

RZECZPOSPOLITA  
POLSKA



Urząd Patentowy  
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **234439**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **424835**

(22) Data zgłoszenia: **09.03.2018**

(51) Int.Cl.

**G02F 1/35 (2006.01)**

**G02F 1/13 (2006.01)**

**G02B 27/56 (2006.01)**

**H04J 14/02 (2006.01)**

**G02B 6/26 (2006.01)**

(54) **Sposób całkowicie optycznego przełączania sygnału optycznego w homogenicznej komórce ciekłokrystalicznej o zmiennej orientacji molekuł wypełnionej nematycznym ciekłym kryształem**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:

**23.09.2019 BUP 20/19**

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:

**28.02.2020 WUP 02/20**

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA WARSZAWSKA,  
Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**URSZULA LAUDYN, Warszawa, PL  
MICHAŁ KWAŚNY, Warszawa, PL  
BARTŁOMIEJ KLUS, Warszawa, PL  
IGA OSTROMĘCKA, Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

**rzecz. pat. Jerzy Woźnicki**

**PL 234439 B1**

## Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób całkowicie optycznego przełączania sygnału optycznego w homogenicznej komórce ciekłokrystalicznej o zmiennej orientacji molekuł wypełnionej nematycznym ciekłym kryształem, mający zastosowanie do przełączania sygnałów optycznych w torach falowodowych, zwłaszcza w optycznych i optoelektronicznych układach falowodowych jak również w optycznych bramkach logicznych.

Nematyczne ciekłe kryształy zbudowane są głównie z wydłużonych sztywnych cząsteczek o dużej anizotropii właściwości fizycznych. Rozmiar pojedynczej molekuly jest dużo mniejszy od długości fali, zatem z punktu widzenia fali elektromagnetycznej traktowane są jako ośrodek objętościowy, jako jednorodna struktura anizotropowa.

W optyce znajdują przede wszystkim zastosowanie jako cieczy dwójłomne zdefiniowane przez oś anizotropii. W fazie izotropowej fluktuacje termiczne powodują, że zarówno położenie jak i ich kierunek nie wykazują żadnego uporządkowania i rozłożone są chaotycznie, zatem z punktu widzenia fali elektromagnetycznej stanowią strukturę izotropową. Natomiast w fazie nematycznej można wyróżnić średni kierunek ułożenia molekuł określany przez bezwymiarowy wektor  $\mathbf{n}$ , zwany директором, który określa położenie długich osi molekuł. Wprowadza się również kąt teta orientacji początkowej  $\theta_0$ , określający kąt jaki tworzą długie osie (direktor) z wektorem pola elektrycznego liniowo spolaryzowanej fali elektromagnetycznej. W ośrodkach dwójłomnych, m.in. w ciekłych kryształach, obserwowane są dwie skrajne wartości współczynnika załamania światła dla liniowo spolaryzowanej wiązki elektromagnetycznej,  $n_o$  – zwyczajny oraz  $n_e$  – nadzwyczajny, przy czym konkretna wartość współczynnika załamania światła uzależniona jest od kąta teta pomiędzy директором a kierunkiem liniowej polaryzacji wiązki elektromagnetycznej. Średni współczynnik załamania ośrodka jest zatem funkcją kąta teta orientacji początkowej  $\theta_0$ . Jeśli kierunek pola elektrycznego jest zgodny z długą osią molekuł średni współczynnik załamania światła przyjmuje wartość  $n_e$ , jeśli z krótką  $n_o$ , a dla każdego innego kąta współczynnik załamania jest funkcją kąta teta.

Inną unikatową cechą nematycznych ciekłych kryształów jest fakt, że kierunek uporządkowania molekuł można łatwo zmieniać przez zewnętrzne pola (elektryczne, magnetyczne oraz elektromagnetyczne). Jest to właściwość wykorzystywana powszechnie w wyświetlaczach ciekłokrystalicznych. W optyce wykorzystywane jest w tym celu pole elektryczne liniowo spolaryzowanej fali elektromagnetycznej, przy czym z uwagi na znacznie dłuższy czas reakcji molekuł w porównaniu do oscylacji wektora pola optycznego stosuje się średnią czasową natężenia pola. Ciekły kryształ reaguje zatem na kierunek a nie na zwrot pola elektrycznego. Wzrost natężenia pola elektrycznego wiązki elektromagnetycznej powoduje obrót molekuł i dąży do równoległego ustawienia długich osi, zatem powoduje zmianę osi dwójłomności, przy czym ważne jest to, że nie zmienia wartości dwójłomności. Obrót molekuł oznacza zmianę kąta orientacji, zaś zmiana kąta orientacji oznacza zmianę średniego współczynnika załamania dla fali elektromagnetycznej. Zatem rozpatrywana zmiana współczynnika załamania światła pod wpływem wzrostu natężenia pola elektrycznego fali elektromagnetycznej związana jest z mechanizmem nieliniowości optycznej, a w niniejszym przypadku z nieliniowością reorientacyjną, co zostało opisane w publikacji A. Adamczyk, „Niezwyczajny stan materii. Ciekłe kryształy”, Omega Wiedza Powszechna, 1978. Nieliniowość tego typu umożliwia przestrajanie właściwości optycznych ciekłych kryształów poprzez zmianę natężenia przechodzącego przez nie światła. Nieliniowość reorientacyjna ciekłych kryształów jest o kilka rzędów wielkości silniejsza od konwencjonalnego efektu Kerra w dielektrykach. Dzięki temu silne efekty nieliniowe obserwowane są już przy użyciu sygnałów o stosunkowo małej mocy optycznej, rzędu pojedynczych miliwatów, przy średnicach wiązek rzędu pojedynczych mikrometrów. Zwiększenie mocy wiązki jest równoważne zmianie natężenia światła. Bazując na mechanizmie nieliniowości reorientacyjnej wykazane zostało, że w nematycznych ciekłych kryształach można uzyskać bezdyfrakcyjną propagację wiązki światła w postaci optycznego solitonu przestrzennego. Optyczny soliton przestrzenny indukuje kanał falowodowy w warstwie nematycznego ciekłego kryształu. Zjawisko to w sposób teoretyczny oraz eksperymentalny opisane zostało w pierwszym rozdziale książki G. Assanto, „Nematicons”, (Wiley & Sons, 2013 Hoboken). Silna nieliniowość reorientacyjna umożliwia uzyskanie optycznych solitonów przestrzennych dla źródeł laserowych pracy ciągłej, emitujących wiązkę o małej mocy optycznej.

Do generacji solitonu przestrzennego stosuje się komórki ciekłokrystaliczne o dobrze określonym kierunku ułożenia długich osi molekuł ciekłokrystalicznych. W tym celu wykorzystywane są komórki ciekłokrystaliczne zbudowane z dwóch transparentnych płytek ograniczających oddalonych od

siebie o dystans rzędu kilku, kilkudziesięciu mikrometrów. Materiałami wykorzystywanymi jako płytki ograniczające są najczęściej szkło, poliwęglan oraz materiały elastyczne wytworzone z tworzyw sztucznych, charakteryzujące się dużą transmisją promieniowania elektromagnetycznego w zakresie światła widzialnego. Obszar pomiędzy płytkami ograniczającymi wypełniony jest nematycznym cieklą krysztalem, przy czym wymuszenie kierunku orientacji długich osi molekuł ciekłokrystalicznych realizowane jest poprzez wykorzystanie warstwy orientującej wykonanej od wewnętrznej strony płytki ograniczającej, zapewniającej jednorodny rozkład molekuł. Wiązka fali elektromagnetycznej wprowadzana jest w obszar pomiędzy płytkami ograniczającymi, przy czym kierunek propagacji jest równoległy względem tych powierzchni. Wprowadzona w taką warstwę ciekłokrystaliczną wiązka fali elektromagnetycznej ulega dyfrakcji z uwagi na jednorodny rozkład współczynnika załamania (jednorodny kąt orientacji długich osi molekuł). Wzrost natężenia pola elektrycznego fali elektromagnetycznej o liniowej polaryzacji prowadzi do nieliniowego oddziaływania wiązki elektromagnetycznej z molekułami czyli do reorientacji oraz lokalnego wzrostu efektywnego współczynnika załamania światła. Zmiany te powodują efekt ogniskowania wiązki. Wzrost współczynnika załamania światła działa na wiązkę elektromagnetyczną jak soczewka skupiająca, prędkość fazowa w centrum wiązki maleje w stosunku do jej brzegów, a wiązka elektromagnetyczna podąża w kierunku obszaru o większym współczynniku załamania światła. Zjawisko to prowadzi do powstania frontu falowego, którego profil nie zmienia się na drodze propagacji, czyli optycznego toru przestrzennego. Istotnym jest zastosowanie takich warunków brzegowych na powierzchniach granicznych, dla których kąt zawarty pomiędzy директором  $\mathbf{n}$ , oraz składową pola elektrycznego fali elektromagnetycznej jest różny od  $0^\circ$  i  $90^\circ$ . Do uzyskania propagacji optycznych solitonów przestrzennych w nematycznych cieklą krysztalach wykorzystuje się między innymi komórki ciekłokrystaliczne o konfiguracji homogenicznej o zadanym, jednorodnym początkowym rozkładzie molekuł, co zostało opisane w pracy M. Peccianti, G. Assanto, „Nematicons”, *Phys. Rep.* 516, 147–208 (2012).

Dotychczas w celu zmiany kierunku propagacji optycznego solitonu przestrzennego w homogenicznie zorientowanej warstwie wykorzystywane było m in. oddziaływanie pomiędzy solitonami (M. Peccianti, G. Assanto, „Signal readressing by steering of spatial soliton in bulk nematic liquid crystals”, *Opt. Lett.* 26, 1690 (2001)); wpływ zewnętrznego pola elektrycznego (M. Peccianti, C. Conti, G. Assanto, A. De Luca, C. Umeton, „Routing of anisotropic spatial soliton and modulation instability in liquid crystals”, *Nature* 432, 733 (2004)) jak również odbicia od powierzchni ograniczających (A. Alberucci, M. Peccianti, G. Assanto, „Nonlinear bouncing of nonlocal spatial soliton at the boundaries”, *Opt. Lett.* 32, 2795 (2007)). Pojawiły się również doniesienia o zmianie kierunku propagacji optycznego solitonu przestrzennego na skutek całkowitego wewnętrznego odbicia od obszaru o zmienionym rozkładzie współczynnika załamania światła wywołanym drugą wiązką oświetlającą (A. Pasquazi, A. Alberucci, M. Peccianti, G. Assanto, „Signal processing by opto-optical interactions between self-localized and free propagating beams in liquid crystals”, *Appl. Phys. Lett.* 87, 261104 (2005)); stosowanie specjalnego rozdzielania elektrod wywołujących niejednorodny rozkład pola elektrycznego wewnątrz warstwy (M. Peccianti, A. Dyadyusha, M. Kaczmarek, G. Assanto, „Tunable refraction and reflection of self-confined light beams”, *Nat. Phys.* 2, 737 (2006)) lub wprowadzanie do ciekiego krysztalu defektów (Y. V. Izdebskaya, V. G. Shvedov, A. S. Desyatnikov, W. Królikowski, Y. S. Kivshar, „Soliton bending and routing induced by interaction with curved surfaces in nematic liquid crystals”, *Opt. Lett.* 35, 1692 (2010)).

Z literatury znane są również przełączniki typu „Y” wytwarzane w komórkach ciekłokrystalicznych wypełnionych nematycznym cieklą krysztalem, posiadające jeden kanał doprowadzający sygnał oraz dwa kanały wyjściowe. Sterowanie kierunkiem propagacji sygnału optycznego odbywa się w tym przypadku poprzez wykorzystanie dwóch ciekłokrystalicznych sprzęgaczy kierunkowych dla polaryzacji TE i TM jak zostało to opisane w pracy (Qian Wang and Gerald Farrell, „Integrated liquid-crystal switch for both TE and TM modes: proposal and design”, *Journal of the Optical Society of America A*, vol. 24, pp. 3303–3308, (2007)) lub zewnętrznego pola elektrycznego co zostało opisane w pracy (Ailing Zhang, Kam Tai Chan, Victor W. C. Chan, Philip C. H. Chan, Hoi S. Kwok and Andy H. P. Chan, „Integrated liquid crystal optical switch based on total internal reflection”, *Applied Physics Letters* 86, 211108 (2005)).

Znane są również sposoby przełączania sygnału optycznego z wykorzystaniem dwóch wzajemnie bliskich falowodów, pomiędzy którymi dochodzi do sprzęgania prowadzonej w jednym z nich wiązki. Obszar falowodów wypełniony jest nematycznym cieklą krysztalem, którego długie osie anizotropowych molekuł początkowo ustawione są w kierunku zgodnym z kierunkiem propagacji sygnału op-

tycznego. Kierunek ułożenia długich osi molekuł ciekłokrystalicznych modyfikowany jest z wykorzystaniem zewnętrznego pola elektrycznego o zadanym natężeniu, co pozwala na modyfikację prowadzonego sygnału. Rozwiązanie to przedstawione zostało w patencie US6904207.

Innym rozwiązaniem podobnym do prezentowanego w niniejszym zgłoszeniu jest wykorzystanie struktury falowodowej typu „Y” wypełnionej nematycznym ciekłym kryształem składającej się z jednego falowodu wejściowego oraz dwóch falowodów wyjściowych, pomiędzy którymi dochodzi do przełączania sygnału z wykorzystaniem obszarów termo-optycznych znajdujących się w bliskim sąsiedztwie falowodu wejściowego. Zmiana temperatury w obszarach termo-optycznych wywołuje zmianę parametrów nematycznego ciekłego kryształu w obszarze falowodu wejściowego, a dokładnie zmianę wartości współczynnika załamania światła, co powoduje zmianę kierunku propagacji sygnału wyjściowego. Rozwiązanie to opisane zostało w patencie US7079724.

Bliskim rozwiązaniem względem sposobu prezentowanego w niniejszym opisie jest wykorzystanie zmiennego natężenia światła, w celu zmiany właściwości propagacyjnych impulsów światła w ośrodkach optycznych z wykorzystaniem periodycznej struktury o zmiennych właściwościach optycznych. Rozwiązanie to dedykowane jest jednak propagacji impulsów świetlnych w postaci solitonów optycznych generowanych w obszarze przerwy wzbronionej. Rozwiązanie to przedstawione zostało w patencie US6801685.

Z opisu patentowego US5963683 znany jest również sposób modyfikacji kierunku propagacji impulsów optycznych w ośrodkach charakteryzujących się dużą nieliniowością optyczną poprzez wzajemne oddziaływanie pojedynczych impulsów o przeciwnych kierunkach propagacji. Sposób ten wymaga jednak wykorzystania dużych mocy optycznych rzędu od ~15 kW do nawet 150 kW, co znacząco ogranicza zakres jego zastosowania.

Kierunek propagacji przestrzennego solitonu optycznego dla konkretnego nematycznego ciekłego kryształu uzależniony jest od długości fali  $\lambda$  oraz kierunku direktora  $\mathbf{n}$ , czyli od orientacji molekuł ciekłokrystalicznych. Dla każdej orientacji początkowej różnej od  $0^\circ$  i  $90^\circ$  kierunek propagacji optycznego solitonu przestrzennego zdefiniowany jest przez tzw. kat  $\delta_0$  (ang. „walk-off”) będący kątem pomiędzy wektorem falowym fali elektromagnetycznej  $\mathbf{k}$  a wektorem Poyntinga  $\mathbf{S}$ , który określa rzeczywisty kierunek rozchodzenia się wiązki elektromagnetycznej w dwójłomnym ośrodku optycznym. Maksymalny kąt  $\delta_0$  występuje dla początkowej orientacji  $\sim 45^\circ$  i maleje do 0 dla orientacji dążącej do  $0^\circ$  i  $90^\circ$ . Ponadto, kąt ten może być modyfikowany (zwiększany bądź zmniejszany) przez zmianę natężenia wiązki elektromagnetycznej. Oznacza to, że kierunek propagacji optycznego solitonu przestrzennego może być modyfikowany przez zmianę natężenia pola elektrycznego fali elektromagnetycznej. Zjawisko to opisane zostało w pracy A. Piccardi, A. Alberucci, G. Assanto, „Power-dependent nematicon steering via walk-off”, J. Opt. Soc. Am. B, 27, 11 (2010).

Sposób całkowicie optycznego przełączania sygnału optycznego w homogenicznej komórce ciekłokrystalicznej o zmiennej orientacji molekuł wypełnionej nematycznym ciekłym kryształem, w którym spolaryzowany liniowo sygnał optyczny, emitowany przez monochromatyczne źródło promieniowania elektromagnetycznego, propaguje się w homogenicznej komórce ciekłokrystalicznej o zmiennej orientacji molekuł w kierunku poprzecznym i podłużnym w postaci przestrzennego solitonu optycznego generowanego w skutek nieliniowości reorientacyjnej ciekłego kryształu o początkowej orientacji molekuł wymuszonej przez równoległe warstwy orientujące z mikro-rowkami zaprojektowanymi tak, że dla sygnału optycznego o liniowej polaryzacji pomiędzy warstwami orientującymi wytworzona jest struktura typu „Y” z kanałem wejściowym doprowadzającym wejściowy sygnał optyczny i dwoma kanałami wyjściowymi wyprowadzającymi sygnał wyjściowy, według wynalazku charakteryzuje się tym, że zmianę kierunku sygnału wyjściowego pomiędzy dwoma kanałami wyjściowymi realizuje się przez zmianę natężenia wejściowego sygnału optycznego propagowanego w kanale wejściowym.

Korzystnym jest, jeżeli zmianę natężenia wejściowego sygnału optycznego uzyskuje się za pomocą optycznego kontrolera mocy źródła światła i polaryzacji zawierającego półfalową płytkę fazową i polaryzator w torze optycznym monochromatycznego źródła promieniowania elektromagnetycznego.

Korzystnym jest, jeżeli zmianę natężenia wejściowego sygnału optycznego uzyskuje się przez zwiększenie lub zmniejszenie liczby jego sygnałów składowych propagowanych tym samym torem optycznym.

Korzystnym jest, jeżeli zmianę natężenia wejściowego sygnału optycznego koniecznego do zmiany kierunku propagacji uzyskuje się przez zmianę natężenia co najmniej jednego z jego sygnałów składowych propagowanych tym samym torem optycznym.

Rozwiązanie według wynalazku wykorzystuje nematyczny ciekły kryształ umieszczony w homogenicznej komórce ciekłokrystalicznej z precyzyjnie zaprojektowaną oraz wykonaną warstwą orientującą, wymuszającą zmienny kierunek ułożenia molekuł ciekłokrystalicznych zarówno w kierunku poprzecznym jak i podłużnym na powierzchniach płytek ograniczających, tworzącej układ przełączający typu „Y” służący do przełączania sygnału optycznego o kontrolowanym natężeniu pomiędzy kanałami wyjściowymi struktury. Jako sygnał optyczny, propagujący się w warstwie nematycznego ciekłego kryształu o grubości rzędu od kilku do kilkudziesięciu mikrometrów znajdującą się pomiędzy płytkami ograniczającymi, którego kierunek propagacji jest równoległy względem tych powierzchni, wykorzystywany jest przestrzenny soliton optyczny generowany przez monochromatyczne źródło promieniowania elektromagnetycznego o znanym natężeniu i kierunku liniowej polaryzacji.

Rozkład orientacji molekuł definiuje w obszarze komórki ciekłokrystalicznej obszary, w których propagowany jest sygnał optyczny w postaci optycznego solitonu przestrzennego będącego sygnałem wejściowym. Kierunek orientacji molekuł musi być dobrany w taki sposób aby uzyskać możliwość zmiany kierunku propagacji sygnału wyjściowego wraz ze wzrostem mocy optycznej wejściowego sygnału optycznego, co prowadzi do przełączania pomiędzy dwoma kanałami wyjściowymi, za pomocą których sygnał wyjściowy wyprowadzany jest z układu przełączającego. Szerokość kanału wejściowego jest dużo większa od długości fali, natomiast szerokość kanałów wyjściowych odpowiada połowie szerokości kanału wejściowego. Kierunek orientacji molekuł w otoczeniu obszarów, w których następuje propagacja sygnału optycznego dobrany jest w taki sposób, aby wartość współczynnika załamania światła w obszarze otoczenia, w którym nie dochodzi do propagacji światła, odpowiadała wartości  $n_o$ . Spełnienie tych warunków następuje poprzez wykonanie w homogenicznej komórce ciekłokrystalicznej warstwy orientującej, która zapewni zmienny rozkład kierunku ułożenia anizotropowych molekuł ciekłokrystalicznych. W tym celu wykorzystane mogą zostać powszechnie znane i dostępne metody takie jak fotoorientacja lub e-litografia. Wytworzona w ten sposób struktura optyczna umożliwia kontrolę nad kierunkiem propagacji sygnału wyjściowego poprzez zmianę natężenia wejściowego sygnału optycznego lub jego sygnałów składowych.

Rozwiązanie według wynalazku umożliwia realizację ciekłokrystalicznego układu przełączającego z wykorzystaniem jednego, dwóch lub w ogólności  $n$ -sygnałów wejściowych do przełączania sygnału optycznego w sposób całkowicie optyczny w podstawowych układach logicznych. Ponadto przedstawiony sposób przełączania sygnału wyjściowego nie wymaga stosowania zewnętrznego pola elektrycznego, co umożliwia jego stosowanie w środowiskach łatwopalnych i/lub wybuchowych.

Sposób według wynalazku jest objaśniony w przykładzie realizacji na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia komórkę ciekłokrystaliczną w przekroju prostokątnym względem kierunku propagacji sygnałów i warstw orientujących, fig. 2a przedstawia schematycznie strukturę mikro-rowków z zaznaczonymi granicami obszarów wymuszających zmienną orientację molekuł w kierunku poprzecznym i podłużnym względem kierunku propagacji wiązki, fig. 2b przedstawia fotografię rzeczywistej struktury wykonanej według schematu przedstawionego na fig. 2a, z zaznaczonymi granicami obszarów, fig. 3 przedstawia układ kontrolera mocy optycznej i kierunku liniowej polaryzacji sygnału, fig. 4a przedstawia propagację sygnału optycznego w warstwie nematycznego ciekłego kryształu przed zmianą jego mocy optycznej, fig. 4b przedstawia propagację sygnału optycznego w warstwie nematycznego ciekłego kryształu po zmianie mocy wejściowej sygnału optycznego do wartości koniecznej do zmiany kierunku propagacji sygnału wyjściowego, fig. 5a–5c przedstawia propagację dwóch sygnałów optycznych małej mocy w warstwie nematycznego ciekłego kryształu, fig. 6a–6c przedstawia propagację trzech sygnałów optycznych małej mocy w warstwie nematycznego ciekłego kryształu, a fig. 6d przedstawia propagację sygnału optycznego utworzonego przez sygnały składowe optyczne małej mocy z fig. 6a–6c propagujące się w tym samym torze optycznym, o sumarycznej mocy optycznej koniecznej do zmiany kierunku propagacji sygnału wyjściowego.

Jak przedstawiono na fig. 1 komórka ciekłokrystaliczna składa się z dwóch płytek ograniczających 1 wykonanych z materiału dielektrycznego, które są wzajemnie równoległe i pozostają w odległości kilkudziesięciu mikrometrów. Na wewnętrzne powierzchnie płytek ograniczających 1 naniesiona jest warstwa orientująca 2 uzyskana poprzez wytworzenie struktury mikro-rowków, których kierunek ułożenia ma charakter zmienny w płaszczyźnie poziomej, prostokątnej względem przekroju zaprezentowanego na fig. 1. Pomiędzy warstwami orientującymi 2 umieszczona jest warstwa 3 nematycznego ciekłego kryształu o orientacji homogenicznej, w której długie osie molekuł są równoległe względem płytek ograniczających 1, a kierunek ułożenia tych osi jest zmienny w płaszczyźnie równoległej względem płytek 1 i warstwy orientującej 2, przy czym dokładny ich kierunek jest równoległy względem mi-

kro-rowków wytworzonych w warstwie orientującej 2. Wejściowy sygnał optyczny 5 wprowadzany jest w środek warstwy 3 nematycznego ciekłego kryształu w kierunku prostopadłym względem zaprezentowanego przekroju oraz równoległe względem płytek ograniczających 1 i warstwy orientującej 2.

Przedstawiona na fig. 2a, 2b warstwa orientująca 2 składa się o obszaru zwanego otoczeniem 2a o orientacji molekuł w kierunku osi „z”, gdzie „z” oznacza kierunek wprowadzenia sygnału optycznego 5 do komórki ciekłokrystalicznej, oraz obszaru struktury typu „Y”, w którym odbywa się propagacja wejściowego sygnału optycznego 5 oraz sygnału wyjściowego 8 w postaci przestrzennego solitonu optycznego. Obszary te podzielone są na kanał wejściowy 2b o kącie orientacji anizotropowych molekuł ciekłokrystalicznych  $-20^\circ$  oraz dwa kanały wyjściowe 2c, 2d, pierwszy o kącie orientacji anizotropowych molekuł ciekłokrystalicznych  $+45^\circ$  i drugi o kącie orientacji anizotropowych molekuł ciekłokrystalicznych  $-45^\circ$  względem kierunku wyznaczonego przez oś „z”. Ponadto kanał wejściowy 2b, doprowadzający wejściowy sygnał optyczny 5, oraz kanały wyjściowe 2c, 2d, wyprowadzające sygnał wyjściowy 8, są nachylone względem osi „z” o kąt, odpowiadający wartości kąta odchylenia wektora Poyntinga od kierunku wyznaczonego przez wektor falowy  $\mathbf{k}$  dla stosowanego ciekłego kryształu, wykorzystanej długości fali, oraz z uwzględnieniem orientacji molekuł w rozpatrywanym kanale. W zaprezentowanym przykładzie dla kanału wejściowego 2b kąt odchylenia wynosi  $-3^\circ$ , kąt odchylenia pierwszego kanału wyjściowego 2c wynosi  $+5^\circ$ , a kąt odchylenia drugiego kanału wyjściowego 2d kąt wynosi  $-5^\circ$ . W przykładzie wykorzystany został ciekły kryształ 6CHBT oraz sygnały wejściowe o długości fali 1064 nm. Widoczna na fig. 2a warstwa orientująca 2 ma zaznaczony kierunek wykonania mikro-rowków wyznaczających kierunek porządkowania długich osi molekuł ciekłokrystalicznych w warstwie 3 nematycznego ciekłego kryształu. Na fig. 2b widoczna jest warstwa orientująca 2 wykonana na płycie ograniczającej 1 w postaci mikro-rowków wytworzonych w warstwie polimeru. Widoczne na zdjęciu obszary otoczenia 2a, kanał wejściowy 2b i kanały wyjściowe 2c, 2d. W niniejszym przykładzie szerokość pojedynczego mikro-rowka oraz odległość separacji pomiędzy sąsiednimi rowkami wynosi 500 nm, zaś głębokość jest rzędu 100 nm. Mikro-rowki tworzą homogeniczną warstwę orientującą o zmiennej orientacji w kierunku poprzecznym i podłużnym, która zapewnia wytworzenie struktury ciekłokrystalicznej o zmiennej orientacji w kierunku poprzecznym i podłużnym względem kierunku propagacji wiązki.

Przedstawiony na fig. 3 kontroler mocy optycznej i kierunku liniowej polaryzacji zawiera półfalową płytkę fazową 6 i polaryzator 7 w torze optycznym monochromatycznego źródła promieniowania elektromagnetycznego 4. Półfalowa płytka fazowa 6 i polaryzator 7 służy do zmiany parametrów sygnału optycznego 5 emitowanego na wyjściu kontrolera, w tym mocy optycznej i kierunku liniowej polaryzacji.

Fig. 4a, 4b ilustruje propagację wejściowego sygnału optycznego 5 i sygnału wyjściowego 8 w warstwie nematycznego ciekłego kryształu przed i po zmianie mocy optycznej wejściowego sygnału optycznego 5 o długości fali 1064 nm oraz początkowej średnicy  $6\ \mu\text{m}$  wyznaczonej na poziomie  $1/e^2$  maksymalnego natężenia światła o kierunku liniowej polaryzacji wzdłuż osi „y” o wektorze falowym fali elektromagnetycznej  $\mathbf{k}$  wzdłuż osi „z” w płaszczyźnie „yz” równoległej względem płytek ograniczających 1 i warstwy orientującej 2, w komórce ciekłokrystalicznej przedstawionej na Fig. 1. Wejściowy sygnał optyczny 5 po doprowadzeniu do kanałów wyjściowych 2c, 2d staje się sygnałem wyjściowym 8, który w zależności od mocy optycznej kontrolowanej z wykorzystaniem kontrolera mocy i kierunku liniowej polaryzacji z fig. 3, propagowany jest w jednym z kanałów wyjściowych 2c, 2d.

Jak przedstawiono na fig. 4a, wejściowy sygnał optyczny 5 o mocy optycznej 6 mW wprowadzonej wzdłuż osi „z”, która jest równoległa względem płytek ograniczających 1, propaguje się w kanale wejściowym 2b, widocznym na fig. 2a, a następnie trafia w obszar pierwszego kanału wyjściowego 2c, stając się tym samym sygnałem wyjściowym 8 o mocy optycznej mniejszej niż wymagana do przełączenia pomiędzy kanałami 2c i 2d. Kierunek propagacji wejściowego sygnału optycznego 5 w obszarze kanału wejściowego 2b tworzy z osią „z” kąt rzędu  $-3^\circ$ , odpowiadający teoretycznej maksymalnej wartości kąta  $\delta_0$  dla wykorzystanego ciekłego kryształu 6CHBT oraz długości fali 1064 nm.

Fig 4b ilustruje zmianę trajektorii sygnału wyjściowego 8 wywołaną zwiększeniem mocy optycznej wejściowego sygnału optycznego 5 do 12 mW z wykorzystaniem kontrolera mocy optycznej i kierunku liniowej polaryzacji z fig. 3, która jest większa od mocy przełączającej. W skutek silniejszej reorientacji molekuł nastąpiło zwiększenie wartości bezwzględnej kąta  $\delta_0$  o około  $1^\circ$ . W przedstawionej sytuacji sygnał wyjściowy 8 przełączany jest z pierwszego kanału wyjściowego 2c do drugiego kanału wyjściowego 2d.

Fig. 5a, 5b ilustruje nieliniową propagację dwóch sygnałów optycznych 51, 52 małej mocy o identycznych parametrach, w tym długości fali 1064 nm, początkowej średnicy  $6\mu\text{m}$  na poziomie  $1/e^2$  maksymalnego natężenia światła, oraz mocy optycznej 6 mW, o kierunku liniowej polaryzacji wzdłuż osi „y” o wektorze falowym fali elektromagnetycznej  $k$  w kierunku osi „z” równoległej względem płytek ograniczających 1 i warstwy orientującej 2, propagujących się w postaci przestrzennego solitonu optycznego w komórce ciekłokrystalicznej przedstawionej na Fig. 1.

Fig. 5c ilustruje sposób całkowitego optycznego przełączania sygnału wyjściowego 8 powstałego z dwóch sygnałów optycznych 51, 52 małej mocy z fig. 5a, 5, propagowanych w tym samym torze optycznym jako sygnały składowe 51, 52 wejściowego sygnału optycznego 5. Zmiana kierunku propagacji sygnału wyjściowego 8 i jego przełączenie z pierwszego kanału wyjściowego 2c do drugiego kanału wyjściowego 2d jest wywołana zwiększeniem sumarycznej mocy optycznej wejściowego sygnału optycznego 5 powstałego w wyniku jednoczesnej propagacji sygnałów optycznych 51, 52 małej mocy w tym samym torze optycznym. Powrót sygnału wyjściowego 8 z drugiego kanału wyjściowego 2d do pierwszego następuje po wyłączeniu jednego z *sygnałów składowych* 51, 52 wejściowego sygnału optycznego 5.

Fig. 6a–6d ilustruje nieliniową propagację trzech sygnałów optycznych 51, 52, 53 małej mocy, propagujących się w postaci przestrzennego solitonu optycznego, z których każdy po doprowadzeniu kanałem wejściowym 2b do kanałów wyjściowych 2c, 2d staje się sygnałem wyjściowym 8. Sygnały optyczne 51, 52 małej mocy z fig. 6a i 6b, o mocy optycznej 4 mW, średnicy  $6\mu\text{m}$  na poziomie  $1/e^2$  maksymalnego natężenia światła, oraz długości fali 1064 nm, nawet przy jednoczesnej propagacji tym samym torem optycznym nie posiadają sumarycznej mocy optycznej większej niż moc przełączająca, wobec czego powstały z nich sygnał wyjściowy 8 wyprowadzany jest z układu kanałem wyjściowym 2c. Sygnał optyczny 53 małej mocy z fig. 6c, o mocy optycznej 4 mW, średnicy  $6\mu\text{m}$  na poziomie  $1/e^2$  maksymalnego natężenia światła i długości fali 532 nm, nie posiada mocy większej niż moc przełączająca wobec czego sygnał ten wyprowadzany jest z układu kanałem wyjściowym 2c. Jednoczesna propagacja trzech sygnałów optycznych 51, 52, 53 małej mocy w tym samym torze optycznym jako składowych 51, 52, 53 wejściowego sygnału optycznego 5 widocznego na fig. 8d, powoduje przełączenie sygnału wyjściowego 8 z pierwszego kanału wyjściowego 2c do drugiego kanału wyjściowego 2d. Następuje to na skutek zwiększenia sumarycznej mocy optycznej wejściowego sygnału optycznego do 12 mW, która jest większa od mocy przełączającej. Powrót sygnału wyjściowego 8 z drugiego kanału wyjściowego 2d do pierwszego następuje po zmniejszeniu liczby sygnałów składowych 51, 52, 53 wejściowego sygnału optycznego 5 propagowanych tym samym torem optycznym lub poprzez zmianę natężenia co najmniej jednego tych sygnałów do poziomu, przy którym sumaryczna moc optyczna będzie mniejsza od mocy przełączającej.

### Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób całkowitego optycznego przełączania sygnału optycznego w homogenicznej komórce ciekłokrystalicznej o zmiennej orientacji molekuł wypełnionej nematycznym ciekłym kryształem, w którym spolaryzowany liniowo sygnał optyczny, emitowany przez monochromatyczne źródło promieniowania elektromagnetycznego, propaguje się w homogenicznej komórce ciekłokrystalicznej o zmiennej orientacji molekuł w kierunku poprzecznym i podłużnym w postaci przestrzennego solitonu optycznego generowanego w skutek nieliniowości reorientacyjnej ciekłego kryształu o początkowej orientacji molekuł wymuszonej przez równoległe warstwy orientujące z mikro-rowkami zaprojektowanymi tak, że dla sygnału optycznego o liniowej polaryzacji pomiędzy warstwami orientującymi wytworzona jest struktura typu „Y” z kanałem wejściowym doprowadzającym wejściowy sygnał optyczny i dwoma kanałami wyjściowymi wyprowadzającymi sygnał wyjściowy, **znamienny tym**, że zmianę kierunku sygnału wyjściowego (8) pomiędzy dwoma kanałami wyjściowymi (2c, 2d) realizuje się przez zmianę natężenia wejściowego sygnału optycznego (5) propagowanego w kanale wejściowym (2b).
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zmianę natężenia wejściowego sygnału optycznego (5) uzyskuje się za pomocą optycznego kontrolera mocy źródła światła i polaryzacji zawierającego półfalową płytkę fazową (6) i polaryzator (7) w torze optycznym monochromatycznego źródła promieniowania elektromagnetycznego (4).

3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zmianę natężenia wejściowego sygnału optycznego (5) uzyskuje się przez zwiększenie lub zmniejszenie liczby jego sygnałów składowych (51, 52, 53) propagowanych tym samym torem optycznym.
4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że zmianę natężenia wejściowego sygnału optycznego (5) koniecznego do zmiany kierunku propagacji sygnału wyjściowego (8) uzyskuje się przez zmianę natężenia co najmniej jednego z jego sygnałów składowych (51, 52, 53) propagowanych tym samym torem optycznym.

### Rysunki

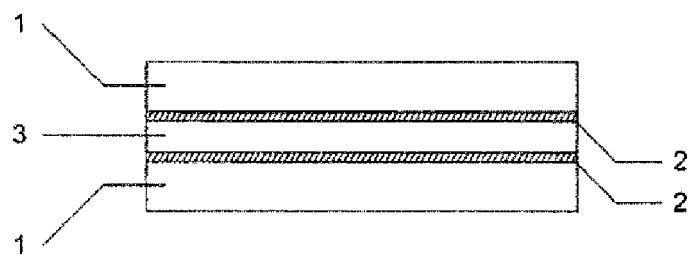


fig.1

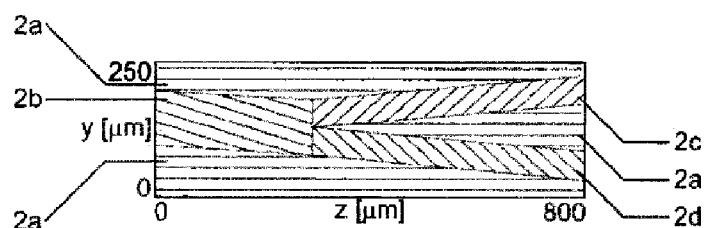


fig.2a

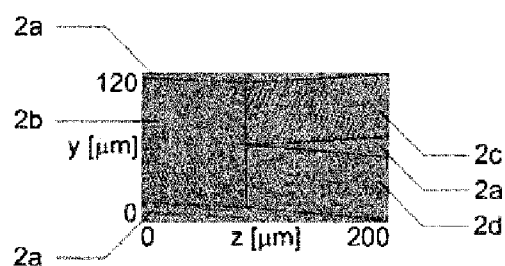


fig.2b

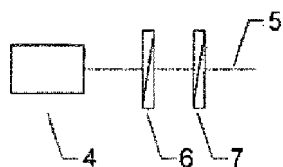


fig.3

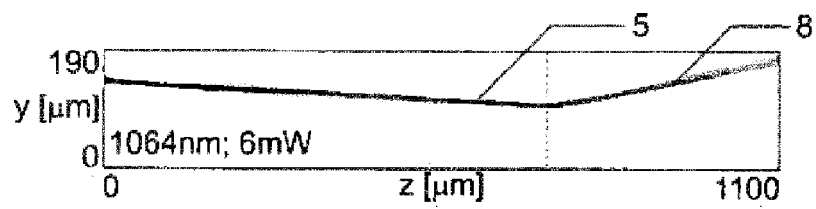


Fig. 4a

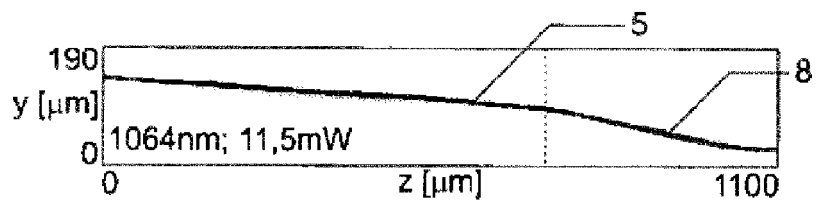


Fig. 4b

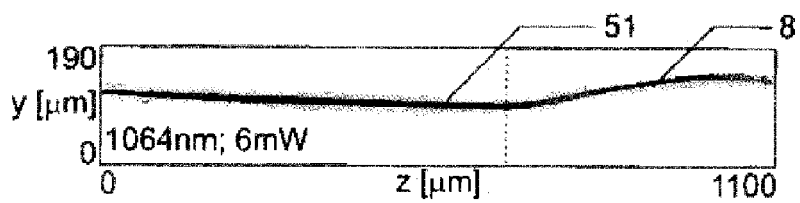


Fig. 5a

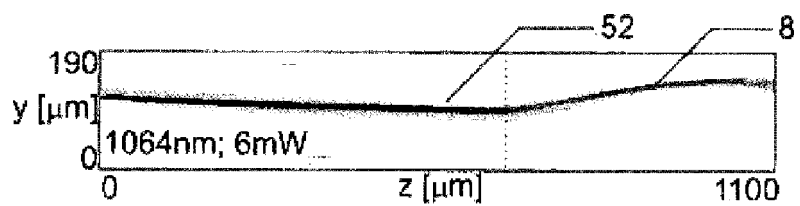


Fig. 5b

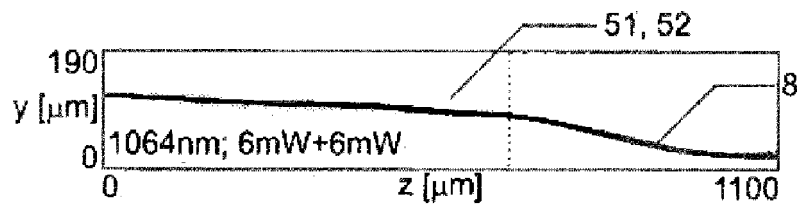


Fig. 5c

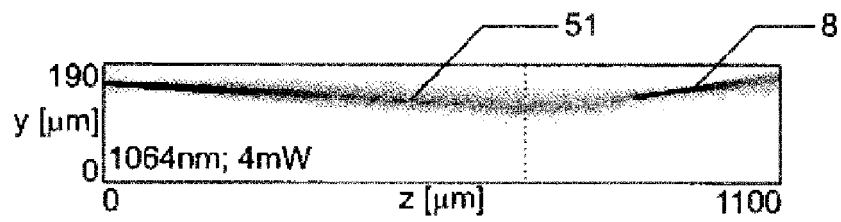


Fig. 6a

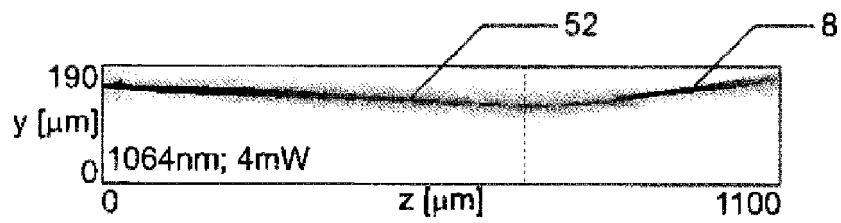


Fig. 6b

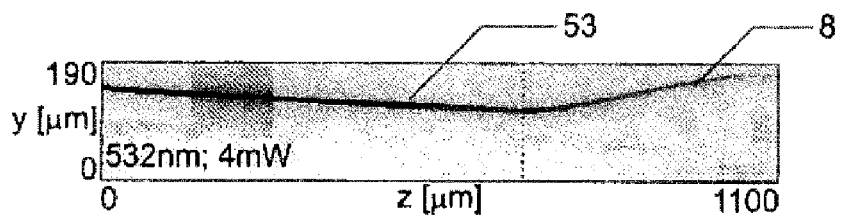


Fig. 6c

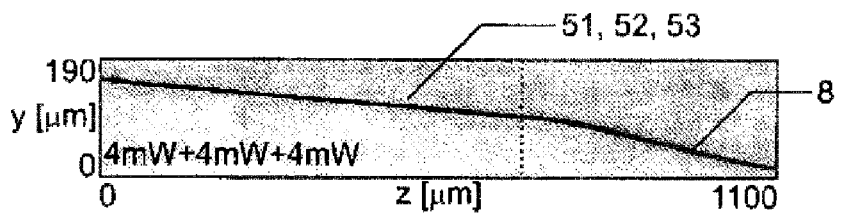


Fig. 6d