

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7031293号

(P7031293)

(45)発行日 令和4年3月8日(2022.3.8)

(24)登録日 令和4年2月28日(2022.2.28)

(51)国際特許分類

F I

B 4 1 J 2/14 (2006.01)

B 4 1 J 2/14 6 0 7

B 4 1 J 2/14 3 0 5

請求項の数 8 (全22頁)

(21)出願番号	特願2017-247354(P2017-247354)	(73)特許権者	000002369
(22)出願日	平成29年12月25日(2017.12.25)		セイコーエプソン株式会社
(65)公開番号	特開2019-111738(P2019-111738 A)	(74)代理人	100179475
(43)公開日	令和1年7月11日(2019.7.11)		弁理士 仲井 智至
審査請求日	令和2年11月19日(2020.11.19)	(74)代理人	100216253
			弁理士 松岡 宏紀
		(74)代理人	100225901
			弁理士 今村 真之
		(72)発明者	笠原 崇史
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
		(72)発明者	中山 雅夫
			長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 圧電デバイス、液体吐出ヘッド、及び液体吐出装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

空間が形成された基板と、
 前記空間に対応して、前記基板上に形成された弾性層と、
 前記空間に対応して、前記弾性層上に形成された圧電素子と、
 を備え、
 前記弾性層は、前記空間側に、平面視で前記空間と重なり前記空間よりも広い底部と、前記底部を囲む壁部とを有する凹部が設けられ、
 前記壁部は、前記底部から前記空間に向かう方向に広くなるように傾斜した曲面を有し、
 前記曲面は、接着剤に覆われておらず、
 前記曲面の曲率半径は、60nm～1000nmであることを特徴とする圧電デバイス。

【請求項2】

前記基板は、複数の前記空間が並設方向に並んで形成され、
 前記底部の前記並設方向における幅は、前記空間の前記並設方向における幅よりも大きいことを特徴とする請求項1に記載の圧電デバイス。

【請求項3】

前記基板は、複数の前記空間が並設方向に並んで形成され、
 前記壁部は、前記凹部内の前記並設方向に沿った両側に設けられることを特徴とする請求項1または2に記載の圧電デバイス。

【請求項4】

前記壁部は、前記基板の前記弾性層側の面に接続することを特徴とする請求項 1 ~ 3 のいずれか 1 項に記載の圧電デバイス。

【請求項 5】

前記基板は、シリコンにより構成され、

前記弾性層は、酸化シリコンにより構成されることを特徴とする請求項 1 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の圧電デバイス。

【請求項 6】

前記弾性層は、前記基板の表面を熱酸化することで形成されることを特徴とする請求項 5 に記載の圧電デバイス。

【請求項 7】

請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の圧電デバイスを備え、前記圧電素子の駆動により前記空間内に充填された液体を吐出することを特徴とする液体吐出ヘッド。

【請求項 8】

請求項 7 に記載の液体吐出ヘッドを備えることを特徴とする液体吐出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電デバイス、当該圧電デバイスを備えた液体吐出ヘッド、及び当該液体吐出ヘッドを備えた液体吐出装置に関する。

【背景技術】

【0002】

液体吐出ヘッドの代表的な例としては、ノズルからインク滴を吐出するインクジェット式記録ヘッドが挙げられる。インクジェット式記録ヘッドは、インク滴を吐出するノズルと連通する圧力室の一部を振動板で構成し、この振動板を圧電素子により変形させて圧力室のインクを加圧してノズルからインク滴を吐出させる（例えば、特許文献 1）。

特許文献 1 に記載のインクジェット式記録ヘッド（液体吐出ヘッド）は、圧電素子と、圧力発生室（圧力室）と、圧力室の一部を構成する振動板とを備え、振動板の圧力室側に凹部が形成されている。すなわち、振動板として機能する凹部を設け、圧力発生時に振動板で生じる衝撃を振動板構造全体で緩和・解消することで、液体吐出ヘッドの耐久性を向上させている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開 2004 - 209874 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

近年、液体吐出ヘッドを微細化及び高密度化するという、液体吐出ヘッドの高性能化の要求が高まっている。液体吐出ヘッドを微細化及び高密度化すると、圧力室内の体積が小さくなり、所定の吐出量を得るために振動板を大きく変位させる必要がある。ところが、振動板の変位量が大きくなると、振動板が劣化しやすくなり、単に振動板に凹部を設けるだけでは、長時間にわたる駆動によって振動板（液体吐出ヘッド）が劣化しやすくなるという課題があった。

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明は、上述の課題の少なくとも一部を解決するためになされたものであり、以下の形態または適用例として実現することが可能である。

【0006】

[適用例 1] 本適用例に係る圧電デバイスは、空間が形成された基板と、前記空間に対応して、前記基板上に形成された弾性層と、前記空間に対応して、前記弾性層上に形成され

10

20

30

40

50

た圧電素子と、を備え、前記弾性層は、前記空間側に、平面視で前記空間と重なり前記空間よりも広い底部と、前記底部を囲む壁部とを有する凹部が設けられ、前記壁部は、前記底部から前記空間に向かう方向に広くなるように傾斜した曲面を有し、前記曲面の曲率半径は、 $60\text{ nm} \sim 1000\text{ nm}$ であることを特徴とする。

【0007】

弾性層は、基板の空間を覆い、平面視で空間と重なる部分と、平面視で空間と重なる部分の周縁とに凹部が設けられている。さらに、凹部は、平面視で空間と重なる部分（底部）の周縁（壁部）に、曲率半径が $60\text{ nm} \sim 1000\text{ nm}$ である曲面を有する。

弾性層は、平面視で空間と重なる部分と、平面視で空間と重なる部分の周縁とで、変位可能であり、圧電デバイスを駆動することによって、弾性層が振動（変位）する。この場合、曲率半径が $60\text{ nm} \sim 1000\text{ nm}$ である曲面（壁部）を支点として、弾性層が振動し、弾性層を振動させる場合に生じる応力が、曲面に集中する。すなわち、弾性層を振動させる場合に生じる応力が集中する部分に、曲率半径が $60\text{ nm} \sim 1000\text{ nm}$ である曲面が設けられている。

すると、弾性層を振動させる場合に生じる応力が集中する場所は、曲面に広がって分布するようになり、応力が特定箇所に集中する場合と比べて、応力集中の悪影響（例えば、弾性層の疲労破壊）が生じにくくなり、長時間にわたる駆動によって弾性層が劣化しにくくなり、弾性層の耐久性を高めることができる。従って、弾性層の耐久性が高められ、高信頼性の圧電デバイスを実現することができる。

【0008】

[適用例2] 上記適用例に記載の圧電デバイスでは、前記曲面の一部は、樹脂で覆われていることが好ましい。

【0009】

弾性層を振動させる場合に生じる応力が集中する部分（曲面）は、樹脂で覆われ、樹脂によって補強されるので、応力が集中する部分が樹脂で覆われていない場合と比べて、応力集中の悪影響（例えば、弾性層の疲労破壊）が生じにくくなり、弾性層の耐久性を高めることができる。

【0010】

[適用例3] 上記適用例に記載の圧電デバイスでは、前記基板は、複数の前記空間が並んで形成され、1インチ当たりの前記空間の数は、300以上600以下であることが好ましい。

【0011】

1インチ当たりの空間の数が300以上600以下と、高密度化された圧電デバイスであっても、長時間にわたる駆動によって弾性層が劣化しにくくなり、弾性層の耐久性を高めることができる。

【0012】

[適用例4] 本適用例に係る液体吐出ヘッドは、上記適用例に記載の圧電デバイスを備え、前記圧電素子の駆動により前記空間内に充填された液体を吐出することを特徴とする。

【0013】

上記適用例に記載の圧電デバイスは、弾性層の耐久性が高められ、高信頼性を有する。従って、上記適用例に記載の圧電デバイスを備える液体吐出ヘッドも高信頼性を有する。

【0014】

[適用例5] 本適用例に係る液体吐出装置は、上記適用例に記載の液体吐出ヘッドを備えることを特徴とする。

【0015】

上記適用例に記載の液体吐出ヘッドは、弾性層の耐久性が高められ、高信頼性を有する。従って、上記適用例に記載の液体吐出ヘッドを備える液体吐出装置も高信頼性を有する。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】実施形態1に係るプリンターの内部構成を説明する斜視図。

10

20

30

40

50

【図 2】図 1 の J - J に沿った断面図。

【図 3】図 1 の K - K に沿った断面図。

【図 4】図 3 において破線で囲まれた領域 L の拡大図。

【図 5】圧電デバイスの状態を示す概略図。

【図 6】圧電デバイスの状態を示す概略図。

【図 7】圧電デバイスの状態を示す概略図。

【図 8】圧電デバイスの状態を示す概略図。

【図 9】圧電デバイスの状態を示す概略図。

【図 10】同一量のインク滴を吐出した際の、圧電デバイスの寸法と振動板の相対変位量との関係を示す表。

【図 11】圧力室にインクが充填された状態で圧電素子を駆動した場合の振動板の状態を示す模式図。

【図 12A】吐出安定時に圧電素子を駆動させた場合に、振動板に加わる応力の状態を示す模式図。

【図 12B】吐出安定時に圧電素子を駆動させた場合に、振動板に加わる応力の状態を示す模式図。

【図 12C】吐出安定時に圧電素子を駆動させた場合に、振動板に加わる応力の状態を示す模式図。

【図 12D】吐出安定時に圧電素子を駆動させた場合に、振動板に加わる応力の状態を示す模式図。

【図 13】凹部の曲面の曲率半径と、振動板の端部に加わる相対応力値との関係を示す図。

【図 14】圧電デバイスの条件と振動板の接合強度との関係を示す表。

【図 15】実施形態 2 に係る圧電デバイスにおいて、圧力室形成基板と連通基板とを接合をする工程の概略図。

【図 16】実施形態 2 に係る圧電デバイスにおいて、圧力室形成基板と連通基板とを接合をする工程の概略図。

【図 17】実施形態に係る圧電デバイスの振動板に形成された凹部の状態を示す概略図。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、図面を参照して、本発明の実施形態について説明する。かかる実施形態は、本発明の一態様を示すものであり、この発明を限定するものではなく、本発明の技術的思想の範囲内で任意に変更可能である。また、以下の各図においては、各層や各部位を図面上で認識可能な程度の大きさとするため、各層や各部位の縮尺を実際とは異ならせしめてある。

【0018】

(実施形態 1)

図 1 は、実施形態 1 に係るプリンターの内部構成を示す斜視図である。

最初に、図 1 を参照し、本実施形態に係るプリンター 1 の概要について説明する。

図 1 に示すように、本実施形態に係るプリンター 1 は、「液体吐出装置」の一例であり、「液体吐出ヘッド」の一例である記録ヘッド 2 と液体供給源としてのインクカートリッジ 3 とが着脱可能に取り付けられるキャリッジ 4 と、キャリッジ 4 を記録用紙 6 の紙幅方向、即ち、主走査方向に往復移動させるキャリッジ移動機構 7 と、主走査方向に直交する副走査方向に記録用紙 6 を搬送する紙送り機構 8 とを備えている。キャリッジ 4 は、キャリッジ移動機構 7 によって主走査方向に移動するように構成されている。プリンター 1 は、記録用紙 6 を副走査方向に順次搬送しつつ、キャリッジ 4 を主走査方向に往復移動させながら記録用紙 6 上に文字や画像等を記録する。

なお、インクカートリッジ 3 がキャリッジ 4 に取付けられる構成でなく、インクカートリッジ 3 がプリンター 1 の本体側に配置され、インク供給チューブを通じて記録ヘッド 2 側にインクが供給される構成を採用することもできる。

【0019】

図 2 は、図 1 の J - J に沿った断面図であり、記録ヘッド 2 の内部構成を示す断面図であ

10

20

30

40

50

る。図 3 は、図 1 の K - K に沿った断面図であり、圧電デバイス 13 のノズル列方向における要部断面図である。図 4 は、図 3 において破線で囲まれた領域 L の拡大図である。

なお、図 1 の J - J に沿った方向は主走査方向であり、図 2 は、主走査方向に沿った記録ヘッド 2 の断面図である。図 1 の K - K に沿った方向は副走査方向であり、図 3 は、副走査方向に沿った記録ヘッド 2 の断面図である。

次に、図 2 ~ 図 4 を参照し、記録ヘッド 2 の概要について説明する。

【 0 0 2 0 】

図 2 ~ 図 4 に示すように、本実施形態における記録ヘッド 2 は、圧電デバイス 13 とケース 20 とで構成されている。記録ヘッド 2 (圧電デバイス 13) は、圧電素子 18 の駆動により圧力室 26 (圧力室空部 32) 内に充填されたインクを吐出する。

10

圧電デバイス 13 は、ケース 20 の底面側 (下面) に接合されている。

圧電デバイス 13 は、複数の基板、具体的には、ノズルプレート 14 と、連通基板 15 と、「基板」の一例である圧力室形成基板 16 とが、この順で積層されて互いに接着剤 21 により接合されてユニット化された構成を有している。圧力室形成基板 16 の連通基板 15 側と反対側の面には、「弾性層」の一例である振動板 17 及び圧電素子 18 (アクチュエーターの一種) が積層されている。さらに、圧電デバイス 13 では、圧電素子 18 を保護する保護基板 19 が振動板 17 の上面に接合されている。

換言すれば、振動板 17 は、圧力室 26 (圧力室空部 32) に対応して、圧力室形成基板 16 上に形成されている。圧電素子 18 は、圧力室 26 (圧力室空部 32) に対応して、振動板 17 上に形成されている。

20

【 0 0 2 1 】

ケース 20 は、底面側に圧電デバイス 13 が固定される合成樹脂製の箱体状部材である。ケース 20 の下面側には、当該下面からケース 20 の高さ方向の途中まで直方体状に窪んだ収容空部 22 が形成されており、圧電デバイス 13 が下面に接合されると、圧電デバイス 13 における圧力室形成基板 16、振動板 17、圧電素子 18、及び保護基板 19 が、収容空部 22 内に収容される。また、ケース 20 には、インク導入路 23 が形成されている。上記インクカートリッジ 3 側からのインクは、インク導入路 23 を通じて積層構造体の共通液室 24 に導入される。

【 0 0 2 2 】

圧力室形成基板 16 は、シリコン単結晶基板 (以下、単にシリコン基板とも言う) から作製されている。圧力室形成基板 16 には、圧力室 26 を区画する圧力室空部 32 (本願における空間に相当) が、ノズルプレート 14 の各ノズル 27 に対応して異方性エッチングによって複数形成されている。すなわち、圧力室形成基板 16 には、「空間」の一例である圧力室空部 32 が形成されている。圧力室形成基板 16 は、上下の面が (1 1 0) 面であるシリコン基板より作製されており、圧力室空部 32 は (1 1 1) 面を側面 (内壁) とする貫通穴である。圧力室形成基板 16 における圧力室空部 32 の一方 (上面側) の開口部は、振動板 17 によって封止されている。また、圧力室形成基板 16 における振動板 17 とは反対側の面には、連通基板 15 が接合され、連通基板 15 によって圧力室空部 32 の他方 (下面側) の開口部が封止されている。これにより、圧力室 26 が区画形成される。ここで、振動板 17 において圧力室 26 の上部開口を封止して当該圧力室 26 の一面を区画する部分は、圧電素子 18 の駆動により変位する可動領域である。

30

なお、圧力室形成基板 16 と振動板 17 とが一体である構成を採用することもできる。すなわち、圧力室形成基板 16 の下面側からエッチング処理が施されて、上面側に板厚の薄い薄肉部分を残して圧力室空部 32 が形成され、この薄肉部分が可動領域として機能する構成を採用することもできる。

40

【 0 0 2 3 】

圧力室 26 は、ノズル 27 の並設方向に直交する方向に長尺な空部である。この圧力室 26 の長手方向の一端部は、連通基板 15 のノズル連通口 28 を介してノズル 27 と連通される。また、圧力室 26 の長手方向の他端部は、連通基板 15 の個別連通口 29 を介して共通液室 24 と連通される。そして、圧力室 26 は、ノズル 27 毎に対応してノズル列方

50

向に沿って隔壁 25 (図 3 参照) により隔てられて複数並設されている。すなわち、圧力室 26 (圧力室空部 32) は、ノズル 27 と 1 : 1 に対応するように複数形成されている。

【0024】

連通基板 15 は、圧力室形成基板 16 と同様にシリコン基板から作製された板材である。連通基板 15 には、圧力室形成基板 16 の複数の圧力室 26 に共通に設けられる共通液室 24 (リザーバーあるいはマニホールドとも呼ばれる) となる空部が、異方性エッチングによって形成されている。共通液室 24 は、各圧力室 26 の並設方向に沿って長尺な空部である。共通液室 24 は、連通基板 15 の板厚方向を貫通した第 1 液室 24a と、連通基板 15 の下面側から上面側に向けて当該連通基板 15 の板厚方向の途中まで上面側に薄肉部を残した状態で形成された第 2 液室 24b と、から構成される。第 2 液室 24b の一端部 (ノズル 27 から遠い側の端部) は、第 1 液室 24a と連通する一方、第 2 液室 24b の他端部 (ノズル 27 に近い側の端部) は、圧力室 26 の下方に対応する位置に形成されている。第 2 液室 24b の他端部、すなわち、第 1 液室 24a 側とは反対側の縁部には、薄肉部を貫通する個別連通口 29 が、圧力室形成基板 16 の各圧力室 26 に対応して複数形成されている。個別連通口 29 の下端は、第 2 液室 24b と連通し、個別連通口 29 の上端は、圧力室形成基板 16 の圧力室 26 と連通する。

10

【0025】

ノズルプレート 14 は、シリコン基板から作製され、複数のノズル 27 が列状に形成されている。圧電デバイス 13 には、共通液室 24 から個別連通口 29、圧力室 26、及びノズル連通口 28 を通ってノズル 27 に至るまでのインク流路が形成されている。

20

【0026】

圧力室形成基板 16 の上面に形成された振動板 17 は、例えば酸化シリコン (SiO_2) からなる弾性膜 30 と、酸化ジルコニウム (ZrO_2) からなる絶縁膜 31 と、から構成されている。振動板 17 における弾性膜 30 には、圧力室 26 (圧力室空部 32) 側に、平面視で圧力室 26 (圧力室空部 32) と重なり圧力室 26 (圧力室空部 32) よりも広い底部 11 と、底部 11 を囲む壁部 12 とを有する凹部 38 が設けられている。さらに、壁部 12 は、底部 11 から圧力室 26 (圧力室空部 32) に向かう方向に広くなるように傾斜した曲面 39 を有している。

換言すれば、振動板 17 は、圧力室空部 32 側に、平面視で圧力室空部 32 と重なり圧力室空部 32 よりも広い底部 11 と、底部 11 を囲む壁部 12 とを有する凹部 38 が設けられ、壁部 12 は、底部 11 から空間 (圧力室空部 32) に向かう方向に広くなるように傾斜した曲面 39 を有する。このため、凹部 38 の副走査方向の寸法 L1 (図 9 参照 (以降、内寸 L1 と称す)) は、圧力室 26 の副走査方向の寸法 L2 (図 9 参照 (以降、内寸 L2 と称す)) よりも長い。

30

【0027】

振動板 17 における圧力室 26 の上部開口に対応する位置、すなわち振動板 17 の可動領域上には、圧電素子 18 が形成されている。圧電素子 18 は、振動板 17 側から順に下電極 33、圧電体 34 及び上電極 35 が順次積層されてなる。下電極 33 は、圧力室 26 毎にパターンニングされており、圧電素子 18 の個別電極として機能する。また、上電極 35 は、各圧力室 26 の並設方向に沿って一連に形成されており、複数の圧電素子 18 の共通電極として機能する。圧電素子 18 において、上電極 35 及び下電極 33 によって圧電体 34 が挟まれた領域が、両電極への電圧の印加により圧電歪みが生じる圧電能動部である。以下において、圧電素子 18 はこの圧電能動部を意味する。そして、印加電圧の変化に応じて圧電素子 18 が撓み変形することにより、圧力室 26 の一面を区画する振動板 17 の可動領域が、ノズル 27 に近づく側またはノズル 27 から遠ざかる方向に変位する。これにより、圧力室 26 内のインクに圧力変動が生じ、この圧力変動によってノズル 27 からインクが吐出される。

40

【0028】

かかる構成によって、プリンター 1 では、主走査方向に移動しながらノズル 27 から記録用紙 6 にインクを吐出してドットを形成する動作と、記録用紙 6 を副走査方向に移動させ

50

る動作とを繰り返し、記録用紙 6 に画像を印刷する。

また、ノズルプレート 14 に形成されるノズル 27 の密度、及び圧力室形成基板 16 に形成される圧力室 26 (圧力室空部 32) の密度は、記録用紙 6 に形成されるドットの密度に比例する。

【0029】

図 5 ~ 図 9 は、図 3 に対応する図であり、圧電デバイスの状態を示す概略図である。なお、図 5 ~ 図 9 では、複数の圧力室 26 や圧電素子 18 のうちの 하나가図示されている。

次に、図 5 ~ 図 9 を参照し、圧電デバイス 13 の製造方法について説明する。

【0030】

図 5 に示すように、圧電デバイス 13 を製造する工程では、まず圧力室形成基板 16 の材料であるシリコン基板の表面に弾性膜 30 が形成される。詳しくは、シリコン基板の表面が熱酸化されることにより、酸化シリコン (SiO_2) からなる弾性膜 30 が形成される。続いて、弾性膜 30 上に、例えば、スパッタ法等によりジルコニウム層 (Zr) が形成された後、熱酸化されることで酸化ジルコニウム (ZrO_2) からなる絶縁膜 31 が形成される。そして、弾性膜 30 及び絶縁膜 31 からなる振動板 17 が形成される。

なお、必要に応じてイリジウム等の金属材料からなる密着層を絶縁膜 31 上に形成してもよい。

さらに、弾性膜 30 及び絶縁膜 31 からなる振動板 17 が圧力室形成基板 16 の上面に形成された後、振動板 17 上に、下電極 33 と、圧電体 34 と、上電極 35 とが順次成膜されて圧電素子 18 が形成される。

【0031】

次に、圧力室形成基板 16 の振動板 17 及び圧電素子 18 が形成された側の一方の面とは反対側の他方の面 (下面) が研磨されて、圧力室形成基板 16 の厚さが調整された後、当該圧力室形成基板 16 に対し、例えば水酸化カリウム水溶液 (KOH) からなるエッチング溶液を用いた異方性エッチングによって圧力室 26 となる空間 (圧力室空部 32) が形成される。

具体的には、図 6 に示すように、圧力室形成基板 16 の下面に、マスク 41 が、CVD 法やスパッタ法により形成される。マスク 41 としては、例えば、窒化シリコン (Si_3N_4) が使用される。マスク 41 の圧力室 26 に対応する部分には、開口 42 がドライエッチング等により形成される。なお、図 6 の圧力室形成基板 16 において破線で示される部分は、圧力室 26 の形成予定箇所である。この状態で、上記エッチング溶液 (水酸化カリウム水溶液) により圧力室形成基板 16 が異方性エッチングされる。 KOH は、(110) 面に対するエッチングレートと比べて (111) 面に対するエッチングレートが非常に低いので、圧力室形成基板 16 の厚さ方向にエッチングが進み、図 7 に示すように (111) 面を側面 (内壁) とする圧力室 26 (圧力室空部 32) が形成される。

そして、圧力室形成基板 16 では、 KOH によってエッチング除去された部分が圧力室空部 32 になり、 KOH によってエッチングされない部分が隔壁 25 になる。

【0032】

続いて、フッ化水素酸 (HF) を用いてマスク 41 を除去する。

図 8 及び図 9 に示すように、フッ化水素酸を用いてマスク 41 を除去する際に、連続して、圧力室 26 内に露出した酸化シリコンである弾性膜 30 をエッチングし、弾性膜 30 の圧力室 26 側に凹部 38 を形成する。そして、弾性膜 30 が当該フッ化水素水溶液に曝されている間、弾性膜 30 のサイドエッチングが進行し、曲面 39 (壁部 12) が形成される。すなわち、振動板 17 に曲面 39 (壁部 12) を有する凹部 38 が形成される。

フッ化水素酸は、圧力室形成基板 16 (シリコン) をエッチングせず、弾性膜 30 (酸化シリコン) を等方的にエッチングする。そして、弾性膜 30 が、フッ化水素酸によって等方的にエッチングされ、弾性膜 30 (振動板 17) に凹部 38 が形成される。圧力室形成基板 16 がエッチングされず、弾性膜 30 が等方的にエッチングされるので、凹部 38 には、圧力室形成基板 16 の端部 10 を中心とした円形状 (円弧形状) の断面を有する曲面 39 (壁部 12) が形成される。また、壁部 12 における曲面 39 の曲率半径は、(内寸

10

20

30

40

50

$L1 - \text{内寸} L2) / 2$ で表される (図 4、図 9 参照)。

本願における「曲面の曲率半径」とは、曲面 39 の断面の輪郭 (曲線) を円に近似し、当該近似された円の半径である。なお、壁部 12 における曲面 39 の断面の形状は、上述した円形状 (円弧形状) であってもよく、例えば、楕円形状であってもよい。

【0033】

さらに、曲面 39 の曲率半径は、フッ化水素酸による弾性膜 30 のエッチング時間によって制御することができる。例えば、弾性膜 30 を厚くし、フッ化水素酸による弾性膜 30 のエッチング時間を長くすると、曲面 39 の曲率半径が大きくなり、フッ化水素酸による弾性膜 30 のエッチング時間を短くすると、曲面 39 の曲率半径が小さくなる。

すなわち、フッ化水素酸による弾性膜 30 のエッチング時間を制御することによって、所定の曲率半径を有する曲面 39 (壁部 12) を形成することができる。

【0034】

詳細な説明は省略するが、連通基板 15 には、共通液室 24、個別連通口 29、及びノズル連通口 28 等が異方性エッチングにより形成される。一方、ノズルプレート 14 には、ドライエッチングによりノズル 27 が形成される。そして、ノズル 27 とノズル連通口 28 とが連通するように位置決めされた状態で、これらの連通基板 15 とノズルプレート 14 とが接着剤 21 によって接合される。

なお、弾性膜 30 の凹部 38、及び圧力室 26 等の流路の内壁を、例えば酸化タンタル (Ta_2O_5) や酸化シリコン (SiO_2) 等を構成材料とする保護膜で覆ってもよい。

【0035】

図 10 は、同一量のインク滴を吐出した際の、圧電デバイスの寸法と振動板の相対変位量との関係を示す表である。図 11 は、図 3 に対応する図であり、圧力室にインクが充填された状態で圧電素子を駆動した場合の振動板の状態を示す模式図である。

図 10 におけるノズル密度とは、圧電デバイス 13 に形成されるノズル 27 の 1 インチ当たりの数であり、ノズル密度の単位は npi ($nozzle\ per\ inch$) である。図 10 の中央部変位とは、振動板 17 の可動領域の中央における変位であり、図 9 に示す隔壁 25 から $(1/2)L2$ 離れた位置における振動板 17 の変位である。図 10 の端部変位とは、図 9 に示す端部 10 近傍における振動板 17 の変位である。

図 10 には、ノズル密度が $120npi$ の中央部変位の変位量を 1 とし、ノズル密度が $120npi$ における中央部変位の変位量に対する相対値で、各ノズル密度における変位量 (中央部変位の変位量、端部変位の変位量) が、相対変位量として示されている。

さらに、図 11 では、隔壁 25 と振動板 17 とが図示され、他の構成要素の図示が省略されている。図 11 における実線は、インクが充填されていない場合の振動板 17 の状態を示している。図 11 における一点鎖線は、インクが充填され、且つ吐出安定時の振動板 17 の状態を示している。図 11 における破線は、インクが充填され、且つ吐出不安定時の振動板 17 の状態を示している。

次に、図 10 及び図 11 を参照し、圧電デバイス 13 が有する課題を説明する。

【0036】

図 10 に示すように、ノズル密度が $120npi$ である場合、中央部変位の相対変位量は 1 であり、端部変位の相対変位量は 0.017 である。

ノズル密度が $240npi$ である場合、中央部変位の相対変位量は 2 であり、端部変位の相対変位量は 0.069 である。このため、同一量のインク滴を吐出する場合、ノズル密度が $240npi$ の圧電デバイス 13 は、ノズル密度が $120npi$ の圧電デバイス 13 と比べて、中央部における振動板 17 を 2 倍大きく変位させ、端部 10 近傍における振動板 17 を 4.1 倍大きく変位させる必要がある。

ノズル密度が $300npi$ である場合、中央部変位の相対変位量は 2.5 であり、端部変位の相対変位量は 0.107 である。このため、同一量のインク滴を吐出する場合、ノズル密度が $300npi$ の圧電デバイス 13 は、ノズル密度が $120npi$ の圧電デバイス 13 と比べて、中央部における振動板 17 を 2.5 倍大きく変位させ、端部 10 近傍における振動板 17 を 6.3 倍大きく変位させる必要がある。

ノズル密度が600 npiである場合、中央部変位の相対変位量は5であり、端部変位の相対変位量は0.429である。このため、同一量のインク滴を吐出する場合、ノズル密度が600 npiの圧電デバイス13は、ノズル密度が120 npiの圧電デバイス13と比べて、中央部における振動板17を5倍大きく変位させ、端部10近傍における振動板17を25.2倍大きく変位させる必要がある。

【0037】

このように、圧電デバイス13のノズル密度が120 npi、240 npi、300 npi、600 npiと高密度になると、同一量のインクを吐出する場合、振動板17の相対変位量が大きくなる。すなわち、ノズル密度が高密度化になると、圧力室26の体積が小さくなるので、所定の吐出量を得るために振動板17を大きく変位させる必要がある。さらに、ノズル密度を高密度化した場合の振動板17の相対変位量の変化は、中央部変位（振動板17の可動領域の中央の変位）よりも、端部変位（端部10近傍における振動板17の変位）の方が大きくなる。このため、振動板17の可動領域の中央よりも、端部10近傍における振動板17（振動板17の可動領域の端）において、大きな応力が加わり、端部10近傍における振動板17（振動板17の可動領域の端）が劣化しやすくなる。

特に、ノズル密度が600 npiの端部10近傍における振動板17は、ノズル密度が120 npiの端部10近傍における振動板17と比べて、25.2倍大きく変位するので、端部10近傍における振動板17が早く劣化しやすくなる。さらに、ノズル密度が300 npiの端部10近傍における振動板17においても、ノズル密度が120 npiの端部10近傍における振動板17と比べて、6.3倍大きく変位するので、端部10近傍における振動板17が早く劣化しやすくなる。

従って、ノズル密度が300 npi以上600 npi以下である場合、端部10近傍における振動板17が劣化しやすくなるので、圧電デバイス13は、目標とする耐久性を実現することが難しくなるという課題を有する。

【0038】

図11の実線で示すように、圧力室26にインクが充填されていない状態で、圧電素子18を公知の駆動方式（例えば、Pull - Push - Pull方式など）で駆動した場合、振動板17の可動領域が、ノズル27に近づく側またはノズル27から遠ざかる方向に変位する。この場合の振動板17の変位量はH1である。

【0039】

図11の一点鎖線で示すように、圧力室26にインクが充填された状態で、圧電素子18を公知の駆動方式（例えば、Pull - Push - Pull方式など）で駆動した場合、圧力室26にインクが充填されていない状態と比べ、振動板17はノズル27に近づく側またはノズル27から遠ざかる方向に大きく変位する。すなわち、圧力室26にインクが充填されていない状態で駆動する場合と比べて、振動板17が大きく変位し、所謂オーバーシュート変位が発生する。オーバーシュート変位とは、インクの慣性力や圧力室26の圧力の変化によって、圧力室26にインクが充填されていない状態と比べて、振動板17が大きく変位する現象である。この場合、振動板17がノズル27に近づく側におけるオーバーシュート量はH2であり、振動板17がノズル27から離れる側におけるオーバーシュート量はH3である。

なお、圧力室26やノズル27に気泡が混入されていない状態で圧電素子18を駆動させ、図11の一点鎖線で示すように振動板17を変位させると、所望のインク滴がノズル27から吐出される。

なお、圧力室26やノズル27に気泡が混入されていない状態は、所望のインク滴がノズル27から吐出される状態であり、以降、吐出安定時と称す。一方、圧力室26やノズル27に気泡が混入された状態は、所望のインク滴がノズル27から吐出されない状態であり、以降、吐出不安定時と称す。

【0040】

圧力室26やノズル27に気泡が混入すると、インク流路の流路抵抗と流体の慣性（イナータンス）が下がり、所望のインク滴がノズル27から吐出されないという虞が生じる。

10

20

30

40

50

流路抵抗が下がった場合、駆動波形印加後の圧力室 2 6 の残留圧力振動の減衰が小さくなる。さらに、イナータンスが下がった場合、圧力振動周期が短くなる。この場合、公知の駆動波形（例えば、Pull - Push - Pull 方式）が適用されると、複数の圧力室 2 6 の振動が合成され、吐出安定時と比べて、振動板 1 7 がより大きくオーバーシュート変位するようになる。

詳しくは、図 1 1 の破線で示すように、圧力室 2 6 やノズル 2 7 に気泡が混入する吐出不安定時は、圧力室 2 6 やノズル 2 7 に気泡が混入しない吐出安定時と比べて、振動板 1 7 はノズル 2 7 に近づく側またはノズル 2 7 から遠ざかる方向により大きく変位する。この場合、振動板 1 7 がノズル 2 7 に近づく側におけるオーバーシュート量は H 4 であり、振動板 1 7 がノズル 2 7 から離れる側におけるオーバーシュート量は H 5 である。

10

すなわち、振動板 1 7 がノズル 2 7 に近づく側において、吐出不安定時のオーバーシュート量 H 4 は、吐出安定時のオーバーシュート量 H 2 よりも大きくなり、振動板 1 7 がノズル 2 7 から離れる側において、吐出不安定時のオーバーシュート量 H 5 は、吐出安定時のオーバーシュート量 H 3 よりも大きくなる。

【 0 0 4 1 】

このように、吐出不安定時は、吐出安定時と比べて、振動板 1 7 がより大きく変位し、端部 1 0 近傍の振動板 1 7 に加わる応力が大きくなるので、振動板 1 7 の劣化がより早くなる。吐出が不安定な場合、すなわち圧力室 2 6 やノズル 2 7 に気泡が混入する場合、印刷性能も低下するので、圧力室 2 6 やノズル 2 7 から気泡を強制的に排出するメンテナンス処理を施し、吐出が不安定な状態、すなわち圧力室 2 6 やノズル 2 7 に気泡が混入しない状態に回復させる。

20

ところが、圧力室 2 6 やノズル 2 7 に気泡が混入する期間を無くすることが難しく、圧電デバイス 1 3 は、吐出が不安定な状態で使用される場合がある。このため、圧電デバイス 1 3 が目標とする耐久性を実現するためには、吐出が安定である場合（圧力室 2 6 やノズル 2 7 に気泡が混入していない場合）に加えて、吐出が不安定である場合（圧力室 2 6 やノズル 2 7 に気泡が混入する場合）において、振動板 1 7 は目標とする耐久性を有することが好ましい。

【 0 0 4 2 】

図 1 2 A ~ 図 1 2 D は、吐出安定時に圧電素子を駆動させた場合に、振動板に加わる応力の状態を示す模式図である。図 1 3 は、凹部の曲面の曲率半径と、振動板の端部に加わる相対応力（相対応力値）との関係を示す図である。図 1 4 は、圧電デバイスの条件と振動板の接合強度（詳しくは、振動板の隔壁に対する接合強度）との関係を示す表である。

30

図 1 2 A ~ 図 1 2 D 並びに図 1 3 では、ノズル密度が 600 npi の圧電デバイス 1 3 における振動板 1 7 に加わる応力が、シミュレーションによって評価されている。なお、当該シミュレーションは、他のデバイスに対しても適用され、妥当性が検証されている。

図 1 4 では、ノズル密度が 600 npi の圧電デバイス 1 3 に対して、振動板 1 7 の隔壁 2 5 に対する接合強度が評価されている。

【 0 0 4 3 】

図 1 2 A ~ 図 1 2 D では、曲面 3 9 の曲率半径を変化させた場合に、振動板 1 7 に加わる応力の状態をシミュレーションで評価し、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P が黒ベタで図示されている。詳しくは、図 1 2 A では、曲面 3 9 の曲率半径が 0 nm である場合に、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 1 が黒ベタ（黒丸）で示されている。図 1 2 B では、曲面 3 9 の曲率半径が 60 nm である場合に、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 2 が黒ベタで示されている。図 1 2 C では、曲面 3 9 の曲率半径が 144 nm である場合に、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 3 が黒ベタで示されている。図 1 2 D では、曲面 3 9 の曲率半径が 294 nm である場合に、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 4 が黒ベタで示されている。

40

【 0 0 4 4 】

図 1 3 は、縦軸が相対応力値（端部 1 0 近傍における振動板 1 7 に加わる相対応力値）であり、横軸が曲面 3 9 の曲率半径であり、吐出安定時における曲面 3 9 の曲率半径と相対

50

応力値との関係が一点鎖線で示され、吐出不安定時における曲面 3 9 の曲率半径と相対応力値との関係が破線で示されている。

【 0 0 4 5 】

図 1 2 A に示すように、曲面 3 9 の曲率半径が 0 nm である場合、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 1 は、振動板 1 7 の可動領域（隔壁 2 5 に接合されていない部分）の端に位置する。すなわち、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 1 は、圧力室形成基板 1 6 の端部 1 0 近傍に位置する。このように、曲面 3 9 の曲率半径が 0 nm である場合、振動板 1 7 の特定部位（部位 P 1）に応力が集中的に加わり、振動板 1 7 に対する応力集中の悪影響（例えば、疲労破壊）が最も生じやすい。

【 0 0 4 6 】

図 1 2 B に示すように、曲面 3 9 の曲率半径が 6 0 nm である場合、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 2 は、振動板 1 7 の曲面 3 9 に位置する。さらに、曲面 3 9 の曲率半径が 6 0 nm である場合に応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 2 は、曲面 3 9 の曲率半径が 0 nm である場合に応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 1 と比べて広くなり、振動板 1 7 に対する応力集中の悪影響（例えば、疲労破壊）が緩和される。

【 0 0 4 7 】

図 1 2 C に示すように、曲面 3 9 の曲率半径が 1 4 4 nm である場合、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 3 は、振動板 1 7 の曲面 3 9 に位置する。さらに、曲面 3 9 の曲率半径が 1 4 4 nm である場合に応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 3 は、曲面 3 9 の曲率半径が 6 0 nm である場合に応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 2 と比べて広くなり、振動板 1 7 に対する応力集中の悪影響（例えば、疲労破壊）がさらに緩和される。

【 0 0 4 8 】

図 1 2 D に示すように、曲面 3 9 の曲率半径が 2 9 4 nm である場合、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 4 は、振動板 1 7 の曲面 3 9 に位置する。さらに、曲面 3 9 の曲率半径が 2 9 4 nm である場合に応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 4 は、曲面 3 9 の曲率半径が 1 4 4 nm である場合に応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 3 と比べて広くなり、振動板 1 7 に対する応力集中の悪影響（例えば、疲労破壊）が最も緩和され、最も生じにくい。

【 0 0 4 9 】

このように、ノズル密度が 6 0 0 n p i の圧電デバイス 1 3 において、振動板 1 7 の応力が集中的に加わる部位 P の面積は、曲面 3 9 の曲率半径が 0 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 6 0 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 1 4 4 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 2 9 4 nm である場合の順に広くなる。応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P が広くなるに従って、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位の疲労破壊が生じにくくなり、振動板 1 7 の耐久性が向上し、圧電デバイス 1 3 の耐久性（信頼性）が向上する。

また、ノズル密度が 6 0 0 n p i よりも小さい圧電デバイス 1 3（ノズルが低密度に形成される圧電デバイス 1 3）においても、ノズル密度が 6 0 0 n p i の圧電デバイス 1 3 と同様に、振動板 1 7 の応力が集中的に加わる部位 P の面積は、曲面 3 9 の曲率半径が 0 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 6 0 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 1 4 4 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 2 9 4 nm である場合の順に広くなり、この順に振動板 1 7 の部位の疲労破壊が生じにくくなり、振動板 1 7 の耐久性が向上する。

さらに、ノズル密度が 6 0 0 n p i よりも大きい圧電デバイス 1 3（ノズルが高密度に形成される圧電デバイス 1 3）においても、ノズル密度が 6 0 0 n p i の圧電デバイス 1 3 と同様に、振動板 1 7 の応力が集中的に加わる部位 P の面積は、曲面 3 9 の曲率半径が 0 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 6 0 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 1 4 4 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 2 9 4 nm である場合の順に広くなり、この順に振動板 1 7 の部位の疲労破壊が生じにくくなり、振動板 1 7 の耐久性が向上する。

【 0 0 5 0 】

図 1 3 では、曲面 3 9 の曲率半径が 0 nm であり、吐出安定時に目標とする耐久性を実現可能な圧電デバイス 1 3 (ノズル密度が 6 0 0 n p i の圧電デバイス 1 3) において、振動板 1 7 を変位させた場合に、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 1 の最大応力値を 1 としている。さらに、曲面 3 9 の曲率半径が異なる他の圧電デバイス 1 3 において、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P に加わる最大応力値が、吐出安定時に応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P 1 の最大応力値に対する相対値 (相対応力値) として算出されている。すなわち、図 1 3 の縦軸に示される相対応力値は、振動板 1 7 の部位 P に加わる最大応力値を、吐出安定時に振動板 1 7 の部位 P 1 に加わる最大応力値で除した相対値である。

【 0 0 5 1 】

図 1 3 において、相対応力値が 1 である場合、圧電デバイス 1 3 は目標とする耐久性を有し、振動板 1 7 も目標とする耐久性を有する。

相対応力値が 1 よりも小さい場合、相対応力値が 1 である場合と比べて、端部 1 0 近傍における振動板 1 7 に加わる応力が小さくなるので、端部 1 0 近傍における振動板 1 7 が劣化しにくくなる。従って、相対応力値が 1 よりも小さい場合、相対応力値が 1 である場合と比べて、振動板 1 7 の耐久性が向上し、圧電デバイス 1 3 の耐久性も向上し、圧電デバイス 1 3 は目標とする耐久性を有する。

相対応力値が 1 よりも大きい場合、相対応力値が 1 である場合と比べて、端部 1 0 近傍における振動板 1 7 に加わる応力が大きくなるので、端部 1 0 近傍における振動板 1 7 が劣化しやすくなる。従って、相対応力値が 1 よりも大きい場合、相対応力値が 1 である場合と比べて、振動板 1 7 の耐久性が低下し、圧電デバイス 1 3 の耐久性も低下し、圧電デバイス 1 3 は目標とする耐久性を有さなくなる。

このように、相対応力値から、振動板 1 7 の耐久性や、圧電デバイス 1 3 の耐久性を評価することができる。

【 0 0 5 2 】

ノズル密度が 6 0 0 n p i の圧電デバイス 1 3 では、図 1 3 の一点鎖線で示されるように、吐出安定時に圧電素子 1 8 を駆動する場合、振動板 1 7 の応力が集中する部位 P に加わる相対応力値は、曲面 3 9 の曲率半径が 0 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 6 0 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 2 2 2 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 2 9 7 nm である場合の順に小さくなり、この順で、応力が集中的に加わる振動板 1 7 の部位 P に加わる応力が弱くなり、振動板 1 7 の耐久性が向上し、圧電デバイス 1 3 の耐久性が向上する。そして、いずれの条件においても、相対応力値は 1 よりも小さいので、圧電デバイス 1 3 は目標とする耐久性を実現することが可能である。

さらに、振動板 1 7 の劣化 (疲労破壊) を抑制し、振動板 1 7 の耐久性を向上させるためには、曲面 3 9 の曲率半径は大きい方が好ましい。

【 0 0 5 3 】

ノズル密度が 6 0 0 n p i の圧電デバイス 1 3 では、図 1 3 の破線で示されるように、吐出不安定時に圧電素子 1 8 を駆動する場合、振動板 1 7 の応力が集中する部位 P に加わる相対応力値は、曲面 3 9 の曲率半径が 0 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 6 0 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 2 2 2 nm である場合、曲面 3 9 の曲率半径が 2 9 7 nm である場合の順に小さくなり、この順で振動板 1 7 の耐久性が向上し、圧電デバイス 1 3 の耐久性も向上する。

ところが、曲面 3 9 の曲率半径が 0 nm である場合、振動板 1 7 の応力が集中する部位 P に加わる相対応力値が 1 . 4 7 と、1 よりも大きくなり、振動板 1 7 は目標とする耐久性を実現することが難しく、圧電デバイス 1 3 も目標とする耐久性を実現することが難しい。一方、曲面 3 9 の曲率半径が 6 0 nm よりも大きくなると、振動板 1 7 の応力が集中する部位 P に加わる相対応力値は 1 よりも小さくなり、振動板 1 7 は目標とする耐久性を有するようになり、圧電デバイス 1 3 も目標とする耐久性を有するようになる。

【 0 0 5 4 】

従って、吐出が不安定である場合 (圧力室 2 6 やノズル 2 7 に気泡が混入する場合) にお

10

20

30

40

50

いて、ノズル密度が600 npiの圧電デバイス13及び振動板17が目標とする耐久性を有するためには、曲面39の曲率半径は、60 nm以上であることが好ましい。すなわち、曲面39の曲率半径が60 nm以上であると、吐出が不安定である場合（圧力室26やノズル27に気泡が混入する場合）、及び吐出が安定である場合（圧力室26やノズル27に気泡が混入していない場合）の両方において、ノズル密度が600 npiの圧電デバイス13及び振動板17は目標とする耐久性を有するようになる。

なお、ノズル密度が300 npiの圧電デバイス13は、ノズル密度が600 npiの圧電デバイス13と比べて、振動板17の変位（相対応力値）が小さくなるので、ノズル密度が600 npiの圧電デバイス13が目標とする耐久性を有すると、ノズル密度が300 npiの圧電デバイス13も目標とする耐久性を有するようになる。

10

従って、ノズル密度が300 npi以上600 npi以下の圧電デバイス13が、目標とする耐久性を有するためには、曲面39の曲率半径は、60 nm以上であることが好ましい。

【0055】

図14において、ピッチ間隔Aとは、図3における圧電素子18（圧力室26）と隣の圧電素子18（隣の圧力室26）との間隔である。圧力室26の幅Bとは、図9における圧力室26の副走査方向の寸法L2である。隔壁25の幅Cとは、図3における隔壁25の寸法（副走査方向の寸法）であり、以下に示す（1）式で表されるように、ピッチ間隔Aと圧力室26の幅Bとの差分である。

$$C = A - B \quad (1)$$

20

曲率半径Dとは、図4における曲面39の断面の輪郭を円に近似し、当該近似された円の半径である。振動板17の接合幅Eとは、図3における振動板17の隔壁25に接合される部分の長さであり、以下に示す（2）式で表される。また、振動板17の隔壁25に接合される部分の面積は、振動板17の隔壁25に接合される部分の長さに比例する。

$$E = C - 2D \quad (2)$$

隔壁25に対する接合幅の割合Fとは、隔壁25における振動板17に接合される部分の占有率であり、以下に示す（3）式で表される。

$$F = E / C \quad (3)$$

【0056】

振動板17の接合強度の判定における記号xは、圧電素子18を公知の駆動方式で駆動し、振動板17を振動させた場合に、応力集中によって振動板17の劣化（疲労破壊）が生じる時期よりも早く、振動板17が隔壁25から剥離する場合である。このため、判定が記号xである場合、応力集中によって振動板17が劣化（疲労破壊）する時期よりも早く、振動板17が隔壁25から剥離するので、圧電デバイス13は目標とする耐久性を有さない。

30

振動板17の接合強度の判定における記号は、圧電素子18を公知の駆動方式で駆動し、振動板17を振動させた場合に、応力集中によって振動板17の劣化（疲労破壊）が生じる時期と同じ時期に、振動板17が隔壁25から剥離する場合である。このため、判定が記号である場合、応力集中によって振動板17が劣化（疲労破壊）する時期と、振動板17が隔壁25から剥離する時期とは同じであり、圧電デバイス13は目標とする耐久性を有する。

40

振動板17の接合強度の判定における記号は、圧電素子18を公知の駆動方式で駆動し、振動板17を振動させた場合に、応力集中によって振動板17の劣化（疲労破壊）が生じる時期よりも遅く、振動板17が隔壁25から剥離する場合である。このため、判定が記号である場合、応力集中によって振動板17が劣化（疲労破壊）する時期よりも遅く、振動板17が隔壁25から剥離するので、圧電デバイス13は目標とする耐久性を有する。

【0057】

図14に示すように、曲面39の曲率半径が1200 nmであり、振動板17の接合幅Eが2.9 μmになると、振動板17の強度判定は になり、振動板17の劣化と振動板1

50

7の隔壁25からの剥離とは同じ時期に生じる。圧電デバイス13の耐久性は、振動板17の劣化が生じる時期と、振動板17の隔壁25からの剥離が生じる時期との両方に依存するので、曲面39の曲率半径が1200nmと大きくし、振動板17の耐久性を向上させても、振動板17の隔壁25からの剥離が生じる時期がばらつくと、振動板17は耐久性を有さなくなるおそれがあり、圧電デバイス13も耐久性を有さなくなるおそれがある。曲面39の曲率半径が60nm~1000nmの範囲にあり、振動板17の接合幅Eが3.3μm~5.2μmの範囲にある場合、振動板17の強度判定は になり、振動板17の劣化よりも遅く、振動板17が隔壁25から剥離する。この場合、曲面39の曲率半径を60nm~1000nmと大きくすると、振動板17の隔壁25からの剥離が生じる時期がばらついても、振動板17は安定して目標とする耐久性を有するようになり、圧電

10

デバイス13も安定して目標とする耐久性を有するようになる。
従って、振動板17が目標とする耐久性を有し、圧電デバイス13が目標とする耐久性を有するためには、曲面39の曲率半径が1000nm以下である構成（曲面39の曲率半径が60nm~1000nmの範囲である構成）が好ましい。

【0058】

上述したように、図13に示すシミュレーション評価では、ノズル密度が600npiの圧電デバイス13が目標とする耐久性を有するためには、曲面39の曲率半径を60nmよりも大きくすることが好ましい。

ところが、曲面39の曲率半径を大きくしすぎると、振動板17の接合幅Eが短くなりすぎ、振動板17の隔壁25に接合される部分の面積が狭くなりすぎるので、振動板17が隔壁25から剥がれやすくなり、振動板17の隔壁25からの剥離によって、振動板17が早く劣化する。このため、振動板17が目標とする耐久性を有するためには、曲面39の曲率半径は1000nm以下であることが好ましい。

20

従って、ノズル密度が600npiの圧電デバイス13において、振動板17及び圧電デバイス13が目標とする耐久性を有するためには、曲面39の曲率半径は、60nm~1000nmの範囲であることが好ましい。

【0059】

なお、ノズル密度が300npiの圧電デバイス13は、ノズル密度が600npiの圧電デバイス13と比べて、振動板17の接合幅Eが長くなり、振動板17の隔壁25に接合される部分の面積が広くなるので、ノズル密度が600npiの圧電デバイス13が、曲面39の曲率半径が1000nm以下である場合に、振動板17及び圧電デバイス13が目標とする耐久性を有すると、ノズル密度が300npiの圧電デバイス13も、曲面39の曲率半径が1000nm以下である場合に、振動板17及び圧電デバイス13が目標とする耐久性を有するようになる。

30

従って、ノズル密度が300npi以上600npi以下の圧電デバイス13が、目標とする耐久性を有するためには、曲面39の曲率半径は、60nm~1000nmの範囲であることが好ましい。さらに、ノズル27と圧力室26（圧力室空部32）とは1:1で対応するので、インチ当たりのノズル数が300以上600以下である圧電デバイス13、すなわち、1インチ当たりの圧力室空部32数が300以上600以下である圧電デバイス13は、曲面39の曲率半径は、60nm~1000nmの範囲であることが好ましい。

40

なお、ノズル密度が600npiよりも大きい圧電デバイス13は、ノズル密度が600npiの圧電デバイス13と比べて、振動板17の接合幅Eが短くなり、振動板17の隔壁25に接合される部分の面積が狭くなるので、振動板17及び圧電デバイス13が目標とする耐久性を有するためには、曲面39の曲率半径は1000nmよりも小さいことが好ましい。

【0060】

（実施形態2）

図15及び図16は、図3に対応する図であり、実施形態2に係る圧電デバイスにおいて、圧力室形成基板と連通基板とを接合をする工程の概略図である。図15及び図16では

50

、複数の圧力室 2 6 や圧電素子 1 8 のうちの 하나가 図示されている。図 1 7 は、図 4 に対応する図であり、本実施形態に係る圧電デバイスの振動板に形成された凹部の状態を示す概略図である。

本実施形態に係る圧電デバイス 1 3 A では、圧力室 2 6 となる空間（圧力室空部 3 2）及び振動板 1 7 の曲面 3 9 が「樹脂」の一例である接着剤 2 1 で覆われている。実施形態 1 に係る圧電デバイス 1 3 では、圧力室 2 6 となる空間（圧力室空部 3 2）及び振動板 1 7 の曲面 3 9 が接着剤 2 1 で覆われていない。この点が、本実施形態と実施形態 1 との主な相違点である。

以下、図 1 5 ~ 図 1 7 を参照し、本実施形態に係る圧電デバイス 1 3 A の概要を、実施形態 1 との相違点を中心に説明する。また、実施形態 1 と同一の構成部位については、同一の符号を附し、重複する説明を省略する。

10

【0061】

図 1 5 に示すように、圧力室形成基板 1 6 と連通基板 1 5 とを接合する工程では、まず圧力室形成基板 1 6 における連通基板 1 5 との接合面に対して、流動性のある接着剤 2 1 を転写する。続いて、当該接着剤 2 1 が転写された面に対して接合相手の連通基板 1 5 を貼り合わせる。すると、図 1 6 に示すように、圧力室形成基板 1 6 と連通基板 1 5 との間からはみ出した接着剤 2 1 が、毛細管現象によって図中に矢印で示される方向に流動し、圧力室空部 3 2 の側壁と、振動板 1 7 に形成された凹部 3 8 の曲面 3 9 とを覆う。そして、接着剤 2 1 を硬化することで、振動板 1 7 に形成された凹部 3 8 の曲面 3 9 を覆う接着剤 2 1（樹脂）を形成する。

20

【0062】

すなわち、圧力室形成基板 1 6 の接合面に転写される接着剤 2 1 の量を多くすると、毛細管現象によって図中に矢印で示される方向に流動する接着剤 2 1 の量を多くすることができる。例えば、圧力室形成基板 1 6 の接合面に転写される接着剤 2 1 の量を多くすると、振動板 1 7 に形成された凹部 3 8 の曲面 3 9 の全面を覆う接着剤 2 1（樹脂）を形成することができる。

圧力室形成基板 1 6 の接合面に転写される接着剤 2 1 の量を少なくすると、毛細管現象によって図中に矢印で示される方向に流動する接着剤 2 1 の量を少なくすることができる。例えば、圧力室形成基板 1 6 の接合面に転写される接着剤 2 1 の量を少なくすると、振動板 1 7 に形成された凹部 3 8 の曲面 3 9 の一部を覆う接着剤 2 1（樹脂）を形成することができる。

30

【0063】

振動板 1 7 に形成された凹部 3 8 の曲面 3 9 が、接着剤 2 1 によって覆われると、振動板 1 7 の応力が集中しやすい部位 P が接着剤 2 1 によって補強され、応力が集中的に加わる部位 P における振動板 1 7 の疲労破壊が生じにくくなり、振動板 1 7 の耐久性を向上させることができる。さらに、振動板 1 7 の隔壁 2 5 に接合される部分が、接着剤 2 1 によって補強され、振動板 1 7 の隔壁 2 5 に対する接合強度を高め、振動板 1 7 の耐久性を向上させることができる。

従って、振動板 1 7 に形成された凹部 3 8 の曲面 3 9 が、接着剤 2 1 によって覆われると、振動板 1 7 の耐久性が向上し、圧電デバイス 1 3 の耐久性を向上させることができる。

40

なお、振動板 1 7 に形成された凹部 3 8 の曲面 3 9 の一部が接着剤 2 1 によって覆われ、振動板 1 7 の応力が集中しやすい部位 P が接着剤 2 1 によって補強されると、応力が集中的に加わる部位 P における振動板 1 7 の疲労破壊が生じにくくなり、振動板 1 7 の耐久性が向上するので、接着剤 2 1 が振動板 1 7 に形成された凹部 3 8 の曲面 3 9 の一部を覆う構成であってもよい。

すなわち、接着剤 2 1 は、振動板 1 7 に形成された凹部 3 8 の曲面 3 9 の全体を覆う構成であってもよく、振動板 1 7 に形成された凹部 3 8 の一部を覆う構成であってもよい。

【0064】

なお、以上においては、圧力室形成基板 1 6 に形成された空間（圧力室 2 6）の一面を区画する可動領域が変位することでノズル 2 7 から液体の一種であるインクが吐出される構

50

成を例示したが、これには限られず、複数の基板が接着剤により接合された圧電デバイスであって可動領域を有するものであれば、本発明を適用することが可能である。例えば、可動領域の圧力変化、振動、あるいは変位等を検出するセンサー等にも本発明を適用することができる。

さらに、一面が可動領域で区画される空間は、液体が流通するものには限られない。

【 0 0 6 5 】

また、上記実施形態 1、2 においては、液体吐出ヘッドとして記録ヘッド（インクジェット式記録ヘッド）2 を例に挙げて説明したが、本発明は、広く液体吐出ヘッド全般を対象としたものであり、例えば、液晶ディスプレイ等のカラーフィルターの製造に用いられる色材吐出ヘッド、有機 E L（Electro Luminescence）ディスプレイ、F E D（面発光ディスプレイ）等の電極形成に用いられる電極材吐出ヘッド、バイオチップ（生物化学素子）の製造に用いられる生体有機物吐出ヘッド等にも本発明を適用することができる。

ディスプレイ製造装置用の色材吐出ヘッドでは、液体の一種として R（Red）・G（Green）・B（Blue）の各色材の溶液を吐出する。また、電極形成装置用の電極材吐出ヘッドでは、液体の一種として液状の電極材料を吐出し、チップ製造装置用の生体有機物吐出ヘッドでは、液体の一種として生体有機物の溶液を吐出する。

【符号の説明】

【 0 0 6 6 】

1 ... プリンター、2 ... 記録ヘッド、3 ... インクカートリッジ、4 ... キャリッジ、6 ... 記録用紙、7 ... キャリッジ移動機構、8 ... 紙送り機構、10 ... 端部、11 ... 底部、12 ... 壁部、13 ... 圧電デバイス、14 ... ノズルプレート、15 ... 連通基板、16 ... 圧力室形成基板、17 ... 振動板、18 ... 圧電素子、19 ... 保護基板、20 ... ケース、21 ... 接着剤、22 ... 収容空部、23 ... インク導入路、24 ... 共通液室、24a ... 第 1 液室、24b ... 第 2 液室、25 ... 隔壁、26 ... 圧力室、27 ... ノズル、28 ... ノズル連通口、29 ... 個別連通口、30 ... 弾性膜、31 ... 絶縁膜、32 ... 圧力室空部、33 ... 下電極、34 ... 圧電体、35 ... 上電極、38 ... 凹部、39 ... 曲面、41 ... マスク、42 ... 開口。

10

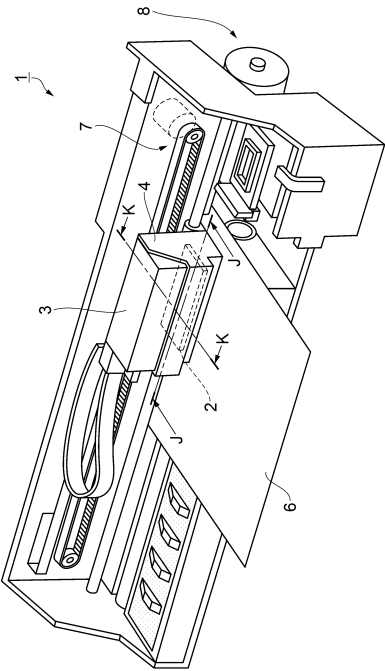
20

30

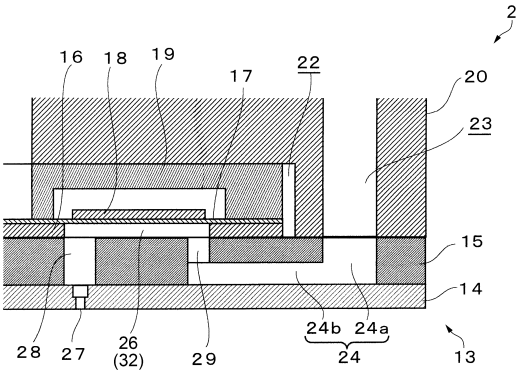
40

50

【図面】
【図 1】



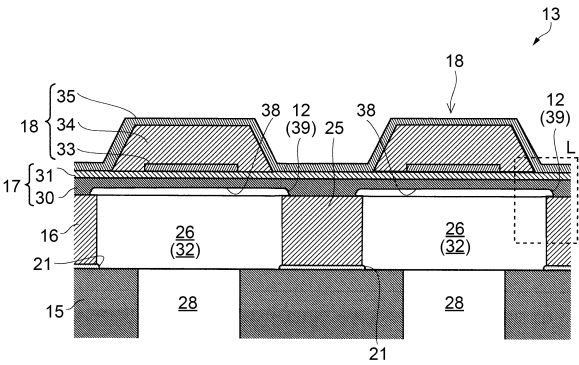
【図 2】



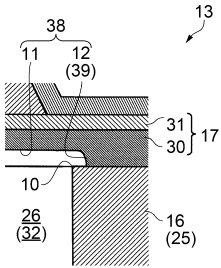
10

20

【図 3】



【図 4】

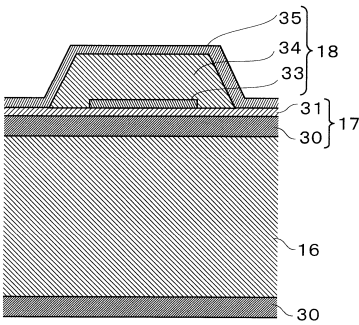


30

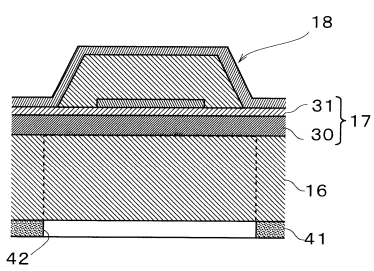
40

50

【図 5】

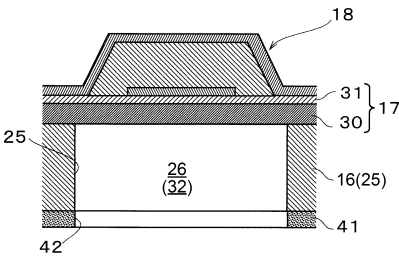


【図 6】

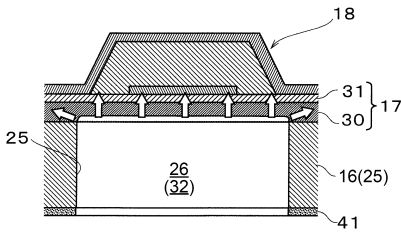


10

【図 7】

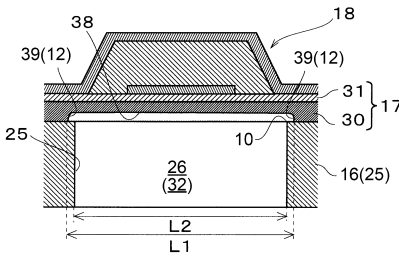


【図 8】



20

【図 9】



【図 10】

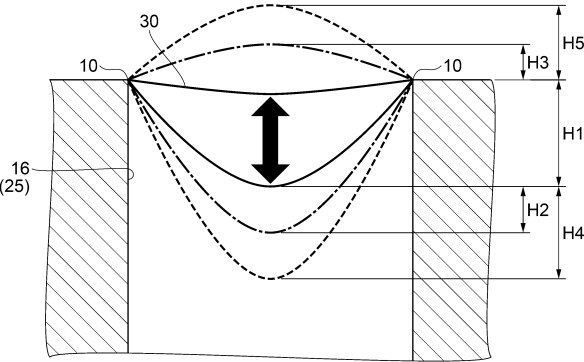
No.	圧電デバイスの寸法	相対変位量	
	ノズル密度 [npi]	中央部変位	端部変位
1	120	1	0.017
2	240	2	0.069
3	300	2.5	0.107
4	600	5	0.429

30

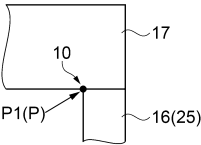
40

50

【図 1 1】

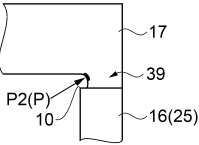


【図 1 2 A】

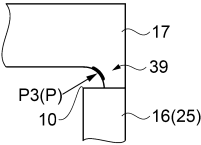


10

【図 1 2 B】



【図 1 2 C】



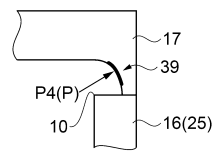
20

30

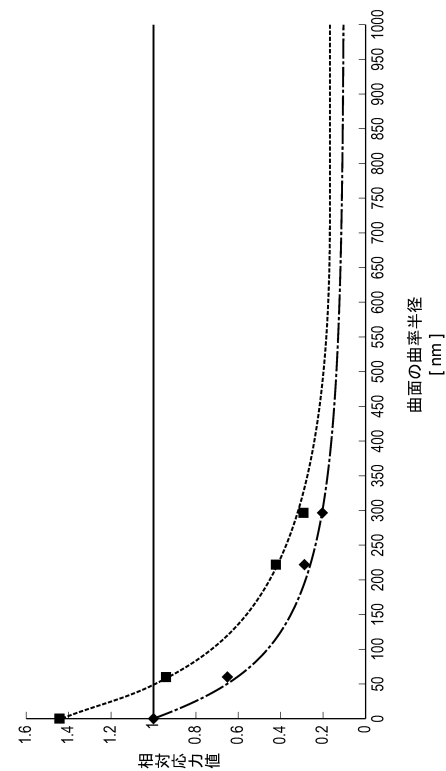
40

50

【図 1 2 D】



【図 1 3】



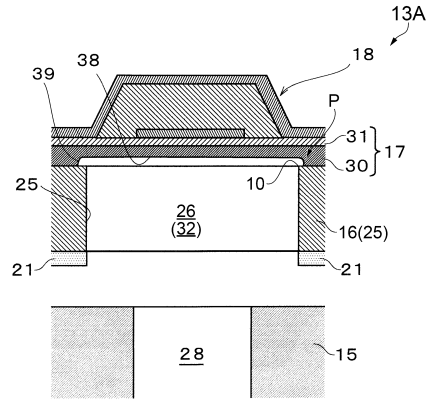
10

20

【図 1 4】

No.	圧電デバイスの条件				振動板の接合強度	
	ピッチ間隔 A [μm]	圧力室の幅 B [μm]	隔壁の幅 C (C = A - B) [μm]	曲率半径 D [nm]	振動板の 接合幅 E (E = C × D) [μm]	隔壁に対する 接合幅の割合 F (F = E / C) [%]
1	42.3	37.0	5.3	60	5.2	98%
2	42.3	37.0	5.3	300	4.7	89%
3	42.3	37.0	5.3	400	4.5	85%
4	42.3	37.0	5.3	1000	3.3	63%
5	42.3	37.0	5.3	1200	2.9	55%
6	42.3	37.0	5.3	1500	2.3	44%

【図 1 5】

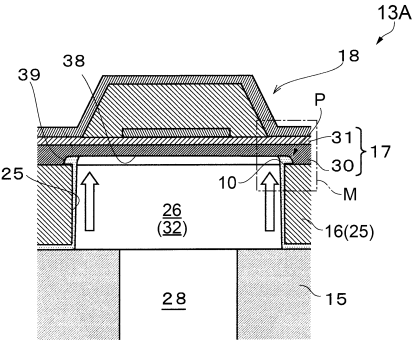


30

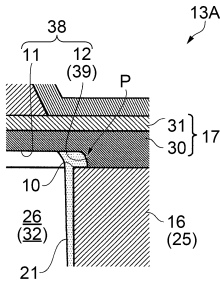
40

50

【図 16】



【図 17】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 齊藤 剛
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
- (72)発明者 穂苅 吉宏
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
- (72)発明者 清水 稔弘
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
- (72)発明者 横山 直人
長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内
- 審査官 上田 正樹
- (56)参考文献 特開2017-080946(JP,A)
特開2017-061089(JP,A)
特開2004-209874(JP,A)
米国特許出願公開第2017/0151784(US,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
B41J 2/14
B41J 2/16