

MARCIN MARIUSZ CHRZANOWSKI¹⁾*, JERZY ZIELIŃSKI¹⁾, WIKTOR PIECEK¹⁾,
ALEXANDER MURAVSKY²⁾, MARCIN ZGUTKA¹⁾, MAREK OLIFIERCZUK¹⁾, JERZY KĘDZIERSKI¹⁾

Fotoporządkowanie – nowa ważna technologia w produkcji elektrooptycznych przetworników ciekłokrystalicznych

Streszczenie – Działanie urządzeń typu ciekłokrystalicznych wyświetlaczy graficznych opiera się na wstępnie uporządkowanej, charakteryzującej się anizotropią właściwości optycznych (dwójłomnością), warstwie ciekłego kryształu. W niniejszym artykule omówiono technologię fotoporządkowania, porównując ją z innymi stosowanymi dotychczas technikami uzyskiwania jednorodnej tekstury ciekłego kryształu. Technologia ta jest alternatywą dla najczęściej wykorzystywanego rubbingu warstw polimerów organicznych. Zdefiniowano podstawowe wymagania stawiane warstwie porządkującej ciekły kryształ oraz przedstawiono wyniki badań nad różnymi typami przetworników ciekłokrystalicznych: zdjęcia uzyskane przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego, charakterystyki elektrooptyczne oraz czasy przełączania struktury. Ocenie poddano symetryczne referencyjne komórki otrzymane z zastosowaniem warstw uporządkowanych metodą rubbingu, komórki symetryczne złożone z dwóch warstw uporządkowanych liniowo spolaryzowanym promieniowaniem ultrafioletowym oraz komórki asymetryczne wykonane z warstwy uporządkowanej metodą rubbingu i warstwy fotoporządkowanej za pomocą różnych dawek promieniowania ultrafioletowego.

Słowa kluczowe: fotoporządkowanie, charakterystyka elektrooptyczna, wyświetlacz ciekłokrystaliczny LCD, światło ultrafioletowe spolaryzowane liniowo LPUV, ciekły kryształ LC.

PHOTOALIGNMENT – NEW IMPORTANT TECHNOLOGY IN THE PRODUCTION OF ELECTRO-OPTICAL LIQUID CRYSTAL TRANSDUCERS

Summary – The action of devices such as liquid crystal graphic displays is based on the previously aligned liquid crystal layer with anisotropic optical properties (birefringence). In this paper, the photoalignment technology has been described and compared with other methods used until now to achieve uniform texture of the liquid crystal. This method is an alternative to the most commonly used rubbing of organic polymer layers. The basic requirements for the layer which aligns liquid crystal were described and the results of the investigations on various types of liquid crystal transducers (microphotographs obtained using a polarizing microscope, electro-optical characteristics and characteristic structure switching times) were presented. Different types of liquid crystal cells have been evaluated: reference symmetrical cells produced with layers aligned by rubbing method, symmetrical LC cells composed of two layers oriented using linearly polarized UV beams as well as asymmetrical cells made from a layer aligned by rubbing method and a layer photoaligned using different UV radiation doses.

Keywords: photoalignment, electro-optical characteristics, liquid crystal display LCD, linearly polarized ultraviolet light LPUV, liquid crystal LC.

ROLA PORZĄDKOWANIA WARSTWY CIEKŁEGO KRYSZTAŁU

Wyświetlacze ciekłokrystaliczne (LCD, ang. *liquid crystal displays*), stanowiące podstawę technologii matrycy

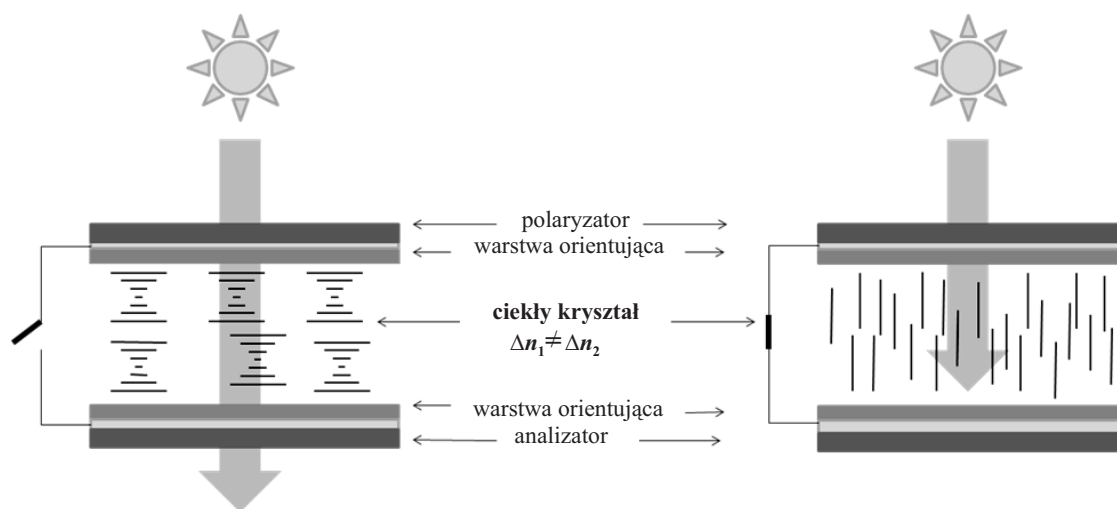
¹⁾ Wojskowa Akademia Techniczna, Instytut Fizyki Technicznej, ul. Sylwestra Kaliskiego 2, 00-908 Warszawa.

²⁾ National Academy of Science of Belarus, Institute of Chemistry of New Materials, 36 F. Skorini st., Minsk, 220141, Belarus.

* Autor do korespondencji; e-mail: mchrzanowski@wat.edu.pl

aktywnej i uzyskiwania tekstur umożliwiających obserwację obrazu dobrej jakości w szerokim kącie w stosunku do normalnej do ekranu, od końca XX w. na masową skalę stosuje się w produkcji monitorów komputerowych, w dużej części wytwarzanych monitorów telewizyjnych oraz różnych specjalnych wyświetlaczy, np. na potrzeby wojska lub lotnictwa. Jak podaje Dziennik Gazeta Prawna Biznes (dane z 14 IV 2011 r.) udział wyświetlaczy ciekłokrystalicznych w rynku TV stanowi ok. 88,9 % [1].

Praca wspomnianych wyświetlaczy (displeje bądź przetworniki obrazu) opiera się na wywołanej polem



Rys. 1. Schemat pracy przetwornika ciekłokrystalicznego
Fig. 1. Liquid Crystal Display (LCD) scheme

elektrycznym zmianie orientacji molekuł, wstępnie uporządkowanej, cienkiej (1–6 μm) warstwy ciekłego kryształu. Zasadę pracy wyświetlacza ciekłokrystalicznego (LCD) przedstawia rys. 1.

Po włączeniu pola elektrycznego dochodzi do zmiany orientacji tak uporządkowanych cząsteczek ciekłego kryształu, co pociąga za sobą zmiany właściwości optycznych warstwy (zmienia się anizotropia optyczna ośrodka, Δn_i). Po wyłączeniu sygnału sterującego, na skutek oddziaływania z powierzchnią, orientacja cząsteczek w warstwie wraca do stanu początkowego.

Przetworniki wykorzystywane w praktyce są oczywiście zdecydowanie bardziej rozbudowane, m.in. o: adresujące matryce aktywne, warstwy blokujące, filtry barwne. Mechanizm działania każdego wyświetlacza ciekłokrystalicznego jest jednak zawsze podobny – przyłożone zewnętrzne pole elektryczne powoduje deformację wstępnie uporządkowanej warstwy ciekłego kryształu.

Ciekłe kryształy (LC, ang. *liquid crystals*) wykazują tendencję do tworzenia w cienkich warstwach, samorganizowanych supramolekularnych^{**} struktur. Takie, różnej wielkości domeny, charakteryzują się tym, że osie długie tworzących je cząsteczek są zazwyczaj ułożone, w przybliżeniu, w jednym kierunku. Powstaje wówczas anizotropowa optycznie (od miejsca do miejsca), jednoosiowa struktura, jaką można zaobserwować między skrzyżowanymi polaryzatorami (tzw. tekstura ciekłokrystaliczna). Anizotropowa, obudowana polaryzatorami warstwa ciekłego kryształu może działać jak pewnego rodzaju przesłona lub filtr optyczny, wykazując zdolność do selektywnego oddziaływania ze spolaryzowanym światłem widzialnym. Przy czym trzeba podkreślić, że aby jakość modulacji światła była dostateczna do zastosowań w displejach, warstwa ciekłego kryształu musi być wcześniej bardzo dobrze, jednorodnie uporządko-

wana. W celu uzyskania wstępnego uporządkowania ciekłego kryształu w komórce ciekłokrystalicznej, można wykorzystywać różne techniki, a wprowadzane rozwiązania można podzielić na dwie główne grupy:

- techniki powodujące zmianę topografii powierzchni, np. rubbing mechaniczny (jednorodne polerowanie) bądź wytrawianie warstwy porządkującej laserem;
- techniki powodujące zmianę właściwości fizycznych powierzchni, np. zastosowanie substancji powierzchniowo czynnych.

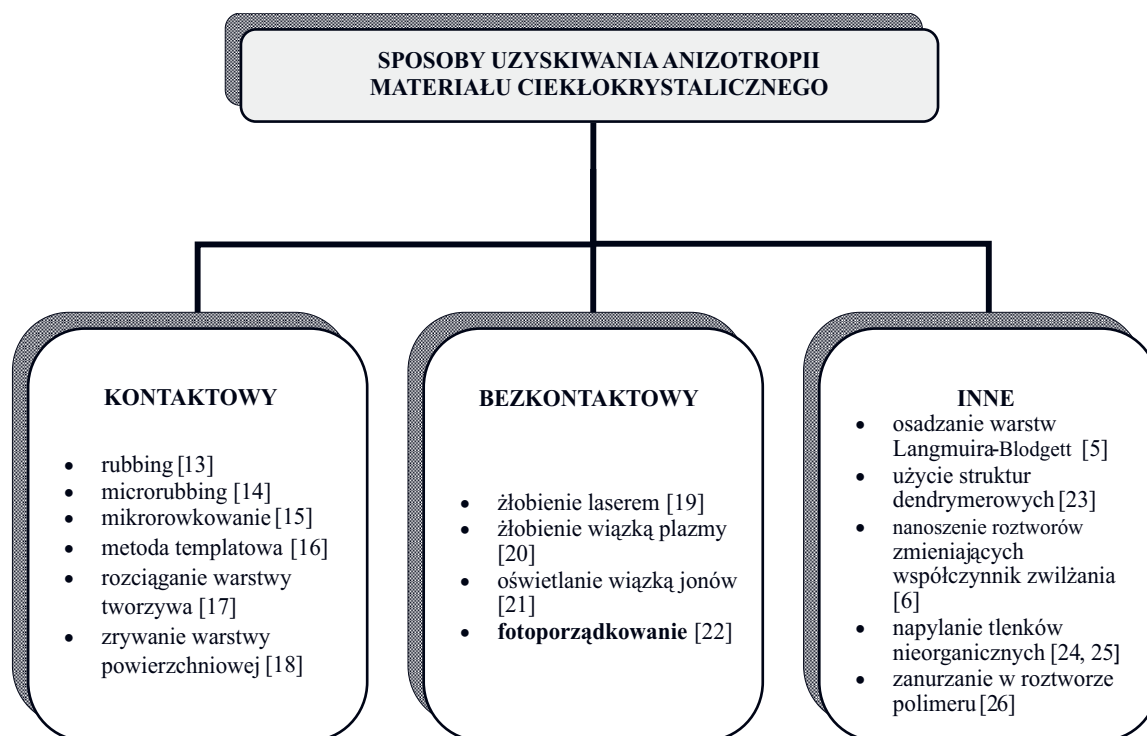
Druga grupa metod, w przeciwieństwie do pierwszej, pozwala na dobre, ale niezbyt trwałe w czasie porządkowanie warstwy.

Metody porządkowania wykorzystujące anizotropię powierzchni

Dokładnie 100 lat temu Maguin dokonał pierwszego, świadomego, wymuszonego uporządkowania cząsteczek ciekłego kryształu (*p*-azoksyanizolu, PAA), wykorzystując do tego celu szklane płytki, potarte uprzednio wielokrotnie jednokierunkowo papierem [2]. Jak się później okazało, uzyskane w tym przypadku anizotropowe właściwości materiału porządkującego wynikały z obecności cząsteczek celulozy tworzących z podłożem wiązania wodorowe.

W początkowym okresie rozwoju technologii LCD, planarne (inaczej: homogeniczne – uporządkowanie, w którym osie długie cząsteczek ciekłego kryształu są ustawione w przybliżeniu równoległe do podłoża) uporządkowanie materiału ciekłokrystalicznego uzyskiwano stosując próżniowe napyłanie pod kątem ostrym związków nieorganicznych. Pierwsze doniesienie na ten temat opublikował Janning w 1972 r. [3], a w latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych ubiegłego wieku technika ta była szeroko wykorzystywana i modyfikowana. Napyłanie powodowało powstawanie warstwy porządkującej. W latach siedemdziesiątych zaczęto również stosować

^{**} Są to struktury składające się z wielu elementów, organizujące się samorzutnie pod wpływem oddziaływań międzycząsteczkowych.



Rys. 2. Ogólny podział technik porządkowania materiału ciekłokrystalicznego
Fig. 2. Overview of liquid crystal alignment techniques

jednokierunkowo rozciągane powłoki polimerowe oraz warstwy polimerów porządkowane na drodze mechanicznego rubbingu [4].

Homeotropowe porządkowanie cząsteczek ciekłego kryształu, w którym osie długie cząsteczek ciekłego kryształu tworzą z powierzchnią podłoża w przybliżeniu kąt prosty, uzyskiwano nakładając na podłoże warstwy Langmuira-Blodgett (ang. *Langmuir-Blodgett layers*, LBIs) [5], surfaktantów i związków silanowych. W 1974 r. Creagh i Kmetz zaproponowali użycie w charakterze czynnika orientującego lecytyny osadzonej na podłożu szklanym [6]. W 1978 r. Hiltrop i Stegmeyer do porządkowania cząsteczek ciekłego kryształu również zastosowali monowarstwę lecytyny [7]. Trwałość warstw lecytyny okazała się jednak niewystarczająca do zastosowań technicznych (aplikacyjnych). Dodatkowo, przy ich użyciu nie można było otrzymać jednorodnych warstw na większych powierzchniach [8].

Na początku lat dziewięćdziesiątych ubiegłego wieku zaproponowano nowy typ warstw porządkujących, substancje których anizotropowe właściwości wynikają z ich selektywnego oddziaływania z promieniowaniem elektromagnetycznym, w szczególności ze spolaryzowanym promieniowaniem ultrafioletowym [9, 10].

W literaturze można znaleźć kilkadziesiąt różnych sposobów otrzymywania anizotropowych powierzchni do porządkowania ciekłego kryształu [11]. Różnią się one stopniem skomplikowania technologii uzyskiwania warstw porządkujących, wartością tworzącego się kąta pretiltu (zdefiniowanego kąta pochylenia cząsteczek ciekłego kryształu do powierzchni warstwy), energią

kotwiczenia cząsteczek ciekłego kryształu i wreszcie stabilnością otrzymanego uporządkowania. Niektóre z nich np. rubbing, stosuje się powszechnie w technologii LCD, inne zaś pozostały jedynie technikami laboratoryjnymi, jak np. adsorpcja chemiczna surfaktantów chlorosilanowych [12].

Techniki porządkowania ogólnie można podzielić pod względem mechanicznego sposobu przygotowania warstwy (rys. 2). W przypadku porządkowania bezkontaktowego ingerencja we wcześniej nałożoną warstwę nie ma charakteru mechanicznego; w przypadku zaś porządkowania kontaktowego ingerencja, makroskopowo, ma charakter mechaniczny. Warto zaznaczyć, że niektóre z technik uzupełniają się wzajemnie, np. za pomocą techniki osadzania warstw Langmuira-Blodgett można nałożyć podłoża fotoczułe, które następnie pod wpływem promieniowania elektromagnetycznego z zakresu światła widzialnego lub ultrafioletu mogą ulegać fotoizomeryzacji cis-trans.

Każdy z wymienionych procesów ma swoje wady i zalety, najczęściej stosowaną i ugruntowaną przemysłowo technologią jest rubbing, polegający na wielokrotnym, jednokierunkowym polerowaniu warstwy materiału organicznego (zazwyczaj poliamidu lub poliimidu), naniesionego uprzednio na powierzchnię elektrody. Metoda rubbingu zapewnia wystarczająco silne i bardzo trwałe (do zastosowań praktycznych) zakotwiczenie molekuł ciekłego kryształu, jednocześnie jej zastosowanie jest ograniczone, zwłaszcza w przypadku porządkowania powierzchni zaokrąglonych lub wówczas, gdy w poszczególnych domenach komórki ciekłokrystalicznej jest

wymagany różny kierunek porządkowania. Ponadto, metody oparte na mechanicznym porządkowaniu powierzchni nie są wydajne w przypadku, gdy jest konieczna wysoka czystość warstwy porządkującej. W trakcie jej przygotowywania powstają bowiem drobne pyły, a warstwa porządkująca ulega naładowaniu elektrostatycznemu, co może powodować przyleganie pyłów do wytwarzanej powierzchni i jej zanieczyszczenie. Niezwykle obiecującą, alternatywną metodą jest fotoporzadkowanie (ang. *photoalignment*, PA), w którym sposób wytwarzania anizotropii warstwy jest podobny, ale czynnikiem porządkującym jest światło.

Fotoporzadkowanie obejmuje procesy, w których wykorzystuje się właściwości fotochromowe warstwy służącej porządkowaniu cząsteczek ciekłego kryształu. Zmiany prowadzące do powstania anizotropii powierzchni mogą zachodzić pod wpływem: promieniowania elektromagnetycznego z zakresu widzialnego lub ultrafioletowego i mają wówczas charakter odwracalnych zmian konformacyjnych, izomeryzacji cząsteczek (procesy fotofizyczne), a także nieodwracalnych reakcji chemicznych. Materiały stosowane w technologii fotoporzadkowania można wstępnie podzielić na dwie główne grupy:

– substancje tworzące samorganizowane warstwy monomolekularne lub fotoczułe warstwy Langmuira-Blodgett;

– cienkie warstwy polimerowe.

W obrębie pierwszej grupy porządkowanie realizuje się zazwyczaj na drodze odwracalnej izomeryzacji cis-trans azozwiązków (najczęściej pochodnych azobenzenu,) pochodnych stilbenu lub też cynamonianów. W przypadku, gdy izomeryzacja w strukturze jest zablokowana w wyniku obecności zawady sterycznej bądź bardzo gęstego upakowania molekuł na powierzchni warstwy, do porządkowania cząsteczek dochodzi na skutek obrotu molekuł w polu potencjału promieniowania (szerzej opisuje to zjawisko model dyfuzyjny [27]). Realizacja procesów fotoporzadkowania w grupie materiałów poli-

merowych obejmuje procesy: dimeryzacji, topochemicznego sieciowania poprzecznego, fotodekompozycji oraz zachodzące następnie reakcje fotodegradacji i sieciowania poprzecznego.

TECHNOLOGIA OTRZYMYWANIA POLIIMIDOWYCH WARSTW PORZĄDKUJĄCYCH

Porządkowanie ciekłego kryształu mające na celu uzyskanie zadanych parametrów jest procesem złożonym. Według Castellano [28] mechanizm porządkowania oraz wytworzenia odpowiedniego kąta kotwiczenia cząsteczek LC zależy zarówno od właściwości samego materiału ciekłokrystalicznego, jak i od natury substancji porządkującej i technologii jej przygotowania.

W charakterze substancji porządkujących próbowano używać środków z szerokiego spektrum materiałów organicznych i materiałów nieorganicznych. W tabeli 1 wymieniono przedstawicieli każdej z grup.

T a b e l a 1. Przykłady substancji i grup substancji zaproponowanych jako materiały orientujące ciekły kryształ

T a b l e 1. Examples of the substances and groups of chemicals proposed as liquid crystal aligning agents

Substancje organiczne	Substancje nieorganiczne
Poliestry, celuloza, octan celulozy, nylon, poliamidy, lecytyna, poli(alkohol winylowy), żywice epoksydowe, żywice akrylowe, kwas stearynowy, organosilany, azobenzen	fluorek magnezu, węgiel krzemu, diament, glin, tlenki: krzemu(II) i krzemu(IV), glinu, indu, magnezu, cyny(IV), cyrkonu(IV), wanadu(III)

Wymagania jakie powinien spełniać materiał porządkujący ciekły kryształ można podzielić na trzy główne kategorie: pierwsza – związana z parametrami technologicznymi nanoszenia materiału, druga – dotycząca jego właściwości elektrycznych, trzecia – powiązana z działaniem displeja (tabela 2).

T a b e l a 2. Trzy grupy wymagań, jakie musi spełniać dobry materiał porządkujący ciekły kryształ

T a b l e 2. Three groups of requirements for a good liquid crystal aligning agent

Cechy materiału porządkującego LC, wpływające na		
Parametry technologiczne	Właściwości elektryczne	Charakterystykę pracy wyświetlacza
<ul style="list-style-type: none"> - Rodzaj (toksyczność) rozcieńczalników, - Stabilność chemiczna materiału, - Dobra adhezja do podłoża, np. ITO, SiO₂, SiN_x (właściwa zwilżalność), - Odporność mechaniczna, - Odporność na rozpuszczalniki oraz na ciekły kryształ, - Możliwość uzyskania kontrolowanego, powtarzalnego porządkowania, - Niska temperatura procesu nanoszenia warstwy, - Dobra zwilżalność przez kleje i żywice, - Niski koszt i duża szybkość procesu technologicznego. 	<ul style="list-style-type: none"> - duża stała dielektryczna materiału, - znaczna wartość oporu właściwego, - odporność na ładunki elektrostatyczne, - materiał nie powinien wprowadzać dodatkowych jonów do warstwy ciekłego kryształu. 	<ul style="list-style-type: none"> - stabilna wartość pretiltu, - możliwość wytworzenia zdefiniowanego kąta oraz duża precyzja uporządkowania, - pochylenie molekuł ciekłego kryształu pod kątem o żądanej wartości, - praca w szerokim zakresie częstotliwości, - duża transparentność warstwy, - niski przesłuch (zakłócenia występujące przy przesyłaniu sygnałów), - duża stabilność temperaturowa, - odporność na promieniowanie.

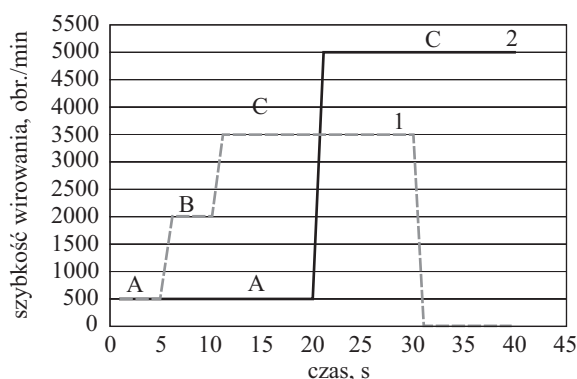
Poliimidy, jako materiały porządkujące, czynią za-
dość większości wymienionych wymagań, dlatego też,
spośród różnych materiałów używanych do wytwarza-
nia warstw porządkujących (niezależnie od tego, czy zos-
tana one następnie uporządkowane sposobami mecha-
nicznymi, czy bezkontaktowymi), stosuje się je najczę-
ściej. Po raz pierwszy do porządkowania ciekłych kryszta-
łów wykorzystywano je w 1974 r. [29].

Proces technologiczny otrzymywania warstwy foto-
porządkującej nie jest bardzo skomplikowany, ale prze-
biega wieloetapowo, a każdy z etapów wywiera istotny
wpływ na ostateczną jednorodność warstwy oraz jakość
jej właściwości porządkujących. Zazwyczaj taki proces
składa się z kilku stadiów, analogicznych do etapów, wy-
korzystywanego już od wielu lat w mikroelektronice,
procesu fotolitografii.

Nanoszenie warstw porządkujących

Aby otrzymanie jednorodnej i cienkiej warstwy orien-
tującej na dużych powierzchniach było możliwe, mate-
riał fotoczuły powinien dobrze zwilżać powierzchnię
elektrody. Podłoża poddaje się więc kilkuetapowemu
myciu za pomocą płuczek ultradźwiękowych, co pozwa-
ła na usunięcie z powierzchni podłoża zanieczyszczeń
metodą kawitacji. Ważne jest, aby mycie było przeprowa-
dzone bez użycia elementów mechanicznych, które ma-
jąc kontakt ze szkłem, mogłyby dodatkowo wpływać na
właściwości porządkujące przygotowanej warstwy. Tak
wyczyszczone podłoża suszy się w piecu konwekcyjnym
w temp. ok. 200 °C w celu usunięcia wody zaadsorbowa-
nej na powierzchni. Wilgoć na dalszym etapie procesu
mogłaby znacznie utrudnić lub nawet uniemożliwić
nałożenie prekursora poliimidowego.

Roztwór prekursora polimerowego nakłada się za-
wyczaj za pomocą wirówki w procesie powlekania
obrotowego. Typowy proces nawirowywania cienkich
warstw rozpoczyna się od nanoszenia niewielkiej ilości
roztworu w centralnym punkcie przygotowanego w opi-
sany sposób podłoża. Tarcza wirówki z przytwierdzo-
ną do niej płytką z naniesionym roztworem, w odpowiednio
dobranej mieszaninie rozcieńczalników – szybko parują-
cego i wolniej parującego – jest wprawiana następnie
w ruch obrotowy z szybkością kilkuset obrotów na minu-
tę, w ciągu kilku do kilkadziesiąt sekund. Podczas tego
wstępnego etapu wirowania przyspieszenie odśrodkowe
powoduje rozprzestrzenianie się roztworu na całej po-
wierzchni płytki, a nadmiarowa objętość roztworu jest
usuwana poza brzeg podłoża. Na drugim etapie (wiro-
wanie z szybkością ok. 1500–2000 obr./min) następuje
wyrównanie powierzchni naniesionej warstwy. Faza ta,
trwająca zwykle od kilku do kilkadziesiąt sekund, jest
niezwykle ważna, gdyż prowadzi do osiągnięcia osta-
tecznej wymaganej grubości warstwy w wyniku zrzuce-
nia nadmiaru roztworu zgromadzonego na obrzeżach
próbki. Próbkę poddaje się następnie wirowaniu z szyb-
kością ok. 3000 obr./min przez kilkadziesiąt sekund. Na



Rys. 3. Programy wirowania zastosowane do nakładania mate-
riałów porządkujących wykorzystanych w pracy (1 – B-12;
2 – SE-130); A – etap nakładania, B – etap wyrównywania
warstwy, C – etap wstępnego suszenia warstwy
Fig. 3. Procedures of spin coating process used for the applica-
tion of aligning agents in the study (1 – B-12; 2 – SE-130);
A – deposition stage, B – dispense stage, C – initial layer
drying stage

tym etapie następuje wstępne odparowanie rozpuszczal-
nika z naniesionej na podłożu warstwy. Z tak przygoto-
wanej warstwy usuwa się rozpuszczalnik wygrzewając
ją, po czym poddaje się ją procesowi imidyzacji.

W toku prowadzonych badań używano dwóch róż-
nych substancji porządkujących, dla których opracowa-
no odrębne programy wirowania (rys. 3).

W przypadku polimeru światłoczułego B-12 ogrze-
wanie prowadzono przez 15 min w temp. 90 °C; polimer
SE-130 natomiast ogrzewano w pierwszej fazie 15 minut
w 90 °C, a następnie 1 godzinę w 200 °C.

W celu uzyskania anizotropii powierzchni przygoto-
wane warstwy materiału fotoczułego oświetla się pro-
mieniowaniem elektromagnetycznym o długości fali od-
powiednio dobranej do użytego materiału. Zazwyczaj
stosuje się promieniowanie UV spolaryzowane liniowo
(LPUV, ang. *linearly polarized ultraviolet*). Źródłem światła
są zazwyczaj lasery emitujące daleki lub średni UV.

Prekursory poliimidowe silnie absorbują promienio-
wanie o długościach fal krótszych niż 384 nm, dlatego też
w tym wypadku do oświetlania często używa się wyso-
kociśnieniowych i superwysokociśnieniowych lamp rtę-
ciowych. Aby uzyskać różne wartości kąta pochylenia
molekuł w warstwie granicznej (pretiltu) stosuje się
oświetlanie pod różnymi kątami do warstwy, zarówno
jedno- jak i wielokrotne [30, 31]. Dawka promieniowania
ultrafioletowego oświetlającego materiał porządkujący,
jest niezwykle ważnym parametrem technologicznym
całego procesu. Dobiera się ją indywidualnie do danej
substancji i w zależności od chemizmu warstwy prowa-
dzącego do wytworzenia na niej struktury anizotropo-
wej. Inne bowiem wartości energii promieniowania są
potrzebne do wywołania kontrolowanej fotodegradacji
wiązań, np. w procesach głębokiego naświetlania war-
stwy wiązką o dużym natężeniu (DUV, ang. *deep ultravio-
let irradiation*) [32], a inne, gdy oświetlanie warstwy pro-

wadzi do topochemicznych reakcji perycyklicznych [33]. Promieniowanie wywołuje w warstwie porządkującej zmiany fizykochemiczne, m.in. rozpuszczalności, współczynnika adhezji, napięcia powierzchniowego warstwy. Szczegóły dotyczące sposobu oświetlania warstw omówiono w dalszym tekście.

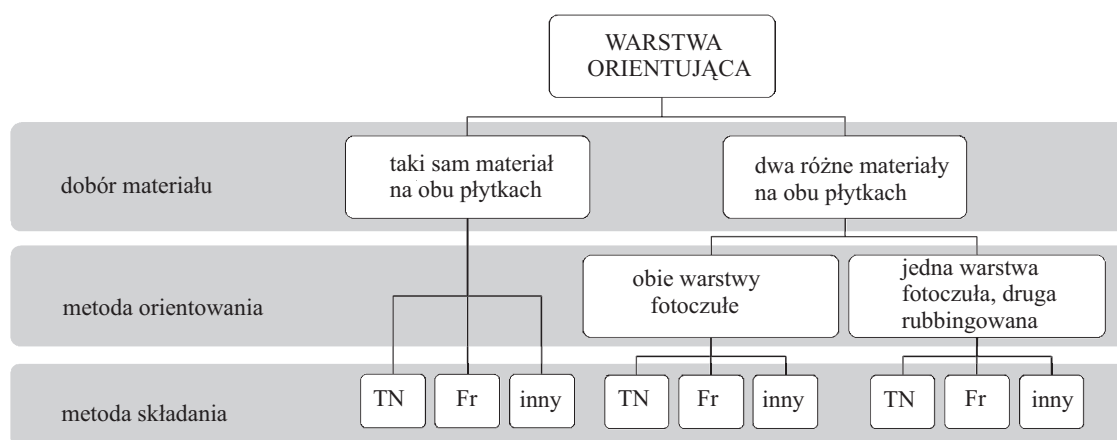
CIEKŁOKRYSTALICZNE PRZETWORNIKI ELEKTROOPTYCZNE

Najbardziej typowe, realizowane w praktyce wyświetlacze ciekłokrystaliczne są zbudowane zgodnie ze schematem na rys. 1. Podobnie budowano też komórki pomiarowe w ramach niniejszej pracy. Składały się one

Fr — komórek ciekłokrystalicznych, w których znajdują się na obu szklanych podłożach polimerowe warstwy orientujące ciekły kryształ narzucają taki sam kierunek porządkowania (struktura nie jest skręcona).

Inny — komórek, w przypadku których kierunki porządkowania narzucone przez obie warstwy porządkujące tworzyły ze sobą kąt inny niż 0° bądź 90° .

Aby zachować odpowiednią grubość oraz płaskorównoległość warstwy ciekłego kryształu używano dystanserów (*Nippon Electric Glass*), czyli szklanych kulek o średnicy 5 mikrometrów. Po złożeniu celki pomiarowej wypełniano je ciekłym kryształem w fazie izotropowej, a następnie hermetyzowano. Hermetyzacja zapobiegała wydostawaniu się ciekłego kryształu na zewnątrz celki



Rys. 4. Schemat obrazujący różne warianty wykonania i składania badanych komórek ciekłokrystalicznych (opis oznaczeń w tekście)

Fig. 4. Schematic representation of different methods for obtaining LCD cells (abbreviations are explained in the main text)

z dwóch płyt szklanych^{***}) pokrytych elektrodą, na powierzchni której znajdowały się warstwy orientujące ciekły kryształ [34]. W celu sprawdzenia przydatności fotoporzędowania, takie komórki wykonywano i składano w rozmaitych wariantach zarówno pod względem doboru różnych materiałów orientujących, jak i sposobu porządkowania, naświetlania i złożenia komórki (rys. 4).

Komórki przygotowano w wariacie:

TN — praca komórek oparta na efekcie skręconego nematyka — cząsteczki są uporządkowane na warstwach orientujących homogenicznie (czyli tworzą warstwy o długich osiach molekuł równoległych do podłoża), przy czym kierunki porządkowania na warstwach są względem siebie skręcone o kąt 90° . W tym wypadku zobrazowanie (punkt ciemny) uzyskuje się w wyniku pochłonięcia światła spolaryzowanego liniowo na analizatorze (displej TN jest dodatkowo wyposażony w polaryzator oraz analizator, por. rys. 1).

***) Zazwyczaj używa się podłoży szklanych, ale możliwe jest również użycie giętkich podłoży z materiałów organicznych, np. PES (polietersulfon).

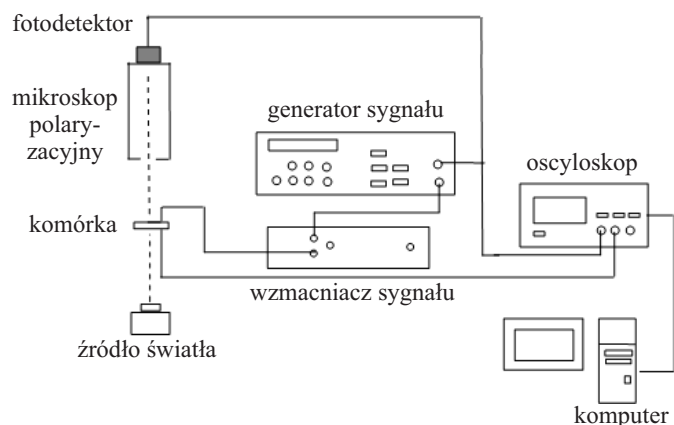
po przyłożeniu do niej pola elektrycznego oraz zapewniała odizolowanie ciekłego kryształu od wpływu czynników zewnętrznych, takich jak wilgoć i powietrze.

STRUKTURY PORZĄDKUJĄCE BADANE W RAMACH PRACY

Na potrzeby badań przygotowano kilka serii różnych typów ciekłokrystalicznych komórek pomiarowych, zawierających różnie przygotowane warstwy porządkujące. Wykonano następnie pomiary ich charakterystyk elektrooptycznych: statycznych i dynamicznych. Określono, m.in. wpływ dawki promieniowania (LPUV) aktywującego procesy fotochemiczne na jakość warstwy porządkującej. Miarą tej jakości były, m. in. charakterystyczne czasy przełączania struktury: włączania, t_{ON} oraz wyłączania, t_{OFF} .

Charakterystyki elektrooptyczne mierzono w układzie pomiarowym przedstawionym na rys. 5.

Wykorzystany w pracy materiał to fotoorientant ulegający procesom sieciowania krzyżowego [35], schematycznie zobrazowanego na rys. 6.



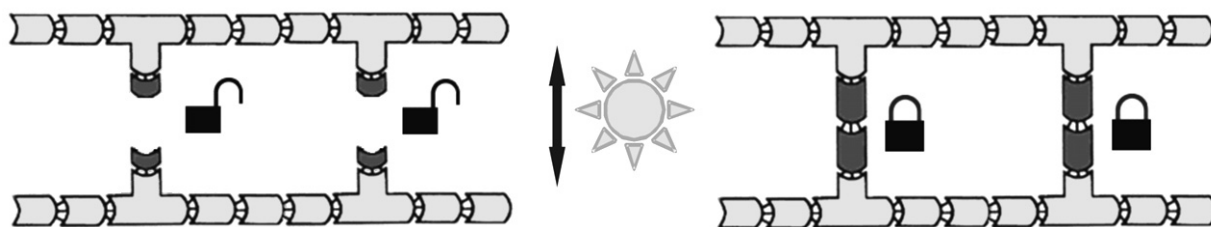
Rys. 5. Układ pomiarowy do oznaczania statycznych i dynamicznych charakterystyk elektrooptycznych przetworników LCD

Fig. 5. The set-up used for measuring static and dynamic electro-optical characteristics of the LCD displays

W celu określenia różnic pomiędzy uporządkowaniem za pomocą rubbingu a fotorządowaniem wykonano następujące typy komórek pomiarowych:

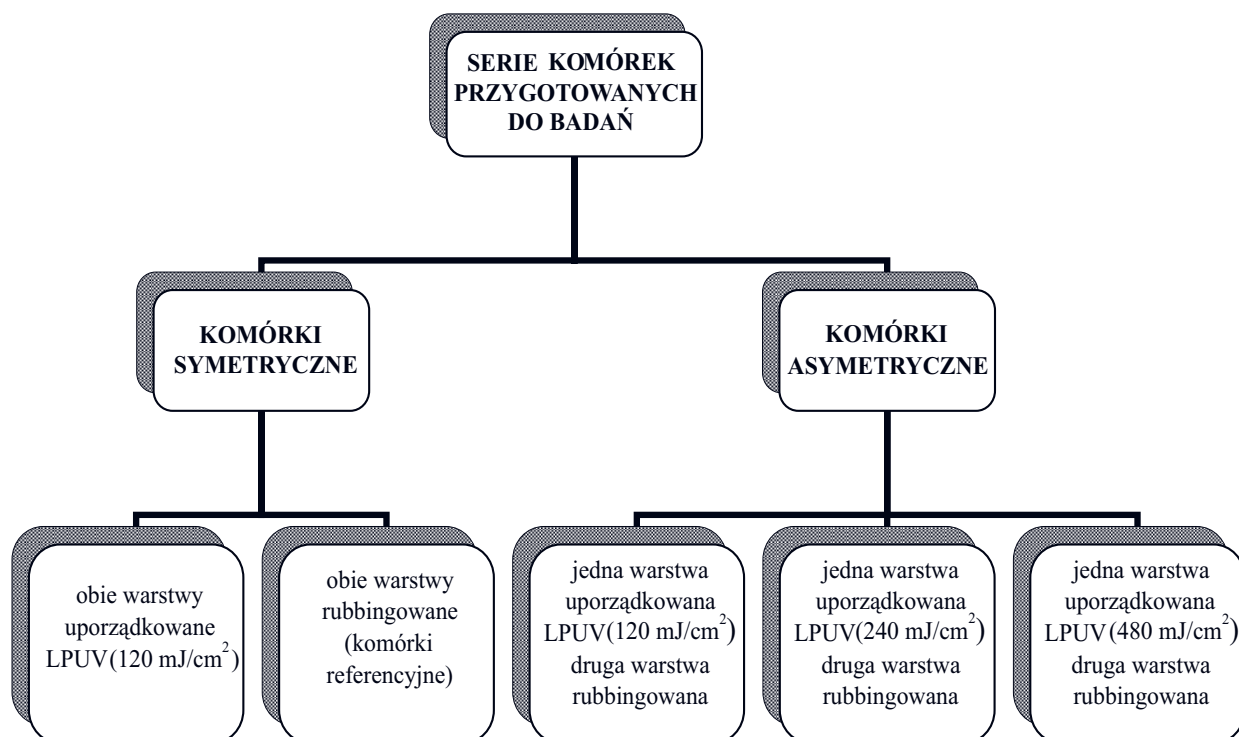
- komórki symetryczne, w których obie warstwy orientujące wykonano z materiału fotoczułego B-12 (syntezowany na Uniwersytecie w Mińsku, Białoruś),
- komórki symetryczne (referencyjne), z rubbingowanym poliimidem SE-130 (Nissan Chemicals),
- komórki asymetryczne, w których na jednym z podłoży znajdowała się warstwa materiału fotoczułego, a na drugim warstwa SE-130. Komórki tego typu wykonano w trzech odmianach, różniących się zasadniczo dawką LPUV, użytą do wywołania anizotropii w warstwach fotoczułych. W ramach dalszych prac jest planowane wykorzystanie takich struktur do uzyskiwania różnych kątów tiltu (pochylenia cząsteczek) na obu powierzchniach ograniczających warstwę ciekłego kryształu.

Zestawienie wszystkich typów badanych w ramach pracy komórek przedstawiono na rys. 7.



Rys. 6. Schematyczne zobrazowanie procesu fotosieciowania przebiegającego w użytym materiale

Fig. 6. Scheme of the photocrosslinking process in the material used as an aligning agent

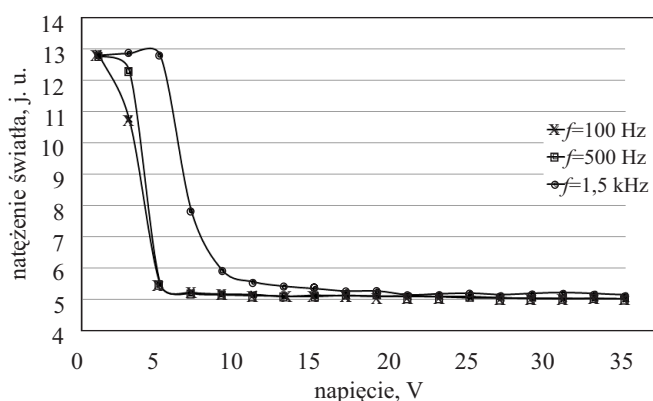


Rys. 7. Typy komórek ciekłokrystalicznych przygotowanych do badań

Fig. 7. Types of liquid crystal cells investigated in the paper

Komórki symetryczne referencyjne; rubbingowany SE-130

Wykonanie warstw porządkujących z SE-130 przebiegało zgodnie z wcześniej opisaną procedurą. Użyto 1-proc. roztworu poliimidu w *N,N*-dimetyloformamidzie. Naniesione i utwardzone warstwy porządkowano za pomocą rubbingu. Komórki składano do pracy w trybie TN i wypełniano ciekłym kryształem W-401 (prod. ICh WAT – Warszawa, $\Delta n = 0,2$) w fazie izotropowej. Do składania użyto dystanserów 5 μm oraz kleju światłoczułego NOA-91 (Norland Optical Adhesive). Wykonano pomiary elektrooptyczne przygotowanych komórek (rys. 8).



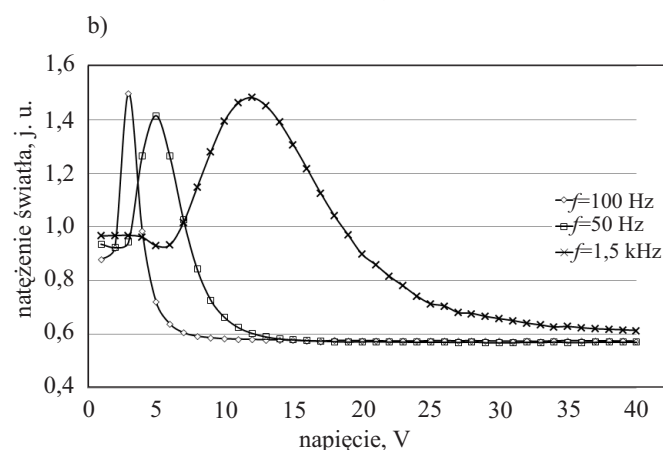
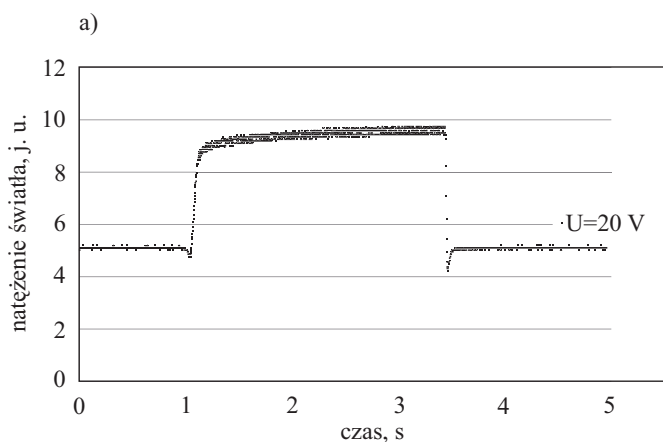
Rys. 8. Charakterystyki elektrooptyczne symetrycznej komórki ciekłokrystalicznej, w której obie warstwy porządkujące uporządkowano na drodze rubbingu (komórka referencyjna), $U_{50} = 1 \text{ V}$, $U_{10} = 10 \text{ V}$

Fig. 8. Dynamic and static electro-optical characteristics for the symmetric LC reference cell in which both aligning layers were oriented using a rubbing technique, $U_{50} = 1 \text{ V}$, $U_{10} = 10 \text{ V}$

Obliczone czasy przełączania struktury w warunkach zastosowanego napięcia sterującego o wartości 20 V to: $t_{ON} = 0,2 \text{ ms}$, $t_{OFF} = 2,2 \text{ ms}$, a napięcia o wartości 30 V, odpowiednio, 0,15 ms i 1,9 ms. Komórki referencyjne charakteryzowały się napięciem włączenia $U_{90} = 1 \text{ V}$. Obserwowane pod mikroskopem uporządkowanie struktury przy skrzyżowanych polaryzatorach, było jednorodne – obraz był jasny (jasnoróżowy), a po przyłożeniu pola elektrycznego – jednolicie ciemny (ciemnozielony). Widoczne były pojedyncze nici nematiczne.

Komórki symetryczne; warstwa orientująca – materiał fotoczuły

Przygotowanie warstw porządkujących dla tej serii komórek obejmowało kolejno wszystkie opisane czynności. Przygotowane płytki z warstwą porządkującą oświetlano promieniowaniem ultrafioletowym spolaryzowanym liniowo (lampa: Hg-Xe, 350 W, Oriol, polaryzator Glan-Taylor: PGT6320 Dayoptics), dawką 240 mJ/cm^2 .



Częstotliwość, Hz	U_{90} , V	U_{10} , V
100	3,5	5,5
500	5,5	10,0
1500	14,0	26,0

Rys. 9. Charakterystyki elektrooptyczne symetrycznej komórki ciekłokrystalicznej, w której wykorzystano dwie warstwy fotoczułe; a) charakterystyka dynamiczna, b) charakterystyka statyczna

Fig. 9. Dynamic (a) and static (b) electro-optical characteristics for the symmetric LC cell with two photosensitive layers used

Komórki ciekłokrystaliczne były składane w trybie skręconego nematyka (TN). Do składania użyto dystanserów o średnicy 5 μm oraz kleju światłoczułego NOA-91 (Norland Optical Adhesive). Komórki wypełniano następnie ciekłym kryształem W-401 ($\Delta n = 0,2$) w fazie izotropowej. Na rys. 9 przedstawiono wybrane charakterystyki elektrooptyczne komórek symetrycznych.

Przykładowe charakterystyczne czasy przełączania struktury w komórkach działających w trybie TN, w warunkach napięcia sterującego 20 V, to: $t_{ON} = 1,04 \text{ ms}$, $t_{OFF} = 3,22 \text{ ms}$, a napięcia 30 V: $t_{ON} = 0,92 \text{ ms}$, $t_{OFF} = 3,16 \text{ ms}$. Obliczone napięcie przełączania struktury wyniosło $U_{90} = 3 \text{ V}$ (dla częstotliwości sygnału równej 100 Hz), jest to wartość większa niż uzyskana w przypadku komórki referencyjnej. W połączeniu z obserwowanym wydłużonym czasem włączenia struktury, może to świadczyć o tym, że oddziaływanie powierzchni fotorządkowanej z ciekłym kryształem jest mocniejsze niż powierzchni rubbingowanej (patrz tabela 3).

T a b e l a 3. Wartości czasów włączenia oraz napięcia włączającego komórki referencyjnej oraz komórki z obiema warstwami uporządkowanymi w procesie fotorządowania

T a b l e 3. Values of the on-times t_{ON} and driving voltages for a reference cell and a cell with two layers oriented using photoalignment

	Komórka referencyjna	Komórka fotorządowana
U_{90} , V	1,00	3,50
$t_{ON/20mV}$, ms	0,20	1,04

Po napełnieniu komórki ciekłym kryształem — zgodnie z wcześniejszym opisem — warstwy obserwowano pod mikroskopem w świetle spolaryzowanym. Warstwa nie była jednorodna. Stwierdzono, że widoczne są struktury przypominające nici (nemy), które zaburzały jednorodność warstw ciekłego kryształu. W związku z tym, po hermetyzacji, komórki wygrzewano aż do sklarowania ciekłego kryształu (77 °C), a następnie schładzano z szybkością 0,2–0,5 °C/min, obserwując komórkę pod mikroskopem w świetle spolaryzowanym. Jakość warstwy w komórce uległa poprawie — cząsteczki ciekłego kryształu były znacznie lepiej uporządkowane — wygrzanie spowodowało zanik nici nematycznych (nemów) w teksturze widocznej pomiędzy skrzyżowanymi polaryzatorami. Rysunek 10 przedstawia zdjęcia mikroskopowe dwóch stanów komórki ciekłokrystalicznej, wykonane przed i po wygrzaniu komórki do fazy izotropowej.

Komórki asymetryczne

Komórki asymetryczne składano z dwóch płytek pokrytych, każda inną, substancją: jedna z płyt była pokryta warstwą poliimidu SE-130, przygotowanego jak wcześniej opisano, a druga — warstwą polimeru uporządkowanego liniowo spolaryzowanym promieniowaniem ultrafioletowym, przygotowaną zgodnie z wcześniejszym opisem. Przygotowano trzy serie komórek asymetrycznych, różniące się dawką LPUV zastosowanego do wytworzenia anizotropii warstwy w procesie fotorządowania: 120 mJ/cm², 240 mJ/cm² oraz 480 mJ/cm².

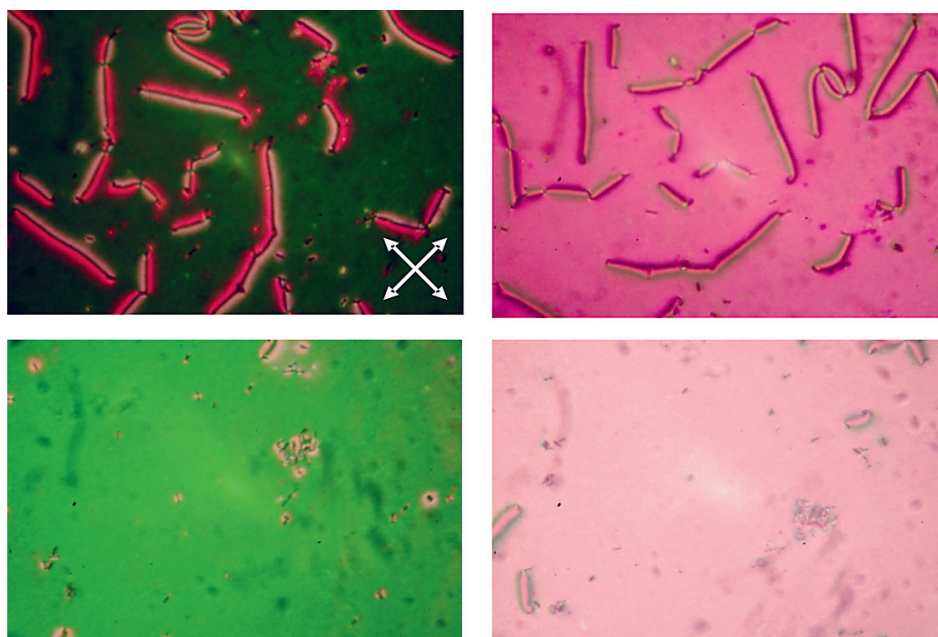
Rysunek 11 przedstawia statyczną oraz dynamiczną charakterystykę elektrooptyczną asymetrycznej komórki TN, w której warstwę orientanta fotoczułego oświetlono dawką LPUV równą 120 mJ/cm².

Obliczone czasy przełączania komórki asymetrycznej w warunkach przyłożonego napięcia sterującego o wartości 20 V to: $t_{ON} = 0,7$ ms, $t_{OFF} = 8,5$ ms, napięcia o wartości 30 V: $t_{ON} = 1,33$ ms, $t_{OFF} = 8,8$ ms.

Rysunek 12 przedstawia zdjęcia mikroskopowe przykładowej komórki TN wykonane pomiędzy skrzyżowanymi polaryzatorami w trakcie obrotu komórki od 0° do 180°.

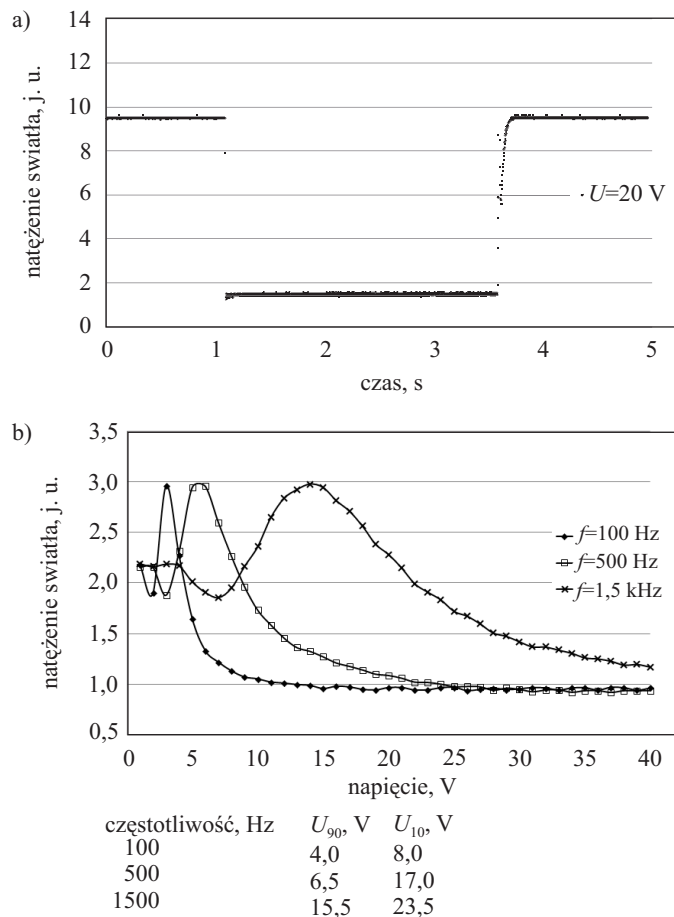
Widać, że warstwa jest uporządkowana jednorodnie, nie ma szkodliwych efektów dysklinacji. Barwy inne niż kolor biały, szary, czarny można tłumaczyć dodatkowym wpływem dwójłomnej warstwy porządkującej.

Rysunek 13 przedstawia wykresy charakterystyk elektrooptycznych komórki asymetrycznej, w której

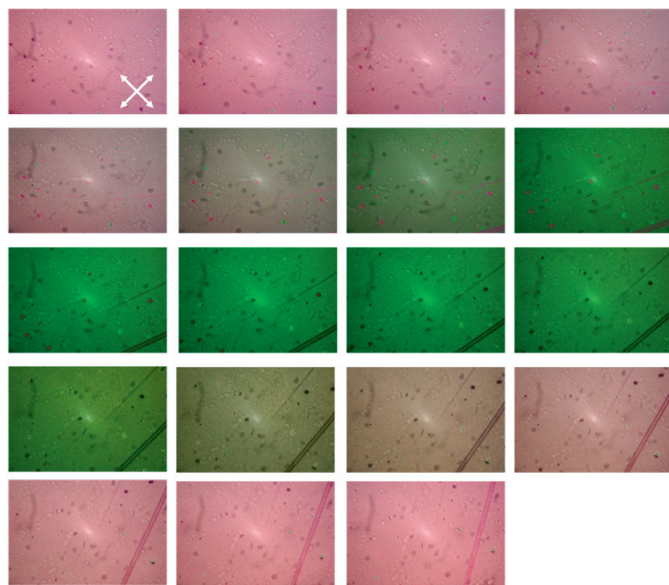


Rys. 10. Zdjęcia komórki ciekłokrystalicznej wykonane przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego; u góry — bezpośrednio po napełnieniu, u dołu — po dodatkowym wygrzaniu i powolnym oziębieniu komórki (różowe punkty i skupiska widoczne na zielonym tle oraz zielone na różowym tle to dystansery)

Fig. 10. Liquid crystal cell photographs made with the use of a polarizing microscope; at the top — after the filling, at the bottom — after additional warming up and subsequent slow cooling of the cell (spacers can be observed as pink spots on the green background and green spots on the pink background)



materiał fotoczuły uporządkowano za pomocą spolaryzowanego promieniowania ultrafioletowego o całkowitej dawce 240 mJ/cm^2 .



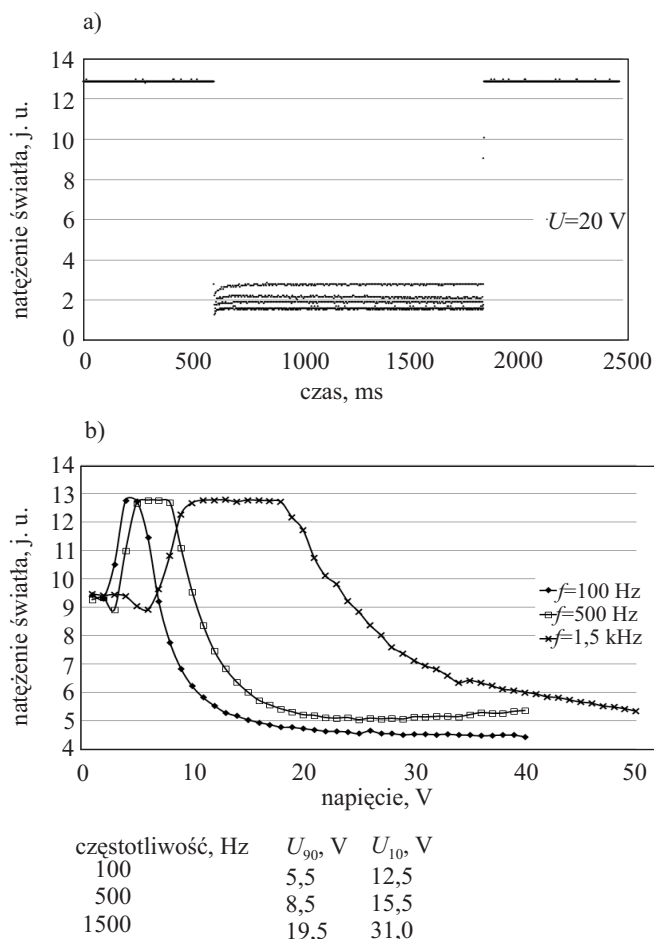
Rys. 12. Zdjęcia komórki ciekłokrystalicznej wykonane za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego, w czasie obrotu komórki od 0° do 180°

Fig. 12. Microphotographs of LC cell obtained with the use of a polarizing microscope under the cell rotation from 0° to 180°

Rys. 11. Dynamiczna (a) i statyczna (b) charakterystyka elektrooptyczna komórki ciekłokrystalicznej, w której warstwę fotoczułą oświetlono dawką 120 mJ/cm^2 liniowo spolaryzowanego promieniowania UV. Obliczone czasy przełączania komórki asymetrycznej dla napięcia sterującego o wartości 20 V : $t_{ON} = 0,7\text{ ms}$, $t_{OFF} = 8,5\text{ ms}$ a dla napięcia 30 V : $t_{ON} = 1,33\text{ ms}$, $t_{OFF} = 8,8\text{ ms}$.

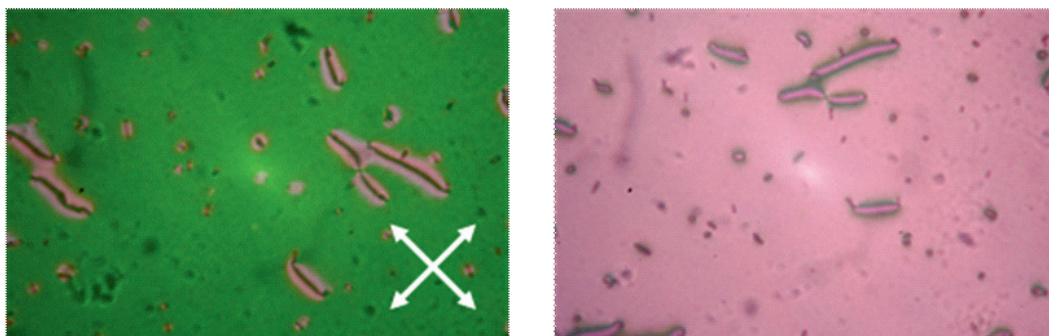
Fig. 11. Dynamic (a) and static (b) electro-optical characteristics for LC cell in which the photosensitive layer was irradiated with 120 mJ/cm^2 dose of linearly polarized UV light. The calculated switching times for asymmetric cell at a control voltage of 20 V are: $t_{ON} = 0,7\text{ ms}$, $t_{OFF} = 8,5\text{ ms}$ and for a voltage of 30 V : $t_{ON} = 1,33\text{ ms}$, $t_{OFF} = 8,8\text{ ms}$.

Obliczone czasy przełączania tej struktury w warunkach przyłożonego napięcia sterującego 20 V , to: $t_{ON} = 1,52\text{ ms}$, $t_{OFF} = 4,4\text{ ms}$, napięcia o wartości 30 V : $t_{ON} = 1,43\text{ ms}$, $t_{OFF} = 4,4\text{ ms}$. Na rys. 14 przedstawiono zdjęcia



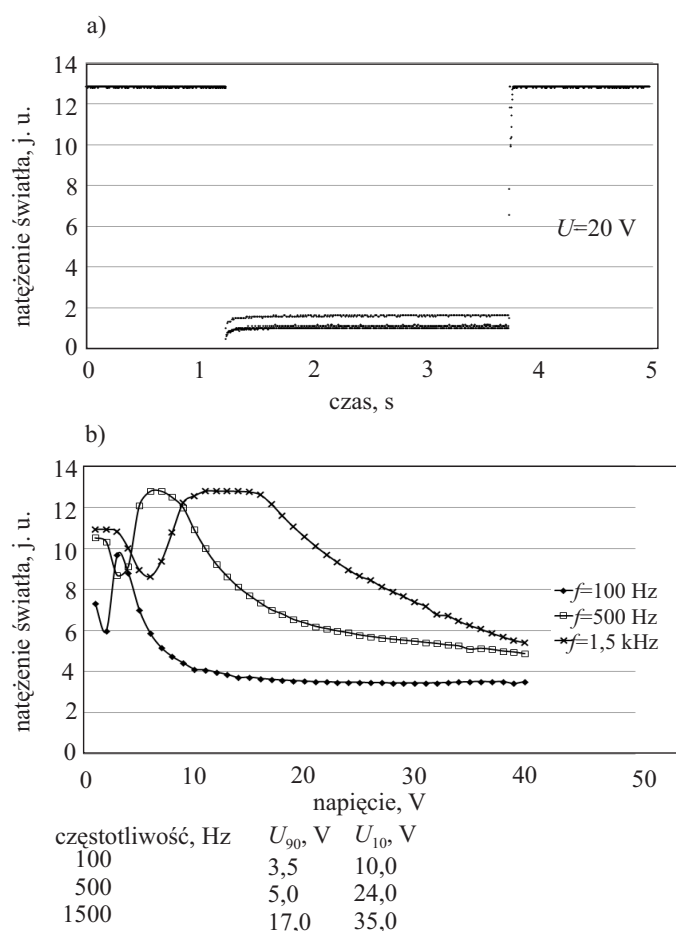
Rys. 13. Charakterystyki elektrooptyczne przykładowej komórki ciekłokrystalicznej, w której warstwę fotoczułą oświetlono dawką 240 mJ/cm^2 liniowo spolaryzowanego promieniowania UV

Fig. 13. Electro-optical characteristics of an exemplary LC cell in which the photosensitive layer was irradiated with a 240 mJ/cm^2 dose of linearly polarized UV light



Rys. 14. Zdjęcia, wykonane za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego, dwóch stanów komórki ciekłokrystalicznej, w której warstwę fotoczułą oświetlono dawką 240 mJ/cm^2

Fig. 14. Microphotographs of two different states of LC cell obtained using a polarizing microscope; photosensitive layer irradiated with a dose of 240 mJ/cm^2



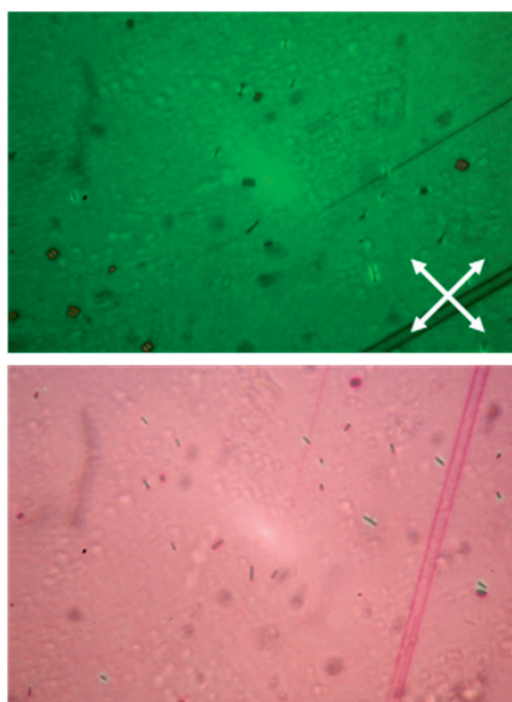
Rys. 15. Charakterystyki elektrooptyczne przykładowej komórki ciekłokrystalicznej, w której warstwę fotoczułą oświetlono dawką 480 mJ/cm^2 liniowo spolaryzowanego promieniowania UV

Fig. 15. Dynamic and static electro-optical characteristic for an exemplary LC cell in which the photosensitive layer was treated with a 480 mJ/cm^2 dose of linearly polarized UV radiation

mikroskopowe dwóch stanów komórki TN (por. rys. 13), wykonane po wygrzaniu komórki do fazy izotropowej. Widać wyraźne nici nematyczne w teksturze.

Na rysunku 15 pokazano statyczną i dynamiczną charakterystykę elektrooptyczną przykładowej asymetrycznej komórki TN, w której dawka promieniowania LPUV użytego do wytworzenia anizotropii w warstwie porządkującej materiału fotoczułego wynosiła 480 mJ/cm^2 .

Rys. 16 przedstawia zdjęcia mikroskopowe, wykonane przy użyciu mikroskopu polaryzacyjnego, dwóch stanów wybranej komórki ciekłokrystalicznej. Tekstura jest jednolita w polu widzenia; brak linii dysklinacji.



Rys. 16. Zdjęcia wykonane za pomocą mikroskopu polaryzacyjnego, dwóch stanów komórki ciekłokrystalicznej, w której warstwę fotoczułą oświetlono dawką 480 mJ/cm^2 liniowo spolaryzowanego promieniowania UV

Fig. 16. Microphotographs of two different states of a liquid crystal cell obtained using a polarizing microscope; the photosensitive layer was treated with a 480 mJ/cm^2 dose of linearly polarized UV radiation

T a b e l a 4. Wartości napięć adresujących U_{90} , U_{10} oraz czasów przełączeń asymetrycznych komórek LCD w warunkach napięć wzbu-
dzających o wartości 20 V i 30 V

T a b l e 4. Values of the addressing voltages U_{90} , U_{10} and switching times for asymmetric LCD cells for the driving voltages of 20 V and
30 V

Płytki 1		SE130									
		U_{90} , V			U_{10} , V			$U = 20$ V		$U = 30$ V	
Płytki 2		100 Hz	500 Hz	1000 Hz	100 Hz	500 Hz	1000 Hz	t_{ON} , ms	t_{OFF} , ms	t_{ON} , ms	t_{OFF} , ms
B12, 120 mJ/cm ²		3,5	5,0	17,0	10,0	24	35,0	0,70	8,5	1,33	8,8
B12, 240 mJ/cm ²		3,5	5,5	14,0	5,5	10	26,0	1,52	4,4	1,43	4,4
B12, 480 mJ/cm ²		4,0	6,5	15,5	8,0	17	23,5	2,14	4,9	1,56	4,9
SE-130 (referencyjna)		1 V			10 V			0,20	2,2	0,15	1,9

Przykładowe obliczone czasy przełączania struktury w warunkach napięcia 20 V to: $t_{ON} = 2,14$ ms, $t_{OFF} = 4,9$ ms; a napięcia 30 V: $t_{ON} = 1,56$ ms, $t_{OFF} = 4,9$ ms.

W tabeli 4 zestawiono czasy przełączeń struktury otrzymanych różnych typów asymetrycznych komórek ciekłokrystalicznych.

Można zauważyć, że wraz ze wzrostem dawki promieniowania ultrafioletowego, którą otrzymał materiał fotorządkujący, wydłuża się czas t_{ON} . Efekt taki występuje w przypadku obu wartości napięcia impulsów adresujących, zmiany odnoszące się do $U = 30$ V są jednak mniej wyraźne. Widoczne jest również skrócenie czasów zaniku t_{OFF} . Obserwowany efekt jest mniejszy w przypadku napięcia sterującego o wartości 30 V ze względu na to, że siły oddziaływania pola elektrycznego są proporcjonalnie większe. Napięcia przełączania struktury (zarówno U_{10} jak i U_{90}), niezależnie od częstotliwości sygnału wzбудzającego, w przypadku komórek uporządkowanych przy użyciu materiału fotorządkującego są większe niż uzyskiwane dla komórki referencyjnej. Wartości U_{90} oraz U_{10} rosną wraz ze wzrostem dawki promieniowania, oświetlającej materiał fotoczuły. Można stąd wywnioskować, że wraz ze wzrostem dawki liniowo spolaryzowanego promieniowania ultrafioletowego, warstwa porządkująca mocniej oddziałuje z warstwą materiału ciekłokrystalicznego.

PODSUMOWANIE

W ramach przeprowadzonych badań opracowano technologię nanoszenia trwałych i jednorodnych warstw zbudowanych z materiału fotoczułego B-12, na podłoża szklane pokryte elektrodą ITO. Dobrano sposób oświetlania warstwy fotopolimeru tak, aby uzyskać dobre właściwości porządkowania ciekłego kryształu. Stwierdzono, że warstwy fotorządkujące charakteryzują się silniejszym oddziaływaniem z warstwą ciekłokrystaliczną niż warstwa uporządkowana przy użyciu rubbingowanych warstw poliimidu SE-130.

Podsumowując — wybrano materiał i opracowano trwałą technologię nanoszenia jakościowo nowych (w stosunku do otrzymywanych za pomocą rubbingu)

warstw, pozwalających na uzyskanie uporządkowanej tekstury warstwy ciekłego kryształu. Jakość optyczna warstw jest bardzo dobra, dłuższe są jednak czasy przełączania struktury, a wartości napięcia sterującego U_{10} i U_{90} są większe.

Pracę wykonano w ramach projektu badawczego „Nowe materiały fotoniczne i ich zaawansowane zastosowanie”, Projekt Kluczowy POIG.01.03.01-14-016/08, finansowany przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego Rzeczypospolitej Polskiej.

LITERATURA

1. http://biznes.gazetaprawna.pl/artykuly/436850,telewizory_plazmowe_triumfalnie_wracaja_na_rynek.html
2. Maguin C.: *Bull. Soc. Fr. Min.* 1911, **34**, 71.
3. Janning J.: *Appl. Phys. Lett.* 1972, **21** (4), 173.
4. Hiroshi A. i inni: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1981, **72**, 127.
5. Murata M. i inni: *Jpn. J. Appl. Phys.* 1992, **31**, 189.
6. Creagh L. T., Kmetz A. R.: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1973, **24**, 59.
7. Hiltrop K., Stegmeyer H.: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1978, **49**, 61.
8. Hasegawa M.: *EKISHO* 1999, **3**, 3.
9. Gibbons W. M., Shannon P. J., Sun S.-T., Swetlin B. J.: *Nature* 1991, **351**, 49.
10. Schadt M., Schmitt K., Kozenkov V., Chigrinov V.: *Jpn. J. Appl. Phys.* 1992, **31**, 2155.
11. Ishihara S.: *J. Display Technol.* 2005, **1**, 30.
12. Ogawa K., Ohtake T., Nomura T.: *Jpn. J. Appl. Phys.* 2000, **39**, 5904.
13. Takahashi Y.: *Month. Semiconductor World* 1996, **1**, 140.
14. Varghese S. i inni: *J. Appl. Phys.* 2005, **97**, 53101.
15. Sugimura A., Yamamoto N., Kawamura T.: *Jpn. J. Appl. Phys.* 1981, **20**, 1343.
16. Toko Y. i inni: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1997, **304**, 107.
17. Kawata Y., Mori Y.: *Proc. 20th Jpn. Liq. Cryst., Conf.* 1994, 256.
18. Aoyama H. i inni: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 1981, **72**, 121.
19. Lee C. H. i inni: *IDW '07*, 2007, 409.
20. Yaroshchuk O. i inni: *Mol. Cryst. Liq. Cryst.* 2005, **433**, 1.
21. Chaudhara P., Lacey J. A., Lien S.-C. A., Spiedell J.: *Jpn. J. Appl. Phys.* 1998, **37**, 55.
22. Chrzanowski M. M. i inni: *Biuletyn WAT* 2010, **59**, 377.

23. Bobrovsky A. Yu. i inni: *J. Phys. Chem. B* 2002, **106**, 540.
24. Janning J.: *Appl. Phys. Lett.* 1972, **24**, 173.
25. Crossland W., Morissy J., Needeham B.: *J. Phys. D: Appl. Phys.* 1976, **s**, 2001.
26. Naemura S., *Appl. Phys. Lett.* 1978, **3**, 1.
27. Akiyama H. i inni: *Liq. Cryst.* 2000, **29**, 1321.
28. Castellano J. A.: *Liq. Cryst. Ordered Fluids* 1984, **4**, 763.
29. Matsuo M., Toida T., Tsunoda I.: *Jpn. Patent Publ.* 1976, **180**, 55.
30. Chigrinov V. G. i inni: *Liq. Cryst.* 2002, **29**, 1321.
31. Kim D.-H., i inni: *SID'06 Digest* 2006, 867.
32. Chigrinov V. G., Kozenkov V. M., Kwok H.-S.: „Photoalignment of Liquid Crystalline Materials: Physics and Applications”, Wiley, Sussex England, 2008, str. 28–32.
33. O'Neill M., Kelly S. M.: *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2000, **33**, 67.
34. Chrzanowski M. M. i inni: *J. Achiev. Mater. Manufac. Eng. Manufac. Eng.* 2011, **48**, 7.
35. Mahilny U. V., Stankevich A. I., Muravsky A. A., Murauski A. A.: *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2009, **42**, 075303.

Otrzymano 13 VI 2012 r.

Politechnika Krakowska i Firma FAMPUR w Bydgoszczy
zapraszają do udziału
w Konferencji Naukowo-Technicznej
„Poliuretany 2013 – nowe trendy rozwoju”
Ustroń, 13 – 16 października 2013 r.

Tematyka konferencji:

- Surowce i substancje pomocnicze do otrzymywania poliuretanów (PUR)
- Tworzywa poliuretanowe (pianki, elastomery, kompozyty, materiały powłokowe, kleje, tworzywa skóropodobne i inne)
- Modyfikacja układów PUR
- Struktura, właściwości i zastosowanie PUR
- Zrównoważony rozwój i technologie utylizacji tworzyw poliuretanowych
- Aktualny stan rozwoju poliuretanów w Polsce
- Maszyny i urządzenia do wytwarzania i przetwórstwa PUR
- Zagadnienia prawno-organizacyjne

Język konferencji: polski/angielski

Terminy:

31 lipca 2013 r. – zgłoszenie udziału w konferencji oraz przesłanie tytułu wystąpienia i abstraktu (maks. 100 słów)

31 sierpnia 2013 r. – przesłanie pełnego tekstu wystąpienia do Materiałów Konferencyjnych na adres e-mail: apociak@pk.edu.pl

Zgłoszenia prosimy przysłać na adres: Leonard Szczepkowski, FAMPUR Adam Przekurat, ul. Gersona 40/30, 85-305 Bydgoszcz, e-mail: l.szczepkowski@fampur.pl lub fax: +48 52 373 59 63

Oплата konferencyjna:

Uczestnicy z prezentacją (jedna osoba spośród współautorów): 900 zł + 23 % VAT (zakwaterowanie w pok. 2–3 os.), 1050 zł + 23 % VAT (zakwaterowanie w pok. 1 os.)

Uczestnicy bez prezentacji: 1100 zł + 23 % VAT (zakwaterowanie w pok. 2–3 os.), 1250 zł + 23 % VAT (zakwaterowanie w pok. 1 os.).

Oплата obejmuje: materiały konferencyjne, noclegi, wyżywienie i udział w imprezach towarzyszących.

Opłatę konferencyjną w odpowiedniej wysokości należy przelać do **31 sierpnia 2013 r.** na rachunek:

FAMPUR Adam Przekurat, ul. Gersona 40/30, 85-305 Bydgoszcz, Bank Zachodni WBK S.A. Wrocław; O/Bydgoszcz

Nr rachunku: 18 1090 1896 0000 0001 2037 7409

Tytuł: imię i nazwisko uczestnika z dopiskiem „konferencja PUR”

Miejsce Konferencji: Hotel Muflon, 43-450 Ustroń, ul. Sanatoryjna 32.