

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **229959**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **421970**

(22) Data zgłoszenia: **21.06.2017**

(51) Int.Cl.

G01C 3/00 (2006.01)

G01B 11/00 (2006.01)

G01B 11/02 (2006.01)

(54) **Aberracyjny czujnik optyczny odległości w procesach technologicznych
oraz sposób pomiaru odległości w procesach technologicznych**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
12.02.2018 BUP 04/18

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
28.09.2018 WUP 09/18

(73) Uprawniony z patentu:

POLITECHNIKA WROCŁAWSKA, Wrocław, PL

(72) Twórca(y) wynalazku:

ADRIAN ZAKRZEWSKI, Wrocław, PL

JACEK REINER, Wrocław, PL

MARIUSZ MRZYGLÓD, Wrocław, PL

PIOTR KORUBA, Wrocław, PL

PIOTR JUREWICZ, Wrocław, PL

PL 229959 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest aberracyjny czujnik optyczny odległości w procesach technologicznych, wykorzystywany we współpracy z głowicą laserową. Przedmiotem jest także sposób pomiaru odległości w procesach technologicznych korzystających z głowic laserowych.

Ze stosowania znane jest manualne określanie odległości pomiędzy głowicą laserową a materiałem obrabianym poprzez wykorzystanie wzorca grubości, który podkładany był pomiędzy dyszę głowicy laserowej a obrabiany materiał.

Znane są również rozwiązania bazujące na wykorzystaniu zjawiska interferencji, obrazowania za pomocą kamer, czy też czujniki triangulacyjne. Przedstawione rozwiązania posiadają istotne ograniczenia. W przypadku pomiarów interferometrycznych wymagana jest instalacja dodatkowego elementu optycznego stanowiącego podłoże referencyjne do interferencji wiązek, jednej odbitej od podłoża referencyjnego, drugiej od obrabianego materiału. W przypadku tego typu pomiarów, dużym ograniczeniem jest mały zakres pomiarowy, na poziomie μm , wynikający z zasady działania interferometrów. Zastosowanie kamery i przetwarzanie uzyskiwanych obrazów pod kątem uzyskania informacji na temat interesującej odległości jest rozwiązaniem skomplikowanym oraz charakteryzującym się małą rozdzielczością (setki μm). W przypadku pomiarów triangulacyjnych, wiązka padająca na obrabiany materiał oraz wiązka od niego odbita docierająca do detektora muszą znajdować się względem siebie pod zdefiniowanym kątem. W związku z tym, rozwiązanie to wiąże się z instalacją, powszechnie detektora, poza osią optyczną wiązek propagujących się w głowicy laserowej. Dodatkowo, za pomocą tej metody można analizować jedynie podłoża, po odbiciu od których wiązka docierająca do detektora nie będzie przesłaniana.

Optyczny czujnik odległości znany z dokumentu nr US 8 212 997 B1 wykorzystuje zjawisko aberracji chromatycznej. Czujnik działający w wolnej przestrzeni i zbudowany wyłącznie na bazie komponentów optycznych charakteryzujących się małą liczbą Abbego. Wiązka ze źródła światła szerokospektralnego jest skupiana za pomocą komponentu o małej liczbie Abbego.

Za komponentem obserwuje się różne wartości ogniskowej w zależności od długości fali, tzn. obserwowany jest wpływ zjawiska aberracji chromatycznej. Tak zdefiniowana wiązka kierowana jest na drugi komponent, również o małej liczbie Abbego, a następnie skupiana przez niego na podłożu. Odbicie od podłoża propaguje się tym samym torem optycznym co promieniowanie padające na nie i jest analizowane za pomocą spektrofotometru.

Znane jest z patentu nr US 8 194 251 B2 urządzenie i metoda wykorzystująca aberrację chromatyczną do jednoczesnego pomiaru odległości od dwóch obszarów powierzchni. Pierwsza oraz druga wiązka pomiarowa kierowane są tym samym torem na dwie różne powierzchnie i po odbiciu propagują się tym samym torem do analizatora optycznego. Jedna z powierzchni jest powierzchnią referencyjną, druga powierzchnią mierzoną, której położenie ulega przesunięciu. W związku z tym, urządzenie wykorzystuje dodatkowo efekt interferencji dwóch wiązek, odbitej od powierzchni referencyjnej oraz pomiarowej. Urządzenie bazuje na komponentach charakteryzujących się małą liczbą Abbego i wykazuje rozdzielczość na poziomie 10 nm.

Urządzenie oraz metoda do pomiarów powierzchni bazująca na zjawisku aberracji chromatycznej, została opisana w patencie nr US 7 561 273 B2. Jako źródło światła w urządzeniu wykorzystywane jest źródło szerokospektralne. Za pomocą optyki charakteryzującej się małą liczbą Abbego wiązka światła skupiana jest na powierzchni. Ze względu na zjawisko aberracji chromatycznej, wiązki ze źródła szerokospektralnego o różnych długościach fal skupiane są w innym punkcie. Optyczny analizator widma rejestruje wiązkę odbitą od powierzchni. Wynalazek charakteryzuje się dużą odległością punktu pracy czujnika od samego czoła urządzenia. Efekt ten uzyskano dzięki wykorzystaniu dodatkowego układu optycznego w postaci cylindrycznych soczewek typu GRIN.

Układ do analizy profilu powierzchni bazujący na zjawisku aberracji chromatycznej oraz przestrzennym filtrowaniu wiązki światła szerokospektralnego znany jest także z dokumentu nr US 2010/0 188 742 A1. Wiązka ze źródła światła szerokospektralnego kierowana jest na element dyfrakcyjny poprzez soczewkę o kształcie półcylindrycznym, szczelinę, układ kolimacyjny i dzielnik wiązki. Następnie, wiązka poprzez kolejną soczewkę kierowana jest na analizator optyczny. Poprzez wykorzystanie elementu dyfrakcyjnego uzyskuje się potencjalnie większą rozdzielczość pomiarową w wyniku wzmocnienia odbitej długości fali, której ogniskowa znajduje się na analizowanej powierzchni – większa separacja spektralna długości fal.

Istota aberracyjnego czujnika optycznego odległości w procesach technologicznych, według wynalazku, polega na tym, że wzdłuż toru optycznego ma kolejno zestawione: tworzące pierwszą gałąź optyczną szerokopasmowe źródło światła o stałej intensywności świecenia w funkcji długości fali, zintegrowane ze światłowodem wielomodowym, którego czoło wraz z kolejno występującą co najmniej jedną soczewką kolimującą tworzy układ kolimacyjny, następnie skupiającą pierwszą soczewkę chromatyczną charakteryzującą się liczbą Abbego z zakresu od 15 do 30, za nią natomiast drugą soczewkę chromatyczną skupiającą w nieskończoności o liczbie Abbego z zakresu od 15 do 30, oddaloną od pierwszej soczewki chromatycznej o odległość równą sumie ich ogniskowych, co najmniej pierwszy dzielnik wiązki, również o liczbie Abbego z przedziału od 60 do 90, przy czym dzielnik ten stanowi element wspólny z drugą gałęzią optyczną, która kolejno począwszy od pierwszego dzielnika wiązki wzdłuż toru optycznego zawiera skupiającą soczewkę achromatyczną, następnie filtr przestrzenny oraz optyczny analizator widma; za pierwszym dzielnikiem natomiast znajduje się robocza głowica laserowa, w której na drodze wiązki lasera roboczego i jednocześnie na drodze wiązki pochodzącej z pierwszego dzielnika wiązki znajduje się umieszczone pod kątem 45 stopni do obu wiązek zwierciadło dichroiczne o liczbie Abbego z przedziału od 60 do 90 i dalej procesowa soczewka skupiająca o liczbie Abbego od 60 do 90.

Korzystnie, szerokopasmowe źródło światła jest typu supercontinuum.

Korzystnie, filtr przestrzenny jest w postaci pinhola o minimalnej średnicy 10 μm .

W wariacie wynalazku filtrem przestrzennym jest odcinek światłowodu jednomodowego o średnicy rdzenia 10 μm . W innym wariacie wynalazku filtrem przestrzennym jest odcinek światłowodu wielomodowego o średnicy rdzenia 50 μm .

Korzystnie, pomiędzy pierwszym dzielnikiem wiązki a zwierciadłem dichroicznym znajduje się drugi dzielnik wiązki, będący początkiem trzeciej gałęzi optycznej do monitorowania procesu laserowego.

Korzystnie, pierwsza gałąź optyczna jest umieszczona prostopadle do toru optycznego leżącego na kierunku zwierciadło dichroiczne – pierwszy dzielnik wiązki, zaś między drugą soczewką chromatyczną skupiającą w nieskończoności a pierwszym dzielnikiem wiązki znajduje się zwierciadło o liczbie Abbego z zakresu od 60 do 90 umieszczone pod kątem 45 stopni.

Istota sposobu pomiaru odległości w procesach technologicznych polega na tym, że światło z szerokopasmowego źródła światła kolimuje się, a następnie transmituje się przez co najmniej jedną parę soczewek o liczbie Abbego z zakresu od 15 do 30, oddalonych od siebie o odległość równą sumie ich ogniskowych, przy czym pierwsza w parze jest skupiająca, a druga skupiająca w nieskończoności, przez co uzyskuje się wiązkę równoległą; oraz co najmniej jeden dzielnik wiązki, po czym wprowadza się za pomocą filtru dichroicznego umieszczonego pod kątem 45 stopni w stosunku do wiązki w tor optyczny roboczej głowicy laserowej, po czym skupia się na płaszczyźnie obrabianego materiału za pomocą procesowej soczewki skupiającej, a następnie po przejściu światła drogą powrotną analizuje się światło odbite z pierwszego dzielnika wiązki, które poprzez soczewkę skupiającą propaguje się na filtr przestrzenny i do analizatora widma, gdzie dokonuje się analizy widmowej światła i wyznacza się na bieżąco odległość materiału obrabianego od głowicy laserowej jako proporcjonalną do przesunięcia piku odbitej długości fali względem skalibrowanej długości fali odniesienia.

Do zalet wynalazku należy możliwość ciągłego monitorowania procesów technologicznych przeprowadzanych z użyciem lasera oraz głowicy laserowej pod kątem wysokości obrabianego materiału lub odległości od niego. Czujnik umożliwia ciągłą kontrolę w szczególności napawanych na podłożu struktur. Zaletą jest także duży zakres pomiarowy, dochodzący do 10 mm przy dużej rozdzielczości, rzędu pojedynczych mikrometrów.

Wynalazek bliżej przedstawiono w przykładach realizacji i w oparciu o rysunek, którego fig. 1 przedstawia schemat ogólny czujnika optycznego.

P r z y k ł a d 1

Aberracyjny czujnik optyczny odległości w procesach technologicznych, wzdłuż toru optycznego ma kolejno zestawione: tworzące pierwszą gałąź optyczną szerokopasmowe źródło światła 19 typu supercontinuum o stałej intensywności świecenia w funkcji długości fali, zintegrowane ze światłowodem wielomodowym 5, którego czoło wraz z kolejno występującą soczewką kolimującą 6 tworzy układ kolimacyjny, następnie skupiającą pierwszą soczewkę chromatyczną 7 charakteryzującą się liczbą Abbego równą 25, za nią natomiast drugą soczewkę chromatyczną 8 skupiającą w nieskończoności o liczbie Abbego 25 oddaloną od pierwszej soczewki chromatycznej 7 o odległość równą sumie ich ogniskowych, i pierwszy dzielnik wiązki, o liczbie Abbego 80, przy czym dzielnik ten stanowi element wspólny z drugą gałęzią optyczną, która kolejno począwszy od pierwszego dzielnika wiązki wzdłuż toru optycznego zawiera skupiającą soczewkę achromatyczną 16, następnie filtr przestrzenny w postaci pinhola o średnicy

10 μm oraz optyczny analizator widma. Za pierwszym dzielnikiem wiązki natomiast znajduje się robocza głowica laserowa 1, w której na drodze wiązki lasera roboczego i jednocześnie na drodze wiązki pochodzącej z pierwszego dzielnika wiązki 11 znajduje się umieszczone pod kątem 45 stopni do obu wiązek zwierciadło dichroiczne 13 o liczbie Abbego 80 i dalej procesowa soczewka skupiająca 14 o liczbie Abbego 80.

Przykład 2

Czujnik jak w przykładzie 1, z tą różnicą, że filtrem przestrzennym 17 jest odcinek światłowodu jednomodowego o średnicy rdzenia 10 μm .

Przykład 3

Czujnik jak w przykładzie 1, z tą różnicą, że filtrem przestrzennym 17 jest odcinek światłowodu wielomodowego o średnicy rdzenia 50 μm .

Przykład 4

Czujnik jak w poprzednich przykładach, z tą różnicą, że pomiędzy pierwszym dzielnikiem wiązki 11 a zwierciadłem dichroicznym 13 znajduje się drugi dzielnik wiązki 12, będący początkiem trzeciej gałęzi optycznej do monitorowania procesu laserowego.

Przykład 5

Czujnik jak w poprzednich przykładach, z tą różnicą, że pierwsza gałąź optyczna jest umieszczona prostopadłe do toru optycznego leżącego na kierunku zwierciadło dichroiczne 13 – pierwszy dzielnik wiązki 11, zaś między drugą soczewką chromatyczną 8 skupiającą w nieskończoności a pierwszym dzielnikiem wiązki 11 znajduje się zwierciadło 9 o liczbie Abbego 70 umieszczone pod kątem 45 stopni.

Przykład 6

Sposób pomiaru odległości w procesach technologicznych polega na tym, że światło z szerokopasmowego źródła światła kolimuje się, a następnie transmituje się przez jedną parę soczewek o liczbie Abbego wynoszącej 25 oddalonych od siebie o odległość równą sumie ich ogniskowych, przy czym pierwsza w parze jest skupiająca, a druga skupiająca w nieskończoności, przez co uzyskuje się wiązkę równoległą; oraz przez dzielnik wiązki, po czym wprowadza się za pomocą filtra dichroicznego umieszczonego pod kątem 45 stopni w stosunku do wiązki w tor optyczny roboczej głowicy laserowej, po czym skupia się na płaszczyźnie obrabianego materiału za pomocą procesowej soczewki skupiającej, a następnie po przejściu światła drogą powrotną analizuje się światło odbite z pierwszego dzielnika wiązki, które poprzez soczewkę skupiającą propaguje się na filtr przestrzenny i do analizatora widma, gdzie dokonuje się analizy widmowej światła i wyznacza się na bieżąco odległość materiału obrabianego od głowicy laserowej jako proporcjonalną do przesunięcia piku odbitej długości fali względem skalibrowanej długości fali odniesienia.

Działanie wynalazku polega na tym, że wiązka światła ze źródła generującego promieniowanie o szerokim spektrum oraz o stałej intensywności w funkcji długości fali 19 (optymalnie źródło supercontinuum) wprowadzana jest do światłowodu wielomodowego 5, a następnie kierowana na soczewkę 6, która wraz z czołem światłowodu 5 pełni rolę układu kolimacyjnego wiązki. Wiązka za soczewką 6 jest wiązką równoległą i kierowaną na soczewkę 7 charakteryzującą się małą liczbą Abbego (wartości z zakresu 15–30). Wiązki o różnych długościach fal są skupiane w innych odległościach od soczewki 7 (inne wartości ogniskowej dla różnych długości fal). W tej części układu optycznego obserwuje się wpływ zjawiska aberracji chromatycznej na bieg promieni 19 w czujniku. Wiązki kierowane są na soczewkę 8 charakteryzującą się małą liczbą Abbego (wartości z zakresu 15–30), za którą ze względu na aberrację chromatyczną, nie obserwuje się propagacji wiązek o różnych długościach fal w sposób równoległy w stosunku do osi optycznej układu. Biegi promieni dla różnych długości fal zostały wyszczególnione poprzez różne markery linii a ich kierunek oznaczono strzałkami. Za soczewką 8 charakteryzującą się małą liczbą Abbego (z zakresu 15–30) różne długości fal propagujące się różnymi torami w stosunku do osi optycznej układu kierowane są na zwierciadło 9, które je odbija pod kątem 45 stopni w kierunku dzielników wiązki 11 i 12, a następnie ich część transmisyjną na filtr dichroiczny 13 będący elementem składowym głowicy laserowej 1. Różne długości fal skupiane są poprzez soczewkę 14 w różnych odległościach od niej. Komponenty 9, 11, 12, 13 oraz 14 charakteryzują się dużą liczbą Abbego (wartości z zakresu 60–90) i nie wprowadzają istotnych zmian w torach biegnących wiązek odpowiadających różnym długościom fal. Z punktu widzenia metody pomiarowej, dla sytuacji jeżeli podłoże 15 znajdzie się w położeniu a) wówczas następuje odbicie o pełnej intensywności tylko jednej z długości fal z całego zakresu spektrum generowanego przez źródło światła 19. Charakterystyczna długość fali kierowana jest na soczewkę i po odbiciu od filtra dichroicznego 13 i transmisji przez dzielnik wiązki 12 propaguje

się na dzielnik wiązki 11. Część promieniowania odbitego od dzielnika wiązki 11 poprzez soczewkę 16 kierowana jest na czoło światłowodu jednomodowego 17 lub poprzez pinhol (o średnicy minimalnej 10 μm) na czoło światłowodu wielomodowego (o średnicy rdzenia równej 50 μm i większej), który podłączony jest do optycznego analizatora widma 18. W konsekwencji, za pomocą oprogramowania (dedykowanego dla wykorzystanego urządzenia lub stworzonego przez użytkownika wynalazku) rejestrowany jest sygnał z charakterystycznym pikiem λ_1 odpowiadającym położeniu podłoża 15 w pozycji a). Analogicznie przedstawia się bieg promieni w przypadku gdy podłoże znajduje się w pozycji b). Jednakże, wówczas całkowitemu odbiciu ulega inna długość fali i w konsekwencji rejestruje się za pomocą optycznego analizatora widma 18, podobnie jak w poprzednio opisanej sytuacji, charakterystyczny pik λ_2 przesunięty w stosunku do pik poprzedniego, czyli λ_1 . Sumarycznie, przemieszczając podłoże 15 z punktu a) do punktu b) uzyskuje się przesunięcie charakterystycznego pik rejestrowanego za pomocą optycznego analizatora widma z punktu λ_1 do λ_2 . Zakres pomiarowy czujnika zdefiniowany jest jako odległość przemieszczenia podłoża w zakresie od punktu początkowego do punktu końcowego, które odpowiadają wartościom długości fal minimalnej oraz maksymalnej generowanej przez źródło szerokospektralne (przynajmniej 300 nm). Rozdzielczość czujnika zdefiniowana jest jako minimalna wartość przemieszczenia podłoża, która jest rejestrowana przez urządzenie. Wartość ta zależy od wykorzystywanego oprogramowania i średnicy pinhola. W standardowym rozwiązaniu, przy wykorzystaniu dedykowanego oprogramowania optycznego analizatora widma 18 oraz pinhola o średnicy 10 μm , rozdzielczość jest na poziomie pojedynczych μm .

Zastrzeżenia patentowe

1. Aberracyjny czujnik optyczny odległości w procesach technologicznych, zawierający szerokopasmowe źródło światła, układ kolimacyjny, elementy optyczne o małej liczbie Abbego oraz analizator optyczny, **znamienny tym**, że wzdłuż toru optycznego ma kolejno zestawione: tworzące pierwszą gałąź optyczną szerokopasmowe źródło światła (19) o stałej intensywności świecenia w funkcji długości fali, zintegrowane ze światłowodem wielomodowym (5), którego czoło wraz z kolejno występującą co najmniej jedną soczewką kolimującą (6) tworzy układ kolimacyjny, następnie skupiającą pierwszą soczewkę chromatyczną (7) charakteryzującą się liczbą Abbego z zakresu od 15 do 30, za nią natomiast drugą soczewkę chromatyczną (8) skupiającą w nieskończoności o liczbie Abbego z zakresu od 15 do 30 oddaloną od pierwszej soczewki chromatycznej (7) o odległość równą sumie ich ogniskowych, i co najmniej pierwszy dzielnik wiązki (11), również o liczbie Abbego z przedziału od 60 do 90, przy czym dzielnik ten stanowi element wspólny z drugą gałęzią optyczną, która kolejno począwszy od pierwszego dzielnika wiązki (11) wzdłuż toru optycznego zawiera skupiającą soczewkę achromatyczną (16), następnie filtr przestrzenny (17) oraz optyczny analizator widma (18); za pierwszym dzielnikiem wiązki (11) natomiast znajduje się robocza głowica laserowa (1), w której na drodze wiązki lasera roboczego i jednocześnie na drodze wiązki pochodzącej z pierwszego dzielnika wiązki (11) znajduje się umieszczone pod kątem 45 stopni do obu wiązek zwierciadło dichroiczne (13) o liczbie Abbego z przedziału od 60 do 90 i dalej procesowa soczewka skupiająca (14) o liczbie Abbego od 60 do 90.
2. Czujnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że szerokopasmowe źródło światła (19) jest typu supercontinuum.
3. Czujnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że filtr przestrzenny (17) jest w postaci pinhola o minimalnej średnicy 10 μm .
4. Czujnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że filtrem przestrzennym (17) jest odcinek światłowodu jednomodowego o średnicy rdzenia 10 μm .
5. Czujnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że filtrem przestrzennym (17) jest odcinek światłowodu wielomodowego o średnicy rdzenia 50 μm .
6. Czujnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pomiędzy pierwszym dzielnikiem wiązki (11) a zwierciadłem dichroicznym (13) znajduje się drugi dzielnik wiązki (12), będący początkiem trzeciej gałęzi optycznej (2) do monitorowania procesu laserowego.
7. Czujnik według zastrz. 1, **znamienny tym**, że pierwsza gałąź optyczna jest umieszczona prostopadle do toru optycznego leżącego na kierunku zwierciadło dichroiczne (13) – pierwszy

- dzielnik wiązki (11), zaś między drugą soczewką chromatyczną skupiającą w nieskończoności (8) a pierwszym dzielnikiem wiązki (11) znajduje się zwierciadło (9) o liczbie Abbego z zakresu od 60 do 90 umieszczone pod kątem 45 stopni,
8. Sposób pomiaru odległości w procesach technologicznych, w którym światło z szerokopasmowego źródła światła kolimuje się oraz transmituje przez elementy optyczne o małej liczbie Abbego, po czym skupia się na badanej płaszczyźnie a następnie odbite światło analizuje w analizatorze, **znamienny tym**, że skolimowane światło z szerokopasmowego źródła światła transmituje się przez co najmniej jedną parę soczewek o liczbie Abbego z zakresu od 15 do 30, oddalonych od siebie o odległość równą sumie ich ogniskowych, przy czym pierwsza w parze jest skupiająca a druga skupiająca w nieskończoności, przez co uzyskuje się wiązkę równoległą; oraz co najmniej jeden dzielnik wiązki, po czym wprowadza się za pomocą filtra dichroicznego umieszczonego pod kątem 45 stopni w stosunku do wiązki w tor optyczny roboczej głowicy laserowej, po czym skupia się na płaszczyźnie obrabianego materiału za pomocą procesowej soczewki skupiającej, a następnie po przejściu światła drogą powrotną analizuje się światło odbite z pierwszego dzielnika wiązki, które poprzez soczewkę skupiającą propaguje się na filtr przestrzenny i do analizatora widma, gdzie dokonuje się analizy widmowej światła i wyznacza się na bieżąco odległość materiału obrabianego od głowicy laserowej jako proporcjonalną do przesunięcia pików odbitej długości fali względem skalibrowanej długości fali odniesienia.

Rysunek

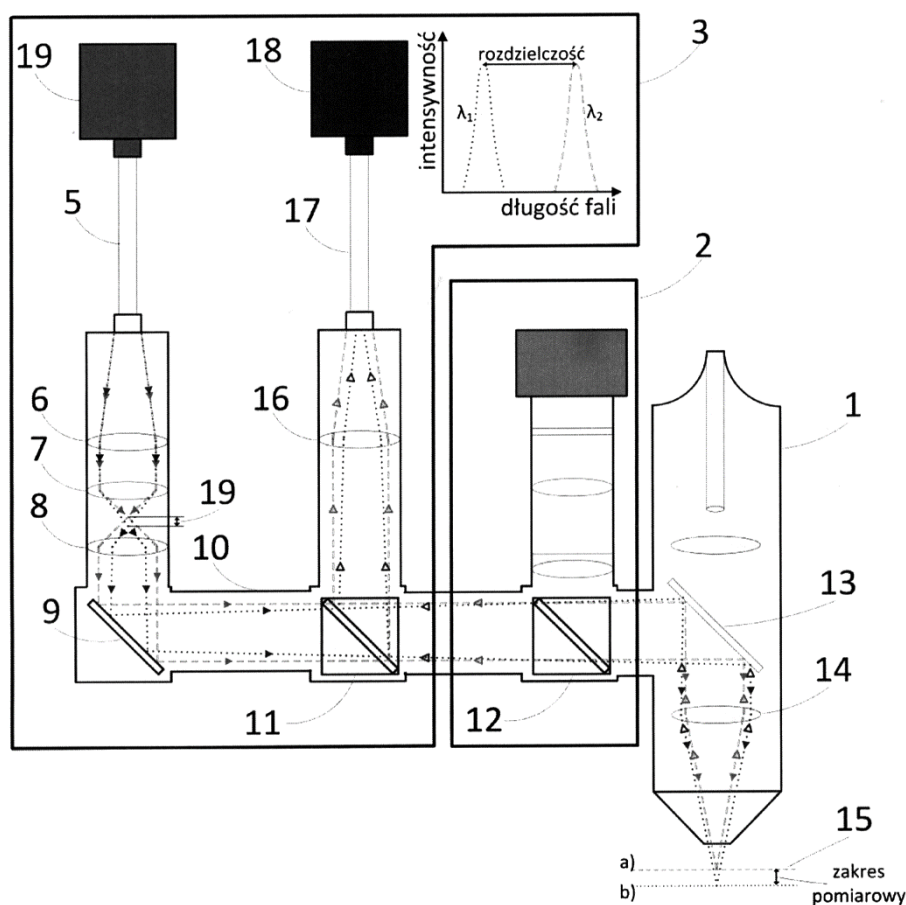


Fig. 1