



(10) **DE 10 2013 004 688 A1** 2014.09.18

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2013 004 688.2**

(22) Anmeldetag: **13.03.2013**

(43) Offenlegungstag: **18.09.2014**

(51) Int Cl.: **A61F 9/008 (2006.01)**

(71) Anmelder:

Carl Zeiss Meditec AG, 07745 Jena, DE

(72) Erfinder:

**Wottke, Matthias, 92353 Postbauer-Heng, DE;
Meyer, Bertram, Dr., 51143 Köln, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE 10 2007 019 813 A1

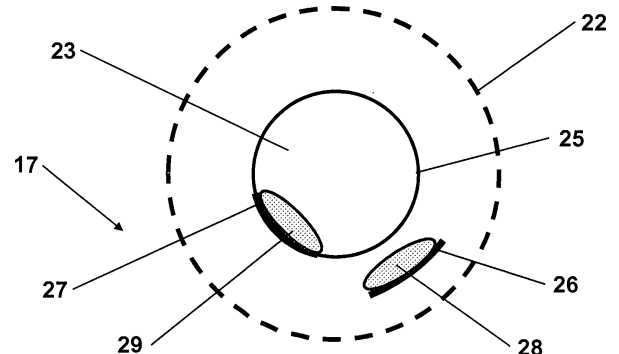
DE 10 2008 049 401 A1

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Augenchirurgisches Verfahren**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf eine Planungseinrichtung zum Erzeugen von Steuerdaten für eine Behandlungsvorrichtung, die mittels einer Lasereinrichtung zumindest eine Schnittfläche in der Hornhaut erzeugt sowie auf eine solche Behandlungsvorrichtung. Die Erfindung bezieht sich weiter auf ein Verfahren zum Erzeugen von Steuerdaten für eine Behandlungsvorrichtung, die mittels einer Lasereinrichtung zumindest eine Schnittfläche in der Hornhaut erzeugt sowie ein entsprechendes Verfahren zur Augen Chirurgie. Dazu bestimmt die Planungseinrichtung einen ersten Zugangsschnitt zum Cap-Schnitt und einen zweiten Zugangsschnitt zum Lentikelschnitt, wobei das Gewebe im Bereich der Zugangsschnitte vollständig durchtrennt wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Planungseinrichtung zum Erzeugen von Steuerdaten für eine Behandlungsvorrichtung, die mittels einer Lasereinrichtung zumindest eine Schnittfläche in der Hornhaut erzeugt. Die Erfindung bezieht sich weiter auf eine Behandlungsvorrichtung, die eine Planungseinrichtung der genannten Art aufweist. Die Erfindung bezieht sich weiter auf ein Verfahren zum Erzeugen von Steuerdaten für eine Behandlungsvorrichtung, die mittels einer Lasereinrichtung zumindest eine Schnittfläche in der Hornhaut erzeugt. Die Erfindung bezieht sich schließlich ebenso auf ein Verfahren zur Augen Chirurgie, wobei mittels einer Behandlungsvorrichtung mit einer Lasereinrichtung zumindest eine Schnittfläche in der Hornhaut erzeugt wird.

[0002] Im Stand der Technik sind verschiedenste Behandlungsverfahren mit dem Ziel der Refraktionskorrektur am menschlichen Auge bekannt. Ziel der Operationsmethoden ist es dabei, die Hornhaut gezielt zu verändern, um so die Lichtbrechung im Auge zu beeinflussen. Hierfür werden mehrere Operationsmethoden eingesetzt. Am verbreitetsten ist gegenwärtig die sogenannte Laser-In-situ-Keratomileusis, die auch LASIK abgekürzt wird. Dabei wird zuerst eine Hornhaut-Lamelle von der Hornhautoberfläche einseitig gelöst und zur Seite geklappt. Das Lösen dieser Lamelle kann mittels eines mechanischen Mikrokeratoms erfolgen, oder auch mittels eines sogenannten Laserkeratoms, wie es z. B. von Intralase Corp., Irvine, USA, vertrieben wird. Nachdem die Lamelle gelöst und zur Seite geklappt wurde, ist bei der LASIK-Operation die Anwendung eines Excimer-Lasers vorgesehen, der das derart unter der Lamelle freigelegte Hornhautgewebe durch Ablation abträgt. Nachdem auf diese Art und Weise unter der Hornhautoberfläche liegendes Volumen verdampft wurde, wird die Hornhaut-Lamelle wieder auf den ursprünglichen Platz zurückgeklappt.

[0003] Die Anwendung eines Laserkeratoms zum Freilegen der Lamelle ist gegenüber einem mechanischen Messer vorteilhaft, da die geometrische Präzision verbessert und die Häufigkeit klinisch relevanter Komplikationen verringert ist. Insbesondere kann die Lamelle mit sehr viel konstanterer Dicke hergestellt werden, wenn Laserstrahlung verwendet wird. Auch ist die Schnittkante präzise geformt, was die Gefahr für Heilungsstörungen durch diese auch nach der Operation verbleibende Grenzfläche mindert. Nachteilig bei diesem Verfahren ist allerdings, dass zwei unterschiedliche Behandlungsvorrichtungen verwendet werden müssen, zum einen nämlich das Laserkeratom zum Freilegen der Lamelle und zum anderen der das Hornhautgewebe verdampfende Laser.

[0004] Diese Nachteile sind behoben bei einem Verfahren, das jüngst durch die Carl Zeiss Meditec AG implementiert wurde und mit der Bezeichnung FLEEx abgekürzt wird. Bei diesem Verfahren zur Lentikel-extraktion wird mittels eines KurzpulsLasers, vorzugsweise eines FemtosekundenLasers in der Augenhornhaut eine Schnittgeometrie gebildet, welche in der Hornhaut ein Hornhaut-Volumen (sog. Lentikel) separiert. Dieses wird dann manuell vom Operateur entnommen, nachdem die das Lentikel bedeckende Lamelle zur Seite geklappt wurde. Der Vorteil dieses Verfahrens liegt zum einen darin, dass die Schnittqualität durch Anwendung des FemtosekundenLasers nochmals verbessert ist. Zum anderen ist nur noch eine Behandlungsvorrichtung erforderlich; der Excimer-Laser wird nicht mehr eingesetzt. Eine Weiterentwicklung des FLEEx-Verfahrens wird in der Literatur als SMILE-Verfahren bezeichnet, bei dem kein Flap erzeugt wird, sondern nur ein kleiner Öffnungsschnitt als Zugang zu dem unter dem sogenannten Cap liegenden Lentikel dient. Das separierte Lentikel wird durch diesen kleinen Öffnungsschnitt entnommen, wodurch die biomechanische Integrität der vorderen Hornhaut weniger beeinträchtigt wird als bei LASIK, FLEEx oder PRK. Hinzu kommt, dass auf diese Weise oberflächliche weniger Nervenfasern in der Hornhaut zerschnitten werden, was sich nachweislich günstig auf die Wiederherstellung der ursprünglichen Sensibilität der Hornhautoberfläche auswirkt. Das nach LASIK oft zu behandelnde Symptom trockener Augen ist dadurch in seiner Ausprägung und Dauer reduziert. Auch andere Komplikationen nach LASIK, die meist mit dem Flap im Zusammenhang stehen (z. B. Falten, Epithel-Einwachsungen im Flapbett) treten ohne Flap seltener auf.

[0005] Bei der Erzeugung von Schnittflächen in der Hornhaut mittels Laserstrahlung wird üblicherweise die optische Strahlungswirkung dadurch ausgenutzt, dass ein optischer Durchbruch durch einzelne optische Pulse, deren Dauer zwischen etwa 100 fs und 100 ns liegen kann, erzeugt wird. Auch ist es bekannt, einzelne Pulse, deren Energie unter einem Schwellwert für einen optischen Durchbruch liegt, derart überdeckt ins Gewebe bzw. Material einzubringen, dass auch damit eine Material- bzw. Gewebetrennung erreicht wird. Dieses Konzept der Schnitterzeugung im Hornhautgewebe erlaubt eine große Vielfalt an Schnitten.

[0006] Bei der Schnittgeometrie des SMILE-Verfahrens nach dem Stand der Technik hat sich herausgestellt, dass bedingt durch den kleinen Öffnungsschnitt die beiden das Lentikel begrenzenden Schnitte (Cap-Schnitt bzw. Lentikelschnitt) nicht in jedem Fall eindeutig identifiziert werden können und es daher zu Problemen bei der Entnahme des Lentikels kommen kann. Diese wird mit einem spatelförmigen Instrument (auch Flap-Lifter genannt) vorgenommen und es kann vorkommen, dass der Arzt die falsche

Schnittfläche trifft und daher das Lentikel nicht korrekt separiert.

[0007] Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, eine Planungseinrichtung zum Erzeugen von Steuerdaten, eine Behandlungsvorrichtung zur Refraktion korrigierenden Augen Chirurgie sowie ein Verfahren zum Erzeugen von Steuerdaten für eine solche Behandlungsvorrichtung anzugeben, bei dem ein optimale Ausführung des Zugangsschnittes zum Lentikel gewährleistet wird.

[0008] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einer Planungseinrichtung der eingangs genannten Art gelöst, die Berechnungsmittel zum Festlegen einer Hornhaut-Schnittfläche aufweist, wobei die Berechnungsmittel einen ersten Zugangsschnitt zum Cap-Schnitt und einen zweiten Zugangsschnitt zum Lentikelschnitt bestimmen, wobei das Gewebe im Bereich der Zugangsschnitte vollständig durchtrennt wird.

[0009] Die Erfindung wird weiter gelöst mit einer Behandlungsvorrichtung, die eine Lasereinrichtung aufweist, welche mittels Laserstrahlung gemäß Steuerdaten zumindest eine Schnittfläche in der Hornhaut trennt, und eine Planungseinrichtung nach der oben genannten Art zum Erzeugen der Steuerdaten aufweist, wobei die Planungseinrichtung einen ersten Zugangsschnitt zum Cap-Schnitt und einen zweiten Zugangsschnitt zum Lentikelschnitt bestimmt, wobei das Gewebe im Bereich der Zugangsschnitte vollständig durchtrennt wird.

[0010] Die Erfindung wird schließlich ebenfalls gelöst mit einem Verfahren zum Erzeugen von Steuerdaten gemäß der eingangs genannten Art, das aufweist: Erzeugen eines Steuerdatensatzes für die Hornhaut-Schnittfläche zur Ansteuerung der Lasereinrichtung, wobei die Planungseinrichtung einen ersten Zugangsschnitt zum Cap-Schnitt und einen zweiten Zugangsschnitt zum Lentikelschnitt so bestimmt, dass das Gewebe im Bereich der Zugangsschnitte vollständig durchtrennt wird.

[0011] Die Erfindung wird schließlich ebenfalls mit einem Verfahren gelöst, das umfasst: Erzeugen eines Steuerdatensatzes für die Hornhaut-Schnittfläche, Übertragen der Steuerdaten zur Behandlungsvorrichtung und Erzeugen der Schnittflächen durch Ansteuern der Lasereinrichtung mit dem Steuerdatensatz, wobei beim Erzeugen des Steuerdatensatzes ein ersten Zugangsschnitt zum Cap-Schnitt und ein zweiten Zugangsschnitt zum Lentikelschnitt so bestimmt wird, dass das Gewebe im Bereich der Zugangsschnitte vollständig durchtrennt wird.

[0012] Der Cap-Schnitt, d. h. der weitgehend parallel zur Hornhautoberfläche verlaufende anteriore Schnitt ist größer als der Lentikeldurchmesser gewählt. Darüber hinaus wird erfindungsgemäß ein

zweiter Zugangsschnitt erzeugt, der den Lentikel-Schnitt von außen zugänglich macht. Dieser Zugangsschnitt kann bevorzugt kreissegmentartig oder streifenförmig sein. Dabei ist es von Vorteil, wenn der zweite Zugangsschnitt etwa auf dem Durchmesser des Lentikelschnitts liegt. Durch die vollständige Durchtrennung des Gewebes im Bereich der Zugangsschnitte wird das Auffinden und Erreichen der jeweiligen Schnitte für den Arzt entscheidend erleichtert, außerdem sind die Schnitte leichter zu identifizieren. Diese vollständige Durchtrennung des Gewebes kann u. a. erreicht werden durch eine Erhöhung der Energie der Laserimpulse oder auch eine Verringerung des Bahn- und/oder Spotabstandes der einzelnen Laserpulse.

[0013] Weiterhin ist es von Vorteil, wenn erster und zweiter Zugangsschnitt bezogen auf die Augenachse unterschiedlich gelegen sind. Besonders vorteilhaft ist dabei, wenn der eine Schnitt temporal und der andere Schnitt inferior gelegen ist, aber auch die Kombination nasal-inferior und temporal-inferior ist günstig.

[0014] Der Lentikelschnitt und der Cap-Schnitt sind kreisförmig oder oval und haben einen Durchmesser von ca. 4 bis 7 mm. Die Cap-Dicke beträgt weniger als 300 μm , vorzugsweise zwischen 100 μm und 200 μm . Die Lentikelentnahme bewirkt eine Refraktionsänderung zwischen +10 dpt und -20 dpt, vorzugsweise zwischen +5 dpt und -10 dpt. Eine zusätzliche oder ausschließliche Zylinderkorrektur und/oder die Korrektur anderer höherer Ordnungen ist möglich.

[0015] Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in den angegebenen Kombinationen, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung einsetzbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

[0016] Nachfolgend wird die Erfindung beispielsweise anhand der beigefügten Zeichnungen, die auch erfindungswesentliche Merkmale offenbaren, noch näher erläutert. Es zeigen:

[0017] Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Behandlungsvorrichtung mit einer Planungseinrichtung für eine Behandlung bei augenchirurgischer Refraktionskorrektur,

[0018] Fig. 2 eine schematische Darstellung der Wirkung der Laserstrahlung, die in der Behandlungsvorrichtung der Fig. 1 verwendet wird,

[0019] Fig. 3 eine weitere Schemadarstellung des Behandlungsgerätes der Fig. 1 hinsichtlich der Einbringung der Laserstrahlung,

[0020] Fig. 4 eine schematische Schnittdarstellung durch die Augenhornhaut zur Veranschaulichung der Entnahme des Hornhaut-Volumens im Zusammenhang mit der augenchirurgischen Refraktionskorrektur,

[0021] Fig. 5 eine Schemadarstellung hinsichtlich des Aufbaus des Behandlungsgerätes der Fig. 1 mit besonderem Bezug auf die dort vorhandene Planungseinrichtung,

[0022] Fig. 6 eine Schemadarstellung einer Schnittgeometrie SMILE nach dem Stand der Technik

[0023] Fig. 7 eine Schemadarstellung einer Schnittgeometrie SMILE gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung.

[0024] Fig. 8 eine Schemadarstellung einer Schnittgeometrie SMILE gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung.

[0025] Eine Behandlungsvorrichtung für die Augenchirurgie ist in Fig. 1 dargestellt und mit dem allgemeinen Bezugszeichen 1 versehen. Die Behandlungsvorrichtung 1 ist für die Einbringung von Laserschnitten an einem Auge 2 eines Patienten 3 ausgebildet. Dazu weist die Behandlungsvorrichtung 1 eine Lasereinrichtung 4 auf, die aus einer Laserquelle 5 einen Laserstrahl 6 abgibt, welcher als fokussierter Strahl 7 in das Auge 2 bzw. die Augenhornhaut gerichtet wird. Vorzugsweise ist der Laserstrahl 6 ein gepulster Laserstrahl mit einer Wellenlänge zwischen 300 Nanometer und 10 Mikrometer. Weiter liegt die Pulslänge des Laserstrahls 6 im Bereich zwischen 1 Femtosekunde und 100 Nanosekunden, wobei Pulsfrequenzen von 50 bis 5000 Kilohertz und Pulsenergien zwischen 0,01 Mikrojoule und 0,01 Millijoule möglich sind. Die Behandlungsvorrichtung 1 erzeugt somit in der Hornhaut des Auges 2 durch Ablenkung der gepulsten Laserstrahlung eine Schnittfläche. In der Lasereinrichtung 4 bzw. deren Laserquelle 5 ist deshalb dazu noch ein Scanner 8 sowie ein Strahlungsintensitätsmodulator 9 vorgesehen.

[0026] Der Patient 3 befindet sich auf einer Liege 10, die in drei Raumrichtungen verstellbar ist, um das Auge 2 passend zum Einfall des Laserstrahls 6 auszurichten. In bevorzugter Bauweise ist die Liege 10 motorisch verstellbar. Die Ansteuerung kann insbesondere durch ein Steuergerät 11 erfolgen, das grundsätzlich den Betrieb der Behandlungsvorrichtung 1 steuert und dazu über geeignete Datenverbindungen, beispielsweise Verbindungsleitungen 12 mit der Behandlungsvorrichtung verbunden ist. Natürlich kann diese Kommunikation auch über andere Wege, beispielsweise Lichtleiter oder per Funk geschehen. Das Steuergerät 11 nimmt die entsprechenden Einstellungen, Zeitsteuerung an der Behandlungsvorrichtung 1, insbesondere der Lasereinrichtung 4

vor und bewerkstelligt damit entsprechende Funktionen der Behandlungsvorrichtung 1.

[0027] Die Behandlungsvorrichtung 1 weist weiter noch eine Fixiereinrichtung 15 auf, welche die Hornhaut des Auges 2 gegenüber der Lasereinrichtung 4 lagefixiert. Diese Fixiereinrichtung 15 kann dabei ein bekanntes Kontaktglas 45 umfassen, an das die Augenhornhaut durch Unterdruck angelegt wird und das der Augenhornhaut eine gewünschte geometrische Form verleiht. Solche Kontaktgläser sind dem Fachmann aus dem Stand der Technik bekannt, beispielsweise aus der DE 10 2005 040 338 A1. Der Offenbarungsgehalt dieser Druckschrift wird, soweit die Beschreibung einer Bauform des für die Behandlungsvorrichtung 1 möglichen Kontaktglases 45 betroffen ist, hier vollumfänglich einbezogen.

[0028] Die Behandlungseinrichtung 1 weist weiterhin eine hier nicht dargestellte Kamera auf, welche durch das Kontaktglas 45 hindurch ein Bild der Augenhornhaut 17 aufnehmen kann. Dabei kann die Beleuchtung für die Kamera sowohl im sichtbaren als auch im infraroten Bereich des Lichtes erfolgen.

[0029] Das Steuergerät 11 der Behandlungsvorrichtung 1 weist weiter noch eine Planungseinrichtung 16 auf, die später noch näher erläutert werden wird.

[0030] Fig. 2 zeigt schematisch die Wirkungsweise des einfallenden Laserstrahls 6. Der Laserstrahl 6 wird fokussiert und fällt als der fokussierte Laserstrahl 7 in die Hornhaut 17 des Auges 2. Zur Fokussierung ist eine schematisch eingezeichnete Optik 18 vorgesehen. Sie bewirkt in der Hornhaut 17 einen Fokus, in dem die Laserstrahlungsenergie so hoch ist, dass in Kombination mit der Pulslänge der gepulsten Laserstrahlung 6 ein nicht-linearer Effekt in der Hornhaut 17 auftritt. Beispielsweise kann jeder Puls der gepulsten Laserstrahlung 6 im Fokus 19 einen optischen Durchbruch in der Augenhornhaut 17 erzeugen, welche wiederum eine in Fig. 2 nur schematisch angedeutete Plasmablase initiiert. Bei Entstehung der Plasmablase umfasst die Gewebsschichttrennung ein größeres Gebiet als den Fokus 19, obwohl die Bedingungen zur Erzeugung des optischen Durchbruches nur im Fokus 19 erreicht werden. Damit von jedem Laserpuls ein optischer Durchbruch erzeugt wird, muss die Energiedichte, d. h. die Fluence der Laserstrahlung oberhalb eines gewissen, pulslängenabhängigen Schwellwertes liegen. Dieser Zusammenhang ist dem Fachmann beispielsweise aus der DE 69500997 T2 bekannt. Alternativ kann ein geweбетrennender Effekt auch durch gepulste Laserstrahlung erreicht werden, indem mehrere Laserstrahlungspulse in einem Bereich abgegeben werden, wobei sich die Fokus-Spots überlappen. Es wirken dann mehrere Laserstrahlungspulse zusammen, um einen geweбетrennenden Effekt zu erreichen. Die Art der Gewebetrennung, die die Behandlungsvor-

richtung **1** einsetzt, ist jedoch für die nachfolgende Beschreibung nicht weiter relevant; wesentlich ist lediglich, dass eine Schnittflächenerzeugung in der Hornhaut **17** des Auges **2** stattfindet.

[0031] Um eine augenchirurgische Refraktionskorrektur auszuführen, wird mittels der Laserstrahlung **6** aus einem Gebiet innerhalb der Hornhaut **17** ein Hornhautvolumen entfernt, indem dort Gewebeschichten getrennt werden, die das Hornhaut-Volumen isolieren und dann dessen Entnahme ermöglichen. Zur Isolierung des zu entfernenden Hornhaut-Volumens wird z. B. im Falle der gepulst eingebrachten Laserstrahlung die Lage des Fokus **17** der fokussierten Laserstrahlung **7** in der Hornhaut **17** verstellt. Dies ist schematisch in **Fig. 3** gezeigt. Die Brechungseigenschaften der Hornhaut **17** werden durch die Entnahme des Volumens gezielt verändert, um so die Refraktionskorrektur zu erreichen. Das Volumen ist deshalb meist linsenförmig und wird als Lentikel bezeichnet.

[0032] In **Fig. 3** sind die Elemente der Behandlungsvorrichtung **1** nur insoweit eingetragen, als sie zum Verständnis der Schnittflächenerzeugung erforderlich sind. Der Laserstrahl **6** wird, wie bereits erwähnt, in einem Fokus **19** in der Hornhaut **19** gebündelt, und die Lage des Fokus **19** in der Hornhaut wird verstellt, so dass zur Schnittflächenerzeugung an verschiedenen Stellen fokussierende Energie aus Laserstrahlungspulsen in das Gewebe der Hornhaut **17** eingetragen wird. Die Laserstrahlung **6** wird von der Laserquelle **5** vorzugsweise als gepulste Strahlung bereitgestellt. Der Scanner **8** ist in der Bauweise der **Fig. 3** zweiteilig aufgebaut und besteht aus einem xy-Scanner **8a**, der in einer Variante durch zwei im Wesentlichen orthogonal ablenkende Galvanometerspiegel realisiert ist. Der Scanner **8a** lenkt den von der Laserquelle **5** kommenden Laserstrahl **6** zweidimensional ab, so dass nach dem Scanner **9** ein abgelenkter Laserstrahl **20** vorliegt. Der Scanner **8a** bewirkt somit eine Verstellung der Lage des Fokus **19** im Wesentlichen senkrecht zur Haupteinfallrichtung des Laserstrahls **6** in der Hornhaut **17**. Zur Verstellung der Tiefenlage ist neben dem xy-Scanner **8a** im Scanner **8** noch ein z-Scanner **8b** vorgesehen, der beispielsweise als verstellbares Teleskop ausgebildet ist. Der z-Scanner **8b** sorgt dafür, dass die z-Position der Lage des Fokus **19**, d. h. dessen Position auf der optischen Achse des Einfalls verändert wird. Der z-Scanner **8b** kann dem xy-Scanner **8a** nach- oder vorgeordnet sein.

[0033] Für das Funktionsprinzip der Behandlungsvorrichtung **1** ist die Zuordnung der einzelnen Koordinaten zu den Raumrichtungen nicht wesentlich, genau so wenig, dass der Scanner **8a** um zueinander rechtwinklige Achsen ablenkt. Vielmehr kann jeder Scanner verwendet werden, der in der Lage ist, den Fokus **19** in einer Ebene zu verstellen, in der die Ein-

fallachse der optischen Strahlung nicht liegt. Weiter können auch beliebige nicht-kartesische Koordinatensystem zur Ablenkung bzw. Steuerung der Lage des Fokus **19** verwendet werden. Beispiele dafür sind Kugelkoordinaten oder zylindrische Koordinaten. Die Steuerung der Lage des Fokus **19** erfolgt mittels der Scanner **8a**, **8b** unter Ansteuerung durch das Steuergerät **11**, das entsprechende Einstellungen an der Laserquelle **5**, dem (in **Fig. 3** nicht gezeigten) Modulator **9** sowie dem Scanner **8** vornimmt. Das Steuergerät **11** sorgt für einen geeigneten Betrieb der Laserquelle **5** sowie die hier exemplarisch geschilderte dreidimensionale Fokusverstellung, so dass letztendlich eine Schnittfläche ausgebildet wird, die ein bestimmtes Hornhaut-Volumen isoliert, das zur Refraktionskorrektur entfernt werden soll.

[0034] Die Steuereinrichtung **11** arbeitet nach vorgegebenen Steuerdaten, welche beispielsweise bei der hier lediglich exemplarisch geschilderten Lasereinrichtung **4** als Zielpunkte für die Fokusverstellung vorgegeben sind. Die Steuerdaten sind in der Regel in einem Steuerdatensatz zusammengefasst. Dies ergibt geometrische Vorgaben für die auszubildende Schnittfläche, beispielsweise die Koordinaten der Zielpunkte als Muster vor. Der Steuerdatensatz enthält dann in dieser Ausführungsform auch konkrete Stellenwerte für den Fokuslagenverstellmechanismus, z. B. für den Scanner **8**. Die Erzeugung der Schnittfläche mit der Behandlungsvorrichtung **1** ist exemplarisch in **Fig. 4** gezeigt. Ein Hornhaut-Volumen **21** in der Hornhaut **17** wird durch Verstellung des Fokus **19**, in dem der fokussierte Strahl **7** gebündelt ist, isoliert. Dazu werden Schnittflächen ausgebildet, die hier exemplarisch als anteriore Cap-Schnittfläche **22** sowie als posteriore Lentikel-Schnittfläche **23** ausgebildet sind. Diese Begriffe sind hier lediglich exemplarisch zu verstehen und sollen den Bezug auf das herkömmliche Lasik- oder Flex-Verfahren herstellen, für das die Behandlungsvorrichtung **1**, wie bereits geschildert, ebenfalls ausgebildet ist. Wesentlich ist hier lediglich, dass die Schnittflächen **22** und **23** sowie der umlaufende Randschnitt **25**, welcher die Schnittflächen **22** und **23** an deren Rändern zusammenführt, das Hornhaut-Volumen **21** isolieren. Durch einen Öffnungsschnitt **24** kann weiter eine das Hornhaut-Volumen **21** anterior begrenzende Hornhaut-Lamelle abgeklappt werden, so dass das Hornhaut-Volumen **21** entnehmbar ist. Alternativ und für die vorliegende Erfindung wesentlich kann das SMILE-Verfahren eingesetzt werden, bei der das Hornhautvolumen **21** durch einen kleinen Öffnungsschnitt entnommen wird, wie das in der DE 10 2007 019 813 A1 beschrieben ist. Der Offenbarungsgehalt dieser Druckschrift wird hier vollumfänglich einbezogen

[0035] **Fig. 5** zeigt schematisch die Behandlungsvorrichtung **1**, und anhand ihr soll die Bedeutung der Planungseinrichtung **16** näher erläutert werden. Die Behandlungsvorrichtung **1** weist in dieser Variante

mindestens zwei Einrichtungen oder Module auf. Die bereits geschilderte Lasereinrichtung **4** gibt den Laserstrahl **6** auf das Auge **2** ab. Der Betrieb der Lasereinrichtung **4** erfolgt dabei, wie bereits geschildert, voll automatisch durch das Steuergerät **11**, d. h. die Lasereinrichtung **4** startet auf ein entsprechendes Startsignal hin die Erzeugung und Ablenkung des Laserstrahls **6** und erzeugt dabei Schnittflächen, die auf die beschriebene Art und Weise aufgebaut sind. Die für den Betrieb erforderlichen Steuergerätsignale empfängt die Lasereinrichtung **5** vom Steuergerät **11**, dem zuvor entsprechende Steuerdaten bereitgestellt wurden. Dies erfolgt mittels der Planungseinrichtung **16**, die in **Fig. 5** lediglich exemplarisch als Bestandteil des Steuergeräts **11** gezeigt ist. Natürlich kann die Planungseinrichtung **16** auch eigenständig ausgebildet sein und drahtgebunden oder drahtlos mit der Steuereinrichtung **11** kommunizieren. Wesentlich ist dann lediglich, dass ein entsprechender Datenübertragungskanal zwischen der Planungseinrichtung **16** und dem Steuergerät **11** vorgesehen ist.

[0036] Die Planungseinrichtung **16** erzeugt einen Steuerdatensatz, der dem Steuergerät **11** zur Ausführung der augenchirurgischen Refraktionskorrektur zur Verfügung gestellt wird. Dabei verwendet die Planungseinrichtung Messdaten über die Hornhaut des Auges. Diese Daten stammen in der hier beschriebenen Ausführungsform aus einer Messeinrichtung **28**, die das Auge **2** des Patienten **2** zuvor vermessen hat. Natürlich kann die Messeinrichtung **28** auf beliebige Art und Weise ausgebildet sein und die entsprechenden Daten an die Schnittstelle **29** der Planungseinrichtung **16** übermitteln.

[0037] Die Planungseinrichtung unterstützt nun den Bediener der Behandlungsvorrichtung **1** bei der Festlegung der Schnittfläche zur Isolierung des Hornhaut-Volumens **21**. Dies kann bis zu einer vollautomatischen Festlegung der Schnittflächen gehen, die beispielsweise dadurch bewirkt werden kann, dass die Planungseinrichtung **16** aus den Messdaten das zu entnehmende Hornhaut-Volumen **21** ermittelt, dessen Begrenzungsflächen als Schnittflächen definiert und daraus entsprechende Steuerdaten für das Steuergerät **11** erzeugt. Am anderen Ende des Automatisierungsgrades kann die Planungseinrichtung **16** Eingabemöglichkeiten vorsehen, an denen ein Benutzer die Schnittflächen in Form von geometrischen Parametern etc. eingibt. Zwischenstufen sehen Vorschläge für die Schnittflächen vor, welche die Planungseinrichtung **16** automatisch generiert und die Von einem Bearbeiter dann modifizierbar sind. Grundsätzlich können all diejenigen Konzepte, die im vorstehend allgemeineren Beschreibungsteil bereits erläutert wurden, hier in der Planungseinrichtung **16** zur Anwendung kommen.

[0038] Um eine Behandlung durchzuführen, erzeugt die Planungseinrichtung **16** Steuerdaten für die

Schnittflächenerzeugung, die dann in der Behandlungsvorrichtung **1** verwendet werden.

[0039] **Fig. 6a** zeigt eine Schemadarstellung eines Hornhautquerschnitts nach dem Stand der Technik beim SMILE-Verfahren zur Verdeutlichung der geometrischen Verhältnisse. Die Hornhaut **17** weist einen anterioren Cap-Schnitt **22** mit einem Öffnungsschnitt **26** auf. Der posteriore Lentikelschnitt **23** isoliert das Lentikelvolumen **21**, welches durch den Öffnungsschnitt **26** entnommen werden kann. Dazu muss zunächst das Lentikel **21** vollständig separiert werden indem mit einem spatelförmigen Instrument im Cap-Schnitt **22** und Lentikelschnitt **23** etwa noch stehen gebliebene Gewebebrücken mechanisch getrennt werden. Dabei kann es vorkommen, dass der Arzt den Übergang vom Cap-Schnitt **22** zum Lentikelschnitt **23** bildenden Lentikelseitenschnitt **25** nicht trifft und daher das Lentikel nicht korrekt separiert. **Fig. 6b** zeigt die in **Fig. 6a** dargestellte Hornhaut in Draufsicht.

[0040] **Fig. 7a** zeigt eine Schemadarstellung einer Schnittgeometrie gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung. Cap-Schnitt **22**, Lentikelschnitt **23** und Öffnungsschnitt **26** entsprechen den bereits in **Fig. 6a** dargestellten Verhältnissen. Zusätzlich ist ein zweiter Öffnungsschnitt **27** vorgesehen, welcher einen direkten Zugang von der Hornhautoberfläche zum Lentikelschnitt **23** ermöglicht. Zusätzlich ist der dem Öffnungsschnitt **26** anschließende Bereich **28** des Capschnitts **22** und der dem Öffnungsschnitt **27** anschließende Bereich **29** des Lentikelschnitts **23** vollständig durchtrennt. Damit wird die Gefahr, dass der Arzt beim Separieren des Lentikelschnitts **23** versehentlich mit dem spatelförmigen Instrument in den Cap-Schnitt **22** eindringt, weitgehend vermieden und die vollständige Gewebetrennung erlaubt ein einfaches und sicheres Einführen des Instruments in die richtige Schnittfläche. **Fig. 7b** zeigt eine Draufsicht auf die in **Fig. 7a** dargestellte Hornhaut. Die vollständig durchtrennten Bereiche **28** und **29** müssen dabei nicht die dargestellte Form aufweisen, wichtig ist nur eine ausreichende Größe zur einfachen Führung des spatelförmigen Instruments. Außerdem ist (für ein linkes Auge) als Lage des üblichen Öffnungsschnitts **26** inferior-temporal, als Lage des zweiten Öffnungsschnitts **27** nasal-inferior gewählt, aber auch andere Lagen sind möglich. So können die beiden Schnitte **26**, **27** auch benachbart angeordnet sein. **Fig. 8a** zeigt eine Schemadarstellung einer Schnittgeometrie gemäß einer zweiten Ausführungsform der Erfindung. Cap-Schnitt **22**, Lentikelschnitt **23** und Öffnungsschnitt **26** entsprechen den bereits in **Fig. 6a** dargestellten Verhältnissen. Hier ist der zweite Öffnungsschnitt direkt an den Öffnungsschnitt **26** angeschlossen, so dass er an der Hornhautoberfläche zu einem einzigen Schnitt wird. Der Zugang von der Hornhautoberfläche zum Lentikelschnitt **23** erfolgt dabei über den Lentikelrandschnitt **26**. Ein an

einen ersten Teil des Öffnungsschnitts **26** anschließender Bereich **28** des Capschnitts **22** ist vollständig durchtrennt. Weiterhin ist ein an den zweiten Teil des Öffnungsschnitts **26** anschließender Bereich **29** des Lentikelschnitts **23** vollständig durchtrennt. Wenn der Arzt mit dem spatelförmigen Instrument durch den ersten Teil des Öffnungsschnitts **26** eindringt wird er durch den vollständig durchtrennten Bereich **28** in den Cap-Schnitt **22** geführt. Wenn er hingegen durch den zweiten Teil des Öffnungsschnitts **26** eindringt wird er durch den vollständig durchtrennten Bereich **29** über den Lentikelseitenschnitt **25** in den Lentikel-Schnitt **23** geführt. Damit wird eine Verwechslung der beiden Schnittflächen **22** und **23** weitgehend vermieden und die vollständige Gewebetrennung erlaubt ein einfaches und sicheres Einführen des Instruments in die richtige Schnittfläche. **Fig. 8b** zeigt eine Draufsicht auf die in **Fig. 8a** dargestellte Hornhaut. Die vollständig durchtrennten Bereiche **28** und **29** müssen dabei nicht die dargestellte Form aufweisen, wichtig ist nur eine ausreichende Größe zur einfachen Führung des spatelförmigen Instruments.

[0041] Zusätzlich sei noch angemerkt, dass die Behandlungsvorrichtung **1** bzw. die Planungseinrichtung **16** natürlich auch die Durchführung des zuvor allgemein erläuterten Verfahrens konkret realisiert.

[0042] Eine weitere Ausführungsform der Planungseinrichtung besteht in Form eines Computerprogramms bzw. eines entsprechenden Datenträgers mit einem Computerprogramm, der die Planungseinrichtung auf einem entsprechenden Computer realisiert, so dass die Eingabe der Messdaten über geeignete Datenübertragungsmittel an den Computer erfolgt und die Steuerdaten von diesem Computer an das Steuergerät **11** übertragen werden, wozu wiederum dem Fachmann bekannte Datenübertragungsmittel in Frage kommen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 102005040338 A1 [0027]
- DE 69500997 T2 [0030]
- DE 102007019813 A1 [0034]

Patentansprüche

1. Planungseinrichtung zum Erzeugen von Steuerdaten für eine Behandlungsvorrichtung zur Augen Chirurgie, die mittels einer Lasereinrichtung zumindest zwei Schnittflächen in der Hornhaut erzeugt, wobei die Planungseinrichtung Berechnungsmittel zum Festlegen von Hornhaut-Schnittflächen (Cap-Schnitt, Lentikelschnitt, Zugangsschnitt) aufweist, wobei die Berechnungsmittel die Hornhaut-Schnittflächen basierend auf den Daten einer Refraktionskorrektur festlegen, und für die Hornhaut-Schnittflächen einen Steuerdatensatz zur Ansteuerung der Lasereinrichtung erzeugen, gekennzeichnet dadurch, dass die Berechnungsmittel die Hornhaut-Schnittflächen so bestimmen, dass ein erster Zugangsschnitt zum Cap-Schnitt und ein zweiten Zugangsschnitt zum Lentikelschnitt bestimmt wird, wobei das Gewebe im Bereich der Zugangsschnitte vollständig durchtrennt wird.

2. Planungseinrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass der zweite Zugangsschnitt auf dem Durchmesser des Lentikelschnitts liegt und vorzugsweise eine vom ersten Zugangsschnitt abweichende Lage zur Augenachse hat.

3. Behandlungsvorrichtung zur Augen Chirurgie, die
 – eine Lasereinrichtung aufweist, welche mittels Laserstrahlung gemäß Steuerdaten zumindest zwei Schnittflächen in der Hornhaut erzeugt, und
 – eine Planungseinrichtung zum Erzeugen der Steuerdaten nach Anspruch 1 aufweist, wobei die Planungseinrichtung die Hornhaut-Schnittflächen so bestimmt, dass ein erster Zugangsschnitt zum Cap-Schnitt und ein zweiten Zugangsschnitt zum Lentikelschnitt bestimmt wird, wobei das Gewebe im Bereich der Zugangsschnitte vollständig durchtrennt wird.

4. Behandlungsvorrichtung nach Anspruch 3, gekennzeichnet dadurch, dass der zweite Zugangsschnitt auf dem Durchmesser des Lentikelschnitts liegt und vorzugsweise eine vom ersten Zugangsschnitt abweichende Lage zur Augenachse hat.

5. Verfahren zum Erzeugen von Steuerdaten für eine Behandlungsvorrichtung zur Augen Chirurgie, die mittels einer Lasereinrichtung zumindest zwei Schnittflächen in der Hornhaut erzeugt, wobei das Verfahren durch folgende Schritte gekennzeichnet ist: Bereitstellen von Hornhaut-Daten, basierend auf Daten einer Refraktionskorrektur, Festlegen der Hornhaut-Schnittflächen, und Erzeugen eines Steuerdatensatzes für die Hornhaut-Schnittflächen zur Ansteuerung der Lasereinrichtung, wobei die Hornhaut-Schnittflächen so bestimmt werden, dass ein erster Zugangsschnitt zum Cap-Schnitt und ein zweiten Zugangsschnitt zum Lentikelschnitt bestimmt wird und das Gewebe im Bereich der Zugangsschnitte vollständig durchtrennt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 1, gekennzeichnet dadurch, dass der zweite Zugangsschnitt auf dem Durchmesser des Lentikelschnitts liegt und vorzugsweise eine vom ersten Zugangsschnitt abweichende Lage zur Augenachse hat.

7. Verfahren zur Augen Chirurgie, wobei mittels einer Behandlungsvorrichtung mit einer Lasereinrichtung zumindest zwei Schnittflächen in der Hornhaut erzeugt wird, wobei das Verfahren durch folgende Schritte gekennzeichnet ist: Bereitstellen von Hornhaut-Daten, basierend auf Daten einer Refraktionskorrektur, Festlegen der Hornhaut-Schnittflächen auf Basis der Hornhaut-Daten, und Erzeugen eines Steuerdatensatzes für die Hornhaut-Schnittfläche, Übertragen der Steuerdaten zur Behandlungsvorrichtung und Erzeugen der Schnittflächen durch Ansteuern der Lasereinrichtung mit dem Steuerdatensatz, wobei die neuen Hornhaut-Schnittflächen so bestimmt werden, dass ein erster Zugangsschnitt zum Cap-Schnitt und ein zweiten Zugangsschnitt zum Lentikelschnitt bestimmt wird und das Gewebe im Bereich der Zugangsschnitte vollständig durchtrennt wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, gekennzeichnet dadurch, dass der zweite Zugangsschnitt auf dem Durchmesser des Lentikelschnitts liegt und vorzugsweise eine vom ersten Zugangsschnitt abweichende Lage zur Augenachse hat.

9. Computerprogrammprodukt mit Programmcode der bei Ausführung auf einem Computer das Verfahren nach einem der Ansprüche 5, 6, 7 oder 8 ausführt.

10. Datenträger mit einem Computerprogrammprodukt nach Anspruch 9.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

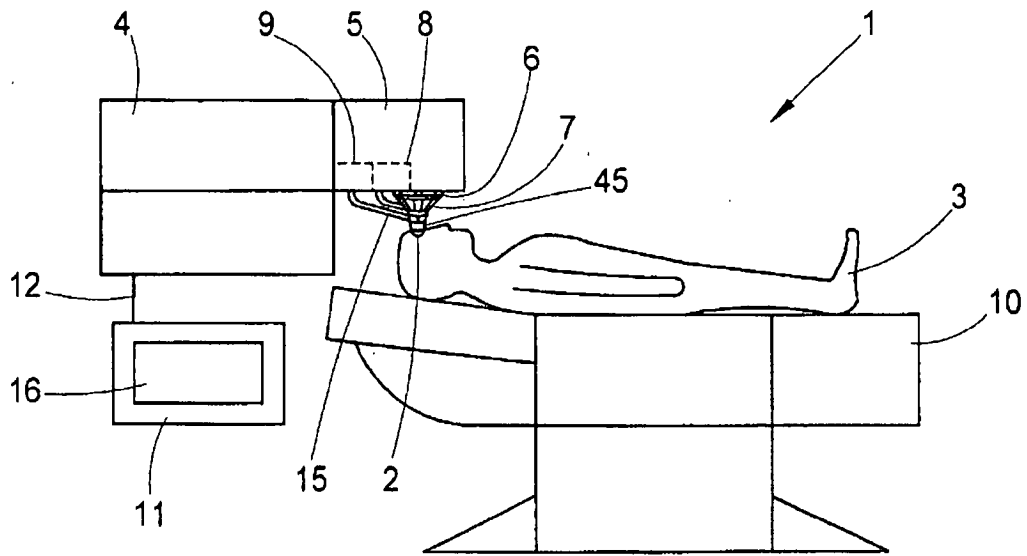


Fig.1

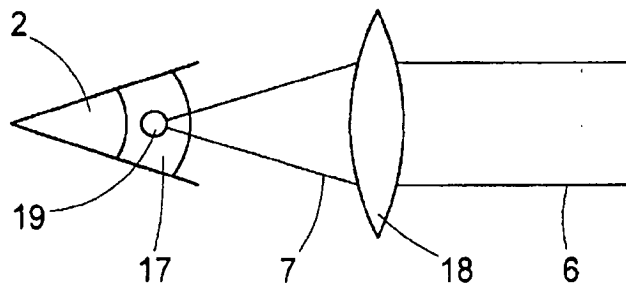


Fig.2

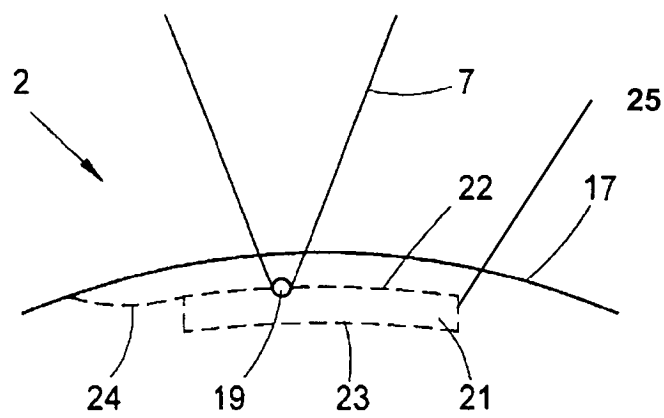


Fig.4

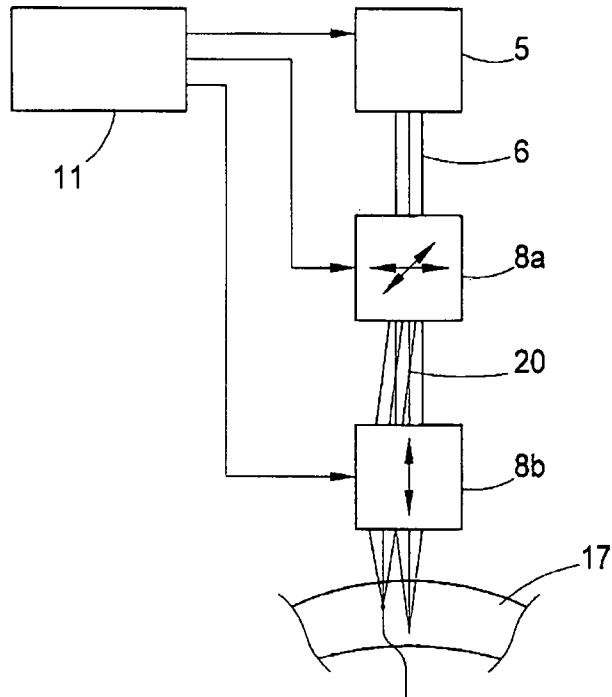


Fig.3

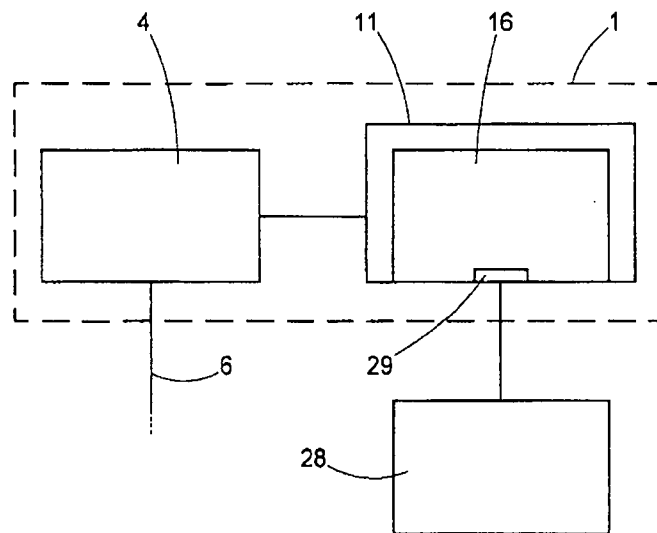


Fig.5

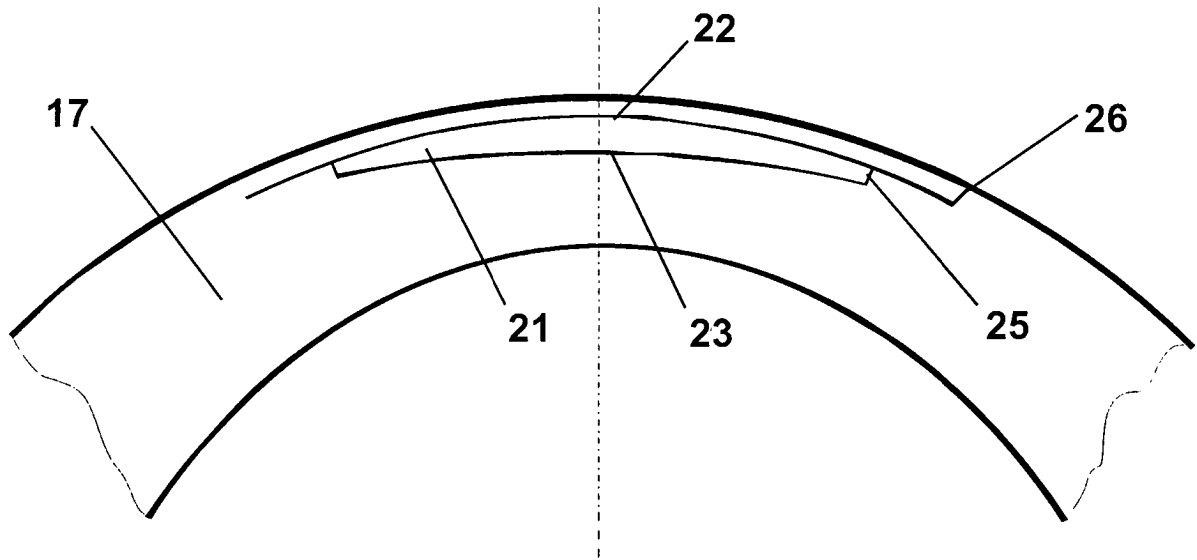


Fig. 6 (a)

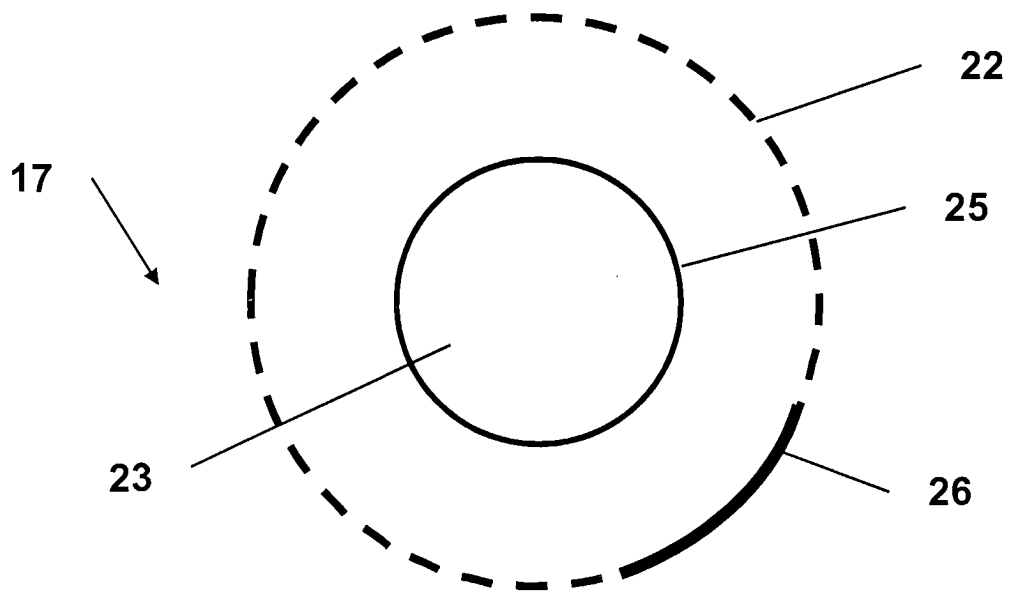


Fig. 6 (b)

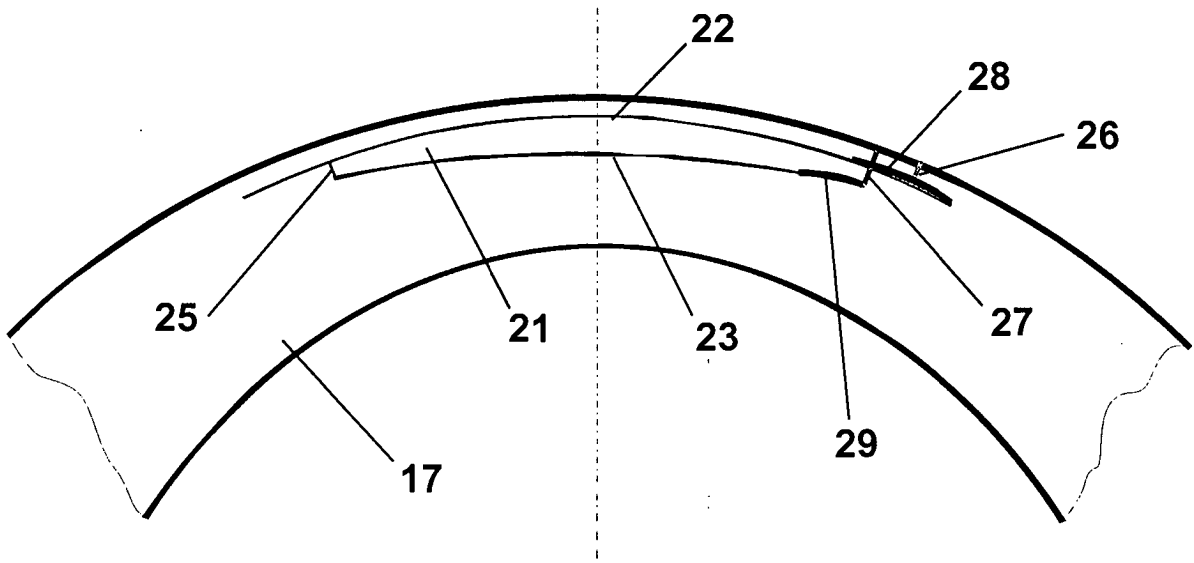


Fig. 7 (a)

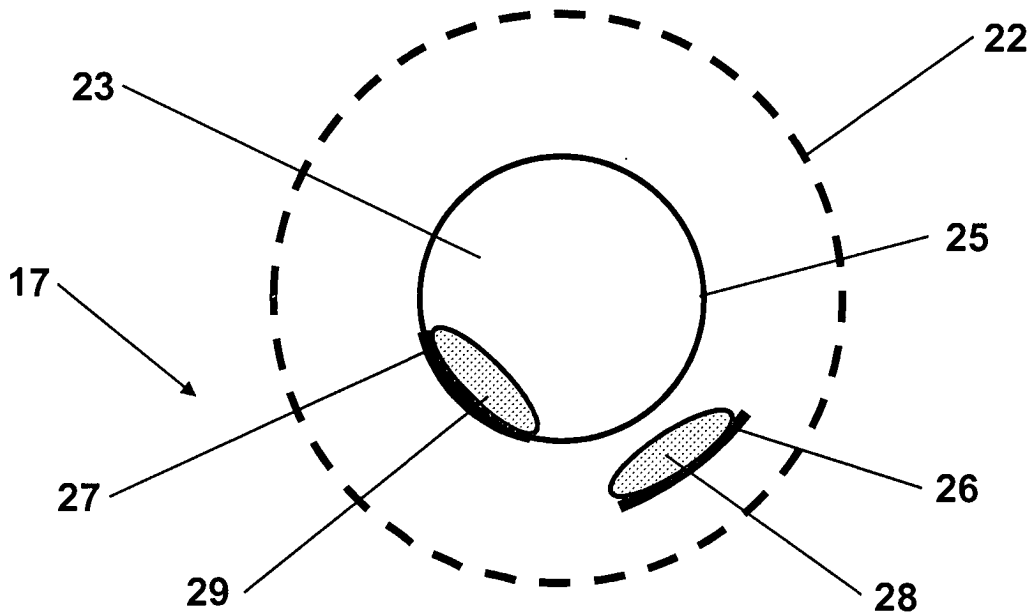


Fig. 7 (b)

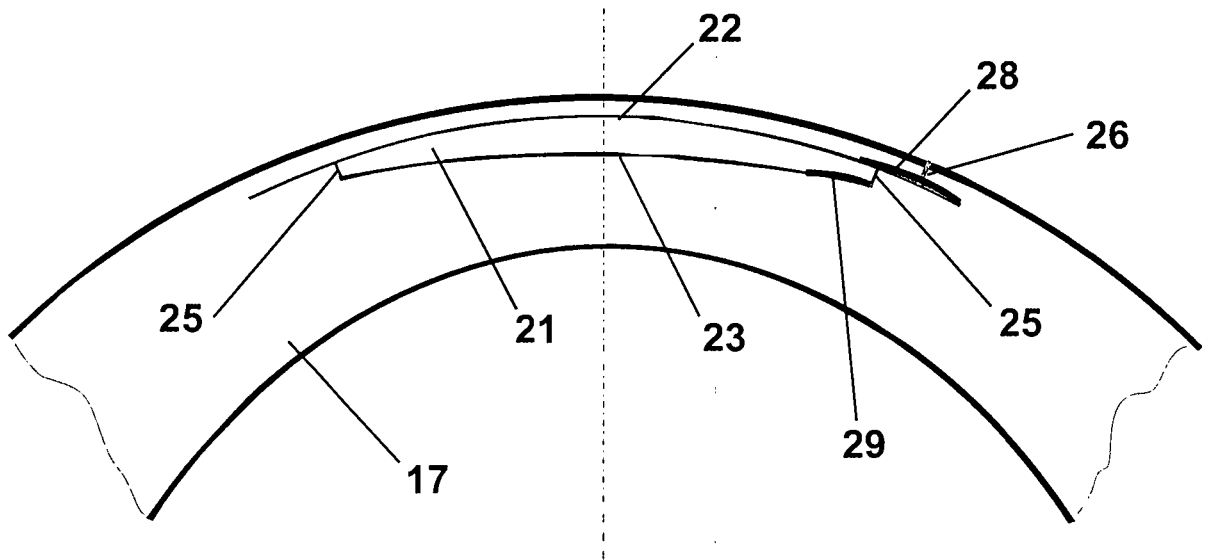


Fig. 8 (a)

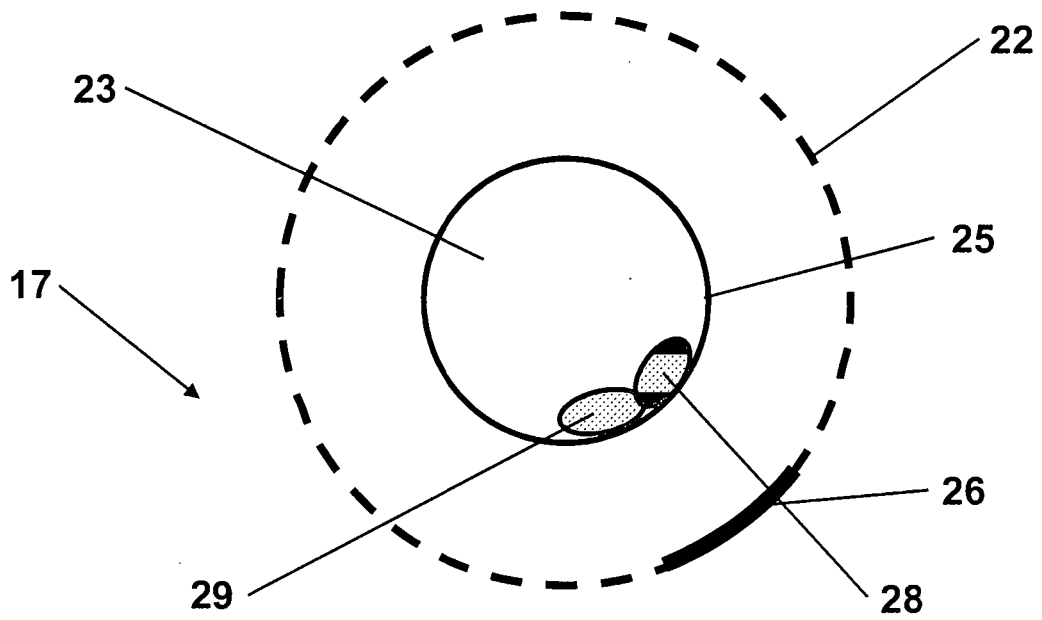


Fig. 8 (b)