

2019
6-7 KWIETNIA

SYMPOZJUM
MŁODYCH
NAUKOWCÓW
WYDZIAŁU FIZYKI UW



Elektrycznie przestrajalny hiperboliczny metamateriał wielowarstwowy do filtracji częstotliwości czasowych i przestrzennych

Alexander Korneluk¹, Julia Szymczak¹, Tomasz Stefaniuk¹

¹Uniwersytet Warszawski, Wydział Fizyki

W niniejszej pracy prezentujemy sposób wytwarzania i wyniki charakteryzacji elektrycznie przestrajalnego metamateriału, wykazującego eliptyczny i hiperboliczny reżim dyspersji [1,2]. Badana struktura składa się z naprzemiennie ułożonych warstw srebra, krzemionki oraz tlenku cyny indu (ITO) i jest pokryta powłoką antyrefleksyjną z SiO₂. Wstępne modelowanie numeryczne pozwoliło na dobranie grubości poszczególnych warstw metamateriału tak, aby zapewnić wysoką transmisję. Obliczenia zostały przeprowadzone przy użyciu metod macierzy przejścia (TMM) oraz różnicy skończonych w dziedzinie czasu (FDTD). Symulacje posłużyły optymalizacji grubości warstw, a także pozwoliły na analizę przesunięć okien transmisyjnych oraz odbiciowych struktury w funkcji przyłożonego napięcia. Do aktywnego przestrajania odpowiedzi optycznej heterostruktury typu MOS (metal-oxide-semiconductor) wykorzystujemy fakt, że współczynnik załamania ITO zależy lokalnie od siły przyłożonego zewnętrznego pola elektrycznego [3]. Siła tego efektu zależy od koncentracji swobodnych elektronów, która z kolei jest uzależniona w największej mierze od poziomu domieszkowania Sn oraz zawartości tlenu w strukturze ITO. Na oba te czynniki można wpływać poprzez wybór różnych metod wytwarzania.

W dalszej części omówimy szczegóły wykorzystanych metod wytwarzania i opiszemy napotkane trudności. W szczególności skoncentrujemy się na właściwościach warstw ITO, które silnie zależą od warunków eksperymentu. Podczas badań naparowywano kolejne filmy używając metody fizycznego osadzania z pary (PVD). Następnie próbki były charakteryzowane za pomocą skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM) wyposażonego w moduł do spektroskopii rentgenowskiej z dyspersją energii (EDS), mikroskopu sił atomowych (AFM), układu do pomiaru efektu Halla a także mikroskopu optycznego. Badaliśmy w jaki sposób i) wygrzewanie, ii) obecność tlenu, iii) osadzanie z asystą jonów oraz iv) chropowatość podkładu wpływają na elektryczne, optyczne i morfologiczne właściwości pojedynczych cienkich warstw oraz całej struktury. Część z tych procedur ma przeciwny wpływ na wydajność metaurządzenia, poprawiając jedną własność, a pogarszając inną. Na przykład wygrzewanie po procesie osadzania prowadzi do zwiększonej przezroczystości, ale kosztem jednorodności próbki.

Pokonanie tych przeszkód może potencjalnie prowadzić do stworzenia elektrycznie przestrajalnego metamateriału wielowarstwowego, którego unikalne właściwości optyczne, takie jak przestrzenna i czasowa filtracja częstości, dyspersja hiperboliczna, nadrozdzielcze obrazowanie, idealna absorpcja lub ulepszona odpowiedź nieliniowa mogą być modyfikowane w zakresie światła widzialnego i podczerwieni po prostu za sprawą przyłożonego napięcia.