PCT WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM
Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICHT NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)

(51) Internationale Patentklassifikation 6 : **H01L 41/24**	**A1**	**(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: WO 99/34455** **(43) Internationales Veröffentlichungsdatum:** 8. Juli 1999 (08.07.99)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/DE98/03174

(22) Internationales Anmeldedatum: 30. Oktober 1998 (30.10.98)

(30) Prioritätsdaten:
197 57 877.2 24. Dezember 1997 (24.12.97) DE

(71) Anmelder *(für alle Bestimmungsstaaten ausser US)*: ROBERT BOSCH GMBH [DE/DE]; Postfach 30 02 20, D–70442 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder *(nur für US)*: SEIPLER, Dieter [DE/DE]; Paul–Hindemith–Strasse 1, D–72766 Reutlingen (DE). RÖTHLINGSHÖFER, Walter [DE/DE]; Königsträssle 129, D–72766 Reutlingen (DE). NISHIGAKI, Susumu [JP/JP]; 1607, 1–chome, Shinonokaze, Midoriku, Nagoya (JP).

(81) Bestimmungsstaaten: CZ, JP, KR, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

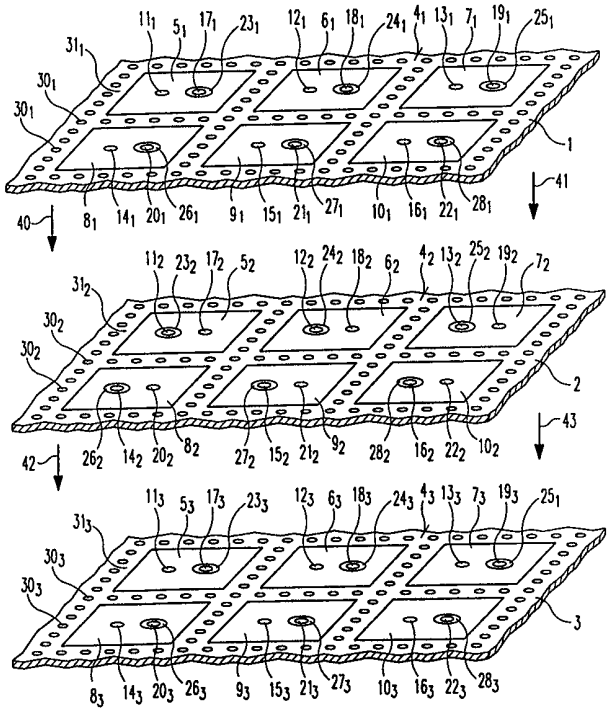
Veröffentlicht
Mit internationalem Recherchenbericht.

(54) Title: METHOD FOR THE PRODUCTION OF PIEZOELECTRIC ACTUATORS AND A PIEZOELECTRIC ACTUATOR

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG PIEZOELEKTRISCHER AKTOREN UND PIEZOELEKTRISCHER AKTOR

(57) Abstract

The invention relates to a method for parallel production of several piezoelectric actuators and to a corresponding piezoelectric actuator. According to the invention, several thin sheets (1–3) made of unburned piezoelectric ceramic working material are stacked on top of each other. An electrode (5–10) is provided on the surface (4) of the sheets (1–3) for each actuator. First (11–16) and second (17–22) connection holes are provided for contacting the electrodes. The electrodes have recesses (23–28) which surround the first (11–16) or the second (17–22) connection holes. An electroconductive paste (53) is applied in the connection holes (11–22). The stacked array is burned and divided into individual actuators. The electrodes working as internal electrodes are isolated from the environment.



(57) Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur parallelen Herstellung mehrerer piezoelektrischer Aktoren sowie einen entsprechenden piezoelektrischen Aktor. Erfindungsgemäss werden mehrere dünne Folien (1–3) aus einem ungebrannten, piezoelektrischen Keramikwerkstoff aufeinander gestapelt. Auf der Oberfläche (4) der Folien (1–3) ist für jeden Aktor eine Elektrode (5–10) vorgesehen. Zur Kontaktierung der Elektroden (5–10) sind erste (11–16) und zweite (17–22) Verbindungsöffnungen vorgesehen. Die Elektroden (5–10) weisen Aussparungen (23–28) auf, die entweder die ersten (11–16) oder die zweiten (17–22) Verbindungsöffnungen umgeben. In die Verbindungsöffnungen (11–22) wird eine elektrisch leitende Paste (53) eingebracht. Die gestapelte Anordnung wird gebrannt und in die einzelnen Aktoren zerlegt. Die Elektroden sind als Innenelektroden von der Umgebung isoliert.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	**ES**	Spanien	**LS**	Lesotho	**SI**	Slowenien
AM	Armenien	**FI**	Finnland	**LT**	Litauen	**SK**	Slowakei
AT	Österreich	**FR**	Frankreich	**LU**	Luxemburg	**SN**	Senegal
AU	Australien	**GA**	Gabun	**LV**	Lettland	**SZ**	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	**GB**	Vereinigtes Königreich	**MC**	Monaco	**TD**	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	**GE**	Georgien	**MD**	Republik Moldau	**TG**	Togo
BB	Barbados	**GH**	Ghana	**MG**	Madagaskar	**TJ**	Tadschikistan
BE	Belgien	**GN**	Guinea	**MK**	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	**TM**	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	**GR**	Griechenland			**TR**	Türkei
BG	Bulgarien	**HU**	Ungarn	**ML**	Mali	**TT**	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	**IE**	Irland	**MN**	Mongolei	**UA**	Ukraine
BR	Brasilien	**IL**	Israel	**MR**	Mauretanien	**UG**	Uganda
BY	Belarus	**IS**	Island	**MW**	Malawi	**US**	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	**IT**	Italien	**MX**	Mexiko		
CF	Zentralafrikanische Republik	**JP**	Japan	**NE**	Niger	**UZ**	Usbekistan
CG	Kongo	**KE**	Kenia	**NL**	Niederlande	**VN**	Vietnam
CH	Schweiz	**KG**	Kirgisistan	**NO**	Norwegen	**YU**	Jugoslawien
CI	Côte d'Ivoire	**KP**	Demokratische Volksrepublik Korea	**NZ**	Neuseeland	**ZW**	Zimbabwe
CM	Kamerun			**PL**	Polen		
CN	China	**KR**	Republik Korea	**PT**	Portugal		
CU	Kuba	**KZ**	Kasachstan	**RO**	Rumänien		
CZ	Tschechische Republik	**LC**	St. Lucia	**RU**	Russische Föderation		
DE	Deutschland	**LI**	Liechtenstein	**SD**	Sudan		
DK	Dänemark	**LK**	Sri Lanka	**SE**	Schweden		
EE	Estland	**LR**	Liberia	**SG**	Singapur		

Verfahren zur Herstellung piezoelektrischer Aktoren und Piezoelektrischer Aktor

Stand der Technik

Die Erfindung betrifft einen piezoelektrischen Aktor, der insbesondere zur Betätigung eines Brennstoffeinspritzventils verwendbar ist, sowie ein Verfahren zu dessen Herstellung.

Piezoelektrische Aktoren, insbesondere zur Betätigung von Brennstoffeinspritzventilen, sind in vielfältigen Bauformen beispielsweise aus der DE 195 00 706 A1 oder der DE 43 06 073 C1 bekannt. Die piezoelektrischen Aktoren bestehen aus mehreren übereinander gestapelten piezoelektrischen Schichten, die jeweils an einer Oberfläche mit einer Elektrode beschichtet sind. Übliche Piezoaktoren bestehen aus mehreren hundert derart übereinander geschichteten piezoelektrischen Schichten. Auf diese Weise wird ein relativ großer Betätigungshub erreicht. Wie z. B. in der DE 37 13 697 A1 näher dargestellt, müssen die Elektroden der einzelnen piezoelektrischen Schichten alternierend mit einer Spannungsquelle verbunden werden, um in den einzelnen Schichten ein in gleicher Richtung ausgerichtetes elektrisches Feld zu erzeugen. Dabei ist jede zweite Elektrode mit einem ersten Pol einer Spannungsquelle verbunden, während die dazwischenliegenden Elektroden mit einem zweiten Pol einer Spannungsquelle verbunden sind. Wie z. B. in der GB 2 193 386 A näher dargestellt, ist es bislang üblich, die sich bis an den Rand der gestapelten piezoelektrischen Schichten erstreckenden Elektroden im Randbereich außenseitig miteinander zu verbinden. Diese Kontaktierungsart ist jedoch bei einer vollautomatischen Fertigung mit großen Stückzahlen aufwendig und störungsanfällig und hat zudem den Nachteil, daß die Elektroden aufgrund ihrer Erstreckung bis in den Randbereich gegenüber der Umgebung nicht isoliert sind, so daß der Mantelbereich der piezoelektrischen Aktoren mit einer zusätzlichen Isolierung versehen werden muß.

Vorteile der Erfindung

Das erfindungsgemäße Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 hat den Vorteil, daß es in einer vollautomatischen Fertigung einsetzbar ist und zu sehr geringen Fertigungskosten führt. Die Elektroden des Aktors werden nicht an der Außenseite sondern dem Inneren durch eine in Verbindungsöffnungen eingebrachte elektrisch leitende Paste kontaktiert. Die erfindungsgemäße Kontaktierung ist daher wenig störanfällig und unanfällig gegen äußere mechanische Beschädigungen. Die piezoelektrischen Aktoren werden in einem hochintegrierten Fertigungsprozeß parallel zueinander hergestellt. Ein mehrere piezoelektrische Aktoren beinhaltender Block wird erst am Ende der Fertigung in die einzelnen Aktoren zerlegt. Die Fertigungsausbeute läßt sich dadurch erheblich erhöhen. Die gleichen Vorteile ergeben sich auch für den erfindungsgemäßen Aktor mit den Merkmalen des Anspruchs 10.

Durch die in den Unteransprüchen aufgeführten Maßnahmen sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen des im Anspruch 1 angegebenen Herstellungsverfahrens bzw. des im Anspruch 10 angegebenen piezoelektrischen Aktors möglich.

Wenn ein Randbereich der Aktoren von den Elektroden ausgespart ist, hat dies den Vorteil, daß die Elektroden von der Umgebung des Aktors zuverlässig isoliert sind. Es sind daher keine weiteren Maßnahmen zur Isolierung der Elektroden erforderlich. Da zudem die Kontaktierung der Elektroden über Verbindungsöffnungen im Inneren des Aktors erfolgt, ergibt sich eine vollständige Isolierung aller spannungführenden Bauteile nach außen. Die Störanfälligkeit des Aktors wird deutlich vermindert.

In den Zwischenbereichen zwischen den einzelnen Aktoren können in den die piezoelektrischen Schichten bildenden Folien Perforationslöcher ausgebildet werden. Diese Perforationslöcher dienen einerseits als Entgasungskanäle beim anschließenden Brennen der gestapelten Folien. Andererseits erleichtern die Perforationslöcher das Zertrennen der gestapelten Anordnung in die einzelnen Aktoren. Das Zertrennen kann dabei z. B. dadurch erfolgen, daß die Elektroden benachbarter Aktoren mit einem elektrischen Feld entgegengesetzt der Polarität beaufschlagt werden. Während der eine benachbarte Aktor kontrahiert, expandiert der andere benachbarte Aktor. Die sich dadurch ergebende mechanische Spannung führt zu einem Auseinanderbrechen der Aktoren entlang der durch die Perforationslöcher vorgegebenen Trennlinie. Die Perforationslöcher erleichtern jedoch auch ein Zertrennen der Aktoren durch Sägen entlang der durch die Perforationslöcher

vorgegebenen Perforationslinie. Ein anderes geeignetes Zertrennungsverfahren ist das Wasserstrahlschneiden.

Die metallischen Elektroden können vorteilhaft durch ein Siebdruckverfahren, Aufdampfen oder Sputtern aufgebracht werden, wobei es aus Gründen der Materialeinsparung und besseren Haftvermittlung mit der darüber liegenden piezoelektrischen Keramikschicht vorteilhaft ist, die Elektroden nicht vollflächig sondern mit einer z. B. netzartigen Struktur aufzubringen.

Zeichnung

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung vereinfacht dargestellt und in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

Es zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung von drei aufeinander zu stapelnden Folien aus einem piezoelektrischen Keramikmaterial, die mit Elektroden beschichtet sind und mit Verbindungsöffnungen und Perforationslöchern versehen sind; und

Fig. 2 einen fertigen Aktor in einer geschnittenen, perspektivischen Darstellung.

Beschreibung des Ausführungsbeispiels

Fig. 1 zeigt eine perspektivische, schematische Darstellung zur Veranschaulichung des erfindungsgemäßen Herstellungsverfahrens. Dargestellt sind drei Folien 1, 2 und 3 aus einem noch ungebrannten, piezoelektrischen Keramikwerkstoff, d. h. aus sogenannter grüner Keramik. Ein geeigneter Werkstoff ist z. B. Blei-Barium-Titanat ($PbBaTiO_2$). Der keramische Werkstoff läßt sich vor dem Brennen z. B. durch Walzen, Gießen oder Schneiden zu dünnen Folien verarbeiten. Die Größenordnung der Foliendicke liegt bei beispielsweise 0,1 mm, ohne daß die Ausführbarkeit der Erfindung auf diese Foliendicke beschränkt wäre. In einem nächsten Verarbeitungsschritt werden die Folien an ihrer Oberseite 4_1, 4_2, 4_3 mit einem elektrisch leitfähigen Material, vorzugsweise mit einer dünnen Metallschicht, beschichtet. Dazu sind alle bekannten chemischen und physikalischen Oberflächenbeschichtungsverfahren, z. B. Aufdampfen, Sputtern oder ein Siebdruckverfahren geeignet. Die Elektroden 5_1 bis 10_1, 5_2 bis 10_2 und 5_3 bis 10_3 können ganzflächig aufgebracht werden. Bei einem Siebdruckverfahren ist jedoch eine netzartige

Struktur der Elektroden zweckmäßig. Im dargestellten Ausführungsbeispiel ist jeweils eine Elektrode 5_1 bis 10_1, 5_2 bis 10_2 bzw. 5_3 bis 10_3 einer jeden Folie 1, 2 bzw. 3 einem Aktor zugeordnet. Es werden daher mehrere seitlich versetzt zueinander angeordnete Aktoren durch das erfindungsgemäße Verfahren gleichzeitig prozessiert, wodurch die Herstellungskosten deutlich reduziert werden können. Grundsätzlich ist es auch möglich, jedem Aktor nicht nur eine, sondern mehrere Elektroden zuzuordnen, wenn dies für einzelne Anwendungsfälle wünschenswert ist.

In jeder Folien-Schicht 1, 2 bzw. 3 werden in einem der Beschichtung nachfolgenden oder vorhergehenden Arbeitsschritt erste Verbindungsöffnungen 11_1 bis 16_1 in der ersten Folie 1, 11_2 bis 16_2 in der zweiten Folie 2 und 11_3 bis 16_3 in der dritten Folie 3 sowie zweite Verbindungsöffnungen 17_1 bis 22_1 in der ersten Folie 1, 17_2 bis 22_2 in der zweiten Folie 2 und 17_3 bis 23_3 in der dritten Folie 3 z. B. durch Stanzen oder Bohren ausgebildet. Die Verbindungsöffnungen 11 bis 22 dienen der Kontaktierung der einzelnen Elektroden 5 bis 10, worauf noch näher eingegangen wird. Um eine alternierende Verbindung zwischen den Elektroden zu erzielen, sind bei der ersten Folie 1 die zweiten Verbindungsöffnungen 17_1 bis 22_1 jeweils von einer Aussparung 23_1 bis 28_1 umgeben, d. h. die Elektroden-Beschichtung reicht nicht bis zum Rand der zweiten Verbindungsöffnungen 17_1 bis 22_1, sondern der Rand der Elektroden 5_1 bis 10_1 ist von dem Rand der zweiten Verbindungsöffnungen 17_1 bis 22_1 beabstandet. In ähnlicher Weise sind auch bei den Elektroden 5_3 bis 10_3 der dritten Folie 3 Aussparungen 23_3 bis 28_3 vorgesehen, die die zweiten Verbindungsöffnungen 17_3 bis 22_3 umgeben. In der dazwischen liegenden, zweiten Folienschicht hingegen umgeben die Aussparungen 23_2 bis 28_2 der Elektroden 5_2 bis 10_2 die ersten Verbindungsöffnungen 11_2 bis 16_2. Gleiches gilt auch für eine nicht mehr dargestellte oberhalb der ersten Folie 1 angeordnete an diese angrenzende, weitere Folie und eine ebenfalls nicht mehr dargestellte unterhalb der dritten Folie 3 angeordnete und an diese angrenzende weitere Folie. Die Aussparungen 23 bis 28 sind daher alternierend von Folien-Schicht zu Folien-Schicht jeweils den ersten Verbindungsöffnungen 11 bis 16 oder den zweiten Verbindungsöffnungen 17 bis 22 zugeordnet.

Ferner sind im dargestellten Ausführungsbeispiel Perforationslöcher 30_1, 30_2 und 30_3 in jeder Folienschicht 1, 2 bzw. 3 vorgesehen, die z. B. durch Stanzen oder Bohren gleichzeitig mit den ersten Verbindungsöffnungen 11 bis 16 und den zweiten Verbindungsöffnungen 17 bis 22 ausgebildet werden können. Die Perforationslöcher 30 sind im dargestellten Ausführungsbeispiel netzartig ausgebildet und markieren jeweils die Grenzlinie zwischen den einzelnen mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gleichzeitig hergestellten Aktoren. Zwischen den Elektroden 5_1 bis 10_1 bzw. 5_2 bis 10_2 bzw. 5_3 bis 10_3

sind in jeder Folie netzartige Zwischenbereiche 31_1 bzw. 31_2 bzw. 31_3 vorgesehen, so daß die Elektroden 5 bis 10 nicht bis zum äußeren Rand der Aktoren reichen, sondern von dem durch die Perforationslöcher 30 markierten Rand beabstandet sind. Die Perforationslöcher 30 sind vorzugsweise in den Zwischenbereichen 31 in Reihen angeordnet, die sich entlang der Ränder der einzelnen Aktoren erstrecken. Im dargestellten Ausführungsbeispiel werden Aktoren mit rechteckigen Querschnitt hergestellt. Zur Herstellung von Aktoren mit anderen Querschnittsflächen sind die Perforationslöcher entsprechend variiert anzuordnen.

In einem nachfolgenden Bearbeitungsschritt werden eine Vielzahl von Folien, von welchen in Fig. 1 nur ausschnittsweise die Folien 1 bis 3 dargestellt sind, übereinander gestapelt. Zur Erzielung eines ausreichenden Aktorhubs werden vorzugsweise mehrere hundert der in Fig. 1 dargestellten, wie vorgeschrieben behandelten Folien aufeinander geschichtet. Die einzelnen Folien-Schichten werden dabei so zueinander ausgerichtet, daß sowohl die Perforationslöcher 30 als auch die ersten Verbindungsöffnungen 11 bis 16 und die zweiten Verbindungsöffnungen 17 bis 22 exakt übereinander positioniert sind. Dies kann z. B. vollautomatisch mit einem mechanisch oder optisch abtastbaren Referenz-Markierungs-System erfolgen. Das Stapeln bzw. Schichten der einzelnen Folien 1 bis 3 ist in Fig. 1 durch die Pfeile 40 bis 43 veranschaulicht. Wie bereits erläutert, wird die Schichtenfolge der Folien 1 bis 3 so gewählt, daß die übereinander angeordneten Verbindungsöffnungen 11 bis 16 bzw. 17 bis 22 alternierend nur in jeder zweiten Folien-Schicht 1 bis 3 von einer Aussparung 23 bis 28 der Elektroden 5 bis 10 umgeben sind, so daß die Elektroden 5 bis 10 abwechselnd mit den ersten Verbindungsöffnungen 11 bis 16 oder den zweiten Verbindungsöffnungen 17 bis 22 in Verbindung stehen.

In einem weiteren Bearbeitungsschritt werden die ersten Verbindungsöffnungen 11 bis 16 und die zweiten Verbindungsöffnungen 17 bis 22 mit einer geeigneten, elektrisch leitenden Paste, z. B. einer Metallisierungspaste, gefüllt. Das Füllen der Verbindungsöffnungen 11 bis 16 bzw. 17 bis 22 kann z. B. durch Einsaugen mittels Unterdruck oder durch Einpressen erfolgen. Bevorzugt erfolgt das Einbringen der elektrisch leitenden Paste in dem bereits gestapelten Zustand der Folien. Denkbar ist es jedoch auch, daß jede einzelne Folie vor dem Stapeln mit der elektrisch leitenden Paste gefüllt wird. Die Verbindungsöffnungen 11 bis 16 bzw. 17 bis 22 können auch als sogenannte Via-Löcher bezeichnet werden, so daß dem Kontaktierungsverfahren die Bezeichnung Via-Fill-Prozeß zukommt.

In einem nachfolgenden Bearbeitungsschritt wird die durch das Stapeln der Folien 1 bis 3 entstehende gestapelte Anordnung unter einem geeigneten Druck bei erhöhter Temperatur getrocknet und anschließend bei einer geeigneten Temperatur gebrannt. Die Brenn-

Temperatur ist vorzugsweise größer als 1000° C und liegt bevorzugt im Bereich zwischen 1000° C und 1500° C.

Anschließend wird die gebrannte, gestapelte Anordnung in die Einzelaktoren zerlegt. Bei einer Foliengröße von beispielsweise 15 x 20 cm lassen sich bis zu 200 Einzel-Aktoren aus der gestapelten Anordnung gewinnen. Das Zertrennen in die Einzel-Aktoren erfolgt z. B. durch Sägen oder durch Wasserstrahlschneiden. Die Perforationslöcher 30 erleichtern dabei den Trennvorgang und markieren die Trennstelle.

Entsprechend einer bevorzugten Vorgehensweise erfolgt das Trennen der gestapelten Anordnung in die Einzel-Aktoren dadurch, daß benachbarte Aktoren mit einer elektrischen Spannung unterschiedlicher Polarität beaufschlagt werden. Durch das sich in den einzelnen Schichten des Aktors ausbildende elektrische Feld, welches zwischen benachbarten Aktoren in unterschiedlicher Richtung ausgerichtet ist, ergibt sich je nach Feldrichtung entweder eine Kontraktion oder Expansion der benachbarten Aktoren. Zwischen den benachbarten Aktoren tritt deshalb eine mechanische Verspannung auf, die bei geeigneter Dimensionierung der elektrischen Feldstärke und des Abstands zwischen den einzelnen Perforationslöchern 30 zu einem Zertrennen der Aktoren entlang der durch die Perforationslöcher 30 vorgegebenen Trennlinie führt. Diese Vorgehensweise ist besonders kostensparend, da es keiner besonderen Trennvorrichtung bedarf.

Zur besseren Veranschaulichung der Erfindung ist in Fig. 2 ein Einzel-Aktor geschnitten dargestellt. Erkennbar sind die gestapelt übereinander angeordneten Schichten 50_1 bis 50_{15} aus piezoelektrischem Keramikwerkstoff. Erkennbar sind ferner die Elektroden 5_1 bis 5_{15} der einzelnen Schichten 50_1 bis 50_{15} . Wie in Fig. 2 nochmals verdeutlicht, sind die Aussparungen 23_1 bis 23_{15} der Elektroden 5_1 bis 5_{15} alternierend so angeordnet, daß sie abwechselnd die erste Verbindungsöffnung 11 und die zweite Verbindungsöffnung 17 umgeben. Durch die in die Verbindungsöffnungen 11 und 17 eingefüllte, elektrisch leitfähige Paste 53 werden die Elektroden 5_1, 5_3, ... 5_{15} jeweils jeder zweiten Schicht mit einem z. B. durch Löten, Bonden, Schweißen oder dergleichen mit dem Aktor verbundenen, ersten Anschlußdraht 51 verbunden. Die dazwischenliegenden Elektroden 5_2, 5_4, ...5_{14} werden über die in die zweiten Verbindungsöffnungen 17 eingeführte elektrisch leitfähige Paste 53 mit einem zweiten Anschlußdraht 52 verbunden. Das sich in dem Aktor bei Anlegen einer elektrischen Spannung zwischen den Anschlußdrähten 51 und 52 ausbildende elektrische Feld ist daher in sämtlichen piezoelektrischen Schichten 50_1 bis 50_{15} in gleicher Richtung ausgerichtet, so daß sich die Kontraktion bzw. Expansion jeder einzelnen piezoelektrischen Schicht 15_1 bis 15_{15} konstruktiv zu einem Gesamthub des piezoelektrischen Aktors addiert.

Aus Fig. 2 sind ferner die ausgebrochenen Perforationslöcher 30 im Randbereich des Aktors zu erkennen. Dadurch, daß die Elektroden 5_1 bis 5_{15} sich nicht bis zum Randbereich des Aktors erstrecken, sondern durch einen Abstand a von dem Rand beabstandet sind, ergibt sich eine hermetische Isolation der Elektroden 5_2 bis 5_{15}. Lediglich für die oberste Elektrode 5_1 ist eine zusätzliche Isolationsmaßnahme vorzusehen. Vorzugsweise wird der Aktor an seiner Oberseite durch eine geeignete elektrisch isolierende Vergußmasse abgedeckt. Diese Vergußmasse kann bereits vor dem Zertrennen der gestapelten Anordnung in die Einzel-Aktoren flächig aufgebracht werden. Ferner ist es denkbar, an der Oberseite als abschließende Schicht eine elektrisch isolierende Abdeck-Folie aufzubringen.

Die Perforationslöcher 30 erleichtern nicht nur das Zertrennen der gestapelten Anordnung in Einzel-Aktoren, sondern unterstützen insbesondere auch als Entgasungskanäle die Gasentweichung beim Trocknen und Brennen der gestapelten Anordnung. Durch das erfindungsgemäße Verfahren lassen sich piezoelektrische Aktoren herstellen, die mit einer Arbeitsspannung von weniger als 150 V auskommen und eine Kraft von mehr als 1000 N bei einem Betätigungshub von 50 μm erzeugen. Durch Wasserschneiden läßt sich die gestapelte Anordnung in Einzelaktoren mit nahezu beliebiger Querschnittsfläche zerlegen. So sind z. B. runde, dreieckige oder sternförmige Aktoren herstellbar.

Ansprüche

1. Verfahren zur parallelen Herstellung mehrerer piezoelektrischer Aktoren mit folgenden Verfahrensschritten:

- Herstellen von dünnen Folien (1-3) aus einem ungebrannten, piezoelektrischen Keramikwerkstoff,
- Ausbilden von die Folien (1-3) durchdringenden ersten und zweiten Verbindungsöffnungen (11-16, 17-22), wobei jedem Aktor jeweils eine erste (11-16) und eine zweite (17-22) Verbindungsöffnung zugeordnet ist,
- Beschichten jeweils einer Oberfläche (4) der Folien (1-3) mit mehreren Elektroden (5-10), wobei jedem Aktor in jeder Folie (1-3) zumindest eine Elektrode (5-10) zugeordnet ist und

wobei die Verbindungsöffnungen (11-16, 17-22) die Folien (1-3) im Bereich der Elektroden (5-10) durchdringen und die Elektroden (5-10) jeweils eine Aussparung (23-28) aufweisen, die entweder die erste (11-16) oder zweite (17-22) Verbindungsöffnung umgibt,

- Stapeln einer Vielzahl von Folien (1-3) übereinander, so daß die ersten und zweiten Verbindungsöffnungen (11-16, 17-22) in einer dadurch entstehenden gestapelten Anordnung übereinander angeordnet sind,

wobei die Schichtenfolge der Folien (1-3) so gewählt ist, daß die übereinander angeordneten Verbindungsöffnungen (11-16, 17-22) alternierend nur in jeder zweiten Folien-Schicht (1-3) von einer Aussparung (23-28) der Elektroden (5-10) umgeben sind, so daß die Elektroden (5-10) abwechselnd entweder mit den ersten Verbindungsöffnungen (11-16) oder den zweiten Verbindungsöffnungen (17-22) in Verbindung stehen,

- Einbringen einer elektrisch leitenden Paste (53) in die Verbindungsöffnungen (11-16, 17-22),
- Brennen der gestapelten Anordnung, und
- Zertrennen der gestapelten Anordnung in einzelne Aktoren.

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
daß auf den Oberflächen (4) der Folien (1-3) im Randbereich zwischen den einzelnen Aktoren Zwischenbereiche (31) vorgesehen sind, die von den Elektroden (5-10) ausgespart sind.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß in der Zwischenbereichen (31) Perforationslöcher (30) ausgebildet werden.

4. Verfahren nach Anspruch 3,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Perforationslöcher (30) in sich in den Zwischenbereichen (31) entlang der Ränder der einzelnen Aktoren erstreckenden Reihen angeordnet sind.

5. Verfahren nach Anspruch 3 oder 4,
dadurch gekennzeichnet,
daß zum Zertrennen der gestapelten Anordnung in die einzelnen Aktoren zwischen den Elektroden (5-10) benachbarter Aktoren ein elektrisches Feld entgegengesetzter Polarität angelegt wird.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
daß das Zertrennen der gestapelten Anordnung in die einzelne Aktoren mittels Sägen oder Wasserstrahlschneiden erfolgt.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
daß die gestapelte Anordnung vor dem Brennen unter Druck bei einer erhöhten Temperatur getrocknet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Elektroden (5-10) durch ein Siebdruckverfahren, Aufdampfen, Sputtern oder dergleichen aufgebracht werden.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8,
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t,
daß die gestapelte Anordnung beim Brennen unter uniaxialem Druck bei einer Temperatur von mindestens 1000° C gesintert wird.

10. Piezoelektrischer Aktor, der eine Vielzahl von übereinander angeordneten Schichten (50) aus einem piezoelektrischen Keramikwerkstoff aufweist, die jeweils auf einer Oberfläche (4) mit zumindest einer Elektrode (5) beschichtet sind, wobei die Elektroden (5) alternierend miteinander verbunden sind,
dadurch gekennzeichnet,
daß in jeder Schicht (50) eine erste und zweite die Schicht (50) im Bereich der Elektrode (5) durchdringende Verbindungsöffnung (11, 17) vorgesehen sind,
daß jede Elektrode (5) eine Aussparung (23) aufweist, die entweder die erste (11) oder zweite (17) Verbindungsöffnung umgibt,
daß die Schichten (50) so gestapelt sind, daß die ersten und zweiten Verbindungsöffnungen (11, 17) sämtlicher Schichten (50) übereinander angeordnet sind und die übereinander angeordneten Verbindungsöffnungen (11, 17) alternierend nur in jeder zweiten Schicht von einer Aussparung (23) der Elektroden (5) umgeben sind, so daß die Elektroden (5) abwechselnd mit den ersten Verbindungsöffnungen (11) und den zweiten Verbindungsöffnungen (17) in Verbindung stehen, und
daß die Verbindungsöffnungen (11, 17) mit einer elektrisch leitenden Paste (53) gefüllt sind.

11. Piezoelektrischer Aktor nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Elektroden (5) aus einer netzartigen Metallschicht bestehen.

12. Piezoelektrischer Aktor nach Anspruch 10 oder 11,
dadurch gekennzeichnet,
daß die Schichten (50) einen umlaufenden Randbereich (31) aufweisen, der nicht mit der Elektrode (5) beschichtet ist.

13. Piezoelektrischer Aktor nach einem der Ansprüche 10 bis 12,
dadurch gekennzeichnet,
daß die äußere Oberfläche der obersten und/oder untersten Schicht und/oder der Randbereich des Aktors in eine elektrisch isolierende Vergußmasse eingebettet ist.

Fig. 1

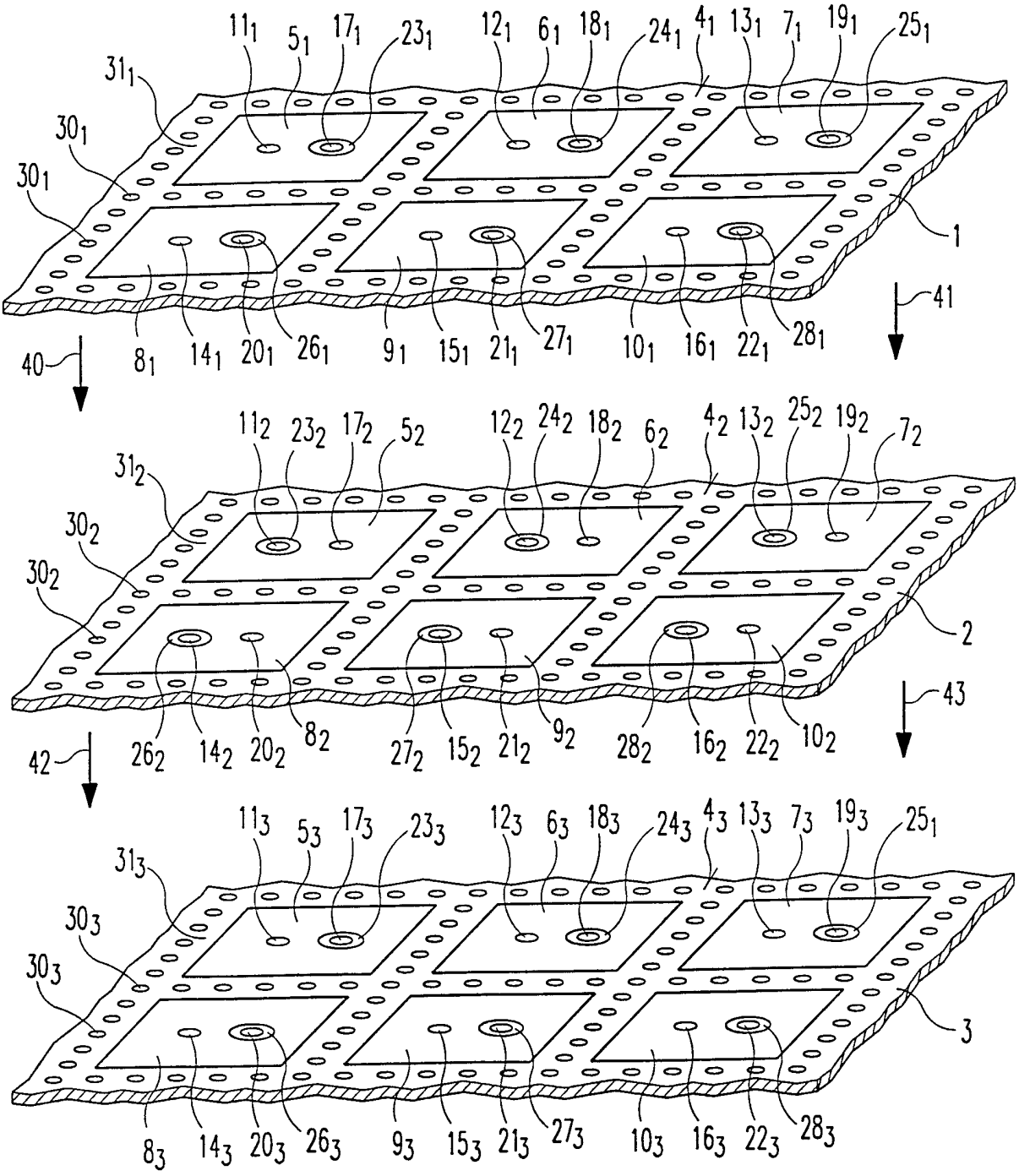
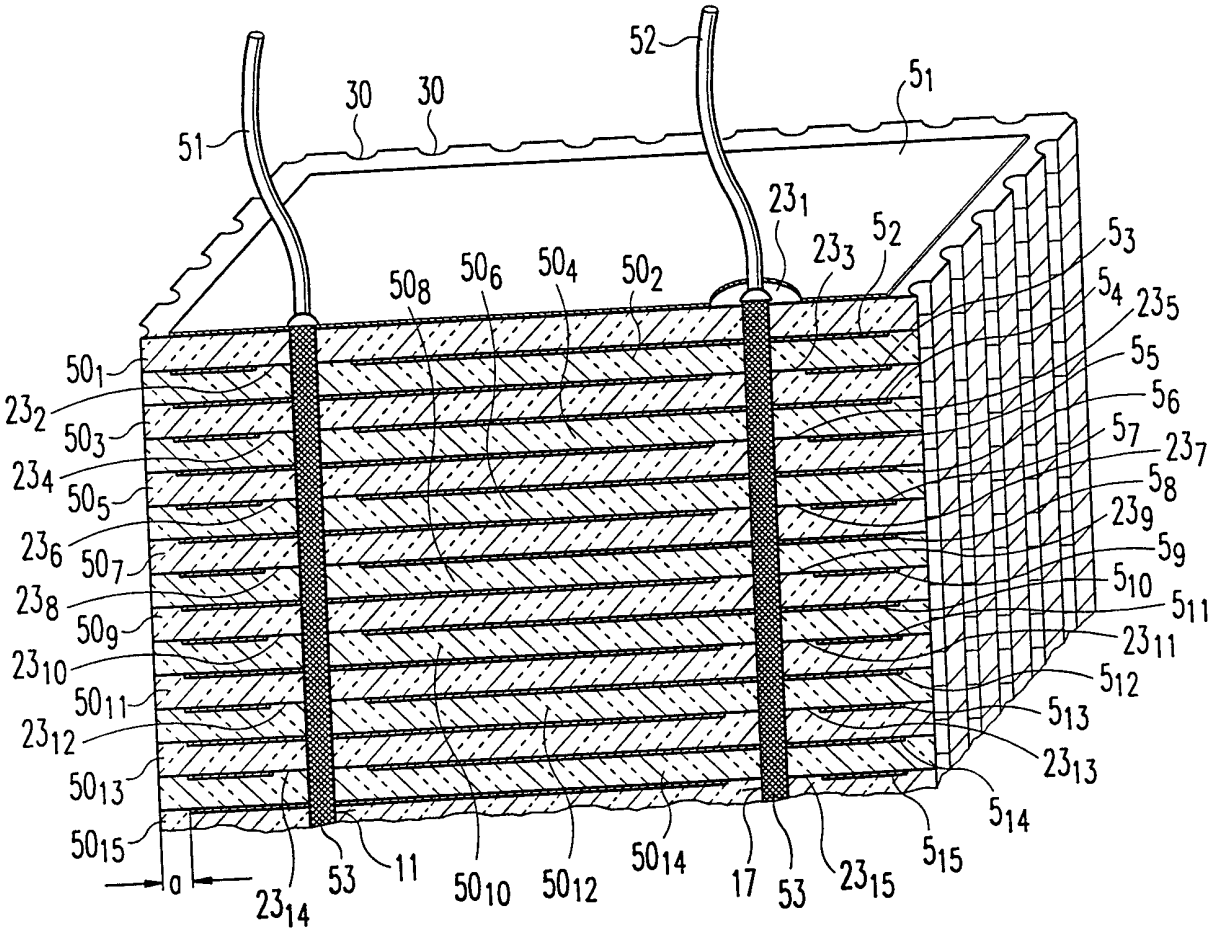

11₁ 5₁ 17₁ 23₁ 12₁ 6₁ 18₁ 24₁ 4₁ 13₁ 7₁ 19₁ 25₁
31₁
30₁
30₁
1
41
40
8₁ 14₁ 20₁ 26₁ 9₁ 15₁ 21₁ 27₁ 10₁ 16₁ 22₁ 28₁
11₂ 23₂ 17₂ 5₂ 12₂ 24₂ 18₂ 6₂ 4₂ 13₂ 25₂ 19₂ 7₂
31₂
30₂
30₂
2
43
42
26₂ 14₂ 20₂ 8₂ 27₂ 15₂ 21₂ 9₂ 28₂ 16₂ 22₂ 10₂
11₃ 5₃ 17₃ 23₃ 12₃ 6₃ 18₃ 24₃ 4₃ 13₃ 7₃ 19₃ 25₁
31₃
30₃
30₃
3
8₃ 14₃ 20₃ 26₃ 9₃ 15₃ 21₃ 27₃ 10₃ 16₃ 22₃ 28₃

Fig. 2


52
30
30
51
51
23_1
23_3
5_2
5_3
5_4
23_5
5_5
5_6
5_7
23_7
5_8
23_9
5_9
5_{10}
5_{11}
23_{11}
5_{12}
5_{13}
23_{13}
5_{14}
5_{15}
50_8
50_6
50_4
50_2
50_1
23_2
50_3
23_4
50_5
23_6
50_7
23_8
50_9
23_{10}
50_{11}
23_{12}
50_{13}
50_{15}
a
23_{14}
53
11
50_{10}
50_{12}
50_{14}
17
53
23_{15}

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 98/03174

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 6 H01L41/24

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
IPC 6 H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category °	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 4 523 121 A (TAKAHASHI SADAYUKI ET AL) 11 June 1985 see abstract; figures 14,15 see column 2, line 36 - column 3, line 4 see column 8, line 31 - column 9, line 52	10,11
Y	---	1,6-8
Y	WO 97 01868 A (PHILIPS ELECTRONICS NV ;PHILIPS NORDEN AB (SE)) 16 January 1997 see abstract; figures 1,2 see claims 1,6	1,6-8
A	--- PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 054 (E-583), 18 February 1988 -& JP 62 199075 A (FUJI ELELCTROCHEM CO LTD), 2 September 1987 see abstract	1-4

☐ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

° Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier document but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
23 February 1999	03/03/1999

Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Visscher, E

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (July 1992)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No
PCT/DE 98/03174

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 4523121 A	11-06-1985	JP 1472361 C	27-12-1988
		JP 58196068 A	15-11-1983
		JP 63017354 B	13-04-1988
		JP 1857861 C	27-07-1994
		JP 58196069 A	15-11-1983
		JP 63034636 B	11-07-1988
		JP 58196070 A	15-11-1983
		JP 58196071 A	15-11-1983
		JP 58196072 A	15-11-1983
		JP 58196073 A	15-11-1983
		JP 58196074 A	15-11-1983
		JP 1871855 C	06-09-1994
		JP 4051992 B	20-08-1992
		JP 58196075 A	15-11-1983
		JP 1944761 C	23-06-1995
		JP 6071102 B	07-09-1994
		JP 58196076 A	15-11-1983
		JP 1882024 C	10-11-1994
		JP 6005794 B	19-01-1994
		JP 58196077 A	15-11-1983
		JP 58196078 A	15-11-1983
		JP 1728730 C	29-01-1993
		JP 4009390 B	20-02-1992
		JP 58196079 A	15-11-1983
		AU 553391 B	10-07-1986
		AU 1442283 A	17-11-1983
		CA 1206193 A	17-06-1986
		DE 3378393 A	08-12-1988
		EP 0094078 A	16-11-1983
		BR 8302536 A	17-01-1984
WO 9701868 A	16-01-1997	EP 0777913 A	11-06-1997
		JP 10505463 T	26-05-1998
		US 5758398 A	02-06-1998

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 98/03174

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 6 H01L41/24

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
IPK 6 H01L

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 4 523 121 A (TAKAHASHI SADAYUKI ET AL) 11. Juni 1985 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 14,15 siehe Spalte 2, Zeile 36 - Spalte 3, Zeile 4 siehe Spalte 8, Zeile 31 - Spalte 9, Zeile 52	10,11
Y	---	1,6-8
Y	WO 97 01868 A (PHILIPS ELECTRONICS NV ;PHILIPS NORDEN AB (SE)) 16. Januar 1997 siehe Zusammenfassung; Abbildungen 1,2 siehe Ansprüche 1,6	1,6-8

	-/--	

[X] Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

[X] Siehe Anhang Patentfamilie

° Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
"A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
"E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
"L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
"O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
"P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
"X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden
"Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
"&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche	Absendedatum des internationalen Recherchenberichts
23. Februar 1999	03/03/1999

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde	Bevollmächtigter Bediensteter
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016	Visscher, E

2

Formblatt PCT/ISA/210 (Blatt 2) (Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 98/03174

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie°	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 012, no. 054 (E-583), 18. Februar 1988 -& JP 62 199075 A (FUJI ELELCTROCHEM CO LTD), 2. September 1987 siehe Zusammenfassung -----	1-4

Formblatt PCT/ISA/210 (Fortsetzung von Blatt 2) (Juli 1992)

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen
PCT/DE 98/03174

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 4523121 A	11-06-1985	JP 1472361 C	27-12-1988
		JP 58196068 A	15-11-1983
		JP 63017354 B	13-04-1988
		JP 1857861 C	27-07-1994
		JP 58196069 A	15-11-1983
		JP 63034636 B	11-07-1988
		JP 58196070 A	15-11-1983
		JP 58196071 A	15-11-1983
		JP 58196072 A	15-11-1983
		JP 58196073 A	15-11-1983
		JP 58196074 A	15-11-1983
		JP 1871855 C	06-09-1994
		JP 4051992 B	20-08-1992
		JP 58196075 A	15-11-1983
		JP 1944761 C	23-06-1995
		JP 6071102 B	07-09-1994
		JP 58196076 A	15-11-1983
		JP 1882024 C	10-11-1994
		JP 6005794 B	19-01-1994
		JP 58196077 A	15-11-1983
		JP 58196078 A	15-11-1983
		JP 1728730 C	29-01-1993
		JP 4009390 B	20-02-1992
		JP 58196079 A	15-11-1983
		AU 553391 B	10-07-1986
		AU 1442283 A	17-11-1983
		CA 1206193 A	17-06-1986
		DE 3378393 A	08-12-1988
		EP 0094078 A	16-11-1983
		BR 8302536 A	17-01-1984
WO 9701868 A	16-01-1997	EP 0777913 A	11-06-1997
		JP 10505463 T	26-05-1998
		US 5758398 A	02-06-1998