



## Beschreibung

Aus der DE-OS 31 14 192 ist ein Tropfenerzeuger für Mikrotropfen bekannt. In einer mit Tinte gefüllten Kammer eines Gehäuses sind eine Vielzahl von piezoelektrischen Biege-Wandlern angeordnet, die je einer durch eine Gehäusewand führenden Düse zugeordnet sind. Wird ein Wandler betätigt, so wird aus der betreffenden Düse ein Tintentröpfchen ausgestossen. Dieser Tropfenerzeuger ist einfach aufgebaut. Allerdings ist das Druckbild unbefriedigend, manchmal ungleichmässig und verwaschen. Aehnliche Tropfenerzeuger sind in der DE-OS 31 14 224 und in der DE-OS 31 14 259 beschrieben.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, den obigen Nachteil zu beseitigen. Diese Aufgabe wird durch die Merkmalskombination der Ansprüche gelöst.

Durch die Trennwände zwischen den einzelnen Biegewandlern wird ein Uebersprechen zwischen den benachbarten Wandlern vollständig vermieden. Die Trennwände verhindern zuverlässig, dass bei Betätigung des einen Wandlers zugleich Tinte aus einer benachbarten Düse austreten kann, denn die Druckwellen können sich nicht mehr bis zur benachbarten Düse ausbreiten. Ausserdem wird die viskose Kupplung zwischen benachbarten Wandlern vollständig vermieden. Die Trennwände bringen darüber hinaus eine erhebliche Steigerung des Wirkungsgrades. Weil die Tinte unter dem aktivierten Biegewandler nicht mehr seitlich ausweichen kann, wird bei gleicher Auslenkung ein erheblich höherer Druck an der Düse erzeugt. Daher kann einerseits eine wesentlich höhere und konstantere Tropfenfluggeschwindigkeit und andererseits ein niedrigerer Leistungsbedarf erreicht werden.

Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnungen erläutert. Darin zeigt:

- |                   |  |
|-------------------|--|
| Figur 1           | einen Längsschnitt durch einen Tropfenerzeuger,                          |
| Figuren 2a bis 2d | den Tropfenerzeuger nach Figur 1 in verschiedenen Betriebszuständen,     |
| Figur 3           | eine perspektivische Ansicht eines Teils des Tropfenerzeugers,           |
| Figur 4           | eine Draufsicht auf eine Düsenplatte, mit Trennwänden und Rahmen,        |
| Figur 5           | eine Draufsicht entsprechend Figur 4 mit eingesetzten Wandler-einheiten, |
| Figuren 6 bis 8   | drei Ausführungsformen des Wandlers, und                                 |
| Figuren 9 bis 11  | drei Ausführungsformen mit mehrlagigen Tropfenerzeugern.                 |

Der Tropfenerzeuger nach Figuren 1-5 hat ein Gehäuse 1 bestehend aus einer Düsenplatte 2, einem

Rahmen 3 und einer Abdeckplatte 4, die zusammen eine Kammer 5 bilden. Die Düsenplatte 2 hat benachbart einer Wand 6 des Rahmens 3 eine geradlinige Reihe regelmässig voneinander beabstandeter Düsen 7. Die Abdeckplatte 4 hat eine in die Kammer 5 mündende Eintrittsöffnung 8 zum Anschluss eines nicht dargestellten Tinten-Vorratsbehälters. Auf einem an der Düsenplatte 2 befestigten oder daran angeformten, gegenüber der Wand 6 angeordneten Sockel 9 ist eine piezoelektrische Wandlereinheit 12 befestigt und durch zusammenwirkende Positioniermittel positioniert, z.B. durch Stifte 10, die in Bohrungen des Sockels 9 eingesetzt sind und in Bohrungen der Einheit 12 eingreifen.

Die Einheit 12 besteht aus einer piezokeramischen Platte 13, die oben mit einer dünnen Metallfolie 14 und unten mit einer dickeren Metallfolie 15 kaschiert ist. Vom freien Ende 16 über den Düsen 7 bis zum Sockel 9 sind in diese Verbundplatte in regelmässigen Abständen Schlitzte 17 eingeschnitten, z.B. mit einer Diamantscheibe geschliffen, sodass das Element 12 eine kammartige Struktur mit einem Verbindungssteg 18 über dem Sockel 9 und Zinken 19 hat. Die Folie 14 ist auf dem Steg 18 in Verlängerung der Schlitzte 17 unterbrochen, sodass für jede Zinke 19 ein Folienstreifen gebildet ist. Die Folie 15 ist dagegen auf dem Steg 18 durchgehend und überragt die Platte 13 stirnseitig. Sie ist mit einer Anschlussleitung 20 für den Rückleiter verbunden. Jeder Streifen der Folie 14 ist mit je einer Anschlussleitung 21 für den Hinleiter verbunden. Wie aus Figuren 3 und 4 ersichtlich ist, sind auf der Düsenplatte 2 stirnseitig an eine Kammerwand 6, 25 angeschlossene Trennwände 26 befestigt, die je zwei Zinken 19 voneinander trennen und schmaler sind als die Schlitzte 17.

In Figuren 2a bis 2d ist die Betriebsweise des beschriebenen Tropfenerzeugers schematisch dargestellt. Figur 2a zeigt eine Zinke 19 in Ruhelage. In der Flüssigkeitskammer 5 herrscht Unterdruck, sodass sich in der Düse 7 ein konkaver Meniskus 28 bildet, dessen Kapillardruck mit dem Unterdruck im Gleichgewicht steht. Wird nun an den Anschluss 21 eine Spannung angelegt, versucht die Piezokeramikschiicht 13 der Zinke 19 sich unter dem Einfluss des elektrischen Feldes (Quereffekt) zu verkürzen. Dieser Verkürzung setzt die dickere Metallfolie 15 einen stärkeren Widerstand entgegen als die dünnere Metallfolie 14, sodass die Zinke 19 von der Düsenplatte 2 wegbiegt (Figur 2b). Die Verformungsgeschwindigkeit wird durch geeignete Wahl der Impulsform am Anschluss 21 so gewählt, dass sich der Flüssigkeitsmeniskus 28 in der Düse 7 nur sehr wenig zurückzieht. Beim Abfall des Impulses am Anschluss 21 und Abfluss der zuvor eingebrachten elektrischen Ladung schnell die Zinke 19 zurück in die Grundstellung (Figur 2c) und aus der Düse 7 wird ein Tropfen 29 ausgestossen. Figur 3d stellt den Zustand kurz nach dem Tropfenausstoss dar. Der Flüssigkeitsmeniskus 28 hat sich tiefer in die Düse 7 zurückgezogen. Flüssigkeit strömt durch die Eintrittsöffnung 8 nach, bis der Meniskus 28 wieder seine Gleichgewichtslage erreicht hat.

Weil diese Zinkenbewegung zwischen zwei Trennwänden erfolgt, können sich weder Druckimpulse auf benachbarte Düsen 7 fortpflanzen, noch können durch viskose Reibung benachbarte Zinken mitangeregt werden. Dadurch wird die Gefahr des Uebersprechens vermieden. Da die Flüssigkeit nicht seitlich ausweichen kann, wird ein wesentlich besserer Wirkungsgrad erreicht.

Vorzugsweise hat die Wandlereinheit 12 eine elektrisch isolierende Beschichtung. Dafür eignen sich beispielsweise

- Beschichtung mit flüssigen Reaktionsharzen durch Tauchen oder Aufsprühen mit anschliessendem Abschleudern der überschüssigen Menge und thermischer oder Strahlungshärtung,
- Beschichtung mit verdünnten Reaktionslacken durch Tauchen oder Aufsprühen mit anschliessendem Ablüften und Härten,
- Beschichtung mit pulverförmigen Thermoplasten durch Wirbelsintern, dabei Erwärmen des Piezokamms durch hochfrequente Wechselspannung.

Als Beschichtungsstoffe kommen z.B. ORMOCERe (organically modified ceramics), Epoxide, Acrylate, Polyurethane sowie thermoplastische Polymere zum Einsatz. Die Auswahl richtet sich nach der eingesetzten Arbeitsflüssigkeit, da Beständigkeit der Beschichtung gegenüber der Flüssigkeit gefordert ist. Die Flüssigkeit muss aber auch die beschichteten Oberflächen gut benetzen, damit eine einwandfreie Entlüftung der Kammer 5 des Tropfenerzeugers möglich ist.

Durch die nichtleitende Beschichtung wird erreicht, dass auch elektrisch leitende Tinten, z.B. Tinten auf Wasserbasis, welche bei Druckanwendungen in vielen Fällen erwünscht sind, verwendet werden können. Bei den Tropfenerzeugern gemäss dem eingangs genannten Stand der Technik konnten demgegenüber nur elektrisch nichtleitende Tinten verwendet werden. Dadurch war der Einsatzbereich dieser Geräte erheblich beschränkt. Ausserdem verteuerte diese Eigenschaft die Tinte unter Umständen erheblich.

In Figur 6 ist ein bimorphes Biege wandler-Element 12 dargestellt. Es besteht aus der Piezokeramikschi- 13, der relativ dicken, damit verklebten Metallfolie 15, die gleichzeitig die Elektrode für den Rückleiter bildet sowie der Elektrode 34, welche die dünnere Metallfolie 14 nach Figuren 1-5 ersetzt. Zum Erzeugen hoher Feldstärken sind hier allerdings wie bei der Ausführungsform nach Figuren 1-5 relativ hohe Spannungen erforderlich. Wegen der sehr dünnen Elektrode 34 sind jedoch die erforderlichen Spannungen geringer als bei der Ausführungsform nach Figuren 1-5.

In Figur 7 ist ein sogenannter SS-CMB (Single sided ceramic multilayer bender) dargestellt. Diese Wandler sind in "Actuator 94 Conference Proceedings",

Bremen 1994 durch J. Verkerk et al. ausführlicher beschrieben, auf welche verwiesen wird. Das Element 12 besteht hier aus einer aktiven Piezokeramikschi- 35, einer passiven Piezokeramikschi- 36 sowie mehreren Elektrodenschichten 37, welche die Schicht 35 in mehrere Lagen unterteilen und abwechselungsweise mit stirnseitigen Metallisierungen 38, 39 und damit mit den Anschlussleitungen 20, 21 verbunden sind. Die Lagen 40 der Schicht 35 sind abwechselnd entgegengesetzt polarisiert. Weil die Feldrichtung ebenfalls von Lage zu Lage abwechselt, wird beim Anlegen einer Spannung die Schicht 35 als Ganzes gegenüber der passiven Schicht 36 kürzer bzw. länger je nach Polarität der angelegten Spannung. Durch die Parallelschaltung vieler dünner Piezokeramik-Lagen (20-100 µm pro Lage) im SS-CMB genügen schon relativ niedrige Spannungen um hohe Feldstärken zu erreichen. Dadurch sinkt die erforderliche Impulsspannung für den Tropfenausstoss - abhängig von der Dicke und Anzahl der Lagen - auf etwa 20-40 V. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass Temperaturschwankungen nur vernachlässigbar geringe Verbiegungen der Zinken bewirken, da bis auf die sehr dünnen Elektrodenschichten (1-2 µm pro Schicht) nur ein einziges Material verwendet wird.

In Figur 8 ist ein symmetrisches Mehrlagen-Biege wandler-Element 12 dargestellt. Es entsteht durch Laminieren zweier Lagen 45, 46 piezoaktiven Materials mit gleicher Polaritätsrichtung. Die durch die stirnseitige Metallisierung 38 miteinander verbundenen äusseren Elektroden 47 sind für alle Zinken gemeinsam an den Rückleiter 20 angeschlossen. Die Mittelelektrode 48 wird vor dem Laminieren der zweiten piezoaktiven Schicht 45 in Verlängerung der Schlitze 17 durchtrennt. Beim Anlegen einer Spannung zwischen der Mitten- und Aussenelektrode wird sich jede Schicht quer zum elektrischen Feld gemäss dessen Richtung in ihrer Länge ändern, d.h. die eine Schicht verkürzt sich, die andere dehnt sich aus. Da die Schichten fest miteinander verbunden sind, verbiegt sich der Schichtaufbau. Auch mit diesem Aufbau kann die zum Auslenken erforderliche Spannung erheblich gesenkt werden, weil bei gleicher Zinkendicke und gleicher Spannung die Feldstärke verdoppelt wird und beide Schichten 45, 46 im ausbiegenden Sinne aktiv sind, während bei der Ausführungsform nach Figur 6 die Folie 15 nur passiv wirkt.

Für heute gebräuchliche Drucksysteme mit einem Druckraster von 300 Punkten pro Zoll (dpi = dots per inch) müssen die Düsen 7 und damit auch die Zinken 19 sehr eng angeordnet werden. Falls die Mindestgrösse der Wandler dies erlaubt, ist eine ein- bis zweireihige Anordnung anzustreben. Bei zweireihigem Aufbau (Figuren 4 und 5) für 300 dpi beträgt die Teilung der Zinken 19 einer Reihe 1/150" oder ca. 170 µm. Eine 100 µm breite Zinke mit einem umgebenden Spalt von 20 µm Breite erfordert also die Strukturierung von 30 µm dicken Trennwänden. Damit die einzelnen Zinken genügend Bewegungsenergie in die Tinte übertragen können, müssen sie ein Vielfaches dieser Breite hoch sein,

z.B. können sie ein Höhen-Zu-Breiten-Verhältnis (Aspektverhältnis) von 5:1 aufweisen. Infolgedessen müssen die Trennwände 26 mit noch wesentlich grösseren Aspektverhältnissen ausgeführt werden. Geeignete Techniken dafür stehen heute zur Verfügung, z.B. das LIGA-Verfahren oder anisotropes Ätzen von Silizium-Einkristallen. Diese Verfahren sind in W. Menz, P. Bley; Mikrosystemtechnik für Ingenieure, Weinheim 1993 beschrieben. Andere geeignete Verfahren für die Herstellung der Trennwände sind zum Beispiel das galvanische Abscheiden von Metallen auf die Düsenplatte 2, das Prägen oder Spritzgiessen, wobei in diesen letzten beiden Fällen die Formen mit dem LIGA-Verfahren hergestellt werden können. Insbesondere bei der Herstellung durch Spritzgiessen können die Trennwände 26 einstückig mit der Düsenplatte 2, dem Rahmen 3, dem Sockel 9 und gegebenenfalls der Zwischenwand 25 (Figur 4) geformt werden. Weitere geeignete Verfahren zur Herstellung der Trennwände 26 sind die photolithographische Strukturierung von Photoresist-Lacken oder -folien.

Zum Anschluss der Leitungen 21, 22 eignet sich z. B. das Tape Automated Bonding-Verfahren.

Die Ausführungsformen nach Figuren 9-11 zeigen Varianten, in welchen das Gehäuse 1 mehrere gestaffelt angeordnete Kammern 5 mit je einem Wandlerelement 12 gemäss Figuren 1-3 oder gemäss einer der Figuren 6-8 enthält. Die Achsen der Düsen 7 verlaufen zumindest am Austrittsende geneigt oder rechtwinklig zur Bewegungsrichtung der Zinkenenden 16. Die Düsen 7 sind gegen den Austrittsquerschnitt verengt. Die Düsen 7 der verschiedenen Reihen sind in Längsrichtung der Reihen etwas gegeneinander versetzt.

Bei der Ausführungsform nach Figur 9 sind drei identische Gehäuse-Elemente 55 entsprechend Figur 1 aber mit dickerer Düsenplatte 56 und eine zusätzliche Düsenplatte 56 übereinandergestapelt. Der Düsenkanal 57 ist rechtwinklig abgeknickt. Ein zusätzlicher Kanal 58 verbindet die Eintrittsöffnung 8 mit einem Verteilerkanal 59 in einer Abdeckplatte 60.

Bei der Ausführungsform nach Figur 10 verlaufen die Achsen der Düsen 7 unter 45° zur Bewegungsrichtung der Zinkenenden 16.

Bei der Ausführungsform nach Figur 11 sind vier Reihen von Düsen 7 in einer durchgehenden Düsenplatte 65 angeordnet und die Zinkenenden 16 sind unter 45° abgeschliffen, sodass ihre Stirnflächen 66 parallel zur Platte 65 verlaufen. Beim Auslenken der Zinken 19 haben daher die Stirnenden 66 eine Bewegungskomponente senkrecht zur Platte 65. Die Kammern 5 haben hier seitliche Anschlüsse, die über einer Verteilerleitung mit dem Vorratsbehälter verbunden werden können. Die Anschlüsse können aber auch an je einen separaten Behälter angeschlossen sein, wobei die Behälter Tinten unterschiedlicher Farben enthalten können, sodass sich der Tropfenerzeuger auch für den Mehrfarbendruck eignet. Diese Variante ist auch bei den Ausführungsformen nach Figuren 9 und 10 möglich, indem die Vertei-

lerplatte 60 weggelassen wird und die Kanäle 58 an separate Behälter angeschlossen werden.

Mit den Ausführungsformen nach Figuren 9-11 können auf engstem Raum sehr viele Düsen 7 untergebracht werden, sodass eine hervorragende Druckqualität ermöglicht wird.

## Patentansprüche

1. Tropfenerzeuger für Mikrotropfen, insbesondere für Ink-Jet-Printer, umfassend ein Gehäuse (1) mit einer Kammer (5), einer Vielzahl von piezoelektrischen Biegewandlern (19) in der Kammer (5), deren erstes Ende (18) am Gehäuse (1) befestigt ist, sowie je einer Düse (7) in einer Kammerwand (2) unter dem freien zweiten Ende (16) der Wandler (19), dadurch gekennzeichnet, dass die Kammer (5) mindestens benachbart dem zweiten Ende (16) der Wandler (19) durch Trennwände (26) zwischen diesen Wandlern (19) unterteilt ist.
2. Tropfenerzeuger nach Anspruch 1, wobei die ersten Enden (18) der Wandler (19) miteinander verbunden sind, sodass die Wandler (19) eine kammartige Wandlereinheit (12) bilden.
3. Tropfenerzeuger nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Verhältnis der Höhe zur Dicke der Trennwände (26) 10-100 beträgt.
4. Tropfenerzeuger nach einem der Ansprüche 1-3, wobei die Trennwände (26) durch galvanisches Abscheiden von Metall oder durch anisotropes Ätzen von monokristallinem Silizium oder durch Spritzgiessen oder durch Prägen oder durch fotografische Strukturierung von Photoresist-Lacken oder -Folien hergestellt sind.
5. Tropfenerzeuger nach einem der Ansprüche 1-4, wobei die Trennwände (26) einstückig mit einer Düsenplatte (2) verbunden sind, durch welche sich die Düsen (7) erstrecken.
6. Tropfenerzeuger nach einem der Ansprüche 1-5, wobei die Stirnflächen der zweiten Enden (16) der Wandler (19) von einer Kammerwand (6) einen Abstand haben, der höchstens das Fünffache des Zwischenraums zwischen Wandlern (19) und Trennwänden (26) beträgt.
7. Tropfenerzeuger nach einem der Ansprüche 1-6, wobei die Düsen (7) gegen ihren Austrittsquerschnitt verengt sind.
8. Tropfenerzeuger nach einem der Ansprüche 1-7, wobei die Oberflächen der Wandler (19) mit einem elektrisch nichtleitenden Ueberzug versehen sind,

der vorzugsweise aus ORMOCER-Material oder aus Epoxidharz oder aus einem Acrylat-Polymer oder aus Polyurethan besteht.

9. Tropfenerzeuger nach einem der Ansprüche 1-8, wobei die Wandler (19) und das Gehäuse (1) zusammenwirkende Positionierelemente (10) aufweisen. 5
10. Tropfenerzeuger nach einem der Ansprüche 1-9, wobei die Wandler (19) als Mehrlagen-Piezokeramik-Wandler mit einer zusätzlichen passiven Piezokeramiklage oder als symmetrische Mehrlagen-Biege wandler ausgebildet sind. 10
11. Tropfenerzeuger nach einem der Ansprüche 1-10, wobei die Wandler (19) in ihrer Grundstellung im Bereich ihrer zweiten Enden (16) Abstand von der Düsenplatte (2) haben. 15
12. Tropfenerzeuger nach einem der Ansprüche 1-11, wobei im Gehäuse (1) mehrere gestaffelt angeordnete Kammern (5) gebildet sind, die je eine Reihe von Wandlern (19), Trennwänden (26) und Düsen (7) enthalten, wobei die Achsen der Düsen (7) zumindest am Austrittsquerschnitt geneigt oder rechtwinklig zur Auslenkrichtung der zweiten Wandlerenden (16) verlaufen. 20
13. Tropfenerzeuger nach einem der Ansprüche 1-12, wobei die Stirnflächen der zweiten Enden (16) der Wandler (19) geneigt zur Längsrichtung der Wandler (19) abgeschnitten sind. 25

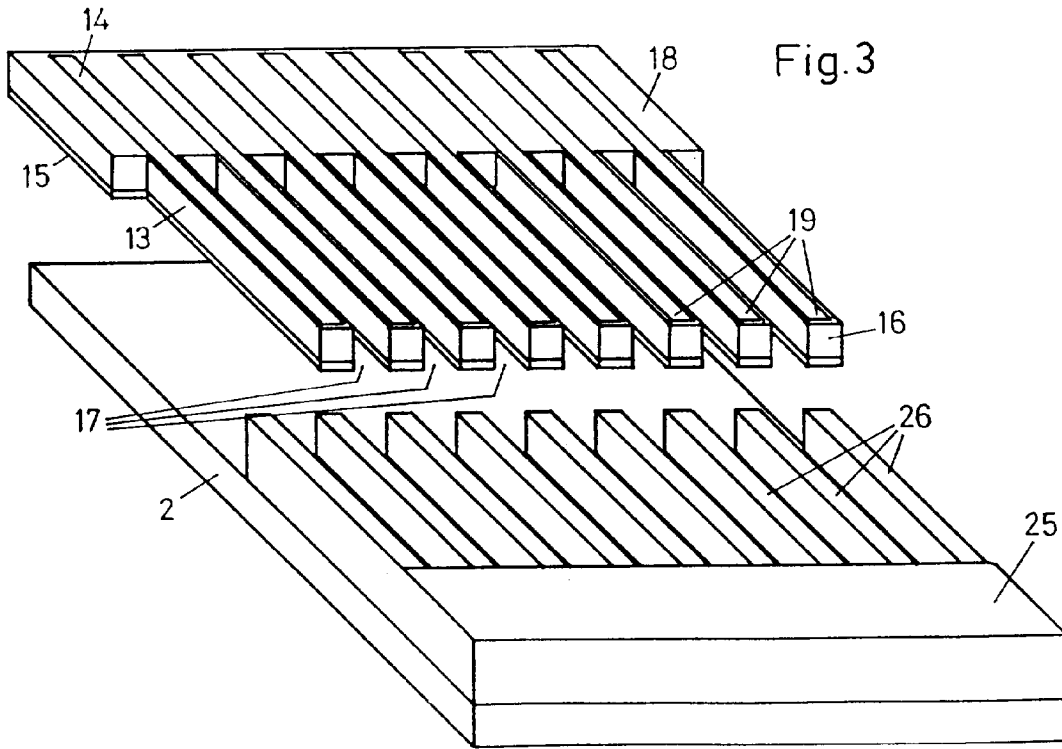
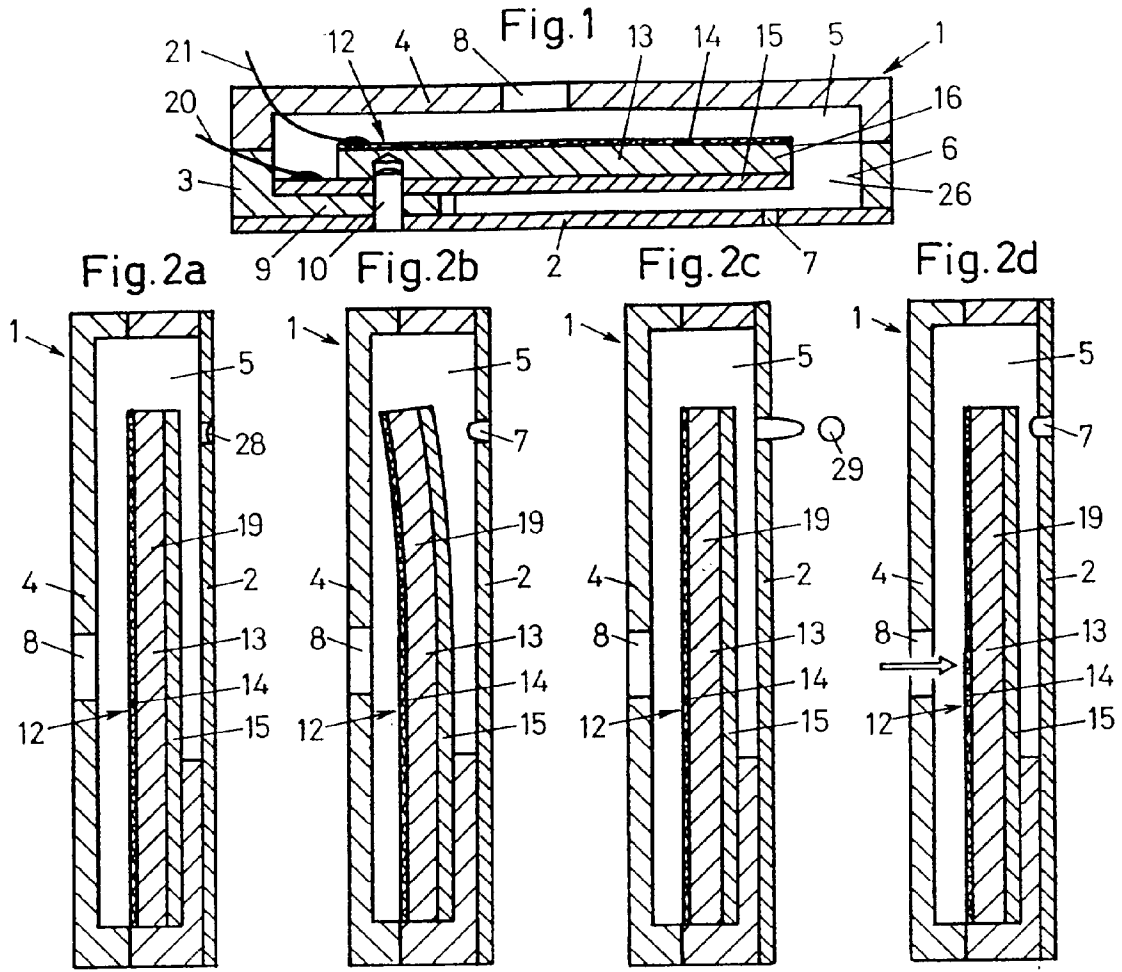
35

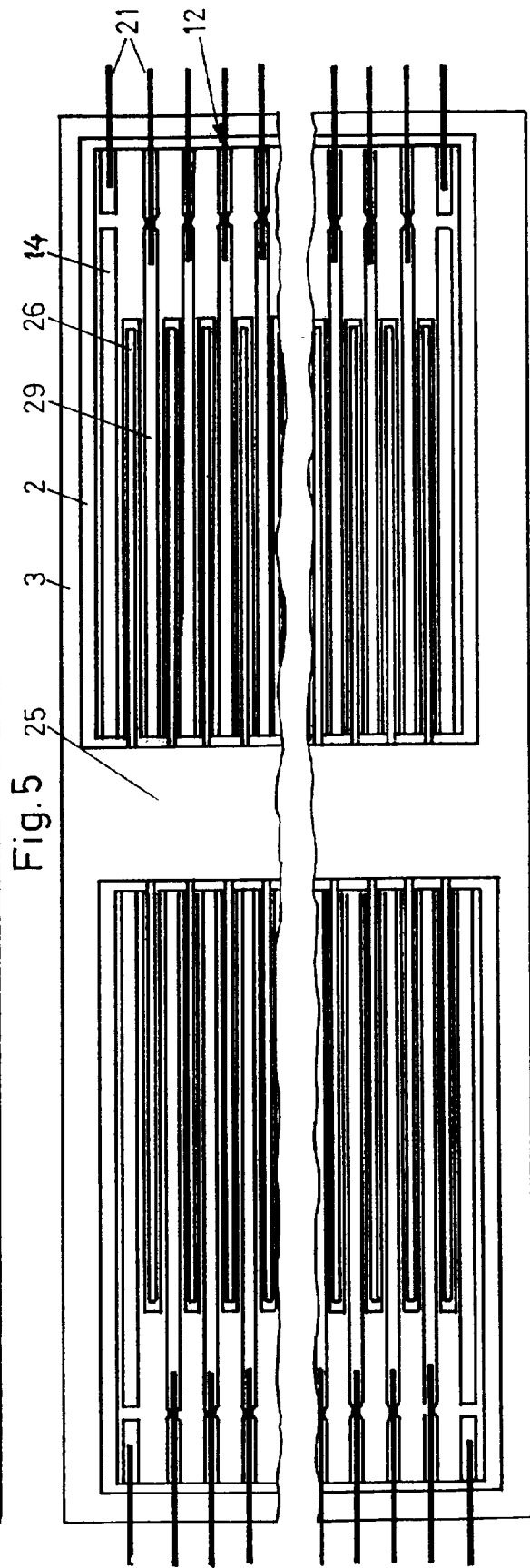
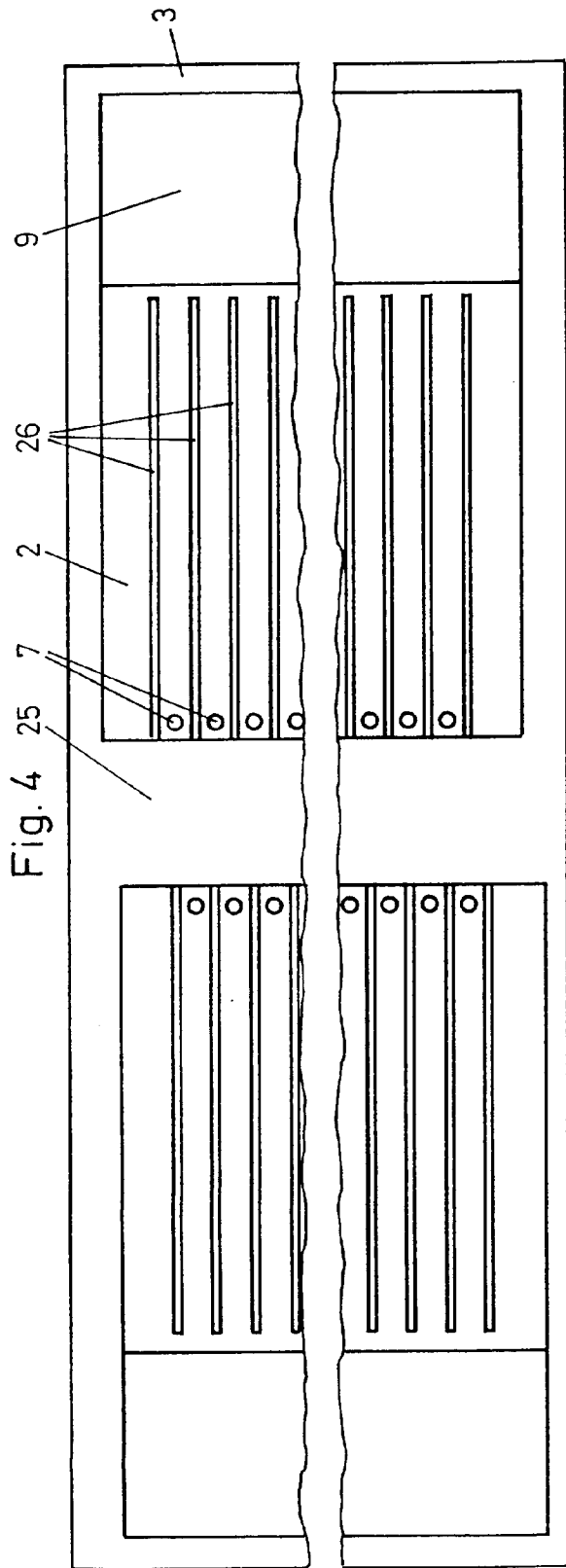
40

45

50

55





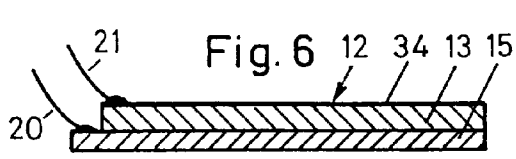


Fig. 6

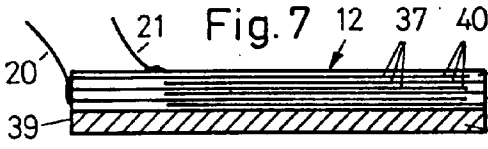


Fig. 7

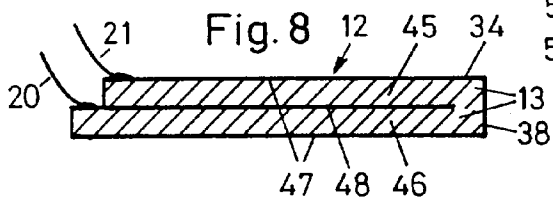


Fig. 8

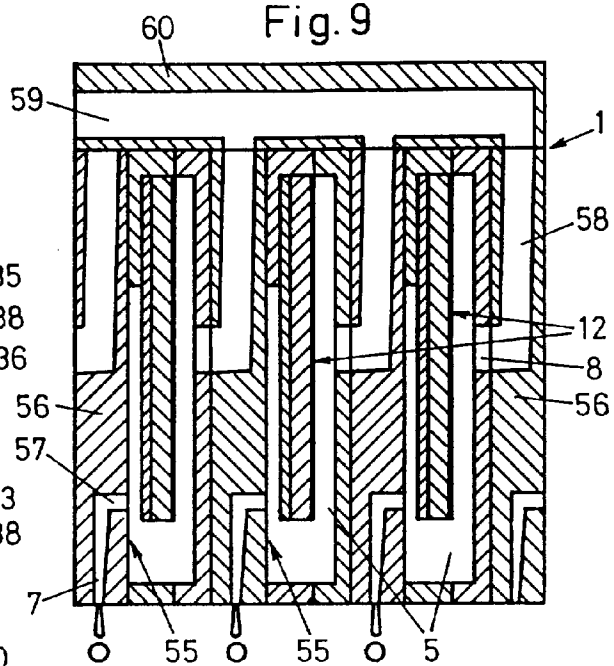


Fig. 9

Fig. 10

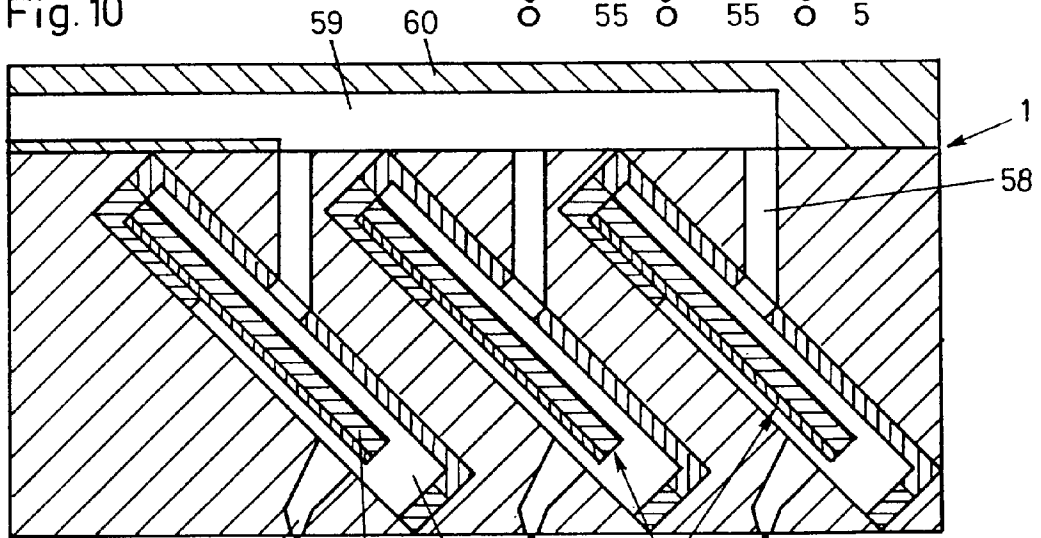


Fig. 11

