

Dr hab. Jan Masajada  
Katedra Optyki i Fotoniki  
Politechnika Wrocławska  
Wybrzeże Wyspiańskiego 27  
50-370 Wrocław

Wrocław 22 .05.2018

## RECENZJA

**Rozprawy doktorskiej**  
**mgr inż. Artura Sobczyka**

### **Kontrolowana transformacja wiązek światła emitowanych przez diody laserowe wybranych typów**

#### **Uwagi ogólne**

Rozprawa doktorska mgr inż. Artura Sobczyka ma charakter technologiczny. Autor postawił sobie za cel zaprojektowanie i wykonanie pojedynczego elementu dyfrakcyjnego do zadanej transformacji wiązek emitowanych przez diody laserowe. Diody laserowe są szeroko obecnie stosowane. Jakość wiązki uzyskiwanej przez diodę niezaopatrzoną w odpowiednie układy optyczne jest niska. Wielość konstrukcji elementu aktywnego diody powoduje, że niemożliwą rzeczą staje się zaproponowanie uniwersalnego układu do korekcji wiązki. Praktycznie dla każdego typu diody laserowej należy zaprojektować dedykowany układ korygujący. Złożona geometria wiązki wychodzącej z diody laserowej utrudnia wykonanie elementów korygujących wykorzystujących zjawisko refrakcji. Dobrą alternatywą dla optyki refrakcyjnej staje się tu optyka dyfrakcyjna. Takie korygujące elementy dyfrakcyjne są już znane. Do tej pory stosowano układy elementów korygujących (dwóch lub więcej) dyfrakcyjnych lub mieszanych dyfrakcyjnych i refrakcyjnych. Autor postawił sobie za cel zaprojektowanie efektywnego pojedynczego elementu dyfrakcyjnego. Od strony technologicznej cel podjęty przez autora jest ważny i pozytywne wyniki uzyskane przez autora mogą wskazać nową ścieżkę projektowania układów korekcyjnych dla diód laserowych.

Rozprawa wsparta jest trzema publikacjami z listy JCR i jedną w Photonics Letters of Poland. Pozycja [2] na liście literatury dotyczy bocznego wątku pracy omówionego w krótkim rozdziale szóstym, a pozycja [5] omawia eliptyczne elementy korygujące dla promieniowania z zakresu terahertzowego. Ściśle związane z główną tematyką pracy są dwie publikacje [1 i

6]. Nie jest to duży dorobek publikacyjny, ale biorąc pod uwagę technologiczny charakter pracy, jest on wystarczający.

Strona edycyjna pracy nie budzi istotnych zastrzeżeń. Miejscami rażą wyrażenia kolokwialne, których w rozprawach doktorskich powinna się unikać. Przykładowo na stronie 67 mamy zdanie.

„Jeżeli faza skupiająca światło nie będzie soczewką Fresnela tylko odpowiednio dobraną soczewką eliptyczną ....”

No cóż, ani faza nie jest soczewką ani soczewka nie jest fazą.

Wydaje się również, że praca napisana jest zbyt oszczędnie. Dotyczy to na przykład rozdziału 6, czy dość kuriozalnego rozdziału 2. Do sprawy tych odniosę się dokładnie poniżej.

Lista cytowanych publikacji (referencje) jest oszczędna (48 pozycji), ale wystarczająco reprezentatywna.

## **Szczegółowe omówienie i ocena treści rozprawy**

### **Rozdział I**

Rozdział I zawiera tezy i plan pracy oraz krótkie podsumowanie dorobku publikacyjnego autora.

### **Rozdział II**

Rozdział II zawiera jedenaście linijek tekstu i nie bardzo wiadomo po co został zamieszczony. Z jego tytułu „diody krawędziowe” można się domyśleć, że miał być poświęcony omówieniu zasad działania i budowy diod krawędziowych. Jednak owoż jedenaście linijek tekstu nie spełnia żadnej istotnej roli, prócz stwierdzenia faktu, że ze względu na długość emitera, diody o mocy powyżej 10mW nie mogą być traktowane jako punktowe źródła światła. Szkoda, że autor nie podjął się rozwinięcia tematu. Rozprawa jest dość krótka 75 stron średniego formatu i dodanie kilku stron nie uczyniłoby jej nazbyt obszerną. Z drugiej strony informacje zawarte w rozdziale II przy zachowaniu jego długości można by zawrzeć w wstępie do rozdziału III.

### **Rozdział III**

Rozdział ten poświęcony jest modelom rozkładu amplitudy zespolonej diód krawędziowych. Stworzenie adekwatnego modelu promieniowania diody jest niezbędnym krokiem wstępnym poprzedzającym projektowanie elementów dyfrakcyjnych kształtujących jej wiązkę. Autor zaczyna od przeglądu modeli przedstawionych w literaturze, a następnie przechodzi do omówienia modeli z jakich korzystał w swojej pracy. Korzystając z danych technicznych diody dostarczonej przez producenta, autor zakłada wejściowy rozkład jej promieniowania, który następnie przeliczany jest, z użyciem programu LigthSword, do zadanej płaszczyzny detekcji. Obliczone rozkłady w płaszczyźnie detekcji porównywane są z rozkładami zmierzonymi eksperymentalnie. Jeżeli model zbyt odbiega od wyników pomiarów, co jest oceniane na bazie prostego kryterium opartego o wzór (3.3), to



parametry wejściowego rozkładu są korygowane i tak do skutku, czyli do spełnienia zadanej zgodności modelu z pomiarami. Pomiar rozkładu światła diody w zadanej płaszczyźnie wykonany został z użyciem prostego układu optycznego przedstawionego na rysunku (3.2).

Z tekstu rozprawy nie wynika jaką metodą korekcji parametrów wejściowych posługiwał się autor. Czy była to metoda iteracyjna czy też ręcznej korekcji tych parametrów na tzw. wycucie. Jest to o tyle ważne, że dla każdego rodzaju diody procedurę trzeba powtarzać. Raz opracowana metoda iteracyjna pozwoliłaby modelować emisję dla szerokiej klasy diód. Metoda na wycucie wymagałaby przy każdej diodzie takiego samego zaangażowania osoby wykonującej pomiary.

W dalszej części autor osobno podchodzi do opisu promieniowania diody o krótkim i długim złączu.

Modelowanie diody o krótkim złączu:

Modelowanie diody o krótkim złączu jest o tyle proste, że można założyć, że emitowane światło jest przestrzennie koherentne. Model przedstawiony przez autora opracowany został dla diody TopGaN polskiej produkcji. Bazując na literaturze zastosowano dwie procedury, prostszą zakładającą jednorodny rozkład amplitudy w płaszczyźnie złącza i złożoną różnicującą rozkład wzdłuż krawędzi diody. Wzdłuż krótszego wymiaru emitera oba modele działają tak samo. Wzdłuż dłuższego model bardziej złożony dał podobne rezultaty jak mniej złożony. Największym problemem dla dłuższego wymiaru okazały się szumy koherentne, których żaden z modeli nie odwzorował. Błędy odwzorowania szumów koherentnych są na tyle wyraźne, że mogą w widoczny sposób obniżać jakość korekcji wiązki laserowej. W pracy brak jest jasnego komentarza autora w tej kwestii.

Modelowanie diody o długim złączu:

Modelowanie diody o długim złączu autor przeprowadził dzieląc złącze na  $N$  mniejszych odcinków, dla których można było przyjąć, że promieniowanie emitowane przez taką komórkę wykazuje wysoką spójność przestrzenną. Dobór liczby komórek na które podzielone jest złącze odbywa się metodą iteracyjną. Zastosowano dwa modele emisji dla pojedynczej komórki. Procedurę autor przetestował na diodzie firmy PerkinElmer, której emiter ma wymiary  $1 \times 150 \mu\text{m}$ .

W ostatnim etapie autor przeprowadził symulacje dla najbardziej wymagających diod o nieregularnym rozkładzie amplitudy światła na złączu. Ponownie autor zastosował dwa modele emisji z komórki takiej diody. Tu oba zaproponowane modele dały zdecydowanie najgorsze wyniki w kierunku zgodnym z kierunkiem złącza, przy dobrej zgodności w kierunku prostopadłym. Testy zostały przeprowadzone na diodzie produkcji ITME. Otwarta konstrukcja tej diody pozwoliła na test jej koherencji, z wykorzystaniem schematu doświadczenia Younga. Test wykazał wysoką koherencję światła emitowanego z dwóch brzegów emitera o długości  $90 \mu\text{m}$ . Przy zasilaniu prądem podprogowym kontrast prążków spada praktycznie do zera. Nie jest jednak jasne czy na skutek utraty koherencji przestrzennej, czy czasowej czy z obu tych powodów na raz

Zaprezentowane wyniki symulacji należy ocenić pozytywnie. Poza przypadkiem określenie optymalnej liczby podziału na komórki diód o długim złączu brak jest informacji o metodach dochodzenia do optymalnych wartości parametrów w zaproponowanych modelach. Wydaje się, że autor ręcznie dopasowywał parametry, tak by model zgodził się eksperymentem. Brak jest również podsumowania całego rozdziału, który dla celów określonych w pracy jest bardzo istotny.

## Rozdział 4.

Rozdział ten poświęcony jest zagadnieniu kolimacji wiązki lasera diodowego. Użyte w pierwszym podpunkcie zwroty „oś wolna” i „oś szybka” są wykorzystane dość specyficznym. Być może w literaturze używa się ich w kontekście rozbieżności światła, ale są to wysoce specjalistyczne artykuły i czytelnik zasługuje na ich zdefiniowanie.

W kolejnym punkcie autor omawia znane z literatury metody kolimacji, a następnie przechodzi do omówienia własnych metod. Projektuje układ kolimujący oparty o eliptyczną soczewkę dyfrakcyjną w przybliżeniu przyosiowym i bez tego przybliżenia. Przy szybkiej rozbieżności wiązki, jak należało się spodziewać, tylko element projektowany bez przybliżenia przyosiowego daje dobrej klasy kolimację. Wadą tego elementu jest konieczność umieszczenia go blisko emitera diody. Aby tego uniknąć autor projektuje i z powodzeniem testuje dyfrakcyjny układ podwójny wykonany na jednej płytce. Z jednej strony płytki znajduje się złożenie soczewki eliptycznej i hiperbolicznej dającej wiązkę kołową, a z drugiej strony układ wyrównujący fazę fali wychodzącej z pierwszego elementu. Pozwala to na dobrą kolimację diody, pod warunkiem jej dobrej koherencji przestrzennej. Wygląda no to, że omówione tu struktury przetestowano jedynie numerycznie. Autor nie pisze dlaczego nie wykonano tych elementów skoro symulacje numeryczne dają dobre wyniki.

## Rozdział 5

Rozdział ten zawiera główne wyniki pracy. Autor projektuje wytwarza i testuje wybrane, pojedyncze struktury dyfrakcyjne do ogniskowania światła dla diody o długiej krawędzi PerkinElmer PGAS1S06H. Wytworzone zostały następujące elementy: dwie dedykowane płytki strefowa Fresnela, jedna z uwzględnieniem wpływu okienka chroniącego diodę a druga bez, dwie struktury zaprojektowane na korekcję wybranych niewielkich segmentów złącza diody (na tyle niedużych by można było emisję z nich uznać za przestrzennie koherentną). Cała układ korekcyjny składa się z kilku takich segmentów (4 lub 6) odwzorowujących, co pokrywa cały obszar emitera. Struktury różnią się ograniczeniem aperturowym. Fazowa mapa korekcyjna obliczona jest jako sprzężona do mapy fazowej otrzymanej z modelu świecenia tej diody opisanego w rozdziale 3. Nadto wykonano dwie struktury złożone z soczewek eliptycznych (4 lub 6 sztuk) dla dwóch różnych ograniczeń aperturowych.

Wyniki numeryczne i doświadczalne pokazują na wyraźnie słabsze działanie pojedynczych płytek strefowych. Pozostałe struktury działają w zbliżony sposób. Wynik doświadczalne pokazują wpływ koherencji źródła, czego nie uwidaczniają symulacje numeryczne. Wszystkie otrzymane struktury dają obraz rozciągnięty w jednym kierunku, co jest zrozumiałe biorąc pod uwagę kształt emitera. W celu symetryzacji wiązki autor zaproponował zastąpienie soczewki Fresnela odpowiednią soczewką eliptyczną, która pozwoli na symetryzację plamki, przez jej rozciągnięcie w wybranym kierunku. Otrzymany obraz jest rzeczywiście zdecydowanie bardziej kołowy, choć wewnętrznie niejednorodny co jest efektem szumu koherentnego.

W rozdziale brak jest porównania uzyskanych wyników z wynikami uzyskanymi innymi metodami. Zapewne nie jest możliwa weryfikacja szczegółowa różnych metod, (różne grupy pracują na różnych diodach), ale pewne ogólne porównanie efektywności metod jest możliwe. Czytelnik pracy nie wie czy pojedynczy dyfrakcyjny element ogniskujący jest wystarczająco atrakcyjny by stać się konkurencją dla układów bardziej złożonych.



## Rozdział 6

Krótki rozdział 6 pokazuje inne zastosowania techniki dyfrakcyjnej. Przedstawiony jest układ do generacji prostokątnego układu punktów świecących (zlewających się w dalszej odległości w obraz prostokąta) przez integrację obrazu z siatek Dammana oświetlonych różnymi źródłami, co ma zapewnić większą niezawodność układu. Układ realizujący pomysł omówiony jest pobieżnie. Wiemy, że za prawidłowe działanie układu odpowiada tajemniczy „układ korygujący” o którym autor nic nie napisał. Domyśleć się tylko można, że jest to element dyfrakcyjny.

## Rozdział 7

Rozdział 7 zawiera wnioski

## Podsumowanie

Mimo wymienionych uchybień przedstawiona rozprawa zasługuje na bardzo dobrą ocenę końcową. Szczególnie warte podkreślenia jest to, że autor pokonał pełną ścieżkę technologiczną od projektu i symulacji numerycznych poprzez wykonanie płytek korygujących i ich przetestowaniu. Wykorzystana technologia pozwoliła na wytworzenie płytek dyfrakcyjnych o wysokiej jakości. Wykonane struktury dyfrakcyjne wykazały swoją skuteczność w korekcji i koncentrowaniu światła emitowanego przed diody laserowe o długiej krawędzi. Metodologia autora może być zastosowana do projektowania dedykowanych dyfrakcyjnych układów korygujących, które mogą być konkurencyjne dla obecnie spotykanych rozwiązań. Nadto praca dobrze wpisuje się w obecną politykę naukową dążącą do ściślejszego powiązania działalności badawczej z celami praktycznymi, szczególnie tymi, które w krótkiej perspektywie mogą wykazać się potencjałem rynkowym.

## 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

*Tan Masayoshi*