

prof. dr hab. inż. Janusz PARKA
Instytut Fizyki Technicznej
Wydział Nowych Technologii i Chemii
Wojskowa Akademia Techniczna
00-908 Warszawa, ul. S. Kaliskiego 2
e-mail: janusz.parka@wat.edu.pl

Warszawa, 27.01. 2023 r.

RECENZJA

rozprawy doktorskiej mgr inż. Bartłomieja Wojciecha Klusa

pt. „Wykorzystanie metod optyki nieliniowej w pomiarach ciekłych kryształów ”

1. Wprowadzenie i przedmiot recenzji

Recenzja niniejszej rozprawy doktorskiej została wykonana na zlecenie Dziekana Wydziału Fizyki Politechniki Warszawskiej. Promotorem pracy doktorskiej mgr. inż. Bartłomieja Klusa jest prof. dr. hab. inż. Mirosław Karpierz. Praca dotyczy badania właściwości stałych sprężystych oraz współczynników nieliniowości nematycznych ciekłych kryształów przy wykorzystaniu metody z-scan .

Zagadnienia dotyczące pomiarów stałych elastyczności ciekłych kryształów są dość szeroko opisywane w licznych publikacjach naukowych, natomiast metody pomiarowe ich wyznaczania nie są łatwe, zwłaszcza, że wymagana jest w tym przypadku wyjątkowa precyzja. Stałe elastyczności są bardzo ważne dla przydatności różnych materiałów ciekłokrystalicznych w zastosowaniach np. do wyświetlaczy ciekłokrystalicznych i innych urządzeń fonicznych wykorzystujących ciekłe kryształy. Stałe elastyczności K_{11} , K_{33} , K_{22} mają znaczący wpływ na kształty charakterystyk transmisyjnych lub odbiciowych w różnych efektach elektrooptycznych, jak również dynamikę przełączeń. Szczególnie istotne i najbardziej trudne pomiarowo jest wyznaczanie stałej elastyczności K_{22} , która istotna jest dla konstrukcji wyświetlaczy wykorzystujących struktury skręcone np. efekt skręconego nematyka (Twisted Nematic - TN), efekt superskręconego nematyka (Supertwisted Nematic - STN). Podjęcie przez Doktoranta udoskonalenia metod pomiaru stałych elastyczności jest bardzo interesujące. Dotychczas pomiary stałych elastyczności dokonywano zazwyczaj wykorzystując deformację molekuł ciekłego kryształu w polu elektrycznym w efekcie Fredericksa lub skręconego nematyka. Wyznaczenie zwłaszcza stałych K_{22} przy zastosowaniu tej metody jest relatywnie trudne, a uzyskiwane wyniki często niezbyt dokładne.

2. Zakres pracy i ocena merytoryczna

Celem pracy było udoskonalenie metod pomiarowych poprzez opracowanie, przetestowanie oraz zastosowanie do pomiarów stałych elastyczności metody z-scan oraz wyznaczenie tą metodą współczynników nieliniowości przy różnych orientacjach i dla różnych mechanizmów nieliniowości. Uzyskane wyniki zostały porównane z wynikami uzyskiwanymi klasycznymi metodami oraz dla niektórych materiałów porównane z wynikami podawanymi w literaturze.

Badania, które podjął Doktorant, mają walor poznawczy i aplikacyjny związany z łatwiejszym oraz bardziej precyzyjnym pomiarem stałych elastyczności nematycznych ciekłych kryształów. Badania są kontynuacją tematyki badawczej właściwości nieliniowych ciekłych kryształów zainicjowanej wiele lat temu przez prof. Mirosława Karpierza.

Układ rozprawy jest klasyczny. Rozprawa podzielona jest na 7 rozdziałów. Praca doktorska mgr inż. Wojciech Klusa liczy 134 strony. Dodatek i bibliografia zawarte są na 34 stronach. Ponadto rozprawa zawiera 54 rysunki oraz 26 tabel. Cytowanych jest 236 pozycji bibliograficznych oraz dwa patenty, których współudział posiada Doktorant. Są to reprezentatywne i dobrze dobrane prace dotyczące zagadnień związanych z tematyką rozprawy. Przedstawiona analiza zagadnień podejmowanych w pracy w oparciu o dane literaturowe świadczy o dobrym rozpoznaniu tematu i przygotowaniu doktoranta do prowadzenia pracy naukowej oraz realizacji zamierzonych badań.

W rozdz. 1 przedstawione zostały zagadnienia związane z zakresem badań podejmowanym w rozprawie oraz teza pracy. Głównym celem pracy jest udoskonalenie metodyki pomiarowej wybranych parametrów nematycznych ciekłych kryształów, a w szczególności stałych elastyczności. Autor podaje podstawowe informacje o nematycznych ciekłych kryształach i ich właściwościach. Literatura dotycząca tematu pracy, zdaniem recenzenta, dobrana jest poprawnie, a cytowania prac właściwe. W rozdziale tym zawarta jest również teza pracy i cele badań.

W rozdziale drugim opisane zostały podstawowe anizotropowe właściwości nematycznych ciekłych kryształów badanych w pracy, metody ich orientacji i powstałe tektury: homogeniczna i homeotropowa deformowane przez pole elektryczne i magnetyczne.

W rozdziale trzecim przedstawiony został opis podstawowych nieliniowości występujących w nematycznych ciekłych kryształach tj. orientacyjnej i termicznej.

W rozdziałach 4 – 6 opisane są eksperymenty przeprowadzone przez Doktoranta oraz uzyskane wyniki. Rozdział czwarty zawiera opis stosowanych w pracy doktorskiej metod pomiarowych stosowanych w optyce nieliniowej, w tym szczególnie metody z-scan, która była stosowana w pracy. W rozdziale piątym Doktorant opisuje wyniki pomiarów stałych elastyczności uzyskane metodą z-scan. Dokonano porównań uzyskanych wyników z danymi uzyskanymi innymi metodami oraz danymi literaturowymi. Opisane zostały wyniki zmian wartości stałych elastyczności z temperaturą. Rozdział szósty zawiera wyniki eksperymentalnych pomiarów współczynnika nieliniowej ekstynkcji oraz nieliniowego współczynnika załamania uzyskane metodą z-scan.

Pracę kończy rozdział siódmy zawierający podsumowanie uzyskanych rezultatów oraz wnioski.

Praca jest obszerna i podejmuje wiele wątków badawczych oraz zależności związanych z pomiarami i wyznaczaniem stałych elastyczności. Odniesienie się do nich wszystkich w tej recenzji spowodowałoby jej wydłużenie. W związku z tym mając na uwadze całość pracy w niniejszej recenzji odniosę się bardziej szczegółowo tylko do wybranych wątków.

Rezultaty uzyskane przez Doktoranta w pracy zostały dobrą podbudowę teoretyczną, co uważam za bardzo istotne i są zgodne z wynikami uzyskanymi analitycznie.

3. Uwagi ogólne i dyskusyjne

Praca napisana jest zrozumiałym językiem technicznym, a redakcja składna, przejrzysta i staranna. Na uwagę zasługuje bardzo dobry i kompletny dobór literatury oraz bardzo dobrze udokumentowanie wyniki badań.

Bardzo starannie przeprowadzony został rachunek błędów, co jest istotne dla tej pracy, a jednocześnie porównano niepewności wyznaczonych stałych elastyczności z danymi literaturowymi wynoszące od 18 do 32% (tab. 5,4 na str. 91).

Praktycznie wszystkie parametry (w większości) wyznaczano w zakresie temperatur 20 – 40 °C, podczas, gdy badane materiały ciekłokrystaliczne posiadały różna zakresy mezofazy, np. 6CHBT 12 - 43 °C. Gdyby brać pod uwagę charakteryzację materiałów ciekłokrystalicznych do ewentualnych zastosowań wewnątrz pomieszczeń, gdzie typowy zakres temperatury wynosi 10 – 40 °C. Oczywiście dla testowania metody zakres ten wydaje się być wystarczający.

Recenzent nie znalazł w pracy uzasadnienia, dlaczego do badań wykorzystano np. mieszaniny 903 lub 1110, a nie inne. Argumentacja w tym zakresie wydaje się być ważna, bo

np. można byłoby zbadać materiały ciekłokrystaliczne o spodziewanych dużych lub małych wartościach stałych elastyczności.

Zdaniem recenzenta niezbyt dokładnie opisano w pracy przetworniki stosowane w badaniach. Dla uzyskania poprawnych wyników pomiarów istotna jest dokładna orientacja molekuł ciekłego kryształu na powierzchniach komórek użytych do badań. Kilkustopniowe pochylenie molekuł ciekłego kryształu na powierzchni (nie dokładnie równoległe lub prostopadłe do powierzchni komórki) może wpłynąć na wyniki pomiarów. Doktorant wykorzystywał do pomiarów relatywnie grube komórki ciekłokrystaliczne o grubości 50 mikrometrów (str. 84 i 89), a więc np. przy braku pola elektrycznego przeniesienie tekstury od powierzchni orientującej deformacji mogło być znaczące. Również uwzględnienie sił kotwiczenia dla różnych materiałów orientujących ciekłe kryształy (słabe i silne kotwiczenie) może mieć wpływ na uzyskane wyniki pomiarów, a w zasadzie na niepewność pomiarową. Warunki kotwiczenia wpływają również na wartości napięć progowych Freedericksa. Biorąc pod uwagę wymienione powyżej różne „warunki brzegowe” na powierzchni komórek używanych do badań powstaje pytanie czy można uzyskane w pracy wartości stałych elastyczności „uogólnić” dla komórek o różnych parametrach, czy też przed pomiarami komórki powinny być kalibrowane pod kątem jakości orientacji? Nasuwa się również pytanie o zależność lepkości i związanej z nią dynamiki przełączeń komórek ze stałymi elastyczności.

W pracy Doktorant wykazał różnice pomiędzy liniowością termiczną i orientacyjną (reorientacyjną zgodnie z terminologią używaną przez Doktoranta) i ich wzajemnymi zależnościami oraz udowodnił, że nieliniowość termiczno-reorientacyjna jest w przybliżeniu proporcjonalna do kwadratu natężenia wiązki światła oddziaływującego z ciekłym kryształem. Jest to bardziej potwierdzenie takiej zależności, bo takiej chyba należałoby się spodziewać.

Bardzo cennym wydaje się uzyskanie patentu na optyczną metodę wyznaczania stałych elastyczności K22 i K33 techniką z-scan. Pytanie recenzenta jest następujące: czy udało się wykorzystać ten patent? Szkoda, że chcąc w pełni scharakteryzować nematyczny ciekły kryształ metodą opisaną w niniejszej pracy można wyznaczyć tylko niektóre parametry nematyka, a więc metoda nie jest niestety uniwersalna.

Chciałbym aby Doktorant odniósł się do powyższych uwag zawartych w recenzji w trakcie obrony.

Praca może być przydatną lekturą do studiowania efektów deformacji fazy nematycznej i metod pomiaru stałych sprężystości oraz wyznaczania współczynników nieliniowości nematyków. Brak jest w pracy, patrząc pod kątem aplikacyjnym, charakterystyk relacji między stałymi elastyczności np. K11/K33, K11/K22, które są istotne z punktu widzenia

charakterystyk elektrooptycznych poszczególnych efektów np. TN, STN, Przełączania w płaszczyźnie (In Plane Swiching – IPS), deformacja tekstury homeotropowej (Vertical Alignment Nematic – VAN). Doktorant wspomina o tych zależnościach na str. 83 swojej pracy. Należy dodać, że relacje np. K11/K33 są istotne z aplikacyjnego punktu widzenia, ale taka charakteryzacja nie była ujęta celu pracy.

4. Uwagi szczegółowe

Recenzent ma obowiązek przedstawić również uwagi krytyczne, wskazujące choćby na to, że istotnie zapoznał się z przedstawianą pracą, dlatego też poniżej przedstawiam spostrzeżenia, które nasunęły mi się podczas lektury niniejszej rozprawy. Muszę ustosunkować się również do jakości uzyskanych wyników, poprawności opisu metod badawczych, interpretacji wyników i wyciąganych na ich podstawie wniosków. Uzyskane w pracy wyniki są interesujące i dobrze udokumentowane. W zasadzie recenzent ma niewiele uwag krytycznych dotyczących pracy. Recenzent znalazł zaledwie kilka nieprecyzyjnych sformułowań w tekście rozprawy, np.

- na str. 11 „...pole elektryczne o niskim napięciu”, „...zmiana osi dwójłomności...”

- używane powszechnie sformułowanie „wysoka lub niska dwójłomność”, a według recenzenta bardziej właściwe byłoby „ciekły kryształ o dużej wartości dwójłomności” np. str. 30 i 91. Takie sformułowanie jest prawdopodobnie wynikiem dosłownego tłumaczenia z języka angielskiego „high birefringence”, co zdaniem recenzenta nie jest właściwe. Trzeba przyznać że takie sformułowania można niestety coraz częściej w różnych pracach w języku polskim w języku polskim,

- brak odnośników literaturowych w niektórych formułach np. 5.5, 5.7 na str. 89, co utrudnia nieco sprawdzanie poprawności przytoczonych w pracy formuł teoretycznych.

- „niewność” zamiast niepewność – str. 90,

- podpisy umieszczane są pod tabelami, gdy zazwyczaj przyjęte jest że podpis jest pod rysunkiem, a opis tabeli nad tabelą,

Przedstawione powyżej uwagi nie umniejszają jednak mojej końcowej, bardzo pozytywnej oceny rozprawy.

5. Podsumowanie

Na dorobek publikacyjny Doktoranta związany z tematem pracy doktorskiej składają się 4 prace w czasopismach z listy JCR (Materials, Physical Review, Optic Ekspress) oraz 4 prace opublikowanych w wydawnictwach spoza listy JCR . Ponadto Doktorant jest współautorem 2 patentów z czego wnioskując z tytułu jeden z nich jest bezpośrednio związany z tematyką pracy.

Na podstawie danych zawartych w pracy recenzent nie odnotował udziału Doktoranta w projektach badawczych.

Jeszcze raz należy podkreślić bardzo dobrze udokumentowane dane pomiarowe i właściwe wnioski przedstawione w podsumowaniu pracy. Dorobek naukowy mgr. inż. Bartłomieja Wojciecha Klusa uważam za zadowalający.

Podsumowując uważam, że rozprawa doktorska mgr inż., zawiera duży ładunek udokumentowanych nowości naukowych z zakresu badań o znaczeniu poznawczym. Należy raz jeszcze podkreślić, że Doktorant podjął się badania bardzo interesujących zjawisk, które są istotne dla charakteryzacji nematycznych ciekłych kryształów przeznaczonych do różnych zastosowań.

Stwierdzam, że przedstawiona do recenzji rozprawa doktorska mgr inż. Bartłomieja Wojciecha Klusa spełnia warunki przewidziane stosowną ustawą o tytułach i stopniach naukowych. Wnoszę o przyjęcie pracy i dopuszczenie jej autora do dalszych etapów przewodu doktorskiego.



Janusz Parka