



AMT FÜR ERFINDUNGS- UND PATENTWESEN

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

(21) WPA 61 F / 306 573 2

(22) 02.09.87

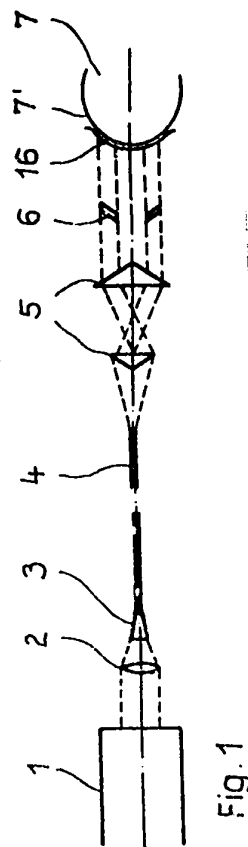
(44) 04.01.89

(71) VEB Carl Zeiss JENA, Carl-Zeiss-Straße 1, Jena, 6900, DD

(72) Rothhard, Manfred, Dipl.-Phys.; Krause, Ulf, Dipl.-Phys., DD

(54) Anordnung zur operativen Behandlung der Augenhornhaut

(55) refraktive Keratotomie, Laserlichtquelle, hohe Energieausnutzung, verkürzte Behandlungszeit
 (57) Anordnung zur operativen Behandlung der Augenhornhaut unter Verwendung einer Laserlichtquelle sowie den Lichtstrahl leitende optische Bauelemente, bei der erfindungsgemäß mindestens ein den Querschnitt des Lichtbündels formendes und die, der Corneawölbung annähernd entsprechende Bildfläche des ableitenden Systems erzeugendes optisches Bauelement vorgesehen ist. Vorteilhafterweise werden entweder ein Zylinderlinsenarray, speziell gestaltete Lichtleitfaserbündel oder Schichtwellenleiter in Verbindung mit mindestens einer sphärischen Linse definiert angeordnet. Fig. 1



Patentansprüche:

1. Anordnung zur operativen Behandlung der Augenhornhaut, umfassend einen Laser, das Laserlicht leitende optische Bauelemente wie Linsen oder Prismen, eine Lichtleitfaser und/oder ein Lichtleitfaserbündel, **gekennzeichnet dadurch**, daß mindestens ein den Querschnitt des Lichtbündels formendes und die, der Corneawölbung annähernd genau entsprechende Bildfläche des abbildenden Systemes erzeugendes optisches Bauelement (6, 11, 12, 15, 17) vorgesehen ist.
2. Anordnung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß als optisches Bauelement — ein Zylinderlinsenarray (6) einem Axikon-Paar (5) folgend angeordnet ist.
3. Anordnung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß als optisches Bauelement eine mit einem Ausgangsquerschnitt (10) und einer konkav geöffneten Austrittsfläche (11) versehene Lichtleitfaserbündel (8) und eine sphärische, Astigmatismus aufweisende Linse (12) vorgesehen ist.
4. Anordnung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß als optisches Bauelement ein mit einem Ausgangsquerschnitt (18) und einer konkav gewölbten Austrittsfläche (17) versehener Schichtwellenleiter (14) und eine sphärische Linse (12) vorgesehen ist.
5. Anordnung nach Anspruch 1, **gekennzeichnet dadurch**, daß als optisches Bauelement ein Lichtleitfaserbündel, bei dem das Endstück (15) jeder einzelnen Lichtleitfaser definiert geformt und getapert ist und eine Linse (12) vorgesehen ist.

Hierzu 1 Seite Zeichnungen

Anwendungsgebiet der Erfindung

Die Erfindung findet Anwendung bei der Erzeugung von linienförmigen Strukturen mit Hilfe von leistungsfähigen Laserlichtquellen, z. B. Excimerlaser, für die Verwendung in der Mikrochirurgie speziell in der Ophthalmologie zur refraktiven Keratotomie (Korrektur von Fehlsichtigkeit des Auges mit Hilfe von Schnitten in die Cornea). Eine Verwendung in der Photolithographie ist ebenfalls möglich.

Charakteristik des bekannten Standes der Technik

Seit Beginn der 80er Jahre stehen mit den Excimerlasern leistungsstarke Impulslichtquellen im UV zur Verfügung. Inzwischen gibt es bereits kommerzielle Geräte zur Behebung von Sehfehlern mit Hilfe der radialen Keratotomie, in denen Excimerlaser eingesetzt werden.

Bei dieser Methode wird die Hornhaut durch das Laserlicht an bestimmten Stellen bis zu 80% ihrer Dicke aufgeritzt, (Trokol MD, Amer. Journ. of ophthalm., 96 (1983) 710-715). Die Lage dieser Schnitte ist von der Art des Sehfehlers abhängig. Man wendet etwa 10 bis 20 unterschiedliche Schnittmuster an, die außerdem in ihrer Schnitttiefe- und Anzahl variiert werden. Die Schnitte liegen prinzipiell außerhalb des Sichtbereiches (Iris). Die Schnittlänge beträgt einige Millimeter, ihre Breite einige Zehntel Millimeter.

In einer bekannten Lösung (EP 0151869) wird der Einsatz eines frei ansteuerbaren Laserscanners vorgeschlagen. Dabei wird der Laserstrahl auf die Hornhaut fokussiert und dieser Fokus wird mit Hilfe des Laserscanners in einem vorbestimmten Muster über die Hornhaut geführt. Der Laserfokus wird der Hornhautwölbung entsprechend verschoben. Nachteil dieser Lösung ist, daß die Strahlnachführung sehr aufwendig ist. Die dabei nutzbare Fleckgröße des Laserstrahles auf der Hornhaut kann dabei die gewünschte Schnittbreite nicht übersteigen. Um dabei eine Zerstörung der Hornhaut zu vermeiden, darf die Energiedichte auf der Hornhaut etwa 5 J/cm^2 nicht übersteigen, d. h., die je Impuls maximal nutzbare Energie beträgt etwa 10 mJ. Kommerzielle Excimerlaser haben aber Impulsenergien von wenigstens 100 mJ. Damit bleiben 90% der Energie des Lasers ungenutzt. Aufgrund dieser Begrenzung ist das Anbringen der Schnitte sehr zeitaufwendig und das Auge des Patienten muß über lange Zeit sehr genau fixiert werden.

Bei einer weiteren bekannten Lösung (EP 0111060) wird eine Maske mit der entsprechenden Schnittform auf die Hornhaut aufgelegt und dann mit dem nur schwach fokussierten Laserstrahl beleuchtet. Die Fixierung des Auges erfolgt durch die Maske. Die Schnittfläche nimmt nur etwa 20% der Gesamtfläche der Hornhaut ein, so daß etwa 80% der Laserenergie von der Maske reflektiert werden und verloren gehen. Ein Abrastern der Schnitte mit einem Laserscanner bei gleichzeitiger Verwendung einer Maske vergrößert den Aufwand erheblich und besitzt ähnliche Nachteile wie die erstgenannte Lösung. Vor allem besteht der Nachteil darin, daß wegen der Vermeidung einer Schädigung des Auges die punktwise vorhandene hohe Energie nicht vollständig genutzt werden kann (Energieverluste).

Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist die Reduzierung des Energieaufwandes und des gerätetechnischen Aufwandes sowie eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen von Arzt und Patient während der Operation.

Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Anordnung zur operativen Behandlung der Augenhornhaut, unter Verwendung einer Laserlichtquelle zu schaffen, bei der nahezu die gesamte durch den Laser erzeugte Energie zur Schnittführung genutzt wird und die Behandlungszeit, die Dauer des operativen Eingriffes an dem Auge und damit die Augenbelastung gesenkt wird.

Die Aufgabe wird durch eine Anordnung zur operativen Behandlung der Augenhornhaut, umfassend einen Laser, das Laserlicht leitende optische Bauelemente wie Linsen oder Prismen, eine Lichtleitfaser und/oder ein Lichtleitfaserbündel, erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß mindestens ein den Querschnitt des Lichtbündels formendes und die, der Corneawölbung annähernd genau entsprechende Bildfläche des abbildenden Systems erzeugendes optisches Bauelement vorgesehen ist.

Erfindungsgemäß ist es vorteilhaft ein Zylinderlinsenarray einem Axikon-Paar folgend als optisches Bauelement vorzusehen oder ein mit einem bestimmten Ausgangsquerschnitt und einer konkav gewölbten Austrittsfläche versehenes Lichtleitfaserbündel und eine sphärische, Astigmatismus aufweisende Linse einzusetzen.

Ferner ist es vorteilhaft, daß als erfindungsgemäßes optisches Bauelement ein mit einem bestimmten Ausgangsquerschnitt und einer konkav gewölbten Austrittsfläche versehener Schichtwellenleiter und eine sphärische, Astigmatismus aufweisende Linse vorgesehen oder ein Lichtleitfaserbündel, bei dem das Endstück jeder einzelnen Lichtleitfaser definiert geformt und getapert ist und eine Linse angeordnet sind.

Durch die erfindungsgemäße Anordnung ist es möglich, alle in die Cornea eines Auges einzubringenden Schnitte gleichzeitig durchzuführen, bei annähernd vollständiger Nutzung der Strahlungsenergie des Lasers. Dadurch reduziert sich der notwendige Energieaufwand und es tritt eine Verbesserung der Arbeitsbedingungen des Arztes und eine Minimierung der Belastung des Patienten während der Operation ein.

Ausführungsbeispiel

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert. In der Zeichnung zeigen in schematischer Darstellung

- Fig. 1 und 1a eine Anordnung unter Verwendung eines Zylinderlinsenarrays,
- Fig. 2 bis 2b eine Anordnung unter Verwendung eines definiert geformten Lichtleitfaserbündels und
- Fig. 3 bis 3d eine Anordnung unter Verwendung eines definiert geformten Schichtwellenleiters.

In Fig. 1 ist eine erfindungsgemäße Anordnung zur operativen Behandlung des Auges gezeigt. Nacheinanderfolgend sind entlang einer optischen Achse ein Laser 1, eine Linse 2, ein Eingangstaper 3, eine Lichtleitfaser 4, ein Axikon-Paar 5, ein Zylinderlinsenarray 6 und eine Maske 16 angeordnet.

Das vom Laser 1 ausgestrahlte Licht wird mit einer Linse 2 fokussiert und mit Hilfe eines Eingangstaper 3 in die Lichtleitfaser 4 eingekoppelt. Der Faserkegel wird benötigt, um die Energiebelastung auf der Einkoppelfläche zu verringern, da bei den üblichen Faserkerndurchmessern (200 µm ... 600 µm) die Impulsenergie des Excimerlasers bereits zur Zerstörung der Faserstirnfläche führen kann. Die Übertragung des Lichtes über eine einzelne Lichtleitfaser erlaubt eine maximale Flexibilität und eine vollständige Durchmischung und Homogenisierung des Laserlichtes. Das ist ein wesentlicher Vorteil gegenüber Anordnungen mit mehreren Übertragungsfasern.

Mit Hilfe des Axikon-Paares wird aus dem kreisrunden divergenten Lichtbündel ein paralleles Lichtbündel mit kreisringförmigem Querschnitt erzeugt. Damit wird die gesamte Lichtenergie in dem Bereich zwischen den Radien r_1 und r_2 konzentriert, in dem die Schnitte in die Hornhaut eingebracht werden. Die innere Begrenzung wird durch den Radius der Augenpupille bestimmt, die äußere Begrenzung durch den Augendurchmesser (r_2 5 ... 6 mm). Jede einzelne Zylinderlinse des Zylinderlinsenarrays 6 erzeugt aus einem bestimmten Sektor des Lichtbündels eine radial verlaufenden Linie in der Bildfläche. Die einzelnen Zylinderlinsen sind erfindungsgemäß so geneigt, daß die Bildebene im Bereich der jeweiligen Schnittlinie annähernd mit der Oberfläche der Cornea zusammenfällt, um eine möglichst gleichmäßige Breite der Schnitte über die gesamte Schnittlänge zu erreichen. Zum Schutz aller Bereiche der Cornea, die nicht bestrahlt werden sollen, kann darüber hinaus eine Maske 16 vor dem Auge fixiert werden.

Fig. 1 a zeigt die Ausbildung des Zylinderlinsenarrays 6.

In Fig. 2 bis 2 b ist eine weitere mögliche Ausführungsform aufgezeigt, bei der die Querschnittsformung mit Hilfe eines Lichtleitfaserbündels 8 bestehend aus einigen Hundert Lichtleitfasern, durchgeführt wird. Dabei wird aus dem rechteckigen Eingangsquerschnitt, Fig. 2 a, der der Form des Laserbündels entspricht, ein Querschnitt erzeugt, der dem gewünschten Schnittmuster der Hornhautschnitte entspricht, Fig. 2 b. Zur Einkopplung wird das Laserlicht mit einer Linse 2 auf die Stirnfläche des Lichtleitfaserbündels 8 fokussiert, wobei der Fleckdurchmesser und die numerische Apertur an die Fasern angepaßt werden.

Das Muster des Ausgangsquerschnitts, Fig. 2 b, besteht aus linienförmigen Aufreihungen von Kreisscheibchen entsprechend dem Faserkerndurchmesser. Diese Muster werden mit der Linse 12 so abgebildet, daß die gewünschten Schnittlinien auf der Cornea 7' des Auges 7 entstehen. Dabei wird der Astigmatismus der Linse ausgenutzt und die Tatsache, daß bei der Abbildung nur außeraxiale Bildpunkte auftreten. So wird in der sagittalen Bildschale aus jedem Kreisscheibchen der Faserbündelaustrittsfläche ein in radialer Richtung langgestreckter Fleck erzeugt, so daß sich in der Bildfläche (Oberfläche der Cornea) die einzelnen langgestreckten Flecken zu Linien mit einer bestimmten Breite überlagern.

Die Austrittsfläche 11 des Lichtleitfaserbündels 8 weist eine konkave Wölbung auf, so daß die Bildfläche nach der Abbildung mit der Linse 12 mit der gewölbten Oberfläche der Cornea zusammenfällt. Diese konkave Wölbung kann durch entsprechende Anordnung der Einzelfasern oder ggf. durch schleifen und polieren erzeugt werden.

Eine weitere vorteilhafte Ausführungsform ist in Fig. 3 bis 3 d dargestellt. Es ist eine Anordnung dargestellt, in der mit einem Lichtleitfaserbündel 13, bestehend aus einer geringen Zahl von Lichtleitfasern, eine Querschnittsformung vorgenommen wird. Als astigmatische Elemente wirken die Schichtwellenleiter 14, die der Anzahl der erforderlichen Hornhautschnitte entsprechen. Der Schichtwellenleiter 14 wirkt gleichzeitig als Lichtmischer, wenn an seiner eingangsseitigen Stirnfläche mit mehreren unterschiedliche Intensität übertragenden Lichtleitfasern eingestrahlt wird. Dadurch kann eine gleiche Intensität für alle Schnitte gewährleistet werden.

Das vom Laser 1 ausgestrahlte Lichtbündel wird mit der Linse 2 auf die vordere Stirnfläche des Lichtleitfaserbündels 13 mit dem

Querschnitt C-C, Fig. 3a, abgebildet. Ausgangsseitig besitzt das Lichtleitfaserbündel 13 den Querschnitt D-D, Fig. 3b. Jede Gruppe von Lichtleitfasern des Ausgangsquerschnitts des Lichtleitfaserbündels 13 ist an die eingangsseitige Stirnfläche des entsprechenden Schichtwellenleiters 14 stumpf angesetzt. Die ausgangsseitige Stirnfläche 17 des Schichtwellenleiters 14 ist konkav gewölbt, so daß sie mit der Linse 12 auf die Cornea 7' abgebildet wird. Bei der Abbildung kann zusätzlich noch der Astigmatismus der Linse 12 ausgenutzt werden, wenn die Cornea 7' in die sagittale Bildschale gebracht wird, analog zur Ausführungsform nach Fig. 2. Der Schichtwellenleiter 14 könnte ggf. auch durch ein Lichtleitfaserbündel, bei dem das Endstück jeder einzelnen Lichtleitfaser definiert geformt und getapert ist, ersetzt werden. Der Vorteil gegenüber der Ausführungsform gemäß Fig. 2 besteht in der geringen Zahl von Lichtleitfasern im Lichtleitfaserbündel. Das ist aus zwei Gründen von Bedeutung. Einerseits müssen die Fasern im Bündel geordnet werden, um gleiche Intensitäten in jedem Bereich von jedem Hornhautschnitt zu gewährleisten, andererseits werden relativ teure Fasern mit hoher Transmission im UV-Bereich eingespart.

