

prof. dr. hab. Ryszard Naskręcki
Pracownia Fizyki Widzenia i Optometri
& Zakład Elektroniki Kwantowej
Wydział Fizyki
Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu

Recenzja
rozprawy doktorskiej mgr. Macieja Sokołowskiego
p.t. "Wewnątrzgałkowe wieloogniskowe soczewki refrakcyjno-dyfrakcyjne o dużej
głębokości reliefu dyfrakcyjnego"

Przedstawiona mi do recenzji rozprawa doktorska Pana mgr. Macieja Sokołowskiego została przygotowana na Wydziale Fizyki Uniwersytetu Warszawskiego pod kierunkiem dr hab. Marka Kowalczyka-Hernandeza, prof. UW, przy współpracy z dr. Jackiem Pniewskim jako promotorem pomocniczym.

Rozprawa zawiera 78 ponumerowanych stron i podzielona została na 5 rozdziałów poprzedzonych streszczeniem w języku polskim i angielskim oraz zakończonych podsumowaniem i bibliografią.

Bibliografia obejmuje 100 pozycji literaturowych (artykuły, rozdziały w książkach oraz pozycje w postaci witryn internetowych) i zawiera praktycznie wszystkie istotne dla obszaru rozprawy pozycje literaturowe. Cytowanie wyników innych autorów jest uzasadnione treścią pracy i nie budzi żadnych zastrzeżeń. Warto także zwrócić uwagę, że zdecydowana większość cytowanych pozycji literaturowych jest bardzo aktualna i są to artykuły naukowe opublikowane w uznanych czasopismach naukowych.

Warto dodać, że mgr Maciej Sokołowski jest także współautorem 2 artykułów naukowych związanych z tematyką rozprawy doktorskiej oraz kilku prezentacji konferencyjnych. Pomimo młodego wieku jest Pan Maciej Sokołowski bardzo aktywnym dydaktykiem akademickim oraz udziela się organizacyjnie.

Jako cel swojej rozprawy doktorskiej Autor wskazał „zaprojektowanie modelu nowoczesnej, wieloogniskowej refrakcyjno-dyfrakcyjnej IOL (soczewki wewnątrzgałkowej) oraz komputerowa symulacja jej własności obrazujących”. Autor dalej doprecyzował, że soczewka taka powinna posiadać kilka ognisk współosiowych, co powinno umożliwić obrazowanie na siatkówce przedmiotów znajdujących się w różnej

odległości od oka. Do realizacji tego celu wykorzystał przybliżenie Fresnela skalarnej teorii dyfrakcji światła oraz wybrane narzędzia optyki fourierowskiej. Należy zauważyć, że temat tej rozprawy dobrze wpisuje się w rozwijany od kilku lat nurt badań nad poznaniem własności dyfrakcyjnych i obrazujących soczewek wieloogniskowych dyfrakcyjnych i refrakcyjno-dyfrakcyjnych. Badania takie są także prowadzone po to, aby dostarczyć jakże potrzebnych narzędzi do projektowania i optymalizacji parametrów takich soczewek.

Soczewki wewnątrzgałkowe to stosowane niemal powszechnie implanty oczne, którym stawia się szereg różnorodnych wymagań (w Polsce wykonuje się ponad 170 tys. zabiegów usunięcia zaćmy rocznie). Oprócz biokompatybilności, łatwości implantacji oraz pożądaných właściwości optycznych, zdeterminowanych właściwościami materiału soczewki coraz większą wagę przykładą się do jakości odwzorowania optycznego związanego przede wszystkim z geometrią (konstrukcją) soczewki wewnątrzgałkowej. Rosnące potrzeby i oczekiwania pacjentów względem wyników pooperacyjnych determinują produkcję wielu rodzajów soczewek wewnątrzgałkowych o bardzo zróżnicowanych właściwościach. Soczewki wewnątrzgałkowe dzieli się zwykle na zwijalne i niezwijalne (sztywne), a ze względu na położenie w oku wyróżnia się soczewki przednio- i tylnokomorowe (stosowane częściej). Podział ze względu na rodzaj odwzorowania wyróżnia soczewki jednoogniskowe oraz soczewki wieloogniskowe (multifokalne), w tym soczewki progresywne. Ponadto występują także soczewki pseudo-akomodacyjne, których zadaniem jest odtworzenie zdolności akomodacyjnych w oku pseudosoczewkowym (afakijnym). W grupie soczewek wieloogniskowych można wyróżnić soczewki dwuogniskowe refrakcyjne (strefowe dwuogniskowe lub trójogniskowe) i soczewki hybrydowe refrakcyjno-dyfrakcyjne, w których dla uzyskania kilku ognisk wykorzystuje się nie tylko geometryczne własności powierzchni łamiącej, lecz także falowe właściwości światła. Badania nad nowymi konstrukcjami soczewek rozwijają się wielokierunkowo, jednak jednym z ważniejszych kierunków rozwoju jest doskonalenie jakości odwzorowania w soczewkach wieloogniskowych.

W ramach niniejszej pracy Autor postawił trzy tezy, których prawdziwość starał się udowodnić w kolejnych rozdziałach swojej pracy (odpowiednio drugim, trzecim i czwartym). Szczególnie ważne znaczenie dla przeprowadzonych badań ma teza 3 - „ogniskujące dyfrakcyjne płytki fazowe o dużej głębokości reliefu sinusoidalnego

pozwalają uzyskać wieloogniskowość o krotności większej od czterech i jednocześnie niemal równomierny podział energii wiązki ugiętej pomiędzy użyteczne ogniska oraz zdolność rozdzielczą obrazowania porównywalną z obrazowaniem jednoogniskowym”.

Rozdział 1 pracy stanowi jednocześnie wstęp do całej rozprawy, w którym omówiono rozwój technik operacyjnych w chirurgii zaćmy oraz dokonano przeglądu materiałów i możliwych konstrukcji sztucznych soczewek wewnątrzgałkowych. To 17-stronicowe wprowadzenie pokazuje, że Autor jako dyplomowany optometrysta jest w pełni świadomy potrzeb (także potrzeb i oczekiwań pacjentów), możliwości oraz perspektyw rozwoju w zakresie zaawansowanych metod protezowania oka w chirurgii zaćmy. Cytowane na podstawie Europejskiego Rejestru Jakości Wyników Operacji Zaćm i Chirurgii Refrakcyjnej dane pokazują jak koniecznym jest kontynuowanie intensywnych prac badawczych nad rozwojem wewnątrzgałkowych soczewek wieloogniskowych. Rosnące potrzeby wzrokowe pacjentów po zabiegu usunięcia zaćmy wymuszają poszukiwania nowych konstrukcji w zakresie soczewek wieloogniskowych, które dotychczas (ze względu na różnorakie ograniczenia) stosowane były w niewielkim, wręcz marginalnym zakresie.

W rozdziale 2 omówiono ograniczenia wieloogniskowości soczewek dyfrakcyjnych Fresnela oraz wpływ standardowej geometrii reliefu dyfrakcyjnego na ogniskowanie fali świetlnej. W oparciu o podejście zaproponowane przez grupę badaczy z Uniwersytetu w Walencji oraz Uniwersytetu Guanajuato w Meksyku (Manuel Martinez-Corral, Pedro de Andres i Jorge Ojeda-Castaneda) analizie poddano proces obrazowania w soczewce hybrydowej. Wykazano, że dyfrakcyjna soczewka Fresnela może mieć co najwyżej dwa ogniska o zbliżonej wydajności dyfrakcyjnej i że nie jest możliwe zwiększenie liczby ognisk powyżej dwóch poprzez dobór odpowiedniej głębokości modulacji. Autor w tym miejscu przytacza także liczne prace innych autorów, które pokazują, że wyniki prób klinicznych dla tego typu soczewek są bardzo obiecujące.

W rozdziale 3 zaproponowano rozwiązanie zmodyfikowanej dyfrakcyjnej soczewki Fresnela, pokazując, że soczewka taka nie jest już strukturą dyfrakcyjną typu echellette (równe wydajności dyfrakcyjne w rzędach dodatnich i w odpowiadających im rzędach ujemnych) oraz, że nie można w tym przypadku otrzymać pięciu lub więcej ognisk o zbliżonych wydajnościach dyfrakcyjnych.

Rozdział 4 zawiera szczegółowy opis własnej koncepcji soczewki dyfrakcyjnej z reliefem sinusoidalnym, która z założenia jest soczewką pięcioogniskową. Pokazano, że

przy określonej wartości głębokości modulacji soczewka taka będzie posiadała siedem ognisk. Wyznaczono osiową funkcję rozmycia oraz poprzeczną funkcję rozmycia punktu co pozwoliło zrozumieć szereg cennych cech takiej soczewki. Wykonane symulacje numeryczne (przy przyjętych realistycznie parametrach) pozwoliły przeanalizować i zrozumieć interesujące właściwości takiej soczewki. Obliczono ekwiwalent amplitudy akomodacji oka bazując na modelu Gullstranda-Emsley'a oraz pokazano, że soczewka taka pozwala na ostre odwzorowanie na siatkówce oka w zakresie realistycznych potrzeb wzrokowych człowieka.

W rozdziale 5 na 11 stronach przeprowadzono dyskusję najważniejszych otrzymanych wyników. Dużą wartość ma podrozdział 5.2, w którym omówiono zakres stosowalności użytych w pracy modeli teoretycznych. Autor jest w pełni świadomy wagi zastosowanych przybliżeń oraz wynikających z nich konsekwencji, także aplikacyjnych. Autor w sposób przekonujący pokazał, że dotychczas wykorzystywane w wieloogniskowych soczewkach wewnątrzgałkowych profile dyfrakcyjne pozwalają na uzyskanie wieloogniskowości maksimum trzeciego rzędu oraz jak można skutecznie to ograniczenie usunąć poprzez wykorzystanie symetrycznych profili dyfrakcyjnych o dużej głębokości modulacji fazowej. Dużym osiągnięciem tej pracy jest pokazanie niezwykle ciekawych właściwości soczewki hybrydowej siedmioogniskowej o profilu sinusoidalnym. Soczewka ta niezwykle dobrze rokuje aplikacyjnie ze względu na potencjalnie nadzwyczajne właściwości użytkowe (zapewnia dobre odwzorowanie w zakresie odległości przedmiotowych od 30 cm do ∞).

Bardzo ciekawe rozważania zostały zawarte także w krótkim, bo 2-stronnicowym podrozdziale 5.4 zatytułowanym „Przystosowanie siedmioogniskowej hybrydowej IOL do warunków mezopowych i skotopowych”. To nowy i jakże ważny nurt rozważań nad właściwościami soczewek wewnątrzgałkowych. Autor wykazał, że w słabym oświetleniu przy rozszerzonej źrenicy oka większa część światła będzie skupiana w dalekim ognisku co jest zgodne z potrzebami wzrokowymi człowieka.

Reasumując pragnę stwierdzić, że rozprawa doktorska mgr. Macieja Sokołowskiego została napisana poprawnym językiem z wykorzystaniem właściwej terminologii naukowej i jest w pełni poprawna redakcyjnie (zawiera bardzo nieliczne usterki natury redakcyjnej oraz nieliczne wyrażenia żargonu naukowego, nie mające jednak wpływu na komfort jej czytania). Wydanie w formie książkowej istotnie podnosi walory estetyczne i użytkowe tej pracy.

Stwierdzam, że przedstawiona mi do oceny rozprawa doktorska Pana mgr. Macieja Sokołowskiego p.t. "Wewnątrzgałkowe wieloogniskowe soczewki refrakcyjno-dyfrakcyjne o dużej głębokości reliefu dyfrakcyjnego" zawiera rozwiązanie oryginalnego problemu naukowego i tym samym spełnia warunki określone w ustawie z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach naukowych i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki i wnoszę (Dz.U. z 2014 r. poz. 1852, z 2015 r. poz. 249.) o dopuszczenie tej rozprawy doktorskiej do publicznej obrony.

Ryszard Markowski

Poznań, 25 października 2015 r.