



(10) **DE 10 2013 204 945 B4** 2015.03.26

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 204 945.5**
(22) Anmeldetag: **20.03.2013**
(43) Offenlegungstag: **25.09.2014**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **26.03.2015**

(51) Int Cl.: **G02B 21/06 (2006.01)**
F21V 13/04 (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).

(73) Patentinhaber:
Leica Microsystems (Schweiz) AG, Heerbrugg, CH

(72) Erfinder:
**Grabher, Günter, Lustenau, AT; Paulus, Robert,
88145 Hergatz, DE**

(74) Vertreter:
**Kudlek & Grunert Patentanwälte Partnerschaft,
80331 München, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:
DE 10 2011 082 770 A1
DE 20 2005 020 814 U1

(54) Bezeichnung: **Mikroskop mit Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung für kritische Beleuchtung**

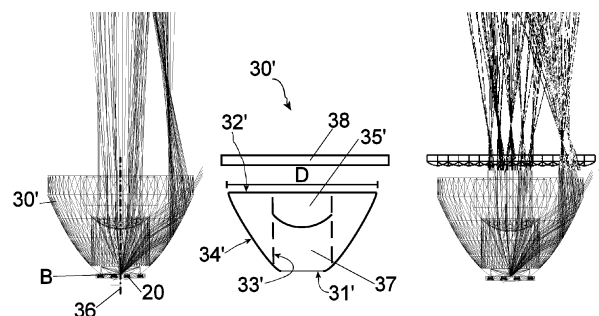
(57) Hauptanspruch: Mikroskop (100) mit einer Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung (10) für eine kritische Beleuchtung eines zu betrachtenden Objekts (O), aufweisend:

– eine Lichtquelle (20) aufweisend eine LED-Anordnung mit einer Lichtabstrahlfläche,

– eine Lichtrichteinheit (30, 30') aufweisend einen Kollimator (35, 35') und eine reflektierende Mantelfläche (34, 34'), beide zum Ausrichten von in die Lichtrichteinheit (30, 30') eingekoppeltem Licht, sowie aufweisend eine Auskoppelfläche (32, 32'), wobei die Auskoppelfläche (32, 32') eine Auskoppelflächenabmessung (D) besitzt, wobei die Lichtabstrahlfläche der Lichtquelle (20) kleiner als die Auskoppelfläche (32, 32') der Lichtrichteinheit (30, 30') ist,

wobei die Lichtrichteinheit (30, 30') so angeordnet ist, dass von der Lichtquelle (20) abgestrahltes Licht eingekoppelt wird und aus der Auskoppelfläche (32, 32') ausgekoppelt wird,

– einen Kondensator (40) zwischen der Auskoppelfläche (32, 32') der Lichtrichteinheit (30, 30') und dem zu betrachtenden Objekt (O), wobei der Kondensator eine Apertur (41) mit einer Aperturabmessung (A) hat und so angeordnet ist, dass die Apertur (41) mit dem aus der Auskoppelfläche (32, 32') ausgekoppelten Licht vollständig bestrahlt wird.



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein Mikroskop mit einer Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung für kritische Beleuchtung.

Stand der Technik

[0002] Übliche Lichtquellen, wie sie in der Lichtmikroskopie eingesetzt werden, sind an sich sehr inhomogen (bspw. Glühwendel oder LED-Arrays), so dass regelmäßig Diffusoren, meist Streuscheiben, eingesetzt werden. Dies führt jedoch zu Lichtverlust in Richtung des Objekts, so dass die Lichtquelle entsprechend heller sein muss.

[0003] Bei einfachen Mikroskopen wird oft die sog. kritische Beleuchtung eingesetzt, die mit wenig optischen Bauteilen auskommt. Üblicherweise entfallen zumindest Kollektor und Feldblende. Das Objekt befindet sich im Wesentlichen im probenseitigen Brennpunkt des Kondensors, der mit im Wesentlichen parallelen Licht großflächig bestrahlt wird. Eine ggf. vorhandene Aperturblende befindet sich im Wesentlichen im lampenseitigen Brennpunkt des Kondensors. Inhomogenitäten im Fernfeld der Lichtquelle sind unmittelbar im Objektbild sichtbar. Ist die Lichtquelle zu kleinflächig, kommt es zu Vignettierungen im Objektbild.

[0004] Die Bereitstellung von ausreichend großflächigen und gleichzeitig homogenen Lichtquellen ist jedoch sehr aufwändig. Insbesondere bei hochwertigeren Mikroskopen mit höheren Ansprüchen an die optische Qualität sind solche Lichtquellen nur mit sehr hohem Aufwand bereitstellbar.

[0005] Um eine ausreichende Lichtstärke für hohe Vergrößerungen liefern zu können, müssen lichtstarke Leuchtmittel eingesetzt werden. LEDs sind als kompakte Leuchtmittel mit vielen Vorteilen beliebt. Für eine ausreichend hohe Intensität der Beleuchtung müssen jedoch normalerweise mehrere LEDs eingesetzt werden.

[0006] Um eine ausreichende Homogenität insbesondere auch für unterschiedliche Vergrößerungen liefern zu können, müssen Diffusoren, üblicherweise Streuscheiben, eingesetzt werden, da besonders die LED-Zwischenräume zu deutlichen Inhomogenitäten führen. Der Einsatz einer Streuscheibe führt jedoch zu Lichtverlust, so dass hellere und/oder mehr LEDs verwendet werden müssen.

[0007] Um eine ausreichende Ausleuchtung ohne Vignettierung liefern zu können, müssen bekannte Lichtquellen vergrößert werden. Dies erfordert einerseits ein Linsensystem und andererseits einen relativ langen optischen Pfad, was eine Faltung des Strah-

lengangs erforderlich macht. Beides erhöht den Aufwand immens.

[0008] Die Bereitstellung einer kritischen Beleuchtung von guter Qualität ist daher sehr aufwändig, weshalb bei hochwertigeren Mikroskopen im Wesentlichen ausschließlich die sog. Köhlersche Beleuchtung eingesetzt wird, die wenig Ansprüche an die Lichtquelle stellt. Hier sind jedoch zusätzliche optische Elemente erforderlich.

[0009] In der DE 20 2005 020 814 U1 wird ein Mikroskop mit einer Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung für eine kritische Beleuchtung beschrieben, welches eine Lichtquelle in Form einer LED-Anordnung mit einer Lichtabstrahlfläche, ein Lichttrichterelement in Form einer Beleuchtungslinse sowie einen Kondensator zwischen dem Lichttrichterelement und dem zu betrachtenden Objekt aufweist.

[0010] In der nachveröffentlichten DE 10 2011 082 770 A1 wird ein Mikroskop mit einer Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung für kritische Beleuchtung offenbart. Zur gezielten Beeinflussung der Richtcharakteristik der Lichtquelle wird ein Lichttrichterelement eingesetzt. Damit wird eine vorgegebene Beleuchtung (Größe, Helligkeitsabfall etc.) einer entfernten Fläche erzeugt. Dies geschieht durch Reflexion des eingekoppelten Lichts an Wänden des Lichttrichterelements und/oder durch geeignete Strukturen (z.B. Linsen) an der Auskoppelfläche.

[0011] Es ist wünschenswert, eine ausreichend homogene kritische Beleuchtung für hochwertige Lichtmikroskope mit geringem Aufwand zur Verfügung zu haben.

Offenbarung der Erfindung

[0012] Erfindungsgemäß wird ein Mikroskop mit einer Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung für kritische Beleuchtung mit den Merkmalen von Anspruch 1 vorgeschlagen. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der Unteransprüche sowie der nachfolgenden Beschreibung.

[0013] Die Lichtquelle weist eine LED-Anordnung auf, welche wenigstens eine LED umfasst. Der Einsatz von LEDs reduziert den Stromverbrauch und die Abwärme im Vergleich zu Glühwendeln, so dass kaum zusätzlicher Bauraum für eine aufwändige Kühlung benötigt wird. Eine LED ist vorteilhaft gegenüber herkömmlichen Glühlampen, weil sie bei hoher Lichtleistung und geringerer Leistungsaufnahme nur ein geringes Volumen hat und weil sie ohne Änderung der Farbtemperatur dimmbar ist. Aufgrund des Einsatzes einer geeigneten Lichttrichteinheit (wie unten erläutert) ist ein Einsatz von herkömmlichen Diffusoren nicht notwendig, so dass eine ausreichende Beleuchtungsstärke schon erreicht werden kann,

wenn die LED-Anordnung nur wenige LEDs, vorzugsweise zwischen einer und höchstens vier LEDs aufweist, was den Aufbau vereinfacht und Inhomogenitäten verringert, die besonders von LED-Zwischenräumen herrühren.

[0014] Zur gezielten Beeinflussung der Richtcharakteristik der Lichtquelle wird eine Lichtrichteinheit eingesetzt. Damit wird eine vorgegebene Beleuchtung (Größe, Helligkeitsabfall etc.) einer entfernten Fläche erzeugt. Die Hauptabstrahlrichtung der Lichtquelle ist vorzugsweise zu einer optischen Achse der Lichtrichteinheit parallel, vorzugsweise fallen sie zusammen.

[0015] Die Lichtrichteinheit weist zur Ausrichtung des von der Lichtquelle ausgestrahlten Lichts eine reflektierende Mantelfläche zwischen einer Einkoppelfläche und einer Auskoppelfläche sowie einen Kollimator auf. Der Kollimator ist so innerhalb der Lichtrichteinheit angeordnet, dass die optische Achse der Lichtrichteinheit durch den Kollimator verläuft und zu einer optischen Achse des Kollimators parallel ist, vorzugsweise mit dieser zusammenfällt. Der Kollimator kollimiert bzw. parallelisiert den Winkelbereich des von der Lichtquelle abgestrahlten Lichts mit kleinem Abstrahlwinkel (insbesondere kleiner einem Schwellwinkel zur Hauptabstrahlrichtung). Er ist vorzugsweise als Linse ausgeführt. Weiter vorzugsweise liegt der Brennpunkt der Linse in der Lichtquelle. Die Mantelfläche dient dazu, den Winkelbereich des abgestrahlten Lichts mit größerem Abstrahlwinkel (insbesondere größer einem Schwellwinkel zur Hauptabstrahlrichtung) zu parallelisieren. Die Ausgestaltung bietet den Vorteil, dass der Schwellwinkel vom Hersteller vorgegeben und an die jeweiligen Bedingungen angepasst werden kann. Ein geeigneter Schwellwinkel liegt z.B. bei etwa 40° . Die Lichtrichteinheit ist vorzugsweise so ausgebildet, dass nahezu das gesamte von der Lichtquelle abgestrahlte und in die Lichteinkoppelfläche eingekoppelte Licht entweder durch den Kollimator oder durch die Mantelfläche parallelisiert wird. Beispielsweise kann dafür im Anschluss an die Lichteinkoppelfläche bis zum Kollimator ein zentraler Hohlraum vorgesehen sein, der von einer inneren Mantelfläche begrenzt wird. Beim Durchstrahlen der inneren Mantelfläche kommt es zu einer Lichtbrechung, wodurch das Licht in Richtung der reflektierenden Mantelfläche geleitet wird. Dies ist in **Fig. 6** gezeigt.

[0016] Die Mantelfläche hat vorzugsweise die Form eines Rotationsparaboloids oder Rotationsellipsoids. Weiter vorzugsweise ist die Mantelfläche als Oberflächenreflektor (vorteilhaft z.B. für UV-Optik) oder als Totalreflexionsspiegel, der die interne Totalreflexion an der Grenzfläche (z.B. Kunststoff – Luft) nutzt, ausgebildet. Die Mantelfläche reflektiert Licht innerhalb des Lichtrichtelements.

[0017] Zur weiteren Verbesserung der Lichtrichtcharakteristik der Lichtrichteinheit kann diese geeignete Strukturen (z.B. Linsen) an oder hinter der Auskoppelfläche aufweisen. Die Struktur kann entweder in die Auskoppelfläche der Lichtrichteinheit integriert sein oder als weitere strukturierte optische Komponente hinter der Lichtrichteinheit im Strahlengang platziert sein. Mit dieser strukturierten Komponente können die Winkelcharakteristik und/oder die Homogenität im Fernfeld beeinflusst und kontrolliert werden. Dies kann durch Strukturen wie z.B. Fresnelstrukturen, Diffusoren oder Mikrostrukturen geschehen.

[0018] Die Lichtrichteinheit kann als Kombination einzelner funktioneller Komponenten (Kollimator, Mantelfläche und ggf. strukturierte optische Komponente) angesehen werden. Durch gezielte Kombination dieser Komponenten kann der Schwerpunkt der Optimierung entweder auf die Homogenität des beleuchteten Flecks oder auf die gezielte Steuerung des Abstrahlwinkels gelegt werden. Eine Feinabstimmung ist durch Gewichtung der verschiedenen Eigenschaften innerhalb der Lichtrichteinheit möglich.

[0019] Im Gegensatz zu üblichen Mikroskopbeleuchtungen findet durch die Lichtrichteinheit keine Abbildung der Lichtquelle statt. Die Auskoppelfläche ist groß genug für eine vollflächige Beleuchtung der Kondensorapertur. Es hat sich gezeigt, dass die Objektivpupillen von Objektiven mit unterschiedlicher Vergrößerung gut ausgeleuchtet sind, wenn die Auskoppelfläche größer als die maximale Kondensorapertur ist. Wie oben erläutert, weist die Lichtquelle selbst eine relativ kleine Lichtabstrahlfläche auf, die insbesondere kleiner ist als die Auskoppelfläche.

[0020] Das von der Lichtrichteinheit ausgehende Licht ist ausreichend gebündelt für hohe Lichteffizienz und ausreichend homogen für die kritische Beleuchtung. Dazu ist das System aus Lichtquelle und Lichtrichteinheit so eingerichtet, dass das von der Lichtrichteinheit ausgehende Licht in einem Winkelbereich von mindestens $\pm 10^\circ$ und höchstens $\pm 50^\circ$ abstrahlt und eine Fläche in 5 m Entfernung in einem Winkelbereich von mindestens $\pm 5^\circ$ (Bei den in der Mikroskopie üblicherweise eingesetzten Strahlengängen mit rundem Querschnitt entspricht dies einer beleuchteten runden Fläche mit mind. 87,5 cm Durchmesser) mit Intensitätsschwankungen geringer als 50%, vorzugsweise geringer als 35%, mehr vorzugsweise geringer als 25% beleuchtet. Mit anderen Worten schwankt die Helligkeit in einem Bereich von mindestens $\pm 5^\circ$ um die optische Achse der Lichtrichteinheit nur um höchstens 50%, 35% bzw. 25%.

[0021] Eine Streuscheibe, wie sie in Mikroskopbeleuchtungen für die Homogenisierung üblich ist, ist nicht notwendig. Der mit der Streuscheibe verknüpfte Lichtverlust tritt daher nicht auf und eine ausreichende

de Helligkeit ist auch mit relativ wenigen LEDs gegeben.

[0022] Bevorzugte Lichtrichteinheiten sind im Wesentlichen kegelstumpfförmig, wobei die Einkoppelfläche kleiner als die Auskoppelfläche ist. Die Auskoppelfläche kann eine Mikrolinsenanordnung aufweisen, vorzugsweise eine Mikrolinsenanordnung mit mehr als 20 Mikrolinsen, vorzugsweise in einer bienenwabenartigen Struktur.

[0023] Bevorzugte Lichtrichteinheiten sind aus transparentem Kunststoff hergestellt.

[0024] Die Erfindung liefert mit geringem Aufwand eine ausreichend homogene kritische Beleuchtung für hochwertige Lichtmikroskope, insbesondere mit Wechselobjektiven, also für sehr unterschiedliche Vergrößerungen und damit auch sehr unterschiedliche Homogenitäts- und Helligkeitsanforderungen.

[0025] Dennoch können je nach eingesetzter Lichtrichteinheit ggf. weiterhin Inhomogenitäten im Nahfeld vorliegen, d.h. im Bereich kurz nach der Auskoppelfläche. Es hat sich gezeigt, dass bereits ein Abstand der Auskoppelfläche von der Kondensorapertur, der wenigstens dem Doppelten des Durchmessers der Auskoppelfläche entspricht, für Objektive ab Vergrößerungen von 20x eine ausreichende Homogenität des beobachteten Objektes bewirkt.

[0026] Je größer der Abstand der Auskoppelfläche von der Kondensorapertur, desto homogener wird das Objektfeld ausgeleuchtet. Vorzugsweise wird der Abstand jedoch höchstens so groß gewählt, dass keine Faltung des Beleuchtungsstrahlengangs notwendig ist. Dies führt zu Kostenvorteilen, da keine Umlenkmittel benötigt werden. Üblicherweise erlaubt ein Abstand, der dem Vierfachen des Durchmessers der Auskoppelfläche entspricht, noch einen geradlinigen Strahlengang zwischen Auskoppelfläche und Kondensor.

[0027] Bei geringen Vergrößerungen und einhergehend kleiner Apertur ist die Schärfentiefe der Abbildung ggf. so groß, dass sogar eine relativ weit entfernt angeordnete Auskoppelfläche im Objektbild sichtbar ist. Das Bild wird inhomogen. Da jedoch die notwendige Leuchtdichte bei geringen Vergrößerungen ebenfalls gering ist, kann in diesen Fällen ein Diffusor (vorzugsweise eine Streuscheibe) als strukturierte optische Komponente im Strahlengang vorgesehen werden. Um die Erkennbarkeit der Kondensorapertur (bspw. einer Aperturblende) im Okular zu erhalten, wird der Diffusor zweckmäßigerweise zwischen Auskoppelfläche und Kondensorapertur angeordnet. Er ist vorzugsweise ein- und ausschwenkbar. Er ist vorzugsweise nahe an der Kondensorapertur angeordnet, um den Lichtverlust möglichst gering zu halten.

[0028] Entsprechendes gilt auch, wenn bei Verwendung von Objektiven hoher Vergrößerung eine Aperturblende (Iris) stark zugezogen wird. Es ist daher vorteilhaft, wenn die Anordnung eines Diffusors in Abhängigkeit von der Apertur erfolgt, d.h. der Diffusor wird eingebracht, wenn eine vorbestimmte Aperturabmessung (üblicherweise ein vorbestimmter Blendendurchmesser) unterschritten wird.

[0029] Ist die verwendete Lichtquelle hell genug, kann der Diffusor auch permanent vorgesehen sein.

[0030] Um einerseits für geringe Aperturabmessungen mit einhergehender hoher Schärfentiefe eine homogene Beleuchtung zu erlauben und andererseits für Objektive mit hoher Vergrößerung eine ausreichende Leuchtdichte bereitzustellen, ist der Diffusor in besonders vorteilhafter Weise so ausgestaltet, dass nur Licht in einem vorbestimmten Bereich um die optische Achse gestreut wird. Der Diffusor ist dazu vorzugsweise als klare Scheibe mit vordefiniertem, streuendem (vorzugsweise mattiertem) Zentralbereich ausgebildet.

[0031] Dieser Diffusor eignet sich besonders für eine permanente Anordnung im Strahlengang.

[0032] Es hat sich als vorteilhaft erwiesen, wenn der vordefinierte Bereich rund ist und einen Durchmesser hat, der einer Beleuchtungsapertur von 0,35 entspricht. (Eine numerische Apertur 0,35 entspricht der üblichen Apertur eines 20x Objektivs.) Auch ein Durchmesser, der bis zu 1,5 mal größer ist, ist geeignet, da hier immer noch die streuende Fläche klein gegenüber der gesamten Auskoppelfläche ist und somit bei hohen Vergrößerungen noch eine hohe Beleuchtungsintensität vorliegt.

[0033] Es sind Anwendungsfälle (z.B. Kontrastierverfahren) bekannt, bei denen die Beleuchtungsapertur auch bei höheren Vergrößerungen zugezogen wird. Wenn sich der Beleuchtungsaperturdurchmesser dem vordefinierten Bereich nähert, kann es zu störenden Streueffekten an der Kante zwischen Streubereich und Klarbereich kommen. Außerdem verändert sich die Steigung der quadratischen Abhängigkeit der Lichtintensität im Objektfeld vom Irisdurchmesser, was sich in verstärkter Helligkeitsabnahme äußert. Als Lösung bietet sich ein unrund geformter vordefinierter Bereich an, bspw. in Form eines Sterns oder sonstiger sich verjüngender Strukturen. Durch die unrunde (z.B. sternförmige) Ausgestaltung werden Streueffekte an Kanten minimiert und es treten keine ungewöhnlichen Helligkeitseffekte beim Zuziehen der Apertur auf. Die mattierte (im Wesentlichen runde) Mitte des unrunder Bereichs sollte wiederum dem vordefinierten Durchmesser einer Beleuchtungsapertur von 0,35 entsprechen. Alternativ oder zusätzlich können Mattierungen mit Gradienten verwendet werden.

[0034] Weitere Vorteile und Ausgestaltungen der Erfindung ergeben sich aus der Beschreibung und der beiliegenden Zeichnung.

[0035] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0036] Die Erfindung ist anhand von Ausführungsbeispielen in der Zeichnung schematisch dargestellt und wird im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnung ausführlich beschrieben.

Figurenbeschreibung

[0037] Fig. 1 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Mikroskops in einer schematischen Seitenansicht, wobei der Stativfuß im Längsschnitt dargestellt ist.

[0038] Fig. 2 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform einer für die Erfindung geeigneten Lichttrichteinheit in einer Längsschnittansicht (links), einer Draufsicht (Mitte) und einer perspektivischen Ansicht (rechts).

[0039] Fig. 3 zeigt ein Diagramm der Abstrahlcharakteristik einer geeigneten Lichtquelle mit Lichttrichteinheit.

[0040] Fig. 4 zeigt schematisch eine erste bevorzugte Ausführungsform eines für die Erfindung geeigneten Diffusors.

[0041] Fig. 5 zeigt schematisch eine zweite bevorzugte Ausführungsform eines für die Erfindung geeigneten Diffusors.

[0042] Fig. 6 zeigt eine weitere Ausführungsform einer für die Erfindung geeigneten Lichttrichteinheit in einer Längsschnittansicht.

Detaillierte Beschreibung der Zeichnung

[0043] In Fig. 1 ist eine bevorzugte Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Mikroskops **100** in einer schematischen Seitenansicht dargestellt, wobei der Stativfuß im Längsschnitt dargestellt ist. Das Mikroskop **100** dient zum Betrachten eines Objekts **O**, welches auf einem Mikroskopisch **90** angeordnet wird. Das Mikroskop weist ein Stativ **60** zum Tragen unterschiedlicher Mikroskopelemente auf, insbesondere einer Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung **10**, eines Objektivrevolvers **70** mit unterschiedlichen Objektiven **71** und eines Tubus **80** mit Okular.

[0044] Der Mikroskopisch ist in bekannter Weise über Drehknöpfe **91** und **92** in z- bzw. x/y-Richtung bewegbar.

[0045] Die Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung **10** weist eine Lichtquelle **20** auf, die als LED-Anordnung ausgebildet ist. Eine Energieversorgung **21** dient zur Versorgung der LED-Anordnung. Über der LED-Anordnung **20** ist eine Lichttrichteinheit **30** angeordnet, die an ihrer dem zu beleuchtenden Objekt **O** zugewandten Seite eine größere Auskoppelfläche **32** mit einer Abmessung (hier Durchmesser; allgemein kann es sich um eine größte oder kleinste Längserstreckung durch einen geometrischen Schwerpunkt handeln) **D** aufweist. Die Lichtabstrahlfläche (Chipfläche) der Lichtquelle **20** ist deutlich kleiner als die Auskoppelfläche **32** der Lichttrichteinheit, vorzugsweise kleiner als die Hälfte, als ein Drittel oder als ein Viertel.

[0046] Die Beleuchtungseinrichtung weist weiterhin einen Kondensator **40** auf, der eine Kondensatorapertur **41** mit einer Abmessung (hier Durchmesser; allgemein kann es sich um eine größte oder kleinste Längserstreckung durch einen geometrischen Schwerpunkt handeln) **A** aufweist, welche im vorliegenden Beispiel als verstellbare Irisblende ausgebildet ist. Die Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung **10** ist für eine kritische Beleuchtung des zu betrachtenden Objekts **O** eingerichtet. Das Objekt **O** befindet sich daher im Wesentlichen im probenseitigen Brennpunkt eines Kondensators **40**, die Aperturblende **41** befindet sich im Wesentlichen im lampenseitigen Brennpunkt des Kondensators **40**.

[0047] Der Abstand **d** der Auskoppelfläche **32** von der Apertur **41** beträgt im gezeigten Beispiel das Doppelte der Auskoppelflächenabmessung **D**.

[0048] Die Lichttrichteinheit **30** richtet das von der LED-Anordnung **20** ausgestrahlte Licht so, dass es aus der Auskoppelfläche **32** in einem Winkelbereich zwischen 10 Grad und 50 Grad abstrahlt. Das Licht weist im Fernfeld eine Intensitätsverteilung auf, sodass in einem Bereich von mindestens 5° um die Hauptabstrahlrichtung die Intensität um höchstens 50% schwankt (siehe Fig. 3).

[0049] In Fig. 2 ist das System aus Lichtquelle **20** und Lichttrichteinheit **30** in einer Längsschnittansicht (links), einer Draufsicht (Mitte) und einer perspektivischen Ansicht (rechts) jeweils schematisch dargestellt.

[0050] Die LED-Anordnung **20** weist im vorliegenden Beispiel vier einzelne LEDs in rechteckiger Anordnung auf. Sie kann jedoch auch weniger LEDs, vorzugsweise nur eine LED aufweisen. Das von der LED-Anordnung **20** als Lichtquelle abgestrahlte Licht wird an einer Einkoppelfläche **31** in die Lichttrichteinheit **30** eingekoppelt und an der oberen Auskoppel-

fläche **32** wieder ausgekoppelt. Zwischen der Einkoppelfläche **31** und der Auskoppelfläche **32** erstrecken sich eine innere Mantelfläche **33** und eine äußere Mantelfläche **34**. Der von der inneren Mantelfläche **33**, der äußeren Mantelfläche **34** und der Auskoppelfläche **32** begrenzte Körper ist aus transparentem Kunststoff ausgebildet. Die äußere Mantelfläche **34** hat beispielhaft die Form eines Rotationsparaboloids und ist als Totalreflexionsspiegel ausgebildet, so dass das Licht in Richtung Auskoppelfläche gelenkt wird. Die äußere Mantelfläche kann aber auch als Rotationsellipsoid oder Freiformfläche ausgebildet sein. Die innere Mantelfläche **33** begrenzt einen Kanal, dessen Form an ein Trinkgefäß erinnert. Innerhalb des von der inneren Mantelfläche **33** begrenzten Kanals ist ein als Linse **35** ausgebildeter Kollimator angeordnet. Eine Symmetrieachse **36** bildet die optische Achse der Lichttrichtereinheit sowie die des Kollimators und die Hauptabstrahlrichtung der Lichtquelle **20**.

[0051] Die Auskoppelfläche **32** weist in der dargestellten Ausführungsform eine Mikrolinsenanordnung auf, wobei die Mikrolinsen bienenwabenartig geformt sind. Die Auskoppelfläche **34** kann jedoch auch unstrukturiert (wie in **Fig. 6**) oder anders strukturiert (z.B. Fresnellinsen) ausgebildet sein.

[0052] Die Lichttrichtereinheit **30** bildet die Lichtquelle **20** nicht ab. Eine bevorzugte Abstrahlcharakteristik einer Lichttrichtereinheit mit LED ist in **Fig. 3** dargestellt.

[0053] In **Fig. 3** ist die Lichtstärke in einem kartesischen Diagramm aufgetragen. Hierbei ist auf der y-Achse die Lichtstärke I [Cd] in 5 Meter Entfernung gegen den Abstrahlwinkel [°] auf der x-Achse aufgetragen, wobei als Lichtquelle **20** eine einzelne Luxeon Rebel Weißlicht LED verwendet worden ist. Es ist erkennbar, dass das Licht so gerichtet ist, dass der Schwerpunkt der Abstrahlung im Bereich der optischen Achse (0°) liegt. Es tritt somit eine gewisse Bündelung des abgestrahlten Lichts auf, sodass die wesentliche Lichtleistung im Bereich zwischen -15° und $+15^\circ$ liegt. Es ist weiterhin erkennbar, dass zwischen -5° und $+5^\circ$ nur eine geringe Intensitätsschwankung stattfindet, welche unter 50% liegt.

[0054] Bei einem Mikroskop gemäß **Fig. 1** kann bei kleinen Abmessungen der Apertur **41** (Aperturblendenöffnungsdurchmesser A) die Schärfentiefe so groß werden, dass die Struktur der Auskoppelfläche im Objektbild erkennbar wird. Dies führt zu unerwünschten Inhomogenitäten. Zur Beseitigung dieser Inhomogenitäten kann ein Diffusor als strukturierte optische Komponente im Strahlengang zwischen Auskoppelfläche **32** und Apertur **41** vorgesehen werden, vorzugsweise nahe an der Apertur **41**. In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist der Diffusor auf besondere Weise ausgebildet, wie nachfolgend unter Bezugnahme auf die **Fig. 4** und

Fig. 5 erläutert wird. Die Diffusoren können dauerhaft im Strahlengang angeordnet sein oder in Abhängigkeit von der Aperturabmessung ein- und ausgeschwenkt werden. In diesem Fall werden sie bei Unterschreiten einer Schwellen-Aperturabmessung (üblicherweise Durchmesser) eingeschwenkt und bei Überschreiten ausgeschwenkt. Die Schwellen-Aperturabmessung entspricht vorzugsweise einer numerischen Apertur von 0,35.

[0055] In **Fig. 4** ist eine erste Ausführungsform **400**, in **Fig. 5** eine zweite Ausführungsform **500** eines solchen Diffusors dargestellt. Beide Diffusoren bestehen im Wesentlichen aus einer klaren Scheibe mit Durchmesser $D1$, die in einem vorbestimmten Bereich **401** bzw. **501** streuend ausgebildet ist. Dazu wird der vorbestimmte Bereich vorzugsweise mattiert, beispielsweise durch Sandstrahlen. Der Durchmesser $D1$ ist so gewählt, dass der Diffusor auf einfache Weise im Strahlengang angeordnet werden kann, ohne zu Abschattungen zu führen. Er entspricht zweckmäßigerweise mindestens einer maximal möglichen Abmessung der Beleuchtungsapertur.

[0056] Die Ausführungsform gemäß **Fig. 4** weist einen runden Streubereich **401** auf, dessen Abmessung $D2$ (hier Durchmesser, allgemein kann es sich um eine größte oder kleinste Längserstreckung durch einen geometrischen Schwerpunkt handeln) an eine vorbestimmte Aperturabmessung (vorzugsweise entsprechend einer numerischen Apertur 0,35) angepasst ist.

[0057] Die Ausführungsform **500** gemäß **Fig. 5** ist sternförmig ausgebildet, wobei eine Abmessung $D2$ (kleinste Längserstreckung durch einen geometrischen Schwerpunkt) eines zentralen (insbesondere konvexen) Bereichs in der Mitte ebenfalls an eine vorbestimmte Aperturabmessung (vorzugsweise entsprechend einer numerischen Apertur 0,35) angepasst ist. Neben dem zentralen Bereich in der Mitte weist der vorbestimmte Bereich **501** zusätzlich sich verjüngende Strukturen auf, um insbesondere eine sprunghafte Lichtabnahme während eines Schließens der Aperturblende und eine Streuung an dem Übergang vom Streubereich zum klaren Bereich zu vermeiden.

[0058] In **Fig. 6** ist eine weitere bevorzugte Ausführungsform einer Lichttrichtereinheit **30'** in einer Längsschnittsansicht zur Skizzierung des inneren Aufbaus (Mitte), mit Lichtwegen (links) und mit Lichtwegen sowie einer vorgesetzten strukturierten optischen Komponente (rechts) jeweils schematisch dargestellt.

[0059] Das von der LED-Anordnung **20** als Lichtquelle abgestrahlte Licht wird an einer Einkoppelfläche **31'** in die Lichttrichtereinheit **30'** eingekoppelt und an einer oberen Auskoppelfläche **32'** wieder ausgekoppelt. Zwischen der Einkoppelfläche **31'** und der

Auskoppelfläche **32'** erstreckt sich eine äußere Mantelfläche **34'**. Im Anschluss an die Einkoppelfläche **31'** erstreckt sich eine innere Mantelfläche **33'**, die einen zylinderförmigen Hohlraum **37** begrenzt, der nach oben von einem als Linse **35'** ausgebildeten Kollimator begrenzt wird. Beide optisch wirksamen Flächen des Kollimators können zur Kollimation des Lichts beitragen, so dass die Austrittsfläche nicht zwangsweise plan sein muss. Der lichtquellenseitige Brennpunkt B der Linse **35'** liegt in der Ebene der Lichtquelle **20**.

[0060] Der von der inneren Mantelfläche **33'**, der äußeren Mantelfläche **34'**, dem Kollimator **35'** und der Auskoppelfläche **32'** begrenzte Körper ist aus transparentem Kunststoff ausgebildet. Die äußere Mantelfläche **34'** hat die Form eines Rotationsparaboloids und ist als Totalreflexionsspiegel ausgebildet, so dass das Licht in Richtung Auskoppelfläche **32'** gelenkt wird. Eine Symmetrieachse **36** bildet die optische Achse der Lichttrichteinheit **30'** sowie die des Kollimators **35'** und die Hauptabstrahlrichtung der Lichtquelle **20**.

[0061] Licht, das in den Hohlraum **37** eintritt, durchstrahlt entweder den Kollimator **35'** oder die innere Mantelfläche **33'**, wobei es im letzteren in Richtung der reflektierenden äußeren Mantelfläche **34'** gebrochen wird. So wird nahezu das gesamte in die Einkoppelfläche **31'** eingekoppelte Licht parallelisiert.

[0062] Die Auskoppelfläche **32'** ist in der dargestellten Ausführungsform unstrukturiert. Hinter der Auskoppelfläche kann eine strukturierte optische Komponente **38** vorgesehen sein, im vorliegenden Fall eine Mikrolinsenanordnung.

Patentansprüche

1. Mikroskop (**100**) mit einer Durchlicht-Beleuchtungseinrichtung (**10**) für eine kritische Beleuchtung eines zu betrachtenden Objekts (O), aufweisend:
 – eine Lichtquelle (**20**) aufweisend eine LED-Anordnung mit einer Lichtabstrahlfläche,
 – eine Lichttrichteinheit (**30, 30'**) aufweisend einen Kollimator (**35, 35'**) und eine reflektierende Mantelfläche (**34, 34'**), beide zum Ausrichten von in die Lichttrichteinheit (**30, 30'**) eingekoppeltem Licht, sowie aufweisend eine Auskoppelfläche (**32, 32'**), wobei die Auskoppelfläche (**32, 32'**) eine Auskoppelflächenabmessung (D) besitzt, wobei die Lichtabstrahlfläche der Lichtquelle (**20**) kleiner als die Auskoppelfläche (**32, 32'**) der Lichttrichteinheit (**30, 30'**) ist, wobei die Lichttrichteinheit (**30, 30'**) so angeordnet ist, dass von der Lichtquelle (**20**) abgestrahltes Licht eingekoppelt wird und aus der Auskoppelfläche (**32, 32'**) ausgekoppelt wird,
 – einen Kondensator (**40**) zwischen der Auskoppelfläche (**32, 32'**) der Lichttrichteinheit (**30, 30'**) und dem zu betrachtenden Objekt (O), wobei der Kondensator eine

Apertur (**41**) mit einer Aperturabmessung (A) hat und so angeordnet ist, dass die Apertur (**41**) mit dem aus der Auskoppelfläche (**32, 32'**) ausgekoppelten Licht vollständig bestrahlt wird.

2. Mikroskop nach Anspruch 1, wobei die Lichtquelle (**20**) im lichtquellenseitigen Brennpunkt (B) des Kollimators (**35, 35'**) angeordnet ist.

3. Mikroskop nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Auskoppelflächenabmessung (D) größer als die Aperturabmessung (A) ist.

4. Mikroskop nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Abstand (d) der Auskoppelfläche (**32, 32'**) von der Apertur (**41**) wenigstens das Doppelte und höchstens das Vierfache der Auskoppelflächenabmessung (D) ist.

5. Mikroskop nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Apertur (**41**) im lichtquellenseitigen Brennpunkt des Kondensators (**40**) angeordnet ist.

6. Mikroskop nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei der Strahlengang zwischen Auskoppelfläche (**32, 32'**) und Kondensator (**40**) nicht gefaltet ist.

7. Mikroskop nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Aperturabmessung (A) durch eine Irisblende variabel vorgebar ist.

8. Mikroskop nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei eine strukturierte optische Komponente (**32, 38, 400, 500**) im Strahlengang zwischen Kollimator (**35, 35'**) und Kondensatorapertur (**41**) angeordnet ist.

9. Mikroskop nach Anspruch 8, wobei die strukturierte optische Komponente (**32, 38, 400, 500**) eine Linsenanordnung, eine Mikrolinsenanordnung, eine Fresnellinsenanordnung oder einen Diffusor (**400, 500**) aufweist.

10. Mikroskop nach Anspruch 8 oder 9, wobei die strukturierte optische Komponente (**32, 38, 400, 500**) die Auskoppelfläche (**32**) ist.

11. Mikroskop nach Anspruch 8 oder 9, wobei die strukturierte optische Komponente (**32, 38, 400, 500**) im Strahlengang zwischen Auskoppelfläche (**32, 32'**) und Kondensatorapertur (**41**) angeordnet ist.

12. Mikroskop nach Anspruch 10 oder 11, wobei die strukturierte optische Komponente (**32, 38, 400, 500**) als eine Scheibe mit einem vorbestimmten Streubereich (**401, 501**) ausgebildet ist.

13. Mikroskop nach Anspruch 12, wobei der Streubereich eine Kreisfläche (**401**) ist und einen Durch-

messer(D2) hat, der einer vorbestimmten Beleuchtungsapertur entspricht.

14. Mikroskop nach Anspruch 12, wobei der Streubereich (**501**) sternförmig ist.

15. Mikroskop nach Anspruch 14, wobei ein zentraler Bereich innerhalb des Streubereichs (**501**) eine Abmessung (D2) hat, die einer vorbestimmten Beleuchtungsapertur entspricht.

16. Mikroskop nach einem der Ansprüche 8 bis 15, wobei die strukturierte optische Komponente (**32, 38, 400, 500**) schwenkbar gelagert ist, so dass sie in den Strahlengang einschwenkbar und aus dem Strahlengang ausschwenkbar ist.

17. Mikroskop nach Anspruch 16, wobei ein Mechanismus vorgesehen ist, der die strukturierte optische Komponente (**32, 38, 400, 500**) in Abhängigkeit von der Aperturabmessung (A) in den Strahlengang einschwenkt und aus dem Strahlengang ausschwenkt.

18. Mikroskop nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das aus der Auskoppelfläche (**32, 32'**) ausgekoppelte Licht in einem Winkelbereich von mindestens $\pm 10^\circ$ und höchstens $\pm 50^\circ$ gegenüber einer optischen Achse abstrahlt und eine Fläche in 5 m Entfernung in einem Winkelbereich von mindestens $\pm 5^\circ$ mit Intensitätsschwankungen geringer als 50% beleuchtet.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

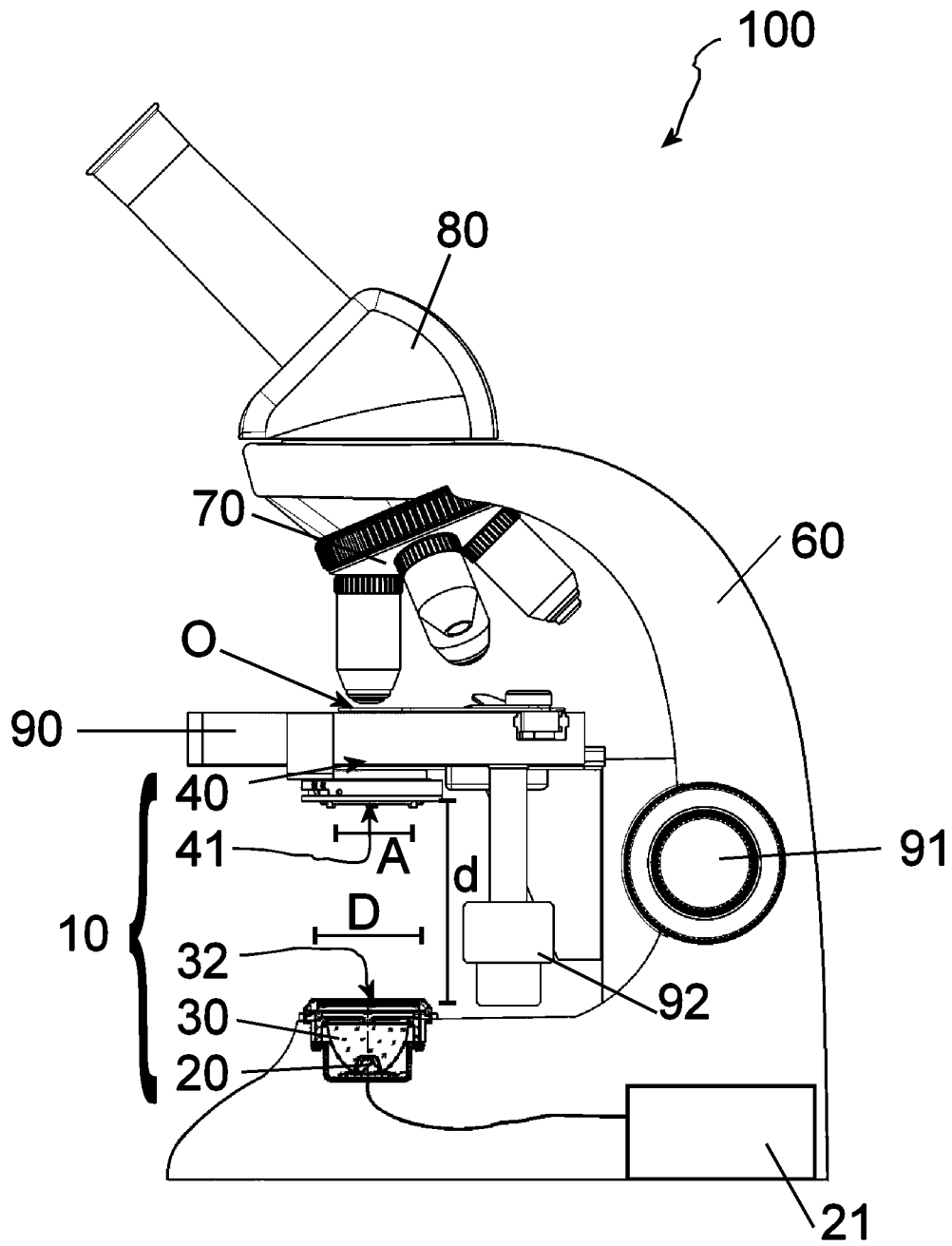


FIG. 1

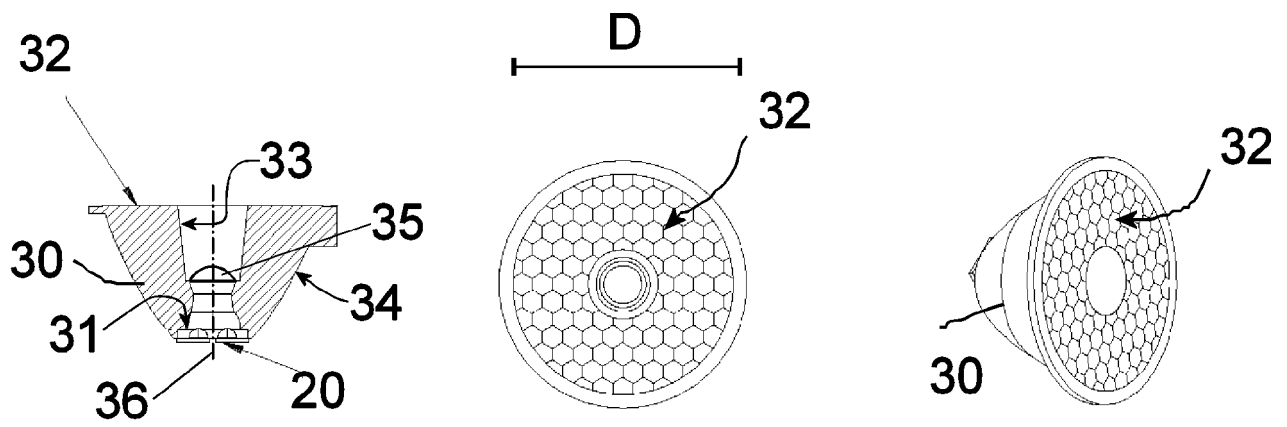


FIG. 2

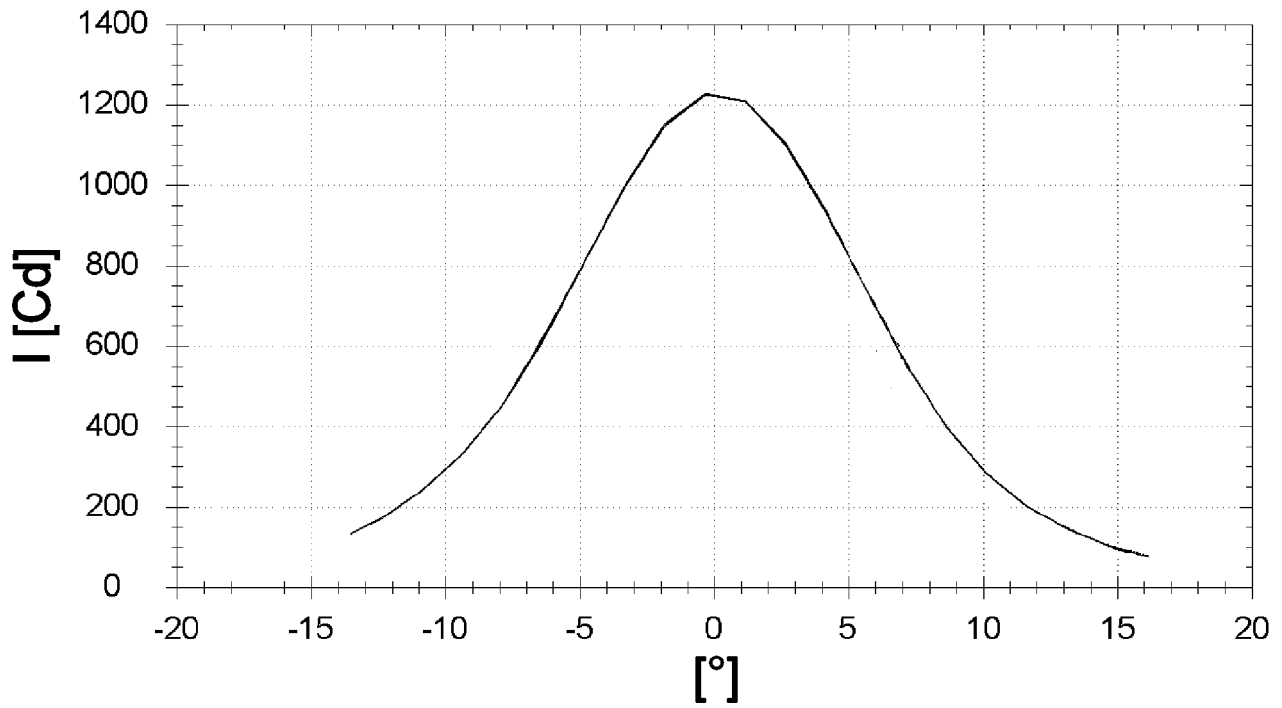


FIG. 3

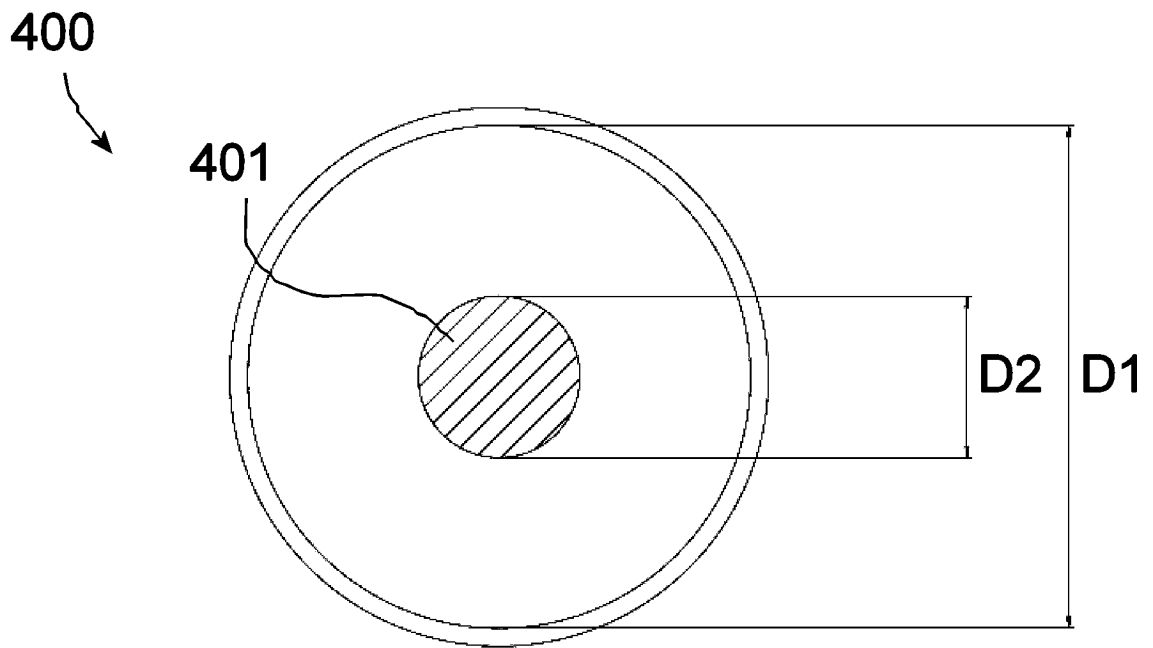


FIG. 4

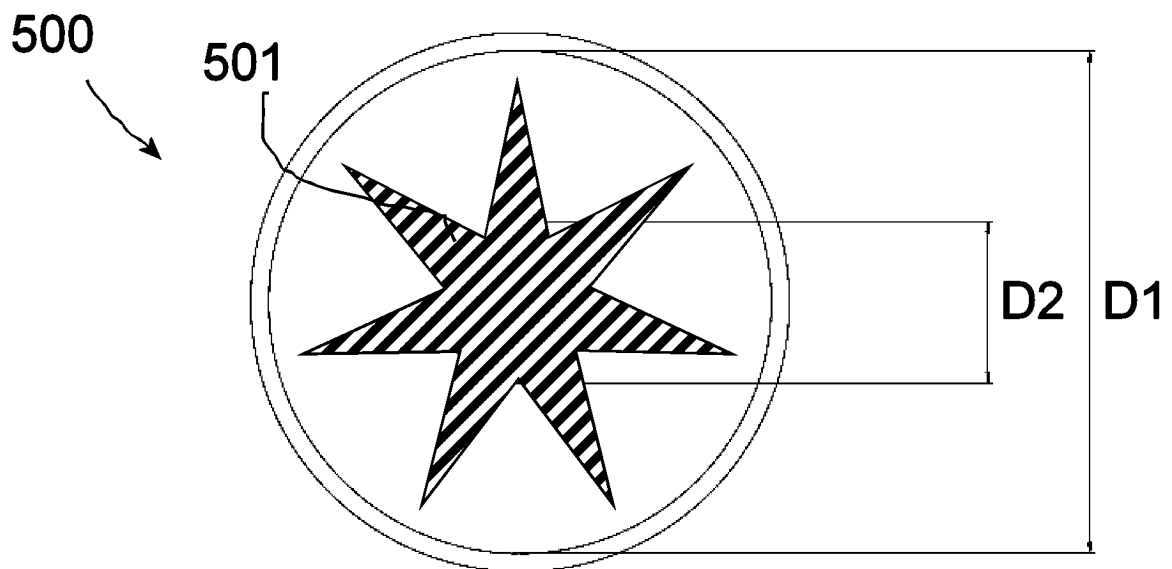


FIG. 5

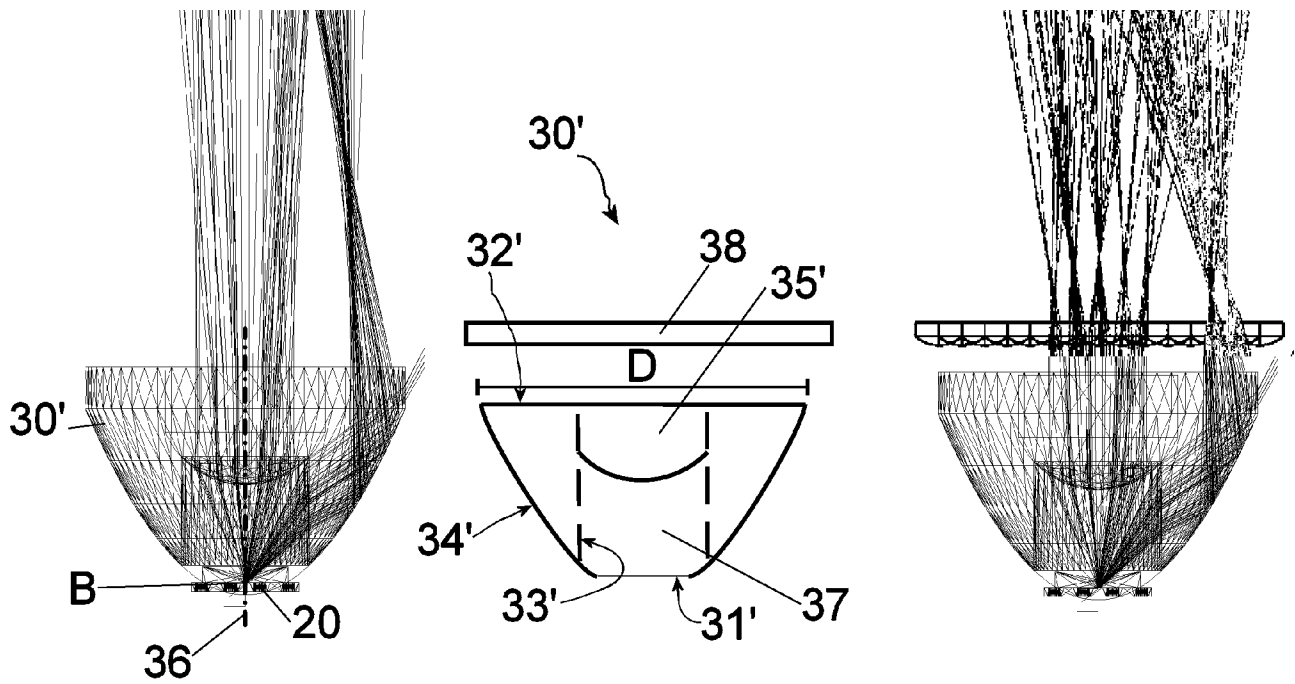


FIG. 6