

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY** (19) **PL** (11) **225510**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **412751**

(51) Int.Cl.
G01N 21/23 (2006.01)
G01J 9/02 (2006.01)

(22) Data zgłoszenia: **17.06.2015**

(54) **Sposób pomiaru niewielkich zmian dwójłomności materiałów
i interferometr polaryzacyjny**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
01.02.2016 BUP 03/16

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
28.04.2017 WUP 04/17

(73) Uprawniony z patentu:
POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:
WŁADYSŁAW ARTUR WOŹNIAK, Oława, PL
PIOTR KURZYNOWSKI, Wrocław, PL
MONIKA BORWIŃSKA, Wrocław, PL
MARZENA PRĘTKA, Wrocław, PL

PL 225510 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób pomiaru niewielkich zmian dwójłomności materiałów oraz interferometr polaryzacyjny.

Z patentu Pat. 211200 znany jest sposób pomiaru dwójłomności materiału i układ do pomiaru dwójłomności materiału. Sposób, polega na tym, że tworzy się monochromatyczną płaską falę świetlną z użyciem źródła światła wraz z kolimatorem, biegnącą wzdłuż osi optycznej układu, którą polaryzuje się liniowo w polaryzatorze, po czym falę świetlną moduluje się zmienną różnicą faz wnoszoną przez pierwszy pryzmat Wollastona. Zmodulowaną falę kieruje się na płytkę płasko-równoległą, wykonaną z badanego materiału dwójłomnego, po czym falę świetlną moduluje się ponownie zmienną różnicą faz wnoszoną przez drugi pryzmat Wollastona, przy czym kierunki obu modulacji fali świetlnej zgodne są z kątami azymutów pryzmatów i wynoszą odpowiednio $\alpha_1=45^\circ$ i $\alpha_2=0^\circ$. Następnie wytwarza się pole interferencyjne w wyniku przejścia fali świetlnej przez analizator, po czym rejestruje się kamerą siatkę w postaci wirów optycznych, stanowiących izolowane punkty o zerowej wartości natężenia światła, o nieokreślonej fazie fali świetlnej w tych punktach. Układ znany z tego samego patentu ma wzdłuż wiązki światła zestawione źródło światła, kolimator, polaryzator ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_p=0^\circ$, pierwszy pryzmat Wollastona ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_1=45^\circ$, drugi pryzmat Wollastona ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_2=0^\circ$, analizator ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_A=45^\circ$ oraz kamerę podłączoną do komputera, przy czym pomiędzy pierwszym pryzmatem Wollastona i drugim pryzmatem Wollastona jest umieszczona płytka płasko równoległa wykonana z badanego materiału dwójłomnego.

Z polskiego opisu patentowego nr 323398 znany jest sposób badania struktury wewnętrznej dwójłomnej warstwy przezroczystej, stosowany do badania dwójłomności kryształów, polimerów, ciekłych kryształów, jak również struktury wewnętrznej rogówki oka. Sposób polega na tym, że wiązkę światła laserowego polaryzuje się, generuje różne stany polaryzacji, rozszerza i kieruje na badaną warstwę. Po przejściu przez warstwę wiązkę światła laserowego analizuje się przy różnych kątach azymutu, rejestruje natężenie światła, następnie wiązkę światła przekształca na sygnał elektryczny, zamienia na sygnał cyfrowy, zapamiętuje, poddaje obróbce cyfrowej oraz wyznacza rozkłady kąta azymutu i opóźnienia fazowego badanej warstwy.

Z polskiego opisu patentowego nr 323400 znane jest urządzenie do badania struktury wewnętrznej dwójłomnej warstwy przezroczystej. Urządzenie charakteryzuje się tym, że wiązka światła z lasera poprzez polaryzator, płytkę ćwierćfalową i kolimator pada na badaną warstwę, przez którą przechodzi i rozprasza się na matówce. Następnie ponownie przechodzi przez badaną warstwę, analizator i jest kierowana do kamery, z której sygnał elektryczny przez kartę obrazową jest przesyłany do komputera.

Znane jest też z polskiego opisu patentowego nr 323401 urządzenie do badania struktury wewnętrznej dwójłomnej warstwy przezroczystej, w którym wiązka światła z lasera poprzez polaryzator, płytkę ćwierćfalową i kolimator, badaną warstwę i analizator jest kierowana do kamery, z której sygnał elektryczny przez kartę obrazową jest przesyłany do komputera.

Istota sposobu według wynalazku polega na tym, że używając koherentnego źródła światła oraz kolimatora tworzy się monochromatyczną płaską falę świetlną, biegnącą wzdłuż osi optycznej układu, którą to falę polaryzuje się liniowo w polaryzatorze, po czym stan polaryzacji tej fali świetlnej, a dokładniej: jej kąt eliptyczności moduluje się przestrzennie zmienną różnicą faz, wnoszoną przez kompensator Wollastona. Zmodulowaną falę świetlną kieruje się na zespół złożony z płytki płasko-równoległej wykonanej z badanego materiału dwójłomnego oraz ciekłokrystalicznego przesuwnika fazowego, które to elementy zmieniają stan polaryzacji przechodzącego przez nie światła w zależności od dwójłomności badanego materiału i różnicy faz wprowadzanej przez przesuwnik, następnie wytwarza się interferencyjne pole świetlne w wyniku przejścia fali świetlnej przez odpowiedni analizator liniowy. Powstały układ prążków interferencyjnych o zmiennym kontraście i położeniu jest rejestrowany za pomocą kamery CCD sprzężonej z komputerem. W komputerze analizuje się układ prążków poprzez obliczenie numerycznej transformaty Fouriera otrzymanego rozkładu natężenia światła a następnie, dzięki znajomości wyznaczonej uprzednio częstości nośnej prążków, oblicza różnicę faz wprowadzaną przez badany materiał dwójłomny.

W wariacie wynalazku wytwarza się interferencyjne pole świetlne w wyniku przejścia fali świetlnej przez analizator kołowy, wykonany z liniowej płytki ćwierćfalowej i analizatora liniowego.

Interferometr polaryzacyjny według wynalazku w układzie skrzyżowanego polaryskopu liniowego, ma zestawione wzdłuż wiązki światła następujące elementy: koherentne źródło światła, kolimator, polaryzator liniowy ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_p=45^\circ$, kompensator Wollastona ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_w=0^\circ$, zespół: badany materiał dwójłomny w postaci płytki płasko-równoległej i ciekłokrystaliczny przesuwnik fazowy pod kątem azymutu α zdążającym do $22,5^\circ$, analizator liniowy ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_A=-45^\circ$ oraz kamerę CCD podłączoną do komputera.

W wariacie wynalazku interferometr polaryzacyjny zbudowany jest w układzie polaryskopu liniowo-kołowego, w którym zespół złożony z płytki płasko-równoległej wykonanej z badanego materiału dwójłomnego oraz ciekłokrystalicznego przesuwnika fazowego ustawiony jest pod kątem azymutu α zdążającym do 45° , natomiast między tym zespołem a analizatorem liniowym A ma liniową płytkę ćwierćfalową C ustawioną pod kątem azymutu $\alpha_c=0^\circ$ tworząc analizator kołowy.

Zaletą układu jest brak jakichkolwiek elementów ruchomych – co prawda, układ wymaga obrotów poszczególnych elementów w trakcie jego justowania ale podczas wykonywania pomiarów niewielkich zmian dwójłomności badanego obiektu np. wywołanych zmianami przyłożonego zewnętrznego pola elektrycznego, magnetycznego, zmianami temperatury bądź naprężeniami (ciśnienie), wszystkie elementy układu są nieruchome; zmieniane jest jedynie napięcie przyłożone do ciekłokrystalicznego przesuwnika fazowego, które zmienia różnicę faz między interferującymi falami świetlnymi. Kąt azymutu badanej próbki oraz kąt azymutu kompensującego przesuwnika fazowego (α) są tak dobrane, że są nieznacznie różne od krytycznej wartości $22,5^\circ$ bądź 45° , liczonej względem kąta azymutu stojącego przed nimi kompensatora Wollastona, przyjętego jako $\alpha_w=0^\circ$ – powoduje to, że w prezentowanych układach wciąż widoczny jest układ prążków interferencyjnych i, choć kontrast tych prążków drastycznie maleje, przesuwają się one szybciej ze zmianą mierzonej różnicy faz materiału niż w innych układach. Przesunięcie wytworzonych prążków interferencyjnych mierzone jest poprzez analizę fourierowską otrzymanego obrazu, co pozwala na ominięcie problemu niskiego kontrastu prążków.

Przedmiot wynalazku jest objaśniony na rysunkach, który przedstawiają schematy blokowe dwóch wersji interferometru polaryzacyjnego z kompensatorem Wollastona i ciekłokrystalicznym przesuwnikiem fazowym oraz w przykładach wykonania.

P r z y k ł a d 1

Sposób pomiaru niewielkich zmian dwójłomności materiałów polega na tym, że używając koherentnego źródła światła Z oraz kolimatora K tworzy się monochromatyczną płaską falę świetlną, biegnącą wzdłuż osi optycznej układu, którą to falę polaryzuje się liniowo w polaryzatorze liniowym P, po czym stan polaryzacji tej fali świetlnej, a dokładniej: jej kąt eliptyczności moduluje się przestrzennie zmienną różnicą faz, wnoszoną przez kompensator Wollastona WC. Zmodulowaną falę świetlną kieruje się na zespół złożony z płytki płasko-równoległej wykonanej z badanego materiału dwójłomnego M oraz ciekłokrystalicznego przesuwnika fazowego LCM, które to elementy zmieniają stan polaryzacji przechodzącego przez nie światła w zależności od dwójłomności badanego materiału i różnicy faz wprowadzanej przez przesuwnik, następnie wytwarza się interferencyjne pole świetlne w wyniku przejścia fali świetlnej przez analizator liniowy A. Powstały układ prążków interferencyjnych o zmiennym kontraście i położeniu jest rejestrowany za pomocą kamery CCD sprzężonej z komputerem PC. W komputerze PC analizuje się układ prążków poprzez obliczenie numerycznej transformaty Fouriera otrzymanego rozkładu natężenia światła a następnie, dzięki znajomości wyznaczonej uprzednio częstości nośnej prążków, oblicza różnicę faz wprowadzaną przez badany materiał dwójłomny.

P r z y k ł a d 2

Sposób jak w przykładzie 1, z tą różnicą, że wytwarza się interferencyjne pole świetlne w wyniku przejścia fali świetlnej przez analizator kołowy, wykonany z liniowej płytki ćwierćfalowej C i analizatora liniowego A.

P r z y k ł a d 3

Interferometr polaryzacyjny w układzie skrzyżowanego polaryskopu liniowego ma zestawione wzdłuż wiązki światła następujące elementy: koherentne źródło światła Z, kolimator K, polaryzator liniowy P ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_p=45^\circ$, kompensator Wollastona WC ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_w=0^\circ$, zespół złożony z płytki płasko-równoległej wykonanej z badanego materiału dwójłomnego M oraz ciekłokrystalicznego przesuwnika fazowego LCM pod kątem azymutu α zdążającym do $22,5^\circ$, analizator liniowy A ustawiony pod kątem azymutu ($\alpha_a=-45^\circ$ oraz kamerę CCD podłączoną do komputera PC. Łączna różnica faz wprowadzana przez zespół: badany materiał dwójłomny M i ciekłokrystaliczny przesuwnik fazowy LCM zbliża się do wartości $\lambda/2$.

Przykład 4

Interferometr polaryzacyjny jak w przykładzie 3, z tą różnicą, że zbudowany jest w układzie polaryskopu liniowo-kołowego, w którym zespół złożony z płytki płasko-równoległej wykonanej z badanego materiału dwójłomnego M oraz ciekłokrystalicznego przesuwnika fazowego LCM ustawiony jest pod kątem azymutu α zdążającym do 45° , natomiast między tym zespołem a analizatorem liniowym A ma liniową płytkę ćwierćfalową C ustawioną pod kątem azymutu $\alpha_c=0^\circ$ tworząc analizator kołowy. Łączna różnica faz wprowadzana przez zespół: badany materiał dwójłomny M i ciekłokrystaliczny przesuwnik fazowy LCM zbliża się do wartości $\lambda/4$.

Działanie metody pomiarowej i układu według wynalazku polega na tym, że zespół: badany materiał dwójłomny i ciekłokrystaliczny przesuwnik fazowy umieszczony jest (względem kąta azymutu kompensatora Wollastona $\alpha_w=0^\circ$, który to kompensator tworzy interferencyjne pole pomiarowe) pod kątem azymutu nieznacznie różniącym się, w zależności od wersji układu, od $22,5^\circ$ bądź 45° . To ustawienie azymutalne powoduje, że na wyjściu układu wciąż tworzą się prążki interferencyjne (nie byłoby ich dla kąta azymutu materiału równego dokładnie $22,5^\circ$ bądź 45°) i, choć ich kontrast gwałtownie spada wraz ze zbliżaniem się do krytycznej wartości kąta azymutu $22,5^\circ$ bądź 45° , są one wciąż obserwowalne dzięki zastosowaniu technik transformacji Fouriera. Z kolei zmiana położenia prążków (ich przesunięcie) silnie i nieliniowo zależy od różnicy faz, wprowadzanej przez badany materiał dwójłomny, jeśli tylko łączna różnica faz wprowadzana przez zespół: badany materiał i ciekłokrystaliczny przesuwnik fazowy zbliża się do wartości $\lambda/2$ dla pierwszego układu bądź $\lambda/4$ dla drugiego układu (gdzie λ jest długością fali użytego światła). W ten sposób czułość układu – obserwowana wartość przesunięcia prążków interferencyjnych jako efekt wyznaczonej różnicy faz wprowadzanej przez materiał dwójłomny a w rezultacie badana zmiana dwójłomności materiału – gwałtownie rośnie i zależy od możliwości kontroli ustawienia azymutalnego zespołu: badany element i przesuwnik fazowy. Wersja interferometru wg przykładu 4 różni się od interferometru wg przykładu 3 ustawieniem azymutalnym zespołu: badana próbka i ciekłokrystaliczny przesuwnik fazowy oraz dołożeniem dodatkowego elementu polaryzacyjnego – liniowej płytki ćwierćfalowej, która wraz z analizatorem liniowym tworzy analizator kołowy.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób pomiaru niewielkich zmian dwójłomności materiałów, wywołanych niewielkimi zmianami różnicy faz wprowadzanej przez materiały dwójłomne między ich falami własnymi, w którym używając koherentnego źródła światła oraz kolimatora tworzy się monochromatyczną płaską falę świetlną, biegnącą wzdłuż osi optycznej układu, którą to falę polaryzuje się liniowo w polaryzatorze liniowym, po czym stan polaryzacji tej fali świetlnej, a dokładniej: jej kąt eliptyczności moduluje się przestrzennie zmienną różnicą faz, wnoszoną przez kompensator Wollastona, dzięki czemu powstaje fala świetlna o lokalnie zmodulowanym zmiennym kącie eliptyczności, zawartym w przedziale od -45° do $+45^\circ$ wzdłuż osi poziomej wiązki światła, **znamienny tym**, że tak uformowaną wiązkę kieruje się na zespół złożony z płytki płasko-równoległej wykonanej z badanego materiału dwójłomnego (M) oraz ciekłokrystalicznego przesuwnika fazowego (LCM) pod kątem azymutu α zdążającym do $22,5^\circ$, analizator liniowy (A) ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_A=-45^\circ$, po czym przetwarza się zmieniony stan polaryzacji wiązki w zmienny rozkład natężenia światła i rejestruje się go kamerą (CCD) podłączoną do komputera (PC) gdzie następuje jego analiza fourierowska i w efekcie obliczana jest zmiana różnicy faz, wprowadzana przez badany materiał dwójłomny.

2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że wytwarza się interferencyjne pole świetlne w wyniku przejścia fali świetlnej przez analizator kołowy, wykonany z liniowej płytki ćwierćfalowej (C) i analizatora liniowego (A), znajdujących się pomiędzy ciekłokrystalicznym przesuwnikiem fazowym (LCM) a kamerą (CCD).

3. Interferometr polaryzacyjny do pomiaru niewielkich zmian wprowadzanej różnicy faz, zawierający zestawione wzdłuż wiązki światła: koherentne źródło światła, kolimator, polaryzator liniowy, kompensator Wollastona, a za badanym materiałem dwójłomnym kamerą podłączoną do komputera, **znamienny tym**, że polaryzator liniowy (P) ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_p=45^\circ$, kompensator Wollastona (WC) ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_w=0^\circ$ a za kompensatorem Wollastona (WC) znajduje się zespół złożony z płytki płasko-równoległej wykonanej z badanego materiału dwójłomnego (M) oraz

ciekrokystalicznego przesuwника fazowego (LCM) pod kątem azymutu α zdążającym do $22,5^\circ$, analizator liniowy A ustawiony pod kątem azymutu $\alpha_A = -45^\circ$.

4. Interferometr według zastrz. 3, **znamienny tym**, że między zespołem złożonym z płytki płasko-równoległej wykonanej z badanego materiału dwójłomnego (M) oraz ciekrokystalicznego przesuwника fazowego (LCM) a analizatorem liniowym (A), znajduje się liniowa płytka ćwierćfalowa (C) ustawiona pod kątem azymutu $\alpha_c = 0^\circ$.

Rysunki

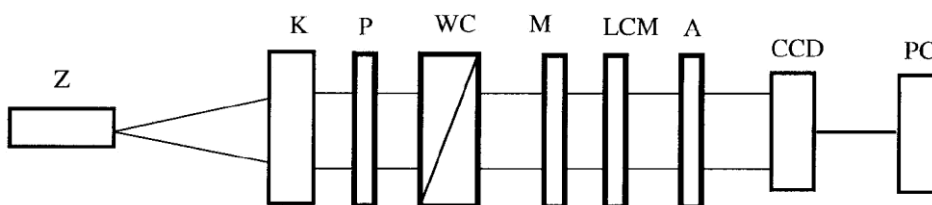


Fig. 1

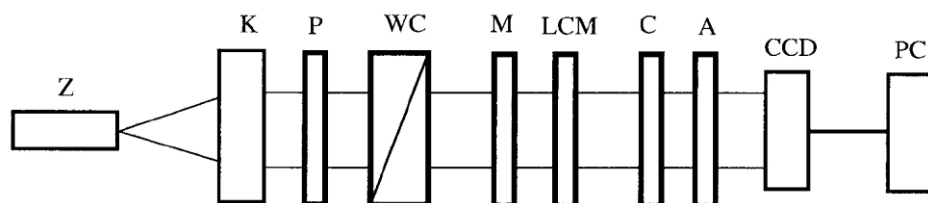


Fig. 2

