

Dr hab. Jan Masajada, prof. ucz.
Katedra Optyki i Fotoniki
Politechniki Wrocławskiej
Wybrzeże Wyspiańskiego 27
50-370 Wrocław

Wrocław 15 .05.2020

RECENZJA

Rozprawy doktorskiej
mgr inż. Martyny Rachoń

Technika korekcji fazy struktur dyfrakcyjnych dla promieniowania terahercowego

Uwagi ogólne

Rozprawa doktorska mgr inż. Martyny Rachoń ma charakter technologiczny. Autorka postawiła sobie za cel zaprojektowanie struktur korekcyjnych dla soczewek dyfrakcyjnych pracujących w zakresie promieniowania terahercowego. Zadaniem tych struktur jest zwiększenie koncentracji promieniowania terahercowego w ognisku soczewki (lub w jego pobliżu). Biorąc pod uwagę rosnącą liczbę zastosowań promieniowania z tego zakresu oraz silną absorpcję sygnałów terahercowych przy propagacji przez atmosferę jak również i inne materiały, zadanie to jawi się jako istotne z punktu widzenia praktycznych zastosowań.

Autorka zaprojektowała planowane struktury korekcyjne wykonała soczewki skorygowane i nieskorygowane techniką druku 3D, następnie wykonane soczewki przebadła w symulacjach numerycznych jak również eksperymentalnie. Zasięg prac wykonanych przez autorkę był szeroki i wymagający. W ogólnej ocenie uważam, że cel pracy został osiągnięty a uzyskane wyniki są satysfakcjonujące zarówno pod kątem uzyskania stopnia doktora jak i potencjalnej przydatności w technice terahercowej. Stąd moja ogólna ocena pracy jest wysoka. Praca zawiera różne niedociągnięcia, które omawiam poniżej. Nie wpływają one w sposób zasadniczy na ocenę pracy.

Szczegółowe omówienie rozprawy

We wstępie zaprezentowana jest motywacja do podjęcia tematu badawczego oraz sformułowana teza pracy. Motywacja jest wyrazista a praktyczne znaczenie pracy nie budzi wątpliwości. Teza sformułowana jest w sposób klarowny. Praca wsparta jest trzema publikacjami w Journal of Infrared, Milimeters, and Terahertz Waves znajdującym się na liście JCR.

Drugi rozdział poświęcony jest krótkiemu wprowadzeniu do technik generacji, detekcji i oddziaływania z materią promieniowania z zakresu THz.

Rysunek (2.1) przedstawia wykres współczynnika absorpcji promieniowania THz w atmosferze. Widzimy na nim trzy linie – czarną, czerwoną i niebieską, niestety bez żadnego komentarza ze strony autorki.

Rozdział trzeci związany jest bezpośrednio z tematyką pracy i zwiera wstęp teoretyczny do struktur dyfrakcyjnych używanych jako elementy ogniskujące. Autorka omawia skrótowo cztery metody kodowania, jedna dotyczy amplitudy a trzy fazy. Metody omówione są dość pobieżnie (wzory od 3.1 do 3.11). W takiej sytuacji powinny być wsparte odpowiednimi odnośnikami literaturowymi.

W standardowym ujęciu wzoru na promienie stref Fresnela, w zakresie optycznym, pomija się czynniki związane z kwadratem długości fali λ . Autorka nie robi tego kroku (wzór 3.10). Nasuwa się pytanie: czy związane jest to z tym, że długość fal w zakresie THz jest za duża?

W opisie rysunku 3.4 brak jest uwagi dotyczącej znaczenia lewej i prawej części rysunku.

Zdanie znajdujące się pod rysunkiem (3.6) stwierdza

„Oświetlenie od strony podkładu powoduje natomiast wielokrotne odbicia zmniejszające całkowitą ilość energii transmitowanej w układzie”

Według rysunku (3.5) oświetlenie od strony podkładu nie powoduje wielokrotnych odbić. Takie odbicia zaznaczone są dla oświetlenia od strony struktury.

Rozdział czwarty zawiera wstęp teoretyczny do teorii dyfrakcji. W punkcie 4.1.1. autorka przedstawia rozwiązanie problemu dyfrakcji na otworze w postaci całki dyfrakcyjnej Kirchhoffa, a w punkcie 4.1.2 w postaci Rayleigha-Sommerfelda. Związki między tymi dwoma podejściami dotyczą istotnej części historii teorii dyfrakcji. Ponieważ autorka nic o tych związkach nie wspomina wypisywanie wzoru (4.1) mającego znaczenie historyczne nie jest dobrym posunięciem. Wystarczyło zacząć od rozwiązania w postaci Rayleigha-Sommerfelda, a następnie przejść do postaci Fresnela, z której autorka dalej korzysta.

Nazwa: przybliżenie przyosiowe Fresnela nie jest nazwą potoczną

Interpretując wzór (4.7) nie odwołujemy się do modelu układu liniowego, tylko stwierdzamy fakt, że wzór ten ma postać splotu, przy czym jedna ze splatanych funkcji zdefiniowana jest wzorem (4.8).

W punkcie 4.2 pojawia się skalarnie równanie Helmholtza w sumie bez wyraźnego związku z całkami dyfrakcyjnymi z punktu 4.1. Jednak rozwiązanie problemu z rysunku (4.1) jest rozwiązaniem skalarnego równania Helmholtza w przybliżeniu paraksjalnym dla problemu dyfrakcji na płaskim otworze. Może zatem należało by zacząć punkt 4.1. od przejścia od równania falowego (4.9) poprzez jego monochromatyczną wersję, to jest równanie Helmholtza (4.12), a następnie przejść do równania Helmholtza w przybliżeniu paraksjalnym. A następnie dopiero przedstawić całki dyfrakcyjne i materiał z punktu (4.2). Tworzyłoby to wrażenie spójnej przemyślanej narracji.

Rysunek (4.4) na osiach powinny być częstość przestrzenne.

W punkcie 4.4.3 brak jest odnośnika literaturowego do metody BPM.

W części piątej przedstawiony jest, przynajmniej w zamierzeniu, stan wiedzy dotyczący optymalizacji struktur dyfrakcyjnych.

Przyznam, że rysunek 5.2. niewiele mi wyjaśnia w kwestii metody opublikowanej przez Liao [75]. Wiemy co prawda, że rysunek starcza za tysiąc słów, ale tutaj doktorantka wyraźnie przeceniła możliwości ilustracji redukując ilość objaśnień w tekście do zera.

Nieco więcej można się domyśleć z rysunku (5.3). Choć ponownie wiara w domyślność czytelnika tylko na podstawie rysunku poszła za daleko. Wypadałoby choć napisać, że jak się domyślam, pojedynczy kodowany obszar dzielony jest na pola (16 na rysunku), które przez zapełnienia kodują fazę i amplitudę, na podobieństwo holografii Lohmannowskiej.

Podsumowując: Istotny w swej treści rozdział piąty, dotyczący stanu wiedzy o korekcji struktur dyfrakcyjnych został potraktowany po macoszemu. Trzy strony to za mało, aby czytelnik, a w szczególności recenzent, mógł poczuć, że temat został potraktowany z należytą uwagą.

Rozdział szósty poświęcony jest przedstawieniu własnej metodologii korekcji struktur dyfrakcyjnych. Korekcja uwzględniała grubości realnej soczewki, oraz grubości warstwy na której wykonano strukturę dyfrakcyjną, co w często stosowanym przybliżeniu soczewki cienkiej jest pomijane. Analizowano soczewki o tej samej średnicy i ogniskowej zaprojektowane w trzech wariantach, na bazie przybliżenia paraksjalnego, bez przybliżenia paraksjalnego, bez przybliżenia paraksjalnego z korekcją uwzględniającą grubość soczewki. Zgodnie z oczekiwaniami zdolność do koncentracji energii w ognisku jest największa dla soczewki skorygowanej. Wyniki zebrano na rysunkach 6.5-7. Brakuje mi tu jednego zbiorczego rysunku przedstawiającego zarejestrowane plamki w przekroju 2D. Zaprojektowane soczewki zostały wykonane metodą druku 3D oraz przemierzone.

Rysunek 6.9 przedstawia schemat układu eksperymentalnego. Jeden z elementów optycznych został nazwany „lustro”. W optyce nie używamy takiej nazwy zastępując ją słowem „zwierciadło”.

Rysunki 6.10-12 przedstawiają uzyskane wyniki, które są w dobrej zgodności z obliczeniami numerycznymi. Brak tu również rysunku przekrojowego.

Rozdział siódmy poświęcony jest struktrom subfalowym zastosowanym do projektu soczewek o dużej aperturze numerycznej (małej liczbie przestony $F/\# = 0.2$) co pozwala na silniejsze zogniskowanie padającej wiązki. Niestety skutkuje również wyższymi wymaganiami technologicznymi.

Zbadano cztery rodzaje struktur: nieprzyosiową, nieprzyosiową skorgowaną, tzw. freeform (czyli z dodatkową korekcją „shadow effect”), oraz freeform skorygowaną.

Soczewki te przebadane zostały metodami numerycznymi i eksperymentalnymi. W tym przypadku różnice pomiędzy wynikami teoretycznymi i numerycznymi są większe niż dla soczewek o mniejszej aperturze, co zapewne związane jest z większymi problemami technologicznymi przy ich wykonaniu. Niemniej zaprojektowana soczewka wykazała spodziewany efekt silnego koncentracji energii. Jak zostało to zilustrowane na rysunku (7.16) rozmiar plamki jest mniejszy niż przewiduje to kryterium Rayleigha.

Rozdział ósmy zawiera podsumowanie pracy.

Praca zawiera przeciętną liczbę błędów językowych: dla przykładu podaję niektóre z nich:

- „Kodowanie amplitudowe wiąże się z pochłanianiem natężenia padającego na strukturę,....”

Brakuje słowa „promieniowania”

Kodowanie amplitudowe wiąże się z pochłanianiem natężenia **promieniowania** padającego na strukturę,....

- „Co niweluje konieczność stosowania złożonych aparatów matematycznych”.

Nie używa się w tym wypadku liczby mnogiej

Co niweluje konieczność stosowania złożonego aparatu matematycznego

- „... zastosowanie ogniskowej 19mm jest najbardziej wydajne w celu uzyskania maksymalnej energii...”

„wydajne w celu” jest niezręcznym wyrażeniem, można w zamian na przykład tak:

... zastosowanie ogniskowej 19mm jest najbardziej wskazane, gdy celem jest uzyskania maksymalnej energii...

Podsumowanie

Mimo wymienionych uchybień przedstawiona rozprawa zasługuje na bardzo dobrą ocenę końcową. Szczególnie warte podkreślenia jest to, że autorka zaprojektowała wymagane struktury wykonała je oraz przetestowała w symulacjach numerycznych oraz

w eksperymencie. Każdy z tych kroków jest wymagający sam w sobie. Zastosowana oryginalnie przemyślana korekcja okazała się skuteczna, to jest skorygowane soczewki w istotny sposób zwiększały jasność punktu, w którym zbierana była energia ze źródeł terahercowych.

Konkluzja

Biorąc pod uwagę powyższe stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska, w świetle obowiązującej ustawy o tytule naukowym i stopniach naukowych, spełnia wynikające z tejże ustawy kryteria i może być podstawą do ubiegania się o stopień doktora nauk fizycznych. Wnoszę o dopuszczenie rozprawy do obrony publicznej. Jednocześnie biorąc pod uwagę zakres wykonanych prac oraz potencjalną użyteczność zaprezentowanych wyników, wnoszę o wyróżnienie pracy.