



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT  
EIDGENÖSSISCHES INSTITUT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

(11) CH 700 502 B1

(51) Int. Cl.: A61B 3/13 (2006.01)  
A61B 3/113 (2006.01)

**Erfindungspatent für die Schweiz und Liechtenstein**

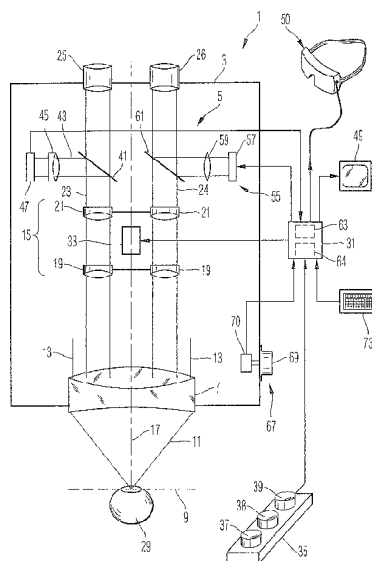
Schweizerisch-liechtensteinischer Patentschutzvertrag vom 22. Dezember 1978

(12) **PATENTSCHRIFT**

(21) Anmeldenummer:	00110/10	(73) Inhaber:	Carl Zeiss Surgical GmbH, Carl-Zeiss-Strasse 22 73447 Oberkochen (DE)
(22) Anmeldedatum:	24.10.2005	(72) Erfinder:	Dr. Gerhard Möller, 73431 Aalen (DE) Anja Seiwert, 73434 Aalen (DE) Peter Amend, 1040 Wien (AT) Dr. Michel Perez, 21000 Dijon (FR)
(30) Priorität:	26.10.2004 DE 10 2004 052 031.3 18.11.2004 DE 10 2004 055 683.0	(74) Vertreter:	Diehl & Partner AG, Chesa Corvatsch 2 7513 Silvaplana (CH)
(24) Patent erteilt:	15.09.2010		
(45) Patentschrift veröffentlicht:	15.09.2010		
(62) Teilgesuch von:	01697/05		

(54) **Augenchirurgie-Mikroskopiesystem.**

(57) Ein Augenchirurgie-Mikroskopiesystem umfasst eine Mikroskopieoptik (5) zum Erzeugen eines Bildes des operierten Auges, einen Mustergenerator (64) zur Erzeugung eines dem Bild überlagerten Musters und einen Eyetracker (31), um eine Position des überlagerten Musters zu dem Bild bei Bewegungen des Auges nachführen zu können.



## Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft Augenchirurgie-Mikroskopiesysteme.

[0002] Ein Beispiel für eine Augenoperation ist eine Hornhauttransplantation. Hierbei wird die ursprüngliche Hornhaut in einem kreisförmigen Bereich entfernt und ein kreisförmiges Transplantat stattdessen eingefügt. Das eingefügte Transplantat wird mit der natürlichen verbliebenen Hornhaut vernäht. Eine Naht hierfür soll mit regelmässigen Stichen gesetzt werden, um die Symmetrie des Auges nicht zu stören. Es ist insbesondere für einen noch relativ unerfahrenen Operateur schwierig, die Stiche der Naht mit ausreichender Regelmässigkeit zu setzen.

[0003] Ein weiteres Beispiel für eine Augenoperation ist eine Kataraktoperation. Bei einer Kataraktoperation wird eine natürliche Linse des menschlichen Auges, in welcher sich eine Katarakt entwickelt hat, durch eine künstliche Linse ersetzt. Dies ist ein mikrochirurgischer Eingriff, den ein Operateur unter Beobachtung mittels eines Operationsmikroskops vornimmt. Über eine Inzision durch die Sklera oder Cornea wird innerhalb des Innenrands der Iris und ohne Verletzung derselben eine Öffnung in den Kapselsack eingebracht. Durch diese Inzision wird zum einen die körpereigene natürliche Linse beispielsweise nach Ultraschallzertrümmerung durch Absaugen entfernt und zum anderen die künstliche Linse eingesetzt.

[0004] Aus DE 10 226 382 A1 ist ein Augenchirurgie-Mikroskopiesystem bekannt, welches in ein mikroskopisches Bild des zu operierenden Auges ein Ringmuster einblendet, welches dem Operateur hilft, eine korrekte Inzision in den Kapselsack einzubringen. Der Operateur kann das eingeblendete Ringmuster als Führungslinie für den Schnitt verwenden. Hierdurch ist es möglich, einen Durchmesser der Inzision auf den Durchmesser der einzusetzenden künstlichen Linse präzise abzustimmen, was Spätfolgen des Eingriffs vermindert. Im Vergleich zu dem früher praktizierten Eingriff, bei dem der Operateur die Rhexis nach freiem Augenmass einbringt, werden hier die Spätfolgen zwar etwas vermindert, es hat sich allerdings gezeigt, dass mit diesem herkömmlichen Augenchirurgie-Mikroskopiesystem die gestellten Erwartungen an die Verminderung von Spätfolgen nicht vollkommen erreicht werden.

[0005] Es ist entsprechend eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein Augenchirurgie-Mikroskopiesystem vorzuschlagen, welches eine weitere Verbesserung des Erfolgs der durchgeführten Eingriffe ermöglicht.

[0006] Es ist vorgesehen, dass das Augenchirurgie-Mikroskopiesystem einen sogenannten Eyetracker umfasst, um eine Position des operierten Auges in dem Bild zu erfassen und die Position des in das Bild eingeblendeten Musters auf die erfasste Position des Auges in dem Bild abzustimmen. Insbesondere soll die Position des Musters in dem Bild mit dem Bild des Auges immer auf gleiche Weise zusammenfallen.

[0007] Es hat sich nämlich gezeigt, dass die Kraftereinwirkung durch ein Operationswerkzeug, wie etwa ein Skalpell oder eine Schere oder dergleichen, der Augapfel innerhalb der Augenhöhle des Patienten auf unvorhersehbare Weise relativ zu der Mikroskopieoptik und damit relativ zu der Objektebene derselben verlagert. Wird dann der Schnitt entlang der Führungslinie des fest eingeblendeten Ringmusters geführt, so entsteht tatsächlich an dem operierten Auge ein Schnitt, welcher nicht die gewünschte Ring- bzw. Kreisgestalt aufweist und/oder dezentriert sein kann.

[0008] Durch den erfindungsgemässen Einsatz des Eyetrackers, welcher in Abhängigkeit von der Position des Auges ein die Position repräsentierendes Positionssignal erzeugt, und durch die Ausbildung des Mustergenerators dergestalt, dass dieser eine Position des Musters in dem Bild in Abhängigkeit von dem Positionssignal ändert, ist es möglich, eine präzisere Schnittführung an den Augen zu erreichen. Zwar verlagert sich in dem von dem Operateur wahrgenommenen Bild aufgrund der Kraftereinwirkung durch das Operationswerkzeug weiterhin das dargestellte Auge, allerdings führt die Funktion des Eyetrackers zusammen mit dem Mustergenerator dazu, dass sich das eingeblendete Muster zusammen mit der Darstellung des Auges verlagert. Somit kann der Operateur, indem er das sich ständig verlagernde Muster in Kauf nimmt jedoch erreichen, dass bei der Führung der Operationswerkzeuge entlang des sich verlagernden Musters sich in Wirklichkeit der gewünschte Operationserfolg einstellt.

[0009] Gemäss einer Ausführungsform der Erfindung umfasst der Eyetracker eine Bildverarbeitungseinrichtung, welche dazu ausgebildet ist, ein Zentrum eines zusammenhängenden dunklen Bereiches in dem Bild zu ermitteln und das Positionssignal derart bereitzustellen, dass es das Zentrum des dunklen Bereiches repräsentiert. Hierzu ist es vorteilhaft, das operierte Auge so zu belichten, dass das Innere der Pupille dunkel erscheint. Der Innenrand der Pupille ist bei derartigen Eingriffen meist klar definiert und steht in im Wesentlichen fester Relation zum Zentrum des Auges, so dass mit einer derartigen Bildverarbeitung das Zentrum des Auges auch bei schwierigen Operationsbedingungen meist gut erfassbar ist.

[0010] In Ausführungsformen umfasst das Augenchirurgie-Mikroskopiesystem eine Mikroskopieoptik zum Erzeugen eines Bildes eines in einer Objektebene der Mikroskopieoptik angeordneten Auges und einen Mustergenerator zur Erzeugung eines dem Bild überlagerten Musters.

[0011] Das Muster kann beispielsweise ein Kreismuster sein, welches dem Operateur als Führungslinie zum Einbringen einer Rhexis in dem Kapselsack des operierten Auges dienen kann. Das Muster kann allerdings auch ein hiervon verschiedenes Muster sein, welches dem Operateur in anderer Hinsicht als Hilfestellung dienen kann.

[0012] In weiteren Ausführungsformen ist wiederum eine Mikroskopieoptik zum Erzeugen eines Bildes einer Objektebene der Mikroskopieoptik und ein Mustergenerator zum Erzeugen eines dem Bild überlagerten Musters vorgesehen. Hierbei erzeugt der Mustergenerator das überlagerte Muster derart, dass dieses aus zwei Gruppen von jeweils einer Mehrzahl von Markierungsmusterelementen besteht. Die Musterelemente der ersten Gruppe sind auf einem ersten Kreis verteilt

angeordnet, und die Markierungsmusterelemente der zweiten Gruppe sind auf einem zweiten Kreis verteilt angeordnet, wobei der zweite Kreis vollständig innerhalb des ersten Kreises angeordnet ist.

**[0013]** Bei der Hornhautimplantation dienen die eingeblendeten Markierungsmusterelemente dem Operateur als Anhaltspunkte, um an den Stellen, wo in dem Bild ein Markierungsmusterelement erscheint, einen Stich für die Naht zum Festhalten des Implantats anzubringen. Dadurch ist der Operateur beim Einbringen der Naht nicht mehr auf sein freies und Täuschungen unterworfenen Augenmass angewiesen. Es kann vielmehr dem Mustergenerator vor der Durchführung des Eingriffs das gewünschte Stichmuster über eine Schnittstelle in Form von das Stichmuster repräsentierenden Daten eingegeben werden, so dass der Mustergenerator dann an den entsprechenden Stellen die Markierungsmusterelemente, welche dem Operateur als Hilfsmarkierungen dienen, in dem mikroskopischen Bild darstellt.

**[0014]** Die Schnittstelle hierfür kann eine erste Schnittstelle zur Eingabe der Durchmesser der beiden Kreise sein. Die Schnittstelle kann ferner eine zweite Schnittstelle zur Eingabe der Anzahl der Markierungselemente der ersten Gruppe oder der Anzahl der Markierungselemente der zweiten Gruppe sein. Weiter kann die Schnittstelle eine dritte Schnittstelle zur Eingabe einer Umfangsposition der Markierungsmusterelemente der ersten Gruppe relativ zu einer Umfangsposition der Markierungselemente der zweiten Gruppe umfassen. Hierdurch können auf einfache Weise verschiedene Nahttypen vorgegeben werden, wie beispielsweise eine Zickzacknaht oder eine Naht, welche eine Vielzahl von in Radialrichtung verlaufende Stiche umfasst.

**[0015]** Gemäss einer Ausführungsform unterscheiden sich die Durchmesser der beiden Kreise in einem Verhältnis von 0,5 bis 0,8. Eine Ausdehnung der Markierungselemente im Bild ist, gemäss einer Ausführungsform der Erfindung, ausreichend gross, so dass der Operateur diese gut wahrnehmen kann, jedoch genügend klein, um den Ort des einzubringenden Stiches mit genügender Präzision vorzugeben.

**[0016]** Die Markierungsmusterelemente selbst können eine an sich beliebige gedrungene Gestalt aufweisen, wie etwa die Gestalt eines Kreises, eines Vollkreises, einer Raute oder dergleichen. Allerdings können die Markierungsmusterelemente auch durch Kreuze, Sterne und dergleichen repräsentiert sein.

**[0017]** Ein Verfahren zur Vorbereitung eines Eingriffs im Rahmen einer Hornhauttransplantation umfasst: Erzeugen eines mikroskopischen Bildes mittels einer Mikroskopieoptik derart, dass wenigstens ein Teil einer Iris oder ein Teil eines Limbus eines zu operierenden Auges in dem Bild sichtbar ist, und Einblenden einer Mehrzahl von Markierungsmusterelementen in das Bild, wobei die Markierungsmusterelemente einer ersten der beiden Gruppen im Wesentlichen auf einem ersten Kreis angeordnet sind und die Markierungsmusterelemente einer zweiten der beiden Gruppen im Wesentlichen auf einem zweiten Kreis angeordnet sind, welcher vollständig innerhalb des ersten Kreises verläuft.

**[0018]** Das Augen Chirurgie-Mikroskopiesystem sieht eine Mikroskopieoptik zum Erzeugen eines Bildes einer Objektebene der Mikroskopieoptik und einen Mustergenerator zum Erzeugen eines dem Bild überlagerten Musters vor.

**[0019]** Der Mustergenerator ist hier dazu ausgebildet, ein im Wesentlichen entlang eines Rings sich erstreckendes erstes Teilmuster und ein im Wesentlichen entlang einer Geraden sich erstreckendes zweites Teilmuster zu erzeugen, wobei die Gerade zwei Schnittpunkte mit dem Ring aufweist, und wobei eine Orientierung der Geraden um ein Zentrum des Ringes änderbar ist. Ein weiteres Muster kann ein Tabo-Schema mit Gradeinteilung umfassen.

**[0020]** Dieses Muster ist besonders hilfreich beim Einsetzen einer torischen intraokularen Linse (IOL) in ein Patientenauge. Herkömmlicherweise ist es nämlich schwierig, eine gewünschte Orientierung der torischen intraokularen Linse relativ zu dem Auge zu gewährleisten, da der Operateur hier wiederum auf sein freies Augenmass angewiesen war. Mit Hilfe der durch den Mustergenerator in das mikroskopische Bild eingeblendeten sich entlang der Geraden erstreckenden Teilmusters ist es dem Operateur möglich, dieses Teilmuster als Orientierungshilfe für die intraokulare Linse zu verwenden. So kann die intraokulare Linse selbst Markierungen oder Gestaltmerkmale aufweisen, welche der Operateur durch entsprechendes Verlagern der intraokularen Linse relativ zu dem wahrgenommenen Bild so ausrichten kann, dass die Markierungen bzw. Gestaltmerkmale mit dem entlang der Geraden sich erstreckenden Teilmuster zusammenfallen. Das entlang des Rings sich erstreckende Teilmuster wiederum ist hilfreich, um das entlang der Geraden sich erstreckende Teilmuster in dem Bild korrekt zu positionieren. Dies kann dadurch geschehen, dass das Auge relativ zur Objektebene des Mikroskops durch Verlagern der Mikroskopieoptik positioniert wird. Es ist jedoch auch möglich, über eine Schnittstelle Positionersignale für den Mustergenerator einzugeben, so dass dieser das generierte Muster insgesamt in dem Bild entsprechend den eingegebenen Signalen verlagert. Insbesondere bei dem Einsatz des Eyetrackers ist es auch möglich, das entlang des Ringes sich erstreckende erste Teilmuster zeitweise nicht darzustellen oder dieses gar nicht darzustellen bzw. nicht erst zu erzeugen.

**[0021]** Gemäss einer Ausführungsform umfasst das Augen Chirurgie-Mikroskopiesystem eine Schnittstelle zur Eingabe einer Orientierung oder/und einer Änderung der Orientierung der Geraden in dem Bild.

**[0022]** Ein Verfahren zur Vorbereitung eines Eingriffs im Rahmen einer Implantation einer torischen Intraokularlinse umfasst: Erzeugen eines mikroskopischen Bildes mittels einer Mikroskopieoptik derart, dass wenigstens ein Teil einer Iris oder ein Teil eines Limbus eines zu operierenden Auges in dem Bild sichtbar ist, Einblenden eines im Wesentlichen entlang einer Geraden sich erstreckenden zweiten Teilmusters in das Bild, und Einstellen einer Orientierung der Geraden um das Zentrum auf eine vorbestimmte Orientierung.

**[0023]** Das Orientieren der Geraden erfolgt derart, dass dessen Orientierung zunächst so geändert wird, dass die Markierung mit einer an dem operierten Auge vorab angebrachten Markierung zusammenfällt. Diese Markierung wurde vor dem Eingriff an dem Auge angebracht und markiert eine vorbestimmte Winkelorientierung, wie beispielsweise die Vertikale. Da sich das Auge während des Eingriffs verlagert und in der Augenhöhle auch verdrehen kann, stellt diese Markierung am Auge eine Referenz zur Orientierung der torischen Intraokularlinse dar. Nachdem die Gerade nun so orientiert ist, dass sie mit der Markierung an dem Auge zusammenfällt, wird die Orientierung der Geraden dann um einen vorbestimmten Winkelwert geändert, welcher der gewünschten Orientierung der Intraokularlinse zum Auge entspricht.

**[0024]** Ausführungsformen der Erfindung werden nachfolgend anhand von Zeichnungen näher erläutert. Hierbei zeigt

- Fig. 1 eine schematische Darstellung einer Ausführungsform eines erfindungsgemässen Augenchirurgie-Mikroskopiesystems,
- Fig. 2 eine Darstellung eines von dem Mikroskopiesystem der Fig. 1 erzeugten Bildes,
- Fig. 3 ein dem Bild der Fig. 2 entsprechendes Bild, in welches ein Markierungsmuster als Hilfestellung zum Setzen einer Naht bei einer Hornhauttransplantation eingeblendet ist,
- Fig. 4 ein dem Bild der Fig. 2 entsprechendes Bild, in welches ein weiteres Markierungsmuster als Hilfestellung zum Setzen einer Naht bei einer Hornhauttransplantation eingeblendet ist,
- Fig. 5 eine Darstellung eines von dem Mikroskopiesystem der Fig. 1 vor einem Einsetzen einer intraokularen Linse erzeugten Bildes,
- Fig. 6 eine Darstellung eines der Fig. 5 entsprechenden Bildes, wobei ein Hilfsmuster zur Orientierung der Intraokularlinse in einem Zwischenschritt eingeblendet ist, und
- Fig. 7 eine Darstellung eines der Fig. 5 entsprechenden Bildes, wobei ein Hilfsmuster zur Orientierung der Intraokularlinse in einem weiteren Zwischenschritt eingeblendet ist.

**[0025]** In Fig. 1 ist ein Augenchirurgie-Mikroskopiesystem 1 schematisch dargestellt. Dieses umfasst einen Gehäusekörper 3, in dem eine Mikroskopieoptik 5 aufgenommen ist. Die Mikroskopieoptik 5 umfasst ein Mikroskopieobjektiv 7, welches ein von einer Objektebene 9 des Objektivs 7 ausgehendes objektseitiges divergentes Strahlenbündel 11 in ein bildseitiges paralleles Strahlenbündel 13 überführt. Aus diesem greift ein doppelt ausgelegtes Zoomsystem 15 mit entlang einer optischen Achse 17 des Objektivs 7 verlagerbaren Linsengruppe 19 und 21 zwei Teilstrahlenbündel 23 und 24 heraus, welche Okularen 25 bzw. 26 zugeführt werden, in welche der Operateur mit seinem linken und rechten Auge einblicken kann, um ein Bild der Objektebene 9 zu betrachten.

**[0026]** Zur Durchführung einer Augenoperation ordnet der Operateur das Mikroskopiesystem 1 vor einem Auge 29 eines Patienten, an dem die Operation durchzuführen ist, an. Bei einer Kataraktoperation schafft der Operateur zunächst einen Zugang zu einem Kapselsack des Auges, beispielsweise dadurch, dass entsprechende Inzisionen an einer Sklera oder Cornea des Auges 29 durchgeführt werden. Sodann wird die Inzision an dem Kapselsack vorbereitet. Hierzu umfasst das Mikroskopiesystem 1 eine Steuerung 31, beispielsweise einen Personalcomputer, welcher einen Motor 33 zur Verlagerung der Linsengruppen 19 und 21 des Zoomsystem 15 und damit zur Änderung einer Vergrößerung der Mikroskopieoptik 5 ansteuert. Kommandos zur Ansteuerung des Motors 33 erhält die Steuerung 31 von einem Schalterpult 35 mit Drucktastern 37, 38 und 39, welche vom Fuss des Operateurs oder der Person, die die Inzision an dem Kapselsack vorbereitet, betätigbar sind. Wird der Drucktaster 37 gedrückt, steuert die Steuerung 31 den Motor 33 derart an, dass die Vergrößerung der Mikroskopieoptik 35 erhöht wird. Bei Drücken des Drucktasters 38 wird die Vergrößerung der Mikroskopieoptik entsprechend erniedrigt.

**[0027]** Das Mikroskopiesystem 1 umfasst ferner einen halbdurchlässigen Spiegel 41, welcher in dem Teilstrahlenbündel 23 angeordnet ist, um aus diesem ein Strahlenbündel 43 auszukoppeln, welches über eine Adapteroptik 45 auf einen Kamerachip 47 derart geleitet wird, dass auf diesem ein Bild der Objektebene 9 entsteht. Von dem Kamerachip 47 aufgenommene Bilder werden von der Steuerung 31 ausgelesen und auf einem Bildschirm 49 dargestellt. Damit ist auf dem Bildschirm 49 das gleiche Bild der Objektebene 9 sichtbar, wie es ein Betrachter beim Einblick in das Okular 25 wahrnimmt.

**[0028]** Das gleiche Bild wie auf dem Bildschirm 49 wird ferner noch in einem Head Mounted Display 50 dargestellt, welches der Operateur am Kopf tragen kann, um das gleiche Bild zu betrachten, wie er es beim Einblick in die Okulare 25 und 26 oder beim Blicken auf den Bildschirm 49 wahrnehmen kann. Somit hat der Operateur drei verschiedene Möglichkeiten, um die Operation auszuführen, nämlich einmal durch Einblick in die Okulare, sodann durch Betrachten des Operationsfeldes auf dem Bildschirm 49 und schliesslich durch Betrachten des Operationsfeldes über das Head Mounted Display 50. Bei Verwendung des Head Mounted Display 50 ist es vorteilhaft, in beiden Stereostrahlengängen des Mikroskopiesystems 1 ein Kamerasystem anzuordnen, wie es für den linken Strahlengang in Fig. 1 mit den Komponenten 41, 43, 45 und 47 dargestellt ist. Damit kann über zwei Kameras ein stereoskopisches Bild der Objektebene 9 aufgenommen werden, welches dann auch in dem Head Mounted Display 50 stereoskopisch wiedergegeben werden kann.

**[0029]** Die Steuerung 31 ist Teil eines Eyetrackers, zu dessen Implementierung die Steuerung 31 ein Softwaremodul 63 aufweist. Das Softwaremodul 63 analysiert die von der Kamera 47 aufgenommenen Bilder. Eine repräsentative Darstellung eines solchen Bilds 101 ist in Fig. 2 gezeigt. In dem Bild 101 sind Augenlider 103, Sklera 105, ein Aussenrand 107 einer Pupille 109 und ein Innenrand 111 der Pupille 109 zu erkennen. Bei entsprechender Beleuchtung des Auges erscheint die Sklera 105 weiss, die Iris 109 in der der Augenfarbe des Patienten entsprechenden Farbe, und die innerhalb des Innenrands 111 der Iris 109 liegende Pupille 113 erscheint dunkel bis schwarz. Das Softwaremodul 63 analysiert das Bild nach Helligkeiten und führt eine Schwellwertfilterung entsprechend der Helligkeit durch, um die unter einem Helligkeitsschwellenwert liegenden Bereiche des Bilds 101 zu bestimmen. Damit werden zum einen der zusammenhängende dunkle Bereich 113 der Pupille nach der Filterung verbleiben, so wie weiter kleinere Details des Bildes 101, wie beispielsweise Wimpern oder dergleichen. Die Bildverarbeitung stellt dann den grössten zusammenhängenden dunklen Bereich fest, welcher regelmässig die Pupille 113 ist. Es wird der geometrische Schwerpunkt des grössten zusammenhängenden dunklen Bereichs ermittelt, welcher in Fig. 2 mit dem Bezugszeichen 115 bezeichnet ist. Somit ist es möglich, mit Hilfe des Eyetrackers das Zentrum 115 der Pupille in den Koordinaten des Bildes 101 zu ermitteln.

**[0030]** Das Mikroskopiesystem 1 umfasst ferner einen Projektor 55 mit einer Anzeigevorrichtung 57, beispielsweise einer LCD-Anzeige, eine Projektionsoptik 59 und einem halbdurchlässigen Spiegel 61. Der halbdurchlässige Spiegel 61 ist in dem Teilstrahlenbündel 24 angeordnet und koppelt ein durch die Anzeigevorrichtung 57 dargestelltes und von der Optik 59 projiziertes Muster in das Teilstrahlenbündel 24 derart ein, dass es beim Einblick in das Okular 26 oder das Head Mounted Display 50 oder beim Betrachten der Anzeige 49 in überlagerter Darstellung mit dem Bild der Objektebene 9 wahrgenommen wird. Das von der Anzeigevorrichtung 57 dargestellte Muster wird durch einen Mustergenerator 64 in der Steuerung erzeugt, wobei die Steuerung 31 dieses Muster auch dem Bild überlagert, welches auf dem Bildschirm 49 dargestellt wird. Die Steuerung erzeugt hierbei das dem Bild überlagerte Muster in einer Grösse, die mit der eingestellten Vergrösserung des Zoomsystems 15 skaliert. Ändert der Benutzer somit die Vergrösserung des Zoomsystems um einen bestimmten Faktor, so ändert die Steuerung die Grösse des eingeblendeten Musters um den gleichen Faktor.

**[0031]** Fig. 3 zeigt das mikroskopische Bild der Objektebene (vergleiche Fig. 2), welchem das von dem Mustergenerator 64 erzeugte Muster überlagert ist. Das Muster besteht aus einer Vielzahl von kleinen Ringen 121 als äussere Markierungsmusterelemente und einer Vielzahl von kleinen Ringen 123 als innere Markierungsmusterelemente. Die Ringe 121 sind auf einem Kreis 125 angeordnet, welcher allerdings in dem Bild 101 nicht unbedingt dargestellt sein muss. Die Ringe 123 sind auf einem Kreis 127 angeordnet, welcher innerhalb des Kreises 125 liegt und in dem Bild 101 ebenfalls nicht dargestellt sein muss. Eine gestrichelte Linie 129 stellt eine Grenze zwischen der natürlichen Hornhaut des Auges, welche ausserhalb des Kreises 129 liegt, und eines Hornhautimplantats dar, welches innerhalb des Kreises 129 liegt. Das Implantat und die Hornhaut werden durch eine Zickzacknaht 131 miteinander vernäht. Gerade Abschnitte 133 eines die Naht bildenden Fadens erstrecken sich zwischen den Ringen 121 und 123. Die in das Bild 101 eingeblendeten Ringe 121 und 123 dienen dem Operateur als Positionierungshilfen für Einstiche, durch welche der Faden 133 gezogen wird. Die Naht umfasst in dem beschriebenen Beispiel zweiunddreissig Stiche, wozu sechzehn Ringe 121 auf der äusseren Kreislinie 125 und sechzehn Ringe 123 auf der inneren Kreislinie 127 über den Umfang der Kreise 125 bzw. 127 gleich verteilt angeordnet sind, wobei die Ringe 123 versetzt zu den Ringen 121 positioniert sind. Ein Durchmesser des Kreises 127 beträgt in dem beschriebenen Beispiel etwa ein 0,7faches eines Durchmessers des Kreises 125.

**[0032]** Die Anzahl der Ringe 121, 123 und die Durchmesser der Kreise 125 und 127 werden den Gegebenheiten der durchzuführenden Transplantation angepasst und über die Tastatur 73 der Steuerung 31 eingegeben.

**[0033]** Fig. 4 zeigt eine Variante eines eingeblendeten Musters mit auf einem äusseren Kreis 125 angeordneten Ringen 121 und auf einem inneren Kreis 127 angeordneten Ringen 123, welche in Umfangsrichtung relativ zueinander nicht versetzt sind, sondern in Radialrichtung bezüglich dem Mittelpunkt 115 der Pupille fluchten. Dieses Muster aus den Ringen 121, 123 kann zur Bildung einer Radialnaht 131a eingesetzt werden, wie dies in Fig. 4 rechts dargestellt ist. Hierbei werden zwischen radial fluchtenden Paaren von Ringen 121, 123 Fadenstücke 133a eingesetzt. Das Muster 121, 123 kann auch zur Ausbildung einer doppelten Zickzacknaht 131b verwendet werden, wie dies in Fig. 4 links mit Fadenabschnitten 133b dargestellt ist.

**[0034]** Während der Durchführung des Eingriffes ist der Eyetracker 63 ständig aktiv, so dass das eingeblendete Muster 121, 127 mit dem mikroskopischen Bild des Auges mitbewegt wird, falls sich dieses aufgrund der Krafteinwirkung des Operationswerkzeuges relativ zu der Mikroskopieoptik 5 verlagert.

**[0035]** Anhand der Fig. 5 bis 7 wird nun ein Eingriff zum Einführen einer torischen Intraokularlinse 131 in einen Kapselsack eines Auges erläutert. Die torische Intraokularlinse 131 ist aufgrund ihrer astigmatischen optischen Wirkung korrekt um den Mittelpunkt 115 der Pupille 113 zu orientieren. Bei dem Eingriff ist die Pupille medikamentös erweitert, weshalb der Abstand zwischen dem Innenrand 111 und dem Aussenrand 107 der Iris in Fig. 7 gegenüber den Darstellungen der Fig. 2 bis 4 verringert ist.

**[0036]** Die intraokulare Linse 131 umfasst einen zentralen Linsenteil 133 und gegenüberliegende erweiterte Randbereiche mit jeweils einer Haptik 135. Die Haptiken 135 sind deutlich im mikroskopischen Bild wahrnehmbare als Markierungen dienende Gestaltmerkmale der intraokularen Linse. Es ist allerdings auch möglich, dass an der Linse 131 zusätzliche Markierungen, wie etwa Striche, angebracht sind, um als Orientierungshilfe zu dienen. In der Darstellung der Fig. 7 ist in das mikroskopische Bild 101 eine von dem Mustergenerator 64 erzeugte Markierung eingeblendet, welche eine Kreislinie

141 und eine Gerade 143 umfasst. Der Durchmesser des Kreises 141 kann über die Tastatur vom Operateur oder einer die Operation vorbereitenden Hilfsperson eingegeben werden und ist in der in Fig. 7 dargestellten Situation so gewählt, dass er in etwa zwischen dem Innenrand 111 und dem Aussenrand 107 der Iris liegt. Die Orientierung der Geraden 143 um den Mittelpunkt des Kreises 141, welcher bei korrekter Positionierung des Kreises 141 mit dem Zentrum 115 der Pupille zusammenfällt, ist so gewählt, dass sie die optimale Orientierung der Intraokularlinse 131 vorgibt. Der Operateur kann somit die Intraokularlinse 131 anhand der Geraden 143 orientieren und in der korrekten Ausrichtung im Auge positionieren.

**[0037]** Die in Fig. 7 gezeigte korrekte Orientierung der Geraden 143 wird wie folgt eingestellt: Fig. 5 zeigt das Auge vor dem Einführen der intraokularen Linse. Vor dem Eingriff wurde an dem Augapfel mit einer geeigneten Farbe oder Instrument eine Markierung 149 angebracht, welche unter einem vorbestimmten Winkel  $\theta$  zu einer vertikalen 151 oder horizontalen Referenz orientiert ist, die vor dem Eingriff markiert wurde. In einem in Fig. 6 gezeigten Schritt wird das von dem Mustergenerator 64 erzeugte Ringmuster 141 und die Gerade 143 in das mikroskopische Bild eingeblendet. Der Operateur oder die die Operation vorbereitende Hilfsperson orientiert die Gerade 143 so, dass diese die an dem Auge angebrachte Markierung 149 überlagert. Sodann wird dem Mustergenerator 124 ein Signal gegeben, um die Orientierung der Geraden 143 um einen Winkel  $\theta$  zu ändern, so dass die Gerade die in Fig. 7 gezeigte Orientierung einnimmt, welche die korrekte Orientierung der Intraokularlinse 131 vorgibt. Somit ist es möglich, die Intraokularlinse in einer vor dem Eingriff bestimmten Orientierung relativ zu der Markierung 149 einzusetzen, und zwar unabhängig davon, welche Orientierung das Auge in dem Bild 101 während der Operation tatsächlich einnimmt. Die Orientierung des Auges in dem Bild 101 ist nämlich schwer zu definieren, da zum einen die Orientierung der Mikroskopieoptik 5 relativ zum Kopf des Patienten nicht gut definiert ist und zum anderen die Orientierung des Auges in der Augenhöhle sich während des Eingriffs ändern kann.

**[0038]** In den anhand der Fig. 3 und 4 beschriebenen Ausführungsformen sind die Markierungsmusterelemente kleine Kreise. Es ist jedoch auch möglich, diese Markierungsmusterelemente anders darzustellen, beispielsweise durch Vierecke, Rauten, Kreuze, Sterne und dergleichen.

**[0039]** In der anhand der Fig. 5 bis 7 erläuterten Ausführungsform ist die Orientierungshilfe zur Positionierung der Intraokularlinse eine durchgehende Gerade. Es ist jedoch auch möglich, andere Markierungen zur Orientierung der Intraokularlinse einzusetzen, deren Orientierung um den Mittelpunkt der Pupille sich wohl definiert einstellen lässt. Beispielsweise können dies Teile einer Geraden sein oder Teile mehrerer sich kreuzender Geraden, welche sich unter verschiedenen Winkeln um den Mittelpunkt erstrecken und welche mit Gestaltelementen der Intraokularlinse bei korrekter Orientierung derselben zusammenfallen können.

**[0040]** Ferner ist es bei der anhand der Fig. 5 und 6 dargestellten Ausführungsform möglich, den eingeblendeten Kreis 141 als Teilmuster wegzulassen, sofern einigermassen gewährleistet ist, dass sich die Gerade 143 durch den Mittelpunkt 115 der Pupille erstreckt. Dies ist insbesondere dann möglich, wenn die Position des eingeblendeten Musters relativ zu dem Bild des Auges über den vorangehend beschriebenen Eyetracker nachgeführt wird.

**[0041]** Ferner ist es möglich, anstatt der Geraden oder/und des Kreises ein Tabo-Schema einzublenden, welches eine Mehrzahl von in gleichen Winkelabständen bezüglich eines Zentrums des Musters voneinander angeordnete Einzelmarkierungen aufweist, welche als Orientierungshilfen dienen können.

**[0042]** Neben der Orientierung einer einzusetzenden intraokularen Linse können die eingeblendeten Muster auch für andere Orientierungsaufgaben im Rahmen einer Vorbereitung und/oder Durchführung einer Augenoperation dienen. Ein Beispiel hierfür ist die Orientierung einer sogenannten LRI (limbal relaxing incision).

**[0043]** Der Eyetracker kann vorteilhaft auch zur Einbringung einer Kreisinzision in den Kapselsack vor dem Entfernen der natürlichen Linse eingesetzt werden, wobei hier der Mustergenerator ein Kreismuster erzeugt, wie dies in der DE 10226 382 A1 beschrieben ist, deren Offenbarung in die vorliegende Anmeldung durch Inbezugnahme vollumfänglich aufgenommen wird.

**[0044]** In den vorangehend beschriebenen Ausführungsformen wird zur Kompensierung von Augenbewegungen das Positionssignal des Eyetrackers dazu eingesetzt, die Position des in das Bild eingeblendeten Musters relativ zu dem Bild in Abhängigkeit von dem Positionssignal einzustellen. Alternativ oder ergänzend hierzu ist es jedoch auch möglich, die Mikroskopieoptik in Abhängigkeit von dem Positionssignal des Eyetrackers relativ zu dem Auge zu verlagern. Hierzu kann beispielsweise die Mikroskopieoptik an einem Stativ aufgehängt und relativ zu dem Auge positioniert sein. Das Stativ umfasst einen Aktuator zur Änderung einer Position der Mikroskopieoptik relativ zu dem Auge, wobei der Aktuator in Abhängigkeit von dem Positionssignal des Eyetrackers angesteuert wird, um das Bild der Objektebene bzw. des darin angeordneten Auges derart zu erzeugen, dass dieses in einer im Wesentlichen gleichbleibenden Position innerhalb des Bildes erscheint.

**[0045]** Zusammengefasst umfasst ein Augenchirurgie-Mikroskopiesystem eine Mikroskopieoptik zum Erzeugen eines Bildes des operierten Auges, einen Mustergenerator zur Erzeugung eines dem Bild überlagerten Musters und einen Eyetracker, um eine Position des überlagerten Musters zu dem Bild bei Bewegungen des Auges nachzuführen zu können. Das eingeblendete Muster umfasst Markierungsmusterelemente, welche auf zwei unterschiedlich grossen Kreisen gleich verteilt angeordnet sind, um eine Hilfe beim Einbringen einer Naht bei einer Hornhauttransplantation zu geben. Das eingeblendete Muster ist ferner eine Orientierungshilfe für eine torische Intraokularlinse.

## Patentansprüche

1. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem, umfassend:  
eine Mikroskopieoptik (5) zum Erzeugen eines Bildes (101) eines in einer Objektebene (9) der Mikroskopieoptik (5) angeordneten Auges und  
einen Mustergenerator (64) zur Erzeugung eines dem Bild überlagerten Musters (121, 123; 141, 143), gekennzeichnet durch  
einen Eyetracker (41, 43, 45, 47, 63), um eine Position des Auges in dem Bild zu erfassen und ein die Position repräsentierendes Positionssignal bereitzustellen, wobei der Mustergenerator (64) dazu ausgebildet ist, eine Position des Musters (121, 123; 141, 143) in dem Bild (101) in Abhängigkeit von dem Positionssignal zu ändern, oder/und die Mikroskopieoptik dazu ausgebildet ist, in Abhängigkeit von dem Positionssignal relativ zu dem Auge verlagert zu werden.
2. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem nach Anspruch 1, wobei der Eyetracker (41, 43, 45, 47, 63) eine Bildverarbeitungseinrichtung (63) umfasst, welche dazu ausgebildet ist, ein Zentrum eines zusammenhängenden dunklen Bereiches in dem Bild zu ermitteln, und wobei der Eyetracker das Positionssignal in Abhängigkeit von einer Lage des ermittelten Zentrums bereitstellt.
3. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem nach Anspruch 2, wobei die Bildverarbeitungseinrichtung dazu ausgebildet ist, Helligkeitswerte an Pixelorten des Bildes mit einem Schwellenwertfilter zu verarbeiten, um den zusammenhängenden dunklen Bereich in dem Bild zu ermitteln.
4. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem nach Anspruch 2 oder 3, wobei die Bildverarbeitungseinrichtung dazu ausgebildet ist, das Zentrum als einen Geometrischen Flächenschwerpunkt des zusammenhängenden dunklen Bereiches in dem Bild zu ermitteln.
5. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei der Mustergenerator (64) eine sechste Schnittstelle (73) zur Eingabe einer Grösse des eingeblendeten Musters in dem Bild umfasst.
6. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei die Mikroskopieoptik eine Mikroskopieoptik (5) mit einstellbarer Vergrößerung ist und der Mustergenerator (64) mit der Mikroskopieoptik (5) gekoppelt und derart ausgebildet ist, dass die Grösse des eingeblendeten Musters in dem Bild mit der Vergrößerung skaliert.
7. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei das Muster ein Ringmuster, insbesondere ein Kreismuster, umfasst.
8. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Mustergenerator (64) einen Projektor (57) umfasst, um das Muster in einen Strahlengang der Mikroskopieoptik (5) einzukoppeln.
9. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem nach Anspruch 8, wobei der Projektor (57) derart ausgebildet ist, dass das Muster in den Strahlengang hin zu einem Okular (26) der Mikroskopieoptik (5) eingekoppelt ist.
10. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem nach Anspruch 8, wobei der Projektor (57) derart ausgebildet ist, dass das Muster in den Strahlengang hin zur Objektebene (9) eingekoppelt wird.
11. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 10, ferner umfassend einen Schirm zum Anzeigen des durch die Mikroskopoptik erzeugten Bildes und des dem Bild überlagerten Musters.
12. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 11, ferner umfassend eine kopfgetragene Anzeige zum Anzeigen des durch die Mikroskopoptik erzeugten Bildes und des dem Bild überlagerten Musters.
13. Augenchirurgie-Mikroskopiesystem nach einem der Ansprüche 1 bis 12, ferner umfassend ein Okular zum Anzeigen des durch die Mikroskopoptik erzeugten Bildes und des dem Bild überlagerten Musters.

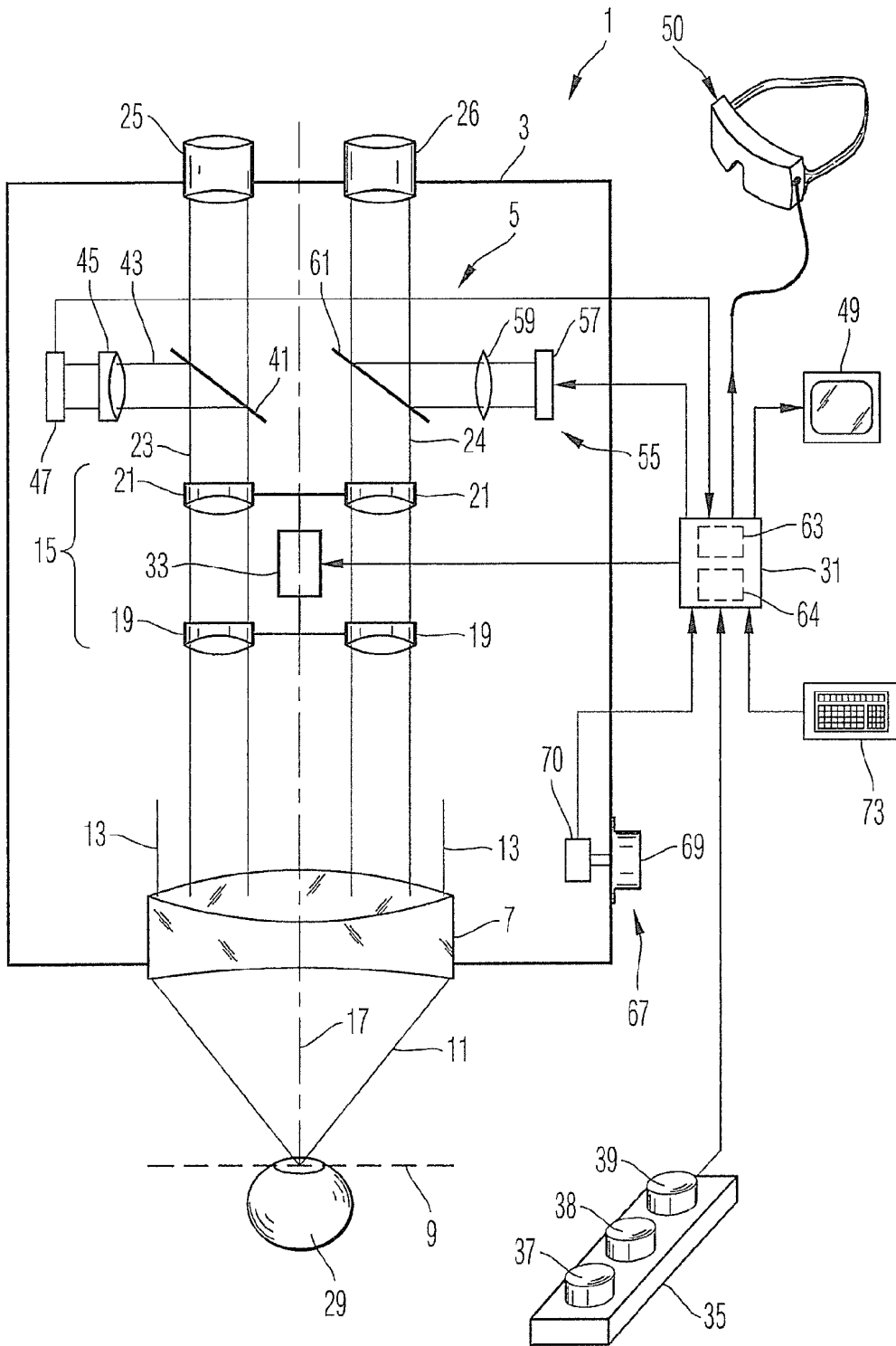
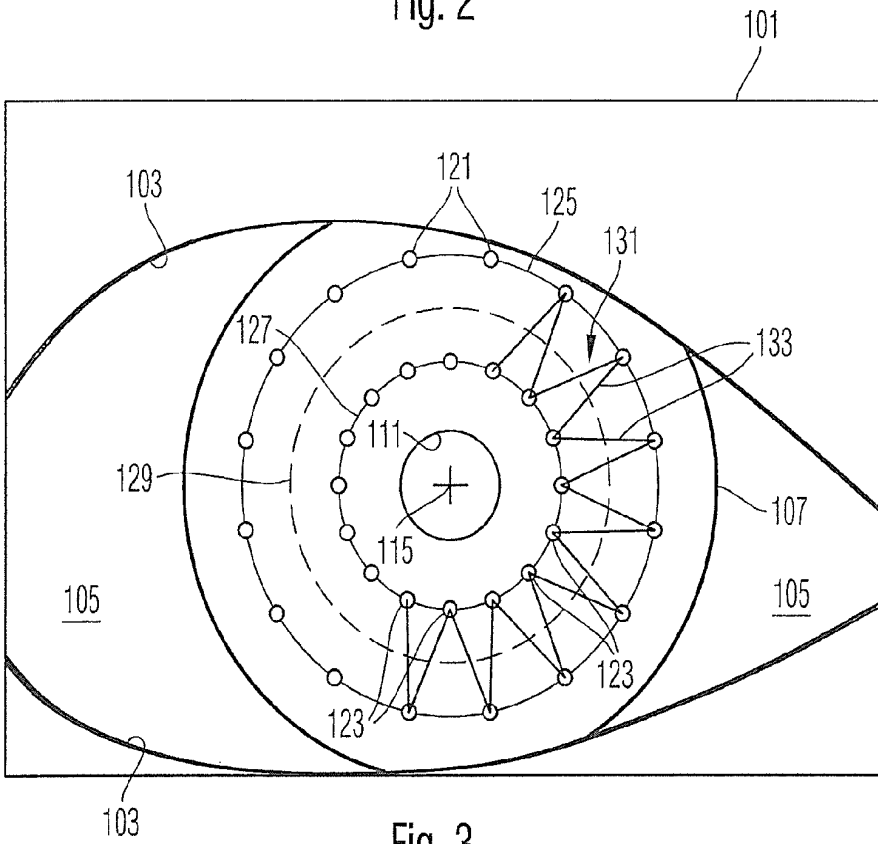
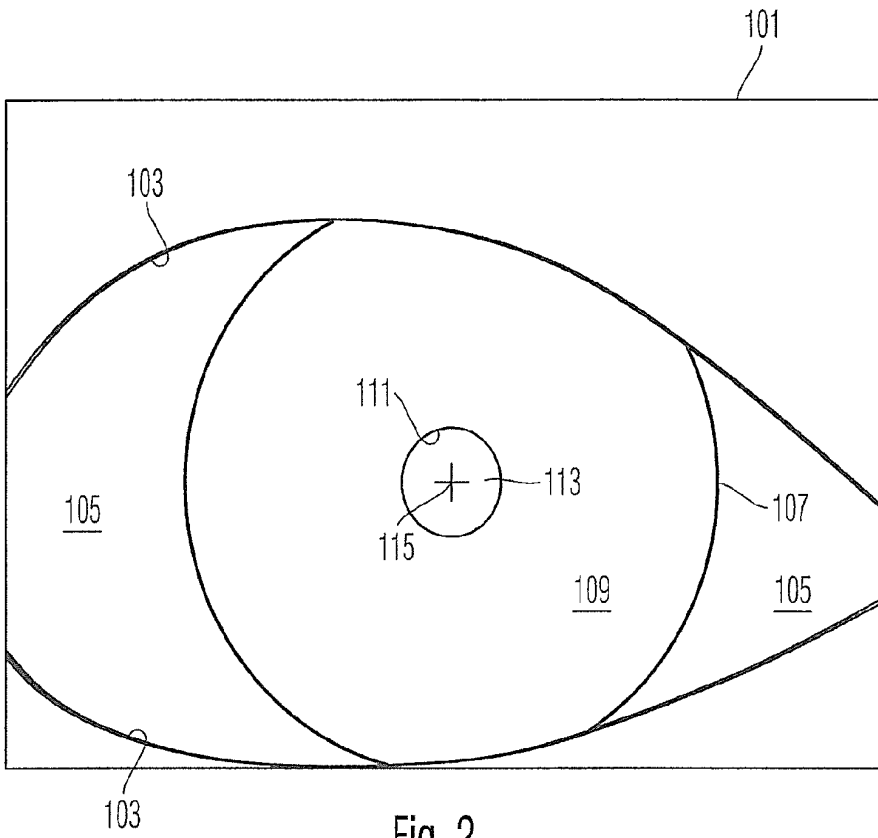


Fig. 1



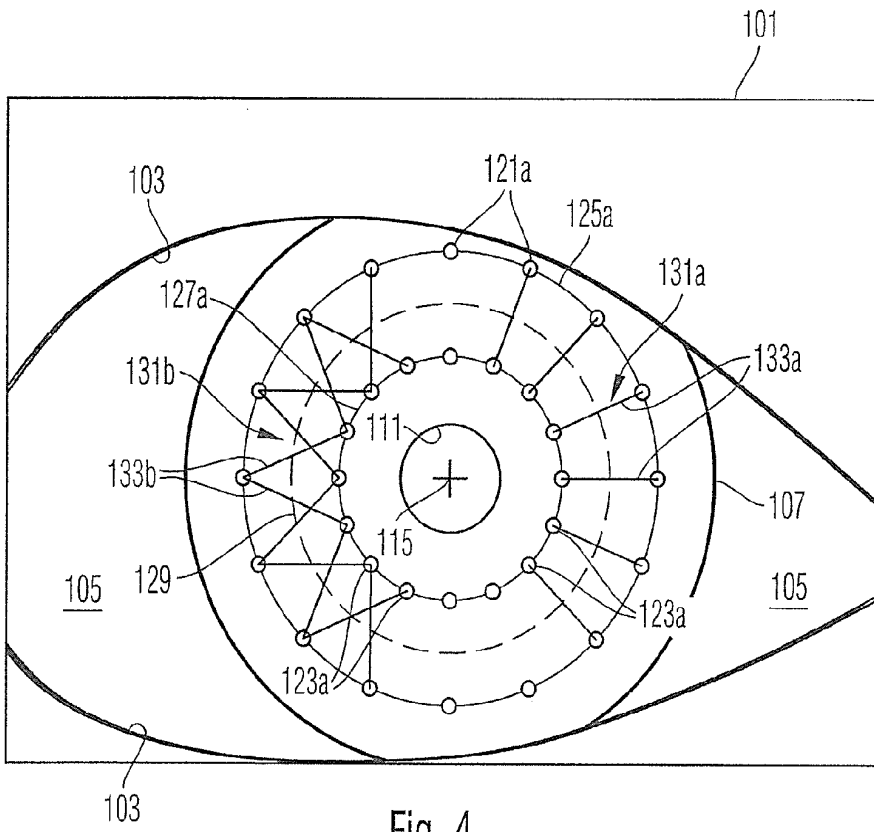


Fig. 4

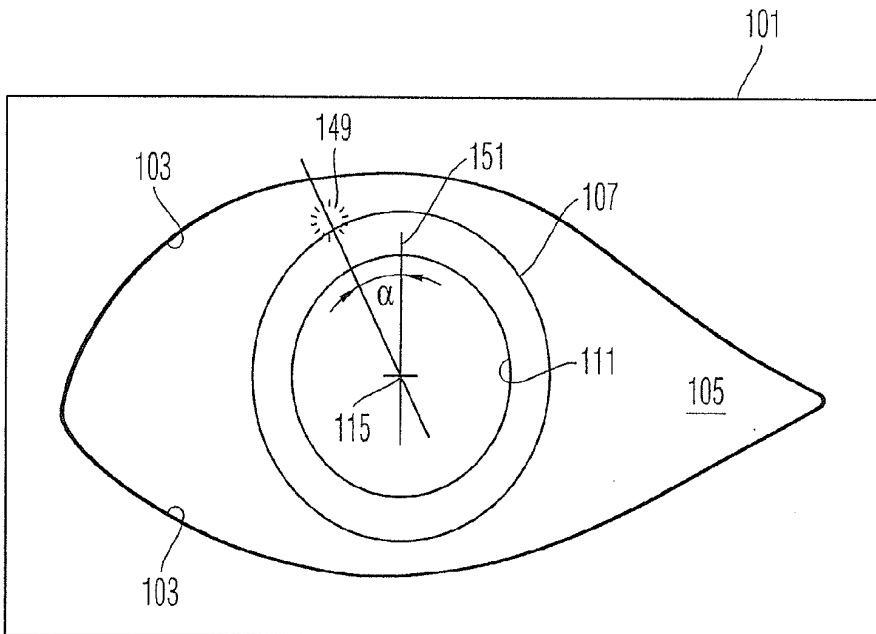


Fig. 5

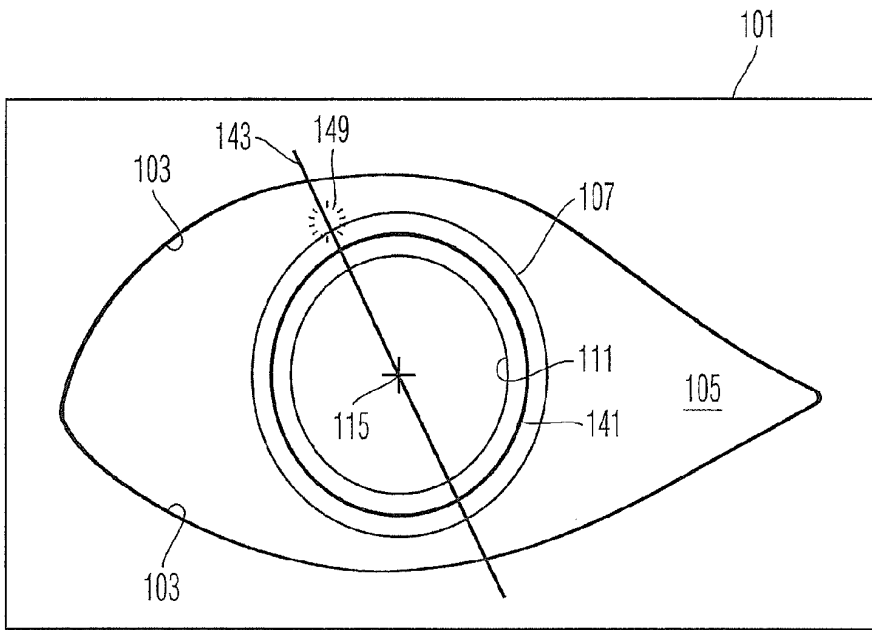


Fig. 6

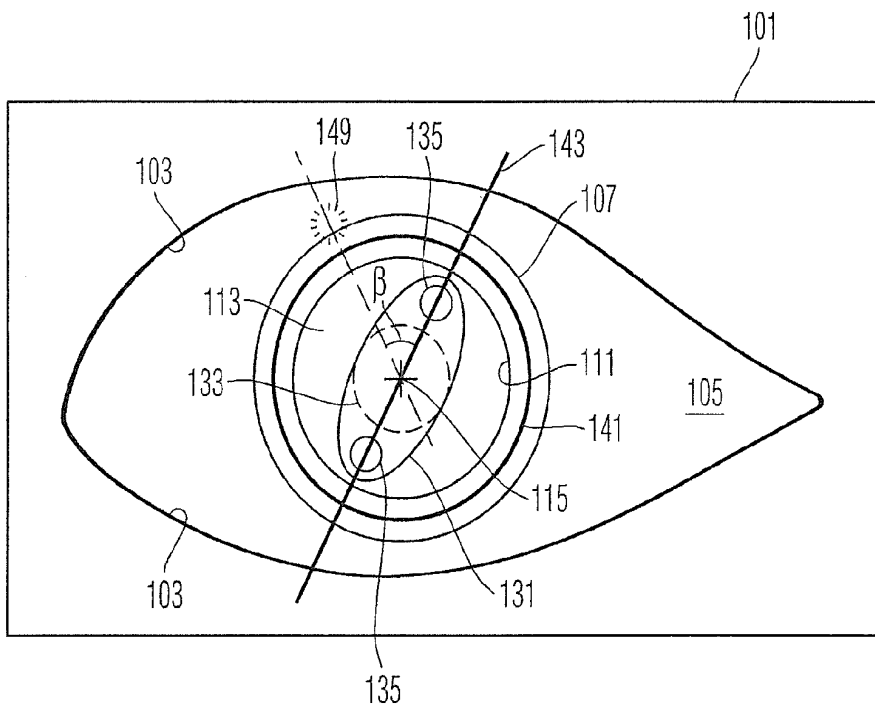


Fig. 7