



(19)
 Bundesrepublik Deutschland
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 041 913 A1** 2010.03.11

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 041 913.3**

(22) Anmeldetag: **09.09.2008**

(43) Offenlegungstag: **11.03.2010**

(51) Int Cl.⁸: **G02B 26/02** (2006.01)

(71) Anmelder:

SeeReal Technologies S.A., Munsbach, LU

(74) Vertreter:

**Bradl, J., Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., Pat.-Anw., 69198
 Schriesheim**

(72) Erfinder:

Fütterer, Gerald, Dr., 01277 Dresden, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
 gezogene Druckschriften:

US 2007/00 40 982 A1

WO 04/1 02 250 A1

WO 03/71 335 A2

WO 05/93 489 A2

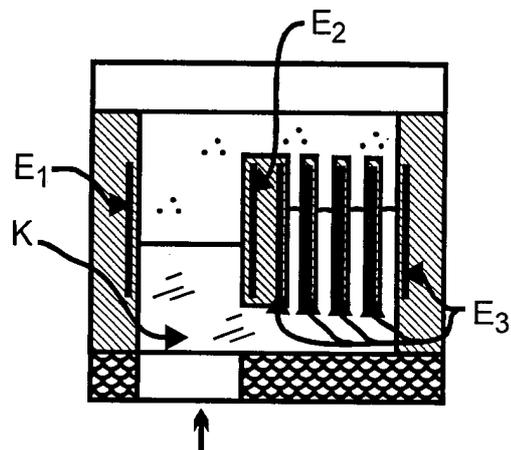
Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Lichtmodulationseinrichtung**

(57) Zusammenfassung: Mit der Modulationseinrichtung auf der Basis von Elektrobenetzungszellen (EW-Zellen) sollen in jeder EW-Zelle von einfallendem Licht die Phase oder Amplitude oder beide gleichzeitig als komplexer Wert moduliert werden.

Eine EW-Zelle der Modulationseinrichtung weist mindestens eine Kammer mit mindestens zwei durch eine Grenzfläche getrennte Fluide, äußere und innere Elektroden, die durch Steuermittel steuerbare Elektrodenpaare bilden, wobei mindestens ein Elektrodenpaar das Niveau der Grenzflächen in der Kammer steuert. Erfindungsgemäß sind die inneren, untereinander funktionell unabhängigen Elektroden in der Kammer parallel zueinander so angeordnet, dass sie die Kammer in zwei gekoppelte Bereiche mit zwei steuerbaren Grenzflächen teilen, wobei mindestens ein Bereich transparent ist und den Lichtweg bildet. Zur Phasenmodulation werden die Grenzflächen in den Bereichen bei Ansteuerung mindestens eines Elektrodenpaares so gegeneinander verschoben, dass die Weglänge der Lichtbündel gegenüber einem Ausgangswert geändert wird. Andere Modulationsarten sind durch zusätzliche Mittel möglich. Anwendungsgebiete sind Lichtmodulationseinrichtungen in beispielsweise holographischen Displays.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Modulationseinrichtung mit einer Modulatomatrix zum Modulieren von kohärentem Licht. Die Modulatomatrix enthält ein Array von Zellen, die nach dem Prinzip der Elektrobenetzung (engl. electrowetting) funktionieren. Eine Elektrobenetzungszelle weist mindestens eine Kammer mit mindestens zwei nicht mischbaren Fluiden, die durch eine steuerbare Grenzfläche getrennt sind, sowie durch Steuermittel steuerbare Elektrodenpaare aus inneren und äußeren Elektroden auf. Die Seitenwände der Kammer enthalten die äußeren Elektroden und innerhalb der Kammer sind die inneren Elektroden angeordnet. Mindestens ein Elektrodenpaar steuert die Grenzfläche.

[0002] Anwendungsgebiet der Erfindung sind z. B. holographische Wiedergabeeinrichtungen wie holographische Displays, mit denen ein aus Objektpunkten bestehendes dreidimensionales Objekt (3D-Objekt) rekonstruiert werden kann. Ein derartiges holographisches Display ist so ausgebildet, dass entweder mehreren Betrachtern zur gleichen Zeit das gleiche 3D-Objekt dargestellt wird. Oder die Betrachter können verschiedene, selbst ausgewählte Programme unabhängig voneinander aber zur gleichen Zeit sehen.

[0003] Modulationseinrichtungen weisen entsprechend ihrem Anwendungsprofil eine Modulatomatrix zum Modulieren von entweder der Phase oder der Amplitude von nahezu kohärentem Licht in den Zellen dieser Modulatomatrix auf. Daneben ist es bekannt, zwei Modulatomatzen zu einem Doppelmodulator zu kombinieren, um gleichzeitig Phase und Amplitude des einfallenden kohärenten Lichts zu modulieren. Mit diesen Einrichtungen, die eine Modulation komplexer Werte realisieren, können bessere Ergebnisse z. B. in der Objektrekonstruktion holographischer Displays erreicht werden. Einander zugeordnete Modulatorzellen haben in einer derartigen Kombination aber nicht zu vernachlässigende Abstände senkrecht zur optischen Achse oder längs der optischen Achse, die z. B. bei einer holographischen Rekonstruktion eines dreidimensionalen Objektes zu Rekonstruktionsfehlern führen.

[0004] Durch die Integration von steuerbaren Elektrowetting-Zellen (EW-Zellen), die zusätzlich zur oder anstelle der Modulatomatrix in der Modulationseinrichtung einsetzbar sind, lässt sich das vermeiden. Die EW-Zellen haben außerdem den Vorteil, dass sie schnelle Schaltzeiten realisieren können.

[0005] Bevorzugt sind die EW-Zellen als eine mit Steuerelektroden verbundene Kammer ausgebildet. Diese weist wenigstens zwei nicht miteinander mischbare Fluide mit unterschiedlicher Brechzahl auf, wobei das eine Fluid ein elektrisch leitendes Me-

dium ist. Die Grenzfläche (Meniskus) zwischen den Fluiden kann unter dem Einfluss einer aktivierten Spannung z. B. eine Prismen- oder Linsenform zum Ablenken oder Abbilden von Strahlenbündeln annehmen.

[0006] Aus der EW-Zelle werden beispielsweise die Volumen der Fluide in andere mit der EW-Zelle verbundene Räume verschoben, um vorgegebene Grenzflächen zu realisieren. Das Verschieben erfolgt z. B. durch mit der EW-Zelle verbundene Pumpen oder durch Mittel, die eine Kapillarwirkung für mindestens ein Fluid hervorrufen.

[0007] Diese Modulationseinrichtungen mit EW-Zellen sind für spezielle Anwendungen ausgebildet. Als Modulatoren modulieren sie das Licht meist nur in einer Eigenschaft.

[0008] Im Dokument WO 2004/027490 A1 ist ein schaltbares optisches Element mit einer EW-Zelle für Scanner vorgeschlagen, die zwei Fluide und einen Wellenfrontwandler enthält. Eine Volumenverschiebung der Fluide findet z. B. in Ringkammern statt. Der Wellenfrontwandler weist unterschiedlich stark ausgebildete Oberflächenreliefstrukturen zum Modulieren der Phase auf. Je nach angelegter Spannung wird das Oberflächenreliefprofil des Wellenfrontwandlers von der ersten oder zweiten Flüssigkeit, die einen unterschiedlichen Brechungsindex haben, eingebettet. Der Beugungswirkungsgrad einer Fresnel-Zonenlinse ist von ihren festen Gitterperioden und vom vorliegenden Brechungsindexhub abhängig. Ändert sich der Brechungsindex der Einbettung, so ändert sich das Verhältnis von ungebeugtem Licht zu gebeugtem Licht und somit die Intensität im Fokus. Der Fokus ist auf diese Weise nicht kontinuierlich verschiebbar. Bei unterschiedlichen Wellenlängen (CD: 780 nm, DVD: 650 nm, Blu-ray: 405 nm) liegt der Fokus in unterschiedlichen Tiefen.

[0009] Mit dem Wellenfrontwandler kann die EW-Zelle die Phasenhübe der beugenden Strukturen ändern, um diese für verschiedene Wellenlängen zu optimieren. Mit diesen kann in einem Medium in unterschiedlichen, diskreten Tiefen gespeicherte Information schnell abgetastet werden. Diese Anordnung ist aber nicht geeignet, alle Objektpunkte eines dreidimensionalen Objektes mit ihren variablen Tiefen wiederzugeben.

[0010] Weiterhin wird von Ch. Grillet u. a. in „Optofluidics enables compact tuneable interferometer“, (01-02-2005 veröffentlicht) der Einsatz von Fluiden für die optische Modulation mit einem abgewandelten Mach-Zehnder Interferometer (MZ Interferometer) beschrieben.

[0011] Ein konventionelles MZ Interferometer teilt ein Strahlenbündel normalerweise in zwei räumlich

getrennte Komponenten und erzeugt dadurch einen Phasenunterschied, der z. B. für eine gezielte Phasenmodulation verwendet werden kann. Im abgewandelten MZ Interferometer von Grillet u. a. erfolgt die Strahlteilung innerhalb eines Strahlenbündels mittels Aperturteilung. Das Strahlenbündel breitet sich zwischen den Enden von zwei Glasfasern (SMF) aus, die ein senkrecht zur Ausbreitungsrichtung verlaufendes Kapillargefäß einschließen. Im Kapillargefäß wird der Meniskus zwischen einem Fluid und Luft erzeugt, wobei dessen Form und Lage das durchtretende Strahlenbündel beeinflussen. Da ein Teil des Strahlenbündels in Luft und ein Teil im Fluid verlaufen, entsteht ein Unterschied der Weglängen und beide Strahlenteile treffen mit einem Phasenunterschied aufeinander. Dieser verursacht eine Änderung der Transmission des Strahlenbündels. Die geringste Transmission tritt bei zentriertem Meniskus auf. Je weiter sich der Meniskus vom Zentrum des Strahlenbündels entfernt, umso größer wird die Transmission. Die Lage des Meniskus kann über den Elektrobenetzungseffekt eingestellt werden, wodurch eine schnelle Modulation möglich ist.

[0012] Nachteilig bei dieser Anordnung ist das Auftreten von Lichtverlusten, die durch die Reflexion des Lichts an den Übergängen zwischen den einzelnen verwendeten Materialien Silizium, Luft, Wasser, Luft, Silizium auftreten. Die Anordnung senkrecht zur Lichtausbreitungsrichtung angeordneter Menisken erzielt weiterhin deformierte Wellenfronten, die eine Anwendung dieser Lösung zur Amplituden- oder Phasenmodulation des Lichts in holographischen Wiedergabeeinrichtungen verhindern. Eine Rekonstruktion eines Objektes würde damit nicht fehlerfrei sein.

[0013] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Lichtmodulationseinrichtung auf Basis der Elektrobenetzung mit Zellenbereichen zu schaffen, die von einfallendem Licht die Phase oder die Amplitude oder beide gleichzeitig als komplexen Wert modulieren können. Die Zellenbereiche sollen einfach gestaltet, schnell schaltbar und serienmäßig als ein Array herstellbar sein. Weiterhin soll die Lichtmodulationseinrichtung so ausgebildet sein, dass das modulierte Licht beim Einsatz für eine holographische Wiedergabeeinrichtung zur Rekonstruktion dreidimensionaler Objekte eine ebene Wellenfront bildet.

[0014] Die Lichtmodulationseinrichtung beruht auf einer matrixförmigen Anordnung von Elektrobenetzungszellen, bei der eine Elektrobenetzungszelle (EW-Zelle) mindestens eine Kammer mit mindestens zwei durch eine Grenzfläche getrennte Fluide sowie durch Steuermittel steuerbare Elektrodenpaare aufweist, wobei die Seitenwände der Kammer äußere Elektroden enthalten und innerhalb der Kammer innere Elektroden angeordnet sind und mindestens ein Elektrodenpaar das Niveau der Grenzflächen in der

Kammer steuert.

[0015] Erfindungsgemäß löst die Lichtmodulationseinrichtung die Aufgabe dadurch, dass

- die inneren, untereinander funktionell unabhängigen Elektroden in der Kammer parallel zueinander so angeordnet sind, dass sie die Kammer in zwei gekoppelte Bereiche mit zwei steuerbaren Grenzflächen teilen, wobei mindestens ein Bereich transparent ist und den Lichtweg für einfallende Lichtbündel bildet, und
- die Grenzflächen in beiden Bereichen nach einer Ansteuerung mindestens eines Elektrodenpaares eine Position zueinander aufweisen, welche die Weglänge der Lichtbündel beim Passieren des transparenten Bereichs gegenüber einem Ausgangswert ändert.

[0016] Zum Ausführen verschiedener Modulationen der einfallenden Lichtbündel ist die Kammer mit einer oberen und einer unteren Abdeckplatte versehen, die im Lichtweg transparente Bereiche aufweisen. Zweckmäßigerweise ist jeder Seitenwand einer EW-Zelle eine äußere Elektrode zugeordnet, durch welche eine bei angelegter Spannung auftretende Temperaturerhöhung kompensiert werden kann.

[0017] Die erste Ausgestaltung der EW-Zelle erzeugt eine Phasenmodulation dadurch, dass die Änderung der Weglänge der aus der Kammer austretenden Lichtbündel einer relativen Phasenverschiebung entspricht. Diese kann durch eine Anordnung realisiert werden, bei der eine innere Elektrode mit einer vorgegebenen Neigung zu einer äußeren Elektrode angeordnet ist und mit ihr ein Elektrodenpaar bildet. Eine weitere Anordnung zur relativen Phasenverschiebung sieht vor, dass einer äußeren Elektrode anstelle einer einzelnen inneren Elektrode mehrere parallel zueinander angeordnete innere Elektroden zugeordnet sind. Dadurch kann die Kapillarwirkung für die Fluide in dem Bereich der Kammer, der nicht im Lichtweg liegt, erhöht und das Niveau der Grenzflächen schneller verschoben werden.

[0018] In einer ersten Ausgestaltung der Amplitudenmodulation können die Anordnungen und Komponenten benutzt werden, wie sie in der ersten Ausgestaltung der Phasenmodulation beschrieben werden. Zusätzlich muss aber ein Fluid in der Kammer eingefärbt sein, um die Intensität der Lichtbündel zu beeinflussen. Neben der relativen Änderung der Weglänge der Lichtbündel im Lichtweg wird zusätzlich die Intensität der Lichtbündel geändert und damit eine Amplitudenmodulation ausgeführt.

[0019] Weisen sowohl das eingefärbte, Licht absorbierende Fluid als auch das transparente Fluid für eine vorgegebene Wellenlänge den gleichen Brechungsindex auf, so wird nur die Amplitude, jedoch nicht die Phase moduliert.

[0020] Eine zweite Ausbildung zum Realisieren der Amplitudenmodulation sieht vor, dass ein Fluid in der Kammer ein doppelbrechendes Material aufweist, das bei angelegter Spannung in mindestens einem Bereich eine Orientierung erhält. Gleichzeitig werden die beiden Polarisationsanteile des einfallenden Lichtbündels, die TE- und die TM-Polarisation, in der Phase, die sie relativ zueinander aufweisen, moduliert. Durch die angelegte Spannung ändert sich das Niveau der Grenzfläche im transparenten Bereich und damit die optische Weglänge des Lichtbündels. Der Absolutbetrag dieser Änderung liegt dabei im Allgemeinen über dem Absolutbetrag der Änderung der relativen Phase.

[0021] Zur Orientierung des doppelbrechenden Materials in der Kammer sind verschiedene Mittel anwendbar.

[0022] Zum einen kann das doppelbrechende Material durch ein elektrisches oder ein magnetisches Feld orientiert werden, das auf die Kammer einwirkt. Dabei muss im doppelbrechenden Material ein elektrisches oder ein magnetisches Dipolmoment vorliegen.

[0023] Zum einen kann die innere Oberfläche der Kammer strukturiert sein, um die doppelbrechenden Moleküle zu orientieren. Die Strukturierung, welche beispielsweise die Ausrichtung angelagerter Flüssigkristalle bewirkt, kann sich auf der Innenseite der Abdeckplatte und/oder auf der Innenseite der Seitenwände des optisch wirksamen Bereichs befinden.

[0024] Weiterhin muss am Eingang der EW-Zelle ein Polarisationszustand definiert und am Ausgang ein Analysator angeordnet werden. Diese Forderung erfüllen z. B. vor und hinter der EW-Zelle angeordnete Polarisationsfilter.

[0025] Zum Realisieren der Amplitudenmodulation nach dem Vereinigen der Lichtbündel außerhalb der EW-Zelle wird das Niveau der Grenzfläche in beiden Bereichen durch die Elektrodenpaare so eingestellt, dass in jedem Bereich eine gleich große, ein unterschiedliches Vorzeichen aufweisende Phasendifferenz vorliegt.

[0026] Das notwendige Zusammenführen zweier beispielsweise nur in der Phase modulierter Lichtbündel kann durch einen Lichtmischstab am Ausgang der modulierenden Elemente, also der EW-Zelle, erfolgen. Die zur Homogenisierung des Lichtes notwendige Länge des Lichtmischstabes kann durch eine leicht streuende Fläche oder durch diffraktive oder/und refraktive Elemente am Eingang des Lichtmischstabes reduziert werden. Am Ausgang des Lichtmischstabes kann vorteilhaft auch eine streuende Fläche angeordnet sein.

[0027] In einer Ausgestaltung zur komplexen Modulation der einfallenden Lichtbündel weist die Einrichtung eine Kammer mit zusätzlich einem dritten Fluid mit unterschiedlicher Brechzahl sowie eine weitere Anordnung von Elektrodenpaaren auf, wobei eine Anordnung von Elektrodenpaaren zum Modulieren der relativen Phase zwischen den TE- und TM-Polarisationen und die andere Anordnung von Elektrodenpaaren zum Modulieren der Gesamtphase vorgesehen ist. Wenigstens eines der drei Fluide ist ein doppelbrechendes Material. Die relative Phase zwischen den TE- und TM-Polarisationen entspricht der Amplitude des Lichtbündels, wie sie nach dem Analysator vorliegt.

[0028] In weiterer Ausbildung der Erfindung kann die Kammer der EW-Zelle zur Lichtmodulation nach dem Prinzip des Mach-Zehnder Interferometers ausgebildet sein.

[0029] Eine Mach-Zehnder Anordnung realisiert eine dritte Ausgestaltung der Amplitudenmodulation in der EW-Zelle. Dazu sind beide Bereiche der Kammer transparent ausgebildet.

[0030] Die Grenzflächen der zwei Bereiche werden durch Ansteuerung mindestens eines Elektrodenpaares so eingestellt, dass die Lichtbündel in diesen Bereichen zwei unterschiedliche Weglängen durchlaufen. Die Änderung der Weglänge innerhalb der zwei Bereiche gegenüber einem Ausgangswert führt zu einer Phasendifferenz, die für die Lichtbündel relativ zueinander vorliegt.

[0031] Stellt das Elektrodenpaar das Niveau der Grenzflächen in beiden Bereichen so ein, dass in jedem Bereich eine gleich große, jedoch ein unterschiedliches Vorzeichen aufweisende Phasendifferenz erzeugt wird, realisieren die Lichtbündel nach ihrem Zusammenführen eine Amplitudenmodulation. Der Wert der Amplitude kann im Bereich zwischen 0 und maximaler Intensität auf einen beliebigen Wert eingestellt werden.

[0032] Die Mach-Zehnder Anordnung in der EW-Zelle kann weiterhin zur Phasenmodulation genutzt werden.

[0033] Dazu weist die Kammer zwei untereinander verbundene Bereiche mit Grenzflächen auf, wobei ein Bereich im Lichtweg liegt und ein Bereich für Licht undurchlässig ist. Der undurchlässige Bereich wird durch mindestens ein Elektrodenpaar so angesteuert, dass die im Lichtweg liegende Grenzfläche eine Verschiebung erhält, aus der eine Änderung der Weglänge für die passierenden Lichtbündel resultiert, die einer relativen Phasenverschiebung zur Phasenmodulation entspricht.

[0034] Eine erste Ausgestaltung zur komplexen Mo-

dulation basiert ebenfalls auf der Mach-Zehnder Anordnung.

[0035] Vorzugsweise werden zwei identisch ausgebildete, benachbarte Kammern mit jeweils einer Mach-Zehnder Anordnung funktionell zu einer EW-Zelle vereint. Dabei liegen zwei aus beiden Kammern gebildete benachbarte Bereiche im Lichtweg. Elektrodenpaare verschieben die im Lichtweg liegenden Grenzflächen der benachbarten Bereiche beider Kammern unabhängig voneinander zusätzlich, um zu der in jeder Kammer erzeugten relativen Phasenverschiebung eine zusätzliche Phasenverschiebung der Lichtbündel zum Ausführen der komplexen Modulation zu erhalten.

[0036] In jeder Kammer stellen Elektrodenpaare bei Ansteuerung durch die Steuermittel die Grenzflächen in den Bereichen ein und ändern die Weglängen der passierenden Lichtbündel unabhängig voneinander. Das aus der Summe dieser zwei Lichtbündel erzeugte Lichtbündel nach dem Passieren beider Kammern ist komplex moduliert.

[0037] In einer zweiten Ausgestaltung der komplexen Modulation wird das Mach-Zehnder Interferometer in der EW-Zelle durch zwei unabhängig voneinander ansteuerbare benachbarte Kammern mit jeweils drei Fluiden realisiert. Die Grenzflächen der Fluide jeder Kammer bilden bei Ansteuerung durch die Steuermittel eine planparallele Platte aus, die zwischen den benachbarten Kammern eine unterschiedliche Neigung aufweisen, um die passierenden Lichtbündel komplex zu modulieren.

[0038] Um eine ebene Wellenfront zur holographischen Rekonstruktion eines 3D-Objektes zu realisieren, kann der transparente Bereich Mittel zum Eineben der Grenzfläche umfassen. So kann z. B. innerhalb des transparenten Bereichs eine umlaufende Elektrode angeordnet werden, deren Ansteuerspannung einen Kontaktwinkel von 90° zwischen Grenzfläche und Seitenwand erzeugt.

[0039] Zweckmäßigerweise kann zum Einstellen der ebenen Grenzfläche die Oberfläche der Seitenwände innerhalb des transparenten Bereichs der EW-Zelle beschichtet sein.

[0040] Zum Einstellen einer ebenen Ausgangswellenfront kann z. B. am Ausgang der EW-Zelle eine Mikrolinse angeordnet werden, deren Apertur dem Querschnitt der austretenden Lichtbündel entspricht.

[0041] Die erfindungsgemäße Modulationseinrichtung auf der Basis von EW-Zellen, welche Kapillarkräfte zum beliebigen Ändern von vorgegebenen Grenzflächen zwischen den Fluiden der EW-Zelle benutzen, weist zu bekannten Lichtmodulationseinrichtungen verschiedene Vorteile auf.

[0042] Die einzelnen EW-Zellen haben einen einfachen Aufbau und können sehr klein ausgeführt werden. Durch die geringe Menge von Fluiden, die in ihnen zu bewegen ist, können die Grenzflächen bei einer Ansteuerung sehr schnell ihre Form und/oder Lage ändern. Durch ihren einfachen Aufbau sind sie serienmäßig und kostengünstig als ein Array in verschiedenen Größen herstellbar. Als Fluide stehen je nach Verwendungszweck verschiedene Materialkombinationen zur Verfügung. Mit diesen Vorteilen sind sie für den Einsatz zum Modulieren der Phase, der Amplitude oder von komplexen Werten von kohärenten Lichtbündeln in verschiedenen technischen Bereichen anwendbar. Insbesondere eignen sie sich für ein holographisches Displaygerät zum Rekonstruieren eines dreidimensionalen Objektes, das durch sehr viele einzelne Objektpunkte dargestellt wird.

[0043] Anhand von Ausführungsbeispielen wird die erfindungsgemäße Einrichtung zur Lichtmodulation näher beschrieben. In den dazugehörigen Zeichnungen zeigen schematisch in Schnittdarstellung

[0044] [Fig. 1a](#), [Fig. 1b](#) zwei Ausführungsbeispiele einer EW-Zelle zur Phasenmodulation von kohärenten Lichtbündeln,

[0045] [Fig. 2](#) ein Ausführungsbeispiel einer EW-Zelle zur Amplitudenmodulation,

[0046] [Fig. 3](#) ein Ausführungsbeispiel einer EW-Zelle auf der Basis eines Mach-Zehnder Interferometers zur Modulation von Lichtbündeln,

[0047] [Fig. 4](#) ein Ausführungsbeispiel einer EW-Zelle zur Amplitudenmodulation nach [Fig. 3](#),

[0048] [Fig. 5](#) ein Ausführungsbeispiel einer EW-Zelle zur komplexen Modulation nach [Fig. 3](#),

[0049] [Fig. 6](#) ein Ausführungsbeispiel, bei dem in der Mach-Zehnder Anordnung planparallele Platten zur komplexen Modulation ausgebildet sind, in Draufsicht,

[0050] [Fig. 7](#) ein Ausführungsbeispiel nach [Fig. 5](#), dem eine Anordnung zum Zusammenführen geteilter Lichtbündel zugeordnet ist,

[0051] [Fig. 8](#) ein weiteres Ausführungsbeispiel einer EW-Zelle zur komplexen Modulation,

[0052] [Fig. 9a](#), [b](#) Modifikationen zu [Fig. 1a](#) und

[0053] [Fig. 10a](#), [b](#) Modifikationen zu [Fig. 4](#).

[0054] In den Figuren, außer [Fig. 6](#), sind die EW-Zellen vereinfacht und schematisch mit den für das Verständnis der Erfindung nötigen Details in Vorderansicht dargestellt. Eine Vielzahl dieser EW-Zel-

len bildet in einer regulären Anordnung ein Array zur Lichtmodulation. Weitere wesentliche Komponenten der erfindungsgemäßen Einrichtung sind von Steuermitteln gesteuerte Elektrodenpaare. Je nach Art der Modulation treten zusätzliche Komponenten hinzu.

[0055] Jede EW-Zelle enthält eine Kammer mit inneren und äußeren Elektroden, wobei die inneren Elektroden vorteilhafterweise durchsichtig ausgebildet sind. Mindestens zwei nichtmischbare Fluide mit unterschiedlicher Brechzahl sind durch eine Grenzfläche getrennt. Ein Fluid kann eine Flüssigkeit, ein gelförmiges oder ein gasförmiges Medium sein. Von zwei benachbarten Fluiden ist ein Fluid immer elektrisch leitend und damit durch Elektroden steuerbar. Im Lichtweg ist hier das erste Fluid das elektrisch leitende Fluid und weist ein definiertes Potential auf. Dieses Potential kann beispielsweise an der Innenseite einer Abdeckplatte anliegen. Die dem elektrisch leitenden Fluid zugewandte Seite der Abdeckplatte ist dann z. B. mit einer transparenten Elektrode beschichtet.

[0056] Unter einer Änderung des Niveaus der Grenzfläche im Bereich des Lichtwegs ist eine Änderung des Füllstands des leitenden Fluids in der Kammer zu verstehen, die durch Ansteuerung eines oder mehrerer Elektrodenpaare erzeugt wird. Durch den transparenten Bereich einer Kammer verläuft immer der Lichtweg der Lichtbündel. Pfeile kennzeichnen die Lichtwege einfallender Lichtbündel.

[0057] In [Fig. 1a](#) ist die Kammer einer EW-Zelle als Schnittdarstellung in Vorderansicht zu sehen. Die Kammer weist Seitenwände mit äußeren Elektroden E_1 und E_4 sowie eine obere und eine untere Abdeckplatte auf. Die obere Abdeckplatte ist transparent, die untere Abdeckplatte hat einen transparenten und einen nicht transparenten Bereich. Eine Einrichtung von zwei inneren Elektroden E_2 , E_3 erstreckt sich von einer Seitenwand zur gegenüberliegenden Seitenwand und teilt die Kammer in zwei Bereiche. Die Fluide in beiden Bereichen stehen untereinander in Verbindung, sie sind miteinander gekoppelt. Der von dem Elektrodenpaar E_1 , E_2 eingeschlossene Bereich liegt im Lichtweg und ist der optisch wirksame Bereich. Im anderen Bereich werden die Lichtbündel durch den nicht transparenten Bereich der Abdeckplatte am Eintreten gehindert. Hier ist die innere Elektrode E_3 mit einer vorgegebenen Neigung zur äußeren Elektrode E_4 angeordnet. Die Elektroden E_3 und E_4 bilden ein steuerbares Elektrodenpaar. Durch die Neigung verringert sich der Abstand beider Elektroden zueinander, wodurch die Kapillarwirkung zwischen ihnen erhöht wird.

[0058] In [Fig. 1b](#) ersetzen mehrere parallel zueinander angeordnete Elektroden E_3 das Elektrodenpaar E_3 , E_4 der [Fig. 1a](#). Die Elektroden werden alle mit der gleichen Spannung versorgt. Abhängig von

der angelegten Spannung kann das Niveau der Grenzfläche zwischen den Elektroden E_3 gleichmäßig verändert werden, was zu einer Änderung des Niveaus der Grenzfläche im Bereich des Lichtwegs führt.

[0059] Die Änderung der Position der Grenzfläche im Bereich des Lichtwegs in [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) führt z. B. dazu, dass der Anteil des optisch dichteren Fluids im transparenten Bereich zunimmt und sich damit die Weglänge des Lichtbündels gegenüber einem Ausgangswert ändert. Wenn es die Kammer passiert hat, weist das Lichtbündel eine vorgegebene Phasenverschiebung auf, die von der Änderung der Weglänge abhängt. Ein Pfeil gibt in beiden Figuren die Lichtrichtung der einfallenden Lichtbündel an.

[0060] Zweckmäßigerweise ist jeder Seitenwand der EW-Zelle eine äußere Elektrode zuzuordnen. Eine Änderung der Temperatur verändert den Kontaktwinkel und somit die auf den Grenzflächen zwischen den Fluiden vorliegende Krümmung. Mittels einer variierbar angelegten Spannung kann die Krümmung der Grenzflächen auch bei einer Temperaturänderung konstant, d. h. vorzugsweise plan, gehalten werden.

[0061] Die in [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) dargestellte EW-Zelle kann in Kombination mit einem gefärbten Fluid auch zur Amplitudenmodulation genutzt werden. Das gefärbte Fluid kann z. B. Licht absorbierendes Öl sein. Je nach eingestelltem Niveau des gefärbten Fluids in der Kammer ändert sich die Intensität der durchgelassenen Lichtbündel.

[0062] Eine EW-Zelle nach [Fig. 1a](#) oder [Fig. 1b](#) kann auch zur Amplitudenmodulation genutzt werden, wenn das elektrisch leitende Fluid ein doppelbrechendes Material ist.

[0063] Dem Ausführungsbeispiel in [Fig. 2](#) liegt die EW-Zelle von [Fig. 1b](#) zugrunde, bei der das erste Fluid aber ein doppelbrechendes Material ist. Zusätzlich weist die EW-Zelle am Eingang und Ausgang Polarisationskomponenten auf, z. B. einen als Polarisator P1 und Analysator P2 ausgebildeten Polarisationsfilter. Die durch sie zu erzeugenden Polarisationsrichtungen für die Lichtbündel sind durch Pfeile dargestellt.

[0064] Der Polarisator P1 am Eingang der Kammer bzw. der EW-Zelle dient der Definition der Polarisation des einfallenden Lichts, die beispielsweise linear, zirkular oder elliptisch sein kann. Sie ist überflüssig, wenn eine definierte Polarisation des einfallenden Lichts am Eingang der Kammer vorliegt. Der Analysator P2 am Ausgang der Kammer bzw. der EW-Zelle kann eine beliebige Orientierung aufweisen. Vorteilhaft ist eine Ausbildung der EW-Zelle, bei der das Licht im spannungslosen Zustand hinter dem doppel-

brechenden Fluid eine lineare Polarisation hat. Die Orientierung des Analysators P2 ist dann so zu wählen, dass die Transmission ein Minimum aufweist. Das ergibt den Vorteil, dass beim Auftreten von Defekten an der EW-Zelle eine ständig dunkle EW-Zelle weniger stört als eine ständig leuchtende.

[0065] Wie zuvor schon beschrieben, erhält das einfallende Lichtbündel eine Phasenverschiebung. Durch eine strukturierte Oberfläche am Boden oder/und den Seitenwänden der Kammer oder durch ein elektrisches oder ein magnetisches Feld wird das doppelbrechende Fluid orientiert. Der Polarisator kann beispielsweise die Eingangspolarisation definieren. Sie kann als Summe einer TE- und einer TM-Komponente der Polarisation des Lichts angesehen werden, wobei die TE- und die TM-Komponente zwei zueinander orthogonale Komponenten sind.

[0066] Im Allgemeinen tritt zudem eine Änderung der optischen Weglänge in der Kammer auf, deren Absolutbetrag über dem Absolutbetrag der Änderung der relativen Phase liegt.

[0067] Die beispielsweise durch ein elektrisches Feld mindestens im transparenten Bereich der Kammer erzeugte Orientierung des doppelbrechenden Fluids bedingt einen optischen Weg, der für die TE- und die TM-Komponente der Polarisation der Lichtbündel unterschiedlich ist. Eine Änderung des Niveaus der Grenzfläche im transparenten Bereich führt dort zu einer Änderung der relativen Phase, die zwischen der TE- und der TM-Polarisation vorliegt, und somit zur Änderung des aus deren Überlagerung resultierenden Polarisationszustandes. Da der Analysator P2 nur einen definierten Polarisationszustand der Lichtbündel durchlässt, entspricht die Änderung des vor dem Analysator P2 vorliegenden Polarisationszustandes einer Änderung der Transmission, die hinter dem Analysator P2 zu beobachten ist.

[0068] Das Anlegen einer elektrischen Spannung, die zur Änderung des Füllstandes des doppelbrechenden Fluids im transparenten Bereich der Kammer führt, führt somit hinter dem Analysator zur Modulation der Amplitude.

[0069] Die EW-Zellen der [Fig. 1a](#), [Fig. 1b](#) und [Fig. 2](#) können so realisiert werden, dass die optische Achse im Lichtweg liegt und eine Symmetrieachse der EW-Zelle bildet. Der transparente Bereich der EW-Zelle ist dann beispielsweise von mehreren Pumpkammern, oder von einer umlaufenden Pumpkammer umgeben.

[0070] [Fig. 3](#) stellt ein allgemeines Ausführungsbeispiel einer EW-Zelle dar, die auf dem Prinzip eines Mach-Zehnder Interferometers basiert und zur Amplituden- und Phasenmodulation sowie zur Modulation komplexer Werte von einfallenden kohärenten Licht-

bündeln ausgebildet werden kann.

[0071] Die EW-Zelle der Mach-Zehnder-Anordnung hat hier beispielsweise einen eckigen Querschnitt und enthält Seitenwände sowie eine obere und eine untere transparente Abdeckplatte. Die Kammer der EW-Zelle ist durch eine Anordnung von Elektrodenpaaren E_1 ; E_2 in vorzugsweise zwei gleich große Bereiche geteilt, in denen zwei nicht mischbare Fluide miteinander in Verbindung stehen. Die Fluide sind durch eine Grenzfläche getrennt. Ändert sich das Niveau der Grenzfläche durch Einschalten eines Elektrodenpaares in mindestens einem Bereich, wirkt sich das auf das Niveau der Grenzfläche im anderen Bereich aus. In Abhängigkeit von der durchzuführenden Modulation der Lichtbündel ist wenigstens ein Bereich in der Kammer als ein transparenter, optisch wirksamer Lichtweg ausgestaltet. Durch ein Ansteigen oder ein Absinken des ersten Fluids, und damit des Niveaus der Grenzfläche, wird eine Änderung der Weglänge des durchlaufenden Lichtbündels im Lichtweg erreicht.

[0072] Um eine phasenmodulierende EW-Zelle zu erhalten, muss in [Fig. 3](#) nur ein Bereich der Kammer für einfallende Lichtbündel transparent sein. Die Grenzfläche der Fluide wird bei der Ansteuerung beider Elektrodenpaare E_1 ; E_2 gezielt in beiden Bereichen relativ zueinander verschoben. Die Spannungsänderung ist hier äquivalent der Verschiebung der Grenzfläche. Durch die Verschiebung ändert sich die Weglänge der Lichtbündel im transparenten Bereich, wodurch das Lichtbündel eine Phasenverschiebung erhält.

[0073] Im transparenten Bereich ist die Spannung nur konstant, wenn die Grenzfläche in diesem Bereich eben sein soll, also kein Meniskus erzeugt werden soll. Es könnte aber beispielsweise auch nur das im nicht durchlässigen Bereich angeordnete Elektrodenpaar zur Phasenmodulation angesteuert werden.

[0074] Man kann aber auch beide Bereiche in der Kammer lichtdurchlässig lassen und in beiden Bereichen eine Spannungsänderung erzeugen, was als „push-pull mode“ bezeichnet werden kann. Die optische Weglänge der die EW-Zelle passierenden Lichtbündel wird relativ zueinander geändert und erzeugt die beabsichtigte Phasenverschiebung. Sind die Grenzflächen in beiden Bereichen nicht eben, führt das einen zusätzlichen Phaseneffekt ein. Derartig ausgebildete EW-Zellen sind zum Erzeugen kleiner Aperturen mit einem Durchmesser < 1 mm geeignet, bei denen dieser Phaseneffekt vernachlässigt werden kann. Mit dieser EW-Zelle kann eine höhere Bildwiederholrate erzielt werden.

[0075] Für eine Amplitudenmodulation sind beide Bereiche der EW-Zelle gemäß [Fig. 4](#) lichtdurchlässig ausgebildet. Die Elektrodenanordnung aus zwei

Elektrodenpaaren E_1 und E_2 wird durch Steuermittel so gesteuert, dass in beiden Bereichen ein gleich großer absoluter Wert der Phasenverschiebung durch die Verschiebung der Grenzflächen realisiert wird. Der absolute Wert hat aber in beiden Bereichen ein entgegengesetztes Vorzeichen. Hier hat das erste Fluid, auf welches das einfallende Lichtbündel trifft, eine höhere Brechzahl als das zweite. Die Phasenverschiebung als Regelgröße bewirkt, dass sich die Intensität abhängig von der eingestellten Spannung im Bereich zwischen Überlagerung und Auslöschung bewegt. Die erzielte relative Phasenverschiebung ist durch $\Delta\varphi$ gekennzeichnet.

[0076] Eine komplexe Modulation oder auch eine Phasenmodulation können mit einer EW-Zelle realisiert werden, in der zwei Kammern K1; K2 mit jeweils einer Mach-Zehnder Anordnung nebeneinander angeordnet werden. Diese Kombination ist schematisch in [Fig. 5](#) dargestellt.

[0077] Jeweils die äußeren Bereiche der kombinierten EW-Zelle sind für Lichtbündel undurchlässig gestaltet durch z. B. eingeschwärzte Bereiche in der oberen und unteren Abdeckplatte. Die Lichtbündel passieren zwei durch eine Wand getrennte innere transparente Bereiche der Kammern K1 und K2. In diesen Bereichen werden die Grenzflächen unabhängig voneinander durch unabhängig voneinander einstellbare Elektrodenpaare von einem Ausgangsniveau auf unterschiedliche Niveaus eingestellt. Durch die Kombination der unterschiedlichen Niveaus legen Lichtbündel in den beiden Lichtwegen unterschiedliche Weglängen zurück. In jeder Kammer K1; K2 wird damit eine andere Phasenverschiebung erzeugt. Nach dem Passieren der EW-Zelle werden die Lichtbündel wieder vereint und sind komplex moduliert. Die komplexe Modulation des elektromagnetischen Feldes des Lichts ist durch eine Modulation der Phase, welche beide Lichtbündel gemeinsam aufweisen, und durch eine Modulation der relativen Phasendifferenz bzw. Phasenverschiebung $\Delta\varphi$ zwischen beiden Lichtbündeln definiert.

[0078] In [Fig. 6](#) ist ein Ausführungsbeispiel dargestellt, bei dem eine EW-Zelle zur komplexen Modulation auf Basis einer Mach-Zehnder Anordnung aus zwei unabhängig ansteuerbaren benachbarten Kammern K3; K4 mit jeweils drei Fluiden gebildet wird. Beide Kammern stellen optisch wirksame, transparente Bereiche dar. Zwei benachbarte Fluide in den Kammern sind nicht mischbar.

[0079] Die Grenzflächen in jeder Kammer K3; K4 werden durch nicht dargestellte Steuermittel so angesteuert, dass sie die gleiche Neigung aufweisen und das mittlere Fluid eine Planplatte ausbildet. Für die Ansteuerung der Grenzflächen werden für jede Kammer K3; K4 nur zwei Steuersignale benötigt.

[0080] Die Planplatte der einen Kammer wird mit einer anderen Neigung als die Planplatte der benachbarten Kammer eingestellt. Die Änderung der Neigung einer Planplatte entspricht einer Änderung der optischen Weglänge der Lichtbündel in der Kammer und damit einer Phasenänderung. Nach Austritt aus den Kammern K3; K4 überlagern sich die Lichtbündel mit ihren Phasenänderungen und erzeugen einen komplexen Wert. Die resultierende Amplitude wird über die relative Phasendifferenz $\Delta\varphi$ zwischen den beiden transparenten Bereichen definiert. Ohne den Wert der resultierenden Amplitude zu verändern, kann die Phase der überlagerten Lichtbündel geändert werden, indem in beiden benachbarten Bereichen die gleiche Änderung der optischen Weglänge durch Ansteuerung beider Elektrodenpaare erzeugt wird. Die relative Phase der beiden überlagerten Lichtbündel zueinander wird dabei nicht verändert. Somit wird eine komplexe Modulation der Lichtbündel erreicht.

[0081] Eine weitere Anordnung zur komplexen Modulation auf Basis der Mach-Zehnder Anordnung von [Fig. 5](#) zeigt [Fig. 7](#). Die EW-Zelle besteht wieder aus zwei voneinander unabhängigen Kammern K1; K2 mit jeweils einstellbaren Grenzflächen in zwei benachbarten transparenten Bereichen, die im Lichtweg liegen. Die äußeren Bereiche der kombinierten EW-Zelle sind für Lichtbündel undurchlässig gestaltet. Die Grenzflächen in den Bereichen der Kammer K1 werden unabhängig von den Grenzflächen in der benachbarten Kammer K2 durch die Ansteuerung der entsprechenden Elektrodenpaare in diesen Kammern auf unterschiedliche Niveaus eingestellt. Die eingestellten Änderungen der Grenzflächen in den transparenten Bereichen beider Kammern K1; K2 bewirken, dass die Weglängen der passierenden Lichtbündel nach Austritt aus der EW-Zelle zueinander unterschiedlich lang sind. Dies ist an der versetzten Darstellung der Pfeile für die Lichtbündel nach der Abdeckplatte zu erkennen. Das aus der Summe der zwei Lichtbündel erzeugte resultierende Lichtbündel wird komplex moduliert.

[0082] Entsprechend [Fig. 7](#) treffen die zwei Lichtbündel am Ausgang der modulierenden EW-Zelle auf eine teleskopartige Anordnung zweier Mikrolinsen, durch die sie zusammengeführt werden. Im Brennpunkt der ersten Linse ist ein streuendes Material angeordnet, das in vorteilhafter Weise auf der optischen Achse eine Aperturblende aufweist. Hat die zweite Linse im Vergleich zur ersten Linse eine größere Brennweite ($f_1 < f_2$), wird mit dieser Anordnung der Bündelquerschnitt vergrößert (Vergrößerung $V = f_2/f_1$). Innerhalb einer Matrixanordnung von EW-Zellen kann damit eine Vergrößerung des Füllfaktors der komplex modulierenden EW-Zellen realisiert werden. Gezielt ausgelegte Apodisationsprofile $t(x, y)$ einzelner EW-Zellen sind in Verbindung mit einem Füllfaktor $FF > 0,7$ gut geeignet, unerwünschte Beugungs-

ordnungen der einfallenden Lichtbündel zu unterdrücken. Insbesondere könnten Beugungsordnungen unterdrückt werden, die ein zu einem erzeugten Sichtbarkeitsbereich benachbartes Auge treffen würden. Daher ist eine Vergrößerung des Bündelquerschnittes nach dem Passieren der Matrixanordnung von Vorteil.

[0083] In [Fig. 8](#) ist ein weiteres Ausführungsbeispiel einer EW-Zelle zur komplexen Modulation dargestellt, der eine EW-Zelle nach [Fig. 2](#) zugrunde liegt.

[0084] Im Vergleich zu [Fig. 2](#) enthält die Kammer K zusätzlich zum ersten und zweiten Fluid ein drittes Fluid mit einer unterschiedlichen Brechzahl n_3 , z. B. Wasser mit geringer Salzlösung. Eines der drei Fluide ist ein doppelbrechendes Material, in diesem Fall ist es das erste Fluid mit der Brechzahl n_1 . Das zweite Fluid ist nicht leitend, z. B. Öl mit der Brechzahl n_2 .

[0085] Neben der Elektrodenanordnung mit dem Elektrodenpaar E_1 ; E_2 sowie den einzelnen Elektroden E_3 ist in der Kammer K eine weitere Elektrodenanordnung mit dem Elektrodenpaar E_4 ; E_5 sowie den einzelnen Elektroden E_6 vorgesehen. Die beiden Elektrodenpaare E_1 ; E_2 und E_4 ; E_5 begrenzen den transparenten Bereich der Kammer K und erzeugen bei Ansteuerung jeweils eine plane Grenzfläche zwischen benachbarten Fluiden. Die plane Grenzfläche ist nötig, um für eine holographische Rekonstruktion eine ebene Wellenfront zu erzeugen. Deshalb ist es zweckmäßig, in den Seitenwänden der EW-Zelle z. B. mehrere Elektroden anzuordnen.

[0086] Die Elektroden E_3 und E_6 können in weiterer Ausbildung auch durch eine Anordnung gemäß [Fig. 1a](#) ersetzt werden.

[0087] Ein Polarisator P1 und ein Analysator P2 definieren den Polarisationszustand von einfallenden und austretenden Lichtbündeln. Das in Pfeilrichtung mit einer definierten Polarisation in den unteren Teil der Kammer einfallende Lichtbündel erhält bei Ansteuerung der Elektroden E_3 eine relative Phasenverschiebung durch das erste doppelbrechende Fluid. Das bedeutet, dass die Phasenverschiebung für die TE- und die TM-Komponente unterschiedlich ist. Die relative Phasenverschiebung definiert in Kombination mit dem Analysator P2 die Amplitude, mit der das Lichtbündel die EW-Zelle verlässt. Beim Passieren des oberen Teils der Kammer K erhält das Lichtbündel bei Ansteuerung der Elektroden E_6 eine zusätzliche Phasenverschiebung, die für beide Polarisationskomponenten TE und TM gleich ist.

[0088] Für eine komplexe Modulation von einfallenden Lichtbündeln steuern die nicht dargestellten Steuermittel also ein Elektrodenpaar zum Modulieren der relativen Phase und das andere Elektrodenpaar zum Modulieren der Gesamtphase der Lichtbündel

an.

[0089] Die [Fig. 9](#) und [10](#) zeigen Mittel auf, um einen Meniskus der Grenzfläche im transparenten Bereich TB einer Kammer K der EW-Zelle einzuebnen.

[0090] Das Elektrodenpaar E_3 ; E_4 verschiebt bei Ansteuerung die Grenzfläche im transparenten Bereich TB aus ihrer Ausgangslage, wobei sich der Meniskus bildet. Trifft das einfallende Licht in [Fig. 9a](#) und [Fig. 10a](#) auf diesen Meniskus, so breitet sich hinter der Abdeckplatte eine gekrümmte Wellenfront aus. Zur holographischen Rekonstruktion von 3D-Objekten wird aber eine ebene Wellenfront benötigt.

[0091] Um den Meniskus innerhalb des transparenten Bereichs TB einzuebnen, kann eine in der Seitenwand umlaufende Elektrode angeordnet und mit einer Spannung angesteuert werden, die einen Kontaktwinkel von 90° zwischen Grenzfläche und Seitenwand erzeugt. Dies führt zu einer planen Grenzfläche zwischen den Fluiden, so dass eine ebene Wellenfront die EW-Zelle verlässt. Da der Kontaktwinkel temperaturabhängig ist, kann die Ansteuerspannung der umlaufenden Elektrode an eine Temperaturänderung angepasst werden.

[0092] Zum Einebnen der Grenzfläche kann innerhalb des transparenten Bereichs TB die Oberfläche der Seitenwände auch beschichtet oder so modifiziert werden, dass ein Kontaktwinkel von 90° zur Grenzfläche und damit eine plane Grenzfläche erzeugt wird.

[0093] Auf diese Mittel kann verzichtet werden, wenn gemäß [Fig. 9b](#) am Ausgang des transparenten Bereichs TB der EW-Zelle eine Mikrolinse M angeordnet wird. Deren Brechkraft ist so zu wählen, dass sie die durch den Meniskus eingeführte Wellenfrontkrümmung kompensiert. Die Apertur der Mikrolinse M wird so groß ausgeführt, dass sie dem Querschnitt der austretenden Lichtbündel entspricht. Vorzugsweise ist bei der Festlegung der Apertur der Meniskus zu berücksichtigen, der bei normaler Betriebstemperatur vorliegt.

[0094] Die Mikrolinse M kann an der Abdeckplatte angeordnet oder in die Abdeckplatte integriert sein. In [Fig. 10b](#) ist letzteres für zwei transparente Bereiche dargestellt. Es ist auch möglich, GRIN-(engl.: graded index)Linsen für diesen Zweck einzusetzen.

[0095] Die Pfeile in den [Fig. 9](#) und [10](#) kennzeichnen den Weg der Lichtbündel durch die EW-Zelle. Die gekrümmten und ebenen Linien nach dem Ausgang der EW-Zelle geben in den Figuren die Form der modulierten Lichtbündel an.

[0096] Das Einebnen der Grenzfläche ist nicht nötig, wenn die Lichtbündel nach dem Passieren der

EW-Zelle auf z. B. optische Mittel treffen, durch die sie vereint werden. Die optischen Mittel sind so ausgebildet und/oder angeordnet, dass sie die ebene Wellenfront erzeugen.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- WO 2004/027490 A1 [\[0008\]](#)

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- Ch. Grillet u. a. in „Optofluidics enables compact tuneable interferometer,, (01-02-2005 veröffentlicht) [\[0010\]](#)

Patentansprüche

1. Einrichtung zur Lichtmodulation mit matrixförmig angeordneten Elektrobenetzungszellen, bei der eine Elektrobenetzungszelle (EW-Zelle) mindestens eine Kammer mit mindestens zwei durch eine steuerbare Grenzfläche getrennte Fluide sowie durch Steuermittel steuerbare Elektrodenpaare aufweist, wobei die Seitenwände der Kammer äußere Elektroden enthalten und innerhalb der Kammer innere Elektroden angeordnet sind und mindestens ein Elektrodenpaar die Grenzfläche steuert, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- die inneren, untereinander funktionell unabhängigen Elektroden in der Kammer parallel zueinander so angeordnet sind, dass sie die Kammer in zwei gekoppelte Bereiche mit zwei steuerbaren Grenzflächen teilen, wobei mindestens ein Bereich transparent ist und den Lichtweg für einfallende Lichtbündel bildet, und
- die Grenzflächen in beiden Bereichen nach einer Ansteuerung mindestens eines Elektrodenpaares eine Position zueinander aufweisen, welche die Weglänge der Lichtbündel beim Passieren des transparenten Bereichs gegenüber einem Ausgangswert ändert.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, bei welcher die geänderte Weglänge der aus der Kammer austretenden Lichtbündel einer relativen Phasenverschiebung entspricht, die zur Phasenmodulation nutzbar ist.

3. Einrichtung nach Anspruch 1, bei der eine innere Elektrode (E_3) mit einer vorgegebenen Neigung zur äußeren Elektrode (E_4) angeordnet ist.

4. Einrichtung nach Anspruch 1, bei der einer äußeren Elektrode (E_3) mehrere parallel zueinander angeordnete innere Elektroden (E_3) zugeordnet sind, um die Kapillarwirkung in dem Bereich der Kammer (K), der nicht im Lichtweg liegt, zu erhöhen.

5. Einrichtung nach einem der Ansprüche 3 oder 4, bei welcher zusätzlich ein Fluid in der Kammer zum Ändern der Intensität der Lichtbündel eingefärbt ist.

6. Einrichtung nach einem der Ansprüche 3 oder 4, bei welcher ein Fluid ein doppelbrechendes Material aufweist, das eine Orientierung durch eine angelegte Spannung erhält, die gleichzeitig die Weglänge des einfallenden Lichtbündels ändert, wobei die TE- und TM-Polarisationen der einfallenden Lichtbündel relativ zueinander in der Phase moduliert werden.

7. Einrichtung nach Anspruch 6, bei welcher das doppelbrechende Material eine Orientierung durch Einschalten eines elektrischen oder eines magnetischen Feldes oder durch ein Strukturieren der inneren Oberfläche der Kammer (K) erhält.

8. Einrichtung nach Anspruch 6, bei welcher am Eingang der EW-Zelle ein definierter Polarisationszustand vorliegt und am Ausgang der EW-Zelle ein Analysator (P2) angeordnet ist.

9. Einrichtung nach Anspruch 6, bei welcher das Niveau der Grenzfläche in beiden Bereichen durch die Elektrodenpaare (E_1 ; E_2 ; E_3) so eingestellt ist, dass in jedem Bereich eine gleich große, ein unterschiedliches Vorzeichen aufweisende Phasendifferenz vorliegt, mit der die vereinigten Lichtbündel nach Passieren beider Bereiche eine Amplitudenmodulation realisieren.

10. Einrichtung nach Anspruch 6, bei welcher zusätzlich eine Matrix orientierter Polarisationsstreifen am Eingang und ein Diffusermittel in Kombination mit einem Lichtmischstab und einem Analysator am Ausgang der EW-Zelle angeordnet sind, um zusätzlich zwei unterschiedlich polarisierte Zustände der Lichtbündel zur Amplitudenmodulation zu erzeugen.

11. Einrichtung nach Anspruch 1, bei welcher die Kammer (K) der EW-Zelle zur Lichtmodulation nach dem Prinzip des Mach-Zehnder Interferometers ausgebildet ist.

12. Einrichtung nach Anspruch 11, bei welcher die Kammer (K) zwei untereinander verbundene Bereiche mit Grenzflächen aufweist, wobei ein Bereich im Lichtweg liegt und ein Bereich für Licht undurchlässig ist und durch mindestens ein Elektrodenpaar so angesteuert wird, dass die im Lichtweg liegende Grenzfläche eine Verschiebung erhält, aus der eine Änderung der Weglänge für die passierenden Lichtbündel resultiert, die einer relativen Phasenverschiebung zur Phasenmodulation entspricht.

13. Einrichtung nach Anspruch 11, bei welcher beide im Lichtweg liegende Bereiche der Kammer (K) bei Ansteuerung durch ein Elektrodenpaar eine Amplitudenmodulation realisieren.

14. Einrichtung nach Anspruch 12, die mit einer zusätzlichen identischen Kammer eine EW-Zelle bildet, bei der Elektrodenpaare die im Lichtweg liegenden Grenzflächen benachbarter Bereiche beider Kammern (K1; K2) unabhängig voneinander zusätzlich verschieben, um zu der in jeder Kammer (K1; K2) erzeugten relativen Phasenverschiebung eine zusätzliche Phasenverschiebung der Lichtbündel zum Ausführen der komplexen Modulation zu erhalten.

15. Einrichtung nach Anspruch 11, bei welcher das Mach-Zehnder Interferometer in der EW-Zelle durch zwei unabhängig voneinander ansteuerbare benachbarte Kammern (K3; K4) mit jeweils drei Fluiden realisiert wird, wobei die Grenzflächen der Fluide bei Ansteuerung durch die Steuermittel in jeder Kammer (K3; K4) eine planparallele Platte ausbilden, die

zueinander eine unterschiedliche Neigung aufweisen, um die Weglängen der passierenden Lichtbündel zu ändern und eine komplexe Modulation zu realisieren.

16. Einrichtung nach Anspruch 8, die zur komplexen Modulation der einfallenden Lichtbündel zusätzlich ein drittes Fluid aus doppelbrechendem Material und eine weitere Anordnung von Elektrodenpaaren aufweist, wobei eine Anordnung von Elektrodenpaaren zum Modulieren der relativen Phase zwischen den TE- und TM-Polarisationen und die andere Anordnung von Elektrodenpaaren zum Modulieren der Gesamtphase vorgesehen ist.

17. Einrichtung nach Anspruch 1, bei welcher der transparente Bereich (TB) Mittel zum Einebnen der Grenzfläche umfasst.

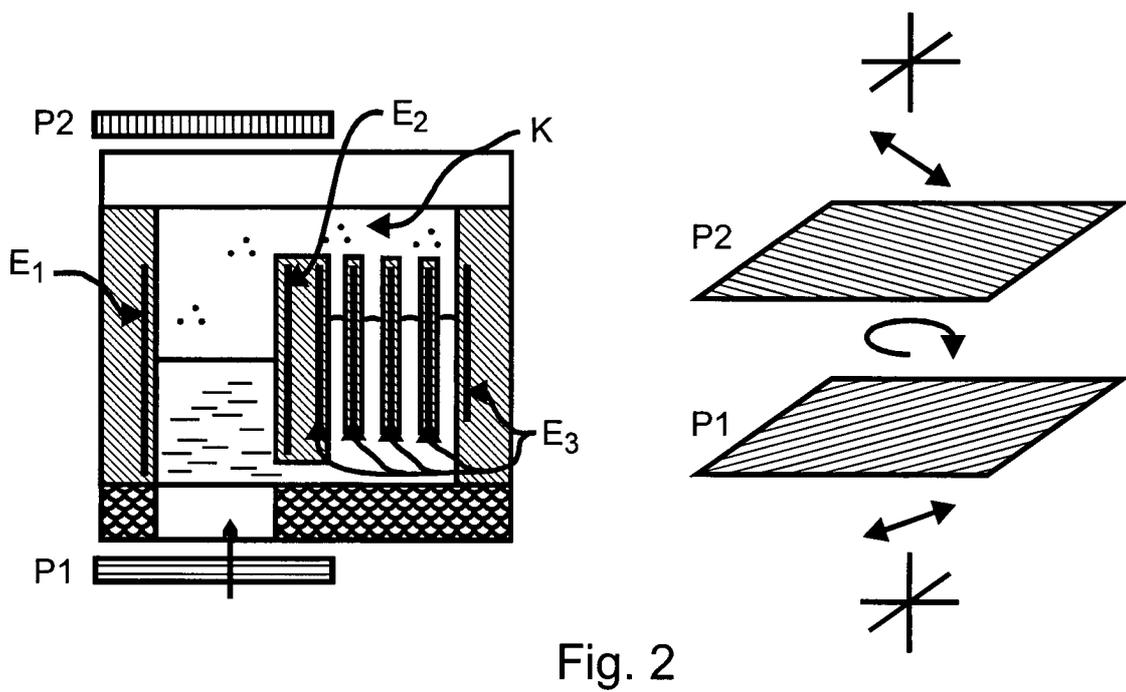
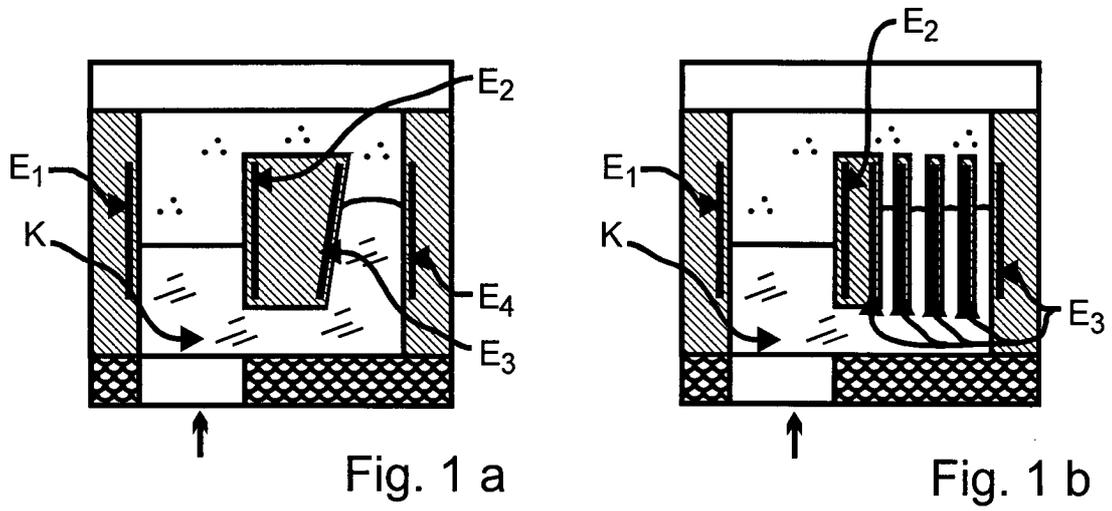
18. Einrichtung nach Anspruch 17, bei der innerhalb des transparenten Bereichs (TB) eine umlaufende Elektrode vorgesehen ist, deren Ansteuerspannung einen Kontaktwinkel von 90° zwischen Grenzfläche und Seitenwand erzeugt.

19. Einrichtung nach Anspruch 17, bei welcher die Oberfläche der Seitenwände innerhalb des transparenten Bereichs (TB) der Kammer (K) beschichtet ist.

20. Einrichtung nach Anspruch 1, bei der zum Einstellen einer ebenen Ausgangswellenfront am Ausgang der EW-Zelle eine Mikrolinse (M) angeordnet ist, deren Apertur dem Querschnitt der austretenden Lichtbündel entspricht.

Es folgen 5 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen



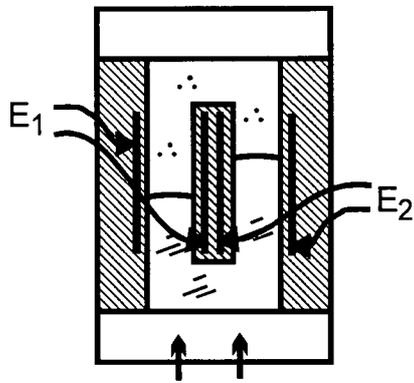


Fig. 3

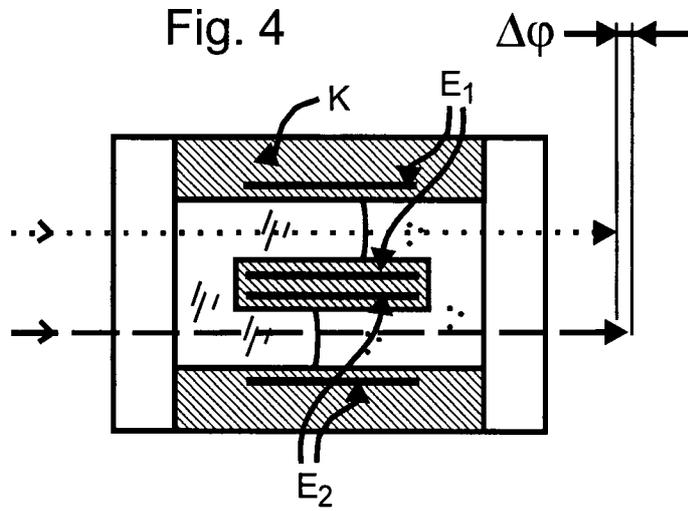


Fig. 4

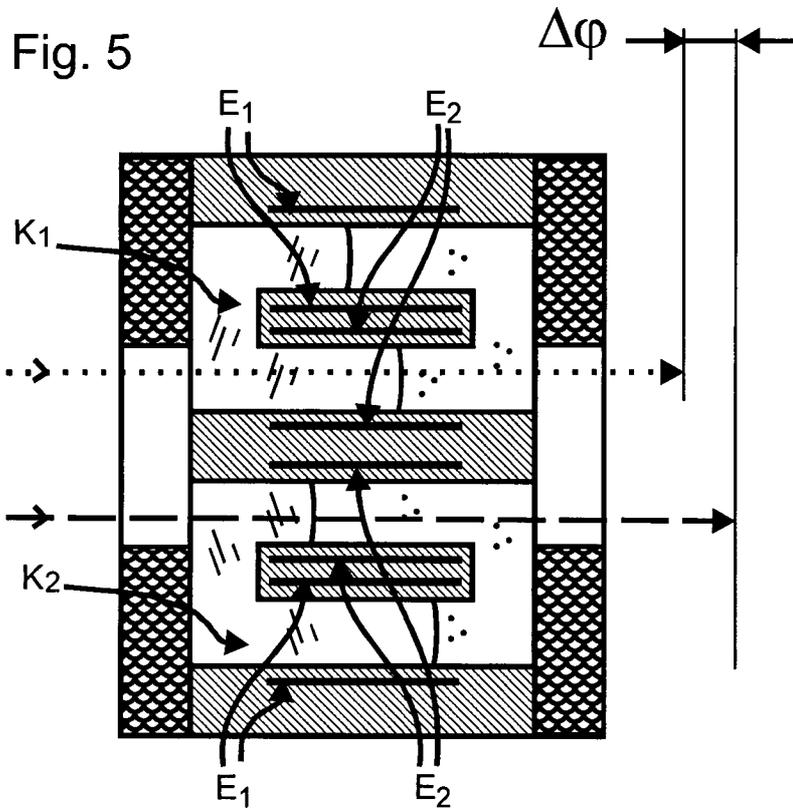


Fig. 5

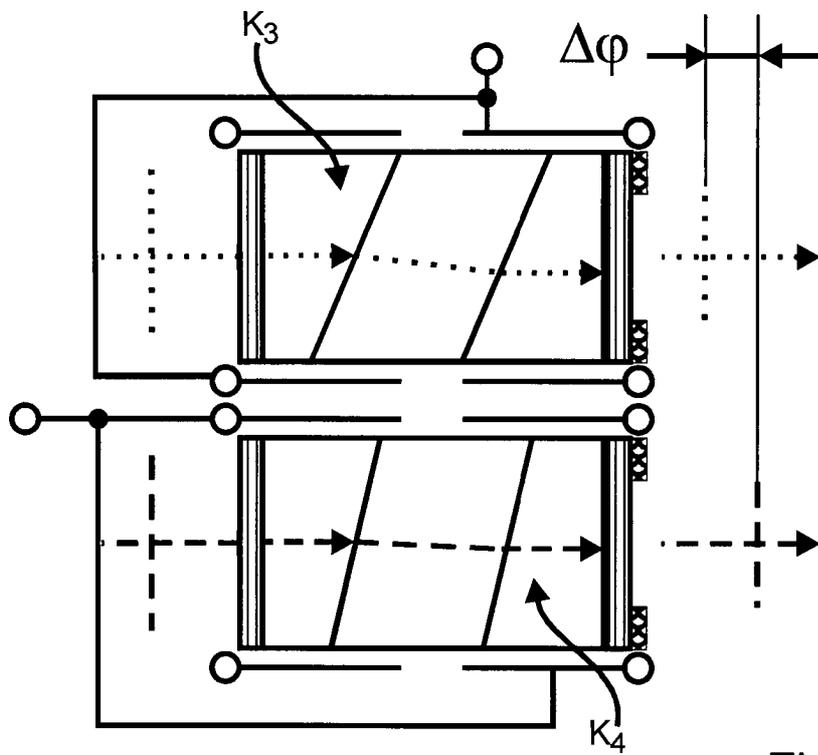


Fig. 6

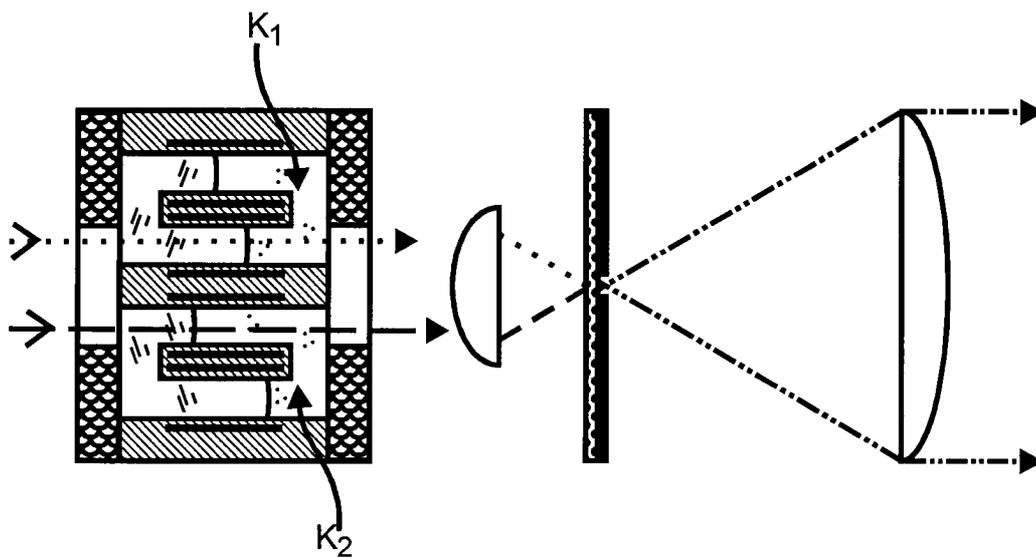


Fig. 7

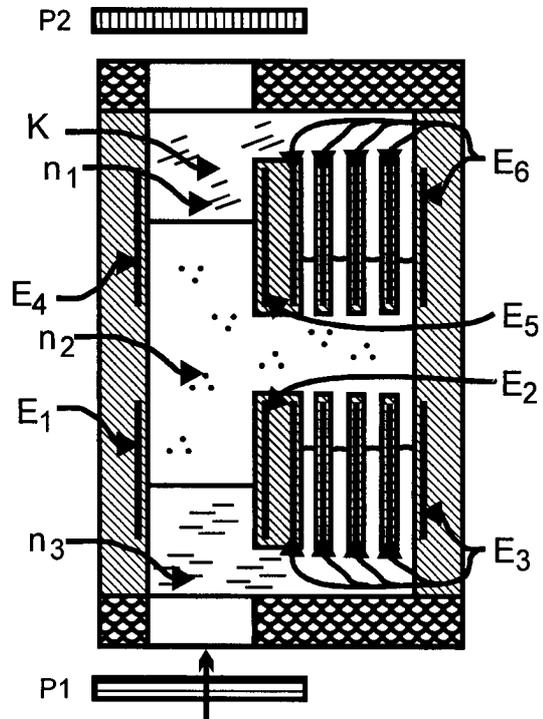


Fig. 8

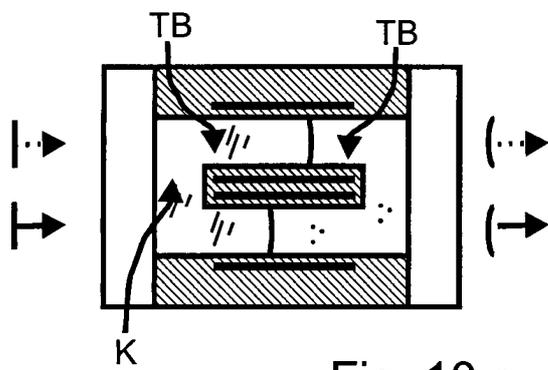


Fig. 10 a

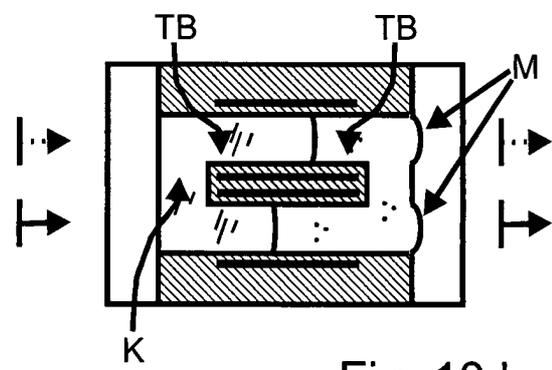


Fig. 10 b

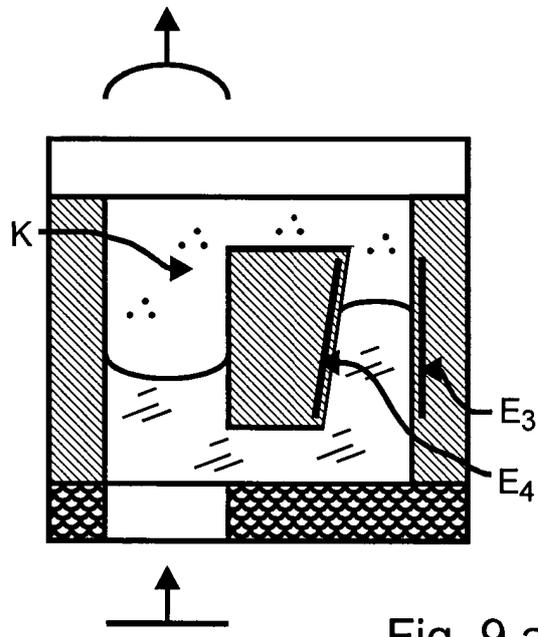


Fig. 9 a

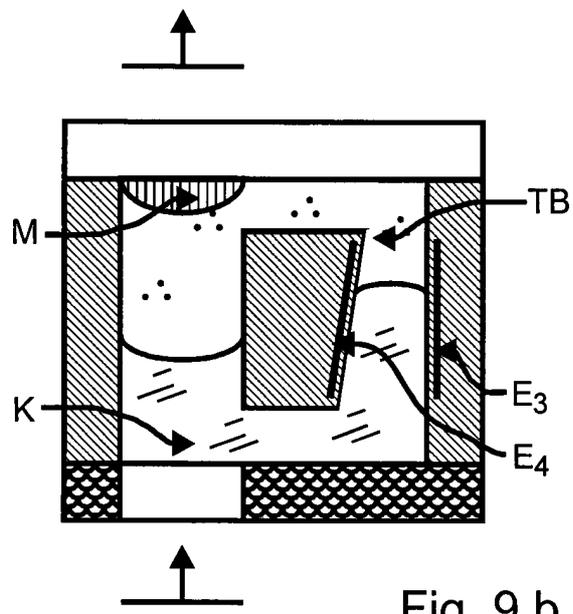


Fig. 9 b