczędnych i w mikro-skali laserów polarytonowych dla telekomunikacji i optycznego przetwarzania danych. Projekt stanowi synergię innowacyjności technologicznej i badań fundamentalnych nad własnościami materii i zaawansowanego sprzężenia światła z materią i powstał jako odpowiedź na rosnące zapotrzebowanie na ogromne ilości przetwarzania danych cyfrowych w społeczeństwie informacyjnym, osiągane limity obecnie stosowanych rozwiązań i politykę oszczędności zasobów energetycznych wpływającą na stan środowiska naturalnego.

Proponowana w projekcie platforma materiałowa to nowo odkryte atomowo-cienkie kryształy dwutelurku molibdenu (MoTe_2) i dwutelurku molibdenowo-wolframowego (MoWTe_2) należące do nowo odkrytej klasy półprzewodników z prostą przerwą należących do grupy dichalkogenków metali przejściowych zamknięte pomiędzy dwoma płaskimi lustkami wykonanymi z klasycznych materiałów półprzewodnikowych na bazie arsenku galu (GaAs) lub tlenków (SiO_2 , TiO_2). Układ luster tworzy mikrorezonator, w którym światło (fotony) zamknięte w środku może silnie oddziaływać na poziomie kwantowym ze składnikami materii (pary elektron-dziura = ekscytony) w zastosowanych kryształach. W wyniku tego oddziaływania powstają nowe kwazi-cząstki zwane polarytonami mające częściowo własności światła a częściowo materii. Dzięki zastosowanej odpowiedniej architekturze układu warstw materiału dąży się do zgromadzenia polarytonów, tak aby wszystkie one tworzyły jeden kwantowy stan materii zwany kondensatem polarytonowym. Kondensat ten jest bezpośrednią emanacją oddziaływań z kwantowego mikroświata, ale w skali makroskopowej i jest w stanie emitować fotony o charakterystyce konwencjonalnych laserów, ale przy znacznie mniejszym koszcie zużycia energii.

Atomowo-cienkie kryształy warstwowe MoTe_2 i MoWTe_2 mają dwa istotne własności mogące zaowocować wytworzeniem lasera polarytonowego przydatnego dla zastosowań komunikacyjnych. Przewidywania teoretyczne oraz częściowo wyniki doświadczalne pokazują, iż konieczne do wytworzenia polarytonów składniki materii w tym materiale (pary elektronu i dziury zwane ekscytonami), są w stanie przetrwać znacznie powyżej temperatury pokojowej i nie ulegają rozpadowi, a do tego ekscytony emitują światło w pobliżu telekomunikacyjnie-istotnego zakresu spektralnego.

Zadania badawcze w projekcie mają pozwolić na odpowiedzi na następujące pytania:

- czy atomowo-cienkie kryształy MoTe_2 i MoWTe_2 są dobrymi kandydatami dla mikro-rozmiarowych emiterów świecących fotonami o długości fali fotonów powyżej $1 \mu\text{m}$?
- do jakich granic można sterować własnościami podstawowych składników materii (ekscytonów) w tych kryształach, aby uzyskać emitowane przez nie światło w telekomunikacyjnie-istotnym zakresie spektralnym w pobliżu $1.3 \mu\text{m}$ długości fali fotonów?
- jak uzyskać dobrej jakości mikrorezonator optyczny konieczny do otrzymania silnego sprzężenia zamkniętych w nim fotonów i ekscytonów w kryształach MoTe_2 i MoWTe_2 w kierunku wytworzenia polarytonów emitujących w istotnym dla projektu zakresie spektralnym?
- czy możliwe jest osiągnięcie kondensacji polarytonów na tej platformie materiałowej;
- czy możliwe jest, i co trzeba zrobić, aby tak się stało, wytworzenie mikro-rozmiarów koherentnego źródła światła bazującego na proponowanych kryształach operującego w temperaturze pokojowej i emitującego fotony w zakresie telekomunikacyjnym?

Chociaż wiele fascynujących właściwości kondensatów polarytonowych jest już poznanych, jeszcze więcej pozostaje niezbadanych lub niezrozumiałych zarówno na gruncie teorii jak i doświadczenia. Badania nad własnościami kondensatów z użyciem warstwowych, atomowo-cienkich kryształów dichalkogenków metali przejściowych do których rodziny należą MoTe_2 i MoWTe_2 , są dopiero na początku swojej drogi. Znalezienie odpowiedzi na wiele pytań dotyczących takich kondensatów pomoże zrozumieć oddziaływania na poziomie kwantowym w układach półprzewodników warstwowych. Wykorzystanie kryształów MoTe_2 i MoWTe_2 , może wskazać drogę dla nowych projektów urządzeń optoelektronicznych wykorzystujących unikalne własności silnego oddziaływania światła z materią w zakresie podczerwonym widma promieniowania elektromagnetycznego, ważnego z punktu widzenia zastosowań.

Projekt realizowany jest w ścisłej kooperacji pomiędzy Politechniką Wrocławską a Uniwersytetem w Würzburgu, Niemcy włączając współpracującego partnera technologicznego z Uniwersytetu Stanowego w Arizonie, Tampa, USA. Eksperymenty z zakresie optyki liniowej oraz optyki kwantowej w obszarze bliskiej podczerwieni realizowane są z wykorzystaniem światowej klasy aparatury będącej na wyposażeniu polskiej grupy badawczej. Zespół naukowców z Uniwersytetu w Würzburgu jest światowej klasy liderem w technologii wytwarzania zaawansowanych nanostruktur w hybrydowej technologii wielomateriałowej, a partner amerykański jest światowej klasy wytwórcą kryształów dichalkogenków metali przejściowych.