

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6198118号
(P6198118)

(45) 発行日 平成29年9月20日(2017.9.20)

(24) 登録日 平成29年9月1日(2017.9.1)

(51) Int.Cl.

F I

HO 1 L 41/257	(2013.01)	HO 1 L 41/257
HO 1 L 41/047	(2006.01)	HO 1 L 41/047
HO 1 L 41/29	(2013.01)	HO 1 L 41/29
HO 1 L 41/09	(2006.01)	HO 1 L 41/09
HO 1 L 41/31	(2013.01)	HO 1 L 41/31

請求項の数 15 (全 29 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2013-136668 (P2013-136668)
 (22) 出願日 平成25年6月28日(2013.6.28)
 (65) 公開番号 特開2015-12149 (P2015-12149A)
 (43) 公開日 平成27年1月19日(2015.1.19)
 審査請求日 平成28年6月7日(2016.6.7)

(73) 特許権者 000006747
 株式会社リコー
 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号
 (74) 代理人 100098626
 弁理士 黒田 壽
 (72) 発明者 三輪 圭史
 東京都大田区中馬込 1 丁目 3 番 6 号 株式
 会社リコー内
 審査官 安田 雅彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】電気機械変換素子の製造方法、電気機械変換素子、液滴吐出ヘッド、インクジェット記録装置及び液滴吐出装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板または下地膜上に第 1 の駆動電極を形成するステップと、
 前記第 1 の駆動電極上に電気機械変換膜を形成するステップと、
 前記電気機械変換膜上に複数の第 2 の駆動電極を形成するステップと、
 前記複数の第 2 の駆動電極上に第 1 の絶縁保護膜を形成するステップと、
 前記第 1 の駆動電極に電氣的に接続された配線と前記複数の第 2 の駆動電極それぞれに電氣的に接続された複数の配線とを前記第 1 の絶縁保護膜上に形成するステップと、
 前記第 1 の駆動電極に接続された前記配線上に端子電極を形成し、前記複数の第 2 の駆動電極に接続された前記複数の配線上それぞれに端子電極を形成し、前記複数の第 2 の駆動電極に接続された前記複数の配線を互いに導電接続する電極であって前記電気機械変換膜の分極処理に用いる電荷注入用電極を形成するステップと、
 前記配線上に、前記端子電極を露出させるための開口部と前記電荷注入用電極を露出させるための開口部とを有する第 2 の絶縁保護膜を形成するステップと、
 前記電荷注入用電極に、放電により発生した電荷を注入することにより、前記電気機械変換膜を分極処理するステップと、を有することを特徴とする電気機械変換素子の製造方法。

【請求項 2】

請求項 1 の電気機械変換素子の製造方法において、
 前記基板または下地膜上に形成した複数の電気機械変換素子を互いに分離して個別化する

10

20

るように切断するステップを有し、

前記電荷注入用電極を前記電気機械変換膜に対して前記端子電極よりも離れた位置に形成し、

前記電気機械変換素子を個別化するステップでは、前記端子電極と前記電荷注入用電極との間を切断することを特徴とする電気機械変換素子の製造方法。

【請求項 3】

請求項 2 の電気機械変換素子の製造方法において、

前記電気機械変換素子を個別化するステップは、前記端子電極と前記電荷注入用電極との間を完全に切断する切断位置よりも該端子電極側を前記基板の厚み方向の途中まで切断するステップを含むことを特徴とする電気機械変換素子の製造方法。

10

【請求項 4】

請求項 2 の電気機械変換素子の製造方法において、

前記電気機械変換素子を個別化するステップは、

前記端子電極と前記電荷注入用電極との間を切断刃により前記基板の厚み方向の途中まで切断するステップと、

前記切断刃よりも幅の狭い切断刃により前記基板の厚み方向の途中まで切断した位置を中心に完全に切断するステップと、を含むことを特徴とする電気機械変換素子の製造方法。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれかの電気機械変換素子の製造方法において、

前記分極処理を行うステップにおいて、放電により発生した電荷が正常電していることを特徴とする電気機械変換素子の製造方法。

20

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれかの電気機械変換素子の製造方法において、

前記分極処理を行うステップにおいて、放電により、 $1.0 \times 10^{-8} [C]$ 以上の電荷量を発生させることを特徴とする電気機械変換素子の製造方法。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれかの電気機械変換素子の製造方法により得られた電気機械変換素子。

【請求項 8】

請求項 7 の電気機械変換素子において、

前記電気機械変換膜の分極が、 $\pm 150 [kV/cm]$ の電界強度を掛けてヒステリシスループを測定する際、測定開始時の $0 [kV/cm]$ における分極を P_{ini} とし、 $+150 [kV/cm]$ の電圧印加後、 $0 [kV/cm]$ まで戻した際の $0 [kV/cm]$ 時の分極を P_r とした場合に、 P_r と P_{ini} との差が $10 [\mu C/cm^2]$ 以下であることを特徴とする電気機械変換素子。

30

【請求項 9】

請求項 7 又は 8 の電気機械変換素子において、

前記電気機械変換膜の比誘電率が、600 以上、2000 以下であることを特徴とする電気機械変換素子。

40

【請求項 10】

請求項 7 乃至 9 のいずれかの電気機械変換素子において、

前記第 1 の駆動電極に電気的に接続された前記配線と、前記複数の第 2 の駆動電極に電気的に接続された前記複数の配線とが、同一プロセス中に作製されることを特徴とする電気機械変換素子。

【請求項 11】

請求項 7 乃至 10 のいずれかの電気機械変換素子において、

前記配線が、Ag 合金、Cu、Al、Al 合金、Au、Pt、Ir のいずれかから成る金属材料で形成されていることを特徴とする電気機械変換素子。

【請求項 12】

50

請求項 7 乃至 11 のいずれかの電気機械変換素子において、

前記第 1 の絶縁保護膜及び前記第 2 の絶縁保護膜が、アルミナ膜、シリコン酸化膜、窒化シリコン膜及び酸化窒化シリコン膜のいずれかの無機膜であることを特徴とする電気機械変換素子。

【請求項 13】

液滴を吐出するノズルと、該ノズルが連通する加圧室と、該加圧室内の液体を昇圧させる吐出駆動手段とを備えた液滴吐出ヘッドにおいて、

前記吐出駆動手段として、前記加圧室の壁の一部を振動板で構成し、該振動板に請求項 7 乃至 12 のいずれかの電気機械変換素子を配置したことを特徴とする液滴吐出ヘッド。

【請求項 14】

請求項 13 の液滴吐出ヘッドを備えたインクジェット記録装置。

【請求項 15】

請求項 13 の液滴吐出ヘッドを備えた液滴吐出装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、電気機械変換素子の製造方法、電気機械変換素子、その電気機械変換素子を備えた液滴吐出ヘッド、その液滴吐出ヘッドを備えたインクジェット記録装置、及び、その液滴吐出ヘッドを備えた液滴吐出装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

従来、インクなどの液体の液滴を吐出するノズルと、このノズルに連通し液体を収容した液室（圧力室、加圧室、吐出室などとも称される。）と、液室内の液体を加圧するための電気機械変換素子としての圧電素子と、を備えた液滴吐出ヘッドが知られている。図 1 は液滴吐出ヘッドの一例を示す断面図である。図 1 において、液滴吐出ヘッド 10 は、インク滴を吐出するノズル 11 と、ノズル 11 が連通する加圧室 12（インク流路、加圧液室、圧力室、吐出室、液室等とも称される。）とを備えている。また、加圧室 12 内のインクを加圧する、電気機械変換膜 13、上部電極 14、下部電極 15 を有する電気機械変換素子（圧電素子）16 を備えている。また、電気機械変換素子 16 にかえて、ヒータなどの電気熱変換素子、もしくは加圧室 12 の壁面を形成する振動板とこれに対向する電極などを用いるものなども知られている。そして、電気機械変換素子 16 により加圧室 12 内のインクを加圧することによってノズル 11 からインク滴を吐出させる。

【0003】

上記電気機械変換素子（圧電素子）を構成する圧電体の結晶は、その圧電素子の作製直後の状態では図 2（a）に示すように分極の向きがランダムな状態となっている。その後、上記電圧印加を繰り返すことで、図 2（b）に示すように圧電体の結晶は分極の向きが揃ったドメインの集合体となってくる。この圧電体の結晶の分極の向きは、圧電素子の分極特性及びその圧電素子を用いた液滴吐出ヘッドの特性の安定化のため、液滴吐出ヘッドの使用開始時から揃っていることが好ましい。

【0004】

そこで、従来、液滴吐出ヘッドの使用開始前に、圧電素子の分極の向きを揃える分極処理を行う方法が提案されている。例えば、特許文献 1、2 には、圧電素子に実使用時の駆動電圧よりも大きいエージング電圧を圧電素子に印加するエージング工程を実施し、駆動電圧に対する圧電素子の変位量を安定化させる圧電素子の製造方法が開示されている。また、特許文献 3 には、圧電体の表面に間隙を介して対向するように、コロナ放電を発生させる電荷供給手段を配置し、そのコロナ放電により圧電体の表面に電荷を供給することにより、圧電体内に電界を発生させて分極処理（ポーリング処理）を行う方法が開示されている。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 5 】

しかしながら、上記特許文献 1、2 に開示されているエージング工程を実施する方法では、圧電素子を構成する駆動電極又はその駆動電極に接続された端子電極に直接接触させて上記エージング電圧を印加するためのプローブカードやそのプローブカードを駆動する駆動機構などを作製する必要があり、製造効率が悪く、コスト高になるおそれがある。また、コロナ電極を用いて複数の駆動電極又は端子電極に対して一括してエージング電圧を印加すると、コロナ電極から離れた端部の駆動電極又は端子電極に電荷が集中しやすく、複数の圧電素子の均一な分極処理ができなくなるおそれがある。さらに、電荷が集中する駆動電極又は端子電極に接続された圧電素子にクラックが発生するおそれもある。

【 0 0 0 6 】

10

また、上記特許文献 3 に開示されている方法では、圧電体が形成された後、その後の後工程（層間膜形成や引出配線形成）が行われる前に、圧電素子の表面が露出した状態で分極処理（ポーリング処理）を行う必要がある。そのため、分極処理（ポーリング処理）が実施された圧電素子に、高温（例えば 300 を超える温度）の熱処理を伴う後工程（層間膜形成や引出配線形成）が実施されることになる。従って、その後工程での熱履歴等による影響で圧電素子が脱分極し、例えば図 3 の P - E ヒステリシス特性に示すように、圧電素子における電気機械変換の特性が上記分極処理（ポーリング処理）の前の状態に戻ってしまう脱分極が発生するおそれがある。

【 0 0 0 7 】

本発明は以上の問題点に鑑みなされたものであり、その目的は、製造効率の向上を図りつつ、電気機械変換素子の分極特性のばらつきを低減するとともにクラック及び分極処理後の脱分極の発生を防止することができる電気機械変換素子の製造方法、電気機械変換素子、その電気機械変換素子を備えた液滴吐出ヘッド、及び、その液滴吐出ヘッドを備えた液滴吐出装置を提供することである。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

上記目的を達成するために、請求項 1 の発明は、基板または下地膜上に第 1 の駆動電極を形成するステップと、前記第 1 の駆動電極上に電気機械変換膜を形成するステップと、前記電気機械変換膜上に複数の第 2 の駆動電極を形成するステップと、前記複数の第 2 の駆動電極上に第 1 の絶縁保護膜を形成するステップと、前記第 1 の駆動電極に電氣的に接続された配線と前記複数の第 2 の駆動電極それぞれに電氣的に接続された複数の配線とを前記第 1 の絶縁保護膜上に形成するステップと、前記第 1 の駆動電極に接続された前記配線上に端子電極を形成し、前記複数の第 2 の駆動電極に接続された前記複数の配線上それぞれに端子電極を形成し、前記複数の第 2 の駆動電極に接続された前記複数の配線を互いに導電接続する電極であって前記電気機械変換膜の分極処理に用いる電荷注入用電極を形成するステップと、前記配線上に、前記端子電極を露出させるための開口部と前記電荷注入用電極を露出させるための開口部とを有する第 2 の絶縁保護膜を形成するステップと、前記電荷注入用電極に、放電により発生した電荷を注入することにより、前記電気機械変換膜を分極処理するステップと、を有することを特徴とするものである。

30

【発明の効果】

40

【 0 0 0 9 】

本発明によれば、製造効率の向上を図りつつ、電気機械変換素子の分極特性のばらつきを低減するとともにクラック及び分極処理後の脱分極の発生を防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 0 】

【図 1】液滴吐出ヘッドの概略構成断面図。

【図 2】(a)、(b)は圧電体結晶の電圧印加前後の分極状態の模式図。

【図 3】分極処理前、分極処理後及び 300 [] を超える熱履歴を与えた後の圧電体の電界強度と分極量との関係を示すヒステリシス曲線。

【図 4】本発明の一実施形態に係る電気機械変換素子の断面図。

50

【図 5】同電気機械変換素子の構成の説明図であって、(a)は断面図、(b)は上面図。

【図 6】分極処理の説明図。

【図 7】分極率を説明するグラフであって、(a)は分極処理を行っていないものについてヒステリシスループ、(b)は分極処理を行ったものについてヒステリシスループ。

【図 8】酸化チタン膜と白金膜とを成膜したシリコン基板上に、 SrRuO_3 膜を成膜した試料の X 線回折測定結果を示すグラフ。

【図 9】液滴吐出ヘッドの構成の一例を示す断面図。

【図 10】実施例 1 により作製した電気機械変換膜、第 2 の駆動電極をエッチングにより個別化した状態の説明図であって、(a)は断面図、(b)は上面図。

【図 11】実施例 1 によりウェハに形成したエージング処理用電極の説明図。

【図 12】実施例 3 によりウェハに形成したエージング処理用電極の説明図。

【図 13】比較例 1 により作成した電気機械変換素子の説明図。

【図 14】実施例 1 乃至 4 及び比較例 1, 2 とによりそれぞれ作製した電気機械変換素子を比較したグラフ。

【図 15】ウェハからの電気機械変換素子の切断方法について説明する説明図であり、(a)は上面図、(b)は断面図。

【図 16】ウェハからの電気機械変換素子の他の切断方法について説明する説明図であり、(a)は上面図、(b)はハーフカット後の断面図、(c)は完全にカットした後の断面図。

【図 17】本実施形態に係る液滴吐出装置の構成の一例を示す斜視図。

【図 18】同液滴吐出装置の機構部の側面図。

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下に、発明を実施するための形態について図面を用いて説明するが、本発明はこれらの例によって限定されるものではない。

本実施形態では、本発明の電気機械変換素子の製造方法の一例及びそれにより得られる電気機械変換素子について説明する。

【0012】

まず、本実施形態に係る電気機械変換素子の構成例について説明する。

図 4 は、本実施形態に係る電気機械変換素子を模式的に示した断面図である。図 4 に示すように、電気機械変換素子（圧電素子）30 は、基板 31 上に形成された成膜振動板（下地膜）32 上に形成され、第 1 の駆動電極 33、電気機械変換膜 34 及び第 2 の駆動電極 35 が積層された構造となっている。

【0013】

さらに絶縁保護膜、引き出し配線を備えた電気機械変換素子の構成について、図 5 を用いて説明する。図 5 (a) は断面図、図 5 (b) は上面図であり、図 5 (b) については圧電素子の構成が分かるように、一部の部材について第 2 の絶縁保護膜を透視して記載している。

【0014】

図 5 に示す電気機械変換素子においては、図 4 の場合と同様に、基板 31、成膜振動板 32 上に、第 1 の駆動電極 33、電気機械変換膜 34、第 2 の駆動電極 35 が積層されている。そして、電気機械変換膜 34、第 2 の駆動電極 35 は、第 2 の駆動電極を形成後にエッチングにより個別化されている。そして、第 2 の駆動電極は個別電極として機能し、第 1 の駆動電極 33 は、個別化された電気機械変換膜 34、第 2 の駆動電極 35 に対して共通電極として機能している。

【0015】

第 1 の駆動電極 33、第 2 の駆動電極 35 上には、図 5 (b) に示すようにコンタクトホール 45 を有する第 1 の絶縁保護膜 41 が設けられている。このコンタクトホール 45 は、第 1 の駆動電極 33、第 2 の駆動電極 35 と、後述する第 1 の配線 42、第 2 の配線

10

20

30

40

50

4 3 とがそれぞれ電氣的に接続できるように設けられたものである。そして、第 1 の絶縁保護膜 4 1 上には、第 1 の配線 4 2、第 2 の配線 4 3 が設けられており、上記のように第 1 の絶縁保護膜 4 1 に設けられたコンタクトホール 4 5 を介して、それぞれが第 1 の駆動電極 3 3、第 2 の駆動電極 3 5 と導通している。

【 0 0 1 6 】

さらに、第 1 の駆動電極 3 3 及びこれに導通する第 1 の配線 4 2 を共通電極、第 2 の駆動電極 3 5 及びこれに導通する第 2 の配線 4 3 を個別電極として、共通電極、個別電極を保護する第 2 の絶縁保護膜 4 4 が形成されている。この第 2 の絶縁保護膜 4 4 は、第 1 の配線 4 2、第 2 の配線 4 3 上（さらには第 1 の絶縁保護膜 4 1 上）に形成されている。また、第 2 の絶縁保護膜 4 4 には複数の開口部 4 8、4 9 が設けられ第 1 の端子電極としての共通電極用パッド 4 6、及び第 2 の端子電極としての個別電極用パッド 4 7 が露出している。さらに、第 2 の絶縁保護膜 4 4 にはエージング処理用開口部 5 0 が設けられており、第 2 の配線 4 3 同士を導通させたエージング処理用電極 5 1 が露出している。

【 0 0 1 7 】

前記複数のパッドのうち、共通電極用に作製されたもの、すなわち共通電極に接続されたものを共通電極用パッド 4 6、個別電極用に作製されたもの、すなわち個別電極に接続されたものを個別電極用パッド 4 7 としている。これらのパッドは上述したように例えば第 2 の絶縁保護膜 4 4 に開口部 4 8、4 9 を設けることにより外部に露出させることができる。

【 0 0 1 8 】

以上に説明した構成を有する電気機械変換素子は、以下の各工程（１）～（８）を行うことにより製造することができる。

（１）基板 3 1 または下地膜（成膜振動板）3 2 上に、第 1 の駆動電極 3 3 を形成する工程。ここで、第 1 の駆動電極 3 3 は、後述のように密着層を含むこともできる。

（２）第 1 の駆動電極 3 3 上に電気機械変換膜 3 4 を形成する工程。

（３）電気機械変換膜 3 4 上に第 2 の駆動電極 3 5 を形成する工程。

（４）電気機械変換膜 3 4 及び第 2 の駆動電極 3 5 をエッチングにより個別化する工程。この工程を行うことにより、第 2 の駆動電極 3 5 を個別電極とし、第 1 の駆動電極 3 3 は個別化された電気機械変換膜 3 4、第 2 の駆動電極 3 5 に対して共通電極として機能するようになる。

（５）第 1 の駆動電極 3 3 及び第 2 の駆動電極 3 5 上に第 1 の絶縁保護膜 4 1 を形成する工程。この工程の際、第 1 の駆動電極 3 3、第 2 の駆動電極 3 5 と、後述する第 1 の配線 4 2、第 2 の配線 4 3 とをそれぞれ電氣的に接続するため、第 1 の絶縁保護膜 4 1 にコンタクトホール 4 5 を形成することができる。

（６）第 1 の駆動電極 3 3 及び第 2 の駆動電極 3 5 にそれぞれ電氣的に接続された第 1 の配線 4 2 及び第 2 の配線 4 3 を第 1 の絶縁保護膜 4 1 上に形成する工程。

（７）第 1 の配線 4 2 及び第 2 の配線 4 3 上に第 1 の配線 4 2 または第 2 の配線 4 3 に接続するための複数の端子電極としてのパッド 4 6、4 7 及びエージング処理用電極 5 1 を形成する工程。

（８）第 1 の配線 4 2 及び第 2 の配線 4 3 上に第 2 の絶縁保護膜 4 4 を形成する工程。ここで、第 1 の配線 4 2 と第 2 の配線 4 3 とは、上記工程の中で別のプロセスとして製造することもできるが、同一プロセス中に形成されることが生産性の観点から好ましい。

【 0 0 1 9 】

また、複数のパッド 4 6、4 7 は第 2 の絶縁保護膜 4 4 に開口部 4 8、4 9 を設けることにより外部に露出させることができる。同様に、エージング処理用電極 5 1 は第 2 の絶縁保護膜 4 4 にエージング処理用開口部 5 0 を設けることにより外部に露出させることができる。

【 0 0 2 0 】

本実施形態に係る電気機械変換素子 3 0 の製造方法では、図 5（a）、（b）に示した、第 2 の配線 4 3 同士を導通させたエージング処理用電極 5 1 に対してコロナ放電もしく

10

20

30

40

50

はグロー放電を行う。この放電により、 1.0×10^{-8} [C] 以上の電荷量を発生させ、前記パッドを介して、発生した電荷を注入することにより、電気機械変換素子 30 における電気機械変換膜 34 の分極処理を行う工程を行う。

【0021】

上記分極処理を行う工程においては、コロナ放電もしくはグロー放電によって、上記所定量以上の電荷量を発生させ、発生した電荷を複数の個別電極用パッド 47 を介して電気機械変換膜 34 に注入するものである。この際、コロナ放電またはグロー放電により発生した電荷が正帯電していることが好ましい。

【0022】

例えば、図 6 に示すように放電電極としてのコロナワイヤー 52 を用いてコロナ放電させる場合には、大気中の分子をイオン化させることで、陽イオンを発生させる。この陽イオンは、ステージ 53 上に設置された電気機械変換素子 30 のエージング処理用電極 51 を介して、電気機械変換素子 30 に流れ込んで正極性の電荷が蓄積され、電気機械変換膜 34 の分極処理が行われる。なお、コロナワイヤー 52 と電気機械変換素子 30 との間に放電制御用電極としてのグリッド電極を配置し、そのグリッド電極に放電制御用の電圧を印加してもよい。

【0023】

ここで、分極処理に必要な電荷量 Q を考えると 1.0×10^{-8} [C] 以上の電荷量が蓄積される（発生させる）ことが好ましく、 4.0×10^{-8} [C] 以上の電荷量が蓄積される（発生させる）ことがさらに好ましい。電荷量 Q が上記の値に満たない場合は、電気機械変換膜（例えば PZT 膜）34 の分極処理が十分に行えない場合があり、圧電アクチュエータとして連続駆動後の変位劣化について十分な特性が得られない場合があるためである。

【0024】

上記分極処理を行う工程においては、作製された電気機械変換素子（圧電素子）30 に対して、コロナ放電もしくはグロー放電を行い、発生した電荷についてエージング処理用電極 51 を介して注入することにより、分極処理を実施している。

【0025】

上記分極処理の状態については、P-E ヒステリシスループから判断することができる。

【0026】

図 7 (a) は図 2 で説明した分極処理を行っていないものについてヒステリシスループを測定したものであり、図 7 (b) は分極処理を行ったものについてヒステリシスループを測定したものである。

【0027】

図 7 (a)、(b) に示すように ± 150 [kV/cm] の電界強度をかけてヒステリシスループを測定する。最初の 0 [kV/cm] 時の分極を P_{ini} とし、 $+150$ [kV/cm] の電圧印加後 0 [kV/cm] まで戻したときの 0 [kV/cm] 時の分極を P_r とする。

【0028】

このとき、 P_r と P_{ini} との差、すなわち $P_r - P_{ini}$ の値を分極率として定義し、この分極率から分極状態の良し悪しを判断することができる。ここで図 7 (b) に示したように、分極率 $P_r - P_{ini}$ は 10 [$\mu\text{C}/\text{cm}^2$] 以下となっていることが好ましく、 5 [$\mu\text{C}/\text{cm}^2$] 以下となっていることがさらに好ましい。これは、この値に満たない電気機械変換膜（例えば PZT 膜）34 を用いて圧電アクチュエータを形成した場合、連続駆動後の変位劣化について十分な特性が得られない場合があるためである。

【0029】

すなわち、上記した製造方法により得られた電気機械変換素子 30 は、 ± 150 [kV/cm] の電界強度をかけてヒステリシスループを測定する。測定開始時の 0 [kV/cm] における分極を P_{ini} とし、 $+150$ [kV/cm] の電圧印加後、0 [kV/cm]

10

20

30

40

50

m]まで戻した際の0[kV/cm]時の分極を P_r とする。この場合に、 P_r と P_{ini} との差が $10[\mu C/cm^2]$ 以下であることが好ましく、 $5[\mu C/cm^2]$ 以下であることがより好ましい。

【0030】

また、上記した製造方法により得られた電気機械変換素子30は、電気機械変換膜34の比誘電率が600以上2000以下であることが好ましい。

【0031】

以下に、本実施形態の電気機械変換素子を構成する材料、工法について具体的に説明する。

【0032】

(基板)

基板31としてはその材質は特に限定されるものではないが、シリコン単結晶基板を用いることが好ましい。そして、その厚さとしては、 $100\sim600[\mu m]$ の厚みを持つことが好ましい。

【0033】

シリコン単結晶基板の面方位としては、(100)、(110)、(111)の3種類があるが、半導体産業では一般的に(100)、(111)が広く使用されている。本構成においては、(100)の面方位をもつシリコン単結晶基板を好ましく使用することができる。また、本実施形態における電気機械変換素子30においては、(110)面方位をもった単結晶基板も好ましく用いることができる。

【0034】

基板31に図1に示した圧力室を作製する場合、一般的にエッチングを利用してシリコン単結晶基板の加工が行われるが、この場合のエッチング方法としては、異方性エッチングを用いることが一般的である。

【0035】

異方性エッチングとは結晶構造の面方位に対してエッチング速度が異なる性質を利用したものである。例えば、KOH等のアルカリ溶液に浸漬させた異方性エッチングでは、(100)面に比べて(111)面は約 $1/400$ 程度のエッチング速度となる。従って、面方位(100)では約 $54[^\circ]$ の傾斜を持つ構造体を作製できるのに対して、面方位(110)では深い溝を掘ることができるため、より剛性を保ちつつ、配列密度を高くすることができる。このため、異方性エッチングを利用して圧力室等を作製する場合、(110)の面方位を有するシリコン単結晶基板を使用することも可能である。ただし、この場合には、マスク材である SiO_2 もエッチングされてしまうおそれがあるため、これに留意して利用することが望ましい。

【0036】

(下地膜(振動板))

図1に示すように電気機械変換膜13によって発生した力を受けて、下地膜(振動板)17が変形変位して、加圧室12のインク滴を吐出させる。そのため、下地膜17としては所定の強度を有したものであることが好ましい。

【0037】

下地膜17を構成する材料としては変形変位して加圧室12のインク滴を吐出できるものであればよく、要求される耐久性等に応じて任意に選択することができるが、例えば、 Si 、 SiO_2 、 Si_3N_4 を用いることができる。これらの材料を用いる場合、CVD(Chemical Vapor Deposition)法により作製することができる。

【0038】

また、下地膜(振動板)17としては、第1の駆動電極(下部電極)15、電気機械変換膜13の線膨張係数に近い材料を選択することが好ましい。特に、電気機械変換膜13としては、一般的に材料としてPZTが使用されることから、PZTの線膨張係数 $8\times10^{-6}(1/K)$ に近い線膨張係数を有するものが好ましい。具体的には、 $5\times10^{-6}($

10

20

30

40

50

$1/K$)以上 $10 \times 10^{-6} (1/K)$ 以下の範囲の線膨張係数を有した材料であることが好ましく、さらには $7 \times 10^{-6} (1/K)$ 以上 $9 \times 10^{-6} (1/K)$ 以下の範囲の線膨張係数を有した材料がより好ましい。

【0039】

この場合、具体的な材料としては、酸化アルミニウム、酸化ジルコニウム、酸化イリジウム、酸化ルテニウム、酸化タンタル、酸化ハフニウム、酸化オスミウム、酸化レニウム、酸化ロジウム、酸化パラジウム及びそれらの化合物等が挙げられる。これらの材料をスパッタ法もしくは、ゾルゲル法を用いてスピコーターにて作製することができる。

【0040】

膜厚としては特に限定されるものではないが、 $0.1 [\mu m]$ 以上 $10 [\mu m]$ 以下の範囲が好ましく、 $0.5 [\mu m]$ 以上 $3 [\mu m]$ 以下の範囲がさらに好ましい。この範囲より小さいと図1に示すような加圧室12の加工が難しい場合があり、この範囲より大きいと下地膜17が変形変位しにくくなり、インク滴の吐出が不安定になる場合があるためである。

【0041】

(第1の駆動電極)

例えば図1に示す、第1の駆動電極15としては特に限定されるものではないが、金属または金属と酸化物とから構成されていることが好ましい。具体的には、第1の駆動電極15としては例えば、金属電極膜から構成することができる。また、金属電極膜と酸化物電極膜とから構成することもできる。

【0042】

第1の駆動電極15がいずれの材料からなる場合でも、振動板17と金属膜との間に密着層を形成し、剥がれ等を抑制するように工夫することが好ましい。以下に密着層を含めて金属電極膜、酸化物電極膜の詳細について記載する。

【0043】

密着層としては、例えば、金属膜を成膜後、RTA (Rapid Thermal Annealing) 装置を用いて、RTA法により酸化(熱酸化)して酸化膜とすることにより得ることができる。酸化(熱酸化)を行う際の条件としては特に限定されるものではなく、用いる金属膜の材質等により選択することができる。例えば、 $650 \sim 800 [^\circ C]$ で、 $1 \sim 30$ 分間、 O_2 雰囲気中で金属膜を熱酸化することにより形成することができる。

【0044】

金属膜は例えばスパッタ法により成膜することができる。金属膜の材料としてはTi、Ta、Ir、Ru等の材料を好ましく用いることができ、中でもTiを好ましく用いることができる。

【0045】

金属酸化物膜は反応性スパッタにより作製してもよいが、金属膜の高温による熱酸化法が望ましい。これは、反応性スパッタにより作製する場合、例えばシリコン基板などの基板も一緒に高温で加熱する必要があるため、特別なスパッタチャンバ構成を必要となり、コスト上好ましくないためである。また、一般の炉による酸化よりも、RTA装置による酸化の方が金属酸化物膜の結晶性が良好になることが挙げられる。これは、チタン膜を例に説明すると、通常の加熱炉による酸化によれば、酸化しやすいチタン膜は、低温においてはいくつかの結晶構造を作るため、一旦、それを壊す必要が生じる。これに対して、昇温速度の速いRTA法による酸化ではそのような過程を経る必要がなく、良好な結晶を形成することが可能になる。

【0046】

密着層の膜厚としては、特に限定されるものではないが、 $10 [nm]$ 以上 $50 [nm]$ 以下の範囲が好ましく、 $15 [nm]$ 以上 $30 [nm]$ 以下の範囲がさらに好ましい。膜厚が上記範囲よりも薄い場合においては、振動板、第1の駆動電極との密着性が悪くなる場合がある。また、膜厚が上記範囲よりも厚いとその上に作製する第1の駆動電極の膜

10

20

30

40

50

の結晶の質に影響が出てくる場合がある。このため、上記範囲を選択することが好ましい。

【0047】

金属電極膜の金属材料としては従来から高い耐熱性と低い反応性を有する白金を用いることができる。なお、白金は鉛に対して十分なバリア性を有しない場合があるため、イリジウム、白金 - ロジウムなどの白金族元素や、これら合金も用いることができる。

【0048】

また、金属電極膜の金属材料として白金を使用する場合には、下地（特に SiO_2 ）との密着性が悪いために、上記密着層を先に積層することが好ましい。

【0049】

金属電極膜の作製方法としては特に限定されるものではないが、例えばスパッタ法や真空蒸着等の真空成膜を用いることができる。

【0050】

金属電極膜の膜厚としては要求される性能に応じて選択すればよく、限定されるものではないが、例えば $80[\text{nm}] \sim 200[\text{nm}]$ であることが好ましく、 $100[\text{nm}] \sim 150[\text{nm}]$ であることがより好ましい。上記範囲より薄い場合においては、共通電極として十分な電流を供給することができない場合があり、インク吐出をする際に不具合が発生する場合があるため好ましくない。また、上記範囲より厚い場合、特に金属電極膜の金属材料として白金族元素の高価な材料を使用する場合には、コスト上問題となる点が挙げられる。また、特に金属材料として白金を用いた場合、膜厚を厚くしていったときに表面粗さが大きくなる。すると、その上に作製する膜（例えば酸化物電極膜や電気機械変換膜）の表面粗さや結晶配向性に影響を及ぼして、インク吐出に十分な変位が得られないような不具合が発生する場合がある。

【0051】

酸化物電極膜の材料としては、ルテニウム酸ストロンチウム（ SrRuO_3 、以下単に「 SRO 」とも記載する。）を用いることが好ましい。また、ルテニウム酸ストロンチウムの一部を置換した材料、具体的には、 $\text{Sr}_x\text{Al}_{1-x}\text{Ru}_y\text{B}_{1-y}\text{O}_3$ （式中、 A は Ba 、 Ca 、 B は Co 、 Ni 、 $x, y = 0 \sim 0.5$ ）で表される材料についても好ましく用いることができる。

【0052】

酸化物電極膜の成膜方法については例えばスパッタ法により作製することができる。スパッタ条件については限定されるものではないが、スパッタ条件によって酸化物膜の膜質が変化するため、要求される結晶配向性等により選択することができる。

【0053】

例えば、後述する電気機械変換膜34は、連続動作したときの変位特性劣化を抑えるためにはその結晶性としては（111）面方位に配向していることが好ましい。このような電気機械変換膜34を得るためには、その下層に配置した酸化物電極膜についても（111）面方位に配向していることが好ましい。このため、酸化物電極膜は（111）面方位に優先配向していることが好ましい。

【0054】

そして、酸化物電極膜について（111）面方位に優先配向した膜を得るために、 $500[\text{Å}]$ 以上に基板加熱を行い、これにスパッタ法により酸化物電極膜を成膜することが好ましい。

【0055】

また、酸化物電極膜の下層に金属電極膜を設ける場合、該金属電極膜は白金膜からなることが好ましい。また、その面方位として、（111）面方位に配向していることが好ましい。これは、その上に成膜する酸化物電極膜についても（111）面方位に優先配向したものが得やすくなるためである。

【0056】

例えば特許文献4には、 SRO 膜の成膜条件として、 SRO を室温で成膜後、 RTA 処

10

20

30

40

50

理にて結晶化温度で熱酸化するとされている。この場合、SRO膜としては、十分結晶化され、電極としての比抵抗としても十分な値が得られるが、膜の結晶配向性としては、(110)が優先配向しやすくなり、その上に例えばPZT膜を成膜した場合、このPZT膜についても(110)配向しやすくなる。このため、本実施形態においてSRO膜を形成する場合には、上記成膜条件により成膜することが好ましい。

【0057】

ここで、例えば金属電極膜として(111)面方位に配向した白金膜を用い、その上に酸化物電極膜であるSrRuO₃膜を作製した場合に、酸化物電極の結晶性をX線回折測定により評価する方法について説明する。

【0058】

PtとSrRuO₃とは格子定数が近いので、通常のX線回折測定における2θ測定では、SRO膜の(111)面とPtの(111)面の2θ位置が重なってしまい判別が難しい。しかし、Ptについては消滅則の関係からP_{hkl} = 35 [°]に傾けた場合、2θが約32 [°]付近の位置では回折線が打ち消し合い、Ptの回折強度が見られなくなる。そのため、P_{hkl}方向を約35 [°]傾けて、2θが約32 [°]付近のピーク強度で判断することでSROが(111)面方位に優先配向しているかを確認することができる。

【0059】

図8に、シリコン基板上に、密着層として酸化チタン膜を成膜した後、(111)面方位に配向している白金膜を成膜し、その上に基板を例えば550 [°]に加熱しながら、スパッタ法によりSrRuO₃膜を成膜した試料のX線回折測定結果を示す。

【0060】

図8においては、2θ = 32 [°]に固定し、P_{hkl}を変化させたときのデータを示している。P_{hkl} = 0 [°]ではSROの(110)面の回折線はほとんど回折強度が見られず、P_{hkl} = 35 [°]付近において、回折強度が見られることから、この測定方法によりSROが(111)面方位に優先配向していることが確認できる。また、この結果から、本成膜条件にて作製したものについては、SROが(111)面方位に優先配向していることを確認できた。

【0061】

また、上述記載のSRO膜を室温で成膜後、RTA処理することにより作製されたSRO膜について同様に評価を行ったところ、P_{hkl} = 0 [°]のときにSRO(110)の回折強度が見られた。

【0062】

圧電アクチュエータとして連続動作したときに、駆動させた後の変位量が、初期変位に比べてどのくらい劣化したかを見積もったところ、電気機械変換膜(例えばPZT膜)34の配向性が非常に影響しており、(110)では変位劣化抑制において不十分な場合がある。このため、上述のように酸化物電極膜は(111)面方位に配向していることが好ましい。

【0063】

酸化物電極に用いるSrRuO₃膜の表面粗さは4 [nm]以上、15 [nm]以下であることが好ましく、6 [nm]以上、10 [nm]以下であることがさらに好ましい。なお、ここでの表面粗さについてはAFMにより測定される表面粗さ(平均粗さ)を意味している。

【0064】

SrRuO₃膜の表面粗さは成膜温度に影響し、室温から300 [°]に基材を加熱して成膜した場合、表面粗さが非常に小さく2 [nm]以下になる。この場合、表面粗さとしては、非常に小さくフラットになっているが、SrRuO₃膜の結晶性は十分でない場合がある。この様にSrRuO₃膜の結晶性が十分でない場合、その後に成膜する電気機械変換膜(例えばPZT膜)を有する圧電アクチュエータが初期変位や連続駆動後の変位劣化について十分な特性が得られなくなる。

10

20

30

40

50

【 0 0 6 5 】

そこで、成膜条件からみて、 SrRuO_3 膜の結晶性を悪化させずに得られる表面粗さを検討したところ上記範囲となることから、上記範囲を有することが好ましい。

【 0 0 6 6 】

上記範囲からはずれた場合、 SrRuO_3 膜の結晶性を悪化する場合があり、その後成膜する電気機械変換膜の絶縁耐圧が悪化し、リークしやすくなる場合があるため好ましくない。

【 0 0 6 7 】

そして、上述のような、結晶性や表面粗さを有する SrRuO_3 膜を得るためには、成膜条件（温度）としては $500 [\quad] \sim 700 [\quad]$ 、好ましくは $520 [\quad] \sim 600 [\quad]$ の範囲に基板を加熱して、スパッタ法により成膜することが好ましい。

10

【 0 0 6 8 】

成膜後の Sr と Ru の組成比については特に限定されるものではなく、要求される導電性等により選択されるが、 Sr / Ru が 0.82 以上、 1.22 以下であることが好ましい。これは、上記範囲から外れると比抵抗が大きくなり、電極として十分な導電性が得られなくなる場合があるためである。

【 0 0 6 9 】

さらに、酸化物電極として SRO 膜の膜厚としては、 $40 [\text{nm}]$ 以上、 $150 [\text{nm}]$ 以下であることが好ましく、 $50 [\text{nm}]$ 以上、 $80 [\text{nm}]$ 以下であることがさらに好ましい。上記膜厚範囲よりも薄いと初期変位や連続駆動後の変位劣化については十分な特性が得られない場合がある。また、電気機械変換膜のオーバーエッチングを抑制するためのストップエッチング層としての機能も得られにくくなる。さらに、上記膜厚範囲を超えると、その後成膜した PZT の絶縁耐圧が悪くなり、リークしやすくなる場合があるためである。

20

【 0 0 7 0 】

酸化物電極の比抵抗としては、 $5 \times 10^{-3} [\quad \cdot \text{cm}]$ 以下になっていることが好ましく、さらに $1 \times 10^{-3} [\quad \cdot \text{cm}]$ 以下になっていることがさらに好ましい。この範囲よりも大きくなると第1の配線との界面で接触抵抗が十分得られず、共通電極として十分な電流を供給することができず、インク吐出をする際に不具合が発生する場合があるためである。

30

【 0 0 7 1 】

（電気機械変換膜）

電気機械変換膜 34 としては、圧電性を有する材料であれば使用することができ、特に限定されるものではない。例えば、広く用いられている PZT を好ましく使用することができる。なお、 PZT とは、ジルコン酸鉛 (PbZrO_3) とチタン酸鉛 (PbTiO_3) の固溶体で、その比率により特性が異なるが、その比率についても限定されるものではなく、要求される圧電性能等に応じて選択することができる。中でも PbZrO_3 と PbTiO_3 との比率（モル比）が $53 : 47$ の割合で、化学式で示すと $\text{Pb}(\text{Zr}_{0.53}, \text{Ti}_{0.47})\text{O}_3$ で表わされる PZT ($\text{PZT}(53/47)$ と示される) は、特に優れた圧電特性を示すことから好ましく用いることができる。

40

【 0 0 7 2 】

PZT 以外の材料として、チタン酸バリウムも用いることができる。この場合はバリウムアルコキシド、チタンアルコキシド化合物を出発材料にし、共通溶媒に溶解させることでチタン酸バリウム前駆体溶液を作製することも可能である。

【 0 0 7 3 】

また、上記 PZT や、チタン酸バリウムは一般式 ABO_3 で表わされる。 PZT 、チタン酸バリウム以外にも ABO_3 ($\text{A} = \text{Pb}, \text{Ba}, \text{Sr}, \text{B} = \text{Ti}, \text{Zr}, \text{Sn}, \text{Ni}, \text{Zn}, \text{Mg}, \text{Nb}$) で表わされる複合酸化物を主成分とする複合酸化物を用いることができる。

【 0 0 7 4 】

50

さらに、 $(Pb_{1-x}, Ba_x)(Zr, Ti)O_3$ 、 $(Pb_{1-x}, Sr_x)(Zr, Ti)O_3$ の様に A サイトの Pb を一部 Ba や Sr で置換した複合酸化物も使用することができる。置換に用いる元素としては 2 価の元素であれば可能であり、Pb の一部を 2 価の元素で置換することにより電気機械変換膜を成膜する際に熱処理を行った場合に鉛の蒸発による特性劣化を低減させる効果がある。

【0075】

電気機械変換膜 34 の作製方法としては、特に限定されるものではないが、例えばスパッタ法や、ゾルゲル法を用いてスピンコーターにて作製することができる。そして、成膜後、フォトリソグラフィ技術とエッチング技術とを用いるパターン形成方法（以下、「リソエッチ法」という。）等によりパターンニングを行い、所望のパターンを得ることができる。

10

【0076】

PZT からなる電気機械変換膜 34 をゾルゲル法により作製する場合を例に説明する。

酢酸鉛、ジルコニウムアルコキシド、チタンアルコキシド化合物を出発材料とし、共通溶媒としてメトキシエタノールを用い、上記出発原料が所定比になるように共通溶液に溶解させ均一溶液とすることで、PZT 前駆体溶液を作製する。なお、金属アルコキシド化合物は大気中の水分により容易に加水分解してしまうので、前駆体溶液に安定剤としてアセチルアセトン、酢酸、ジエタノールアミンなどの安定化剤を適量、添加しておくこともできる。また、鉛成分は成膜工程で熱処理を行う際に蒸発することがあるので、量論比よりも多めに添加しておくこともできる。

20

【0077】

下地基板全面に PZT 膜を得る場合、スピンコートなどの溶液塗布法により塗膜を形成し、溶媒乾燥、熱分解、結晶化の各々の熱処理を施すことで PZT 膜を得ることができる。塗膜から結晶化膜への変態には体積収縮が伴うので、クラックのない膜を得るには一度の工程で 100 [nm] 以下の膜厚が得られるように前駆体濃度の調整を行うことが好ましく、成膜工程を繰り返し行うことで所望の膜厚の PZT 膜を得ることができる。

【0078】

なお、チタン酸バリウム膜の場合であれば、例えば、バリウムアルコキシド、チタンアルコキシド化合物を出発材料にし、共通溶媒に溶解させることでチタン酸バリウム前駆体溶液を作製する。そして、これを用いて例えば上記 PZT の場合と同様の手順でゾルゲル法により成膜することが可能である。

30

【0079】

電気機械変換膜 34 の膜厚としては限定されるものではなく、要求される圧電特性に応じて選択すればよいが、0.5 [μm] 以上、5 [μm] 以下であることが好ましく、1 [μm] 以上、2 [μm] 以下であることがより好ましい。これは、上記範囲より薄いと圧電アクチュエータとして使用する際に十分な変位を発生することができない場合があるためである。また、上記範囲より厚いと、その製造工程において何層も積層させて成膜するため、工程数が多くなりプロセス時間が長くなるためである。

【0080】

また、電気機械変換膜 34 の比誘電率としては 600 以上、2000 以下になっていることが好ましく、さらに 1200 以上、1600 以下になっていることがより好ましい。比誘電率が係る範囲より小さいと、圧電アクチュエータとして使用する際に十分な変位特性が得られない場合がある。また、比誘電率が係る範囲より大きくなると、分極処理が十分行われず、連続駆動後の変位劣化については十分な特性が得られないといった不具合が発生する場合がある。

40

【0081】

（第 2 の駆動電極）

第 2 の駆動電極 35 としては特に限定されるものではないが、金属または酸化物と金属からなっていることが好ましい。具体的には、第 2 の駆動電極 35 としては例えば、金属電極膜から構成することができる。また、金属電極膜と酸化物電極膜から構成することも

50

できる。

【0082】

以下に酸化物電極膜、金属電極膜の詳細について記載する。

酸化物電極膜の材料等については、第1の駆動電極の酸化物電極膜で説明したものと同様である。酸化物電極膜の膜厚としては、20[nm]以上、80[nm]以下が好ましく、40[nm]以上、60[nm]以下がより好ましい。これは、この膜厚範囲よりも薄い初期変位や変位劣化特性については十分な特性が得られない場合があり、この範囲を超えると、電気機械変換膜の絶縁耐圧が非常に悪くなり、リークしやすくなる場合があるためである。

【0083】

金属電極膜の材料等については第1の駆動電極の金属電極膜で説明したものと同様である。金属電極膜の膜厚としては、30[nm]以上200[nm]以下が好ましく、50[nm]以上120[nm]以下がさらに好ましい。これは、この膜厚範囲より薄い個別電極として十分な電流を供給することができなくなり、インク吐出をする際に不具合が発生する場合があるためである。また、この膜厚範囲より厚い場合においては、金属電極膜の材料として白金族元素の高価な材料を使用する場合においては、コストアップとなる点で問題である。また、白金を材料とした場合においては、膜厚を厚くしていったときに表面粗さが大きくなり、第1の絶縁保護膜を介して第2の配線を作製する際に、膜剥がれ等の不具合が発生しやすくなる場合があるためである。

【0084】

(第1の絶縁保護膜)

第1の絶縁保護膜41は、成膜・エッチングの工程による圧電素子へのダメージを防ぐとともに、大気中の水分が透過することを防止する機能を有することが好ましい。このため、その材料としては緻密な無機材料とすることが好ましい。有機材料の場合、十分な保護性能を得るためには膜厚を厚くする必要があるが、絶縁膜を厚い膜とした場合、振動板の振動変位を阻害し、吐出性能の低い液滴吐出ヘッドとなる場合があるためである。

【0085】

薄膜で高い保護性能を得るには、酸化物、窒化物、炭化物の薄膜を用いることが好ましいが、絶縁膜の下地となる、電極材料、電気機械変換膜材料、振動板材料と密着性が高い材料を選定することが好ましい。具体的には、第1の絶縁保護膜41としては例えば、アルミナ膜、シリコン酸化膜、窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜から選択される少なくとも1種の無機膜からなることが好ましい。より具体的には、 Al_2O_3 、 ZrO_2 、 Y_2O_3 、 Ta_2O_3 、 TiO_2 などのセラミクス材料に用いられる酸化膜が例として挙げられる。これらの膜は、密着性がよく、膜が硬く、しかも耐磨耗性やコストパフォーマンスに優れている。

【0086】

また、第1の絶縁保護膜41の成膜法も圧電素子を損傷する可能性が低い成膜方法であることが好ましく、例えば、蒸着法、原子層堆積(ALD: Atomic Layer Deposition)法などを好ましく用いることができ、使用できる材料の選択肢が広いALD法をより好ましく用いることができる。特にALD法を用いることで、膜密度の非常に高い薄膜を作製することができ、プロセス中でのダメージを抑制することが可能になる。

【0087】

そして、反応性ガスをプラズマ化して基板上に堆積するプラズマCVD法やプラズマをターゲット材に衝突させて飛ばすことで成膜するスパッタリング法は圧電素子を損傷する可能性が蒸着法、ALD法に比べて高いため好ましくない。

【0088】

第1の絶縁保護膜41の膜厚は、圧電素子を保護するために十分な厚さの薄膜であり、かつ、振動板の変位を阻害しないように可能な限り薄いものであればよく、特に限定されるものではない。例えば、第1の絶縁保護膜の膜厚としては20[nm]~100[nm]

10

20

30

40

50

】の範囲であることが好ましい。100[nm]より厚い場合は、振動板の変位が低下するため、吐出効率の低い液滴吐出ヘッド（インクジェットヘッド）となる場合がある。一方、20[nm]より薄い場合は圧電素子の保護層としての機能が十分ではない場合があり、圧電素子の性能が低下する恐れがある。

【0089】

また、第1の絶縁保護膜41としてさらにもう1層設けて、2層にする構成も考えられる。この場合、例えば2層目の絶縁保護膜を厚くして振動板の振動変位を阻害しないように第2の駆動電極部付近において2層目の絶縁膜を開口するような構成としてもよい。

【0090】

2層目の絶縁保護膜としては、任意の酸化物、窒化物、炭化物またはこれらの複合化合物を用いることができる。例えば、半導体デバイスで一般的に用いられるSiO₂を用いることができる。

【0091】

2層目の絶縁保護膜の成膜方法としては任意の手法を用いることができ、CVD法、スパッタリング法が挙げられる。電極形成部等のパターン形成部の段差被覆を考慮すると等方的に成膜できるCVD法を用いることが好ましい。

【0092】

2層目の絶縁保護膜の膜厚は、共通電極と個別電極配線との間に印加される電圧で絶縁破壊されないように選択することが好ましい。すなわち絶縁膜に印加される電界強度を、絶縁破壊しない範囲に設定することが好ましい。さらに、2層目の絶縁膜の下地の表面性やピンホール等を考慮すると膜厚は200[nm]以上であることが好ましく、500[nm]以上であることがさらに好ましい。

【0093】

（第1、第2の配線）

第1の配線42、第2の配線43は、第1の駆動電極33、前記第2の駆動電極35にそれぞれ電氣的に接続されており、第1の絶縁保護膜41上に形成されている。

【0094】

第1の配線42、及び、第2の配線43の材質は特に限定されるものではなく、要求される性能等に応じて選択すればよいが、例えば、Ag合金、Cu、Al、Al合金、Au、Pt、Irから選択される少なくとも1種の金属からなることが好ましい。これらの金属は、基板上に低抵抗で耐久性のある電極を成膜することができる。

【0095】

第1の配線42、第2の配線43の作製方法としては、例えば、スパッタ法、スピンコート法を用いて作製し、その後、前述のリソエッチ法等により所望のパターンを得る方法を好ましく用いることができる。

【0096】

第1の配線42、第2の配線43の膜厚としては、0.1[μm]～20[μm]が好ましく、0.2[μm]～10[μm]がさらに好ましい。膜厚が上記範囲より小さいと抵抗が大きくなり電極に十分な電流を流すことができずに液滴吐出ヘッドとした場合に液滴の吐出が不安定になる場合がある。また、膜厚が上記範囲より大きいとプロセス時間が長くなり生産性の面で問題となる場合がある。

【0097】

また、第1の配線42のうち、開口部（コンタクトホール部）48から露出している部分が共通電極用パッド46となる。また、第2の配線43のうち、開口部（コンタクトホール部）49から露出している部分が個別電極用パッド47となる。これらのパッド46、47の開口部（コンタクトホール部、10[μm]×10[μm]）48、49での接触抵抗は、共通電極用パッド46の接触抵抗としては10[]以下が好ましく、個別電極用パッド47の接触抵抗としては1[]以下が好ましい。さらに、共通電極用パッド46の接触抵抗としては5[]以下、個別電極用パッド47の接触抵抗としては0.5[]以下であることがより好ましい。これは、上記各パッド46、47の開口部（コン

タクトホール部) 48、49での接触抵抗が上記範囲を超えると十分な電流を供給することができなくなり、液滴吐出ヘッドとした場合に、液滴の吐出をする際に不具合が発生する場合があるためである。

【0098】

また、第2の配線43と一体的にエージング処理用電極51を形成してもよい。このエージング処理用電極51は、第2の絶縁保護膜44に形成されたエージング処理用開口部50から露出している。また、エージング処理用電極51の接触抵抗としては1[]以下が好ましく、さらにエージング処理用電極51の接触抵抗としては0.5[]以下であることがより好ましい。これは、エージング処理用電極51での接触抵抗が上記範囲を超えると十分な電流を供給することができなくなり、分極処理時に、電気機械変換膜34に十分な電荷注入が行えないおそれがあるためである。

10

【0099】

(第2の絶縁保護膜)

第2の絶縁保護膜44は個別電極配線や共通電極配線の保護層の機能を有するパッシベーション層として機能するものである。

【0100】

図5(a)に示す通り、個別電極引き出し部と、図示しないが共通電極引き出し部を除き、個別電極と共通電極上を被覆する。このように第2の絶縁保護膜44を設けることにより、電極材料として安価なA1もしくはA1を主成分とする合金材料を用いることができる。その結果、低コストかつ信頼性の高いインクジェットヘッドとすることができる。

20

【0101】

第2の絶縁保護膜44の材料としては、任意の無機材料、有機材料を使用することができるが、透湿性の低い材料を用いることが好ましい。

【0102】

無機材料としては、例えば酸化物、窒化物、炭化物等を用いることができ、有機材料としてはポリイミド、アクリル樹脂、ウレタン樹脂等を用いることができる。ただし有機材料の場合には厚膜とすることが必要となるため、後述のパターニングに適さない。そのため、薄膜で配線保護機能を発揮できる無機材料を用いることがより好ましい。

【0103】

このため、第2の絶縁保護膜44がアルミナ膜、シリコン酸化膜、窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜から選択される少なくとも1種の無機膜であることが好ましい。特に、A1配線の上に第2の絶縁保護膜として Si_3N_4 を用いることは半導体デバイスで実績のある技術であるため、本実施形態においても同様の構成を採用することが好ましい。

30

【0104】

また、第2の絶縁保護膜44の膜厚は200[nm]以上とすることが好ましく、500[nm]以上であることがさらに好ましい。これは、膜厚が薄い場合は十分なパッシベーション機能を発揮できないため、配線材料の腐食による断線が発生し、電気機械変換素子の信頼性を低下させてしまう可能性があるためである。

【0105】

また、圧電素子上とその周囲の振動板上に開口部をもつ構造が好ましい。これは、前述の第1の絶縁保護膜41上の個別電極用パッド47付近において開口部49を設けると同様の理由である。これにより、高効率かつ高信頼性の電気機械変換素子とすることができる。また、例えばこの電気機械変換素子30を用いた高効率かつ高信頼性の液滴吐出ヘッド、インクジェットヘッドとすることが可能になる。

40

【0106】

なお、第1の絶縁保護膜41、第2の絶縁保護膜44により圧電素子が保護されているため開口部48、49の形成には、フォトリソグラフィ法とドライエッチングを用いることが可能である。

【0107】

また、第2の絶縁保護膜44には複数のパッド(共通電極用パッド46、個別電極用パ

50

ッド４７）が設けられるが、これらのパッドの面積はそれぞれ $2500[\mu\text{m}^2]$ 以上であることが好ましく、さらに $30000[\mu\text{m}^2]$ 以上であることがより好ましい。この値に満たない場合は、十分な分極処理ができなくなる場合や、連続駆動後の変位劣化については十分な特性が得られない場合があるためである。

【０１０８】

上記複数のパッド（共通電極用パッド４６，個別電極用パッド４７）の形成方法は特に限定されるものではないが、例えば、前述のリソエッチ法を用いて形成することができる。

【０１０９】

以上説明してきた本実施形態の電気機械変換素子３０の製造方法によれば、ウェハレベルで一括して圧電素子に分極処理を行うことができる。また、この製造方法によって得られる電気機械変換素子３０は液滴吐出ヘッドとした場合に、電気機械変換素子３０が所定駆動電圧に対して安定した変位量を示し、液滴吐出特性を良好に保持できると共に安定した液滴吐出特性を得ることができる。

【０１１０】

具体的な構成としては、図１に示したように、液滴を吐出するノズル１１と、ノズル１１が連通する加圧室１２と、加圧室１２内の液体を昇圧させる吐出駆動手段とを備えた液滴吐出ヘッド１０である。そして、本実施形態の液滴吐出ヘッド１０においては、吐出駆動手段として、加圧室１２の壁の一部を振動板で構成し、この振動板に上述した電気機械変換素子を配置したものである。

【０１１１】

この液滴吐出ヘッド１０によれば、上述した電気機械変換素子を用いているため、所定駆動電圧に対して安定した変位量を示し、液滴吐出特性を良好に保持できると共に安定した液滴吐出特性を得ることができる。

【０１１２】

なお、本実施形態では１つのノズルからなる液滴吐出ヘッドについて説明したが、係る形態に限定されるものではなく、図９に示すように複数の液滴吐出ヘッドを備えた構成とすることもできる。図９においては、図１の液滴吐出ヘッドを複数個直列に並べたものであり、同じ部材には同じ番号を付している。

【０１１３】

また、液体供給手段、流路、流体抵抗等については記載を省略したが、液滴吐出ヘッドに設けることのできる付帯設備を当然に設けることができる。

【０１１４】

〔実施例１〕

以下に電気機械変換素子のより具体的な製造方法について実施例を挙げて説明する。ただし、本発明はこれらの実施例に限定されるものではない。

【０１１５】

まず、６インチシリコンウェハに熱酸化膜（膜厚 $1[\mu\text{m}]$ ）を形成した。

【０１１６】

次いで、第１の駆動電極を形成した。具体的にはまず、密着膜として、チタン膜（膜厚 $30[\text{nm}]$ ）をスパッタ装置にて成膜した後にＲＴＡを用いて $750[^\circ\text{C}]$ にて熱酸化した。そして、引き続き金属膜として白金膜（膜厚 $100[\text{nm}]$ ）、酸化物膜として SrRuO_3 膜（膜厚 $60[\text{nm}]$ ）をスパッタ成膜した。スパッタ成膜時の基板加熱温度については $550[^\circ\text{C}]$ にて成膜を実施した。

【０１１７】

次に電気機械変換膜を形成した。具体的には、モル比で $\text{Pb}:\text{Zr}:\text{Ti}=1:1:4:5:3:4:7$ に調整された溶液を準備し、スピンコート法により膜を成膜した。

【０１１８】

具体的な前駆体塗布液の合成については、出発材料に酢酸鉛三水合物、イソプロポキシドチタン、ノルマルプロポキシドジルコニウムを用いた。酢酸鉛の結晶水はメトキシエタ

10

20

30

40

50

ノールに溶解後、脱水した。化学両論組成に対し鉛量を過剰にしてある。これは熱処理中のいわゆる鉛抜けによる結晶性低下を防ぐためである。

【0119】

イソプロポキシドチタン、ノルマルプロポキシドジルコニウムをメトキシエタノールに溶解し、アルコール交換反応、エステル化反応を進め、上記酢酸鉛を溶解したメトキシエタノール溶液と混合することでPZT前駆体溶液を合成した。合成したPZT前駆体溶液中のPZT濃度は0.5 [モル/L]とした。

【0120】

上記前駆体溶液を用いて、スピンコートにより前記第1の駆動電極が形成された基板上に成膜し、成膜後、120 [] 乾燥を行い、その後さらに500 [] 熱分解を行う操作を複数回繰り返し行い電気機械変換膜を積層した。

10

【0121】

上記手順により繰り返し、電気機械変換膜を積層する際に、3層目の熱分解処理後に、結晶化熱処理（温度750 [] ）をRTA（急速熱処理）にて行った。3層目の熱分解処理後、RTA処理を施した電気機械変換膜（PZT膜）の膜厚は240 [nm]であった。

【0122】

上記工程を計8回（24層）実施し、PZTの部分の膜厚が約2 [μm]の電気機械変換膜を得た。

【0123】

20

次に、第2の駆動電極の酸化物膜としてSrRuO₃膜（膜厚40 [nm]）を、金属膜としてPt膜（膜厚125 [nm]）を、それぞれスパッタ成膜した。

【0124】

その後、東京応化社製フォトレジスト（TSMR8800）をスピンコート法で成膜し、通常の写真露光装置でレジストパターンを形成した。その後、ICPエッチング装置（サムコ製）を用いて電気機械変換膜、第2の駆動電極をエッチングにより個別化し、図10に示すようなパターンを作製した。これにより、第2の駆動電極は個別電極として機能し、第1の駆動電極は個別化された電気機械変換膜、第2の駆動電極に対して共通電極として機能する。

【0125】

30

次に、第1の絶縁保護膜として、ALD法によりAl₂O₃膜を50 [nm]成膜した。

【0126】

原材料としてAl源としては、トリメチルアルミニウム（TMA）（シグマアルドリッチ社製）、O源としては、オゾンジェネレーターによって発生させたO₃を用いた。そして、Al源、O源を交互に基板上に供給して積層させることで、成膜を行った。

【0127】

その後、図5に示すように、エッチングによりコンタクトホール部を形成した。

【0128】

そして、第1の配線、第2の配線としてAlをスパッタ成膜し、エッチングによりパターン形成した。

40

【0129】

さらにその後、第2の絶縁膜としてSi₃N₄をプラズマCVDにより500 [nm]成膜した。その後、エッチングにより、共通電極用パッド46、個別電極用パッド47、及び、エージング処理用開口部50を形成し、図5に示すような電気機械変換素子を作製した。

【0130】

このとき、6インチウェハ内30 [mm] × 10 [mm] 四方のエリアを26個配置しその中で個別電極パッド面積（50 [μm] × 1000 [μm]）、パッド数としては300個用意した。また、共通電極パッド面積（50 [μm] × 1000 [μm]）、パッ

50

ド数としては30個用意した。個別電極用パッド47は図11に示すように、11本のエーシング処理用開口部ラインとしてのエーシング処理用電極51にそれぞれつながっている。

【0131】

この後、11箇所のエーシング処理用電極51からウェハ内全ての第2の配線43に接続し、コロナ帯電処理により分極処理を行った。

【0132】

コロナ帯電処理は50[μ m]のタングステンのワイヤーを用いて行った。ワイヤーとエーシング処理用電極51との間の距離を5[mm]として、サンプルに対して6[kV]の電圧を印加し20分間処理を行った。

10

【0133】

〔実施例2〕

コロナ帯電処理において、分極処理の電圧を8[kV]に代えて印加したこと以外は、実施例1と同様にして電気機械変換素子を作製した。

【0134】

〔実施例3〕

コロナ帯電処理において、11箇所のエーシング処理用電極を図12に示すように1箇所のエーシング処理用電極54にまとめるようにパターンニングし、それ以外は実施例1と同様にして電気機械変換素子を作成した。

【0135】

20

〔実施例4〕

コロナ帯電処理において、分極処理の電圧を8[kV]に代えて印加したこと以外は、実施例3と同様にして電気機械変換素子を作製した。

【0136】

〔比較例1〕

コロナ帯電処理において、エーシング処理用開口部50及びエーシング処理用電極51を設けずに、図13に示すような個別電極用パッド47に直接コロナ放電を行うこと以外は、実施例1と同様にして電気機械変換素子を作成した。

【0137】

〔比較例2〕

30

コロナ帯電処理において、分極処理の電圧を10[kV]印加し、60分間処理を行うこと以外は、比較例1と同様にして電気機械変換素子を作成した。

【0138】

図14は、実施例1乃至4及び比較例1, 2とによりそれぞれ作製した電気機械変換素子を比較するグラフである。図14に示すグラフでは、実施例1乃至4及び比較例1, 2とによりそれぞれ作製したウェハ内の電気機械変換素子の処理効果について、X軸をPr-Piniの範囲とし、Y軸をその範囲に入る素子数の割合として比較している。

【0139】

図14において、エーシング処理用電極51を介してコロナ放電を行った実施例1乃至4ではクラックや放電などの故障が生じなかったのに対し、比較例1, 2では故障が生じていることがわかる。特に、分極処理の電圧の高い比較例2では故障率が高いことがわかる。また、比較例2では、特に、ウェハ内の中央部に比べて、端部の電気機械変換素子に多く故障が発生していた。

40

【0140】

また、分極処理の状態に関しては、実施例1, 2では、分極処理電圧の違いにより分極の進展状態に違いが出たが、処理ばらつきが少なく処理できていた。また、実施例1, 2では、クラックや放電などの故障も発生しなかった。

実施例3に関しては、分極処理時間と分極処理電圧とが低かったため、ほとんど分極処理が進まなかった。しかし、分極処理時間を長くして、しかも分極処理電圧を高めることで、実施例1, 2、比較例1, 2より短い時間で、故障が発生せず、分極処理が進んでい

50

ることが確認できた。

【 0 1 4 1 】

図 1 5 はウェハからの電気機械変換素子の切断方法について説明する説明図であり、(a) は上面図、(b) は断面図である。

図 1 5 (b) において、まず、個別電極用パッド 4 7 とエージング処理用電極 5 1 との間の接続部を切断刃としてのダイシングブレードにより基板 3 1 の途中までハーフカットしハーフカットライン 5 6 を形成する。このハーフカットライン 5 6 は、図 1 5 (a) に示すように共通電極用パッド 4 6 の近傍まで連続してもよい。次に、ハーフカットライン 5 6 よりも外側の切断位置としてのダイシングライン 5 5 に沿ってダイシングして、エージング処理用電極 5 1 の部分を完全に切り離して切断する。

10

【 0 1 4 2 】

図 1 5 (b) に示すように、エージング処理用電極 5 1 の部分を切断することにより、第 2 の配線 4 3 同士の導通を切断することができる。また、ハーフカットライン 5 6 に沿ってハーフカットすることにより、第 2 の配線 4 3 の端部が基板 3 1 を含む電気機械変換素子の最端部になることを防いで短絡などのトラブルを未然に防止することができる。

【 0 1 4 3 】

また、図 1 6 はウェハからの電気機械変換素子の他の切断方法について説明する説明図であり、(a) は上面図、(b) はハーフカット後の断面図、(c) は完全にカットした後の断面図である。

図 1 6 (b) において、まず、個別電極用パッド 4 7 とエージング処理用電極 5 1 との間の接続部をダイシングブレードにより基板 3 1 の途中までハーフカットしハーフカットライン 5 6 を形成する。このハーフカットライン 5 6 は、図 1 6 (a) に示すように共通電極用パッド 4 6 の近傍まで連続してもよい。次に、図 1 6 (c) に示すように、ハーフカットに用いたダイシングブレードよりも幅の狭いダイシングブレードを用いて、ハーフカットライン 5 6 中心に沿ってダイシングすることにより、エージング処理用電極 5 1 の部分を完全に切り離して切断する。

20

【 0 1 4 4 】

図 1 6 (b) , (c) に示すように、あらかじめハーフカットしておくことにより、完全に切断したときに、第 2 の配線 4 3 の端部が基板 3 1 を含む電気機械変換素子の最端部になることを防いで短絡などのトラブルを未然に防止することができる。

30

【 0 1 4 5 】

次に、前記液滴吐出ヘッドを備えた液滴吐出装置の構成例について説明する。液滴吐出装置の形態としては特に限定されるものではないが、ここではインクジェット記録装置を例に説明する。

【 0 1 4 6 】

インクジェット記録装置の一例について図 1 7 及び図 1 8 を参照して説明する。なお、図 1 7 は同記録装置の斜視説明図、図 1 8 は同記録装置の機構部の側面説明図である。

【 0 1 4 7 】

このインクジェット記録装置は、記録装置本体 6 1 の内部に主走査方向に移動可能なキャリッジ 6 9 を備えている。また、このキャリッジ 6 9 に搭載したインクジェットヘッドからなる記録ヘッド、記録ヘッドヘインクを供給するインクカートリッジ等で構成される印字機構部 6 2 等を収納している。また、装置本体 6 1 の下方部には前方側から多数枚の用紙 6 3 を積載可能な給紙カセット (或いは給紙トレイでもよい。) 6 4 を抜き差し自在に装着することができ、また、用紙 6 3 を手差しで給紙するための手差しトレイ 6 5 を開倒することができる。そして、給紙カセット 6 4 或いは手差しトレイ 6 5 から給送される用紙 6 3 を取り込み、印字機構部 6 2 によって所要の画像を記録した後、後面側に装着された排紙トレイ 6 6 に排紙する。

40

【 0 1 4 8 】

印字機構部 6 2 は、図示しない左右の側板に横架したガイド部材である主ガイドロッド 6 7 と従ガイドロッド 6 8 とでキャリッジ 6 9 を主走査方向に摺動自在に保持している。

50

キャリッジ 69 にはイエロー (Y)、シアン (C)、マゼンタ (M)、ブラック (Bk) の各色のインク滴を吐出するインクジェットヘッドからなる記録ヘッド 70 を備えている。この記録ヘッド 70 は、複数のインク吐出口 (ノズル) を主走査方向と交差する方向に配列し、インク滴吐出方向を下方に向けて装着している。また、キャリッジ 69 には記録ヘッド 70 に各色のインクを供給するための各インクカートリッジ 71 を交換可能に装着している。

【0149】

インクカートリッジ 71 は上方に大気と連通する大気口、下方にはインクジェットヘッドへインクを供給する供給口を、内部にはインクが充填された多孔質体を有している。この多孔質体の毛管力によりインクジェットヘッドへ供給されるインクをわずかな負圧に維持している。また、記録ヘッドとしてここでは各色の記録ヘッド 70 を用いているが、各色のインク滴を吐出するノズルを有する 1 個の記録ヘッドでもよい。

【0150】

ここで、キャリッジ 69 は後方側 (用紙搬送方向下流側) を主ガイドロッド 67 に摺動自在に嵌装し、前方側 (用紙搬送方向上流側) を従ガイドロッド 68 に摺動自在に載置している。そして、このキャリッジ 69 を主走査方向に移動走査するため、主走査モーター 72 で回転駆動される駆動プーリ 73 と従動プーリ 74 との間にタイミングベルト 75 を張装している。このタイミングベルト 75 をキャリッジ 69 に固定しており、主走査モーター 72 の正逆回転によりキャリッジ 69 が往復駆動される。

【0151】

一方、給紙カセット 64 にセットした用紙 63 を記録ヘッド 70 の下方側に搬送するために、給紙カセット 64 から用紙 63 を分離給装する給紙ローラ 76 及びフリクションパッド 77 と、用紙 63 を案内するガイド部材 78 とを設けている。また、給紙された用紙 63 を反転させて搬送する搬送ローラ 79 と、この搬送ローラ 79 の周面に押し付けられる搬送コロ 80 及び搬送ローラ 79 からの用紙 63 の送り出し角度を規定する先端コロ 81 とを設けている。搬送ローラ 79 は副走査モーター 82 によってギヤ列を介して回転駆動される。

【0152】

そして、キャリッジ 69 の主走査方向の移動範囲に対応して搬送ローラ 79 から送り出された用紙 63 を記録ヘッド 70 の下方側で案内する用紙ガイド部材である印写受け部材 83 を設けている。この印写受け部材 83 の用紙搬送方向下流側には、用紙 63 を排紙方向へ送り出すために回転駆動される搬送コロ 84、拍車 85 を設けている。さらに用紙 63 を排紙トレイ 66 に送り出す排紙ローラ 86 及び拍車 87 と、排紙経路を形成するガイド部材 88、89 とを配設している。

【0153】

記録時には、キャリッジ 69 を移動させながら画像信号に応じて記録ヘッド 70 を駆動することにより、停止している用紙 63 にインクを吐出して 1 行分を記録し、用紙 63 を所定量搬送後次の行の記録を行う。記録終了信号または、用紙 63 の後端が記録領域に到達した信号を受けることにより、記録動作を終了させ用紙 63 を排紙する。

【0154】

また、キャリッジ 69 の移動方向右端側の記録領域を外れた位置には、記録ヘッド 70 の吐出不良を回復するための回復装置 90 を配置している。回復装置 90 はキャップ手段と吸引手段とクリーニング手段を有している。キャリッジ 69 は印字待機中にはこの回復装置 90 側に移動されてキャッピング手段で記録ヘッド 70 をキャッピングされ、吐出口部を湿潤状態に保つことによりインク乾燥による吐出不良を防止する。また、記録途中などに記録と関係しないインクを吐出することにより、全ての吐出口のインク粘度を一定にし、安定した吐出性能を維持する。

【0155】

吐出不良が発生した場合等には、キャッピング手段で記録ヘッド 70 の吐出口 (ノズル) を密封し、チューブを通して吸引手段で吐出口からインクとともに気泡等を吸い出す。

10

20

30

40

50

これにより、吐出口面に付着したインクやゴミ等はクリーニング手段により除去され吐出不良が回復される。また、吸引されたインクは、本体下部に設置された廃インク溜（不図示）に排出され、廃インク溜内部のインク吸収体に吸収保持される。

【 0 1 5 6 】

このように、本実施形態の液滴吐出装置であるインクジェット記録装置においては、上述の液滴吐出ヘッドを搭載しているので、振動板駆動不良によるインク滴吐出不良がなく、安定したインク滴吐出特性が得られて画像品質が向上する。

【 0 1 5 7 】

以上に説明したものは一例であり、本発明は、次の態様毎に特有の効果を奏する。

（態様 A）

基板 3 1 または下地膜 3 2 上に第 1 の駆動電極 3 3 を形成するステップと、第 1 の駆動電極 3 3 上に電気機械変換膜 3 4 を形成するステップと、電気機械変換膜 3 4 上に第 2 の駆動電極 3 5 を形成するステップと、第 2 の駆動電極 3 5 上に第 1 の絶縁保護膜 4 1 を形成するステップと、第 2 の駆動電極 3 5 に電氣的に接続された配線 4 3 を第 1 の絶縁保護膜 4 1 上に形成するステップと、配線 4 3 上に形成される膜であり配線 4 3 に接続される個別電極用パッド 4 7 などの端子電極及び複数の配線 4 3 に導通して接続されるエージング処理用電極 5 1 などの電荷注入用電極を露出させて第 2 の絶縁保護膜 4 4 を形成するステップと、電荷注入用電極に、コロナ放電もしくはグロー放電などの放電により発生した電荷を注入することにより、電気機械変換膜 3 4 を分極処理するステップと、を有する。

これによれば、上記実施形態について説明したように、放電により発生した電荷は、複数の配線 4 3 に導通して接続された電荷注入用電極に注入される。そして、電荷注入用電極に注入された電荷は、複数の配線 4 3 を介して接続された複数の電気機械変換膜 3 4 にほぼ均等に一括注入される。これにより、複数の電気機械変換膜 3 4 に対して一括して分極処理を施すことができるため、複数の電気機械変換膜 3 4 を個別に分極処理する場合に比して、複数の電気機械変換膜 3 4 に対する製造効率が向上する。しかも、その分極処理の際に、一部の電気機械変換膜 3 4 に電荷が集中することなく、均一な分極処理を行うことができるので、電気機械変換素子の分極特性のばらつきを低減するとともにクラックの発生を防止できる。更に、分極処理は高温の熱が加わる第 2 の絶縁保護膜 4 4 の形成後に行われるので、分極処理後に電気機械変換素子が高温にさらされないため、分極処理後の脱分極を防ぐこともできる。よって、製造効率の向上を図りつつ、電気機械変換素子の分極特性のばらつきを低減するとともに、クラック及び分極処理後の脱分極の発生を防止することができる。

（態様 B）

上記態様 A において、基板 3 1 または下地膜 3 2 上に形成した複数の電気機械変換素子 3 0 を互いに分離して個別化するように切断するステップを有し、第 2 の絶縁保護膜 4 4 を形成するステップでは、電荷注入用電極を電気機械変換膜 3 4 に対して端子電極よりも離れた位置に形成し、電気機械変換素子 3 0 を個別化するステップでは、端子電極と電荷注入用電極との間を切断する。

これによれば、上記実施形態について説明したように、端子電極と電荷注入用電極との間を切断することで、複数の配線 4 3 と電荷注入用電極との導通を切断することができる。

（態様 C）

上記態様 B において、電気機械変換素子 3 0 を個別化するステップは、端子電極と電荷注入用電極との間を完全に切断するカットラインなどの切断位置よりも端子電極側を基板 3 1 の厚み方向の途中まで切断するステップを含む。

これによれば、上記実施形態について説明したように、配線 4 3 の端部が基板 3 1 を含む電気機械変換素子 3 0 の最端部になることを防いで短絡などのトラブルを未然に防止することができる。

（態様 D）

上記態様 B において、電気機械変換素子 3 0 を個別化するステップは、端子電極と電荷

10

20

30

40

50

注入用電極との間をダイシングブレードなどの切断刃により基板 3 1 の厚み方向の途中まで切断するステップと、切断刃よりも幅の狭い切断刃により前記基板の厚み方向の途中まで切断した位置を中心に完全に切断するステップと、を含む。

これによれば、上記実施形態について説明したように、切断する部分をあらかじめ基板の途中まで切断しておくことにより、完全に切断して切り離れたときに、配線 4 3 の端部が基板 3 1 を含む電気機械変換素子 3 0 の最端部になることを防いで短絡などのトラブルを未然に防止することができる。

(態様 E)

上記態様 A 乃至 D のいずれかにおいて、分極処理を行うステップにおいて、放電により発生した電荷が正帯電している。

10

これによれば、上記実施形態について説明したように、放電により大気中の分子をイオン化させることで、正帯電した電荷を有する陽イオンを容易に発生させることができる。この陽イオンが、配線 4 3 と接続したパッド 4 7 を介して電気機械変換素子 3 0 に流れ込むことにより、正帯電した電荷を電気機械変換素子 3 0 に容易に蓄積させることができる。従って、電気機械変換膜の分極処理を安定して行うことができる。

(態様 F)

上記態様 A 乃至 E のいずれかにおいて、分極処理を行うステップにおいて、放電により、 1.0×10^{-8} [C] 以上の電荷量を発生させる。

これによれば、上記実施形態について説明したように、放電による電荷量が 1.0×10^{-8} [C] に満たない場合は、分極処理が十分に行えず、その電気機械変換膜 3 4 をアクチュエータに使用した場合に連続駆動後の変位劣化について十分な特性が得られないおそれがある。本態様 F は、放電による電荷量が 1.0×10^{-8} [C] 以上の電荷量を発生させるので、分極処理が十分に行うことができ、電気機械変換膜 3 4 をアクチュエータに使用した場合に連続駆動後の変位劣化について十分な特性が得られる。

20

(態様 G)

上記態様 A 乃至 F のいずれかにより得られる電気機械変換素子である。

これによれば、上記実施形態について説明したように、製造効率の向上を図りつつ、電気機械変換素子の分極特性のばらつきを低減するとともに、クラック及び分極処理後の脱分極の発生を防止することができる電気機械変換素子を提供できる。また、複数の電気機械変換膜に対して均一な分極処理を短時間で確実にを行い、しかも歩留まりを向上させることができる電気機械変換素子を提供できる。

30

(態様 H)

上記態様 G において、電気機械変換膜 3 4 の分極が、 ± 150 [k V / c m] の電界強度をかけてヒステリシスループを測定する際、測定開始時の 0 [k V / c m] における分極を P_{ini} とし、 $+150$ [k V / c m] の電圧印加後、 0 [k V / c m] まで戻した際の 0 [k V / c m] 時の分極を P_r とした場合に、 P_r と P_{ini} との差が 10 [μ C / c m 2] 以下である。

これによれば、上記実施形態について説明したように、 P_r と P_{ini} との差が 10 [μ C / c m 2] より大きい場合、電気機械変換膜 3 4 をアクチュエータに使用した場合に連続駆動後の変位劣化について十分な特性が得られないおそれがある。本態様 F では、 P_r と P_{ini} との差が 10 [μ C / c m 2] 以下なので、電気機械変換膜 3 4 をアクチュエータに使用した場合に連続駆動後の変位劣化について十分な特性が得られる。

40

(態様 I)

上記態様 H において、電気機械変換膜 3 4 の比誘電率が、 600 以上、 2000 以下である。

これによれば、上記実施形態について説明したように、比誘電率が 600 より小さいと、電気機械変換膜 3 4 をアクチュエータに使用した場合に十分な変位特性が得られないおそれがある。また、比誘電率が 2000 より大きくなると、分極処理が十分行われず、連続駆動後の変位劣化については十分な特性が得られないといった不具合が発生するおそれがある。本態様 F では、電気機械変換膜 3 4 の比誘電率が、 600 以上、 2000 以下な

50

ので、電気機械変換膜 3 4 をアクチュエータに使用した場合に十分な変位特性が得られる。また、分極処理が十分に行われ、連続駆動後の変位劣化についても十分な特性が得られる。

(態様 J)

上記態様 G 乃至 I のいずれかにおいて、第 1 の駆動電極 3 3 に電氣的に接続された配線 4 2 と、第 2 の駆動電極 3 5 に電氣的に接続された配線 4 3 とが、同一プロセス中に作製される。

これによれば、上記実施形態について説明したように、別々のプロセスで作製される場合に比べて、処理工数と処理時間とを削減でき、コストダウンを図ることができる。

(態様 K)

上記態様 G 乃至 J のいずれかにおいて、配線 4 2 及び配線 4 3 が、A g 合金、C u、A l、A l 合金、A u、P t、I r のいずれかから成る金属材料で形成されている。

これによれば、上記実施形態について説明したように、これらの金属材料により、基板上に低抵抗で耐久性のある配線を形成することができる。

(態様 L)

上記態様 G 乃至 K のいずれかにおいて、第 1 の絶縁保護膜 4 1 及び第 2 の絶縁保護膜 4 4 が、アルミナ膜、シリコン酸化膜や窒化シリコン膜及び酸化窒化シリコン膜のいずれかの無機膜である。

これによれば、上記実施形態について説明したように、これらの膜は、密着性がよく、膜が硬く、しかも耐摩耗性やコストパフォーマンスに優れた第 1 の絶縁保護膜 4 1 及び第 2 の絶縁保護膜 4 4 を形成できる。

(態様 M)

液滴を吐出するノズル 1 1 と、ノズル 1 1 が連通する加圧室 1 2 と、加圧室 1 2 内の液体を昇圧させる吐出駆動手段とを備えた液滴吐出ヘッド 1 0 において、前記吐出駆動手段として、加圧室 1 2 の壁の一部を振動板 1 7 で構成し、振動板 1 7 に上記態様 G 乃至 L のいずれかの電気機械変換素子を配置した。

これによれば、上記実施形態について説明したように、脱分極のない分極処理が確実に行われた電気機械変換素子によって加圧室 1 2 内の液体を昇圧させることができるので、安定した液滴吐出特性が得られる。

(態様 N)

上記態様 M の液滴吐出ヘッドを備えたインクジェット記録装置である。これによれば、上記実施形態について説明したように、安定した液滴吐出特性が得られ、高画質の画像を形成できる。

(態様 O)

上記態様 M の液滴吐出ヘッドを備えた液滴吐出装置である。これによれば、上記実施形態について説明したように、安定した液滴吐出特性が得られる。

【符号の説明】

【 0 1 5 8 】

- 1 0 液滴吐出ヘッド
- 1 1 ノズル
- 1 2 加圧室
- 1 3 電気機械変換膜
- 1 4 上部電極
- 1 5 下部電極
- 1 6 電気機械変換素子
- 1 7 下地膜（振動板）
- 2 0 導体プレート
- 3 0 電気機械変換素子
- 3 1 基板
- 3 3 第 1 の駆動電極

10

20

30

40

50

- 3 4 電気機械変換膜
- 3 5 第 2 の駆動電極
- 4 1 第 1 の絶縁保護膜
- 4 2 第 1 の配線
- 4 3 第 2 の配線
- 4 4 第 2 の絶縁保護膜
- 4 5 コンタクトホール
- 4 6 共通電極用パッド
- 4 7 個別電極用パッド
- 5 0 エージング処理用開口部
- 5 1 エージング処理用電極
- 5 2 コロナワイヤー
- 5 5 ダイシングライン
- 5 6 ハーフカットライン
- 6 1 (インクジェット)記録装置本体

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【0159】

【特許文献1】特開2004-202849号公報

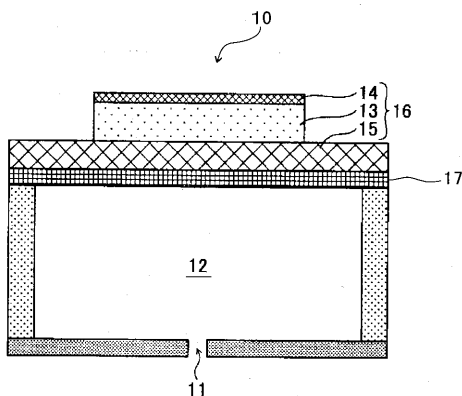
【特許文献2】特開2010-034154号公報

【特許文献3】特開2006-203190号公報

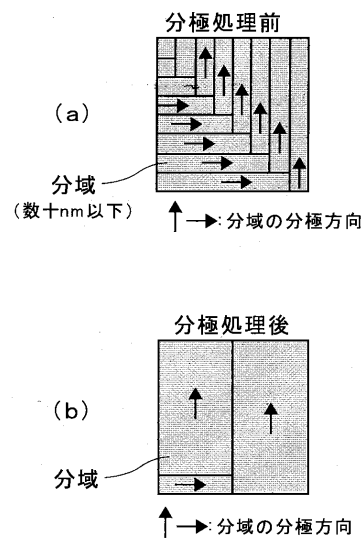
【特許文献4】特許第3782401号公報

20

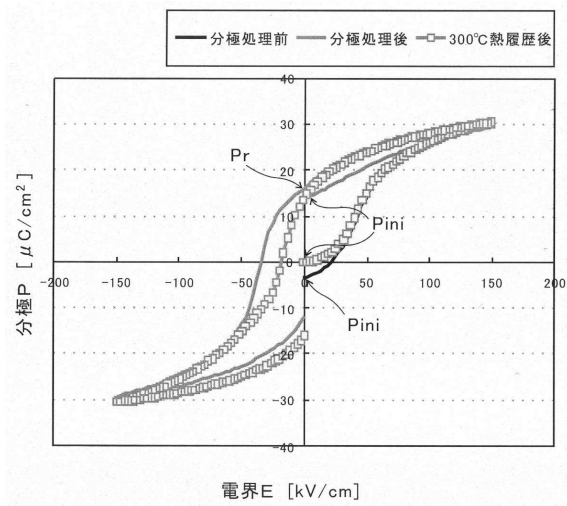
【図1】



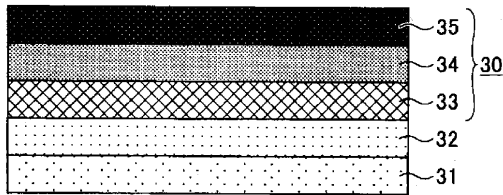
【図2】



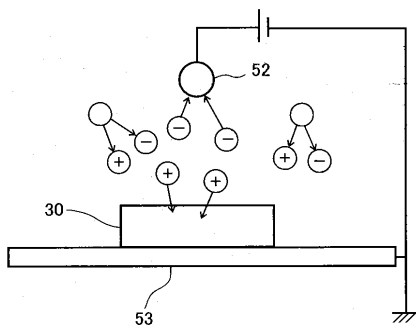
【図 3】



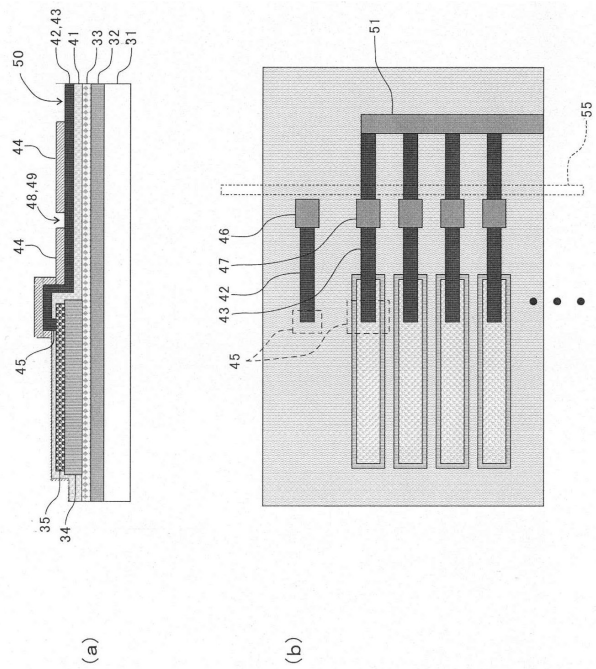
【図 4】



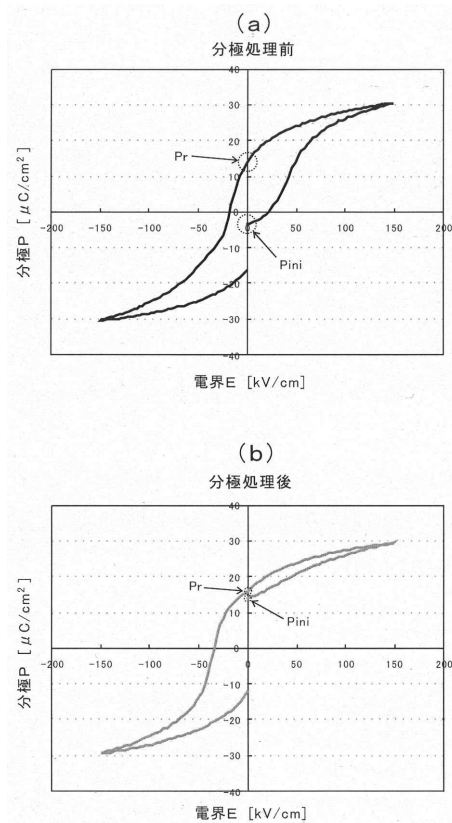
【図 6】



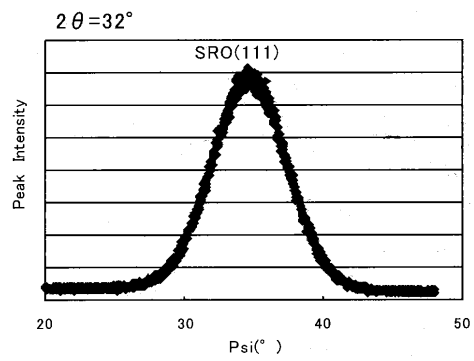
【図 5】



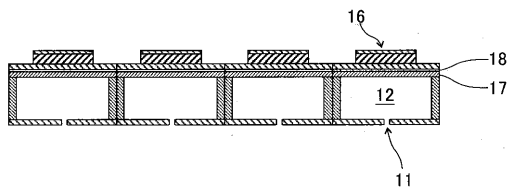
【図 7】



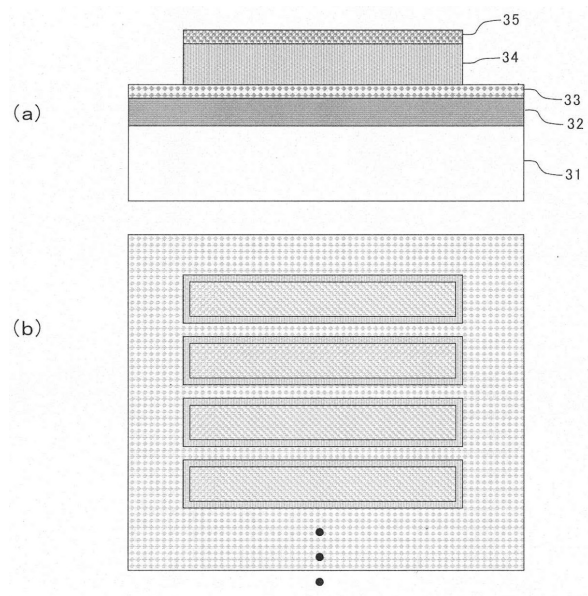
【図 8】



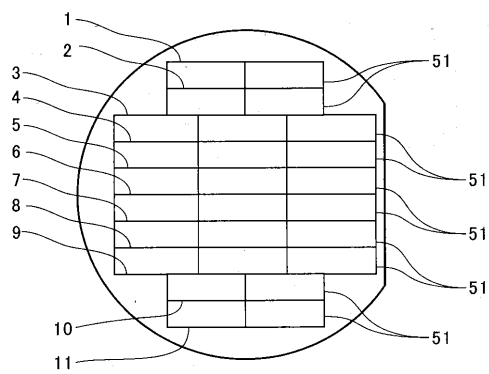
【図 9】



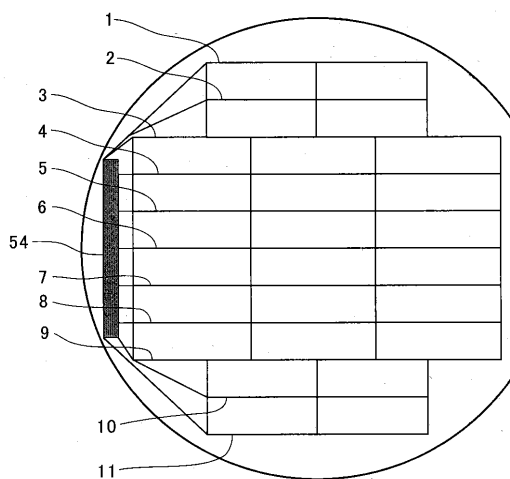
【図 10】



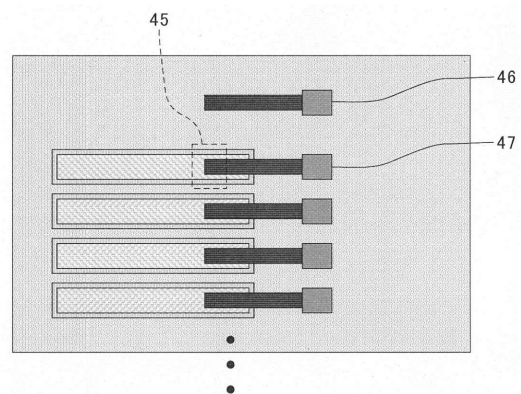
【図 11】



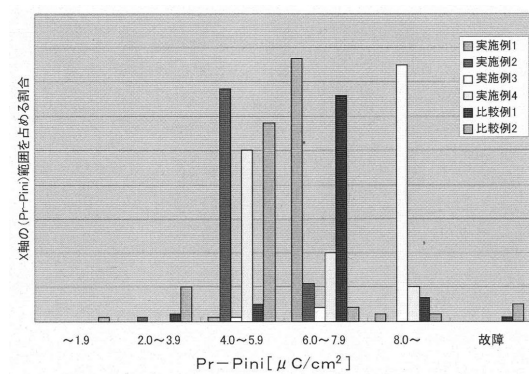
【図 12】



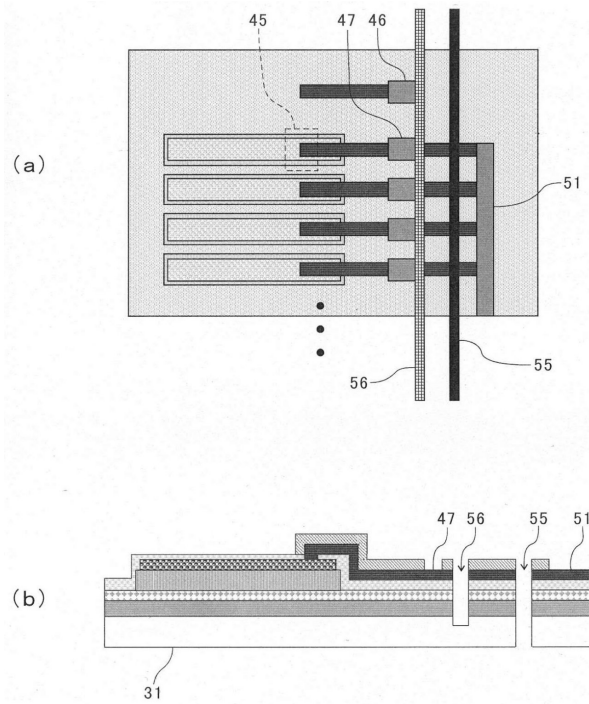
【図 13】



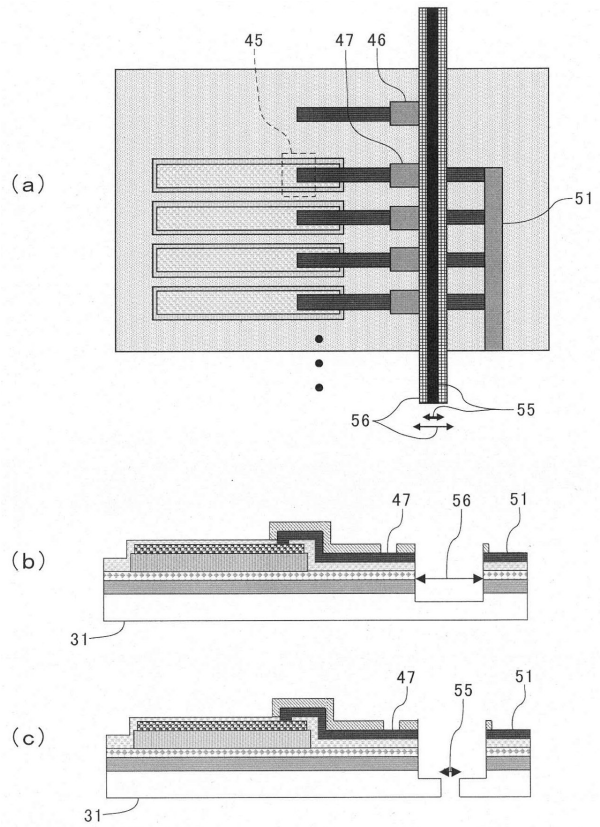
【図 14】



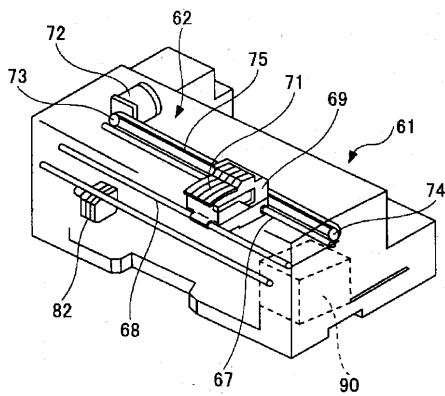
【図 15】



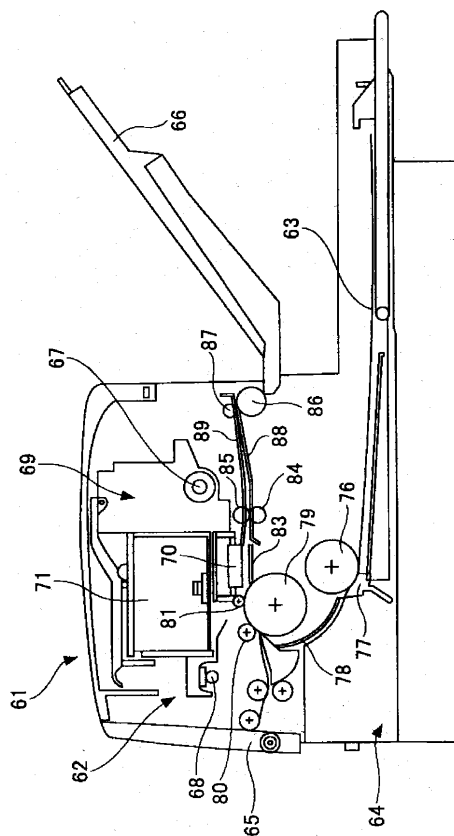
【図 16】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
H 0 1 L	41/187	(2006.01)	H 0 1 L	41/187	
H 0 1 L	41/318	(2013.01)	H 0 1 L	41/318	
H 0 1 L	41/43	(2013.01)	H 0 1 L	41/43	
H 0 1 L	41/338	(2013.01)	H 0 1 L	41/338	
H 0 1 L	41/332	(2013.01)	H 0 1 L	41/332	
H 0 1 L	21/316	(2006.01)	H 0 1 L	21/316	P
B 4 1 J	2/045	(2006.01)	H 0 1 L	21/316	M
B 4 1 J	2/135	(2006.01)	B 4 1 J	2/045	
B 4 1 J	2/14	(2006.01)	B 4 1 J	2/135	
B 4 1 J	2/16	(2006.01)	B 4 1 J	2/14	
			B 4 1 J	2/14	3 0 1
			B 4 1 J	2/14	3 0 5
			B 4 1 J	2/14	6 1 3
			B 4 1 J	2/16	3 0 1
			B 4 1 J	2/16	3 0 5
			B 4 1 J	2/16	5 0 7
			B 4 1 J	2/16	5 1 1
			B 4 1 J	2/16	5 1 7

(56)参考文献 特開2012-196838(JP,A)
 特開2013-000993(JP,A)
 特開2013-063531(JP,A)
 特開2009-302445(JP,A)
 特開2011-181554(JP,A)
 特開2013-197299(JP,A)
 特開2009-016420(JP,A)
 特開2005-142399(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 L 4 1 / 0 0 - 4 7
 H 0 1 L 2 1 / 3 1 6
 B 4 1 J 2 / 0 4 5 - 0 5 5
 B 4 1 J 2 / 1 3 5 - 1 6 5