



(10) **DE 11 2019 007 724 B4** 2023.05.25

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2019 007 724.4**
 (86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/JP2019/041084**
 (87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2021/075046**
 (86) PCT-Anmeldetag: **18.10.2019**
 (87) PCT-Veröffentlichungstag: **22.04.2021**
 (43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
 in deutscher Übersetzung: **23.06.2022**
 (45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **25.05.2023**

(51) Int Cl.: **G01S 17/34 (2020.01)**
G01S 17/88 (2006.01)
G01S 7/481 (2006.01)
G01B 11/02 (2006.01)
G01B 9/02055 (2022.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Mitsubishi Electric Corporation, Tokyo, JP

(72) Erfinder:
Yamauchi, Takanori, Tokyo, JP; Goto, Hiroki, Tokyo, JP; Onohara, Kiyoshi, Tokyo, JP; Suzuki, Naoki, Tokyo, JP

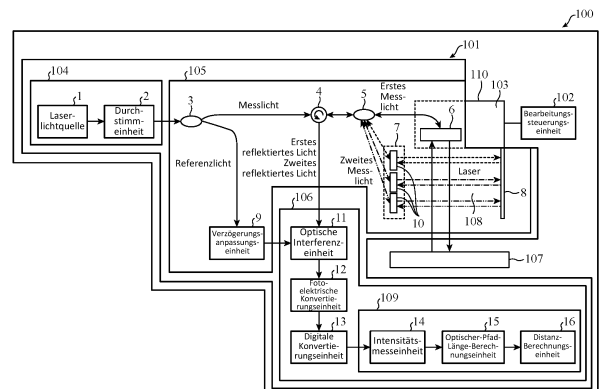
(74) Vertreter:
Pfenning, Meinig & Partner mbB Patentanwälte, 80339 München, DE

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **OPTISCHE-DISTANZ-MESSEINRICHTUNG UND BEARBEITUNGSEINRICHTUNG**

(57) Hauptanspruch: Optische-Distanz-Messeinrichtung, umfassend:
 eine Teilungseinheit, um Laserlicht in Messlicht und Referenzlicht zu teilen;
 eine Messlicht-Teilungseinheit, um das durch die Teilungseinheit erzeugte Messlicht in erstes Messlicht und zweites Messlicht zu teilen;
 ein erstes optisches System, um ein Zielobjekt mit dem durch die Messlicht-Teilungseinheit erzeugten ersten Messlicht anzustrahlen, und von dem Zielobjekt reflektiertes erstes reflektiertes Licht zu empfangen;
 ein zweites optisches System, um das durch die Messlicht-Teilungseinheit erzeugte zweite Messlicht zu einem Raum zwischen dem ersten optischen System und dem Zielobjekt zu emittieren;
 eine Reflexionseinheit, um das zweite Messlicht, das von dem zweiten optischen System emittiert wird und den Raum zu dem zweiten optischen System passiert, zu reflektieren;
 eine Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit, um eine erster-optischer-Pfad-Länge von einer Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems zu einer Reflexionsoberfläche des Zielobjekts zu berechnen auf Grundlage des ersten reflektierten Lichts, das von dem ersten optischen System empfangen wird, und des Referenzlichts, das durch die Teilungseinheit erzeugt wird, und eine zweiter-optischer-Pfad-Länge von einer Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems zu einer Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit zu berechnen auf Grundlage des zweiten reflektierten Lichts, das von der Reflexionsein-

heit reflektiert wird und von dem zweiten optischen System empfangen wird, und des Referenzlichts, das durch die Teilungseinheit erzeugt wird; und
 eine Distanz-Berechnungseinheit, um einen Brechungsindex des Raums zu berechnen auf Grundlage der zweiter-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit gemessen wird, und eine Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts zu berechnen auf Grundlage des Brechungsindex und der erster-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit gemessen wird.



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	10 2014 004 697	A1
US	6 646 723	B1
EP	2 329 218	B1
EP	2 620 742	A1

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft hauptsächlich eine Optische-Distanz-Messeinrichtung.

HINTERGRUND ZUM STAND DER TECHNIK

[0002] Konventionell ist eine Optische-Distanz-Messeinrichtung bekannt, die unter Verwendung von Licht, das von einer Lichtquelle emittiert wird, die Distanz von einer vorherbestimmten Position in dem optischen Pfad des Lichts zu der Position eines Zielobjekts misst (siehe zum Beispiel Patentliteratur 1.). Das durch die Optische-Distanz-Messeinrichtung zur Messung der Distanz genutzte Verfahren ist beispielsweise ein Impulsausbreitungsverfahren, ein Triangulationsverfahren, ein konfokales Verfahren, Weißlichtinterferometrie, Wellenlängenabstastinterferometrie oder dergleichen. Unter diesen Verfahren sind die Weißlichtinterferometrie, die Wellenlängenabstastinterferometrie oder dergleichen Interferometrie unter Verwendung eines Interferenzphänomens von Licht.

[0003] Bei der Interferometrie wird von einer Lichtquelle emittiertes Licht in Messlicht und Referenzlicht geteilt, Interferenzlicht wird durch Bewirken, dass das Referenzlicht und reflektiertes Licht, das durch Reflektieren des Messlichts auf einem Zielobjekt erhalten wird, miteinander interferieren, erzeugt und eine optischer-Pfad-Länge von einer vorherbestimmten Position in einem optischen Pfad des Messlichts zu der Position des Zielobjekts wird auf Grundlage des Interferenzlichts berechnet.

[0004] Beispielsweise wird in der Weißlicht-Interferometrie wie Spektraldomäneninterferometrie eine Lichtquelle, die Breitbandlicht emittiert, genutzt. Eine Optische-Distanz-Messeinrichtung, die die Weißlicht-Interferometrie nutzt, streut Interferenzlicht durch ein Spektroskop, um Interferenzlicht zu erzeugen, das für jede Frequenz räumlich getrennt ist, und berechnet eine optischer-Pfad-Länge von einer vorherbestimmten Position in einem optischen Pfad von Messlicht zu der Position eines Zielobjekts auf Grundlage des Interferenzlichts.

[0005] Bei der Wellenlängenabstastinterferometrie wird zum Beispiel wellenlängendurchgestimmtes Licht genutzt, dessen Wellenlänge im Laufe der Zeit variiert. In einer Optische-Distanz-Messeinrichtung, die die Wellenlängenabstastinterferometrie nutzt, wird eine optischer-Pfad-Länge von einer vorherbestimmten Position in einem optischen Pfad des Messlichts zu der Position eines Zielobjekts auf Grundlage von Interferenzlicht berechnet, das durch Bewirken von Interferenz zwischen reflektiertem Licht des wellenlängendurchgestimmten Lichts und Referenzlicht

des wellenlängendurchgestimmten Lichts erzeugt wird.

[0006] Die optischer-Pfad-Länge ist gleich dem Produkt aus einem Brechungsindex und einer tatsächlichen Distanz. Daher muss die optischer-Pfad-Länge, die durch die oben beschriebene Optische-Distanz-Messeinrichtung berechnet wird, auf Grundlage des Brechungsindex einer Substanz, die das Messlicht von der vorherbestimmten Position in dem optischen Pfad des Messlichts zu der Position des Zielobjekts passiert, in die Distanz von der vorherbestimmten Position in dem optischen Pfad des Messlichts zu der Position des Zielobjekts konvertiert werden.

LISTE DER ANFÜHRUNGEN

PATENTLITERATUR

[0007] Patentliteratur 1: JP 2012-2604 A

[0008] Die EP 2 329 218 B1 offenbart ein Verfahren zum Bestimmen einer Entfernung zwischen einem Ausgang einer Messvorrichtung und einem Objekt. Hierzu werden ein erster Lichtstrahl mit einer ersten Frequenz von einer ersten Laserquelle und ein zweiter Lichtstrahl mit einer zweiten Frequenz von einer zweiten Laserquelle erzeugt. Die beiden Laserquellen sind um 180° phasenverschoben zueinander.

[0009] Die EP 2 620 742 A1 offenbart ein Verfahren zur Längenmessung und eine hierfür geeignete Vorrichtung. Hierbei wird ein Frequenzkamm erzeugt, der aus einer Mehrzahl äquidistanter Kammlinien besteht. Zwei verschiedene Kammlinien werden herausgefiltert und so zwei Strahlen erzeugt. Durch Interferenz des ersten Strahls und des zweiten Strahls wird ein Schwebungssignal erzeugt, aus dem die Länge bestimmt wird.

[0010] Die DE 10 2014 004 697 A1 offenbart ein Verfahren zur Messung einer Distanz. Hierzu wird ein System eingesetzt, das ein Mehrwellenlängen-Holographie-Modul, zwei Holographie-Lichtquellen, einen Strahlteiler und ein Beugungselement aufweist.

[0011] Die US 6 646 723 B1 offenbart ein Interferometer zur Messung von Abständen mit einem Hochgeschwindigkeitsphasenmodulator und zusätzlichen Phasennessern, um multiple heterogene Signalleistungen mit verschiedenen Frequenzen zu erzeugen und zu analysieren.

KURZFASSUNG DER ERFINDUNG

TECHNISCHE AUFGABE

[0012] In einem Fall, in dem sich der Brechungsindex des Raums zwischen einem optischen Element, das das Zielobjekt mit dem Messlicht bestrahlt, und

dem Zielobjekt, das das Messlicht reflektiert, ändert, unterscheidet sich allerdings der geänderte Brechungsindex von dem Brechungsindex, der für die Konvertierung der optischer-Pfad-Länge in die Distanz genutzt wird, und somit besteht das Problem, dass die Distanzmessgenauigkeit abnimmt. Es sei angemerkt, dass im Folgenden ein solcher Raum als ein Distanz-Messraum bezeichnet wird.

[0013] Der Brechungsindex von Luft in dem Distanz-Messraum ändert sich zum Beispiel gemäß der Temperatur der Luft. Ferner ändert sich der Brechungsindex von Luft in einem solchen Raum gemäß einer Änderung von Atmosphärendruck. Zudem, wenn die Optische-Distanz-Messeinrichtung in einer Bearbeitungseinrichtung installiert ist, die ein Zielobjekt bearbeitet, streut während der Bearbeitung außerdem ein Bearbeitungsölnebel in den Distanz-Messraum, so dass sich der Brechungsindex des Distanz-Messraums ändert.

[0014] Die vorliegende Erfindung wurde realisiert, um das obige Problem zu lösen, und eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine Optische-Distanz-Messeinrichtung bereitzustellen, die in der Lage ist, eine Abnahme der Distanzmessgenauigkeit aufgrund einer Änderung des Brechungsindex des Distanz-Messraums zu unterdrücken.

LÖSUNG DES PROBLEMS

[0015] Die Optische-Distanz-Messeinrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung umfasst: eine Teilungseinheit, um Laserlicht in Messlicht und Referenzlicht zu teilen; eine Messlicht-Teilungseinheit, um das durch die Teilungseinheit erzeugte Messlicht in erstes Messlicht und zweites Messlicht zu teilen; ein erstes optisches System, um ein Zielobjekt mit dem durch die Messlicht-Teilungseinheit erzeugten ersten Messlicht zu bestrahlen, und von dem Zielobjekt reflektiertes erstes reflektiertes Licht zu empfangen; ein zweites optisches System, um das durch die Messlicht-Teilungseinheit erzeugte zweite Messlicht zu einem Raum zwischen dem ersten optischen System und dem Zielobjekt zu emittieren; eine Reflexionseinheit, um das zweite Messlicht, das von dem zweiten optischen System emittiert wird und den Raum zu dem zweiten optischen System passiert, zu reflektieren; eine Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit, um eine erster-optischer-Pfad-Länge von einer Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems zu einer Reflexionsoberfläche des Zielobjekts zu berechnen auf Grundlage des ersten reflektierten Lichts, das von dem ersten optischen System empfangen wird, und des Referenzlichts, das durch die Teilungseinheit erzeugt wird, und eine zweite-optische-Pfad-Länge von einer Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems zu einer Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit zu berechnen auf Grundlage des zweiten reflektierten Lichts, das von

der Reflexionseinheit reflektiert wird und von dem zweiten optischen System empfangen wird, und des Referenzlichts, das durch die Teilungseinheit erzeugt wird; eine Distanz-Berechnungseinheit, um einen Brechungsindex des Raums zu berechnen auf Grundlage der zweiter-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit gemessen wird, und eine Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts zu berechnen auf Grundlage des Brechungsindex und der erster-optischer-Pfad-Länge, die von der Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit gemessen wird.

VORTEILHAFTE WIRKUNGEN DER ERFINDUNG

[0016] Gemäß der vorliegenden Erfindung ist es möglich, eine Abnahme der Distanzmessgenauigkeit aufgrund einer Änderung des Brechungsindex des Distanz-Messraums zu unterdrücken.

Figurenliste

Fig. 1 ist ein Schema, das eine Konfiguration für eine Bearbeitungseinrichtung, umfassend eine Optische-Distanz-Messeinrichtung, gemäß einer ersten Ausführungsform darstellt.

Fig. 2 ist ein Flussschema, das ein Distanzmessverfahren darstellt, das durch eine Analyseeinheit der Optische-Distanz-Messeinrichtung gemäß der ersten Ausführungsform durchgeführt wird.

Fig. 3A ist ein Blockscheema, das eine Hardware-Konfiguration zum Implementieren einer Funktion der Analyseeinheit darstellt. **Fig. 3B** ist ein Blockscheema, das eine Software-Konfiguration zum Ausführen von Software, die die Funktion der Analyseeinheit implementiert, darstellt.

Fig. 4A ist ein Schema, das einen Zustand darstellt, in dem erstes Messlicht, das von einer optischen Übertragungseinheit emittiert wird, von einer Reflexionseinheit reflektiert wird. **Fig. 4B** ist ein Graph, der Wellenformen von Referenzlicht vor Interferenz und erstem reflektierten Licht vor der Interferenz in einer optischen Interferenzeinheit darstellt. **Fig. 4C** ist ein Graph, der ein Frequenzspektrum einer Differenzfrequenzwelle darstellt. **Fig. 4D** ist ein Graph, der Frequenzspektr von Differenzfrequenzwellen in den jeweiligen in **Fig. 4A** dargestellten Fällen darstellt.

Fig. 5 ist eine vergrößerte Ansicht eines ersten optischen Systems, eines zweiten optischen Systems und einer Reflexionseinheit in der in **Fig. 1** dargestellten Optische-Distanz-Messeinrichtung.

Fig. 6A ist ein Graph, der ein Frequenzspektrum von erstem Interferenzlicht und ein Frequenzspektrum von zweitem Interferenzlicht in der optischen Interferenzeinheit in einem Fall darstellt, in dem die Optische-Distanz-Messeinrichtung ein optisches Element umfasst, das Messlicht in erstes Messlicht und zweites Messlicht räumlich teilt. **Fig. 6B** ist ein Graph, der ein Frequenzspektrum von erstem Interferenzlicht und ein Frequenzspektrum von zweitem Interferenzlicht in der optischen Interferenzeinheit in einem Fall darstellt, in dem die Optische-Distanz-Messeinrichtung einen optischen Schalter aufweist, der Messlicht in erstes Messlicht und zweites Messlicht zeitlich teilt.

Fig. 7 ist ein Schema, das eine Konfiguration für eine Bearbeitungseinrichtung, umfassend eine Optische-Distanz-Messeinrichtung, gemäß einer zweiten Ausführungsform darstellt.

BESCHREIBUNG VON AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0017] Um die vorliegende Erfindung detaillierter zu beschreiben, werden nun Formen zur Ausführung der vorliegenden Erfindung unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen beschrieben.

Erste Ausführungsform

[0018] **Fig. 1** ist ein Schema, das eine Konfiguration für eine Bearbeitungseinrichtung 100, umfassend eine Optische-Distanz-Messeinrichtung 101, gemäß einer ersten Ausführungsform darstellt. Es sei angemerkt, dass, obwohl die erste Ausführungsform die Konfiguration beschreibt, bei der die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 in der Bearbeitungseinrichtung 100 installiert ist, die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 auch in einer anderen Einrichtung als der Bearbeitungseinrichtung 100 installiert sein kann.

[0019] Die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 nutzt beispielsweise Wellenlänge-Abtastinterferometrie und wird für eine optische Kohärenztomographie mit durchgestimmter Quelle (SS-OCT) für medizinische Zwecke eingesetzt (Masamitsu Haruna, „Optical Coherence Tomography (OCT)“, [online], 2010, MEDICAL PHOTONICS, [abgerufen am 4. Februar 2019], Internet <URL: http://www.medicalphotonics.jp/pdf/mp0001/0001_029.pdf>).

[0020] Wie in **Fig. 1** dargestellt, umfasst die Bearbeitungseinrichtung 100 die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101, eine Bearbeitungssteuerungseinheit 102 und eine Bearbeitungseinheit 103. Die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 umfasst eine Wellenlängendurchgestimmtes-Licht-Ausgabereinheit 104, eine optische Übertragungseinheit 105 und eine Signalverarbeitungseinheit 106.

[0021] Zunächst wird die Konfiguration der Wellenlängendurchgestimmtes-Licht-Ausgabereinheit 104 beschrieben. Die Wellenlängendurchgestimmtes-Licht-Ausgabereinheit 104 umfasst eine Laserlichtquelle 1 und eine Durchstimmeinheit 2.

[0022] Die Laserlichtquelle 1 emittiert Dauerstrich-Laserlicht. Der von der Laserlichtquelle 1 emittierte Laserstrahl wird zu der Durchstimmeinheit 2 geführt. Die Laserlichtquelle 1 gemäß der ersten Ausführungsform ist beispielsweise ein Gas-Laser, ein Halbleiterlaser oder dergleichen, der Laserlicht mit einer vorherbestimmten Mittenfrequenz emittiert.

[0023] Es sei angemerkt, dass, obwohl die erste Ausführungsform die Konfiguration beschreibt, bei der die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 die Laserlichtquelle 1 umfasst, die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 die Laserlichtquelle 1 nicht enthalten kann. In diesem Fall nutzt die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 Laserlicht, das von einem externen Laserlichtgenerator, umfassend die Laserlichtquelle 1, emittiert wird.

[0024] Die Durchstimmeinheit 2 ist auf einem optischen Pfad des von der Laserlichtquelle 1 emittierten Laserlichts angeordnet. Die Durchstimmeinheit 2 erzeugt durchgestimmtes Licht durch Durchstimmen der Wellenlänge des von der Laserlichtquelle emittierten Laserlichts. Das durch die Durchstimmeinheit 2 erzeugte durchgestimmte Licht ist Dauerstrich-Laserlicht mit einer Frequenz, die sich im Laufe der Zeit ändert. Das durch die Durchstimmeinheit 2 erzeugte und emittierte durchgestimmte Licht wird zu einer Teilungseinheit 3 geführt.

[0025] Es sei angemerkt, dass, obwohl die erste Ausführungsform die Konfiguration beschreibt, bei der die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 mit der Wellenlängendurchgestimmtes-Licht-Ausgabereinheit 104, umfassend die Laserlichtquelle 1 und die Durchstimmeinheit 2, ausgestattet ist, die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 die Wellenlängendurchgestimmtes-Licht-Ausgabereinheit 104 nicht umfassen kann. In diesem Fall nutzt die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 durchgestimmtes Licht, das von einem externen Durchgestimmtes-Licht-Generator, umfassend die Laserlichtquelle 1 und die Durchstimmeinheit 2, emittiert wird.

[0026] Als nächstes wird eine Konfiguration der optischen Übertragungseinheit 105 beschrieben. Die optische Übertragungseinheit 105 umfasst die Teilungseinheit 3, einen optischen Zirkulator 4, eine Messlicht-Teilungseinheit 5, ein erstes optisches System 6, ein zweites optisches System 7, eine Reflexionseinheit 8 und eine Verzögerungsanpassungseinheit 9.

[0027] Die Teilungseinheit 3 ist auf einem optischen Pfad des von der Durchstimmeinheit 2 emittierten durchgestimmten Lichts angeordnet. Die Teilungseinheit 3 teilt das durch die Durchstimmeinheit 2 erzeugte wellenlängendurchgestimmte Licht in Messlicht und Referenzlicht. Konkreter ausgedrückt, erzeugt die Teilungseinheit 3 Messlicht und Referenzlicht, die jeweils Dauerstrich-Laserlicht sind, durch Teilen des wellenlängendurchgestimmte Lichts, das Dauerstrich-Laserlicht ist und durch die Durchstimmeinheit 2 erzeugt wird. Das durch die Teilungseinheit 3 erzeugte Messlicht wird zu dem optischen Zirkulator 4 geführt. Außerdem wird das durch die Teilungseinheit 3 erzeugte Referenzlicht zu der Verzögerungsanpassungseinheit 9 geführt.

[0028] Die Teilungseinheit 3 ist zum Beispiel ein Optokoppler. Das durch die Teilungseinheit 3 erzeugte Messlicht wird durch die später zu beschreibende Messlicht-Teilungseinheit 5 weiter in eine Vielzahl von Messlichtbündel geteilt. Die Vielzahl von Messlichtbündeln können miteinander interferieren. Daher ist die Intensität des durch die Teilungseinheit 3 erzeugten Messlichts vorzugsweise hinreichend niedriger als die Intensität des durch die Teilungseinheit 3 erzeugten Referenzlichts, in einem Umfang, so dass sich die Interferenz zwischen der Vielzahl von Messlichtbündeln nicht auf die Distanzmessung in einem später beschriebenen Distanz-Messraum 108 auswirkt.

[0029] Es sei angemerkt, dass die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 als die Teilungseinheit 3 einen optischen Schalter umfassen kann, der in der Lage ist, den optischen Pfad des Laserlichts mit hoher Geschwindigkeit zu schalten. In diesem Fall führt der optische Schalter das Messlicht zu dem optischen Zirkulator 4 durch Schalten des optischen Pfads des durchgestimmten Lichts auf den optischen Pfad von dem optischen Schalter zu dem optischen Zirkulator 4, oder führt das Referenzlicht zu der Verzögerungsanpassungseinheit 9 durch Schalten des optischen Pfads des durchgestimmten Lichts auf den optischen Pfad von dem optischen Schalter zu der Verzögerungsanpassungseinheit 9.

[0030] Der optische Zirkulator 4 ist auf einem optischen Pfad des durch die Teilungseinheit 3 erzeugten Messlichts angeordnet. Der optische Zirkulator 4 führt das durch die Teilungseinheit 3 erzeugte Messlicht zu der Messlicht-Teilungseinheit 5. Der optische Zirkulator 4 ist zum Beispiel ein optischer Zirkulator mit drei Anschlüssen.

[0031] Die Messlicht-Teilungseinheit 5 ist auf einem optischen Pfad des von dem optischen Zirkulator 4 emittierten Messlichts angeordnet. Die Messlicht-Teilungseinheit 5 teilt das durch die Teilungseinheit 3 erzeugte Messlicht in erstes Messlicht und zweites Messlicht. Konkreter ausgedrückt, teilt die Mess-

licht-Teilungseinheit 5 das Messlicht, bei dem es sich um Dauerstrich-Laserlicht handelt, das durch die Teilungseinheit 3 erzeugt wird, und erzeugt dadurch das erste Messlicht und das zweite Messlicht, bei denen es sich jeweils um Dauerstrich-Laserlicht handelt. Das durch die Messlicht-Teilungseinheit 5 erzeugte erste Messlicht wird zu dem ersten optischen System 6 geführt. Außerdem wird das durch die Messlicht-Teilungseinheit 5 erzeugt zweite Messlicht zu dem zweiten optischen System 7 geführt.

[0032] In der ersten Ausführungsform umfasst das zweite optische System 7 eine Vielzahl von optischen Elementen 10, wie später beschrieben. Daher erzeugt die Messlicht-Teilungseinheit 5 in der ersten Ausführungsform das erste Messlicht und die gleiche Anzahl von zweiten Messlichtbündeln wie die Vielzahl von optischen Elementen 10, indem das durch die Teilungseinheit 3 erzeugte Messlicht aufgeteilt wird.

[0033] Das erste optische System 6 ist auf einem optischen Pfad des von der Messlicht-Teilungseinheit 5 emittierten ersten Messlichts angeordnet. In der ersten Ausführungsform bildet das erste optische System 6 eine Bearbeitungskopfeinheit 110 zusammen mit der später beschriebenen Bearbeitungseinheit 103. Die Bearbeitungskopfeinheit 110 bewegt sich relativ zu einem Zielobjekt 107 unter der Steuerung der Bearbeitungssteuerungseinheit 102, wenn die Bearbeitungseinheit 103 das Zielobjekt 107 bearbeitet. Das erste optische System 6 bestrahlt das Zielobjekt 107 mit dem ersten Messlicht, das von der Messlicht-Teilungseinheit 5 emittiert wird, und empfängt erstes reflektiertes Licht, das von dem Zielobjekt 107 reflektiert wird.

[0034] Konkreter ausgedrückt umfasst das erste optische System 6 zum Beispiel mindestens eine oder mehrere Linsen. Beispiele für die Linse sind eine Transmissionslinse, die Laserlicht durchlässt und Laserlicht bricht, und eine Reflexionslinse unter Verwendung eines Spiegel. Das erste optische System 6 vergrößert beispielsweise den Lichtflussdurchmesser des ersten Messlichts durch diese Linsen und bestrahlt das Zielobjekt 107 mit dem ersten Messlicht, das den vergrößerten Lichtflussdurchmesser hat.

[0035] Das zu dem Zielobjekt 107 emittierte erste Messlicht wird von dem Zielobjekt 107 reflektiert. Als nächstes empfängt das erste optische System 6 das von dem Zielobjekt 107 reflektierte erste reflektierte Licht. Als nächstes wird das erste reflektierte Licht, das von dem ersten optischen System 6 empfangen wird, zu der Messlicht-Teilungseinheit 5 geführt und zu dem optischen Zirkulator 4 geführt. Dann führt der optische Zirkulator 4 das erste reflektierte Licht, das von der Messlicht-Teilungseinheit 5

geführt wird, zu einer später beschriebenen optischen Interferenzeinheit 11.

[0036] Das zweite optische System 7 ist auf einem optischen Pfad des zweiten Messlichts angeordnet, das von der Messlicht-Teilungseinheit 5 emittiert wird. Das zweite optische System 7 emittiert das durch die Messlicht-Teilungseinheit 5 erzeugte zweite Messlicht zu dem Distanz-Messraum 108 hin, der ein Raum ist zwischen dem ersten optischen System 6 und dem Zielobjekt 107.

[0037] In der ersten Ausführungsform umfasst das zweite optische System 7 eine Vielzahl von optischen Elementen 10. Die Vielzahl von optischen Elementen 10 sind entlang einer Achse angeordnet, die parallel zu der optischen Achse des ersten optischen Systems 6 verläuft. Darüber hinaus ist die optische Achse von jedem der Vielzahl von optischen Elementen 10 orthogonal zu der optischen Achse des ersten optischen Systems. Jedes von der Vielzahl von optischen Elementen 10 emittiert das zweite Messlicht, das durch die Messlicht-Teilungseinheit 5 erzeugt wird, zu dem Distanz-Messraum 108.

[0038] Konkreter ausgedrückt ist das optische Element 10 zum Beispiel eine Linse, und das zweite optische System 7 umfasst zum Beispiel zumindest eine oder mehrere Linsen. Beispiele für die Linse sind eine Transmissionslinse, die Laserlicht durchlässt und Laserlicht bricht, und eine Reflexionslinse unter Verwendung eines Spiegel. Das zweite optische System 7 vergrößert beispielsweise den Lichtflussdurchmesser des zweiten Messlichts durch diese Linsen und emittiert das zweite Messlicht, aufweisend den vergrößerten Lichtflussdurchmesser zu dem Distanz-Messraum 108.

[0039] Die Reflexionseinheit 8 ist auf einem optischen Pfad des zweiten Messlichts angeordnet, das von dem zweiten optischen System 7 emittiert wird. Die Reflexionseinheit 8 reflektiert das zweite Messlicht, das von dem zweiten optischen System 7 emittiert wird und den Distanz-Messraum 108 passiert, zu dem zweiten optischen System 7. Die Reflexionseinheit 8 ist zum Beispiel ein Spiegel.

[0040] Konkreter ausgedrückt, in der ersten Ausführungsform ist die Reflexionseinheit 8 vorgesehen, so dass ihre Reflexionsoberfläche senkrecht zu der optischen Achse von jedem der Vielzahl von optischen Elementen 10 steht. Daher kann die Reflexionseinheit 8 das zweite Messlicht, das von den optischen Elementen 10 emittiert wird und den Distanz-Messraum 108 durchläuft, zu den optischen Elementen 10 reflektieren.

[0041] Das zweite optische System 7 empfängt zweites reflektiertes Licht, das durch Reflektieren des zweiten Messlichts durch die Reflexionseinheit

8 erhalten wird. In der ersten Ausführungsform empfängt jedes von der Vielzahl von optischen Elementen 10 das zweite reflektierte Licht, das durch Reflektieren des emittierten zweiten Messlichts durch die Reflexionseinheit 8 erhalten wird. Als nächstes wird das zweite reflektierte Licht, das von dem zweiten optischen System 7 empfangen wird, zu der Messlicht-Teilungseinheit 5 geführt und zu dem optischen Zirkulator 4 geführt. Dann führt der optische Zirkulator 4 das zweite reflektierte Licht, das von der Messlicht-Teilungseinheit 5 geführt wird, zu der optischen Interferenzeinheit 11.

[0042] Die Verzögerungsanpassungseinheit 9 ist auf einem optischen Pfad des von der Teilungseinheit 3 emittierten Referenzlichts angeordnet. Die Verzögerungsanpassungseinheit 9 passt eine Differenz zwischen einer Pfadlänge des Referenzlichts von der Teilungseinheit 3 zu der optischen Interferenzeinheit 11 und eine Pfadlänge des Messlichts von der Teilungseinheit 3 zu der optischen Interferenzeinheit 11 über das Zielobjekt 107 oder die Reflexionseinheit 8 an. Somit passt die Verzögerungsanpassungseinheit 9 die Frequenzdifferenz zwischen dem Referenzlicht und dem ersten reflektierten Licht oder dem zweiten reflektierten Licht in der optischen Interferenzeinheit 11 an. Das von der Verzögerungsanpassungseinheit 9 emittierte Referenzlicht wird zu der optischen Interferenzeinheit 11 geführt.

[0043] Als nächstes wird eine Konfiguration der Signalverarbeitungseinheit 106 beschrieben. Die Signalverarbeitungseinheit 106 umfasst die optische Interferenzeinheit 11, eine fotoelektrische Konvertierungseinheit 12, eine digitale Konvertierungseinheit 13 und eine Analyseeinheit 109.

[0044] Die optische Interferenzeinheit 11 ist an einer Position angeordnet, an der sich die optischen Pfade des ersten reflektierten Lichts und des zweiten reflektierten Lichts, die von dem optischen Zirkulator 4 emittiert werden, mit dem optischen Pfad des von der Verzögerungsanpassungseinheit 9 emittierten Referenzlichts schneiden. Die optische Interferenzeinheit 11 bewirkt Interferenz zwischen dem ersten reflektierten Licht, das vom ersten optischen System 6 empfangen wird, und dem durch die Teilungseinheit 3 erzeugten Referenzlicht, wodurch ein erstes Interferenzlicht erzeugt wird. In der ersten Ausführungsform erzeugt die optische Interferenzeinheit 11 das erste Interferenzlicht durch Bewirken von Interferenz zwischen dem ersten reflektierten Licht, das von dem optischen Zirkulator 4 emittiert wird, und dem Referenzlicht, das von der Verzögerungsanpassungseinheit 9 emittiert wird.

[0045] Darüber hinaus erzeugt die optische Interferenzeinheit 11 ein zweites Interferenzlicht durch Bewirken von Interferenz zwischen dem zweiten reflektierten Licht, das durch Reflektieren des zwei-

ten Messlichts durch die Reflexionseinheit 8 erhalten wird und das von dem zweiten optischen System 7 empfangen wird, und dem durch die Teilungseinheit 3 erzeugtem Referenzlicht. In der ersten Ausführungsform erzeugt die optische Interferenzeinheit 11 das zweite Interferenzlicht durch Bewirken von Interferenz zwischen dem zweiten reflektierten Licht, das von dem optischen Zirkulator 4 emittiert wird, und dem Referenzlicht, das von der Verzögerungsanpassungseinheit 9 emittiert wird.

[0046] Die optische Interferenzeinheit 11 ist zum Beispiel ein optischer 90-Grad-Hybrid, der das erste Interferenzlicht erzeugt durch Kombinieren des ersten reflektierten Lichts und des Referenzlichts und das zweite Interferenzlicht erzeugt durch Kombinieren des zweiten reflektierten Lichts und des Referenzlichts. Alternativ ist die optische Interferenzeinheit 11 zum Beispiel ein Optokoppler.

[0047] Die fotoelektrische Konvertierungseinheit 12 ist auf den optischen Pfaden des ersten Interferenzlichts und des zweiten Interferenzlichts angeordnet, die von der optischen Interferenzeinheit 11 emittiert werden. Die fotoelektrische Konvertierungseinheit 12 konvertiert das durch die optische Interferenzeinheit 11 erzeugte erste Interferenzlicht fotoelektrisch, um ein erstes analoges Signal zu erzeugen, das die Wellenform des ersten Interferenzlichts anzeigt. Darüber hinaus konvertiert die fotoelektrische Konvertierungseinheit 12 das durch die optische Interferenzeinheit 11 erzeugte zweite Interferenzlicht fotoelektrisch, um ein zweites analoges Signal zu erzeugen, das die Wellenform des zweiten Interferenzlichts anzeigt.

[0048] Die erste Ausführungsform beschreibt eine Konfiguration, bei der die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 die optische Interferenzeinheit 11 und die fotoelektrische Konvertierungseinheit 12 wie oben beschrieben umfasst, aber die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 ist nicht auf diese Konfiguration beschränkt. Die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 kann anstelle der optischen Interferenzeinheit 11 und der fotoelektrischen Konvertierungseinheit 12 zum Beispiel eine symmetrische lichtempfangende Fotodiode aufweisen. Die symmetrische lichtempfangende Fotodiode umfasst beispielsweise eine Fotodiode, die in Antwort auf erstes reflektiertes Licht ein erstes Signal erzeugt, und eine Fotodiode, die in Antwort auf Referenzlicht ein zweites Signal erzeugt, und die aus dem ersten Signal und dem zweiten Signal ein Verschiebungssignal erzeugt, das eine Intensitätsdifferenz zwischen dem ersten reflektierten Licht und dem Referenzlicht anzeigt. Es sei angemerkt, dass das Distanzmessverfahren unter Verwendung der Verschiebungssignals eine bekannte Technik ist, so dass auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet werden kann.

[0049] Die digitale Konvertierungseinheit 13 führt A/D-Konvertierung des ersten analogen Signals durch, das durch die fotoelektrische Konvertierungseinheit 12 erzeugt wird, um ein erstes digitales Signal zu erzeugen, das die Wellenform des ersten Interferenzlichts anzeigt. Außerdem führt die digitale Konvertierungseinheit 13 A/D-Konvertierung des zweiten analogen Signals durch, das durch die fotoelektrische Konvertierungseinheit 12 erzeugt wird, um ein zweites digitales Signal zu erzeugen, das die Wellenform des zweiten Interferenzlichts anzeigt.

[0050] Die Analyseeinheit 109 umfasst eine Intensitätsmesseinheit 14, eine Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 und eine Distanz-Berechnungseinheit 16. Die Intensitätsmesseinheit 14 misst die Intensität des ersten Interferenzlichts für jede Frequenz auf Grundlage des ersten digitalen Signals, das durch die digitale Konvertierungseinheit 13 erzeugt wird. Die Intensitätsmesseinheit 14 gibt die gemessene Intensität des ersten Interferenzlichts für jede Frequenz an die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 aus.

[0051] Konkreter ausgedrückt misst die Intensitätsmesseinheit 14 die Intensität des ersten Interferenzlichts für jede Frequenz durch Durchführen von FourierTransformation auf das erste digitale Signal, das zum Beispiel durch die digitale Konvertierungseinheit 13 erzeugt wird.

[0052] Darüber hinaus misst die Intensitätsmesseinheit 14 die Intensität des zweiten Interferenzlichts für jede Frequenz auf Grundlage des zweiten digitalen Signals, das durch die digitale Konvertierungseinheit 13 erzeugt wird. Die Intensitätsmesseinheit 14 gibt die gemessene Intensität des zweiten Interferenzlichts für jede Frequenz an die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 aus.

[0053] Konkreter ausgedrückt misst die Intensitätsmesseinheit 14 die Intensität des zweiten Interferenzlichts für jede Frequenz durch Durchführen von FourierTransformation auf das zweite digitale Signal, das zum Beispiel durch die digitale Konvertierungseinheit 13 erzeugt wird.

[0054] Die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 berechnet eine erster-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des ersten reflektierten Lichts, das von dem ersten optischen System 6 empfangen wird, und des durch die Teilungseinheit 3 erzeugten Referenzlichts. Die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 gibt die berechnete erster-optischer-Pfad-Länge an die Distanz-Berechnungseinheit 16 aus.

[0055] Konkreter ausgedrückt berechnet die optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die erster-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des durch die optische Interferenzeinheit 11 erzeugten ersten Interferenzlichts. Noch konkreter ausgedrückt berechnet die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 in der ersten Ausführungsform die erster-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage der Intensität des ersten Interferenzlichts für jede durch die Intensitätsmesseinheit 14 gemessene Frequenz.

[0056] Darüber hinaus berechnet die optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 eine zweiter-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems 7 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 auf Grundlage des von dem zweiten optischen System empfangenen zweiten reflektieren Lichts und des durch die Teilungseinheit 3 erzeugten Referenzlichts. Die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 gibt die berechnete zweiter-optischer-Pfad-Länge an die Distanz-Berechnungseinheit 16 aus.

[0057] Konkreter ausgedrückt berechnet die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die zweiter-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems 7 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 auf Grundlage des von der optischen Interferenzeinheit 11 erzeugten zweiten Interferenzlichts. Noch konkreter ausgedrückt berechnet die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 in der ersten Ausführungsform die zweiter-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems 7 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 auf Grundlage der Intensität des zweiten Interferenzlichts für jede durch die Intensitätsmesseinheit 14 gemessene Frequenz.

[0058] Die Distanz-Berechnungseinheit 16 berechnet den Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 auf Grundlage der zweiter-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 gemessen wird, und berechnet die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des Brechungsindex und der erster-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 gemessen wird. Die Distanz-Berechnungseinheit 16 gibt die berechnete Distanz an die Bearbeitungssteuerungseinheit 102 aus.

[0059] Es sei angemerkt, dass die Distanz-Berechnungseinheit 16 zusätzlich zu der oben genannten

Distanz auch eine Distanz von einer vorherbestimmten Position auf dem optischen Pfad des von der Teilungseinheit 3 emittierten Messlichts oder einer vorherbestimmten Position auf dem optischen Pfad des von der Messlicht-Teilungseinheit 5 emittierten ersten Messlichts zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 berechnen kann. Die vorherbestimmte Position ist zum Beispiel die Position der Teilungseinheit 3, die Position des optischen Zirkulators 4 oder die Position der Messlicht-Teilungseinheit 5.

[0060] Das erste Interferenzlicht, das durch die optische Interferenzeinheit 11 erzeugt wird, umfasst Interferenzlicht, das auf Grundlage einer Frequenzdifferenz erzeugt wird, die einer Distanz von der Teilungseinheit 3 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 entspricht. In diesem Fall berechnet die Distanz-Berechnungseinheit 16 dann die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 und die Distanz von der Teilungseinheit 3 zu der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 auf Grundlage des Brechungsindex des Distanz-Messraums 108, der auf Grundlage der zweiter-optischer-Pfad-Länge berechnet wird, des Brechungsindex von der Teilungseinheit 3 zu der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 und der erster-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 auf Grundlage des Interferenzlichts gemessen wird. Die Distanz-Berechnungseinheit 16 erhält die Summe dieser berechneten Distanzen und berechnet die Distanz von der Teilungseinheit 3 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107.

[0061] Die Bearbeitungssteuerungseinheit 102 steuert die Bearbeitungseinheit 103, so dass die Bearbeitungseinheit 103 das Zielobjekt 107 auf Grundlage der durch die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemessenen Distanz bearbeitet. Die Bearbeitungseinheit 103 bearbeitet das Zielobjekt 107 unter der Steuerung der Bearbeitungssteuerungseinheit 102. In der ersten Ausführungsform bearbeitet die Bearbeitungseinheit 103 das Zielobjekt 107 durch Bestrahlung des Zielobjekts 107 mit Laserlicht unter der Steuerung der Bearbeitungssteuerungseinheit 102. Die Bearbeitungseinheit 103 ist jedoch nicht auf die oben beschriebene Konfiguration beschränkt. Zum Beispiel kann die Bearbeitungseinheit 103 das Zielobjekt 107 durch Polieren oder Schneiden des Zielobjekts 107 unter der Steuerung der Bearbeitungssteuerungseinheit 102 bearbeiten.

[0062] Nachfolgend wird ein Distanzmessverfahren durch die Analyseeinheit 109 der Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemäß der ersten Ausführungsform unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. **Fig. 2** ist ein Flussschema, das das Distanzmessverfahren durch die Analyseeinheit 109

der Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 darstellt. Es sei angemerkt, dass davon ausgegangen wird, dass die Intensitätsmesseinheit 14 das erste digitale Signal und das zweite digitale Signal von der digitalen Konvertierungseinheit 13 erwirbt, bevor die Analyseeinheit 109 das Distanzmessverfahren in **Fig. 2** ausführt.

[0063] Wie in **Fig. 2** dargestellt, misst die Intensitätsmesseinheit 14 die Intensität des ersten Interferenzlichts für jede Frequenz auf Grundlage des durch die digitale Konvertierungseinheit 13 erzeugten ersten digitalen Signals und misst die Intensität des zweiten Interferenzlichts für jede Frequenz auf Grundlage des durch die digitale Konvertierungseinheit 13 erzeugten zweiten digitalen Signals (Schritt ST1).

[0064] Anschließend berechnet die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die erster-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage der Intensität des ersten Interferenzlichts für jede durch die Intensitätsmesseinheit 14 gemessene Frequenz und berechnet die zweiter-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems 7 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 auf Grundlage der Intensität des zweiten Interferenzlichts für jede durch die Intensitätsmesseinheit 14 gemessene Frequenz (Schritt ST2).

[0065] Als nächstes berechnet die Distanz-Berechnungseinheit 16 den Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 auf Grundlage der zweiter-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 gemessen wird (Schritt ST3).

[0066] Anschließend berechnet die Distanz-Berechnungseinheit 16 die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des in Schritt ST3 berechneten Brechungsindex und der durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 gemessenen erster-optischer-Pfad-Länge (Schritt ST4).

[0067] Es sei angemerkt, dass die Bearbeitungsteuerungseinheit 102 die Bearbeitungseinheit 103 steuert, so dass die Bearbeitungseinheit 103 das Zielobjekt 107 auf Grundlage der von der Distanz-Berechnungseinheit 16 in Schritt ST4 berechneten Distanz bearbeitet.

[0068] Jede Funktion der Intensitätsmesseinheit 14, der Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 und der Distanz-Berechnungseinheit 16 in der Analyseeinheit 109 ist durch einen Verarbeitungsschaltkreis implementiert. Das heißt, die Analyseeinheit 109 umfasst einen Verarbeitungsschaltkreis zum

Ausführen der in **Fig. 2** dargestellten Verarbeitung von Schritt ST1 bis Schritt ST4. Bei dem Verarbeitungsschaltkreis kann es sich um dedizierte Hardware handeln oder um eine zentrale Verarbeitungseinheit (CPU) handeln, die in einem Speicher gespeichertes Programm ausführt.

[0069] **Fig. 3A** ist ein Blockschema, das eine Hardware-Konfiguration darstellt, die die Funktion der Analyseeinheit 109 implementiert. **Fig. 3B** ist ein Blockschema, das eine Hardware-Konfiguration zum Ausführen von Software, die die Funktion der Analyseeinheit 109 implementiert, darstellt.

[0070] Wenn der Verarbeitungsschaltkreis ein Verarbeitungsschaltkreis 111 ist, der dedizierte Hardware ist, die in **Fig. 3A** gezeigt ist, kann der Verarbeitungsschaltkreis 111 zum Beispiel eine einzelne Schaltung, eine zusammengesetzte Schaltung, ein programmierter Prozessor, ein paralleler programmierter Prozessor, eine anwendungsspezifische integrierte Schaltung (ASIC), eine im Feld programmierbare Gatteranordnung (FPGA) oder eine Kombination einiger dieser Schaltkreise sein.

[0071] Jede Funktion der Intensitätsmesseinheit 14, der Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 und der Distanz-Berechnungseinheit 16 in der Analyseeinheit 109 kann durch separate Verarbeitungsschaltkreise ausgeführt sein, oder diese Funktionen können gemeinsam durch eine einzige Verarbeitungsschaltung implementiert sein.

[0072] In einem Fall, in dem der in **Fig. 3B** dargestellte Verarbeitungsschaltkreis ein Prozessor 112 ist, ist jede Funktion der Intensitätsmesseinheit 14, der Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 und der Distanz-Berechnungseinheit 16 in der Analyseeinheit 109 durch Software, Firmware oder eine Kombination aus Software und Firmware implementiert.

[0073] Es sei angemerkt, dass Software oder Firmware als ein Programm beschrieben und in einem Speicher 113 gespeichert ist.

[0074] Der Prozessor 112 liest das im Speicher 113 gespeicherte Programm und führt es aus, um jede Funktion der Intensitätsmesseinheit 14, der Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 und der Distanz-Berechnungseinheit 16 in der Analyseeinheit 109 zu implementieren. Das heißt, die Analyseeinheit 109 umfasst den Speicher 113 zum Speichern von Programmen, um schließlich die in **Fig. 2** dargestellten Prozesse von Schritt ST1 bis Schritt ST4 auszuführen, wenn sie vom Prozessor 112 ausgeführt werden.

[0075] Diese Programme veranlassen einen Computer, Vorgänge oder Verfahren auszuführen, die

durch die Intensitätsmeseinheit 14, der Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 und der Distanz-Berechnungseinheit 16 in der Analyseeinheit 109 durchgeführt werden. Der Speicher 113 kann ein computerlesbares Speichermedium sein, das ein Programm speichert, das einen Computer veranlasst, als die Intensitätsmeseinheit 14, die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 und die Distanz-Berechnungseinheit 16 in der Analyseeinheit 109 zu funktionieren.

[0076] Der Speicher 113 ist beispielsweise ein nicht-flüchtiger oder flüchtiger Halbleiterspeicher, wie etwa ein Speicher mit wahlfreiem Zugriff (RAM), ein Nur-Lese-Speicher (ROM), ein Flash-Speicher, ein löscherbarer programmierbarer Speicher mit wahlfreiem Zugriff (EPROM) oder ein elektrischer EPROM (EEPROM), eine Magnetscheibe, eine flexible Scheibe, eine optische Scheibe, eine Compact Disk, eine Minidisk oder eine Digital Versatile Disk (DVD).

[0077] Ein Teil jeder Funktion der Intensitätsmeseinheit 14, der Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 und der Distanz-Berechnungseinheit 16 in der Analyseeinheit 109 kann durch dedizierte Hardware implementiert sein, und ein anderer Teil kann durch Software oder Firmware implementiert sein.

[0078] Die Funktion der Intensitätsmeseinheit 14 ist beispielsweise durch einen Verarbeitungsschaltkreis als dedizierte Hardware implementiert. Die Funktionen der Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 und der Distanz-Berechnungseinheit 16 können durch den Prozessor 112 implementiert sein, der ein in dem Speicher 113 gespeichertes Programm liest und ausführt.

[0079] Wie vorstehend beschrieben, kann der Verarbeitungsschaltkreis jeden von den zuvor genannten Funktionen durch Hardware, Software, Firmware oder eine Kombination davon implementieren.

[0080] Nachfolgend wird ein erstes konkretes Beispiel für das Distanzmessverfahren durch die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemäß der ersten Ausführungsform unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. **Fig. 4A** ist ein Schema, das einen Zustand zeigt, in dem das erste Messlicht, das von der optischen Übertragungseinheit 105 emittiert wird, von dem Zielobjekt 107 reflektiert wird. **Fig. 4A** zeigt ein erstes Beispiel, bei dem die optische Übertragungseinheit 105 das Zielobjekt 107 mit dem ersten Messlicht bestrahlt, wenn die Distanz von der optischen Übertragungseinheit 105 zu dem Zielobjekt 107 X_1 ist, ein zweites Beispiel, bei dem die optische Übertragungseinheit 105 das Zielobjekt 107 mit dem ersten Messlicht bestrahlt, wenn die Distanz von der optischen Übertragungseinheit 105 zu dem Zielobjekt 107 X_2 ist, und ein drittes Beispiel,

bei dem die optische Übertragungseinheit 105 das Zielobjekt 107 mit dem ersten Messlicht bestrahlt, wenn die Distanz von der optischen Übertragungseinheit 105 zu dem Zielobjekt 107 X_3 ist. Hier bedeutet die Distanz von der optischen Übertragungseinheit 105 zu dem Zielobjekt 107 eine Distanz von einer vorherbestimmten Position in dem optischen Pfad des von der Teilungseinheit 3 emittierten Messlichts oder einer vorherbestimmten Position in dem optischen Pfad des von der Messlicht-Teilungseinheit 5 emittierten ersten Messlichts zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107.

[0081] **Fig. 4B** ist ein Graph, der Wellenformen des Referenzlichts vor der Interferenz und des ersten reflektierten Lichts vor der Interferenz in der optischen Interferenzeinheit 11 in dem zweiten Beispiel zeigt, bei dem die Distanz von der optischen Übertragungseinheit 105 zu dem Zielobjekt 107 X_2 beträgt. Die vertikale Achse stellt die Frequenz (Hz) dar und die horizontale Achse die abgelaufene Zeit (Sek.) dar.

[0082] Aufgrund der Wellenlängendurchstimmung des Laserlichts durch die Durchstimmeinheit 2 ändern sich die Frequenz des Referenzlichts und die Frequenz des ersten reflektierten Lichts in der optischen Interferenzeinheit 11 jeweils mit der Zeit, wie bei dem durchgestimmten Licht. Es sei angemerkt, dass in dem ersten konkreten Beispiel der Wert der Frequenzänderung pro Zeiteinheit des von der Durchstimmeinheit 2 emittierten durchgestimmten Lichts als bekannt vorausgesetzt wird.

[0083] Das erste reflektierte Licht in der optischen Interferenzeinheit 11 ist gegenüber dem Referenzlicht entsprechend der Distanz zwischen der optischen Übertragungseinheit 105 und dem Zielobjekt 107 verzögert. Daher wird, wie in **Fig. 4B** dargestellt, das erste reflektierte Licht in der optischen Interferenzeinheit 11 um eine Zeit ΔT_2 gegenüber dem Referenzlicht verzögert.

[0084] In dem oben beschriebenen Schritt ST1 misst die Intensitätsmeseinheit 14 die Intensität des ersten Interferenzlichts für jede Frequenz auf Grundlage des ersten digitalen Signals, das die Wellenform des ersten Interferenzlichts anzeigt, das wie oben beschrieben aus dem Referenzlicht und dem ersten reflektierten Licht erzeugt wird. Die maximale Frequenz des Referenzlichts und die maximale Frequenz des ersten reflektierten Lichts sind beispielsweise jeweils höhere Frequenzen in der Größenordnung von THz. In diesem Fall ist es für eine allgemeine Einrichtung, die Messlicht empfängt und erfasst, schwierig, solch hochfrequentes Licht direkt zu erfassen.

[0085] Daher erzeugt die optische Interferenzeinheit 11 in dem ersten konkreten Beispiel eine Differenz-

frequenzwelle als Interferenzlicht durch Durchführen von Vierwellenmischung auf das Referenzlicht und das erste reflektierte Licht. In dem in **Fig. 4B** dargestellten Beispiel ist die Differenzfrequenzwelle Interferenzlicht mit einer Frequenzdifferenz ΔF_2 zwischen der Frequenz F_r des Referenzlichts und der Frequenz F_2 des ersten reflektierten Lichts zum Zeitpunkt T_1 als eine Mittenfrequenz. Da die Größenordnung der ΔF_2 auf eine Größenordnung von einigen MHz reduziert werden kann, kann die ΔF_2 durch eine Einrichtung wie eine typische symmetrische lichtempfangenden Fotodiode hinreichend gemessen werden.

[0086] **Fig. 4C** ist ein Graph, der ein Frequenzspektrum der Differenzfrequenzwelle darstellt, die durch die Intensitätsmeseinheit 14 auf Grundlage des ersten digitalen Signals gemessen wird, das die Wellenform der Differenzfrequenzwelle zu dem in **Fig. 4B** dargestellten Zeitpunkt T_1 anzeigt. Die vertikale Achse stellt die Intensität (dBm) dar und die horizontale Achse stellt die Frequenz dar. Wie in **Fig. 4C** dargestellt, ist die Mittenfrequenz in dem Frequenzspektrum der Differenzfrequenzwelle ΔF_2 , wie oben beschrieben.

[0087] Wie in **Fig. 4B** dargestellt, ist die ΔF_2 proportional zu einer Verzögerung ΔT_2 des ersten reflektierten Lichts in Bezug auf das Referenzlicht in der optischen Interferenzeinheit 11, und die ΔT_2 ist proportional zu der Distanz X_2 von der optischen Übertragungseinheit 105 zu dem Zielobjekt 107.

[0088] Daher erfasst die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 in dem oben beschriebenen Schritt ST2 die Mittenfrequenz ΔF_2 der Differenzfrequenzwelle auf Grundlage der Intensität der Differenzfrequenzwelle für jede durch die Intensitätsmeseinheit 14 gemessene Frequenz und berechnet die Verzögerung ΔT_2 des ersten reflektierten Lichts in Bezug auf das Referenzlicht in der optischen Interferenzeinheit 11 auf Grundlage der ΔF_2 und der durchgestimmten Geschwindigkeit des durchgestimmten Lichts entsprechend der Neigung der in **Fig. 4B** dargestellten Graphen des Referenzlichts und des ersten reflektierten Lichts. Dann berechnet die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die erster-optischer-Pfad-Länge von der optischen Übertragungseinheit 105 zu dem Zielobjekt 107 auf Grundlage der berechneten ΔT_2 . Dann berechnet die Distanz-Berechnungseinheit 16 im oben beschriebenen Schritt ST4 die Distanz X_2 auf Grundlage der erster-optischer-Pfad-Länge.

[0089] **Fig. 4D** ist ein Graph, der Frequenzspektren von Differenzfrequenzwellen zeigt, die auf Grundlage des ersten digitalen Signals in den jeweiligen in **Fig. 4A** dargestellten Fällen gemessen wird. Die vertikale Achse stellt die Intensität (dBm) dar und die horizontale Achse stellt die Frequenz (Hz) dar.

[0090] Wenn die Distanz zwischen der optischen Übertragungseinheit 105 und dem Zielobjekt X_1 kürzer ist als X_2 , wie in **Fig. 4A** dargestellt, ist die Mittenfrequenz ΔF_1 der Differenzfrequenzwelle niedriger als die Mittenfrequenz ΔF_2 der Differenzfrequenzwelle, wenn die Distanz zwischen der optischen Übertragungseinheit 105 und dem Zielobjekt 107 X_2 ist, wie in **Fig. 4D** dargestellt. In diesem Fall ist die Verzögerung des ersten reflektierten Lichts gegenüber dem Referenzlicht in der optischen Interferenzeinheit 11 kleiner als die Verzögerung ΔT_2 in dem Fall, in dem die Distanz zwischen der optischen Übertragungseinheit 105 und dem Zielobjekt 107 X_2 beträgt.

[0091] Darüber hinaus, wenn die Distanz zwischen der optischen Übertragungseinheit 105 und dem Zielobjekt X_3 länger ist als X_2 , wie in **Fig. 4A** dargestellt, ist die Mittenfrequenz ΔF_3 der Differenzfrequenzwelle höher als die Mittenfrequenz ΔF_2 der Differenzfrequenzwelle, wenn die Distanz zwischen der optischen Übertragungseinheit 105 und dem Zielobjekt 107 X_2 beträgt, wie in **Fig. 4D** dargestellt. In diesem Fall ist die Verzögerung des ersten reflektierten Lichts gegenüber dem Referenzlicht in der optischen Interferenzeinheit 11 größer als die Verzögerung ΔT_2 in dem Fall, in dem die Distanz zwischen der optischen Übertragungseinheit 105 und dem Zielobjekt 107 X_2 beträgt.

[0092] Nachfolgend wird ein zweites konkretes Beispiel für das Distanzmessverfahren durch die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemäß der ersten Ausführungsform unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. **Fig. 5** ist eine vergrößerte Ansicht des ersten optischen Systems 6, des zweiten optischen Systems 7 und der Reflexionseinheit 8 in der in **Fig. 1** dargestellten Optische-Distanz-Messeinrichtung 101. In **Fig. 5** ist eine Richtung parallel zu der optischen Achse des ersten Messlichts, das von dem ersten optischen System 6 emittiert wird, als eine Z-Achsenrichtung definiert, und eine Richtung parallel zu der optischen Achse des zweiten Messlichts, das von dem zweiten optischen System 7 emittiert wird, ist als eine X-Achsenrichtung definiert.

[0093] Während der Bearbeitung des Zielobjekts 107 durch die Bearbeitungseinheit 103 tritt in dem Distanz-Messraum 108 aufgrund einer Temperaturänderung von Luft, Streuung eines Bearbeitungsölnebels oder dergleichen, eine Brechungsindexverteilung auf, bei der der Brechungsindex entlang der Z-Achsenrichtung variiert. In diesem Zusammenhang berechnet die Distanz-Berechnungseinheit 16 in dem zweiten konkreten Beispiel die Brechungsindexverteilung.

[0094] Wie in **Fig. 5** dargestellt, wird angenommen, dass der Distanz-Messraum 108 zwischen dem ers-

ten optischen System 6 und dem Zielobjekt 107 eine Vielzahl von Bereichen aufweist, die entlang der optischen Achse des ersten optischen Systems 6 angeordnet sind. Konkreter ausgedrückt wird in dem zweiten konkreten Beispiel angenommen, dass der Distanz-Messraum 108 in m Bereiche unterteilt ist, die entlang der optischen Achse des ersten optischen Systems 6 angeordnet sind. Es sei angemerkt, dass M eine ganze Zahl von 2 oder mehr ist.

[0095] In dem zweiten konkreten Beispiel umfasst das zweite optische System 7 eine Vielzahl von optischen Elementen 10, die angeordnet sind, so dass die optische Achse des zweiten Messlichts, das von jedem der optischen Elemente 10 emittiert wird, einen entsprechenden der Vielzahl von Bereichen passiert. Jedes der Vielzahl von optischen Elementen 10 emittiert das zweite Messlicht zu einem entsprechenden der Vielzahl von Bereichen und empfängt das von der Reflexionseinheit 8 reflektierte zweite reflektierte Licht.

[0096] Konkreter ausgedrückt umfassen die Vielzahl von optischen Elementen 10 m optische Elemente. Die m optischen Elemente 10 sind angeordnet, so dass die optische Achse des zweiten Messlichts, das von jedem der m optischen Elemente 10 emittiert wird, einen entsprechenden der m Bereiche passiert.

[0097] Darüber hinaus erzeugt die optische Interferenzeinheit 11 ein zweites Interferenzlicht für jeden Bereich durch Bewirken von Interferenz zwischen dem zweiten reflektierten Licht für jeden Bereich, das von den Vielzahl von optischen Elementen 10 empfangen wird, und dem durch die Teilungseinheit 3 erzeugten Referenzlicht. Die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 berechnet die zweiter-optischer-Pfad-Länge für jeden Bereich auf Grundlage des zweiten Interferenzlichts für jeden Bereich, das durch die optische Interferenzeinheit 11 erzeugt wird.

[0098] Darüber hinaus berechnet die Distanz-Berechnungseinheit 16 einen Brechungsindex jedes Bereichs auf Grundlage der zweiter-optischer-Pfad-Länge jedes Bereichs, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 berechnet wird, berechnet einen durchschnittlichen Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 auf Grundlage der Brechungsindizes der jeweiligen Bereiche, und berechnet die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des durchschnittlichen Brechungsindex und der erster-optischer-Pfad-Länge, die die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 berechnet wird.

[0099] Das Distanz-Berechnungsverfahren durch die Distanz-Berechnungseinheit 16 i , dem zweiten

konkreten Beispiel wird im Folgenden näher beschrieben. Bei diesem Verfahren sind die Brechungsindizes der jeweiligen Bereiche durch $n_1, n_2, n_3, \dots, n_m$ dargestellt, die Längen der jeweiligen Bereiche in der Z-Achsenrichtung sind durch $L_{z1}, L_{z2}, L_{z3}, \dots, L_{zm}$ dargestellt, und die Längen der jeweiligen Bereiche in der X-Achsenrichtung sind durch $L_{x1}, L_{x2}, L_{x3}, \dots, L_{xm}$ dargestellt. Es sei angemerkt, dass die Länge jedes Bereichs in der X-Achsenrichtung hier eine Distanz von der Emissionsoberfläche jedes optischen Elements 10 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 ist. Außerdem ist die „Länge“ hier keine optischer-Pfad-Länge, sondern eine tatsächliche Distanz. Diese Werte werden im Voraus vor der Bearbeitung des Zielobjekts 107 durch die Bearbeitungseinheit 103 gemessen.

[0100] Konkreter ausgedrückt, wie in **Fig. 5** dargestellt, sind zunächst die Vielzahl von optischen Elementen 10 entlang einer Achse parallel zu der optischen Achse des ersten optischen Systems 6 angeordnet, und die Reflexionseinheit 8 ist angeordnet, so dass die Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 senkrecht zu der optischen Achse von jedem der Vielzahl von optischen Elementen 10 ist. Als nächstes berechnet die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 in einem Zustand, in dem der Brechungsindex in dem Distanz-Messraum 108 einheitlich ist, die Länge in der X-Achsenrichtung jedes Bereichs, die die Distanz von der Emissionsoberfläche von jedem der Vielzahl von optischen Elementen 10 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 ist, und die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Bestrahlungsoberfläche des Zielobjekts 107 durch ein Verfahren, das dem oben genannten Verfahren ähnlich ist.

[0101] Konkreter ausgedrückt ist bei dieser Verarbeitung der einheitliche Brechungsindex in dem Distanz-Messraum 108 bekannt, und die Distanz-Berechnungseinheit 16 der Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 berechnet die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des Brechungsindex und der erster-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 gemessen wird. Darüber hinaus berechnet die Distanz-Berechnungseinheit 16 die Länge in der X-Achsenrichtung jedes Bereichs, die die Distanz von der Emissionsoberfläche von jedem der Vielzahl von optischen Elementen 10 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 ist, auf Grundlage des Brechungsindex und der zweiter-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 gemessen wird. Darüber hinaus berechnet die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 die Länge jedes Bereichs in der Z-Achsenrichtung auf Grundlage der berechneten Distanz von der Emissionsoberfläche

che des ersten optischen Systems 6 zu der Bestrahlungsoberfläche des Zielobjekts 107. Das heißt, L_{x1} , L_{x2} , L_{x3} , ... L_{xm} und L_{z1} , L_{z2} , L_{z3} , ... L_{zm} , wie oben beschrieben, werden durch die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemessen, bevor das Zielobjekt 107 durch die Bearbeitungseinheit 103 bearbeitet wird. Es sei angemerkt, dass sich die Länge in der X-Achsenrichtung jedes Bereichs, die die Distanz von der Emissionsoberfläche von jedem der Vielzahl von optischen Elementen 10 und der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 ist, im Wesentlichen nicht ändert und daher im Voraus durch ein anderes Verfahren berechnet oder gemessen werden kann.

[0102] Nachdem die Daten für die Kalibrierung wie oben beschrieben gemessen sind, wird die Bearbeitung des Zielobjekts 107 durch die Bearbeitungseinheit 103 gestartet. Wie oben beschrieben, tritt während der Bearbeitung des Zielobjekts 107 durch die Bearbeitungseinheit 103 in dem Distanz-Messraum 108 eine Brechungsindexverteilung auf, bei der der Brechungsindex in der Z-Achsenrichtung variiert. In einem Fall, in dem eine solche Brechungsindexverteilung in dem Distanz-Messraum auftritt, verringert sich die Distanzmessgenauigkeit durch die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101. Vor diesem Hintergrund berechnet die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 nach dem unten beschriebenen Verfahren die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 während der Bearbeitung des Zielobjekts 107 durch die Bearbeitungseinheit 103.

[0103] Da, wie oben beschrieben, die optischer-Pfad-Länge gleich dem Produkt aus dem Brechungsindex und der Distanz ist, wird die zweiter-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 berechnet wird, durch die folgende Gleichung (1) ausgedrückt, wobei eine ganze Zahl i von 1 oder mehr und m oder weniger genutzt wird.

$$L_{\text{measure},xi} = n_i L_{xi} \quad (1)$$

[0104] In Gleichung (1) steht $L_{\text{measure},xi}$ für die optischer-Pfad-Länge in der X-Achsenrichtung jedes Bereichs, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 berechnet ist. L_{xi} ist eine Länge in der X-Achsenrichtung jedes Bereichs, die wie oben beschrieben im Voraus gemessen ist. Ausgehend von Gleichung (1) wird der Brechungsindex jedes Bereichs durch nachfolgende Gleichung (2) ausgedrückt.

$$n_i = \frac{L_{\text{measure},xi}}{L_{xi}} \quad (2)$$

[0105] Wie in Gleichung (2) angegeben, berechnet die Distanz-Berechnungseinheit 16 den Brechungsindex jedes Bereichs aus dem Verhältnis zwischen L_{xi} , das im Voraus gemessen wird, bevor das Zielobjekt 107 durch die Bearbeitungseinheit 103 bearbeitet wird, und der zweiter-optischer-Pfad-Länge $L_{\text{measure},xi}$, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 während der Bearbeitung des Zielobjekts 107 durch die Bearbeitungseinheit 103 berechnet wird. Darüber hinaus wird die Summe der Längen der jeweiligen Bereiche in der Z-Achsenrichtung durch die nachstehende Gleichung (3) ausgedrückt.

$$L_{z0} = \sum_1^m L_{zi} \quad (3)$$

[0106] In Gleichung (3) steht L_{zi} für die Länge jedes Bereichs in der Z-Achsenrichtung, die wie oben beschrieben im Voraus gemessen wird, und L_{z0} steht für die aus L_{zi} berechnete Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107. Wenn der durchschnittliche Brechungsindex n_{ave} des Distanz-Messraums 108 als ein gewichteter Durchschnitt definiert ist, der durch Gewichtung des Brechungsindex n_i jedes Bereichs in Gleichung (2) mit der Länge L_{zi} jedes Bereichs in der Z-Achsenrichtung erhalten wird, gilt untenstehende Gleichung (4).

$$\begin{aligned} n_{\text{ave}} L_{z0} &= \sum_1^m n_i L_{zi} \\ \therefore n_{\text{ave}} &= \frac{\sum_1^m n_i L_{zi}}{L_{z0}} \end{aligned} \quad (4)$$

[0107] Wie in Gleichung (4) angegeben, berechnet die Distanz-Berechnungseinheit 16 den durchschnittlichen Brechungsindex n_{ave} des Distanz-Messraums 108 auf Grundlage des berechneten Brechungsindex n_i jedes Bereichs und des zuvor gemessenen L_{zi} wie oben beschrieben.

[0108] Außerdem ist, wie in Gleichung (5) unten angegeben, die Summe der optischer-Pfad-Längen in der Z-Achsenrichtung der jeweiligen Bereiche, d. h. die erster-optischer-Pfad-Länge $L_{\text{measure},z}$ von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107, gleich dem Produkt aus dem durchschnittlichen Brechungsindex n_{ave} des Distanz-Messraums 108 und dem Abstand L_z von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107.

$$L_{\text{measure},z} = n_{\text{ave}} L_z \quad (5)$$

[0109] Durch Transformieren von Gleichung (5) wird Gleichung (6) erhalten.

$$L_z = \frac{L_{\text{measure},z}}{n_{\text{ave}}} \quad (6)$$

[0110] Wie in Gleichung (6) angegeben, berechnet die Distanz-Berechnungseinheit 16 die Distanz L_z von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 während der Bearbeitung des Zielobjekts 107 durch die Bearbeitungseinheit 103 auf Grundlage des berechneten durchschnittlichen Brechungsindex n_{ave} und der erster-optischer-Pfad-Länge $L_{\text{measure},z}$, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 berechnet wird.

[0111] Darüber hinaus kann die Distanz-Berechnungseinheit 16 in dem oben beschriebenen zweiten konkreten Beispiel in einem Fall, in dem vorhergesagt wird, dass die Brechungsindexverteilung in dem Distanz-Messraum 108 gemäß der Position in der Z-Achsenrichtung kontinuierlich variiert, eine Funktion des Brechungsindex, die gemäß der Position in der Z-Achsenrichtung kontinuierlich variiert ist, durch Anpassen unter Verwendung des Brechungsindex jedes Bereichs als Anpassungsparameter ableiten. In diesem Fall kann die Distanz-Berechnungseinheit 16 den durchschnittlichen Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 nicht durch einen einfachen gewichteten Durchschnitt wie in Gleichung (4), sondern durch Integrieren der Funktion berechnen.

[0112] Es sei angemerkt, dass bei der Distanzmessung unter Verwendung von Licht der Grad der Änderung des Brechungsindex in dem Distanzmessungsraum 108 aufgrund einer Temperaturänderung oder einer Änderung der Konzentration einer anderen Substanz als Luft während eines Zeitraums zwischen dem Beginn und dem Abschluss der Distanzmessung im Allgemeinen sehr gering ist.

[0113] Konkreter ausgedrückt wird im Allgemeinen eine Lichtquelle mit einer durchgestimmten Geschwindigkeit in der Größenordnung von kHz oder mehr als eine Lichtquelle genutzt, die wellenlängendurchgestimmtes Licht emittiert. In einem Fall, in dem eine solche Lichtquelle für die Wellenlängendurchgestimmtes-Licht-Ausgabereinheit 104 der Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 genutzt wird, kann die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 Distanzmessung 1000 Mal pro Sekunde durchführen. Ein Grad einer Änderung des Brechungsindex aufgrund einer Temperaturänderung oder einer Konvektion in dem Distanz-Messraum 108 während 0,001 Sekunden, der für eine Distanzmessung durch die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 erforderlich ist, ist sehr gering.

[0114] Daher kann die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 den sich ständig ändernden Brechungs-

index des Distanz-Messraums 108 messen, indem Distanzmessung unter Verwendung von Licht durch die Wellenlängendurchgestimmtes-Licht-Ausgabereinheit 104 und eines optischen Elements wie die Vielzahl von optischen Elementen 10 und die Reflexionseinheit 8 durchgeführt wird. Daher kann die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des Brechungsindex sequentiell messen.

[0115] Nachfolgend wird ein Simulationsergebnis einer Brechungsindexänderung i , dem Distanz-Messraum 108 beschrieben. Bei dieser Simulation ist die Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 mit einer Ölfilmschicht bedeckt, und der Distanz-Messraum 108 wird durch die Ölfilmschicht und eine Luftschicht von einer Oberfläche der Ölfilmschicht auf der Seite des ersten optischen Systems 6 bis zu der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 gebildet.

[0116] Die Dicke der Luftschicht in der Richtung entlang der optischen Achse des ersten optischen Systems 6 beträgt 0,8 m, und die Dicke der Ölfilmschicht in der Richtung entlang der optischen Achse des ersten optischen Systems 6 beträgt 0,001 m. Darüber hinaus wird die Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex der Luftschicht auf $3,7 \times 10^{-6}$ festgelegt und die Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex der Ölfilmschicht auf $3,3 \times 10^{-4}$ festgelegt.

[0117] Wenn die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 einen Hochleistungs-Bearbeitungslaser der Kilowattklasse ausgibt, steigt die Temperatur der gesamten Bearbeitungskopfeinheit 110 aufgrund von Streulicht an. Vor diesem Hintergrund sei angenommen, dass während der Bearbeitung des Zielobjekts 107 durch die Bearbeitungseinheit 103 die Temperatur der Schicht mit einer Dicke von 0,4 m in der Luftschicht auf der Seite des ersten optischen Systems 680°C beträgt, die Temperatur der Schicht mit einer Dicke von 0,4 m in der Luftschicht auf der Seite des Zielobjekts 107 40°C beträgt und die Temperatur der Ölfilmschicht 40°C beträgt. Die Differenz zwischen der optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107, die in diesem Fall gemessen wird, und der optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107, die in dem Fall gemessen wird, in dem der Distanz-Messraum 108 eine Raumtemperatur von 25 °C hat, wird auf 108,1 um vorhergesagt. Die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 kann diese Differenz durch das oben beschriebene Verfahren korrigieren und somit die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 während

der Bearbeitung des Zielobjekts 107 durch die Bearbeitungseinheit 103 genau messen.

[0118] Es sei angemerkt, dass in der obigen Simulation die Ciddor-Gleichung als der Wert für die Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex von Luft genutzt wird. Darüber hinaus wird als ein Wert für die Temperaturabhängigkeit des Brechungsindex des Ölfilms in der obigen Simulation ein physikalischer Eigenschaftswert von Toluol genutzt. Obwohl Toluol selbst in der Regel nicht als Bearbeitungsöl genutzt wird, wird es eingesetzt, da Beispiele für physikalische Eigenschaftswerte reichlich gesammelt sind.

[0119] Als Nächstes wird eine Modifikation der Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemäß der ersten Ausführungsform beschrieben. Das erste Interferenzlicht basierend auf dem ersten reflektierten Lichts und das zweite Interferenzlicht basierend auf dem zweiten reflektierten Lichts in der optischen Interferenzeinheit 11 müssen so weit voneinander entfernt sein, dass die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die Mittenfrequenz jedes Interferenzlichts erfassen kann.

[0120] In diesem Zusammenhang umfassen Beispiele für denkbare Verfahren ein Verfahren zur Teilung des ersten reflektierten Lichts und des zweiten reflektierten Lichts, das auf die optische Interferenzeinheit 11 fällt, mit Hilfe eines Kopplers. Bei diesem Verfahren muss die Länge des optischen Pfads des ersten reflektierten Lichts und die Länge des optischen Pfads des zweiten reflektierten Lichts angepasst werden, so dass die optische Interferenzeinheit 11 die Interferenz zwischen dem ersten reflektierten Licht und dem Referenzlicht und die Interferenz zwischen dem zweiten reflektierten Licht und dem Referenzlicht an Positionen gleichzeitig durchführen kann, die weit genug entfernt sind, um keine Interferenz zwischen dem ersten reflektierten Licht und dem zweiten reflektierten Licht zu bewirken. Bei diesem Verfahren kann sich jedoch der optische Pfad des ersten reflektierten Lichts aufgrund der Anpassung der Länge des optischen Pfads des ersten reflektierten Lichts vergrößern, was zu einer Verengung des Bereichs der durch die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 messbaren Distanz führen kann.

[0121] In diesem Zusammenhang umfasst die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 in der Modifikation als die Messlicht-Teilungseinheit 5 einen optischen Schalter, der den optischen Pfad des Messlichts mit hoher Geschwindigkeit schalten kann. Der optische Schalter führt das erste Messlicht zu dem ersten optischen System 6 durch Schalten des optischen Pfads des Messlichts auf den optischen Pfad von dem optischen Schalter zu dem ersten optischen System 6, oder führt das zweite Mess-

licht zu dem zweiten optischen System 7 durch Schalten des optischen Pfads des Messlichts auf den optischen Pfad von dem optischen Schalter zu dem zweiten optischen System 7. Es sei angemerkt, dass der optische Schalter Schalten bei einer Frequenz durchführt, die niedriger ist als die durchgestimmte Frequenz des von der Wellenlängendurchgestimmtes-Licht-Ausgabereinheit 104 emittierten durchgestimmten Lichts.

[0122] Als ein Ergebnis sind das erste reflektierte Licht und das zweite reflektierte Licht zeitlich und nicht räumlich getrennt, und die optische Interferenzeinheit 11 kann die Interferenz zwischen dem ersten reflektierten Licht und dem Referenzlicht und die Interferenz zwischen dem zweiten reflektierten Licht und dem Referenzlicht jeweils zu unterschiedlichen Zeiten durchführen. Somit sind das erste Interferenzlicht und das zweite Interferenzlicht zeitlich getrennt. Dementsprechend kann die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die Mittenfrequenz jedes Interferenzlichts genau ermitteln. Auf diese Weise kann die Distanz-Berechnungseinheit 16 die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 genau messen.

[0123] Fig. 6A ist ein Graph, der das Frequenzspektrum des ersten Interferenzlichts und das Frequenzspektrum des zweiten Interferenzlichts in der optischen Interferenzeinheit 11 in einem Fall veranschaulicht, in dem die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 als die Messlicht-Teilungseinheit 5 ein optisches Element umfasst, das das Messlicht in erstes Messlicht und zweites Messlicht räumlich teilt. In Fig. 6A stellt die vertikale Achse die Intensität dar und die horizontale Achse stellt die Frequenz dar. In Fig. 6A sind zwei Frequenzspektren des zweiten Interferenzlichts dargestellt, die zwei optischen Elementen 10 aus der Vielzahl von optischen Elementen 10 entsprechen, die das zweite optische System 7 bilden.

[0124] Das Frequenzspektrum P des ersten Interferenzlichts, das Frequenzspektrum Q des zweiten Interferenzlichts und das Frequenzspektrum R des zweiten Interferenzlichts müssen ausreichend voneinander getrennt sein, damit die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die Mittenfrequenz jedes Interferenzlichts erfassen kann.

[0125] Fig. 6B ist ein Graph, der das Frequenzspektrum des ersten Interferenzlichts und das Frequenzspektrum des zweiten Interferenzlichts in der optischen Interferenzeinheit 11 darstellt, wenn die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 als die Messlicht-Teilungseinheit 5 einen optischen Schalter umfasst, der das Messlicht in erstes Messlicht und zweites Messlicht zeitlich teilt. In Fig. 6B stellt die vertikale Achse jedes Graphen Intensität dar und

die horizontale Achse jedes Graphen stellt Frequenz dar.

[0126] Der linke Graph in **Fig. 6B** zeigt das Frequenzspektrum des ersten Interferenzlichts in der optischen Interferenzeinheit 11, wenn der optische Schalter das erste Messlicht zu dem ersten optischen System 6 führt durch Schalten des optischen Pfads des Messlichts auf den optischen Pfad von dem optischen Schalter zu dem ersten optischen System 6.

[0127] Der Graph in der Mitte von **Fig. 6B** zeigt das Frequenzspektrum des zweiten Interferenzlichts in der optischen Interferenzeinheit 11, wenn der optische Schalter das zweite Messlicht zu einem ersten optischen Element aus der Vielzahl von optischen Elementen 10 führt durch Schalten des optischen Pfads des Messlichts auf den optischen Pfad von dem optischen Schalter zu dem ersten optischen Element.

[0128] Der Graph auf der rechten Seite von **Fig. 6B** zeigt das Frequenzspektrum des zweiten Interferenzlichts in der optischen Interferenzeinheit 11, wenn der optische Schalter das zweite Messlicht zu einem zweiten optischen Element aus der Vielzahl von optischen Elementen 10 führt durch Schalten des optischen Pfads des Messlichts auf den optischen Pfad von dem optischen Schalter zu dem zweiten optischen Element.

[0129] Wie in **Fig. 6B** dargestellt, sind das erste Interferenzlicht und das zweite Interferenzlicht zeitlich getrennt. Daher kann die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die Mittenfrequenz jedes Interferenzlichts genau erfassen, und die Distanz-Berechnungseinheit 16 kann die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 genau messen.

[0130] Wie oben beschrieben, umfasst die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemäß der ersten Ausführungsform: eine Teilungseinheit 3, um Laserlicht in Messlicht und Referenzlicht zu teilen; die Messlicht-Teilungseinheit 5, um das durch die Teilungseinheit 3 erzeugte Messlicht in erstes Messlicht und zweites Messlicht zu teilen; ein erstes optisches System 6, um ein Zielobjekt mit dem durch die Messlicht-Teilungseinheit 5 erzeugten ersten Messlicht zu bestrahlen und von dem Zielobjekt reflektiertes erstes Licht zu empfangen; ein zweites optisches System 7, um das durch die Messlicht-Teilungseinheit 5 erzeugte zweite Messlicht zu einem Distanz-Messraum 108 zwischen dem ersten optischen System 6 und dem Zielobjekt 107 zu emittieren; die Reflexionseinheit 8, um das von dem zweiten optischen System 7 emittierte und den Distanz-Messraum 108 passierende zweite Messlicht zu dem

zweiten optischen System 7 zu reflektieren; eine Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15, um eine erster-optischer-Pfad-Länge von einer Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu einer Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 zu berechnen auf Grundlage des von dem ersten optischen System 6 empfangenen ersten reflektierten Lichts und dem durch die Teilungseinheit 3 erzeugten Referenzlicht, und eine zweiter-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems 7 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 zu berechnen auf Grundlage des zweiten reflektierten Lichts, das durch die Reflexionseinheit 8 reflektiert wird und von dem zweiten optischen System 7 empfangen wird und des durch die Teilungseinheit 3 erzeugten Referenzlichts; und eine Distanz-Berechnungseinheit 16, um einen Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 zu berechnen auf Grundlage der durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 gemessenen zweiter-optischer-Pfad-Länge, und eine Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 zu berechnen auf Grundlage des Brechungsindex und der durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 gemessenen erster-optischer-Pfad-Länge.

[0131] Gemäß der obigen Konfiguration wird der Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 berechnet auf Grundlage der zweiter-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems 7 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8, und die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 wird berechnet auf Grundlage des Brechungsindex und der erster-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107. Daher, wenn sich der Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 ändert, kann die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des gemessenen Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 berechnet werden. Dementsprechend ist es möglich, eine Abnahme der Distanzmessgenauigkeit aufgrund einer Änderung des Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 zu unterdrücken.

[0132] Darüber hinaus umfasst die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemäß der ersten Ausführungsform ferner die optische Interferenzeinheit 11, die ein erstes Interferenzlicht erzeugt durch Bewirken von Interferenz zwischen dem von dem ersten optischen System 6 empfangenen ersten reflektierten Licht und dem durch die Teilungseinheit 3 erzeugten Referenzlicht, und erzeugt zweites Interferenzlicht durch Bewirken von Interferenz zwischen

dem zweiten reflektierten Licht, das durch Reflektieren des zweiten Messlichts durch die Reflexionseinheit 8 erhalten wird und von dem zweiten optischen System 7 empfangen wird, und dem durch die Teilungseinheit 3 erzeugten Referenzlicht, wobei die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die erster-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 berechnet auf Grundlage des durch die optische Interferenzeinheit 11 erzeugten ersten Interferenzlichts, und die zweiter-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems 7 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 berechnet auf Grundlage des durch die optische Interferenzeinheit 11 erzeugten zweiten Interferenzlichts.

[0133] Gemäß der obigen Konfiguration kann die erster-optischer-Pfad-Länge auf Grundlage des ersten Interferenzlichts zwischen dem ersten reflektierten Licht und dem Referenzlicht optimal berechnet werden, und die zweiter-optischer-Pfad-Länge kann auf Grundlage des zweiten Interferenzlichts zwischen dem zweiten reflektierten Licht und dem Referenzlicht optimal berechnet werden. Dadurch ist es möglich, die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 optimal zu berechnen und somit ist es möglich, eine Abnahme der Distanzmessgenauigkeit aufgrund einer Änderung des Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 zu unterdrücken.

[0134] Darüber hinaus, in der Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemäß der ersten Ausführungsform, umfasst der Distanz-Messraum 108 eine Vielzahl von Bereichen, die entlang einer optischen Achse des ersten optischen Systems 6 angeordnet sind, das zweite optische System 7 umfasst eine Vielzahl von optischen Elementen 10, die angeordnet sind, so dass eine optische Achse des zweiten Messlichts, das von jedem der optischen Elemente 10 zu emittieren ist, einen entsprechenden Bereich der Vielzahl von Bereichen passiert, von jedem der Vielzahl von optischen Elementen 10 das zweite Messlicht zu dem entsprechenden Bereich der Vielzahl von Bereichen emittiert und das zweite reflektierte Licht, das von der Reflexionseinheit reflektiert wird, empfängt, die optische Interferenzeinheit 11 das zweite Interferenzlicht für jeden Bereich erzeugt durch Bewirken von Interferenz zwischen dem zweiten Reflexionslicht für jeden Bereich, das von der Vielzahl von optischen Elementen 10 empfangen wird, und dem Referenzlicht, die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die zweiter-optischer-Pfad-Länge jedes Bereichs auf Grundlage des zweiten Interferenzlichts für jeden Bereich, das von der optischen Interferenzeinheit 11 erzeugt wird, berechnet, und die Distanz-Berechnungseinheit 16 einen Brechungsindex jedes Bereichs auf Grundlage

der zweiter-optischer-Pfad-Länge jedes Bereichs, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 berechnet wird berechnet, einen durchschnittlichen Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 auf Grundlage des Brechungsindex jedes Bereichs berechnet, und die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des durchschnittlichen Brechungsindex und der erster-optischer-Pfad-Länge berechnet.

[0135] Gemäß der obigen Konfiguration wird die Zweiter-Optischer-Pfad-Länge jedes Bereichs berechnet. Dann wird der Brechungsindex jedes Bereichs auf Grundlage der zweiter-optischer-Pfad-Länge jedes Bereichs berechnet, und die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des Brechungsindex jedes Bereichs und der erster-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 berechnet. Als ein Ergebnis kann in einem Fall, in dem sich der Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 ändert und eine Brechungsindexverteilung in dem Distanz-Messraum 108 auftritt, die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des gemessenen Brechungsindex jedes Bereichs in dem Distanz-Messraum 108 berechnet werden. Daher ist es möglich, eine Verringerung der Distanzmessgenauigkeit, die auf ein Auftreten einer Brechungsindexverteilung in dem Distanz-Messraum zurückzuführen ist, die durch eine Änderung des Brechungsindexes des Distanzmessraums 108 bewirkt wird, zu unterdrücken.

[0136] Ferner ist in der Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemäß der ersten Ausführungsform das Laserlicht wellenlängendurchgestimmtes Licht, und die optische Interferenzeinheit 11 erzeugt als das erste Interferenzlicht eine erste Differenzfrequenzwelle durch Bewirken von Interferenz zwischen dem ersten reflektierten Licht und dem Referenzlicht, und erzeugt als das zweite Interferenzlicht eine zweite Differenzfrequenzwelle durch Bewirken von Interferenz zwischen dem zweiten reflektierten Licht und dem Referenzlicht, und die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 berechnet die erster-optischer-Pfad-Länge auf Grundlage der ersten Differenzfrequenzwelle, die durch die optische Interferenzeinheit 11 erzeugt wird, und berechnet die zweiter-optischer-Pfad-Länge auf Grundlage der zweiten Differenzfrequenzwelle, die durch die optische Interferenzeinheit 11 erzeugt wird.

[0137] Gemäß der obigen Konfiguration kann die erster-optischer-Pfad-Länge zweckmäßigerweise auf Grundlage der ersten Differenzfrequenzwelle

berechnet werden, die das erste Interferenzlicht zwischen dem ersten reflektierten Licht und dem Referenzlicht ist, und die zweite-optischer-Pfad-Länge kann zweckmäßigerweise auf Grundlage der zweiten Differenzfrequenzwelle berechnet werden, die das zweite Interferenzlicht zwischen dem zweiten reflektierten Licht und dem Referenzlicht ist. Dadurch ist es möglich, die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 zweckmäßigerweise zu berechnen und somit eine Abnahme der Distanzmessgenauigkeit aufgrund einer Änderung des Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 zu unterdrücken.

[0138] Zudem umfasst die Bearbeitungseinrichtung 100 gemäß der ersten Ausführungsform: die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101; eine Bearbeitungseinheit 103, um das Zielobjekt 107 zu bearbeiten; und die Bearbeitungssteuerungseinheit 102, um die Bearbeitungseinheit 103 zu steuern, so dass die Bearbeitungseinheit 103 das Zielobjekt 107 auf Grundlage der durch die Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemessenen Distanz bearbeitet.

[0139] Gemäß der obigen Konfiguration kann die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des gemessenen Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 berechnet werden, selbst wenn sich der Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 ändert, und das Zielobjekt 107 kann auf Grundlage der Distanz bearbeitet werden. Dementsprechend ist es möglich, eine Abnahme der Distanzmessgenauigkeit aufgrund einer Änderung des Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 zu unterdrücken, und die Bearbeitungsgenauigkeit des Zielobjekts 107 kann verbessert werden.

Zweite Ausführungsform

[0140] In der ersten Ausführungsform wurde die Konfiguration beschrieben, in der die Wellenlängendurchgestimmtes-Licht-Ausgabereinheit 104, die durchgestimmtes Licht ausgibt, als die Lichtquelle für das Messlicht und das Referenzlicht genutzt wird. In einer zweiten Ausführungsform wird eine Konfiguration unter Verwendung einer weißen Laserlichtquelle beschrieben, die weißes Licht als eine Lichtquelle für Messlicht und Referenzlicht ausgibt.

[0141] Die zweite Ausführungsform wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Zeichnungen beschrieben. Es sei angemerkt, dass Komponenten mit Funktionen, die den in der ersten Ausführungsform beschriebenen ähnlich sind, mit den gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind und auf deren Beschreibung verzichtet wird. **Fig. 7** ist ein Schema, das eine Konfiguration für eine Bearbeitungseinrich-

tung 120, umfassend eine Optische-Distanz-Messeinrichtung 121, gemäß der zweiten Ausführungsform darstellt. Wie in **Fig. 7** dargestellt, umfasst die Optische-Distanz-Messeinrichtung 121 eine weiße Laserlichtquelle 20 anstelle der Wellenlängendurchgestimmtes-Licht-Ausgabereinheit 104, und die Signalverarbeitungseinheit 122 umfasst außerdem eine spektroskopische Einheit 21 im Vergleich zu der Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemäß der ersten Ausführungsform.

[0142] Die weiße Laserlichtquelle 20 emittiert Dauerstrich-Laserlicht. Bei der weißen Laserlichtquelle 20 handelt es sich beispielsweise um eine Lichtquelle mit verstärkter Spontanemission (ASE) oder dergleichen.

[0143] Es sei angemerkt, dass, obwohl die zweite Ausführungsform die Konfiguration beschreibt, bei der die Optische-Distanz-Messeinrichtung 121 die weiße Laserlichtquelle 20 umfasst, die Optische-Distanz-Messeinrichtung 121 die weiße Laserlichtquelle 20 nicht umfassen kann. In diesem Fall kann die Optische-Distanz-Messeinrichtung 121 Laserlicht nutzen, das von einem externen Laserlichtgenerator, umfassend die weiße Laserlichtquelle 20, emittiert wird.

[0144] In der zweiten Ausführungsform wird das von der weißen Laserlichtquelle 20 emittierte Laserlicht durch eine Teilungseinheit 3 in Messlicht und Referenzlicht geteilt. Das heißt, jedes von dem Messlicht, dem Referenzlicht, dem ersten Messlicht und dem zweiten Messlicht, die durch Teilen des Messlichts durch eine Messlicht-Teilungseinheit 5 erzeugt werden, erstes reflektiertes Licht, das durch Reflektieren des Messlichts, das von einem ersten optischen System 6 auf ein Zielobjekt 107 emittiert wird, an dem Zielobjekt 107 erhalten wird, und zweites reflektiertes Licht, das durch Reflektieren des Messlichts, das von einem zweiten optischen System 7 zu einer Reflexionseinheit 8 emittiert wird, auf der Reflexionseinheit 8 erhalten wird, jeweils Dauerstrich-Laserlicht ist.

[0145] Daher erzeugt in der zweiten Ausführungsform eine optische Interferenzeinheit 11 erstes Interferenzlicht durch Bewirken von Interferenz zwischen dem ersten reflektierten Dauerstrichlicht und dem Dauerstrich-Referenzlicht. Darüber hinaus erzeugt die optische Interferenzeinheit 11 zweites Interferenzlicht durch Bewirken von Interferenz zwischen dem zweiten reflektierten Dauerstrichlicht und dem Dauerstrich-Referenzlicht.

[0146] Die spektroskopische Einheit 21 streut das durch die optische Interferenzeinheit 11 erzeugte erste Interferenzlicht spektral. Das erste Interferenzlicht, das von der spektroskopischen Einheit 21 gestreut wird, ist für jede Frequenz räumlich getrennt. Darüber hinaus streut die spektroskopische

Einheit 21 das durch die optischen Interferenzeinheit 11 erzeugte zweite Interferenzlicht spektral. Das zweite Interferenzlicht, das von der spektroskopischen Einheit 21 gestreut wird, ist für jede Frequenz räumlich getrennt. Die spektroskopische Einheit 21 ist zum Beispiel ein Beugungsgitter oder dergleichen.

[0147] In der zweiten Ausführungsform umfasst die fotoelektrische Konvertierungseinheit 12 konkreter eine Vielzahl von fotoelektrischen Elementen (nicht dargestellt). Jedes von der Vielzahl von fotoelektrischen Elementen konvertiert das erste Interferenzlicht, das von der spektroskopischen Einheit 21 gestreut wird, fotoelektrisch, um ein erstes analoges Signal zu erzeugen, das die Intensität des ersten Interferenzlichts anzeigt, das der Anordnung jedes fotoelektrischen Elements zugeordnet ist. Konkreter ausgedrückt umfasst die fotoelektrische Konvertierungseinheit 12 beispielsweise eine Vielzahl von fotoelektrischen Elementen, die in einem Array wie ein CCD angeordnet sind. Die Anordnung von jedem der Vielzahl von fotoelektrischen Elementen entspricht einer Frequenz von zu empfangenden Licht. Die Vielzahl von fotoelektrischen Elementen konvertieren das erste Interferenzlicht, das für jede Frequenz räumlich getrennt ist, fotoelektrisch, wodurch ein erstes analoges Signal erzeugt wird, das die Intensität des ersten Interferenzlichts anzeigt, die der Anordnung von jedem der fotoelektrischen Elemente zugeordnet ist.

[0148] Darüber hinaus konvertiert in der zweiten Ausführungsform jedes von der Vielzahl von fotoelektrischen Elementen in der fotoelektrischen Konvertierungseinheit 12 das zweite Interferenzlicht, das von der spektroskopischen Einheit 21 gestreut wird, fotoelektrisch, wodurch ein zweites analoges Signal erzeugt wird, das die Intensität des zweiten Interferenzlichts anzeigt, das der Anordnung jedes fotoelektrischen Elements zugeordnet ist. Konkreter ausgedrückt, konvertiert die Vielzahl von fotoelektrischen Elementen das zweite Interferenzlicht, das für jede Frequenz räumlich getrennt ist, fotoelektrisch, um ein zweites analoges Signal zu erzeugen, das die Intensität des zweiten Interferenzlichts anzeigt, das der Anordnung jedes fotoelektrischen Elements zugeordnet ist.

[0149] In der zweiten Ausführungsform führt eine digitale Konvertierungseinheit 13 A/D-Konvertierung auf das erste analoge Signals durch, das durch die fotoelektrische Konvertierungseinheit 12 erzeugt wird, um ein erstes digitales Signal zu erzeugen, das die Intensität des ersten Interferenzlichts anzeigt, das der Anordnung jedes fotoelektrischen Elements zugeordnet ist. Darüber hinaus führt die digitale Konvertierungseinheit 13 A/D-Konvertierung auf das zweite analoge Signals durch, das durch die fotoelektrische Konvertierungseinheit 12 erzeugt

wird, um ein zweites digitales Signal zu erzeugen, das die Intensität des zweiten Interferenzlichts anzeigt, das der Anordnung jedes fotoelektrischen Elements zugeordnet ist.

[0150] In der zweiten Ausführungsform erwirbt eine Intensitätsmesseinheit 14 von einer Speichereinheit (nicht dargestellt) Informationen, die die Korrespondenz zwischen der Anordnung jedes fotoelektrischen Elements in der fotoelektrischen Konvertierungseinheit 12 und der Frequenz des von jedem fotoelektrischen Element zu empfangenden Lichts angeben. Die Intensitätsmesseinheit 14 misst die Intensität des ersten Interferenzlichts für jede Frequenz auf Grundlage der Informationen und des ersten digitalen Signals, das durch die digitale Konvertierungseinheit 13 erzeugt wird. In der zweiten Ausführungsform misst die Intensitätsmesseinheit 14 die Intensität des zweiten Interferenzlichts für jede Frequenz auf Grundlage der Informationen, die die Korrespondenz zwischen der Anordnung jedes fotoelektrischen Elements in der fotoelektrischen Konvertierungseinheit 12 und der Frequenz des von jedem fotoelektrischen Element empfangenen Lichts und dem durch die digitale Konvertierungseinheit 13 erzeugten zweiten digitalen Signal angeben.

[0151] In der zweiten Ausführungsform berechnet eine Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 eine erster-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des ersten Interferenzlichts, das von der spektroskopischen Einheit 21 gestreut wird. In der zweiten Ausführungsform berechnet die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 außerdem eine zweiter-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems 7 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 auf Grundlage des zweiten Interferenzlichts, das von der spektroskopischen Einheit 21 gestreut wird. Konkreter ausgedrückt, in der zweiten Ausführungsform berechnet die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die erster-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage der Intensität des ersten Interferenzlichts für jede durch die Intensitätsmesseinheit 14 gemessene Frequenz. Darüber hinaus berechnet die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die zweiter-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems 7 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 auf Grundlage der durch die Intensitätsmesseinheit 14 gemessenen Intensität des zweiten Interferenzlichts für jede Frequenz.

[0152] Obwohl nicht dargestellt, unterscheidet sich das Distanzmessverfahren durch eine Analyseinheit 109 der Optische-Distanz-Messeinrichtung 121

gemäß der zweiten Ausführungsform von dem Distanzmessverfahren durch die Analyseeinheit 109 der Optische-Distanz-Messeinrichtung 101 gemäß der ersten Ausführungsform in den folgenden Punkten. In der zweiten Ausführungsform misst die Intensitätsmeseinheit 14 in dem oben beschriebenen Schritt ST1 zunächst die Intensität des ersten Interferenzlichts für jede Frequenz auf Grundlage der Informationen, die die Korrespondenz zwischen der Anordnung jedes fotoelektrischen Elements in der fotoelektrischen Konvertierungseinheit 12 und der Frequenz des von jedem fotoelektrischen Element empfangenen Lichts und dem von der digitalen Konvertierungseinheit 13 erzeugten ersten digitalen Signal angeben.

[0153] In der zweiten Ausführungsform misst die Intensitätsmeseinheit 14 in dem oben beschriebenen Schritt ST1 zudem die Intensität des zweiten Interferenzlichts für jede Frequenz auf Grundlage der Informationen, die die Korrespondenz zwischen der Anordnung jedes fotoelektrischen Elements in der fotoelektrischen Konvertierungseinheit 12 und der Frequenz des von jedem fotoelektrischen Element empfangenen Lichts und dem zweiten digitalen Signal, das durch die digitale Konvertierungseinheit 13 erzeugt wird, angeben.

[0154] Als nächstes, im oben beschriebenen Schritt ST2, berechnet die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die erster-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage der Intensität des ersten Interferenzlichts für jede durch die Intensitätsmeseinheit 14 gemessene Frequenz, und berechnet die zweiter-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems 7 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 auf Grundlage der durch die Intensitätsmeseinheit 14 gemessenen Intensität des zweiten Interferenzlichts für jede Frequenz.

[0155] Konkreter ausgedrückt, berechnet in der zweiten Ausführungsform in dem oben beschriebenen Schritt ST2 die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 die erster-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage der Intensität des ersten Interferenzlichts für jede durch die Intensitätsmeseinheit 14 gemessene Frequenz nach einem Verfahren, das einem für die optische Kohärenztomographie in der Spektraldomäne genutzten Verfahren ähnlich ist, das eine bekannte Technik ist.

[0156] In der zweiten Ausführungsform berechnet die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 in dem oben beschriebenen Schritt ST2 die zweiter-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche

des zweiten optischen Systems 7 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 auf Grundlage der Intensität des zweiten Interferenzlichts für jede durch die Intensitätsmeseinheit 14 gemessene Frequenz nach einem Verfahren, das einem für die optische Kohärenztomographie in der Spektraldomäne genutzten Verfahren ähnlich ist, das eine bekannte Technik ist. Es sei angemerkt, dass das Verfahren zur Messung einer optischer-Pfad-Länge mittels optischer Kohärenztomographie in der Spektraldomäne bekannt ist, so dass auf eine Beschreibung verzichtet wird.

[0157] Als Nächstes, im oben beschriebenen Schritt ST3, berechnet eine Distanz-Berechnungseinheit 16 den Brechungsindex eines Distanz-Messraums 108 auf Grundlage der zweiter-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 gemessen wird. Als nächstes berechnet die Distanz-Berechnungseinheit 16 in dem oben beschriebenen Schritt ST4 die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des in Schritt ST3 berechneten Brechungsindex und der durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 gemessenen erster-optischer-Pfad-Länge.

[0158] Jede Funktion der Intensitätsmeseinheit 14, der Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 und der Distanz-Berechnungseinheit 16 in der Analyseeinheit 109 der Optische-Distanz-Messeinrichtung 121 gemäß der zweiten Ausführungsform ist durch einen Verarbeitungsschaltkreis implementiert. Das heißt, die Analyseeinheit 109 der Optische-Distanz-Messeinrichtung 121 gemäß der zweiten Ausführungsform umfasst einen Verarbeitungsschaltkreis zur Ausführung der oben beschriebenen Verarbeitungsschritte. Bei dem Verarbeitungsschaltkreis kann es sich um dedizierte Hardware handeln oder um eine zentrale Verarbeitungseinheit (CPU) handeln, die ein in einem Speicher gespeichertes Programm ausführt. Eine Hardwarekonfiguration zur Implementierung der Funktion der Analyseeinheit 109 der Optische-Distanz-Messeinrichtung 121 gemäß der zweiten Ausführungsform ist der in **Fig. 3A** dargestellten Hardwarekonfiguration ähnlich. Darüber hinaus ist eine Hardwarekonfiguration zur Ausführung von Software, die die Funktion der Analyseeinheit 109 der Optische-Distanz-Messeinrichtung 121 gemäß der zweiten Ausführungsform implementiert, der in **Fig. 3B** dargestellten Hardwarekonfiguration ähnlich.

[0159] Wie oben beschrieben, ist in der Optische-Distanz-Messeinrichtung 121 gemäß der zweiten Ausführungsform das Laserlicht weißes Laserlicht, die Optische-Distanz-Messeinrichtung 121 umfasst ferner die spektroskopische Einheit 21, die das durch die optische Interferenzeinheit 11 erzeugte

erste Interferenzlicht spektral streut und das durch die optische Interferenzeinheit 11 erzeugte zweite Interferenzlicht spektral streut, und die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit 15 berechnet die erster-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 auf Grundlage des ersten Interferenzlichts, das durch die spektroskopische Einheit 21 gestreut wird, und berechnet die zweiter-optischer-Pfad-Länge von der Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems 7 zu der Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit 8 auf Grundlage des durch die spektroskopische Einheit 21 gestreuten zweiten Interferenzlichts.

[0160] Gemäß der obigen Konfiguration kann die erster-optischer-Pfad-Länge auf Grundlage des gestreuten ersten Interferenzlichts optimal berechnet werden, und die zweiter-optischer-Pfad-Länge kann auf Grundlage des gestreuten zweiten Interferenzlichts optimal berechnet werden. Dadurch ist es möglich, die Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems 6 zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts 107 optimal zu berechnen und somit ist es möglich, eine Abnahme der Distanzmessgenauigkeit aufgrund einer Änderung des Brechungsindex des Distanz-Messraums 108 zu unterdrücken.

[0161] Es sei angemerkt, dass innerhalb des Anwendungsbereichs der vorliegenden Erfindung zwei oder mehr der oben genannten Ausführungsformen frei kombiniert werden können oder eine beliebige Komponente in den Ausführungsformen modifiziert oder weggelassen werden kann.

GEWERBLICHE ANWENDBARKEIT

[0162] Die Optische-Distanz-Messeinrichtung gemäß der vorliegenden Erfindung kann eine Abnahme der Distanzmessgenauigkeit aufgrund einer Änderung des Brechungsindex des Distanz-Messraums unterdrücken und kann daher für eine Bearbeitungseinrichtung genutzt werden, die ein Zielobjekt bearbeitet.

Bezugszeichenliste

1	Laserlichtquelle
2	Durchstimmeinheit
3	Teilungseinheit
4	Optischer Zirkulator
5	Messlicht-Teilungseinheit
6	erstes optisches System
7	zweites optisches System
8	Reflexionseinheit

9	Verzögerungsanpassungseinheit
10	optisches Element
11	optische Interferenzeinheit
12	fotoelektrische Konvertierungseinheit
13	digitale Konvertierungseinheit
14	Intensitätsmesseinheit
15	Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit
16	Distanz-Berechnungseinheit
20	weiße Laserlichtquelle
21	spektroskopische Einheit
100	Bearbeitungseinrichtung
101	Optische-Distanz-Messeinrichtung
102	Bearbeitungssteuerungseinheit
103	Bearbeitungseinheit
104	Wellenlängendurchgestimmtes-Licht-Ausgabereinheit
105	optische Übertragungseinheit
106	Signalverarbeitungseinheit
107	Zielobjekt
108	Distanz-Messraum
109	Analyseeinheit
110	Bearbeitungskopfeinheit
111	Verarbeitungsschaltkreis
112	Prozessor
113	Speicher
120	Bearbeitungseinrichtung
121	Optische-Distanz-Messeinrichtung
122	Signalverarbeitungseinheit

Patentansprüche

1. Optische-Distanz-Messeinrichtung, umfassend:
 eine Teilungseinheit, um Laserlicht in Messlicht und Referenzlicht zu teilen;
 eine Messlicht-Teilungseinheit, um das durch die Teilungseinheit erzeugte Messlicht in erstes Messlicht und zweites Messlicht zu teilen;
 ein erstes optisches System, um ein Zielobjekt mit dem durch die Messlicht-Teilungseinheit erzeugten ersten Messlicht anzustrahlen, und von dem Zielobjekt reflektiertes erstes reflektiertes Licht zu empfangen;
 ein zweites optisches System, um das durch die Messlicht-Teilungseinheit erzeugte zweite Messlicht zu einem Raum zwischen dem ersten optischen

System und dem Zielobjekt zu emittieren;
 eine Reflexionseinheit, um das zweite Messlicht, das von dem zweiten optischen System emittiert wird und den Raum zu dem zweiten optischen System passiert, zu reflektieren;
 eine Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit, um eine erster-optischer-Pfad-Länge von einer Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems zu einer Reflexionsoberfläche des Zielobjekts zu berechnen auf Grundlage des ersten reflektierten Lichts, das von dem ersten optischen System empfangen wird, und des Referenzlichts, das durch die Teilungseinheit erzeugt wird, und eine zweiter-optischer-Pfad-Länge von einer Emissionsoberfläche des zweiten optischen Systems zu einer Reflexionsoberfläche der Reflexionseinheit zu berechnen auf Grundlage des zweiten reflektierten Lichts, das von der Reflexionseinheit reflektiert wird und von dem zweiten optischen System empfangen wird, und des Referenzlichts, das durch die Teilungseinheit erzeugt wird; und
 eine Distanz-Berechnungseinheit, um einen Brechungsindex des Raums zu berechnen auf Grundlage der zweiter-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit gemessen wird, und eine Distanz von der Emissionsoberfläche des ersten optischen Systems zu der Reflexionsoberfläche des Zielobjekts zu berechnen auf Grundlage des Brechungsindex und der erster-optischer-Pfad-Länge, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit gemessen wird.

2. Optische-Distanz-Messeinrichtung nach Anspruch 1, ferner umfassend eine optische Interferenzeinheit, um erstes Interferenzlicht zu erzeugen durch Bewirken von Interferenz zwischen dem ersten reflektierten Licht, das von dem ersten optischen System empfangen wird, und dem Referenzlicht, das durch die Teilungseinheit erzeugt wird, und zweites Interferenzlicht zu erzeugen durch Bewirken von Interferenz zwischen dem zweiten reflektierten Licht, das durch Reflektieren des zweiten Messlichts durch die Reflexionseinheit erhalten wird und von dem zweiten optischen System empfangen wird, und dem Referenzlicht, das durch die Teilungseinheit erzeugt wird, wobei die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit die erster-optischer-Pfad-Länge berechnet auf Grundlage des ersten Interferenzlichts, das durch die optische Interferenzeinheit erzeugt wird, und die zweiter-optischer-Pfad-Länge berechnet auf Grundlage des zweiten Interferenzlichts, das durch die optische Interferenzeinheit erzeugt wird.

3. Optische-Distanz-Messeinrichtung nach Anspruch 2, wobei der Raum eine Vielzahl von Bereichen umfasst, die entlang einer optischen Achse des ersten optischen Systems angeordnet sind, das zweite optische System eine Vielzahl von opti-

schen Elementen umfasst, die angeordnet sind, so dass eine optische Achse des zweiten Messlichts, das von jedem der Vielzahl von optischen Elementen zu emittieren ist, einen entsprechenden Bereich unter der Vielzahl von Bereichen passiert, jedes der Vielzahl von optischen Elementen das zweite Messlicht zu dem entsprechenden Bereich unter der Vielzahl von Bereichen emittiert und das zweite reflektierte Licht, das von der Reflexionseinheit reflektiert wird, empfängt, die optische Interferenzeinheit das zweite Interferenzlicht für jeden der Vielzahl von Bereichen erzeugt durch Bewirken von Interferenz zwischen dem zweiten reflektierten Licht für jeden der Vielzahl von Bereichen, das von der Vielzahl von optischen Elementen empfangen wird, und dem Referenzlicht, die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit die zweiter-optischer-Pfad-Länge von jedem der Vielzahl von Bereichen berechnet auf Grundlage des zweiten Interferenzlichts für jeden der Vielzahl von Bereichen, das durch die optische Interferenzeinheit erzeugt wird, und die Distanz-Berechnungseinheit einen Brechungsindex von jedem der Vielzahl von Bereichen berechnet auf Grundlage der zweiter-optischer-Pfad-Länge von jedem der Vielzahl von Bereichen, die durch die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit berechnet wird, einen durchschnittlichen Brechungsindex des Raums berechnet auf Grundlage des Brechungsindex von jedem der Vielzahl von Bereichen, und die Distanz berechnet auf Grundlage des durchschnittlichen Brechungsindex und der erster-optischer-Pfad-Länge.

4. Optische-Distanz-Messeinrichtung nach Anspruch 2, wobei das Laserlicht wellenlängendurchgestimmtes Licht ist, die optische Interferenzeinheit als das erste Interferenzlicht eine erste Differenzfrequenzwelle erzeugt durch Bewirken von Interferenz zwischen dem ersten reflektierten Licht und dem Referenzlicht, und als das zweite Interferenzlicht eine zweite Differenzfrequenzwelle erzeugt durch Bewirken von Interferenz zwischen dem zweiten reflektierten Licht und dem Referenzlicht, und die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit die erster-optischer-Pfad-Länge berechnet auf Grundlage der ersten Differenzfrequenzwelle, die durch die optische Interferenzeinheit erzeugt wird, und die zweiter-optischer-Pfad-Länge berechnet auf Grundlage der zweiten Differenzfrequenzwelle, die durch die optische Interferenzeinheit erzeugt wird.

5. Optische-Distanz-Messeinrichtung nach Anspruch 2, wobei das Laserlicht weißes Laserlicht ist, die Optische-Distanz-Messeinrichtung ferner eine spektroskopische Einheit umfasst, um das erste Interferenzlicht, das durch die optische Interferenzeinheit erzeugt wird, spektral zu streuen und das

zweite Interferenzlicht, das durch die optische Interferenzeinheit erzeugt wird, spektral zu streuen, und die Optischer-Pfad-Länge-Berechnungseinheit die erster-optischer-Pfad-Länge berechnet auf Grundlage des ersten Interferenzlichts, das durch die spektroskopische Einheit gestreut wird, und die zweiter-optischer-Pfad-Länge berechnet auf Grundlage des zweiten Interferenzlichts, das durch die spektroskopische Einheit gestreut wird.

6. Bearbeitungseinrichtung, umfassend:
die Optische-Distanz-Messeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5;
eine Bearbeitungseinheit, um das Zielobjekt zu bearbeiten; und
eine Bearbeitungssteuerungseinheit, um die Bearbeitungseinheit zu steuern, so dass die Bearbeitungseinheit das Zielobjekt auf Grundlage der durch die Optische-Distanz-Messeinrichtung gemessenen Distanz bearbeitet.

Es folgen 7 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

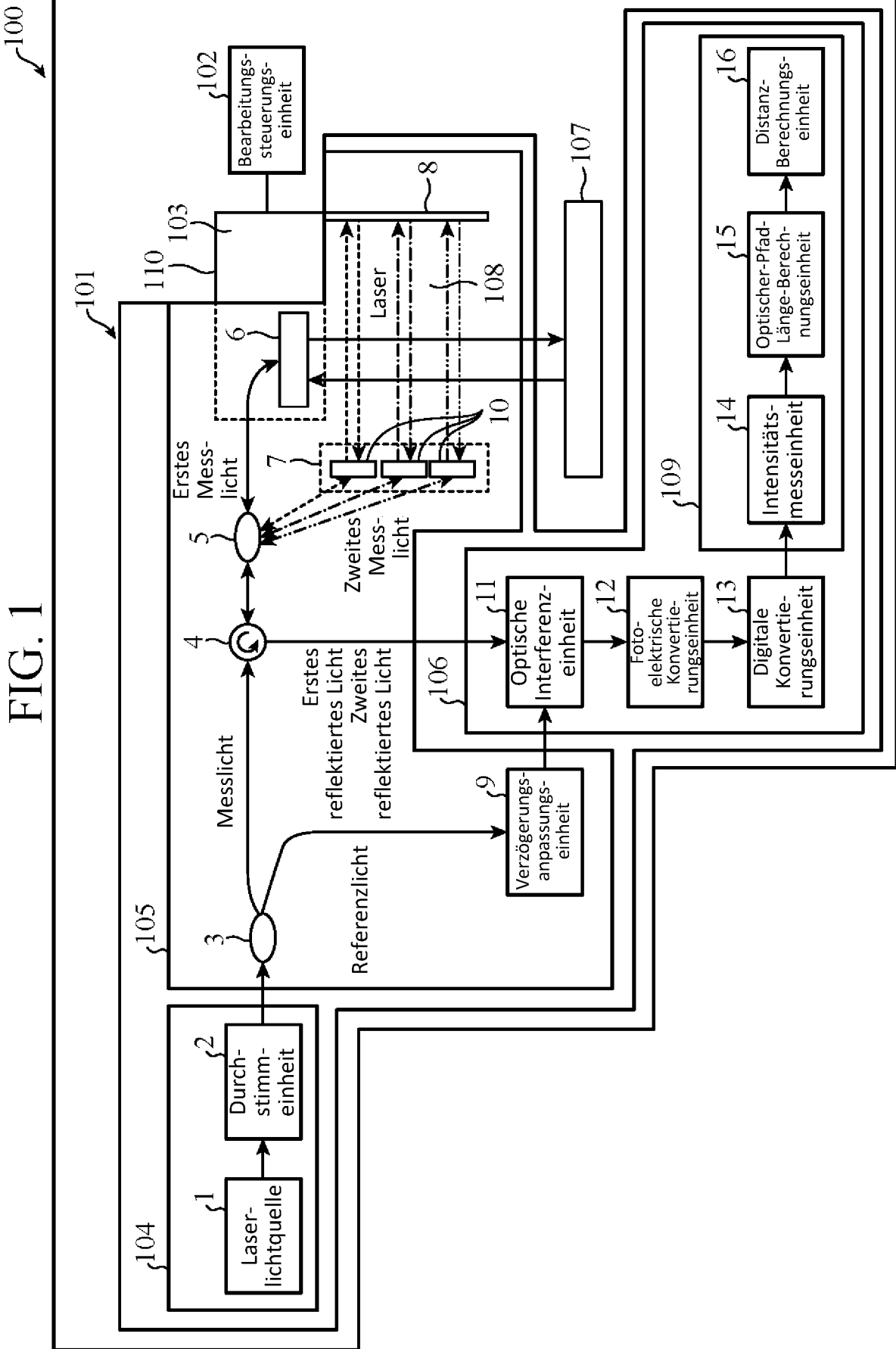


FIG. 1

FIG. 2

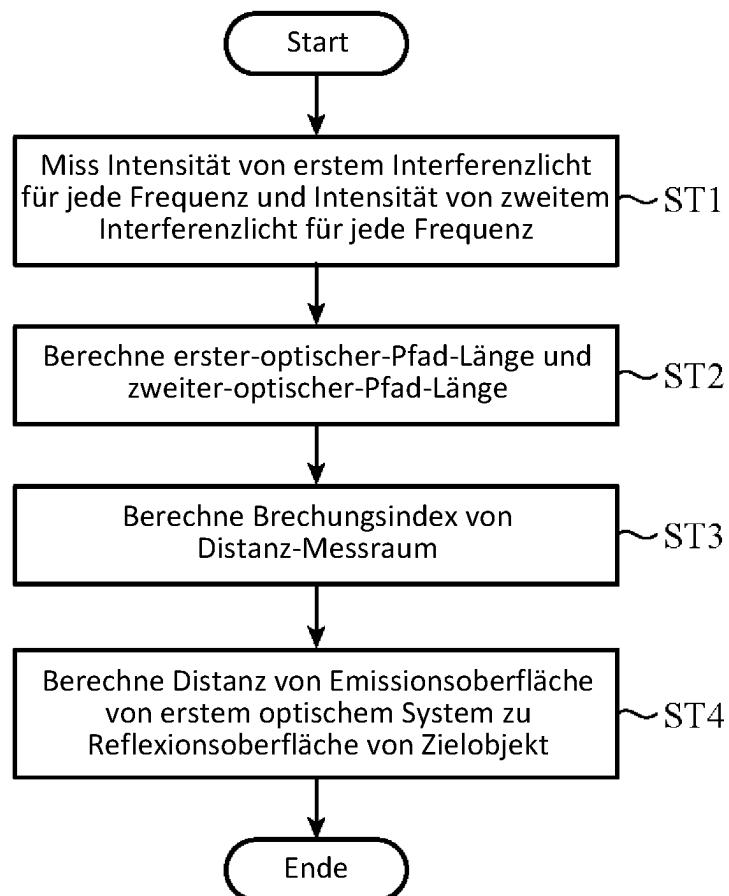


FIG. 3A

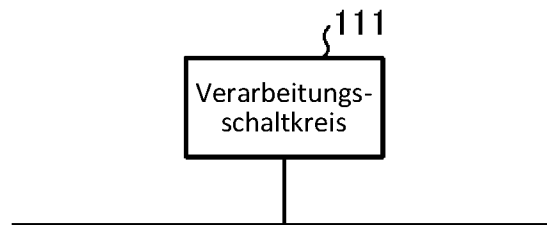


FIG. 3B

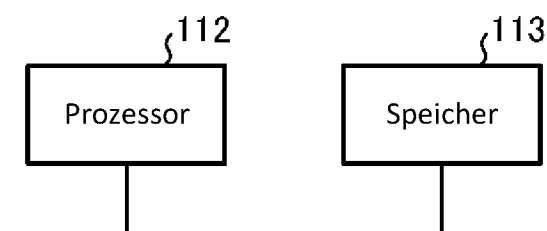


FIG. 4A

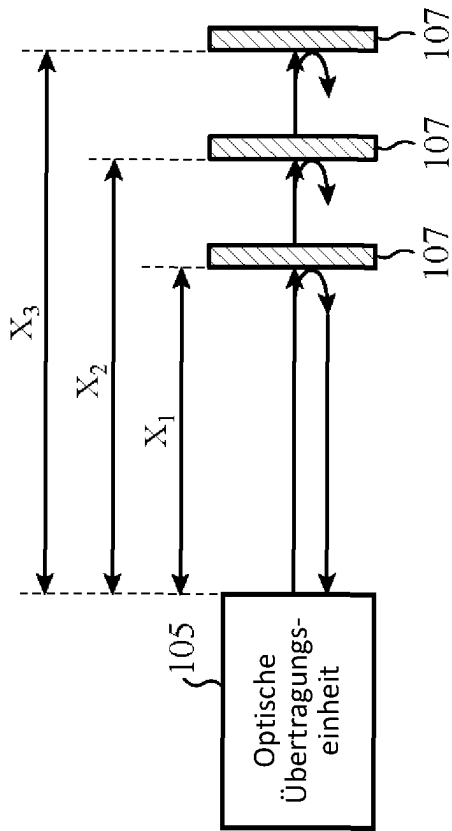


FIG. 4B

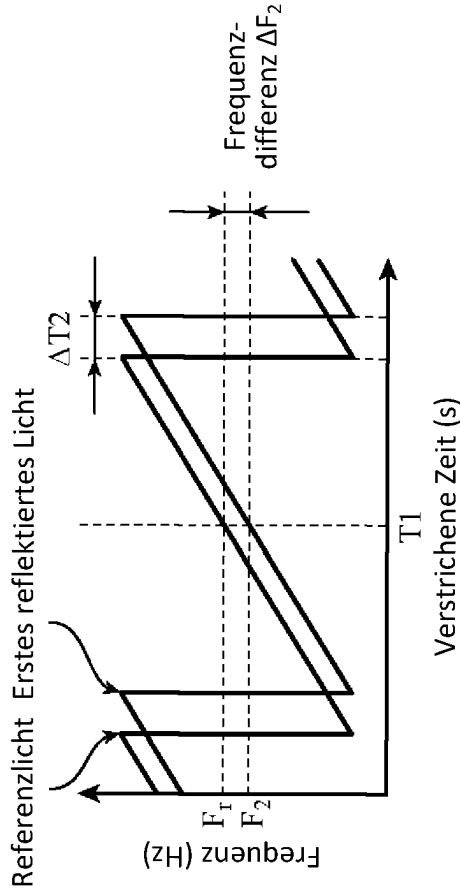


FIG. 4C

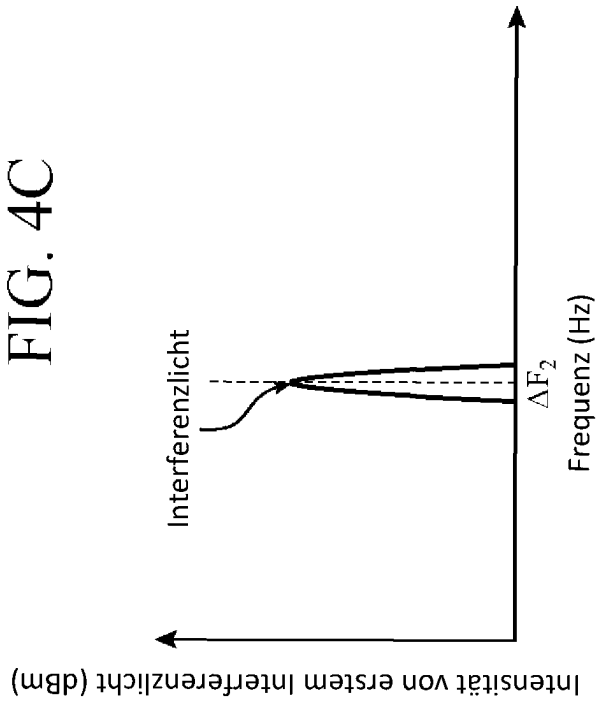


FIG. 4D

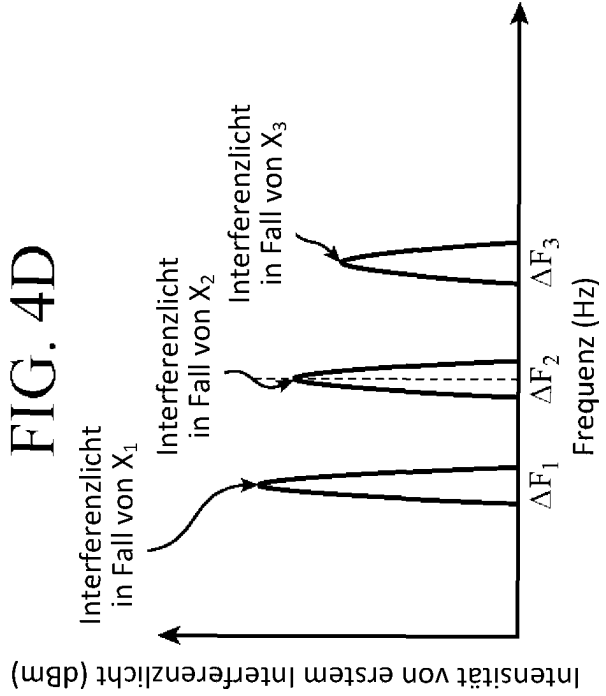


FIG. 5

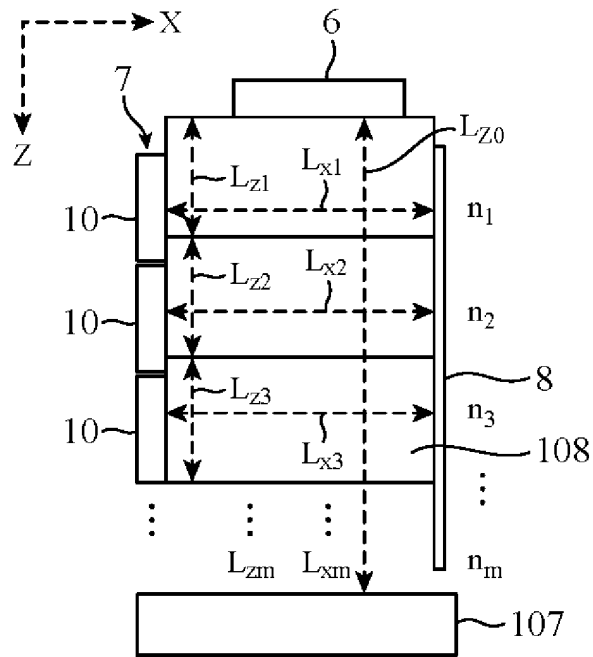


FIG. 6A

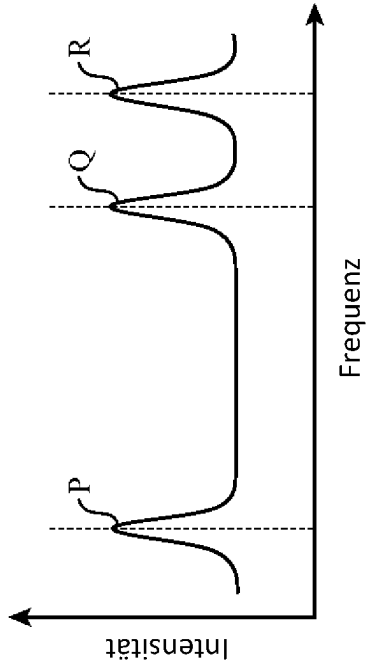
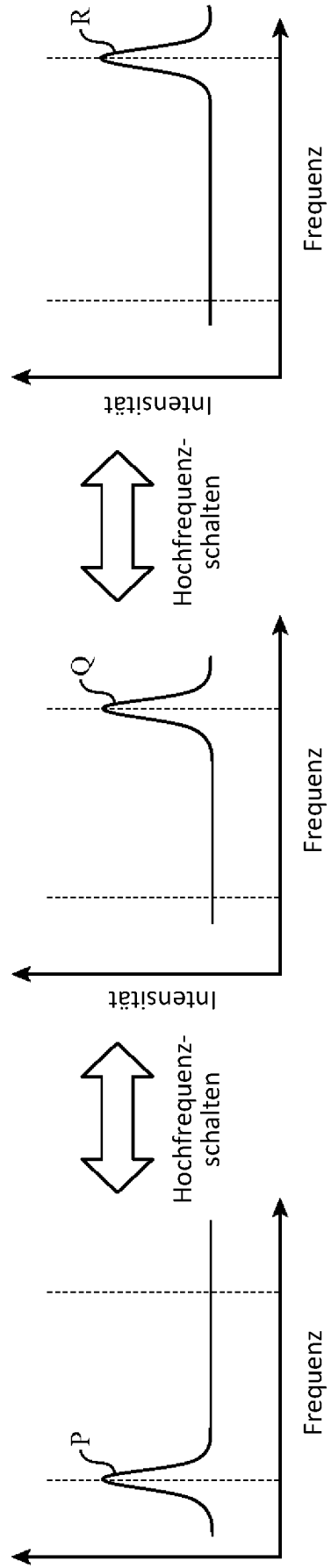


FIG. 6B



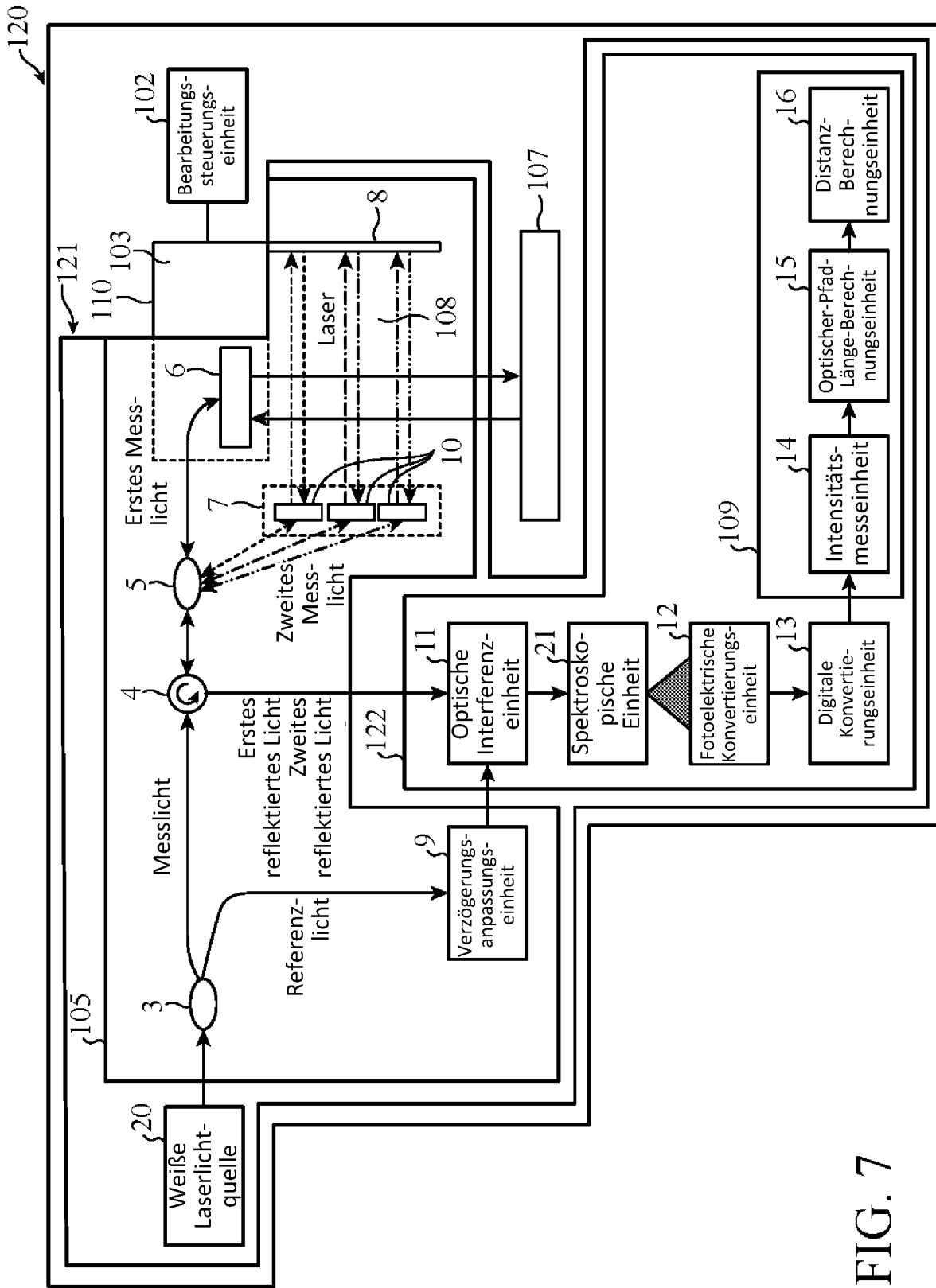


FIG. 7