



(10) **DE 10 2007 033 916 B4** 2016.02.18

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2007 033 916.1**
(22) Anmeldetag: **20.07.2007**
(43) Offenlegungstag: **14.02.2008**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **18.02.2016**

(51) Int Cl.: **G02B 5/02 (2006.01)**
G02B 3/08 (2006.01)
G02B 27/09 (2006.01)
G02B 21/06 (2006.01)

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).

(30) Unionspriorität:
2006-212763 **04.08.2006** **JP**

(73) Patentinhaber:
Olympus Corporation, Tokio/Tokyo, JP

(74) Vertreter:
**Wuesthoff & Wuesthoff, Patentanwälte PartG
mbB, 81541 München, DE**

(72) Erfinder:
Yamazaki, Kentaro, 20097 Hamburg, DE

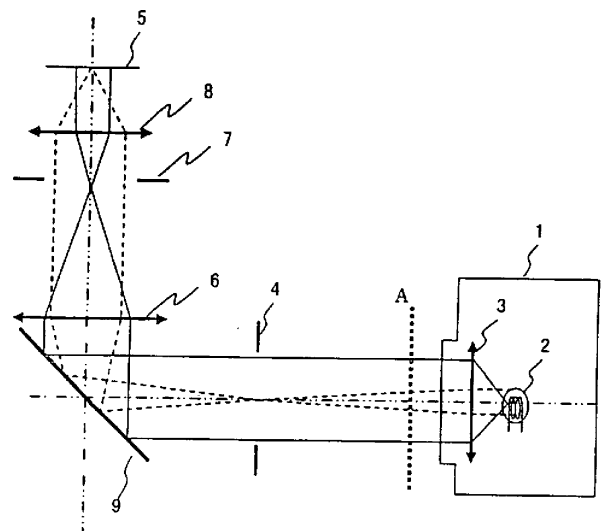
(56) Ermittelter Stand der Technik:

US 2004 / 0 071 437 A1
US 2005 / 0 243 551 A1
US 2005 / 0 270 654 A1
US 5 798 864 A
EP 1 064 570 B1
JP 2004- 247 527 A

**JP 2004 - 247 527 A Maschinenubersetzung
24.07.2012**

(54) Bezeichnung: **Optisches Element zur Beleuchtungshomogenisierung**

(57) Hauptanspruch: Ein beleuchtungshomogenisierendes optisches Element (10), aufweisend:
wenigstens eine optische Oberfläche mit einer Mehrzahl von Brechungsstrukturen, die entweder als Vertiefungen (12) oder Vorsprünge (13) ausgebildet sind und die jeweils breiter als die Wellenlänge von Licht sind, das auf das beleuchtungshomogenisierende optische Element fällt; wobei:
wenigstens ein Teil des auf das beleuchtungshomogenisierende optische Element einfallenden Lichts durch Brechung des Lichts aus dem optischen Pfad entfernt wird, der durch die Richtung des Mittelpunktstrahls des einfallenden Lichts definiert ist,
die Brechungsstrukturen konzentrisch mittig um die optische Achse des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements angeordnet sind, und
die Unterteilung D der konzentrischen Brechungsstrukturen mit zunehmendem Abstand vom optischen Achsenmittelpunkt zum Umfang des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements zunimmt.



Beschreibung

[0001] Diese Anmeldung beansprucht gemäß 35 U.S.C. 119 die Priorität der JP 2006-212,763, angemeldet am 4. August 2006; auf den dortigen Offenbarungsgehalt wird vollinhaltlich Bezug genommen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0002] In den letzten Jahren gab es zunehmend Möglichkeiten, Proben unter Verwendung einer digitalen Kamera zu fotografieren. Digitale Kameras, die einen Sensor wie eine CCD und einen CMOS verwenden, sind gegenüber Helligkeitsänderungen empfindlicher als die direkte Beobachtungen mit dem menschlichen Auge oder die Fotografie mit Silbersalzfilm-Kameras. Aufgrund hiervon ist eine Ungleichförmigkeit in der Beleuchtung, die kein Problem bei einer Beobachtung mit dem direkten Auge oder bei der Fotografie mit Silbersalzfilm-Kameras ist, ein wesentliches Problem bei der Fotografie mit Digitalkameras. In Beleuchtungsvorrichtungen für Mikroskope ist daher die Notwendigkeit entstanden, die Gleichförmigkeit der Beleuchtung weiter zu erhöhen.

[0003] Eine übliche Maßnahme gegen eine Ungleichförmigkeit der Beleuchtung ist die sogenannte Keller-Beleuchtungstechnik, welche theoretisch eine gleichförmige Beleuchtung auf einer Probenoberfläche liefert. Da jedoch die Lichtintensitätsverteilung über die Winkelrichtung von Licht, das von der Lichtquelle emittiert wird, nicht gleichförmig ist, tritt nach wie vor eine Ungleichförmigkeit in der Beleuchtung auf. Obgleich eine gleichförmige Beleuchtung ohne irgendeine Ungleichförmigkeit in der Beleuchtung erhalten werden könnte, wenn die Winkelverteilung von Licht, das von der Lichtquelle emittiert wird, gleichförmig gemacht werden kann, ist dies in der Praxis schwierig zu erreichen.

[0004] Als ein Mittel zur Verbesserung der Beleuchtungs-Ungleichförmigkeit aufgrund der Winkelverteilung von Licht wurde ein herkömmliches Verfahren verwendet, bei dem ein Integrierer, beispielsweise eine Fliegenaugenlinse, verwendet wird, um einen Lichtfluss in viele Teile zu unterteilen; somit hat jeder Teil eine gleichförmigere Beleuchtung. Es ergab sich jedoch die Schwierigkeit, dass eine Verwendung dieses Verfahrens die optische Beleuchtungssystemvorrichtung groß macht, so dass die Kosten erhöht werden.

[0005] JP 2005-215 992 A schlägt ein Verfahren zur Korrektur einer ungleichförmigen Beleuchtungsverteilung unter Verwendung eines optischen Elements vor, beispielsweise eines Neutralfilters (nachfolgend mit ND bezeichnet) und eines matten Filters. Ein ähnliches optisches Element ist auch in JP 2006-30 535 A offenbart. Jedes dieser Beispiele nach dem Stand der Technik zur Korrektur einer

ungleichförmigen Beleuchtungsverteilung hat Probleme. Wenn beispielsweise ein ND-Filter verwendet wird, kann der Einfluss der Wellenlängencharakteristik nicht vermieden werden. Mit anderen Worten, die Verwendung eines ND-Filters erfüllt nicht die Aufgabe der Wiedergabe genauer Farbe durch Beleuchtung mit Weißlicht. Andererseits gibt es, wenn ein mattierter Filter verwendet wird, das Problem, dass dieser nicht so bearbeitet werden kann, dass er die exakte (durch eine numerische Simulation) berechnete Durchlässigkeit hat. Insbesondere verbleibt die Ungenauigkeit, dass die während der Auslegungsstufe berechnete Durchlässigkeit nicht realisiert werden kann.

[0006] Weiterhin wird in JP 2006-30 535 A eine Beleuchtungsverteilung unter Verwendung eines optischen Elements korrigiert, das eine Durchlässigkeitsverteilung hat, das direkt komplementär zu (das heißt, die Umkehrung von) der Intensitätsverteilung der Lichtquelle ist. Somit verwendet dieses Verfahren zur Korrektur einer ungleichförmigen Beleuchtungsverteilung die Charakteristiken des optischen Beleuchtungssystems in Wahrheit nicht.

[0007] Die Druckschrift EP 1 064 570 B1 offenbart eine optische Folie, deren eine Hauptoberfläche im Wesentlichen glatt ist und deren andere Hauptoberfläche aus einer strukturierten Oberfläche besteht, welche eine Anordnung von Prismen aufweist, von denen jedes einen Querschnitt in Gestalt einer geradlinigen Figur und Seiten in Gestalt von Parallelogrammen aufweist, wobei ein senkrecht einfallender Lichtstrahl, der in den Film durch die glatte Oberfläche hindurch eintritt und durch die strukturierte Oberfläche hindurch austritt, durch die Prismen ausgebreitet wird; wobei die Anordnung aufweist: (i) mehrere Reflexionsprismen, von denen jedes so geformt ist, dass Licht von dem senkrecht einfallenden Strahl, welches in das Prisma eintritt und auf eine seiner Facetten auftrifft, erst nach vollständiger interner Reflexion innerhalb des Prismas aus der strukturierten Oberfläche der Folie austritt, wobei die Reflexionsprismen in der Anordnung dieselbe Höhe, aber nicht identische Breiten aufweisen, wodurch jedes einzelne den senkrecht einfallenden Strahl in mindestens einem entsprechenden Winkel ablenken wird, der sich von den anderen Reflexionsprismen in der Anordnung unterscheidet, und (ii) mehrere Refraktionsprismen, von denen jedes so geformt ist, dass Licht von dem senkrecht einfallenden Strahl, welches in das Prisma eintritt, ohne vollständige interne Reflexion innerhalb des Prismas aus der strukturierten Oberfläche der Folie austritt, wobei die Refraktionsprismen in der Anordnung dieselbe Breite, aber nicht identische Höhen aufweisen, wodurch jedes einzelne das senkrecht einfallende Licht in mindestens einem entsprechenden Winkel ablenken wird, der sich von den anderen Refraktionsprismen in der Anordnung unterscheidet, wobei die Prismen derart angeordnet sind,

dass aufeinanderfolgende Reflexionsprismen in der Anordnung durch mindestens ein Refraktionsprisma getrennt werden.

[0008] Die Druckschrift US 2005/0243551 A1 offenbart ein Beleuchtungssystem mit einem Reflektor, Lichtquellen und einem Lichtsteuerungselement, die sequentiell von einer Lichteinfallseite zu einer ausgehenden Seite angeordnet sind. Ferner ist eine Lichtdiffusionsplatte umfasst, die im Wesentlichen eine Paralleleinfallebene und eine Austrittsebene als Hauptebenen aufweist. Eine Vielzahl von konvexen Strukturen ist periodisch auf mindestens einer der Hauptebenen ausgebildet.

[0009] Die Druckschrift US 2005/0270654 A1 offenbart eine Diffusorfolie, eine Oberflächenlichtquelleneinheit und eine Transmissionsanzeige. Die Diffusorfolie umfasst auf der Lichtaustrittseite eine Diffusorlinenanordnung mit einer Vielzahl von Einheitslinsen, wobei jede Einheitslinse in einer Form vorliegt, die äquivalent zu einem Teil eines elliptischen Zylinders mit elliptischem Querschnitt ist. Die Oberflächenlichtquelleneinheit umfasst die Diffusorfolie und eine Konvergenzfolie, die eine Vielzahl von Einheitslinsen mit im Wesentlichen trapezförmigem Querschnitt auf ihrer Oberfläche aufweist.

[0010] Die Druckschrift US 2004/0071437 A1 offenbart eine optische Wellenleiterplatte, umfassend eine Endfläche zum Einführen von Licht, das von einer Lichtquelle abgestrahlt wurde, und eine Lichtabstrahlfläche, die das von der Endfläche her eingeführte Licht abstrahlt. Die Endfläche weist einen Lichteinführabschnitt mit einer Vielzahl von eingekerbten Prismen auf, die einfallendes Licht streuen.

KURZE ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0011] Die vorliegende Erfindung betrifft ein optisches Element, das eine Ungleichförmigkeit in Beleuchtungslicht korrigiert, das von einer Lichtquelle emittiert wird, sowie eine Vorrichtung, die das optische Element verwendet. Zur Lösung der oben genannten Probleme ist ein optisches Element geschaffen, das vom Wesen her eine unterschiedliche Durchlässigkeitsverteilung gegenüber dem optischen Element hat, das in JP 2005-215 992 A beschrieben ist. Weiterhin korrigiert das optische Element gemäß der vorliegenden Erfindung eine ungleichförmige Verteilung von Beleuchtung, wobei die optischen Charakteristiken des Beleuchtungssystems verwendet werden.

[0012] Es werden ein beleuchtungshomogenisierendes optisches Element und eine Beleuchtungsvorrichtung gemäß den unabhängigen Ansprüchen vorgesehen. Entwicklungen sind in den jeweiligen abhängigen Ansprüchen dargelegt.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

[0013] Die vorliegende Erfindung lässt sich besser vollständig aus der nachfolgenden detaillierten Beschreibung und der beigefügten Zeichnung verstehen, welche rein illustrativ sind und somit die vorliegende Erfindung nicht einschränken sollen, und wobei:

[0014] Fig. 1 eine herkömmliche Beleuchtungsvorrichtung zeigt;

[0015] Fig. 2 einen Filter zeigt, der in einen Lichtpfad der Beleuchtungsvorrichtung von Fig. 1 eingesetzt ist, um eine Ungleichförmigkeit der Beleuchtung in der Lichtquelle von Fig. 1 zu korrigieren;

[0016] Fig. 3(a) ein Beispiel eines herkömmlichen beleuchtungshomogenisierenden Neutralfilters entlang der optischen Achse des Filters gesehen zeigt;

[0017] Fig. 3(b) die Durchlässigkeit gegenüber der Distanz von der optischen Achse des beleuchtungshomogenisierenden Neutralfilters von Fig. 3(a) zeigt;

[0018] Fig. 4(a) ein anderes Beispiel eines herkömmlichen beleuchtungshomogenisierenden Neutralfilters entlang der optischen Achse des Filters gesehen zeigt;

[0019] Fig. 4(b) die Durchlässigkeit gegenüber der Distanz von der optischen Achse des beleuchtungshomogenisierenden Neutralfilters von Fig. 4(a) zeigt;

[0020] Fig. 5 eine Darstellung ist, um einen Lichtflussbereich an einer Oberfläche A in Fig. 1 darzustellen, der später einen bestimmten Punkt auf der beleuchteten Oberfläche beleuchtet;

[0021] Fig. 6 eine konzentrische Struktur der Mehrzahl von Brechungsstrukturen gemäß einem Beispiel des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements der vorliegenden Erfindung zeigt;

[0022] Fig. 7(a) ein Beispiel eines Querschnitts des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt, wenn die Brechungsstrukturen Vertiefungen in der Oberfläche des optischen Elements sind;

[0023] Fig. 7(b) ein Beispiel eines Querschnitts des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt, wenn die Brechungsstrukturen Vorsprünge auf der Oberfläche des optischen Elements sind;

[0024] Fig. 8 den Oberflächenwinkel θ und den Ablenkungswinkel ϕ (beide in Richtung der einfallenden Strahlen gemessen) für den Fall zeigt, dass die Brechungsstrukturen Vertiefungen sind;

[0025] Fig. 9 eine Grafik des Ablenkungswinkels ϕ (Ordinate) gegenüber dem Oberflächenwinkel θ (Abszisse) der Brechungsstrukturen (das heißt prismenförmige Vertiefungen oder Vorsprünge) der vorliegenden Erfindung ist; und

[0026] Fig. 10 die „Durchlässigkeit“ (wie nachfolgend definiert) gegenüber der Distanz von der optischen Achse des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG

[0027] Die vorliegende Erfindung schafft ein beleuchtungshomogenisierendes optisches Element, das gekennzeichnet ist dadurch, dass es Brechungsstrukturen an wenigstens einer optischen Oberfläche hat, beispielsweise prismenartige Vertiefungen oder Vorsprünge, die breiter als die Wellenlänge des zu homogenisierenden Lichts sind, das auf das beleuchtungshomogenisierende optische Element einfällt, und diese sind mit einem Abstand zwischen benachbarten Brechungsstrukturen angeordnet, der größer als die Wellenlänge des zu homogenisierenden Lichts ist, das auf das beleuchtungshomogenisierende optische Element fällt. Die Brechungsstrukturen entfernen einen Teil oder das gesamte einfallende Licht aus dem Lichtpfad durch Brechung eines Teils oder des gesamten einfallenden Lichts aus dem Lichtpfad heraus, der durch die Richtung der Einfallstrahlen definiert ist. Der Begriff „Unterteilung“ bezeichnet hier eine Distanz von einem Punkt auf einer Brechungsstruktur zu einem entsprechenden Punkt auf einer benachbarten Brechungsstruktur. Wenn die Breite und das Intervall zwischen benachbarten Brechungsstrukturen des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements jeweils größer als die Wellenlänge des verwendeten Lichts sind, wird die Hauptbrechungskeule von Licht, das von den Brechungsstrukturen gebrochen wird, einen Winkel von ungefähr 0,6 rad schneiden, was erlaubt, dass dieses Licht vollständig aus dem optischen Pfad (definiert durch die Richtung des Mittelpunktstrahls von auf das beleuchtungshomogenisierende optische Element einfallenden Lichts) durch den Prismeneffekt der Brechungsstrukturen entfernt wird. Auf diese Weise wird die Intensität von gebrochenem Licht, das durch Brechung nicht aus dem Lichtpfad entfernt worden ist, ausreichend klein, so dass eine Brechung von Licht aufgrund der Brechungsstruktur vernachlässigt werden kann. Die Brechungsstrukturen können als prismenförmige Vertiefungen in der Oberfläche oder als prismenförmige Vorsprünge auf der Oberfläche ausgebildet sein. Die Brechungsstrukturen können durch eine Gießbearbeitung oder durch eine schneidende Bearbeitung gebildet sein. Für den Fall, dass die Brechungsstrukturen Vertiefungen sind, ist die Herstellung durch eine schneidende Bearbeitung bevorzugt. Für den Fall,

dass die Brechungsstrukturen Vorsprünge sind, ist die Fertigung durch eine Gießbearbeitung bevorzugt. In jedem Fall ändert sich die Wirksamkeit der vorliegenden Erfindung nicht wesentlich. Es ist auch bevorzugt, wenn die prismenförmigen Vertiefungen und Vorsprünge jeweils eine Oberfläche haben, die in Fluchtung mit dem Licht ist, das auf das beleuchtungshomogenisierende optische Element fällt. Mit anderen Worten, eine Oberfläche der prismenförmigen Vertiefung oder des Vorsprungs hat eine Oberfläche, die normal/senkrecht zur Richtung von Licht ist, die auf das beleuchtungshomogenisierende optische Element einfällt. Weiterhin ist es bevorzugt, wenn die Brechungsstrukturen konzentrisch zu und mittig um die optische Achse des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements sind.

[0028] Da eine typische Beleuchtungsungleichförmigkeit eine stärkere Beleuchtung nahe des Mittelpunkts als am Umfang der Beleuchtung hat, ist es bevorzugt, wenn die Unterteilung (oben als in linearen Einheiten gemessen definiert) zunimmt (das heißt, die Anzahl von Brechungsstrukturen pro mm nimmt ab), wenn von dem optischen Achsenmittelpunkt zum Umfang des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements gegangen wird. Das beleuchtungshomogenisierende optische Element kann aus Kunststoff, Glas oder einem anderen optisch transparenten Material sein.

[0029] Es ist auch bevorzugt, wenn das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung in einer Beleuchtungsvorrichtung und besonders bevorzugt in einer Keller-Beleuchtungsvorrichtung verwendet wird.

[0030] Das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung kann als Bauteil in einem Mikroskop, in einem Projektor oder in einem Stepper (z. B. einer Belichtungsvorrichtung des Projektionstyps) verwendet werden.

[0031] Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein beleuchtungshomogenisierendes optisches Element mit einer niedrigen Wellenlängenabhängigkeit dadurch geschaffen, dass das übertragene Licht nach den Prinzipien der geometrischen Optik gesteuert wird, das heißt durch Herausbrechung unerwünschter Teile des einfallenden Lichts. Da weiterhin das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung unter Verwendung von Brechungsstrukturen wie prismenförmigen Vertiefungen oder Vorsprüngen realisiert wird, ist die Bearbeitung sehr einfach und Produkte mit geringen individuellen Unterschieden können hergestellt werden.

[0032] Weiterhin können Produkte problemlos hergestellt werden, die mit den theoretischen Werten aus der Konstruktionsstufe echt korrelieren, da ein synergistischer Effekt zwischen den einfachen Berech-

nungen (da sie auf den einfachen Grundsätzen geometrischer Optik basieren) und der Tatsache vorliegt, dass die optische Bearbeitung des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements in der Herstellung einfach ist.

[0033] Eine Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die Zeichnung beschrieben. Obgleich die folgende Erläuterung die Beleuchtungshomogenisierung bei einem Mikroskop betrifft, ist die vorliegende Erfindung nicht auf solche Anwendungen beschränkt. Beispielsweise kann die vorliegende Erfindung auch bei der Beleuchtungshomogenisierung von Projektionsvorrichtungen und Belichtungsanordnungen wie Projektoren und Stepper verwendet werden. Die vorliegende Erfindung ist somit bei jeder Art von optischem System anwendbar, wo eine Beleuchtungsungleichförmigkeit einer Lichtquelle zu korrigieren ist.

[0034] Fig. 1 zeigt eine herkömmliche Beleuchtungsvorrichtung, die eine Keller-Beleuchtung verwendet. Ein Lampengehäuse **1** umschließt eine Lichtquelle **2** und eine Sammellinse **3**, die von der Lichtquelle **2** emittierte divergierende Strahlen in ein im wesentlichen kollimiertes Licht wandelt. Eine Feldblende **4**, welche den Winkelbereich der Beleuchtung begrenzt, ist in einer konjugierten Position zu einer beleuchteten Oberfläche **5** angeordnet. Das im wesentlichen kollimierte Licht kommt vom Lampengehäuse **1**, läuft durch die Feldblende **4**, wird von einem Spiegel **9** reflektiert, der den optischen Pfad um 90 Grad umlenkt und wird dann durch eine Feldlinse **6** auf eine Ebene einer Aperturblende **7** kondensiert. Dann läuft das Licht durch eine Kondensorlinse **8** und beleuchtet die Oberfläche **5**.

[0035] Wenn angenommen wird, dass die in Fig. 1 gezeigte Keller-Beleuchtung die Winkelverteilung von Licht, das von der Lichtquelle **2** emittiert wird, gleichförmig machen kann, kann Beleuchtung im Prinzip ohne irgendeine Beleuchtungsungleichförmigkeit durch das optische Beleuchtungssystem von Fig. 1 geliefert werden. Jedoch ist die Winkelverteilung von Licht, das von einer tatsächlichen Lichtquelle emittiert wird, nicht gleichförmig, was zu einer Beleuchtungsungleichförmigkeit führt. Eine typische Ungleichförmigkeit in der Beleuchtung zeigt eine höhere Beleuchtungsdichte in der Nähe der optischen Achse, die in Richtung Umfang abnimmt.

[0036] Fig. 2 beschreibt ein beleuchtungshomogenisierendes optisches Element **10**, das zwischen die Sammellinse **3** und die Feldblende **4** zur Korrektur einer Beleuchtungsverteilung eingesetzt ist. Eine solche Abwandlung der Vorrichtung von Fig. 1 wird beispielsweise in JP 2005-215 992 A gelehrt. In einer Ausführungsform des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements, das in JP 2005-215 992 A verwendet wird, nimmt die Durchlässigkeit in Rich-

tung Umfang zu, wie in den Fig. 3(a) und Fig. 3(b) gezeigt. In einer anderen Ausführungsform des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements gemäß JP 2005-215 992 A nimmt die Durchlässigkeit in Richtung Umfang zu, wie in den Fig. 4(a) und Fig. 4(b) gezeigt. Obgleich beide Ausführungsformen ausreichend optische Leistung zeigen, um Beleuchtungsungleichförmigkeiten zu korrigieren, haben beide Ausführungsformen bestimmte unbefriedigende Aspekte mit Blick auf eine Kommerzialisierung der Erfindung.

[0037] In der vorliegenden Erfindung ist ein beleuchtungshomogenisierendes optisches Element vorgesehen, das wirksam eine Beleuchtungsungleichförmigkeit korrigieren kann, jedoch hat das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung eine unterschiedliche Durchlässigkeitsverteilung gegenüber derjenigen der Fig. 3(a) bis Fig. 4(b). Die Durchlässigkeitsverteilung des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements der vorliegenden Erfindung hat ein Durchlässigkeitsprofil, wie es in Fig. 10 gezeigt ist, das heißt, das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung hat Stufen konstanter Durchlässigkeit (deren Breite in Richtung Umfang des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements zunimmt), die durch Bereiche mit null „Durchlässigkeit“ (wie nachfolgend definiert) getrennt sind. Als ein Ergebnis der Erhöhung der Breite der konstanten Durchlässigkeitsbereiche in Richtung Umfang erlaubt das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung, dass mehr Licht nahe dem Umfang gerade durchläuft als nahe der optischen Achse, so dass ausreichend optische Leistung geliefert wird, um eine Oberfläche mit gleichförmiger Beleuchtung zu beleuchten, wobei eine einfache und preiswerte Herstellung vorliegt.

[0038] Wie sich aus einem Blick auf Fig. 1 ergibt, läuft das Licht, das auf einen bestimmten Punkt der beleuchteten Oberfläche **5** fällt, durch einen Bereich einer bestimmten Größe in dem Beleuchtungssystem. Bezugnehmend auf Fig. 5, so läuft beispielsweise Licht, das auf einen bestimmten Punkt fällt, der etwas von der optischen Achse auf der beleuchteten Oberfläche **5** abweicht, durch einen Bereich Y in einer Ebene A in Fig. 1. Es sei festzuhalten, dass in Fig. 5 der Bereich X den gesamten Lichtfluss in der Ebene A angibt, der im wesentlichen auf die beleuchtete Oberfläche **5** fällt. Somit kann die Beleuchtung des einen Punkts Y auf der beleuchteten Oberfläche **5** gesteuert werden, indem die Gesamtmenge an Licht gesteuert wird, die durch den Bereich X tritt.

[0039] Wie in Fig. 6 gezeigt, sind bei dem beleuchtungshomogenisierenden optischen Element der vorliegenden Erfindung prismenförmige Brechungsstrukturen wie Vertiefungen **12** oder Vorsprünge **13** konzentrisch auf wenigstens einer Ober-

fläche des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements ausgebildet, so dass die Verteilung der prismenförmigen Brechungsstrukturen sich abhängig von dem Abstand von der optischen Achse ändert. Zusätzlich hat gemäß den **Fig. 7(a)** und **Fig. 7(b)** der Querschnitt der prismenförmigen Brechungsstrukturen eine Oberfläche, die in Fluchtung mit dem Licht ist, das auf das beleuchtungshomogenisierende optische Element fällt. Mit anderen Worten, eine Oberfläche normal zu besagter einer Fläche ist senkrecht zur Fortpflanzungsrichtung des einfallenden Lichts.

[0040] Das beleuchtungshomogenisierende optische Element dieser Ausführungsform kann auch Vertiefungen verwenden, die nicht konzentrisch sind. Wenn beispielsweise die Beleuchtungsungleichförmigkeit nicht rotationssymmetrisch um die optische Achse ist, sollte die Anordnung von Vertiefungen bevorzugt nicht rotationssymmetrisch um die optische Achse sein. Wie im Detail noch beschrieben wird, kann die vorliegende Erfindung ausreichend gleichförmige Beleuchtung liefern, indem Brechungsstrukturen wie Vertiefungen oder Vorsprünge verwendet werden, die anders als in einem konzentrischen Muster angeordnet sind.

[0041] Das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung kann eine Linse oder ein Filter mit prismenförmigen Brechungsstrukturen sein. Insbesondere kann das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung in ein optisches Beleuchtungssystem als neues beleuchtungshomogenisierendes optisches Element eingesetzt werden oder ein bereits eingebautes beleuchtungshomogenisierendes optisches Element kann so bearbeitet werden, dass es die prismenförmigen Brechungsstrukturen aufweist.

[0042] Es erübrigt sich an sich zu sagen, dass es in einer entfernbar einbaubaren Bauweise bevorzugt ist, dass das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung als neues beleuchtungshomogenisierendes optisches Element bereit gestellt wird.

[0043] Da die Einbaulage des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements betreffend die vorliegende Erfindung in einem optischen System ein wichtiger Gestaltungspunkt ist, gilt es, geeignete Bedingungen zu erfüllen. Die Einbaulage in einem Keller-Beleuchtungssystem gemäß **Fig. 1** wird nun erläutert.

[0044] In einem Keller-Beleuchtungssystem, das eine Kondensorlinse enthält, ist es bevorzugt, wenn das beleuchtungshomogenisierende optische Element gemäß der vorliegenden Erfindung in einer konjugierten Position zu einer Position angeordnet wird, welche die folgende Bedingung erfüllt:

$$0,03 < |L/f_{CD}| < 0,4$$

Bedingung (1),

wobei

f_{CD} die Brennweite der Kondensorlinse **8** ist, und

L die Distanz zwischen Kondensorlinse **8** und der beleuchteten Oberfläche **5** ist.

[0045] Wenn der untere Grenzwert der obigen Bedingung nicht erfüllt ist, ist die Position, wo Licht, das durch das beleuchtungshomogenisierende optische Element tritt, in Richtung der beleuchteten Oberfläche projiziert wird, zu nahe an der beleuchteten Oberfläche und Vertiefungen auf dem beleuchtungshomogenisierenden optischen Element werden in der Bildebene abgebildet. Wenn andererseits der obere Grenzwert nicht erfüllt ist, ist die Position, wo durch das beleuchtungshomogenisierende optische Element tretendes Licht in Richtung der beleuchteten Oberfläche projiziert wird, zu weit entfernt von der beleuchteten Oberfläche **5** und es wird schwierig, den Effekt der Beleuchtungshomogenisierung durch Beseitigung der Beleuchtungsungleichförmigkeit zu erhalten, selbst wenn das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung eingesetzt ist. Zusätzlich ist die Anordnung des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements in einer konjugierten Position, die näher an der Lichtquelle ist, der Anordnung zwischen der Kondensorlinse **8** und der beleuchteten Oberfläche **5** vorzuziehen.

[0046] Bezugnehmend auf die **Fig. 7(a)** und **Fig. 7(b)** muss die Breite d der Vertiefung **12** oder des Vorsprungs **13** größer als die Wellenlänge λ des Lichts sein, das im Beleuchtungssystem verwendet wird. Auch muss der Abstand $D - d$ zwischen benachbarten Brechungsstrukturen größer als die Wellenlänge λ des Lichts sein, das im optischen Beleuchtungssystem verwendet wird. Der Grund hierfür ist, dass ansonsten zuviel Licht, das von den Brechungsstrukturen gebrochen wird, die beleuchtete Oberfläche erreichen würde, was ein Erreichen der Ziele der vorliegenden Erfindung verhindern würde. Insbesondere müssen die folgenden Bedingungen erfüllt sein:

$$d > \lambda$$

Bedingung (2A),

$$D - d > \lambda$$

Bedingung (2B),

wobei

d die Breite einer einzelnen Brechungsstruktur aus der Mehrzahl von Brechungsstrukturen ist,

D die Unterteilung, gemessen in linearen Einheiten, der Mehrzahl von Brechungsstrukturen ist und

λ die Wellenlänge des einfallenden Lichts ist.

[0047] Wenn beispielsweise das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung in der Beleuchtungsvorrichtung eines optischen Mikroskops verwendet wird, ist es bevorzugt, dass die Breite d einer großen Mehrheit von Brechungsstrukturen 1000 nm oder mehr beträgt. Wenn jedoch die Breite d zu groß im Vergleich zum Durchmesser r des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements ist, fallen Schatten auf die Beleuchtungsoberfläche. Daher ist es bevorzugt, wenn die folgende Bedingung erfüllt ist:

$$d/r \leq 0,001 \quad \text{Bedingung (3),}$$

wobei

r der Durchmesser des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements ist und
 d wie voranstehend definiert ist.

[0048] Nachfolgend werden die geometrischen optischen Wirkungsweisen der Brechungsstrukturen des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements gemäß einer Ausführungsform der vorliegenden Erfindung erläutert, wobei die Brechungsstrukturen prismenförmige Vertiefungen sind.

[0049] Wie in **Fig. 8** gezeigt, läuft ein Lichtstrahl a , der auf eine Oberfläche des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements so einfällt, dass eine Oberfläche normal hierzu in Fluchtung mit dem einfallenden Strahl ist, ohne Brechung gerade durch das beleuchtungshomogenisierende optische Element. Andererseits wird ein Lichtstrahl b , der auf einen brechenden Abschnitt (in diesem Fall eine Vertiefung) einfällt, gemäß der geometrischen Optik um einen Betrag ϕ (hier als Ablenkwinkel bezeichnet) gebrochen. Wenn bei diesem Vorgang der Ablenkwinkel ϕ ausreichend groß gemacht wird, werden Lichtstrahlen, die durch den brechenden Abschnitt laufen, durch den Außendurchmesser einer Blende oder ein anderes beleuchtungshomogenisierendes optisches Element unterbrochen. Obgleich der Ablenkungswert, der Licht unterbricht, auch von der Einbaulage des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements abhängt, bewirkt ein Ablenkungswinkel von annähernd 10 Grad oder mehr für gewöhnlich, dass das abgelenkte Licht unterbrochen wird; somit ist dieser Ablenkungsbereich wünschenswert.

[0050] **Fig. 9** ist eine Grafik des Ablenkungswinkel ϕ (Ordinate) gegenüber dem Oberflächenwinkel θ (Abszisse) der Brechungsstruktur. Es ist wünschenswert, dass der Oberflächenwinkel θ kleiner als ungefähr 70 Grad ist. Gemäß der üblichen Definition von „Durchlässigkeit“ wird Licht durchgelassen, selbst wenn es gebrochen wird. Da jedoch Licht, das auf eine Brechungsstruktur wie eine Vertiefung oder ein Vorsprungsabschnitt fällt, nicht verwendet wird, bezeichnet hier der Begriff „Durchlässigkeit“ die Men-

ge an Licht, die von dem beleuchtungshomogenisierenden optischen Element gemäß der vorliegenden Erfindung durchgelassen wird und nicht durch Brechen beseitigt wird. Somit wird hier die „Durchlässigkeit“ an einer Vertiefung oder an einem Vorsprungsabschnitt des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements gemäß der vorliegenden Erfindung als null betrachtet. Licht kann durch die ebenen Abschnitte des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements gemäß der vorliegenden Erfindung ohne Brechung durchtreten. Wie jedoch bekannt ist, wird eine gewisse Menge an Licht von einer ebenen Grenzfläche alleine aufgrund der Änderung des Brechungsindex der beiden Medien reflektiert, welche die Grenze bilden. Für Licht, das senkrecht auf eine Grenze zwischen zwei transparenten Medien einfällt, ergibt sich die Durchlässigkeit T als:

$$T = 1 - [(N' - N)^2 / (N' + N)^2] \quad \text{Gleichung (A),}$$

wobei

N und N' die Brechungsindizes der beiden transparenten Medien sind, welche die Grenze bilden.

[0051] Zusätzlich nimmt die Anzahl von Brechungsstrukturen pro mm gemäß dem Abstand von der optischen Achse (wie in **Fig. 6** gezeigt) ab, so dass Abschnitte mit null „Durchlässigkeit“ seltener werden, wenn der Abstand von der optischen Achse zunimmt.

[0052] **Fig. 10** zeigt die „Durchlässigkeit“ (Abszisse) gegenüber dem Abstand von der optischen Achse des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements gemäß der vorliegenden Erfindung. Das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung ist vorteilhaft mit Blick auf den Herstellungsvorgang im Vergleich zu beleuchtungshomogenisierenden optischen Elementen gemäß den **Fig. 3(a)** und **Fig. 4(a)**. Das beleuchtungshomogenisierende optische Element gemäß der vorliegenden Erfindung kann bewirken, dass die Beleuchtungsverteilung an einer Oberfläche ausreichend gleichförmig trotz der Tatsache ist, dass das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung kein Durchlässigkeitsprofil (wie dasjenige gemäß **Fig. 3(b)**) hat, das an die Umkehrung eines Beleuchtungsprofils erinnert, das von einer Vorrichtung erzeugt wird, welche eine Oberfläche ohne Verwendung eines Beleuchtungshomogenisierers beleuchtet. Mit anderen Worten, das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung arbeitet adäquat dahingehend, die Beleuchtung ausreichend „einheitlich“ oder gleichförmig an einer Oberfläche trotz der Tatsache zu machen, dass es keine Durchlässigkeit hat, welche präzise an die Beleuchtungsverteilung der beleuchteten Oberfläche angepasst ist, wenn der Beleuchtungshomogenisierer nicht verwen-

det wird. Der Grund hierfür ist wie folgt: In dem optischen Beleuchtungssystem gemäß **Fig. 1** ist die Beziehung zwischen der beleuchteten Oberfläche und der Lichtquelle diejenige von Bild und Pupille. Dies deshalb, als die Beleuchtungsungleichförmigkeit an der beleuchteten Oberfläche von der Lichtintensität von Lichtstrahlen von der Lichtquelle verursacht wird, die sich mit dem Austrittswinkel (relativ zur optischen Achse gemessen) ändert. Andererseits ist die Position (z. B. die Ebene A in **Fig. 1**), wo das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung eingebaut werden sollte, weder eine Bildposition noch eine Pupillenposition, sondern eine dazwischen liegende Position. Der wesentliche Punkt des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements ist, dass die Beziehung zwischen Position und Aperturwinkel auch eine Zwischennatur hat. Somit entspricht die Position der Oberfläche des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements nicht einfach der Position der beleuchteten Oberfläche, da die Beziehung mit dem Aperturwinkel auch berücksichtigt werden muss. Da diese Einheit bei der vorliegenden Erfindung verwendet wird, kann die Beleuchtungsverteilung der beleuchteten Oberfläche ausreichend „gleichmäßig“ (das heißt gleichförmig) trotz der Tatsache gemacht werden, dass das beleuchtungshomogenisierende optische Element keine Durchlässigkeit hat, welche präzise an die Beleuchtungsverteilung der beleuchteten Oberfläche angepasst ist. Auf diese Weise ist die vorliegende Erfindung ähnlich zu dem beleuchtungshomogenisierenden optischen Element nach dem Stand der Technik gemäß **Fig. 4(a)**, ist jedoch einfacher und preiswerter herzustellen.

[0053] Somit korrigiert das beleuchtungshomogenisierende optische Element der vorliegenden Erfindung eine Ungleichförmigkeit in der Beleuchtung einer Oberfläche, wobei es eine Durchlässigkeitsverteilung hat, welche nicht direkt die Intensitätsverteilung der Lichtquelle aufhebt.

[0054] Nachdem die Erfindung insoweit beschrieben wurde, versteht sich, dass diese auf viele Arten abgewandelt werden kann. Beispielsweise kann es eine begrenzte Anzahl von Brechungsstrukturen mit einer Breite geben, die nicht breiter als die Wellenlänge von Licht ist, das auf das beleuchtungshomogenisierende optische Element einfällt, oder eine begrenzte Anzahl von benachbarten Brechungsstrukturen muss nicht ein Intervall länger als die Wellenlänge des verwendeten Lichts haben, solange das Verhältnis von Oberflächenbereich solch schmalerer Brechungsstrukturen und den Abständen ausreichend klein ist, so dass eine Brechung durch die engeren Brechungsstrukturen und Abstände ignoriert werden kann. Auch können die optischen Brechungsstrukturen des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements auf einer Oberfläche eines herkömmlichen optischen Elements ausgebildet werden, beispielsweise auf einem

Filter oder eine Linse. Solche Abwandlungen sind nicht als Abweichung vom Wesen und Umfang der Erfindung zu betrachten. Vielmehr ist der Umfang der Erfindung so definiert, wie in den folgenden Ansprüchen und deren Äquivalenten angegeben. Sämtliche Abwandlungen, wie sie sich dem Fachmann auf dem Gebiet ergeben, sollen somit im Umfang der nachfolgenden Ansprüche enthalten sein.

Patentansprüche

1. Ein beleuchtungshomogenisierendes optisches Element (**10**), aufweisend:
 wenigstens eine optische Oberfläche mit einer Mehrzahl von Brechungsstrukturen, die entweder als Vertiefungen (**12**) oder Vorsprünge (**13**) ausgebildet sind und die jeweils breiter als die Wellenlänge von Licht sind, das auf das beleuchtungshomogenisierende optische Element fällt; wobei:
 wenigstens ein Teil des auf das beleuchtungshomogenisierende optische Element einfallenden Lichts durch Brechung des Lichts aus dem optischen Pfad entfernt wird, der durch die Richtung des Mittelpunktstrahls des einfallenden Lichts definiert ist, die Brechungsstrukturen konzentrisch mittig um die optische Achse des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements angeordnet sind, und die Unterteilung D der konzentrischen Brechungsstrukturen mit zunehmendem Abstand vom optischen Achsenmittelpunkt zum Umfang des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements zunimmt.

2. Beleuchtungshomogenisierendes optisches Element nach Anspruch 1, bei dem die folgenden Bedingungen erfüllt sind:

$$d > \lambda,$$

$$D - d > \lambda,$$

$$d \geq 1000 \text{ nm},$$

$$d/r \leq 0,001,$$

wobei

d eine Breite einer einzelnen Brechungsstruktur aus der Mehrzahl von Brechungsstrukturen ist,
 D die Unterteilung einer Mehrzahl von Brechungsstrukturen, gemessen in linearen Einheiten, ist,
 λ die Wellenlänge des einfallenden Lichts ist und
 r der Durchmesser des beleuchtungshomogenisierenden optischen Elements ist.

3. Beleuchtungshomogenisierendes optisches Element nach Anspruch 1, bei dem ein Oberflächenwinkel einer Brechungsstruktur auf 70 Grad oder weniger gesetzt ist.

4. Beleuchtungshomogenisierendes optisches Element nach Anspruch 1, bei dem die Brechungs-

strukturen prismenförmig sind, wobei eine Oberfläche der prismenförmigen Brechungsstruktur eine Oberflächennormale senkrecht zur Richtung hat, in der Licht auf das beleuchtungshomogenisierende optische Element einfällt.

5. Beleuchtungshomogenisierendes optisches Element nach Anspruch 1, bei dem die Mehrzahl von Brechungsstrukturen als Vertiefungen ausgebildet ist.

6. Beleuchtungshomogenisierendes optisches Element nach Anspruch 1, bei dem die Mehrzahl von Brechungsstrukturen als Vorsprünge ausgebildet ist.

7. Eine Beleuchtungsvorrichtung, die eine Kondensorlinse (8) enthält, welche eine Bildposition und eine Pupillenposition hat und welche ein beleuchtungshomogenisierendes optisches Element (10) nach zumindest einem der Ansprüche 1 bis 6 enthält zum Homogenisieren von Licht und zur Beleuchtung einer Oberfläche (5), wobei das Element (10) abweichend von einer Bildposition oder einer Pupillenposition der Beleuchtungsvorrichtung angeordnet ist.

8. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 7, bei der das beleuchtungshomogenisierende optische Element an einer Position eingebaut ist, die optisch konjugiert zu einer Position ist, welche die folgenden Bedingungen erfüllt:

$$0,03 < |L/f_{CD}| < 0,4,$$

wobei

f_{CD} die Brennweite der Kondensorlinse ist und L der Abstand zwischen Kondensorlinse und beleuchteter Oberfläche ist.

9. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 7, bei der das beleuchtungshomogenisierende optische Element auf eine Oberfläche eines Filters ausgebildet ist.

10. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 7, wobei das beleuchtungshomogenisierende optische Element in einem Mikroskop verwendet wird.

11. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 7, wobei das beleuchtungshomogenisierende optische Element in einem Projektor verwendet wird.

12. Beleuchtungsvorrichtung nach Anspruch 7, wobei das beleuchtungshomogenisierende optische Element in einer Stepper-Belichtungsvorrichtung verwendet wird.

Es folgen 10 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

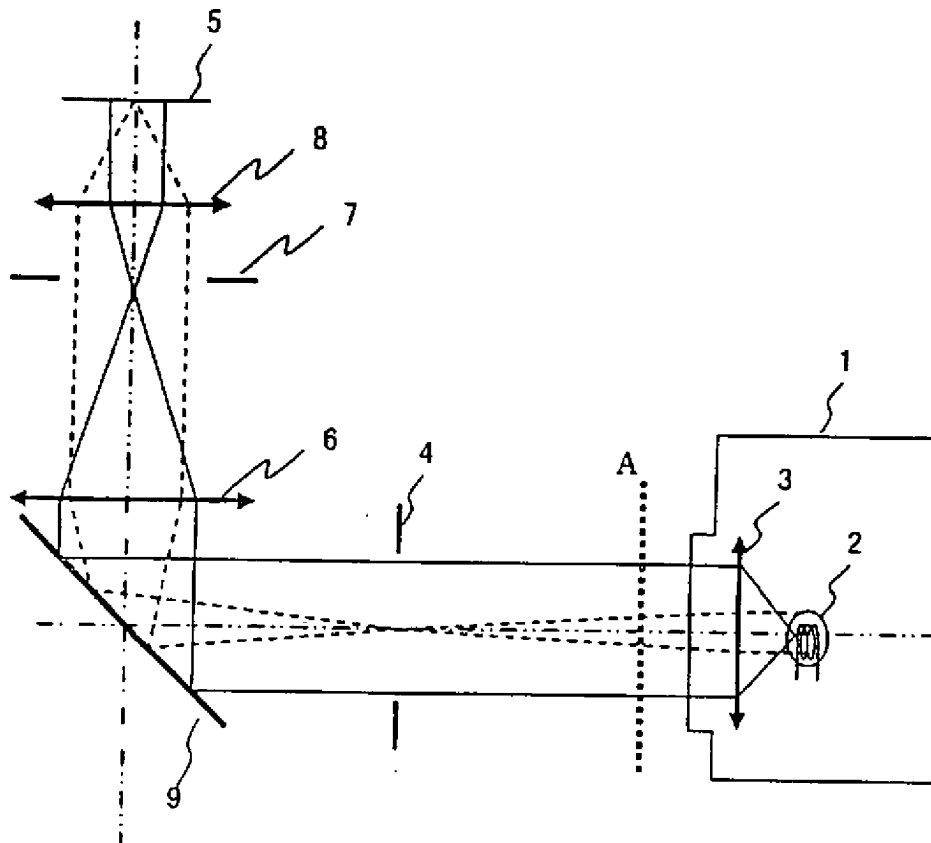


Fig. 1
(STAND DER TECHNIK)

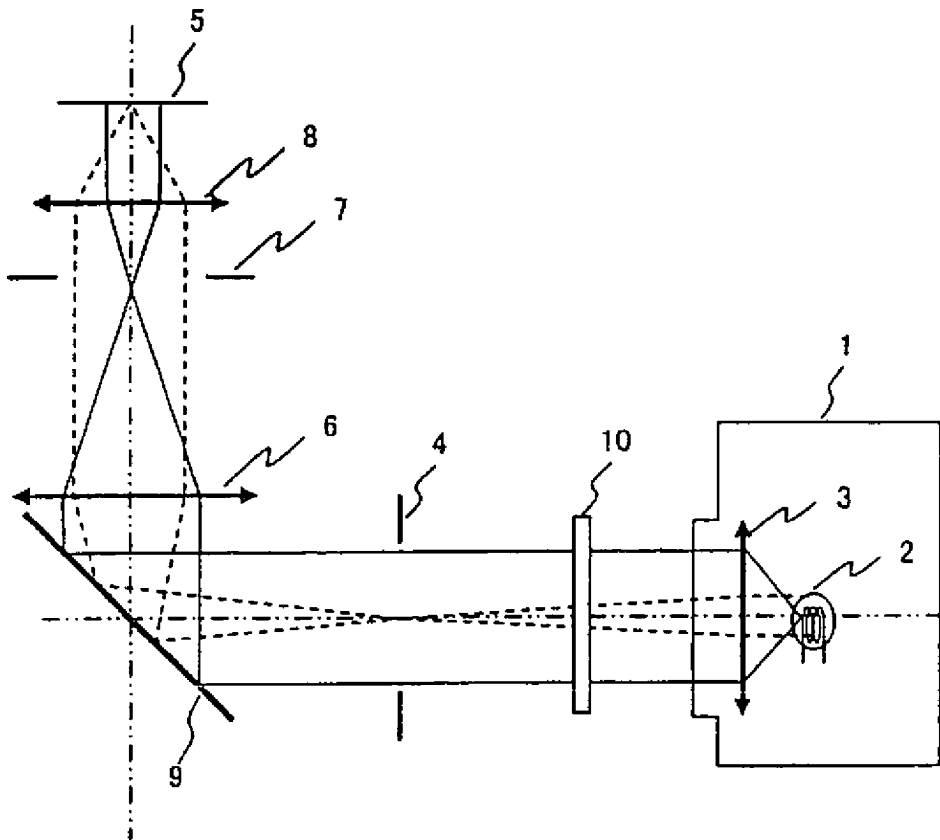


Fig. 2

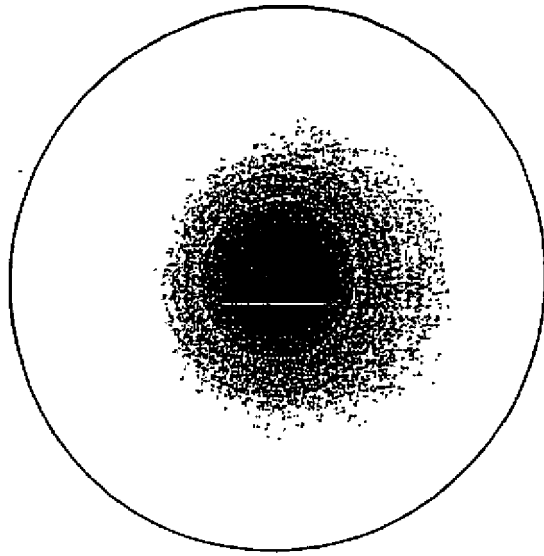


Fig. 3(a)
(STAND DER TECHNIK)

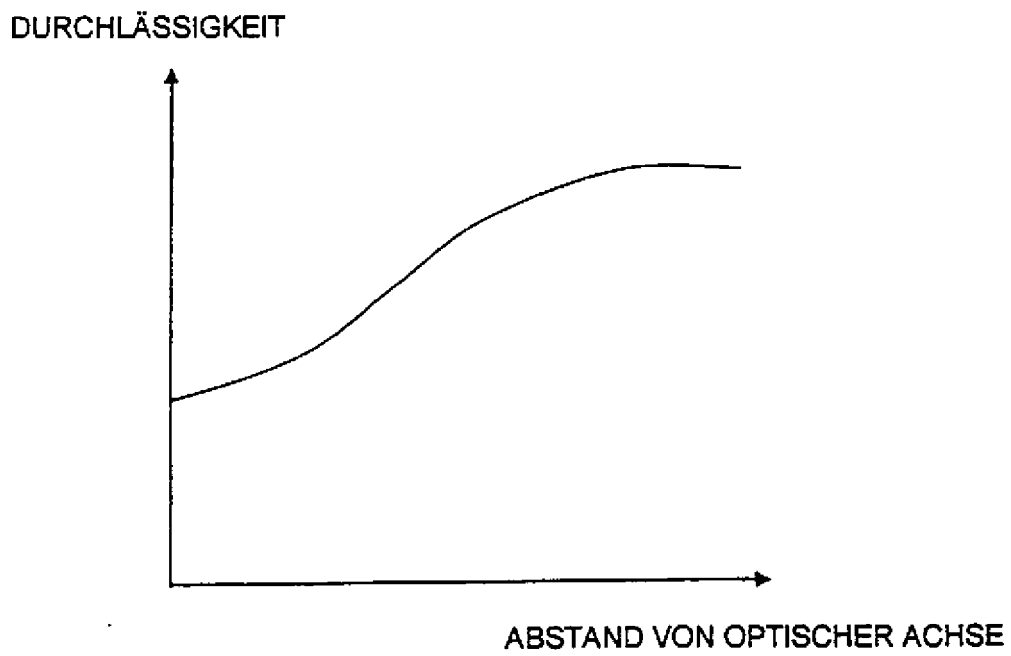


Fig. 3(b)

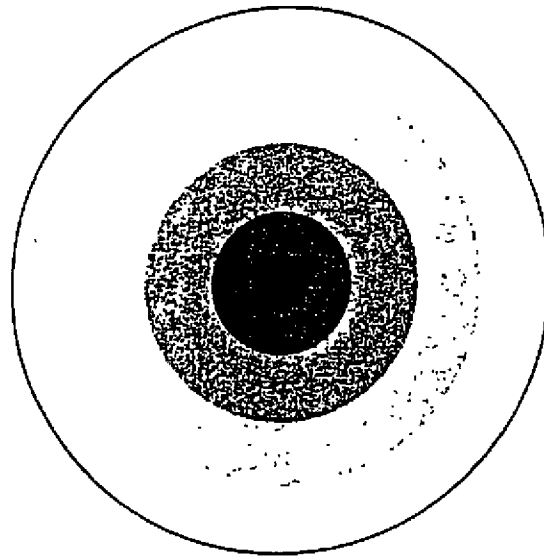


Fig. 4(a)
(STAND DER TECHNIK)

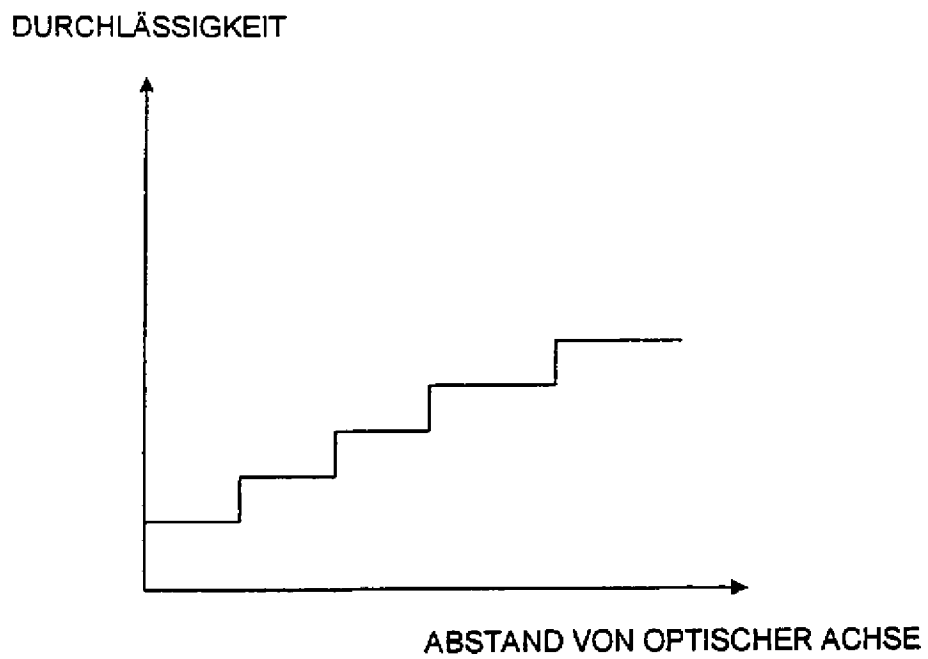


Fig. 4(b)

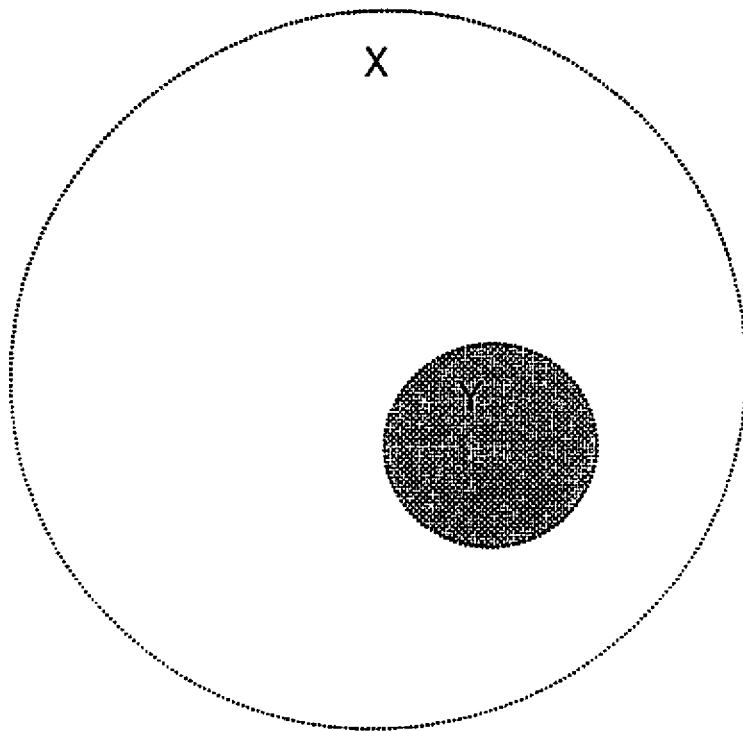


Fig. 5

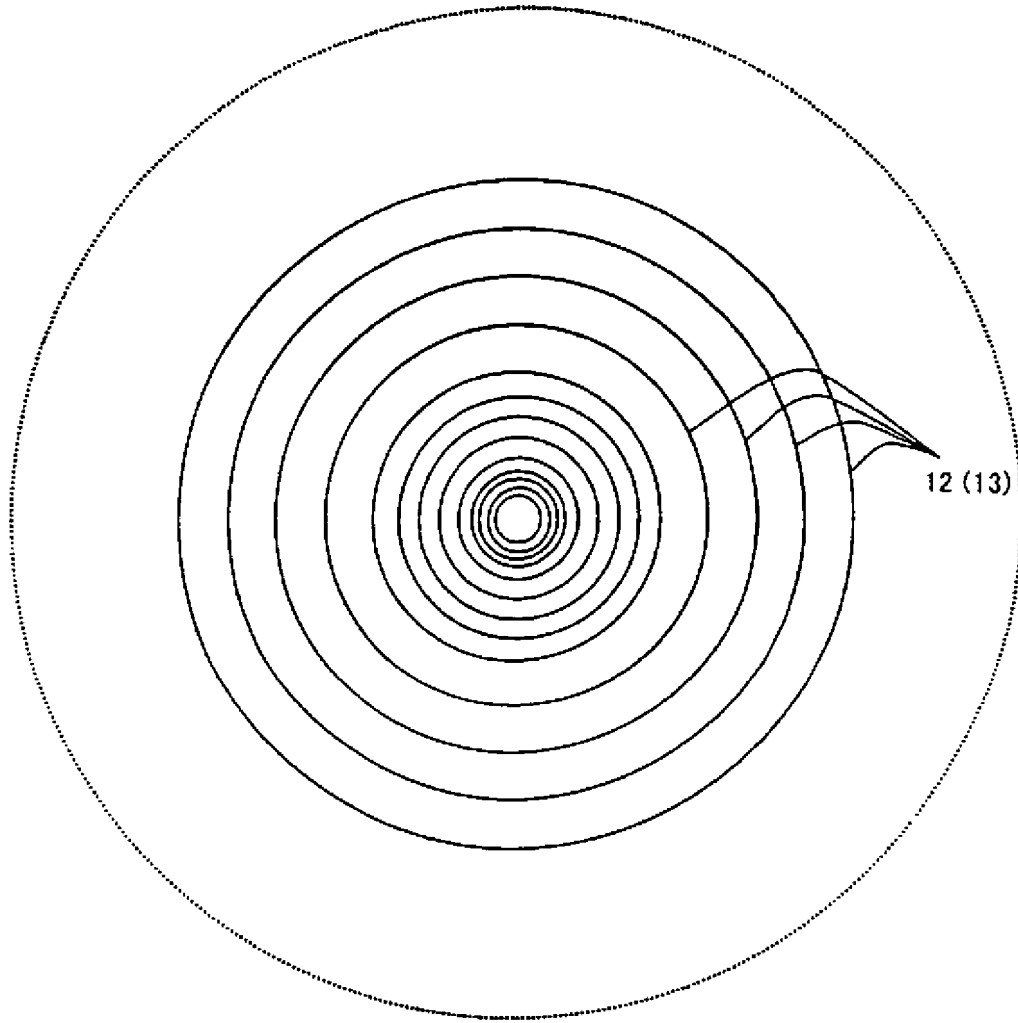


Fig. 6

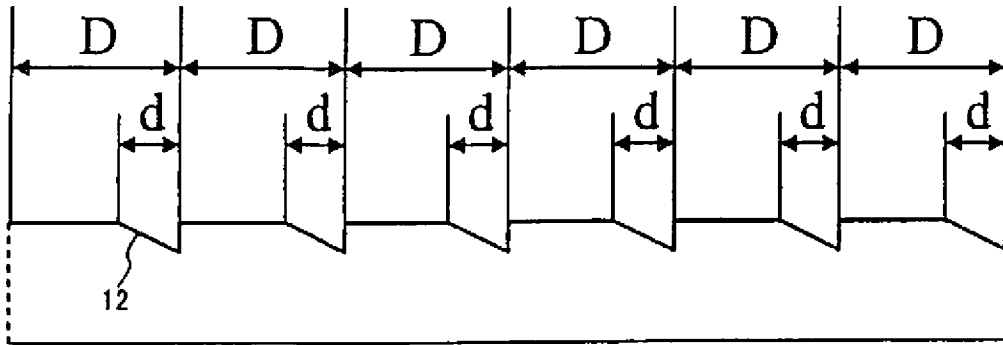


Fig. 7(a)

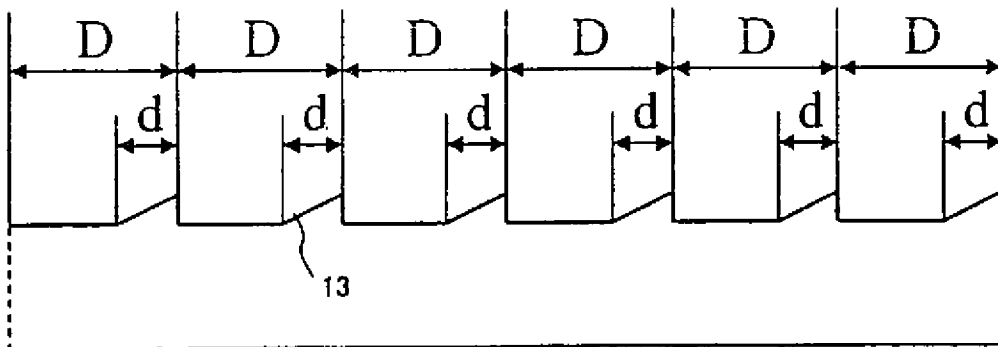


Fig. 7(b)

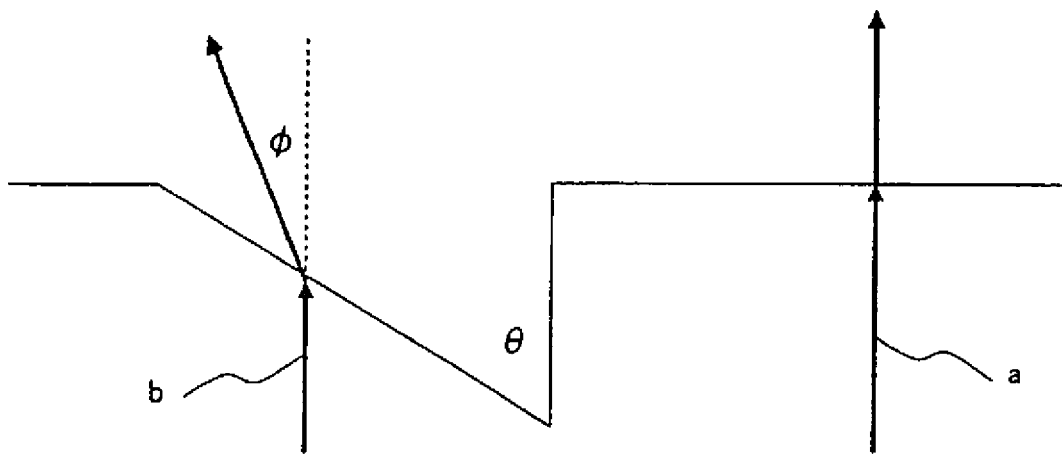


Fig. 8

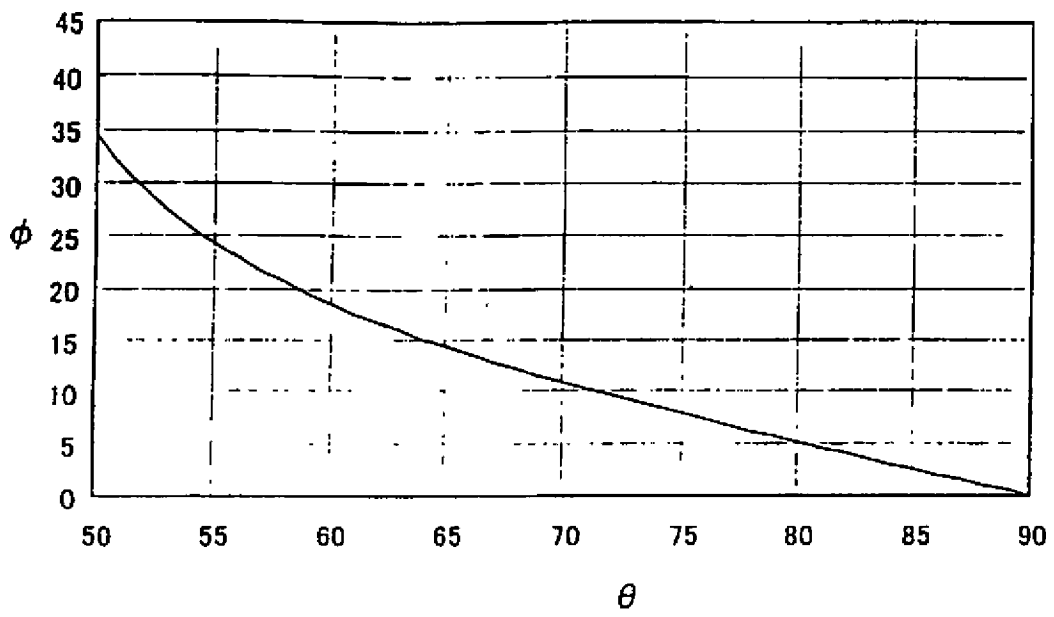


Fig. 9

$$T = 1 - [(N' - N)^2 / (N' + N)^2]$$

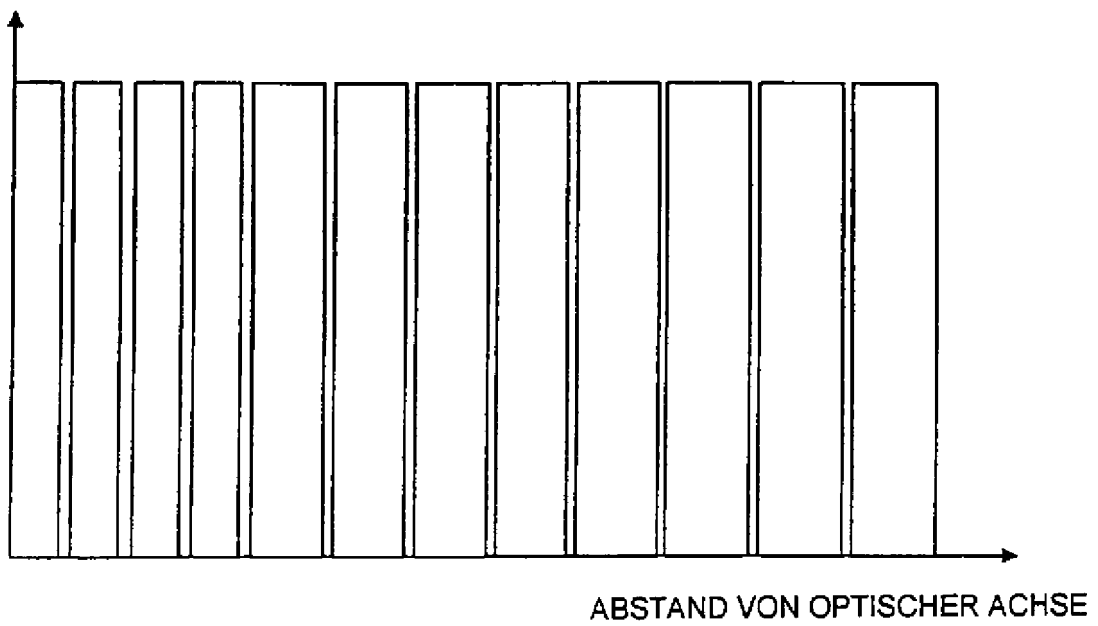


Fig. 10