

RZECZPOSPOLITA
POLSKA



Urząd Patentowy
Rzeczypospolitej Polskiej

(12) **OPIS PATENTOWY**

(19) **PL**

(11) **241303**

(13) **B1**

(21) Numer zgłoszenia: **424588**

(22) Data zgłoszenia: **14.02.2018**

(51) Int.Cl.

G01B 11/26 (2006.01)

G01B 9/00 (2006.01)

(54) **Sposób pomiaru odchyień kątowych wiązki laserowej oraz układ optyczny
do pomiaru mikro-odchyień kątowych wiązki laserowej**

(43) Zgłoszenie ogłoszono:
26.08.2019 BUP 18/19

(45) O udzieleniu patentu ogłoszono:
05.09.2022 WUP 36/22

(73) Uprawniony z patentu:

**POLITECHNIKA WARSZAWSKA,
Warszawa, PL**

(72) Twórca(y) wynalazku:

**MAREK DOBOSZ, Warszawa, PL
MICHAŁ JANKOWSKI, Warszawa, PL**

(74) Pełnomocnik:

recz. pat. Oliwia Czarnocka

PL 241303 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób i układ do pomiaru mikro-odchyleń kątowych wiązki laserowej a zwłaszcza błędów rotacyjnych maszyn zwłaszcza elementu/zespołu, który porusza się wzdłuż osi wiązki laserowej i odchyleń kątowych ruchomego elementu względem wiązki laserowej.

Odchyłki kątowe wiązki laserowej definiuje się jako tzw. pointing stability natomiast odchyłki kątowe elementu poruszającego się wzdłuż osi definiuje się jako tzw. błędy rotacyjne.

Z opisu patentowego PL 219676 znany jest sposób pomiaru mikro odchyleń kątowych względem wiązki laserowej, w którym wiązkę lasera rozdziela się na dwie wiązki w układzie powierzchni odbijających. Po odbiciu wiązek łączy się je ponownie we wspólnym kierunku propagacji tak, że interferują ze sobą tworząc obraz prążków interferencyjnych rejestrowanych przez fotodetektor czuły na zmianę okresu prążków. Ilość tych powierzchni odbijających dla obu wiązek różni się o liczbę nieparzystą. Szukane odchylenie kątowe wyznacza się na podstawie zarejestrowanej przez fotodetektor zmiany okresu prążków interferujących ze sobą wiązek.

Znany z opisu patentowego PL 219676 układ interferometryczny do pomiaru odchyleń kątowych wiązki laserowej mierzy odchylenia jedynie wokół jednej osi – w jednej płaszczyźnie. Taki czujnik określa się terminem „jednoosiowy”.

Celem wynalazku jest opracowanie rozwiązania umożliwiającego pomiary mikro-odchyleń kątowych wiązki laserowej przy pomocy pojedynczego czujnika mikro-odchyleń (dowolnego typu) wokół dwóch prostopadłych osi a w szczególności przemieszczających się zespołów, elementów lub maszyn.

Sposób pomiaru odchyleń kątowych wiązki laserowej, za pomocą jednoosiowego czujnika mikro-odchyleń kątowych, w którym za pomocą lasera generuje się spolaryzowaną liniowo wiązkę światła i kieruje się ją do jednoosiowego czujnika mikro-odchyleń, zgodnie z wynalazkiem cechuje się tym, że pomiar odbywa się dwuetapowo a wyemitowaną przez laser wiązkę przepuszcza się przez nastawny rotator polaryzacji światła. W pierwszym etapie nastawny rotator polaryzacji ustawia się na pierwszą polaryzację, a następnie wiązkę o pierwszej polaryzacji wprowadza się do pierwszego polaryzacyjnego elementu światłodzielnego, do drugiego polaryzacyjnego elementu światłodzielnego oraz do czujnika mikro-odchyleń kątowych i dokonuje się pomiaru odchylenia w pierwszej płaszczyźnie. W drugim etapie ustawia się nastawny rotator polaryzacji światła na drugą polaryzację różniącą się od pierwszej o 90 stopni i wiązkę o drugiej polaryzacji kieruje się do pierwszego elementu światłodzielnego a następnie do elementu obracającego płaszczyznę odchyleń kątowych wiązki laserowej, do drugiego polaryzacyjnego elementu światłodzielnego oraz do czujnika mikro-odchyleń i wykonuje się pomiar odchylenia wiązki w drugiej płaszczyźnie.

Korzystnie w torze optycznym przed rotatorem polaryzacji umieszcza się zwierciadło zamocowane na ruchomym elemencie.

Korzystnie nastawny rotator ustawia się za pomocą elektronicznego układu sterującego.

Układ optyczny do pomiaru mikro-odchyleń kątowych wiązki laserowej zwłaszcza błędów rotacyjnych, wyposażony w laser emitujący wiązkę światła laserowego prowadzonego w torze optycznym do jednoosiowego czujnika mikro-odchyleń kątowych, zgodnie z wynalazkiem cechuje się tym, że w torze optycznym, na drodze wiązki światła znajduje się nastawny rotator polaryzacji światła, za którym znajduje się pierwszy polaryzacyjny element światłdzielący i w zależności od niej kierujący wiązkę do pierwszej lub do drugiej gałęzi toru, które to gałęzie toru łączą się w drugim elemencie światłdzielącym wrażliwym na polaryzację, przy czym w jednej z gałęzi znajduje się element obracający płaszczyznę odchyleń kątowych wiązki laserowej.

Korzystnie w torze optycznym przed rotatorem polaryzacji znajduje się zwierciadło zamocowane na ruchomym elemencie poddawany badaniu.

Korzystnie nastawny rotator polaryzacji jest sterowalny elektronicznie i połączony z elektronicznym układem sterującym.

Korzystnie element obracającego płaszczyznę odchyleń kątowych wiązki laserowej stanowi pryzmat.

Zgodnie z wynalazkiem wykorzystuje się zmianę polaryzacji do kierowania wiązki pomiarowej w różne gałęzie toru, z których jedna zawiera element obracający płaszczyznę pomiaru. Takie rozwiązanie zapewnia szybkie i sprawne przełączanie i dwuetapowy pomiar w dwóch płaszczyznach za pomocą jednego jednoosiowego czujnika. Unika się dzięki temu duplikowania czujników i punktów pomiaru.

Wynalazek został objaśniony w przykładach wykonania na rysunku, na którym fig. 1 przedstawia schematycznie układ optyczny interferometru z czujnikiem mikro-odchyleń kątowych, fig. 2a przedstawia pryzmat obracający płaszczyznę odchyleń kątowych w widoku z przodu, fig. 2b przedstawia ten sam pryzmat w widoku z boku, fig. 2c przedstawia ten pryzmat w perspektywie zaś fig. 2d przedstawia schematycznie propagację wiązki światła przez ten pryzmat, fig. 3, fig. 4.

Optyczny układ pomiarowy odchyleń kątowych wiązki laserowej składa się z lasera 1, pierwszego polaryzacyjnego elementu światłodzielnego 2, elektronicznego rotatora polaryzacji światła 3 umieszczonego między laserem 1 a polaryzacyjnym elementem światłodzielnym 2, drugiego polaryzacyjnego elementu światłodzielnego 4, pryzmatu 5 który obraca o 90° płaszczyznę odchyleń kątowych wiązki laserowej, zwierciadła 6 kierującego wiązkę oraz czujnika mikro-odchyleń kątowych 7 wiązki laserowej zbudowanego np. według opisu patentowego PL 219676, który mierzy odchylenia kątowe wiązki laserowej wokół jednej osi na rysunku Z czyli w płaszczyźnie XY. Rotator polaryzacji światła 3 może być sterowany układem elektronicznym 11. Przykład budowy pryzmatu 5 który obraca o 90° płaszczyznę odchyleń kątowych wiązki laserowej pokazano na fig. 2a, 2b i 2e. Składa się on z trzech odpowiednio sklejonych pryzmatów prostokątnych. Propagacja światła w pryzmacie została pokazana na fig. 2d. Polaryzacyjne elementy światłodzielnego 2, 4 działają w ten sposób, że są wrażliwe na polaryzację i w zależności od tej polaryzacji wiązki padającego światła przepuszczają tę wiązkę lub odbijają ją w całości pod określonym kątem.

Zgodnie ze sposobem według wynalazku spolaryzowaną liniowo wiązkę światła 8 emitowaną przez laser 1 przepuszcza się przez elektroniczny rotator polaryzacji światła 3, który w zależności od napięcia sterującego podawanego przez układ elektroniczny 11 obraca płaszczyznę polaryzacji światła wychodzącej wiązki 9 do kierunku zgodnego z osią X lub z osią Z. Jeżeli kierunek polaryzacji światła wiązki 9 jest zgodny z osią Z to cała wiązka 9 transmitowana jest przez element światłodzielnego 2 przez pierwszą gałąź toru optycznego do elementu światłodzielnego 4 i wprowadzana jest do czujnika mikro-odchyleń kątowych 7. Czujnik ten mierzy odchylenia kątowe wiązki 9 w płaszczyźnie XY czyli wokół osi Z.

Jeżeli kierunek polaryzacji światła wiązki 9 jest zgodny z osią X — prostopadłą do płaszczyzny rysunku — to cała wiązka 9 odbijana jest przez element światłodzielnego 2 tworząc wiązkę 10, która biegnie prostopadle do wiązki 9 w drugiej gałęzi toru optycznego zawierającej pryzmat 5, który obraca o 90° płaszczyznę odchyleń kątowych wiązki laserowej. Jeżeli wiązka laserowa 9 odchyliła się kątowo w płaszczyźnie YZ — wokół osi X — to po przejściu przez pryzmat 5 wiązka 12 wychodząca z niego odchylić się będzie o tę samą wartość lecz w płaszczyźnie XY — wokół osi Z. Wiązka 12 jest następnie kierowana przy pomocy zwierciadła lub pryzmatu 6 do drugiego polaryzacyjnego elementu światłodzielnego 4. Ponieważ wiązka 12 ma tę samą polaryzację co wiązka 10 i 9 to jest ona w całości odbijana przez element światłodzielnego 4 w kierunku czujnika mikro-odchyleń kątowych 7. Mierzy on teraz odchylenia wiązki 12 w płaszczyźnie XY czyli odchylenia wiązki 8 i 9 w płaszczyźnie YZ. W ten sposób odchylenia kątowe wiązki lasera 8 poprzez przełączanie elektronicznym rotatorem polaryzacji światła 3 są mierzone naprzemiennie w płaszczyźnie XY oraz w płaszczyźnie YZ.

Opisany sposób pomiaru oraz układ optyczny może być przeznaczony do pomiaru mikro-odchyleń kątowych elementu 13 testowanej maszyny, który porusza się wzdłuż osi wiązki laserowej, co odpowiada osi współrzędnych Y na fig. 3. Odchylenia kątowe elementu poruszającego się wzdłuż osi Y definiuje się jako tzw. błędy rotacyjne w z których jeden o nazwie pochylenia (ang. pitch) stanowi obroty wokół osi Z oraz drugi nazywany jako skręcenia (ang. yaw) stanowi obroty wokół osi X. W układzie z fig. 3 wiązka z lasera 1, która ma polaryzację liniową zgodnie z kierunkiem osi X — prostopadłą do płaszczyzny rysunku — pada na polaryzacyjny element światłodzielnego 14, który odbija ją w kierunku zwierciadła 15 przymocowanego do ruchomego elementu 13 testowanej maszyny. Światło biegnące w kierunku zwierciadła 15 przechodzi przez optyczną płytkę ćwierćfalową 16 która zamienia polaryzację liniową światła na kołową. Po odbiciu od zwierciadła 15 wiązka ponownie przechodzi przez płytkę ćwierćfalową 16 co powoduje zmianę polaryzacji światła na liniową równoległą do osi Z. Wiązka ta jest transmitowana przez element światłodzielnego 14 i jako wiązka 8 wchodzi do układu opisanego w odniesieniu do fig. 1 którego początkowym elementem jest tutaj elektroniczny rotator polaryzacji światła 3. Dalszy opis biegu światła w układzie jest taki sam jak na w przykładzie wykonania opisanym w odniesieniu do fig. 1.

Interferometr przedstawiony na fig. 4 różni się tym od interferometru z fig. 3, tym że wiązka 8 emitowana przez laser 1 która ma polaryzację liniową transmitowana jest przez rotator polaryzacji światła 3, który w zależności od napięcia sterującego podawanego przez układ elektroniczny 11 obraca

płaszczyznę polaryzacji światła wychodzącej wiązki 9 do kierunku zgodnego z osią X lub z osią Y. Jeżeli kierunek polaryzacji światła wiązki 9 jest zgodny z osią X to cała wiązka 9 odbijana jest przez element światłdzielący 2. Następnie przechodzi przez płytkę ćwierćfalową 16 która zamienia polaryzację liniową światła na kołową. Po odbiciu od zwierciadła 15 wiązka ponownie przechodzi przez płytkę ćwierćfalową 16 co powoduje zmianę polaryzacji światła na liniową równoległą do osi Z. Wiązka ta jest transmitowana przez element światłdzielący 2 a następnie jest transmitowana przez element światłdzielący 4 i wchodzi do czujnika mikroodchyłeń kątowych 7.

Jeżeli kierunek polaryzacji światła wiązki 9 jest zgodny z osią Y to cała wiązka 9 transmitowana jest przez element światłdzielący 2 i przechodzi przez tzw. płytkę półfalową 17 która obraca jej oś polaryzacji do kierunku osi X. Wiązka ta wchodzi do polaryzacyjnego elementu światłdzielącego 18, który w całości ją odbija. Następnie przechodzi przez płytkę ćwierćfalową 19 która zamienia polaryzację liniową światła na kołową. Po odbiciu od zwierciadła 15 wiązka ponownie przechodzi przez płytkę ćwierćfalową 19 co powoduje zmianę polaryzacji światła na liniową równoległą do osi Z. Wiązka ta jest transmitowana przez element światłdzielący 18 a następnie jest wprowadzana do pryzmatu 5 który obraca o 90° płaszczyznę odchyłeń kątowych wiązki laserowej. Wiązka wychodząca z pryzmatu 5 przechodzi przez płytkę półfalową 20 która obraca jej polaryzację do kierunku zgodnego z osią X. Ta polaryzacja jest w całości odbijana przez element światłdzielący 4 w kierunku czujnika mikroodchyłeń kątowych 7.

Dla znawcy jest jasnym, że element obracający płaszczyznę odchyłeń kątowych wiązki laserowej można skonstruować na liczne sposoby, niekoniecznie jako pryzmat 5. Znanca jest też w stanie rutynowo zaproponować różne wrażliwe na polaryzację elementy światłdzielące, które można zastosować w przedmiotowym wynalazku. Znanca może zaproponować również różne konstrukcje rotatora polaryzacji światła z wykorzystaniem sterowania elektronicznego, mechanicznego lub innego. Wszelkie tego rodzaju modyfikacje mieszczą się w zakresie ochrony określonym w załączonych zastrzeżeniach patentowych.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób pomiaru mikro-odchyłeń kątowych wiązki laserowej (8), za pomocą jednoosiowego czujnika mikro-odchyłeń kątowych (7), w którym za pomocą lasera (1) generuje się spolaryzowaną liniowo wiązkę laserową (8) i kieruje się ją do jednoosiowego czujnika mikroodchyłeń (7), **znamienny tym**, że pomiar odbywa się dwuetapowo, w pierwszym etapie dokonuje się pomiaru odchylenia w pierwszej płaszczyźnie, w którym to etapie wyemitowana przez laser (1) wiązka laserowa (8) przepuszczana jest przez nastawny rotator (3) polaryzacji światła, ustawiony w pozycji pierwszej polaryzacji, tak że wychodząca z niego wiązka laserowa (9) jest transmitowana poprzez pierwszy polaryzacyjny element światłdzielący (2) przepuszczający wiązkę o pierwszej polaryzacji oraz drugi polaryzacyjny element światłdzielący (4) przepuszczający wiązkę o pierwszej polaryzacji i wprowadzana jest do czujnika mikro-odchyłeń kątowych (7), po czym w drugim etapie dokonuje się pomiaru odchylenia w drugiej płaszczyźnie, w którym to etapie wyemitowana przez laser (1) wiązka laserowa (8) przepuszczana jest przez nastawny rotator (3) polaryzacji światła, ustawiony w pozycji drugiej polaryzacji różniącej się od pierwszej o 90° stopni, tak że wychodząca z niego wiązka laserowa (9) odbijana jest przez pierwszy polaryzacyjny element światłdzielący (2) odbijający wiązkę o drugiej polaryzacji, element obracający płaszczyznę odchyłeń kątowych (5), element kierujący wiązkę (6) i drugi polaryzacyjny element światłdzielący (4) odbijający wiązkę o drugiej polaryzacji wprowadzana jest do czujnika mikro-odchyłeń kątowych (7).
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że nastawny rotator (3) polaryzacji światła ustawiany jest poprzez elektroniczny układ sterujący (11).
3. Układ optyczny do pomiaru mikro-odchyłeń kątowych wiązki laserowej wyposażony w laser (1) i czujnik mikro-odchyłeń kątowych (7), **znamienny tym**, że w torze optycznym między laserem (1) a czujnikiem mikro-odchyłeń kątowych (7) od strony lasera (1) umieszczony jest nastawny rotator (3) polaryzacji światła, za którym umieszczony jest pierwszy polaryzacyjny element światłdzielący (2) pierwszej gałęzi i drugiej gałęzi,

- przy czym w pierwszej gałęzi toru optycznego umieszczony jest pierwszy polaryzacyjny element światłodzielnący (2) wiązki laserowej (9) i drugi polaryzacyjny element światłodzielnący (4), w drugiej gałęzi toru optycznego umieszczony jest pierwszy polaryzacyjny element światłodzielnący (2), element obracający płaszczyznę odchyłeń kątowych (5) drugiej wiązki laserowej (10) oraz element (6) kierujący wiązkę i drugi polaryzacyjny element światłodzielnący (4), przy czym za drugim polaryzacyjnym elementem światłodzielnącym (4) umieszczony jest czujnik mikro-odchyłeń kątowych (7).
4. Układ optyczny według zastrz. 3, **znamienny tym**, że w torze optycznym wiązki laserowej (8) przed rotatorem polaryzacji (3) umieszczone jest zwierciadło (15) zamocowane na ruchomym elemencie (13) poddawany badaniu.
 5. Układ optyczny według zastrz. 4 albo 5, **znamienny tym**, że nastawny rotator (3) polaryzacji jest sterowalny elektronicznie i połączony z elektronicznym układem sterującym (11).
 6. Układ optyczny według zastrz. 4 albo 5 albo 6, **znamienny tym**, że element obracający płaszczyznę odchyłeń kątowych (5) wiązki laserowej jest pryzmatem.

Rysunki

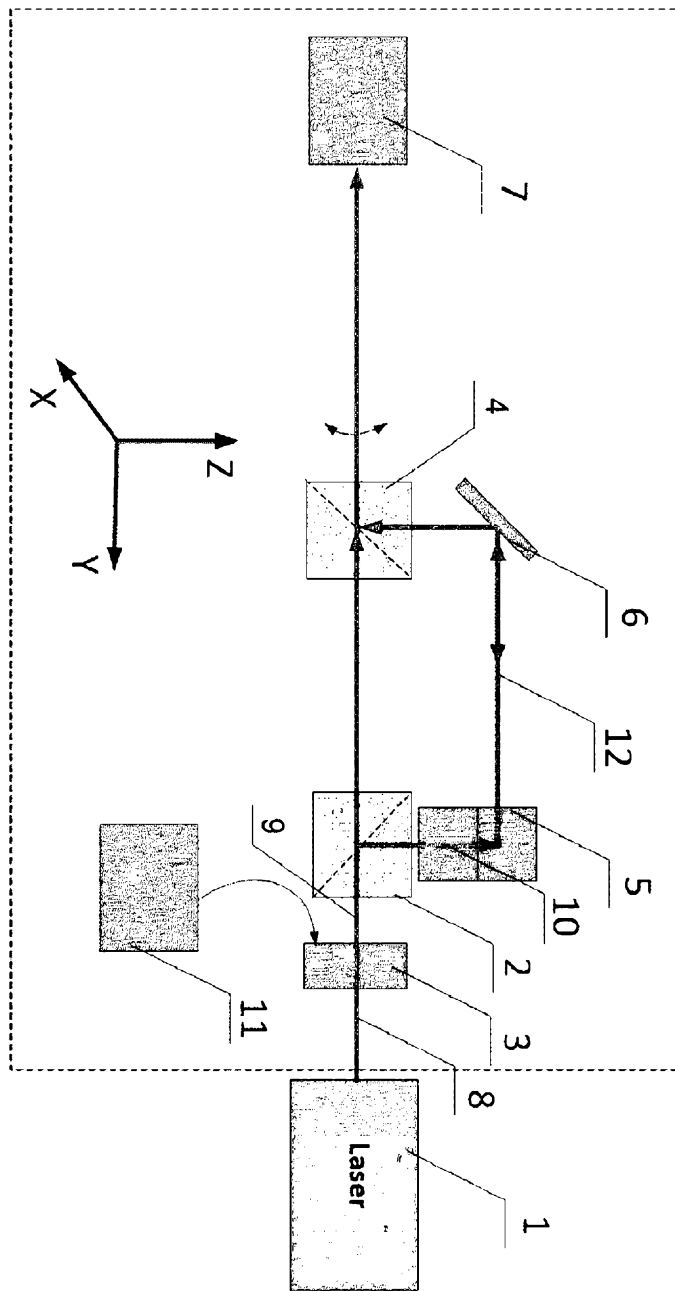


Fig. 1

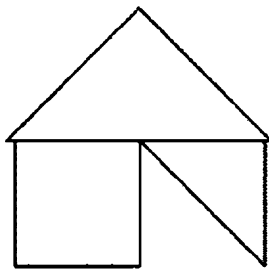


Fig. 2a

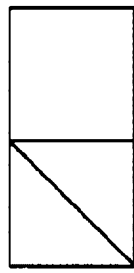


Fig. 2b

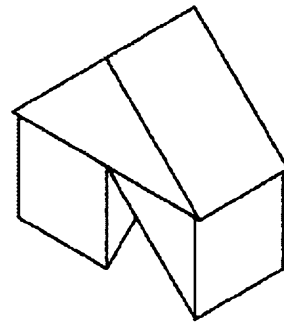


Fig. 2c

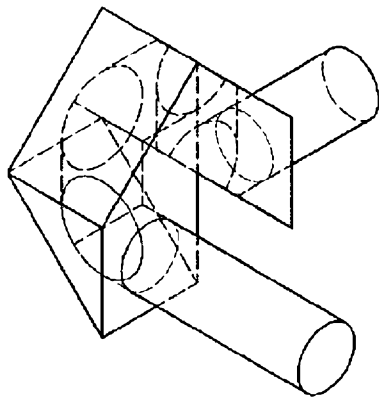


Fig. 2d

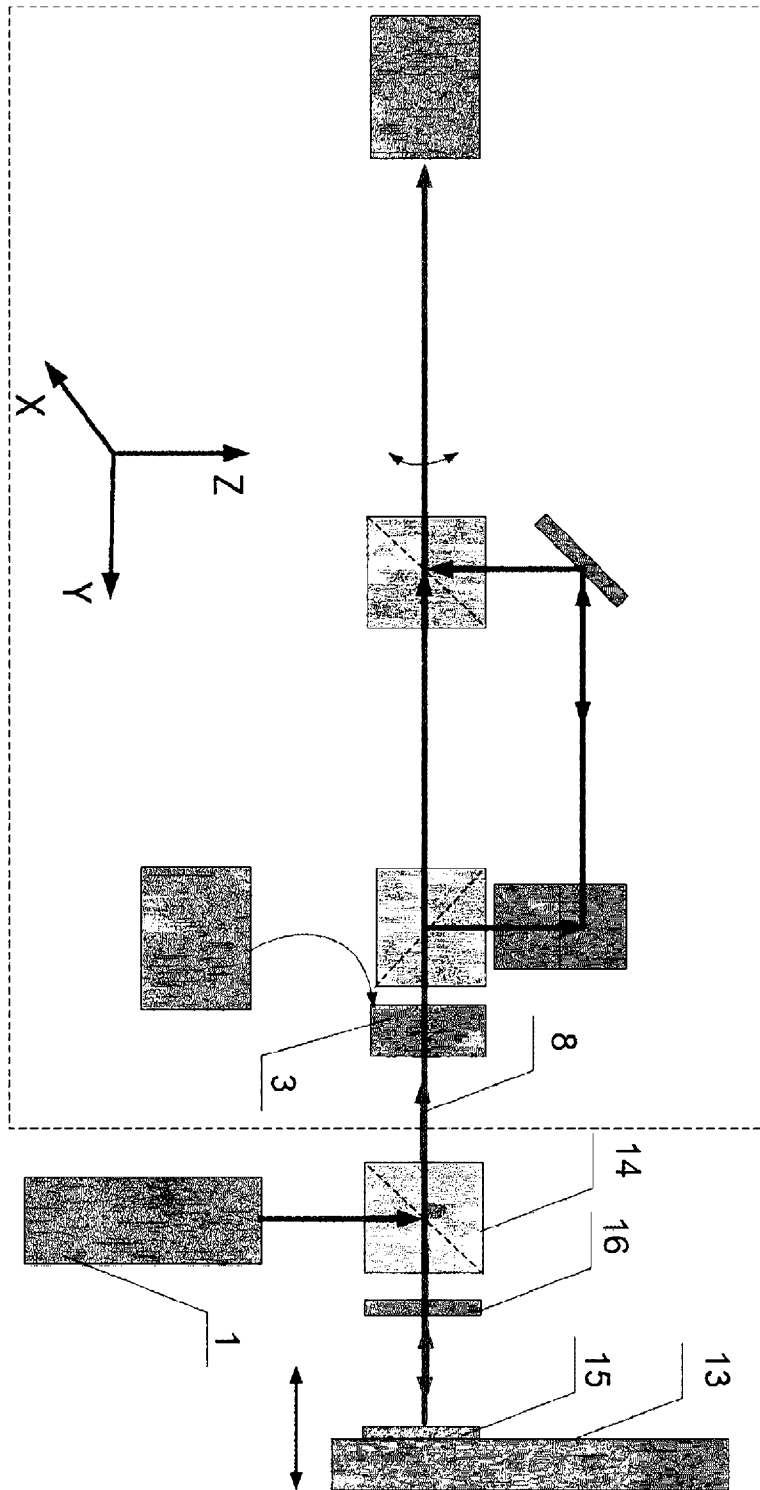


Fig. 3

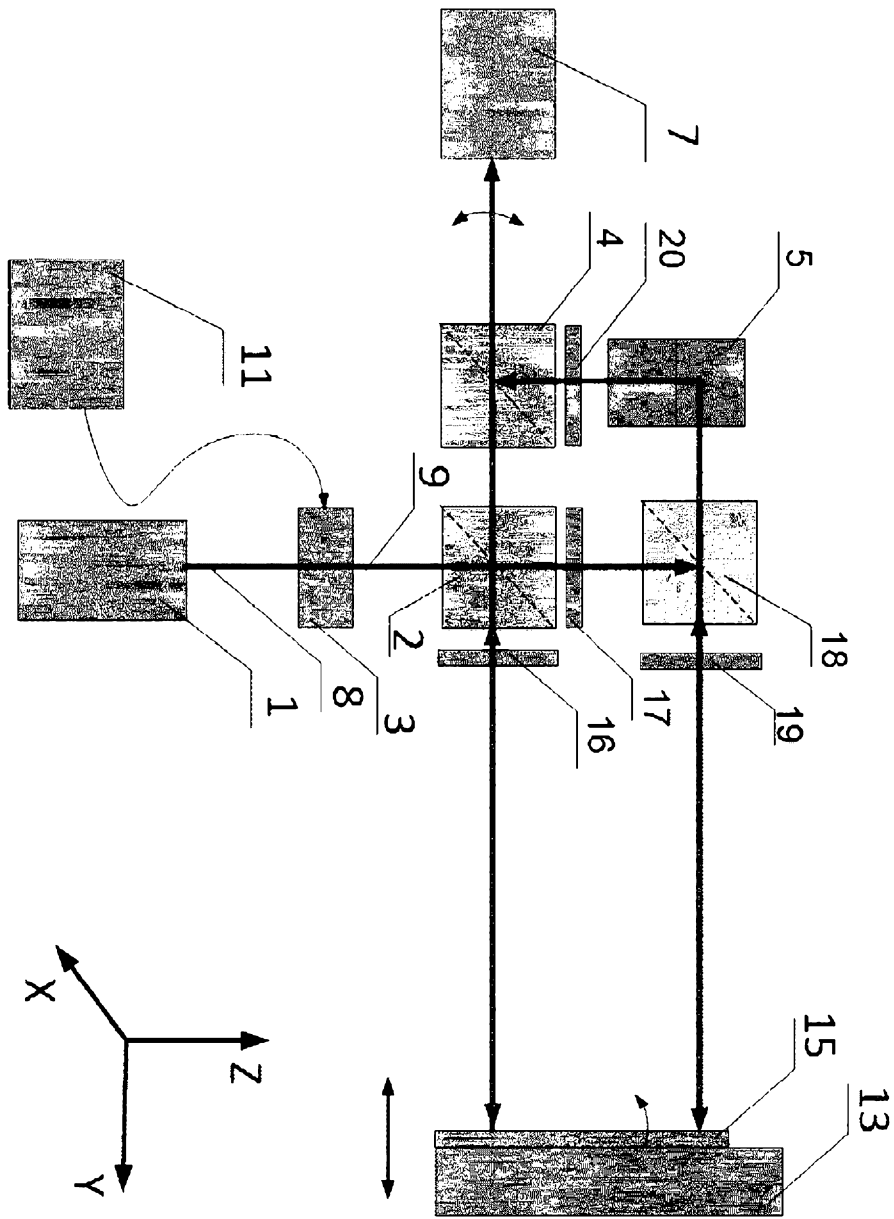


Fig. 4