



(10) **DE 11 2010 001 574 B4** 2017.02.02

(12)

Patentschrift

(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2010 001 574.0**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2010/030469**
(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2010/118281**
(86) PCT-Anmeldetag: **09.04.2010**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **14.10.2010**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **13.09.2012**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **02.02.2017**

(51) Int Cl.: **G01B 11/24 (2006.01)**
G01B 11/30 (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:
12/421,994 **10.04.2009** **US**

(73) Patentinhaber:
Omron Corp., Kyoto-shi, JP

(74) Vertreter:
**Patentship Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80687
München, DE**

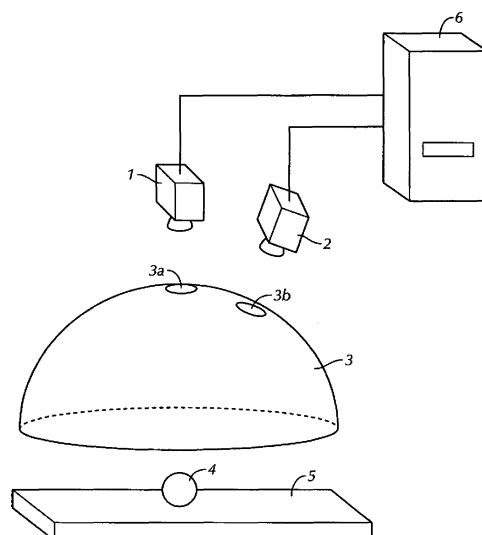
(72) Erfinder:
**Ohnishi, Yasuhiro, Kyoto-shi, Kyoto, JP; Kimachi,
Masatoshi, Kyoto-shi, Kyoto, JP; Suwa, Masaki,
Kyoto-shi, Kyoto, JP; Nayar, Shree, New York,
N.Y., US**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
siehe Folgeseiten

(54) Bezeichnung: **Messgerät und Beobachtungsgerät**

(57) Hauptanspruch: Messgerät zum Messen einer Oberfläche eines Messobjektes, das an einem vorbestimmten Messpunkt angeordnet ist, wobei das Messgerät umfasst: ein Beleuchtungsgerät zum Bestrahlen der Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer ersten Lichtquellenverteilung und einem Licht mit einer zweiten Lichtquellenverteilung; einen Bildabschnitt zum Abbilden der Oberfläche des Messobjektes, das mit dem Licht durch das Beleuchtungsgerät bestrahlt wird; und einen Messverarbeitungsabschnitt zum Erhalten einer Information über einen Lichtreflexionswinkel an dem Messpunkt auf der Oberfläche des Messobjektes unter Verwendung eines Bildes, das durch den Bildabschnitt abgebildet wird, wobei das Beleuchtungsgerät eine Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen aufweist, von denen jeder eine Mehrzahl von Lichtemissionselementen in einem Abschnitt einer ersten Ebene umfasst, die durch den Messpunkt läuft, die Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen zueinander gleich in einer Länge eines Bogens auf der ersten Ebene sind, wenn diese auf einen Kreis mit einem Einheitsradius mit dem Messpunkt als ein Zentrum projiziert werden, die Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen sich voneinander in einer Position eines Lichtemissionszentrums unterscheiden, wenn ein Punkt auf dem ersten spezifischen Bereich, der auf das Zentrum des Bogens projiziert wird,

als das Lichtemissionszentrum des ersten spezifischen Bereichs definiert wird, und wenn Strahldichten in der ersten Lichtquellenverteilung und der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von dem Lichtemissionselement, das an einem Winkel θ lokalisiert ist, wenn dieses von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ auf der ersten Ebene ausgedrückt werden, ...



(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	199 44 354	A1
EP	1 568 985	A2
JP	3 553 652	B2
JP	H03- 142 303	A

Beschreibung

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

1. TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Technik eines Messens des Profils einer Oberfläche eines Messobjektes. Die vorliegende Erfindung betrifft ebenfalls eine Technik eines Messens oder Beobachtens der Oberfläche des Messobjektes.

2. STAND DER TECHNIK

[0002] Eine Technik eines Verwendens von Farbinformation und eine Technik eines Verwendens von Leuchtdichteinformation sind herkömmlich als eine Technik eines Messens eines Normalprofils eines Messobjektes bekannt.

[0003] Ein Farbhervorhebungsverfahren ist als eine Technik eines Messens des Normalprofils unter Verwendung der Farbinformation bekannt. Wie in **Fig. 20A** und **Fig. 20B** gezeigt, umfasst das Farbhervorhebungsverfahren ein Anordnen von roten, blauen und grünen Ringbeleuchtungen in einer Haube und Bestrahlen des Messobjektes mit jeder Farbe. Die Richtung einer Normallinie (lediglich eine Zenitwinkelkomponente) der zu messenden Oberfläche wird in dreierlei Weise durch Analysieren der Farbe eines reflektierten Lichts von dem Messobjekt unterschieden, um das Oberflächenprofil zu berechnen. Als eine Modifikation des Farbhervorhebungsverfahrens sind eine Technik (siehe z. B. die offengelegte japanische Patentanmeldung JP H03-142 303 A) eines genauen Messens der Normallinie (lediglich eine Zenitwinkelkomponente) der zu messenden Oberfläche durch Anordnen einer großen Anzahl von konzentrischen Beleuchtungen in einer Haube und eine Technik (siehe z. B. die japanische Patentveröffentlichung JP 3 553 652 B2) eines Durchführens einer Fotografie unter Verwendung von zwei Arten von Beleuchtungsmustern eines Zenitwinkelkomponentenmessmusters und eines Azimutwinkelkomponentenmessmusters und eines Berechnens der Zenitwinkelkomponente und der Azimutwinkelkomponente der Normallinie aus den jeweiligen Bildern bekannt.

[0004] Ein Beleuchtungsdifferenzstereoverfahren ist als eine Technik eines Messens des zu messenden Normalprofils unter Verwendung der Leuchtdichteinformation bekannt. Wie in **Fig. 21** gezeigt, ist das Beleuchtungsdifferenzstereoverfahren ein Verfahren eines Erfassens der Normalrichtung an jedem Punkt der Objekt Oberfläche basierend auf einer Mehrzahl von Bildern, die einzeln zu einer Zeit unter drei oder mehr unterschiedlichen Lichtquellen fotografiert werden, unter Verwenden von Schatteninformation des Objekts. Insbesondere wird die Leuchtdichteinformation unter Verwenden eines Objektes erfasst, dessen Profil bekannt ist, z. B. aus drei Bildern, die unter unterschiedlichen Lichtquellen fotografiert werden. Die Richtung der Normallinie wird eindeutig durch einen Satz von Leuchtdichtewerten bestimmt und als eine Tabelle gespeichert. Zur Zeit einer Messung wird eine Fotografie unter drei Lichtquellen durchgeführt und die Normallinie wird aus einem Satz von Leuchtdichteinformation unter Bezug auf die erzeugte Tabelle erhalten. Gemäß dem Beleuchtungsdifferenzstereoverfahren kann die Normallinie eines Objektes erhalten werden, das keine perfekte Spiegeloberfläche aufweist.

[0005] Die Offenlegungsschrift DE 199 44 354 A1 zeigt ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung der Form oder der Abbildungseigenschaften von spiegelnden oder transparenten Objekten.

[0006] Die Offenlegungsschrift EP 1 568 985 A2 zeigt eine Vorrichtung für eine Oberflächeninspektion.

ZUSAMMENFASSUNG

[0007] In dem Stand der Technik treten jedoch die folgenden Probleme auf.

[0008] Bei dem Farbhervorhebungsverfahren unter Verwendung von Farbmerkmalen kann ein Objekt, dessen Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist, nicht gemessen werden. Darüber hinaus verringert sich eine Messgenauigkeit aufgrund einer Farbmischung des reflektierten Lichtes, wenn eine imperfekte Spiegeloberfläche (wenn diese eine Strahlungskeule umfasst) verwendet wird, sogar falls die Reflektanzeigenschaft gleichförmig ist.

[0009] Bei dem Beleuchtungsdifferenzstereoverfahren unter Verwendung der Leuchtdichteinformation kann das Objekt, dessen Reflektanzeigenschaft gleichförmig ist, anders als die perfekte Spiegeloberfläche gemessen

sen werden, jedoch verringert sich die Genauigkeit bei einer Normalenberechnung, falls die Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist, da sich der Leuchtdichtewert in Abhängigkeit der Reflektanzeigenschaft ändert. Die Genauigkeit bei der Normalenberechnung verringert sich sogar, falls das Objekt eine gleichförmige Reflektanzeigenschaft aufweist, wenn die Reflektanzeigenschaften des Objekts (Referenzobjektes), das beim Erzeugen einer Tabelle verwendet wird, und des Messobjekts unterschiedlich sind.

[0010] In Anbetracht der obigen Situationen ist es eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Technik bereitzustellen, die in der Lage ist, mit einer ausreichenden Genauigkeit die Normalinformation (XYZ-Komponente eines Einheitsvektors oder Zenitwinkelkomponente und Azimutwinkelkomponente) sogar mit Bezug auf ein Messobjekt zu berechnen, bei dem die Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist oder bei dem die Reflektanzeigenschaft gleichförmig ist, sich die Reflektanzeigenschaft als solche jedoch von dem Referenzobjekt unterscheidet.

[0011] Es ist eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Technik bereitzustellen, die in der Lage ist, reflektiertes Licht ungeachtet einer Ungleichmäßigkeit einer Reflektanzeigenschaft zu beobachten (d. h. eine Variation im Grad einer Spreizung einer Strahlungskeule). Es ist noch eine andere Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine Technik bereitzustellen, die in der Lage ist, Information über einen Lichtreflexionswinkel einer Oberfläche eines Messobjektes sogar zu erhalten, falls das Messobjekt eine unbekannte Reflektanz aufweist. Um das obige Ziel zu erreichen, wird bei der vorliegenden Erfindung ein Beleuchtungsgerät mit einer Verteilung verwendet, bei der eine Strahldichte eines reflektierten Lichtes, wenn ein Messobjekt mit einer beliebigen Reflektanzeigenschaft mit Licht bestrahlt wird, die gleiche wie eine Strahldichte in der perfekten Spiegeloberfläche wird, d. h. eine Lichtquellenverteilung, bei der das reflektierte Licht einschließlich einer Diffusionsreflexion mit dem regulären Reflexionslicht in Bezug auf das Messobjekt einer beliebigen Reflektanzeigenschaft übereinstimmt. Mit anderen Worten wird ein Beleuchtungsgerät verwendet, das das Objekt ähnlich zu der perfekten Spiegeloberfläche behandeln kann, wenn ein Messobjekt unter einer derartigen Beleuchtung fotografiert wird.

[0012] Eine einleitende Überlegung betrifft einen Profilmesser zum Messen eines Oberflächenprofils eines Messobjektes, wobei das Gerät ein Beleuchtungsgerät zum Bestrahlen des Messobjektes mit Licht, ein Bildgerät zum Abbilden eines reflektierten Lichtes von dem Messobjekt und eine Normalenberechnungsvorrichtung zum Berechnen einer Normalrichtung einer Oberfläche an jeder Position des Messobjektes aus einem abgebildeten Bild umfasst, wobei das Beleuchtungsgerät die folgenden Merkmale aufweist.

[0013] Damit das Beleuchtungsgerät die obigen Merkmale aufweist, braucht das Beleuchtungsgerät lediglich eine Lichtquellenverteilung aufzuweisen, bei der eine Strahldichte eines Schwerpunktes der Lichtquellenverteilung eines punktsymmetrischen Bereiches mit einer Strahldichte des Zentrums des punktsymmetrischen Bereiches in einem beliebigen punktsymmetrischen Bereich des Lichtemissionsbereiches übereinstimmt.

[0014] Unter der Annahme, dass die Lichtquellenverteilung in dem Lichtemissionsbereich des Beleuchtungsgerätes $L_i(p, \theta, \phi)$ ist, kann die Strahldichte (Kameraleuchtdichtewert) $L_r(p, \theta_r, \phi_r)$ im Allgemeinen wie unten mit der Reflektanzeigenschaft der Objektoberfläche als $f(p, \theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r)$ ausgedrückt werden.

$$L_r(p, \theta_r, \phi_r) = \iint_{\Omega} L_i(p, \theta_i, \phi_i) \cdot f(p, \theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) \cos \theta_i \sin \theta_i d\theta_i d\phi_i \dots (1)$$

[0015] Hier ist Ω ein Raumwinkel einer Halbkugelfläche.

[0016] Insbesondere falls die Objektoberfläche eine perfekte Spiegeloberfläche ist, kann die Strahldichte L_r wie unten ausgedrückt werden.

$$L_r(p, \theta_r, \phi_r) = L_i(p, \theta_{is}, \phi_{is} + \pi) \quad (2)$$

[0017] Hier kann in einem beliebigen Bereich (Bereich einer Lichtquellenverteilung) $\Omega(\theta_{is}, \phi_{is})$, der intern (θ_{is}, ϕ_{is}) umfasst, das Objekt als eine perfekte Spiegeloberfläche sogar in Bezug auf ein Objekt behandelt werden, dessen Objektoberfläche eine imperfekte Spiegeloberfläche ist, durch Verwenden einer Lichtquellenverteilung $L_i(p, \theta, \phi)$, die (1) = (2) erfüllt.

[0018] Es ist jedoch analytisch schwierig, die Lichtquellenverteilung $L_i(p, \theta, \phi)$ zu erhalten, die genau (1) = (2) erfüllt. Daher berücksichtigt man die Lichtquellenverteilung $L_i(p, \theta, \phi)$, bei der (1)–(2) ein ausreichend kleiner Wert wird. Als die Näherungslösung ist es geeignet, eine Lichtquellenverteilung anzunehmen, die nicht von

einer Position p und einem Normalvektor des p abhängt und die in Bezug auf das p und den Normalvektor des p konstant wird.

[0019] Ein spezifisches Beispiel einer Näherungslösung, die die obige Bedingung erfüllt, umfasst eine Lichtquellenverteilung, bei der sich die Lichtquellenverteilung linear in Bezug auf die Länge ändert, unter Annahme einer Kugel, bei der sich das Messobjekt an dem Zentrum befindet und beide Pole auf einer Ebene sind, die das Messobjekt umfasst. Ein anderes Beispiel ist eine Lichtquellenverteilung, bei der sich die Lichtquellenverteilung linear in Bezug auf die Breite ändert. Ein anderes weiteres Beispiel ist eine Lichtquellenverteilung, bei der der Lichtemissionsbereich eine ebene Form aufweist und die sich linear auf dessen Ebene ändert.

[0020] Eine derartige Lichtquellenverteilung ist die Näherungslösung von (1) = (2), bei der sogar das Objekt, dessen Objektoberfläche eine imperfekte Spiegeloberfläche ist, behandelt werden kann, wie wenn das Objekt eine perfekte Spiegeloberfläche ist, durch Verwenden eines derartigen Beleuchtungsgeräts.

[0021] Bevorzugt ist eine Lichtquellenverteilung zu verwenden, die die obige Bedingung erfüllt und bei der eine Mehrzahl von voneinander unterschiedlichen Lichtquellenverteilungen überlappend ist. Eine Normallinie eines Objekts in einer Mehrzahl und mit einer unterschiedlichen Reflektanzeigenschaft kann daher eindeutig berechnet werden.

[0022] Ein erster Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Messgerät zum Messen einer Oberfläche eines Messobjekts, das an einem vorbestimmten Messpunkt angeordnet ist, wobei das Messgerät umfasst: ein Beleuchtungsgerät zum Bestrahlen der Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer ersten Lichtquellenverteilung und einem Licht mit einer zweiten Lichtquellenverteilung; einen Bildabschnitt zum Abbilden der Oberfläche des Messobjektes, das mit dem Licht durch das Beleuchtungsgerät bestrahlt wird; und einen Messverarbeitungsabschnitt zum Erhalten von Information über einen Lichtreflexionswinkel an dem Messpunkt auf der Oberfläche des Messobjektes unter Verwendung eines Bildes, das von dem Bildabschnitt abgebildet wird. In dem Messgerät weist das Beleuchtungsgerät eine Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen auf, von denen jeder eine Mehrzahl von Lichtemissionselementen in einem Abschnitt einer ersten Ebene aufweist, die durch den Messpunkt läuft, die Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen sind zueinander in einer Länge eines Bogens auf der ersten Ebene gleich, wenn diese auf einen Kreis mit einem Einheitsradius mit dem Messpunkt als ein Zentrum projiziert werden und die Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen unterscheiden sich voneinander in einer Position eines Lichtemissionszentrums, wenn ein Punkt auf dem ersten spezifischen Bereich, der auf das Zentrum des Bogens projiziert wird, als das Lichtemissionszentrum des ersten spezifischen Bereiches definiert wird. Wenn in diesem Fall Strahldichten in der ersten Lichtquellenverteilung und der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von dem Lichtemissionselement, das bei einem Winkel θ lokalisiert ist, wenn dieses von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ auf der ersten Ebene ausgedrückt werden, werden in diesem und Fall die erste Lichtquellenverteilung und die zweite Lichtquellenverteilung derart gesetzt, dass:

(a) wenn der erste spezifische Bereich eine Spreizung von $\pm\sigma$ mit einem Winkel θ_c mit dem Lichtemissionszentrum als das Zentrum auf der ersten Ebene aufweist, die Strahldichten $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ in einem beliebigen der ersten spezifischen Bereiche nicht null sind und die folgenden Gleichungen im Wesentlichen für ein beliebiges a gelten, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt;

$$L_{11}(\theta_c - a) + L_{11}(\theta_c + a) = 2 \times L_{11}(\theta_c)$$

$$L_{12}(\theta_c - a) + L_{12}(\theta_c + a) = 2 \times L_{12}(\theta_c),$$

(b) ein Verhältnis $L_{11}(\theta_c)/L_{12}(\theta_c)$ der Strahldichten des Lichtemissionszentrums sich in jedem der ersten spezifischen Bereiche ändert.

[0023] Der Einfluss der Strahlungskeule, die aus dem Licht abgeleitet wird, das aus einem Bereich ($\theta_c - \sigma \leq \theta < \theta_c$) mit einem Winkel kleiner als jener des Lichtemissionszentrums (θ_c) emittiert wird und der Einfluss der Strahlungskeule von dem Licht, das aus einem Bereich ($\theta_c < \theta \leq \theta_c + \sigma$) mit einem Winkel größer als jener des Lichtemissionszentrums emittiert wird, löschen sich gegenseitig unter Verwendung der Lichtquellenverteilung aus, die der Bedingung (a) genügt. Daher kann das reflektierte Licht ähnlich zu der perfekten Spiegeloberfläche ungeachtet des Grades der Spreizung der Strahlungskeule in der Oberfläche des Messobjektes beobachtet werden.

[0024] Wenn die zwei Lichtquellenverteilungen die Bedingung (b) erfüllen, kann die Richtung der Lichtquelle (spezifischer Bereich), die das Licht emittiert, eindeutig in der ersten Ebene durch Auswerten des Merkmalswertes spezifiziert werden, der das Intensitätsverhältnis der Teile eines reflektierten Lichtes ausdrückt, das in

den zwei Lichtquellenverteilungen beobachtet wird, und daher kann die Information über die Lichtreflexionsrichtung der Oberfläche des Messobjektes erhalten werden. Die Intensität des reflektierten Lichtes hängt von einer Reflektanz der Oberfläche des Messobjektes ab. Da jedoch die Reflektanz durch Berechnen des Intensitätsverhältnisses der Teile eines reflektierten Lichtes beseitigt werden kann, kann die Information über die Lichtreflexionsrichtung sogar berechnet werden, falls das Messobjekt die unbekannt Reflektanz aufweist. Die "Reflektanz" bedeutet ein Verhältnis einer Intensität eines reflektierten Lichtstrahls zu einer Intensität eines einfallenden Lichtstrahls für den Lichtstrahl.

[0025] In dem Messgerät gemäß dem ersten Aspekt kann vorzugsweise das Beleuchtungsgerät weiter die Oberfläche des Messobjektes mit Licht mit einer dritten Lichtquellenverteilung bestrahlen. In diesem Fall weist das Beleuchtungsgerät eine Mehrzahl von zweiten spezifischen Bereichen auf, von denen jeder eine Mehrzahl von Lichtemissionselementen in einem Abschnitt einer zweiten Ebene umfasst, die durch den Messpunkt läuft, wobei die zweite Ebene unterschiedlich zu der ersten Ebene ist, die Mehrzahl von zweiten spezifischen Bereichen zueinander gleich in einer Länge eines Bogens auf der zweiten Ebene sind, wenn diese auf den Kreis mit dem Einheitsradius mit dem Messpunkt als das Zentrum projiziert werden und die Mehrzahl von zweiten spezifischen Bereichen sich voneinander in der Position des Lichtemissionszentrums unterscheiden, wenn ein Punkt auf dem zweiten spezifischen Bereich, der auf das Zentrum des Bogens projiziert wird, als das Lichtemissionszentrum des zweiten spezifischen Bereichs definiert wird. Wenn Strahldichten in der ersten Lichtquellenverteilung und der dritten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von dem Lichtemissionselement, das bei einem Winkel ϕ lokalisiert ist, wenn dieses von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ auf der zweiten Ebene ausgedrückt werden, werden die erste Lichtquellenverteilung und die dritte Lichtquellenverteilung derart gesetzt, dass:

(a) wenn der zweite spezifische Bereich eine Spreizung von $\pm\sigma$ mit einem Winkel ϕ_c mit dem Lichtemissionszentrum als das Zentrum auf der zweiten Ebene aufweist, die Strahldichten $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ in einem beliebigen der zweiten spezifischen Bereiche nicht null sind und die folgenden Gleichungen im Wesentlichen für ein beliebiges a gelten, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt:

$$L_{21}(\phi_c - a) + L_{21}(\phi_c + a) = 2 \times L_{21}(\phi_c)$$

$$L_{23}(\phi_c - a) + L_{23}(\phi_c + a) = 2 \times L_{23}(\phi_c), \text{ und}$$

(b) ein Verhältnis $L_{21}(\phi_c)/L_{23}(\phi_c)$ der Strahldichten des Lichtemissionszentrums sich in jedem der zweiten spezifischen Bereiche ändert.

[0026] Daher kann ebenfalls für die zweite Ebene das reflektierte Licht ebenfalls ähnlich zu der perfekten Spiegeloberfläche ungeachtet des Grades der Spreizung der Strahlungskeule in der Oberfläche des Messobjektes beobachtet werden und daher kann die Information über die Lichtreflexionsrichtung der Oberfläche des Messobjektes für zwei Freiheitsgrade erhalten werden.

[0027] Ein zweiter Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Messgerät zum Messen einer Oberfläche eines Messobjektes, das an einem vorbestimmten Messpunkt angeordnet ist, wobei das Messgerät umfasst: ein Beleuchtungsgerät zum Bestrahlen der Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer ersten Lichtquellenverteilung und einem Licht mit einer zweiten Lichtquellenverteilung; einen Bildabschnitt zum Abbilden der Oberfläche des Messobjektes, das mit dem Licht durch das Beleuchtungsgerät bestrahlt wird; und einen Messverarbeitungsabschnitt zum Erhalten einer Information über einen Lichtreflexionswinkel an dem Messpunkt auf der Oberfläche des Messobjektes unter Verwendung eines Bildes, das durch den Bildabschnitt abgebildet wird. In dem Messgerät weist das Beleuchtungsgerät einen Lichtemissionsbereich mit einem vorbestimmten Ausmaß auf. Wenn Strahldichten in der ersten Lichtquellenverteilung und der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von einem Punkt, der einen Winkel θ auf der Lichtemissionsoberfläche aufweist, wenn dieser von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ auf einer ersten Ebene ausgedrückt werden, die durch den Messpunkt läuft, werden die erste Lichtquellenverteilung und die zweite Lichtquellenverteilung in Bezug auf eine Mehrzahl von Punkten i auf dem Lichtemissionsbereich derart gesetzt, dass:

(1) zumindest eine der Strahldichten $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ sich in einer kontinuierlichen oder schrittweisen Weise gemäß dem Winkel θ erhöht oder vermindert,

(2) in einem lokalen Bereich eines vorbestimmten Bereichs von $\pm\sigma$ mit einem Winkel θ_i mit dem Punkt i als das Zentrum die Strahldichten $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ nicht null sind und die folgenden Gleichungen im Wesentlichen für ein beliebiges a gelten, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt:

$$L_{11}(\theta_i - a) + L_{11}(\theta_i + a) = 2 \times L_{11}(\theta_i)$$

$$L_{12}(\theta_i - a) + L_{12}(\theta_i + a) = 2 \times L_{12}(\theta_i), \text{ und}$$

(3) ein Verhältnis $L_{11}(\theta_i)/L_{12}(\theta_i)$ der Strahldichten an dem Punkt i sich in jedem der Winkel θ_i ändert.

[0028] In dem lokalen Bereich, der sich um jeden Punkt i konzentriert, löschen sich der Einfluss der Strahlungskeule, die aus dem Licht abgeleitet wird, das aus einem Bereich $(\theta_i - \sigma \leq \theta < \theta_i)$ mit einem Winkel kleiner als jener des Lichtemissionszentrums (θ_i) emittiert wird und der Einfluss der Strahlungskeule von dem Licht, das aus einem Bereich $(\theta_i < \theta \leq \theta_i + \sigma)$ mit einem Winkel größer als jener des Lichtemissionszentrums emittiert wird, gegenseitig unter Verwendung der Lichtquellenverteilung aus, die die Bedingung (2) erfüllt. Daher kann das reflektierte Licht ähnlich zu der perfekten Spiegeloberfläche ungeachtet des Grades der Spreizung der Strahlungskeule in der Oberfläche des Messobjektes beobachtet werden. Die Richtung der Lichtquelle (Punkt i auf dem Lichtemissionsbereich), der das Licht emittiert, kann eindeutig in der ersten Ebene durch Auswerten des Intensitätsverhältnisses der Teile eines reflektierten Lichtes spezifiziert werden, das in den zwei Lichtquellenverteilungen unter der Bedingung (3) beobachtet wird und daher kann die Information über die Lichtreflexionsrichtung der Oberfläche des Messobjektes erhalten werden. Die Intensität des reflektierten Lichtes hängt von einer Reflektanzeigenschaft (Reflektanz) der Oberfläche des Messobjektes ab. Da jedoch die Reflektanz durch Berechnen des Intensitätsverhältnisses der Teile eines reflektierten Lichtes beseitigt werden kann, kann die Information über die Lichtreflexionsrichtung sogar berechnet werden, falls das Messobjekt eine unbekannte Reflektanz aufweist.

[0029] In dem Messgerät gemäß dem zweiten Aspekt kann vorzugsweise das Beleuchtungsgerät weiter die Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer dritten Lichtquellenverteilung bestrahlen. Wenn in diesem Fall Strahldichten in der ersten Lichtquellenverteilung und der dritten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von einem Punkt, der einen Winkel ϕ auf dem Lichtemissionsbereich aufweist, wenn dieser von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ auf einer zweiten Ebene ausgedrückt werden, die durch den Messpunkt läuft, wobei die zweite Ebene unterschiedlich zu der ersten Ebene ist, werden die erste Lichtquellenverteilung und die dritte Lichtquellenverteilung in Bezug auf eine Mehrzahl von Punkten j auf dem Lichtemissionsbereich derart gesetzt, dass:

(1) die Strahldichten $L_{23}(\phi)$ sich in einer kontinuierlichen oder schrittweisen Weise gemäß dem Winkel ϕ erhöht oder vermindert,

(2) in einem lokalen Bereich eines vorbestimmten Bereichs von $\pm\sigma$ mit einem Winkel ϕ_j mit dem Punkt j als das Zentrum die Strahldichten $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ nicht null sind und die folgenden Gleichungen im Wesentlichen für ein beliebiges a gelten, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt:

$$L_{21}(\phi_j - a) + L_{21}(\phi_j + a) = 2 \times L_{21}(\phi_j)$$

$$L_{23}(\phi_j - a) + L_{23}(\phi_j + a) = 2 \times L_{23}(\phi_j), \text{ und}$$

(3) ein Verhältnis $L_{21}(\phi_j)/L_{23}(\phi_j)$ der Strahldichten an dem Punkt j sich in jedem der Winkel ϕ ändert.

[0030] Daher kann ebenfalls für die zweite Ebene das reflektierte Licht ebenfalls ähnlich zu der perfekten Spiegeloberfläche ungeachtet des Grades der Spreizung der Strahlungskeule in der Oberfläche des Messobjektes beobachtet werden, und daher kann die Information über die Lichtreflexionsrichtung der Oberfläche des Messobjektes für zwei Freiheitsgrade erhalten werden.

[0031] Z. B. können eine Lichtquellenverteilung, bei der jede der Strahldichten $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ eine lineare Funktion des Winkels θ ist und eine Lichtquellenverteilung, bei der die Strahldichten $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ eine lineare Funktion des Winkels ϕ sind, vorzugsweise als die Lichtquellenverteilung angenommen werden, die die Bedingung (2) erfüllt. Die Annahme der einfachen Lichtquellenverteilung ermöglicht die Gestaltung und das Herstellen des Beleuchtungsgeräts.

[0032] Ein dritter Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Beobachtungsgerät zum Beobachten eines reflektierten Lichts von einer Oberfläche eines Messobjektes, das an einem vorbestimmten Messpunkt angeordnet ist, wobei das Beobachtungsgerät umfasst: ein Beleuchtungsgerät zum Bestrahlen der Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer ersten Lichtquellenverteilung; und einen Bildabschnitt zum Abbilden der Oberfläche des Messobjektes, das mit dem Licht durch das Beleuchtungsgerät bestrahlt wird. In dem Beobachtungsgerät weist das Beleuchtungsgerät eine Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen auf, von denen jeder eine Mehrzahl von Lichtemissionselementen in einem Abschnitt einer ersten Ebene umfasst, die durch den Messpunkt läuft, die Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen sind zueinander in einer Länge

eines Bogens auf der ersten Ebene gleich, wenn diese auf einen Kreis mit einem Einheitsradius mit dem Messpunkt als ein Zentrum projiziert werden und die Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen unterscheiden sich voneinander in einer Position eines Lichtemissionszentrums, wenn ein Punkt auf dem ersten spezifischen Bereich, der auf das Zentrum des Bogens projiziert wird, als das Lichtemissionszentrum des ersten spezifischen Bereichs definiert wird. Wenn eine Strahldichte in der ersten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von dem Lichtemissionselement, das bei einem Winkel θ lokalisiert ist, wenn dieses von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{11}(\theta)$ auf der ersten Ebene ausgedrückt wird, wird die erste Lichtquellenverteilung derart gesetzt, dass:

(a) wenn der erste spezifische Bereich eine Spreizung von $\pm\sigma$ mit einem Winkel θ_c mit dem Lichtemissionszentrum als das Zentrum auf der ersten Ebene aufweist, die Strahldichte $L_{11}(\theta)$ in einem beliebigen der ersten spezifischen Bereiche nicht null ist und die folgende Gleichung im Wesentlichen für ein beliebiges a gilt, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt:

$$L_{11}(\theta_c - a) + L_{11}(\theta_c + a) = 2 \times L_{11}(\theta_c), \text{ und}$$

(b) der Wert $L_{11}(\theta_c)$ der Strahldichte des Lichtemissionszentrums sich in jedem der ersten spezifischen Bereiche ändert.

[0033] Der Einfluss der Strahlungskeule, die aus dem Licht abgeleitet wird, das aus einem Bereich ($\theta_c - \sigma \leq \theta < \theta_c$) mit einem Winkel kleiner als jener des Lichtemissionszentrums (θ_c) emittiert wird, und der Einfluss der Strahlungskeule von dem Licht, das aus einem Bereich ($\theta_c < \theta \leq \theta_c + \sigma$) mit einem Winkel größer als jener des Lichtemissionszentrums emittiert wird, löschen sich gegenseitig unter Verwendung der Lichtquellenverteilung aus, die die Bedingung (a) erfüllt. Daher kann das reflektierte Licht ähnlich zu der perfekten Spiegeloberfläche ungeachtet des Grades der Spreizung der Strahlungskeule in der Oberfläche des Messobjektes beobachtet werden. Die Oberflächen mit unterschiedlichen Gradienten können mit unterschiedlichen Leuchtdichten (Intensität eines reflektierten Lichtes) unter der Bedingung (b) beobachtet werden. Das Bild, das mit dem Bildabschnitt erhalten wird, wird in einem Speicherabschnitt gespeichert, auf einem Anzeigeabschnitt angezeigt, an ein externes Gerät ausgegeben oder verwendet, um die Information über die Lichtreflexionsrichtung zu berechnen.

[0034] In dem Beobachtungsgerät gemäß dem dritten Aspekt kann vorzugsweise das Beleuchtungsgerät weiter die Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer zweiten Lichtquellenverteilung bestrahlen. Wenn eine Strahldichte in der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von dem Lichtemissionselement, das bei einem Winkel θ lokalisiert ist, wenn dieses von dem ersten Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{12}(\theta)$ auf der ersten Ebene ausgedrückt wird, wird die zweite Lichtquellenverteilung derart gesetzt, dass:

(a) wenn der erste spezifische Bereich eine Spreizung von $\pm\sigma$ mit dem Winkel θ_c mit dem Lichtemissionszentrum als das Zentrum auf der ersten Ebene aufweist, die Strahldichte $L_{12}(\theta)$ in einem beliebigen der ersten spezifischen Bereiche nicht null ist und die folgende Gleichung im Wesentlichen für ein beliebiges a gilt, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt:

$$L_{12}(\theta_c - a) + L_{12}(\theta_c + a) = 2 \times L_{12}(\theta_c), \text{ und}$$

(b) ein Verhältnis $L_{11}(\theta_c)/L_{12}(\theta_c)$ der Strahldichten des Lichtemissionszentrums sich in jedem der ersten spezifischen Bereiche ändert.

Daher kann die Beobachtung und Auswertung ungeachtet der Reflektanz der Oberfläche des Messobjektes durch Berechnen des Intensitätsverhältnisses der Teile eines reflektierten Lichtes durchgeführt werden, das in den zwei Lichtquellenverteilungen beobachtet wird.

[0035] In dem Beobachtungsgerät gemäß dem dritten Aspekt kann vorzugsweise das Beleuchtungsgerät weiter die Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer dritten Lichtquellenverteilung bestrahlen. In diesem Fall weist das Beleuchtungsgerät eine Mehrzahl von zweiten spezifischen Bereichen auf, von denen jeder eine Mehrzahl von Lichtemissionselementen in einem Abschnitt einer zweiten Ebene umfasst, die durch den Messpunkt läuft, die zweite Ebene ist unterschiedlich zu der ersten Ebene, die Mehrzahl von zweiten spezifischen Bereichen sind zueinander gleich in einer Länge eines Bogens auf der zweiten Ebene, wenn diese auf den Kreis mit dem Einheitsradius mit dem Messpunkt als das Zentrum projiziert werden und die Mehrzahl von zweiten spezifischen Bereichen unterscheiden sich voneinander in der Position des Lichtemissionszentrums, wenn ein Punkt auf dem zweiten spezifischen Bereich, der auf das Zentrum des Bogens projiziert wird, als das Lichtemissionszentrum des zweiten spezifischen Bereichs definiert wird. Wenn Strahldichten in der ersten Lichtquellenverteilung und der dritten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von dem Lichtemissionselement, das bei einem Winkel ϕ lokalisiert ist, wenn dieses von dem Messpunkt aus betrachtet

wird, als $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ auf der zweiten Ebene ausgedrückt werden, werden die erste Lichtquellenverteilung und die dritte Lichtquellenverteilung derart gesetzt, dass:

(a) wenn der zweite spezifische Bereich eine Spreizung von $\pm\sigma$ mit einem Winkel ϕ_c mit dem Lichtemissionszentrum als das Zentrum auf der ersten Ebene aufweist, die Strahldichten $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ in einem beliebigen der ersten spezifischen Bereiche nicht null sind und die folgenden Gleichungen im Wesentlichen für ein beliebiges a gelten, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt:

$$L_{21}(\phi_c - a) + L_{21}(\phi_c + a) = 2 \times L_{21}(\phi_c)$$

$$L_{23}(\phi_c - a) + L_{23}(\phi_c + a) = 2 \times L_{23}(\phi_c), \text{ und}$$

(b) ein Verhältnis $L_{21}(\phi_c)/L_{23}(\phi_c)$ der Strahldichten des Lichtemissionszentrums sich in jedem der zweiten spezifischen Bereiche ändert.

Daher kann ein Gradient der Oberfläche des Messobjekts für zwei Freiheitsgrade beobachtet und ausgewertet werden.

[0036] Ein vierter Aspekt der vorliegenden Erfindung betrifft ein Beobachtungsgerät zum Beobachten eines reflektierten Lichtes von einer Oberfläche eines Messobjektes, das an einem vorbestimmten Messpunkt angeordnet ist, wobei das Beobachtungsgerät umfasst: ein Beleuchtungsgerät zum Bestrahlen der Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer ersten Lichtquellenverteilung; und einen Bildabschnitt zum Abbilden der Oberfläche des Messobjekts, das mit dem Licht durch das Beleuchtungsgerät bestrahlt wird. In dem Beobachtungsgerät weist das Beleuchtungsgerät einen Lichtemissionsbereich mit einem vorbestimmten Ausmaß auf. Wenn eine Strahldichte in der ersten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von einem Punkt, der einen Winkel θ auf dem Lichtemissionsbereich aufweist, wenn dieser von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{11}(\theta)$ auf einer ersten Ebene ausgedrückt wird, die durch den Messpunkt läuft, wird die erste Lichtquellenverteilung derart gesetzt, dass:

(1) die Strahldichte $L_{11}(\theta)$ sich in einer kontinuierlichen oder schrittweisen Weise gemäß dem Winkel θ ändert, und

(2) in einem lokalen Bereich eines vorbestimmten Bereichs von $\pm\sigma$, der sich um einen Punkt konzentriert, der an einem vorbestimmten Winkel θ_c lokalisiert ist, wenn dieser von dem Messpunkt auf der ersten Ebene betrachtet wird, die Strahldichte $L_{11}(\theta)$ nicht null ist und die folgende Gleichung im Wesentlichen für ein beliebiges a gilt, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt:

$$L_{11}(\theta_c - a) + L_{11}(\theta_c + a) = 2 \times L_{11}(\theta_c).$$

[0037] Der Einfluss der Strahlungskeule, die aus dem Licht abgeleitet wird, das aus einem Bereich ($\theta_c - \sigma \leq \theta < \theta_c$) mit einem Winkel kleiner als jener des Lichtemissionszentrums (θ_c) emittiert wird und der Einfluss der Strahlungskeule von dem Licht, das aus einem Bereich ($\theta_c < \theta < \theta_c + \sigma$) mit einem Winkel größer als jener des Lichtemissionszentrums emittiert wird, löschen sich gegenseitig unter Verwendung der Lichtquellenverteilung aus, die die Bedingung (2) erfüllt. Daher kann das reflektierte Licht des Lichtes, das von einem Punkt emittiert wird, der bei dem Winkel θ_c lokalisiert ist, ähnlich zu der perfekten Spiegeloberfläche ungeachtet des Grades der Spreizung der Strahlungskeule in der Oberfläche des Messobjektes beobachtet werden. Das Bild, das mit dem Bildabschnitt erhalten wird, wird in dem Speicherabschnitt gespeichert, auf dem Anzeigeabschnitt angezeigt, und an ein externes Gerät ausgegeben oder verwendet, um die Information über die Lichtreflexionsrichtung zu berechnen.

[0038] In dem Beobachtungsgerät gemäß dem vierten Aspekt kann vorzugsweise das Beleuchtungsgerät weiter die Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer zweiten Lichtquellenverteilung bestrahlen, wobei die zweite Lichtquellenverteilung unterschiedlich zu der ersten Lichtquellenverteilung ist. Wenn in diesem Fall eine Strahldichte in der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von einem Punkt, der einen Winkel θ auf dem Lichtemissionsbereich aufweist, wenn dieser von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{12}(\theta)$ auf der ersten Ebene ausgedrückt wird, wird die zweite Lichtquellenverteilung vorzugsweise derart gesetzt, dass die Strahldichten $L_{12}(\theta)$ in dem lokalen Bereich nicht null ist und die folgende Gleichung im Wesentlichen für ein beliebiges a gilt, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt:

$$L_{12}(\theta_c - a) + L_{12}(\theta_c + a) = 2 \times L_{12}(\theta_c).$$

[0039] Daher kann die Beobachtung und Auswertung ungeachtet der Reflektanz der Oberfläche des Messobjektes durch Berechnen des Intensitätsverhältnisses der Teile eines reflektierten Lichtes durchgeführt werden, das in den zwei Lichtquellenverteilungen beobachtet wird.

[0040] In der vorliegenden Erfindung bestrahlt, wenn zwei Arten von Lichtquellenverteilungen verwendet werden, vorzugsweise das Beleuchtungsgerät die Oberfläche des Messobjektes mit dem Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung und dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung gleichzeitig, wobei das Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung sich von dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Wellenlänge unterscheidet und der Bildabschnitt trennt empfangenes, reflektiertes Licht in die Teile eines Lichts mit den Wellenlängen und erfasst eine Intensität jedes der Teile eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der ersten Lichtquellenverteilung und des Lichtes mit der zweiten Lichtquellenverteilung. Wenn drei Arten von Lichtquellenverteilungen verwendet werden, bestrahlt vorzugsweise das Beleuchtungsgerät gleichzeitig die Oberfläche des Messobjektes mit dem Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung, dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung und dem Licht mit der dritten Lichtquellenverteilung, wobei sich das Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung, das Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung, das Licht mit der dritten Lichtquellenverteilung voneinander in einer Wellenlänge unterscheiden und der Bildabschnitt trennt empfangenes reflektiertes Licht in die Teile eines Lichts mit den Wellenlängen und erfasst eine Intensität jedes der Teile eines reflektierten Lichts des Lichts mit der ersten Lichtquellenverteilung, des Lichts mit der zweiten Lichtquellenverteilung und des Lichts mit der dritten Lichtquellenverteilung.

[0041] Daher können die Grade einer Intensität der Teile von reflektiertem Licht in den zwei oder drei Arten einer Lichtquellenverteilung gleichzeitig durch eine Einzelzeitlichtbestrahlung und ein Einzelzeitabbilden erhalten werden, so dass eine Verarbeitungszeit verkürzt werden kann.

[0042] In der vorliegenden Erfindung kann die "erste Ebene" und die "zweite Ebene" beliebig gemäß der Richtung des zu messenden Winkels gesetzt werden und die "erste Ebene" und die "zweite Ebene" können senkrecht zu der Plattform sein, auf der das Messobjekt angeordnet ist oder eine Ebene parallel zu der Plattform.

[0043] Die "Strahldichte" bedeutet die Anzahl von Photonen je Zeiteinheit in einem Mikrobereich in einer spezifischen Richtung. Wenn demgemäß das Licht, das von dem Lichtemissionselement emittiert wird, die Spreizung aufweist, bedeutet die "Strahldichte in der Richtung zu dem Messpunkt von dem Lichtemissionselement" ein Teil (lediglich das Licht, das den Mikrobereich auf dem Messpunkt erreicht) des Lichtes, das von dem Lichtemissionselement emittiert wird. Wenn das Licht, das von dem Lichtemissionselement emittiert wird, die Spreizung aufweist, ist vorzugsweise die Strahldichte des Lichtemissionselements liniensymmetrisch in Bezug auf die gerade Linie verteilt, die durch das Lichtemissionselement und den Messpunkt auf der ersten Ebene läuft.

[0044] Die Anordnungen und die Anzahl einer "Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen" sind beliebig, wobei die zwei ersten spezifischen Bereiche, die benachbart zueinander sind, getrennt sein, in Kontakt miteinander sein oder miteinander überlappen können. Die "Mehrzahl der zweiten spezifischen Bereiche" sind in der ähnlichen Weise angeordnet. Das Beleuchtungsgerät kann einen Teil (Lichtquelle) umfassen, der das Licht in einem Bereich außer dem spezifischen Bereich emittiert. Vorzugsweise wird die Größe des spezifischen Bereichs, d. h. der Wert von σ , auf den Maximalwert der erwarteten Spreizung der Strahlungskeule oder mehr gesetzt. Die Spreizung der Strahlungskeule hängt von der Art des Messobjektes ab.

[0045] Die Strahldichten der Mehrzahl von Lichtemissionsbereichen, die in einem spezifischen Bereich umfasst sind, können beliebig in dem spezifischen Bereich verteilt sein, so lange die Bedingung (a) erfüllt ist. Z. B. kann sich in einem einzelnen spezifischen Bereich die Strahldichte kontinuierlich ändern, die Strahldichte kann sich in einer schrittweisen Weise ändern oder die Strahldichte kann konstant gehalten werden.

[0046] In der Bedingung (a) bedeutet "im Wesentlichen gelten", dass der Einfluss der Strahlungskeule nicht vollständig ausgelöscht werden muss. Falls z. B. ein Unterschied in einer Intensität des beobachteten reflektierten Lichtes zwischen der Minimalspreizung der Strahlungskeule und der Maximalspreizung der Strahlungskeule existiert, kann die Richtung der Lichtquelle (spezifischer Bereich) spezifiziert werden, wenn der Unterschied ausreichend kleiner als ein Unterschied in einer Intensität des reflektierten Lichtes zwischen den Lichtquellen (spezifischen Bereichen) ist.

[0047] Beispiele der "Information über den Lichtreflexionswinkel an dem Messpunkt der Oberfläche des Messobjektes" umfassen die Richtung der Lichtquelle (spezifischer Bereich), die das Licht emittiert, das mit dem Bildabschnitt beobachtet wird, den Gradienten an dem Messpunkt auf der Oberfläche des Messobjektes und die Normalrichtung an dem Messpunkt auf der Oberfläche des Messobjektes.

[0048] Die vorliegende Erfindung kann als ein Messgerät, ein Beobachtungsgerät oder ein Bildsystem mit zumindest einigen der oben beschriebenen Vorrichtungen angesehen werden. Die vorliegende Erfindung kann

ebenfalls als ein Oberflächenprofilmessverfahren, ein Messverfahren, ein Beobachtungsverfahren oder ein Bildverfahren mit zumindest einigen der oben beschriebenen Verfahren oder ein Programm zum Realisieren eines derartigen Verfahrens angesehen werden. Die oben beschriebenen Vorrichtungen und Verfahren können jeweils soweit wie möglich miteinander kombiniert werden, um die vorliegende Erfindung zu konfigurieren.

[0049] Gemäß der vorliegenden Erfindung kann die Normaleninformation (XYZ-Komponente eines Einheitsvektors oder eine Zenitwinkelkomponente und Azimutwinkelkomponente) mit ausreichender Genauigkeit sogar auf einem Messobjekt berechnet werden, bei dem die Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist oder bei dem die Reflektanzeigenschaft gleichförmig ist, aber die Reflektanzeigenschaft sich als solche von dem Referenzobjekt unterscheidet.

[0050] Gemäß der vorliegenden Erfindung kann das reflektierte Licht ungeachtet der Ungleichmäßigkeit der Reflektanzeigenschaft (d. h. die Variation im Grad der Spreizung der Strahlungskeule) beobachtet werden. Darüber hinaus kann die Information über den Lichtreflexionswinkel der Oberfläche des Messobjektes sogar erhalten werden, falls das Messobjekt eine unbekannte Reflektanz aufweist.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0051] Fig. 1 zeigt eine Ansicht, die eine Kurzübersicht eines dreidimensionalen Messgerätes in einer ersten Ausführungsform zeigt;

[0052] Fig. 2 zeigt eine Ansicht, die Funktionsblöcke des dreidimensionalen Messgerätes in der ersten Ausführungsform zeigt;

[0053] Fig. 3 zeigt eine Ansicht, die ein anderes Beispiel eines Profilmessers zeigt;

[0054] Fig. 4 zeigt eine Ansicht, die ein Farbmuster in einem Lichtemissionsbereich des Beleuchtungsgeräts für jedes RGB zeigt;

[0055] Fig. 5A und Fig. 5B zeigen Ansichten, die eine Änderung in jeder Farbe eines RGB in dem Lichtemissionsbereich des Beleuchtungsgerätes beschreiben, wobei Fig. 5A eine perspektivische Ansicht und Fig. 5B eine Seitenansicht ist;

[0056] Fig. 6 zeigt eine Ansicht, die eine Reflektanzeigenschaft beschreibt;

[0057] Fig. 7A und Fig. 7B zeigen fotografierte Bilder in einem Fall, bei dem ein Spiegeloberflächenobjekt aus Fig. 7A und ein Objekt aus Fig. 7B, bei dem eine Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist, mit einer Beleuchtung eines Streifenform-Farbmusters bestrahlt werden, wobei das Farbmuster in Fig. 7B unterbrochen ist;

[0058] Fig. 8 zeigt eine Ansicht zum Beschreiben einer Berechnung einer Strahldichte;

[0059] Fig. 9 zeigt eine Ansicht, die Effekte eines Farbmusters des Beleuchtungsgerätes in der ersten Ausführungsform beschreibt;

[0060] Fig. 10A und Fig. 10B zeigen fotografierte Bilder in einem Fall, bei dem ein Spiegeloberflächenobjekt aus Fig. 10A und ein Objekt aus Fig. 10B, bei dem eine Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist, mit einer Beleuchtung der vorliegenden Ausführungsform bestrahlt werden, bei der das Farbmuster in Fig. 10B aufrechterhalten wird;

[0061] Fig. 11 zeigt eine Ansicht, die eine Entsprechung einer Richtung einer Normallinie einer zu messenden Oberfläche und eines Lichtemissionsbereiches beschreibt;

[0062] Fig. 12 zeigt eine Ansicht, die Funktionsblöcke einer Oberflächenprofilberechnungseinheit zeigt;

[0063] Fig. 13 zeigt eine Ansicht, die Effekte eines Farbmusters des Beleuchtungsgerätes in der ersten Ausführungsform beschreibt;

[0064] Fig. 14A und Fig. 14B zeigen Ansichten, die ein anderes Beispiel eines Farbmusters des Beleuchtungsgerätes zeigen;

[0065] Fig. 15A und Fig. 15B zeigen Ansichten, die ein Farbmuster eines Beleuchtungsgerätes in einer zweiten Ausführungsform zeigen;

[0066] Fig. 16 zeigt eine Ansicht, die eine Kurzübersicht eines dreidimensionalen Messgerätes gemäß der zweiten Ausführungsform zeigt;

[0067] Fig. 17 zeigt eine Ansicht, die ein Farbmuster in der zweiten Ausführungsform für jedes RGB zeigt;

[0068] Fig. 18 zeigt eine Ansicht, die das Prinzip einer dreidimensionalen Messung zeigt;

[0069] Fig. 19 zeigt eine Ansicht, die einen Fall eines Durchführens der dreidimensionalen Messung auf einem Spiegeloberflächenobjekt beschreibt;

[0070] Fig. 20A und Fig. 20B zeigen Ansichten, die eine Oberflächenprofilmessung durch ein Farbhervorhebungsverfahren beschreiben, wobei Fig. 20A eine Ansicht einer Kurzübersicht des Gerätes zeigt und Fig. 20B eine Ansicht zeigt, die ein Messprinzip zeigt;

[0071] Fig. 21 zeigt eine Ansicht, die eine Oberflächenprofilmessung durch ein Beleuchtungsunterschiedshervorhebungsverfahren beschreibt;

[0072] Fig. 22 zeigt eine Ansicht, die ein Beispiel einer Lichtquellenverteilung zeigt, in der ein Einfluss einer Strahlungskeule ausgelöscht wird;

[0073] Fig. 23 zeigt eine Ansicht, die ein Konfigurationsbeispiel eines Messgerätes zeigt; und

[0074] Fig. 24 zeigt eine Ansicht, die ein Konfigurationsbeispiel eines Messgerätes zeigt.

GENAUE BESCHREIBUNG

[0075] Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung werden nun im Detail erläuternd in Bezug auf die Zeichnungen beschrieben.

(Erste Ausführungsform)

<Kurze Übersicht>

[0076] Ein Profilmessgerät (Normalenmessgerät) gemäß einer ersten Ausführungsform wird als ein Teil eines dreidimensionalen Messgerätes zum Durchführen einer dreidimensionalen Messung eines Spiegeloberflächenobjektes verwendet. Wie in Fig. 18 gezeigt, ist die dreidimensionale Messung (Triangulation) eine Technik eines Prüfens der Entsprechungsbeziehung von Bildpunkten von Bildern, die mit einer Mehrzahl von Kameras eines unterschiedlichen Bildwinkels fotografiert werden und eines Berechnens einer Parallaxe, um die Entfernung zu messen. Normalerweise wird der entsprechende Bildpunkt durch Berechnen der Ähnlichkeit mit dem Leuchtdichtewert als eine Merkmalsgröße geprüft, wenn der entsprechende Bildpunkt geprüft wird.

[0077] Falls das Messobjekt ein Spiegeloberflächenobjekt ist, stellt der Leuchtdichtewert, der in dem Bild fotografiert wird, nicht die Merkmalsgröße der Objektfläche als solche dar, sondern wird durch die Reflexion des umgebenden Objektes bestimmt. Wenn daher das Spiegeloberflächenobjekt mit zwei Kameras fotografiert wird, wie in Fig. 19 gezeigt, unterscheidet sich die Position der Objektfläche, bei der das emittierte Licht von einer Lichtquelle L1 reflektiert. Beim Durchführen der dreidimensionalen Messung unter Verwendung derartiger Punkte wie dem entsprechenden Bildpunkt wird der Ort eines Punktes L2 in der Figur tatsächlich gemessen und es tritt der Fehler auf. Je größer der Unterschied in den Bildwinkeln der Kameras ist, desto größer ist der Fehler.

[0078] Die Ursache eines derartigen Fehlers ist, dass die Leuchtdichteinformation, die auf der Oberfläche des Spiegeloberflächenobjektes reflektiert, nicht das Merkmal der Oberfläche als solche des Spiegeloberflächenobjektes ist. Das heißt, um die dreidimensionale Messung korrekt durchzuführen, muss die Entsprechung des Bildpunktes zwischen den abgebildeten Bildern fokussierend auf das Merkmal der Oberfläche des Spiegeloberflächenobjektes geprüft werden. Die Richtung der Normallinie kann für das Merkmal der Oberfläche des Spiegeloberflächenobjektes verwendet werden. Daher wird bei dem dreidimensionalen Messgerät gemäß der

vorliegenden Ausführungsform die dreidimensionale Messung fokussierend auf die Richtung der Normallinie der Objektoberfläche durchgeführt.

[0079] Fig. 1 zeigt eine Ansicht, die eine kurze Übersicht des dreidimensionalen Messgerätes gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt. Fig. 2 zeigt eine Ansicht, die Funktionsblöcke des dreidimensionalen Messgerätes gemäß der vorliegenden Ausführungsform zeigt. Wie in Fig. 1 gezeigt, wird ein Messobjekt **4**, das auf einer Plattform **5** angeordnet ist, durch zwei Kameras **1, 2** fotografiert. Hier nimmt die Kamera **1** Bilder aus einer vertikalen Richtung auf und die Kamera **2** nimmt Bilder aus einer Richtung auf, die um ungefähr 40° zu der vertikalen Richtung verschoben ist. Das Messobjekt **4** wird mit Licht von einem haubenförmigen Beleuchtungsgerät **3** bestrahlt und die Kameras **1, 2** fotografieren das reflektierte Licht des Lichtes von dem Beleuchtungsgerät **3**. Das fotografierte Bild wird in einem Computer **6** erfasst, dann bildverarbeitet und eine dreidimensionale Messung wird durchgeführt.

[0080] Der Computer **6** agiert als eine Oberflächenprofilberechnungseinheit **7**, eine Koordinatentransformationseinheit **8**, eine Entsprechungspunktberechnungseinheit **9** und eine Triangulationseinheit **10**, wie in Fig. 2 gezeigt, durch Veranlassen einer CPU, ein Programm auszuführen. Jede Funktion kann teilweise oder insgesamt durch eine dedizierte Hardware realisiert werden.

[0081] Die Bilder, die durch die Kameras **1, 2** fotografiert werden, werden jeweils in die Oberflächenprofilberechnungseinheit **7** eingegeben. Die Oberflächenprofilberechnungseinheit **7** berechnet die Richtung der Normallinie an jeder Position des fotografierten Messobjektes **4**. Die Details des Berechnungsvorgangs der Normalrichtung werden hiernach im Detail beschrieben.

[0082] Die Koordinatentransformationseinheit **8** führt einen Koordinatentransformationsvorgang eines Ausrichtens der Richtung der Normallinie, die aus dem Bild berechnet wird, das durch die Kamera **2** fotografiert wird, zu dem Koordinatensystem der Kamera **1** durch. Die Positionsbeziehung der Kameras **1, 2** wird in einer Kalibrierung eingestellt, die vor der Messung durchgeführt wird. Eine Transformationsmatrix zum Transformieren des Koordinatensystems der Kamera **2** in das Koordinatensystem der Kamera **1** wird aus den Parametern erhalten, die bei der Kalibrierung erfasst werden.

[0083] Die Entsprechungspunktberechnungseinheit **9** berechnet den entsprechenden Bildpunkt aus zwei Normalenbildern, deren Koordinatensysteme vereinheitlicht sind. Dieser Vorgang wird durch Erhalten der Normallinie der gleichen Richtung wie die Normallinie an dem fokussierenden Bildpunkt in dem Normalenbild der Kamera **1** aus dem Normalenbild der Kamera **2** durchgeführt. In diesem Fall existiert der entsprechende Bildpunkt auf einer Epipolarlinie und daher muss die relevante Linie lediglich gesucht werden. Wenn nach dem Bildpunkt mit der Normallinie der gleichen Richtung gesucht wird, wird der Bildpunkt mit der höchsten Ähnlichkeit unter Verwendung nicht nur der Information über lediglich einen fokussierenden Bildpunkt, sondern ebenfalls von Information über dessen umgebende Bildpunkte gesucht. Die Ähnlichkeit kann unter Verwenden eines 7-Bildpunkt × 7-Bildpunkt-Fensters mit dem fokussierenden Bildpunkt als ein Zentrum mit der Position erhalten werden, bei der die Richtung der Normallinien am meisten als der Entsprechungsbildpunkt übereinstimmt.

[0084] Nachdem der Entsprechungspunkt in zwei Bildern in der obigen Weise erhalten wird, wird die Tiefeninformation (Entfernung) für jede Position des Messobjektes **4** durch die Triangulationseinheit **10** berechnet. Dieser Prozess ist als eine Technik bekannt und daher wird eine genauere Beschreibung ausgelassen.

<Oberflächenprofilmessung>

[0085] Ein Vorgang eines Berechnens des Oberflächenprofils (normal) des Messobjektes **4** wird nun im Detail beschrieben.

[Beleuchtungsgerät]

[0086] Zunächst wird eine Konfiguration eines Gerätes zum Messen des Oberflächenprofils beschrieben. Wie in Fig. 1 gezeigt, wird für die Oberflächenprofilmessung das Messobjekt mit einem Licht beleuchtet, das von dem haubenförmigen Beleuchtungsgerät **3** abgestrahlt wird und das von diesem reflektierte Licht wird mit den Kameras **1, 2** fotografiert. Das fotografierte Bild ist ein Bild, das durch den Computer **6** verarbeitet wird, um das Oberflächenprofil zu messen. Das Beleuchtungsgerät wird mit den zwei Löchern **3a, 3b** gebildet, um die Kameras **1, 2** zu fotografieren.

[0087] In der vorliegenden Ausführungsform wird eine Konfiguration eines Verwendens von zwei Kameras angenommen, da das Oberflächenprofil für eine dreidimensionale Messung gemessen wird, jedoch kann lediglich eine Kamera angeordnet sein, wie in **Fig. 3** gezeigt, falls es der Zweck ist, einfach das Oberflächenprofil zu messen, ohne die dreidimensionale Messung durchzuführen. In diesem Fall kann die Messung des Oberflächenprofils durch Durchführen eines integralen Vorgangs auf dem Normalenbild der Kamera **1** oder der Kamera **2** durchgeführt werden.

[0088] Das Beleuchtungsgerät **3** weist eine Haubenform auf, wie in der Figur gezeigt und die gesamte Haubenform ist der Lichtemissionsbereich. Ein derartiges Beleuchtungsgerät **3** kann durch z. B. einen haubenförmigen Farbfilter und eine Lichtquelle zum Abstrahlen weißen Lichtes von dessen Äußerem konfiguriert sein. Darüber hinaus kann eine Konfiguration angenommen werden, bei der eine Mehrzahl von LED-Chips auf der Innenseite der Haube feldmäßig angeordnet ist, um Licht durch eine Diffusionsplatte zu strahlen. Eine Flüssigkristallanzeige, eine organische EL-Anzeige oder Ähnliches können zu einer Haubenform gebildet sein, um das Beleuchtungsgerät **3** zu konfigurieren.

[0089] Das Profil des Lichtemissionsbereiches des Beleuchtungsgerätes **3** ist vorzugsweise eine halbkugelförmige Haubenform derart, dass Licht von allen Richtungen des Messobjektes gestrahlt werden kann. Die Normallinie in jeder Richtung kann daher gemessen werden. Solange jedoch die Form derart ist, dass Licht von einer Position entsprechend der zu messenden Normalrichtung gestrahlt wird, kann die Form des Lichtemissionsbereiches von beliebiger Form sein. Falls z. B. die Richtung der Normallinie der Oberfläche auf im Wesentlichen die Vertikalrichtung begrenzt ist, braucht das Licht nicht in der Horizontalrichtung (von einer Richtung eines flachen Winkels) gestrahlt zu werden.

[0090] Die Lichtemission an jeder Position des Lichtemissionsbereiches des Beleuchtungsgerätes wird gesetzt, um Licht einer an allen Positionen unterschiedlichen spektralen Verteilung zu emittieren. Wenn z. B. eine Lichtemission durch Zusammensetzen von Lichtkomponenten von drei Farben eines roten Lichts (R), eines grünen Lichts (G) und eines blauen Lichts (B) realisiert wird, wird die Lichtemissionsintensität jeder Komponente von RGB in Bezug auf unterschiedliche Richtungen auf der Haube geändert, wie in **Fig. 4** gezeigt. Hier ist die Änderungsrichtung auf 120° in Bezug zueinander gesetzt. Durch die Kombination derartiger RGB-Komponenten weisen die Lichtemissionen an jeder Position des Lichtemissionsbereiches alle unterschiedlichen Kombinationen jeder Komponente von RGB auf. Falls daher das Licht von an allen Positionen unterschiedlichen spektralen Verteilungen emittiert wird und die Einfallsrichtung auf das Messobjekt unterschiedlich ist, kann die spektrale Verteilung (Intensitätsverhältnis von RGB) des Einfallslichtes gesetzt werden, unterschiedlich zu sein.

[0091] **Fig. 5A** und **Fig. 5B** zeigen eine Änderung in einer Intensität eines einzelnen Komponentenlichtes in **Fig. 4**. **Fig. 5A** ist eine perspektivische Ansicht, die eine isochromatische Linie (gleiche Lichtemissionsintensität) eines einzelnen Komponentenlichtes zeigt. **Fig. 5B** ist eine Seitenansicht entsprechend zu **Fig. 5A**. Eine Schnittlinie einer Ebene, die durch den Durchmesser der Haube (Halbkugel) läuft und der Haube wird die isochromatische Linie. In **Fig. 4** und **Fig. 5** wird die Lichtemissionsintensität jeder Komponente von RGB gezeigt, sich in einer schrittweisen Weise (in der Figur eine Änderung in acht Schritten) zu ändern, dies dient jedoch dazu, die Ansicht der Zeichnung zu ermöglichen und tatsächlich ändert sich die Lichtemissionsintensität jedes Komponentenlichtes kontinuierlich. Die Änderung in einer Lichtemissionsintensität wird gesetzt, um sich linear in Bezug auf einen Winkel zu ändern. Insbesondere unter der Annahme, dass der Minimalwert der Lichtemissionsintensität L_{\min} ist, der Maximalwert der Lichtemissionsintensität L_{\max} ist und der Winkel, der durch die Ebene einschließlich der isochromatischen Linie und der horizontalen Ebene gebildet wird, θ ist, wird die Lichtemissionsintensität derart gesetzt, dass die Lichtemissionsintensität $L(\theta)$ auf der isochromatischen Linie die Beziehung $L(\theta) = L_{\min} + (L_{\max} - L_{\min}) \times (\theta/\pi)$ erfüllt. Einen "Pol" wie in **Fig. 5A** gezeigt definierend, ist θ die Länge und die Lichtquellenverteilung in der vorliegenden Erfindung kann als sich linear ändernd in Bezug auf die Länge ausgedrückt werden.

[0092] Durch die Verwendung des Beleuchtungsgerätes **3** mit einer derartigen Lichtquellenverteilung kann das Oberflächenprofil (normal) sogar in Bezug auf das Messobjekt **4** gemessen werden, bei dem die Reflektanzeigenschaft nicht gleichmäßig ist. Diffuse Reflexion tritt auf, wenn die Oberfläche des Messobjektes **4** eine imperfekte Spiegeloberfläche ist. Daher umfasst das reflektierte Licht des Lichts, das in die Objektoberfläche eintritt, scharfes und enges Licht (eine Spitze) in der regulären Reflexionsrichtung und schwach gespreiztes Licht (Strahlungskeule) in der Richtung, die von der regulären Reflexionsrichtung verschoben ist, wie in **Fig. 6** gezeigt. Die Strahlungskeule bedeutet die Spreizung des von der Spiegeloberfläche reflektierten Lichts, die durch eine mikro-irreguläre Oberfläche (Microfazette) auf der Messobjektoberfläche erzeugt wird. Die Strahlungskeule breitet sich weit aus, wenn sich eine Variation der Orientierung der Microfazette erhöht, d. h. wenn

die Oberfläche aufgeraut ist. Andererseits nähert sich die Oberfläche dem Zustand der perfekten Spiegeloberfläche mit einer abnehmenden Variation der Orientierung der Microfazette. Hier stellt die Verschiebung (Winkel) von der regulären Reflexionsrichtung und das Verhältnis der Lichtintensität der Strahlungskeule in Bezug auf die Spitze die Reflektanzeigenschaft dar. Die Form der Strahlungskeule unterscheidet sich gemäß der Oberflächenposition in einem Objekt, bei dem die Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist. Das Verhältnis der Strahlungskeule und der Spitze nähert sich 1 an und die Strahlungskeule und die Spitze können kaum voneinander unterschieden werden.

[0093] Mit dem Vorliegen einer Spreizung der Strahlungskeule unterliegt der Leuchtdichtewert in dem fotografierten Bild einem Einfluss von nicht nur dem Licht des Lichtemissionsbereichs entsprechend der regulären Reflexionsrichtung des Objekts, sondern ebenfalls dem Licht aus dessen Umgebung. Falls z. B. eine streifenförmige Beleuchtung, wie in **Fig. 7A** gezeigt, projiziert wird, mischt sich das reflektierte Licht mit dem Umgebungslicht, wie auf der linken Seite von **Fig. 7B** gezeigt, in dem diffusen Objekt.

[0094] Falls in diesem Fall das Licht von der Umgebung ausgelöscht wird und ein Farbmerkmal ($R/(R + G)$ usw.) ähnlich zu dem Fall einer perfekten Spiegeloberfläche aufrecht erhalten wird, kann dieses ähnlich dazu behandelt werden, wie wenn die Messung mit dem Objekt einer perfekten Spiegeloberfläche als das Objekt durchgeführt wird. Die folgende Beschreibung beschreibt ein Auslöschen des Einflusses von Licht aus der Umgebung durch Verwenden des Beleuchtungsmusters in der vorliegenden Ausführungsform, um dadurch eine Fotografie des Bildes mit einem Farbmerkmal ähnlich zu dem Fall der perfekten Spiegeloberfläche zu ermöglichen.

[0095] Wie in **Fig. 8** gezeigt betrachtet man ein Licht, das in einen Punkt p von (θ_i, ϕ_i) -Richtung eintritt und das in einer (θ_r, ϕ_r) -Richtung reflektiert wird. Ein kleiner Raumwinkel in der (θ_i, ϕ_i) -Richtung am Punkt p ist $d\omega_i$. Unter der Annahme, dass eine Strahldichte aus dem kleinen Raumwinkel $L_i(p, \theta_i, \phi_i)$ ist, kann dies als die Strahldichte angesehen werden, d. h. die Lichtquellenverteilung, bei (θ_i, ϕ_i) auf einer Kugel eines Radius Eins. Bei Betrachtung eines kleinen Bereiches dA_s einschließlich Punkt p aus der (θ_i, ϕ_i) -Richtung ist der entsprechende Raumwinkel dieses Bereiches $dA_s \cos \theta_i$.

[0096] Daher kann die Strahlungsbeleuchtung $dE_i(p, \Omega)$ zu Punkt p durch das Licht, das aus dem kleinen Raumwinkel $d\omega_i$ eintritt, wie unten ausgedrückt werden.

$$\begin{aligned} dE_i(p, d\omega_i) &= \frac{L_i(p, \theta_i, \phi_i) dA_s \cos \theta_i d\omega}{dA_s} \\ &= L_i(p, \theta_i, \phi_i) \cos \theta_i d\omega \end{aligned}$$

[0097] Daher kann die Strahldichte $L_r(p, \theta_r, \phi_r)$ von Punkt p zu (θ_r, ϕ_r) wie unten unter Verwendung der Reflektanzeigenschaft f der Objekt Oberfläche ausgedrückt werden.

$$\begin{aligned} L_r(p, \theta_r, \phi_r) &= \iint_{\Omega} f(p, \theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) dE_i(p, d\omega_i) \\ &= \iint_{\Omega} f(p, \theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) L_i(p, \theta_i, \phi_i) \cos \theta_i d\omega_i \\ &= \iint_{\Omega} f(p, \theta_i, \phi_i, \theta_r, \phi_r) L_i(p, \theta_i, \phi_i) \cos \theta_i \sin \theta_i d\theta_i d\phi_i \end{aligned}$$

...(1)

[0098] Hier stellt Ω des Integralbereiches den Raumwinkel auf der Halbkugeloberfläche dar, d. h. den Bereich der Lichtquellenverteilung.

[0099] Falls die Objekt Oberfläche eine perfekte Spiegeloberfläche ist, kann die Strahldichte wie unten ausgedrückt werden.

$$L_r(p, \theta_r, \phi_r) = L_i(p, \theta_{is}, \phi_{is} + \pi) \quad (2)$$

[0100] Hier stellt (θ_{is}, ϕ_{is}) die reguläre Reflexionsrichtung von einer Position p in der (θ_r, ϕ_r) -Richtung dar.

[0101] Hier kann in einem beliebigen Bereich (Bereich einer Lichtquellenverteilung) $\Omega(\theta_{is}, \phi_{is})$, der implizit (θ_{is}, ϕ_{is}) umfasst, das Objekt behandelt werden, wie wenn das Objekt eine Spiegeloberfläche wäre, sogar falls die Objektoberfläche keine Spiegeloberfläche ist, unter Berücksichtigung der Lichtquellenverteilung $L_i(p, \theta_i, \phi_i)$, die (1) = (2) erfüllt. D. h. die spektrale Charakteristik in der regulären Reflexionsrichtung ist immer erfassbar, sogar falls sich die Reflektanzeigenschaft des Messobjektes ändert. Die Lichtquellenverteilung, die (1) = (2) erfüllt, kann als die Lichtquellenverteilung ausgedrückt werden, bei der die Strahldichte des Schwerpunkts der Lichtquellenverteilung eines punktsymmetrischen Bereiches mit der Strahldichte des Zentrums des punktsymmetrischen Bereiches in einem beliebigen punktsymmetrischen Bereich auf dem Lichtemissionsbereich übereinstimmt.

[0102] Da eine derartige Lichtquellenverteilung $L_i(p, \theta_i, \phi_i)$ schwierig analytisch abzuleiten ist, ist es realistisch, eine Näherungslösung zu verwenden. Das Muster (**Fig. 5A**), bei dem sich die Leuchtdichte linear in Bezug auf die Längsrichtung wie oben beschrieben ändert, das in der vorliegenden Ausführungsform verwendet wird, ist eine derartige Näherungslösung. Das Beleuchtungsmuster (**Fig. 4**), das derartige Muster kombiniert, ist ebenfalls eine Näherungslösung. Daher kann L_i durch eine Kugelfunktionserweiterung ausgedrückt werden.

[0103] Das Auslöschen des Einflusses der Strahlungskeule (diffuse Reflexion) durch das Beleuchtungsmuster, bei dem sich die Leuchtdichte linear in Bezug auf die Längsrichtung ändert, wie in **Fig. 5A** gezeigt, wird von einem unterschiedlichen Standpunkt aus mit Bezug auf **Fig. 9** referenziert. **Fig. 9** zeigt eine Ansicht, die eine eindimensionale Richtung einer Äquatorrichtung zeigt, in der Effekte nahe einem Ideal erhalten werden, um die Effekte durch ein derartiges Beleuchtungsmuster zu beschreiben. Hier betrachtet man lediglich Licht von drei Punkten eines Winkels α (reguläre Reflexionsrichtung), eines Winkels $\alpha + \alpha$ und eines Winkels $\alpha - \alpha$. Der Strahlungskeulenkoeffizient des Lichtes von den Positionen der Winkel $\alpha + \alpha$, $\alpha - \alpha$ ist zueinander gleich und beträgt σ . Die Lichtemissionsintensität des Beleuchtungsgerätes **3** ist proportional zu dem Winkel (Länge) und beträgt $(\alpha - \alpha)L$, αL , $(\alpha + \alpha)L$ an der jeweiligen Position des Winkels von $\alpha - \alpha$, α , $\alpha + \alpha$. Die Zusammensetzung des reflektierten Lichtes von den drei Punkten wird $\sigma(\alpha - \alpha)L + \alpha L + \sigma(\alpha + \alpha)L = (1 + 2\sigma)\alpha L$ und der Einfluss des Diffusionslichtes des Lichtes von der Umgebung wird ausgelöscht. Hier werden lediglich zwei Punkte von $\alpha \pm \alpha$ betrachtet, es sollte jedoch selbstverständlich sein, dass der Einfluss des Diffusionslichtes des Lichtes von der Umgebung vollständig ausgelöscht wird. Daher wird die Merkmalsgröße, die durch das Verhältnis der Lichtemissionsintensität jeder Farbe von RGB dargestellt wird, der gleiche Wert wie im Falle der perfekten Spiegeloberflächenreflexion.

[0104] Die Äquatorrichtung ist die Richtung, bei der die idealsten Effekte erhalten werden. In anderen Richtungen ist die oben beschriebene Linearität zerstört und in einem engen Sinn kann der Einfluss der diffusen Reflexion nicht ausgelöscht werden, jedoch kann der Einfluss der diffusen Reflexion in einem Bereich beseitigt werden, der keine praktischen Probleme aufwirft.

[0105] Die Umgebung des Beleuchtungsbereiches ist zwischen einem Fall verschwommen, bei dem das Spiegeloberflächenobjekt mit der Beleuchtung der vorliegenden Ausführungsform bestrahlt wird, wie in **Fig. 10A** gezeigt und einem Fall, bei dem das Objekt, bei dem die Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist, mit der Beleuchtung der vorliegenden Ausführungsform bestrahlt wird, wie in **Fig. 10B** gezeigt, jedoch das Farbmerkmal in dem Inneren aufrechterhalten wird. Sogar wenn daher auf das Objekt gezielt wird, bei dem die Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist, kann das Oberflächenprofil ähnlich zu dem Fall der perfekten Spiegeloberflächenreflexion erfasst werden.

[0106] Wie oben beschrieben, kann durch die Verwendung des Beleuchtungsgerätes **3** gemäß der vorliegenden Ausführungsform das Objekt in der gleichen Weise wie das perfekte Spiegeloberflächenobjekt ungeachtet der Reflektanzeigenschaft des Messobjektes behandelt werden. Das Beleuchtungsmuster des Beleuchtungsgerätes **3** kombiniert Muster, bei denen sich RGB graduell in unterschiedlichen Richtungen ändert, wie in **Fig. 4** gezeigt und daher wird Licht einer an allen Positionen unterschiedlichen spektralen Verteilung emittiert. Durch die Verwendung des Beleuchtungsgerätes **3**, das Licht einer spektralen Verteilung emittiert, die an allen Punkten des Lichtemissionsbereiches unterschiedlich ist, kann das Oberflächenprofil (normal) des Messobjektes **4** aus lediglich einem einzigen Bild gemessen werden. Dies ist unter Bezug auf **Fig. 11** beschrieben. Unter der Annahme, dass die Richtung der Normallinie an einer bestimmten Position auf der Oberfläche des Messobjektes **4** die Richtung eines Pfeiles **N** ist, ist der Zenitwinkel θ und der Azimutwinkel ϕ . In diesem Fall wird die Farbe der Position, die durch die Kamera **1** fotografiert wird, das reflektierte Licht des Lichtes, das in dem Bereich **R** des Beleuchtungsgerätes **3** emittiert wird und in das Messobjekt **4** eingetreten ist. Daher entsprechen sich die Richtung (θ, ϕ) der Normallinie der Oberfläche und die Richtung des Einfallslichtes (eine Position in dem

Lichtemissionsbereich des Beleuchtungsgeräts **3**) Eins zu Eins. Da das Licht, das von unterschiedlichen Richtungen eingetreten ist, unterschiedliche spektrale Verteilungen aufweist (emittierendes Licht einer spektralen Verteilung, die an allen Positionen in dem Lichtemissionsbereich unterschiedlich ist), kann das Beleuchtungsgerät **3** die Farbe (spektrale Verteilung) des fotografierten Bildes prüfen, um die Richtung der Normallinie an der relevanten Position für sowohl den Zenitwinkel als auch den Azimutwinkel zu berechnen.

[Normalenberechnungsabschnitt]

[0107] Die Details des Oberflächenprofilberechnungsvorgangs werden unten während einem Beschreiben der Oberflächenprofilberechnungseinheit **7** in dem Computer **6** beschrieben. **Fig. 12** zeigt eine Ansicht, die genauere Funktionsblöcke der Oberflächenprofilberechnungseinheit **7** zeigt. Wie in der Figur gezeigt, umfasst die Oberflächenprofilberechnungseinheit **7** einen Bildeingabeabschnitt **71**, einen Merkmalsgrößenberechnungsabschnitt **72**, eine Normallinien-Merkmalsgrößentabelle **73** und einen Normalenberechnungsabschnitt **74**.

[0108] Der Bildeingabeabschnitt **71** ist ein Funktionsabschnitt zum Annehmen der Eingabe von Bildern, die durch die Kameras **1, 2** fotografiert werden. Wenn die Analogdaten von den Kameras **1, 2** empfangen werden, wandelt der Bildeingabeabschnitt **71** die Analogdaten in Digitaldaten um. Der Bildeingabeabschnitt **71** kann ein Bild von Digitaldaten durch einen USB-Anschluss, einen IEEE 1394-Anschluss und Ähnliches empfangen. Zusätzlich kann eine Konfiguration eines Lesens von Bildern aus einem tragbaren Speichermedium über ein LAN-Kabel angenommen werden.

[0109] Der Merkmalsgrößenberechnungsabschnitt **72** berechnet die Merkmalsgröße in Bezug auf die spektrale Komponente des reflektierten Lichts für jeden Bildpunkt, der das Messobjekt **4** aus dem eingegebenen, fotografierten Bild widerspiegelt. In der vorliegenden Ausführungsform projiziert das Beleuchtungsgerät **3** Licht, das drei Komponentenlicht eines roten Lichts (R), eines grünen Lichts (G) und eines blauen Lichts (B) kombiniert und daher wird das Verhältnis jeder Komponente von RGB für die Merkmalsgröße verwendet. Z. B. wird für jede Komponente von RGB die Kombination von (R, G, B) als die Merkmalsgröße nach einem Normalisieren der Maximalleuchtdichte auf Eins gesetzt. Das Verhältnis einer anderen Farbe in Bezug auf eine bestimmte Farbe (hier G) sowie die Kombination der Werte von $R/(R + G)$, $B/(B + G)$ und G können als das Merkmal gesetzt werden.

[0110] Wie oben beschrieben entspricht die Farbe des Messobjektes **4**, d. h. die Merkmalsgröße, die durch den Merkmalsgrößenberechnungsabschnitt **72** berechnet wird, der Richtung der Normallinie Eins zu Eins. Die Normallinien-Merkmalsgrößentabelle **73** ist ein Speicherabschnitt zum Speichern einer derartigen Entsprechungsbeziehung. Die Normallinien-Merkmalsgrößentabelle **73** kann durch Durchführen einer Fotografie unter Verwendung des Beleuchtungsgerätes **3** und den Kameras **1, 2** auf einem Objekt erzeugt werden, dessen Form bekannt ist, wie z. B. eine perfekte Kugel und Prüfen der Entsprechungsbeziehung zwischen der Normallinie und der Merkmalsgröße im Voraus. Wenn z. B. ein Objekt einer perfekten Kugel verwendet wird, kann die Richtung der Normallinie durch eine Berechnung durch Prüfen der Position aus dem Zentrum des fokussierenden Bildpunktes erhalten werden. Die Entsprechungsbeziehung zwischen der Richtung der Normallinie und der Merkmalsgröße kann durch Berechnen der Merkmalsgröße an der relevanten Position geprüft werden.

[0111] Der Normalenberechnungsabschnitt **74** berechnet die Richtung der Normallinie an jeder Position des Messobjektes aus der Merkmalsgröße, die aus dem eingegebenen Bild berechnet wird und der Normallinien-Merkmalsgrößentabelle **73**.

<Wirkungen der Ausführungsform>

1. Ein Oberflächenprofil eines Objektes, bei dem die Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist, ist messbar.

[0112] Wie oben beschrieben, kann der Profilmesser gemäß der vorliegenden Ausführungsform ein Bild mit einer spektralen Charakteristik ähnlich zu einer perfekten Spiegeloberfläche sogar auf einem Objekt fotografieren, bei dem die Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist. Daher kann sogar unter Bezug auf ein Objekt, bei dem die Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist oder mit Bezug auf ein Objekt, bei dem die Reflektanzeigenschaft gleichförmig ist, jedoch unterschiedlich zu der Reflektanzeigenschaft des Referenzobjektes ist, das Oberflächenprofil von diesem (Richtung einer Normallinie) mit ausreichender Genauigkeit berechnet werden.

[0113] Die folgenden zusätzlichen Effekte können durch Verwenden des Beleuchtungsgerätes **3** der vorliegenden Ausführungsform erhalten werden.

2. Eine Normallinie kann lediglich aus einem einzelnen Bild berechnet werden

[0114] Der Profilmesser gemäß der vorliegenden Ausführungsform verwendet das Beleuchtungsgerät derart, dass Licht einer unterschiedlichen spektralen Verteilung für alle Einfallswinkelrichtungen eintritt und daher kann die Richtung der Normallinie des zu messenden Objektes lediglich aus einem einzelnen Bild unter Bezug auf sowohl die Zenitwinkelkomponente als auch die Azimutwinkelkomponente erhalten werden. Da das Fotografieren des Bildes lediglich einmal durchgeführt wird und die Berechnung der Richtung der Normallinie einfach durch Prüfen der Tabelle ausgeführt wird, die die Entsprechungsbeziehung der Normallinie und der Merkmalsgröße speichert, kann das Oberflächenprofil des Messobjektes leicht (bei einer hohen Geschwindigkeit) gemessen werden.

3. Natürliche Beobachtung ist auf einem diffusen Objekt möglich

[0115] Wenn ein diffuses Objekt (ein gleichdiffuses Objekt) fotografiert wird, ist das Bild eine Mischung eines Einfallslichtes aus unterschiedlichen Richtungen. In der vorliegenden Ausführungsform weist der Lichtemissionsbereich des Beleuchtungsgerätes **3** das Licht von drei Komponenten von RGB auf, die in gleichen Richtungen (Richtungen von 120° in Bezug zueinander) geändert sind, wie in **Fig. 4** gezeigt und der Grad einer Änderung wird auf den gleichen gesetzt. Daher ist, wie in **Fig. 13** gezeigt, in Bezug auf einen beliebigen Zenitwinkel die Summe der Lichtintensität je einzelner Farbe aus allen Azimutwinkelrichtungen an dem relevanten Zenitwinkel in jeder Farbe die gleiche. Die Summe der Lichtintensität jeder Farbe ist die gleiche, sogar falls eine Integration für alle Zenitwinkel durchgeführt wird. Daher weist das Komponentenlicht von RGB des Lichtes, das in die Kamera **1** eintritt, die in der Vertikalrichtung angeordnet ist, von dem diffusen Objekt alle die gleiche Intensität auf und das fotografierte Bild von diesem weist ein weißes reflektiertes Licht auf, das in Bezug auf das diffuse Objekt fotografiert wird. D. h. wenn das fotografierende Objekt von sowohl dem Spiegeloberflächenobjekt (zu messendes Objekt) als auch dem diffusen Objekt konfiguriert wird, kann das Oberflächenprofil des Spiegeloberflächenobjektes gemessen werden und eine Fotografie in natürlichem Licht wird für das diffuse Objekt möglich. Wenn z. B. ein Verbindungstest eines Lötmittels ausgeführt wird, kann ein natürlicher Test mit einem farblosen Bild für andere Objekte als das Lötmittel durchgeführt werden.

4. Abschwächung des Leuchtdichtedynamikbereichsproblems

[0116] Durch die Verwendung des Beleuchtungsgerätes der vorliegenden Ausführungsform wird, sogar falls ein Objekt einschließlich einer perfekten Spiegeloberfläche und einige Strahlungskeulen koexistieren, die Leuchtdichte des regulären Reflexionslichtes und des Diffusionslichtes klein im Vergleich zu einem Fall, bei dem diese unter einer Punktlichtquelle (paralleles Licht) beobachtet werden. Daher muss der dynamische Bereich des eingegebenen Bildes nicht erweitert werden.

<Variante>

[0117] In der Beschreibung der obigen Ausführungsform wird das Beleuchtungsgerät verwendet, bei dem Muster überlappend sind, die sich mit einem Winkel in Bezug auf eine Richtung ändern, in der sich die Lichtemissionsintensität von drei Farben von RGB sich um 120° unterscheidet, jedoch ist das Lichtemissionsmuster nicht hierauf beschränkt. Z. B. kann eine Kombination von Mustern verwendet werden, bei der sich die drei Farben jeweils in Bezug auf unterschiedliche Richtungen ändern, wie beispielsweise Muster, bei denen sich drei Farben in einer Abwärtsrichtung, einer Rechtsrichtung und einer Linksrichtung ändern, wie in **Fig. 14A** gezeigt. Alle drei Farben brauchen nicht mit einem Winkel geändert zu werden und ein Muster, das Licht bei gleichförmiger Leuchtdichte an der gesamten Oberfläche für eine Farbe emittiert und Muster, die sich mit einem Winkel in unterschiedlichen Richtungen für die anderen zwei Farben ändern, wie in **Fig. 14B** gezeigt, können angenommen werden.

[0118] Die Lichtemission des Beleuchtungsgerätes **3** der vorliegenden Ausführungsform ist konfiguriert, um ebenfalls die oben beschriebenen, zusätzlichen Effekte aufzuweisen. Falls lediglich der Effekt erhalten werden soll, dass das Objekt, bei dem die Reflektanzeigenschaft nicht gleichförmig ist, in gleicher Weise wie die perfekte Spiegeloberfläche fotografiert werden kann, brauchen die Beleuchtungsmuster von drei Farben von RGB nicht überlappt zu werden. Z. B. kann die Beleuchtung von RGB, die sich jeweils linear mit einem Winkel ändert, sequenziell beleuchtet werden, um drei Bilder zu fotografieren und die drei Bilder können analysiert werden, um das Oberflächenprofil des Messobjektes zu berechnen.

[0119] In der obigen Beschreibung wird das Bild im Voraus unter Verwendung eines Objektes fotografiert, dessen Form bekannt ist, die Beziehung zwischen der Merkmalsgröße der spektralen Verteilung und der Rich-

tung der Normallinie wird basierend auf dem Bild erhalten und die Normallinien-Merkmalstabelle wird erzeugt. Die Richtung der Normallinie wird aus der Merkmalsgröße der spektralen Verteilung des Messobjektes unter Bezug auf die Normallinien-Merkmalstabelle erhalten. Falls jedoch die Beziehung der Richtung der Normallinie und die spektrale Verteilung, die durch die Kamera fotografiert wird, aus der geometrischen Anordnung und Ähnlichem formuliert werden kann, kann die Normallinie unter Verwendung einer derartigen Berechnungsformel berechnet werden.

(Zweite Ausführungsform)

[0120] In der ersten Ausführungsform wird ein Muster, bei dem sich die Lichtemissionsintensität in Bezug auf den Winkel in der Längsrichtung linear ändert, wie in **Fig. 5A** gezeigt, als eine Näherungslösung eines Beleuchtungsmusters verwendet, mit dem die spektrale Charakteristik in der regulären Reflexionsrichtung immer in dem fotografierten Bild erfasst werden kann, sogar falls sich die Reflektanzeigenschaft ändert. In der vorliegenden Ausführungsform wird ein Muster angenommen, bei dem sich die Lichtemissionsintensität linear in Bezug auf eine Breitenrichtung ändert, wie in **Fig. 15** gezeigt. Ein derartiges Beleuchtungsmuster ist ebenfalls eine Näherungslösung und der Einfluss eines Diffusionslichtes kann im Wesentlichen ausgelöscht werden, um die Erfassung des regulären Reflexionslichtes zu ermöglichen.

(Dritte Ausführungsform)

[0121] In einem Profilmesser gemäß der dritten Ausführungsform wird ein Beleuchtungsgerät mit einer Form verwendet, die unterschiedlich zu der ersten und der zweiten Ausführungsform ist. Wie in **Fig. 16** gezeigt, wird ein flaches, plattenförmiges Beleuchtungsgerät **11** in der vorliegenden Ausführungsform verwendet. In der vorliegenden Ausführungsform ist ebenfalls die spektrale Verteilung der Lichtemission an jeder Position in dem Lichtemissionsbereich an allen Positionen unterschiedlich. Insbesondere ist ähnlich zu der ersten Ausführungsform, wenn eine Lichtemission durch Zusammensetzen von Lichtkomponenten von drei Farben eines roten Lichts (R), eines grünen Lichts (G) und eines blauen Lichts (B) bestimmt wird, jede Farbe in Bezug auf unterschiedliche Richtungen geändert, wie in **Fig. 17** gezeigt. Hier wird die Lichtemissionsintensität von R größer zu der Rechtsrichtung hin, die Lichtemissionsintensität von G wird größer zu der Linksrichtung hin und die Lichtemissionsintensität von B wird größer zu der Aufwärtsrichtung hin. Das Verhältnis einer Änderung in der Lichtemissionsintensität ist linear in Bezug auf eine Position (Entfernung).

[0122] Das Beleuchtungsmuster, bei dem sich die Lichtemissionsintensität linear in Bezug auf eine Position auf einer Ebene ändert, ist eine Näherungslösung eines Beleuchtungsmusters, das den Einfluss eines Diffusionslichtes auslöscht. Daher kann durch die Verwendung eines derartigen Beleuchtungsmusters die Berechnung des Oberflächenprofils ähnlich zu der perfekten Spiegeloberfläche durchgeführt werden, ungeachtet der Reflektanzeigenschaft des Messobjektes.

[0123] Das Licht, das jedes Komponentenlicht von RGB kombiniert, weist unterschiedliche spektrale Verteilungen an allen Positionen auf. Daher kann in der vorliegenden Ausführungsform ebenfalls das Oberflächenprofil des Messobjektes lediglich aus einem einzelnen fotografierten Bild erhalten werden, ähnlich zu der ersten Ausführungsform.

<Andere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung>

[0124] Die Grundidee der vorliegenden Erfindung wird zusätzlich aus anderen Gesichtspunkten beschrieben und andere Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung werden beschrieben.

[0125] Wie in **Fig. 6** gezeigt, wird es betrachtet, dass ein Normalvektor n der Oberfläche des Messobjektes, ein Augenvektor v der Kamera und ein Lichtstrahlvektor l von der Lichtquelle auf der gleichen Ebene existieren, die durch den Messpunkt P läuft. Unter der Annahme, dass θ_r ein Winkel ist, der zwischen dem Augenvektor v und dem Normalvektor n gebildet wird und θ_s ein regulärer Reflexionswinkel ist, wird $\theta_r = \theta_s$ erhalten.

[0126] Die Spreizung der Strahlungskeule in der Oberfläche des Messobjektes wird durch $\theta_\sigma^{(s)}$ basierend auf θ_s definiert. Die Strahlungskeule ist symmetrisch um eine Achse in der regulären Reflexionswinkelrichtung verteilt. $\theta_\sigma^{(s)}$ bedeutet ebenfalls, dass "der Anordnungswinkel der Lichtquelle, der durch die Kamera beobachtet werden kann und am weitesten von θ_s weg lokalisiert ist (ein Winkel maximal geöffnet ist)". Das heißt die Strahldichte der Lichtquelle, die in dem lokalen Bereich von $\pm\theta_\sigma^{(s)}$ angeordnet ist, die sich um die reguläre Reflexionswinkelrichtung θ_s konzentriert, weist einen Einfluss auf die Intensität des reflektierten Lichtes auf, das durch die Kamera beobachtet wird. $\theta_\sigma^{(s)}$ hängt von der Reflektanzeigenschaft der Oberfläche des Messobjektes

ab. Die Oberfläche mit dem kleinen Wert von $\theta_{\sigma}^{(s)}$ weist die spiegelähnliche Reflektanzeigenschaft auf. Das Suffix σ von $\theta_{\sigma}^{(s)}$ ist ein Parameter, der einen Unterschied des Materials ausdrückt.

[0127] Der Leuchtdichtewert, der durch die Kamera beobachtet wird, ist proportional zu dem folgenden Wert:

$$\int_A L(\theta) R_{\sigma}(\theta - \theta_s) d\theta \dots (3)$$

[0128] Hier ist $L(\theta)$ eine Lichtquellenverteilung, die die Strahldichte ausdrückt, die von der Lichtquelle mit dem Winkel θ zu der Richtung des Messpunktes P emittiert wird. $R_{\sigma}(\theta)$ ist eine Reflektanzeigenschaftsverteilung des Messobjektes und drückt ein Verhältnis der Leuchtdichte aus, die als die Strahlungskeule in der Richtung des Augenvektors v in dem Licht reflektiert wird, das von der Lichtquelle emittiert wird, die fern gelegen von der regulären Reflexionswinkelrichtung um den Winkel θ ist. A ist ein Bereich von $\theta_s - \theta_{\sigma\max}^{(s)} \leq \theta \leq \theta_s + \theta_{\sigma\max}^{(s)}$ und das Suffix $\sigma\max$ ist ein Parameter entsprechend der größten Spreizung der Strahlungskeule in dem anvisierten Messobjekt.

[0129] In diesem Fall ist die Lichtquellenverteilung $L(\theta)$ nicht null in dem Bereich von zumindest dem Bereich A und die Lichtquellenverteilung $L(\theta)$ wird derart gesetzt, um die folgende Gleichung für ein beliebiges a zu erfüllen, das $0 < a \leq \theta_{\sigma\max}^{(s)}$ (siehe Fig. 22) erfüllt:

$$L(\theta_s - a) + L(\theta_s + a) = 2 \times L(\theta_s) \quad (4)$$

[0130] Diese Bedingung bedeutet ebenfalls, dass die Lichtquellenverteilung $L(\theta)$ eine ungerade Funktion für einen Punkt $(\theta_s, L(\theta_s))$ ist. Wenn die Bedingung erfüllt ist, weist die Lichtquellenverteilung $L(\theta)$ den vorbestimmten Versatzwert $L(\theta_s)$ in dem Bereich des Bereichs A auf und eine Energie, die aus einem Bereich $(\theta_s - \theta_{\sigma\max}^{(s)} \leq \theta < \theta_s)$ mit einem Winkel kleiner als der reguläre Reflexionswinkel θ_s abgestrahlt wird und eine Energie, die aus einem Bereich $(\theta_s < \theta \leq \theta_s + \theta_{\sigma\max}^{(s)})$ mit einem Winkel größer als der reguläre Reflexionswinkel θ_s gestrahlt wird, löschen einander basierend auf $L(\theta_s)$ aus. Mit anderen Worten löschen sich der Einfluss der Strahlungskeule, die aus dem Licht abgeleitet wird, das aus dem Bereich $(\theta_s - \theta_{\sigma\max}^{(s)} \leq \theta < \theta_s)$ mit dem Winkel kleiner als der reguläre Reflexionswinkel θ_s emittiert wird und der Einfluss der Strahlungskeule, die aus dem Licht abgeleitet wird, das aus dem Bereich $(\theta_s < \theta \leq \theta_s + \theta_{\sigma\max}^{(s)})$ mit dem Winkel größer als der reguläre Reflexionswinkel θ_s emittiert wird, einander aus (genannt Strahlungskeulenauslöschungseffekt). Daher kann der Einfluss der Strahlungskeule ignoriert werden und das reflektierte Licht der Oberfläche des Messobjektes kann ähnlich zu der perfekten Spiegeloberfläche beobachtet werden. D. h. der folgende relationale Ausdruck gilt:

$$\forall \sigma \in \sigma_{\max}, \int_A L(\theta) R_{\sigma}(\theta - \theta_s) d\theta = k_{\sigma} L(\theta_s) \dots (5)$$

[0131] Hier ist k_{σ} ein Koeffizient (Reflektanz), der von der Reflektanzeigenschaft des Messobjektes abhängt.

(In dem Fall, bei dem k_{σ} und n bekannt sind)

[0132] Wenn der Koeffizient k_{σ} und die Orientierung n des Normalvektors bekannt sind, kann eine Bestimmung, ob der Normalvektor der Oberfläche des Messobjektes n ist, aus der Leuchtdichte des reflektierten Lichts, das durch die Kamera beobachtet wird, unter Verwendung der Gleichung (5) "ungeachtet des Grades der Spreizung der Strahlungskeule" durchgeführt werden.

[0133] Fig. 23 zeigt ein Konfigurationsbeispiel des Messgerätes (Beobachtungsgerätes). Die Oberfläche des Messobjektes ist an dem Messpunkt P angeordnet und es wird angenommen, ob der Normalvektor der Oberfläche der Messoberfläche mit n übereinstimmt, der gemessen wird. Die Kamera 1 ist geeignet angeordnet (es wird angenommen, dass θ_r eine Augenrichtung der Kamera 1 ist). Das Beleuchtungsgerät 3 ist in der Richtung des regulären Reflexionswinkels θ_s ($= \theta_r$) angeordnet, der eindeutig aus der Kameraanordnung bestimmt wird. Das Ausmaß des Lichtemissionsbereiches des Beleuchtungsgerätes 3 wird auf einen Wert gesetzt, der größer als der anvisierte Maximalwert $2\theta_{\sigma\max}^{(s)}$ der Spreizung der Strahlungskeule des Messobjektes ist. Die Schnittform des Beleuchtungsgerätes 3 ist nicht auf den Bogen beschränkt, sondern die Schnittform des Beleuchtungsgerätes kann eine gerade Linie oder eine kurvige Linie ausgenommen des Bogens sein. Die Lichtquellenverteilung $L(\theta)$ des Beleuchtungsgerätes 3 wird derart gesetzt, um die Bedingung der Gleichung (4) zu erfüllen. In Fig. 23 zeigt ein Pfeil zu dem Messpunkt P von dem Beleuchtungsgerät 3 schematisch die Strahldichte $L(\theta)$, die zu dem Messpunkt P von jedem Lichtemissionselement in dem Lichtemissionsbereich gerichtet ist.

[0134] Um das Beleuchtungsgerät **3** zu erhalten, sind z. B. eine Mehrzahl von LEDs entlang des Abschnittes des Beleuchtungsgerätes **3** feldmäßig angeordnet und die Helligkeit jeder der LEDs wird basierend auf dem Wert von $L(\theta)$ entsprechend dem Anordnungswinkel θ der LED eingestellt. Eine Diffusionsplatte ist vor der LED derart angeordnet, dass die Lichtquellenstrahldichte auf dem Punkt P von jedem Winkel auftreffen kann. Daher kann sogar in dem perfekten Spiegeloberflächenobjekt das reflektierte Licht immer an dem Punkt P von der Kamera **1** beobachtet werden. In einer derartigen Konfiguration ist die Strahldichte des Lichtes, das von jedem Lichtemissionselement emittiert wird, liniensymmetrisch in Bezug auf die gerade Linie verteilt, die durch das Lichtemissionselement und den Messpunkt P läuft.

[0135] Das Objekt, dessen Koeffizient k_σ bekannt ist, wird zuvor an dem Punkt P derart angeordnet, dass die Orientierung des Normalvektors mit n übereinstimmt, die Leuchtdichte des reflektierten Lichts mit der Kamera **1** wird gemessen und der Wert der Leuchtstärke wird in dem Informationsverarbeitungsgerät gespeichert (das Verarbeiten wird Lernen genannt). Wenn das Messobjekt untersucht wird, wird das Objekt an dem Messpunkt P angeordnet und die Leuchtdichte des reflektierten Lichts wird mit der Kamera **1** gemessen. Die Bestimmung, ob die Orientierung des Normalvektors des Messobjektes n ist, kann leicht durch Vergleichen des gemessenen Wertes mit dem zuvor gespeicherten Wert durchgeführt werden. Z. B. wird das Messgerät für eine Fehlerüberprüfung der Objektoberfläche verwendet.

(In dem Fall, bei dem k_σ unbekannt ist)

[0136] Wenn k_σ unbekannt ist, können zwei Arten der Lichtquellenverteilungen verwendet werden. Z. B. werden zwei Arten der Lichtquellenverteilungen $L_1(\theta)$ und $L_2(\theta)$ vorbereitet, das Messobjekt wird mit den Teilen eines Lichts bestrahlt, das von den Lichtquellen emittiert wird und das Abbilden wird mit der Kamera durchgeführt, was es erlaubt, dass der folgende Vektor I_σ berechnet wird:

$$I_\sigma = \left(\int_{\Omega} L_1(\theta) R_\sigma(\theta - \theta_s) d\theta, \int_{\Omega} L_2(\theta) R_\sigma(\theta - \theta_s) d\theta \right) \dots (6)$$

[0137] Wenn der Winkel, der zwischen der Lichtquellenrichtung entsprechend zu I_σ und dem Normalvektor des Messobjektes gebildet ist, gleich θ_s ist, d. h. wenn die Orientierungen des Vektors I_σ und des Vektors $(L_1(\theta_s), L_2(\theta_s))$ identisch zueinander sind, kann die Bestimmung durchgeführt werden, ob der Normalvektor des Messobjektes n ist. Die Bedingung, dass "die Orientierungen des Vektors I_σ und des Vektors $(L_1(\theta_s), L_2(\theta_s))$ identisch zueinander sind", wird durch den folgenden relationalen Ausdruck ausgedrückt:

$$I_\sigma = \alpha(L_1(\theta_s), L_2(\theta_s)) \quad (7)$$

[0138] Insbesondere wird ein Merkmalswert, bei dem der Koeffizient k_σ beseitigt wird, durch Berechnen des Intensitätsverhältnisses der Teile eines reflektierten Lichts bestimmt, das in den zwei Arten der Lichtquellenverteilungen beobachtet wird und die Orientierung des Normalvektors des Messobjektes kann unter Verwendung des Merkmalswertes bestimmt werden. Wenn zumindest die zwei Arten der Lichtquellenverteilungen verwendet werden, wird z. B. die Oberfläche des Messobjektes gleichzeitig mit den Teilen eines Lichtes bestrahlt, wie z. B. R und G, die unterschiedliche Wellenlängen aufweisen und die Teile eines reflektierten Lichtes werden auf der Kameraseite getrennt. Daher wird vorteilhafterweise die Messung durch lediglich Einzelzeitabbilden durchgeführt.

(In dem Fall, bei dem n eine Mehrzahl oder unbekannt ist)

[0139] Wenn die Orientierung n des Normalvektors eine Mehrzahl oder unbekannt ist, können mehrere Bereiche (bezeichnet als spezifische Bereiche), die die Gleichungen (5) oder (7) erfüllen, in dem Beleuchtungsgerät **3** bereitgestellt werden. **Fig. 24** zeigt ein Beispiel, bei dem drei spezifische Bereiche **31** bis **33** bereitgestellt werden. Die Ausmaße der spezifischen Bereiche **31** bis **33** sind derart gesetzt, dass die Spreizungen in der θ -Richtung gleich zueinander sind (d. h. die Längen der Bögen gleich zueinander sind, wenn die spezifischen Bereiche **31** bis **33** auf den Kreis mit dem Einheitsradius projiziert werden, der sich um den Punkt P konzentriert). Strahldichten $L(\theta_{c1})$ bis $L(\theta_{c3})$ des Lichtemissionszentrums θ_{c1} bis θ_{c3} der spezifischen Bereiche **31** bis **33** werden derart gesetzt, um voneinander unterschiedlich zu sein. Wenn zumindest die zwei Arten der Lichtquellenverteilungen verwendet werden, kann das Strahldichteverhältnis der Lichtemissionszentren θ_{c1} bis θ_{c3} derart gesetzt werden, um voneinander in jedem spezifischen Bereich unterschiedlich zu sein. In dieser Konfiguration kann die Bestimmung, ob die Orientierung des Normalvektors der Oberfläche des Messobjektes $n1$, $n2$ oder $n3$ ist, basierend auf der Intensität des reflektierten Lichtes durchgeführt werden, das durch die Kamera **1** beobachtet wird.

[0140] Die Anordnungen und die Anzahl der spezifischen Bereiche sind beliebig. Die Auflösung der Winkelmission wird verbessert, wenn sich die Anzahl der spezifischen Bereiche erhöht oder wenn eine Entfernung (Winkel) zwischen Lichtemissionszentren der spezifischen Bereiche verengt wird. **Fig. 24** zeigt ein Beispiel, bei dem die spezifischen Bereiche voneinander getrennt sind. Alternativ können die spezifischen Bereiche in Kontakt zueinander sein oder die spezifischen Bereiche können miteinander überlappen. Z. B. sind in der Lichtquellenverteilung aus **Fig. 5** viele spezifische Bereiche bereitgestellt, während diese einander überlappen und die Strahldichte des Lichtemissionszentrums in dem spezifischen Bereich ändert sich in der kontinuierlichen oder schrittweisen Weise gemäß dem Winkel θ . Ein beliebiger Winkel (Normalrichtung n) kann unter Verwendung der Lichtquellenverteilung mit einem Halbbogenbereich ($-\pi \leq \leq \pi$) aus **Fig. 5** gemessen werden.

[0141] Um eine beliebige Normalrichtung n zu messen zu können, ist es notwendig, dass die Lichtquellenverteilung $L(\theta)$ die Gleichung (5) oder (7) für ein beliebiges θ erfüllt. Dass die Lichtquellenverteilung $L(\theta)$ ein linearer Ausdruck von θ ist, ist ein Beispiel, dass die Gleichung (5) oder (7) erfüllt. Es gibt ungefähr drei Verfahren zum Berechnen $L(\theta)$, das die Gleichung (5) oder (7) für eine beliebige Normalrichtung n erfüllt.

(A) Theoretische Berechnung

[0142] Die Reflektanzeigenschaft und Ähnliches werden wie die Gleichung (5) oder (7) modelliert und $L(\theta)$, das die Reflektanzeigenschaft erfüllt und Ähnliches werden analytisch erhalten. Dass die Gleichung (4) oder $L(\theta)$ der lineare Ausdruck von θ ist, ist ein Beispiel einer spezifischen Lösung.

(B) Ableitung durch Simulation

[0143] Wenn die Normale des Messobjektes zwei Freiheitsgrade aufweist, wird die Analyse durch das Verfahren (A) schwierig. In derartigen Fällen wird $L(\theta)$ durch eine Simulation derart berechnet, dass ein Restfehler (wie beispielsweise ein Quadratfehler) der linken Seite und der rechten Seite in der Gleichung (5) oder (7) das Minimum in jeder Kombination der Lichtquellen wird. Für den Zweck einer effizienten Berechnung wird $L(\theta)$ modelliert (z. B. ein Polynom von θ zweiter Ordnung oder dritter Ordnung oder eine Kugelfunktion) und die Modellparameter können durch ein Kleinstquadratverfahren oder Ähnliches berechnet werden.

(C) Empirische Ableitung aus einem Experiment

[0144] Das Beleuchtungsgerät wird durch tatsächliches Anordnen mehrerer Lichtquellen (wie z. B. LEDs) strukturiert. Wie in **Fig. 24** gezeigt, wird die Kamera **1** fixiert und die Leuchtdichte des reflektierten Lichts wird beobachtet, während sich die Orientierung (Normalvektor n) des Messobjektes ändert. Die Helligkeit jeder Lichtquelle wird derart eingestellt, dass ein Unterschied zu dem Leuchtdichtewert beim Beobachten des perfekten Spiegeloberflächenobjektes das Minimum wird.

[0145] Wie oben beschrieben, wird die Beleuchtung in einer einzelnen Ebene unter Verwendung einer oder zwei Lichtquellenverteilungen durchgeführt, die die Gleichung (5) oder (7) erfüllen, was es erlaubt, dass die Normalrichtung in der Ebene gemessen wird.

[0146] Wenn die Normalrichtung mit den zwei Freiheitsgraden in den zwei Ebenen gemessen wird, die unterschiedlich zueinander sind, wird die Beleuchtung unter Verwendung der Lichtquellenverteilungen durchgeführt, die die Gleichung (5) oder (7) erfüllen und das reflektierte Licht kann durch die Kamera beobachtet werden. Die Anzahl von zu kombinierenden Lichtquellenverteilungen hängt von dem Freiheitsgrad der zu berechnenden Normalrichtung oder der Tatsache ab, dass die Reflektanzeigenschaft des Messobjektes bekannt ist. Wenn z. B. die Normalrichtung zwei Freiheitsgrade aufweist, während die Reflektanzeigenschaft unbekannt ist, ist es notwendig, zumindest drei unterschiedliche Lichtquellenverteilungen zu verwenden. Wenn die Reflektanzeigenschaft bekannt ist oder wenn die Normalrichtung den einen Freiheitsgrad aufweist, sogar falls die Reflektanzeigenschaft unbekannt ist, können die zwei unterschiedlichen Lichtquellenverteilungen verwendet werden. Wenn, wie oben beschrieben, die Reflektanzeigenschaft bekannt ist, während die Normalrichtung bekannt ist, kann eine einzelne Lichtquellenverteilung verwendet werden.

Patentansprüche

1. Messgerät zum Messen einer Oberfläche eines Messobjektes, das an einem vorbestimmten Messpunkt angeordnet ist, wobei das Messgerät umfasst:
ein Beleuchtungsgerät zum Bestrahlen der Oberfläche des Messobjekts mit einem Licht mit einer ersten Lichtquellenverteilung und einem Licht mit einer zweiten Lichtquellenverteilung;

einen Bildabschnitt zum Abbilden der Oberfläche des Messobjekts, das mit dem Licht durch das Beleuchtungsgerät bestrahlt wird; und
 einen Messverarbeitungsabschnitt zum Erhalten einer Information über einen Lichtreflexionswinkel an dem Messpunkt auf der Oberfläche des Messobjektes unter Verwendung eines Bildes, das durch den Bildabschnitt abgebildet wird, wobei
 das Beleuchtungsgerät eine Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen aufweist, von denen jeder eine Mehrzahl von Lichtemissionselementen in einem Abschnitt einer ersten Ebene umfasst, die durch den Messpunkt läuft,
 die Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen zueinander gleich in einer Länge eines Bogens auf der ersten Ebene sind, wenn diese auf einen Kreis mit einem Einheitsradius mit dem Messpunkt als ein Zentrum projiziert werden,
 die Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen sich voneinander in einer Position eines Lichtemissionszentrums unterscheiden, wenn ein Punkt auf dem ersten spezifischen Bereich, der auf das Zentrum des Bogens projiziert wird, als das Lichtemissionszentrum des ersten spezifischen Bereichs definiert wird, und
 wenn Strahldichten in der ersten Lichtquellenverteilung und der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von dem Lichtemissionselement, das an einem Winkel θ lokalisiert ist, wenn dieses von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ auf der ersten Ebene ausgedrückt werden,
 die erste Lichtquellenverteilung und die zweite Lichtquellenverteilung derart gesetzt werden, dass:
 (a) wenn der erste spezifische Bereich eine Spreizung von $\pm\sigma$ mit einem Winkel θ_c mit dem Lichtemissionszentrum als das Zentrum auf der ersten Ebene aufweist, die Strahldichten $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ in einem beliebigen der ersten spezifischen Bereiche nicht null sind und die folgenden Gleichungen im Wesentlichen für ein beliebiges a gelten, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt;

$$L_{11}(\theta_c - a) + L_{11}(\theta_c + a) = 2 \times L_{11}(\theta_c)$$

$$L_{12}(\theta_c - a) + L_{12}(\theta_c + a) = 2 \times L_{12}(\theta_c), \text{ und}$$

(b) ein Verhältnis $L_{11}(\theta_c)/L_{12}(\theta_c)$ der Strahldichten des Lichtemissionszentrums sich in jedem der ersten spezifischen Bereiche ändert.

2. Messgerät nach Anspruch 1, wobei die Strahldichte des Lichts, das von jedem Lichtemissionselement emittiert wird, liniensymmetrisch in Bezug auf eine gerade Linie verteilt ist, die durch das Lichtemissionselement und den Messpunkt auf der ersten Ebene läuft.

3. Messgerät nach Anspruch 1, wobei
 das Beleuchtungsgerät weiter die Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer dritten Lichtquellenverteilung bestrahlen kann,
 das Beleuchtungsgerät eine Mehrzahl von zweiten spezifischen Bereichen aufweist, von denen jeder eine Mehrzahl von Lichtemissionselementen in einem Abschnitt einer zweiten Ebene umfasst, die durch den Messpunkt läuft, wobei die zweite Ebene unterschiedlich zu der ersten Ebene ist,
 die Mehrzahl von zweiten spezifischen Bereichen zueinander gleich in einer Länge eines Bogens auf der zweiten Ebene sind, wenn diese auf den Kreis mit dem Einheitsradius mit dem Messpunkt als das Zentrum projiziert werden,
 die Mehrzahl von zweiten spezifischen Bereichen sich voneinander in der Position des Lichtemissionszentrums unterscheiden, wenn ein Punkt auf dem zweiten spezifischen Bereich, der auf das Zentrum des Bogens projiziert wird, als das Lichtemissionszentrum des zweiten spezifischen Bereichs definiert wird, und
 wenn Strahldichten in der ersten Lichtquellenverteilung und der dritten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von dem Lichtemissionselement, das bei einem Winkel ϕ lokalisiert ist, wenn dieses von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ auf der zweiten Ebene ausgedrückt werden,
 die erste Lichtquellenverteilung und die dritte Lichtquellenverteilung derart gesetzt werden, dass
 (a) wenn der zweite spezifische Bereich eine Spreizung von $\pm\sigma$ mit einem Winkel ϕ_c mit dem Lichtemissionszentrum als das Zentrum auf der zweiten Ebene aufweist, die Strahldichten $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ in einem beliebigen der zweiten spezifischen Bereiche nicht null sind, und die folgenden Gleichungen im Wesentlichen für ein beliebiges a gelten, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt;

$$L_{21}(\phi_c - a) + L_{21}(\phi_c + a) = 2 \times L_{21}(\phi_c)$$

$$L_{23}(\phi_c - a) + L_{23}(\phi_c + a) = 2 \times L_{23}(\phi_c), \text{ und}$$

(b) ein Verhältnis $L_{21}(\phi_c)/L_{23}(\phi_c)$ der Strahldichten des Lichtemissionszentrums sich in jedem der zweiten spezifischen Bereiche ändert.

4. Messgerät nach Anspruch 1, wobei das Beleuchtungsgerät gleichzeitig die Oberfläche des Messobjektes mit dem Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung und dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung bestrahlt, wobei das Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung sich von dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Wellenlänge unterscheidet, und der Bildabschnitt das empfangene, reflektierte Licht in die Teile eines Lichts mit den Wellenlängen trennt und die Intensität jedes der Teile eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der ersten Lichtquellenverteilung und des Lichtes mit der zweiten Lichtquellenverteilung erfasst.

5. Messgerät nach Anspruch 3, wobei das Beleuchtungsgerät gleichzeitig die Oberfläche des Messobjektes mit dem Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung, dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung, und dem Licht mit der dritten Lichtquellenverteilung bestrahlt, wobei sich das Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung, das Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung, das Licht mit der dritten Lichtquellenverteilung voneinander in einer Wellenlänge unterscheiden, und der Bildabschnitt das empfangene, reflektierte Licht in die Teile eines Lichts mit den Wellenlängen trennt und eine Intensität jedes der Teile eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der ersten Lichtquellenverteilung, des Lichtes mit der zweiten Lichtquellenverteilung und des Lichtes mit der dritten Lichtquellenverteilung erfasst.

6. Messgerät nach Anspruch 1, wobei der Messverarbeitungsabschnitt einen Merkmalswert aus dem Bild erhält, das durch den Bildabschnitt erhalten wird, wobei der Merkmalswert ein Verhältnis einer Intensität eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der ersten Lichtquellenverteilung und einer Intensität eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der zweiten Lichtquellenverteilung ausdrückt und der Messverarbeitungsabschnitt die Information über den Lichtreflexionswinkel in der ersten Ebene der Oberfläche des Messobjektes basierend auf dem Merkmalswert erhält.

7. Messgerät nach Anspruch 3, wobei der Messverarbeitungsabschnitt einen Merkmalswert aus dem Bild erhält, das durch den Bildabschnitt erhalten wird, wobei der Merkmalswert ein Verhältnis einer Intensität eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der ersten Lichtquellenverteilung und einer Intensität eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der zweiten Lichtquellenverteilung ausdrückt und der Messverarbeitungsabschnitt die Information über den Lichtreflexionswinkel in der zweiten Ebene der Oberfläche des Messobjektes basierend auf dem Merkmalswert erhält.

8. Messgerät zum Messen einer Oberfläche eines Messobjektes, das an einem vorbestimmten Messpunkt angeordnet ist, wobei das Messgerät umfasst:
ein Beleuchtungsgerät zum Bestrahlen der Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer ersten Lichtquellenverteilung und einem Licht mit einer zweiten Lichtquellenverteilung;
einen Bildabschnitt zum Abbilden der Oberfläche des Messobjektes, das mit dem Licht durch das Beleuchtungsgerät bestrahlt wird; und
einen Messverarbeitungsabschnitt zum Erhalten einer Information über einen Lichtreflexionswinkel an dem Messpunkt auf der Oberfläche des Messobjektes unter Verwendung eines Bildes, das durch den Bildabschnitt abgebildet wird, wobei das Beleuchtungsgerät einen Lichtemissionsbereich mit einem vorbestimmten Ausmaß aufweist, und
wenn Strahldichten in der ersten Lichtquellenverteilung und der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von einem Punkt, der einen Winkel θ auf dem Lichtemissionsbereich aufweist, wenn dieser von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ auf einer ersten Ebene ausgedrückt werden, die durch den Messpunkt läuft,
die erste Lichtquellenverteilung und die zweite Lichtquellenverteilung in Bezug auf eine Mehrzahl von Punkten i auf dem Lichtemissionsbereich derart gesetzt werden, dass:
(1) zumindest eine der Strahldichten $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ sich in einer kontinuierlichen oder schrittweisen Weise gemäß dem Winkel θ erhöht oder vermindert,
(2) in einem lokalen Bereich eines vorbestimmten Bereichs von $\pm a$ mit einem Winkel θ , mit dem Punkt i als das Zentrum die Strahldichten $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ nicht null sind und die folgenden Gleichungen im Wesentlichen für ein beliebiges a gelten, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt;

$$L_{11}(\theta_i - a) + L_{11}(\theta_i + a) = 2 \times L_{11}(\theta_i)$$

$$L_{12}(\theta_i - a) + L_{12}(\theta_i + a) = 2 \times L_{12}(\theta_i), \text{ und}$$

(3) ein Verhältnis $L_{11}(\theta_i)/L_{12}(\theta_i)$ der Strahldichten an dem Punkt i sich in jedem der Winkel θ_i ändert.

9. Messgerät nach Anspruch 8, wobei jede der Strahldichten $L_{11}(\theta)$ und $L_{12}(\theta)$ eine lineare Funktion des Winkels θ ist.

10. Messgerät nach Anspruch 8, wobei

das Beleuchtungsgerät weiter die Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer dritten Lichtquellenverteilung bestrahlen kann,

wenn Strahldichten in der ersten Lichtquellenverteilung und der dritten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von einem Punkt, der einen Winkel ϕ auf dem Lichtemissionsbereich aufweist, wenn dieser von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ auf einer zweiten Ebene ausgedrückt werden, die durch den Messpunkt läuft, wobei die zweite Ebene sich von der ersten Ebene unterscheidet, die erste Lichtquellenverteilung und die dritte Lichtquellenverteilung in Bezug auf eine Mehrzahl von Punkten j auf dem Lichtemissionsbereich derart gesetzt werden, dass:

(1) die Strahldichten $L_{23}(\phi)$ sich in einer kontinuierlichen oder schrittweisen Weise gemäß dem Winkel ϕ erhöhen oder vermindern,

(2) in einem lokalen Bereich eines vorbestimmten Bereichs von $\pm a$ mit einem Winkel ϕ_j mit dem Punkt j als das Zentrum die Strahldichten $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ nicht null sind und die folgenden Gleichungen im Wesentlichen für ein beliebiges a gelten, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt;

$$L_{21}(\phi_j - a) + L_{21}(\phi_j + a) = 2 \times L_{21}(\phi_j)$$

$$L_{23}(\phi_j - a) + L_{23}(\phi_j + a) = 2 \times L_{23}(\phi_j), \text{ und}$$

(3) ein Verhältnis $L_{21}(\phi_j)/L_{23}(\phi_j)$ der Strahldichten an dem Punkt j sich in jedem der Winkel ϕ_j ändert.

11. Messgerät nach Anspruch 10, wobei jede der Strahldichten $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ eine lineare Funktion des Winkels ϕ ist.

12. Messgerät nach Anspruch 8, wobei

das Beleuchtungsgerät gleichzeitig die Oberfläche des Messobjektes mit dem Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung und dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung bestrahlt, wobei das Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung sich von dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Wellenlänge unterscheidet, und

der Bildabschnitt empfangenes, reflektiertes Licht in die Teile eines Lichts mit den Wellenlängen trennt und eine Intensität jedes der Teile eines reflektierten Lichts des Lichts mit der ersten Lichtquellenverteilung und des Lichts mit der zweiten Lichtquellenverteilung erfasst.

13. Messgerät nach Anspruch 10, wobei das Beleuchtungsgerät gleichzeitig die Oberfläche des Messobjektes mit dem Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung, dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung, und dem Licht mit der dritten Lichtquellenverteilung bestrahlt, wobei sich das Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung, das Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung, das Licht mit der dritten Lichtquellenverteilung voneinander in einer Wellenlänge unterscheiden, und der Bildabschnitt empfangenes reflektiertes Licht in die Teile eines Lichts mit den Wellenlängen trennt und eine Intensität jedes der Teile eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der ersten Lichtquellenverteilung, des Lichtes mit der zweiten Lichtquellenverteilung und des Lichtes mit der dritten Lichtquellenverteilung erfasst.

14. Messgerät nach Anspruch 8, wobei der Messverarbeitungsabschnitt einen Merkmalswert aus dem Bild erhält, das durch den Bildabschnitt erhalten wird, wobei der Merkmalswert ein Verhältnis einer Intensität eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der ersten Lichtquellenverteilung und einer Intensität eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der zweiten Lichtquellenverteilung ausdrückt und der Messverarbeitungsabschnitt die Information über den Lichtreflexionswinkel in der ersten Ebene der Oberfläche des Messobjektes basierend auf dem Merkmalswert erfasst.

15. Messgerät nach Anspruch 10, wobei der Messverarbeitungsabschnitt einen Merkmalswert aus dem Bild erhält, das durch den Bildabschnitt erhalten wird, wobei der Merkmalswert ein Verhältnis einer Intensität eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der ersten Lichtquellenverteilung und einer Intensität eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der dritten Lichtquellenverteilung ausdrückt und der Messverarbeitungsabschnitt die Information über den Lichtreflexionswinkel in der zweiten Ebene der Oberfläche des Messobjektes basierend auf dem Merkmalswert erhält.

16. Beobachtungsgerät zum Beobachten eines reflektierten Lichtes von einer Oberfläche eines Messobjektes, das an einem vorbestimmten Messpunkt angeordnet ist, wobei das Beobachtungsgerät umfasst:
 ein Beleuchtungsgerät zum Bestrahlen der Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer ersten Lichtquellenverteilung; und
 einen Bildabschnitt zum Abbilden der Oberfläche des Messobjektes, das mit dem Licht durch das Beleuchtungsgerät bestrahlt wird, wobei
 das Beleuchtungsgerät eine Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen aufweist, von denen jeder eine Mehrzahl von Lichtemissionselementen in einem Abschnitt einer ersten Ebene umfasst, die durch den Messpunkt läuft,
 die Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen zueinander gleich in einer Länge eines Bogens auf der ersten Ebene sind, wenn diese auf einen Kreis mit einem Einheitsradius mit dem Messpunkt als ein Zentrum projiziert werden;
 die Mehrzahl von ersten spezifischen Bereichen sich voneinander in einer Position eines Lichtemissionszentrums unterscheiden, wenn ein Punkt auf dem ersten spezifischen Bereich, der auf das Zentrum des Bogens projiziert wird, als das Lichtemissionszentrum des ersten spezifischen Bereichs definiert wird, und
 wenn eine Strahldichte in der ersten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von dem Lichtemissionselement, das an einem Winkel θ lokalisiert ist, wenn dieses von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{11}(\theta)$ auf der ersten Ebene ausgedrückt wird,
 die erste Lichtquellenverteilung derart gesetzt wird, dass:
 (a) wenn der erste spezifische Bereich eine Spreizung von $\pm\sigma$ mit einem Winkel θ_c mit dem Lichtemissionszentrum als das Zentrum auf der ersten Ebene aufweist, die Strahldichte $L_{11}(\theta)$ in einem beliebigen der ersten spezifischen Bereiche nicht null ist und die folgende Gleichung im Wesentlichen für ein beliebiges a gilt, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt;

$$L_{11}(\theta_c - a) + L_{11}(\theta_c + a) = 2 \times L_{11}(\theta_c), \text{ und}$$

(b) der Wert $L_{11}(\theta_c)$ der Strahldichte des Lichtemissionszentrums sich in jedem der spezifischen Bereiche ändert.

17. Beobachtungsgerät nach Anspruch 16, wobei
 das Beleuchtungsgerät weiter die Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer zweiten Lichtquellenverteilung bestrahlen kann, und
 wenn eine Strahldichte in der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von dem Lichtemissionselement, das bei dem Winkel θ lokalisiert ist, wenn dieses von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{12}(\theta)$ auf der ersten Ebene ausgedrückt wird,
 die zweite Lichtquellenverteilung derart gesetzt wird, dass:
 (a) wenn der erste spezifische Bereich eine Spreizung von $\pm\sigma$ mit dem Winkel θ_c mit dem Lichtemissionszentrum als das Zentrum auf der ersten Ebene aufweist, die Strahldichte $L_{12}(\theta)$ in einem beliebigen der ersten spezifischen Bereiche nicht null ist und die folgende Gleichung im Wesentlichen für ein beliebiges a gilt, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt;

$$L_{12}(\theta_c - a) + L_{12}(\theta_c + a) = 2 \times L_{12}(\theta_c) \text{ und}$$

(b) ein Verhältnis $L_{11}(\theta_c)/L_{12}(\theta_c)$ der Strahldichten des Lichtemissionszentrums sich in jedem der ersten spezifischen Bereiche ändert.

18. Beobachtungsgerät nach Anspruch 16, wobei die Strahldichte des Lichtes, das von jedem Lichtemissionselement emittiert wird, liniensymmetrisch in Bezug auf eine gerade Linie verteilt ist, die durch das Lichtemissionselement und den Messpunkt auf der ersten Ebene läuft.

19. Beobachtungsgerät nach Anspruch 17, wobei das Beleuchtungsgerät weiter die Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer dritten Lichtquellenverteilung bestrahlen kann,
 das Beleuchtungsgerät eine Mehrzahl von zweiten spezifischen Bereichen aufweist, von denen jeder eine Mehrzahl von Lichtemissionselementen in einem Abschnitt einer zweiten Ebene umfasst, die durch den Messpunkt läuft, wobei die zweite Ebene unterschiedlich zu der ersten Ebene ist,
 die Mehrzahl von zweiten spezifischen Bereichen zueinander gleich in einer Länge eines Bogens auf der zweiten Ebene sind, wenn diese auf den Kreis mit dem Einheitsradius mit dem Messpunkt als das Zentrum projiziert werden,

die Mehrzahl von zweiten spezifischen Bereichen sich voneinander in der Position des Lichtemissionszentrums unterscheiden, wenn ein Punkt auf dem zweiten spezifischen Bereich, der auf das Zentrum des Bogens projiziert wird, als das Lichtemissionszentrum des zweiten spezifischen Bereichs definiert wird, und wenn Strahldichten in der ersten Lichtquellenverteilung und der dritten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von dem Lichtemissionselement, das bei einem Winkel ϕ lokalisiert ist, wenn dieses von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ auf der zweiten Ebene ausgedrückt werden, die erste Lichtquellenverteilung und die dritte Lichtquellenverteilung derart gesetzt werden, dass:

(a) wenn der zweite spezifische Bereich eine Spreizung von $\pm\sigma$ mit einem Winkel ϕ_C mit dem Lichtemissionszentrum als das Zentrum auf der zweiten Ebene aufweist, die Strahldichten $L_{21}(\phi)$ und $L_{23}(\phi)$ in einem beliebigen der zweiten spezifischen Bereiche nicht null sind, und die folgenden Gleichungen im Wesentlichen für ein beliebiges a gelten, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt;

$$L_{21}(\phi_C - a) + L_{21}(\phi_C + a) = 2 \times L_{21}(\phi_C)$$

$$L_{23}(\phi_C - a) + L_{23}(\phi_C + a) = 2 \times L_{23}(\phi_C), \text{ und}$$

(b) ein Verhältnis $L_{21}(\phi_C)/L_{23}(\phi_C)$ der Strahldichten des Lichtemissionszentrums sich in jedem der zweiten spezifischen Bereiche ändert.

20. Beobachtungsgerät nach Anspruch 17, wobei das Beleuchtungsgerät gleichzeitig die Oberfläche des Messobjektes mit dem Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung und dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung bestrahlt, wobei sich das Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung von dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Wellenlänge unterscheidet, und der Bildabschnitt empfangenes, reflektiertes Licht in die Teile eines Lichts mit den Wellenlängen trennt und eine Intensität jedes der Teile eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der ersten Lichtquellenverteilung und des Lichtes mit der zweiten Lichtquellenverteilung erfasst.

21. Beobachtungsgerät nach Anspruch 19, wobei das Beleuchtungsgerät gleichzeitig die Oberfläche eines Messobjektes mit dem Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung, dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung und dem Licht mit der dritten Lichtquellenverteilung bestrahlt, wobei sich das Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung, das Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung, das Licht mit der dritten Lichtquellenverteilung voneinander in einer Wellenlänge unterscheiden, und der Bildabschnitt empfangenes, reflektiertes Licht in die Teile eines Lichts mit den Wellenlängen trennt und eine Intensität jedes der Teile eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der ersten Lichtquellenverteilung, des Lichtes mit der zweiten Lichtquellenverteilung und des Lichtes mit der dritten Lichtquellenverteilung erfasst.

22. Beobachtungsgerät zum Beobachten eines reflektierten Lichtes von einer Oberfläche eines Messobjektes, das an einem vorbestimmten Messpunkt angeordnet ist, wobei das Beobachtungsgerät umfasst:

ein Beleuchtungsgerät zum Bestrahlen der Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer ersten Lichtquellenverteilung; und

einen Bildabschnitt zum Abbilden der Oberfläche des Messobjektes, das mit dem Licht durch das Beleuchtungsgerät bestrahlt wird, wobei

das Beleuchtungsgerät einen Lichtemissionsbereich mit einem vorbestimmten Ausmaß aufweist, und wenn eine Strahldichte in der ersten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von einem Punkt, der einen Winkel θ auf dem Lichtemissionsbereich aufweist, wenn dieser von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{11}(\theta)$ auf einer ersten Ebene ausgedrückt wird, die durch den Messpunkt läuft, die erste Lichtquellenverteilung derart gesetzt wird, dass:

(1) die Strahldichte $L_{11}(\theta)$ sich in einer kontinuierlichen oder schrittweisen Weise gemäß dem Winkel θ ändert, und

(2) ein lokaler Bereich eines vorbestimmten Bereichs von $\pm\sigma$, der sich um einen Punkt konzentriert, der bei einem vorbestimmten Winkel θ_C lokalisiert ist, wenn dieser von dem Messpunkt auf der ersten Ebene betrachtet wird, die Strahldichte $L_{11}(\theta)$ nicht null ist und die folgende Gleichung im Wesentlichen für ein beliebiges a gilt, des $0 < a \leq \sigma$ erfüllt;

$$L_{11}(\theta_C - a) + L_{11}(\theta_C + a) = 2 \times L_{11}(\theta_C).$$

23. Beobachtungsgerät nach Anspruch 22, wobei das Beleuchtungsgerät weiter die Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer zweiten Lichtquellenverteilung bestrahlen kann, wobei die zweite Lichtquellenverteilung unterschiedlich zu der ersten Lichtquellenverteilung ist, und

wenn eine Strahldichte in der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von einem Punkt, der einen Winkel θ auf dem Lichtemissionsbereich aufweist, wenn dieser von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{12}(\theta)$ auf der ersten Ebene ausgedrückt wird,
die zweite Lichtquellenverteilung derart gesetzt wird, dass die Strahldichten $L_{12}(\theta)$ nicht null in dem lokalen Bereich sind und die folgende Gleichung im Wesentlichen für ein beliebiges a gilt, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt;

$$L_{12}(\theta_C - a) + L_{12}(\theta_C + a) = 2 \times L_{12}(\theta_C).$$

24. Beobachtungsgerät nach Anspruch 23, wobei
das Beleuchtungsgerät gleichzeitig die Oberfläche des Messobjektes mit dem Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung und dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung bestrahlt, wobei das Licht mit der ersten Lichtquellenverteilung sich von dem Licht mit der zweiten Lichtquellenverteilung in einer Wellenlänge unterscheidet, und
der Bildabschnitt empfangenes, reflektiertes Licht in die Teile eines Lichts mit den Wellenlängen trennt und eine Intensität jedes der Teile eines reflektierten Lichtes des Lichtes mit der ersten Lichtquellenverteilung und des Lichtes mit der zweiten Lichtquellenverteilung erfasst.

25. Verfahren zum Beobachten eines reflektierten Lichtes von einer Oberfläche eines Messobjektes, das an einem vorbestimmten Messpunkt angeordnet ist, wobei das Verfahren die Schritte umfasst:

Bestrahlen der Oberfläche des Messobjektes mit einem Licht mit einer ersten Lichtquellenverteilung von einem Beleuchtungsgerät; und

Abbilden der Oberfläche des Messobjektes, das mit dem Licht bestrahlt wird, mit einem Bildabschnitt, wobei das Beleuchtungsgerät einen Lichtemissionsbereich mit einem vorbestimmten Ausmaß aufweist, und wenn eine Strahldichte in der ersten Lichtquellenverteilung in einer Richtung zu dem Messpunkt von einem Punkt, der einen Winkel θ auf dem Lichtemissionsbereich aufweist, wenn dieser von dem Messpunkt aus betrachtet wird, als $L_{11}(\theta)$ auf einer ersten Ebene ausgedrückt wird, die durch den Messpunkt läuft, die erste Lichtquellenverteilung derart gesetzt wird, dass:

(1) die Strahldichte $L_{11}(\theta)$ sich in einer kontinuierlichen oder schrittweisen Weise gemäß dem Winkel θ ändert, und

(2) in einem lokalen Bereich eines vorbestimmten Bereichs von $\pm\sigma$, der sich um einen Punkt konzentriert, der bei einem vorbestimmten Winkel θ_C lokalisiert ist, wenn dieser von dem Messpunkt auf der ersten Ebene aus betrachtet wird, die Strahldichte $L_{11}(\theta)$ nicht null ist und die folgende Gleichung im Wesentlichen für ein beliebiges a gilt, das $0 < a \leq \sigma$ erfüllt;

$$L_{11}(\theta_C - a) + L_{11}(\theta_C + a) = 2 \times L_{11}(\theta_C).$$

Es folgen 19 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

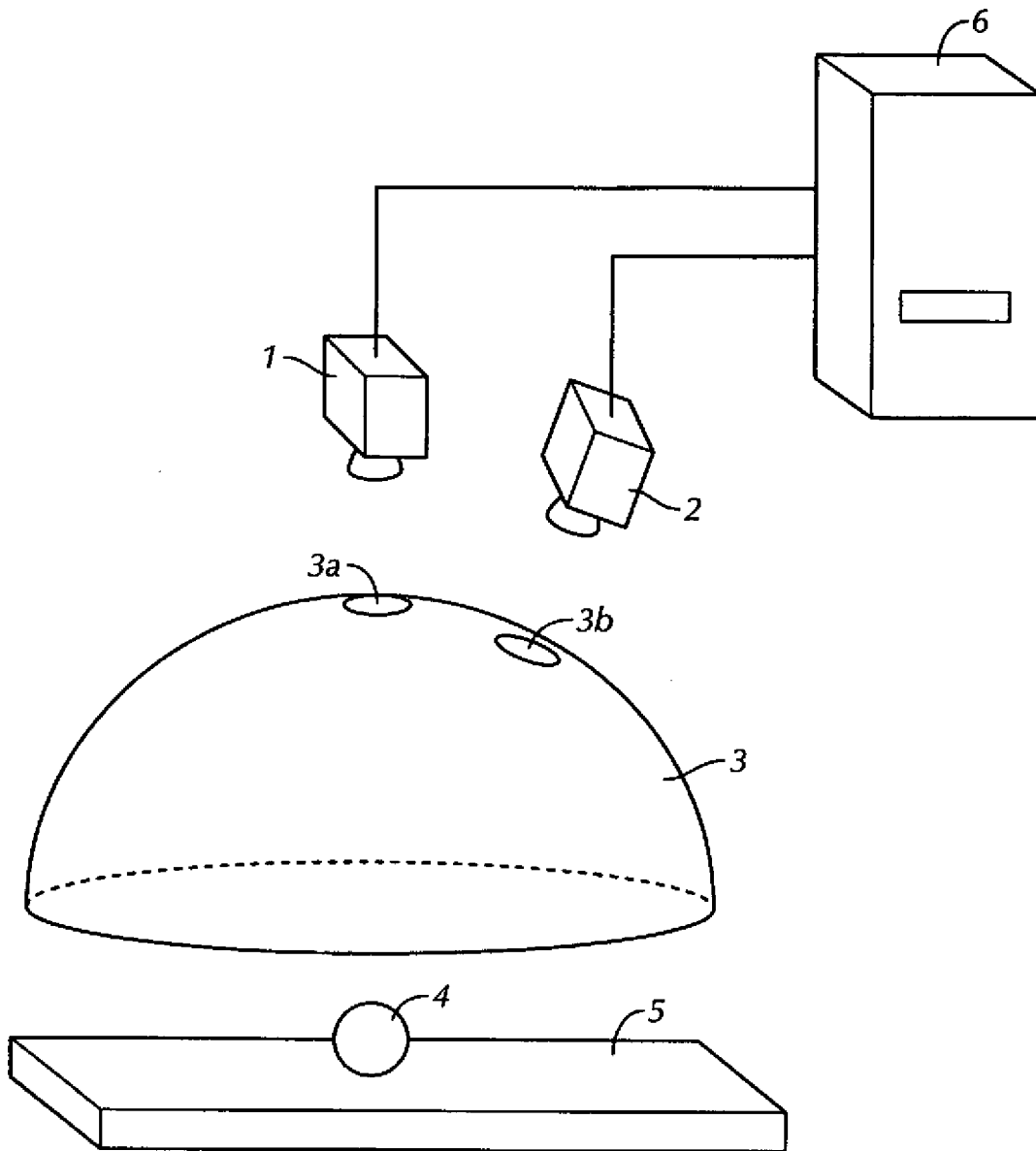


FIG. 1

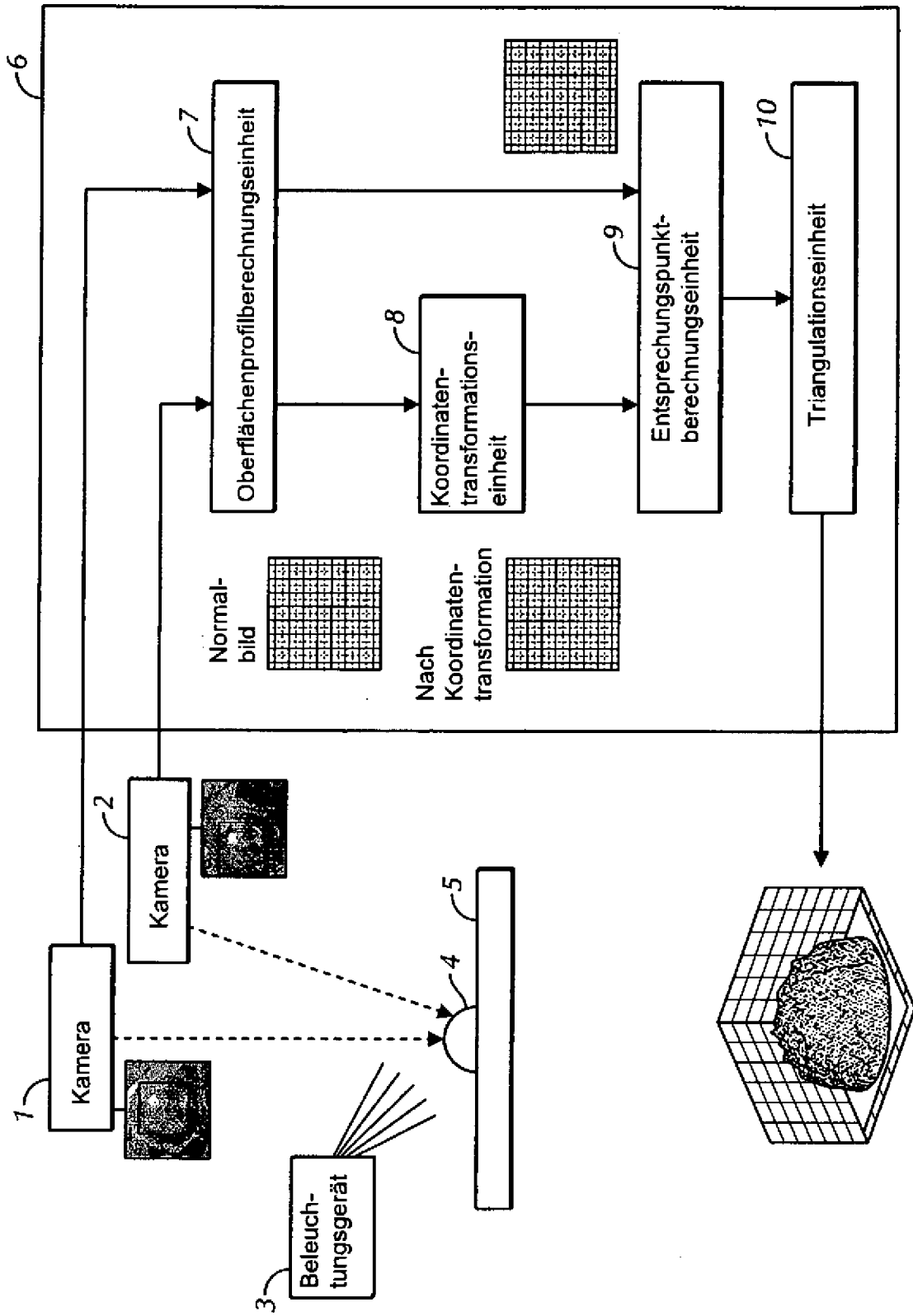


FIG. 2

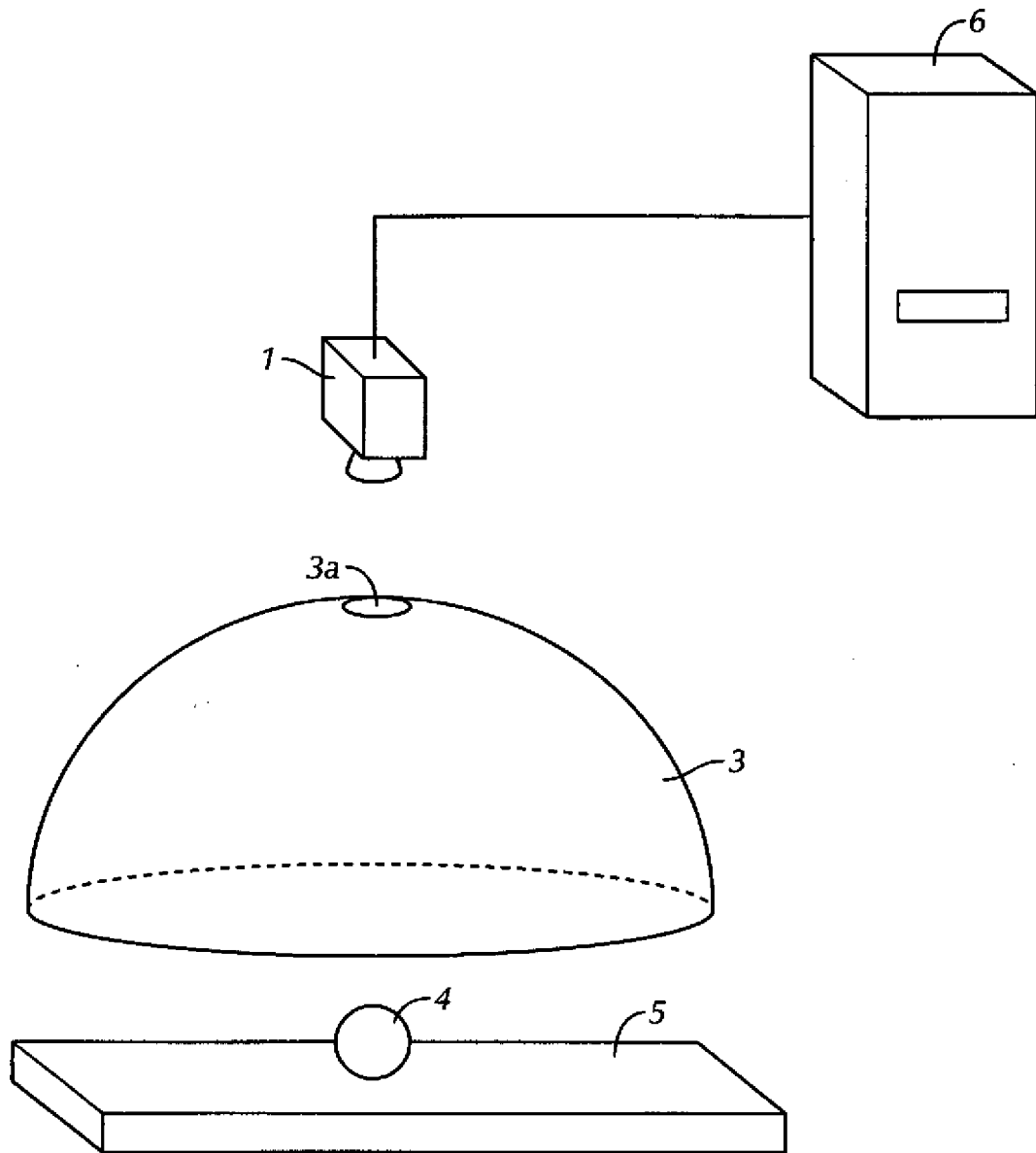


FIG. 3

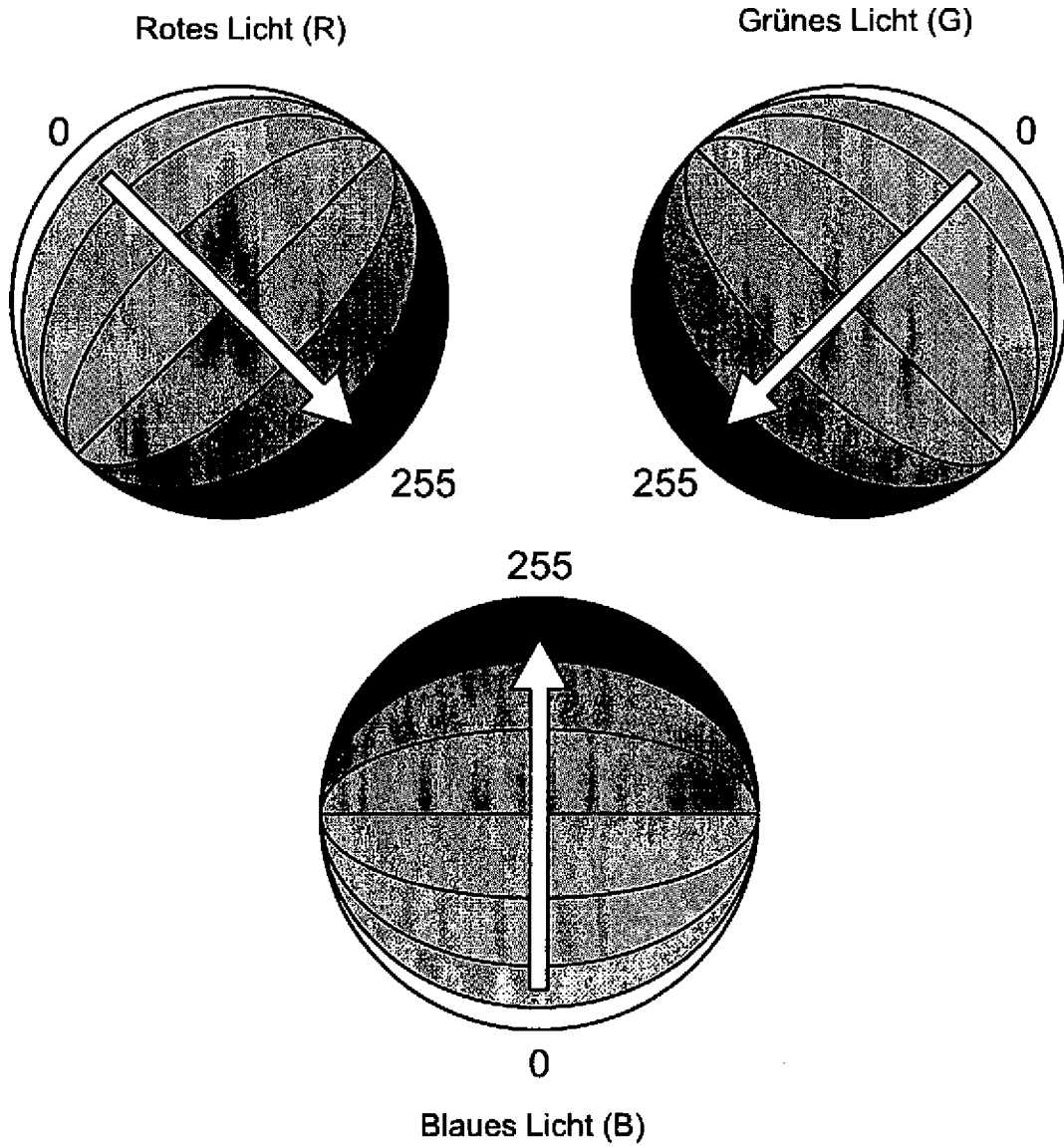


FIG. 4

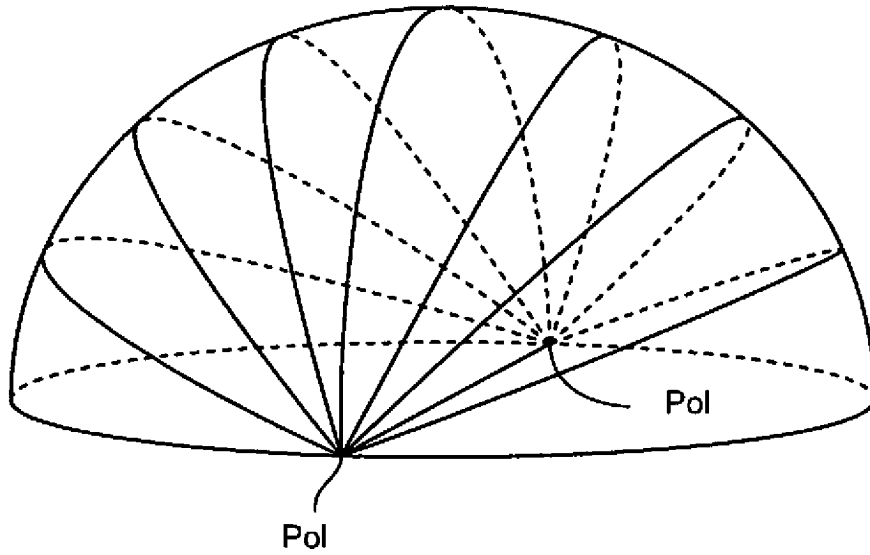


FIG. 5A

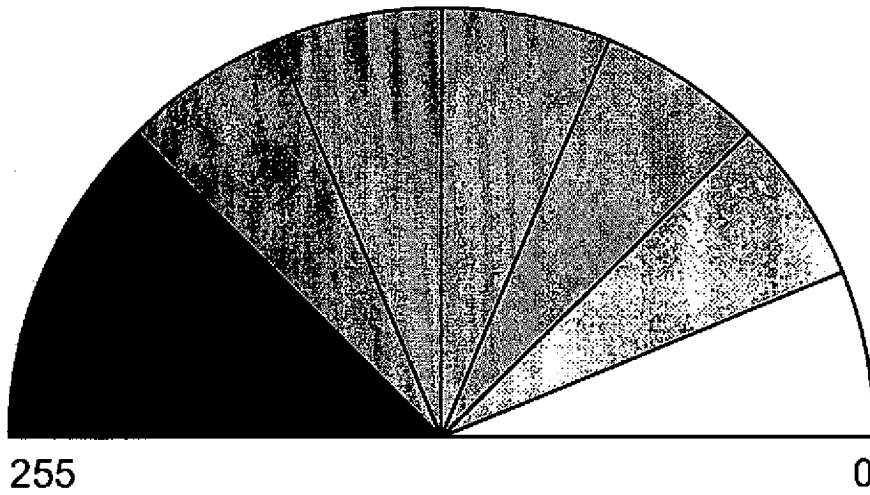


FIG. 5B

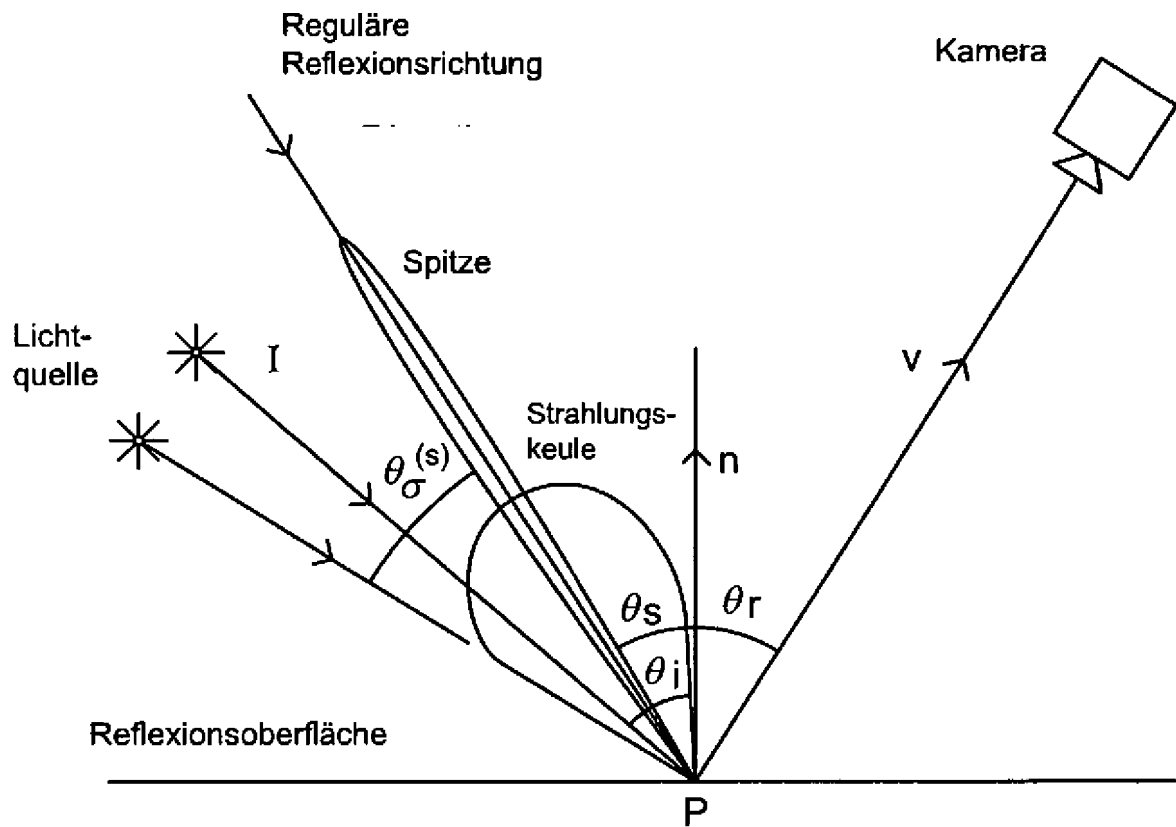


FIG. 6



FIG. 7A

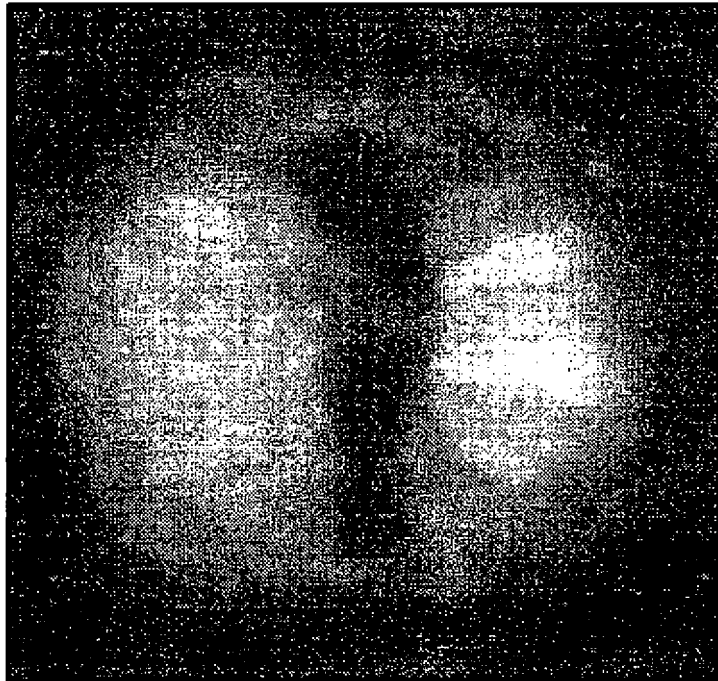


FIG. 7B

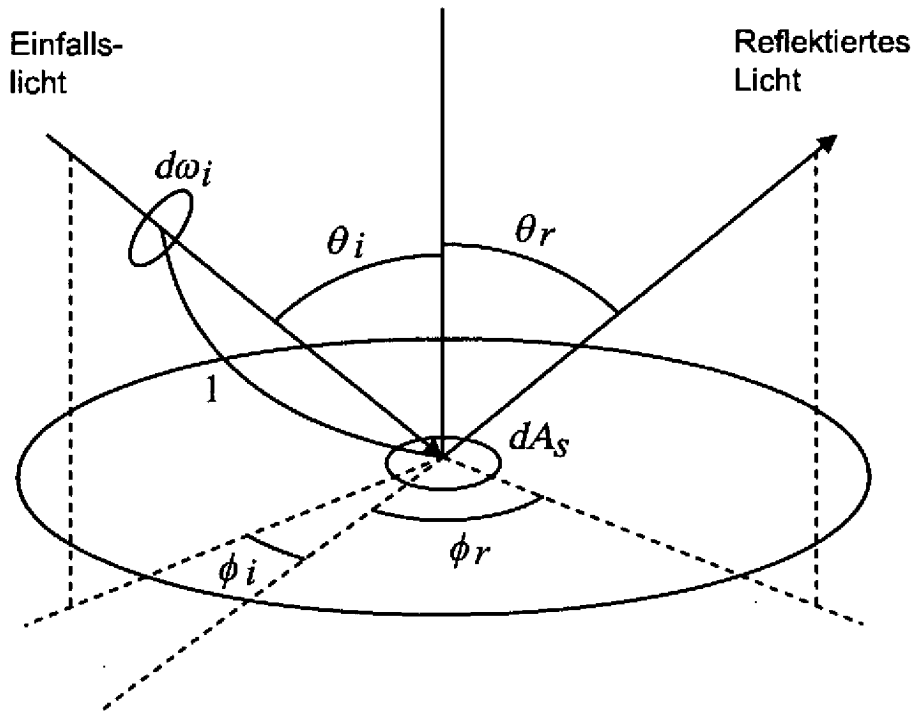


FIG. 8

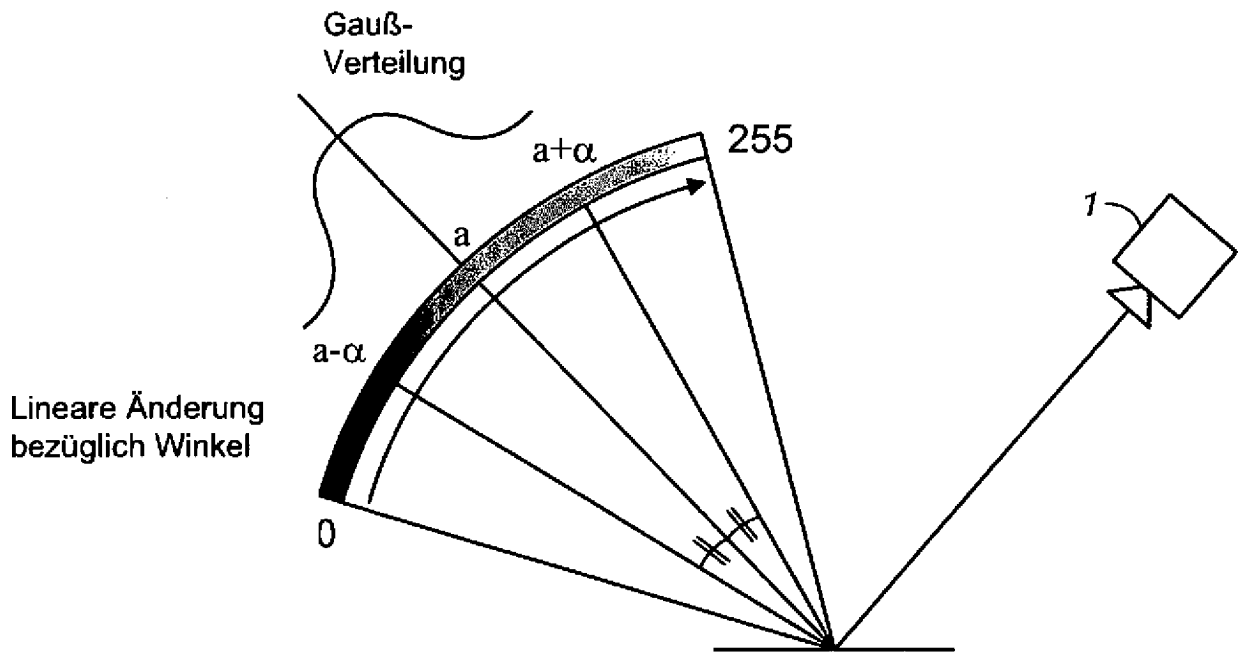


FIG. 9

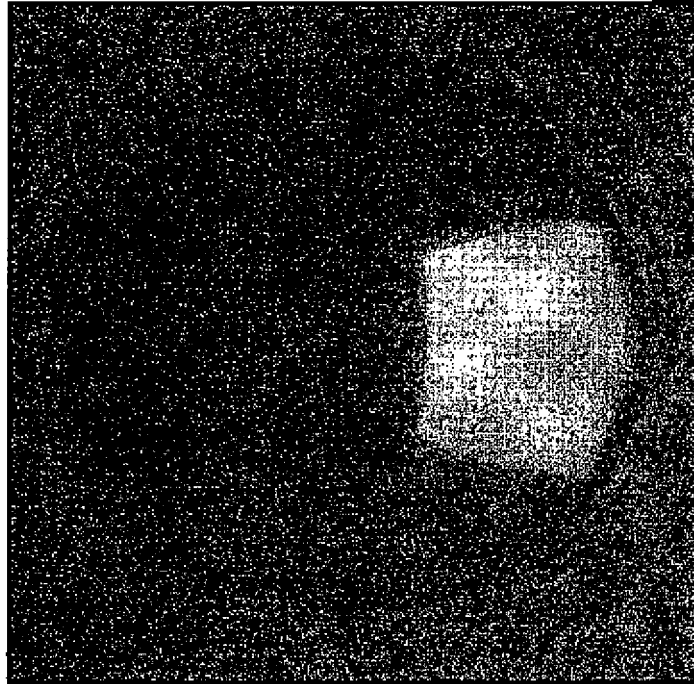


FIG. 10A

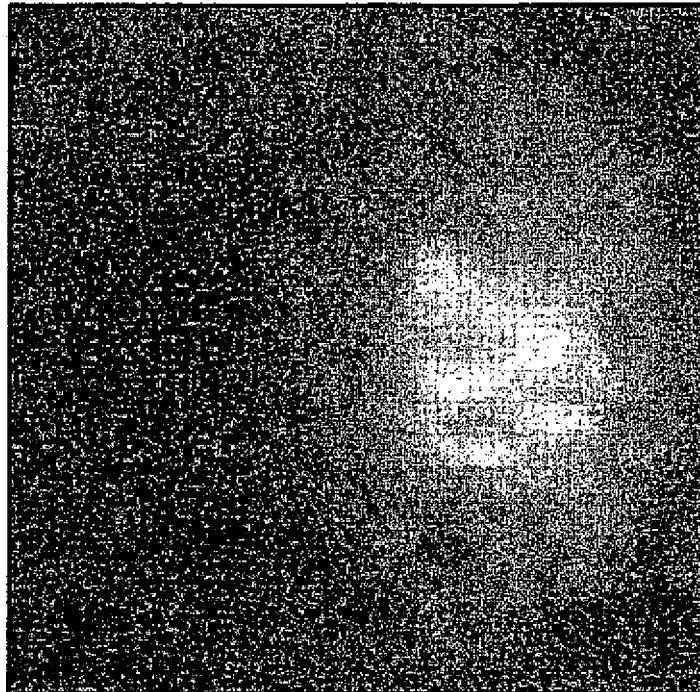


FIG. 10B

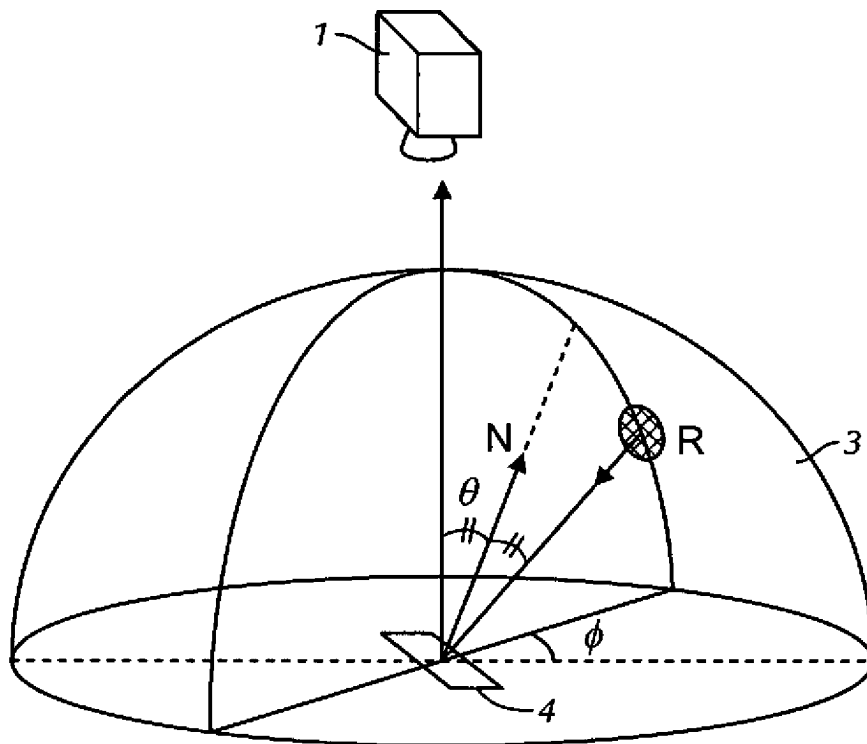


FIG. 11

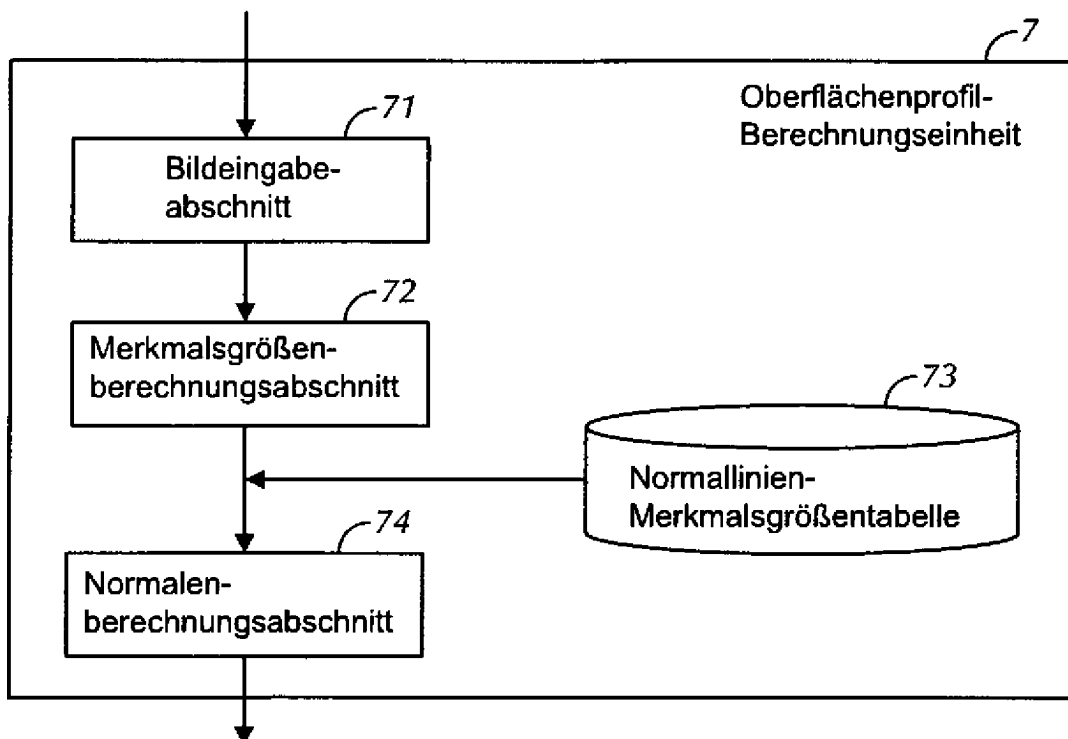


FIG. 12

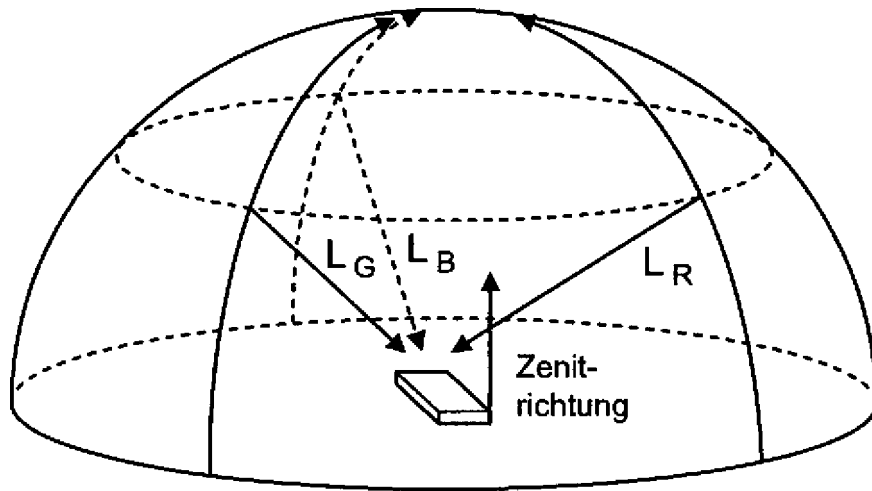


FIG. 13

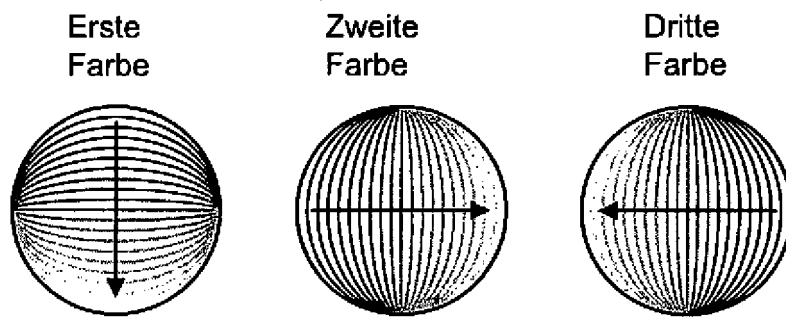


FIG. 14A

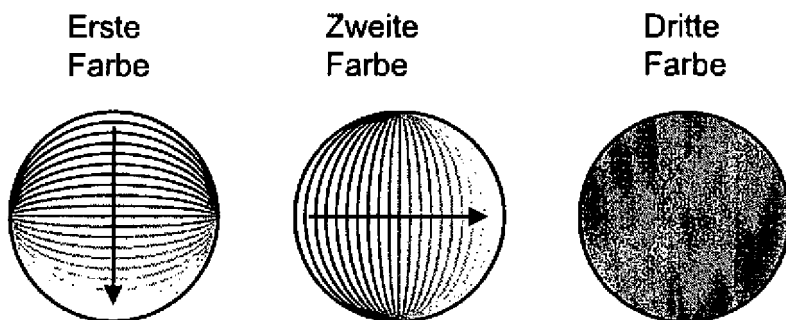


FIG. 14B

Gleichmäßig

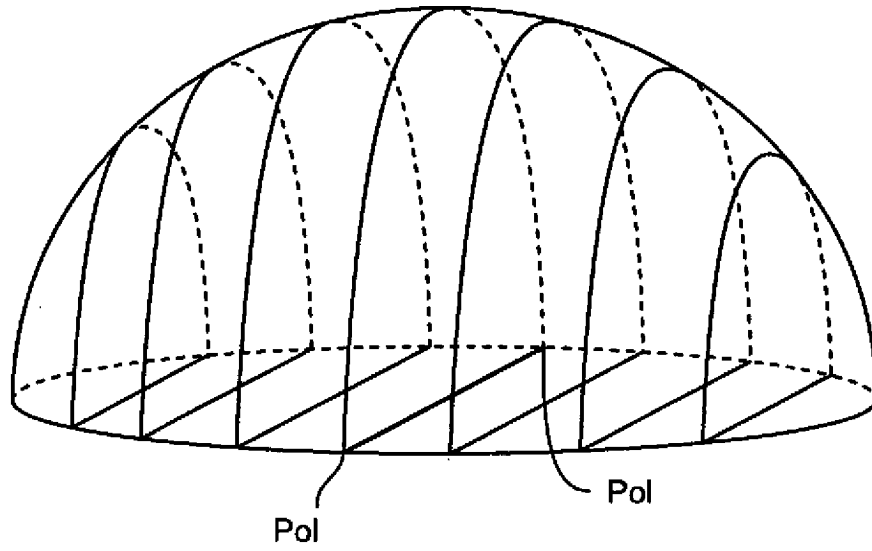


FIG. 15A

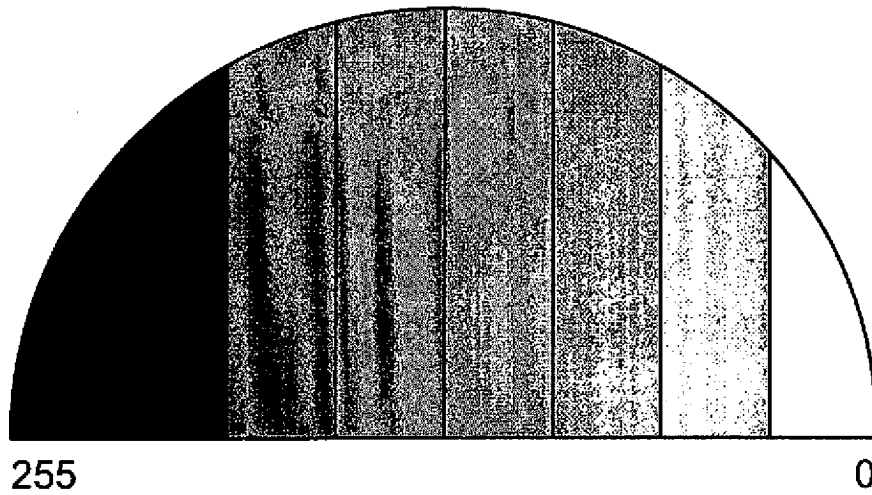


FIG. 15B

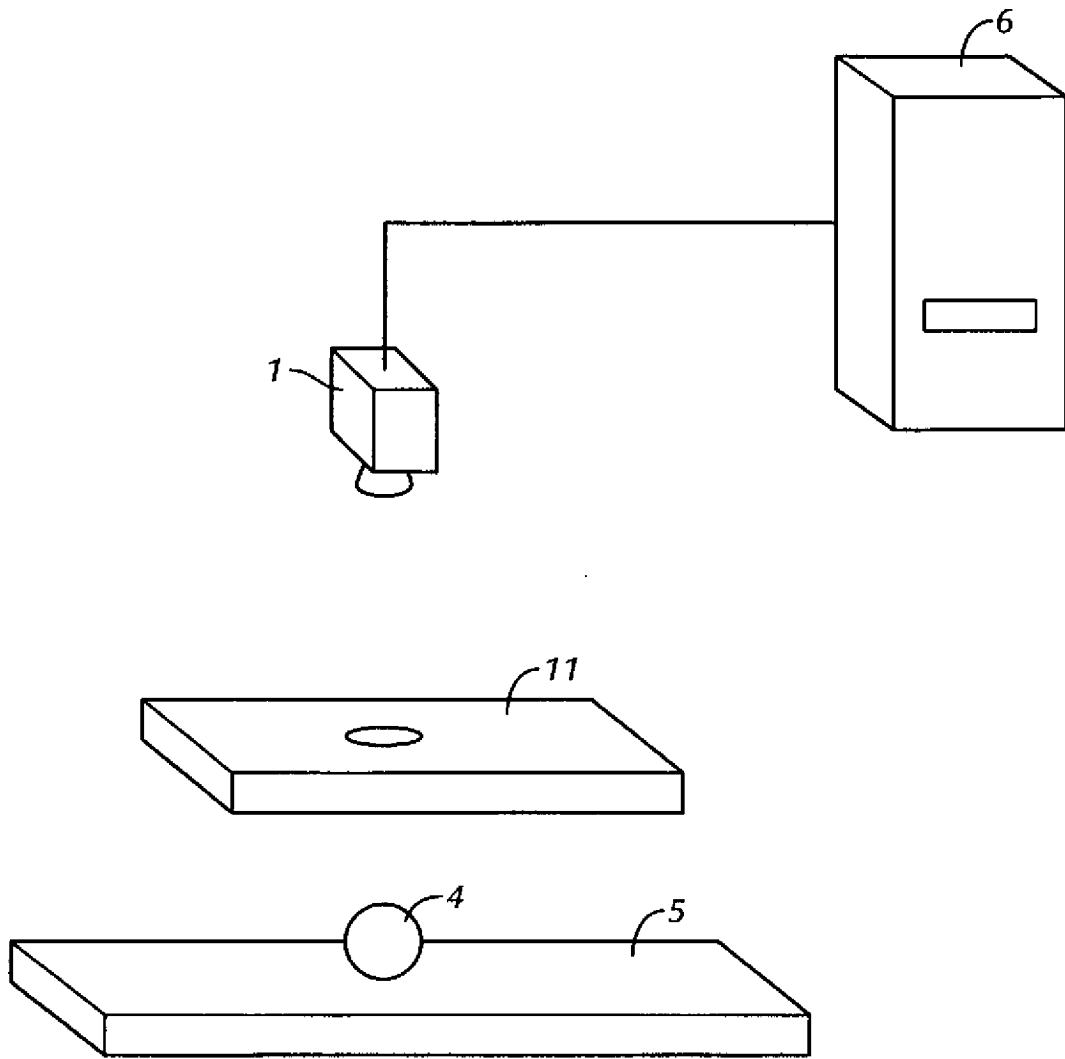


FIG. 16

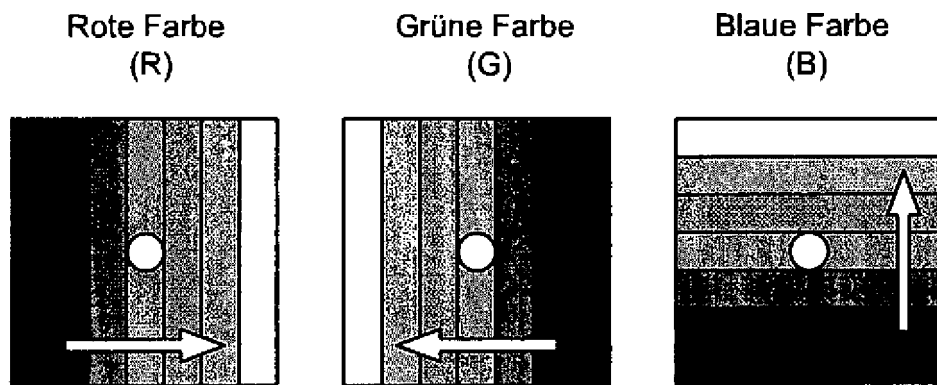


FIG. 17

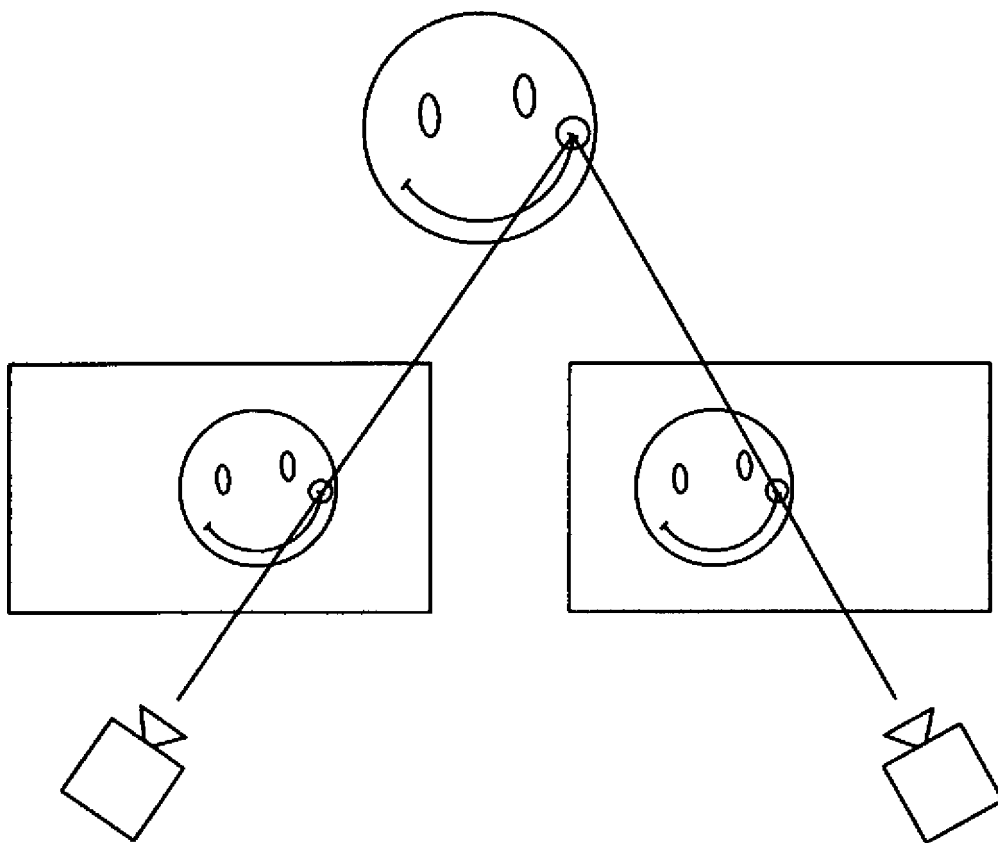


FIG. 18

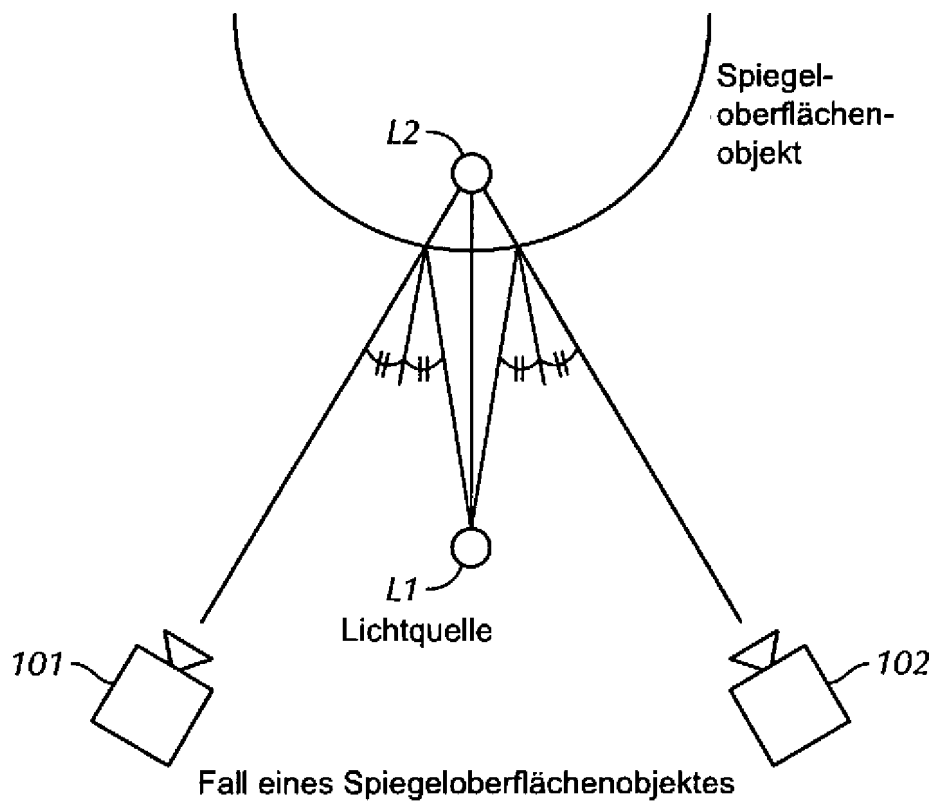
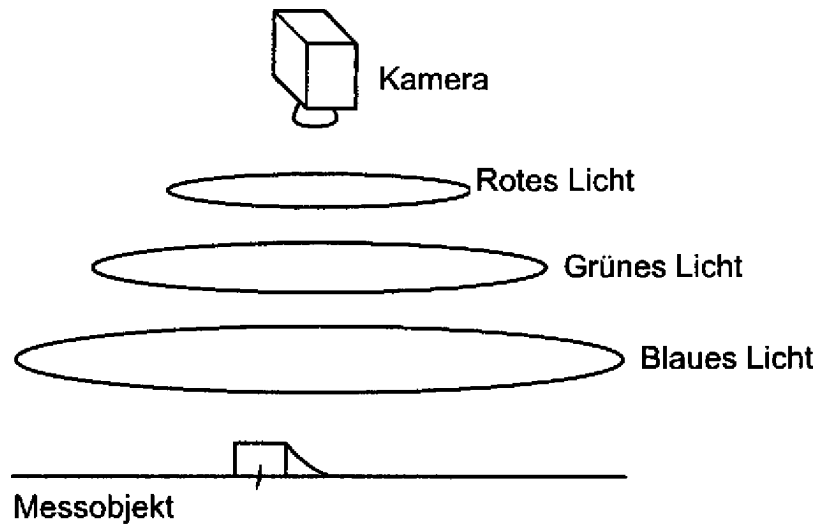
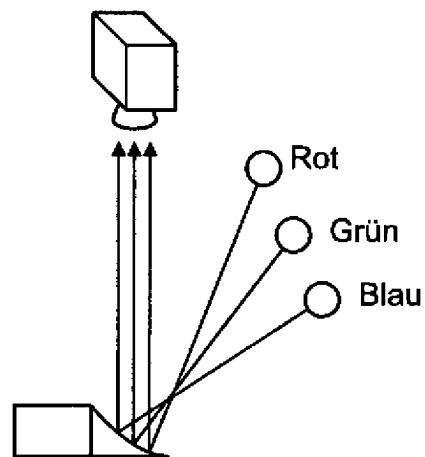


FIG. 19



Farbhervorhebungsverfahren
(Ansicht einer Kurzansicht eines Geräts)

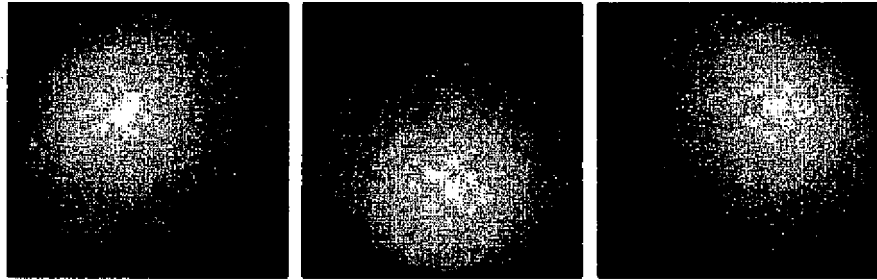
FIG. 20A



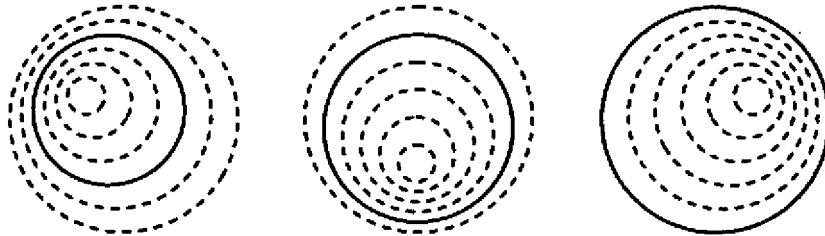
Farbhervorhebungsverfahren
(Prinzipansicht)

FIG. 20B

Tabellen
erzeugendes
Bild



Isophote



Tabuliere Normale, die
eindeutig durch Satz von drei
Leuchtdichtewerten bestimmt ist

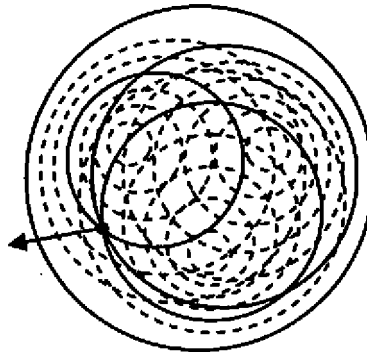


FIG. 21

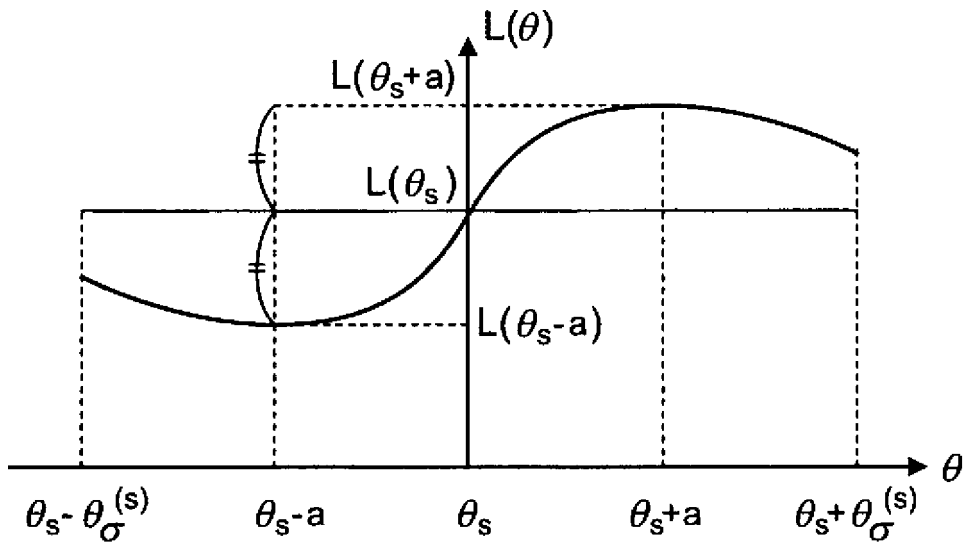


FIG. 22

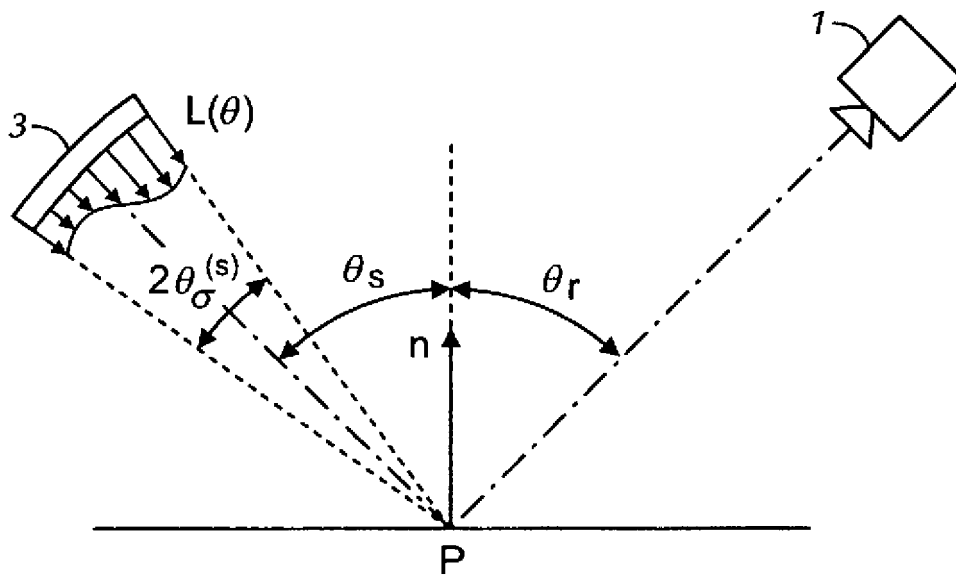


FIG. 23

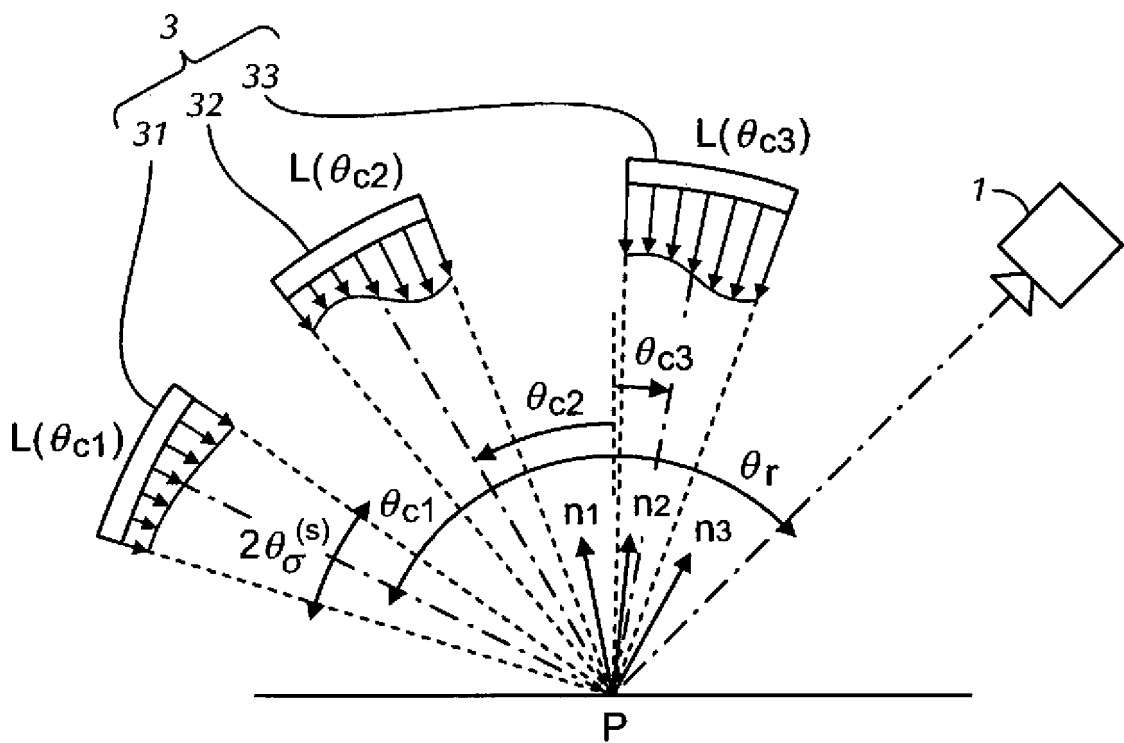


FIG. 24