



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 602 25 281 T2** 2009.03.05

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 402 582 B1**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **H01L 41/083** (2006.01)

(21) Deutsches Aktenzeichen: **602 25 281.4**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/GB02/02826**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **02 735 631.0**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2002/103816**

(86) PCT-Anmeldetag: **19.06.2002**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **27.12.2002**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **31.03.2004**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **27.02.2008**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **05.03.2009**

(30) Unionspriorität:

<b>0115068</b>	<b>20.06.2001</b>	<b>GB</b>
<b>0115067</b>	<b>20.06.2001</b>	<b>GB</b>
<b>0116245</b>	<b>05.07.2001</b>	<b>GB</b>
<b>PCT/GB01/05361</b>	<b>04.12.2001</b>	<b>WO</b>
<b>0213020</b>	<b>06.06.2002</b>	<b>GB</b>

(74) Vertreter:

**Epping Hermann Fischer,**  
**Patentanwalts-gesellschaft mbH, 80339 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,**  
**LI, LU, MC, NL, PT, SE, TR**

(73) Patentinhaber:

**Polatis Ltd., Milton Road, Cambridge, GB**

(72) Erfinder:

**DAMES, Andrew Nicholas, Cambridge CB4 1HU,**  
**GB**

(54) Bezeichnung: **PIEZOELEKTRISCHER AKTUATOR**

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****Hintergrund der Erfindung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft Vorrichtungen, deren Bewegung durch die Kontraktion oder Expansion von piezoelektrischem Material gesteuert wird.

**[0002]** Das Hauptziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen Aktuator vorzusehen, der in zwei Dimensionen verschoben werden kann.

**[0003]** Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung besteht darin, einen Aktuator bereitzustellen, dessen Konfiguration besonders kompakt ist.

**[0004]** Ein weiteres Ziel dieser Erfindung besteht darin, einen Aktuator bereitzustellen, der wiederholt einer Bewegung unterzogen wird, während er in seiner Bewegung exakt und vorhersagbar bleibt. Es ist deshalb für den in dieser Erfindung offenbarten Typ von Aktuator notwendig, zuverlässig zu sein.

**[0005]** Ein zusätzliches Ziel der Erfindung besteht darin, eine neue Vorgehensweise für die Auslegung von Elektroden innerhalb des Piezomaterials zu bieten.

**[0006]** Es ist ein weiteres Ziel dieser Erfindung besteht darin, einen Aktuator bereitzustellen, dessen Gestalt den Aktuator dazu befähigen wird, leicht in einen Stapel von ähnlichen Aktuatoren eingebunden zu werden. Es ist deshalb ein weiteres Ziel dieser Erfindung, eine Gruppierung von Aktuatoren vorzusehen, welche besonders kompakt und gleichermaßen zuverlässig ist, wie einzelne Aktuatoren, die konzipiert sind, um in isolierter Weise zu arbeiten.

**[0007]** Die folgenden Dokumente des Stands der Technik werden anerkannt: US-A-5345137; US-A-6066911 und EP-A-0725476.

**Zusammenfassung der Erfindung**

**[0008]** Die Erfindung ist in einem monolithischen Aktuator ausgeführt, der relativ zu einer Stützkonstruktion befestigt ist und der sich in der Länge in die Z-Richtung erstreckt und einen beweglichen distalen Endpunkt aufweist, wobei der Aktuator einen Schichtstoff, bzw. ein Laminat aus überlagerten Schichten von Elektrodenplatten und piezoelektrischem Material umfasst, und der einen ersten Bereich von Elektrodenplatten; Mittel zum Versorgen des ersten Bereichs mit Strom, um eine Biegung des distalen Endpunkts in eine Richtung zu bewirken, welche hauptsächlich eine erste Y-Richtung ist; und einen zweiten Bereich von Elektrodenplatten; Mittel zum Versorgen des zweiten Bereichs mit Strom, um eine Biegung des distalen Endpunkts in eine Richtung zu bewirken, welche hauptsächlich eine X-Rich-

tung ist, enthält; dadurch gekennzeichnet, dass die Schichten des Aktuators sich allgemein in die Z-Richtung erstrecken und der Aktuator einen dritten Bereich von Elektrodenplatten, der in im Wesentlichen der Y-Richtung von dem ersten Bereich her beansprucht ist; und Mittel zum Versorgen des dritten Bereichs mit Strom, um eine Biegung des distalen Endpunkts in eine Richtung zu bewirken, die hauptsächlich eine zweite Y-Richtung ist, umfasst.

**[0009]** Die oben genannte Konfiguration ist besonders vorteilhaft, weil sie die Biegung des Aktuators sowohl in der X- als auch Y-Richtung gestattet, welche orthogonal zur Z-Richtung sind (wobei die Z-Achse diejenige ist, welche sich entlang der Länge des Aktuators erstreckt). Diese Kombination von Merkmalen ist ebenfalls besonders vorteilhaft, weil sie einen Aktuator vorsieht, der sich, bei vergrößertem Ausschlag des freien Endes, in zwei Dimensionen biegt, während er besonders kompakte Abmessungen aufweist.

**[0010]** Diese besondere Kombination von Merkmalen ist besonders vorteilhaft, weil sie einen Aktuator vorsieht, der zur Biegung in zwei Dimensionen fähig ist und einen hohen Biegeungsgrad für die dem System zugeführte Energie erzielen kann. Diese Konfiguration ist auch besonders kompakt.

**[0011]** In einem weiteren Nebenaspekt gemäß dem ersten breit gefassten Hauptaspekt ist der Aktuator von einer generell zylindrischen Form.

**[0012]** Dieser Aspekt ist vorteilhaft, weil er den erzielbaren Ausschlag maximiert, wenn sich der Aktuator beim Anlegen eines jeweiligen Ansteuerungssignals biegt. Darüber hinaus sind Aktuatoren einer generell zylindrischen Form vorteilhaft, weil sie besonders gut daran angepasst sind, einen kompakten Verband zu bilden, wenn sie längsseits anderer ähnlicher Aktuatoren betrieben werden.

**[0013]** In einem weiteren Nebenaspekt umfasst der Aktuator einen oder mehrere Tunnel.

**[0014]** Das Bereitstellen eines oder mehrerer Tunnel ist besonders vorteilhaft, weil sie längliche Elemente, wie optische Fasern, aufnehmen können. Sobald diese länglichen Elemente in diese Tunnel eingeführt sind, können sie sich zusammen mit dem Aktuator biegen, während der Aktuator ein Schutzgehäuse für diese Elemente bilden kann.

**[0015]** In einem weiteren Nebenaspekt gemäß dem ersten breit gefassten Hauptaspekt der Erfindung weist der oder jeder Streifen von piezoelektrischem Material eine Dicke innerhalb des Bereichs von ungefähr 20 bis ungefähr 35 Mikrometer auf.

**[0016]** Das Auswählen des Streifens von piezoelek-

trischem Material, so dass er innerhalb dieses besonderen Bereichs liegt, ist vorteilhaft, weil die Biegung, die innerhalb dieses Bereichs erzielt werden kann, maximiert ist, während sie langfristig kontrollierbar und zuverlässig bleibt.

**[0017]** In einem weiteren Nebenaspekt gemäß dem ersten breit gefassten Hauptaspekt dieser Erfindung weist die oder jede Elektrode eine Dicke von ungefähr 2,5 Mikrometer auf.

**[0018]** Bei dieser Dicke ist die Biegung des Aktuators maximiert, während sie langfristig kontrollierbar und zuverlässig bleibt.

**[0019]** Es kann ein Aktuator in der Form eines Kamms bereitgestellt werden, der zwei oder mehr Zähne enthält, von denen einer oder mehrere ein Laminat aus überlagerten Schichten von Elektrodenplatten und piezoelektrischem Material umfassen, wobei ein oberer (in Nutzung befindlicher) Bereich von Elektrodenplatten daran angepasst ist, bei Versorgung mit Strom Biegungen in Auf- und Abwärtsrichtung zu bewirken; ein unterer Bereich von Elektrodenplatten daran angepasst ist, bei Versorgung mit Strom Biegungen in Auf- und Abwärtsrichtung zu bewirken; und ein oder mehrere weitere Bereiche von Elektrodenplatten daran angepasst sind, bei Versorgung mit Strom Biegungen in Links- und Rechtsrichtung zu bewirken.

**[0020]** Einer der Vorteile der Anordnung einer Gruppe von Zähnen der genannten Art in Form eines Kamms besteht darin, dass eine große Anzahl von Winkelpositionen zu einer gegebenen Zeit erreicht werden kann. Mindestens einer der Zähne, wenn nicht alle von ihnen, kann einzeln in zwei Dimensionen verschoben werden.

**[0021]** Andere Vorteile dieser Konfiguration bestehen darin, dass die Zähne besonders einfach zu steuern sind, während jeder große Endpunktaus-schläge erzielt und dazu fähig ist, eine exakte Winkelpositionierung über einen längeren Zeitraum zu erzielen. Eine Gruppe von Zähnen dieser Art kann auch bei geringeren Kosten, als bei der Herstellung eines Verbands einzelner Zähne, leicht hergestellt werden. Ein anderer Vorteil der Herstellung des Aktuators als Kamm von Zähnen besteht darin, dass diese Konfiguration besonders kompakt ist und leicht angepasst werden kann, um in Kombination mit anderen Kämmen einer ähnlichen Struktur zu arbeiten, wodurch ein größerer Verband von Zähnen erzeugt wird, der insgesamt ebenfalls kompakt ist.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

**[0022]** [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung des Aktuators.

**[0023]** [Fig. 2](#) zeigt eine schematische Querschnittsansicht einer Ausführungsform des Aktuators.

**[0024]** [Fig. 3](#) zeigt eine schematische Querschnittsansicht einer weiteren Ausführungsform des Aktuators.

**[0025]** [Fig. 4](#) zeigt die Links(L)/Rechts(R)-Elektrodenplatte(D).

**[0026]** [Fig. 5](#) zeigt die Links(L)/Rechts(R)-Vorspannungsplatte(C).

**[0027]** [Fig. 6](#) zeigt die Aufwärts(U)/Abwärts(D)-Elektrodenplatte(B).

**[0028]** [Fig. 7](#) zeigt die positive Aufwärts(U)/Abwärts(D)-Vorspannungsplatte(A).

**[0029]** [Fig. 8](#) zeigt die negative Aufwärts(U)/Abwärts(D)-Vorspannungsplatte(E).

**[0030]** [Fig. 9](#) zeigt eine Querschnittsansicht der Auslegung der Platten der [Fig. 4–Fig. 8](#) (A, B, C, D, E).

**[0031]** [Fig. 10](#) zeigt die Sägepositionen der Links(L)/Rechts(R)-Elektrodenplatte(D) von [Fig. 4](#).

**[0032]** [Fig. 11](#) zeigt die Sägeposition für die Links(L)/Rechts(R)-Vorspannungsplatte(C) von [Fig. 5](#).

**[0033]** [Fig. 12](#) zeigt die Sägeposition für die Aufwärts(U)/Abwärts(D)-Elektrodenplatte(B) von [Fig. 6](#).

**[0034]** [Fig. 13](#) zeigt die Sägeposition für die positive Aufwärts(U)/Abwärts(D)-Vorspannungsplatte(A) von [Fig. 7](#).

**[0035]** [Fig. 14](#) zeigt die Sägepositionen für die negative Aufwärts(U)/Abwärts(D)-Vorspannungsplatte(E) von [Fig. 8](#).

**[0036]** [Fig. 15](#) zeigt einen einzelnen Schnittaufriß der Plattenauslegung von [Fig. 9](#).

**[0037]** [Fig. 16](#) zeigt ein Schema der getrennten Platten, nachdem sie gesägt worden sind.

**[0038]** [Fig. 17](#) zeigt einen einzelnen Schnittaufriß der Plattenauslegung wie in [Fig. 15](#), aber ohne das Loch, und wobei gezeigt wird, wie jede Schicht abgeschlossen ist.

**[0039]** [Fig. 18](#) zeigt einen 8-zähligen Aktuator-Kamm.

**[0040]** [Fig. 19](#) zeigt die Querschnittscheibe durch F-F von [Fig. 18](#).

[0041] [Fig. 20](#) zeigt den Ausgang, der die Außenkante des Kamms, wie in der [Fig. 18](#) gezeigt, umgibt.

[0042] [Fig. 21](#) zeigt eine weitere Ausführungsform eines Kamm-Aktuators.

[0043] [Fig. 22](#) zeigt die Kammstruktur und einen Teil ihrer Elektrodeneingänge.

#### Ausführliche Beschreibung der Zeichnungen

[0044] [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung eines 2D-Aktuators, der im Allgemeinen bei **1** gezeigt ist. Der Aktuator ist im Wesentlichen ein zylindrischer piezoelektrischer Aktuator, der einen quadratischen Querschnitt besitzt und in dieser Ausführungsform eine axiale Bohrung **4** aufweist, um ein längliches Element **5**, wie eine optische Faser, aufzunehmen. Die Elektroden sind innerhalb des Körpers des piezoelektrischen Materials in vier getrennten Bereichen positioniert, welche als AUFWÄRTS, ABWÄRTS, LINKS und RECHTS (UP, DOWN, LEFT und RIGHT) bezeichnet sind. Jede dieser Gruppen von Elektroden kann einzeln stimuliert werden; wenn zum Beispiel nur AUFWÄRTS stimuliert wird, kontrahiert sich der obere Teil des Aktuators, und folglich biegt sich der Aktuator zum kontrahierenden Teil hin, was das längliche Element bewegt, mit dem der piezoelektrische Aktuator betrieben wird. Die Elektroden werden durch die Eingänge U, L, R und D stimuliert, welche AUFWÄRTS, LINKS, RECHTS, bzw. ABWÄRTS entsprechen. Um sich die Tatsache zunutze zu machen, dass sich der Aktuator hauptsächlich in die Z-Richtung erstreckt und deswegen nur begrenzten Raum in den X- und Y-Richtung einnimmt, können die Elektrodeneingänge sämtlich auf derselben Seite des Aktuators positioniert sein.

[0045] Die jeweiligen Elektroden erstrecken sich vorzugsweise über die gesamte Länge des Aktuators. Allerdings können sie alternativ dazu nur einen Abschnitt des Aktuators stimulieren.

[0046] [Fig. 2](#) ist die diagrammartige Wiedergabe des Querschnitts eines spezifischen und bevorzugten piezokeramischen Blocks vom monolithischen Typ, dessen Herstellungsverfahren in dieser Anmeldung an späterer Stelle ausführlich erläutert ist.

[0047] Zur Oberseite der Aktuatorstruktur hin befinden sich überlagerte Elektrodenschichten A und B, die sich über die Breite des Blocks erstrecken. Es sind ähnliche Elektrodenschichten E und B zum Boden des Blocks hin vorhanden. Bei zweckmäßiger Erdung aller B-Schichten, verursacht das Anlegen einer Spannung entweder an A oder E eine Auf-, bzw. Abwärtsbewegung. In diesem Schema sind die Steuerungsspannungen unipolar und die Polarisierung ist parallel zum angelegten Feld ausgerichtet, so dass das piezoelektrische Material im Kontraktionsmodus rea-

giert.

[0048] In der Mittelregion des Blocks befinden sich überlagerte Elektrodenschichten C und D. Die D-Schichten erstrecken sich über die Breite des Blocks, während die C-Elektroden in links und rechts unterteilt sind. Das Anlegen einer Spannung an den geeigneten Satz von C-Elektroden bewirkt eine Biegung nach links oder rechts.

[0049] Die besonderen Abmessungen des piezoelektrischen Aktuators dieser Ausführungsform sind in [Fig. 2](#) verzeichnet. Die Schichten von weichem PZT-Material sind 22,5 µm dick, während die Elektroden selbst eine Dicke von 2,5 µm aufweisen. Ein Zentralabschnitt ist bei einer Dicke von 200 µm frei von Elektroden, um eine zentrale Bohrung von 160 µm im Quadrat aufzunehmen. Es wurde auch eine Mittellücke zwischen den linken und rechten Vorspannungselektroden von ungefähr 0,2 mm vorgesehen.

[0050] [Fig. 3](#) stellt eine weitere Ausführungsform eines piezoelektrischen 2D-Aktuators dar. Dieser piezoelektrische Aktuator umfasst ähnliche überlagerte Elektroden wie diejenigen, die im Kontext von [Fig. 2](#) beschrieben sind. Dieser besondere Typ von piezoelektrischem Aktuator weist die zentrale Bohrung nicht auf und ermöglicht daher eine effizientere Verteilung der Elektroden innerhalb der Piezokeramik. Dieser besondere Typ von piezoelektrischem Aktuator ist ein Block von 1,8 mm × 1,8 mm und weist eine aktive Länge von 31 mm und eine Gesamtlänge von 41 mm auf, obwohl dies in dieser Figur nicht veranschaulicht ist. Es sind ebenfalls 54 Schichten von weichem 30 µm-PZT-Material, getrennt durch Elektroden von 2,5 µm, vorhanden. Die Kapazität (U/D) beträgt 0,3 µF und für (L/R) 0,7 µF. Jede Elektrode dieser Konfiguration besitzt eine Breite von 1,6 mm und eine Länge von 31 mm, während sie sich parallel zueinander entlang dieser Länge erstrecken. Die Mittellücke in den L/R-Vorspannungselektroden beläuft sich auf 0,2 mm. Während des Betriebs beträgt die Spannung +90, -15 V mit einer Vorspannung von +/- 37,5 V und Ansteuerspannungen von +/- 52,5 Volt. Die Biegung, wenn der Piezoaktuator nicht belastet ist, beträgt +/- 125 µm für U/D und L/R, wenn ein Endpunkt bei ungefähr +/- 0,8 N eingespannt wird.

[0051] Die oben beschriebenen 2D-Aktuatoren können isolierte Einheiten sein oder einen Teil eines gezahnten Aktuatorkamms bilden, wobei jeder Kammzahn eine Elektrodenkonfiguration des oben beschriebenen Typs aufweist.

[0052] Um einen piezokeramischen Kamm herzustellen, wird piezokeramisches Material, wie Bleizirkonat-Titanat mit Elektrodenplatten geschichtet. Wie bereits erörtert, kann sich das piezokeramische Material, wenn die Elektrodenplatten mit einer angelegten Spannung stimuliert werden, wie oben geschil-

dert kontrahieren oder sogar ausdehnen, abhängig von der Vorspannung bzw. Ausrichtung der angelegten Spannung. In den oben beschriebenen Fällen liegen die Spannungen nur zwischen 0 V und 90 V, und sind somit stets positiv, und veranlassen deshalb das piezokeramische Material dazu, sich zu kontrahieren. Durch Kontrahieren verschiedener Abschnitte des piezokeramischen Materials wird außerdem eine unterschiedliche Wirkung im gesamten piezoelektrischen Aktuator erzeugt.

**[0053]** Ein besonders vorteilhaftes Verfahren zur Herstellung einer Gruppe von 2D-Aktuatoren besteht darin, sie als eine Kammform mit getrennt ansteuerbaren Zähnen herzustellen. Ein bevorzugtes Verfahren zur Herstellung eines derartigen kammförmigen Aktuators wird durch Produzieren geschichteter Elektrodenplatten mit Abmessungen der gesamten Größe der Aktuatorfläche in einer weitgehend rechteckigen Form und dann Schneiden an geeigneten Stellen, um die Kammform zu erhalten, durchgeführt.

**[0054]** Die Platten sind in den [Fig. 4](#), [Fig. 5](#), [Fig. 6](#), [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) gezeigt und sind mit D, C, B, A, bzw. E markiert und sind in der in [Fig. 9](#) gezeigten Reihenfolge aufeinander geschichtet. Die [Fig. 9](#) zeigt die Löcher 32 als bereits ausgeschnitten, wobei die Elektroden um sie herum geschichtet sind. Bei den Schichten handelt es sich um 22,5 Mikrometer Keramik zwischen jeder 2,5 Mikrometer dicken Schicht Elektrode.

**[0055]** Obwohl 5 verschiedene Platten vorliegen, gibt es 3 verschiedene Typen von Platten. Aus den [Fig. 4](#) und [Fig. 6](#) kann ersehen werden, dass die Platten D und B dahingehend ähnlich sind, dass sie beide einen Eingang für jeden letztendlichen Zahn aufweisen (wie in [Fig. 10](#) und [Fig. 12](#) ersehen werden kann) und jeder Zahn daher unabhängig stimuliert werden kann.

**[0056]** Die Platten A und E der [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) weisen beide nur einen Elektrodeneingang auf, und sämtliche der A- und/oder E-Elektrode des letztendlichen Zahns werden zur gleichen Zeit und nicht unabhängig stimuliert. Die Schnitte können in den [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) ersehen werden. Das Eingangs-Layout von B ist anders als jenes von D; das Eingangs-Layout von A und E ist/sind ebenfalls verschieden.

**[0057]** Der dritte Typ von Elektrodenplatte ist in [Fig. 5](#) gezeigt. Wenn die Elektrodenfinger 70 der Platte C (wie in [Fig. 11](#) gezeigt) in der Mitte hinabgesägt werden, reicht der Sägenschnitt nicht die ganze Strecke bis zum Boden des Elektrodenmaterials.

**[0058]** Die D-Platte bewirkt, wenn eine Spannung durch sie geleitet wird, die Links- und Rechtsbewegung des Aktuatorzahns, wenn der Kamm von Zähnen von dem Ende aus betrachtet wird, aus dem die Fasern hervortreten und der Zahnverband von links

nach rechts verläuft. Die C-Platte leitet die Links/Rechts-Vorspannung, welche die Spannung in Platte D ausgleicht. Es ist ersichtlich, dass dieses besondere Beispiel für einen 8-zähligen Kamm gilt, da es 8 Zwischenräume zwischen Elektroden in der C-Platte gibt. Die B-Platte ist ähnlich zur Platte D, aber ihre Positionierung veranlasst, dass ihre Spannung die Auf- und Abwärts-Bewegung des Aktuatorzahns bewirkt. Platte A und E sind die positiven, bzw. negativen Vorspannungsplatten für die Auf/Abwärts-Bewegung des Aktuatorzahns.

**[0059]** [Fig. 9](#) zeigt die Auslegung der Platten als: ABABACDCDCDCD Loch 42 DCDCDCDCABABA.

**[0060]** Andere Konfigurationen können möglich sein.

**[0061]** Die [Fig. 10](#), [Fig. 11](#), [Fig. 12](#), [Fig. 13](#) und [Fig. 14](#) zeigen, wo in den Platten einige der Sägeschnitte vorgenommen werden, um die (in diesem Fall) 8 getrennten Zähne des Aktuatorkamms zu erzeugen. Die Sägeschnitte in den Platten ergeben eine Plattenkonfiguration in jedem Aktuatorzahn, wie in derjenigen [Fig. 15](#) gezeigt. Jeder der Schnitte ist 0,2 mm breit, wobei 0,8 mm Aktuator für jeden Zahn übrig bleiben.

**[0062]** Die [Fig. 16](#) zeigt jeden der Typen von Platten, nachdem sie geschnitten worden sind, und wie sie separat aussehen würden. Eine Kombination einer Mehrzahl aller dieser geschnittenen Platten, geschichtet mit piezokeramischem Material, bildet einen einzelnen Zahn des Aktuatorkamms.

**[0063]** Die [Fig. 17](#) zeigt, wie die verschiedenen Platten elektronisch miteinander in einem einzelnen Aktuatorzahn verbunden sind. Das Loch ist nicht gezeigt; es kann später eingbohrt werden. Jeder Zahn weist 4 Elektrodeneingänge auf; U/D-Steuerung, L/R-Steuerung, +Vorspannung und -Vorspannung.

**[0064]** [Fig. 18](#) zeigt eine 8-zählige Kammaktuator-Struktur, wobei 2 Punkte, F, darauf markiert sind.

**[0065]** [Fig. 19](#) zeigt den Querschnitt an der Linie F-F von [Fig. 43](#). Der Boden des Kamms ist 1 mm breit, mit dem geschnittenen Teil bei 0,8 mm Breite. Dies ist die Seitenlänge jedes Zahns.

**[0066]** [Fig. 20](#) zeigt die Eintrittspunkte sämtlicher Elektrodeneingänge. U/D1 bis U/D8 sind die Aufwärts/Abwärts-Eingänge für jeden der 8 Aktuatorzähne. Die Beschriftung ist ähnlich für die Links/Rechts(L/R)-Elektrodeneingänge. Die + und - sind Vorspannungseingänge; 8 Eingänge für den Links/Rechts-Vorspannungseingang und jeweils einer für die Aufwärts/Abwärts-Positiv- und -Negativ-Vorspannungseingänge. Aus [Fig. 20](#) kann ersehen werden, dass sich alle der Elektrodeneingänge

auf den Seiten des Kamms befinden. Dies dient der Leichtigkeit der Handhabung und dazu, den gesamten Kamm kompakter zu machen.

[0067] **Fig. 21** zeigt eine weitere Ausführungsform eines monolithischen piezokeramischen Aktuators **30**, der auf solche Weise geschnitten ist, dass er einem 32-zähligen Kamm ähnelt; wobei jeder der Zähne **20** als ein unabhängiger piezokeramischer Aktuator wirkt. Jeder der Zähne **20** des piezokeramischen Kamms **30** weist ein dadurch gebohrtes Loch auf, durch welches eine optische Faser eingefädelt werden kann. Kämme dieses Typs können leicht gestapelt werden, um einen Verband von Kämmen zu bilden, welcher in einer Eingangs- oder Ausgangsanordnung für ein optisches System verwendet werden kann. Zum Beispiel können 32 Kämme mit 32 Aktuatorzähnen 32 Kämmen mit 32 Aktuatorzähnen gegenüberstehen, wodurch ein  $1024 \times 1024$  (d. h. 1024-Port-)Switch erhalten wird.

[0068] Die **Fig. 22** zeigt die Kammstruktur mit einigen ihrer Elektrodeneingänge. Die Elektrodenstimulus-Eingänge **70** sind für jeden Kammzahn **20** viergeteilt. Die Eingangsanschlüsse sind so eingerichtet, dass die separaten Elektrodeneingänge D, R, L und U um die Außenkante des Kamms herum hervortreten, wie es für 2 Zahn-Beispiele in **Fig. 22** ersichtlich ist. Auf diese Weise können viele Kämme in paralleler Weise gestapelt werden, und alle Elektrodeneingänge sind dennoch leicht zugänglich.

### Patentansprüche

1. Monolithischer Aktuator (**1**), der relativ zu einer Stützkonstruktion angebracht ist und der sich in der Länge in die Z-Richtung erstreckt und einen beweglichen distalen Endpunkt aufweist, wobei der Aktuator einen Schichtstoff aus überlagerten Schichten von Elektrodenplatten und piezoelektrischem Material umfasst, und der einen ersten Bereich von Elektrodenplatten enthält; Mittel zum Versorgen des ersten Bereichs mit Strom, um eine Biegung des distalen Endpunkts in eine Richtung zu bewirken, welche hauptsächlich eine erste Y-Richtung ist; und einen zweiten Bereich von Elektrodenplatten; Mittel zum Versorgen des zweiten Bereichs mit Strom, um eine Biegung des distalen Endpunkts in eine Richtung zu bewirken, welche hauptsächlich eine X-Richtung ist; **dadurch gekennzeichnet**, dass die Schichten des Aktuators sich allgemein in die Z-Richtung erstrecken und der Aktuator einen dritten Bereich von Elektrodenplatten umfasst, der in im Wesentlichen der Y-Richtung von dem ersten Bereich her beabstandet ist; und Mittel zum Versorgen des dritten Bereichs mit Strom, um eine Biegung des distalen Endpunkts in eine Richtung zu bewirken, die hauptsächlich eine zweite Y-Richtung ist.

2. Aktuator nach Anspruch 1, wobei der Aktuator

keine zentrale Bohrung umfasst.

3. Aktuator nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei der zweite Bereich der Elektrodenplatten in einer Sandwichkonstruktion zwischen dem ersten und dritten Bereich eingeschoben ist.

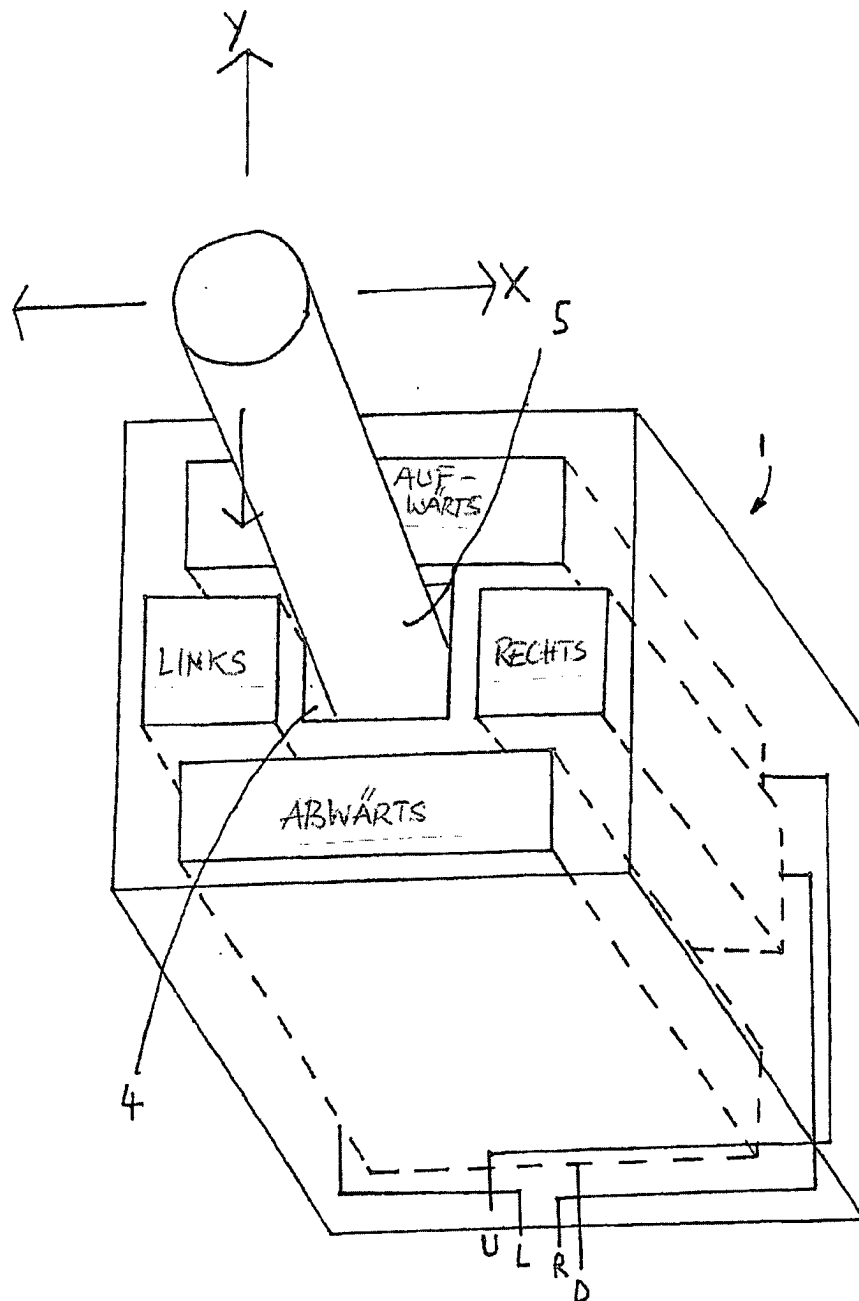
4. Aktuator nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Elektrodenplatten des zweiten Bereichs eine erste Menge von Elektrodenplatten mit Mitteln zum Anwenden einer ersten Vorspannung zum Versorgen mit Strom umfassen, um Biegungen in hauptsächlich eine erste X-Richtung zu bewirken, und eine zweite Menge von Elektrodenplatten mit Mitteln zum Anwenden einer zweiten Vorspannung zum Versorgen mit Strom, um Biegungen in hauptsächlich eine zweite X-Richtung zu bewirken, wobei die erste Menge in im Wesentlichen der X-Richtung von der zweiten Menge her beabstandet ist.

5. Aktuator nach Anspruch 4, der des Weiteren Elektrodenplatten umfasst, welche sich im Wesentlichen über die Elektroden sowohl der ersten als auch der zweiten Menge erstrecken, um mit sowohl der ersten Menge als auch der zweiten Menge von Elektrodenplatten zu interagieren.

6. Aktuator nach Anspruch 1, wobei der Aktuator einen oder mehrere Tunnel (**4**) umfasst.

Es folgen 22 Blatt Zeichnungen





FIGUR 1





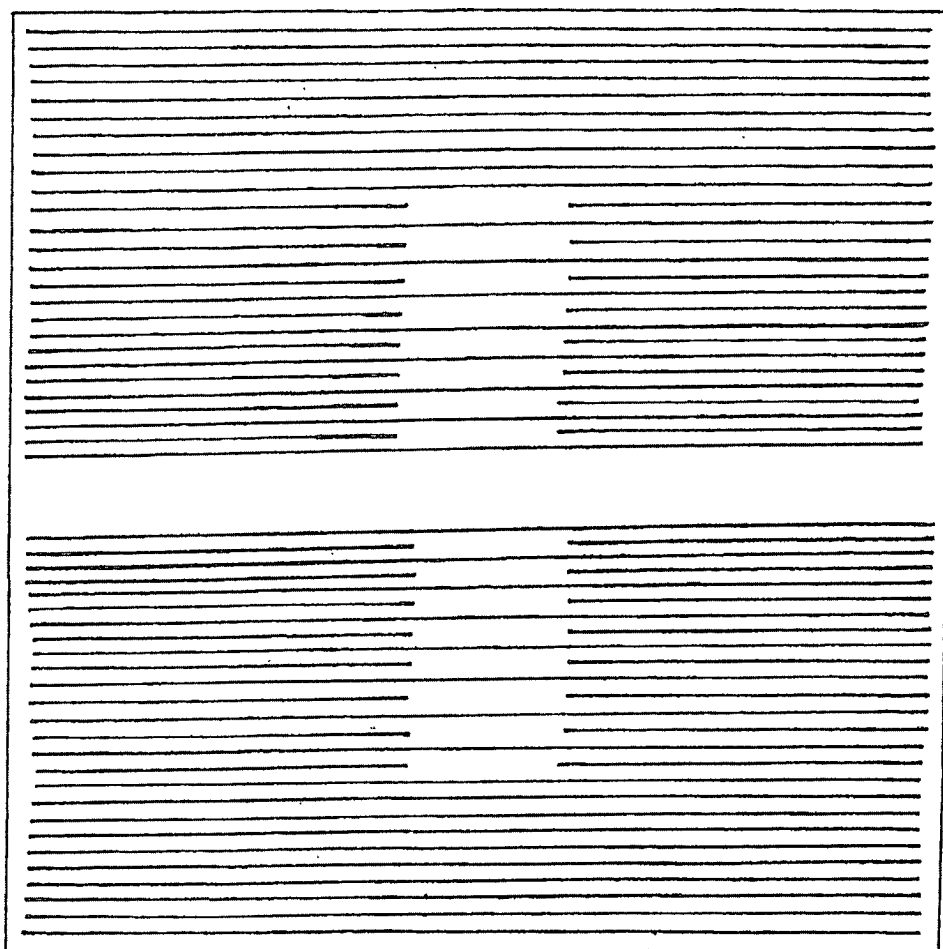
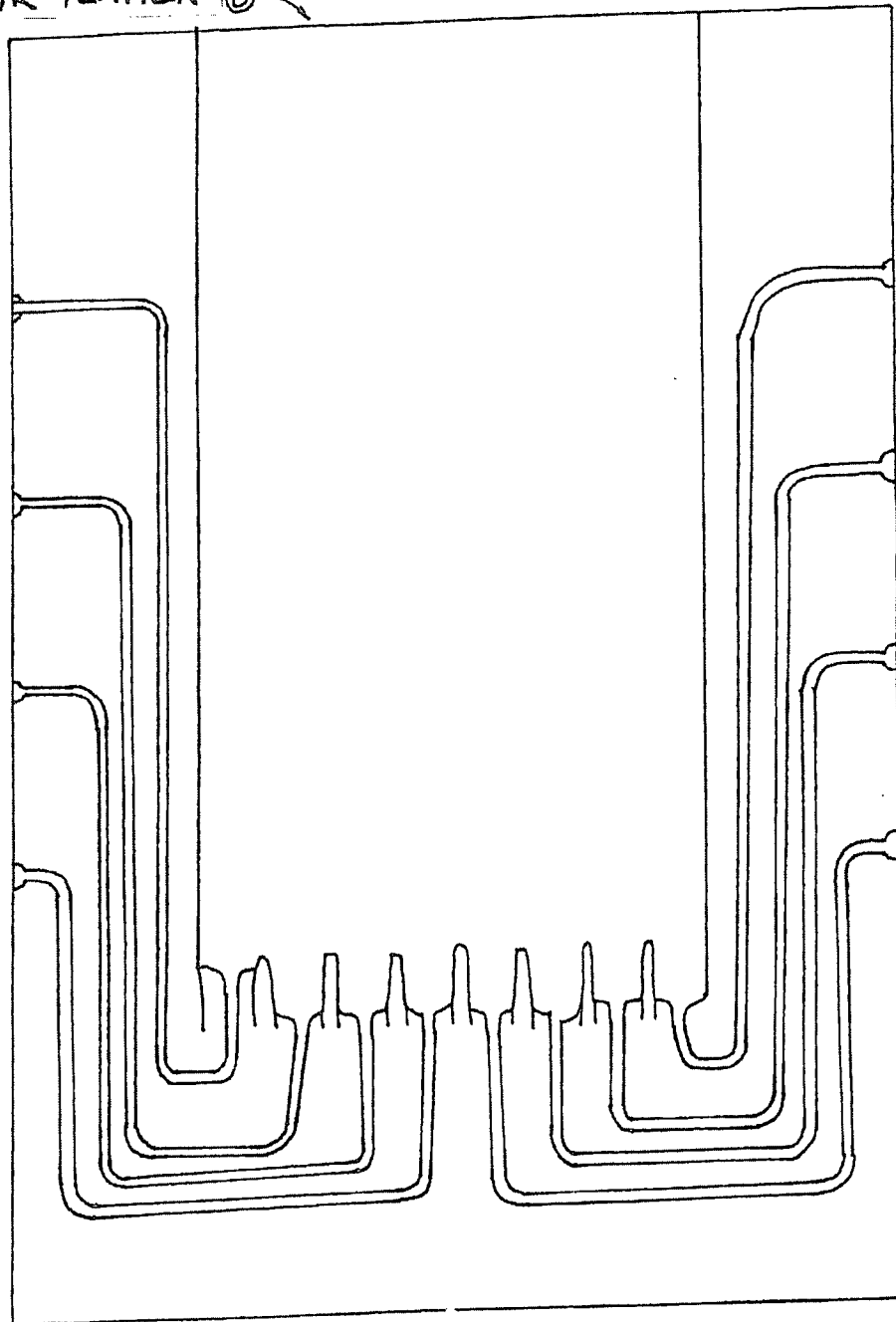
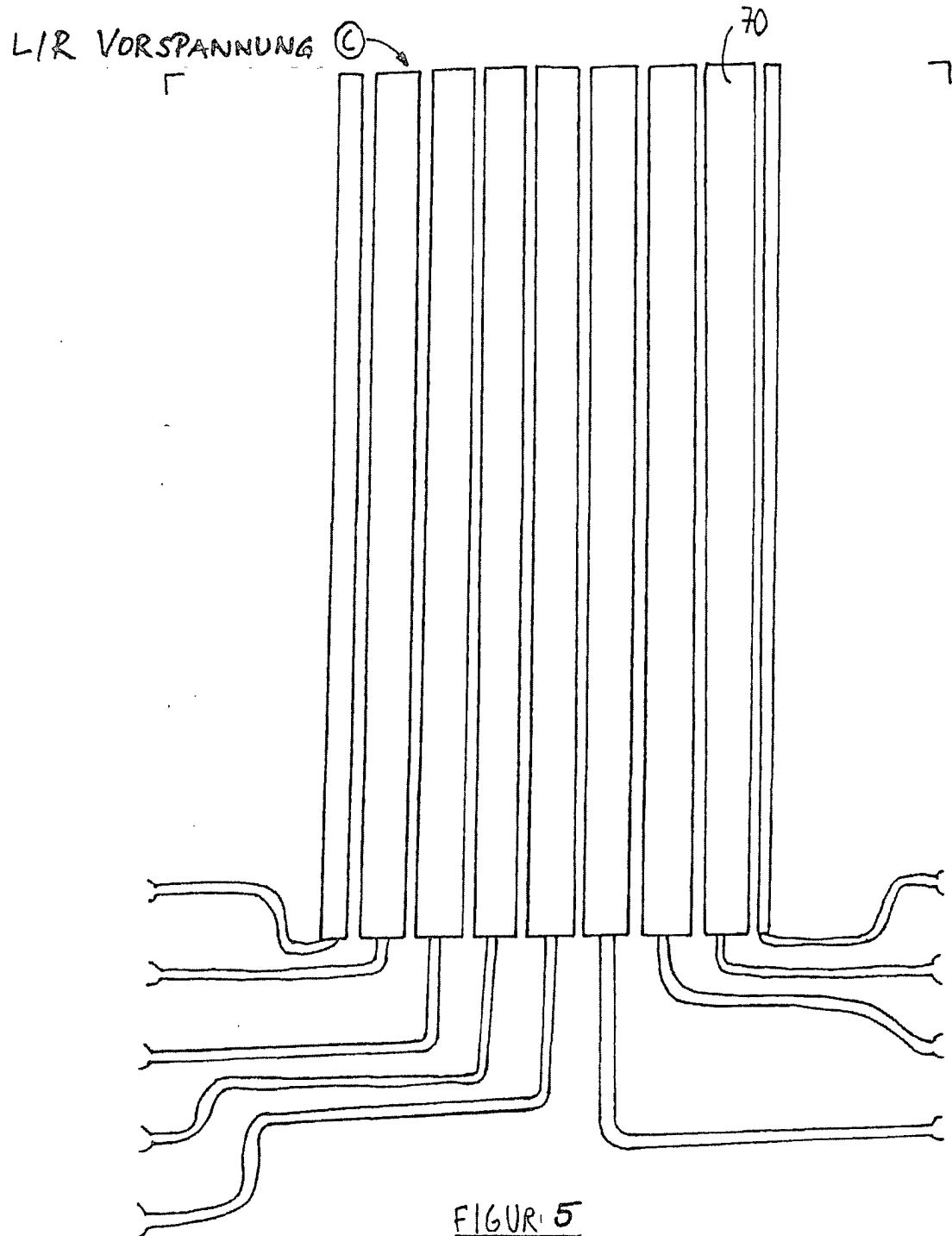


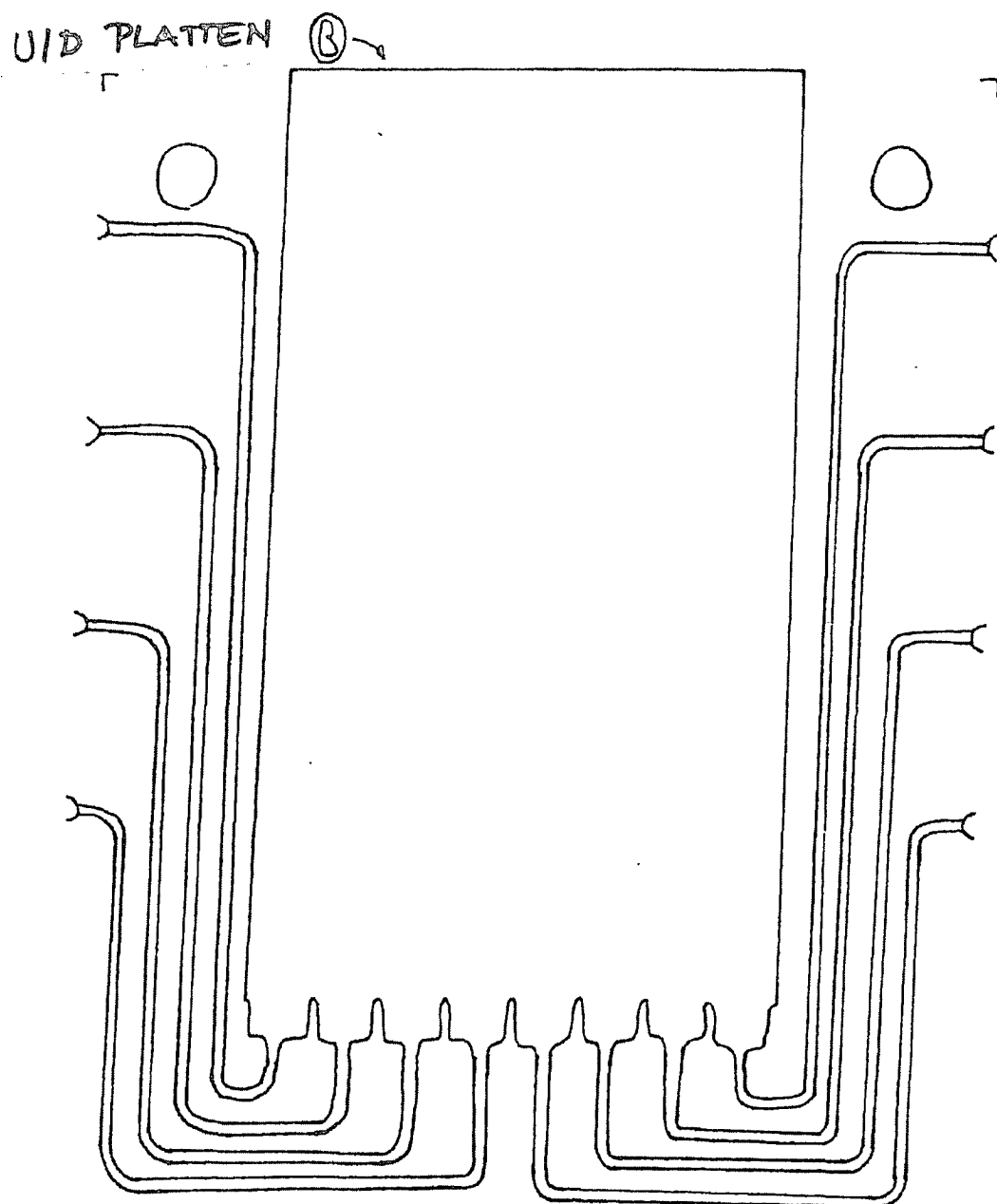
FIGURE 3

LIR PLATTEN ①

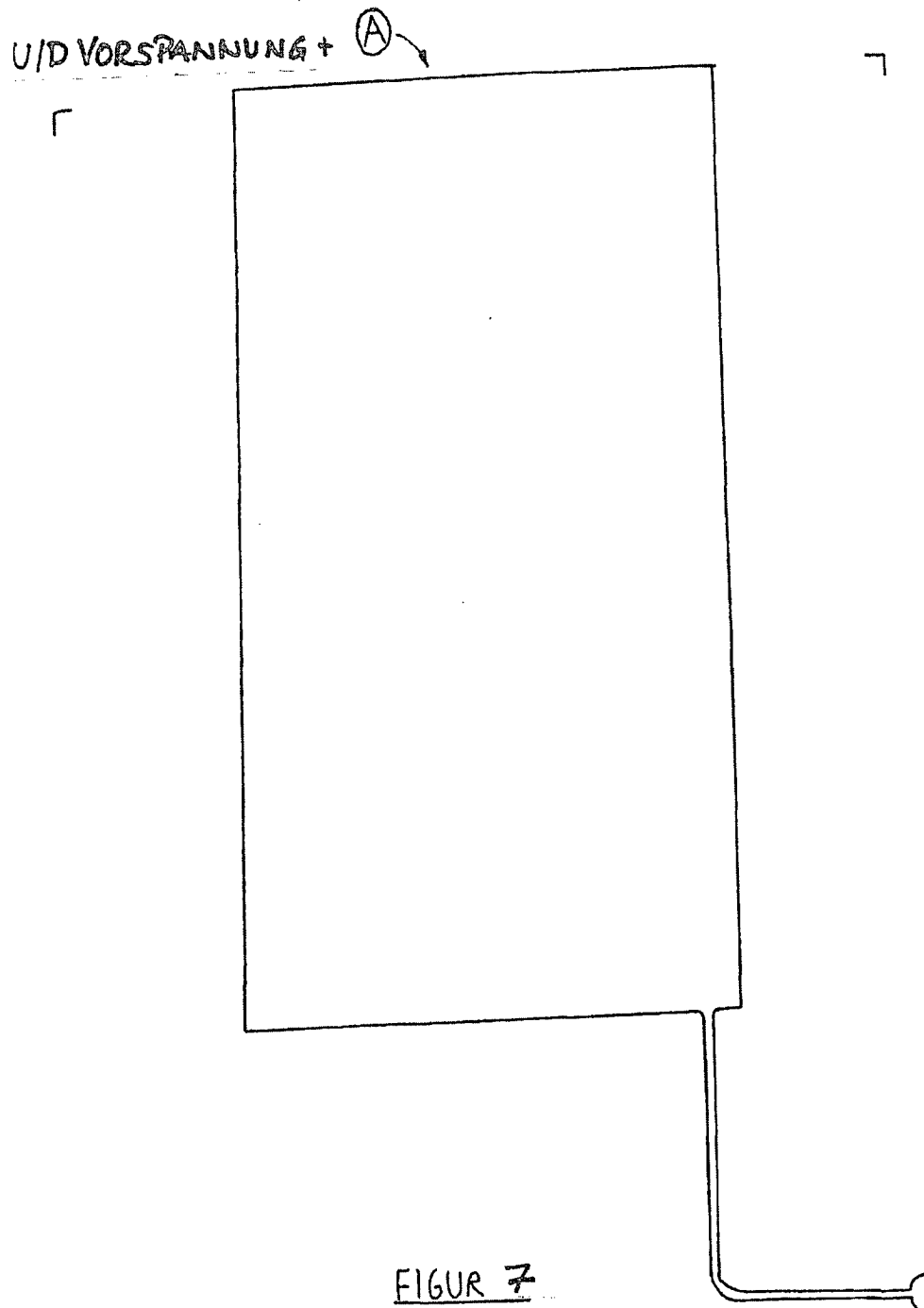


FIGUR 4





FIGUR 6



U/D VORSPANNUNG - (E) ↘  
└

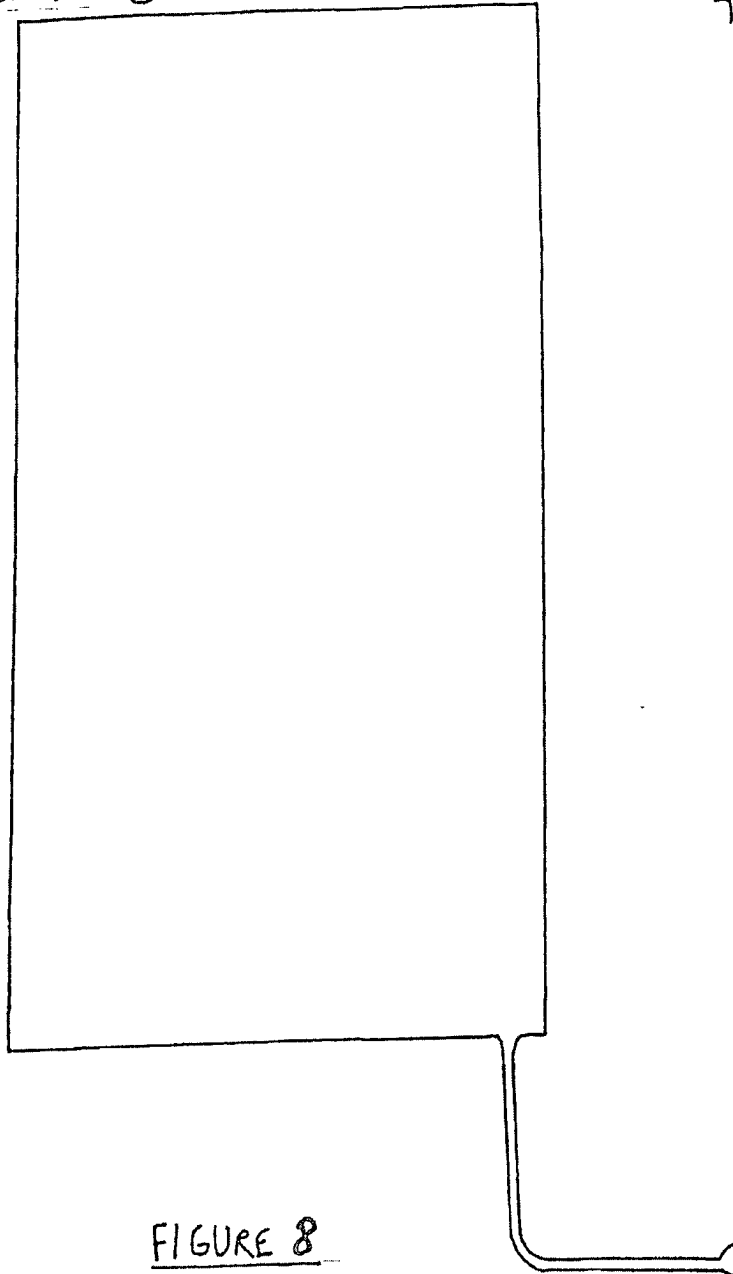


FIGURE 8

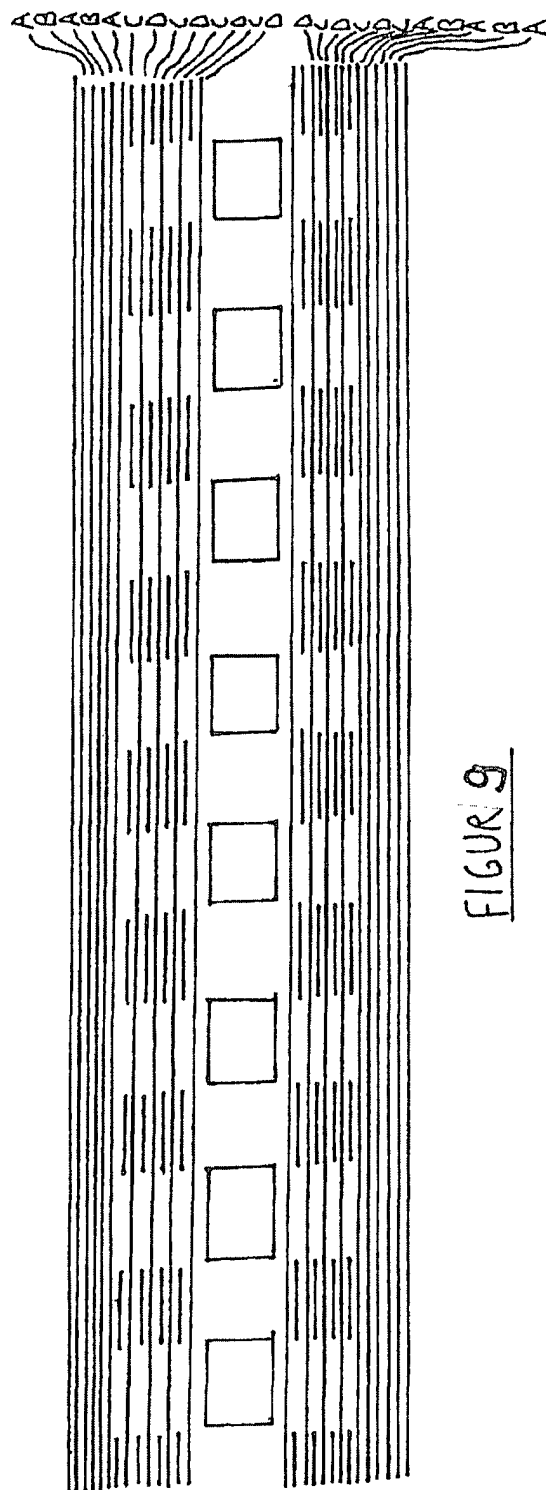
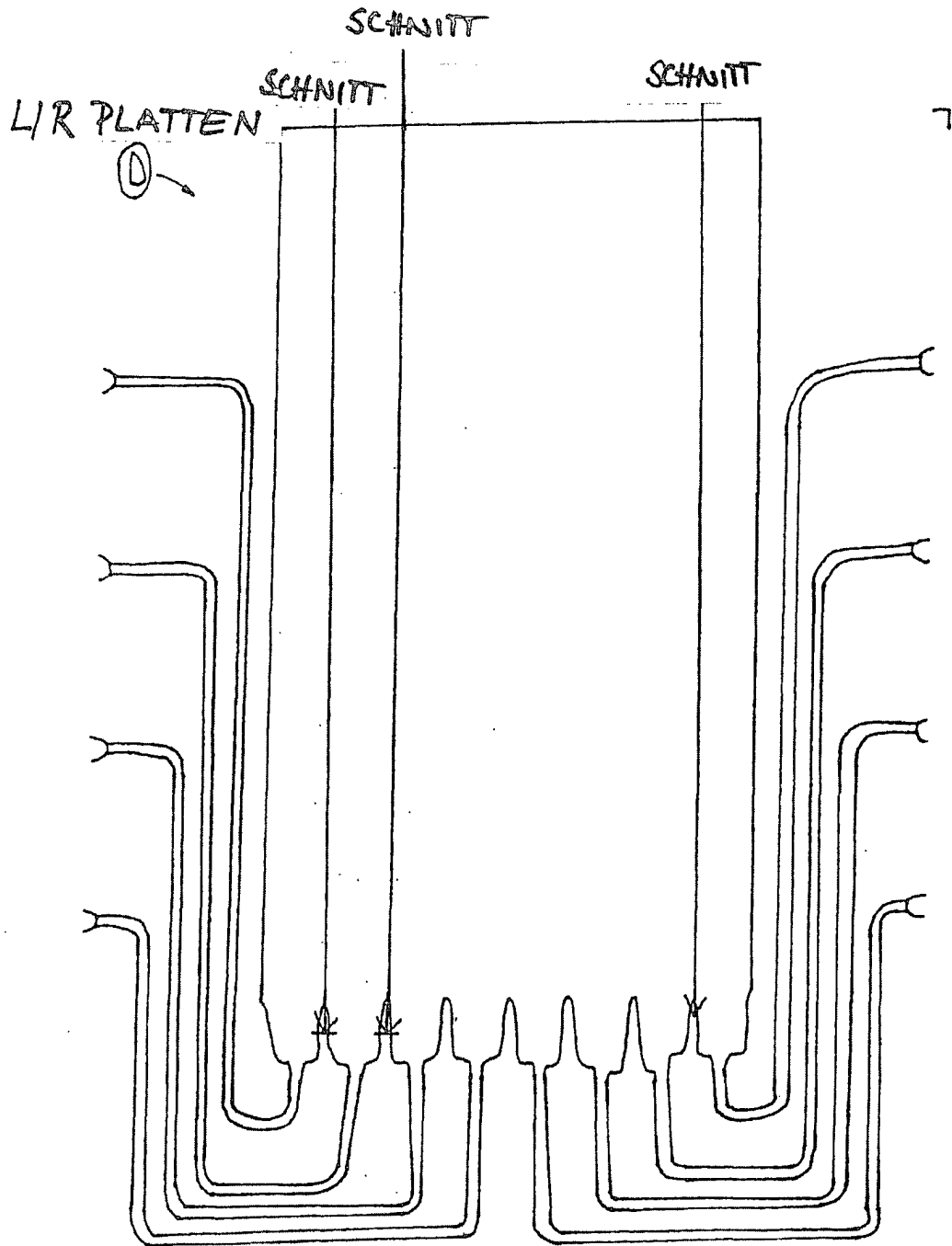
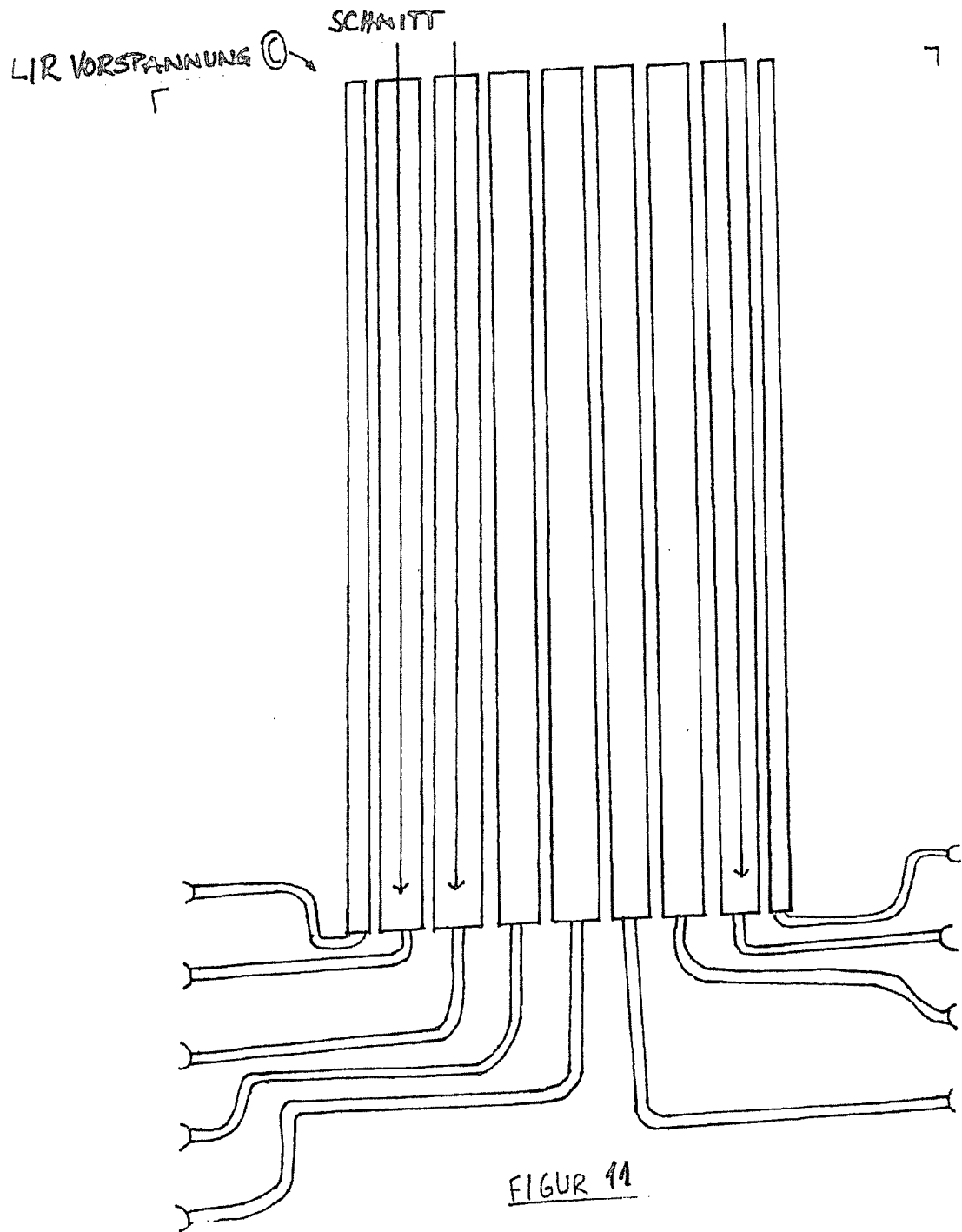


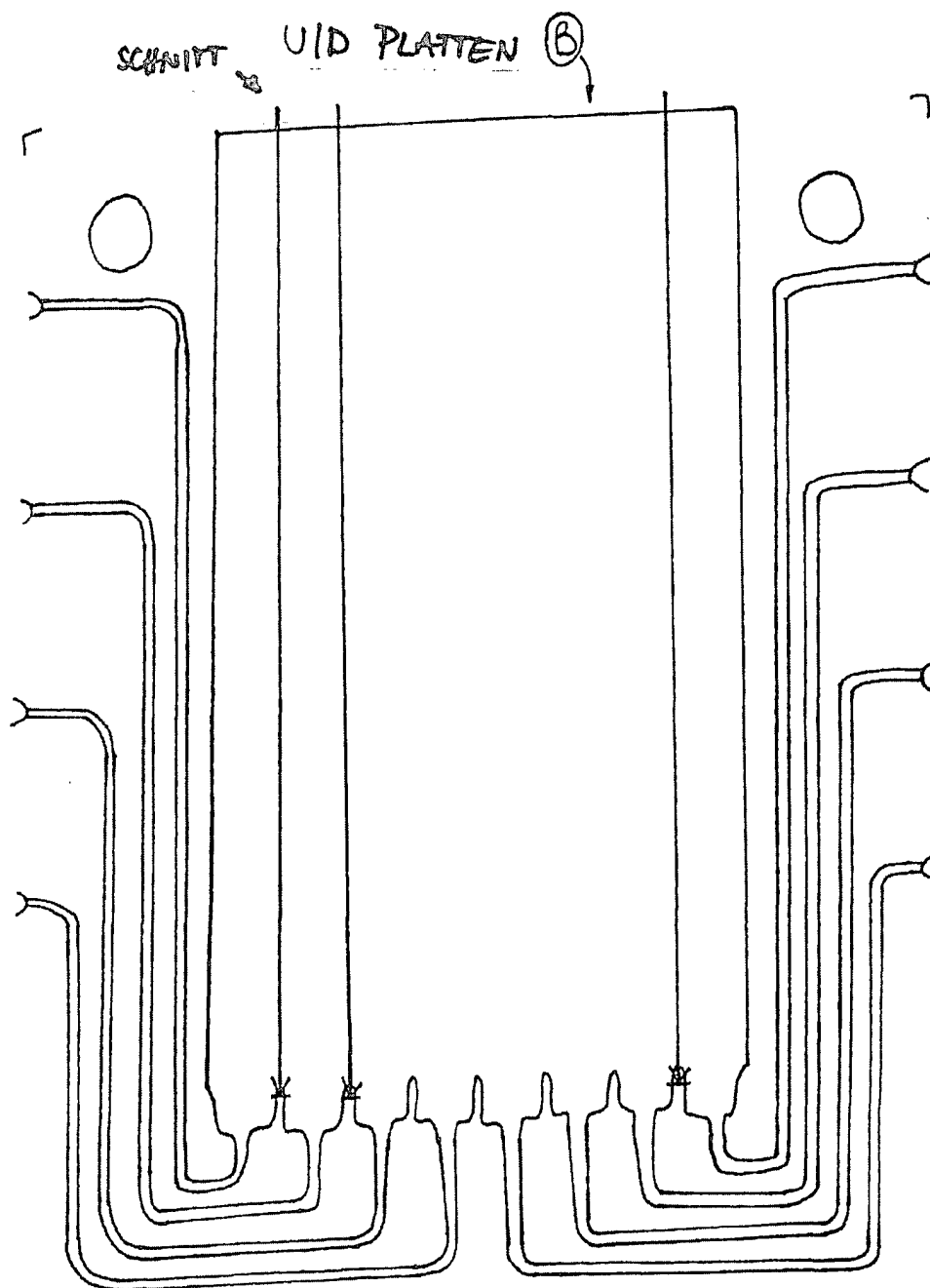
FIGURE 9



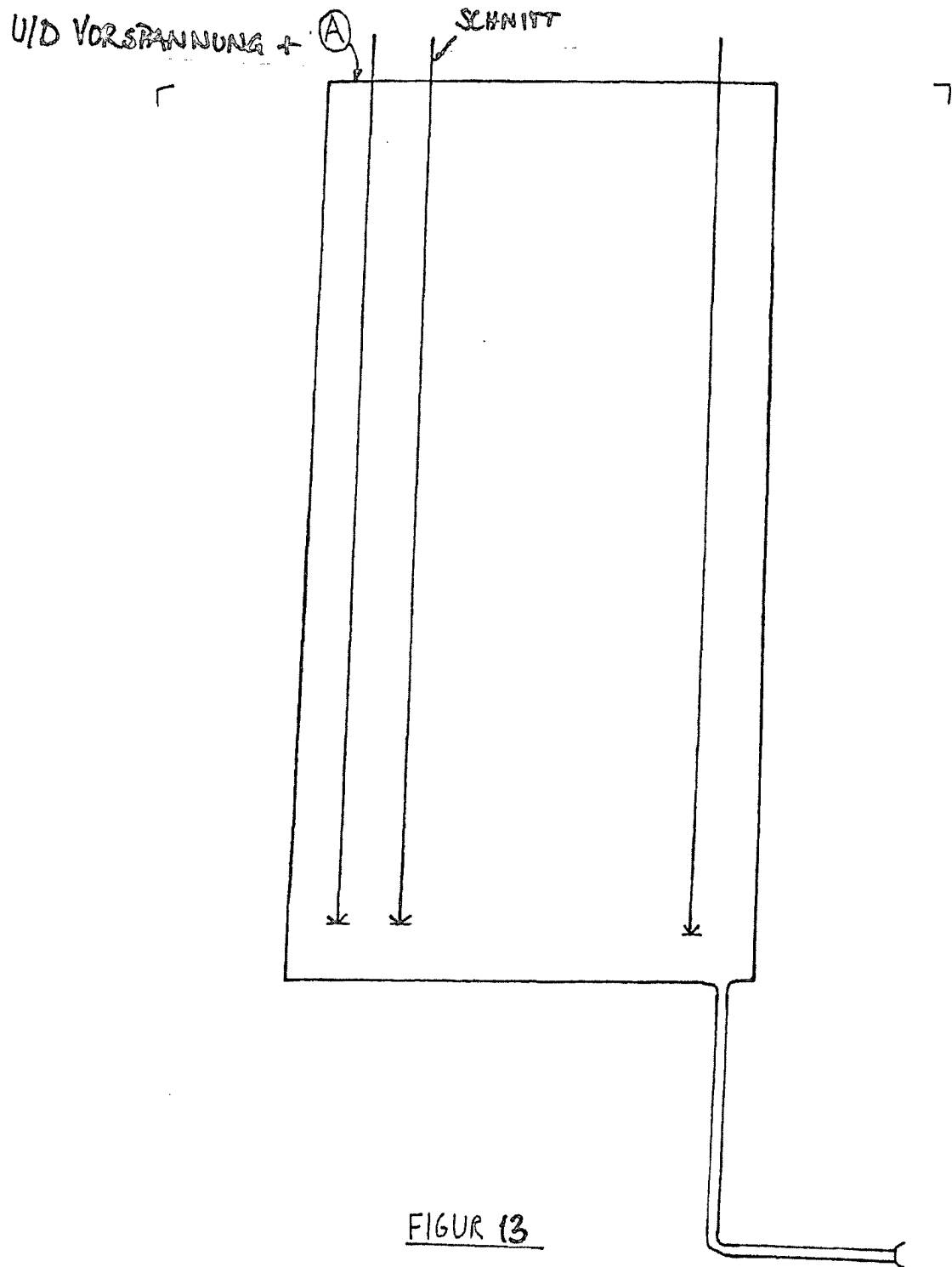


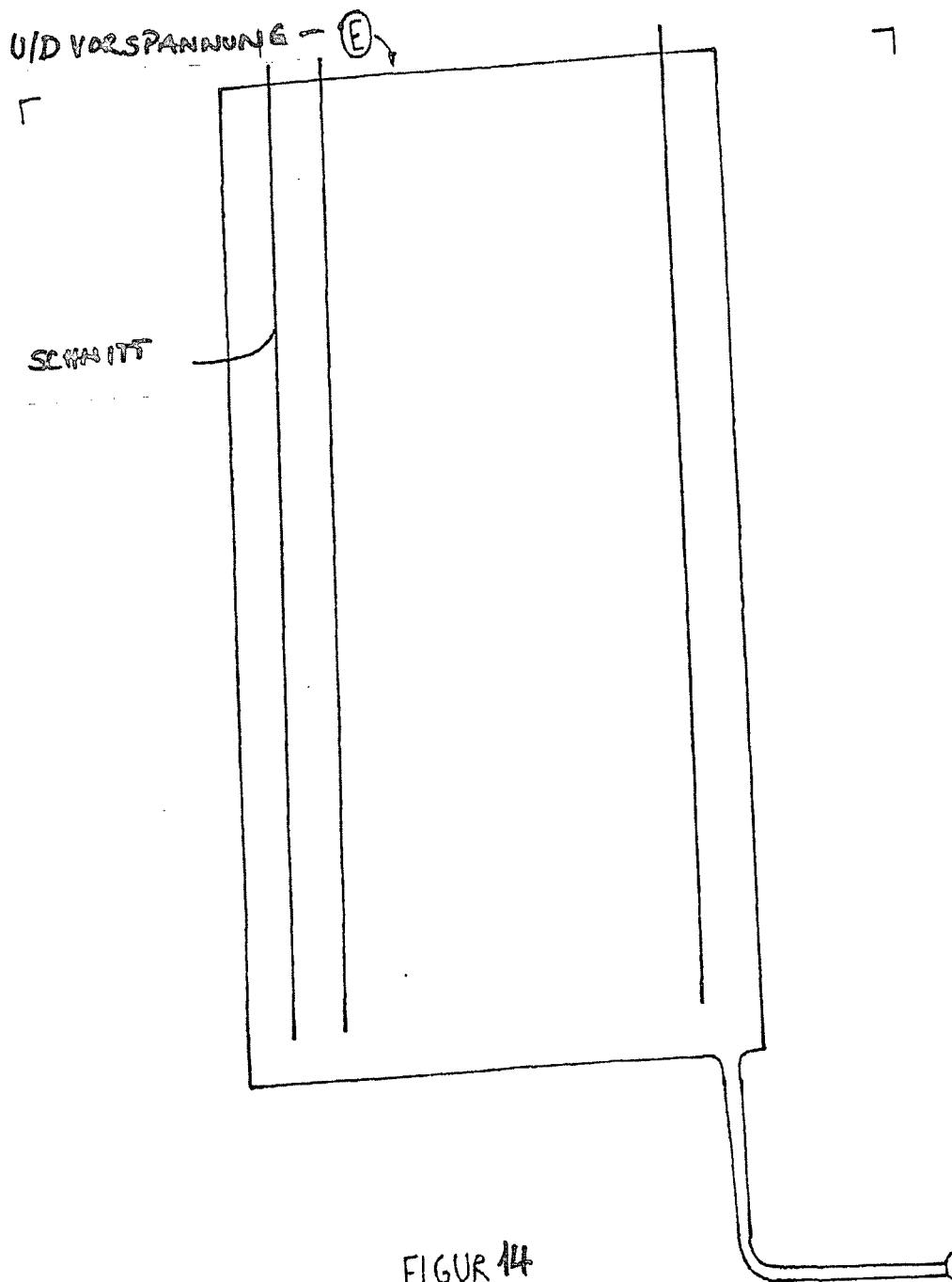
FIGUR 10

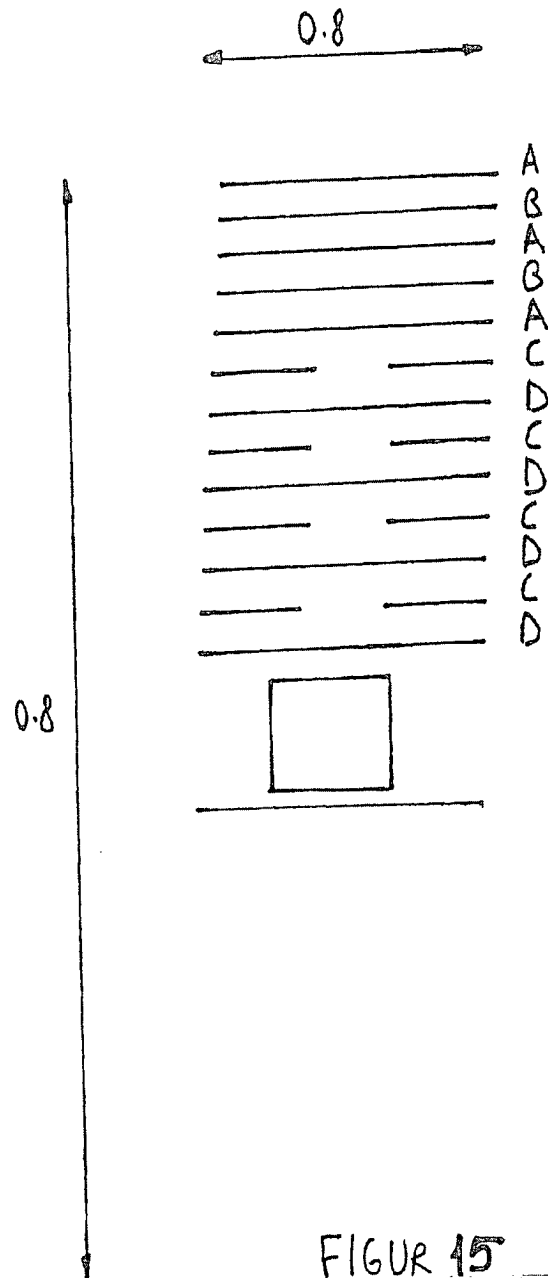




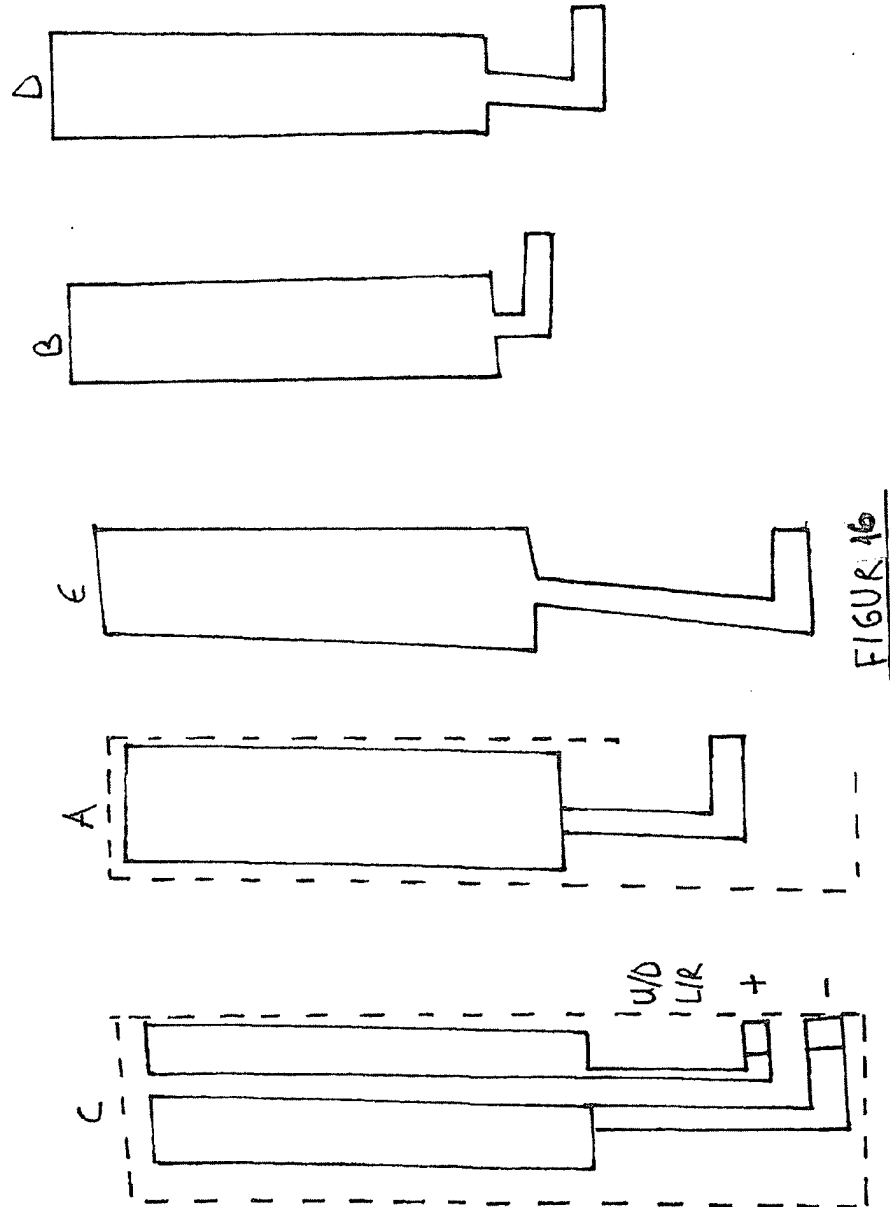
FIGUR 12





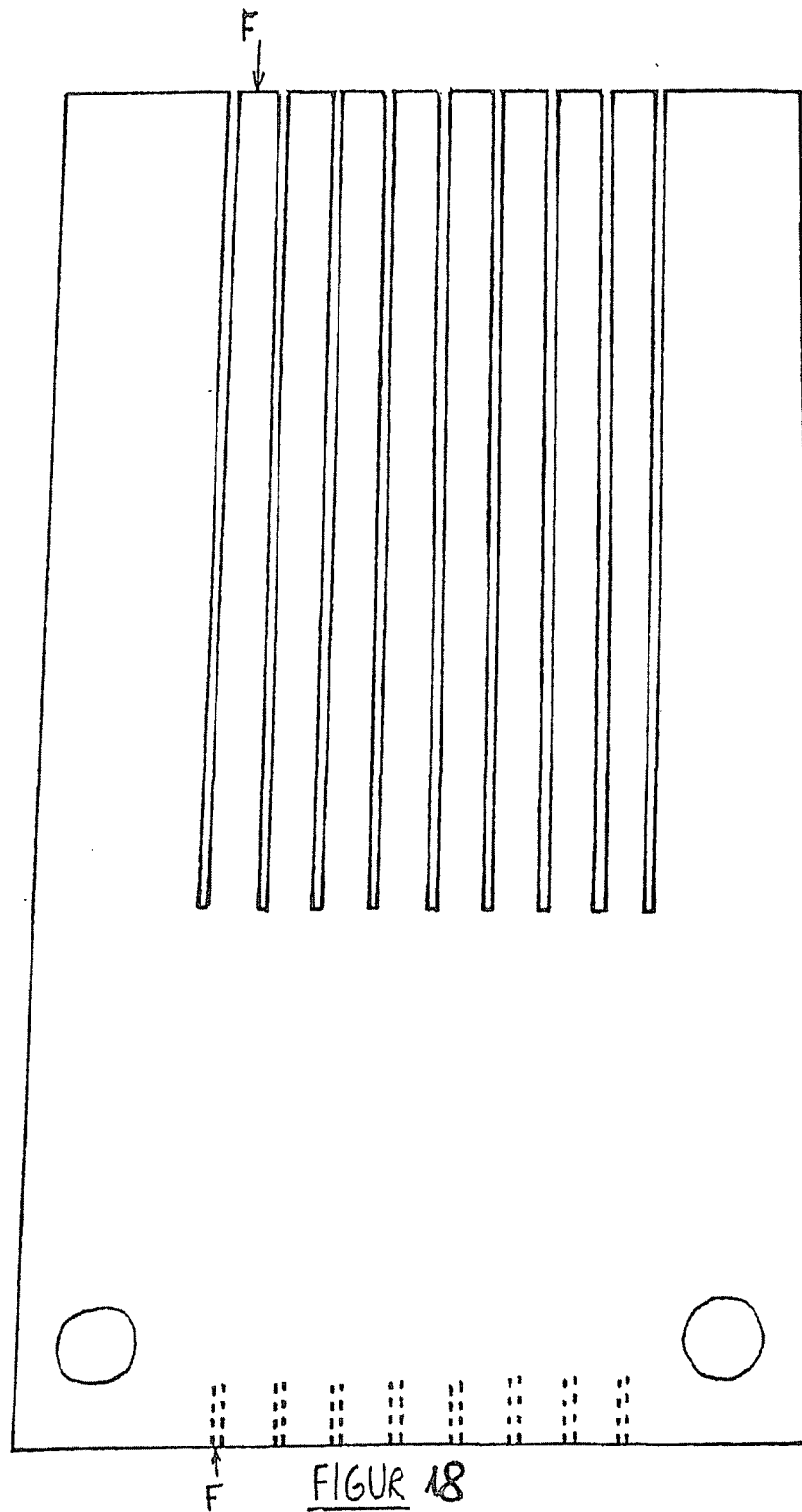


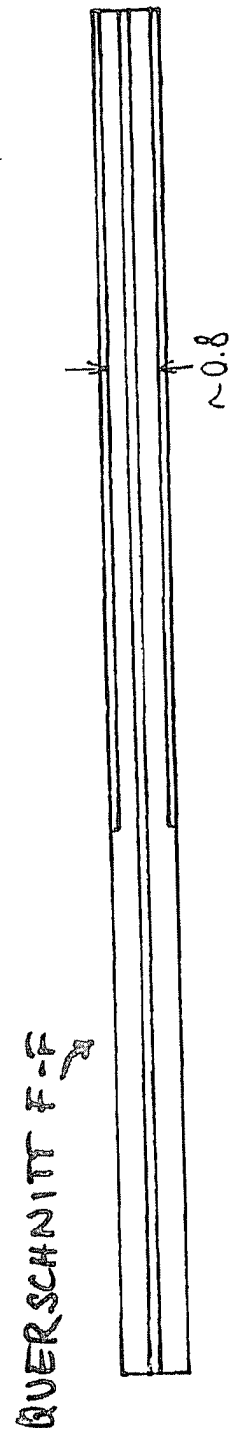
FIGUR 15







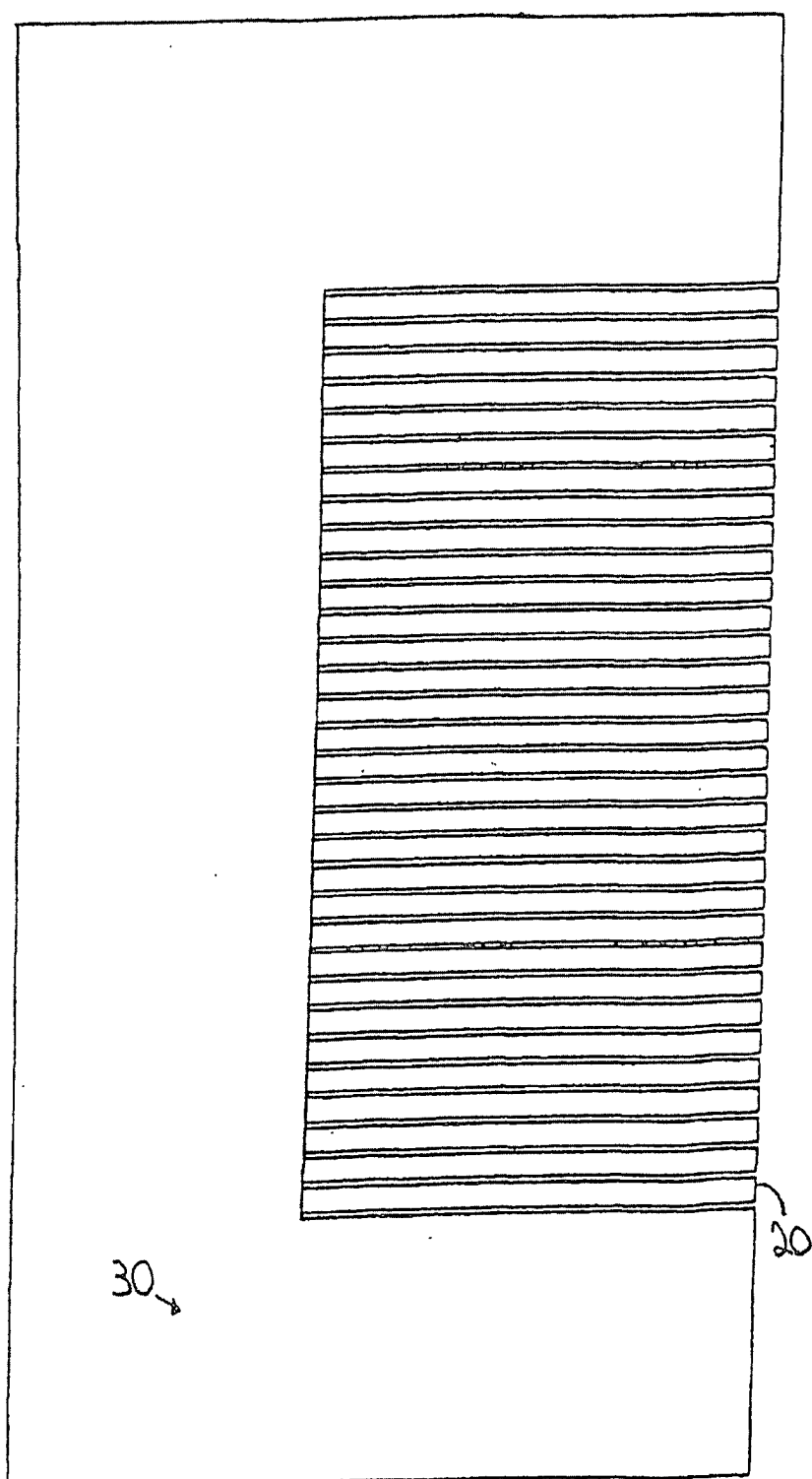




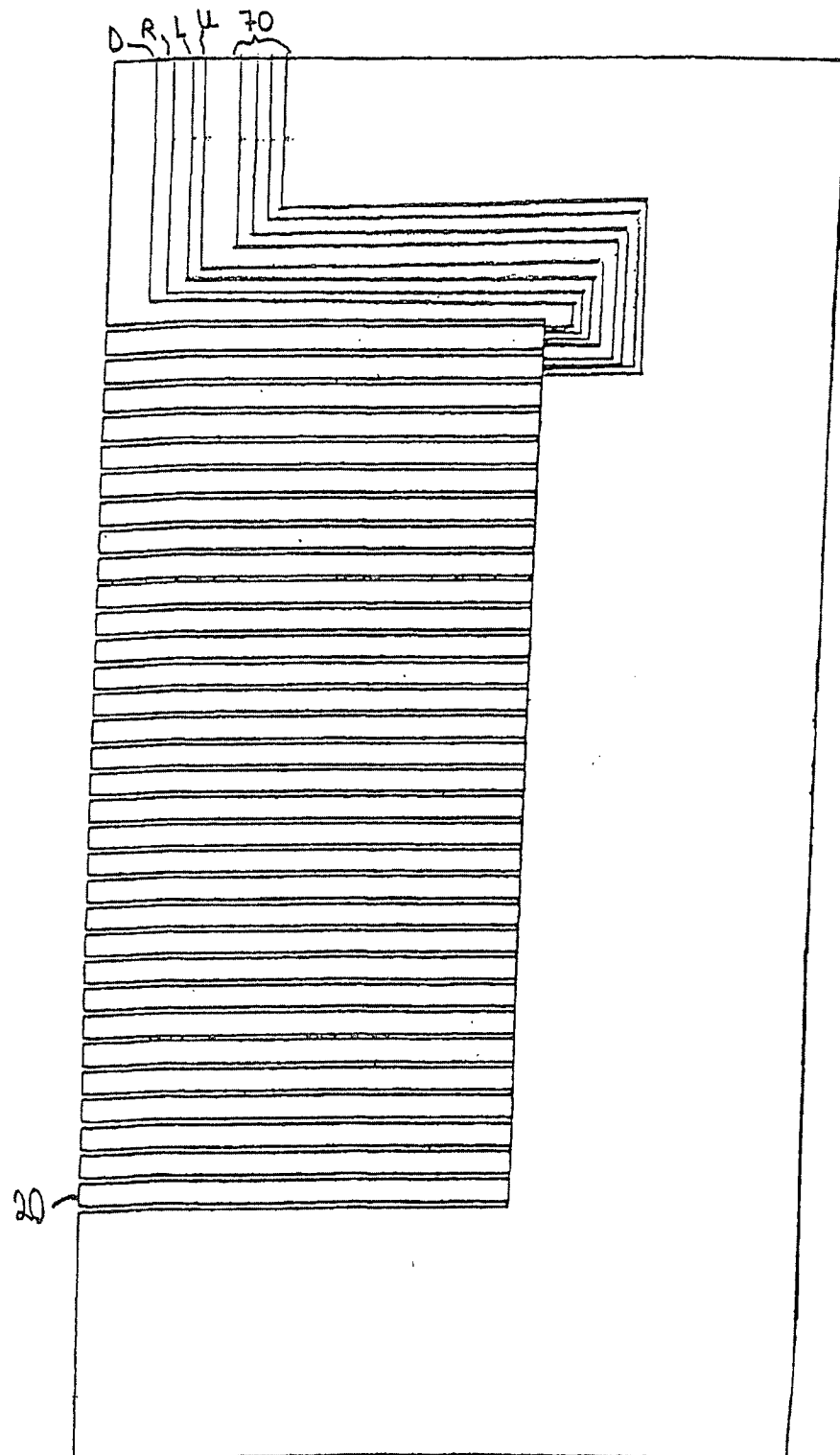
FIGUR 10

U/D1	U/D8
L/R1	LR8
U/D2	UD7
L/R2	LR7
U/D3	UD6
L/R3	LR6
U/D4	UD5
L/R4	LR5
+	+
-	-
+	+
-	-
+	+

FIGUR 20 .



FIGUR 2A



FIGUR 22