

Oddziaływanie światła z materią to nieustający przedmiot badań podstawowych. Potwierdzeniem tego są m.in. aktualnie prowadzone badania dotyczące właściwości metamateriałów elektromagnetycznych, ciekłych kryształów oraz plazmoniki metamateriałowej – nowej interdyscyplinarnej dziedziny badań układów mezo- i nanoskopowych.

Nadzwyczajną z poznańczego punktu widzenia są badania mikroskopowych, wielokomponentowych struktur, w których wykorzystuje się efekt synergetyczny, tj. współdziałania zjawisk i właściwości fizycznych elementów budujących składnikami struktury. Opracowanie, wytworzenie i badania ciekłokrystalicznych przetworników z nanostrukturami metamateriałowymi – o przestrzajalnych właściwościach refrakcyjnych – mające na celu wykrycie ich nowych funkcjonalności są, aktualnie i perspektywnie dziedziną działalnością naukowo-badawczą, do której należy zaliczyć niniejszy projekt.

Wykorzystując wnioski płynące z dotychczasowych rezultatów, nabyte dotychczas do wiadomości oraz aktualną wiedzę z zakresu budowy przetworników metamateriałowych celem zespołu będzie opracowanie, wytworzenie i badania ciekłokrystalicznych przetworników z nanostrukturami metamateriałowymi o przestrzajalnych właściwościach refrakcyjnych, a także synteza materiałów ciekłokrystalicznych domieszkowanych nanocząstkami ferroelektrycznymi, dzięki którym będzie można przestrajac ich współczynnik załamania w możliwie najszerszym zakresie spektralnym.

Metamateriały elektromagnetyczne to wytwarzane za pomocą nowoczesnych technologii, nie występujące naturalnie w przyrodzie, struktury kompozytowe wykazujące zjawisko ujemnego załamania światła, dzięki temu, oddziałują rezonansowo jednocześnie z polem elektrycznym i magnetycznym fali elektromagnetycznej. Stwarza to nowe, spektakularne możliwości związania zdolności rozdzielczej urządzeń optycznych, czy pokonania granicy dyfrakcyjnej. Właściwości takich struktur zostały teoretycznie zapostulowane w 1968 roku przez V. Veselago. Praktycznie do 1996 roku nie zajmowano się tym zagadnieniem. Na przestrzeni ostatnich kilkunastu lat można zauważyć znaczny wzrost zainteresowania strukturami wykazującymi ujemny współczynnik załamania światła. Fala elektromagnetyczna padająca na tak sztucznie stworzone struktury oddziałuje z nimi w taki sposób, że w określonym zakresie częstotliwościowo – przestrzajnej wartości przenikalności magnetycznej i elektrycznej wykazują ujemne wartości, a co za tym idzie uzyskuje się ujemny współczynnik załamania. Zakres występowania ujemnego współczynnika załamania jest zależny od rozmiarów periodycznych struktur. Efekt obserwowany jest dla pewnego przedziału długości fali, przy czym wymiary struktury powinny być kilkakrotnie mniejsze od długości fali. Następstwem ujemnych wartości przenikalności elektrycznej i magnetycznej jest zróbnicowanie kierunku przdkoci fazy i grupowej fali elektromagnetycznej.

Nanostruktury metamateriałowe to materiały plazmoneiczne typu metal – dielektryk o częstotliwościach rezonansowych w zakresie 700 – 1000 nm. Zostaną one wykonane z metali szlachetnych (głównie złota i srebra) na podłożach kwarcowych i polipropylenowych. Metamateriały o ujemnym współczynniku załamania zamierzamy uzyskać poprzez zestawienie ze sobą struktur, które są źródłem ujemnej przenikalności elektrycznej (np. nanodruki, nanopaski) ze strukturami, które są źródłem ujemnej przenikalności magnetycznej μ (np. podwójne i pojedyncze rozcięte rezonatory kwadratowe), zawarte w jednej komórce elementarnej. Ich parametry zostaną określone w wyniku procesów symulacyjnych. Periodyczna struktura metamateriału zostanie utworzona w oparciu o komórki planarne, których kształt zostanie opracowany na podstawie procesów symulacji w Quick Wave 3D. Opracowanie tego typu przetworników daje nam możliwość przestrajania ich parametrów: elektrycznie (poprzez przyłożenie pola elektrycznego i reorientację molekuł ciekłego kryształu od stanu homogenicznego do homeotropowego), termicznie (przejście ze stanu ciekłokrystalicznego do stanu cieczy izotropowej) oraz mechanicznie (przestrojenie jest funkcjonalności przetwornika). W tej klasie materiałów możliwe jest przejście od ujemnego, poprzez zerowy, do dodatniego współczynnika załamania. Mechanizm przestrajania polega na zmianie orientacji warstwy ciekłego kryształu, co skutkuje zmianą przenikalności elektrycznej materiału ciekłokrystalicznego. Zmiana orientacji warstwy ciekłokrystalicznej odbywa się poprzez przyłożenie pola elektrycznego. Stosując do budowy przetworników termotropowe ciekłe kryształy możemy ich parametry przestrajac termicznie, poprzez związanie temperatury i przejście ze stanu ciekłokrystalicznego do stanu cieczy izotropowej. Dodatkowo wykorzystanie do budowy przetworników polipropylenu sprawi, że będzie możliwe ich przestrajanie mechanicznie. Jak dotychczas nikt na świecie nie zbadał właściwości ciekłokrystalicznych przetworników z nanostrukturami metamateriałowymi, które mogłyby przestrajane trzema opisanymi technikami. Optymalizacja przestrajania ciekłokrystalicznych przetworników typu metamateriałów to proces wieloetapowy i skomplikowany. Wielce istotne są tutaj parametry ciekłego kryształu. Ciekły kryształ powinien cechować się dużą wartością anizotropii współczynników załamania oraz małą lepkością, która ma wpływ na szybkość reorientacji molekuł, a przez to na czas przełączania. Wartości parametru uporządkowania oraz anizotropii współczynników załamania nematycznych ciekłych kryształów mogą zostać związane dzięki ich domieszkowaniu nanocząstkami ferroelektrycznymi. Wyniki badań będąc unikatowe w skali światowej.

Obecnie wytwarzanie metamateriałów na zakres bliskiej podczerwieni przysparza wiele problemów technologicznych. Niezależnie od tego metody pozwalające uzyskać z wysoką powtarzalnością nanostruktury o rozdzielczości poniżej 50 nm. Uzyskanie takich rozdzielczości jest możliwe przy zastosowaniu np.: litografii wiązki elektronów (e-beam lithography). Dla zakresu bliskiej podczerwieni wymiary poprzeczne metastruktur są rzędu dziesiątek nanometrów. Warstwy metaliczne o grubości rzędu 100-200 nm napyłane zostaną za pomocą próbnowych napyłarek elektronowych. Niezwykle istotną jest w tym wypadku kontrola i powtarzalność grubości, procesu napyłania (prdkoci napyłania, temperatura podłoża) oraz czystość komory napyłarki próbnowej i napyłanego materiału. Krytycznym parametrem jest chropowatość powierzchni warstw metalu, wraz z którą drastycznie pogarszają się właściwości metastruktur.

Zagadnienia podjęte w projekcie są niezwykle innowacyjne i obejmują badania nowej klasy materiałów, które w niedalekiej przyszłości mogą zrewolucjonizować wiele gałęzi gospodarki. Technologia wytwarzania i badania metamateriałów o ujemnym i przestrzajalnym współczynniku załamania to obecnie jedna z najprężniej rozwijających się i badanych dziedzin inżynierii materiałowej. Pionierskie badania, jakie są obecnie prowadzone w różnych orodkach naukowych na całym świecie dają coraz nowsze i bardziej interesujące rezultaty. Wielu badaczy uważa, że fotoniczne i optyczne technologie metamateriałowe będą najbardziej wpływowymi czynnikami innowacji w XXI wieku.

Efektom realizacji ww. badań będą nowe jakości i funkcjonalnie materiały o przestrzajalnych właściwościach refrakcyjnych (współczynniku załamania) na zakres bliskiej podczerwieni oraz technologia ich wykonania. Mogą one stanowić bazę do wytwarzania nowatorskich urządzeń fotonicznych i optoelektronicznych, takich jak np. modulatory optyczne, filtry, absorbery, czy przestrajalne przesuwniki fazy, o parametrach niemożliwych do uzyskania przy zastosowaniu standardowych, obecnie

stosowanych materiałów.