



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 045 706 B3 2007.04.26**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 045 706.1**

(22) Anmeldetag: **20.09.2005**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **26.04.2007**

(51) Int Cl.⁸: **A61B 19/00 (2006.01)**
G02B 5/02 (2006.01)

Innerhalb von drei 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. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
AESCULAP AG & Co. KG, 78532 Tuttlingen, DE

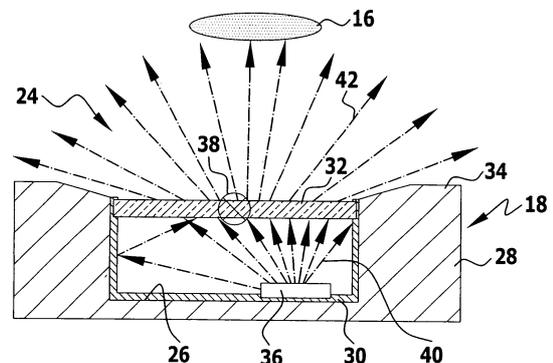
(74) Vertreter:
HOEGER, STELLRECHT & PARTNER
Patentanwälte, 70182 Stuttgart

(72) Erfinder:
Göggelmann, Andreas, 74379 Ingersheim, DE;
Fritzsche, Jörg, Dipl.-Ing.(FH), 78532 Tuttlingen,
DE; Reu, Gerhard, Dipl.-Ing.(FH), 78532 Tuttlingen,
DE; Pieczyk, Rafael, 46569 Hünxe, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:
DE 198 05 112 A1
DE 101 61 787 A1
DE 295 03 001 U1
US2003/02 10 812 A1
EP 16 45 241 A1
EP 14 15 609 A1
WO 97/47 240 A1

(54) Bezeichnung: **Chirurgisches Markerelement, chirurgisches Referenzelement und chirurgisches Navigationssystem**

(57) Zusammenfassung: Um ein chirurgisches Markerelement (24; 68; 80; 100; 130) für ein mindestens drei Markerelemente (24; 68; 80; 100; 130) umfassendes Referenzelement (18; 56; 104) eines chirurgischen, mindestens eine Nachweisvorrichtung (12) zum Detektieren der Position des Referenzelementes (18; 56; 104) umfassenden Navigationssystems (10), wobei das Markerelement (24; 68; 80; 100; 130) eine Strahlungsquelle (36; 60; 86; 118; 138) zur Erzeugung von Strahlung (40; 70; 90; 140) umfasst, wobei das Markerelement (24; 68; 80; 100; 130) ein Leuchtfleckerzeugungselement (32; 64; 88; 112) zum Erzeugen eines von der Nachweisvorrichtung (12) detektierbaren Leuchtflecks (38; 120; 144) umfasst und wobei das Leuchtfleckerzeugungselement (32; 64; 88; 112) von der Strahlungsquelle (36; 60; 86; 118; 138) beabstandet und mit von der Strahlungsquelle (36; 60; 86; 118; 138) erzeugter Strahlung (40; 70; 90; 140) beaufschlagbar ist, so zu verbessern, dass die Position des Markerelements (24; 68; 80; 100; 130) genauer bestimmt werden kann, wird vorgeschlagen, dass das Markerelement (24; 68; 80; 100; 130) einen Hohlraum (26; 58; 84; 106; 134) aufweist, dass die Strahlungsquelle (36; 60; 86; 118; 138) in dem Hohlraum (26; 58; 84; 106; 134) angeordnet ist und dass der Hohlraum (26; 58; 84; 106; 134) eine Strahlaustrittsöffnung (64; 112) aufweist, dass das Leuchtfleckerzeugungselement (32; 88) transparent oder semi-transparent und derart ausgebildet ist, dass auf das Leuchtfleckerzeugungselement (32; 88) ...



Beschreibung

Stand der Technik

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft ein chirurgisches Markerelement für ein mindestens drei Markerelemente umfassendes Referenzelement eines chirurgischen, mindestens eine Nachweisvorrichtung zum Detektieren der Position des Referenzelementes umfassenden Navigationssystems, wobei das Markerelement eine Strahlungsquelle zum Erzeugen von Strahlung umfasst, wobei das Markerelement ein Leuchtfleckerzeugungselement zum Erzeugen eines von der Nachweisvorrichtung detektierbaren Leuchtflecks umfasst und wobei das Leuchtfleckerzeugungselement von der Strahlungsquelle beabstandet und mit von der Strahlungsquelle erzeugter Strahlung beaufschlagbar ist.

[0002] Ferner betrifft die vorliegende Erfindung ein chirurgisches Referenzelement umfassend mindestens drei Markerelemente für ein chirurgisches, mindestens eine Nachweisvorrichtung zum Detektieren der Position des Referenzelementes umfassenden Navigationssystems.

[0003] Des weiteren betrifft die Erfindung ein chirurgisches Navigationssystem mit mindestens einem mindestens drei Markerelemente umfassenden Referenzelement und mit mindestens einer Nachweisvorrichtung zum Detektieren der Position des Referenzelementes.

[0004] Chirurgische Navigationssysteme mit Referenzelementen, die mehrere Markerelemente umfassen, werden seit einigen Jahren in der Chirurgie eingesetzt, um Operationen unter Bestimmung der Lage und des Ortes sowohl des Patienten, von Instrumenten und Implantaten durchzuführen. Voraussetzung für einen präzisen chirurgischen Eingriff ist dabei stets das genaue Erfassen der Position der einzelnen Markerelemente der verwendeten Referenzelemente durch die Nachweisvorrichtung des Navigationssystems. Wichtig ist dabei insbesondere, dass die Geometrie des Markerelements, zum Beispiel dessen Mittelpunkt und dessen Position an einem zu navigierenden Objekt, beispielsweise einem Instrument oder einem Implantatteil, genau bekannt ist. Von besonderer Bedeutung ist dies vor allem bei der Navigation mit optischen Positionssensoren, wenn beispielsweise optische Markerelemente mit einer Stereokamera detektiert werden.

[0005] Bekannt sind sowohl passive Markerelemente in Form von Licht unterschiedlicher Wellenlängen reflektierenden Kugeln oder auch aktive optische Markerelemente in Form von Infrarotleuchtdioden.

[0006] Problematisch bei bekannten aktiven Markerelementen ist, dass deren Geometrie, aus wel-

cher sich insbesondere ihr geometrischer oder optischer Mittelpunkt oder Schwerpunkt bestimmen lässt, mit der Nachweisvorrichtung nur ungenau bestimmt werden können, sodass auch die Position des Markerelements nicht exakt ermittelt werden kann. Gründe hierfür sind insbesondere die Verwendung unterschiedlicher Strahlungsquellen sowie Fertigungstoleranzen bei der Herstellung der Markerelemente, da es praktisch unmöglich ist, die Strahlungsquellen bei allen Markerelementen an exakt der gleichen Position anzuordnen.

[0007] In der gattungsbildenden WO 97/47240 A1 sind ein System zur Positionserfassung mit einem Marker und Marker zur Anwendung in einem solchen System offenbart. Die EP 1 645 241 A1 befasst sich mit Positionsmarkernsystemen mit Punktlichtquellen. In der EP 1 415 609 A1 wird ein Positionserfassungssystem für ein optisches Objekt beschrieben. In der DE 101 61 787 A1 sind eine Vorrichtung und eine Methode zur Insertion und Navigation nicht-diskriminierter passiver Marker und zur Diskriminierung passiver sowie semiaktiver Marker zu Instrumenten- und Knochensegment- sowie Gewebe- und Organnavigation offenbart. Die DE 198 05 112 A1 befasst sich mit einem Verfahren und einer Vorrichtung zum Kalibrieren eines Navigationssystems bezüglich Bilddaten eines Magnetresonanzgerätes. In der DE 295 03 001 U1 wird eine Vorrichtung zur Ortsbestimmung eines Körperteils beschrieben. Und schließlich sind in der US 2003/0210812 A1 eine Vorrichtung und ein Verfahren zur chirurgischen Navigation offenbart.

Aufgabenstellung

[0008] Es ist daher Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein chirurgisches Markerelement, ein chirurgisches Referenzelement sowie ein chirurgisches Navigationssystem so zu verbessern, dass die Position des Markerelements genauer bestimmt werden kann.

[0009] Diese Aufgabe wird bei einem chirurgischen Markerelement der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass das Markerelement einen Hohlraum aufweist, dass die Strahlungsquelle in dem Hohlraum angeordnet ist, dass der Hohlraum eine Strahlungsaustrittsöffnung aufweist und dass das Leuchtfleckerzeugungselement transparent oder semi-transparent und derart ausgebildet ist, dass auf das Leuchtfleckerzeugungselement auftreffende Strahlung diffus abgestrahlt wird.

[0010] Das Markerelement mit einem Leuchtfleckerzeugungselement auszustatten hat den Vorteil, dass mit der Nachweisvorrichtung nicht mehr die von der Strahlungsquelle direkt abgestrahlte Strahlung detektiert wird, sondern der vom Leuchtfleckerzeugungselement erzeugte Leuchtfleck, also die vom Leuchtfleckerzeugungselement ausgesandte Strah-

lung. Dadurch können unterschiedliche Strahlungsquellen verwendet und an unterschiedlichen Positionen am Markerelement angeordnet werden, wobei trotzdem sichergestellt wird, dass die Position des Markerelements eindeutig und hochgenau mit der Nachweisvorrichtung bestimmt werden kann. Das Leuchtfleckerzeugungselement ermöglicht es, einen Leuchtfleck definiert zu erzeugen und somit die Genauigkeit des Navigationssystems unabhängig von Fertigungstoleranzen und der Art der verwendeten Strahlungsquelle zu machen. Ein Leuchtfleck im Sinne der Anmeldung kann ein leuchtender Flächenbereich einer ebenen oder gekrümmten Fläche sein. Grundsätzlich wäre es denkbar, die Strahlungsquelle zwar beabstandet zum Leuchtfleckerzeugungsmittel anzuordnen, jedoch nicht mit einer Hülle zu umschließen. Um äußere Einwirkungen auf die Strahlungsquelle zu verhindern und diese somit zu schützen, ist es günstig, dass das Markerelement einen Hohlraum aufweist, dass die Strahlungsquelle in dem Hohlraum angeordnet ist und dass der Hohlraum eine Strahlungsaustrittsöffnung aufweist. Unabhängig von der Anordnung der Strahlungsquelle im Hohlraum kann die erzeugte Strahlung so nur durch die Strahlungsaustrittsöffnung austreten. Dadurch lässt sich ein definierter Leuchtfleck erzeugen, und zwar unabhängig von der Art und der Position der Strahlungsquelle, die verwendet wird. Damit das chirurgische Markerelement unabhängig von einer räumlichen Orientierung im Raum von der Nachweisvorrichtung einfach und sicher detektiert werden kann, ist es vorteilhaft, dass das Leuchtfleckerzeugungselement transparent oder semi-transparent und derart ausgebildet ist, dass auf das Leuchtfleckerzeugungselement auftreffende Strahlung diffus abgestrahlt wird. Durch die diffuse Abstrahlung der auf das Leuchtfleckerzeugungselement auftreffenden Strahlung ist der erzeugte Leuchtfleck praktisch unter beliebigen Betrachtungswinkeln eindeutig nachweisbar.

[0011] Vorteilhaft ist es, wenn die Strahlungsquelle eine elektromagnetische Strahlungsquelle zum Erzeugen elektromagnetischer Strahlung ist. Diese Weiterbildung eines chirurgischen Markerelements gestattet es, herkömmliche, am Markt zur Verfügung stehende elektromagnetische Strahlungsquellen einzusetzen, beispielsweise Glühlampen oder Leuchtdioden, insbesondere auch Infrarotleuchtdioden.

[0012] Damit die von der Strahlungsquelle erzeugte Strahlung sicher und mit kostengünstigen Nachweiselementen detektiert werden kann, ist es günstig, wenn mit der elektromagnetischen Strahlungsquelle elektromagnetische Strahlung in einem Wellenlängenbereich von 10^{-2} m bis 10^{-8} m erzeugbar ist.

[0013] Vorteilhafterweise sind mit der elektromagnetischen Strahlungsquelle optische Wellen erzeugbar. Unter dem Begriff optische Welle ist im Sinne dieser Anmeldung insbesondere elektromagnetische

Strahlung zu verstehen, die eine Wellenlänge nicht nur im sichtbaren Spektralbereich aufweist, sondern auch im benachbarten Spektralbereich, nämlich sowohl im infraroten als auch im ultravioletten Spektralbereich.

[0014] Besonders einfach wird der Aufbau des chirurgischen Markerelements und damit dessen Herstellung, wenn die Strahlungsquelle ein Leuchtmittel ist.

[0015] Vorteilhaft ist es, wenn die Strahlungsquelle eine Glühlampe, eine Metaldampflampe oder eine Gaslampe ist. Derartige Strahlungsquellen haben insbesondere den Vorteil, dass mit ihnen auch isotrope Strahlung erzeugbar ist, also Strahlung, die sich in allen Raumrichtungen oder im Wesentlichen in allen Raumrichtungen mit derselben Intensität ausbreitet.

[0016] Besonders kostengünstig und sparsam im Energieverbrauch können chirurgische Markerelemente hergestellt werden, wenn die elektromagnetische Strahlungsquelle eine Infrarotlicht oder im sichtbaren Spektralbereich Licht aussendende Leuchtdiode ist. Zudem sind derartige Strahlungsquellen sehr klein, so dass auch die Baugröße des Markerelements miniaturisierbar ist.

[0017] Der Aufbau des Markerelements vereinfacht sich weiter, wenn der Hohlraum in Form einer Ausnehmung oder Vertiefung ausgebildet ist. Beispielsweise kann der Hohlraum in Form eines Quaders oder Würfels oder auch in Form einer Hohlkugel ausgebildet sein. Denkbar wäre aber auch jede beliebige unregelmäßige Hohlform.

[0018] Günstig ist es, wenn das Leuchtfleckerzeugungselement die Strahlungsaustrittsöffnung umfasst. Durch die Begrenzung der Durchtrittsfläche für die austretende Strahlung durch Vorsehen der Strahlungsaustrittsöffnung kann die räumliche Position und Lage eines Leuchtflecks sehr genau vorgegeben werden. Dadurch lässt sich auch die Position des Markerelements sehr genau bestimmen.

[0019] Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Strahlungsaustrittsöffnung das Leuchtfleckerzeugungselement bildet. Der für die Nachweisvorrichtung sichtbare Leuchtfleck entsteht durch Austritt von Strahlung aus der Strahlungsaustrittsöffnung. Bei Kenntnis der Geometrie der Strahlungsaustrittsöffnung lässt sich so in definierter Weise bei Ermittlung des Leuchtflecks die Position des Markers und folglich auch die Position der Vorrichtung genau angeben, an welcher der Marker beziehungsweise das mehrere Marker umfassende Referenzelement angeordnet ist.

[0020] Um Größe und Geometrie des Leuchtflecks in definierter Weise vorgeben zu können, ist es günstig, wenn das Leuchtfleckerzeugungselement die

Strahlungsausstrittsöffnung mindestens teilweise bedeckt. Das Leuchtfleckerzeugungselement ist so mit von der Strahlungsquelle erzeugter Strahlung beaufschlagbar und kann einen Leuchtfleck definierter Größe erzeugen, der mit der Nachweisvorrichtung detektierbar ist.

[0021] Eine diffuse Abstrahlung der von der Strahlungsquelle erzeugten Strahlung lässt sich auf einfache Weise erreichen, wenn das Leuchtfleckerzeugungselement eine Streuscheibe umfasst.

[0022] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass das Leuchtfleckerzeugungselement mindestens einen Teil einer äußeren Oberfläche des Markerelements bildet. Es ist so insbesondere möglich, das Markerelement beliebig zu formen und ein oder mehrere Leuchtfleckerzeugungselemente auf der Oberfläche des Markerelements anzuordnen, mit dem oder mit denen definierte Leuchtflecke erzeugbar sind, die von der Nachweisvorrichtung detektiert werden können.

[0023] Günstig kann es auch sein, wenn das Leuchtfleckerzeugungselement die gesamte äußere Oberfläche des Markerelements bildet. Beispielsweise könnte das Markerelement derart ausgebildet sein, dass seine gesamte äußere Oberfläche in Form einer Streuscheibe ausgebildet ist, die einen Hohlraum umgibt, in welchem die Strahlungsquelle angeordnet ist. Unabhängig von der genauen Position der Strahlungsquelle im Innern eines solchen Markerelements wird praktisch die gesamte Oberfläche nahezu homogen leuchten, sodass ein von der Nachweisvorrichtung erkennbarer genau definierter Leuchtfleck erzeugbar ist.

[0024] Grundsätzlich wäre es denkbar, jedem Leuchtfleckerzeugungselement des Markerelements eine eigene Strahlungsquelle zuzuordnen. Besonders kostengünstig ist es jedoch und besonders einfach wird der Aufbau des chirurgischen Markerelements, wenn die Strahlungsquelle zwei oder mehr Leuchtfleckerzeugungselementen zugeordnet ist. Beispielsweise könnte eine Strahlungsquelle in einem Hohlraum des Markerelements angeordnet sein, welcher zwei oder mehr Strahlungsausstrittsöffnungen aufweist, die jeweils einen Leuchtfleck definieren. Auf diese Weise ließe sich sogar mit nur einer Strahlungsquelle ein mindestens drei Leuchtflecke erzeugendes Referenzelement ausbilden, mit dem sowohl Position als auch Orientierung eines Gegenstands im Raum eindeutig angebar sind.

[0025] Damit Verluste von durch die Strahlungsquelle erzeugter Strahlung minimiert werden können oder damit eine Energieversorgung der Strahlungsquelle miniaturisiert werden kann, ist es günstig, wenn eine Strahlungsbündelungsvorrichtung vorge-

sehen ist zum Bündeln der von der Strahlungsquelle erzeugten Strahlung. Je nach Ausgestaltung der Strahlungsbündelungsvorrichtung kann zumindest theoretisch die gesamte Strahlung zur Erzeugung eines definierten Leuchtflecks genutzt werden.

[0026] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung kann vorgesehen sein, dass die Strahlungsbündelungsvorrichtung die von der Strahlungsquelle erzeugte Strahlung auf das Leuchtfleckerzeugungselement hin bündelt oder auf dieses abbildet. Beispielsweise kann so die erzeugte Strahlung auf eine Strahlungsausstrittsöffnung eines Hohlraums des Markerelements abgebildet oder auf diese hin gebündelt werden, damit möglichst die gesamte von der Strahlungsquelle erzeugte Strahlung aus dem Hohlraum austreten und von der Nachweisvorrichtung nachgewiesen werden kann.

[0027] Besonders einfach wird der Aufbau des chirurgischen Markerelements, wenn die Strahlungsbündelungsvorrichtung eine mindestens einen Reflektor umfassende Reflektoranordnung und/oder wenn die Strahlungsbündelungsvorrichtung ein mindestens eine Linse umfassendes Linsensystem umfasst. Eine Reflektoranordnung kann für sich oder gemeinsam mit einem Linsensystem eingesetzt werden, um die Strahlungsbündelungsvorrichtung zu bilden oder zumindest einen Teil derselben. Beispielsweise kann ein Hohlspiegel verwendet werden, um Licht von der im Brennpunkt des Hohlspiegels angeordneten Strahlungsquelle zu bündeln und gezielt abzustrahlen oder auf das Leuchtfleckerzeugungselement abzubilden, beispielsweise auf die Strahlungsausstrittsöffnung oder eine Streuscheibe.

[0028] Die eingangs gestellte Aufgabe wird ferner bei einem chirurgischen Referenzelement der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass mindestens eines der mindestens drei Markerelemente eines der oben beschriebenen Markerelemente ist. Vorzugsweise sind alle Markerelemente des Referenzelements in einer Form ausgebildet, die derjenigen der oben beschriebenen Markerelemente entspricht. Mit einem mit mindestens einem der oben beschriebenen Markerelemente ausgestatteten Referenzelement wird eine noch genauere Navigation von Instrumenten oder Implantatanteilen oder dergleichen möglich, an denen das Referenzelement angeordnet sein kann.

[0029] Des weiteren wird die eingangs gestellte Aufgabe bei einem chirurgischen Navigationssystem der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass mindestens ein Referenzelement eines der oben beschriebenen Referenzelemente ist, bei dem mindestens eines der mindestens drei Markerelemente eines der oben beschriebenen Markerelemente ist.

Ausführungsbeispiel

[0030] Die nachfolgende Beschreibung bevorzugter Ausführungsformen der Erfindung dient im Zusammenhang mit der Zeichnung der näheren Erläuterung. Es zeigen:

[0031] **Fig. 1**: eine schematische Darstellung eines chirurgischen Navigationssystems in einem Operationssaal;

[0032] **Fig. 2**: eine Schnittansicht durch ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Markerelements;

[0033] **Fig. 3**: eine teilweise durchbrochene, perspektivische Ansicht eines erfindungsgemäßen Referenzelements;

[0034] **Fig. 4**: eine Schnittansicht durch ein zweites Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Markerelements;

[0035] **Fig. 5**: eine Schnittansicht durch ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Markerelements;

[0036] **Fig. 6**: eine Schnittansicht durch ein viertes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Markerelements.

[0037] In **Fig. 1** ist ein insgesamt mit dem Bezugszeichen **10** versehenes chirurgisches Navigationssystem dargestellt, wie es insbesondere in Operationssälen eingesetzt werden kann. Es umfasst eine Nachweisvorrichtung **12** mit einer Datenverarbeitungsvorrichtung in Form eines Computersystems **14**, welches zur Anzeige und Verarbeitung von mit Empfängern **16** in Form von Kameras aufgenommenen Bildern dient. Mit der Nachweisvorrichtung **12** wird sowohl die Lage als auch die Orientierung von Referenzelementen detektiert, beispielsweise eines Referenzelements **18**, welches beispielhaft an einem Tastinstrument **20** angeordnet ist. Mit dem Tastinstrument **20** lassen sich beispielsweise Punkte im Raum, vorzugsweise am Körper eines Patienten palpieren.

[0038] Das Referenzelement **18**, welches auch als sogenannter "Rigid Body" bezeichnet wird, umfasst mindestens drei, bei dem in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsbeispiel sogar sechs, sogenannte Markerelemente **24**. Die Markerelemente **24** können auf verschiedene Weisen ausgebildet sein. Grundsätzlich unterscheidet man zwischen passiver und aktiver Technologie, wobei beispielsweise reflektierende Kugeln als passive Markerelemente eingesetzt werden.

[0039] Die nachfolgenden Ausführungsbeispiele erfindungsgemäßer Markerelemente betreffen ausschließlich aktive Markerelemente, die geeignet sind,

von der Nachweisvorrichtung **12** detektierbare Strahlung, insbesondere elektromagnetische Strahlung, auszusenden.

[0040] Ein erstes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Markerelements ist in **Fig. 2** dargestellt. Es ist Teil eines Referenzelements **18** und umfasst einen Hohlraum in Form einer quaderförmigen Ausnehmung **26** in einem Grundkörper **28** des Referenzelements **18**, das nur ausschnittsweise dargestellt ist. Innere Wandflächen der Ausnehmung **26** sind mit einer elektromagnetische Strahlung reflektierenden Beschichtung **30** versehen. Die Ausnehmung **26** ist verschlossen durch eine Streuscheibe **32**, die gleichzeitig einen Teil einer äußeren Oberfläche **34** des Referenzelements **18** bildet.

[0041] Die Streuscheibe **32** dient als Leuchtfleckerzeugungselement, um von einer Strahlungsquelle in Form einer flächigen Leuchtdiode **36** ausgesandte elektromagnetische Strahlung in definierter Weise für die Empfänger **16** sichtbar zu machen, und zwar durch Erzeugung eines definierten, in **Fig. 2** symbolisch dargestellten Leuchtflecks **38**. Die von der Leuchtdiode **36** emittierte Strahlung **40** trifft auf eine Innenseite der Streuscheibe **32** auf, wird durch diese hindurchgeleitet und von einer Außenseite derselben in Form diffuser Strahlung **42** im Wesentlichen in alle Richtungen mit gleicher Intensität, also im Wesentlichen isotrop, abgestrahlt. Unabhängig von der genauen Position der Leuchtdiode **36** wird die erzeugte Strahlung gleichmäßig von der Streuscheibe **32** abgestrahlt. Somit entsteht ein definierter Leuchtfleck **38**, der mittels der Empfänger **16** der Nachweisvorrichtung **12** unabhängig von der Orientierung des Referenzelements **18** detektiert werden kann. Bei Kenntnis der geometrischen Beziehung zwischen Lage und Orientierung der Streuscheibe **32** relativ zum Grundkörper **28** des Referenzelements **18** und bezogen auf das Tastinstrument **20** kann daher beispielsweise die Position einer Spitze **21** des Tastinstruments **20** im Raum eindeutig bestimmt und eine Bewegung derselben im Raum nachverfolgt werden.

[0042] Die mit der Beschichtung **30** versehene Ausnehmung **26** bildet eine Art Strahlungsbündelungsvorrichtung, denn sie stellt sicher, dass die gesamte von der Leuchtdiode **36** emittierte Strahlung **40** auch auf die Streuscheibe **32** auftreffen und zur Erzeugung des Leuchtflecks **38** dienen kann.

[0043] In **Fig. 3** ist ein Ausführungsbeispiel eines insgesamt mit dem Bezugszeichen **50** versehenen navigierten Tastinstruments dargestellt, welches eine Tastspitze **52** an einem langgestreckten Schaft **54** aufweist. An einem der Tastspitze **52** gegenüberliegenden Ende des Schaftes **54** ist ein Referenzelement **56** in Form eines unregelmäßigen Körpers angeordnet, welcher einen Hohlraum **58** aufweist, in dem eine als Strahlungsquelle dienende Glühbirne

60 angeordnet ist. Eine äußere Oberfläche **62** des Referenzelements **56** ist mit mehreren Strahlungsdurchtrittsöffnungen bildenden Durchbrechungen **64** versehen, deren Begrenzungslinien **66** ebenfalls unregelmäßig geformt sind. Die Durchbrechungen **64** können entweder offen oder, ähnlich wie bei dem in [Fig. 2](#) dargestellten Markerelement **24**, mit einer Streuscheibe verschlossen sein. Das Abdichten des Hohlraums **58** hat bei Verwendung des Tastinstruments **50** in einem Operationssaal insbesondere den Vorteil, dass keine Keime in den Operationssaal eingeschleppt werden können.

[0044] Das Referenzelement **56** umfasst mindestens drei Durchbrechungen **64**, die mit der Glühbirne **60** zusammenwirkend jeweils ein Markerelement **68** bilden, welches von der Glühbirne **60** erzeugte Strahlung **70** nach außen in Form von diffuser Strahlung **72** abstrahlt, die von der Nachweisvorrichtung **12** detektiert werden kann.

[0045] Sind sowohl Form als auch Lage der Durchbrechungen **64** relativ zur Tastspitze **52** bekannt, so kann durch Verfolgen der Bahn der Markerelemente **68** auch eine Bewegung der Tastspitze **52** im Raum nachvollzogen werden.

[0046] Ein zweites Ausführungsbeispiel eines insgesamt mit dem Bezugszeichen **80** versehenen Markerelements **80** ist in [Fig. 4](#) dargestellt. Ein Grundkörper **82** eines nicht näher dargestellten Referenzelements ist mit einer im Wesentlichen quaderförmigen Ausnehmung **84** versehen, in der eine Leuchtdiode **86** angeordnet ist. Eine offene Seitenfläche der Ausnehmung **84** ist mit einer im Wesentlichen sphärischen Hülle **88** verschlossen, die optische Eigenschaften einer Streuscheibe aufweist. Die Ausnehmung **84** zusammen mit einem Innenraum der Hülle **88** bildet einen Hohlraum, in dem die eine Strahlungsquelle bildende Leuchtdiode **86** angeordnet ist. Von der Leuchtdiode **86** ausgesandte Strahlung **90** wird durch die Hülle **88** in diffuse Strahlung **92** umgewandelt, die im Wesentlichen isotrop von einer äußeren Oberfläche der Hülle **88** abgestrahlt wird. Die Hülle **88** bildet somit ein von der Strahlungsquelle beabstandetes Leuchtfleckerzeugungselement und erzeugt einen Leuchtfleck in Form einer von der Hülle **88** definierten Sphärenoberfläche.

[0047] Ein drittes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Markerelements ist in [Fig. 5](#) insgesamt mit dem Bezugszeichen **100** versehen. Es umfasst eine in einem Grundkörper **102** eines mehrere Markerelemente umfassenden Referenzelements **104** ausgebildete, im Wesentlichen quaderförmige Ausnehmung **106**. In die Ausnehmung **106** ist ein dünnwandiger Kasten **108** eingesetzt, der einen quaderförmigen Teil aufweist, welcher korrespondierend zur Ausnehmung **106** ausgebildet ist. Die offene Seite des Kastens **108** wird durch vier geneigte Seiten-

flächen **110** bis auf eine Strahlungsdurchtrittsöffnung **112** verschlossen, wobei die Seitenflächen **110** derart angeordnet sind, dass der von einer äußeren Oberfläche **114** des Grundkörpers **102** vorstehende Teil des Kastens **108** in Form einer gleichseitigen Pyramide ausgebildet ist.

[0048] Eine innere Oberfläche **116** des Kastens **108** ist mit einer elektromagnetische Strahlung reflektierenden Beschichtung versehen, sodass die von einer am Boden der Ausnehmung **106** angeordneten Leuchtdiode **118** erzeugte Strahlung auf der Oberfläche **116** vollständig reflektiert wird und nur durch die Strahlungsdurchtrittsöffnung **112** austreten kann. Diese definiert einen schematisch dargestellten Leuchtfleck **120**, der für die Empfänger **16** der Nachweisvorrichtung **12** sichtbar ist.

[0049] Unabhängig von der Anordnung der Leuchtdiode **118** im Innern des Kastens **108** wird stets ein definierter Leuchtfleck **120** durch das Markerelement **100** erzeugt, dessen Position und Größe durch die Strahlungsdurchtrittsfläche **112** vorgegeben ist. Optional könnte die Strahlungsdurchtrittsfläche **112** auch durch eine transparente oder semi-transparente Scheibe verschlossen sein, die entweder die durchtretende Strahlung unabgelenkt passieren lässt oder diffus streut.

[0050] Ein viertes Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Markerelements ist in [Fig. 6](#) insgesamt mit dem Bezugszeichen **130** versehen. Es umfasst eine in einem Grundkörper **132** eines Referenzelements eingelassene, im Wesentlichen quaderförmige Vertiefung **134**, in die ein Hohlspiegel **136** symmetrisch eingesetzt ist, dessen hohlkonkave Fläche in Richtung auf die offene Seite der Vertiefung **134** weist. Der Hohlspiegel **136** dient dazu, von einer vorzugsweise im Brennpunkt des Hohlspiegels **136** angeordneten Leuchtdiode **138** erzeugte Strahlung **140** in Richtung auf die offene Seite hin umzulenken, was durch den Strahl **142** in [Fig. 6](#) schematisch dargestellt ist. Der Hohlspiegel **136** bildet damit eine Strahlungsbündelungsvorrichtung zum Bündeln der Strahlung **140** in Richtung auf das durch die offene Seite der Vertiefung **134** gebildete Leuchtfleckerzeugungselement hin.

[0051] Auch bei dem in [Fig. 6](#) dargestellten Ausführungsbeispiel wird überwiegend nicht die direkt von der Leuchtdiode **138** ausgesandte Strahlung detektiert, sondern ein symbolisch dargestellter Leuchtfleck **144** in einer von der offenen Seite definierten, eine äußere Oberfläche **146** des Grundkörpers **132** ergänzenden Ebene. Dadurch wird erreicht, dass unabhängig von Fertigungstoleranzen hinsichtlich der Ausgestaltung der Vertiefung **134** und der Anordnung der Leuchtdiode **138** sowie des Hohlspiegels **136** stets eine definierte Beziehung zwischen dem erzeugten Leuchtfleck **144** und beispielsweise einer

Tastspitze eines Instruments vorgegeben wird, so dass bei Navigation des Leuchtflecks **144** des Markerelements **130** sowie bei Navigation weiterer Markerelemente eindeutig eine Position der Tastspitze des Instruments im Raum bestimmt werden kann.

[0052] Vorzugsweise sind sämtliche Markerelemente, wie sie im Zusammenhang mit den [Fig. 1](#) bis [Fig. 6](#) beschrieben wurden, sterilisierbar ausgebildet.

[0053] An den oben beschriebenen Referenzelementen sind üblicherweise mindestens drei Markerelemente vorgesehen, aus Redundanzgründen können weitere Markerelemente vorgesehen sein, beispielsweise vier, fünf oder sechs Markerelemente.

[0054] Selbstverständlich können unterschiedliche Arten von Strahlungsquellen verwendet werden, nicht nur die beschriebenen Leuchtdioden, die zudem Licht unterschiedlicher Wellenlängen erzeugen können, oder Glühlampen, sondern prinzipiell auch jede andere beliebige Strahlungsquelle, mit der elektromagnetische Strahlung in einem Wellenlängenbereich von 10^{-2} m bis 10^{-8} m erzeugbar ist. Selbstverständlich wird jede verwendete Strahlungsquelle, auch die in den [Fig. 2](#) bis [Fig. 6](#) dargestellten Strahlungsquellen, von einer Energieversorgung gespeist, beispielsweise einer Batterie oder einem Netzgerät, die jedoch der Einfachheit halber in den Figuren nicht dargestellt wurden.

[0055] Des weiteren sei angemerkt, dass auch die in den [Fig. 2](#) bis [Fig. 5](#) dargestellten Markerelemente zusätzlich mit einer Strahlungsbündelungsvorrichtung ausgestattet sein können, beispielsweise einem Hohlspiegel, wie er bei dem in [Fig. 6](#) dargestellten Ausführungsbeispiel vorgesehen ist. Alternativ können auch einzelne Linsen oder Linsensysteme zur Anwendung kommen, beispielsweise eine in die Strahlungsdurchtrittsöffnung **112** des Markerelements **100** eingesetzte Linse. Denkbar sind insbesondere konvexe Linsen zum Bündeln auftreffender Strahlung oder Konkavlinsen zum definierten Streuen der von der Strahlungsquelle erzeugten Strahlung.

Patentansprüche

1. Chirurgisches Markerelement (**24; 68; 80; 100; 130**) für ein mindestens drei Markerelemente (**24; 68; 80; 100; 130**) umfassendes Referenzelement (**18; 56; 104**) eines chirurgischen, mindestens eine Nachweisvorrichtung (**12**) zum Detektieren der Position des Referenzelementes (**18; 56; 104**) umfassenden Navigationssystems (**10**), welches Markerelement (**24; 68; 80; 100; 130**) eine Strahlungsquelle (**36; 60; 86; 118; 138**) zum Erzeugen von Strahlung (**40; 70; 90; 140**) sowie ein Leuchtfleckerzeugungselement (**32; 64; 88; 112**) zum Erzeugen eines von der Nachweisvorrichtung (**12**) detektierbaren Leuchtflecks (**38;**

120; 144) umfasst und welches Leuchtfleckerzeugungselement (**32; 64; 88; 112**) von der Strahlungsquelle (**36; 60; 86; 118; 138**) beabstandet und mit von der Strahlungsquelle (**36; 60; 86; 118; 138**) erzeugter Strahlung (**40; 70; 90; 140**) beaufschlagbar ist, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Markerelement (**24; 68; 80; 100; 130**) einen Hohlraum (**26; 58; 84; 106; 134**) aufweist, dass die Strahlungsquelle (**36; 60; 86; 118; 138**) in dem Hohlraum (**26; 58; 84; 106; 134**) angeordnet ist und dass der Hohlraum (**26; 58; 84; 106; 134**) eine Strahlungsaustrittsöffnung (**64; 112**) aufweist, dass das Leuchtfleckerzeugungselement (**32; 88**) transparent oder semi-transparent und derart ausgebildet ist, dass auf das Leuchtfleckerzeugungselement (**32; 88**) auftreffende Strahlung (**40; 70; 90; 140**) diffus abgestrahlt wird.

2. Chirurgisches Markerelement nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsquelle (**36; 60; 86; 118; 138**) eine elektromagnetische Strahlungsquelle (**36; 60; 86; 118; 138**) zum Erzeugen elektromagnetischer Strahlung (**40; 70; 90; 140**) ist.

3. Chirurgisches Markerelement nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass mit der elektromagnetischen Strahlungsquelle (**36; 60; 86; 118; 138**) elektromagnetische Strahlung (**40; 70; 90; 140**) in einem Wellenlängenbereich von 10^{-2} m bis 10^{-8} m erzeugbar ist.

4. Chirurgisches Markerelement nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass mit der elektromagnetischen Strahlungsquelle (**36; 60; 86; 118; 138**) optische Wellen (**40; 70; 90; 140**) erzeugbar sind.

5. Chirurgisches Markerelement nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsquelle (**36; 60; 86; 118; 138**) ein Leuchtmittel (**36; 60; 86; 118; 138**) ist.

6. Chirurgisches Markerelement nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsquelle (**60**) eine Glühlampe (**60**), eine Metaldampflampe oder eine Gaslampe ist.

7. Chirurgisches Markerelement nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die elektromagnetische Strahlungsquelle (**36; 86; 118; 138**) eine Infrarotlicht oder im sichtbaren Spektralbereich Licht (**40; 70; 90; 140**) aussendende Leuchtdiode (**36; 86; 118; 138**) ist.

8. Chirurgisches Markerelement nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Hohlraum (**26; 58; 84; 106; 134**) in Form einer Ausnehmung (**26; 58; 84; 106; 134**) oder Vertiefung (**26; 58; 84; 106; 134**) ausgebildet ist.

9. Chirurgisches Markerelement nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Leuchtfleckerzeugungselement (**32**; **64**; **88**; **112**) die Strahlungsausstrittsöffnung (**64**; **112**) umfasst.

10. Chirurgisches Markerelement nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsausstrittsöffnung (**64**; **112**) das Leuchtfleckerzeugungselement (**64**; **112**) bildet.

11. Chirurgisches Markerelement nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Leuchtfleckerzeugungselement (**32**; **88**) die Strahlungsausstrittsöffnung mindestens teilweise bedeckt.

12. Chirurgisches Markerelement nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Leuchtfleckerzeugungselement (**32**; **88**) eine Streuscheibe (**32**; **88**) umfasst.

13. Chirurgisches Markerelement nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Leuchtfleckerzeugungselement (**32**; **64**; **88**; **112**) mindestens einen Teil einer äußeren Oberfläche (**34**; **62**; **114**; **146**) des Markerelements (**24**; **68**; **80**; **100**; **130**) bildet.

14. Chirurgisches Markerelement nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Leuchtfleckerzeugungselement (**88**) die gesamte äußere Oberfläche des Markerelements (**80**) bildet.

15. Chirurgisches Markerelement nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsquelle (**60**) zwei oder mehr Leuchtfleckerzeugungselementen (**64**) zugeordnet ist.

16. Chirurgisches Markerelement nach einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Strahlungsbündelungsvorrichtung (**136**) vorgesehen ist zum Bündeln der von der Strahlungsquelle (**138**) erzeugten Strahlung (**140**).

17. Chirurgisches Markerelement nach Anspruch 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsbündelungsvorrichtung (**136**) die von der Strahlungsquelle (**138**) erzeugte Strahlung (**140**) auf das Leuchtfleckerzeugungselement hin bündelt oder auf dieses abbildet.

18. Chirurgisches Markerelement nach Anspruch 16 oder 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsbündelungsvorrichtung (**136**) eine mindestens einen Reflektor (**136**) umfassende Reflektoranordnung (**136**) und/oder dass die Strahlungsbündelungsvorrichtung (**32**; **88**) ein mindestens eine Linse

(**32**; **88**) umfassendes Linsensystem umfasst.

19. Chirurgisches Referenzelement (**18**; **56**; **104**) umfassend mindestens drei Markerelemente (**24**; **68**; **80**; **100**; **130**) für ein chirurgisches, mindestens eine Nachweisvorrichtung (**12**) zum Detektieren der Position des Referenzelementes (**18**; **56**; **104**) umfassenden Navigationssystems (**10**), dadurch gekennzeichnet, dass mindestens eines der mindestens drei Markerelemente (**24**; **68**; **80**; **100**; **130**) ein Markerelement (**24**; **68**; **80**; **100**; **130**) nach einem der voranstehenden Ansprüche ist.

20. Chirurgisches Navigationssystem (**10**) mit mindestens einem mindestens drei Markerelemente (**24**; **68**; **80**; **100**; **130**) umfassenden Referenzelement (**18**; **56**; **104**) und mit mindestens einer Nachweisvorrichtung (**12**) zum Detektieren der Position des Referenzelementes (**18**; **56**; **104**), dadurch gekennzeichnet, dass mindestens ein Referenzelement (**18**; **56**; **104**) ein Referenzelement (**18**; **56**; **104**) nach Anspruch 19 ist.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

FIG.1

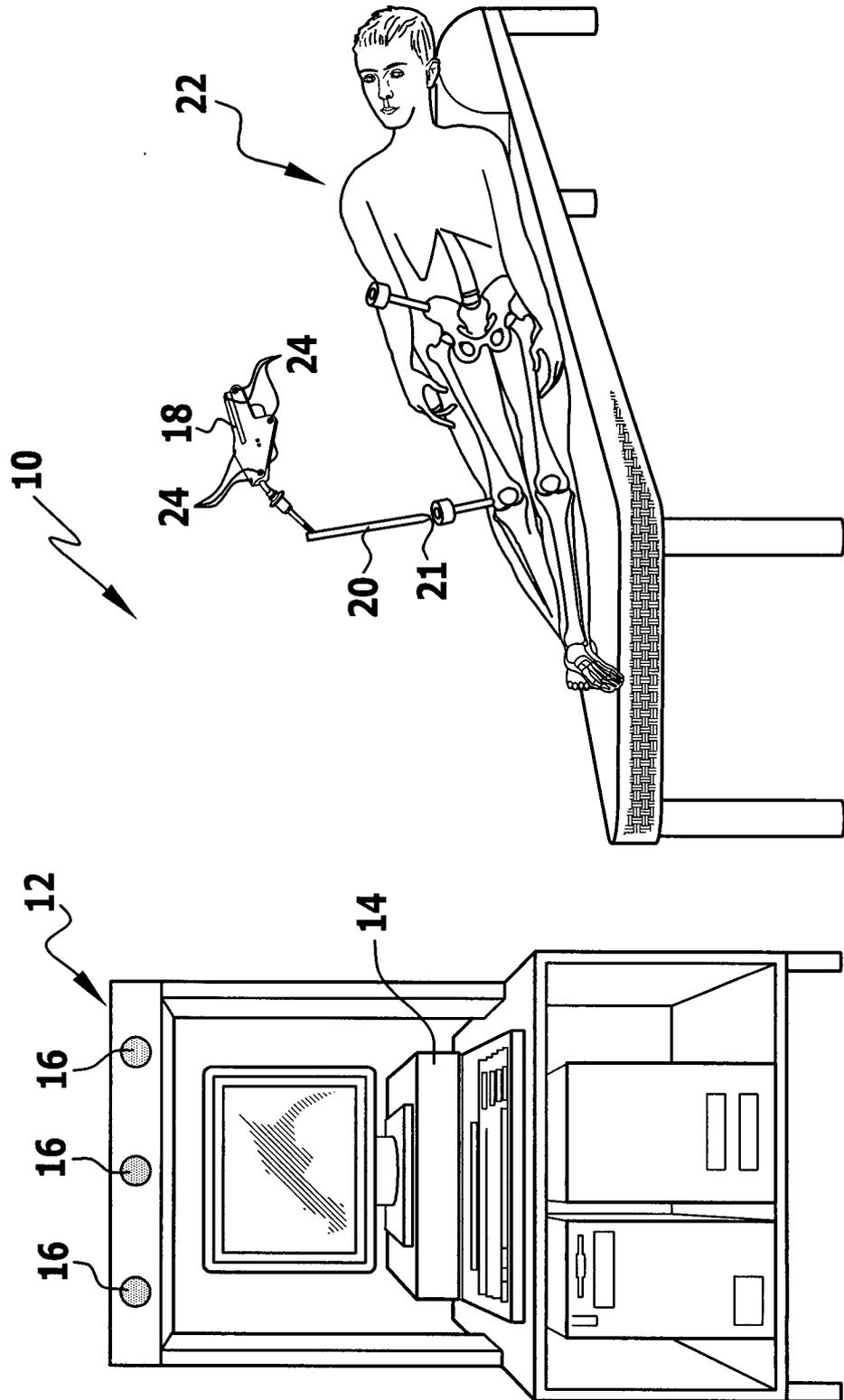


FIG.2

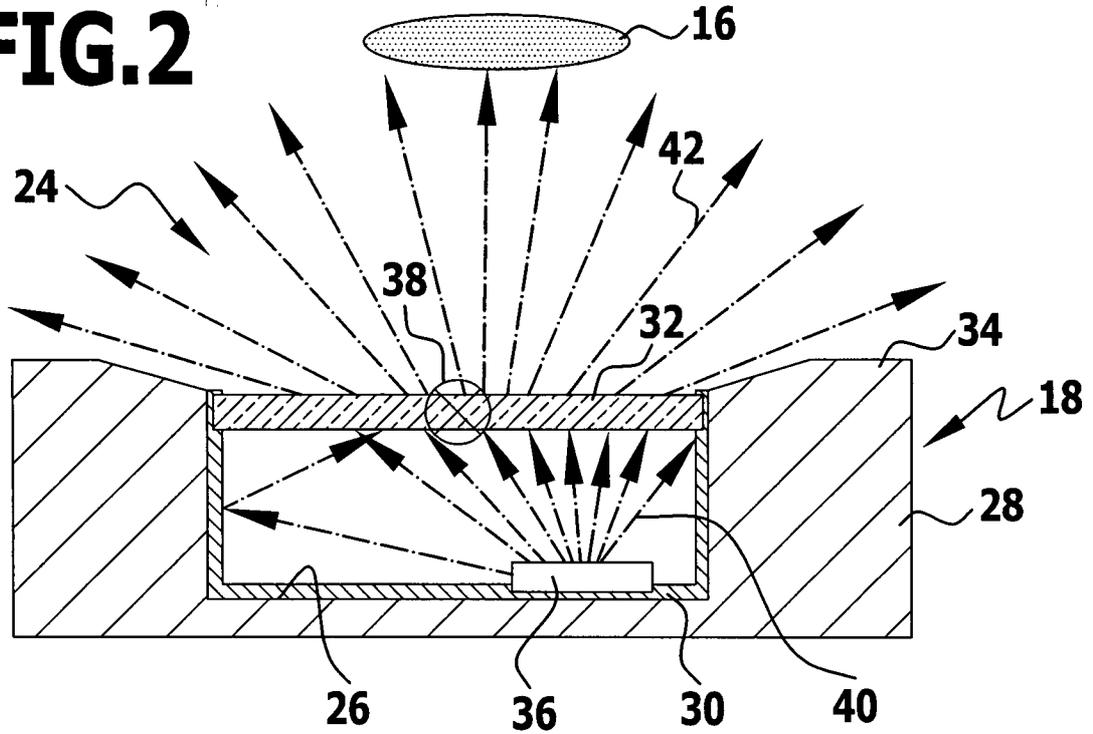


FIG.3

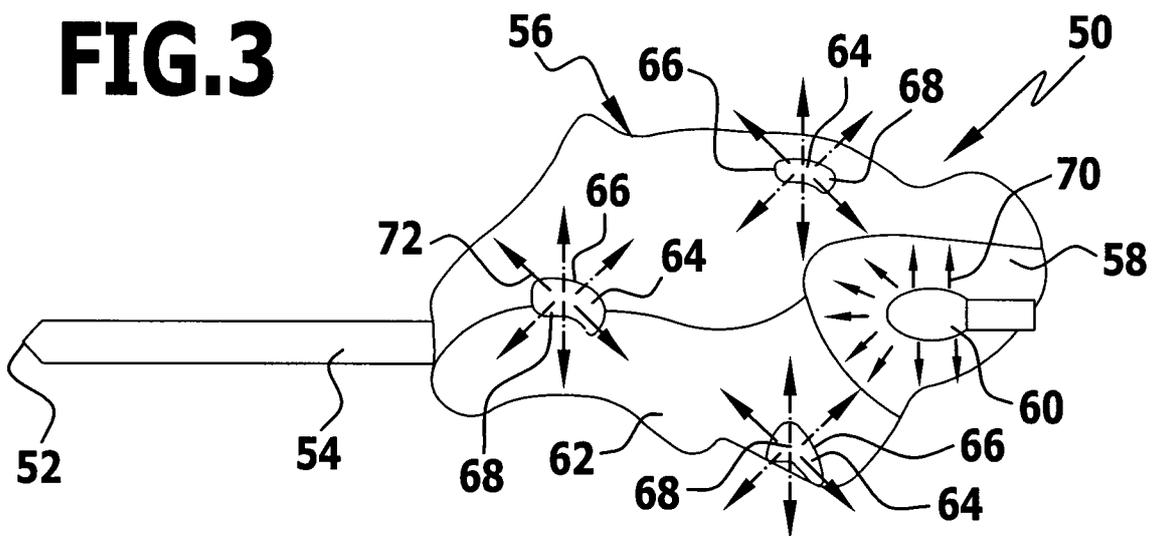


FIG.4

