



SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT

EIDGENÖSSISCHES AMT FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Internationale Klassifikation: G 02 f 1/20  
G 11 c 13/04

Gesuchsnummer: 17937/70  
Anmeldungsdatum: 4. Dezember 1970, 24 Uhr

Patent erteilt: 31. Dezember 1972  
Patentschrift veröffentlicht: 15. Februar 1973

N

## HAUPTPATENT

F. Hoffmann-La Roche &amp; Co. Aktiengesellschaft, Basel

## Lichtsteuerzelle

Dr. Wolfgang Helfrich, Therwil, und Dr. Martin Schadt, Arlesheim, sind als Erfinder genannt worden

1

Die Erfindung betrifft eine Lichtsteuerzelle mit durch ein elektrisches oder magnetisches Feld steuerbarem optischem Drehvermögen, bestehend aus einem zwischen zwei Platten angeordneten flüssigen Kristall und die Verwendung einer solchen Zelle als Element einer Seiteneinschreibematrix zum Einschreiben in einen Hologrammspeicher.

Es sind optische Vorrichtungen bekannt, die den Effekt der «Dynamischen Streuung» (D.S.) benützen (z.B.ritisches Patent No. 1.167.486). Bei diesen Vorrichtungen handelt es sich im wesentlichen um einen Kondensator mit lichtdurchlässigen Platten, dessen Dielektrikum von einer nematischen Substanz gebildet wird. Durch diesen Kondensator fliesst ein elektrischer Strom, dessen bewegte Ladungsträger in der nematischen Substanz Turbulenzen erzeugen. Da nematische Substanzen optisch anisotrop sind, wird durch die Turbulenzen durch die transparenten Kondensatorplatten auf den flüssigen Kristall einfallendes Licht gestreut. Dadurch ändert sich die Transparenz bzw. die Reflexion der Zelle.

Lichtsteuerzellen, die den Effekt der «Dynamischen Streuung» benützen, können überall dort nicht verwendet werden, wo hohe Anforderungen an die optische Homogenität der Zellen gestellt werden, weil die Flüssigkeitsturbulenzen in solchen Fällen stören. Ein weiterer Nachteil besteht darin, dass durch den Streuprozess Kohärenz und Polarisation des einfallenden Lichts verloren gehen, so dass z.B. Laserlicht mit einer D.S.-Zelle nicht ohne Zerstörung dieser Eigenschaften moduliert werden kann. Daneben ist für viele Anwendungen, bei denen es auf geringe Abmessungen der Stromversorgungsteile ankommt, z.B. bei Batteriebetrieb, die relativ hohe Schwellenspannung von ca. 6 Volt und die ebenfalls relativ hohe Spannung von ca. 20 Volt, bei der die Lichtstreuung Sättigung erreicht, nachteilig. Schliesslich wird die Lebensdauer wahrscheinlich wesentlich durch den Ionenstromtransport durch die nematische Substanz beeinflusst (je höher der Strom durch die Zelle, desto kürzer ist ihre Lebensdauer).

Der Zweck der Erfindung besteht darin, die genannten Nachteile zu beseitigen. Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine Lichtsteuerzelle anzugeben, die optisch homogen ist und in der Kohärenz und Polarisation des einfallenden Lichts bestehen bleiben.

2

Erfindungsgemäss wird dies erreicht durch eine Lichtsteuerzelle der eingangs beschriebenen Art, in der wenigstens eine der Platten lichtdurchlässig ist, der flüssige Kristall in Bezug auf die zu den Platten senkrechte Richtung eine schraubenförmig verwundene Molekülanordnung besitzt und die Platten durch die Struktur ihrer dem flüssigen Kristall zugewandten Oberflächen eine Richtkraft auf die Moleküle desselben ausüben, um die Moleküldipole parallel zur Oberfläche in eine bestimmte Richtung zu orientieren.

Zur Steuerung der Drehung der Polarisationssebene kann im flüssigen Kristall ein elektrisches oder magnetisches Feld senkrecht zu den Platten erzeugt werden.

Mit «Wandorientierung» der Platten wird im folgenden eine bestimmte Oberflächenbeschaffenheit bezeichnet, die auf die der Platte benachbarten Moleküle, d.h. auf die Grenzschicht des flüssigen Kristalls eine Richtkraft ausübt. Die Moleküle in der Grenzschicht stellen sich parallel zur Wandorientierung. Die Wandorientierung wird bekanntlich beispielsweise durch Reiben der Plattenoberfläche mit einem Wattebausch oder -stäbchen erzielt.

Der flüssige Kristall besteht beispielsweise aus einer nematischen Verbindung. Nematische flüssige Kristalle besitzen eine parallele Struktur, d.h. ihre Moleküle sind im unbeeinflussten Zustand im wesentlichen in einer Vorzugsrichtung parallel orientiert.

Befindet sich ein nematischer flüssiger Kristall zwischen zwei Platten mit gleichgerichteter Wandorientierung, so nimmt die Kristallstruktur eine Vorzugsrichtung parallel zu der Wandorientierung an. Werden nun die beiden Platten gegeneinander verdreht, so haften die Grenzschichten an den Plattenoberflächen. Zwischen den Grenzschichten sind die nematischen Moleküle so orientiert, dass sich ein kontinuierlicher Übergang von einer Richtung der Wandorientierung zur anderen ergibt. Betrachtet man die Orientierung der nematischen Moleküle entlang einer beliebigen Senkrechten zu den Platten, so ergibt sich eine schraubenförmig verwundene Anordnung.

Eine Schraubenstruktur dieser Art lässt sich auch dadurch erzielen, dass dem nematischen flüssigen Kristall eine geringe Menge cholestrisch kristallin-flüssige oder andere optisch aktive Substanz beigemischt wird. Cholestrische flüssige Kristalle

besitzen im unbeeinflussten Zustand bereits eine Schraubenstruktur. Durch ihre Zugabe zu einem nematischen flüssigen Kristall wird die Schraubenstruktur sozusagen in diesen induziert. Durch die Wandorientierung, bzw. die durch sie bewirkte Haftung wird die Schraubenstruktur an den Plattenoberflächen fixiert.

Ein flüssiger Kristall mit schraubenförmiger Struktur ist optisch aktiv, d.h. die Polarisationsrichtung von durchgehendem linear polarisiertem Licht folgt der Schraubenwindung der Kristallstruktur.

Diese optische Aktivität ist durch ein elektrisches oder magnetisches Feld steuerbar. Wenn im flüssigen Kristall ein genügend starkes Feld in Richtung der Schraubenachse (d.h. senkrecht zu den Platten) erzeugt wird, stellen sich mit Ausnahme der haftenden Grenzschicht die Moleküle parallel zum Feld ein. Dadurch wird die Schraubenstruktur zerstört und die optische Aktivität verschwindet. Nach Abschalten des Feldes stellt sich die vorher bestehende Struktur wieder ein.

Weitere Einzelheiten von Ausführungsbeispielen der Erfindung werden aus der nachfolgend anhand der beiliegenden Zeichnung vorgenommenen Beschreibung ersichtlich. Es zeigen

Fig. 1 ein Modell eines flüssigen Kristalls mit schraubenförmiger Struktur,

Fig. 2 eine elektro-optische Vorrichtung mit kontinuierlich steuerbarer Transmission,

Fig. 3 eine graphische Darstellung der Transmission einer erfindungsgemässen Zelle in Abhängigkeit von der an den Platten anliegenden Spannung und

Fig. 4 eine graphische Darstellung des Drehwinkels der in Fig. 2 gezeigten Vorrichtung in Abhängigkeit von der angelegten Spannung.

In Fig. 1 sind die Orientierungen verschiedener Schichten eines flüssigen Kristalls mit schraubenförmiger Struktur schematisch dargestellt. Die bestehende Schraubenstruktur kann entweder durch die Wandorientierung zweier Platten (nicht gezeigt), zwischen denen der flüssige Kristall liegt, hervorgerufen, oder durch die Beimischung von cholesterischen Verbindungen induziert sein. Die Grenzschicht 1 ist in y-Richtung orientiert, während die Grenzschicht 2 eine Orientierung in z-Richtung aufweist. In einer beliebigen, zwischen den Grenzschichten liegenden Ebene 3 herrscht eine Orientierung in Richtung eines zwischen der y- und der z-Richtung liegenden Winkels, wobei der Winkel von der Entfernung von den Grenzschichten abhängt.

Die in Fig. 2 gezeigte elektro-optische Vorrichtung zur kontinuierlichen Steuerung der Transmission besteht aus einer elektro-optischen Zelle 11, die zwischen einem Polarisator 12 und einem dazu parallelen Analysator 13 angeordnet ist. Die Zelle 11 hat die Form eines Plattenkondensators und ist demnach aus zwei im Abstand planparallel angeordneten Platten oder Elektroden 14, 15 und einem dazwischenliegenden Dielektrikum 16 aufgebaut.

Das Dielektrikum 16 besteht aus einem nematischen flüssigen Kristall mit positiver dielektrischer Anisotropie (d.h. die Dielektrizitätskonstante entlang der Längsachse der Moleküle ist grösser als die Dielektrizitätskonstante in der dazu senkrechten Richtung  $\epsilon_{\parallel} > \epsilon_{\perp}$ ).

Die beiden Elektroden 14, 15 bestehen aus Glasplatten; ihre dem flüssigen Kristall zugewandten Flächen sind mit  $\text{SnO}_2$  beschichtet. Die  $\text{SnO}_2$ -Oberflächen sind so behandelt, dass sich die Moleküle des flüssigen Kristalls in der Grenzschicht mit ihren Längsachsen parallel zur Elektrodenoberfläche in einer Vorzugsrichtung orientieren.

In der zusammengesetzten Zelle 11 sind die Vorzugsrichtungen der beiden Elektroden 14, 15 gegeneinander verdreht. Die Moleküle des flüssigen Kristalls richten sich in den Grenzschichten nach den Vorzugsrichtungen der Elektroden. Dazwischen sind die nematischen Moleküle so orientiert, dass sich ein kontinuierlicher Übergang von der Vorzugsrichtung in der Grenzschicht an der Elektrode 14 zu der Vorzugsrichtung in der Grenzschicht an der Elektrode 15 ergibt. Betrachtet man die Orientierung der Moleküle des flüssigen Kristalls entlang einer beliebigen Senkrechten zu den Elektroden, so ergibt sich eine schraubenförmig verwundene Anordnung.

Es hat sich gezeigt, dass die Polarisationsrichtung von beispielsweise durch die Elektrode 14 einfallendem und parallel zu ihrer Vorzugsrichtung linear polarisiertem Licht der Orientierung der nematischen Moleküle folgt und, wenn das Licht die Zelle 11 durch die andere Elektrode 15 verlässt, mit deren Vorzugsrichtung zusammenfällt. Wenn die Vorzugsrichtungen der beiden Elektroden 14 und 15 um  $90^\circ$  gegeneinander verdreht sind (gekreuzte Wandorientierung), erfolgt eine Drehung der Polarisationsrichtung des einfallenden Lichtes um  $90^\circ$ .

Die Zelle 11 liegt so zwischen Polarisator 12 und Analysator 13, dass die Vorzugsrichtung der dem Polarisator 12 benachbarten Elektrode 14 zu der Polarisationsrichtung des Polarisators 12 parallel ist. Bei gekreuzter Wandorientierung in der Zelle 11 ist daher die Vorzugsrichtung der Elektrode 15 senkrecht zur Polarisationsrichtung des Analysators 13. Von einer Lichtquelle 17 durch den Polarisator 12 einfallendes Licht wird also in Richtung der gezeigten z-Koordinate polarisiert, tritt durch die Elektrode 14 in den flüssigen Kristall 16 ein, wird auf dem Weg durch diesen kontinuierlich bis in y-Richtung gedreht, verlässt die Zelle 11 durch die Elektrode 15 und wird von dem in z-Richtung orientierten Analysator 15 nicht durchgelassen. Ein Beobachter 18 sieht somit kein Licht von der Lichtquelle 17.

Wenn dagegen der Analysator 18 gegenüber dem Polarisator 12 um  $90^\circ$  gedreht ist, gelangt das Licht der Lichtquelle 17 zum Beobachter 18.

Wird nun an die Elektroden 14 und 15 eine Spannung angelegt, d. h. also im flüssigen Kristall ein zu den Elektroden senkrecht elektrisches Feld erzeugt, so greift an den nematischen Molekülen wegen  $\epsilon_{\parallel} > \epsilon_{\perp}$  ein Drehmoment an, das bestrebt ist, die Längsachsen der Moleküle in Feldrichtung zu stellen. Mit zunehmender Spannung an den Elektroden nähert sich die Orientierung mehr und mehr der Richtung des Feldvektors bis sie bei genügend hoher Spannung praktisch parallel zum Feldvektor ist. Gleichzeitig verschwindet die Schraubenstruktur und damit die optische Aktivität des flüssigen Kristalls annähernd vollständig. Durch die Elektrode 14 einfallendes polarisiertes Licht verlässt die Zelle 11 mit unveränderter Polarisationsrichtung. Nach Abschalten der Spannung wird infolge der Wandorientierung die Schraubenstruktur des flüssigen Kristalls wieder hergestellt.

Legt man an die Elektroden der vorstehend beschriebenen Vorrichtung der Fig. 1, in der die Polarisationsrichtungen von Polarisator 12 und Analysator 13 parallel sind, eine Spannung an, so wird je nach der Höhe der Spannung das polarisierte Licht teilweise oder ganz zum Beobachter 18 durchgelassen. In dem Fall, in dem Polarisator und Analysator gekreuzt sind, bewirkt eine genügend hohe Spannung, dass kein Licht von der Lichtquelle 17 mehr zum Beobachter 18 gelangt.

Fig. 3 zeigt die Transmission der beschriebenen Vorrichtung, bei der die Polarisationsrichtungen von Polarisator und Analysator parallel sind, in Abhängigkeit von der an den Elektroden anliegenden Spannung. Man sieht, dass die Transmission ohne Spannung annähernd 0 ist. Mit zunehmender

Spannung bleibt sie zunächst ungefähr auf dieser Höhe, bis eine durch Polarisationserscheinungen bedingte Schwellenspannung erreicht ist. Oberhalb dieser Schwellenspannung zeigt die Transmission einen kontinuierlichen Anstieg und erreicht schliesslich eine Art Sättigung.

Die Steuerung der optischen Aktivität kann ausser mit Gleichspannung auch mit Wechselfspannung vorgenommen werden. Je nach Anwendung ist eine der beiden Betriebsweisen vorzuziehen. Wegen der Vermeidung von Polarisationserscheinungen ist beim Betrieb mit Wechselfspannung die Schwellenspannung besonders niedrig. Der Kurvenverlauf der Fig. 2 ist bis zu etwa 80 kHz frequenzunabhängig.

In der beschriebenen Vorrichtung wurde als flüssiger Kristall N(4-Äthoxybenzyliden)-4-aminobenzonitril (PEBAB) verwendet. Es ist offensichtlich, dass jede andere nematische Substanz mit positiver Anisotropie, d. h. mit  $\epsilon_{\parallel} > \epsilon_{\perp}$  mit im wesentlichen gleichem Ergebnis eingesetzt werden kann. Die Elektrodenflächen der beschriebenen Zelle sind etwa  $4 \text{ cm}^2$  gross. Der flüssige Kristall hat eine Dicke von  $10\text{--}100 \mu$ .

Folgende mit der beschriebenen Vorrichtung erzielten Ergebnisse zeigen deutlich die Überlegenheit einer erfindungsgemässen Zelle über eine entsprechende elektro-optische Zelle, die auf dem Effekt der «Dynamischen Streuung» beruht.

Die Polarisation des einfallenden Lichtes bleibt praktisch unverändert erhalten, so dass sich erfindungsgemässe Zellen z.B. auch zur Modulation von Laserlicht eignen. Die Schwellenspannung für das Auftreten des elektro-optischen Effektes beträgt für Wechselfspannung ca. 1 V, für Gleichspannung ca. 2,5 V, die Sättigungsspannung für Gleich- und Wechselfspannung ca. 4 V. Der Leistungsverbrauch ist bei Gleichspannungsbetrieb erheblich niedriger als bei D.S.-Zellen. Schliesslich ist die Lebensdauer wegen des geringen Ladungsträgertransports sehr gross.

Durch eine grosse Zahl möglicher Modifikationen sind verschiedenartige vorteilhafte Effekte zu erzielen. So kann beispielsweise bei Verwendung eines farbigen oder gefärbten flüssigen Kristalls in der Zelle 11 zusammen mit zwei Polarisatoren eine Vorrichtung hergestellt werden, die ohne Spannung für Licht undurchlässig ist und bei angelegter Spannung nur eine Farbe durchtreten lässt. Ebenso ist der umgekehrte Vorgang realisierbar. Im Übergangsbereich erhält man entsprechend Zwischentöne zwischen schwarz und der gewählten Farbe.

Die Zelle 11 kann auch in Reflexion betrieben werden. Zu diesem Zweck wird der hinter der Zelle angeordnete Analysator 13 (z.B. in Form einer Folie) auf einen üblichen Spiegel aufgeklebt. Das einfallende Licht wird an diesem Spiegel entweder reflektiert oder absorbiert, je nachdem ob Spannung an der Zelle liegt oder nicht.

Aufgrund ihrer Eigenschaften ist die erfindungsgemässe Zelle für vielfältige Anwendungen geeignet. Eine auf der Eigenschaft der Kohärenzerhaltung beruhende Anwendung besteht im Einsatz der Zelle als Element einer Seiteneinschreibematrix zum Einschreiben in einen Hologrammspeicher. Eine solche Matrix besteht bekanntlich aus einer grossen Zahl (z. B.  $10^4$ ) von Elementen, die je nach Ansteuerung kohärentes Licht sperren oder durchlassen und somit zum Einschreiben eines Bit in den Speicher dienen. Insbesondere ist eine Anordnung möglich, die eine Adressierung erlaubt. Zu diesem Zweck wird der flüssige Kristall zwischen zwei Platten gebracht, deren leitende Beschichtung in eine Anzahl voneinander isolierter Streifen aufgeteilt ist, und zwar so, dass die Streifenrichtungen der beiden Platten aufeinander senkrecht stehen. An die Streifen kann mittels geeigneter Anschlüsse

eine Spannung gelegt werden, wodurch die Adressierung einzelner Segmente möglich ist.

Neben dieser speziellen Anwendung eignen sich die Zellen ganz allgemein zur Modulation der Lichtintensität, wobei besonders die niedrigen Steuerspannungen von Vorteil sind.

Da im Gegensatz zu D.S.-Zellen der Lichtstrahl ausgelöscht werden kann, ist die Herstellung von elektro-optischen Verschlüssen möglich. Die elektronische Steuerung und Modulation der Richtung der Polarisationsebene von linear polarisiertem Licht (z.B. in der Polarimetrie) ist ebenfalls zu verwirklichen. Weitere Anwendungsbereiche sind die Fernsichttechnik und die Datenverarbeitung (Aufzeichnung von optischen und elektrischen Signalen).

Eine andere Möglichkeit besteht in der Herstellung von Brillengläsern, deren Absorption durch die Intensität des einfallenden Lichtes gesteuert wird.

#### PATENTANSPRUCH I

Lichtsteuerzelle mit durch ein elektrisches oder magnetisches Feld steuerbarem optischem Drehvermögen, bestehend aus einem zwischen zwei Platten angeordneten flüssigen Kristall, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens eine der Platten lichtdurchlässig ist, der flüssige Kristall in bezug auf die zu den Platten senkrechte Richtung eine schraubenförmig verwundene Molekülanordnung besitzt und die Platten durch die Struktur ihrer dem flüssigen Kristall zugewandten Oberflächen eine Richtkraft auf die Moleküle desselben ausüben, um die Moleküldipole parallel zur Oberfläche in eine bestimmte Richtung zu orientieren.

#### UNTERANSPRÜCHE

1. Lichtsteuerzelle nach Patentanspruch I, dadurch gekennzeichnet, dass der flüssige Kristall eine nematische Verbindung enthält.

2. Lichtsteuerzelle nach Unteranspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der flüssige Kristall eine cholesterische Verbindung enthält.

3. Lichtsteuerzelle nach Patentanspruch I, dadurch gekennzeichnet, dass beide Platten lichtdurchlässig sind.

4. Lichtsteuerzelle nach Patentanspruch I oder einem der Unteransprüche 1–3, dadurch gekennzeichnet, dass die dem flüssigen Kristall zugewandten Oberflächen der Platten aus einem leitenden Material bestehen und Anschlussleitungen zum Anlegen einer Spannung an die Platten vorgesehen sind.

5. Lichtsteuerzelle nach Patentanspruch I, dadurch gekennzeichnet, dass die Ganghöhe der schraubenförmigen Verwindung des flüssigen Kristalls grösser als der Plattenabstand ist.

6. Lichtsteuerzelle nach Patentanspruch I, dadurch gekennzeichnet, dass die Struktur der Plattenoberflächen eine Vorzugsrichtung aufweist.

7. Lichtsteuerzelle nach Patentanspruch I, dadurch gekennzeichnet, dass Mittel zur Erzeugung eines elektrischen oder magnetischen Feldes im flüssigen Kristall senkrecht zu den Platten vorgesehen sind.

8. Lichtsteuerzelle nach Unteranspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Feld ein Gleichfeld ist.

9. Lichtsteuerzelle nach Unteranspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Feld ein Wechselfeld ist.

#### PATENTANSPRUCH II

Verwendung einer Zelle nach Patentanspruch I als Element einer Seiteneinschreibematrix zum Einschreiben in einen Hologrammspeicher.

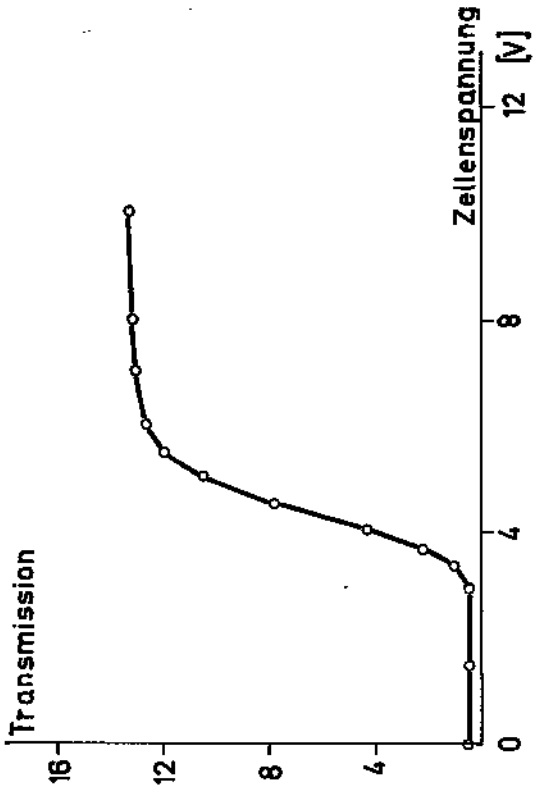


Fig. 3

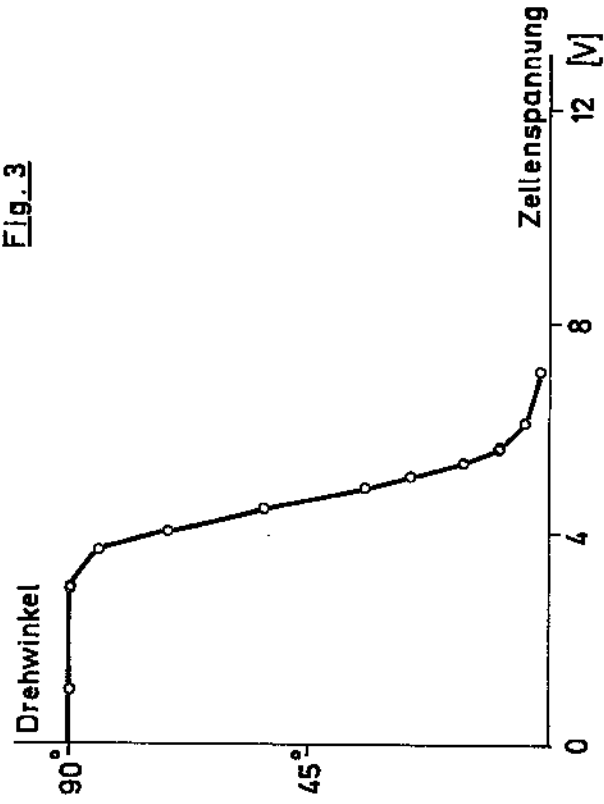


Fig. 4

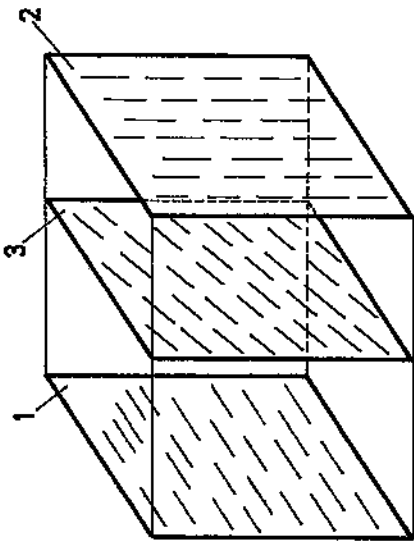


Fig. 1

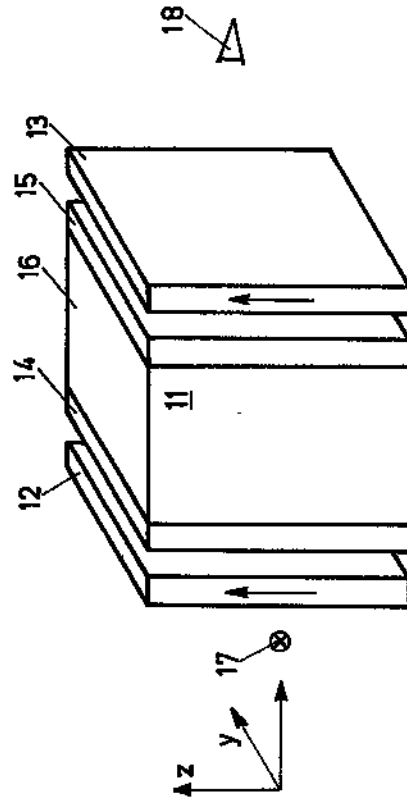


Fig. 2