Szczecin, 8.02.2023

Prof. dr hab. Ewa Weinert-Rączka
Katedra Telekomunikacji i Fotoniki
Wydział Elektryczny
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie
ul. Sikorskiego 37, 70-313 Szczecin

Opinia na temat rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartłomieja Wojciecha Klusa zatytułowanej „Wykorzystanie metod optyki nieliniowej w pomiarach parametrów ciekłych kryształów"

Niezwykłe właściwości ciekłych kryształów powodują, że pomimo iż mają wiele powszechnie znanych zastosowań, są wciąż przedmiotem intensywnych badań naukowych. Odkrywane są nowe substancje, badane ich właściwości i proponowane kolejne zastosowania. Udoskonalanie metod wyznaczania parametrów ciekłych kryształów, będące celem rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartłomieja Klus, jest więc aktualnym i ważnym zagadnieniem.

Recenzowana praca składa się ze wstępu, trzech rozdziałów wprowadzających, dwóch rozdziałów poświęconych prezentacji wyników badań, zakończenia oraz załącznika zawierającego wyniki zastosowania opracowanych metod do pomiaru parametrów 27 ciekłych kryształów. Pracę kończy obejmująca 236 pozycji bibliografia oraz lista 9 publikacji i dwóch patentów związanych z tematyką rozprawy, których pan Bartłomiej Klus jest współautorem.

W pierwszym z rozdziałów wprowadzających przedstawione zostały podstawowe informacje dotyczące właściwości ciekłych kryształów, a w drugim występujące w nich zjawiska nieliniowe optycznie. Ważną rolę pełni rozdział czwarty poświęcony przeglądowi metod pomiarowych optyki nieliniowej, ze szczególnym podkreśleniem metod stosowanych w badaniach ciekłych kryształów. Wszystkie te rozdziały są dobrze dopasowane do tematyki badań opisanych w rozprawie i zawierają wiele oryginalnych

rysunków i wykresów. Czytanie utrudniają pojawiające się drobne pomyłki i nieścisłości. Przykładem może być brak równań o numerach 3.25-3.30, z których jedno jest wymieniane w tekście. Pozytywnie wyróżnia się najistotniejsza część rozdziału czwartego, która poświęcona jest opisowi metody z-skan.

Rozdział 5 rozprawy poświęcony jest pomiarom stałych elastyczności ciekłych kryształów z wykorzystaniem układów doświadczalnych, w których reorientacja zachodzi powyżej progowego natężenia pola elektrycznego. Badania opierają się na wykorzystaniu zależności wartości progowej natężenia pola od odpowiedniej stałej elastyczności.

Pierwszym etapem tych prac było wyznaczenie stałych elastyczności K_{11} i K_{33} metodą elektro-optyczną, w której reorientacja zachodzi pod wpływem zewnętrznego pola elektrycznego. Następnie przeprowadzone zostały badania stałych K_{22} i K_{33} metodami całkowicie optycznymi, z wykorzystaniem pola elektrycznego spolaryzowanej liniowo wiązki światła. W tradycyjnej metodzie całkowicie optycznej wartość progowego natężenia światła powodującego reorientację wyznaczana jest z zależności transmisji od mocy wprowadzanej do próbki. Wadą tej metody jest duża niepewność pomiaru wartości promienia wiązki w próbce, co wpływa na dokładność określenia natężenia progowego. Wady tej nie ma zaproponowana w rozprawie i opatentowana metoda całkowicie optyczna w układzie z-skan. Wartość natężenia progowego jest w tym przypadku wyznaczana na podstawie zależności transmisji od promienia wiązki w próbce, który zmienia się wraz z położeniem próbki przesuwanej wzdłuż osi wiązki laserowej. Zostało pokazane, że zastosowanie metody z-scan zwiększa dokładność wyznaczenia promienia wiązki i tym samym zmniejsza niepewność pomiaru stałych elastyczności.

W rozdziale piątym zostały też przedstawione wyniki badania wpływu temperatury na wartości stałych elastyczności. Jest to wartościowe uzupełnienie wcześniejszych pomiarów istotne między innymi z powodów aplikacyjnych. Niestety opis tej części badań jest dość krótki i nie zawiera informacji o sposobie i dokładności pomiaru temperatury, brakuje też opisu zastosowanego ogniwa grzewczego.

Przedstawione wyniki badań i opracowana nowa metoda pomiaru stałych elastyczności są istotnym wkładem w rozwój metod badawczych ciekłych kryształów. Autor rozprawy wykazał, że zastosowanie układu z-scan pozwala na uzyskanie wyników o niepewnościach o połowę mniejszych niż w tradycyjnych metodach. Należy zatem uznać,

że została wykazana pierwsza część tezy rozprawy: „Układ pomiarowy z-scan można dostosować do precyzyjnych pomiarów stałych elastyczności ciekłych kryształów związanych z deformacją skręceniową i ugięciową."

Słabą stroną tej części rozprawy jest brak dokładniejszych informacji na temat stosowanej aparatury. Nie zostało podane jakie detektory służyły do pomiaru mocy, ani jak była mierzona średnica wiązki.

Ważną częścią pracy jest rozdział 6, dotyczący właściwości nieliniowych ciekłych kryształów. Przedstawiony jest w nim model teoretyczny nieliniowości oraz metodologia i wyniki pomiarów współczynnika nieliniowej ekstynkcji oraz nieliniowego współczynnika załamania. Badania przeprowadzone zostały dla próbek o teksturze planarnej i homeotropowej, czystych i domieszkowanych barwnikiem Sudan Blue II w celu zwiększenia absorpcji światła.

Model teoretyczny uwzględnia odziaływanie wzrostu temperatury spowodowanego wiązką światła na parametry wpływające na reorientację molekuł, takie jak anizotropia elektryczna, stałe elastyczności czy parametr uporządkowania. Prace doświadczalne objęły pomiary ekstynkcji oraz nieliniowości termicznej, reorientacyjnej i termiczno-reorientacyjnej. Wyniki pomiarów potwierdziły między innymi przewidywaną przez model teoretyczny zależność zmiany współczynnika złamania od kwadratu natężenia światła. Wartość tych badań zwiększa fakt, że w większości pomiarów właściwości nieliniowych ciekłych kryształów, w których stosowane są źródła o pracy ciągłej, nie rozdziela się efektów reorientacyjnych i termicznych.

Wyniki przedstawione w rozdziale 6 potwierdzają drugą część tezy rozprawy, zakładającą, że „Układ pomiarowy z-scan można dostosować do pomiarów współczynników nieliniowości dla różnych orientacji warstwy ciekłokrystalicznej z rozróżnieniem mechanizmu termicznego, reorientacyjnego i termiczno – reorientacyjnego."

Słabą stroną tej części pracy jest brak analizy niepewności pomiarów maksymalnej zmiany wartości transmisji oraz tak zwanej wartości międzyszczytowej, których odczytanie z zamieszczonych w pracy wykresów jest dość trudne.

Cała rozprawa zredagowana jest dość starannie, ale pojawiają się w niej drobne niedociągnięcia. Na przykład nieco zbyt dużym uproszczeniem są stosowane kilkakrotnie określenia, takie jak „natężenie wiązki" - zamiast moc wiązki lub natężenie w centrum wiązki. W rozdziale 6.3.2. nie zostało wyjaśnione, dlaczego wybrano koncentrację barwnika wynosząca 0,01% pomimo, że zgodnie z rysunkiem 6.2., obejmującym zakres od 0,1 do 1%, wpływ takiego stężenia na absorpcję nie został zbadany. Rysunki w rozdziałach 5 i 6 są często nieczytelne z powodu zbyt małych rozmiarów, a przyporządkowanie kolorów do wyników pomiarów na rysunku 6.13 i w opisie tego rysunku nie są ze sobą zgodne.

Wyżej wymienione uwagi krytyczne w niczym nie umniejszają wartości rezultatów badań opisanych w rozprawie. Jest to bardzo dobra praca, zawierająca dużo ciekawych wyników i wnosząca istotny wkład w badania parametrów ciekłych kryształów. Zaletą pracy jest jej metodyczność i kompleksowość. Wyniki badań opisane w rozprawie mają duży potencjał aplikacyjny. Świadczą o tym cztery związane z tą tematyką patenty, których pan Bartłomiej Klus jest współautorem oraz osiem publikacji o zasięgu międzynarodowym, przy czym w trzech z nich autor rozprawy jest pierwszym ze współautorów.

Uważam, że cel rozprawy został zrealizowany, a jej autor wykazał umiejętność formułowania i rozwiązywania problemów badawczych z zastosowaniem modeli teoretycznych oraz pomiarów doświadczalnych.

Stwierdzam też, że recenzowana rozprawa doktorska spełnia warunki przewidziane w ustawie o tytule i stopniach naukowych i wnoszę o dopuszczenie pana magistra inżyniera Bartłomieja Klusa do publicznej obrony.

Ze względu na interesującą i ważną tematykę oraz dobór stosowanych metod badawczych proponuję wyróżnienie przedstawionej przez niego rozprawy.