

Ludzkie oko jest czułe jedynie na pewien zakres długość fal elektromagnetycznych, zwany widmem widzialnym lub ogólnie światłem. Światło jest więc szczególnym rodzajem fali elektromagnetycznej, która ma składowe związane z polem elektrycznym i magnetycznym, które oscylują prostopadle do kierunku rozchodzenia. Światło może zachowywać się jak fala, bądź jak cząsteczka. Toteż część obserwowanych zjawisk fizycznych można wyjaśnić w oparciu o tę dualną korpuskularno-falową naturę światła, ale do wyjaśnienia wielu zjawisk wystarczają podstawowe prawa fizyki związane z falową naturą światła, jest wśród nich dyfrakcja, rozpraszanie, załamanie, odbicie czy zmiana polaryzacji światła. Zachowanie światła zależy od ośrodka w którym się ono rozchodzi, w ogólności współczynnik załamania określa falowe właściwości ośrodka i jest wykorzystywany do opisu rozchodzącej się w nim fal. Wszystkie znane, występujące w naturze materiały w których rozchodzi się światło, mają dodatni współczynnik załamania, nie są znane materiały o ujemnym współczynniku załamania. Dopiero na początku XXI wieku w oparciu o opracowania teoretyczne prof. J. Pendryego, prof. D. Smith eksperymentalnie zademonstrował sztucznie wytworzony materiał, który charakteryzuje się ujemnym współczynnikiem załamania. Chociaż było to dla mikrofal, fal elektromagnetycznych o długości milimetrów, zapoczątkowało to gwałtowny rozwój nowej gałęzi wiedzy związanej z metamateriałami.

W trakcie prawie dwóch dekad badań nad tymi nowymi materiałami, naukowcy znaleźli sposób jak przenieść efekty anormalnego załamania i ugięcia fal na grunt światła, a także jak maksymalnie zminiaturyzować układy służące do kontroli złamania i odbicia fal. Tak powstała koncepcja metapowierzchni, czyli płaskiej dwuwymiarowej struktury pozwalającej kontrolować padające i odbite światło. Kiedy światło pada na taką powierzchnię, doznaje załamania czy odbicia, w kierunku i z intensywnością zgodnie z zaprojektowaną w nanoskali strukturą tworzącą tę metapowierzchnię. Metapowierzchnie mogą być projektowane tak by kierować, czy skupiać padające światło w określonym kierunku i odległości. Grubość metapowierzchni jest mniejsza od długości światła, także jest to niezmiernie cienka i płaska warstwa, a dzięki swoim właściwościom, metapowierzchnie mogą zastąpić zwykle urządzenia optyczne, jak soczewki, pryzmaty, hologramy. Płaskie elementy optyczne i urządzenia do hologramów bazujące na metapowierzchniach, są jednymi z bardziej aktywnych kierunków badań w nanofotonice. W ostatnim czasie wiele propozycji soczewek i hologramów opartych o metapowierzchnie (meta-soczewki) zostało zademonstrowanych eksperymentalnie w różnych laboratoriach na całym świecie. Jednakże obecnie projektowane i wytwarzane urządzenia w oparciu o metapowierzchnie mają istotne ograniczenia związane z ich monochromatycznością, czyli funkcjonowaniem tylko dla jednej wybranej częstotliwości (długości fali, czyli dla światła o jednym kolorze). To poważnie ogranicza możliwości zastosowań praktycznych. W tym projekcie, głównym jego celem jest projektowanie nowych metapowierzchni, które będą funkcjonować poprawnie dla fal o różnych częstotliwościach. By znaleźć właściwe rozwiązanie, będziemy rozważać kilka mechanizmów mogących zwiększyć funkcjonalność metapowierzchni. Wyboru najbardziej obiecującego rozwiązania do weryfikacji eksperymentalnej dokona się na bazie zaawansowanych symulacji numerycznych. Końcowym rezultatem projektu będzie demonstracja meta-soczewki działającej dla kilku częstotliwości z zakresu światła widzialnego i wykorzystania jej do wytworzenia hologramu.

Proponowane badania są oparte o prace realizowane do doktoratu, którego tematem są badania płaskich układów fotonicznych bazujących na metapowierzchniach. Opublikowane trzy prace w renomowanych międzynarodowych czasopismach, dotyczyły w pełni dielektrycznych ultracienkich urządzeń do konstrukcji wyświetlaczy fotonicznych. Już nabyte doświadczenie w symulacjach numerycznych, wytwarzaniu nanostruktur fotonicznych, i eksperymentalnych badań metapowierzchni są w bezpośredniej relacji do proponowanych badań. Wstępne obliczenia i wyniki eksperymentalne przeprowadzone w NCTU na Tajwanie były główną motywacją do podjęcia proponowanej tematyki badawczej. Otrzymane wstępne rezultaty pozwalają optymistycznie patrzeć na realizację projektu i stworzenie płaskich urządzeń fotonicznych, które mogą przyczynić się do poprawy funkcjonowania smartfonów, aparatów fotograficznych, czy urządzeń holograficznych. Nowe urządzenia mogą być nawet 100 razy cieńsze i lżejsze od obecnych, co może przyczynić się do rozwoju nowych technologii z wirtualnej rzeczywistości, czy Internetu rzeczy. Dodatkową zaletą jest kompatybilność proponowanej technologii wytwarzania ze standardową technologią CMOS, także projektowane meta-soczewki będą mogły być wytwarzane na tym samym chipie i w tym samym procesie litograficznym. Jest to dużą zaletą w stosunku do zwykłych układów optycznych, które muszą być wytwarzane w wielu procesach, co jest czasochłonne i kosztowne. Jeszcze większego wpływu projektu można oczekiwać w obszarze czujników fotonicznych, nieinwazyjnych urządzeń medycznych i zastosowań do fotowoltaiki.