



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 102 51 439 B4 2006.11.09

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: 102 51 439.9

(51) Int Cl.⁸: H01M 8/02 (2006.01)

(22) Anmelddatum: 05.11.2002

(43) Offenlegungstag: 13.11.2003

(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: 09.11.2006

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(30) Unionspriorität:
2001/342435 07.11.2001 JP

(72) Erfinder:
Kikuchi, Hideaki, Wako, Saitama, JP; Sugita, Narutoshi, Wako, Saitama, JP; Sugiura, Seiji, Wako, Saitama, JP; Tanaka, Hiroyuki, Wako, Saitama, JP; Wakahoi, Toshiya, Wako, Saitama, JP; Andou, Keisuke, Wako, Saitama, JP

(73) Patentinhaber:
Honda Giken Kogyo K.K., Tokio/Tokyo, JP

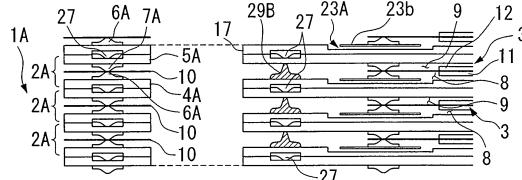
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:
DE 100 15 360 A1
US 62 61 710 B1
EP 10 83 616 A2

(74) Vertreter:
Weickmann & Weickmann, 81679 München

(54) Bezeichnung: Brennstoffzelle

(57) Hauptanspruch: Brennstoffzelle mit Brennstoffzelleinheiten (2A), die gestapelt sind und zwischen sich zumindest einen Kühlmittel-Durchflusskanal (28) aufweisen, der durch ein Kühlflächendichtungselement (27) abgedichtet ist, wobei jede Brennstoffzelleneinheit (2A) umfasst:

- eine Elektroden-Elektrolyt-Anordnung (3), die durch Anordnen einer Elektrode (11, 12) auf jeder Seite eines Elektrolyts (10) gebildet wird;
- Separatoren (4A, 5A), die die Elektroden-Elektrolyt-Anordnung (3) in ihrer Dickenrichtung zwischen sich aufnehmen; und



- Gasdichtungselemente (6A, 7A), die an einem äußeren Randbereich der Elektroden-Elektrolyt-Anordnung (3) angeordnet sind und die jeweiligen Reaktionsgas-Durchflusskanäle (8, 9), die zwischen jedem Separator (4A, 5A) und der Elektroden-Elektrolyt-Anordnung (3) gebildet und durch die Separatoren (4A, 5A) und die Elektroden-Elektrolyt-Anordnung (3) begrenzt sind, abdichten, wobei
- in jedem der Separatoren (4A, 5A) Reaktionsgas-Verbindungsöffnungen (17, 18, 20, 21) und Kühlmittel-Verbindungsöffnungen (19, 22), die jeden der Separatoren (4A, 5A) in seiner Dickenrichtung durchgreifen, und Verbindungswege (23A, 25A) vorgesehen sind, die in Dickenrichtung der Separatoren (4A, 5A) einen...

Beschreibung**Gebiet der Erfindung**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Brennstoffzelle, die gebildet wird, indem man eine Mehrzahl von Brennstoffzelleneinheiten stapelt, die durch die Aufnahme einer Elektroden-Elektrolyt-Anordnung zwischen Separatoren gebildet werden.

Beschreibung der verwandten Technik

[0002] Unter Brennstoffzelleneinheiten, die Brennstoffzellenstacks bilden, gibt es einen plattenförmigen Typ, der hergestellt wird, indem zwischen einem Separatorenpaar eine Membran-Elektroden-Anordnung aufgenommen wird, zu deren Bildung eine Anodenelektrode und eine Kathodenelektrode jeweils auf einer Seite einer Feststoff-Polymer-Elektrolytmembrane angeordnet werden. Eine Brennstoffzelle wird gebildet, indem eine Mehrzahl von auf diese Weise gebildeten Brennstoffzelleneinheiten in Dickenrichtung der Brennstoffzelleneinheiten gestapelt werden.

[0003] In jeder Brennstoffzelleneinheit sind ein Durchflusskanal für Brennstoffgas (z.B. Wasserstoff) an einer Oberfläche des anodenseitigen, der Anodenelektrode zugewandt positionierten Separators und ein Durchflusskanal für Oxidationsgas (z.B. sauerstoffhaltige Luft) an einer Oberfläche des kathodenseitigen, der Kathodenseite zugewandt positionierten Separators vorgesehen. Außerdem befindet sich ein Durchflusskanal für ein Kühlmittel (z.B. reines Wasser) zwischen benachbarten Separatoren benachbarter Brennstoffzelleneinheiten.

[0004] Wenn Brennstoffgas zur Elektrodenreaktionsfläche der Anodenelektrode geleitet wird, wird Wasserstoff dort ionisiert und bewegt sich über die Feststoff-Polymer-Elektrolytmembrane zur Kathodenelektrode. Während dieses Prozesses gebildete Elektronen werden in einen externen Kreis extrahiert und als elektrische Gleichstromenergie genutzt. Weil Oxidationsgas zur Kathodenelektrode geleitet wird, reagieren Wasserstoffionen, Elektronen und Sauerstoff, um Wasser zu bilden. Da bei der Bildung von Wasser an der Elektrodenreaktionsfläche Wärme erzeugt wird, kühlt man die Elektrodenreaktionsfläche durch ein Kühlmedium, das man zwischen den Separatoren strömen lässt.

[0005] Das Brennstoffgas, das Oxidationsgas (unter dem Oberbegriff Reaktionsgas bekannt) und das Kühlmedium müssen jeweils durch separate Durchflusskanäle strömen. Deshalb ist die Technologie der Abdichtung, die jeden Durchflusskanal in einem fluiddichten oder luftdichten Zustand hält, wesentlich.

[0006] Abzudichtende Bereiche sind zum Beispiel:

die Randbereiche von hindurchgreifenden Zufuhröffnungen, die für die Zufuhr und Verteilung von Reaktionsgas und Kühlmittel in jeder Brennstoffzelleneinheit der Brennstoffzelle vorgesehen sind; die Randbereiche von Auslassöffnungen, die aus jeder Brennstoffzelleneinheit abgeführt Reaktionsgas und Kühlmittel auffangen und ableiten; und die Außenrandbereiche zwischen Separatoren benachbarter Brennstoffzelleneinheiten. Für das Dichtungselement wird ein Material verwendet, das weich und dennoch angemessen elastisch ist, wie zum Beispiel organischer Gummi.

[0007] Verfahren, die man für die Verkleinerung von Brennstoffzellen in Erwägung gezogen hat, sind unter anderem die Verschlankung jeder der die Brennstoffzelle bildenden Brennstoffzelleneinheiten, insbesondere die Verkleinerung des Raums zwischen den Separatoren unter Beibehaltung einer maximalen Größe für den Reaktionsgas-Durchflusskanal, der im Inneren einer jeden Brennstoffzelleneinheit gebildet ist; und auch die Ausbildung der Separatoren mit einer geringeren Dicke.

[0008] Durch die Anforderungen an die Festigkeit eines jeden Separators und an die Steifigkeit der Brennstoffzelle gibt es eine Grenze dahingehend, wie dünn die Separatoren gemacht werden können. Eine Verringerung der Höhe des Dichtungselements ist wirksam für die Reduzierung der Größe des Abstands zwischen den Separatoren, jedoch muss die Höhe des Dichtungselements ausreichen, damit das Dichtungselement ausreichend niedergedrückt werden kann, um sicherzustellen, dass die erforderliche Dichtungswirkung erreicht wird. Deshalb gibt es auch eine Grenze für das Ausmaß der Höhenreduzierung der Dichtungselemente.

[0009] Hinzu kommt, dass der von den Dichtungselementen in einer Brennstoffzelleneinheit belegte Raum, wenngleich er wegen des Einschlusses des Reaktionsgases und des Kühlmediums unverzichtbar ist, im Grunde nichts zur Energieerzeugung beiträgt, so dass er möglichst klein gestaltet werden muss.

[0010] [Fig. 24](#) ist eine Draufsicht auf einen konventionellen Brennstoffzellenstack. Die Bezugsziffer **70** in [Fig. 24](#) bezeichnet eine Verbindungsöffnung wie beispielsweise eine Brennstoffgaszufuhröffnung und -auslassöffnung, eine Oxidationsgaszufuhröffnung und -auslassöffnung und eine Kühlmittelzufuhröffnung und -auslassöffnung, die jeweils den Brennstoffzellenstack in der Richtung durchgreifen, in der Separatoren **71** gestapelt sind. Die Bezugsziffer **72** bezeichnet einen Bereich, in dem eine Mehrzahl von Brennstoffgas-Durchflusskanälen, Oxidationsgas-Durchflusskanälen und Kühlmittel-Durchflusskanälen, die entlang der Separatoren **71** verlaufen, gebildet sind.

[0011] [Fig. 25](#) ist eine Längsschnittansicht eines konventionellen Brennstoffzellenstacks **73** entlang der Linie X-X in [Fig. 24](#). Wie in der Draufsicht zu sehen ist, werden die Außenabmessungen in Stapelrichtung des Brennstoffzellenstacks **73** auf ein Minimum beschränkt, um den von dem Dichtungselement belegten Bereich, der nicht zur Energieerzeugung beiträgt, möglichst klein zu gestalten, indem üblicherweise Gasdichtungselemente **76** und **77**, die jeweils einen Brennstoffgas-Durchflusskanal **74** und einen Oxidationsgas-Durchflusskanal **75** abdichten, zusammen mit einem Kühlflächendichtungselement **78**, das einen Kühlmittel-Durchflusskanal abdichtet, in Stapelrichtung der Brennstoffzelleneinheiten **79** in einer Reihe ausgerichtet sind.

[0012] Der Nachteil bei dem auf diese Weise gebauten Brennstoffzellenstack **73** ist jedoch, dass, wenn die Gasdichtungselemente **76** und **77**, die die Durchflusskanäle **74** und **75** abdichten, sowie das die Kühlfläche abdichtende Dichtungselement **78** in Stapelrichtung der Brennstoffzelleneinheit **79** in einer Reihe angeordnet sind, die Dicke des Brennstoffzellenstack **73** nicht geringer bemessen werden kann als ein Wert, der sich durch Addieren der Höhe des Kühlflächendichtungselementes **78** zur Dicke jeder Brennstoffzelleneinheit **79** und Multiplizieren dieses Ergebnisses mit der Anzahl von Brennstoffzelleneinheiten, die in dem Brennstoffzellenstack gestapelt sind, ergibt.

[0013] Um dies genauer zu erläutern, führt die Diskussion zurück zu [Fig. 25](#).

[0014] Gemäß [Fig. 25](#) sind die Brennstoffgas-Zufuhröffnung **70** und der Brennstoffgas-Durchflusskanal **74**, die in einem abgedichteten Zustand durch die Gasdichtungselemente **76** und **77** isoliert sind, durch einen Verbindungsweg **80** verbunden. Der Verbindungsweg **80** ist in dem Separator **81** in der Nähe der Brennstoffgas-Zufuhröffnung **70** in der Weise vorgesehen, dass er das die gesamte Peripherie des Brennstoffgas-Durchflusskanals **74** abdichtende Gasdichtungselement **77** in Dickenrichtung des Separators **81** umgeht. Darüber hinaus hat der Separator **82** einen ähnlichen Verbindungsweg (nicht dargestellt) in der Nähe der Oxidationsgas-Zufuhröffnung (nicht dargestellt).

[0015] Demzufolge ist jeder der Separatoren **81** und **82** relativ dick ausgebildet, um den Verbindungsweg **80** zu bilden; wie jedoch in dem Querschnitt in [Fig. 25](#) zu erkennen ist, verfügen die Separatoren **81** und **82** an der Position der Dichtungslinie, wo jedes der Dichtungselemente **76** bis **78** angeordnet ist, über die für die Sicherstellung der notwendigen Festigkeit erforderliche minimale Dicke, und es nicht möglich sie noch dünner auszubilden.

[0016] Da jedes der Dichtungselemente **76** bis **78**

außerdem mit der für die Sicherstellung der Dichtwirkung minimal notwendigen Höhe bemessen ist, kann die Höhe der Dichtungselemente **76** bis **78** nicht mehr weiter reduziert werden.

[0017] Deshalb ist es äußerst schwierig, eine weitere Reduzierung der Dicke zu erreichen, wenngleich sich die Dicke des Brennstoffzellenstacks **73** durch Multiplizieren der Anzahl von Brennstoffzelleneinheiten mit der Summe aus der minimalen Dicke der beiden Separatoren **81** und **82**, der für die Bildung des Verbindungsweges **80** notwendigen Dicke, der Höhe der beiden Gasdichtungselemente **76** und **77**, der Dicke der Feststoff-Polymer-Elektrolytmembrane **83** und der Höhe des Kühlflächendichtungselementes **78** ergibt.

[0018] Als Gegenmaßnahme wird für die Reduzierung der Gesamtdicke eines solchen Brennstoffzellenstacks **73** vorgeschlagen, die Gasdichtungselemente **76** und **77** und das Kühlflächendichtungselement **78** in Stapelrichtung gesehen versetzt zueinander anzuordnen. Demzufolge ist es möglich, die Abmessung in der Stapelrichtung des Brennstoffzellenstacks **73** erheblich zu reduzieren, indem die für die Sicherstellung der Dichtungswirkung benötigte Höhe des Kühlflächendichtungselementes **78** reduziert wird, während andererseits die Dicke der Bereiche der Separatoren **81** und **82**, in denen die Verbindungswege gebildet werden, gewährleistet wird.

[0019] Wenn man die Gasdichtungselemente **76** und **77** und das Kühlflächendichtungselement **78** versetzt zueinander anordnet, sind die Dichtungsabschnitte einer jeden Brennstoffzelleneinheit in der Stapelrichtung jedoch nicht in einer Reihe ausgerichtet. Das Ergebnis ist, dass der auf die Gasdichtungselemente **76** und **77** und auf das Kühlflächendichtungselement **78**, die zueinander versetzt angeordnet sind, jeweils ausgeübte Dichtungsdruck verringert wird. Infolgedessen kann die Reaktionskraft, die im Zuge der Abdichtung der Brennstoffzelleneinheiten in der Stapelrichtung durch das dabei zusammengedrückte Kühlflächendichtungselement erzeugt wird, die Separatoren deformieren, was zu einer Verschlechterung der Dichtwirkung der Dichtungselemente führen kann und dazu, dass Reaktionsgas und Kühlmittel über den Bereichen der Gasdichtungselemente **76** und **77** und des Kühlflächendichtungselementes **78** rund um die deformierten Bereiche der Separatoren entweichen. Weil die Separatoren **81** und **82**, um ihre Stabilität zu gewährleisten, ausreichend dick sein müssen, kann man den Brennstoffzellenstack **73** nicht mehr verkleinern.

Stand der Technik

[0020] Aus der EP 1083616 A2, der DE 10015360 A1 sowie der US 6261710 B1 ist jeweils eine Brennstoffzelle mit Brennstoffzelleneinheiten bekannt, die

gestapelt sind und zwischen sich zumindest einen Kühlmittel-Durchflusskanal aufweisen, der durch ein Kühlflächendichtungselement abgedichtet ist, wobei jede Brennstoffzelleneinheit umfasst: eine Elektroden-Elektrolyt-Anordnung, die durch Anordnen einer Elektrode auf jeder Seite eines Elektrolyts gebildet wird; Separatoren, die die Elektroden-Elektrolyt-Anordnung in ihrer Dickenrichtung zwischen sich aufnehmen; und Gasdichtungselemente, die an einem äußeren Randbereich der Elektroden-Elektrolyt-Anordnung angeordnet sind und die jeweiligen Reaktionsgas-Durchflusskanäle, die zwischen jedem Separator und der Elektroden-Elektrolyt-Anordnung gebildet und durch die Separatoren und die Elektroden-Elektrolyt-Anordnung begrenzt sind, abdichten, wobei in jedem der Separatoren Reaktionsgas-Verbindungsöffnungen und Kühlmittel-Verbindungsöffnungen, die jeden der Separatoren in seiner Dickenrichtung durchgreifen, und Verbindungswege vorgesehen sind.

Aufgabenstellung

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0021] Die vorliegende Erfindung wurde angesichts der oben geschilderten Umstände erdacht, und es ist eine Aufgabe der Erfindung, eine Brennstoffzelle zu schaffen, die durch eine Reduzierung ihrer Dicke leichter und kleiner ausgebildet ist, während die jeweiligen Durchflusskanäle unter Verwendung der jeweiligen Dichtungselemente zwischen den Separatoren und den Membran-Elektroden-Anordnungen, die die Brennstoffzelle bilden, dennoch zuverlässig abgedichtet werden.

[0022] Zur Lösung der oben genannten Aufgabe wird gemäß der vorliegenden Erfindung eine Brennstoffzelle mit Brennstoffzelleneinheiten nach Anspruch 1 bereitgestellt.

[0023] Da bei der erfindungsgemäßen Brennstoffzelle die Steifigkeit der Separatorbereiche, in denen die Gasdichtungselemente und das Kühlflächendichtungselement zueinander versetzt angeordnet sind, gewährleistet ist, kann ein ausreichend hoher Dichtungsdruck auf die Gasdichtungselemente und das Kühlflächendichtungselement ausgeübt werden, die zueinander versetzt angeordnet sind.

[0024] Ein für die Stützelemente bevorzugtes Material hängt von deren Position ab, und für die Stützelemente, die zwischen Separatoren angeordnet sind, zwischen denen die Elektroden-Elektrolyt-Anordnung vorgesehen ist, wird vorzugsweise ein elektrisch isolierendes Material wie Gummi oder Harz bevorzugt. Wenn die Stützelemente dagegen an der Kühlfläche der Separatoren vorgesehen sind, werden als Material für die Stützelemente ein korrosionsbeständiges leitendes Material wie rostfreier Stahl

oder Kohlenstoff oder ein elektrisch isolierendes Material wie Gummi oder Harz bevorzugt. Sind die Stützelemente zwischen der Elektroden-Elektrolyt-Anordnung und den Separatoren angeordnet, wird vorzugsweise auch eines der oben genannten korrosionsbeständigen leitenden Materialien verwendet. Eine Brennstoffzelle, bei welcher die vorliegende Erfindung Anwendung findet, kann einem Feststoffpolymer-Typ, Feststoffelektrolyt-Typ, Alkali-Typ, Phosphorsäure-Typ oder Schmelzkarbonat-Typ entsprechen.

[0025] Bei der Brennstoffzelle gemäß der vorliegenden Erfindung können die Verbindungswege in einer Brennstoffzelleneinheit und die korrespondierenden Verbindungswege in der in Stapelrichtung benachbarten Brennstoffzelleneinheit in Stapelrichtung gesehen versetzt zueinander angeordnet sein, und vorzugsweise kann zumindest ein Bereich eines jeden Stützelements einen Bereich desjenigen Separators, an dem die Verbindungswege ausgebildet sind, stützen.

[0026] Da die jeweilige Festigkeit der Bereiche der Separatoren, in denen die Verbindungswege zueinander versetzt angeordnet sind, erhöht wird, kann demzufolge die Dicke der Separatorbereiche verringert werden, und die Separatorbereiche können in Stapelrichtung gesehen versetzt zueinander angeordnet werden.

[0027] Bei der erfindungsgemäßen Brennstoffzelle kann jedes der über den Reaktionsgas-Durchflusskanälen oder dem Kühlmittel-Durchflusskanal angeordneten Stützelemente mit Verbindungsausnehmungen versehen sein, die Reaktionsgase oder Kühlmittel hindurchströmen lassen.

[0028] Dementsprechend können die Reaktionsgase oder das Kühlmittel durch die Verbindungsausnehmungen zugeführt werden, und die Steifigkeit derjenigen Bereiche der Separatoren, in denen die Stützelemente vorgesehen sind, kann erhöht werden.

FIGURENKURZBESCHREIBUNG

[0029] [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung einer Brennstoffzelleneinheit, die den Brennstoffzellenstack bildet, gemäß einer ersten Ausführungsform der Erfindung.

[0030] [Fig. 2](#) ist eine Draufsicht zur Darstellung eines Zustands, in dem ein Gasdichtungselement und Stützelemente an einem die in [Fig. 1](#) gezeigte Brennstoffzelleneinheit bildenden Separator vorgesehen sind.

[0031] [Fig. 3](#) ist eine Draufsicht zur Darstellung eines Zustands, in dem ein Gasdichtungselement und

Stützelemente an einem weiteren die in [Fig. 1](#) gezeigte Brennstoffzelleneinheit bildenden Separator vorgesehen sind.

[0032] [Fig. 4](#) ist eine Draufsicht zur Darstellung eines Zustands, in dem ein Kühlflächendichtungselement und Stützelemente an den Rückflächen der in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigten Separatoren vorgesehen sind.

[0033] [Fig. 5](#) ist eine Draufsicht auf eine Elektroden-Elektrolyt-Anordnung, die die in [Fig. 1](#) gezeigte Brennstoffzelleneinheit bildet.

[0034] [Fig. 6A](#) u. [Fig. 6B](#) sind jeweils eine Draufsicht, ähnlich wie jene in [Fig. 2](#), auf einen Separator eines Brennstoffzellenstacks gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung.

[0035] [Fig. 7A](#) u. [Fig. 7B](#) sind jeweils eine Draufsicht, ähnlich wie jene in [Fig. 3](#), auf einen weiteren Separator eines Brennstoffzellenstacks gemäß einer dritten Ausführungsform der Erfindung.

[0036] [Fig. 8A](#) u. [Fig. 8B](#) sind jeweils eine Draufsicht, ähnlich wie jene in [Fig. 2](#), auf einen Separator eines Brennstoffzellenstacks gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung.

[0037] [Fig. 9A](#) u. [Fig. 9B](#) sind jeweils eine Draufsicht, ähnlich wie jene in [Fig. 3](#), auf einen weiteren Separator eines Brennstoffzellenstacks gemäß einer vierten Ausführungsform der Erfindung.

[0038] [Fig. 10](#) ist eine Draufsicht zur Darstellung eines Zustands, in dem ein Kühlflächendichtungselement und Stützelemente an der Rückfläche der in den [Fig. 8](#) und [9](#) gezeigten Separatoren vorgesehen sind.

[0039] [Fig. 11](#) ist eine Längsschnittansicht der in [Fig. 1](#) dargestellten Brennstoffzelleneinheiten entlang der Linie P-P in [Fig. 2](#).

[0040] [Fig. 12](#) ist eine Längsschnittansicht der in [Fig. 1](#) dargestellten Brennstoffzelleneinheiten entlang der Linie A-A in [Fig. 2](#).

[0041] [Fig. 13](#) ist eine Längsschnittansicht der in [Fig. 1](#) dargestellten Brennstoffzelleneinheiten entlang der Linie B-B in [Fig. 3](#).

[0042] [Fig. 14](#) ist eine Längsschnittansicht der in [Fig. 1](#) dargestellten Brennstoffzelleneinheiten entlang der Linie C-C in [Fig. 4](#).

[0043] [Fig. 15](#) ist eine Längsschnittansicht, die in ähnlicher Weise wie [Fig. 12](#) die Brennstoffzelleneinheiten gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0044] [Fig. 16](#) ist eine Längsschnittansicht, die in ähnlicher Weise wie [Fig. 13](#) die in [Fig. 15](#) dargestellten Brennstoffzelleneinheiten zeigt.

[0045] [Fig. 17](#) ist eine Längsschnittansicht, die in ähnlicher Weise wie [Fig. 14](#) die in [Fig. 15](#) dargestellten Brennstoffzelleneinheiten zeigt.

[0046] [Fig. 18](#) ist eine Längsschnittansicht, die in ähnlicher Weise wie [Fig. 12](#) die Brennstoffzelleneinheiten gemäß einer dritten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt.

[0047] [Fig. 19](#) ist eine Längsschnittansicht, die in ähnlicher Weise wie [Fig. 13](#) die in [Fig. 18](#) dargestellten Brennstoffzelleneinheiten zeigt.

[0048] [Fig. 20](#) ist eine Längsschnittansicht, die in ähnlicher Weise wie [Fig. 14](#) die in [Fig. 18](#) dargestellten Brennstoffzelleneinheiten zeigt.

[0049] [Fig. 21A](#) ist eine Längsschnittansicht der Brennstoffzelleneinheiten gemäß der vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung entlang der Linie D-D in [Fig. 8A](#) und

[0050] [Fig. 21B](#) ist eine Längsschnittansicht der Brennstoffzelleneinheiten gemäß der vierten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung entlang der Linie E-E in [Fig. 8B](#).

[0051] [Fig. 22A](#) ist eine Längsschnittansicht der in den [Fig. 21A](#) und [Fig. 21B](#) gezeigten Brennstoffzelle entlang der Linie F-F in [Fig. 9A](#) und

[0052] [Fig. 22B](#) ist eine Längsschnittansicht der in den [Fig. 21A](#) und [Fig. 21B](#) gezeigten Brennstoffzelle entlang der Linie G-G in [Fig. 9B](#).

[0053] [Fig. 23](#) ist eine Längsschnittansicht der in den [Fig. 21A](#) und [Fig. 21B](#) gezeigten Brennstoffzelle entlang der Linie H-H in [Fig. 10](#).

[0054] [Fig. 24](#) ist eine schematische Draufsicht auf eine Brennstoffzelleneinheit in einer konventionellen Brennstoffzelle.

[0055] [Fig. 25](#) ist eine Längsschnittansicht der Umgebung einer Verbindungsöffnung in der in [Fig. 24](#) gezeigten Brennstoffzelle entlang der Linie X-X.

BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

Ausführungsbeispiel

[0056] Der Brennstoffzellenstack gemäß verschiedenen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird nun unter Bezugnahme auf die Zeichnungen im Detail beschrieben.

[0057] [Fig. 1](#) ist eine schematische Darstellung der Brennstoffzelleneinheit, die den Brennstoffzellenstein gemäß der ersten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung bildet. Wie in [Fig. 12A](#) gezeigt ist, wird der Brennstoffzellenstein **1A** gemäß dieser Ausführungsform durch das Stapeln einer Mehrzahl von Brennstoffzelleneinheiten **2A** gebildet. Wie [Fig. 1](#) zeigt, wird die Brennstoffzelleneinheit **2A** gebildet, indem eine Membran-Elektroden-Anordnung **3** zwischen einem Paar von Separatoren **4A** und **5A** aufgenommen wird. Zwischen der Membran-Elektroden-Anordnung **3** und jedem der Separatoren **4A** und **5A** sind jeweils Gasdichtungselemente **6A** und **7A** vorgesehen. [Fig. 12](#) zeigt, dass diese Gasdichtungselemente **6A** und **7A** einen Brennstoffgas-Durchflusskanal **8** und einen Oxidationsgas-Durchflusskanal **9** in der Weise abgrenzen, dass diese Kanäle auf beiden Seiten der Membran-Elektroden-Anordnung **3** abgedichtet werden.

[0058] In den [Fig. 5](#) und [Fig. 12](#) hat die Membran-Elektroden-Anordnung **3** zum Beispiel eine Feststoffpolymer-Elektrolyt-Membrane **10** (nachstehend kurz Elektrolytmembrane genannt), die aus einem perfluorierten, sulfonierten Polymer gebildet ist, und eine Anodenelektrode **11** und eine Kathodenelektrode **12**, die zwei Flächen der Elektrolytmembrane **10** zwischen sich aufnehmen.

[0059] Wie in [Fig. 5](#) gezeigt ist, besitzt die Elektrolytmembrane **10** beispielsweise eine Mehrzahl von Durchgangsöffnungen **10a**. Die Elektrolytmembrane **10** ist in ihrer Größe äquivalent zu den Separatoren **4A** und **5A**, die nachstehend beschrieben sind, und jede der Durchgangsöffnungen **10a** befindet sich in einer Position, die mit den jeweiligen Zufuhröffnungen **17** bis **19** und Auslassöffnungen **20** bis **22** der Separatoren **4A** und **5A** korrespondiert.

[0060] Die Anodenelektrode **11** und die Kathodenelektrode **12** werden beispielsweise gebildet, indem eine Katalysatorschicht aus einer Legierung mit Pt (Platin) als Hauptbestandteil auf einer Oberfläche einer Gasdiffusionsschicht vorgesehen wird, die als eine aus porösem Kohlenstoffgewebe oder aus porösem Kohlenstoffpapier gebildete Basis mit der Elektrolytmembrane **10** in Kontakt steht.

[0061] Zwei Typen von Separatoren **4A** und **5A** können als die die Brennstoffzelleneinheiten **2A** bildenden Separatoren **4A** und **5A** verwendet werden. Wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt ist, ist jeder der Separatoren **4A** und **5A** gebildet aus: gerippten Bereichen **4a** und **5a**, bestehend aus einer Vielzahl von Vertiefungen und Erhebungen, die eine feste Höhe aufweisen und nach einem festen Muster gebildet sind durch Herstellen einer Vielzahl von (nicht dargestellten) Vertiefungen in einer Oberfläche einer aus Kohlenstoff hergestellten flachen Platte; einer Brennstoffgas-Zufuhröffnung (Verbindungsöffnung) **17**, ei-

ner Oxidationsgas-Zufuhröffnung (Verbindungsöffnung) **18**, einer Kühlmittel-Zufuhröffnung (Verbindungsöffnung) **19**, einer Brennstoffgas-Auslassöffnung (Verbindungsöffnung) **20**, einer Oxidationsgas-Auslassöffnung (Verbindungsöffnung) **21** und einer Kühlmittel-Auslassöffnung (Verbindungsöffnung) **22**, deren jede die beiden Separatoren **4A** und **5A** auf solche Weise durchgreift, dass sowohl die Zufuhr als auch die Ableitung von Brennstoffgas (z.B. Wasserstoffgas), Oxidationsgas (z.B. sauerstoffhaltige Luft) bzw. einem Kühlmittel (z.B. reines Wasser) möglich ist, die man durch die gerippten Bereiche **4a** und **5a** hindurchströmen lässt; und aus ebenen Bereichen **4b** und **5b**, die derart angeordnet sind, dass sie jede der Verbindungsöffnungen **17** bis **22** und die gerippten Bereiche **4a** und **5a** umgeben.

[0062] Die [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) zeigen, dass sich die Kühlmittel-Verbindungsöffnung **19** und die Kühlmittel-Verbindungsöffnung **22** in transversaler Richtung der Separatoren **4A** und **5A** (d.h. in der durch den Pfeil Q in [Fig. 2](#) angegebenen Richtung) im wesentlichen in der Mitte befinden. Die Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** und die Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **18** liegen in transversaler Richtung auf beiden Seiten der Separatoren **4A** und **5A** und nehmen die Kühlmittel-Verbindungsöffnung **19** zwischen sich auf. Ferner befinden sich die Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **20** und die Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **21** in transversaler Richtung auf beiden Seiten der Separatoren **4A** und **5A** und nehmen die Kühlmittel-Verbindungsöffnung **22** zwischen sich auf. Die Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **20** und die Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **21** liegen der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** und der Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **18** jeweils diagonal gegenüber.

[0063] Die Länge der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** und der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **20** und die Länge der Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **18** und der Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **21** in Längsrichtung der Separatoren **4A** und **5A** (die durch den Pfeil R in [Fig. 2](#) angegebene Richtung) ist jeweils kürzer bemessen als die Länge der benachbarten Kühlmittel-Verbindungsöffnung **19** und Kühlmittel-Verbindungsöffnung **22**. Als Ergebnis ist die Größe des Raumes von der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** und der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **20** und von der Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **18** und der Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **21** zu den gerippten Bereichen **4a** und **5a** größer bemessen als die Größe des Raumes von der Kühlmittel-Verbindungsöffnung **19** und der Kühlmittel-Verbindungsöffnung **22** zu den gerippten Bereichen **4a** und **5a**.

[0064] Wie in [Fig. 2](#) gezeigt ist, sind zwischen der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** und dem gerippten Bereich **4a** und zwischen dem gerippten Be-

reich **4a** und der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **20** auf einer Seite des einen Separators **4A** Verbindungswege **23A** gebildet, die jeweils ermöglichen, dass von der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** zugeführtes Brennstoffgas den gerippten Bereich **4a** passiert und dass Brennstoffgas, das den gerippten Bereich **4a** passiert hat, von der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **20** abgeleitet wird. Jeder der Verbindungswege **23A** ist mit einer Mehrzahl von Vertiefungen **23a**, die an einer Oberfläche des Separators **4A** gebildet sind, und einer flachen Brückenplatte **23b** versehen, die sich direkt über die Vertiefungen **23a** erstreckt. An der Vorderfläche des Separators **4A** ist dort, wo die Brückenplatte **23b** angeordnet ist, ein konkaver Bereich gebildet, in den die Brückenplatte **23b** eingesetzt ist. Dieser konkave Bereich ermöglicht die Anordnung der Oberfläche der Brückenplatte **23b** in der gleichen Oberflächenebene wie die Oberfläche **4b** des Separators **4A**.

[0065] Wie in [Fig. 3](#) gezeigt ist, sind ebenso wie bei dem Separator **4A** durch eine Mehrzahl von Vertiefungen **25a** und einer Brückenplatte **25b** gebildete Verbindungswege **25A** zwischen der Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **18** und dem gerippten Bereich **5a** und zwischen dem gerippten Bereich **5a** und der Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **21** auch an einer Oberfläche des Separators **5A** vorgesehen.

[0066] [Fig. 4](#) zeigt, dass auf der anderen Seite der beiden Separatoren **4A** und **5A** ein Verbindungsweg **26**, der die Kühlmittelzufuhröffnung **19** mit den gerippten Bereichen **4a** und **5a** verbindet, und ein Verbindungsweg **26**, der die gerippten Bereiche **4a** und **5a** mit der Kühlmittelzufuhröffnung **22** verbindet, vorgesehen sind.

[0067] Wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt ist, haben die Gasdichtungselemente **6A** und **7A** eine integrale Konfiguration mit einer Mehrzahl von Nebenschleifenbereichen **6b** und **7b**, die jede der Verbindungsöffnungen **17** bis **22** auf beiden Seiten von Hauptschleifenbereichen **6a** und **7a** umschließen, die die äußere Peripherie der gerippten Bereiche **4a** und **5a** umschließen. Wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) zu erkennen ist, sind die Hauptschleifenbereiche **6a** und **7a** der Gasdichtungselemente **6A** und **7A** in der Weise positioniert, dass sie entlang der ebenen Bereiche **4b** und **5b** zwischen den jeweiligen Verbindungsöffnungen **17** bis **22** und den gerippten Bereichen **4a** und **5a** verlaufen. Demzufolge führen die Hauptschleifenbereiche **6a** und **7a** über die Oberseite der in den Verbindungswege **23A** und **25A** vorgesehenen Brückenplatten **23b** und **25b**, und die jeweiligen Verbindungsöffnungen **17** bis **22** sind nur durch die Vertiefungen **23a** und **25a** mit den gerippten Bereichen **4a** und **5a** verbunden, wodurch die Verbindungswege **23** und **25** gebildet werden. Die restlichen Bereiche sind fluiddicht versiegelt.

[0068] Wie [Fig. 12](#) zeigt, sind die auf diese Weise gebildeten Brennstoffzelleneinheiten **2A** jeweils unter Zwischenschaltung von Kühlflächendichtungselementen **27** gestapelt. [Fig. 4](#) zeigt, dass jedes Kühlflächendichtungselement **27** eine Konstruktion hat, bei der ein Hauptschleifenbereich **27a** mit Nebenschleifenbereichen **27b** integral zusammengeschlossen ist. Der Hauptschleifenbereich **27a** des Kühlflächendichtungselementes **27** verläuft zwischen den Verbindungsöffnungen **17** und **18** des Brennstoffgases und des Oxidationsgases und den gerippten Bereichen **4a** und **5a** und auch zwischen den Verbindungsöffnungen **20** und **21** und den gerippten Bereichen **4a** und **5a** und dichtet die Peripherie eines Kühlmittel-Durchflusskanals **28** ab, der die Kühlmittel-Verbindungsöffnung **19** über den Verbindungsweg **26** mit den gerippten Bereichen **4a** und **5a** verbindet und der die gerippten Bereiche **4a** und **5a** über den Verbindungsweg **26** mit der Kühlmittel-Verbindungsöffnung **22** verbindet. Darüber hinaus dichten die Nebenschleifenbereiche **27b** des Kühlflächendichtungsbereichs **27** einzeln jede der Verbindungsöffnungen **17** und **18** und der Verbindungsöffnungen **20** und **21** ab.

[0069] Wenn diejenigen Abschnitte des Hauptschleifenbereichs **27a** des Kühlflächendichtungselement **27**, die zwischen den Verbindungsöffnungen **17** und **18** des Brennstoffgases und des Oxidationsgases und den gerippten Bereichen **4a** und **5a** und auch zwischen den Verbindungsöffnungen **20** und **21** und den gerippten Bereichen **4a** und **5a** verlaufen, mit den Positionen verglichen werden, entlang derer die Hauptschleifenbereiche **6a** und **7a** des oben beschriebenen Gasdichtungselement **6A** und **6B** verlaufen, lässt sich erkennen, dass diese Abschnitte des Hauptschleifenbereichs **27a** in Positionen, die sich von den Hauptschleifenbereichen **6a** und **7a** unterscheiden, angeordnet sind und an Positionen vorbei verlaufen, die näher zu den Verbindungsöffnungen **17** und **18** und den Verbindungsöffnungen **20** und **21** liegen.

[0070] In der vorliegenden Ausführungsform sind Stützelemente **29A** bis **29D** vorgesehen, die die Abschnitte der Separatoren **4A** und **5A** stützen, in denen die Gasdichtungselemente **6A** und **7A** und das Kühlflächendichtungselement **27** in Stapelrichtung gesehen versetzt zueinander angeordnet sind. Das heißt dass, wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt, die Stützelemente **29A** und **29B**, die über die Separatoren **4A** und **5A** das von den Gasdichtungselementen **6A** und **7A** versetzt angeordnete Kühlflächendichtungselement **27** abstützen, für die Gasdichtungselemente **6A** und **7A** vorgesehen sind. Darüber hinaus sind die Stützelemente **29C** und **29D**, wie in [Fig. 4](#) gezeigt, für das Kühlflächendichtungselement **27** in der von den Gasdichtungselementen **6A** und **6B** versetzten Position angeordnet.

[0071] Querschnitte der jeweiligen Bereiche eines

auf diese Weise gebildeten Brennstoffzellenstacks **1A** sind in den [Fig. 11](#) bis [Fig. 14](#) gezeigt. Hier ist zu beachten, dass diese Figuren lediglich den jeweiligen Querschnitt zeigen und dass die gestrichelten Linien bedeuten, dass der linke Abschnitt und der rechte Abschnitt eigentlich zu einem Element verbunden sind.

[0072] [Fig. 12](#) ist eine entlang der Linie A-A in [Fig. 2](#) geschnittene Längsschnittansicht. [Fig. 12](#) zeigt einen Weg, der es ermöglicht, dass Brennstoffgas aus der jeden der Separatoren **4A** und **5A** in seiner Dickenrichtung durchgreifenden Verbindungsöffnung **17** über den Verbindungsweg **23A** in den Brennstoffgas-Durchflusskanal **8** strömt, der zwischen der Anodelektrode **11** und dem Separator **4A** gebildet ist.

[0073] In [Fig. 12](#) ist zu sehen, dass die Gasdichtungselemente **6A** und **7A**, die den Bereich zwischen der Membran-Elektroden-Anordnung **3** und dem beiderseits der Membran-Elektroden-Anordnung **3** angeordneten Separatorenpaar **4A** und **5A** abdichten, so angeordnet sind, dass sie die Elektrolytmembran **10** in ihrer Dickenrichtung in den jeweiligen in Stapelrichtung der Brennstoffzelleneinheit **2A** übereinstimmenden Positionen zwischen sich aufnehmen. Das Gasdichtungselement **6A** für den Brennstoffgas-Durchflusskanal ist auf der Brückenplatte **23b** angeordnet, die sich direkt über den in dem Separator **4A** gebildeten Verbindungsweg **23A** erstreckt. Das heißt der Verbindungsweg **23A** macht in der Dickenrichtung des Separators **4A** einen Umweg um das Gasdichtungselement **6A** und verbindet das Innere des Gasdichtungselementes **6A** mit seinem Äußeren. Das von der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** an der Außenseite des Gasdichtungselementes **6A** zugeführte Brennstoffgas kann in den Brennstoffgas-Durchflusskanal **8** an der Innenseite des Gasdichtungselementes **6A** strömen.

[0074] In diesem Fall ist das Kühlflächendichtungselement **27**, das jede der Brennstoffzelleneinheiten **2A** abdichtet und den Kühlmittel-Durchflusskanal **28** abgrenzt, in einer Position angeordnet, die näher an der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** liegt als der Verbindungsweg **23A**. Deshalb können das Kühlflächendichtungselement **27** und die Vertiefungen **23a**, die durch Herstellen einer Oberfläche des Separators **4A** in seiner Dickenrichtung hergestellt werden und den Verbindungsweg **23A** bilden, im wesentlichen in der gleichen Ebene wie der Separator **4A** angeordnet werden.

[0075] Darüber hinaus sind die Stützelemente **29A** und **29B** in den Bereichen der Separatoren **4A** und **5A** vorgesehen, in denen die Gasdichtungselemente **6A** und **7A** und das Kühlflächendichtungselement **27** versetzt zueinander angeordnet sind. Das Stützelement **29B** ist im Querschnitt in [Fig. 12](#) gezeigt. Weil die Bereiche der Separatoren **4A** und **5A**, in denen

die Gasdichtungselemente **6A** und **7A** und das Kühlflächendichtungselement **27** versetzt zueinander angeordnet sind, durch die Stützelemente **29A** und **29B** gestützt werden, ist deren Festigkeit ausreichend sichergestellt. Deshalb kann die Dicke der Bereiche der Separatoren **4A** und **5A** unter Vermeidung einer Deformation ausreichend reduziert werden. Da es möglich ist, einen ausreichenden Dichtungsdruck auf das Kühlflächendichtungselement **27** auszuüben, das von den Gasdichtungselementen veretzt angeordnet ist, kann eine ausreichende Dichtwirkung sichergestellt werden, selbst wenn die Dicke der Bereiche der Separatoren **4A** und **5A** reduziert wird.

[0076] In der vorliegenden Ausführungsform sind, wie in den [Fig. 2](#) und [Fig. 3](#) gezeigt, zwei Arten von Stützelementen, d.h. die Stützelemente **29A** und **29B**, zum Stützen der Bereiche der Separatoren vorgesehen, in denen das Kühlflächendichtungselement **27** von den Gasdichtungselementen versetzt angeordnet ist. Die Details der Stützelemente **29A** und **29B** werden mit Bezug auf [Fig. 11](#) erläutert. [Fig. 11](#) ist eine entlang der Linie P-P in [Fig. 2](#) geschnittene Längsschnittansicht der in [Fig. 1](#) gezeigten Brennstoffzelleneinheiten. Das Stützelement **29B**, das den Brennstoffgas-Durchflusskanal **8** überquerend angeordnet ist, hat darin gebildete Verbindungsausnehmungen **30** mit konkavem Querschnitt. Die Verbindungsausnehmungen **30** ermöglichen, dass Brennstoffgas aus dem Brennstoffgas-Durchflusskanal **8** strömen kann, während andererseits die Steifigkeit der Bereiche der Separatoren **4A** und **5A**, in denen die Stützelemente **29B** vorgesehen sind, erhöht werden kann. Die Stützelemente **29A** sind nicht mit den Verbindungsausnehmungen **30** versehen; deshalb kann die Steifigkeit des Separators noch weiter erhöht werden. Zur Bildung der Stützelemente **29A** und **29B** wird elektrisch isolierendes Material verwendet.

[0077] Wenngleich die obige Beschreibung für die Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** gilt, ist sie auch im Fall der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **20** zutreffend.

[0078] Ferner ist [Fig. 13](#) eine entlang der Linie B-B in [Fig. 3](#) geschnittene Längsschnittansicht. [Fig. 13](#) zeigt einen Weg, der es ermöglicht, dass Oxidationsgas aus der jeden der Separatoren **4A** und **5A** in seiner Dickenrichtung durchgreifenden Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **18** über den Verbindungsweg **25A** zu dem Oxidationsgas-Durchflusskanal **9** strömt, der zwischen der Kathodelektrode **12** und dem Separator **5A** gebildet ist.

[0079] Wie in [Fig. 13](#) ebenfalls zu sehen ist, sind die Gasdichtungselemente **6A** und **7A**, die den Bereich zwischen der Membran-Elektroden-Anordnung **3** und dem auf deren beiden Seiten angeordneten Paar von Separatoren **4A** und **5A** abdichten, in der Weise angeordnet, dass sie die Elektrolytmembran **10** in ihrer

Dickenrichtung in den jeweiligen in Stapelrichtung der Brennstoffzelleneinheit **2A** übereinstimmenden Positionen zwischen sich aufnehmen. Das Gasdichtungselement **7A** ist auf die Brückenplatte **25b** gesetzt, die sich direkt über den in dem Separator **5A** gebildeten Verbindungsweg **25A** erstreckt. Das heißt der Verbindungsweg **25A** macht einen Umweg um das Gasdichtungselement **7A** in der Dickenrichtung des Separators **5A** und verbindet das Innere des Gasdichtungselementes **7A** mit seinem Äußeren. Das von der Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **18** an der Außenseite des Gasdichtungselementes **7A** zugeführte Oxidationsgas kann in den Oxidationsgas-Durchflusskanal **9** an der Innenseite des Gasdichtungselementes **7A** strömen.

[0080] In diesem Fall ist das Kühlflächendichtungselement **27**, das die Brennstoffzelleneinheit **2A** abdichtet und den Kühlmittel-Durchflusskanal **28** abgrenzt, in einer Position angeordnet, die näher als der Verbindungsweg **25A** an der Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **18** liegt. Deshalb können das Kühlflächendichtungselement **27** und die den Verbindungsweg **25A** bildenden Vertiefungen **25a**, die durch einer Oberfläche des Separators **5A** in seiner Dickenrichtung hergestellt werden, im wesentlichen in der gleichen Ebene wie der Separator **5A** angeordnet werden. Wie im Falle der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** kann dank der Stützelemente **29A** und **29B**, die in den Bereichen der Separatoren **4A** und **5A** vorhanden sind, in denen die Gasdichtungselemente **6A** und **7A** und das Kühlflächendichtungselement **27** zueinander versetzt angeordnet sind, die Dicke dieser Bereiche der Separatoren unter Vermeidung einer Deformation der Separatoren **4A** und **5A** und unter Sicherstellung einer ausreichenden Dichtwirkung in ausreichendem Maße reduziert werden.

[0081] Diese Beschreibung gilt in der gleichen Weise auch im Falle der Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **21**.

[0082] [Fig. 14](#) ist eine entlang der Linie C-C in [Fig. 4](#) geschnittene Längsschnittsansicht. Diese Zeichnung zeigt einen Kühlmittelweg, der die Kühlmittelzufuhröffnung **19** mit dem durch benachbarte Brennstoffzelleneinheiten **2A** und **2A** abgegrenzten Kühlmittel-Durchflusskanal **28** verbindet, sowie den Brennstoffgas-Durchflusskanal **8**, den Oxidationsgas-Durchflusskanal **9** und den Kühlmittel-Durchflusskanal **28**, die durch die gerippten Bereiche **4a** und **5a** abgegrenzt sind. Ferner sind, wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, die Stützelemente **29C** und **29D** an den Oberflächen der Separatoren **4A** und **4B** vorgesehen, die den Kühlmittel-Durchflusskanal **28** bilden. Diese Stützelemente **29C** und **29D** stützen die Last, die durch die Gasdichtungselemente **6A** und **7A** ausgeübt wird, so dass die Steifigkeit der Separatoren **4A** und **5A** erhöht wird. Zudem ist das Stützelement **29D**, das den Kühlmittel-Durchflusskanal **28** über-

querend angeordnet ist, ebenso wie das Stützelement **29B** mit Verbindungsausnehmungen **30** versehen. Für die Stützelemente **29C** und **29D** kann vorzugsweise ein korrosionsbeständiges leitendes Material wie rostfreier Stahl oder Kohlenstoff verwendet werden.

[0083] Es ist demzufolge möglich, die von dem Kühlflächendichtungselement **27** belegte Höhe, die das Kühlflächendichtungselement **27** für die Bereitstellung einer ausreichenden Dichtwirkung braucht, deutlich zu reduzieren, während die Dicke der Separatoren **4A** und **5A** in den Positionen, in denen die Verbindungswege **23A** und **25A** gebildet sind, beibehalten werden kann. Da außerdem die Steifigkeit der Bereiche der Separatoren **4A** und **4B**, in denen die Gasdichtungselemente **6A** und **7A** und das Kühlflächendichtungselement **27** zueinander versetzt angeordnet sind, gewährleistet ist, kann deren Dicke unter Vermeidung einer Deformation der Separatoren **4A** und **5A** und unter Sicherstellung einer ausreichenden Dichtwirkung ausreichend reduziert werden. Deshalb lässt sich die Größe des Brennstoffzellenstacks **1A** stark reduzieren.

[0084] Als nächstes wird ein weiterer Brennstoffzellenstack **1B** gemäß einer zweiten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung mit Bezugnahme auf die [Fig. 15](#) bis [Fig. 17](#) beschrieben.

[0085] Der Brennstoffzellenstack **1B** gemäß dieser Ausführungsform unterscheidet sich von dem Brennstoffzellenstack **1A** gemäß der ersten Ausführungsform dadurch, dass anstelle der Kohlenstoffseparatoren in der ersten Ausführungsform die durch Pressformen von dünnen Metallplatten zu gerippten Platten hergestellten Separatoren **4A** und **5A** verwendet werden.

[0086] Auch bei dem Brennstoffzellenstack **1B** gemäß dieser Ausführungsform wird der Verbindungsweg **23A** hergestellt, indem der Separator **4A** gebogen wird, um in einer Position, in der die beiden Flächen der Elektrolytmembranen **10** zwischen sich aufnehmenden Gasdichtungselemente **6A** und **7A** vorgesehen sind, Abstände von den Gasdichtungselementen **6A** und **7A** zu schaffen, und das Gasdichtungselement **6A** wird durch die Brückenplatte **23b** gestützt, die sich direkt über den Verbindungsweg **23A** erstreckt. Demgemäß macht der Verbindungsweg **23A** in der Stapelrichtung der Separatoren **4A** und **5A** einen Umweg um das Gasdichtungselement **6A** und verbindet das Innere des Gasdichtungselementes **6A** mit seinem Äußeren.

[0087] Darüber hinaus ist das Kühlflächendichtungselement **27** in einer Position angeordnet, die näher als der Verbindungsweg **23A** zur Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** liegt, wodurch das Kühlflächendichtungselement **27** und der Verbindungs-

weg **23A** in Stapelrichtung der Separatoren **4A** und **5A** gesehen im wesentlichen in der gleichen Ebene liegen. Deshalb lässt sich der Spalt zwischen den einander gegenüberstehenden Separatoren **4A** und **5A** reduzieren, mit dem Effekt, dass die Dimension des gesamten Brennstoffzellenstacks **1B** in der Stapelrichtung reduziert werden kann. Ebenso wie bei der ersten Ausführungsform kann dank der vorgesehenen Stützelemente **29A** bis **29D** die Dicke der Separatoren **5A** und **5B** unter Vermeidung ihrer Deformation und unter Sicherstellung einer ausreichenden Dichtwirkung auch bei dieser Ausführungsform ausreichend reduziert werden. Außerdem ist eine noch weitere Reduzierung der Größe des Brennstoffzellenstacks **1B** möglich, weil metallische Separatoren dünner ausgebildet werden können als Kohlenstoffseparatoren.

[0088] Ein weiterer Brennstoffzellenstack **1C** gemäß der dritten Ausführungsform vorliegender Erfindung wird nunmehr unter Bezugnahme auf die [Fig. 18](#) bis [Fig. 20](#) beschrieben. Hier ist zu beachten, dass die mit der ersten und der zweiten Ausführungsform gemeinsamen Elemente dieser Ausführungsform die gleichen Bezugsziffern tragen und nur noch vereinfacht beschrieben werden.

[0089] Die [Fig. 18](#) bis [Fig. 20](#) zeigen jeweils Längsschnittansichten ähnlich jenen der [Fig. 12](#) bis [Fig. 14](#), in denen die erste Ausführungsform dargestellt ist.

[0090] Der Brennstoffzellenstack **1C** gemäß dieser Ausführungsform unterscheidet sich dadurch von den Brennstoffzellenstacks **1A** und **1B** der ersten und der zweiten Ausführungsform, dass nach je zwei Brennstoffzelleneinheiten **2B** und **2C** ein Brennstoffgas-Durchflusskanal **28** vorgesehen ist, während in der ersten Ausführungsform ein Brennstoffgas-Durchflusskanal **28** nach jeder Brennstoffzelleneinheit **2A** vorgesehen ist. Das heißt in dem Bereich, in dem der Kühlmittel-Durchflusskanal **28** gebildet ist, sind zwei Separatoren **4A** und **5A** einander zugekehrt angeordnet, und das Kühlflächendichtungselement **27** ist zwischen den Separatoren in der Weise aufgenommen, dass wie im Falle der in [Fig. 17](#) gezeigten ersten Ausführungsform der Kühlmittel-Durchflusskanal **28** gebildet wird, während in dem Bereich, in dem der Kühlmittel-Durchflusskanal **28** nicht gebildet wird, ein einziger Separator **37** verwendet wird, der einem Separator gleicht, der durch die Integration der Separatoren **4A** und **5A** in der ersten Ausführungsform gebildet wird.

[0091] Dadurch dass nach je zwei Brennstoffzelleneinheiten **2B** und **2C** ein Kühlmittel-Durchflusskanal **28** vorgesehen ist, können aufgrund der geringeren Anzahl von Kühlflächendichtungselementen **27** die Kosten des Brennstoffzellenstacks gesenkt werden, und weil die Dicke des integrierten Separators **37**, in

dem der Kühlmittel-Durchflusskanal **28** nicht gebildet ist, reduziert wird, kann auch die Dimension in der Stapelrichtung des Brennstoffzellenstack **1C** weiter reduziert werden.

[0092] Darüber hinaus sind in dieser Ausführungsform, wie in den [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) gezeigt, der Brennstoffgas-Verbindungsweg **23B** in der Brennstoffzelleneinheit **2B** und der Brennstoffgas-Verbindungsweg **23C** in der Brennstoffzelleneinheit **2C** in Stapelrichtung gesehen von der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** zur Membran-Elektroden-Anordnung **3** versetzt zueinander angeordnet, d.h. der Brennstoffgas-Verbindungsweg **23C** in der Brennstoffzelleneinheit **2C** ist von der Membran-Elektroden-Anordnung **3** der Brennstoffzelleneinheit **2B** weiter nach außen angeordnet als der Brennstoffgas-Verbindungsweg **23B** in der Brennstoffzelleneinheit **2B**. Außerdem sind auch in dieser Ausführungsform, wie in den [Fig. 6A](#) und [Fig. 6B](#) gezeigt, Stützelemente **29E** bis **29H** vorgesehen, die die jeweiligen Bereiche der Separatoren **4B**, **37** und **5C** stützen. Da die Stützelemente **29E** und **29F** zwischen den Separatoren **4B** und **37** oder zwischen den Separatoren **37** und **5C** vorgesehen sind, sind die Stützelemente **29E** und **29F** aus elektrisch isolierendem Material hergestellt. Da ferner die Stützelemente **29G** und **29H** zwischen dem Separator **4B** und der Membran-Elektroden-Anordnung **3** oder zwischen der Membran-Elektroden-Anordnung **3** und dem Separator **37** angeordnet sind, sind die Stützelemente **29G** und **29H** aus korrosionsbeständigem Material hergestellt. Außerdem sind die Stützelemente **29F** und **29H** mit Verbindungsausnehmungen **30** versehen, die das Reaktionsgas (das Brennstoffgas oder Oxidationsgas) hindurchströmen lassen. Die Stützelemente **29E** und **29F** sind nicht mit Verbindungsausnehmungen **30** versehen, weshalb die Steifigkeit der Stützelemente **29E** und **29F** weiter erhöht werden kann.

[0093] Obwohl der Bereich der Brennstoffzelleneinheit **2C**, der den Brennstoffgas-Verbindungsweg **23C** bildet, von der Membran-Elektroden-Anordnung **3** der Brennstoffzelleneinheit **2B** nach außen angeordnet ist, kann dessen Steifigkeit dank des Stützelements **29F** sichergestellt werden. Außerdem kann dank der vorgesehenen Stützelemente **29E** bis **29H** die Steifigkeit der Bereiche der Separatoren **4B**, **37** und **5C**, in denen die Gasdichtungselemente **6B** und **7B** und das Kühlflächendichtungselement **27** versetzt zu einander angeordnet sind, in ausreichendem Maße sichergestellt werden. Die gleiche Beschreibung gilt im Falle der Brennstoffgas-Verbindungswege **23B** und **23C**, die in der Nähe der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **20** vorgesehen sind.

[0094] Wie im Falle der Brennstoffgas-Verbindungswege **23B** und **23C** und wie in den [Fig. 7A](#) und [Fig. 7B](#) dargestellt, sind der Oxidationsgas-Verbindungs weg **25B** in der Brennstoffzelleneinheit **2B** und

der Oxidationsgas-Verbindungswege **25C** in der Brennstoffzelleneinheit **2C** in der Weise angeordnet, dass sie in Stapelrichtung gesehen von der Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **18** in Richtung zur Membran-Elektroden-Anordnung **3** versetzt zueinander angeordnet sind. Deshalb kann der Bereich der Brennstoffzelleneinheit **2C**, der den Oxidationsgas-Verbindungswege bildet, von der Membran-Elektroden-Anordnung **3** der Brennstoffzelleneinheit **2C** nach außen angeordnet werden. Wie [Fig. 18](#) zeigt, lässt sich aufgrund der Stützung des Bereichs der Brennstoffzelleneinheit **2C** durch das Stützelemente **29F** dessen Steifigkeit sicherstellen. Hinzu kommt, dass wie im Falle der Brennstoffgasseite durch die Anordnung der Stützelemente **29E** bis **29H** die Steifigkeit der Bereiche der Separatoren **4B**, **37** und **5C**, in denen die Gasdichtungselemente **6B** und **7B** und das Kühlflächendichtungselement **27** versetzt zueinander angeordnet sind, in ausreichendem Maße sichergestellt wird. Die gleiche Beschreibung gilt auch im Falle der Oxidationsgas-Verbindungswege **25B** und **25C**, die in der Nähe der Oxidationsgas-Verbindungsöffnung **20** vorgesehen sind. Wie vorstehend erläutert, kann bei dem Brennstoffzellenstack **1C** gemäß der vorliegenden Erfindung die Größe des Brennstoffzellenstacks **1C** weiter reduziert werden, da unter Beibehaltung der Dichtwirkung eine ausreichende Reduzierung der Dicke der Separatoren **37**, **5C** und **4B** möglich ist.

[0095] Die [Fig. 21A](#) und [Fig. 21B](#) bis [Fig. 23](#) zeigen die vierte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung und sind jeweils Längsschnittansichten ähnlich wie die [Fig. 12](#) bis [Fig. 14](#) der ersten Ausführungsform. Wie in den [Fig. 21A](#) und [Fig. 21B](#) bis [Fig. 23](#) gezeigt ist, umfasst eine Brennstoffzelleneinheit **1D** dieser Ausführungsform eine Brennstoffzelleneinheit **2D** und eine Brennstoffzelleneinheit **2E**. Wie die [Fig. 21A](#) und [Fig. 21B](#) zeigen, sind der Brennstoffgas-Verbindungswege **23D** in der Brennstoffzelleneinheit **2D** und der Brennstoffgas-Verbindungswege **23E** in der Brennstoffzelleneinheit **2E** in Stapelrichtung gesehen von der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** in Richtung zur Membran-Elektroden-Anordnung **3** und in der diese Richtung kreuzenden Richtung versetzt zueinander angeordnet.

[0096] Da die Brennstoffgas-Verbindungswege **23D** und **23E** in den jeweiligen Brennstoffzelleneinheiten **2D** und **2E** in der Richtung von der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **17** zur Membran-Elektroden-Anordnung **3** und in der diese Richtung kreuzenden Richtung versetzt zueinander angeordnet sind, können die Gasdichtungselemente **6E** und **7E** der Brennstoffzelleneinheit **2E** von dem Bereich der Brennstoffzelleneinheit **2D**, in dem der Brennstoffgas-Verbindungswege **23D** gebildet ist, versetzt angeordnet werden, d.h. die Gasdichtungselemente **6E** und **7E** können von der Membran-Elektroden-Anordnung **3** der Brennstoffzelleneinheit **2D** nach außen

angeordnet werden.

[0097] Wie des weiteren in den [Fig. 8A](#) und [Fig. 8B](#) dargestellt ist, sind in dieser Ausführungsform ebenso wie in der dritten Ausführungsform die Stützelemente **29E** bis **29H** vorgesehen, die die jeweiligen Bereiche der Separatoren **4D**, **4E**, **5D** und **5E** stützen. Dank der Stützelemente **29E** bis **29H** kann der Bereich der Brennstoffzelleneinheit **2E**, in dem der Brennstoffgas-Verbindungswege **23E** gebildet ist, von der Membran-Elektroden-Anordnung **3** der Brennstoffzelleneinheit **2D** nach außen positioniert werden, während die Steifigkeit des Bereichs erhalten bleibt. Deshalb lässt sich die Dicke der Brennstoffeinheiten **2D** und **2E** reduzieren. Die gleiche Beschreibung gilt auch für den Fall der Brennstoffgas-Verbindungswege **23D** und **23E**, die in der Nähe der Brennstoffgas-Verbindungsöffnung **20** vorgesehen sind. Wie weiterhin in den [Fig. 22A](#) und [Fig. 22B](#) gezeigt ist, gilt die gleiche Beschreibung auch für den Fall der Oxidationsgas-Verbindungswege **25D** der Brennstoffzelleneinheit **2D** und für den Fall der Oxidationsgas-Verbindungswege **25E** der Brennstoffzelleneinheit **2E**. Außerdem sind, wie [Fig. 10](#) zeigt, in dieser Ausführungsform Stützelemente **29I** bis **29K** an der Oberfläche der Separatoren **4D** und **5E** dort vorgesehen, wo das Kühlflächendichtungselement **27** angeordnet ist, um deren Steifigkeit zu erhöhen. Demzufolge kann die Größe des Brennstoffzellenstack weiter reduziert werden.

[0098] In den [Fig. 6B](#), [Fig. 7B](#), [Fig. 8A](#) und [Fig. 9A](#) sind mit **6C**, **7C**, **6D** und **7D** Gasdichtungselemente bezeichnet.

[0099] In der vorstehenden Beschreibung der Ausführungsformen sind die Stützelemente getrennt von den Separatoren gebildet; sie können jedoch auch einstückig mit den jeweiligen Separatoren ausgebildet werden. Zum Beispiel können im Falle eines Kohlenstoffseparators die Stützelemente gebildet werden, indem der Separator in einem seiner Bereiche dick ausgebildet wird, und die Verbindungswege lassen sich herstellen, indem in diesem Bereich konvexe und konvexe Abschnitte geformt werden. Die vorstehenden Ausführungsformen sind außerdem nur Beispiele, und die vorliegende Erfindung ist auch auf anderen Ausführungsformen anwendbar. Zum Beispiel können die Separatoren in der zweiten und in der dritten Ausführungsform aus Kohlenstoff hergestellt sein, oder es kann der Kühlmittel-Durchflusskanal nicht in jeder Brennstoffzelleneinheit, sondern stattdessen in jeder zweiten oder jeder dritten Brennstoffzelleneinheit gebildet sein.

[0100] Wie vorstehend erläutert, wird gemäß einem ersten Aspekt der vorliegenden Erfindung die Steifigkeit der Bereiche der Separatoren, in denen die Gasdichtungselemente und das Kühlflächendichtungselement versetzt zueinander angeordnet sind, sicher-

gestellt. Deshalb kann die Dicke des Separatoren unter Vermeidung seiner Deformation in ausreichendem Maße reduziert werden. Es ist darüber hinaus auch möglich, einen ausreichenden Dichtungsdruck auf die Gasdichtungselemente und das Kühlflächendichtungselement, die versetzt zueinander angeordnet sind, auszuüben. Deshalb wird eine ausreichende Dichtwirkung sogar bei einer verringerten Dicke des Separators sichergestellt. Das Ergebnis ist, dass die Größe des Brennstoffzellenstack beachtlich reduziert werden kann.

[0101] Gemäß einem weiteren Aspekt der vorliegenden Erfindung kann die Dicke der Bereiche der Separatoren, in denen die Verbindungswege versetzt zueinander angeordnet sind, reduziert werden, und es können auch die Bereiche der Separatoren in Stapelrichtung gesehen versetzt zueinander angeordnet werden. Deshalb lässt sich die Größe des Brennstoffzellenstack weiter reduzieren.

[0102] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung können die Reaktionsgase oder das Kühlmittel durch die in den Stützelementen ausgebildeten Verbindungsausnehmungen zugeführt werden, und die Steifigkeit des Bereichs der Separatoren, in dem die Stützelemente vorgesehen sind, kann erhöht werden. Deshalb ist eine weitere Reduzierung der Größe des Brennstoffzellenstacks möglich.

[0103] Eine kleine und leichte Brennstoffzelle hat Separatoren (**4A, 5A**) mit Verbindungsöffnungen (**18**) für Reaktionsgase und ein Kühlmedium, die an einer Außenseite von Gasdichtungselementen (**6A, 7A**) in der Weise angeordnet sind, dass sie jeden der Separatoren durchgreifen, und mit Verbindungswege (**23A, 25A**), die in Dickenrichtung der Separatoren (**4, 5**) einen Umweg um die Gasdichtungselemente (**6A, 7A**) machen und die Reaktionsgas-Verbindungsöffnungen (**18, 21**) mit Reaktionsgas-Durchflusskanälen (**8, 9**) verbinden. Ferner sind Stützelemente (**29B**) vorgesehen, um Bereiche der Separatoren zu stützen, in denen die Gasdichtungselemente (**6A, 7A**) und das Kühlflächendichtungselement (**27**) in Stapelrichtung gesehen versetzt zueinander angeordnet sind.

Patentansprüche

1. Brennstoffzelle mit Brennstoffzelleneinheiten (**2A**), die gestapelt sind und zwischen sich zumindest einen Kühlmittel-Durchflusskanal (**28**) aufweisen, der durch ein Kühlflächendichtungselement (**27**) abgedichtet ist, wobei jede Brennstoffzelleneinheit (**2A**) umfasst:
 - eine Elektroden-Elektrolyt-Anordnung (**3**), die durch Anordnen einer Elektrode (**11, 12**) auf jeder Seite eines Elektrolyts (**10**) gebildet wird;
 - Separatoren (**4A, 5A**), die die Elektroden-Elektrolyt-Anordnung (**3**) in ihrer Dickenrichtung zwischen

sich aufnehmen; und

- Gasdichtungselemente (**6A, 7A**), die an einem äußeren Randbereich der Elektroden-Elektrolyt-Anordnung (**3**) angeordnet sind und die jeweiligen Reaktionsgas-Durchflusskanäle (**8, 9**), die zwischen jedem Separator (**4A, 5A**) und der Elektroden-Elektrolyt-Anordnung (**3**) gebildet und durch die Separatoren (**4A, 5A**) und die Elektroden-Elektrolyt-Anordnung (**3**) begrenzt sind, abdichten, wobei
 - in jedem der Separatoren (**4A, 5A**) Reaktionsgas-Verbindungsöffnungen (**17, 18, 20, 21**) und Kühlmittel-Verbindungsöffnungen (**19, 22**), die jeden der Separatoren (**4A, 5A**) in seiner Dickenrichtung durchgreifen, und Verbindungswege (**23A, 25A**) vorgesehen sind, die in Dickenrichtung der Separatoren (**4A, 5A**) einen Umweg um die Gasdichtungselemente (**6A, 7A**) machen und die Reaktionsgas-Verbindungsöffnungen (**17, 18, 20, 21**) mit den Reaktionsgas-Durchflusskanälen (**8, 9**) verbinden; und wobei
 - die Bereiche der Separatoren (**4A, 5A**), in denen Abschnitte der Gasdichtungselemente (**6A, 7A**) und des Kühlflächendichtungselement (**27**) in Stapelrichtung gesehen versetzt zueinander angeordnet sind, durch Stützelemente (**29A, 29B, 29C, 29D**) gestützt sind.

2. Brennstoffzelle nach Anspruch 1, wobei die Verbindungswege (**23A, 25A**) in einer Brennstoffzelleneinheit (**2A**) und die korrespondierenden Verbindungswege (**23A, 25A**) in der in Stapelrichtung angrenzenden Brennstoffzelleneinheit (**2A**) in Stapelrichtung gesehen versetzt zueinander angeordnet sind und wobei zumindest ein Bereich eines jeden der Stützelemente (**29A, 29B, 29C, 29D**) einen Bereich der Separatoren (**4A, 5A**) stützt, in dem die Verbindungswege (**23A, 25A**) gebildet sind.

3. Brennstoffzelle nach Anspruch 1 oder 2, wobei jedes der über den Reaktionsgas-Durchflusskanälen (**8, 9**) oder dem Kühlmittel-Durchflusskanal (**28**) angeordneten Stützelemente (**29A, 29B, 29C, 29D**) mit Verbindungsausnehmungen (**30**) versehen ist, die die Reaktionsgase oder das Kühlmittel hindurchströmen lassen.

Es folgen 19 Blatt Zeichnungen

FIG. 1

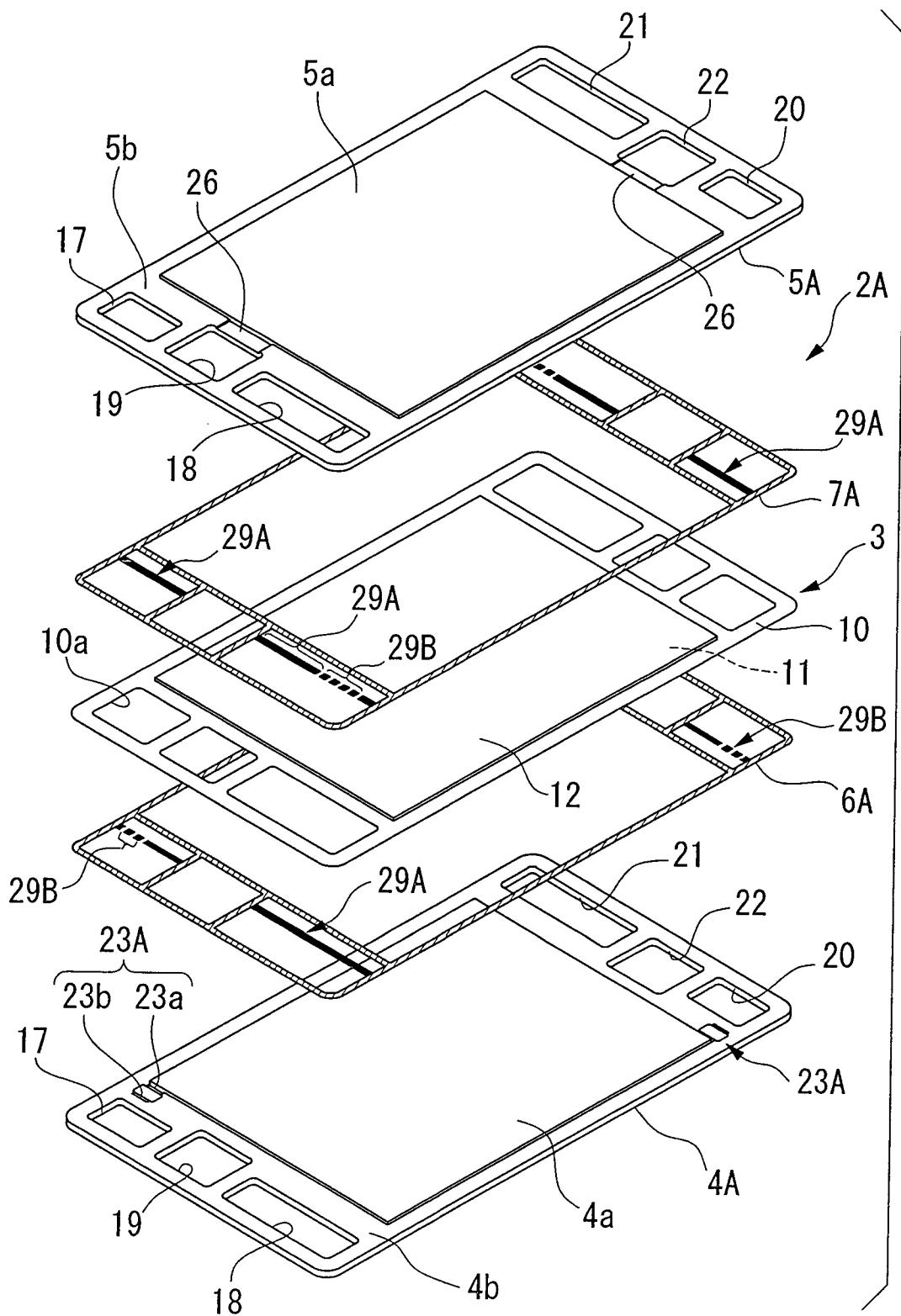


FIG. 2

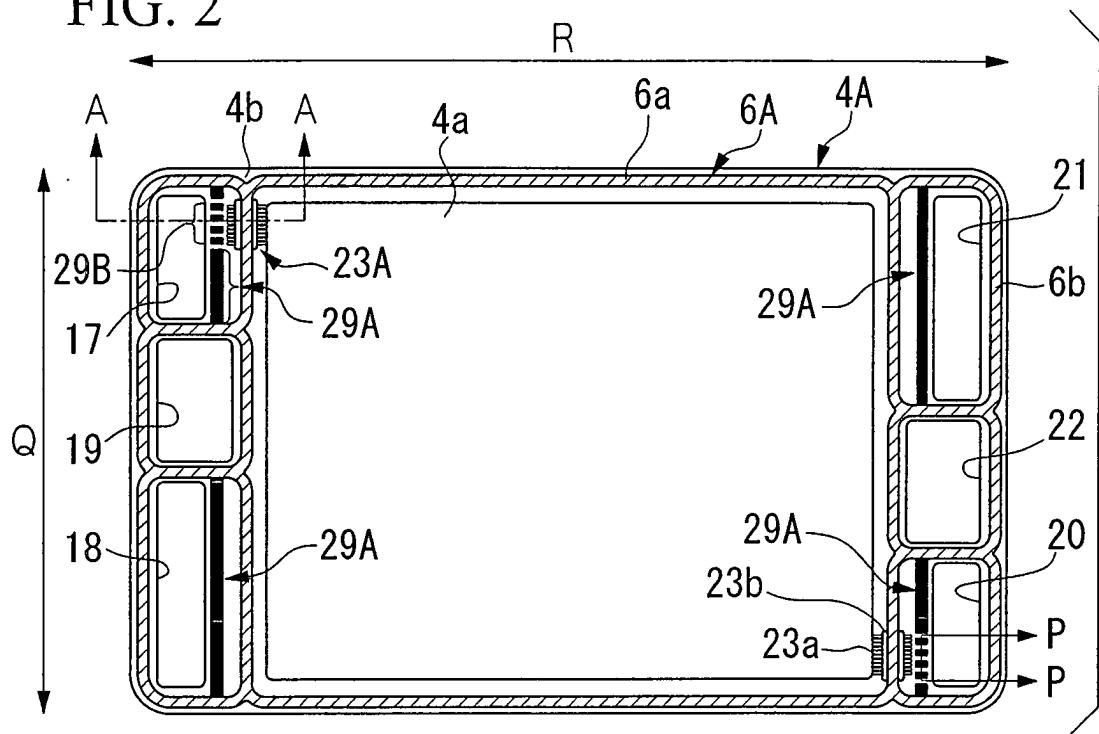


FIG. 3

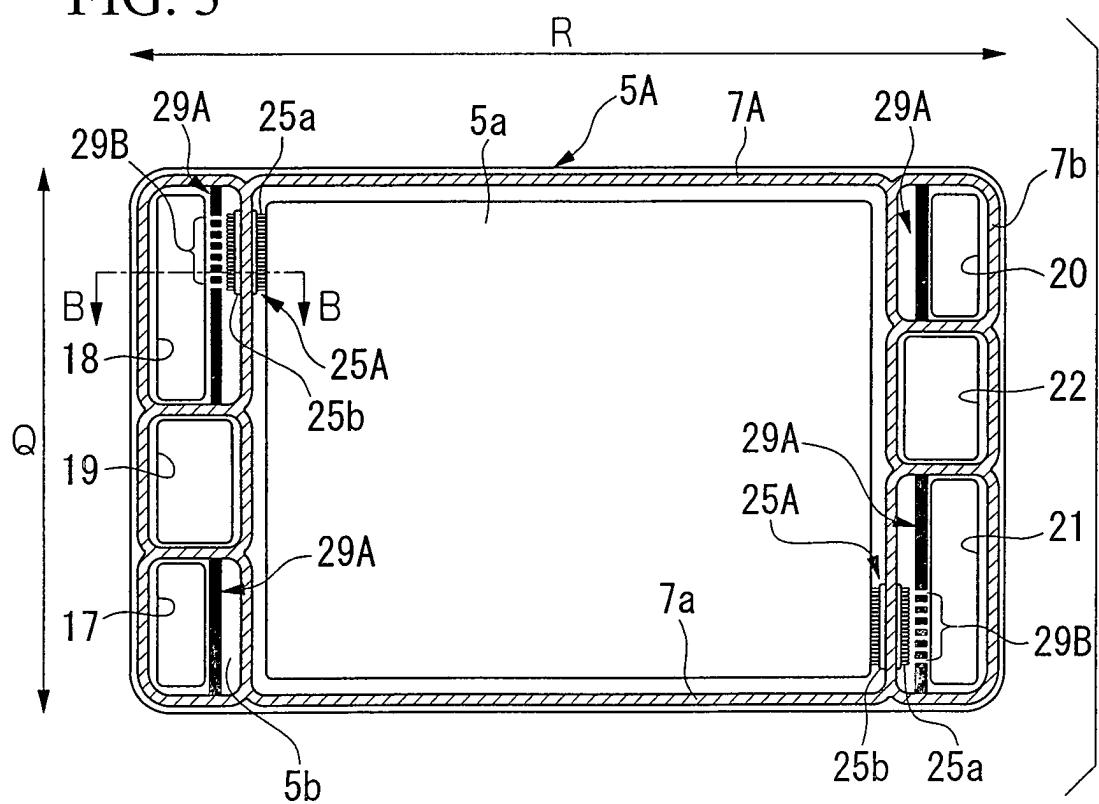


FIG. 4

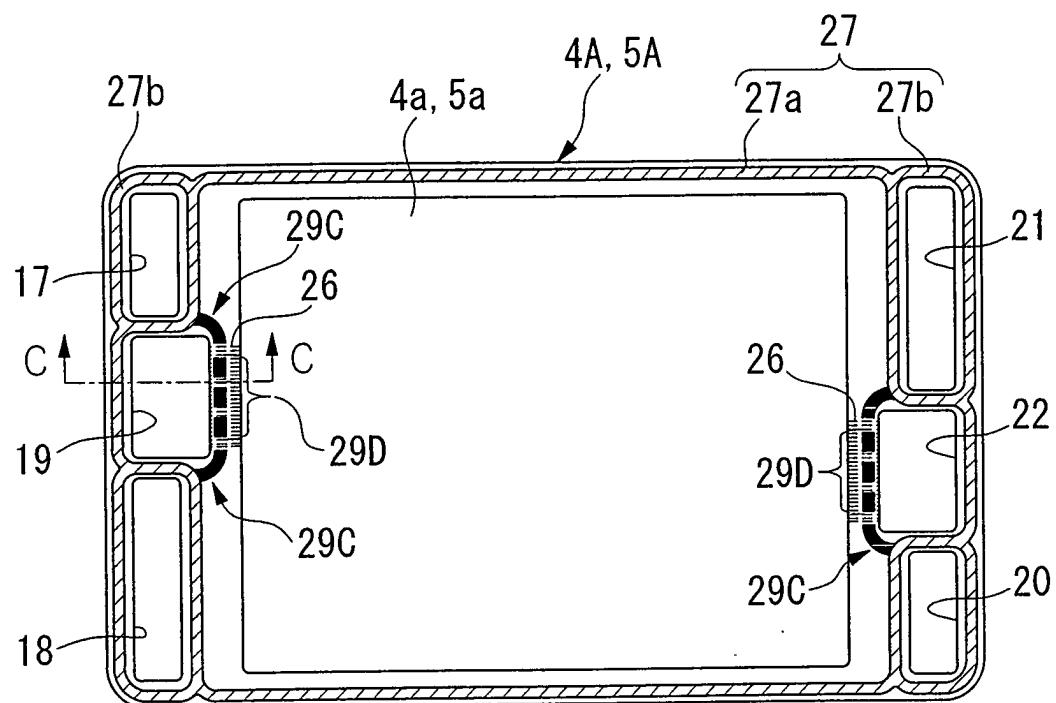


FIG. 5

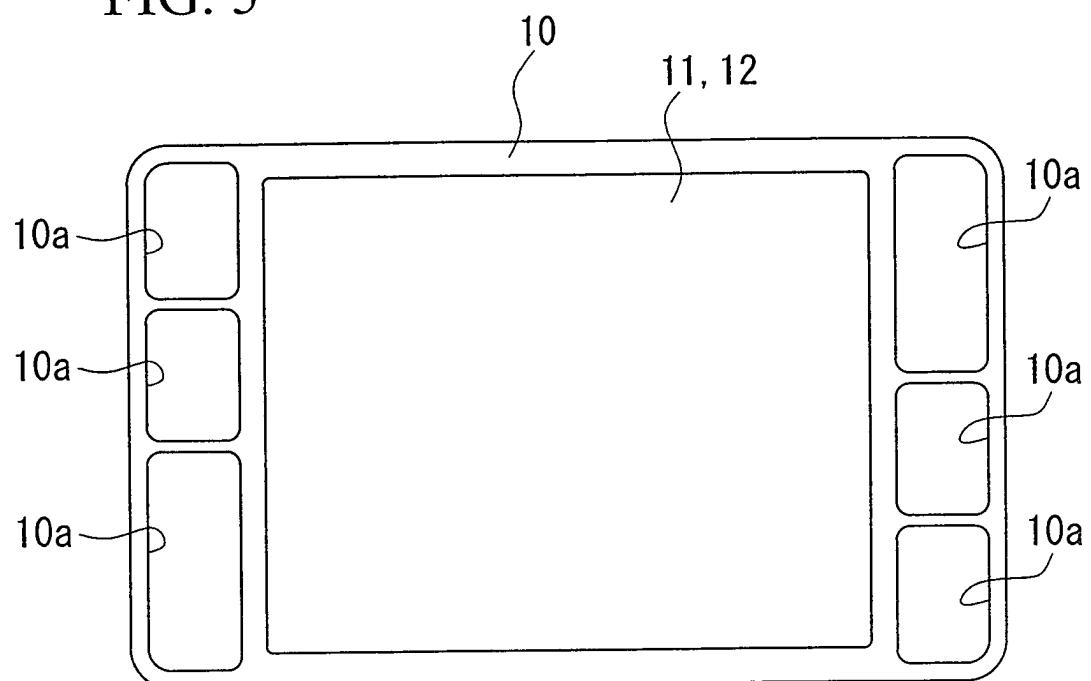


FIG. 6A

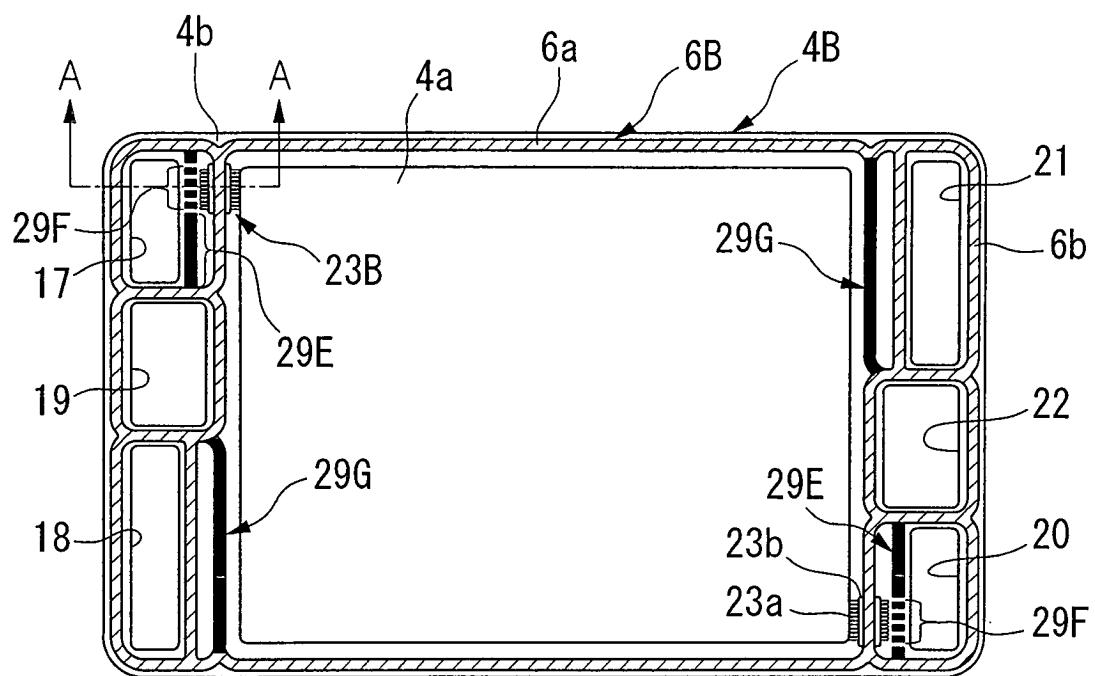


FIG. 6B

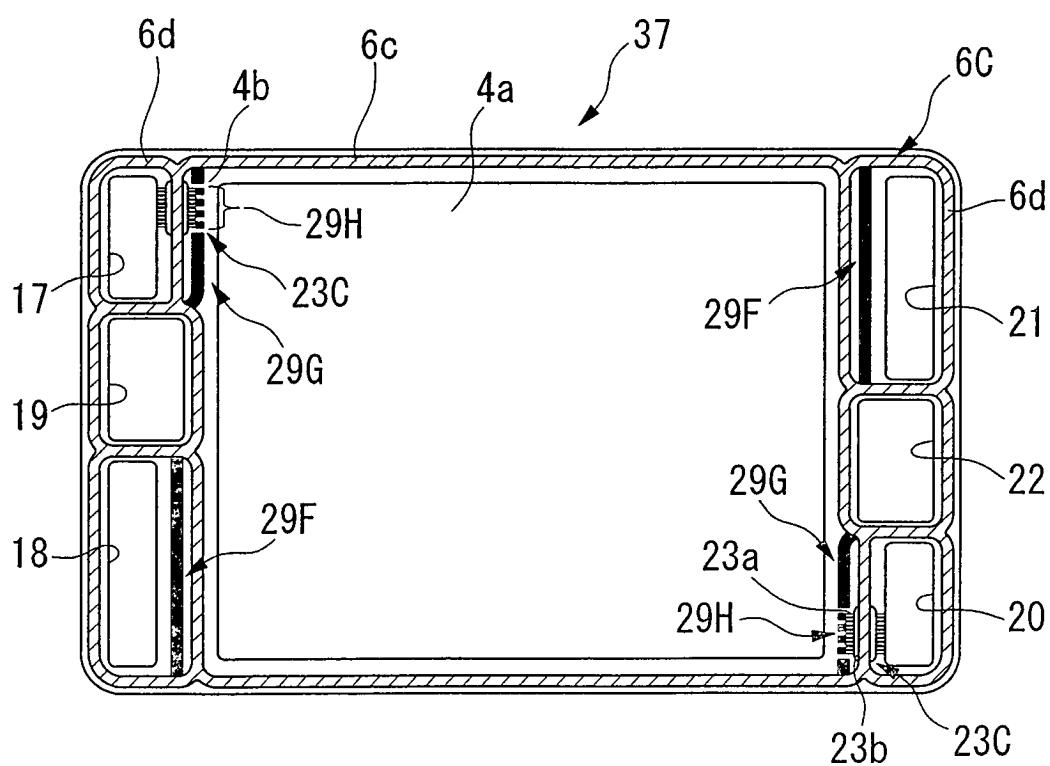


FIG. 7A

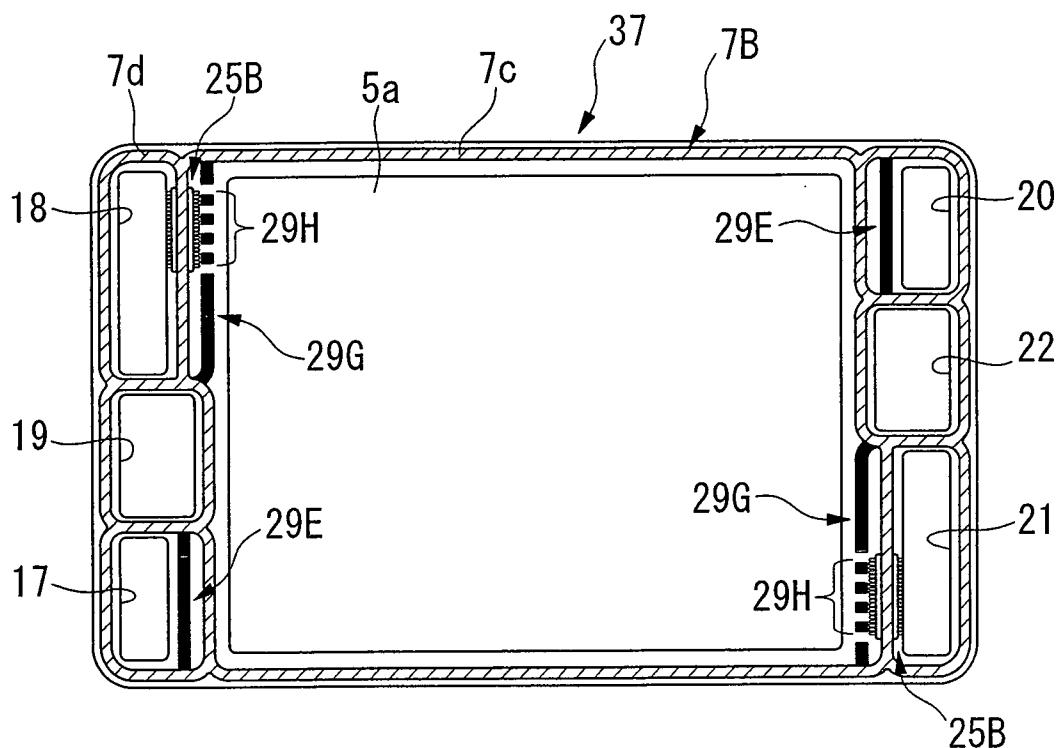


FIG. 7B

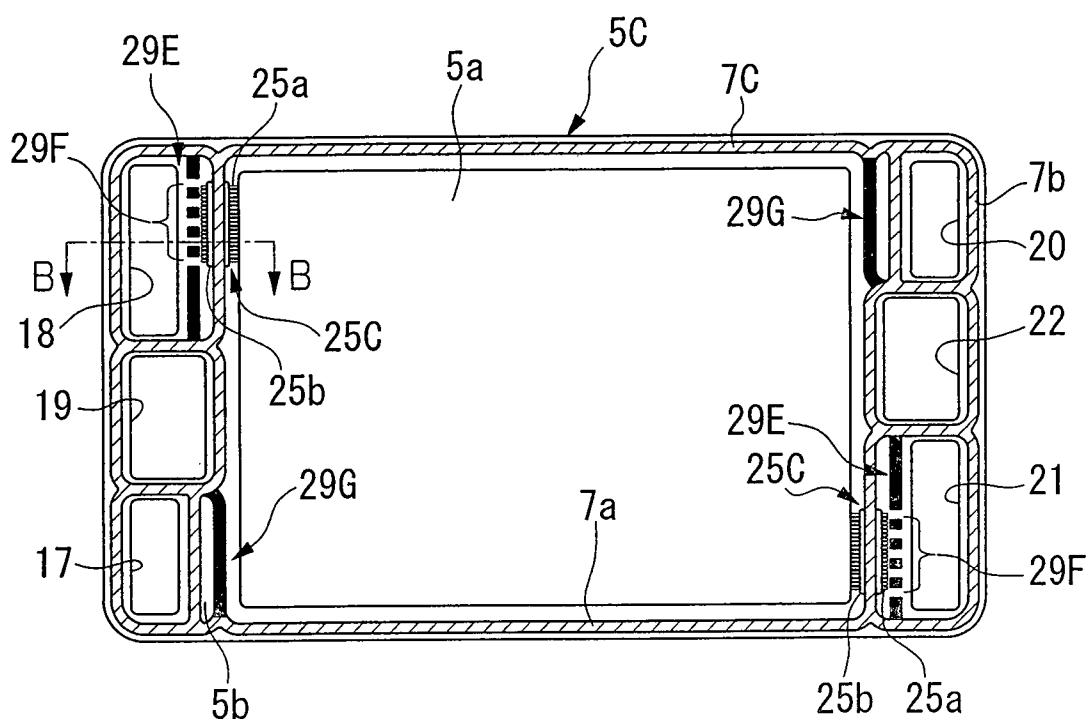


FIG. 8A

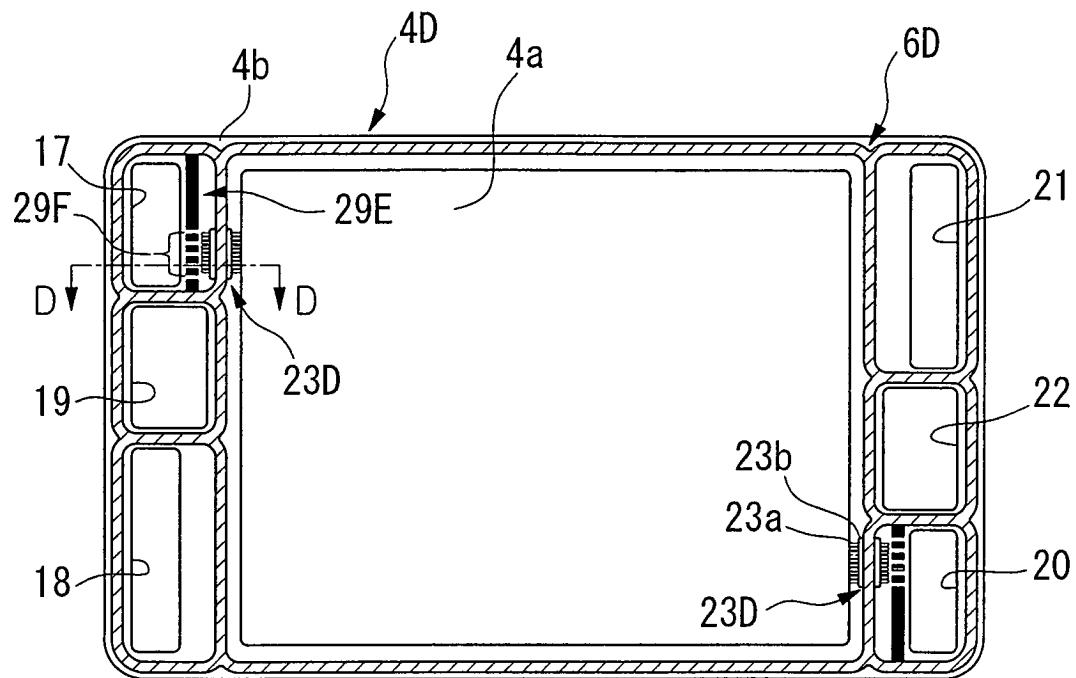


FIG. 8B

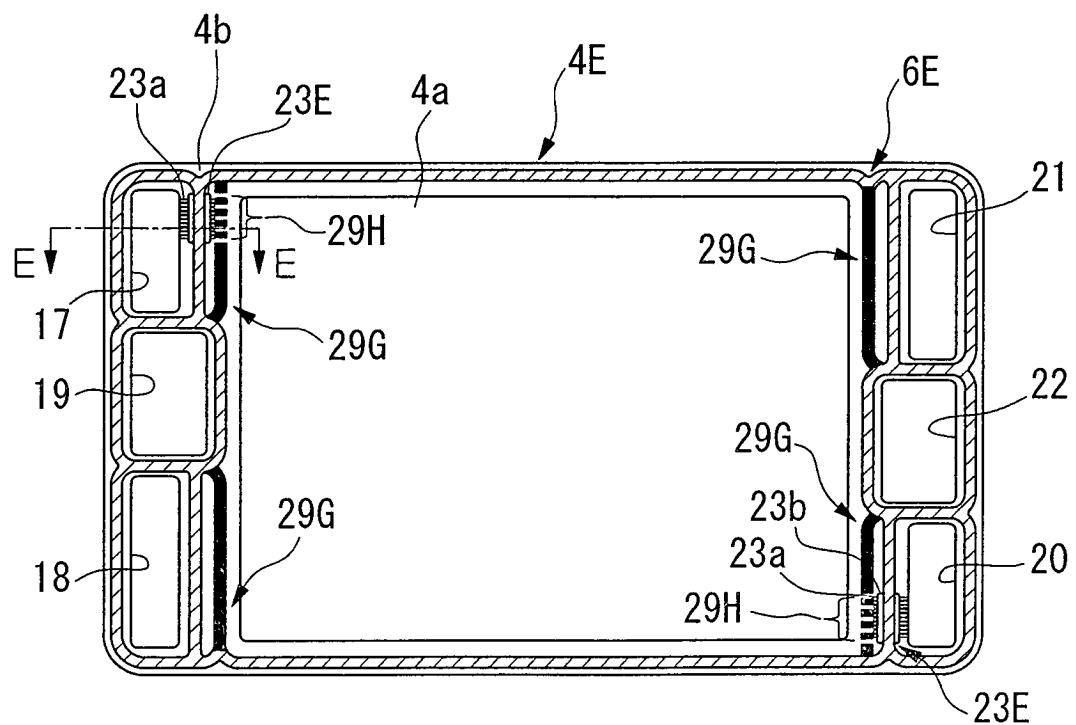


FIG. 9A

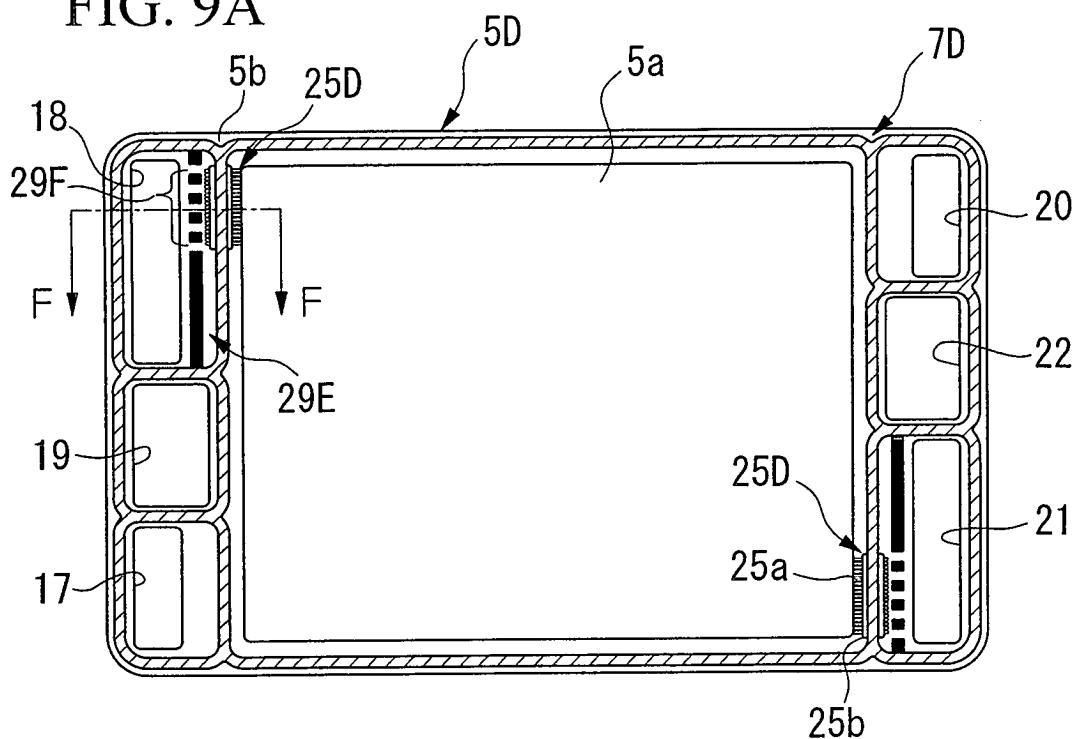


FIG. 9B

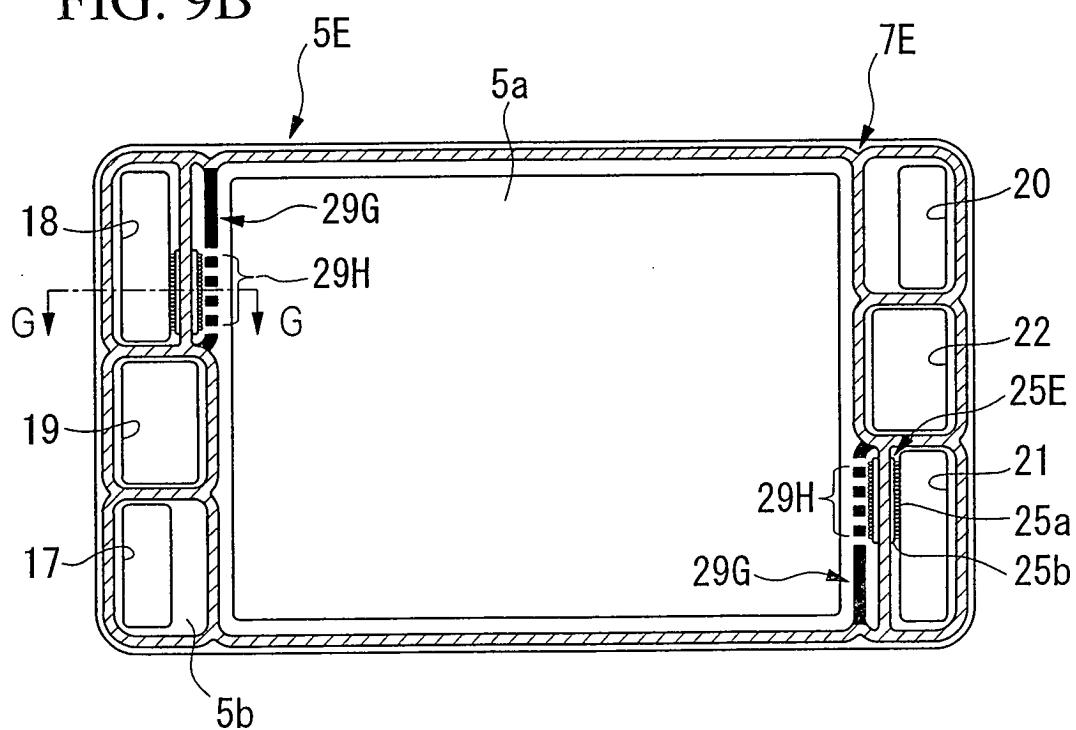


FIG. 10

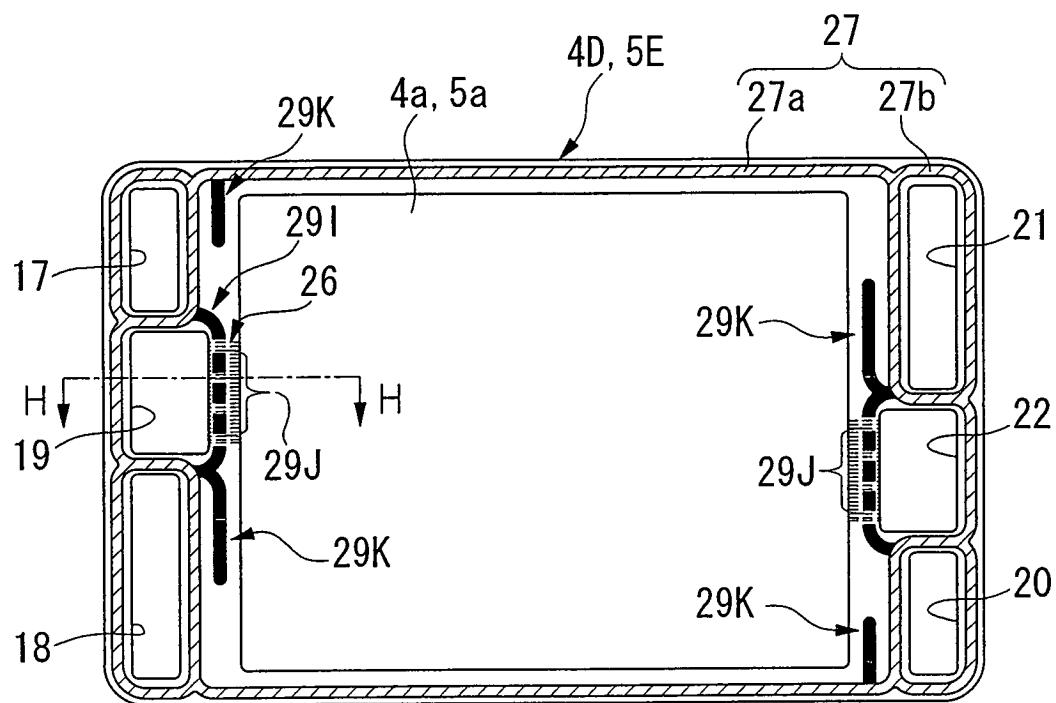


FIG. 11

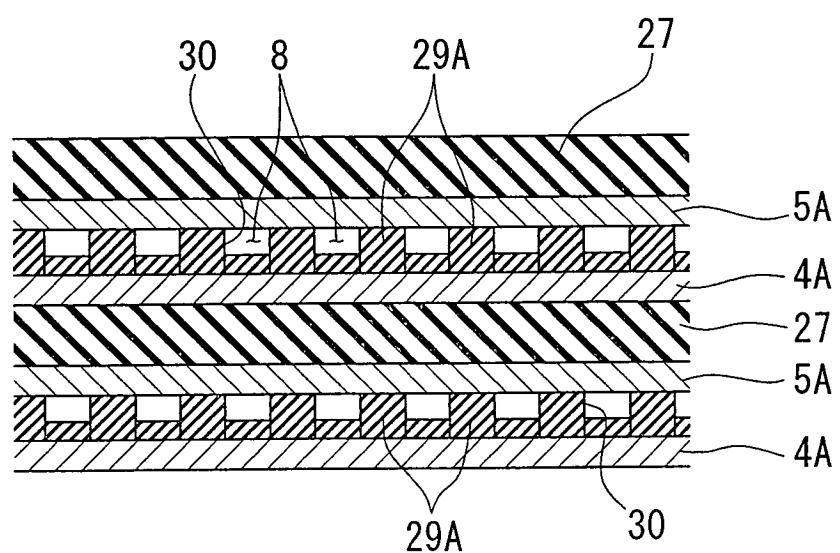


FIG. 12

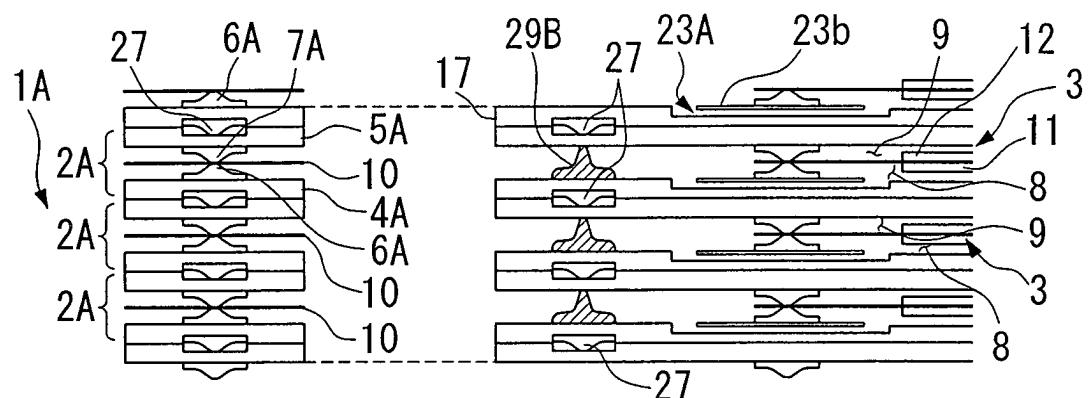


FIG. 13

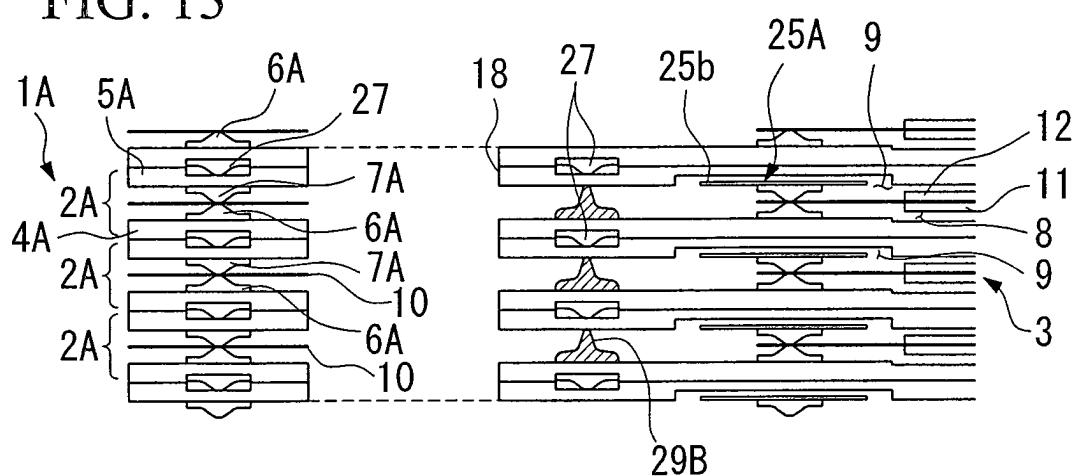


FIG. 14

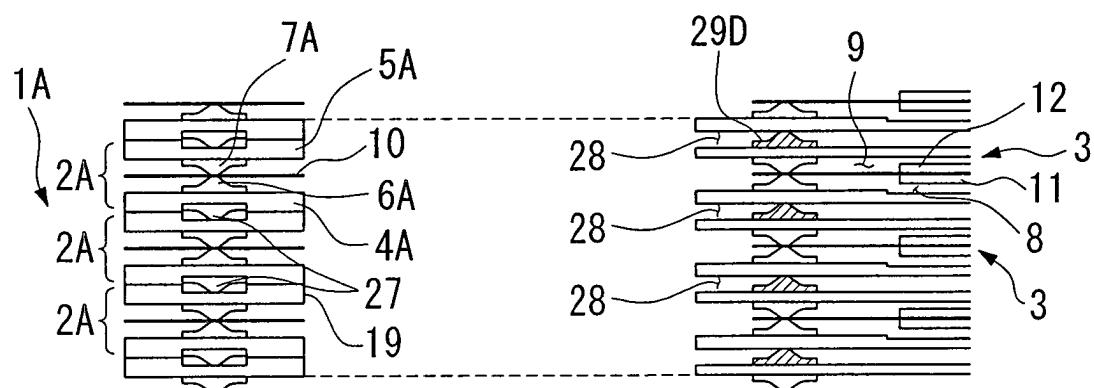


FIG. 15

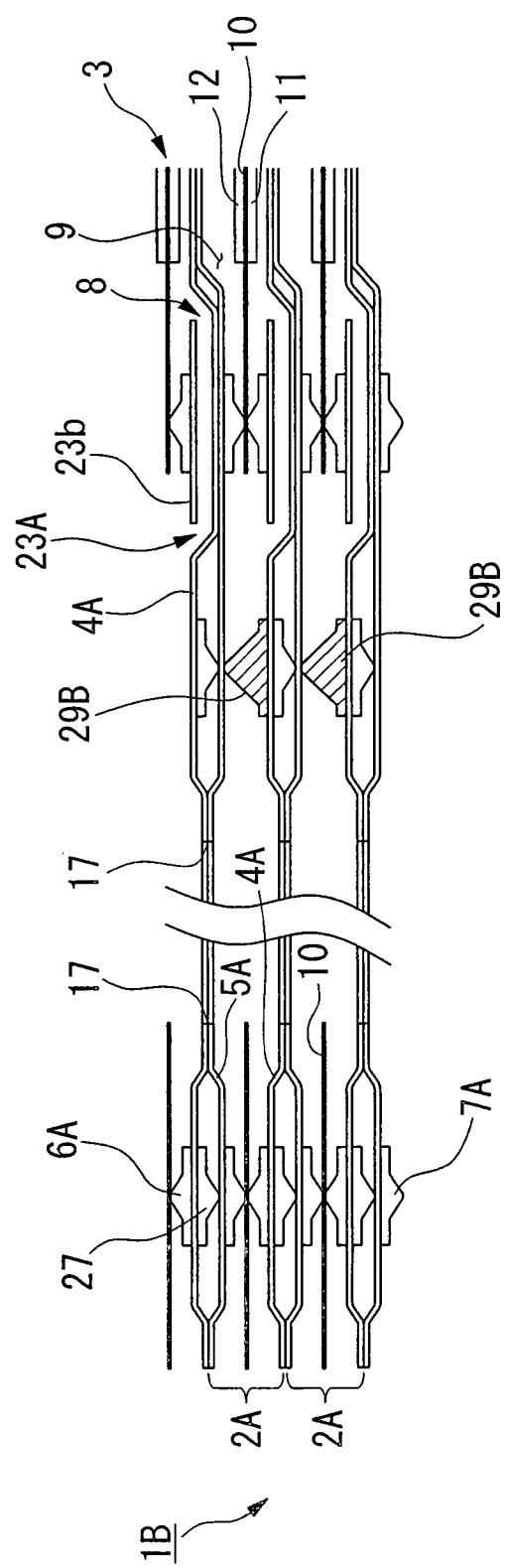


FIG. 16

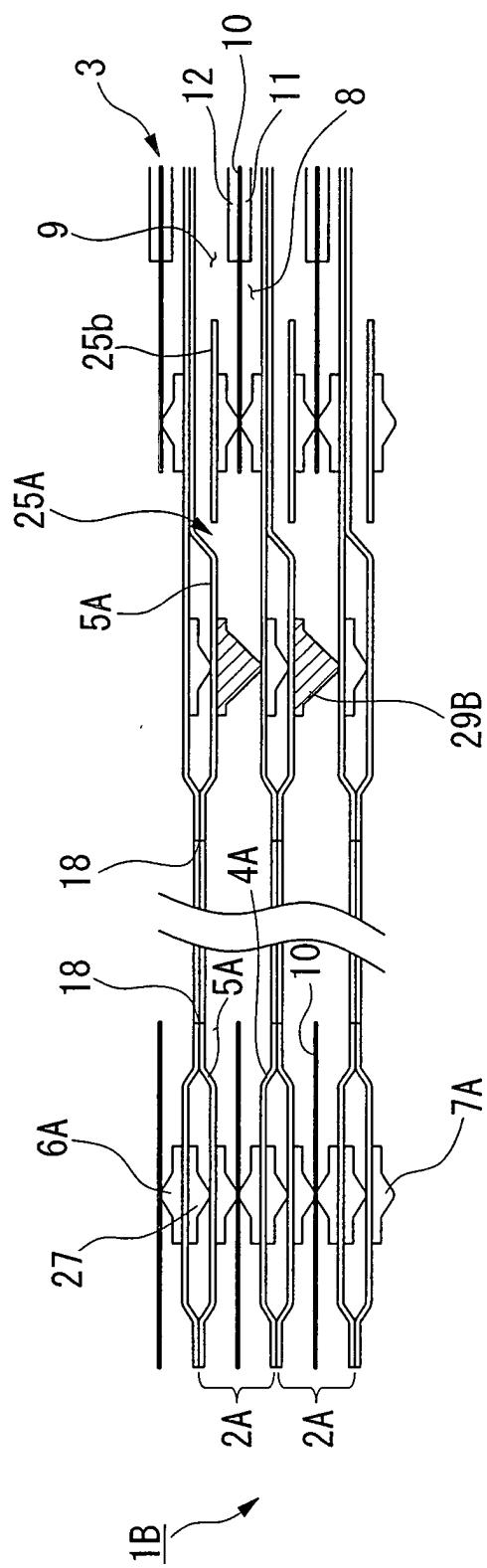


FIG. 17

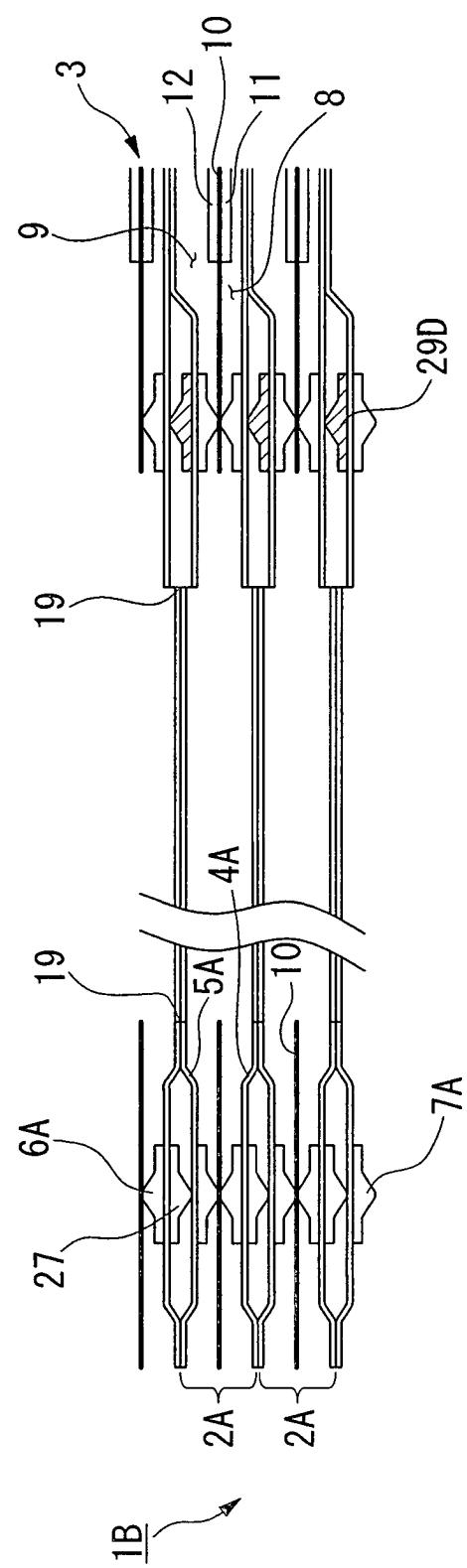


FIG. 18

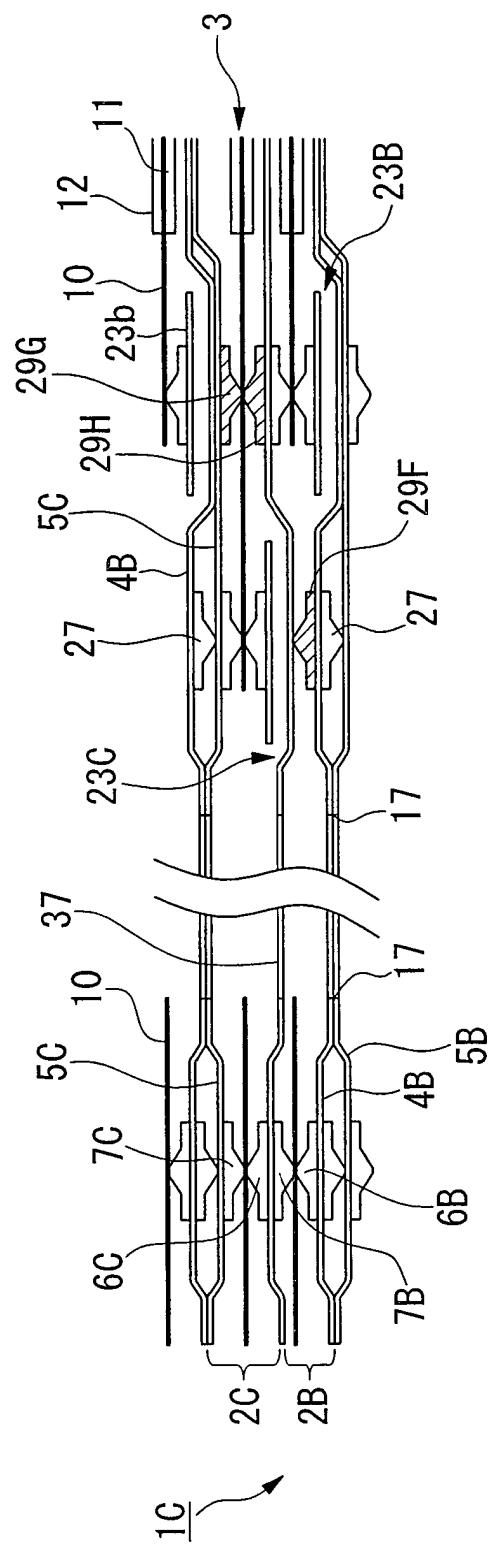


FIG. 19

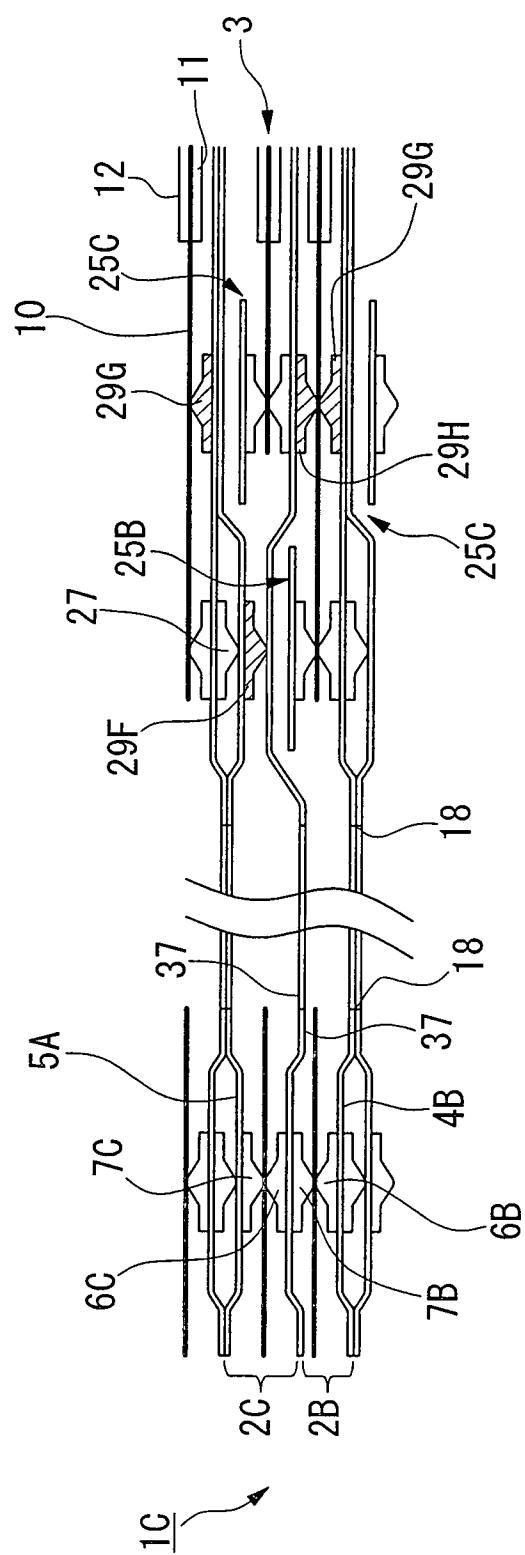


FIG. 20

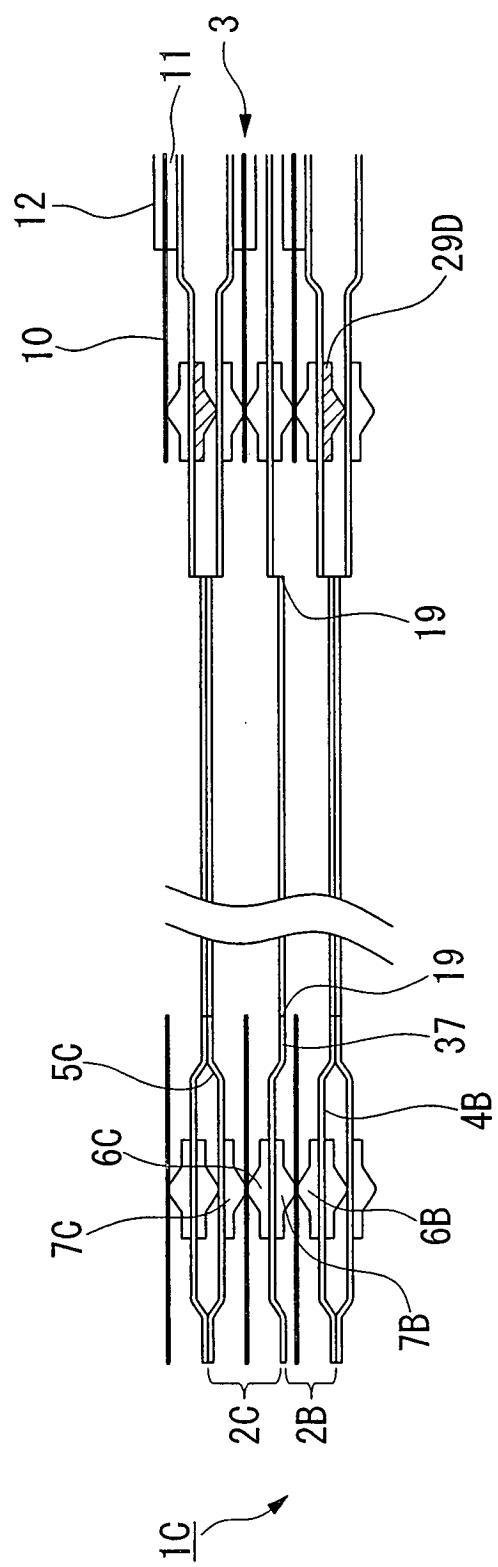


FIG. 21A

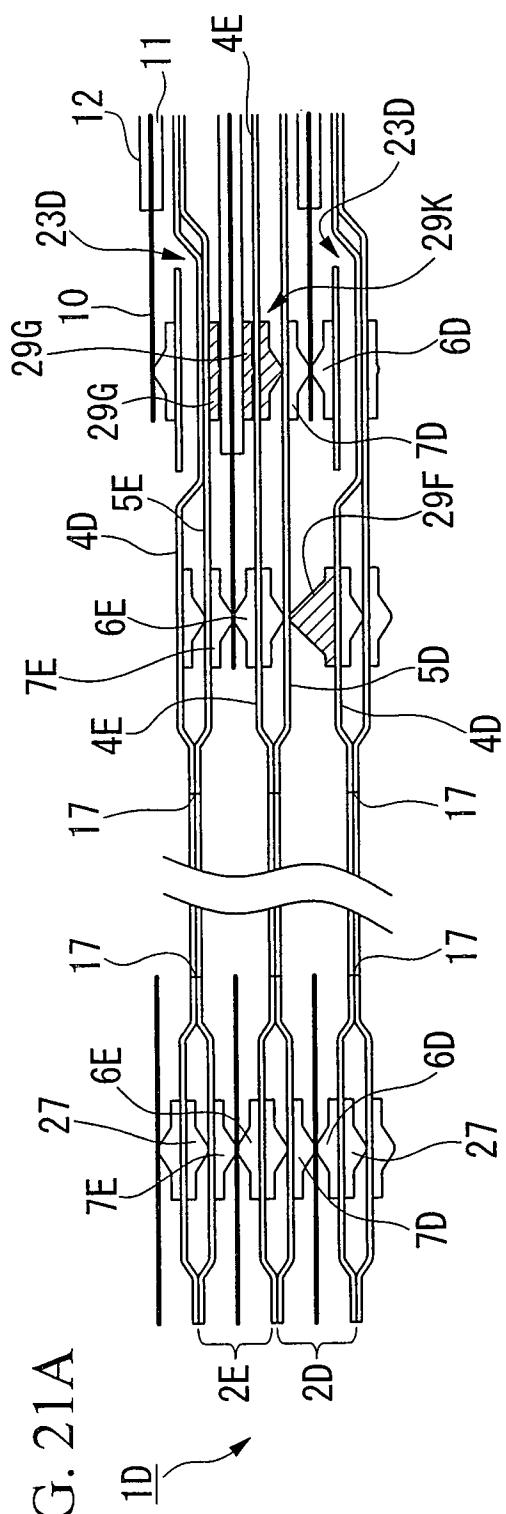


FIG. 21B

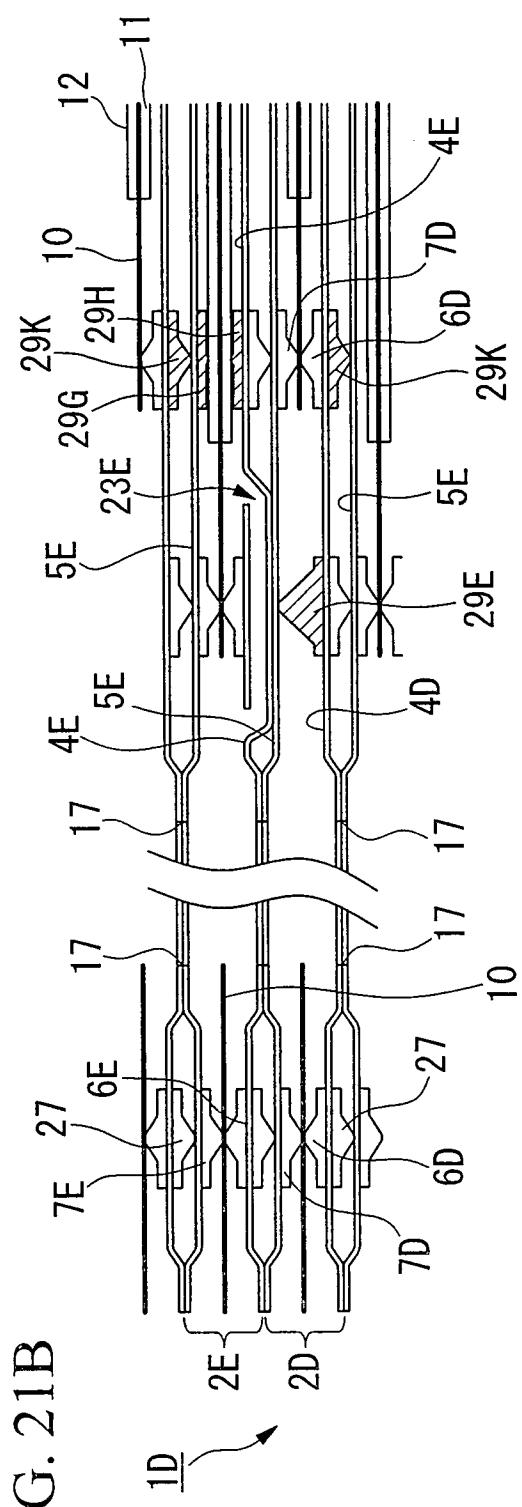


FIG. 22A

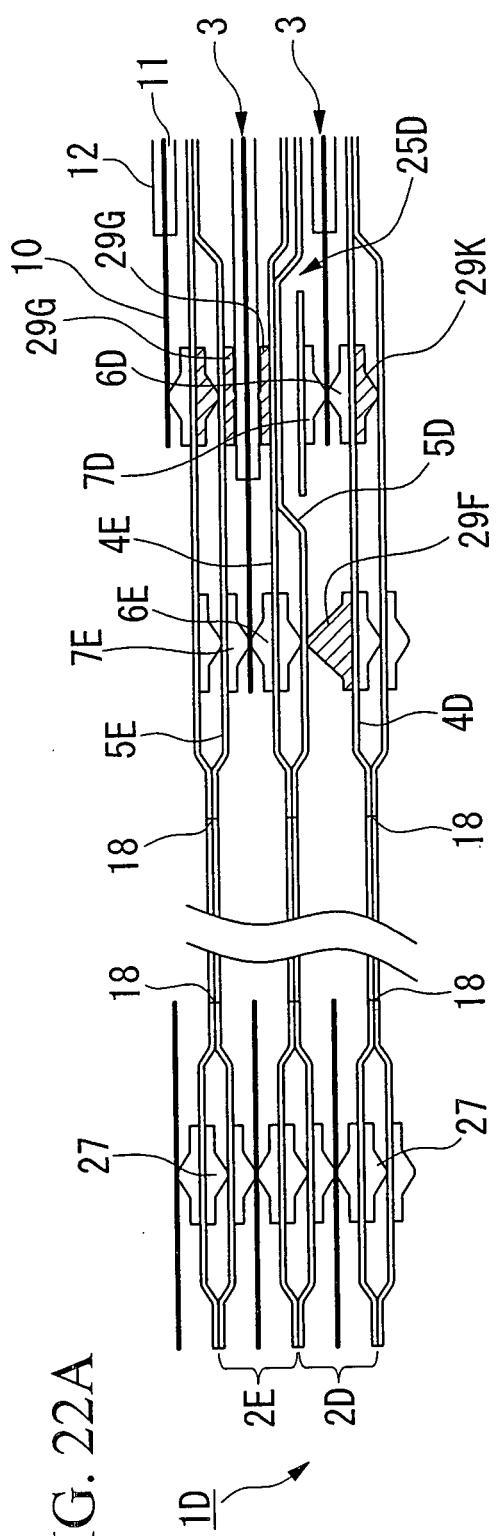


FIG. 22B

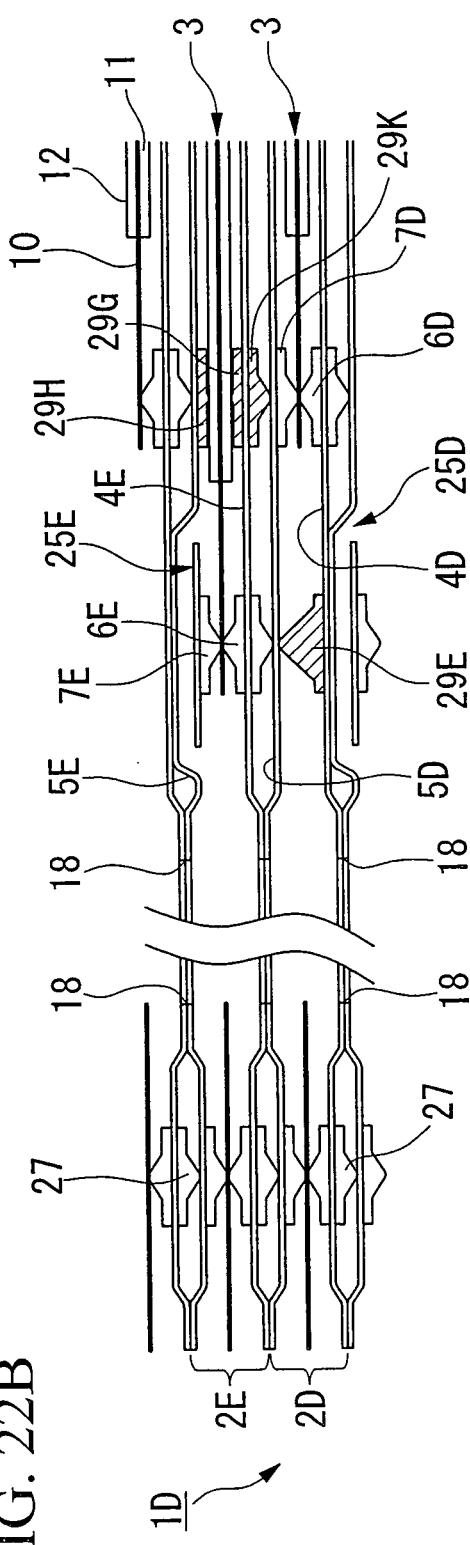


FIG. 23

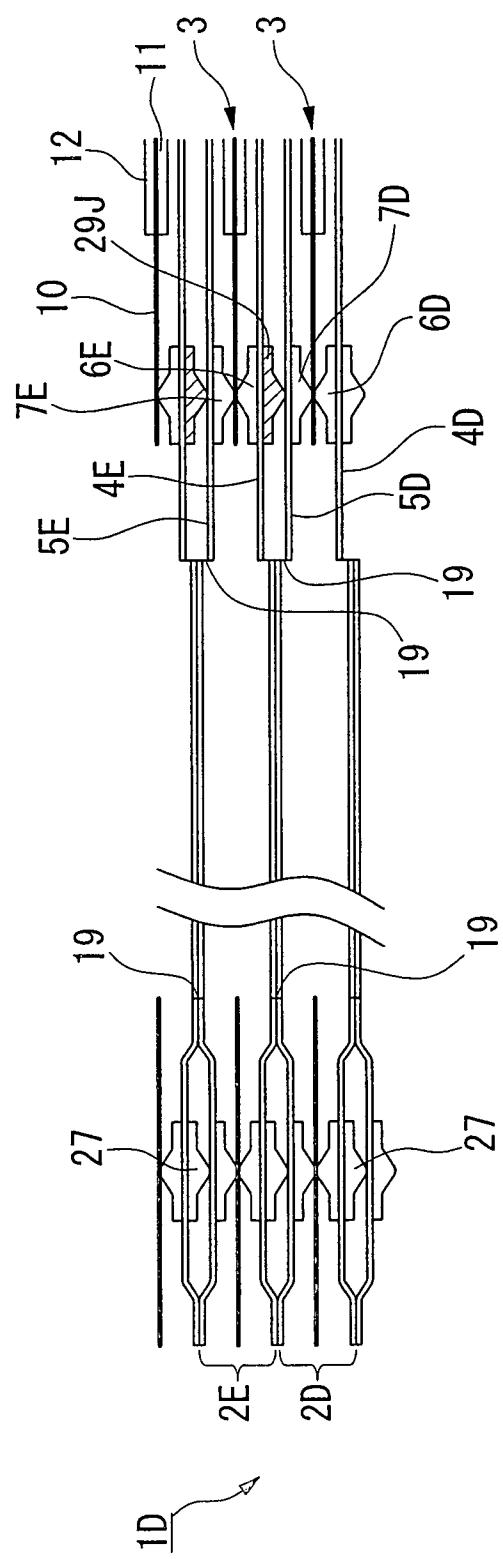


FIG. 24

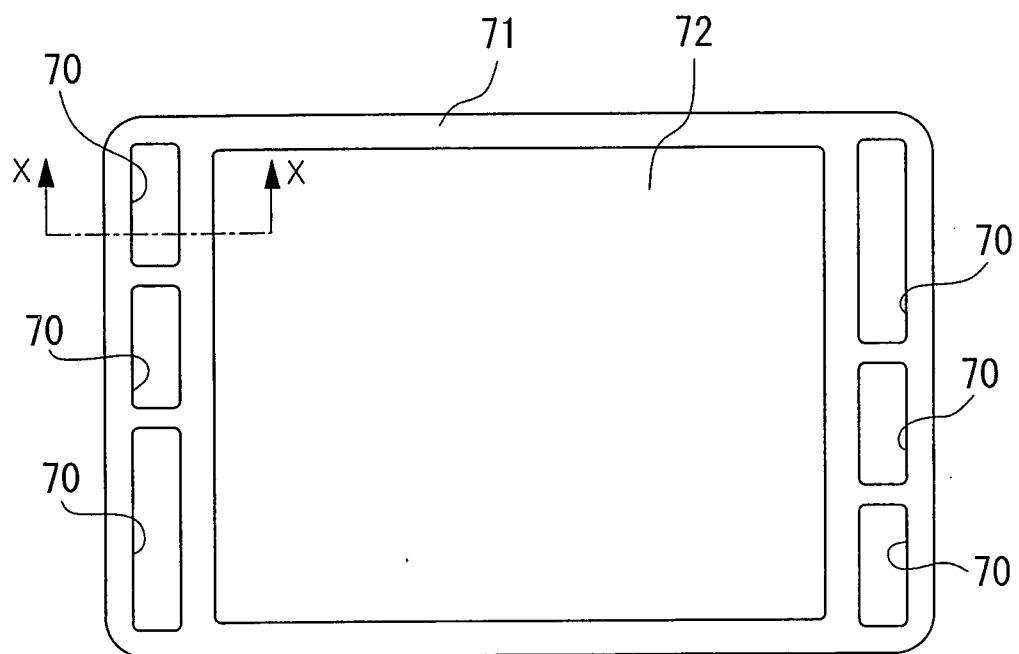


FIG. 25

