



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 27 041 T2** 2004.11.25

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 857 033 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 27 041.6**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/IB97/00955**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 930 720.4**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 98/06321**

(86) PCT-Anmeldetag: **31.07.1997**

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: **19.02.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.08.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **02.01.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **25.11.2004**

(51) Int Cl.⁷: **A61B 5/00**
G01N 21/49

(30) Unionspriorität:

96202284 14.08.1996 EP

(73) Patentinhaber:

**Koninklijke Philips Electronics N.V., Eindhoven,
NL**

(74) Vertreter:

Meyer, M., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 52076 Aachen

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, NL

(72) Erfinder:

**PAPAIIOANNOU, Dimitrios, NL-5621 BA
Eindhoven, NL; 'T HOOFT, W., Gert, NL-5621 BA
Eindhoven, NL; VAN DER MARK, B., Martinus,
NL-5621 BA Eindhoven, NL**

(54) Bezeichnung: **Bilderstellung eines trüben Mediums mit Hilfe einer die Randeefekte reduzierenden Flüssigkeit**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zum Abbilden eines trüben Mediums gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

[0002] Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Erstellen eines Bildes eines trüben Mediums gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 7.

[0003] Eine Einrichtung und ein Verfahren dieser Art sind aus WO 95/23961 bekannt. Im Rahmen dieser Patentanmeldung mit einer Lichtquelle wird eine Quelle elektromagnetischer Strahlung mit einer Wellenlänge im sichtbaren oder infraroten Bereich zwischen ungefähr 500 und 1000 nm angestrebt. Die bekannte Einrichtung wird zum Abbilden einer inneren Struktur von biologischem Gewebe verwendet. In der medizinischen Diagnostik könnte die bekannte Einrichtung zum Abbilden der inneren Struktur von Brustgewebe einer Frau verwendet werden. Beispielsweise kann das Wachstum eines Tumors in einem solchen Bild lokalisiert werden. Ein Nachteil der bekannten Einrichtung ist, dass das Bild der inneren Struktur des trüben Mediums Artefakte entlang der Außenfläche des trüben Mediums enthält.

[0004] Ein System und ein Verfahren zum Untersuchen eines relativ kleinen Volumens von interessierendem biologischen Gewebe unter Verwendung von sichtbarer oder infraroter Strahlung wird in WO 94/16615 offenbart. Das System enthält ein Spektrophotometer, ein optisches Medium von relativ großem Umfang mit wählbaren Streu- und Absorptionseigenschaften. Das interessierende biologische Gewebe wird in den Photonenwanderungsweg innerhalb des optischen Mediums platziert, um einen optischen Weg vom Gewebe zum Medium zu erzeugen. Das optische Medium ist zum Begrenzen eines wesentlichen Entweichens von Photonen aus dem Gewebe ausgebildet. Um semi-unendliche Grenzbedingungen zu erzeugen, wird vorgeschlagen, dass das optische Medium eine Intralipidlösung mit Kohlenstoff ist, die Ausziehtusche enthält.

[0005] Der Erfindung liegt als Aufgabe zugrunde, die Artefakte entlang der Außenfläche des trüben Mediums durch Verringerung der Grenzeffekte auf dem Bild zu verringern. Diese Aufgabe wird mit einer Einrichtung gelöst, die die Merkmale nach Anspruch 1 aufweist. Die erfindungsgemäße Einrichtung umfasst einen Halter, der ausgebildet ist, um ein Anpassungsmedium aufzunehmen, das optische Eigenschaften aufweist, mit denen Grenzeffekte zwischen dem trüben Medium und seiner Umgebung bedeutend verringert werden. Daher entsprechen Konturen einer Photonenwegverteilung zwischen der Lichtquelle und dem Photodetektor mit gleicher Dichte wegen einer weitgehenden Abwesenheit von Grenzeffekten zwischen dem Anpassungsmedium und dem trüben Medium einer Ellipsoidform. Im Rahmen dieser Anmeldung stellt die Photonenwegverteilung den Einfluss eines kleinen absorbierenden Objekts auf das gemessene Licht dar, wenn das absorbierende Objekt auf einer Position zwischen der Quelle und dem Photodetektor einer speziellen Quellendetektorkombination platziert ist.

[0006] Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass übermäßigen Intensitätsdifferenzen in unterschiedlichen Messgeometrien, beispielsweise einer Parallelplattengeometrie oder einer Fächerstrahlgeometrie, entgegengewirkt wird. Ohne Anpassungsmedium führen Messungen mit einer Parallelplattengeometrie oder einer Fächerstrahlgeometrie zu Unterschieden zwischen Intensitäten, die an Positionen gemessen worden sind, an denen das trübe Medium gut im Halter eingeschlossen ist, sodass praktisch kein Licht an der Oberfläche verloren geht, und Intensitäten, die an Positionen nahe der Außenfläche des trüben Mediums gemessen worden sind, wo ein nicht vernachlässigbarer Bruchteil des Lichtes die Außenfläche durchquert und verloren geht. Infolge der Verwendung eines Anpassungsmediums mit nahezu identischen optischen Parametern wie das trübe Medium sind die Lichtwege zwischen der Lichtquelle und dem Photodetektor an allen Positionen ähnlich, sodass die genannten Intensitätsunterschiede verringert werden. Weitere relevante optische Parameter, die angepasst werden könnten, sind z. B. der Absorptionsparameter μ_a und der Transport- oder verringerte Streuparameter μ_s' des Anpassungsmediums. Eine Beschreibung des Absorptionsparameters μ_a und des Transport- oder verringerten Streuparameters μ_s' könnte u. a. in Monte Carlo Simulations of Photon Migration Path Distributions in Multiple Scattering Media von S. Feng et al, SPIE, Band 1888, 1993, Seiten 78–89 gefunden werden.

[0007] Bei der erfindungsgemäßen Einrichtung ist der Halter ausgebildet, um als Anpassungsmedium eine Flüssigkeit aufzunehmen. Daher kann die Form des Anpassungsmediums perfekt auf das trübe Medium abgestimmt werden und die optischen Parameter des Anpassungsmediums könnten durch die Wahl der optischen Parameter der Flüssigkeit angepasst werden.

[0008] Erfindungsgemäß weist eine Absorptionscharakteristik der Flüssigkeit in einem Bereich um eine Mitwellenlänge herum eine Steigung auf, wobei der Bereich eine Wellenlänge von Licht umfasst, das von der

Lichtquelle aus zu erzeugen ist. Für eine Flüssigkeit mit dieser Absorptionscharakteristik kann der Schwächungskoeffizient der Flüssigkeit auf einen Bereich von unterschiedlichen Schwächungskoeffizienten des trüben Mediums durch Veränderung der Wellenlänge des erzeugten Lichtes abstimmt werden.

[0009] Eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Einrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass für die genannte Steigung ein Verhältnis von etwa 3,5 zwischen einer Absorption für eine Wellenlänge am Anfang des Bereiches und einer Absorption für eine Wellenlänge am Ende des Bereiches vorliegt. Eine Absorptionscharakteristik der Flüssigkeit mit solchen Steigungen kann durch Hinzufügen von Farbstoffen, wie z. B. Patentblau V (E131) oder Indigokarmin (E132) erhalten werden. Beide Farbstoffe weisen eine Absorptionscharakteristik mit einer Steigung in einem Bereich von 10 nm um einen Mittenwellenlänge von etwa 660 nm auf.

[0010] Eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Einrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle einen Laser umfasst. Durch Verwendung eines Lasers kann die Wellenlänge des zu erzeugenden Lichtes in einem kleinen Bereich um die Mittenwellenlänge von beispielsweise etwa 10 nm beispielsweise durch Regelung der Betriebstemperatur des Lasers eingestellt werden.

[0011] Eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Einrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle zum Erzeugen von Licht mit nahezu konstanter Intensität ausgebildet ist. Dies hat den Effekt, dass einfache Photodetektoren und niederfrequente elektronische Schaltungen in der Einrichtung verwendet werden können. In mehreren bekannten Einrichtungen zum Abbilden von trüben Medien wird eine modulierte Lichtquelle verwendet und daher sind kostspielige Photomultiplerröhren und hochfrequente Elektronikschaltungen zur Detektion des aus dem trüben Medium austretenden Lichtes notwendig.

[0012] Die Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Erstellen eines Bildes eines trüben Mediums, dass die Merkmale nach Anspruch 7 aufweist. Das Verfahren umfasst, dass beim Messen der Intensitäten ein Anpassungsmedium mit dem trüben Medium in Kontakt gebracht wird, wobei das Anpassungsmedium solche optischen Eigenschaften hat, dass Grenzeffekte zwischen dem trüben Medium und seiner Umgebung bedeutend verringert werden.

[0013] Gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren wird eine Flüssigkeit als Anpassungsmedium verwendet und wird, um die optischen Eigenschaften des Anpassungsmediums auf die optischen Eigenschaften des trüben Mediums abzustimmen, der Flüssigkeit ein Farbstoff zugefügt.

[0014] Daher könnten die optischen Eigenschaften des Anpassungsmediums in einfacher Weise auf die optischen Eigenschaften des trüben Mediums eingestellt werden.

[0015] Eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren einen weiteren Schritt umfasst, in dem eine Wellenlänge von zu erzeugendem Licht so eingestellt wird, dass bei der eingestellten Wellenlänge ein Schwächungskoeffizient der Flüssigkeit nahezu gleich dem des trüben Mediums ist. Durch Einstellen der Wellenlänge des zu erzeugenden Lichtes in einem kleinen Bereich von etwa 10 nm kann eine Absorption der Flüssigkeit beispielsweise um ein Verhältnis von 3,5 verändert werden. Dieses Verhältnis ist ausreichend, um einen weiten Bereich von Schwächungskoeffizienten von Brustgewebe von unterschiedlichen Frauen abzudecken.

[0016] Eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass eine im Handel erhältliche, für kosmetische Zwecke bestimmte Suspension verwendet wird. Ein Vorteil der Verwendung einer im Handel erhältlichen Suspension für kosmetische Anwendungen, beispielsweise einer Körpermilch, als Anpassungsmedium ist, dass die Körpermilch eingehend auf die Abwesenheit von schädlichen Wirkungen auf den menschlichen Körper getestet worden ist und wahrscheinlich leicht von jeder zu untersuchenden Person akzeptiert wird.

[0017] Ausführungsbeispiele der Erfindung sind in der Zeichnung dargestellt und werden im Folgenden näher beschrieben.

[0018] Es zeigen:

[0019] Fig. 1 eine Photonenwegverteilung in einem homogenen trüben Medium,

[0020] Fig. 2 eine Photonenwegverteilung in einem semi-unendlichen trüben Medium,

- [0021]** Fig. 3 verschiedene Zentrallinien zwischen Lichtquelle und Photodetektor in einem trüben Medium für unterschiedliche Eigenschaften des Anpassungsmediums,
- [0022]** Fig. 4 eine Mammographieeinrichtung zum Erstellen eines Bildes einer inneren Struktur des trüben Mediums,
- [0023]** Fig. 5 einen ersten Haltertyp für die Mammographieeinrichtung zum Ausführen von Messungen mit Hilfe einer Fächerstrahlgeometrie,
- [0024]** Fig. 6 einen zweiten Haltertyp der Mammographieeinrichtung zum Ausführen von Messungen mit einer Parallelplattengeometrie,
- [0025]** Fig. 7 eine Lichtintensitätsverteilung einer Messung mit Hilfe einer Parallelplattengeometrie und
- [0026]** Fig. 8 eine Absorptionscharakteristik von Patentblau (E131) und
- [0027]** Fig. 9 eine Absorptionscharakteristik von Indigokarmin (E132).
- [0028]** Fig. 1 zeigt als Beispiel die Photonenwegverteilung zwischen einer Lichtquelle **1** und einem Photodetektor **3** in einem unendlichen homogenen trüben Medium **2**. Die Photonenwegverteilung wird verwendet, um den Transport von Licht in einem trüben Medium zu beschreiben. Diese Beschreibung ist unter anderem aus Monte Carlo Simulations of Photo Migration Path distributions in multiple Scattering Media von S. Feng et al., SPIE Band 1888, 1993, Seiten 78–89 bekannt. Die Umrisse gleicher Dichte der Photonenwegverteilung in dem unendlichen homogenen trüben Medium **2** entsprechen ellipsoidartigen Formen, wie die Angabe **5** in Fig. 1, von denen eine Hauptachse **4** mit der Zentrallinie der Photonenwegverteilung zusammenfällt. Die Photonenwegdichtefunktion weist entlang dieser Linie zwischen der Lichtquelle und dem Photodetektor Peaks auf. Gekrümmte Linien weiter außen entsprechen den niedrigeren Photonenwegdichten.
- [0029]** Wenn jedoch ein semi-unendliches Medium verwendet wird und die Lichtquelle **1** und der Photodetektor **3** in einem gewissen Abstand voneinander auf der Grenzfläche **6** liegen, wird die Form der Photonenwegverteilung durch Photonen gestört, die das trübe Medium verlassen. Fig. 2 zeigt eine gestörte Photonenwegverteilung **7** in einem semi-unendlichen trüben Medium **2**. Wie in Fig. 2 gezeigt wird, ist die Zentrallinie **4** der gestörten Photonenwegverteilung in Bezug auf die Verbindungslinie zwischen der Lichtquelle **1** und dem Photodetektor **3** abgelenkt, d. h. in das Innere des trüben Mediums **2** hinein. Die Referenz d_0 in Fig. 2 bezeichnet den Abstand zwischen der Ablenkung der Zentrallinie der Photonenwegverteilung und der Verbindungslinie zwischen der Lichtquelle **1** und dem Photodetektor **3**. Die Erfindung bezieht sich auf eine Anordnung eines Anpassungsmediums **8** entlang der Grenzfläche **6** des trüben Mediums **2**, um die Zentrallinie **4** zu beeinflussen. Ein optischer Parameter, beispielsweise der Reflexionskoeffizient des Anpassungsmediums **8** oder eine Kombination aus Absorptions- und Streuparametern beeinflusst die Menge von Photonen, die das trübe Medium **2** über die Grenzfläche **6** verlassen. Die Form der Photonenwegverteilung **5** zwischen der Lichtquelle **1** und dem Photodetektor **3** in dem trüben Medium **2** ändert sich somit. Fig. 3 veranschaulicht die Veränderung der Position der Zentrallinie für verschiedene Werte R_i des Reflexionskoeffizienten auf der Grenzfläche **6**. Wie in Fig. 3 gezeigt wird, wird die Zentrallinie der Photonenwegverteilung von der Grenzfläche für einen abnehmenden Reflexionskoeffizienten abgelenkt. In Fig. 3 wird der Abstand zwischen der Verbindungslinie und der Zentrallinie mit L bezeichnet. Wenn der Reflexionskoeffizient des Anpassungsmediums **8** ungefähr den Wert 0 hat, hat der genannte Abstand L den Wert L_1 . Wenn der Reflexionskoeffizient einen festen Wert R_1 im Bereich zwischen 0 und 1 hat, hat der genannte Abstand L den Wert L_2 mit $L_2 < L_1$. Wenn der Reflexionskoeffizient einen zweiten festen Wert R_2 im Bereich zwischen R_1 und 1 hat, hat der genannte Abstand L den Wert L_3 mit $L_3 < L_2$. Wenn der Reflexionskoeffizient einen Wert von ungefähr 1 hat, wird der genannte Abstand L ungefähr 0.
- [0030]** Die Erfindung wird anhand von Fig. 4 beschrieben, in der als Beispiel eine Mammographieeinrichtung **40** gezeigt wird. Die erfindungsgemäße Einrichtung ist für ein Mammographiesystem beschrieben worden, aber kann wahrscheinlich auch zur Untersuchung anderer Teile eines menschlichen oder tierischen Körpers oder zum Prüfen anderer stark streuender Materialien verwendet werden. Die Einrichtung ist dazu bestimmt, Inhomogenitäten im Gewebe einer weiblichen Brust zu detektieren. Beispiele für solche Unregelmäßigkeiten sind vermehrte Mikrovaskularisationen oder eine hohe Konzentration kleiner Blutgefäße um einen bösartigen Tumor. Die erfindungsgemäße Einrichtung ist zum Abbilden und Detektieren solcher Anomalien ausgebildet, wenn sie noch sehr klein sind, sodass Karzinome in sehr frühem Stadium entdeckt werden können, jedoch ohne den Patienten den Risiken einer Untersuchung mit Hilfe von ionisierender Strahlung, beispielsweise Röntgenstrahlen, auszusetzen.

[0031] Die erfindungsgemäße Mammographieeinrichtung ist mit einem Halter **45** versehen, der ausgebildet ist, um einen Teil eines trüben Mediums und auch ein Anpassungsmedium aufzunehmen. Die Mammographieeinrichtung **40** umfasst auch eine Lichtquelle **42** zum Erzeugen von Licht, einen Photodetektor **43** zum Detektieren von aus dem trüben Medium austretendem Licht, eine Verarbeitungseinheit **41** zum Ableiten eines Bildes aus den gemessenen Intensitäten und einen Monitor **47** für die Wiedergabe von Bildern.

[0032] Das erzeugte Licht kann entweder eine nahezu konstante Intensität oder eine amplitudenmodulierte Intensität haben und eine Wellenlänge in einem Bereich zwischen beispielsweise 500 und 1000 nm. Die Lichtquelle kann beispielsweise einen Halbleiterlaser oder eine Leuchtdiode umfassen. Eine andere Möglichkeit ist, dass die Lichtquelle mehrere Halbleiterlaser umfasst, wobei jeder Halbleiterlaser eine andere Wellenlänge im Intervall zwischen 500 und 1000 nm hat, und einen Wählschalter zum Selektieren eines der Halbleiterlaser. Diese Anordnung ermöglicht es, optimalen Kontrast eines rekonstruierten Bildes für verschiedene optische Charakteristiken des trüben Mediums zu erhalten. Der Photodetektor **43** ist zum Detektieren des Lichtes ausgebildet, das mit dem Gewebe des trüben Mediums über die Ausgangsports $O_1 \dots O_M$ und einen optischen Leiter **48** gekoppelt sein kann. Der Photodetektor **43** kann über optische Ports $O_1 \dots O_M$ beispielsweise eine Photomultiplerröhre oder eine PIN-Photodiode umfassen. Andere Konfigurationen in Bezug auf die Photodetektoren sind auch möglich. Beispielsweise eine Konfiguration, in der jeder der Ausgangsports $O_1 \dots O_M$ mit einem gesonderten Photodetektor gekoppelt ist und die Ausgänge der Photodetektoren parallel gemessen werden. Insbesondere wenn das erzeugte Licht eine nahezu konstante Amplitude hat, bietet die Verwendung von Photodioden in Kombination mit niederfrequenten Elektronikschaltungen bei Verwendung mehrfacher Photodioden eine wirtschaftliche Lösung.

[0033] Um Intensitätsmessungen des trüben Mediums auszuführen, umfasst der Halter **45** eine erste Anzahl von N-Eingangsports $I_1 \dots I_N$ und eine zweite Anzahl von M Ausgangsports $O_1 \dots O_M$, deren Positionen relativ zueinander auf dem Halter **45** bekannt sind. Die Eingangsports $I_1 \dots I_N$ sind über optische Leiter $S_1 \dots S_N$ mit den Ausgängen einer Eingangsselektionseinheit **44** gekoppelt, deren Eingang **50** mit der Lichtquelle **42** über einen optischen Leiter **51** gekoppelt ist. Die Ausgangsports $O_1 \dots O_M$ sind über optische Leiter $D_1 \dots D_M$ mit den Eingängen einer Ausgangsselektionseinheit **46** gekoppelt, deren Ausgang **49** über einen optischen Leiter **48** mit einem Photodetektor **43** gekoppelt ist. In der Praxis können **256** Eingangsports und **256** Ausgangsports verwendet werden. Auch andere Anzahlen sind möglich, beispielsweise **128** Eingangsports und **128** Ausgangsports. Es sei bemerkt, dass die Anzahl von Ausgangsports M nicht notwendigerweise gleich der Anzahl Eingangsports N zu sein braucht. Bei der Messung werden die Eingangsports $I_1 \dots I_N$ mit der Lichtquelle **42** gekoppelt und die Ausgangsports $O_1 \dots O_M$ werden mit dem Photodetektor **43** gekoppelt. Kopplung erfolgt in einer speziellen Reihenfolge und das Licht wird über die Eingangsports in das trübe Medium gestrahlt. Ein Teil des aus dem trüben Medium austretenden Lichtes wird zu dem Photodetektor **43** über die Ausgangsports $O_1 \dots O_M$ und die optischen Leiter $D_1 \dots D_M$ geleitet, wobei die gemessenen Intensitäten von der Verarbeitungseinheit **41** gespeichert werden.

[0034] Pro Messung wird eine Intensität des aus der selektierten Eingangsport I_i stammenden Lichtes auf einer selektierten Ausgangsport O_j gemessen und in der Verarbeitungseinheit **41** gespeichert. Anschließend werden die Messungen ausgeführt, wobei alle Kombinationen von Lichtquellen und Photodetektoren dann mit einem ersten Wert R_1 der effektiven Reflexion des Anpassungsmediums in Bezug auf das Gewebe des trüben Mediums gemessen werden. Nach Ausführung der Messungen steht dann eine Matrix von Intensitätswerten für die Rekonstruktion eines Bildes zur Verfügung. Anschließend kann die Verarbeitungseinheit **41** ein Bild der inneren Struktur des Brustgewebes aus den gemessenen Intensitäten ableiten. Das Bild kann anschließend auf einem Monitor **47** wiedergegeben werden. Das Bild wird aus den gemessenen Intensitäten unter Verwendung von Projektionsrekonstruktion abgeleitet. Projektionsrekonstruktion ist u. a. aus Röntgencomputertomographie bekannt und aus „Fundamentals of Image Processing“ von A. K. Jain, Prentice Hall, 1989, S. 439–441.

[0035] Reduzieren der Artefakte nahe der Außenfläche des von der erfindungsgemäßen Mammographieeinrichtung erstellten Bildes der inneren Struktur des trüben Mediums besteht darin, dass in dem Halter außer dem trüben Medium ein flüssiges Anpassungsmedium verwendet wird, das optische Parameter μ_a und μ_s aufweist, die ziemlich gut auf die mittleren optischen Parameter des trüben Mediums abgestimmt sind. Ein Hinweis, dass die optischen Parameter des Anpassungsmediums passende optische Parameter aufweisen, könnte darin gefunden werden, dass in dem rekonstruierten Bild die Intensität des trüben Mediums ungefähr gleich der Intensität des Anpassungsmediums in dem rekonstruierten Bild ist.

[0036] Die erfindungsgemäße Einrichtung kann mit unterschiedlichen Haltertypen für Messungen mit verschiedenen Geometrien versehen werden. Die Halter werden anhand von **Fig. 5** und **Fig. 6** beschrieben. **Fig. 5** zeigt ein Beispiel für einen Halter der Mammographieeinrichtung **40**, der dazu bestimmt ist, ein flüssiges

Anpassungsmedium aufzunehmen. Der Halter **50** ist dazu bestimmt, eine Messung bei einer Fächerstrahlgeometrie in der Mammographieeinrichtung **40** auszuführen. Der Halter **50** umfasst einen schalenförmigen oder konischen Teil **51** zum Aufnehmen eines flüssigen Anpassungsmediums und eines Teils der Brust einer Frau. In der Wand des schalenförmigen Teils befinden sich N Eingangsports und M Ausgangsports, wobei diese Ports kreisförmig angeordnet sind. Dies wird in **Fig. 5** veranschaulicht, die drei Eingangsports **52** und drei Ausgangsports **53** zeigt, die in einem Kreis angeordnet sind. In der Praxis kann ein Halter vom ersten Typ **128** oder **256** Eingangsports und Ausgangsports umfassen. Der Zwischenraum zwischen den Eingangsports und den Ausgangsports muss für die Rekonstruktion eines Bildes bekannt sein und bleibt vorzugsweise während der Ausführung der Messungen konstant. Der Halter **50** kann mit der Mammographieeinrichtung **40** mittels optischer Leiter gekoppelt werden. Die Eingangsports $I_1 \dots I_N$ können dann über optische Leiter S_1 bis S_N und die Eingangswahleinheit **44** mit der Lichtquelle **42** gekoppelt werden. Die Ausgangsports $O_1 \dots O_M$ können über die optischen Leiter D_1 bis D_M , die Ausgangsselektionseinheit **46** und den optischen Leiter **48** mit dem Photodetektor **43** gekoppelt werden. Für die Ausführung der Messungen können die Eingangsports und Ausgangsports so gewählt werden, dass ein zweidimensionales oder dreidimensionales Bild der inneren Struktur aus den gemessenen Intensitäten abgeleitet werden kann. Für das flüssige Anpassungsmedium kann beispielsweise eine Intralipidlösung oder eine kosmetische Flüssigkeit, eine sogenannte Körpermilch verwendet werden. Die optischen Parameter μ_a und μ_s dieser Flüssigkeiten können an die mittleren Werte μ_a und μ_s des trüben Mediums angepasst werden, um Bilder mit verringerten Grenzeffekten zu erhalten. Die mittleren optischen Parameter μ_a und μ_s des Brustgewebes könnten in einem gesonderten Schritt bestimmt werden. Die optischen Parameter μ_a und μ_s der Körpermilch können durch Verdünnung oder Zufügung von Farbstoffen angepasst werden. Um einen Schwächungskoeffizienten der Flüssigkeit auf einen Schwächungskoeffizienten des Brustgewebes abzustimmen, kann eine Konzentration von Farbstoffen oder Streumitteln in der Flüssigkeit angepasst werden. Daher kann sowohl der Streukoeffizient μ_s als auch der Absorptionskoeffizient μ_a beeinflusst und der Schwächungskoeffizient $\kappa = \sqrt{3}\mu_s + \mu_a$ eingestellt werden. Weiterhin wird für die Bestimmung einer Konzentration des Farbstoffes in der Flüssigkeit angenommen, dass eine Brechzahl der Flüssigkeit, die eine wässrige Lösung wie beispielsweise Intralipid oder eine Lösung von TiO_2 in Wasser umfasst, nahezu gleich einer Brechzahl des Brustgewebes ist. Unter praktischen Bedingungen zeigt sich, dass eine Konzentration von Streuern, die einen Streukoeffizient μ_s von $\approx 1,3 \text{ mm}^{-1}$ ergeben bei einer Wellenlänge von $\lambda = 660 \text{ nm}$ zum Abdecken der meisten Experimente ausreicht.

[0037] Um den Schwächungskoeffizienten der Flüssigkeit auf den Schwächungskoeffizienten des Brustgewebes abzustimmen, umfasst das erfindungsgemäße Verfahren das Zufügen eines Farbstoffes, der eine Absorptionscharakteristik mit einer Steigung in einem Bereich von 10 nm um eine Mittenwellenlänge von 660 nm herum aufweist, zu der Flüssigkeit und Anpassung der Wellenlänge der Lichtquelle, sodass der Schwächungskoeffizient des Farbstoffes der angepassten Wellenlänge nahezu gleich dem Schwächungskoeffizienten des Brustgewebes ist. Die Anpassung der Wellenlänge des zu erzeugenden Lichtes kann durch Steuerung der Betriebstemperatur des Lasers **42** erfolgen. Farbstoffe, die der Flüssigkeit zugefügt werden können, umfassen beispielsweise Patentblau V (E131) oder Indigokarmin (E132). **Fig. 8** und **Fig. 9** zeigen Beispiele für Absorptionscharakteristiken von Patentblau bzw. Indigokarmin. Diese Farbstoffe weisen Absorptionscharakteristika mit Steigungen in einem Bereich zwischen einer ersten Wellenlänge und einer zweiten Wellenlänge von 650 und 700 nm bzw. 620 und 720 nm auf, für welche Steigungen ein Verhältnis von etwa 3,5 zwischen einer Absorption für die erste Wellenlänge am Anfang des Bereiches und einer Absorption für die zweite Wellenlänge am Ende des Bereiches vorliegt.

[0038] Um eine Konzentration eines Farbstoffes in der Flüssigkeit zu bestimmen, wird auf **Fig. 8** Bezug genommen. Aus **Fig. 8** wird abgeleitet, dass ein Absorptionskoeffizient für eine Flüssigkeit mit einer festen Konzentration von Patentblau für eine Änderung einer Wellenlänge in Höhe von + oder -10 nm in Bezug auf eine Mittenwellenlänge von 660 nm um einen Faktor 3,6 verändert werden kann. Daher kann eine Änderungsrate eines Schwächungskoeffizienten der Flüssigkeit $\sqrt{3,6} = 1,9$ betragen. Dieser Bereich der Änderung des Schwächungskoeffizienten der Flüssigkeit genügt, um den Bereich der Änderung des Schwächungskoeffizienten von Brustgewebe von verschiedenen Frauen abzudecken. Beispiele für Schwächungskoeffizienten von Brustgewebe für verschiedene Frauen werden in Tabelle 1 aufgelistet.

[0039] Tabelle 1 listet die Schwächungskoeffizienten für drei verschiedene Wellenlängen für mehrere Frauen im Alter zwischen 40 und 58 mit unterschiedlichen Brustgrößen auf. Erfindungsgemäß kann eine Konzentration eines Farbstoffes in einer Flüssigkeit durch Anwendung von **Fig. 8** bestimmt werden. Für eine gegebene Konzentration, beispielsweise $c = 4,8 \text{ mg/l}$, kann die Absorption A aus **Fig. 8** abgeleitet werden und sie erweist sich als gleich $A = \alpha d$ für eine feste Wellenlänge und für eine Dicke einer Probe von $d = 10 \text{ mm}$. Für eine Wellenlänge von 650, 660 und 670 nm wird für die Absorption 0,5, 0,32 bzw. 0,14 gefunden. Der Absorptionskoeffizient μ_a des Farbstoffes kann dann für die gegebene Konzentration c als $\mu_a^{\text{Farbstoff}} = A \log(10)/d = 0,23026 A$

bestimmt werden. Aus Tabelle 1 wird ein mittlerer Schwächungskoeffizient von Brustgewebe für eine Wellenlänge von 660 nm bestimmt, beispielsweise ein Wert von $\kappa = 120 \text{ m}^{-1} = 0,120 \text{ mm}^{-1}$. Für $\mu_s' = 1,3 \text{ mm}^{-1}$ und

$$k = \sqrt{3\mu_s'\mu_a}$$

ergibt sich für die Absorption

$$\mu_a = \mu_a^{\text{H}_2\text{O}} + \mu_a^{\text{Farbstoff}} = 3,7 \times 10^{-3} \text{ mm}$$

. Bei einer Wellenlänge von 660 nm hat der Absorptionskoeffizient von H_2O ,

$$\mu_a^{\text{H}_2\text{O}}$$

den Wert $6,1 \times 10^{-4} \text{ mm}^{-1}$. Die Konzentration des Farbstoffes wird dann mittels

$$c = 4,8 \frac{\mu_a^{\text{Farbstoff}}}{0,23026A} = 0,20 \text{ mg/l}$$

berechnet, wobei A die Absorption des Farbstoffes darstellt, die aus **Fig. 8** entnommen werden kann. Bei einer Wellenlänge von 660 nm ist die Absorption des Farbstoffes gleich 0,32.

[0040] Ein Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist, dass für Experimente mit verschiedenen Frauen ein Vorrat einer einzelnen Flüssigkeit mit einer festen Konzentration verwendet werden kann anstelle eines Vorrats mit mehreren Flüssigkeiten unterschiedlicher Konzentrationen. Ein weiterer Vorteil ist, dass für jedes Experiment von der Verarbeitungseinheit automatisch ein Abstimmprozess ausgeführt werden kann.

[0041] Ein weiterer für die Verwendung in der Mammographieeinrichtung **40** geeigneter Halter ist beispielsweise ein Halter zum Ausführen von Messungen an einem trüben Medium mit einer Parallelplattengeometrie. **Fig. 6** ist eine Draufsicht eines solchen Halters **64**. Der Halter umfasst zwei nahezu parallele transparente Platten **65**, **66**, die um die Brust **67** einer Frau herum angeordnet sind. Dies führt zu einem Parallelplattengeometrie-Bild mit einer Schichtdicke von ungefähr 6 cm. Die Brust kann beispielsweise in mediolateraler oder craniocaudaler Richtung durch die Platten **65**, **66** zusammengedrückt werden. Eine erste Platte **65** des Halters **64** umfasst eine Anzahl von N Eingangsports I_1 bis I_N für die Kopplung von optischen Leitern S_1 bis S_N und die andere transparente Platte **66** umfasst eine zweite Anzahl von M Ausgangsports für die Kopplung der optischen Leiter $D_1 \dots D_M$. Die optischen Leiter $S_1 \dots S_N$, $D_1 \dots D_M$ können mit der Eingangsselektionseinheit **44** bzw. der Ausgangsselektionseinheit **46** gekoppelt werden. Der Raum zwischen den Platten und neben der Brust wird mit dem flüssigen Anpassungsmedium **68** ausgefüllt. Eine nahezu perfekte optische Anpassung wird durch Verwendung eines flüssigen Anpassungsmediums **68** erhalten, dessen optische Parameter μ_a und μ_s' den mittleren optischen Parametern μ_a und μ_s' des Brustgewebes entsprechen.

[0042] Ein weiterer Vorteil der Verwendung eines erfindungsgemäßen flüssigen Anpassungsmediums besteht darin, dass die Auswirkungen der Grenzfläche zwischen der Brust und dem Anpassungsmedium auf die Lichtintensitätsverteilung im Wesentlichen in Messungen mittels Parallelplattengeometrie oder Fächerstrahlgeometrie korrigiert werden können; außerdem ist es auch möglich, eine erhöhte Intensität infolge eines kürzeren Licht-Lichtweges in der Brust zwischen der Lichtquelle und dem Photodetektor, wie er durch die Form der Brust verursacht wird, auszugleichen. Dies wird in einer Messung mit Hilfe einer Parallelplattengeometrie anhand von **Fig. 7** veranschaulicht. **Fig. 7** zeigt eine Intensitätskurve **71** einer Messung mit einer Parallelplattengeometrie, wie sie an einer Brust ohne Verwendung eines Anpassungsmediums ausgeführt worden ist. Nahe den Enden **72**, **73** weist die Intensitätskurve **71** Abweichungen in Bezug auf Positionen auf, die ungefähr auf der Hälfte der Intensitätskurve liegen. Die Enden **72**, **73** entsprechen ungefähr den Positionen **69**, **70**, wo die Grenze der Brust **67** in dem Halter **44** nicht an die Glasplatten **65**, **66** grenzt. Die Intensität nimmt infolge der Tatsache, dass nahe den genannten Punkten **69**, **70** in der Brust der Lichtpfad zwischen Lichtquelle und Photodetektor kürzer ist als ein Lichtpfad zwischen Lichtquelle und Photodetektor in den Gebieten, in denen die Brust an die Glasplatten **65**, **66** grenzt, zu. Wegen der Intensitätsunterschiede wird es schwierig sein, die Störungen **74**, **75** der Intensität nahe den Enden **72**, **73** der Kurve nach der Rekonstruktion des Bildes zu detektieren. Die Verwendung des Anpassungsmediums gleicht auch die Intensitätsverteilung aus, sodass die absoluten Änderungen besser detektiert werden können. Das Ergebnis des Ausgleichens mit Hilfe des Anpassungsmediums wird durch die ausgeglichene Kurve **76** dargestellt. Die Verwendung eines flüssigen Anpassungsmediums bietet auch den Vorteil einer mechanischen Anpassung zwischen der Brust und dem Halter und wegen dieser Abstimmung können Unterschiede in Bezug auf Brustgröße und Brustform leicht kompensiert werden.

[0043] Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung eines Beutels aus synthetischem Material, der das flüssige Anpassungsmedium umfasst. Dieser Beutel kann zwischen dem Halter und der Brust platziert werden und hat den Vorteil, dass er den Verlust von Flüssigkeit vermeidet und auch komfortabler für die untersuchte Frau sein kann.

[0044] Eine andere Möglichkeit ist die Verwendung eines dünnen Blattes aus Kunststoff, das zwischen die Flüssigkeit und die Brust platziert wird, um direkten Kontakt zwischen der Haut der Brust und der Flüssigkeit zu vermeiden. Auf diese Weise kann die Flüssigkeit mehrere Male verwendet werden.

Tabelle I: Optischer Schwächungskoeffizient κ für Brüste bei drei Wellenlängen für Freiwillige im Alter zwischen 40 und 58 mit unterschiedlicher Brustgröße

$\kappa \text{ (m)}^{-1}$			$\lambda = 660 \text{ nm}$		$\lambda = 780 \text{ nm}$		$\lambda = 920 \text{ nm}$	
n°	Alter	Cup	G	D	G	D	G	D
1	54	B80	105	111	91	96	168	157
7	48	A75	125	121	117	112	180	182
9	50	C80	101	100	88	88	156	149
10	57	B80	111	104	94	88	152	147
11	55	B80	96	92	81	79	146	142
12	58	B80	108	99	91	88	156	149
14	52	D80	124	115	103	94	151	146
15	50	B75	120	123	99	100	157	155
17	50	A75	120	117	100	101	159	158
18	54	B75	95	91	78	78	152	151
19	47	A70	145	139	130	122	173	168
20	40	B75	163	154	139	138	167	181
21	45	B80	129	129	113	115	161	160
22	46	B85	105	101	97	91	162	154
28	47	B80	99	85	83	82	150	156
30	53	B85	89	84	78	77	152	157

Patentansprüche

1. Einrichtung zum Erstellen eines Bildes eines trüben Mediums, wobei die Einrichtung einen Halter zum Aufnehmen des trüben Mediums (2), eine Lichtquelle (1, 42) zum Bestrahlen des trüben Mediums, einen Photodetektor (3, 43) zum Messen der Intensität des aus dem trüben Medium (2) austretenden Lichtes und eine Verarbeitungseinheit (41) zum Ableiten eines Bildes des trüben Mediums (2) aus den gemessenen Intensitäten umfasst sowie einen Halter (45, 50), der ausgebildet ist, um ein flüssiges Anpassungsmedium (8) aufzunehmen, das optische Eigenschaften aufweist, mit denen Grenzeffekte zwischen dem trüben Medium (2) und seiner Umgebung bedeutend verringert werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Absorptionscharakteristik des flüssigen Anpassungsmediums (8) in einem Bereich um eine Mittenwellenlänge herum eine Steigung aufweist, wobei der Bereich eine Wellenlänge von Licht umfasst, das von der Lichtquelle aus zu erzeugen ist.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das flüssige Anpassungsmedium (8) einen Farbstoff umfasst und dass eine Absorptionscharakteristik der Flüssigkeit in einem Bereich um eine Mittenwellenlänge herum eine Steigung aufweist, wobei der Bereich eine Wellenlänge von Licht umfasst, das von der Lichtquelle aus zu erzeugen ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass für die genannte Steigung ein Verhältnis von etwa 3,5 zwischen einer Absorption für eine Wellenlänge am Anfang des Bereiches und einer Absorption für eine Wellenlänge am Ende des Bereiches vorliegt.

4. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (1, 42) einen Laser umfasst.

5. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Flüssigkeit eine im Handel erhältliche Suspension für kosmetische Zwecke umfasst.

6. Einrichtung nach Anspruch 1, 2, 3, 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Lichtquelle (1, 42) zum Erzeugen von Licht mit nahezu konstanter Intensität ausgebildet ist.

7. Verfahren zum Erstellen eines Bildes eines trüben Mediums, welches Verfahren umfasst:

- Bestrahlen des trüben Mediums (2) mit Licht bei einer Vielzahl von Positionen und Messen der Intensität des aus dem trüben Medium (2) austretenden Lichtes bei einer Vielzahl von Positionen,
- Ableiten eines Bildes des trüben Mediums aus den gemessenen Intensitäten, dadurch gekennzeichnet, dass
- beim Messen der Intensitäten ein flüssiges Anpassungsmedium in Kontakt mit dem trüben Medium (2) platziert wird, wobei das Anpassungsmedium (8), das einen hinzugefügten Farbstoff umfasst, der eine Absorptionscharakteristik aufweist, die in einem Bereich um eine Mittenwellenlänge herum eine Steigung umfasst, wobei der Bereich eine Wellenlänge von Licht umfasst, das von der Lichtquelle und dem Anpassungsmedium aus zu erzeugen ist, solche optischen Eigenschaften hat, dass Grenzeffekte zwischen dem trüben Medium und seiner Umgebung bedeutend verringert werden.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren einen weiteren Schritt umfasst, in dem eine Wellenlänge von zu erzeugendem Licht so eingestellt wird, dass bei der eingestellten Wellenlänge ein Schwächungskoeffizient der Flüssigkeit nahezu gleich dem des trüben Mediums (2) ist.

9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass eine im Handel erhältliche, für kosmetische Zwecke bestimmte Suspension verwendet wird.

10. Verfahren zum Erstellen eines Bildes eines trüben Mediums mit Hilfe des Gerätes nach Anspruch 1, in welchem Verfahren als Anpassungsmedium (8) eine Flüssigkeit verwendet wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

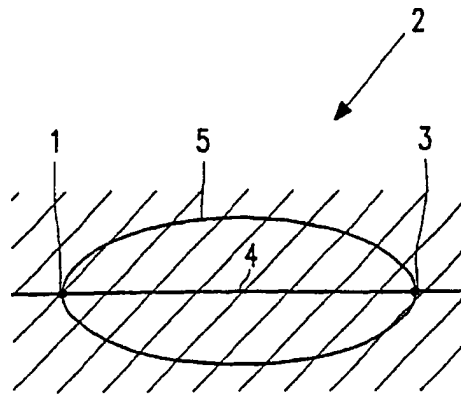


FIG. 1

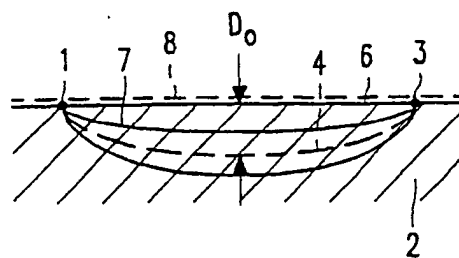


FIG. 2

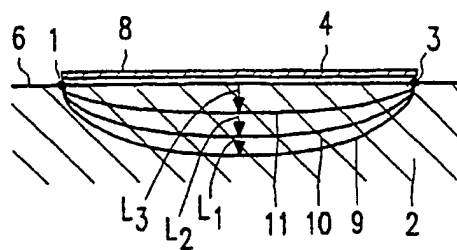


FIG. 3

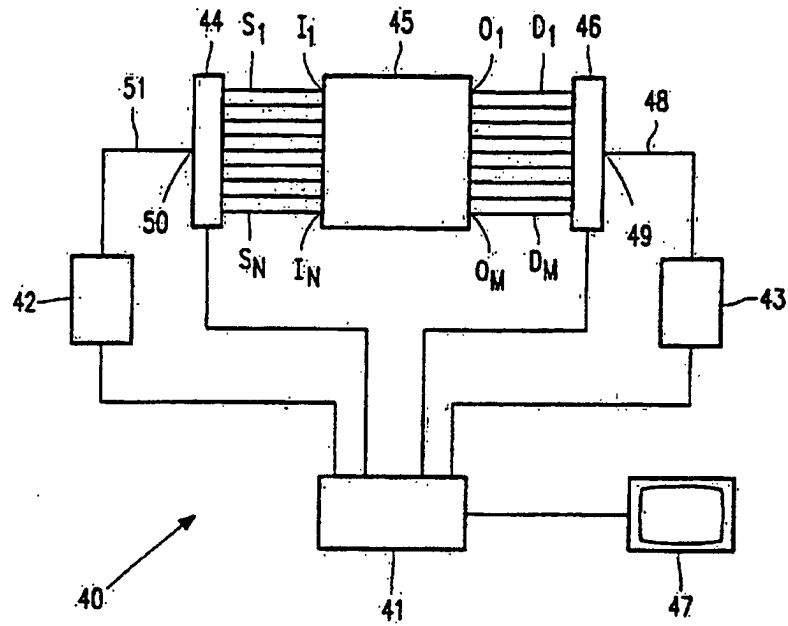


FIG. 4

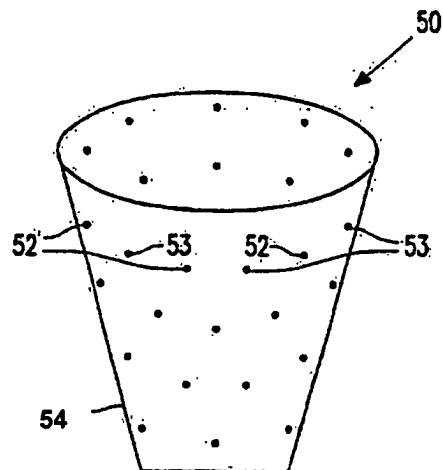


FIG. 5

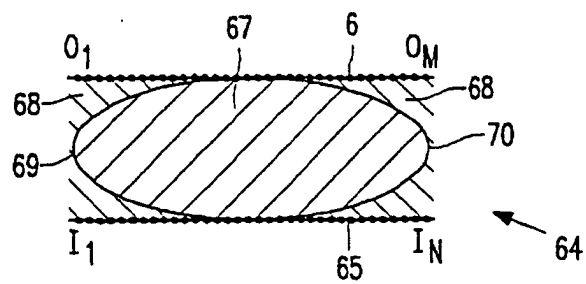


FIG. 6

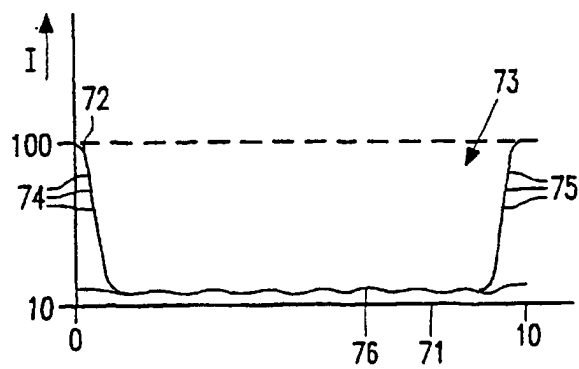


FIG. 7

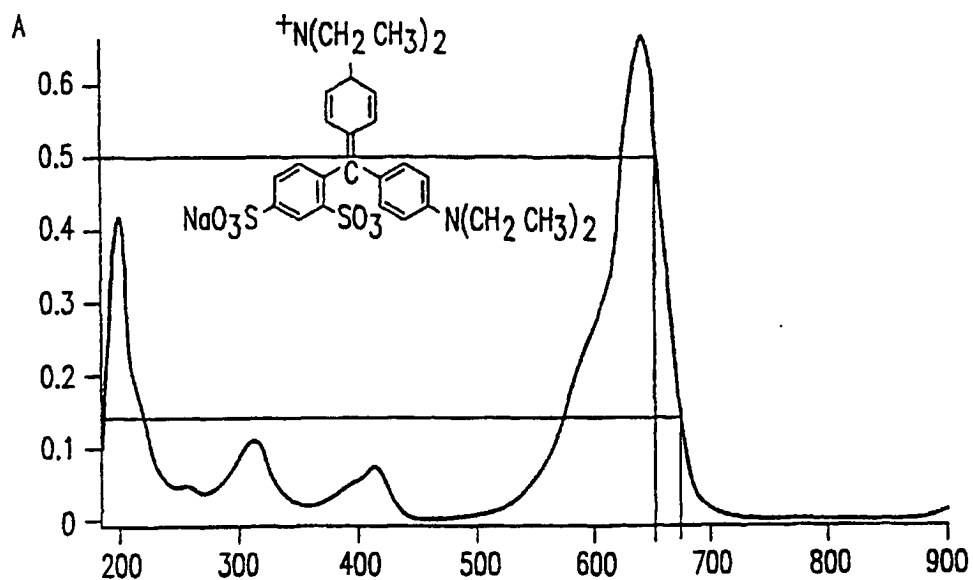


FIG. 8

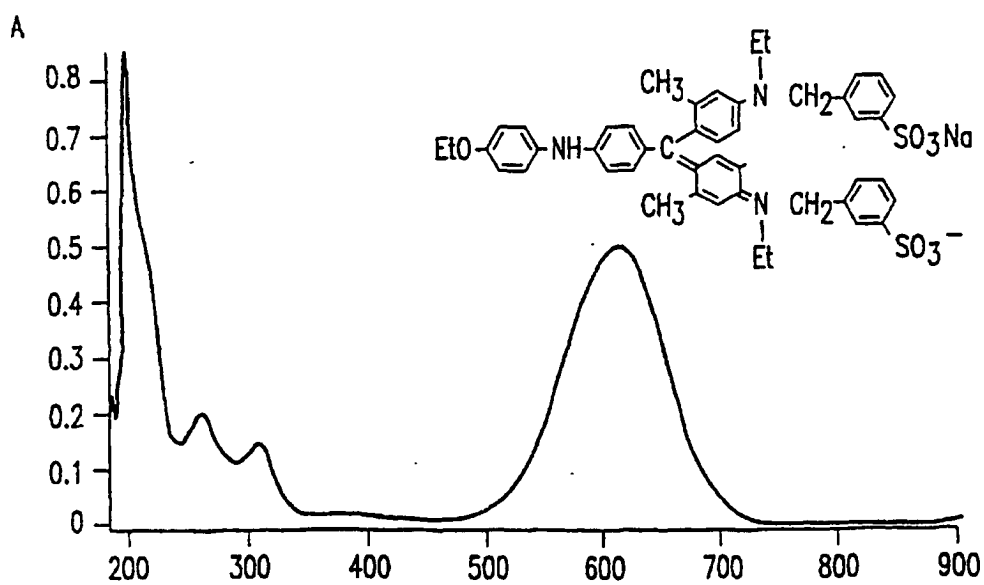


FIG. 9