

XII Konferencja Naukowa ŚWIATŁOWODY I ICH ZASTOSOWANIA Krasnobród 2009

M. CHYCHŁOWSKI, S. ERTMAN, M. TEFELSKA, T. WOLIŃSKI, E. NOWINOWSKI-KRUSZELNICKI, O. YAROSHCHUK***

Wydział Fizyki Politechniki Warszawskiej, Koszykowa 75, 00-662 Warszawa

** Instytut Fizyki Wojskowej Akademii Technicznej*

*** Institute of Physics of National Academy of Sciences of Ukraine*

Mikro kapilary (światłowodowe) ze zorientowaną strukturą anizotropową

Streszczenie: Światłowodów fotonicznych znajdują coraz większe zainteresowanie w dziedzinie telekomunikacji, jak również w całkowicie optycznych czujnikach światłowodowych. W celu rozszerzenia spektrum ich zastosowań wypełniane są cieczami anizotropowymi. Ciecze takie jak ciekłe kryształy nadają charakterystyczne im właściwości – wrażliwość na temperaturę czy pole elektryczne lub magnetyczne dzięki czemu czujniki stają mogą mierzyć dodatkowe parametry. Ciekłokrystaliczne światłowodów fotonicznych mogą również zostać wykorzystane do kontroli mechanizmu propagacji światła, polaryzacji czy sterowanym tłumikiem światłowodowym. Orientacja ciekłych kryształów wewnątrz mikro otworów w światłowodach fotonicznych i mikro kapilar jak dotąd zdeteminowana była poprzez samoczynne uporządkowanie, wynikające między innymi z metody wprowadzania ciekłego kryształu za pomocą sił kapilarnych. Ze względu na charakter procesu uporządkowania molekuł ciekłego kryształu o eliptycznym kształcie preferowana jest orientacja planarna.

Przedstawione zostaną rezultaty dla różnych orientacji ciekłego kryształu 6CHBT wewnątrz szklanych kapilar o średnicy wewnętrznej rzędu kilkunastu mikrometrów. Orientacje ciekłego kryształu uzyskane zostaną poprzez fotoorientację dodatkowej cienkiej warstwy polimeru między kapilarą a ciekłym kryształem. Zademonstrowane zostaną wyniki dla orientacji planarnej wymuszoną poprzez dodatkową warstwę oraz zostaną one porównane z orientacją planarną powstającą w wyniku działania sił kapilarnych oraz orientacji transwersalnej.

1. Wstęp

W ostatnich latach szczególną uwagę zwraca się na jedną z interesujących dziedzin nauki - fotonikę, która łączy dokonania optyki, elektroniki i informatyki. Jedną z jej najszybciej rozwijających się dziedzin w przemyśle związanym z fotoniką są ciekłe kryształy (ang. Liquid Crystals - LCs). Drugim, równie szybko rozwijającym się, obszarem są światłowody foniczne (ang. Photonic Crystal Fibers - PCFs), będące nowym medium dla telekomunikacji oraz podstawą nowej generacji czujników całkowicie optycznych.

Ciekłe kryształy zostały po raz pierwszy zaobserwowane w 1888r. [1], jako że posiadały cechy charakterystyczne dla ciał stałych jak i cieczy, stały się przedmiotem intensywnych badań. Gwałtowny rozwój technologii ciekłokrystalicznej nastąpił w momencie zastosowania jej w wyświetlaczach w 1964r. [2]. Technika kontroli ciekłych kryształów w komórkach jest już dobrze opanowana, o czym świadczy popularność wyświetlaczy, projektorów oraz wielu innych urządzeń budowanych w oparciu o technologię ciekłokrystaliczną.

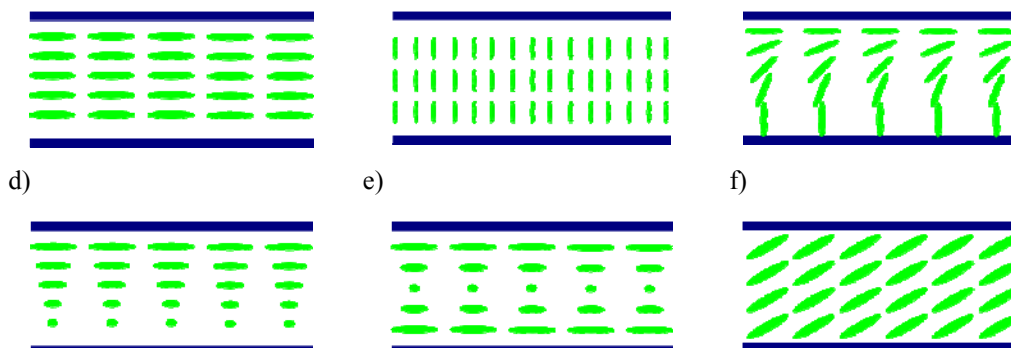
Światłowody foniczne umożliwiają propagację światła zupełnie nowym mechanizmem – przerw wzbronionych (PBG – ang. Photonic Band Gap), jak również znanym ze światłowodów klasycznych efektem falowodowym (mTIR – ang. modified Total Internal Reflection). Mechanizm propagacji jest uzależniony od różnicy współczynnika załamania rdzenia i efektywnego współczynnika załamania płaszcza, sam charakter propagacji jest uzależniony od parametrów geometrycznych i materiałowych światłowodu. W celu zwiększenia możliwości kontroli propagacji wewnątrz światłowodów fonicznych wypełnia się ich otworki różnymi materiałami aktywnymi. Otworki o średnicach rzędu kilku mikrometrów mogą być wypełnianie ciekłymi kryształami, których właściwości optyczne mogą być kontrolowane za pomocą czynników zewnętrznych. Ciekłe kryształy jako anizotropowe struktury posiadają niezerową dwójłomność, którą można sterować np. za pomocą zewnętrznego pola elektrycznego, dzięki czemu można sterować profilem współczynnika załamania światła. Zmiany te wpływają na parametry wiązki propagującego się światła takie jak długość fali, czy też polaryzacja[4-7].

Ułożenie molekuł ciekłych kryształów wewnątrz komórek jest zdeterminowane warunkami brzegowymi. Kotwiczenie molekuł lub inaczej oddziaływanie z powierzchnią ograniczającą pozwala otrzymać w zależności od sposobu przygotowania powierzchni kilka typowych orientacji– homeotropową (direktor, oś optyczna ciekłego kryształu, prostopadła do ograniczających ścianek), planarną homogeniczną (direktor w płaszczyźnie warstwy) oraz ustawienia pośrednie molekuł kiedy dyrektor zorientowany pod pewnym kątem w stosunku do powierzchni ograniczających) jak przedstawiono na Rys.1

a)

b)

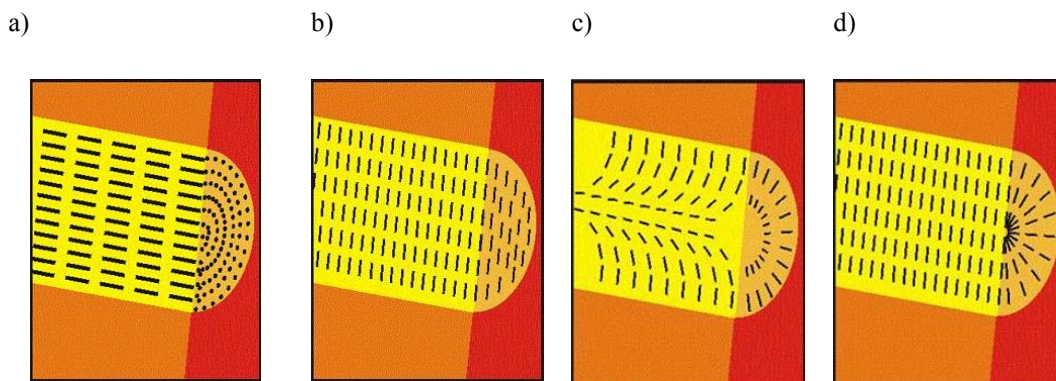
c)



Rys.1 Typowe orientacje molekuł ciekłego kryształu (nematyka) a) lanarna, b) omeotropowa, c) ybrydowa, d) kręcona o 90° , e) kręcona o 180° , f) achylona pod kątem (ang. tilted)

Technologie wytwarzania warstw orientujących na ściankach płytek komórek wypełnianych ciekłymi kryształami są bardzo zróżnicowane i dostosowane do konkretnych potrzeb. Jedną z najpopularniejszych metod jest rubbing, polegający na mechanicznym jednokierunkowym rozwinięciu powierzchni płytek, kolejnymi mechanicznymi metodami są wytrawianie i termiczna litografia [8]. Niedostatkami metod mechanicznych jest generowanie ładunków elektrostatycznych powodujących zapylenie powierzchni, a pozostałych skomplikowanie i pracochłonność. Metodami niemechanicznymi są metody bezkontaktowe, które oddziałują bezpośrednio na powierzchnię podłoża wytwarzając warstwę orientującą lub też pośrednio oddziałując na powierzchnię wcześniej naniesionej warstwy. Do metod bezkontaktowych oddziałujących na płytki bezpośrednio zaliczamy wiązki jonowe, cząsteczkowe, plazmowe czy elektronowe. Foto-orientacja zaliczana jest do metod bezkontaktowych pośrednich i polega na wykorzystaniu wcześniej naniesionych warstw polimerowych na płytkę następnie poddaniu ich działaniu spolaryzowanego promieniowania UV[9,10,11].

Kapilary światłowodowe jak i mikro-otworki światłowodów fotonicznych, podobnie jak komórki ciekłokrystaliczne, mogą być wypełniane ciekłymi kryształami. Różnorodność możliwych ułożeń molekuł ciekłych kryształów (nematycznych) jest mniejsza niż w komórkach ciekłokrystalicznych, na rys. 2 przedstawione są niektóre z nich.



Rys.2 Typowe orientacje molekuł ciekłego kryształu (nematyka) w kapilarze światłowodowej a) lanarna, b) poprzeczna, c) typu splay, d) radialna

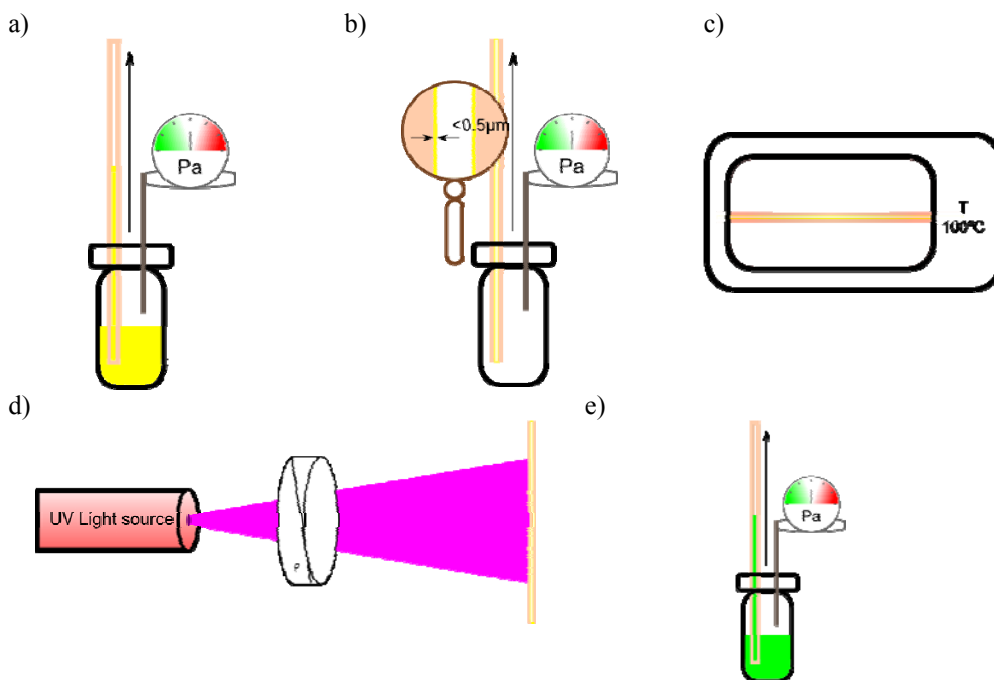
Chcąc uzyskać kontrolowane wstępnie orientacje ciekłych kryształów w otworkach światłowodów fotonicznych zostały przeprowadzone badania nad elementarnymi „komórkami” światłowodów fotonicznych, jakimi są kapilary światłowodowe, w celu uzyskania określonej stabilnej orientacji molekuł bez oddziaływania na nie czynnikami zewnętrznymi. Drugim krokiem badań będzie uzyskanie orientacji w światłowodach z dwoma otworkami aby następnie przejść do światłowodów fotonicznych z jednym lub dwoma rzędami otworków. Ogólnym zamierzeniem pracy jest wykonanie warstw orientujących w światłowodach fotonicznych z kilkoma rzędami otworków.

Ze względu na charakter budowy kapilar światłowodowych – ich średnicy rzędu kilku mikrometrów oraz braku bezpośredniego dostępu do struktury wewnętrznej kapilary metody mechaniczne wytwarzania warstw orientujących są niemożliwe do zastosowania. Z pozostałych metod bezkontaktowych i charakteru dziedziny ich zastosowań najlepszą metodą jest metoda foto-orientacji. Wykorzystuje ona polimery zmieniające swoją strukturę pod wpływem promieniowania elektromagnetycznego.

Obszar badań światłowodów obejmuje zakres widmowy promieniowania widzialnego oraz podczerwieni, z tego powodu materiał nie powinien zmieniać swoich właściwości pod wpływem tego zakresu promieniowania. Drugim istotnym czynnikiem jest dobranie właściwych materiałów polimerowych do orientowanych ciekłych kryształów, głównym czynnikiem decydującym o odpowiednim dopasowaniu są wymiary geometryczne molekuł oraz jednorodność kształtu. Dla badanego ciekłego kryształu 6CHBT (nematyk) zostały wybrane trzy grupy materiałów orientujących – cynamoniany, methakrylany oraz azo-barwniki. W pracy tej zostaną przedstawione wyniki dla materiałów z grupy cynamonianów - Policynamonianu winylu (pVCi) oraz pentanolo cynamonianu celulozy(CelCi). Oba materiały charakteryzują się oddziaływaniem ze spolaryzowanym światłem ultrafioletowym na zasadzie tworzenia warstwy orientującej prostopadłej do osi polaryzacji światła co powoduje degenerację warstwy orientującej.

2. Technologia wytwarzania cienkich warstw orientujących

Pierwszym etapem naniesienia warstwy orientującej do kapilary jest wypełnienie jej wnętrza rozcieńczonym polimerem. Uzyskuje się to poprzez przepchanie pod ciśnieniem polimeru przez kapilarę. Można to wykonać umieszczając część kapilary światłowodowej wewnątrz pojemnika z kontrolowanym ciśnieniem i rozcieńczonym polimerem, tak aby kapilara była w nim zanurzona. Następnie należy podnieść ciśnienie wewnątrz pojemnika i odczekać, aż polimer wypełni całą kapilarę, po czym należy przywrócić normalne ciśnienie w pojemniku (rys.3a). Proces ten jest czasochłonny i zależy od takich czynników jak średnica wewnętrzna kapilary, jej długość oraz rodzaj użytego polimeru, rozpuszczalnika oraz ich wzajemnej proporcji, ważne jest również ciśnienie wewnątrz pojemnika. Typowy przedział czasowy napełniania zastosowanych materiałów wahał się od kilkudziesięciu minut do kilku dni. Kolejnym etapem jest pozostawienie cienkiej warstwy na ścianie kapilary. Uzyskuje się to w analogiczny sposób – wykorzystując pusty pojemnik, do którego umieszczamy część kapilary i zadajemy wysokie ciśnienie. Ze względu na trudność w oszacowaniu grubości warstwy w czasie rzeczywistym, przyjmuje się czas minimum dwukrotnie większy niż czas napełniania (rys.3b). Następnie w celu usunięcia rozpuszczalnika i zmniejszenia grubości warstwy wygrzewa się kapilarę w temperaturze niewiele powyżej parowania rozpuszczalnika, czas wygrzewania jest rzędu kilku godzin (rys.3c). Ostatnim etapem jest naświetlanie kapilary spolaryzowanym światłem UV, czas naświetlania to 20 -30 min (rys.3d).



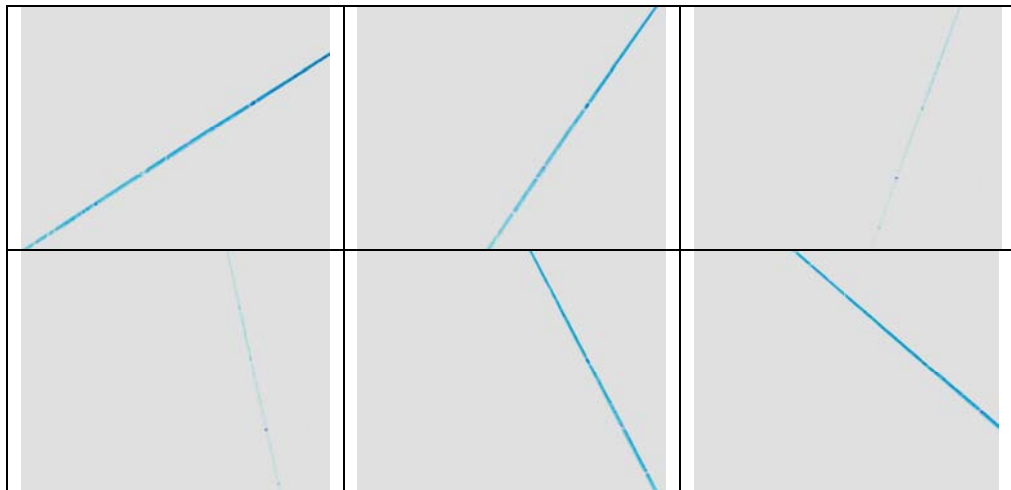
Rys.3 Procedura wytwarzania polimerowych cienkich warstw orientujących. a) wypełnienie całej kapilary polimerem, b) pozbycie się nadmiaru polimeru, c) wygrzewanie kapilary, d) naświetlanie e) wypełnienie kapilary ciekłym kryształem

3. Wyniki doświadczalne

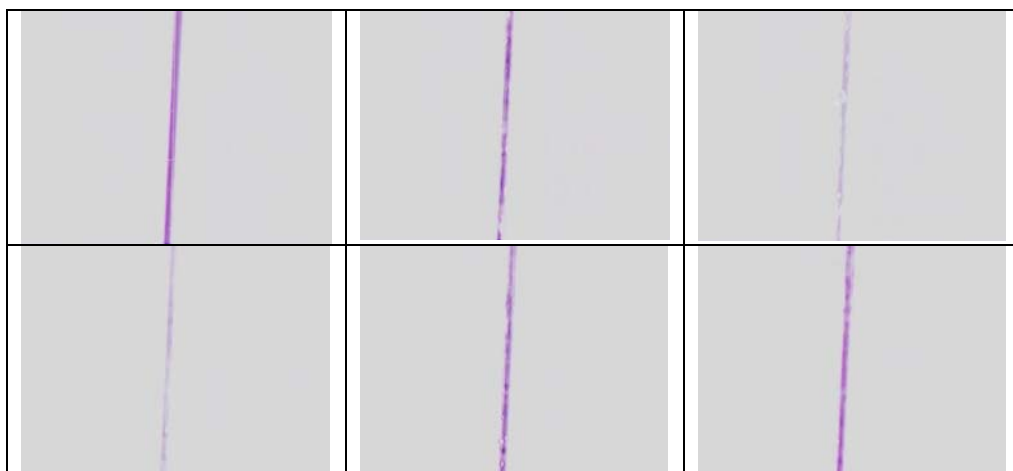
W trakcie przeprowadzonych eksperymentów wykonano zorientowane cienkie warstwy polimerowe używając policynamonylu winylu (pVCi) oraz pentoksy cynamonylu celulozy w kapilarach o średnicy 10 ~ 15 mikrometrów. Na poniższych rysunkach przedstawiono zdjęcia z mikroskopu polaryzacyjnego przy skrzyżowanych polaryzatorach dla trzech grup próbek. Dwie z nich były z warstwami orientującymi oraz jedna, która warstwy orientującej nie posiadała (rys. 4-8).



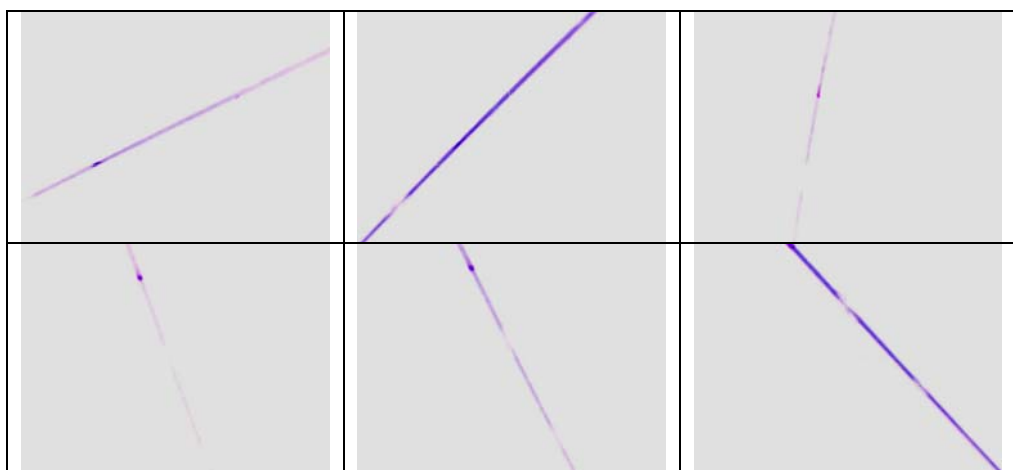
Rys.4 Negatywy zdjęć kapilary, wypełnionej 6CHBT i bez materiału orientującego, pod mikroskopem polaryzacyjnym przy skrzyżowanych polaryzatorach dla różnych pozycji kapilary względem osi polaryzatora



Rys.5 Negatywy zdjęć kapilary, wypełnionej 6CHBT i z materiałem orientującym PCVi orientującym planarnie, pod mikroskopem polaryzacyjnym przy skrzyżowanych polaryzatorach dla różnych pozycji kapilary względem osi polaryzatora

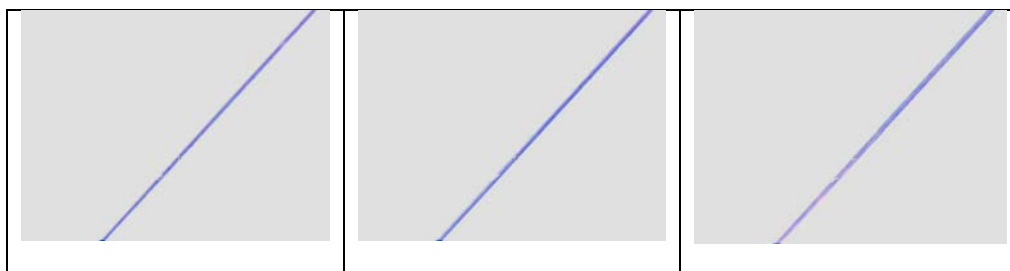


Rys.6 Negatywy zdjęć kapilary, wypełnionej 6CHBT i z materiałem orientującym PCV i orientującym poprzecznie, pod mikroskopem polaryzacyjnym przy skrzyżowanych polaryzatorach dla różnych pozycji kapilary względem osi kapilary



Rys.7 Negatywy zdjęć kapilary, wypełnionej 6CHBT i z materiałem orientującym CelCi orientującym planarnie, pod mikroskopem polaryzacyjnym przy skrzyżowanych polaryzatorach dla różnych pozycji kapilary względem osi polaryzatora





Rys.8 Negatywy zdjęć kapilary, wypełnionej 6CHBT i z materiałem orientującym CelCi orientującym poprzecznie, pod mikroskopem polaryzacyjnym przy skrzyżowanych polaryzatorach dla różnych pozycji kapilary względem osi kapilary

4. Podsumowanie

Zaprezentowane wyniki wskazują, iż możliwa jest kontrola orientacji molekuł ciekłego kryształu wewnątrz kapilar światłowodowych. Z przedstawionych we wstępie możliwych typów orientacji w kapilarach światłowodowych uzyskano orientację planarną oraz poprzeczną.

Praca ta była współfinansowana przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego w ramach grantu [N517.056535](#).

Literatura:

1. B. Bahadur, Liquid Crystals: Applications and Uses vol. 1, World Scientific Publisher (1990).
2. The History of Liquid-Crystal Displays, Hiroshi Kawamoto, Proceedings of the IEEE, 90, 4 (2002), pp. 460–500.
3. T. T. Larsen, A. Bjarklev, D. S. Hermann, J. Broeng, “Optical devices based on liquid crystal photonic bandgap fibres”, Opt. Express 11, 2589-2596 (2003).
4. T. R. Woliński, K. Szaniawska, K. Bondarczuk, P. Lesiak, A.W. Domanski, R. Dabrowski, E. Nowinowski-Kruszelnicki, and J. Wojcik, “Propagation properties of photonic crystal fibers filled with nematic liquid crystals” Opto-Electronics Review, 13(2), 177-182 (2005).
5. F. Du, Y.Q. Lu and S.T. Wu, “Electrically tunable liquid-crystal photonic crystal fiber”, Appl. Phys. Lett. 85, 2181-2183 (2004).
6. T. R. Woliński, K. Szaniawska, S. Ertman, P. Lesiak, A.W. Domanski, R. Dabrowski, E. Nowinowski-Kruszelnicki, J. Wojcik, “Influence of temperature and electrical fields on propagation properties of photonic liquid crystal fibers”, Measurement Science and Technology 17, 985–991 (2006).
7. T. R. Woliński, P. Lesiak, A.W. Domanski, K. Szaniawska, S. Ertman, R. Dabrowski, J. Wojcik, „Polartization optics of microstructured liquid crystal fibers”, Mol. Cryst. Liq. Cryst. 454, 333-350 (2006).
8. Tzu-Chieh Lin, Shao-Chi Yu, Pei-Shiang Chen, Kai-Yuan Chi, Han-Chang Pan, Chih-Yu Chao, Fabrication of alignment layer free flexible liquid crystal cells using thermal nanoimprint lithography, Current Applied Physics 9 (2009) 610–612.

9. S. Ertman, T. R. Woliński, A. Czapla, K. Nowecka, E. Nowinowski-Kruszelnicki, J. Wójcik, Liquid crystal molecular orientation in photonic liquid crystal fibers with photopolymer layers, Proc. SPIE, Vol. 6587, 658706 (2007).
10. M. Schadt, K. Schmitt, V. Kozenkov, and V. Chigrinov, Surface-Induced Parallel Alignment of Liquid Crystals by Linearly Polymerized Photopolymers, Jpn. J. Appl. Phys., Part 1 31, 2155-1992.
11. P. J. Shannon, W. M. Gibbons, S. T. Sun, Patterned optical properties in photopolymerized surface-aligned liquid-crystal films, Nature 368, 532-533, 1994.