

Warszawa, 12.04.2021

prof. dr hab. Jerzy Łusakowski
Instytut Fizyki Doświadczalnej
Wydział Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego
ul. Pasteura 5
02-093 Warszawa
jerzy.lusakowski@fuw.edu.pl
tel.: 22 55 32 770

Recenzja rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Komorowskiego
“Multipleksacja promieniowania THz z wykorzystaniem nie-poosiowych optycznych struktur dyfrakcyjnych”

Obserwując rozwój technik dotyczących promieniowania THz jestem zdania, że krystalizują się dwa podstawowe obszary jego wykorzystania - obrazowanie i telekomunikacja. Problem transmisji danych z częstotścią THz jest - w odróżnieniu od dobrze już rozwiniętych technik obrazowania THz - jeszcze kwestią przyszłości, ale już powstają układy, które będą mogły być wykorzystane w systemach komunikacyjnych kolejnych generacji. W szczególności, specyfika oddziaływania promieniowania THz z materią narzuca konieczność komplementarnego współdziałania elementów optycznych i elektronicznych.

Przedstawiona rozprawa doktorska mgr. inż. Pawła Komorowskiego pt. "Multipleksacja promieniowania THz z wykorzystaniem nie-poosiowych optycznych struktur dyfrakcyjnych" wpisuje się w nurt opracowywania rozwiązań, które będą mogły być w przyszłości wykorzystane w systemach telekomunikacyjnych. Zasadniczym celem rozprawy było zaprojektowanie, wykonanie i sprawdzenie działania struktur ogniskujących poza osi optyczną układu, co daje narzędzie do wprowadzenia multipleksowania kanałów transmisji danych.

Rozprawa składa się z dwóch rozdziałów wstępnych, w których podana jest jej motywacja i cel, po czym następuje wprowadzenie teoretyczne i dwa obszernie rozdziały opisujące projektowanie i testowanie struktur dyfrakcyjnych. Rozprawa kończy się rozdziałem analizującym niepewności pomiarowe i końcowym rozdziałem zawierającym podsumowanie oraz wnioski.

Rozprawa jest napisana bardzo starannie, poprawna językowo, Autor unika stosowania

wyrażeń żargonowych. Układ treści rozprawy jest poprawny, z czytelnym podziałem na rozdziały i akapity. Odnośniki do prac literaturowych stanowią zadowalające uzupełnienie tekstu rozprawy.

Otrzymane podczas realizacji rozprawy wyniki zostały zawarte w kilku artykułach, w tym dwóch opublikowanych w wysokopunktowanym *Optics Express*, co niewątpliwie jest jednym z dowodów wysokiej jakości prowadzonych badań i uzyskanych wyników.

Na uznanie zasługuje struktura przeprowadzonych badań, które rozpoczynają się od modelowania poprzez wykonanie elementów dyfrakcyjnych i eksperymentalne sprawdzenie ich działania.

Główna część rozprawy poświęcona jest modelowaniu struktur dyfrakcyjnych. Autor wykorzystuje trzy metody modelowania, zaczynając od modelowania za pomocą standardowego wzoru soczewkowego, dochodząc poprzez metodę propagacji wstecznej i iteracji do algorytmu opartego na sieciach neuronowych. W tym ostatnim podejściu Autor otrzymuje oryginalne wyniki, które nie były poprzednio otrzymane przez innych badaczy. Co więcej, zastosowanie algorytmu opartego na sieciach neuronowych prowadzi do istotnego polepszenia otrzymywanych obrazów (np. Rys. 39 i Rys. 40) i wykazaniu, że mapy fazowe otrzymywane w wyniku zastosowania tego algorytmu w znaczący sposób różnią się od map fazowych opartych na algorytmie propagacji wstecznej i metod iteracyjnych.

Niewątpliwie ciężar rozprawy przesunięty jest w stronę obliczeń numerycznych i w związku z tym opis układów pomiarowych nie jest bardzo szczegółowy, choć wystarczający. Z wielkim uznaniem odnoszę się do eksperymentu dwuwiązkowego, którego ilustracja na Rys. 28 zupełnie nie oddaje stopnia komplikacji tego pomiaru wywołanego rozbieżnością wiązek. Umieszczone na Rys. 28 linie przedstawiające drogę wiązek sugerują, że mamy do czynienia z wiązkami takimi, jak generowane przez lasery światła widzialnego, podczas gdy średnica ich przekroju poprzecznego musi wynosić kilka centymetrów. Zresztą, o problemie rozbieżności można wnioskować na podstawie ogromnego lustra parabolicznego wykorzystywanego w układzie pomiarowym. Podanie nieco większej ilości informacji na temat wykorzystywanych układów pomiarowych niewątpliwie wzbogaciłoby część eksperymentalną rozprawy.

Bardzo wysoko oceniam przedstawioną analizę pojawiających się podczas pomiarów problemów wynikających z konstrukcji detektora wyposażonego w antenę stożkową i z interferencji obecnych wskutek odbić. W tym kontekście niezwykle cenny jest rozdział 6. rozprawy opisujący niepewności pomiarowe. Tego rodzaju rozdziały rzadko włączane są w treści rozpraw doktorskich, gdyż traktowane są jako zbyt mało interesujące. Tymczasem, oszacowanie niepewności stanowi

podstawę możliwości przyszłego wykorzystania badanych układów w realnych systemach telekomunikacyjnych.

Wypada zauważyć, że z treści rozprawy nie wynika, czy zaprojektowane elementy optyczne Autor wykonał samodzielnie, czy też ich wykonanie było zlecone osobom trzecim. Ponadto, pewien niedosyt budzi fakt, że wyniki ogniskowania, które są zawarte w rozdziale 5.3 "Multipleksacja z podziałem czasu" nie są ostatecznie podane w postaci zależności czasowych.

Nawiązując do trudności wynikających z pojawienia się interferencji w mierzonym sygnale mam następujące pytania:

- czy analizowany był proces interferencji promieniowania w samych strukturach dyfrakcyjnych?
- co, wg. Autora, jest podstawowym źródłem interferencji w badanych układach?
- czy Autor uważa, że warstwy przeciwoodbiciowe są jedyną bądź wystarczającą metodą eliminacji interferencji?
- w przypadku stosowania promieniowania monochromatycznego najbardziej efektywną metodą pozbycia się interferencji jest modulacja częstości promieniowania, co jest oferowane przez niektóre generatory. Czy Autor uważa, że takie rozwiązanie mogłoby być zastosowane w przypadku omawianych struktur?

Odnosząc się z kolei do problemów z aperturą detektora - czy zasadne w przypadku prowadzonych badań byłoby zastosowanie skanera sferycznego zamiast planarnego, z detektorem poruszającym się po sferze i zawsze skierowanym w stronę źródła?

Wydaje się, że istotnym problemem, który nie został poruszony w rozprawie jest możliwość współdziałania zaprojektowanych struktur z układami THz-TDS, które stanowią obecnie podstawowe narzędzie pracy w spektroskopii THz i zastosowaniach związanych z obrazowaniem.

Podsumowując, uważam przedstawioną rozprawę za bardzo cenny wkład w dziedzinę optyki THz spełniającą merytoryczne i zwyczajowe wymagania dotyczące rozpraw doktorskich i wnoszę o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

Ze względu na to, że merytoryczny wkład rozprawy w dziedzinę i optyki THz, i procesu multipleksowania oceniam bardzo wysoko, wnoszę o wyróżnienie rozprawy doktorskiej mgr. inż. Pawła Komorowskiego, o ile wewnętrzne przepisy Politechniki Warszawskiej na to pozwalają.



