(19) URZĄD PATENTOWY RZECZYPOSPOLITEJ POLSKIEJ

(10) **PL 243449 B1**

(12) # Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **438969**
(22) Data zgłoszenia: **2021.09.17**
(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2023.03.20 BUP 12/2023**
(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2023.08.28 WUP 35/2023**

(51) MKP:
G01B 11/28 *(2006.01)*
B23K 26/02 *(2014.01)*
G01B 11/22 *(2006.01)*
G01B 11/30 *(2006.01)*
G01C 3/00 *(2006.01)*

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

(72) Twórca(-y) wynalazku:
ADRIAN ZAKRZEWSKI, Wrocław, PL
PIOTR KORUBA, Wrocław, PL
PIOTR JUREWICZ, Wrocław, PL
MICHAŁ ĆWIKŁA, Wrocław, PL
JACEK REINER, Wrocław, PL

(74) Pełnomocnik:
Katarzyna Paprzycka, Wrocław, PL

(54) Tytuł:
Urządzenie do wyznaczania topografii powierzchni materiału przed i po obróbce w procesach technologicznych

PL 243449 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest urządzenie do wyznaczania topografii powierzchni materiału przed i po obróbce w procesach technologicznych, współpracujące z głowicą laserową, znajdujące zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym, lotniczym i narzędziowym.

Ze stosowania znane jest wyznaczanie topografii powierzchni materiału przed i po obróbce w procesach technologicznych poprzez wykorzystanie zewnętrznych rozwiązań pomiarowych, nie zintegrowanych z głowicą laserową. Integracja wskazuje na część wspólną toru optycznego wiązki laserowej z generatora laserowego z torem optycznym rozwiązania technicznego w zakresie toru optycznego głowicy laserowej.

Znane są również rozwiązania bazujące na obrazowaniu za pomocą kamer, czy też czujniki triangulacyjne oraz dalmierze laserowe. Przedstawione rozwiązania posiadają istotne ograniczenia. W przypadku zastosowania kamery i przetwarzania uzyskiwanych obrazów pod kątem uzyskania informacji na temat interesującej topografii powierzchni jest to rozwiązanie skomplikowane oraz charakteryzujące się małą rozdzielczością (setki μm). W przypadku pomiarów triangulacyjnych czy też pomiarów za pomocą dalmierza laserowego, rozwiązania te wiążą się z instalacją, powszechnie detektora, poza torem optycznym wiązek propagujących się w głowicy laserowej. Dodatkowo, za pomocą tych metod można analizować jedynie materiały, po odbiciu od których wiązka docierająca do detektora nie będzie przesłaniana. Różnica pomiędzy czujnikami triangulacyjnymi i dalmierzami laserowymi wynika z zasady ich działania. W przypadku czujników triangulacyjnych topografia powierzchni wyznaczana jest w wyniku analizy kąta pod jakim odbita od materiału wiązka pomiarowa dociera do detektora. W przypadku dalmierzy laserowych, analizowany jest czas po jakim do detektora dotrze impuls fali elektromagnetycznej wysłany z rozwiązania i odbity od materiału.

Urządzenie oraz metoda do pomiarów powierzchni bazująca na zjawisku aberracji chromatycznej, została opisana w patencie US7561273 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. Wynalazek nie jest przeznaczony do integracji z innymi urządzeniami, takimi jak przykładowo głowica laserowa.

Układ do analizy profilu powierzchni bazujący na zjawisku aberracji chromatycznej oraz przestrzennym filtrowaniu wiązki światła szerokospektralnego znany jest także z dokumentu US20100188742 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. Wynalazek nie jest przeznaczony do integracji z innymi urządzeniami, takimi jak przykładowo głowica laserowa.

Chromatyczny system konfokalny do wyznaczania topografii powierzchni materiału jest znany z dokumentu US9261358 B2. Wynalazek wykorzystuje zjawisko podłużnej aberracji chromatycznej do pomiarów odległości pomiędzy głowicą pomiarową, a materiałem. Wiązka ze źródła światła szerokospektralnego jest kształtowana za pomocą układu optycznego w celu uzyskania dwuwymiarowej matrycy wiązek pomiarowych, które kierowane są na powierzchnię materiału. Na podstawie zarejestrowanych przed detektor poszczególnych wiązek odbitych od materiału i w wyniku zastosowania jednostki obliczeniowej wyznaczana jest trójwymiarowa topografia powierzchni materiału podczas jednego pomiaru. Wynalazek nie jest przeznaczony do integracji z innymi urządzeniami, takimi jak przykładowo głowica laserowa.

Przykładem rozwiązania zintegrowanego z głowicą laserową jest aberracyjny czujnik optyczny odległości w procesach technologicznych oraz sposób pomiaru odległości w procesach technologicznych opisany w ramach patentu PL229959 B1. Czujnik zbudowany na bazie soczewek o małej liczbie Abbego wykorzystywany jest do justowania położenia dyszy głowicy laserowej w stosunku do materiału obrabianego laserowo w celu ogniskowania wiązki laserowej na jego powierzchni. Pomiar odległości

bazuje na zjawisku podłużnej aberracji chromatycznej i analizie zarejestrowanego przez optyczny analizator widma sygnału spektralnego. Wynalazek ze względu na charakterystyczną budowę toru optycznego nie umożliwia wyznaczania topografii powierzchni materiału przed i po obróbce w procesach technologicznych wykorzystujących wiązkę laserową.

Innym przykładem znanym z US20090139968 A1 i zintegrowanym z głowicą laserową jest system do kontroli procesu spawania laserowego w wyniku analizy wyznaczonej topografii powierzchni materiału. Do tego celu wykorzystano dodatkową wiązkę laserową, które za pomocą układów galwonometrycznych tworzy linię pomiarową bezpośrednio przed miejscem oddziaływania wiązki laserowej z materiałem i bezpośrednio za miejscem oddziaływania. Analiza projekcji linii pomiarowej odbywa się za pomocą kamery CMOS i w konsekwencji zastosowania algorytmów przetwarzania danych cyfrowych wyznaczana jest topografia powierzchni materiału przed procesem obróbki laserowej i po nim. Na bazie uzyskanych wyników dokonywana jest korekta trajektorii wiązki laserowej. Wynalazek bazuje na innym rozwiązaniu wykorzystywanym do zmiany położenia wiązki pomiarowej na powierzchni materiału i innym zjawisku na bazie którego dokonywany jest pomiar odległości.

Inny przykład, zintegrowany z głowicą laserową jest znany z patentu US8822875 B2. Wynalazek pozwala na wyznaczanie topografii powierzchni materiału podczas procesu spawania laserowego. Do tego celu wykorzystuje zjawisko optycznej tomografii koherencyjnej bazującej na interferometrii niskokoherentnej. Wiązka ze źródła szerokospektralnego rozdzielana jest za pomocą sprzęgacza typu X na wiązkę referencyjną i pomiarową wprowadzaną do toru optycznego głowicy laserowej. Po odbiciu od materiału wiązka pomiarowa ponownie łączona jest z wiązką referencyjną. W konsekwencji, na cyfrowym przetworniku sygnału rejestrowany jest interferogram, którego wynikiem przetwarzania za pomocą algorytmów jest topografia powierzchni materiału. Wynalazek nie pozwala na zmianę położenia wiązki pomiarowej na powierzchni materiału, obszar pomiarowy określony jest przez zdefiniowaną średnicę, której środek odpowiada ognisku wiązki laserowej. Dodatkowo, wynalazek wykorzystuje inne zjawisko na bazie którego dokonywany jest pomiar odległości.

Znany jest z patentu KR101321453 B1 system do kontroli laserowej obróbki materiałów dielektrycznych, celem wykonania otworów przelotowych w układach elektronicznych. Zadaniem systemu jest pozycjonowanie obrabiającej wiązki laserowej z wykorzystaniem dodatkowych laserowych promieni pozycjonujących, stanowiących część układu triangulacyjnego, pracującego w celu zmiany odległości osiowej wiązki obrabiającej oraz przemieszczenia próbki docelowej w kierunku ścieżki wiązki obrabiającej. Informacja o położeniu konkretnego miejsca na próbce zostaje wyliczona przez układ sterujący, który ponadto steruje ilością energii dostarczaną przez wiązkę obrabiającą do obrabianego materiału. Wynalazek nie jest zintegrowany współosiowo z głowicą laserową ponieważ jego detektor znajduje się poza głowicą.

Istota urządzenia do wyznaczania topografii powierzchni materiału przed i po obróbce w procesach technologicznych, według wynalazku, polega na tym że wzdłuż toru optycznego ma kolejno zestawione:

źródło szerokospektralne zintegrowane ze światłowodem wielomodowym, którego czoło wraz z przynajmniej jedną achromatyczną soczewką asferyczną o ogniskowej od 5 do 50 mm stanowi układ kolimacyjny, zwierciadło ustawione bazowo pod kątem 45 stopni, z możliwością zmiany jego położenia kątowego w dwóch osiach w kartezjańskim układzie współrzędnych, następnie dzielnik wiązki o procentowym udziale dzielenia wiązki odbitej do transmisyjnej w stosunku 10:90, 30:70, 50:50, 70:30 lub 90:10, za którym tworzone są dwie gałęzie optyczne, w pierwszej znajduje się skupiająca pierwsza soczewka asferyczna charakteryzującą się liczbą Abbego z zakresu od 40 do 70, za nią natomiast druga soczewka asferyczna skupiająca w nieskończoności o liczbie Abbego z zakresu od 40 do 70, za którą znajduje się głowica laserowa, której część wspólną tworzą tor optyczny wiązki laserowej z generatora laserowego z torem optycznym w pierwszej gałęzi optycznej za dzielnikiem wiązki w zakresie toru optycznego głowicy laserowej, w której umieszczone jest pod kątem 45 stopni do obu wiązek filtr dichroiczny i dalej procesowa soczewka skupiająca o liczbie Abbego od 60 do 90; w drugiej gałęzi za dzielnikiem wiązki znajduje się co najmniej jedna achromatyczna soczewka asferyczna o ogniskowej od 5 do 50 mm, która stanowi z czołem światłowodu wielomodowego układ kolimujący połączony z optycznym analizatorem widma;

lub:

źródło szerokospektralne zintegrowane ze światłowodem wielomodowym, którego czoło wraz z przynajmniej jedną achromatyczną soczewką asferyczną o ogniskowej od 5 do 50 mm stanowi układ kolimacyjny, następnie dzielnik wiązki o procentowym udziale dzielenia wiązki odbitej do transmisyjnej

w stosunku 10:90, 30:70, 50:50, 70:30 lub 90:10, za którym tworzone są dwie gałęzie optyczne, w pierwszej znajduje się zwierciadło ustawione bazowo pod kątem 45 stopni z możliwością zmiany jego położenia kątowego w dwóch osiach w kartezjańskich układzie współrzędnych, następnie skupiającą pierwsza soczewka asferyczna charakteryzującą się liczbą Abbego z zakresu od 40 do 70, za nią natomiast druga soczewka asferyczna skupiająca w nieskończoności o liczbie Abbego z zakresu od 40 do 70, za którą znajduje się głowica laserowa, której część wspólną tworzą tor optyczny wiązki laserowej z generatora laserowego z torem optycznym w pierwszej gałęzi optycznej za dzielnikiem wiązki w zakresie toru optycznego głowicy laserowej, w której umieszczone jest pod kątem 45 stopni do obu wiązek filtr dichroiczny i dalej procesowa soczewka skupiająca o liczbie Abbego od 60 do 90; w drugiej gałęzi za dzielnikiem wiązki znajduje się co najmniej jedna achromatyczna soczewka asferyczna o ogniskowej od 5 do 50 mm, która stanowi z czołem światłowodu wielomodowego układ kolimujący połączony ze optycznym analizatorem widma.

Korzystnie, za drugą soczewką asferyczną skupiającą w nieskończoności o liczbie Abbego z zakresu od 40 do 70, znajduje się układ telecentryczny zbudowany z achromatycznych soczewek asferycznych.

Korzystnie, szerokopasmowe źródło światła jest typu supercontinuum.

Korzystnie, zwierciadło zintegrowane jest z silnikami krokowymi, serwonapędami lub aktuatorami.

Korzystnie, sterowanie silnikami krokowymi, serwonapędami lub aktuatorami jest sprzężone z ruchem głowicy laserowej.

Korzystnie, układ telecentryczny zapewnia że wiązka za nim jest skolimowana i przesunięta względem osi optycznej toru optycznego.

Korzystnie, dzielnik wiązki jest w postaci sześcianu, płytki lub membrany.

Korzystnie, światłowody wielomodowe mają średnicę rdzenia 50 µm.

Do zalet wynalazku należy możliwość wyznaczania topografii powierzchni materiału przed i po obróbce w procesach technologicznych przeprowadzanych z użyciem generatora laserowego i głowicy laserowej w zakresie pomiarowym wysokości do 30 mm, obszarowym zakresie wyznaczania topografii powierzchni materiału 20 × 20 mm, dokładności do 10 µm oraz rozdzielczości na poziomie pojedynczych mikrometrów. Wyznaczanie topografii powierzchni ma zastosowanie w szczególności w przypadku napawanych powłok funkcjonalnych oraz lica spoin wytworzonych w procesach laserowych.

Wynalazek bliżej przedstawiono w przykładach realizacji i w oparciu o rysunki, których fig. 1–4 przedstawiają schemat ogólny urządzenia do wyznaczania topografii powierzchni materiału przed i po obróbce w procesach technologicznych.

P r z y k ł a d 1

Urządzenie do wyznaczania topografii powierzchni materiału przed i po obróbce w procesach technologicznych, wzdłuż toru optycznego ma kolejno zestawione: źródło szerokospektralne 6 generujące stałą intensywność wiązki pomiarowej w funkcji długości fali i zintegrowane ze światłowodem wielomodowym 8 o średnicy rdzenia 50 µm, którego czoło wraz z przynajmniej jedną achromatyczną soczewką asferyczną 10 o ogniskowej 30 mm stanowi układ kolimacyjny, zwierciadło 12 ustawione bazowo pod kątem 45 stopni z możliwością manualnej zmiany jego położenia kątowego w dwóch osiach 19 i 20 w kartezjańskim układzie współrzędnych, następnie dzielnik wiązki 13 w postaci membrany o procentowym udziale dzielenia wiązki 50:50, za którym tworzone są dwie gałęzie optyczne, w pierwszej znajduje się skupiająca pierwsza soczewka asferyczna 14 charakteryzującą się liczbą Abbego 47,37, za nią natomiast druga soczewka asferyczna 15 skupiająca w nieskończoności o liczbie Abbego 47,37, za którą znajduje się głowica laserowa 1, której część wspólną tworzą tor optyczny wiązki laserowej z generatora laserowego 2 z torem optycznym w pierwszej gałęzi optycznej za dzielnikiem wiązki 13 w zakresie toru optycznego głowicy laserowej 1, w której umieszczone jest pod kątem 45 stopni do obu wiązek filtr dichroiczny 3 i dalej procesowa soczewka 4 skupiająca o liczbie Abbego 67,83; w drugiej gałęzi za dzielnikiem wiązki 13 znajduje się co najmniej jedna achromatyczna soczewka asferyczna 11 o ogniskowej 50 mm, która stanowi z czołem światłowodu wielomodowego 9 o średnicy rdzenia 50 µm układ kolimujący połączony z optycznym analizatorem widma 7.

P r z y k ł a d 2

Urządzenie do wyznaczania topografii powierzchni materiału przed i po obróbce w procesach technologicznych, wzdłuż toru optycznego ma kolejno zestawione: źródło szerokospektralne 6 generujące stałą intensywność wiązki pomiarowej w funkcji długości fali i zintegrowane ze światłowodem wie-

lomodowym 8 o średnicy rdzenia 50 µm, którego czoło wraz z przynajmniej jedną achromatyczną soczewką asferyczną 10 o ogniskowej 30 mm stanowi układ kolimacyjny, następnie dzielnik wiązki 13 w postaci membrany o procentowym udziale dzielenia wiązki 50:50, za którym tworzone są dwie gałęzie optyczne, w pierwszej znajduje się zwierciadło 12 ustawione bazowo pod kątem 45 stopni i znamienne tym, że istnieje możliwość manualnej zmiany jego położenia kątowego w dwóch osiach 19 i 20 w kartezjańskim układzie współrzędnych, następnie skupiająca pierwsza soczewka asferyczna 14 charakteryzującą się liczbą Abbego 47,37, za nią natomiast druga soczewka asferyczna 15 skupiająca w nieskończoności o liczbie Abbego 47,37, za którą znajduje się głowica laserowa 1, której część wspólną tworzą tor optyczny wiązki laserowej z generatora laserowego 2 z torem optycznym w pierwszej gałęzi optycznej za dzielnikiem wiązki 13 w zakresie toru optycznego głowicy laserowej 1, w której umieszczone jest pod kątem 45 stopni do obu wiązek filtr dichroiczny 3 i dalej procesowa soczewka 4 skupiająca o liczbie Abbego 67,83; w drugiej gałęzi za dzielnikiem 13 wiązki znajduje się co najmniej jedna achromatyczna soczewka asferyczna 11 o ogniskowej 50 mm, która stanowi z czołem światłowodu wielomodowego 9 o średnicy rdzenia 50 µm układ kolimujący połączony z optycznym analizatorem widma 7.

P r z y k ł a d 3

Urządzenie jak w przykładzie 1 i 2, z tą różnicą, że za drugą soczewką asferyczną 15 skupiającą w nieskończoności o liczbie Abbego 47,37 znajduje się układ telecentryczny 21 zbudowany z achromatycznych soczewek asferycznych.

P r z y k ł a d 4

Urządzenie jak w przykładach 1–3, z tą różnicą, że zmiana położenia kątowego w dwóch osiach 19 i 20 w kartezjańskim układzie współrzędnych zwierciadła 12 ustawionego bazowo pod kątem 45 stopni dokonywana jest za pomocą silników krokowych, serwonapędów lub aktuatorów 18.

Działanie wynalazku polega na tym, że wiązka pomiarowa ze źródła szerokospektralnego 6 o stałej intensywności w funkcji długości fali wprowadzana jest do światłowodu wielomodowego 8, którego czoło wraz z pierwszą soczewką 10 tworzą układ kolimujący wiązkę. Następnie skolimowana wiązka pomiarowa, w zależności od Przykładu 1 lub 2 propagowana jest:
zgodnie z Przykładem 1: na zwierciadło 12, którego zmiana położenia kątowego w dwóch osiach 19 i 20 w kartezjańskim układzie współrzędnych jest sterowana, a dalej na dzielnik wiązki 13,
zgodnie z Przykładem 2: na dzielnik wiązki 13, a następnie na zwierciadło 12, którego zmiana położenia kątowego w dwóch osiach 19 i 20 w kartezjańskim układzie współrzędnych jest sterowana.

Niezależnie od wariantu powyżej, wiązka pomiarowa za tymi komponentami jest nadal skolimowana i propagowana jest na pierwszą soczewkę 14 charakteryzującą się małą liczbą Abbego (wartość z zakresu od 40 do 70). W konsekwencji, ze względu na wpływ podłużnej aberracji chromatycznej, wiązki o różnych długościach fal są skupiane w różnych odległościach od tej soczewki (różne ogniskowe). Za pierwszą soczewką 14 charakteryzującą się małą liczbą Abbego znajduje się druga soczewka 15 o małej liczbie Abbego (wartości z zakresu od 40 do 70). Odległość pomiędzy tymi soczewkami jest tak dobrana, że za nimi wiązka pomiarowa jest skolimowana tylko dla centralnej długości fali generowanej przez źródło szerokospektralne 6. Pozostałe długości fali propagują się pod kątami w stosunku do osi optycznej rozwiązania. Czym mniejsza wartość liczby Abbego pierwszej 14 i drugiej soczewki 15, tym większe kąty propagacji wiązki pomiarowej w stosunku do osi optycznej rozwiązania. Następnie, wiązka pomiarowa wprowadzana jest do głowicy laserowej 1 i ulega odbiciu pod kątem 45 stopni od filtra dichroicznego 3 i jest skupiana przez soczewkę głowicy laserowej 4 na materiale 5. Ze względu na rozszczepienie ogniskowych w funkcji długości fali, na powierzchni materiału zostanie efektywnie skupiana tylko jedna charakterystyczna długość fali, pozostałe będą charakteryzować się zdecydowanie niższymi wartości odbicia. Po odbiciu wiązka pomiarowa propaguje się tym samy torem jako powyżej, tzn. przez soczewkę głowicy laserowej 4, filtr dichroiczny 3 oraz dwie soczewki 14 i 15 charakteryzujące się małymi wartościami liczby Abbego. Następnie w zależności od Przykładu 1 lub 2 wiązka propagowana jest:
zgodnie z Przykładem 1: na dzielnik wiązki 13,
zgodnie z Przykładem 2: na zwierciadło 12, którego zmiana położenia kątowego w dwóch osiach 19 i 20 w kartezjańskim układzie współrzędnych jest sterowana, a dalej na dzielnik wiązki 13.

Niezależnie od wariantu powyżej, wiązka pomiarowa za tymi komponentami jest skolimowana dla długości fali centralnej i skupiana przez soczewkę 11 na czole światłowodu wielomodowego 9, który podłączony jest do optycznego analizatora widma 7. W konsekwencji, dla danej odległości 16 pomiędzy soczewką głowicy laserowej 4, a powierzchnią materiału 5 rejestruje się charakterystyczny pik, którego

argument amplitudy odpowiada długości fali efektywnej zogniskowanej na powierzchni materiału 5. Zmiana odległości 16 pomiędzy soczewką głowicy laserowej 4, a powierzchnią materiału 5 skutkuje spektralnym przemieszczeniem charakterystycznego piku 17*. Zależność spektralnego charakterystycznego piku 17* w funkcji odległości stanowi krzywą kalibracyjną, na bazie której wyznaczana jest odległość 16 pomiędzy soczewką głowicy laserowej 4 oraz powierzchnią materiału 5.

Zmiana położenia miejsca wiązki pomiarowej 21 i 22 na powierzchni materiału 5 realizowana jest poprzez manualną lub precyzyjnie sterowaną zmianę położenia kątowego zwierciadła 12 w dwóch osiach 19 i 20 w kartezjańskim układzie współrzędnych. Zakres zmiany położenia miejsca wiązki pomiarowej na powierzchni materiału 5 zależy od zakresu zmiany położenia kątowego zwierciadła 12, a dokładność i powtarzalność pozycjonowania wiązki pomiarowej zależy od dokładności i powtarzalności zastosowanych silników krokowych, serwonapędów bądź aktuatorów. Zmiana położenia miejsca wiązki pomiarowej 21 i 22 na powierzchni materiału 5 za pomocą manualnej lub precyzyjnie sterowanej zmianie położenia kątowego zwierciadła 12 w dwóch osiach 19 i 20 w kartezjańskim układzie współrzędnych może być sprzężona w sposób asynchroniczny lub synchroniczny z ruchem głowicy laserowej 1 (powszechnie umieszczonej na ramieniu robota lub CNC lub innym manipulatorze).

W wyniku zmiany położenia kątowego zwierciadła 12 wiązka pomiarowa nie propaguje się wzdłuż osi optycznej rozwiązania, tylko pod pewnym kątem, tym większym, im większa zmiana położenia kątowego zwierciadła 12 (Przykład 1 i 2). W konsekwencji odległość 16 pomiędzy soczewką głowicy laserowej 4, a powierzchnią materiału 5 jest większa (nie zachowany jest kąt prostopadły wiązki pomiarowej do powierzchni materiału 5) aniżeli w przypadku gdy wiązka pomiarowa propaguje się zgodnie z osią optyczną rozwiązania. Dlatego też, w celu wyznaczenia poprawnej odległości 16 wprowadzane są współczynniki korekcyjne wyznaczone na bazie pomiarów dla idealnie płaskiej powierzchni materiału silnie odbijającej wiązkę pomiarową (przykładowo, srebro o optycznej jakości powierzchni). Inną możliwością jest zastosowanie układu telecentrycznego 21 bezpośrednio za dwoma soczewkami 14 i 15 o małej wartości liczby Abbego, za którym wiązka pomiarowa propaguje się równolegle i z przesunięciem do osi optycznej rozwiązania (Przykład 3 i 4). W wyniku zastosowania układu telecentrycznego 21 nie ma konieczności stosowania współczynników korekcyjnych jako że zachowany jest kąt prostopadły wiązki pomiarowej w stosunku do powierzchni materiału 5.

Zakres rozwiązania 17 w odniesieniu do możliwych do pomiaru zmian odległości wynika z zakresu spektralnego źródła 6 generującego wiązkę pomiarową, obszarowy zakres wyznaczania topografii powierzchni materiału zależy od kąta zmiany położenia zwierciadła 12, dokładność przy zastosowaniu algorytmów przetwarzania pozyskiwanych danych wynosi poniżej 10 µm, natomiast rozdzielczość rozumiana jako minimalna zmiana odległości powodująca przemieszczenie spektralne charakterystycznego piku 17* jest na poziomie 1 µm.

Zastrzeżenia patentowe

1. Urządzenie do wyznaczania topografii powierzchni materiału przed i po obróbce w procesach technologicznych, **znamienne tym**, że wzdłuż toru optycznego ma kolejno zestawione: źródło szerokospektralne (6) zintegrowane ze światłowodem wielomodowym (8), którego czoło wraz z przynajmniej jedną achromatyczną soczewką asferyczną (10) o ogniskowej od 5 do 50 mm stanowi układ kolimacyjny, następnie zwierciadło (12) ustawione bazowo pod kątem 45 stopni z możliwością manualnej zmiany jego położenia kątowego w dwóch osiach (19 i 20) w kartezjańskim układzie współrzędnych, następnie dzielnik wiązki (13), za którym tworzone są dwie gałęzie optyczne, w pierwszej znajduje się skupiająca pierwsza soczewka asferyczna (14) charakteryzującą się liczbą Abbego z zakresu od 40 do 70, za nią natomiast druga soczewka asferyczna (15) skupiająca w nieskończoności o liczbie Abbego z zakresu od 40 do 70, za którą znajduje się głowica laserowa (1), w której na drodze wiązki z generatora laserowego (2) i jednocześnie na drodze wiązki pochodzącej z drugiej soczewki asferycznej (15) skupiającej w nieskończoności o liczbie Abbego z zakresu od 40 do 70 znajduje się umieszczony pod kątem 45 stopni do nich filtr dichroiczny (3) i dalej procesowa soczewka (4) skupiająca o liczbie Abbego od 60 do 90; w drugiej gałęzi za dzielnikiem wiązki (13) znajduje się co najmniej jedna achromatyczna soczewka asferyczna (11) o ogniskowej od 5 do 50 mm, która stanowi z czołem światłowodu wielomodowego (9) układ kolimujący połączony z optycznym analizatorem widma (7).

2. Urządzenie do wyznaczania topografii powierzchni materiału przed i po obróbce w procesach technologicznych, **znamienne tym**, że wzdłuż toru optycznego ma kolejno zestawione: źródło szerokospektralne (6) zintegrowane ze światłowodem wielomodowym (8), którego czoło wraz z przynajmniej jedną achromatyczną soczewką asferyczną (10) o ogniskowej od 5 do 50 mm stanowi układ kolimacyjny, następnie dzielnik wiązki (13), za którym tworzone są dwie gałęzie optyczne, w pierwszej znajduje się zwierciadło (12) ustawione bazowo pod kątem 45 stopni z możliwością manualnej zmiany jego położenia kątowego w dwóch osiach (19 i 20) w kartezjańskim układzie współrzędnych, a dalej skupiająca pierwsza soczewka asferyczna (14) charakteryzującą się liczbą Abbego z zakresu od 40 do 70, za nią natomiast druga soczewka asferyczna (15) skupiająca w nieskończoności o liczbie Abbego z zakresu od 40 do 70, za którą znajduje się głowica laserowa (1), w której na drodze wiązki z generatora laserowego (2) i jednocześnie na drodze wiązki pochodzącej z drugiej soczewki asferycznej (14) skupiającej w nieskończoności o liczbie Abbego z zakresu od 40 do 70 znajduje się umieszczony pod kątem 45 stopni do nich filtr dichroiczny (3) i dalej procesowa soczewka (4) skupiająca o liczbie Abbego od 60 do 90; w drugiej gałęzi za dzielnikiem wiązki (13) znajduje się co najmniej jedna achromatyczna soczewka asferyczna (11) o ogniskowej od 5 do 50 mm, która stanowi z czołem światłowodu wielomodowego (9) układ kolimujący połączony z optycznym analizatorem widma (7).
3. Urządzenie według zastrz. 1 i 2, **znamienne tym**, że za drugą soczewką asferyczną (15) skupiającą w nieskończoności o liczbie Abbego z zakresu od 40 do 70, znajduje się układ telecentryczny (21) zbudowany z achromatycznych soczewek asferycznych.
4. Urządzenie według zastrz. 1, 2 i 3, **znamienne tym**, że zmiana położenia kątowego w dwóch osiach (19 i 20) w kartezjańskim układzie współrzędnym zwierciadła (12) ustawionego bazowo pod kątem 45 stopni dokonywana jest za pomocą silników krokowych, serwonapędów, lub aktuatorów (18).
5. Urządzenie według zastrz. 1, 2, 3 i 4, **znamienne tym**, że sterowanie zwierciadłem (12) w celu zmiany położenia wiązki pomiarowej (22 i 23) na powierzchni materiału (5) jest sprzężone synchronicznie lub asynchronicznie z ruchem głowicy laserowej (1).

Rysunki

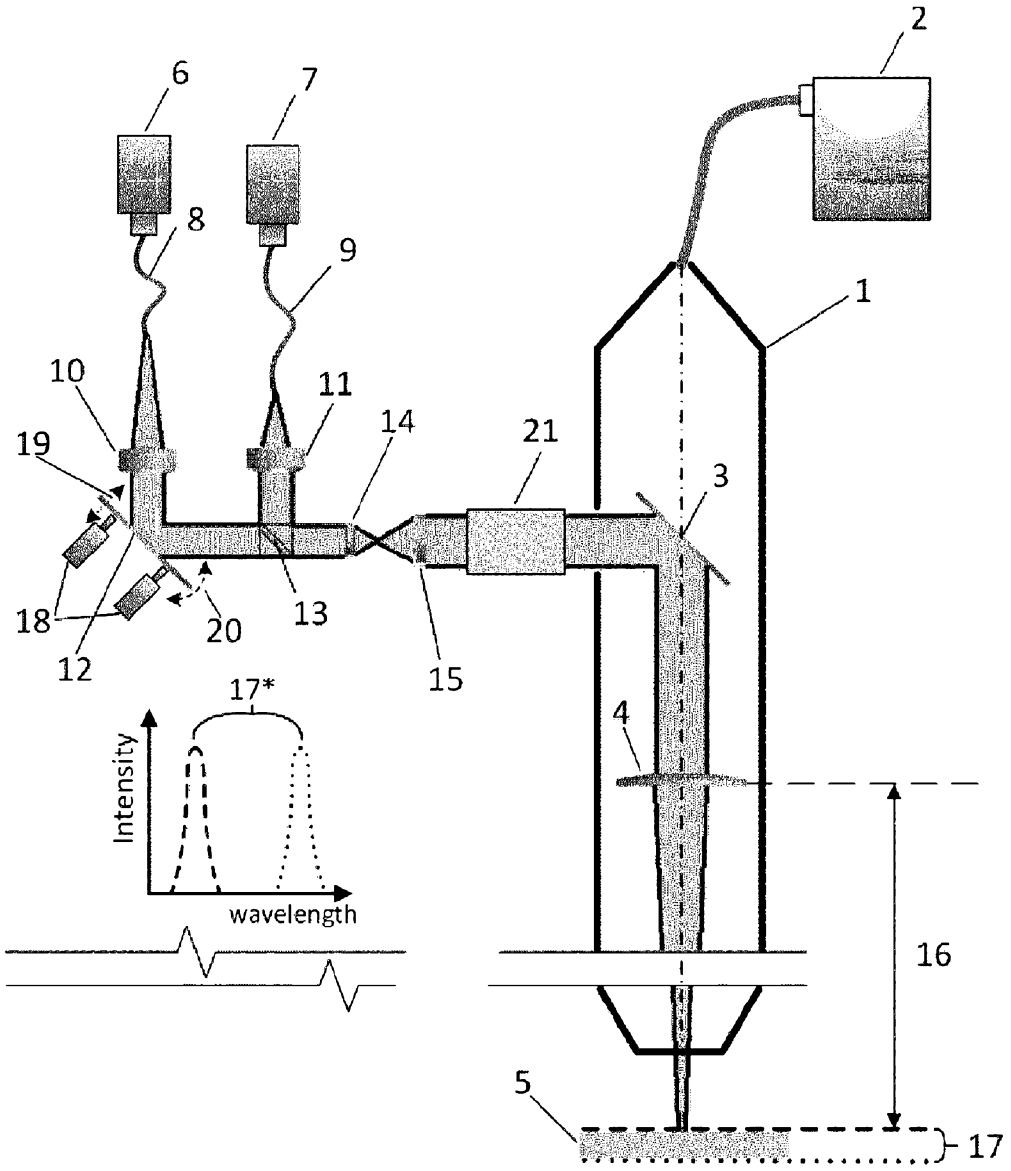

Fig. 1

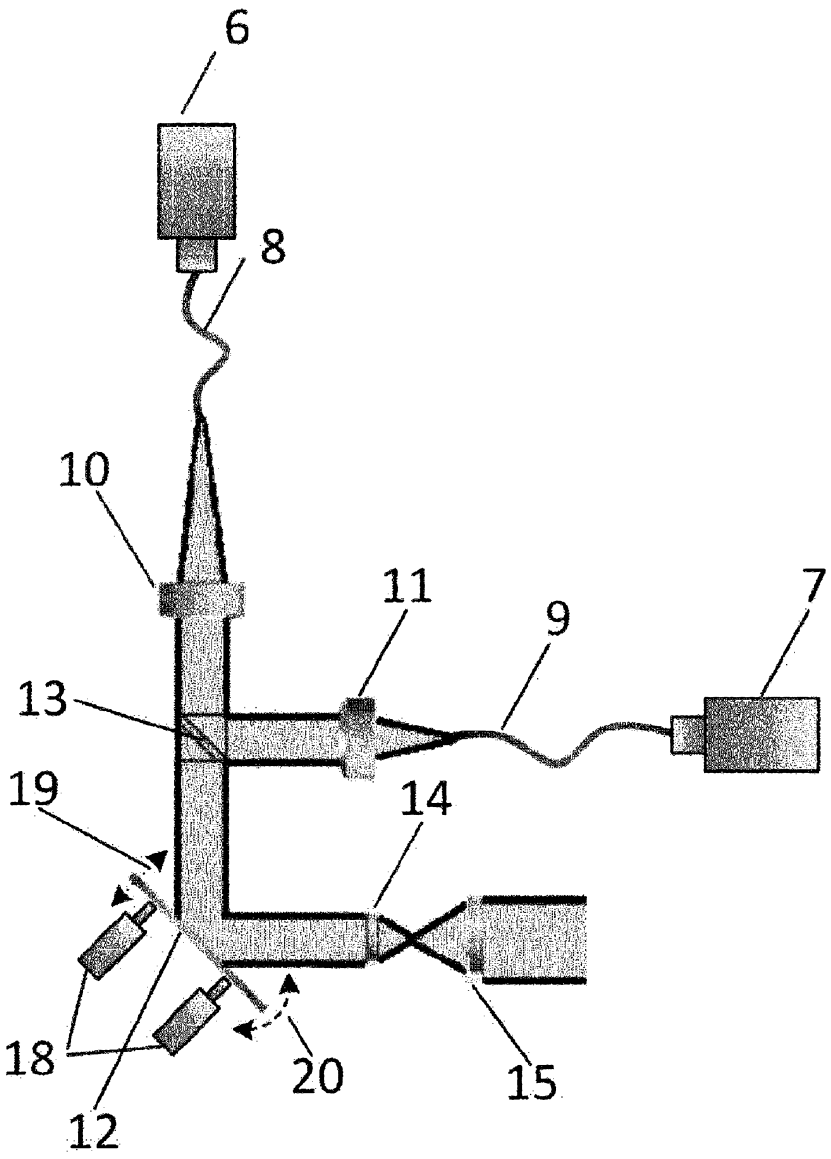

Fig. 2

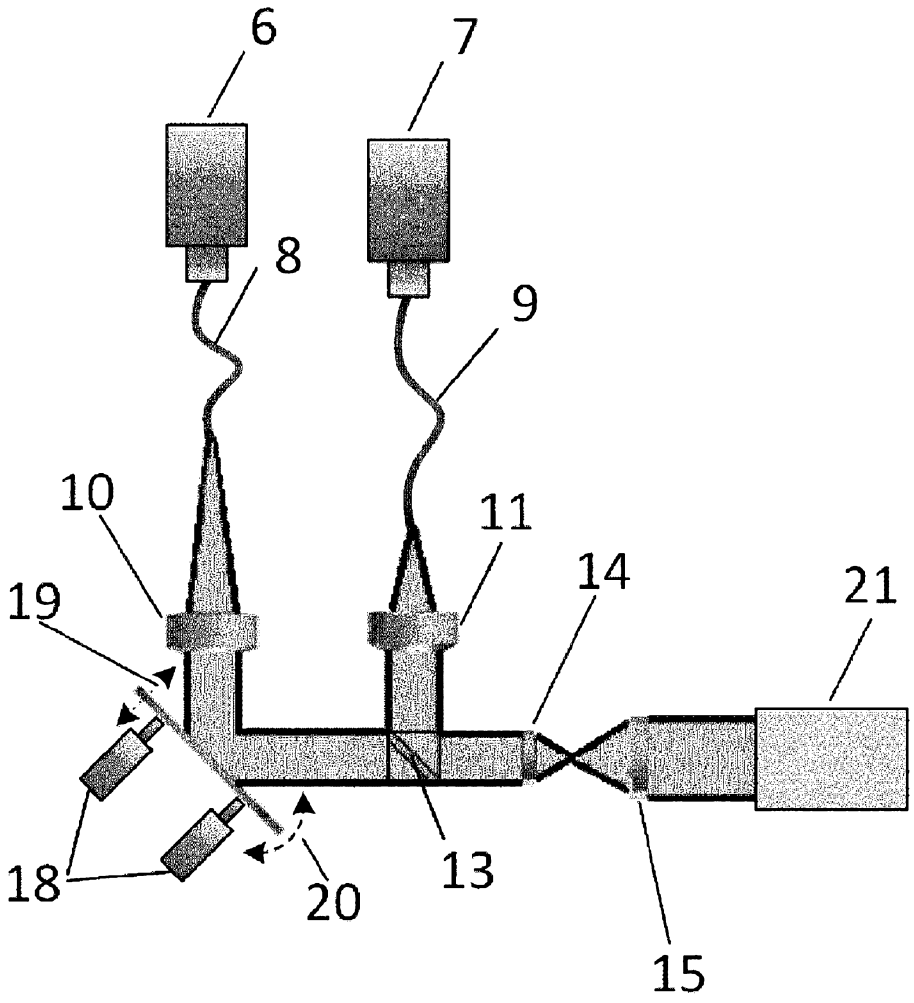

Fig. 3

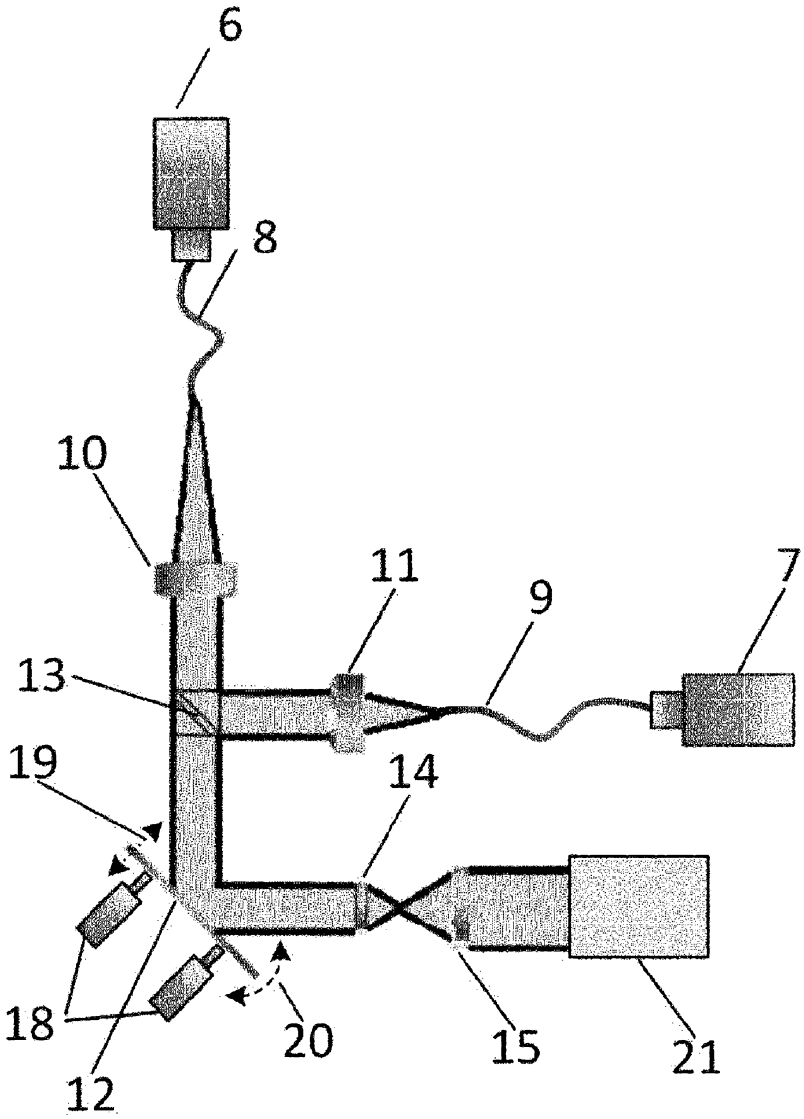

Fig. 4

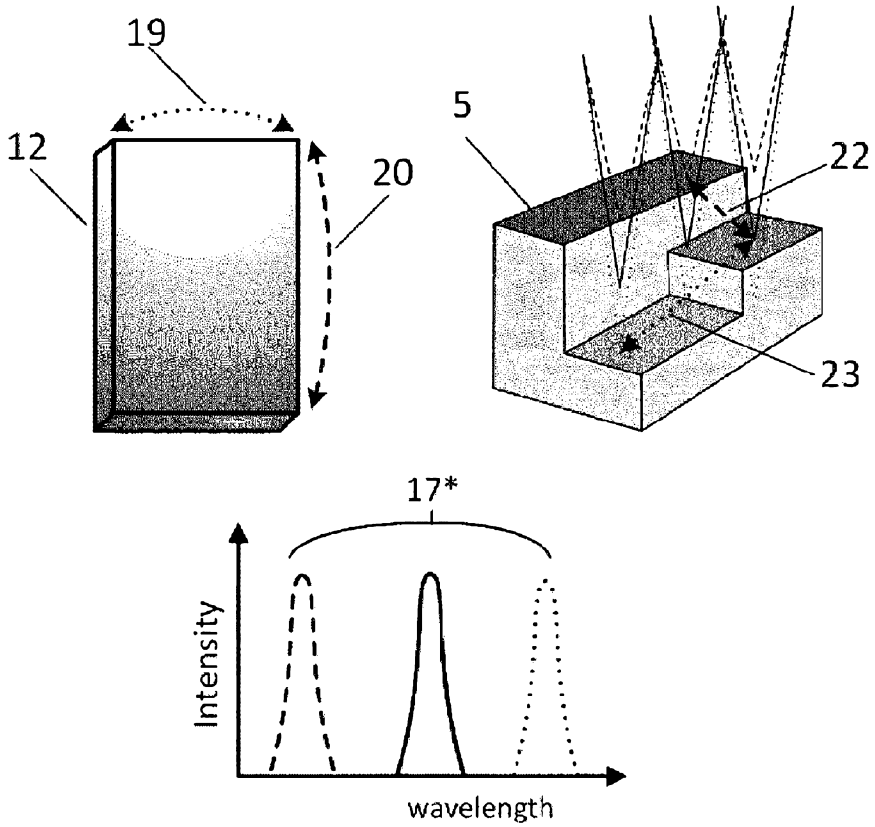

Fig. 5