

POLSKA
RZECZPOSPOLITA
LUDOWA



URZĄD
PATENTOWY
PRL

OPIS PATENTOWY

59172

Patent dodatkowy
do patentu _____

Zgłoszono: 28.IX.1966 (P 113 936)

Pierwszeństwo: _____

Opublikowano: 31.I.1970

Kl. 42 h, 15/01

MKP G 02 b

27/26

UKD

Twórca wynalazku: mgr Maksymilian Pluta

Właściciel patentu: Centralne Laboratorium Optyki, Warszawa (Polska)

Urządzenie półcieniowe do mikroskopu interferencyjno-polaryzacyjnego

1

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie półcieniowe do mikroskopu interferencyjno-polaryzacyjnego przeznaczone do dokładnego pomiaru różnicy dróg optycznych (przesunięcia fazowego światła) metodą zrównywania jasności dwóch pól w obrazie interferencyjnym badanego przedmiotu mikroskopowego.

W dotychczas znanych interferometrycznych urządzeniach półcieniowych jako element półcieniowy stosowana jest cienka izotropowa warstwa przezroczysta z ostrym pionowym uskokiem umieszczona w płaszczyźnie obrazowej obiektywu mikroskopowego, bądź też pasek cienkiej warstwy metalicznej naparowanej na szklanej płytce, umieszczonej pod pewnym kątem do osi optycznej mikroskopu (również w płaszczyźnie obrazowej obiektywu) i wytwarzającej pożądaną zmianę fazy między spolaryzowanymi promieniami świetlnymi odbitymi od paska metalicznego i powierzchni szklanej.

Pierwsze rozwiązanie może być stosowane jedynie w zwykłych układach mikrointerferencyjnych, a drugie — w układach interferencyjno-polaryzacyjnych, jednak zakres jego stosowania jest ograniczony do pewnego typu mikroskopów interferencyjno-polaryzacyjnych, nie nadaje się na przykład do mikroskopu interferencyjno-polaryzacyjnego z pryzmatami dwójłomnymi, a poza tym jego wykonawstwo jest kłopotliwe i kosztowne.

Celem wynalazku jest usunięcie tych niedogod-

2

ności, czyli rozszerzenie zakresu stosowania metody półcieniowej na inne typy mikroskopów interferencyjno-polaryzacyjnych, w szczególności mikroskopu z pryzmatami dwójłomnymi Wollastona oraz ułatwianie wykonawstwa urządzeń półcieniowych i udoskonalenie metodyki pomiaru różnicy drogi optycznej za pomocą tych urządzeń.

Zgodnie z wytyczonym zadaniem powyższy cel osiągnięto dzięki zastosowaniu w mikrointerferometrycznym urządzeniu półcieniowym, jako elementu półcieniowego wąskiego pasa cienkiej błony lub płytki dwójłomnej, wytwarzającej między promieniami świetlnymi różnicę dróg optycznych równą połowie długości fali świetlnej.

W urządzeniu półcieniowym do mikroskopu interferencyjno-polaryzacyjnego według wynalazku, płytka lub błona dwójłomna umieszczona jest w płaszczyźnie obrazowej obiektywu mikroskopu tak, aby przynajmniej jedna jej krawędź była równoległa do jednego z głównych kierunków drgań światła zastosowanego materiału dwójłomnego, a równocześnie ustawiona pod kątem 45° do płaszczyzny drgań światła umieszczonego za nią filtru polaryzacyjnego (analizatora).

Urządzenie według wynalazku jest dokładnie wyjaśnione na podstawie przykładu jego wykonania.

Przedmiot wynalazku jest uwidoczniony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schemat układu optycznego mikrosko-

pu interferencyjno-polaryzacyjnego z pryzmatami dwójłomnymi Wollastona oraz z urządzeniem półcieniowym będącym przedmiotem niniejszego wynalazku, fig. 2 — przysłonę szczelinową kondensora w widoku z góry, fig. 3 — pasek półfalowej błony lub płytki dwójłomnej w widoku z góry, fig. 4 — schemat innego wariantu urządzenia półcieniowego z okularem z zewnętrzną płaszczyzną przedmiotową, fig. 5 — schemat wzajemnego ustawienia elementów polaryzacyjno-dwójłomnych mikroskopu przedstawionego na fig. 1, fig. 6 — pole widzenia okulara półcieniowego w przypadku zerowego ustawienia pryzmatu dwójłomnego branego tu pod uwagę przykładowo mikroskopu interferencyjno-polaryzacyjnego, którego schemat układu optycznego przedstawiono na fig. 1, fig. 7 — pole widzenia okulara półcieniowego w przypadku ustawienia pryzmatu dwójłomnego na jednakową jasność tła pola widzenia w obrębie półfalówki i poza półfalówkę, fig. 8 — pole widzenia okulara półcieniowego w przypadku ustawienia pryzmatu dwójłomnego na jednakową jasność w obrębie półfalówki i poza nią jednego z rozdwojonych obrazów badanego przedmiotu, fig. 9 — pole widzenia okulara półcieniowego w przypadku ustawienia pryzmatu dwójłomnego na jednakową jasność w obrębie półfalówki i poza nią drugiego z rozdwojonych obrazów badanego przedmiotu; fig. 10 — schemat okulara półcieniowego wraz z układem optycznym zezwalającym równocześnie na obserwację obrazu interferencyjnego oraz na pomiar poprzecznych przesuwów pryzmatu dwójłomnego w czasie pomiaru różnicy drogi optycznej badanych przedmiotów.

Jak uwidoczniło na fig. 1 i 4 podstawowymi elementami urządzenia półcieniowego U, stanowiącego przedmiot niniejszego wynalazku, są: błona lub płytka dwójłomna półfalowa PF, wycięta w postaci wąskiego paska równoległego do jednego z jej głównych kierunków drgań światła i ewentualnie wklejona między dwie szklane płytki, okular typu Huyensa (fig. 1) lub Ramsdena (fig. 4), składający się w najprostszym przypadku z dwóch soczewek L_1 i L_2 , oraz filtr polaryzacyjny (analyzer) A. Pozostałe elementy układu optycznego mikroskopu to: polaryzator P, przysłona szczelinowa D, kondensator K, przedmiot badany B, obiektyw mikroskopu Ob, oraz pryzmaty dwójłomne Wollastona W_1 i W_2 .

Płytkę półfalową PF, umieszczona jest w płaszczyźnie przedmiotowej π' okulara mikroskopowego. Ponieważ w okularze typu Huyensa płaszczyzna przedmiotowa znajduje się pomiędzy soczewkami L_1 i L_2 (fig. 1), korzystniejsze jest stosowanie do urządzenia półcieniowego okulara typu Ramsdena (fig. 4), w którym płaszczyzna przedmiotowa znajduje się przed soczewkami L_1 i L_2 . Analyzer A umieszczony jest w obu przypadkach za półfalówką PF, patrząc od strony obiektywu mikroskopu Ob. Półfalówka PF i filtr polaryzacyjny A powinny być ustawione względem pozostałych elementów interferencyjno-polaryzacyjnych mikroskopu w sposób przedstawiony na fig. 5, gdzie PP oznacza kierunek drgań fali świetlnej w polaryzatorze P, AA — kierunek drgań fali

światłnej w analizatorze A, SS — kierunek szczeliny w przysłonie D kondensatora K, k_r — kierunek krawędzi łamiącej pryzmatu dwójłomnego W_1 (jest to krawędź przy kącie α_1), PF — pasek półfalówki.

Płaszczyzna drgań światła polaryzatora P i analizatora A są ustawione względem siebie prostopadle, a z krawędzią łamiącą k_r pryzmatu dwójłomnego W_1 obie płaszczyzny tworzą kąt 45° , zaś szczelina S ustawiona jest równoległa do tej krawędzi, a pasek półfalówki PF — prostopadle.

Wychodząca z kondensatora K płaska fala świetlna, liniowo spolaryzowana przez polaryzator P, ulega na przedmiocie B, umieszczonym w płaszczyźnie przedmiotowej π obiektywu Ob, lokalnym deformacjom (przesunięciom fazy) odpowiednio do występujących w przedmiocie różnic dróg optycznych. Zdeformowana fala świetlna po przejściu przez obiektyw Ob zostaje rozdwojona przez układ pryzmatów dwójłomnych W_2 i W_1 na dwie fale: zwyczajną i nadzwyczajną, z których każda niesie obraz fazowy badanego przedmiotu, przy czym jedna fala spolaryzowana jest w kierunku prostopadłym, a druga równoległym do krawędzi łamiącej k_r pryzmatu dwójłomnego W_1 (fig. 1 i 5).

Analyzer A przepuszcza tylko składowe fale równoległe do własnego kierunku drgań światła. Składowe te mogą ze sobą interferować i w płaszczyźnie obrazowej π' obiektywu Ob, która zarazem jest płaszczyzną przedmiotową okulara L_1 , L_2 , tworzą obraz interferencyjny w postaci jednorodnego pola widzenia i rozdwojonych obrazów badanego przedmiotu o jasności zależnej od jego grubości i współczynnika załamania, czyli od różnicy drogi optycznej δ . Jasność pola widzenia i rozdwojonych obrazów przedmiotu zależy przy tym od przesunięcia fazowego między interferującymi falami, wywołanego przez układ pryzmatów dwójłomnych W_1 i W_2 . To przesunięcie fazowe można dowolnie zmieniać przesuwając pryzmat dwójłomny W_1 w kierunku poprzecznym do osi mikroskopu zaznaczonym na fig. 1 strzałką p.

W szczególności pryzmat W_1 można tak ustawić, że nie wprowadzi on żadnego przesunięcia fazowego między interferującymi falami świetlnymi. Jest to zerowe położenie P_0 tego pryzmatu. Wówczas tło pola widzenia mikroskopu jest ciemne, a rozdwojone obrazy badanego przedmiotu — jasne. Przesuwając pryzmat dwójłomny W_1 w jednym lub drugim kierunku od położenia zerowego P_0 do położenia P_1 , przy którym otrzymuje się maksymalne zaciemnienie (w zerowym rzędzie interferencyjnym) jednego lub drugiego rozdwojonego obrazu badanego przedmiotu, różnicę dróg optycznych δ przedmiotu B można wyznaczyć ze wzoru

$$\delta = (P_1 - P_0) \Delta P \quad (1)$$

gdzie ΔP jest wartością stałą, wyrażającą różnicę dróg optycznych między interferującymi falami przypadającą na jednostkę poprzecznego przesuwu pryzmatu dwójłomnego W_1 .

Wizualna ocena maksymalnego zaciemnienia tła pola widzenia, a następnie jednego lub drugiego z rozdwojonych obrazów badanego przedmiotu, jest jednak dość subiektywna i niepewna. Oko bowiem nie jest zbyt czułe na uchwycenie minimum lub

maksimum jasności, natomiast bardzo dobrze ocenia równość jasności dwóch (lub większej ilości) sąsiadujących ze sobą pól. Ta właściwość oka jest wykorzystana przy pomiarze różnicy dróg optycznych za pomocą urządzenia półcieniowego.

W urządzeniu będącym przedmiotem niniejszego wynalazku, w celu wykorzystania powyższej właściwości oka, umieszczono w płaszczyźnie obrazowej π' obiektywu mikroskopu interferencyjno-polaryzującego wąski pasek **PF**, wycięty z płytki lub błonki dwójłomnej półfalowej równolegle do jednego z jej głównych kierunków drgań światła i tak ustawionego względem pryzmatu dwójłomnego **W**₁, aby kierunki drgań rozdwojonych fal świetlnych wychodzących z tego pryzmatu pokrywały się z kierunkami drgań w płycie półfalowej. Wówczas w obszarze półfalówki **PF** interferujące fale świetlne doznają dodatkowego przesunięcia fazowego o $\lambda/2$ (λ — długość fali użytego światła), podczas gdy poza półfalówką zachowują pierwotne przesunięcie fazowe (w szczególności zerowe).

Ustawiając badany przedmiot **B** (na przykład czerwoną krwinkę lub inną komórkę biologiczną) tak, aby jego rozdwojone obrazy **B**₁ i **B**₂ utworzyły się częściowo w obrębie półfalówki, a częściowo poza nią, otrzymuje się w polu widzenia mikroskopu, przy zerowym położeniu **P**₀ pryzmatu dwójłomnego **W**₁ (fig. 1), ogólny obraz jak na fig. 6. Tło pola widzenia poza półfalówką **PF** jest czarne, gdyż tutaj różnica drogi optycznej Δ między interferującymi falami świetlnymi równa się zero ($\Delta = 0$), a w obrębie półfalówki **PF** — maksymalnie jasne, gdyż tutaj $\Delta = \lambda/2$, rozdwojone obrazy **B**₁ i **B**₂ badanego przedmiotu poza półfalówką **PF** są jednakowo jasne, gdyż $\Delta = \delta$ (δ — różnica dróg optycznych wprowadzona przez badany przedmiot **B**) a w obrębie półfalówki jasność obu obrazów jest w ogólności różna, gdyż odpowiednio w jednym z nich różnica drogi optycznej Δ między interferującymi falami świetlnymi równa się $\lambda/2 + \delta$, a w drugim $\lambda/2 - \delta$.

Przesuwając następnie pryzmat dwójłomny **W**₁ w kierunku strzałki **p** w jedną lub drugą stronę od położenia zerowego do pewnego położenia **P'**₀, przy którym w obrębie półfalówki **PF** i poza nią powstaje między interferującymi falami świetlnymi ta sama różnica dróg optycznych $\Delta = \frac{\lambda}{4}$, otrzymuje się ogólny obraz w mikroskopie jak na fig. 7. Jasność tła pola widzenia w obrębie półfalówki **PF** i poza nią jest taka sama, podczas gdy jasność pól obrazów **B**₁ i **B**₂ w obrębie półfalówki **PF** i poza nią są w ogólności różne. Przesuwając pryzmat dwójłomny **W**₁ w kierunku strzałki **p** w jedną lub drugą stronę od położenia **P'**₀ można dla pewnego położenia **p**₁ pryzmatu **W**₁ sprowadzić różnicę dróg optycznych Δ w jednym lub drugim obrazie (**B**₁ lub **B**₂) do wartości $\Delta = \frac{\lambda}{4}$ i tym samym uzyskać wyrównanie ich jasności w obrębie półfalówki i poza nią (fig. 8 i 9). Różnica położenia **P'**₁ — **P'**₀ pryzmatu **W**₁ jest miarą różnicy drogi optycznej δ badanego przedmiotu:

$$\delta = (p'_1 - p'_0) \Delta p \quad (2)$$

gdzie Δp jest tą samą stałą co we wzorze (1).

Wartość **P'**₁ — **P'**₀ przesuwu poprzecznego pryzmatu dwójłomnego **W**₁ równa się poprzednio określonej wartości **P**₁ — **P**₀ z tym, że teraz może ona być o wiele dokładniej wyznaczona, ponieważ nastawienie pryzmatu dwójłomnego **W**₁ na jednakową jasność tła pola widzenia i pola jednego lub drugiego obrazu badanego przedmiotu, jest dokładniejsze niż ustawienie na minimum jasności. Dokładność pomiaru różnicy dróg optycznych δ za pomocą mikroskopu interferencyjno-polaryzacyjnego z zastosowaniem urządzenia półcieniowego będącego przedmiotem niniejszego wynalazku wzrasta kilkakrotnie i może wynosić $\lambda/500 \div \lambda/1000$.

Szczególnie jest ono przydatne przy pomiarze różnicy dróg optycznych mikroobektów niejednorodnych, takich na przykład jak komórki biologiczne. Obrazy badanego przedmiotu nie muszą być przy tym całkowicie rozdwojone lecz przynajmniej w 50%.

W przypadku jednorodnych przedmiotów, jak na przykład cienkie warstwy lub płytki, pomiar jest możliwy nawet przy małym częściowym rozdwojeniu obrazów.

Jeżeli badany przedmiot jest mały i jego obrazy są całkowicie rozdwojone, jak to przedstawiono na fig. 6—9, to można nie wyznaczać wyjściowego położenia **p'**₀ pryzmatu dwójłomnego **W**₁ lecz mierzyć różnicę położenia **P'**₁ i **P'**₂, przy którym wyrównana jest jasność pól w jednym — a następnie w drugim obrazie (fig. 8 i 9). Wówczas pomiar różnicy dróg optycznych δ jest dwukrotnie dokładniejszy:

$$\delta = \frac{1}{2} (p'_2 - p'_1) \Delta p \quad (3)$$

Pomiar wartości **P'**₁ — **P'**₀ (wzór 2) lub **P'**₂ — **P'**₁ (wzór 3) przeprowadza się sprzegając pryzmat dwójłomny **W**₁ ze śrubą mikrometryczną lub czujnikiem zegarowym albo sposobem według wynalazku wyjaśnionym na fig. 10. Układ przedstawiony na fig. 10 tym się różni od poprzedniego (fig. 1 i 4), że zawiera dodatkowo płytkę mikrometryczną **M** związaną z pryzmatem dwójłomnym **W**₁ oraz dwie soczewki: ujemną **S**₁ i dodatnią **S**₂, z których pierwsza (**S**₁) jest przesuwana w kierunku poprzecznym do osi mikroskopu i można ją wyłączać i włączać w bieg promieni świetlnych. Jeśli mianowicie soczewka **S**₁ jest włączona w bieg promieni świetlnych, jak to zaznaczono na rysunku, to wówczas przez układ soczewek **S**₁ i **S**₂ oraz okular **Ok** obserwuje się obraz interferencyjny badanego przedmiotu.

Jeśli natomiast soczewka **S**₁ jest wyłączona, to przez układ złożony z soczewki **S**₂ i okular **Ok** obserwuje się podziałkę na płytce mikrometrycznej **M**. Wartości podziałki odczytuje się według wskaźnika (na przykład w postaci kreski) naniesionego na jednej z płytek szklanych, między którymi zaklejona jest półfalówka **PF**. Wskaźnik ten jak i pasek półfalówki znajdują się w ognisku okulara **Ok**. Ogniskowe soczewek **S**₁ i **S**₂ są tak dobrane, aby dla zadanej odległości obrazowej obiektywu **Ob** nie zachodziła konieczność przeogniskowywania okulara **Ok** lub obiektywu **Ob**, kiedy przechodzi się od obserwacji obrazu interferencyjnego (so-

czewka S_1 jest włączona) do obserwacji podziałki na płytce mikrometrycznej.

Warunek ten jest spełniony, jeśli soczewki S_1 i S_2 znajdują się blisko siebie i ich ogniskowe f_1 i f_2 , co do bezwzględnej wartości są sobie równe lub ogniskowa f_1 soczewki S_1 jest nieznacznie mniejsza od ogniskowej soczewki S_2 . Stosując okular Ok o powiększeniu na przykład 15x i soczewkę S_2 o ogniskowej $f_2 = 40$ mm, ogniskowa soczewki S_1 wynosi około 35 mm (dla typowych obiektywów mikroskopowych korygowanych na długość tubusa 160 mm).

Ponieważ w metodzie jednorodnej interferencji oddalenie pryzmatu dwójłomnego W_1 (fig. 1 i 10) od obiektywu Ob zależy od jego powiększenia, należy więc przy zmianie obiektywu przesuwać w pewnym zakresie pryzmat W_1 w kierunku osi obiektywu, co wymaga, dla ostrego uwidaczniania podziałki płytki mikrometrycznej M , przeogniskowywania okulara Ok .

Aby przy tym nie trzeba było przy przejściu do obserwacji obrazu interferencyjnego (soczewka S_1 włączona) przeogniskowywać obiektywu Ob i tym samym tracić prawidłowej jego odległości obrazowej, soczewka S_1 ma dodatkowo ruch pionowy, który pozwala ostro ustawić obraz badanego przedmiotu bez potrzeby przeogniskowania obiektywu.

Przedstawione tu urządzenie półcieniowe może znaleźć zastosowanie również w innych typach mikroskopów interferencyjno-polaryzacyjnych, w których zamiast pryzmatów dwójłomnych W_1 i W_2 typu Wollastona są zastosowane inne elementy dwójłomne. Półfalówka PF (fig. 1+9) nie koniecz- nie przy tym musi mieć kształt paska. Również może ona mieć kształt półkola pokrywającego po-

łowę pola widzenia mikroskopu lub też inny kształt, przynajmniej z jedną krawędzią wyciętą równolegle do jednego z głównych kierunków drgań światła zastosowanego materiału dwójłomnego. Wygodnym i łatwo dostępnym materiałem na półfalówkę jest na przykład celofan. Krawędź półfalówki na której nastawia się obrazy badanego przedmiotu powinna być jednak równo odcięta bez wyraźnego naruszenia struktury celofanu.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie półcieniowe do mikroskopu interferencyjno-polaryzacyjnego z pryzmatami dwójłomnymi Wollastona, lub innymi elementami dwójłomnymi zaopatrzone w element półcieniowy umieszczony w płaszczyźnie obrazowej obiektywu mikroskopu **znamiennie tym**, że jako element półcieniowy zastosowana jest płytka lub błona dwójłomna półfalowa (PF), której przynajmniej jedna krawędź jest równoległa do jednego z głównych kierunków drgań światła zastosowanego materiału dwójłomnego oraz tworzy kąt 45° z płaszczyzną drgań światła umieszczonego za nią filtru polaryzacyjnego (A).
2. Urządzenie półcieniowe według zastrz. 1, **znamiennie tym**, że zawiera układ soczewek (S_1 , S_2), który łącznie z okulem (Ok) umożliwia przez włączanie i wyłączanie jednej z soczewek (S_1) obserwować obraz badanego przedmiotu oraz podziałkę płytki mikrometrycznej (M) znajdującej się na pryzmacie dwójłomnym (W_1) i tym samym dokonywać pomiaru poprzecznego przesuwu tego pryzmatu przy pomiarze różnicy drogi optycznej badanych przedmiotów.



