

Instytut Fizyki Technicznej

Wydział Nowych Technologii i Chemii

Wojskowej Akademii Technicznej

*KWESTIONARIUSZ - RECENZJA ROZPRAWY DOKTORSKIEJ DLA RADY
WYDZIAŁU FIZYKI POLITECHNIKI WARSZAWSKIEJ*

Tytuł rozprawy: Właściwości optyczne światłowodowych struktur z wypełnieniem ciekłokrystaliczną fazą błękitną

Autor rozprawy: mgr inż. Kamil Orzechowski

Dotychczas układy światłowodowe z wypełnieniem ciekłokrystaliczną fazą błękitną zostały jedynie wstępnie przebadane, stąd tematyka pracy doktorskiej dotyczącej tego tematu jest jak najbardziej właściwa. Rozprawa doktorska mgr inż. Kamila Orzechowskiego ma charakter eksperymentalny i polegała na badaniu właściwości optycznych światłowodowych struktur wypełnionych ciekłokrystaliczną fazą błękitną. Jednocześnie zbadane zostały właściwości płaskich przetworników wypełnionych tą fazą i właściwości samej fazy. Teza pracy została zarysowana precyzyjnie. Cel rozprawy jest jasno określony i polegał na wykazaniu możliwości sterowania propagacją światła spolaryzowanego w układach światłowodów zawierających ciekłokrystaliczną fazę błękitną.

Analiza literatury w pracy została przeprowadzona prawidłowo, a przyjęta notacja sprzyja łatwemu odwoływaniu się do wybranych pozycji literaturowych. Z wiedzy recenzenta jak również z danych przytoczonych przez Autora pracy wynika, że ilość pozycji literatury dotyczącej badań fazy błękitnej w układach światłowodowych jest nieznaczna, natomiast tematyka badania właściwości fazy błękitnej opisana jest we względnie niewielkiej liczbie publikacji w ilości kilkudziesięciu pozycji. Pozostałe pozycje literatury dotyczą zagadnień pokrewnych. Doktorant przytacza 165 pozycji literaturowych z czego w 7 pozycjach jest współautorem. Są to artykuły współautorskie w czasopiśmie z listy JCR. Dalszych 7 pozycji literaturowych jest spoza listy JCR. 15 prezentacji konferencyjnych świadczy o dużej aktywności naukowej doktoranta w trakcie wykonywania rozprawy doktorskiej.

Recenzowana praca ma charakter typowo eksperymentalny i jest opisana na 149 stronach. Podział rozprawy na rozdziały jest typowy. Praca rozpoczyna się wstępem, w którym formułuje cel pracy. Doktorant przekonuje o ważności podjętego zadania, prezentując jednocześnie tezę pracy. Następnie Doktorant zaproponował rozwiązanie problemu badawczego oparte na wykorzystaniu światłowodów i płaskich przetworników ciekłokrystalicznych oraz ciekłych kryształów zsyntezowanych w Wojskowej Akademii Technicznej.

W rozdziale drugim Doktorant przedstawił opis podstawowych właściwości optycznych ciekłych kryształów, a w szczególności nematyka chiralnego. Ponadto opisano różne rodzaje tekstur i deformacji ciekłokrystalicznych możliwe do uzyskania w komórce płaskiej. Dodatkowo opisano tekstury nematyków i nematyków chiralnych występujące w strukturze cylindrycznej.

Rozdział trzeci zawiera opis teoretyczny ciekłokrystalicznej fazy błękitnej. Przedstawiono w nim własności struktury kubicznej fazy błękitnej oraz opisano materiały ciekłokrystaliczne użyte do badań. Ponadto opisano zjawisko selektywnego odbicia światła w fazie błękitnej w analogii do odbicia typu Bragga zachodzącego w kryształach i nematykach chiralnych. Rozdziały czwarty i piąty stanowią znaczną część pracy, która dotyczy charakteryzacji materiału ciekłokrystalicznego w komórce płaskiej. Należy podkreślić, że o ile wiadomo recenzentowi, podjęta tematyka badania ciekłokrystalicznej fazy błękitnej nie była dotąd obecna na Wydziale Fizyki Politechniki Warszawskiej. Istniała potrzeba opracowania metody i opanowania techniki badawczej oraz przeprowadzenia podstawowych badań właściwości optycznych i elektrooptycznych ciekłokrystalicznej fazy błękitnej.

W rozdziale czwartym przedstawione zostały metody eksperymentalne stosowane przez Autora pracy do badania właściwości optycznych fazy błękitnej. Wykonano badania wpływu jakości orientacji powierzchni płaskich komórek na właściwości optyczne ciekłokrystalicznej fazy błękitnej, w szczególności na jej właściwości polaryzacyjne oraz odbicie Bragga.

W piątym rozdziale natomiast została przedstawiona technika stabilizacji fazy błękitnej polimerami z sieciowanymi promieniowaniem UV, a także metody pomiaru wielkości elektrooptycznych, tj. stałej Kerra oraz czasów przełączania. Opisano również autorską metodę badania elektrooptycznego efektu Kerra w układzie goniometrycznym z komórką w układzie klina.

W rozdziale szóstym przedstawione zostały podstawowe badania ciekłokrystalicznej fazy błękitnej w strukturze światłowodowej. Jest to według recenzenta jest to bardzo ważna część niniejszej rozprawy doktorskiej. Wykazany został wpływ warunków grzania próbki, rozmiaru

struktury cylindrycznej oraz jakości powierzchni na właściwości optyczne fazy błękitnej. W tym rozdziale przedstawiono także możliwość dynamicznej modyfikacji właściwości optycznych ciekłego kryształu za pomocą pola elektrycznego.

Rozdział siódmy zawiera badania właściwości optycznych układów złożonych składających się ze światłowodów fonicznych wypełnionych ciekłokrystaliczną fazą błękitną. Przedstawiono możliwości sterowania propagacją światła w wybranych strukturach fonicznych z fazą błękitną za pomocą temperatury oraz pola elektrycznego. Omawiane tu zagadnienia są według Recenzenta najbardziej interesujące.

W ostatnim ósmym rozdziale dokonano podsumowania uzyskanych wyników pomiarowych i obserwacji, a także opisano możliwości rozszerzenia przeprowadzonych badań. Autor prawidłowo rozwiązał postawione zagadnienia i użył właściwej do tego metody w stosunku do przyjętych w pracy założeń.

Autor podjął się badań właściwości nematycznej fazy błękitnej oraz jej zastosowania w układach światłowodowych, które to zagadnienia są dość słabo opisane w literaturze. W pracy scharakteryzowano także właściwości optyczne ciekłokrystalicznej fazy błękitnej w komórkach płaskich. Stanowi to samodzielny i oryginalny dorobek autora w stosunku do stanu wiedzy i poziomu techniki reprezentowanego przez literaturę światową. Realizacja celu pracy wymagała opanowania przez doktoranta kilku technik pomiarowych i interpretacji uzyskanych wyników. Pomiarów wykonywano w układzie do badania selektywnego odbicia, w układzie mikroskopowym do obserwacji tekstur i przejść fazowych w fazie błękitnej, w układzie do pomiaru efektu Kerra z zastosowaniem komórek klinowych, układzie do badania właściwości światłowodów fonicznych, i innych układach badawczych.

Wyniki badań potwierdziły silny wpływ warunków zewnętrznych na rozmiary domen fazy błękitnej, czy też na zakres temperatur występowania ciekłego kryształu w fazie błękitnej. Wykazano także wpływ warstw orientujących w komórce ciekłokrystalicznej na właściwości fazy błękitnej. Zaobserwowano znaczący wpływ warstwy orientującej planarnie na domeny w fazie błękitnej II, gdzie wraz z porządkowaniem wewnętrznym struktury zachodzi zmiana odbicia Bragga w zakresie światła widzialnego. Proces ten jest zależny od temperatury. Zmiana struktury uporządkowania fazy prowadzi także do zmiany aktywności optycznej materiału ciekłokrystalicznego. Wykazane zostało eksperymentalnie, że liniowo spolaryzowane światło transmitowane przez komórkę ciekłokrystaliczną w fazie błękitnej może zmienić swój stan polaryzacji na eliptyczny. Zmianie może ulec także azymut

polaryzacji światła. W pracy zostały omówione także metody badania elektrooptycznego efektu Kerra oraz pomiary dynamiki odpowiedzi ciekłego kryształu w fazie błękitnej sterowanego polem elektrycznym.

Dość ważne, zdaniem Recenzenta, są wyniki badań efektu Kerra metodą klina, która to metoda została zaproponowana przez Autora pracy. Zaletą tej metody jest bezpośrednie wyznaczenie współczynników załamania ciekłego kryształu w polu elektrycznym na podstawie pomiaru wielkości geometrycznych układu. Wykorzystując tę metodę można badać zarówno ciekłe kryształy zarówno o małej jak i dużej wartości dwójłomności bez potrzeby korzystania ze źródła światła koherentnego.

W pracy wykonano podstawowe badania właściwości optycznych struktur światłowodowych zawierających rdzeń ciekłokrystaliczny z fazą błękitną. Wykazano, możliwości propagacji światła w takich strukturach i jego kontroli za pomocą pola elektrycznego.

Szczególnie istotnym jest uzyskanie efektu elektrooptycznego przełączania, umożliwiającego zmianę odbicia Bragga w zakresie światła widzialnego dla takiej struktury przy sterowaniu polem elektrycznym o relatywnie niewielkim natężeniu (zmiana barwy np. z czerwonej na niebieską).

Doktorant zrealizował w pracy i opisał rezultaty badania właściwości optycznych układów złożonych, zawierających światłowody fotoniczne wypełnione ciekłokrystaliczną fazą błękitną. Mgr inż. Kamil Orzechowski wykazał możliwość sterowania propagacją światła transmitowanego w rdzeniu światłowodu fotonicznego z wypełnieniem ciekłokrystalicznym za pomocą temperatury lub pola elektrycznego. Doktorant uzyskał 3,5-krotny wzrost sygnału optycznego dla długości fali równej 588 nm lub też zmniejszenie się sygnału optycznego nawet do ok. 80% dla długości fali równej 593nm. W ten sposób udało się kontrolować szerokość przerwy fotonicznej. Dla polaryzacji światła zgodnej z kierunkiem pola elektrycznego otrzymano zawężenie przerwy fotonicznej z 14 nm (600÷614) nm do 7nm (604÷611) nm, zaś dla polaryzacji światła prostopadłej do pola elektrycznego rozszerzenie przerwy z 14 nm (600÷614) nm do 32nm (589÷621) nm.

W temperaturach odpowiadających fazie chiralnej, za pomocą pola elektrycznego o natężeniu rzędu 4V/ μ m udało się uzyskać także sterowanie natężeniem wyjściowego sygnału optycznego. Dla długości fal równych 540nm i 590nm Doktorant uzyskał względnie duży wzrost natężenia światła, który wynosił ok. 75%. Ponadto możliwa była kontrola położenia

pików w zakresie długości fali 544nm i 591nm, odpowiadającym wysokiej transmisji sygnału optycznego.

Praca doktorska mgr inż. Kamila Orzechowskiego zredagowana jest poprawnie. Język rozprawy jest jasny i zwięzły. Ponieważ Recenzent jest w obowiązku przedstawić również uwagi krytyczne, wskazujące na to, że istotnie zapoznał się z przedstawianą pracą, dlatego też poniżej przedstawiam spostrzeżenia, które nasunęły mi się podczas lektury rozprawy doktorskiej. W nielicznych przypadkach Doktorant posługuje się językiem potocznym, tzw. „żargonem laboratoryjnym”, co jednak niespecjalnie przeszkadzało recenzentowi w czytaniu pracy. Z obowiązków recenzenta wymienię kilka nieścisłości zauważonych w niniejszej pracy.

- w formule 3.9 na str. 45 występuje kąt θ definiowany jako kąt padania fali elektromagnetycznej na strukturę, lecz nie pokazano, jaki to kąt, czy do płaszczyzny struktury, (czy też do normalnej do niej,
- na rys. 21.a (str. 45) brak jest skali, a mimo to podano miano na osi rzędnych jako a.u.,
- na rys. 27 Str.54) brak jest opisu fotografii a), b), c), d),
- rys. 28 jest dla recenzenta mało czytelny
- na str. 58 użyty został wyraz „pinhola” zamiast „pinhol”,
- na str. 59 występuje sformułowanie: warstwy kotwiczenia planarnego, a chyba lepiej byłoby użyć „warstwy porządkujące homogeniczne”
- na str. 77 napisano, że „wartość stałej Kerra zależy od rozmiaru elektrod” Czy na pewno, powinno tak być, raczej nie, chociaż zależność stałej Kerra jest „niejako uzależniona od struktury przetwornika”,
- na rys. 48b (str. 82) Recenzent nie dopatrył się krzywej opisującej wartości średnich współczynników załamania, mimo, że opis takiej krzywej występuje w podpisie pod rysunkiem,
- w wielu wykresach np. rys. 84 do 89 (str.119-122), gdzie występują j.w. liczby na osiach posiadają cztery zera, niby jest to dozwolone bo względne, ale czy na tych wykresach nieuzasadnione? Rozdzielczość pomiarowa z pewnością nie dałaby możliwości tak dokładnego odwzorowania przedstawianych zależności.
- na str. 85 występuje sformułowanie „molekularna lepkość obrotowa”, powinno być, a przynajmniej tak jest to najczęściej używane „lepkość rotacyjna”,
- przy pomiarach dynamicznych (str. 85) nie podano poziomu sygnału pomiędzy stanem włączonym, a wyłączonym oraz w miarę wzrostu napięcia, co byłoby przydatne w przypadku potencjalnych zastosowań, wskazywałoby też jak czułego detektora należy użyć przy pomiarach takich sygnałów.
- w kilku miejscach np. str. 49, 59, 81 brak jest właściwej adjustacji, występują puste miejsca. Stosując inny układ tekstu i rysunków oraz tabel można by uniknąć nieciągłości rozprawy.

W formularzu recenzenckim zalecanym do stosowania na Politechnice Warszawskiej występuje pytanie „Jakie są słabe strony rozprawy i jej główne wady?” Odpowiadając na pytanie konstatuję, to następująco.

Recenzent nie doszukał się specjalnie słabych stron rozprawy. Przytoczone uwagi mają raczej charakter dyskusyjny i są następujące:

- niekoniecznie potrzebny, zdaniem Recenzenta, jest wstęp dotyczący ogólnych właściwości ciekłych kryształów zawierający znane ogólnie dostępne informacje zawarte w wielu wydaniach książkowych. Dotyczy to informacji zawartych na str. 19 - 34. Więcej miejsca za to mogłoby być poświęcone w Rozprawie badaniom innych materiałów ciekłokrystalicznych w typowych światłowodach wypełnionych np. ciekłokrystalicznymi materiałami nematycznymi.

- w niektórych miejscach w pracy można znaleźć porównanie własnych rezultatów badań fazy błękitnej z danymi literaturowymi. Świadczy to o dobrym zapoznaniu się mgr inż. Kamila Orzechowskiego z literaturą dotyczącą tematu badań. Doktorant bardziej jednoznacznie mógłby się natomiast odnieść i porównać własne wyniki badań światłowodów z danymi literaturowymi (choć tylko niektórymi), choćby dotyczącymi np. światłowodów wypełnionych nematycznymi, a o te, w zespole w którym realizował pracę doktorską nie trudno.

- na str. 74 przedstawiono tabelę 4 oraz rys. 41, na którym przedstawiona jest charakterystyka transmisji światła przez komórkę wypełnioną czystym ciekłym kryształem oraz kryształem z barwnikiem (zieleń bromokrezolowa). Doktorant nie uzasadnił, dlaczego użył takiego barwnika, a wnioski co do obniżenia współczynnika załamania dla tak przygotowanej mieszaniny wydają się co najmniej dyskusyjne,

- przy stosowanych materiałach ciekłokrystalicznych w żadnym przypadku nie podano ich oporności właściwej, a ilość jonów jaka może pojawić się w mieszaninie determinuje jej właściwości kotwiczące, orientujące i wiele innych czynników mających wpływ na tworzenie się np. domen,

- na str. 86 stwierdzono, że w „starszych” przetwornikach pojawiają się defekty związane ze zjawiskiem krystalizacji. Nie sprecyzowano jednocześnie w jakich warunkach i przez jaki czas przetworniki (może to dotyczyć również światłowodów) były przechowywane. Degradacja i procesy starzenia materiałów ciekłokrystalicznych zwłaszcza z grupami NCS są ogólnie znane i należy to uwzględnić planując eksperymenty. Wykonanie choćby wstępnych badań starzeniowych byłoby niezwykle cenne,

- wątpliwości Recenzenta budzi używanie w pracy w stosunku do fazy błękitnej wskaźników Mullera, pewnie poparte występowaniem takich sformułowań w literaturze? Czy jednak jest to uprawnione?

Przedstawione także kolejne pytanie z formularza brzmi: Jaka jest przydatność rozprawy dla zastosowań technicznych? Odpowiadając na to pytanie stwierdzam, że przydatność rozprawy dla nauk technicznych będzie duża o ile światłowody z wypełnieniem ciekłokrystalicznym znajdą zastosowanie w technice i na rynku komercyjnym, a tu perspektywy na dzień dzisiejszy nie wydają się zbyt obiecujące. Światłowody z fazą błękitną to jedna z możliwości w stosunku do już istniejących rozwiązań dotyczących światłowodów wypełnionych nematycznymi ciekłymi kryształami. Oczywiście

należałoby w tym celu znacznie rozszerzyć zakres występowania fazy błękitnej w materiałach ciekłokrystalicznych (obecnie występujący jest zbyt wąski), poprawić jej parametry użytkowe oraz udoskonalić technologię i zbadać efekty starzeniowe, o których wspomniał Doktorant, a które mogą mieć wpływ na powtarzalność danych pomiarowych.

Mgr inż. Kamil Orzechowski wykazał się zatem w pełni zdolnościami naukowymi niezbędnymi do zdobycia stopnia naukowego doktora nauk technicznych w szczególności:

- znajomością najnowszej literatury przedmiotu,
- umiejętnością sformułowania nowatorskiego problemu badawczego,
- dogłębną wiedzą w zakresie badanego zagadnienia,
- umiejętnością pracy w zespole oraz współpracy z innymi ośrodkami badawczymi np. WAT,
- znajomością i umiejętnością stosowania różnorodnych metod badawczych weryfikujących otrzymane wyniki, czyli opanowaniem warsztatu badawczego,
- umiejętnością wyciągania wniosków z wyników doświadczalnych,

Na podstawie lektury pracy doktorskiej, której Doktorant jest Autorem, mogę stwierdzić, że mgr inż. Orzechowski jest moim zdaniem utalentowanym i dojrzałym badaczem, który umiejętnie wykorzystał wiedzę literaturową i pracę doświadczalną w analizie postawionych zagadnień.

Podsumowując uznaję, że przedstawiona mi do recenzji praca doktorska mgr inż. Kamila Orzechowskiego pt. „Właściwości optyczne światłowodowych struktur z wypełnieniem ciekłokrystaliczną fazą błękitną” spełnia wymagania stawiane rozprawom doktorskim określone stosownymi przepisami. Zatem wnoszę o jej przyjęcie oraz dopuszczenie do publicznej obrony.



podpis