(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5373609号
(P5373609)
(45)発行日　平成25年12月18日(2013.12.18)　(24)登録日　平成25年9月27日(2013.9.27)

(51)Int.Cl.　F I
H02N 2/00 (2006.01)　H02N 2/00 B

請求項の数 18　(全 39 頁)

(21)出願番号　特願2009-524499 (P2009-524499)
(86)(22)出願日　平成20年7月23日(2008.7.23)
(86)国際出願番号　PCT/JP2008/063209
(87)国際公開番号　WO2009/014148
(87)国際公開日　平成21年1月29日(2009.1.29)
審査請求日　平成21年11月2日(2009.11.2)
(31)優先権主張番号　特願2007-194855 (P2007-194855)
(32)優先日　平成19年7月26日(2007.7.26)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(73)特許権者　000002428
芝浦メカトロニクス株式会社
神奈川県横浜市栄区笠間２丁目５番１号
(74)代理人　100108855
弁理士　蔵田　昌俊
(74)代理人　100091351
弁理士　河野　哲
(74)代理人　100088683
弁理士　中村　誠
(74)代理人　100109830
弁理士　福原　淑弘
(72)発明者　今川　和彦
日本国神奈川県横浜市栄区笠間二丁目５番１号　芝浦メカトロニクス株式会社横浜事業所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】圧電素子駆動装置および塗布装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
圧電素子の充放電に伴う伸縮動作により液体を吸込んでノズルから吐出させる圧電素子駆動装置において、
電源からの通電によりエネルギーがチャージされるインダクタ、このインダクタの一端と電源の正側端子との間の通電をオン、オフするための第１の開閉スイッチ、前記インダクタの他端と前記電源の負側端子との間の通電をオン、オフする第２の開閉スイッチを有し、この第２の開閉スイッチのオン、オフにより前記電源からの電圧を昇圧して前記圧電素子に加える昇圧手段と、
前記圧電素子に対する放電路形成用の第３の開閉スイッチを有し、この第３の開閉スイッチのオンにより前記圧電素子の充電電圧を放電させる放電手段と、
前記インダクタにエネルギーをチャージするべく前記第２の開閉スイッチをオンするとともにこの前記第２の開閉スイッチのオンに連動して前記第１の開閉スイッチをオンし、そのチャージしたエネルギーにより前記圧電素子を充電するべく前記第２の開閉スイッチをオフするとともにこの前記第２の開閉スイッチのオフに連動して前記第１の開閉スイッチをオフし、この充電後に前記圧電素子を放電するべく前記第３の開閉スイッチをオンする制御手段と、
を備えることを特徴とする圧電素子駆動装置。
【請求項２】
前記放電手段は、前記圧電素子の充電電圧が前記インダクタを通って前記電源側へ流れ

るエネルギー回生用の放電路を形成することを特徴とする請求項１に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項３】
前記昇圧手段は、複数であり、
前記制御手段は、前記複数の昇圧手段を交互に動作させる
ことを特徴とする請求項１に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項４】
前記圧電素子と並列に接続されたコンデンサ、
をさらに備えることを特徴とする請求項１に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項５】
前記昇圧手段の出力が過電圧のときにその過電圧を減衰させる減衰手段、
をさらに備えることを特徴とする請求項１に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項６】
前記減衰手段は、前記昇圧手段の出力電圧が所定値以上のときに逆方向の電流が流れるツェナーダイオードである、
ことを特徴とする請求項５に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項７】
前記ツェナーダイオードを経た電流が設定値以上のとき、前記昇圧手段の昇圧動作を停止する手段、
をさらに備えることを特徴とする請求項６に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項８】
前記放電手段は、前記圧電素子から前記電源側への放電路を形成するための第３の開閉スイッチ、この第３の開閉スイッチと前記圧電素子との間の通電路に設けられたインダクタを有し、
前記昇圧手段のインダクタの出力側が過電圧のときにその過電圧を減衰させるとともに、前記放電手段のインダクタの出力側が過電圧のときにその過電圧を減衰させる減衰手段をさらに備える、
ことを特徴とする請求項１に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項９】
前記減衰手段は、前記過電圧が所定値以上のときに逆方向の電流が流れるツェナーダイオードである、
ことを特徴とする請求項８に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項１０】
前記ツェナーダイオードを経た電流が設定値以上のとき、前記放電手段の前記第３の開閉スイッチを閉じる手段、
をさらに備えることを特徴とする請求項９に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項１１】
前記昇圧手段は、前記インダクタに並列接続された抵抗を有する、
ことを特徴とする請求項１に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項１２】
前記昇圧手段のインダクタの出力側が過電圧のとき、前記放電手段の第３の開閉スイッチを閉じる手段、
をさらに備えることを特徴とする請求項１に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項１３】
前記閉じる手段は、前記昇圧手段のインダクタの出力側と前記放電手段の第３の開閉スイッチのゲートとの間に接続された抵抗である、
ことを特徴とする請求項１２に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項１４】
前記昇圧手段のインダクタの出力側が過電圧のとき、前記第２の開閉スイッチを閉じる手段、

をさらに備えることを特徴とする請求項１に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項１５】
前記閉じる手段は、前記昇圧手段のインダクタの出力側と前記第２の開閉スイッチのゲートとの間に接続された抵抗である、
ことを特徴とする請求項１４に記載の圧電素子駆動装置。
【請求項１６】
請求項１に記載の圧電素子駆動装置を複数有する塗布装置であって、
主電源の電圧を前記各圧電素子駆動装置の動作に必要な一定レベルに変換して出力するとともに、その出力電圧のフィードバック制御により同出力電圧を前記一定レベルに保つ電源ユニット、
を備えることを特徴とする塗布装置。
【請求項１７】
請求項１に記載の圧電素子駆動装置を複数有する塗布装置であって、
主電源の電圧を前記各圧電素子駆動装置の動作に必要な一定レベルに変換して出力するとともに、その出力電圧の一定レベルを前記各圧電素子駆動装置の同時動作の個数に応じたフィードフォワード制御により調整する電源ユニット、
を備えることを特徴とする塗布装置。
【請求項１８】
前記請求項１に記載の圧電素子駆動装置を複数有し、これら圧電素子駆動装置により、基板上に液体を噴射塗布して機能性薄膜を形成する塗布装置。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
この発明は、基板上に液体を噴射塗布して機能性薄膜を形成する圧電素子駆動装置および塗布装置に関する。
【背景技術】
【０００２】
一般に、液晶表示装置の製造工程では、ガラス基板の表面に配向膜やレジスト等の機能性薄膜が形成される。この機能性薄膜の形成には、その機能性薄膜の材料となる液体を基板上に噴射塗布するインクジェット方式の塗布装置が用いられる。
【０００３】
この塗布装置は、基板を搬送するための搬送テーブルを有し、搬送テーブルの上方に複数のヘッドを備えている。これらヘッドの下面には、内部の液室に連通する複数のノズルが穿設されており、これらノズルごとに設けられた圧電素子（圧電振動子ともいう）が駆動されることにより、各ノズルから基板上に液室内の液体が吐出される（例えば、特開２００５－９５７１２号公報に記載されている）。
【０００４】
上記圧電素子は充放電に伴って伸縮動作し、その伸縮動作により液体の吸込みおよび吐出が行われる。この場合、例えば直流電圧９０Ｖを発生する高圧電源が用意され、その高圧電源からの通電により圧電素子が６０Ｖ～８０Ｖ程度に充電される。この充電に伴って液体が吸込まれ、その後、圧電素子が急速放電されることで液体が吐出される。
【発明の開示】
【０００５】
上記の塗布装置では、圧電素子の充電用として高圧電源を用意しなければならず、コストの上昇を招くという問題がある。また、高い直流電圧を充電用のレベルまで降下させるため、電力損失が大きく、効率が悪いという問題がある。
【０００６】
この発明の目的は、高圧電源を要することなく、圧電素子を液体の吸込みおよび吐出に必要なレベルに確実に充電することができ、これによりコストの上昇や電力損失を解消できる圧電素子駆動装置および塗布装置を提供することである。

【０００７】
この発明の圧電素子駆動手段は、圧電素子の充放電に伴う伸縮動作により液体を吸込んでノズルから吐出させるものであって、
電源からの通電によりエネルギーがチャージされるインダクタ、このインダクタの一端と電源の正側端子との間の通電をオン、オフするための第１の開閉スイッチ、前記インダクタの他端と前記電源の負側端子との間の通電をオン、オフする第２の開閉スイッチを有し、この第２の開閉スイッチのオン、オフにより前記電源からの電圧を昇圧して前記圧電素子に加える昇圧手段と、
前記圧電素子に対する放電路形成用の第３の開閉スイッチを有し、この第３の開閉スイッチのオンにより前記圧電素子の充電電圧を放電させる放電手段と、
前記インダクタにエネルギーをチャージするべく前記第２の開閉スイッチをオンするとともにこの前記第２の開閉スイッチのオンに連動して前記第１の開閉スイッチをオンし、そのチャージしたエネルギーにより前記圧電素子を充電するべく前記第２の開閉スイッチをオフするとともにこの前記第２の開閉スイッチのオフに連動して前記第１の開閉スイッチをオフし、この充電後に前記圧電素子を放電するべく前記第３の開閉スイッチをオンする制御手段と、を備えている。
【０００８】
また、この発明の塗布装置は、圧電素子駆動装置を複数有し、これら圧電素子駆動装置により、基板上に液体を噴射塗布して機能性薄膜を形成する。
【図面の簡単な説明】
【０００９】
【図１】図１は、この発明に関わる塗布装置の要部の制御回路および第１の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図２】図２は、第１の実施形態の作用を説明するための図である。
【図３】図３は、第２の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図４】図４は、第３の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図５】図５は、図４におけるトランジスタアレイの等価回路を示す図である。
【図６】図６は、第３の実施形態の作用を説明するための図である。
【図７】図７は、第３の実施形態の効果を問題点の提示により説明するための図である。
【図８】図８は、第４の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図９】図９は、第４の実施形態の作用を説明するための図である。
【図１０】図１０は、第４の実施形態の効果を問題点の提示により説明するための図である。
【図１１】図１１は、第５の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図１２】図１２は、第５の実施形態の作用を説明するための図である。
【図１３】図１３は、第５の実施形態の効果を問題点の提示により説明するための図である。
【図１４】図１４は、第６の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図１５】図１５は、第６の実施形態の作用を説明するための図である。
【図１６】図１６は、第６の実施形態の効果を問題点の提示により説明するための図である。
【図１７】図１７は、第７の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図１８】図１８は、各実施形態におけるＭＯＳＦＥＴの等価回路を示す図である。
【図１９】図１９は、第７の実施形態の作用を説明するための図である。
【図２０】図２０は、第８の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図２１】図２１は、第８の実施形態の作用を説明するための図である。
【図２２】図２２は、第９の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図２３】図２３は、第１０の実施形態の前提となる不具合を説明するための図である。
【図２４】図２４は、第１０の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図２５】図２５は、第１０の実施形態の作用を説明するための図である。

【図２６】図２６は、第１１の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図２７】図２７は、第１１の実施形態の作用を説明するための図である。
【図２８】図２８は、第１２の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図２９】図２９は、第１２の実施形態の作用を説明するための図である。
【図３０】図３０は、第１３の実施形態の前提となる不具合を説明するためのブロック図である。
【図３１】図３１は、図３０の作用を説明するための図である。
【図３２】図３２は、第１３の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図３３】図３３は、第１３の実施形態の作用を説明するための図である。
【図３４】図３４は、第１４の実施形態の前提となる不具合を説明するためのブロック図である。
【図３５】図３５は、図３４の作用を説明するための図である。
【図３６】図３６は、第１４の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図３７】図３７は、第１４の実施形態の作用を説明するための図である。
【図３８】図３８は、第１４の実施形態の作用を説明するための図である。
【図３９】図３９は、第１４の実施形態の作用を説明するための図である。
【図４０】図４０は、第１４の実施形態の作用を説明するための図である。
【図４１】図４１は、第１５の実施形態の前提となる不具合を説明するためのブロック図である。
【図４２】図４２は、図４１の作用を説明するための図である。
【図４３】図４３は、第１５の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図４４】図４４は、第１５の実施形態の作用を説明するための図である。
【図４５】図４５は、第１６の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図４６】図４６は、第１７の実施形態の構成を示すブロック図である。
【図４７】図４７は、第１７の実施形態の要部の構成を示すブロック図である。
【図４８】図４８は、第１７の実施形態の作用を説明するための図である。
【図４９】図４９は、第１８の実施形態の要部の構成を示すブロック図である。
【図５０】図５０は、第１８の実施形態の作用を説明するための図である。
【発明を実施するための最良の形態】
【００１０】
［１］以下、この発明の第１の実施形態について図面を参照して説明する。
複数のノズルにそれぞれ圧電素子を有する塗布装置の要部を図１に示している。
【００１１】
すなわち、直流電圧１２Ｖを発生する単一の直流電源１に複数の圧電素子駆動装置２が接続され、これら圧電素子駆動装置２が制御ユニット２０に接続されている。各圧電素子駆動装置２は、昇圧回路３、放電回路４、充電電圧検出回路５、および圧電素子たとえばピエゾ素子６などを備える。
【００１２】
上記昇圧回路３は、電流が流れることによりエネルギーをチャージするインダクタ１１、このインダクタ１１に対する通電用のスイッチング素子たとえばＭＯＳＦＥＴ１２、および整流ダイオード１３からなり、ＭＯＳＦＥＴ１２のオン，オフによりインダクタ１１にエネルギーをチャージし、チャージしたエネルギーを整流ダイオード１３を介して出力する。なお、ＭＯＳＦＥＴ１２は寄生ダイオード１２ａを有する。
【００１３】
上記放電回路４は、放電路形成用のスイッチング素子たとえばＭＯＳＦＥＴ１４を有し、液体の吸込み時はＭＯＳＦＥＴ１４のオフ状態が維持されることにより昇圧回路３からピエゾ素子６への通電路を保つが、液体の吐出時にＭＯＳＦＥＴ１４がオンされることにより同ＭＯＳＦＥＴ１４を通してピエゾ素子６の充電電圧を急速放電させる。なお、ＭＯＳＦＥＴ１４は寄生ダイオード１４ａを有する。
【００１４】

充電電圧検出回路５は、ピエゾ素子６に並列接続された可変抵抗１５、およびその可変抵抗１５に生じる電圧をデジタル信号に変換するＤ／Ａ（デジタル／アナログ）変換器１６を有し、ピエゾ素子６の充電電圧を検出してその検出結果を上記制御ユニット２０の主制御部２２に供給する。

【００１５】

制御ユニット２０は、主制御部２２および複数のタイマ回路２３を有し、制御用電源２１の直流電圧５Ｖにより動作する。主制御部２２は、各圧電素子駆動装置２の駆動タイミングを制御するもので、各タイマ回路２３に駆動信号を供給する。各タイマ回路２３は、駆動信号を受けてから昇圧動作開始（エネルギーのチャージを含む）までの時間Ｔ１を計時するタイマ２３ａ、昇圧動作開始から充電終了までの時間Ｔ２を計時するタイマ２３ｂ、充電電圧の保持時間Ｔ３を計時するタイマ２３ｃ、放電路形成時間Ｔ４を形成するタイマ２３ｄを有する。タイマ２３ｃによる充電電圧の保持時間Ｔ３は、液体の吸込みが終了してから少し待って吐出する方が吐出の効率が良い点を考慮して定められている。このタイマ２３ｂの出力信号が昇圧回路３のＭＯＳＦＥＴ１２のゲートに供給され、タイマ２３ｄの出力信号が放電回路４のＭＯＳＦＥＴ１４のゲートに供給される。

【００１６】

つぎに、作用について、図２を参照しながら説明する。

駆動信号を受けてからタイマ２３ａによる時間Ｔ１の計時が終了すると、昇圧回路３のＭＯＳＦＥＴ１２のオン，オフが繰り返され、そのオン時に実線矢印のようにインダクタ１１に電流が流れてインダクタ１１にエネルギーがチャージされる。そして、ＭＯＳＦＥＴ１２のオフ時に、インダクタ１１にチャージされるエネルギーによってインダクタ１１と整流ダイオード１３のアノードの接続点の電圧が急上昇し（昇圧）、その電圧が整流ダイオード１３を介してピエゾ素子６に印加され、ピエゾ素子６が充電されていく。この充電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吸込まれる。

【００１７】

タイマ２３ｂによる時間Ｔ２の計時が終了すると、ＭＯＳＦＥＴ１２のオン，オフが停止される。そして、タイマ２３ｃによる保持時間Ｔ３の計時が終了すると、その時点からタイマ２３ｄの計時による放電路形成時間Ｔ４だけ、放電回路４のＭＯＳＦＥＴ１４がオンされる。このオンにより、ピエゾ素子６の充電電圧がＭＯＳＦＥＴ１４を通ってアース側に急速放電される。この急速放電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吐出される。

【００１８】

ここで、塗布装置の液体吐出ヘッドは、その下面に複数のノズルが穿設されており、これらノズル毎に対応して設けられたピエゾ素子６の動作により、ノズルに連通する液室内に容積変化を生じさせることで、各ノズルから個別に液滴を吐出させることができるようになっている。そして、塗布装置は、搬送テーブルによって搬送される基板が、液滴吐出ヘッドの下を通過するタイミングに合せて、各ピエゾ素子６を駆動させ、各ノズルから基板上に液室内の液体を吐出させる。

【００１９】

ピエゾ素子６に対する充電電圧が充電電圧検出回路５で検出されており、その検出電圧が所定の例えば８０Ｖに達するよう、ＭＯＳＦＥＴ１２のオン，オフスイッチングの期間（昇圧動作・充電の期間）であるタイマ２３ｂの計時時間Ｔ２が調節される。この調節により、液体の一度の吐出量が最適な状態に設定される。

【００２０】

以上のように、直流電源１の電圧を昇圧回路３で昇圧してピエゾ素子６に印加し、そのピエゾ素子６の充電電圧を放電回路４によって放電することにより、従来のように高圧電源を要することなく、ピエゾ素子６を液体の吸込みおよび吐出に必要なレベルに確実に充電することができる。高圧電源が不要なので、コストの上昇を回避できる。しかも、高電圧を降下させる必要がないので、電力損失が低減して効率の向上が図れる。

【００２１】

また、タイマ２３ｂによる計時時間Ｔ２、すなわち昇圧動作（エネルギーのチャージを含む）の開始から充電が終了するまでの時間の増減によって、ピエゾ素子６の充電電圧を加減することができるので、主制御部２２によってタイマ２３ｂの計時時間Ｔ２をピエゾ素子６毎に設定することで、ノズル毎の液体の吐出量を容易かつ迅速に変更することができる。例えば、ガラス基板の表面に配向膜やレジスト、或いはカラーフィルタ等の機能性薄膜を形成する場合等において、基板上における液体の塗布位置に応じて塗布する液滴の量、すなわち液体の吐出量を変えることができるので、基板上の塗布領域における周辺部分で膜厚が厚くなる傾向がある場合には周辺部分で吐出量を減少させるなど、液体の塗布条件の多様化に対応することができ、形成される機能性薄膜の品質を向上させることができる。

【００２２】

さらに、上記のように、充電電圧検出回路５でピエゾ素子６に対する充電電圧が検出され、その検出電圧に応じてＭＯＳＦＥＴ１２のオン，オフスイッチングの期間、すなわちタイマ２３ｂの計時時間Ｔ２が調整されるので、所望する充電電圧をピエゾ素子６に確実に印加することができる。これにより、必要量の液体をノズルから確実に吐出させることができる。

【００２３】

［２］第２の実施形態について説明する。

図３に示すように、昇圧回路３および放電回路４に代わる昇圧・放電回路７が設けられる。昇圧・放電回路７は、昇圧回路３のインダクタ１１および整流ダイオード１３と放電回路４のＭＯＳＦＥＴ１４を組合せたもので、インダクタ１１に対する通電用のスイッチング素子であるＭＯＳＦＥＴ１２の機能と放電路形成用のスイッチング素子であるＭＯＳＦＥＴ１４の機能を１つのＭＯＳＦＥＴ１４に共通化している。

【００２４】

ＭＯＳＦＥＴ１４がオンされ、そのＭＯＳＦＥＴ１４および整流ダイオード１３を通して流れる電流によってインダクタ１１にエネルギーがチャージされる。次に、ＭＯＳＦＥＴ１４がオフされて、インダクタ１１にチャージされるエネルギーが整流ダイオード１３を介して出力される。この出力によりピエゾ素子６が充電されていき、その充電に伴うピエゾ素子６の動作により液体が吸込まれる。

【００２５】

インダクタ１１からピエゾ素子６へのエネルギーの供給は、インダクタ１１の出力電圧がピークに達したとき、ピエゾ素子６から整流ダイオード１３のカソードに加わるバイアス（いわゆる逆バイアス）により、停止する。

【００２６】

こうして、ピエゾ素子６の充電が完了した後、ＭＯＳＦＥＴ１４が再びオンされる。このオンにより、ピエゾ素子６の充電電圧がアース側に急速放電される。この急速放電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吐出される。この放電後、ＭＯＳＦＥＴ１４がオフされる。

【００２７】

図３において、昇圧動作（エネルギーのチャージを含む）および充電に際しての電流の流れを実線矢印で示し、放電時の電流の流れを破線矢印で示している。

【００２８】

このように、昇圧回路３のスイッチング素子と放電回路４のスイッチング素子とを１つのスイッチング素子に共通化することにより、スイッチング素子の数を減らすことができ、その分だけコストの低減が図れる。

【００２９】

第１の実施形態と異なるのは、インダクタ１１へのエネルギーのチャージがＭＯＳＦＥＴ１４の最初のオンによって行われ、次のＭＯＳＦＥＴ１４のオフによって昇圧と充電が行われ、その後のＭＯＳＦＥＴ１４のオンによって放電が行われる点である。

他の構成、作用、効果は第１の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【００３０】
［３］第３の実施形態について説明する。
図４に示すように、昇圧回路３において、直流電源１とインダクタ１１との間の通電路に、その通電路を開閉するための開閉スイッチとしてトランジスタアレイ３０が設けられる。すなわち、トランジスタアレイ３０がオンすると直流電源１とインダクタ１１との間の通電路が閉じられ、トランジスタアレイ３０がオフすると直流電源１とインダクタ１１との間の通電路が開かれる。このトランジスタアレイ３０に、ＭＯＳＦＥＴ１２に供給されるのと同じ駆動信号が供給される。
【００３１】
トランジスタアレイ３０は、昇圧動作（エネルギーのチャージを含む）時にオンしてインダクタ１１への通電を行い、非昇圧動作時にオフしてインダクタ１１への通電を遮断するもので、図５の等価回路を有する。すなわち、直流電源１とインダクタ１１との間の通電路にＮＰＮ型トランジスタ３５のコレクタ・エミッタ間が挿入接続され、そのトランジスタ３５のコレクタ・ベース間にＮＰＮ型トランジスタ３６のコレクタ・エミッタ間が接続され、トランジスタ３６のコレクタ・ベース間にＰＮＰ型トランジスタ３７のエミッタ・コレクタ間が接続されている。さらに、トランジスタ３７のベースとアースとの間にＮＰＮ型トランジスタ３８のコレクタ・エミッタ間が接続され、そのトランジスタ３８のベースにＭＯＳＦＥＴ１２に対する駆動信号が供給されるとともに、アースからトランジスタ３５のエミッタにかけて内部ダイオード３９が順方向に接続されている。
【００３２】
また、トランジスタアレイ３０とインダクタ１１との間の通電路にトランジスタアレイ３０に向かう電流を阻止するためのダイオード３１が挿入接続され、そのダイオード３１のカソードから直流電源１の正側端子にかけてダイオード３２を介したバイパス回路が接続されている。
【００３３】
さらに、昇圧回路３の出力端にダイオード３３を順方向に介してツェナーダイオード３４のカソードが接続され、そのツェナーダイオード３４のアノードが直流電源１の正側端子に接続されている。ダイオード３３は、１つの圧電素子駆動装置２ごとに１つずつ設けられ、他の圧電素子駆動装置２から流出した電流が当該圧電素子駆動装置２に流入するのを阻止する。ツェナーダイオード３４は、複数の圧電素子駆動装置２に対して１つだけ設けられ、複数の圧電素子駆動装置２における過電圧を減衰させるための減衰手段として、共通に使用される。
【００３４】
作用を説明する。
ＭＯＳＦＥＴ１２がオンされると、それに伴ってトランジスタアレイ３０がオンする。このとき、実線矢印のように、直流電源１の正側端子からトランジスタアレイ３０およびダイオード３１を通ってインダクタ１１に電流が流れ、インダクタ１１を経た電流がＭＯＳＦＥＴ１２からアースラインを通って直流電源１の負側端子に流れる。こうして、インダクタ１１にエネルギーがチャージされる。
【００３５】
次に、ＭＯＳＦＥＴ１２がオフされ（昇圧）、インダクタ１１にチャージされるエネルギーが整流ダイオード１３を介してピエゾ素子６に印加され、ピエゾ素子６が充電されていく。この充電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吸込まれる。このときの電流径路は、インダクタ１１から整流ダイオード１３、ピエゾ素子６、アースライン、トランジスタアレイ３０の内部ダイオード３９、ダイオード３１を通ってインダクタ１１に戻る経路である。
【００３６】
トランジスタアレイ３０は、ＭＯＳＦＥＴ１２がオフしてから遅れてオフする。このトランジスタアレイ３０のオフ時は、上記のように、インダクタ１１から整流ダイオード１３、ピエゾ素子６、アースライン、トランジスタアレイ３０の内部ダイオード３９、ダイ

オード３１を通ってインダクタ１１に戻る経路で電流が流れている。つまり、トランジスタアレイ３０内のトランジスタに電流が流れていないので、トランジスタアレイ３０を安全にオフすることができる。

【００３７】

インダクタ１１からピエゾ素子６へのエネルギーの供給は、インダクタ１１の出力電圧がピークに達したとき、ピエゾ素子６から整流ダイオード１３のカソードに加わるバイアス（いわゆる逆バイアス）により、停止する。

【００３８】

こうして、ピエゾ素子６の充電が完了した後、放電回路４のＭＯＳＦＥＴ１４がオンされる。このオンにより、ピエゾ素子６の充電電圧がＭＯＳＦＥＴ１４を通ってアース側に急速放電される。この急速放電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吐出される。この放電後、ＭＯＳＦＥＴ１４がオフされる。

【００３９】

この放電に際しては、予め、ＭＯＳＦＥＴ１２のオフに伴ってトランジスタアレイ３０がオフしているので、直流電源１からインダクタ１１への通電路が遮断された状態にあり、インダクタ１１に昇圧動作用の電流が流れない。この場合のピエゾ素子６の電圧波形を図６に示しており、インダクタ１１に昇圧動作用の電流が流れないため放電後の不要な電圧上昇が解消される。

【００４０】

仮に、トランジスタアレイ３０がない場合は、放電後もインダクタ１１に昇圧動作用の電流が流れ込んでエネルギーがチャージされ、図７に示すようにピエゾ素子６の電圧が再上昇する。この再上昇した電圧が次のエネルギーのチャージタイミングまで残ると、ピエゾ素子６への充電量に変動が生じ、液体の吐出量を適正に制御することが困難となる可能性がある。このような不具合を防ぐため、トランジスタアレイ３０が設けられている。しかも、放電後にピエゾ素子６の電圧が再上昇しないので、ピエゾ素子６の充放電サイクルの短縮が図れる。

【００４１】

なお、ＭＯＳＦＥＴ１２がオンしてトランジスタアレイ３０がオンしているとき、ＭＯＳＦＥＴ１２を経た電流が実線矢印のようにアースからトランジスタアレイ３０に向かって流れるが、その電流はトランジスタアレイ３０の内部ダイオード３９を通ってインダクタ１１側にバイパスされる。これにより、トランジスタアレイ３０に向かう電流がトランジスタアレイ３０本体に流れ込むことがなくなり、逆方向の電流に弱いトランジスタアレイ３０の破壊を未然に防ぐことができる。

【００４２】

また、昇圧動作および充電が完了してから放電回路４の放電が開始されるまでの間、図４に破線矢印で示すように、インダクタ１１の逆起電力による電流がＭＯＳＦＥＴ１２の寄生ダイオード１２ａおよびインダクタ１１を通ってトランジスタアレイ３０に流れ込もうとする。ただし、トランジスタアレイ３０に向かう電流は、ダイオード３１で阻止されて、ダイオード３２のバイパス回路に流れ、直流電源１側に逃がされる。これにより、トランジスタアレイ３０の破壊を未然に防ぐことができる。

【００４３】

一方、他の圧電素子駆動装置２の昇圧回路３の出力電圧が、当該圧電素子駆動装置２の昇圧回路３の出力電圧よりも高い場合、その差分の電圧いわゆる過電圧がダイオード３３を通ってツェナーダイオード３４に加わる。このツェナーダイオード３４に加わる過電圧が所定値（ツェナー電圧）以上であれば、ツェナーダイオード３４に逆方向の電流が流れる。これにより、過電圧が減衰される。したがって、各圧電素子駆動装置２の昇圧電圧の違いにかかわらず、各圧電素子駆動装置２を独立的に安定して動作させることができる。

【００４４】

また、ピエゾ素子６はセラミックで作られているので割れて破損することがある。また、ピエゾ素子６の接続が何らかの原因により外れる可能性もある。ピエゾ素子６はコンデ

ンサに相当するもので、その静電容量が破損や接続外れによって無くなると、インダクタ１１を経た充電電流の行き場がなくなり、整流ダイオード１３のカソード電圧（ピエゾ素子６に加わる電圧）が急上昇する。この過電圧は、ダイオード３３を介してツェナーダイオード３４に加わる。このツェナーダイオード３４に加わる過電圧が所定値（ツェナー電圧）以上であれば、ツェナーダイオード３４に逆方向の電流が流れる。これにより、過電圧が減衰される。

【００４５】

なお、直流電源１とインダクタ１１との間の通電路に設ける開閉スイッチとしては、トランジスタアレイ３０に限らず、ＭＯＳＦＥＴを用いることももちろん可能である。

【００４６】

第１の実施形態と異なるのは、インダクタ１１へのエネルギーのチャージがＭＯＳＦＥＴ１２およびトランジスタアレイ３０のオンによって行われ、次のＭＯＳＦＥＴ１２のオフによって昇圧と充電が行われ、その後のＭＯＳＦＥＴ１４のオンによって放電が行われる点である。

他の構成、作用、効果は第１の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【００４７】

［４］第４の実施形態について説明する。

図８に示すように、昇圧回路３にＭＯＳＦＥＴ１２を駆動するためのドライバ１７が設けられている。さらに、放電回路４のＭＯＳＦＥＴ１４のソース・ドレイン間が昇圧回路３とピエゾ素子６との間の正側の通電路に挿入接続され、そのＭＯＳＦＥＴ１４を駆動するための駆動回路４０が設けられている。駆動回路４０は、直流電源１の正側端子にアノードが接続されたダイオード４１、このダイオード４１のカソードに一端が接続されて他端がＭＯＳＦＥＴ１２のドレインに接続されたコンデンサ４２、このコンデンサ４２の電圧により動作してＭＯＳＦＥＴ１４を駆動するドライバ４３を有する。

【００４８】

放電回路４は、ピエゾ素子６の充電電圧がインダクタ１１を通って直流電源１側へ流れるエネルギー回生用の放電路を形成する。

【００４９】

作用を説明する。

ＭＯＳＦＥＴ１２のオンにより、実線矢印のように、インダクタ１１に電流が流れてインダクタ１１にエネルギーがチャージされるとともに、駆動回路４０のコンデンサ４２が充電される。このコンデンサ４２の充電電圧は、駆動回路４０の動作電圧として使用される。

【００５０】

そして、ＭＯＳＦＥＴ１２のオフにより、インダクタ１１にチャージされたエネルギーがＭＯＳＦＥＴ１４の寄生ダイオード１４ａを通ってピエゾ素子６に印加され、ピエゾ素子６が充電されていく。この充電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吸込まれる。

【００５１】

インダクタ１１からピエゾ素子６へのエネルギーの供給は、インダクタ１１の出力電圧がピークに達したとき、ピエゾ素子６から寄生ダイオード１４ａのカソードに加わるバイアス（いわゆる逆バイアス）により、停止する。

【００５２】

こうして、ピエゾ素子６の充電が完了した後、放電回路４のＭＯＳＦＥＴ１４がオンされる。このオンにより、破線矢印で示すように、ピエゾ素子６の充電電圧がＭＯＳＦＥＴ１４およびインダクタ１１を通って直流電源１側に急速放電される。この急速放電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吐出される。この放電後、ＭＯＳＦＥＴ１４がオフされる。

【００５３】

こうして、放電電流が直流電源１側に流れることにより、放電のエネルギーが直流電源１に回生される。この回生エネルギーは、昇圧動作（エネルギーのチャージを含む）およ

び充電に使用されたエネルギーと同程度であり、よってエネルギー効率が向上し、結果的に圧電素子駆動装置２としての消費電力を低減できる。この消費電力の低減は、圧電素子駆動装置２の構成部品や液体の温度変化を低減することにつながり、圧電素子駆動装置２に対するメンテナンス間隔の延長や液体の寿命向上といった効果を奏する。

【００５４】

また、放電に際し、ピエゾ素子６の充電電圧が直流電源１の電圧まで降下するまでは、インダクタ１１を通って直流電源１側に流れた放電電流がその直流電源１からアースラインを通ってピエゾ素子６に戻る経路が形成される。ピエゾ素子６の充電電圧が直流電源１の電圧まで降下したら、今度は、それまでの放電電流によってインダクタ１１にチャージされたエネルギーにより、ピエゾ素子６の充電電圧がＭＯＳＦＥＴ１４およびインダクタ１１を通って直流電源１側に放電され、その直流電源１を経た電流がアースラインを通ってピエゾ素子６に戻る経路が形成される。こうして、ピエゾ素子６が完全に放電し切ってエネルギーが無くなるまで放電路が形成され、直流電源１への放電エネルギーの回生が継続される。

【００５５】

ピエゾ素子６が完全に放電し切った後、インダクタ１１に残っているエネルギーに基づく電流が、インダクタ１１から直流電源１およびアースラインを通ってＭＯＳＦＥＴ１２の寄生ダイオード１２ａを通ってインダクタ１１に戻る経路で流れる。この電流経路は、インダクタ１１に残っているエネルギーが無くなるまで継続される。したがって、インダクタ１１に不要なエネルギーが残らない。この場合のピエゾ素子６の電圧波形およびＭＯＳＦＥＴ１２に流れる電流波形を図９に示しており、放電後の不要な電圧上昇が生じない。

【００５６】

仮に、インダクタ１１から直流電源１および寄生ダイオード１２ａを通ってインダクタ１１に戻る電流経路がないとすると、図１０に示すようにピエゾ素子６の電圧が再上昇する。この再上昇した電圧が次のエネルギーのチャージタイミングまで残ると、ピエゾ素子６への充電量に変動が生じ、液体の吐出量を適正に制御することが困難となる可能性がある。このような不具合を防ぐため、放電電流によってインダクタ１１にチャージされたエネルギーに基づく電流をインダクタ１１から直流電源１および寄生ダイオード１２ａを通してインダクタ１１に戻すようにしている。

【００５７】

なお、図８に破線で示すように、直流電源１にコンデンサ１８を接続し、放電のエネルギーをコンデンサ１８に回生する構成としてもよい。

【００５８】

第１の実施形態と異なるのは、エネルギーのチャージがＭＯＳＦＥＴ１２のオンによって行われ、次のＭＯＳＦＥＴ１２のオフによって昇圧と充電が行われ、その後のＭＯＳＦＥＴ１４のオンによって放電が行われる点である。

他の構成、作用、効果は第１の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【００５９】

［５］第５の実施形態について説明する。

図１１に示すように、昇圧回路３において、直流電源１とインダクタ１１との間の通電路に、その通電路を開閉するための第１の開閉スイッチとしてＰチャンネルのＭＯＳＦＥＴ５１のソース・ドレイン間が挿入接続される。すなわち、ＭＯＳＦＥＴ５１がオンすると直流電源１とインダクタ１１との間の通電路が閉じられ、ＭＯＳＦＥＴ５１がオフすると直流電源１とインダクタ１１との間の通電路が開かれる。

【００６０】

このＭＯＳＦＥＴ５１のソース・ゲート間に、抵抗５２が接続される。さらに、ＭＯＳＦＥＴ５１のゲートに、図１のＭＯＳＦＥＴ１２に供給される駆動信号と論理が反転した状態の駆動信号が、コンデンサ（いわゆるカップリングコンデンサ）５３を介して供給される。なお、ＭＯＳＦＥＴ５１は、寄生ダイオード５１ａを有する。

【００６１】
上記抵抗５２と上記コンデンサ５３とにより、ＭＯＳＦＥＴ５１による通電路の開閉に時間的な制限を与える時定数回路が形成されている。
【００６２】
さらに、ＭＯＳＦＥＴ５１のドレインに抵抗５４を介してＭＯＳＦＥＴ１２のゲートが接続され、そのゲートにダイオード５５のアノードが接続される。そして、ダイオード５５のカソードがＭＯＳＦＥＴ５６のドレイン・ソース間を介してアース接続される。このＭＯＳＦＥＴ５６のゲートに、抵抗５７を介して、図１のＭＯＳＦＥＴ１４に供給されるのと同じ駆動信号が供給される。さらに、ＭＯＳＦＥＴ５１のドレインと抵抗５４との接続点にダイオード５８のカソードが接続され、そのダイオード５８のアノードがアース接続される。なお、ＭＯＳＦＥＴ５６は、寄生ダイオード５６ａを有する。
【００６３】
ＭＯＳＦＥＴ５１がオンすると、それに伴い、ＭＯＳＦＥＴ１２もオンする。ＭＯＳＦＥＴ５１がオフすると、それに伴い、ＭＯＳＦＥＴ１２もオフする。ＭＯＳＦＥＴ１２は、ＭＯＳＦＥＴ５１に連動して、インダクタ１１の出力側とアースラインとの間の通電路を開閉する第２の開閉スイッチとして機能する。すなわち、ＭＯＳＦＥＴ１２がオンするとインダクタ１１の出力側とアースラインとの間の通電路が閉じられ、ＭＯＳＦＥＴ１２がオフするとインダクタ１１の出力側とアースラインとの間の通電路が開かれる。
【００６４】
放電回路４は、インダクタ１１とピエゾ素子６との間の正側の通電路に順方向に挿入接続されたダイオード６１、このダイオード６１にコレクタ・エミッタ間が並列接続されたＰＮＰ型トランジスタ６２、このトランジスタ６２のベースと上記ＭＯＳＦＥＴ５６のドレインとの間に接続された抵抗６３を有している。
【００６５】
また、直流電源１にエネルギー回生用のコンデンサ１８が接続される。
【００６６】
作用を説明する。
まず、ＭＯＳＦＥＴ５１がオンするときのＭＯＳＦＥＴ５１のゲート電圧の閾値は、例えば－２．３Ｖである。主制御部２２からＭＯＳＦＥＴ５１に対して出力される駆動信号は、０Ｖ～３．３Ｖの範囲でレベルが変化する。すなわち、駆動信号が３．３Ｖ（高レベル）のとき、抵抗５２を介したバイアス電圧（＝１２Ｖ－３．３Ｖ）がＭＯＳＦＥＴ５１のゲートに加わり、ＭＯＳＦＥＴ５１がオフ状態を維持する。駆動信号が０Ｖ（低レベル）になると、ＭＯＳＦＥＴ５１のゲート電圧が閾値の－２．３Ｖ以下に低下し、ＭＯＳＦＥＴ５１がオンする。
【００６７】
ＭＯＳＦＥＴ５１がオンした後、ＭＯＳＦＥＴ５１のゲート電圧が抵抗５２とコンデンサ５３とにより定まる時定数（例えば１００μＳ）で上昇していく。この時定数に基づく一定時間たとえば５０μ秒後、ＭＯＳＦＥＴ５１のゲート電圧が閾値の－２．３Ｖを超えて高くなり、ＭＯＳＦＥＴ５１がオフする。
【００６８】
ＭＯＳＦＥＴ５１がオンしたとき、そのＭＯＳＦＥＴ５１を経た略１２Ｖの電圧が抵抗５４を介してＭＯＳＦＥＴ１２のゲートに印加され、ＭＯＳＦＥＴ１２がオンする。
【００６９】
ＭＯＳＦＥＴ５１およびＭＯＳＦＥＴ１２がオンしたとき、実線矢印のようにインダクタ１１に電流が流れ、インダクタ１１にエネルギーがチャージされていく。ここで、ＭＯＳＦＥＴ５１のオン時間は上記した時定数に基づく５０μ秒に制限される。この時間制限により、インダクタ１１へのエネルギーのチャージが飽和する前にインダクタ１１への通電が停止され、過電流による回路部品の破損が未然に防止される。
【００７０】
ＭＯＳＦＥＴ５１がオフすると、ＭＯＳＦＥＴ１２のゲート電圧が低下し、ＭＯＳＦＥ

Ｔ１２がオフする。
【００７１】
ＭＯＳＦＥＴ１２がオフすると、インダクタ１１にチャージされたエネルギーが放電回路４のダイオード６１を介してピエゾ素子６に印加され、ピエゾ素子６が充電されていく。この充電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吸込まれる。このときの電流径路は、インダクタ１１からダイオード６１、ピエゾ素子６、アースライン、ダイオード５８を通ってインダクタ１１に戻る経路である。このとき、ＭＯＳＦＥＴ１２のゲート電圧はダイオード５８のカソード電圧である０．７Ｖ程度と小さく、よってＭＯＳＦＥＴ１２のオフ状態が維持される。
【００７２】
インダクタ１１からピエゾ素子６へのエネルギーの供給は、インダクタ１１の出力電圧がピークに達したとき、ピエゾ素子６からダイオード６１のカソードに加わるバイアス（いわゆる逆バイアス）により、停止する。
【００７３】
こうして、ピエゾ素子６の充電が完了した後、昇圧回路３のＭＯＳＦＥＴ５６がオンされる。このオンにより、放電回路４のトランジスタ６２がオンし、破線矢印で示すように、ピエゾ素子６の充電電圧がトランジスタ６２のエミッタ・コレクタ間、インダクタ１１、ＭＯＳＦＥＴ５１の寄生ダイオード５１ａ、およびコンデンサ１８を通ってアース側に急速放電される。この急速放電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吐出される。この放電後、ＭＯＳＦＥＴ５６がオフされてトランジスタ６２がオフする。
この放電に際しては、予め、ＭＯＳＦＥＴ５１およびＭＯＳＦＥＴ１２がオフしており、そのＭＯＳＦＥＴ５１のオフによって直流電源１からインダクタ１１への通電路が遮断された状態にあり、インダクタ１１に昇圧動作用（エネルギーのチャージを含む）の電流が流れない。この場合のピエゾ素子６の電圧波形およびＭＯＳＦＥＴ１２に流れる電流波形を図１２に示しており、インダクタ１１に昇圧動作用の電流が流れないため放電後の不要な電圧上昇が解消される。
【００７４】
仮に、ＭＯＳＦＥＴ５１がない場合は、放電後もインダクタ１１にチャージ用の電流が流れてエネルギーがチャージされ、図１３に示すようにピエゾ素子６の電圧が再上昇する。この再上昇した電圧が次のエネルギーのチャージタイミングまで残ると、ピエゾ素子６への充電量に変動が生じ、液体の吐出量を適正に制御することが困難となる可能性がある。このような不具合を防ぐため、ＭＯＳＦＥＴ５１が設けられている。
【００７５】
また、放電電流がコンデンサ１８に流れることにより、放電のエネルギーがコンデンサ１８に回生される。この回生エネルギーは、昇圧動作および充電に使用されたエネルギーと同程度であり、よってエネルギー効率が向上し、結果的に圧電素子駆動装置２としての消費電力を低減できる。この消費電力の低減は、圧電素子駆動装置２の構成部品や液体の温度変化を低減することにつながり、圧電素子駆動装置２に対するメンテナンス間隔の延長や液体の寿命向上といった効果を奏する。
【００７６】
さらに、放電に際し、ピエゾ素子６の充電電圧が直流電源１の電圧まで降下するまでは、インダクタ１１および寄生ダイオード５１ａを通ってコンデンサ１８側に流れた放電電流がそのコンデンサ１８からアースラインを通ってピエゾ素子６に戻る経路が形成される。ピエゾ素子６の充電電圧が直流電源１の電圧まで降下したら、今度は、それまでの放電電流によってインダクタ１１にチャージされたエネルギーにより、ピエゾ素子６の充電電圧がインダクタ１１および寄生ダイオード５１ａを通ってコンデンサ１８側に放電され、そのコンデンサ１８を経た放電電流がアースラインを通ってピエゾ素子６に戻る経路が形成される。こうして、ピエゾ素子６が完全に放電し切ってエネルギーが無くなるまで放電路が形成され、コンデンサ１８への放電エネルギーの回生が継続される。
【００７７】

ピエゾ素子６が完全に放電し切った後、インダクタ１１に残っているエネルギーに基づく電流が、インダクタ１１から寄生ダイオード５１ａ、コンデンサ１８、アースライン、およびＭＯＳＦＥＴ１２の寄生ダイオード１２ａを通ってインダクタ１１に戻る経路で流れる。この電流経路は、インダクタ１１に残っているエネルギーが無くなるまで継続される。したがって、インダクタ１１に不要なエネルギーが残らない。

【００７８】

第１の実施形態と異なるのは、エネルギーのチャージがＭＯＳＦＥＴ５１，１２のオンによって行われ、次のＭＯＳＦＥＴ５１，１２のオフによって昇圧と充電が行われ、その後のＭＯＳＦＥＴ５６およびトランジスタ６２のオンによって放電が行われる点である。

他の構成、作用、効果は第１の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【００７９】

［６］第６の実施形態について説明する。

図１４に示すように、各圧電素子駆動装置２がそれぞれ複数たとえば２つの昇圧回路３を備えている。これら昇圧回路３は、基本的な構成は図４に示した昇圧回路３と同じであり、スイッチング素子としてＭＯＳＦＥＴ１２ｘ、１２ｙをそれぞれ有している。なお、トランジスタアレイ３０は、ＰＮＰ型トランジスタ３７、ＮＰＮ型トランジスタ３８、および内部ダイオード３９からなる点が図４の場合と異なるだけで、昇圧時にオンしてインダクタ１１への通電を行い、非昇圧時にオフしてインダクタ１１への通電を遮断する機能は図４の場合と同じである。

【００８０】

制御ユニット２０は、主制御部２２、タイマ回路２３、および選択回路７０を有する。主制御部２２は、各圧電素子駆動装置２の駆動タイミングを制御するもので、各タイマ回路２３に駆動信号を供給する。各タイマ回路２３は、駆動信号を受けてから一方の昇圧回路３の昇圧動作開始までの時間Ｔ１ｘを計時するタイマ２３ａ、一方の昇圧回路３の昇圧動作開始から充電が終了するまでの時間Ｔ２ｘを計時するタイマ２３ｂ、一方の昇圧回路３を対象とした充電電圧の保持時間Ｔ３ｘを計時するタイマ２３ｃ、一方の昇圧回路３を対象とした放電路形成時間Ｔ４ｘを形成するタイマ２３ｄを有するとともに、そのタイマ２３ｄの出力信号を受けてから他方の昇圧回路３の昇圧動作開始までの時間Ｔ１ｙを計時するタイマ２３ｅ、他方の昇圧回路３の昇圧動作開始から充電が終了するまでの時間Ｔ２ｙを計時するタイマ２３ｆ、他方の昇圧回路３を対象とした充電電圧の保持時間Ｔ３ｙを計時するタイマ２３ｇ、他方の昇圧回路３を対象とした放電路形成時間Ｔ４ｙを形成するタイマ２３ｈを有し、さらにタイマ２３ｂ，２３ｄ，２３ｆの出力信号が入力されるノア回路２３ｉを有している。

【００８１】

選択回路７０は、フリップフロップ７１およびアンド回路７２，７３を有し、上記ノア回路２３ｉの出力信号に応じて２つの昇圧回路３を個別に動作させる。

【００８２】

作用を説明する。

図１５に示すように、一方の昇圧回路３のＭＯＳＦＥＴ１２ｘがオンされてオフされ、続いて他方の昇圧回路３のＭＯＳＦＥＴ１２ｙがオンされてオフされ、この交互動作が繰り返される。

【００８３】

ＭＯＳＦＥＴ１２ｘのオンに基づく一方の昇圧回路３のエネルギーチャージ後、ＭＯＳＦＥＴ１２ｘに流れる電流Ｌｘに着目すると、インダクタ１１の寄生キャパシタなどの影響で正負に振動を繰り返す。この振動はやがて減衰するが、振動が残っている状態で一方の昇圧回路３のＭＯＳＦＥＴ１２ｘが再びオンしてエネルギーのチャージが始まると、それがピエゾ素子６に対する充電電圧の変動となって現われ、液体の吐出に悪影響を与えてしまう。

【００８４】

そこで、一方の昇圧回路３の昇圧後、ＭＯＳＦＥＴ１２ｘに流れる電流Ｌｘの振動が残っている間はＭＯＳＦＥＴ１２ｘを再びオンすることはせず、他方の昇圧回路３のＭＯＳＦＥＴ１２ｙがオンされる。

【００８５】

また、ＭＯＳＦＥＴ１２ｙのオンに基づく他方の昇圧回路３のエネルギーチャージ後、ＭＯＳＦＥＴ１２ｙに流れる電流Ｌｙに着目すると、インダクタ１１の寄生キャパシタなどの影響で正負に振動を繰り返す。この振動はやがて減衰するが、振動が残っている状態で他方の昇圧回路３のＭＯＳＦＥＴ１２ｙが再びオンしてエネルギーのチャージが始まると、昇圧レベルが変動し、それがピエゾ素子６に対する充電電圧の変動となって現われ、ピエゾ素子６に対する充電電圧の変動を生じて液体の吐出に悪影響を与えてしまう。

【００８６】

そこで、他方の昇圧回路３の昇圧後、ＭＯＳＦＥＴ１２ｙに流れる電流Ｌｙの振動が残っている間はＭＯＳＦＥＴ１２ｙを再びオンすることはせず、一方の昇圧回路３のＭＯＳＦＥＴ１２ｘがオンされる。

【００８７】

こうして、２つの昇圧回路３が交互に動作することにより、ピエゾ素子６に対する適正な充放電を短時間のうちに繰り返すことが可能となる。ピエゾ素子６に対するいわゆるダブルパルス駆動などが可能となり、液体の吐出形態の多様化が図れる。

【００８８】

仮に、昇圧回路３が１つでそのＭＯＳＦＥＴ１２に流れる電流に振動が残っている状態で再び昇圧が始まった場合に昇圧レベルがどのようになるかの例を図１６に示している。１発目の昇圧レベルに比べ、２発目の昇圧レベルが高くなり、吐出に際しての放電開始レベルにｅ１とｅ２の差が存在する。

【００８９】

なお、２つの昇圧回路３を交互に動作させる場合を例に説明したが、２つの昇圧回路３を同時に動作させれば、ピエゾ素子６に印加される電圧を交互動作の場合よりも高めることが可能である。また、昇圧回路３の数については２つに限らず、３つ以上でもよい。

【００９０】

第１の実施形態と異なるのは、エネルギーのチャージがＭＯＳＦＥＴ１２ｘ，１２ｙのそれぞれオンによって行われ、次のＭＯＳＦＥＴ１２ｘ，１２ｙのそれぞれオフによって昇圧と充電が行われ、その後のＭＯＳＦＥＴ１４のオンによって放電が行われる点である。

他の構成、作用、効果は各実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【００９１】

［７］第７の実施形態について説明する。

この第７の実施形態は、第５の実施形態で示した図１１を変形したもので、図１７に示すように、図１のＭＯＳＦＥＴ１２に供給される駆動信号がそのまま抵抗５４を介してＭＯＳＦＥＴ１２のゲートに供給される。これに伴い、ＭＯＳＦＥＴ１２のゲートとＭＯＳＦＥＴ５６のドレインとの間に接続されていたダイオード５５が除去される。

【００９２】

さらに、放電回路４において、トランジスタ６２のベース・エミッタ間に抵抗６４が接続される。この抵抗６４を採用しているのは次の理由による。

【００９３】

まず、トランジスタ６２のベースに抵抗６３を介してＭＯＳＦＥＴ５６のドレインが接続されており、そのＭＯＳＦＥＴ５６が図１８の等価回路に示すように寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏ，Ｃｉを有している。このため、ＭＯＳＦＥＴ５１，１２がオフしてエネルギーのチャージが終了したとき（昇圧と充電の開始）、トランジスタ６２のコレクタ電圧が急上昇により、トランジスタ６２のコレクタから同トランジスタ６２のコレクタ・ベース間および抵抗６３を通してＭＯＳＦＥＴ５６の寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏに電流がバイパスして流れ込み、寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏが充電される。この充電電流の流

れ込みに伴ってトランジスタ６２のベース電位が下がり、そのトランジスタ６２が不要にオンしてしまう。こうなると、インダクタ１１からピエゾ素子６へ向かう充電エネルギーが、トランジスタ６２のコレクタ・ベース間を通って寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏ側にバイパスして流れ、不足する事態となる。

【００９４】

そこで、トランジスタ６２のベース・エミッタ間に抵抗６４を接続してトランジスタ６２のベース電位を高めておき、たとえ寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏへの充電電流のバイパスが生じても、それによるトランジスタ６２の不要なオンを防ぐようにしている。これにより、インダクタ１１からピエゾ素子６へ向かう充電エネルギーが不足する事態を解消することができる。

ピエゾ素子６の電圧波形およびＭＯＳＦＥＴ１２に流れる電流波形を図１９に示している。

他の構成、作用、効果は第５の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【００９５】

［８］第８の実施形態について説明する。

この第８の実施形態は、図１７に示した第７の実施形態で起こり得る不具合に対処している。

すなわち、第７の実施形態では、ピエゾ素子６への充電エネルギーの不足を解消するため、トランジスタ６２のベース・エミッタ間に抵抗６４を接続してトランジスタ６２のベース電位を高めるようにしているが、そうすると、ピエゾ素子６を放電させるべくトランジスタ６２をオンする際に、ＭＯＳＦＥＴ５６のオンによってトランジスタ６２のベースに大きな電流を流さなければならない。

【００９６】

こうなると、ピエゾ素子６から本来はトランジスタ６２のエミッタ・コレクタ間およびインダクタ１１を通って直流電源１側へ流れるべき放電電流のほとんどが、トランジスタ６２のエミッタ・ベース間および抵抗６４をそれぞれ通り、さらに抵抗６３およびＭＯＳＦＥＴ５６のドレイン・ソース間を通ってアースに流れ、放電エネルギーを直流電源１やコンデンサ１８に回生できなくなる。放電エネルギーを回生できないと、エネルギー効率の向上が難しくなる。

【００９７】

そこで、この第８の実施形態では、図２０に示すように、直流電源１とピエゾ素子６との間に昇圧回路３が接続され、ピエゾ素子６と直流電源１との間に放電回路４が直接的に接続される。

昇圧回路３は、第１の開閉スイッチであるＭＯＳＦＥＴ５１、インダクタ１１、第２の開閉スイッチであるＭＯＳＦＥＴ１２、および整流ダイオード１３を有している。そして、直流電源１とインダクタ１１との間の通電路に、ＭＯＳＦＥＴ５１のソース・ドレイン間が挿入接続される。このＭＯＳＦＥＴ５１のソース・ゲート間に、抵抗５２が接続される。さらに、ＭＯＳＦＥＴ５１のゲートに、ＭＯＳＦＥＴ１２に供給されるのと同じ駆動信号が、コンデンサ５３を介して供給される。さらに、ＭＯＳＦＥＴ５１のドレインにダイオード５８のカソードが接続され、そのダイオード５８のアノードがアース接続される。

【００９８】

放電回路４は、ピエゾ素子６から直流電源１側への放電路を形成するための第３の開閉スイッチとして、ＭＯＳＦＥＴ７７を有している。このＭＯＳＦＥＴ７７のドレインとピエゾ素子６との間の通電路に、ダイオード７５およびインダクタ７６が設けられる。そして、ＭＯＳＦＥＴ７７のソース・ゲート間に、抵抗７８が接続される。さらに、ＭＯＳＦＥＴ７７のゲートに、図１のＭＯＳＦＥＴ１４に供給されるのと同じ駆動信号が、コンデンサ（いわゆるカップリングコンデンサ）７９を介して供給される。なお、ＭＯＳＦＥＴ７７は、寄生ダイオード７７ａを有する。

【００９９】

すなわち、放電回路４は、液体の吸込み時、ＭＯＳＦＥＴ７７がオフ状態を維持することにより、昇圧回路３からピエゾ素子６への充電経路を保つ。また、放電回路４は、液体の吐出時、ＭＯＳＦＥＴ７７がオンされることにより、ダイオード７５、インダクタ７６、ＭＯＳＦＥＴ７７、およびコンデンサ１８を通る経路でピエゾ素子６の充電電圧を急速放電させる。この放電電流は、コンデンサ１８および直流電源１に回生される。

【０１００】

インダクタ７６のインダクタンスは、昇圧回路３のインダクタ１１のインダクタンスに比べて小さい。これは、ピエゾ素子６の充電電圧を急速に放電させるためである。

【０１０１】

なお、放電時、ピエゾ素子６の充電電圧が直流電源１の電圧まで降下するまでは、図２０に破線矢印で示すように、ダイオード７５、インダクタ７６、およびＭＯＳＦＥＴ７６を通ってコンデンサ１８に流れた放電電流が、そのコンデンサ１８からアースラインを通ってピエゾ素子６に戻る経路が形成される。ピエゾ素子６の充電電圧が直流電源１の電圧まで降下したら、今度は、それまでの放電電流によってインダクタ７６にチャージされたエネルギーにより、ピエゾ素子６の残りの充電電圧がダイオード７５、インダクタ７６、およびＭＯＳＦＥＴ７７を通ってコンデンサ１８側に放電され、そのコンデンサ１８を経た電流がアースラインを通ってピエゾ素子６に戻る経路が形成される。こうして、ピエゾ素子６が完全に放電し切ってエネルギーが無くなるまで放電路が形成され、コンデンサ１８への放電エネルギーの回生が継続される。

【０１０２】

ピエゾ素子６が完全に放電し切った後、インダクタ７６およびインダクタ１１に残っているエネルギーに基づく電流が、インダクタ７６からＭＯＳＦＥＴ７７、コンデンサ１８、アースライン、ダイオード５８、インダクタ１１、整流ダイオード１３、およびダイオード７５を通ってインダクタ７６に戻る経路で流れる。この電流経路はインダクタ７６およびインダクタ１１に残っているエネルギーが無くなるまで継続される。したがって、インダクタ７６およびインダクタ１１に不要なエネルギーが残らない。

【０１０３】

以上のように、ピエゾ素子６の放電エネルギーをコンデンサ１８に確実にしかも効率的に回生することができ、エネルギー効率の確実な向上が図れる。

【０１０４】

ピエゾ素子６の電圧波形、昇圧動作（エネルギーのチャージを含む）および充電時にＭＯＳＦＥＴ１２に流れる電流波形、放電時にＭＯＳＦＥＴ１２に流れる回生電流波形を図２１に示している。

他の構成、作用、効果は各実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【０１０５】

［９］第９の実施形態について説明する。

この第９の実施形態は、図４に示した第３の実施形態の関連であり、図２２に示すように、主制御部２２に動作用電圧（直流電圧５Ｖ）を供給するための制御用電源２１の電圧が、リセット回路２５に入力される。

【０１０６】

リセット回路２５は、制御用電源２１の電圧が主制御部２２の動作不能レベルまで低下したとき、主制御部２２のリセット端子にリセット信号を入力する。主制御部２２は、リセット信号が入力されると、動作を停止する。

他の構成、作用、効果は、第３の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【０１０７】

［１０］第１０の実施形態について説明する。

この第１０の実施形態は、図４に示した第３の実施形態および図２２に示した第９の実施形態で起こり得る不具合に対処している。

【０１０８】

図４および図２２の各実施形態では、複数の圧電素子駆動装置２が同じ直流電源１に接続されていることに対処し、昇圧回路３の出力端にダイオード３３を順方向に介してツェナーダイオード３４のカソードが接続され、そのツェナーダイオード３４のアノードが直流電源１の正側端子に接続されている。

【０１０９】

すなわち、他の圧電素子駆動装置２における昇圧回路３の出力電圧が当該圧電素子駆動装置２における昇圧回路３の出力電圧よりも高い場合、その差分の電圧いわゆる過電圧がダイオード３３を介してツェナーダイオード３４に加わる。このツェナーダイオード３４に加わる過電圧が所定値（ツェナー電圧）以上であれば、ツェナーダイオード３４に逆方向の電流が流れる。これにより、過電圧が減衰される。したがって、各圧電素子駆動装置２の昇圧電圧の違いにかかわらず、各圧電素子駆動装置２を独立的に安定して動作させるようにしている。また、ダイオード３３により、他の圧電素子駆動装置２から流出した電流が当該圧電素子駆動装置２に流入しない。

【０１１０】

さらに、ピエゾ素子６に破損や接続外れが生じてインダクタ１１を経た充電電流の行き場がなくなった場合、整流ダイオード１３のカソード電圧（ピエゾ素子６に加わる電圧）が急上昇する。この過電圧は、ダイオード３３を介してツェナーダイオード３４に加わる。このツェナーダイオード３４に加わる過電圧が所定値（ツェナー電圧）以上であれば、ツェナーダイオード３４に逆方向の電流が流れる。これにより、過電圧が減衰される。

【０１１１】

ただし、ピエゾ素子６は１０００ｐＦぐらいの静電容量のコンデンサに相当する。このため、ピエゾ素子６に破損や接続外れが生じると、図２３に示すように、整流ダイオード１３のカソード電圧（ピエゾ素子６に加わる電圧）が通常の８０Ｖから３倍の２４０Ｖ程度まで瞬時に上昇する。この上昇速度の速い過電圧に対しては、ツェナーダイオード３４による減衰作用が間に合わない可能性がある。このままいつまでも駆動が続いてしまうと、過電圧で回路部品が破壊される可能性がある。

【０１１２】

そこで、この第１０の実施形態では、図２４に示すように、ピエゾ素子６に対してコンデンサ８０が並列に接続される。このコンデンサ８０は、例えば１００ｐＦの静電容量を有するもので、図２５に示すように、ピエゾ素子６の破損や接続外れに際して生じる過電圧（整流ダイオード１３のカソード電圧）を自身への充電により抑制する。

【０１１３】

また、昇圧回路３の出力端（整流ダイオード１３のカソード）にダイオード３３を順方向に介してツェナーダイオード３４のカソードが接続され、そのツェナーダイオード３４のアノードが抵抗８１を介してアースラインに接続される。そして、ツェナーダイオード３４のアノードと抵抗８１との接続点が、ダイオード８２を順方向に介して直流電源１の正側端子に接続されるとともに、チャージ停止回路（Charge Stop Circuit）８３に接続される。さらに、ＭＯＳＦＥＴ１２のソースが、遮断用ＭＯＳＦＥＴ８４のドレイン・ソース間を介してアース接続される。なお、遮断用ＭＯＳＦＥＴ８４は、寄生ダイオード８４ａを有する。

【０１１４】

ピエゾ素子６の破損や接続外れによって過電圧が生じると、その過電圧がダイオード３３を介してツェナーダイオード３４に加わる。このツェナーダイオード３４に加わる過電圧が所定値（ツェナー電圧）以上であれば、ツェナーダイオード３４に逆方向の電流が流れる。ツェナーダイオード３４を経た電流は、ダイオード８２を通って直流電源１に回生されるとともに、抵抗８１を通ってアースラインに流れる。これにより、過電圧が減衰される。

【０１１５】

チャージ停止回路８３は、ツェナーダイオード３４を経た電流によって抵抗８１に生じる電圧が設定値以上になったとき、あるいは主制御部２２に動作用電圧（直流電圧５Ｖ）

を供給する制御用電源２１の電圧が動作不能レベルまで低下してリセット回路２５からリセット信号が発せられたとき、あるいはリセット回路２５のウォッチドッグタイマ機能によって主制御部２２の暴走による制御不能が検知されたとき、通常はオンしているＭＯＳＦＥＴ８４をオフする。ＭＯＳＦＥＴ８４がオフすると、たとえＭＯＳＦＥＴ１２がオンしていても、インダクタ１１に電流が流れず、インダクタ１１へのエネルギーのチャージが停止される。

【０１１６】

作用を説明する。

エネルギーのチャージに際しては、ＭＯＳＦＥＴ１２がオンしてトランジスタアレイ３０がオンするとともに、すでにＭＯＳＦＥＴ８４がオンしているので、直流電源１からトランジスタアレイ３０を通してインダクタ１１にエネルギーをチャージするための電流が流れ、インダクタ１１を経た電流がＭＯＳＦＥＴ１２およびＭＯＳＦＥＴ８４を通ってアースラインに流れる。アースラインに流れた電流は、直流電源１に流れる。

【０１１７】

一方、ピエゾ素子６に破損や接続外れが生じた場合、整流ダイオード１３のカソード電圧が急上昇するが、その過電圧はツェナーダイオード３４での減衰とコンデンサ８０の充電とで抑制される。これにより、圧電素子駆動装置２の回路部品が過電圧から保護される。

【０１１８】

ツェナーダイオード３４での減衰とコンデンサ８０の充電にもかかわらず、過電圧が十分に抑制されずにまだ高い場合は、ツェナーダイオード３４を経た電流によって抵抗８１に生じる電圧が設定値以上となる。このとき、チャージ停止回路８３によってＭＯＳＦＥＴ８４がオフされる。ＭＯＳＦＥＴ８４がオフすると、たとえ主制御部２２によってＭＯＳＦＥＴ１２がオンされても、インダクタ１１には昇圧動作用の電流が流れず、インダクタ１１へのエネルギーのチャージが停止される。よって、以後の安全が確保される。

【０１１９】

ツェナーダイオード３４および抵抗８１を経た電流は、アースラインからトランジスタアレイ３０の内部ダイオード３９を通ってインダクタ１１に流れ、そのインダクタ１１から整流ダイオード１３およびダイオード３３を通って再びツェナーダイオード３４へと流れる。

【０１２０】

制御用電源２１の電圧が動作不能なレベルまで低下してリセット回路２５からリセット信号が発せられた場合も、チャージ停止回路８３によってＭＯＳＦＥＴ８４がオフされる。したがって、このまま主制御部２２によってＭＯＳＦＥＴ１２がオンされても、インダクタ１１には昇圧動作用の電流が流れず、インダクタ１１へのエネルギーのチャージが停止され、安全が確保される。

【０１２１】

制御用電源２１の電圧が動作可能なレベルまで上昇してリセット回路２５からのリセット信号の発生が解除されると、チャージ停止回路８３によってＭＯＳＦＥＴ８４がオンされる。

【０１２２】

なお、リセット回路２５に主制御部２２を監視するウォッチドッグタイマ機能があって、そのウォッチドッグタイマ機能により主制御部２２の暴走による制御不能が検知された場合には、上記同様に、チャージ停止回路８３によってＭＯＳＦＥＴ８４がオフされる。このオフにより、暴走した主制御部２２がＭＯＳＦＥＴ１２をオンしても、インダクタ１１には昇圧動作用の電流が流れず、インダクタ１１へのエネルギーのチャージが停止され、安全が確保される。

【０１２３】

昇圧動作および充電時にＭＯＳＦＥＴ１２に流れる電流波形、およびピエゾ素子６の電圧波形を図２５に示している。

他の構成、作用、効果は各実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【０１２４】

［１１］第１１の実施形態について説明する。

この第１１の実施形態は、図２０に示した第８の実施形態の変形例である。

図２６に示すように、放電回路４において、ダイオード７５がインダクタ７６とＭＯＳＦＥＴ７７のドレインとの間の通電路に設けられている。また、主制御部２２内の要部の構成として、ＭＯＳＦＥＴ１２に対する制御信号を出力するゲート回路９１、およびＭＯＳＦＥＴ１２に対する制御信号を論理反転した形で出力する反転ゲート回路９２を示している。なお、図２６では、ダイオード７５とインダクタ７６の配置順を図２０とは逆にしている。

【０１２５】

昇圧回路３におけるインダクタ１１の出力側にダイオード３３を順方向に介してツェナーダイオード３４のカソードが接続され、そのツェナーダイオード３４のアノードが直流電源１の正側端子に接続される。

【０１２６】

昇圧動作および充電時にＭＯＳＦＥＴ１２に流れる電流波形、およびピエゾ素子６の電圧波形を図２７に示している。

他の構成、作用、効果は第８の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【０１２７】

［１２］第１２の実施形態について説明する。

この第１２の実施形態は、図２６に示した第１１の実施形態の変形例である。

【０１２８】

図２８に示すように、昇圧回路３において、ＭＯＳＦＥＴ５１のドレインとダイオード５８との接続点に、抵抗５４を介してＭＯＳＦＥＴ１２のゲートが接続される。

【０１２９】

ＭＯＳＦＥＴ５１がオンすると、図２９に示すように、ＭＯＳＦＥＴ５１のドレインとダイオード５８との接続点の電圧Ｖｇが高レベルとなり、ＭＯＳＦＥＴ１２もオンする。ＭＯＳＦＥＴ５１がオフすると、電圧Ｖｇが零となり、ＭＯＳＦＥＴ１２もオフする。

【０１３０】

また、昇圧回路３におけるインダクタ１１の出力側にダイオード３３を順方向に介してツェナーダイオード３４のカソードが接続され、そのツェナーダイオード３４のアノードが抵抗８１を介してアースラインに接続される。そして、ツェナーダイオード３４のアノードと抵抗８１との接続点が、ダイオード８２を順方向に介して直流電源１の正側端子に接続されるとともに、主制御部２２内のラッチ回路９３に接続される。

【０１３１】

ラッチ回路９３は、ツェナーダイオード３４を経た電流によって抵抗８１に生じる電圧が設定値以上になったとき、高レベルの電圧をラッチ出力する。このラッチ出力が主制御部２２内のオア回路９４の一方の入力端に入力される。オア回路９４の他方の入力端には、放電回路４のＭＯＳＦＥＴ７７を制御するための駆動信号も入力される。

【０１３２】

さらに、放電回路４におけるダイオード７５が、インダクタ７６とＭＯＳＦＥＴ７７との間の通電路に移されている。そして、インダクタ７６の出力側（ダイオード７５のアノード）にダイオード９５を順方向に介してツェナーダイオード３４のカソードが接続される。

【０１３３】

このような構成によれば、主制御部２２とＭＯＳＦＥＴ１２のゲートとの間の駆動信号ラインが不要となり、主制御部２２と圧電素子駆動装置２との間の駆動信号ラインを３本から２本に減らすことができる。

【０１３４】

放電回路４は、液体の吸込み時はＭＯＳＦＥＴ７７がオフ状態を維持することにより昇

圧回路３からピエゾ素子６への充電経路を保つが、液体の吐出時はＭＯＳＦＥＴ７７がオンすることによりインダクタ７６、ダイオード７５、およびＭＯＳＦＥＴ７７を通る経路でピエゾ素子６の充電電圧を直流電源１側に急速放電させ、その放電電流を直流電源１に回生させる。

【０１３５】

さらに、放電に際しては、図２８に破線矢印で示すように、ピエゾ素子６の充電電圧が直流電源１の電圧まで降下するまでは、インダクタ７６、ダイオード７５、およびＭＯＳＦＥＴ７７を通って直流電源１側に流れた放電電流が、その直流電源１からアースラインを通ってピエゾ素子６に戻る経路で流れる。ピエゾ素子６の充電電圧が直流電源１の電圧まで降下したら、今度は、それまでの放電電流によってインダクタ７６にチャージされたエネルギーにより、ピエゾ素子６の残りの充電電圧がインダクタ７６、ダイオード７５、およびＭＯＳＦＥＴ７７を通って直流電源１側に放電され、その直流電源１を経た電流がアースラインを通ってピエゾ素子６に戻る経路で流れる。こうして、ピエゾ素子６が完全に放電し切ってエネルギーが無くなるまで放電路が形成され、直流電源１への放電エネルギーの回生が継続される。

【０１３６】

ピエゾ素子６が完全に放電し切った後、インダクタ７６およびインダクタ１１に残っているエネルギーに基づく電流が、インダクタ７６からダイオード７５、ＭＯＳＦＥＴ７７、直流電源１、アースライン、ダイオード５８、インダクタ１１、および整流ダイオード１３を通ってインダクタ７６に戻る経路で流れる。この電流経路は、インダクタ７６およびインダクタ１１に残っているエネルギーが無くなるまで継続される。したがって、インダクタ７６およびインダクタ１１に不要なエネルギーが残らない。

【０１３７】

一方、ピエゾ素子６の破損や接続外れによって過電圧が生じると、その過電圧がダイオード３３を介してツェナーダイオード３４に加わる。このツェナーダイオード３４に加わる過電圧が所定値（ツェナー電圧）以上であれば、ツェナーダイオード３４に逆方向の電流が流れる。ツェナーダイオード３４を経た電流は、ダイオード８２を通って直流電源１に回生されるとともに、抵抗８１を通ってアースラインに流れる。これにより、過電圧が減衰される。

【０１３８】

このツェナーダイオード３４での減衰にもかかわらず、過電圧が十分に抑制されずにまだ高い場合は、ツェナーダイオード３４を経た電流によって抵抗８１に生じる電圧が設定値以上となる。このとき、主制御部２２内のラッチ回路９３から高レベルの信号が出力される。この出力信号に基づき、オア回路９４の出力が放電時と同じく高レベルとなり、放電回路４のＭＯＳＦＥＴ７７がオンする。ＭＯＳＦＥＴ７７がオンすると、抑制できなかった分の過電圧がＭＯＳＦＥＴ７７を通して直流電源１側に回生される。よって、以後の安全が確保される。

【０１３９】

ツェナーダイオード３４および抵抗８１を経た電流は、アースラインからＭＯＳＦＥＴ１２の寄生ダイオード１２ａおよび整流ダイオード１３を通ってインダクタ７６に流れ、そのインダクタ７６からダイオード９５を通って再びツェナーダイオード３４へと流れる。

【０１４０】

なお、ＭＯＳＦＥＴ７７のオンによるピエゾ素子６の放電中、そのＭＯＳＦＥＴ７７が主制御部２２の誤動作などでオフしてしまった場合には、放電電圧の行き場がなくなってダイオード７５のアノード電圧が急上昇する。この過電圧は、ツェナーダイオード３４での減衰によって抑制される。これにより、ＭＯＳＦＥＴ７７が過電圧から保護される。

【０１４１】

他の構成、作用、効果は第１１の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【０１４２】
［１３］第１３の実施形態について説明する。
この第１３の実施形態は、図４に示した第３の実施形態で起こり得る不具合に対処している。
すなわち、図３０に示すように、また第７の実施形態の説明で用いた図１８の等価回路に示したのと同じく、ＭＯＳＦＥＴ１２が寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏ，Ｃｉを有している（図３０には寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏのみ示している）。
【０１４３】
第２の開閉スイッチであるＭＯＳＦＥＴ１２がオンされ、それに伴い、第１の開閉スイッチであるトランジスタアレイ３０がオンすると、インダクタ１１に電流が流れ、インダクタ１１にエネルギーがチャージされる。
【０１４４】
次に、ＭＯＳＦＥＴ１２がオフされると、インダクタ１１にチャージされたエネルギーが整流ダイオード１３を介してピエゾ素子６に印加され、ピエゾ素子６が充電されていく。この充電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吸込まれる。このときの電流径路は、インダクタ１１から整流ダイオード１３、ピエゾ素子６、アースライン、トランジスタアレイ３０の内部ダイオード３９、ダイオード３１を通ってインダクタ１１に戻る経路である。
【０１４５】
トランジスタアレイ３０は、ＭＯＳＦＥＴ１２がオフしてから遅れてオフする。このトランジスタアレイ３０のオフ時は、上記のように、インダクタ１１から整流ダイオード１３、ピエゾ素子６、アースライン、トランジスタアレイ３０の内部ダイオード３９、ダイオード３１を通ってインダクタ１１に戻る経路で電流が流れている。つまり、トランジスタアレイ３０内のトランジスタに電流が流れていないので、トランジスタアレイ３０を安全にオフすることができる。
【０１４６】
インダクタ１１からピエゾ素子６へのエネルギーの供給は、インダクタ１１の出力電圧がピークに達したとき、ピエゾ素子６から整流ダイオード１３のカソードに加わるバイアス（いわゆる逆バイアス）により、停止する。
【０１４７】
こうして、ピエゾ素子６の充電が完了した後、放電回路４のＭＯＳＦＥＴ１４がオンされて、ピエゾ素子６の充電電圧がＭＯＳＦＥＴ１４を通ってアース側に急速放電される。この急速放電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吐出される。この放電後、ＭＯＳＦＥＴ１４がオフされる。
【０１４８】
ここで、問題となるのは、図３１に示すように、インダクタ１１からピエゾ素子６へのエネルギーの供給が整流ダイオード１３への逆バイアスによって停止したとき、インダクタ１１と整流ダイオード１３のアノードとの接続点の電圧とほぼ同じ高電圧がＭＯＳＦＥＴ１２の寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏに充電された状態にある。そして、インダクタ１１に残るエネルギーによってインダクタ１１の出力端から入力端の方向に電流が流れると、インダクタ１１の出力端の電圧が下がり、それに伴って寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏからインダクタ１１に向かって電流が流れる。これがトリガとなって共振が生じ、インダクタ１１の出力端から入力端へ向かう電流と入力端から出力端へ向かう電流が交互に繰り返して流れ、インダクタ１１の両端電圧ＶＬが大きく振動してしまうことである。この電圧変動が次のＭＯＳＦＥＴ１２およびトランジスタアレイ３０のオンによるエネルギーのチャージタイミングまで残ると、ピエゾ素子６への充電量に変動が生じ、液体の吐出量を適正に制御することが困難となる可能性がある。
【０１４９】
このような不具合を防ぐため、この第１３の実施形態では、図３２に示すように、インダクタ１１の出力側（整流ダイオード１３のアノード）とＭＯＳＦＥＴ１２のドレインと

の間の通電路に、ＭＯＳＦＥＴ１２のドレインからインダクタ１１に向かう電流を阻止するダイオード１０１が接続される。このダイオード１０１の採用に伴い、インダクタ１１からトランジスタアレイ３０に向かう回生電流を阻止するためのダイオード３１，３２が除去される。

【０１５０】

このような構成によれば、インダクタ１１からピエゾ素子６へのエネルギーの供給が整流ダイオード１３への逆バイアスによって停止したとき、インダクタ１１と整流ダイオード１３のアノードとの接続点の電圧とほぼ同じ高電圧がＭＯＳＦＥＴ１２の寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏに充電された状態にあるが、ダイオード１０１の存在により、寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏからインダクタ１１に向かう電流が阻止される。インダクタ１１の残るエネルギーが減少していっても、この電流阻止が継続される。したがって、図３３に示すように、インダクタ１１の両端電圧ＶＬの振動は、インダクタ１１自身の寄生キャパシタンスだけによるものとなり、短時間のうちに迅速に収束し、次のＭＯＳＦＥＴ１２およびトランジスタアレイ３０のオンによるエネルギーのチャージタイミングまで残らない。

【０１５１】

こうして、インダクタ１１の両端電圧ＶＬの振動が短時間のうちに迅速に収束して次のエネルギーのチャージタイミングまで残らないことにより、ピエゾ素子６への充電量が変動なく安定し、液体の吐出量を適正に制御することが可能となる。ひいては、図３３に示すように、ＭＯＳＦＥＴ１２およびトランジスタアレイ３０のオンから次のオンまでの周期を短縮することができる。ひいては、ピエゾ素子６の充放電サイクルの短縮が図れる。

【０１５２】

なお、トランジスタアレイ３０およびＭＯＳＦＥＴ１２のオンによってインダクタ１１に電流が流れるエネルギーのチャージに際し、電流径路に存するダイオード１０１によって電圧降下が生じるが、その電圧降下は除去した元のダイオード３１による電圧降下分と同じなので、電力損失の問題は生じない。

【０１５３】

ダイオード１０１を設ける位置については、インダクタ１１と整流ダイオード１３のアノードとの接続点からＭＯＳＦＥＴ１２のドレインにかけての通電路に限らず、トランジスタアレイ３０の出力端からインダクタ１１およびＭＯＳＦＥＴ１２を通ってアースラインに至る経路であれば、どこでもよい。例えば、インダクタ１１との間の通電路、つまり元のダイオード３１が設けられていた位置でもよい。

【０１５４】

他の構成、作用、効果は第３の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【０１５５】

［１４］第１４の実施形態について説明する。

この第１４の実施形態は、図４に示した第３の実施形態で起こり得る不具合に対処している。

すなわち、図３４に示すように、インダクタ１１の周辺たとえばインダクタ１１の入力端とアースラインとの間に寄生キャパシタンスＣｘが存在する。寄生キャパシタンスＣｘしか示していないが、インダクタ１１の出力端側には、第１３の実施形態で説明したように、ＭＯＳＦＥＴ１２が寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏが存在する。なお、実際の回路上には、寄生キャパシタンスＣｘや寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏだけでなく、他の各部品とアースラインとの間にもそれぞれ寄生キャパシタンスが存在する。

【０１５６】

問題となるのは、インダクタ１１からピエゾ素子６へのエネルギーの供給が整流ダイオード１３への逆バイアスによって停止したとき、インダクタ１１と整流ダイオード１３のアノードとの接続点の電圧とほぼ同じ高電圧がＭＯＳＦＥＴ１２の寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏに充電された状態にある。そして、インダクタ１１に残るエネルギーによってインダクタ１１の出力端から入力端の方向に電流が流れると、インダクタ１１の出力端の電

圧が下がり、それに伴って寄生キャパシタンスＣｒ，Ｃｏからインダクタ１１に向かって電流が流れる。この電流によってインダクタ１１の入力端電圧Ｖ１が上昇し、寄生キャパシタンスＣｘが充電される。この充電後、今度は、インダクタ１１の入力端から出力端の方向に電流が流れ、インダクタ１１の出力端の電圧が上昇する。こうして、インダクタ１１のインダクタンスと各寄生キャパシタンスとによる共振が生じ、インダクタ１１の出力端と入力端との間で電流が交互に繰り返して流れ、インダクタ１１の両端電圧が大きく振動してしまうことである。

【０１５７】

インダクタ１１の入力端電圧Ｖ１、インダクタ１１の出力端電圧Ｖ２、ピエゾ素子６の電圧Ｖ３を電圧モニタ１１１，１１２，１１３を用いてそれぞれモニタしたのが図３５であり、入力端電圧Ｖ１および出力端電圧Ｖ２にそれぞれ大きな振動が生じる。

【０１５８】

インダクタ１１の両端電圧の変動が次のＭＯＳＦＥＴ１２およびトランジスタアレイ３０のオンによるエネルギーのチャージタイミングまで残ると、ピエゾ素子６への充電量に変動が生じ、液体の吐出量を適正に制御することが困難となる可能性がある。

【０１５９】

そこで、この第１４の実施形態では、図３６に示すように、インダクタ１１と並列に、可変抵抗１２０が接続される。可変抵抗１２０がインダクタ１１に並列接続されると、インダクタ１１に流れる電流が可変抵抗１２０に分流して流れる。この可変抵抗１２０への分流により、インダクタ１１に流れる電流のエネルギーが低減される。

【０１６０】

可変抵抗１２０の抵抗値をＲ１，Ｒ２，Ｒ３，Ｒ４（Ｒ１＞Ｒ２＞Ｒ３＞Ｒ４）に変化させながら、インダクタ１１の入力端電圧Ｖ１およびピエゾ素子６の電圧Ｖ３を電圧モニタ１１１，１１３を用いてモニタしたのが図３７、図３８、図３９、図４０である。

【０１６１】

可変抵抗１２０の抵抗値が最も大きいＲ１のときの入力端電圧Ｖ１は、図３７のように、振動の振幅期間が長くなる。

【０１６２】

可変抵抗１２０の抵抗値がＲ１より小さいＲ２のときの入力端電圧Ｖ１は、図３８のように、Ｒ１の場合よりも振動の振幅期間が短くなる。

【０１６３】

可変抵抗１２０の抵抗値がＲ２より小さいＲ３のときの入力端電圧Ｖ１は、図３９のように、Ｒ２の場合よりも振動の振幅期間がさらに短くなる。

【０１６４】

可変抵抗１２０の抵抗値がＲ３より小さいＲ４のときの入力端電圧Ｖ１は、図４０のように、振動の振幅期間は短くなるが、波形が崩れてしまう。

【０１６５】

こうして、可変抵抗１２０の抵抗値を変化させながら、入力端電圧Ｖ１の振動の振幅期間も最も短くて、しかも入力端電圧Ｖ１の波形が崩れない条件を見つける。

【０１６６】

可変抵抗１２０の抵抗値として最適なのはＲ３であり、そのＲ３が選定されることにより、インダクタ１１の入力端電圧Ｖ１が短時間のうちに迅速に収束し、次のＭＯＳＦＥＴ１２およびトランジスタアレイ３０のオンによるエネルギーのチャージタイミングまで残らない。

【０１６７】

インダクタ１１の入力端電圧Ｖ１の振動が短時間のうちに迅速に収束して次のエネルギーのチャージタイミングまで残らないことにより、ピエゾ素子６への充電量が変動なく安定し、液体の吐出量を適正に制御することが可能となる。ひいては、ＭＯＳＦＥＴ１２およびトランジスタアレイ３０のオン，オフの周期を短縮することができる。ひいては、ピエゾ素子６の充放電サイクルの短縮が図れる。

【０１６８】
なお、可変抵抗１２０に代えて、最適な抵抗Ｒ３を有する固定抵抗をインダクタ１１に並列接続してもよい。
【０１６９】
他の構成、作用、効果は第３の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。
【０１７０】
［１５］第１５の実施形態について説明する。
第１５の実施形態は、図４に示した第３の実施形態および図２２に示した第９の実施形態で起こり得る不具合に対処している。
【０１７１】
すなわち、図４１に示すように、昇圧回路３の出力端にダイオード３３を順方向に介してツェナーダイオード３４のカソードが接続され、そのツェナーダイオード３４のアノードが直流電源１の正側端子に接続されている。他の圧電素子駆動装置２における昇圧回路３の出力電圧が当該圧電素子駆動装置２における昇圧回路３の出力電圧よりも高い場合、その差分の電圧がダイオード３３を通ってツェナーダイオード３４に加わり同ツェナーダイオード３４で減衰される。これにより、各圧電素子駆動装置２の昇圧電圧の違いにかかわらず、各圧電素子駆動装置２を独立的に安定して動作させるようにしている。また、ダイオード３３により、他の圧電素子駆動装置２から流出した電流が当該圧電素子駆動装置２に流入しない。さらに、ピエゾ素子６に破損や接続外れが生じてインダクタ１１を経た充電電流の行き場がなくなった場合、整流ダイオード１３のカソード電圧（ピエゾ素子６に加わる電圧）が急上昇する。この過電圧は、ダイオード３３およびツェナーダイオード３４を介して直流電源１に加わり、ツェナーダイオード３４で減衰される。
【０１７２】
なお、主制御部２２からＭＯＳＦＥＴ１２のゲートへの駆動信号ラインに抵抗１３１が設けられ、主制御部２２からＭＯＳＦＥＴ１４のゲートへの駆動信号ラインに抵抗１３２が設けられている。
【０１７３】
ここで、問題となるのは、ツェナーダイオード３４が寄生キャパシタンス３４ａを有し、各ダイオード３３も寄生キャパシタンス３３ａを有する点である。しかも、圧電素子駆動装置２の個数が多いと、各圧電素子駆動装置２からツェナーダイオード３４のカソードまでの配線が長くなり、その配線とアースラインとの間にも無視できない寄生キャパシタンスが存在する点である。
【０１７４】
すなわち、複数の圧電素子駆動装置２のうち、例えば１つの圧電素子駆動装置２だけ動作する場合（１チャネル駆動）、その１つの圧電素子駆動装置２から見た上記寄生キャパシタンス３３ａ，３４ａおよびその他の寄生キャパシタンスの合成容量はとても大きい。したがって、昇圧回路３の出力によるピエゾ素子６の充電に際し、その昇圧回路３の出力の一部が上記寄生キャパシタンス３３ａ，３４ａやその他の寄生キャパシタンスの充電に使われてしまう。
【０１７５】
このため、ピエゾ素子６の電圧は、図４２に示すように、ＭＯＳＦＥＴ１２およびトランジスタアレイ３０のオン，オフが６回ほど繰り返された後、やっと目標レベルである例えば８０Ｖに達することになる。つまり、駆動開始時は、ピエゾ素子６の充電量が不十分で、適正な量の液体を吐出できない心配がある。
【０１７６】
そこで、第１５の実施形態では、図４３に示すように、昇圧回路３の出力端からダイオード３３およびツェナーダイオード３４を介して直流電源１の正側端子につながる配線が、ダイオード３３およびツェナーダイオード３４と共に、除去される。そして、インダクタ１１と整流ダイオード１３のアノードとの接続点（ＭＯＳＦＥＴ１２のドレイン）からＭＯＳＦＥＴ１４のゲートにかけて、抵抗１３３が接続される。抵抗１３３の抵抗値は、

ＭＯＳＦＥＴ１４のゲートにつながる駆動信号ライン上の抵抗１３２の抵抗値よりもはるかに大きい。例えば、抵抗１３２の抵抗値を“１”とすると、抵抗１３３の抵抗値は“１５０”である。

【０１７７】

作用を説明する。

【０１７８】

ダイオード３３、ツェナーダイオード３４、およびその配線が除去されることにより、昇圧回路３の出力の一部が、寄生キャパシタンス３３ａ，３４ａおよびその他の寄生キャパシタンスの充電に使われない。

【０１７９】

したがって、ピエゾ素子６の電圧は、図４４に示すように、駆動開始からすぐに目標レベルに達する。つまり、駆動開始からすぐに、ピエゾ素子６の充電量が十分となって、適正な量の液体を吐出できる。

【０１８０】

抵抗１３３の抵抗値として抵抗１３２の抵抗値よりはるかに大きな値が選定されているので、ピエゾ素子６の破損や接続外れがない正常時は、主制御部２２から出力される駆動信号によってのみＭＯＳＦＥＴ１４のオン，オフが制御される。

【０１８１】

ピエゾ素子６に破損や接続外れが生じて、整流ダイオード１３のカソード電圧（ピエゾ素子６に加わる電圧）が通常の８０Ｖから３倍の２４０Ｖ程度まで上昇した場合には、その過電圧が主制御部２２内のゲート（図示していない）を介して抵抗１３３，１３２の直列回路に印加される。このとき、抵抗１３２に生じる電圧がＭＯＳＦＥＴ１４のゲートの閾値電圧（例えば０．８Ｖ～１．１Ｖ）を超えて、ＭＯＳＦＥＴ１４がオンする。ＭＯＳＦＥＴ１４がオンすると、整流ダイオード１３のカソードがＭＯＳＦＥＴ１４を介してアース接続され、アースラインに過電圧が放電される。これにより、圧電素子駆動装置２の回路部品が過電圧から保護される。

【０１８２】

他の構成、作用、効果は第３および第9の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【０１８３】

［１６］第１６の実施形態について説明する。

この第１６の実施形態は、図１１に示した第５の実施形態の変形である。

図４５に示すように、放電回路４がＭＯＳＦＥＴ１４のみの構成となり、昇圧回路３のダイオード５５およびＭＯＳＦＥＴ５６が除去される。そして、昇圧回路３において、インダクタ１１と整流ダイオード１３のアノードとの接続点から、ＭＯＳＦＥＴ１２のベースにかけて、抵抗１４０が接続される。抵抗１４０は抵抗５４と直列回路を形成しており、その直列回路がインダクタ１１に対して並列接続された形となる。

他の構成は第5の実施形態と同じである。

【０１８４】

作用を説明する。

まず、ＭＯＳＦＥＴ５１がオンするときのＭＯＳＦＥＴ５１のゲート電圧の閾値は、例えば－２．３Vである。主制御部２２からＭＯＳＦＥＴ５１に対して出力される駆動信号は、レベル変化が０V～３．３Vである。０VがＭＯＳＦＥＴ５１をオンするための低レベルに相当し、３．３VがＭＯＳＦＥＴ５１をオフするための高レベルに相当する。すなわち、駆動信号が高レベルのとき、抵抗５２を介したバイアス電圧（＝１２Ｖ－３．３Ｖ）がＭＯＳＦＥＴ５１のゲートに加わり、ＭＯＳＦＥＴ５１がオフ状態を維持する。駆動信号が低レベルになると、ＭＯＳＦＥＴ５１のゲート電圧が閾値の－２．３V以下に低下し、ＭＯＳＦＥＴ５１がオンする。この状態で、ＭＯＳＦＥＴ５１のゲート電圧が抵抗５２とコンデンサ５３とにより定まる時定数（例えば１００μＳ）で上昇していく。この時定数に基づく例えば５０μ秒後、ＭＯＳＦＥＴ５１のゲート電圧が閾値の－２．３Vを超え

て高くなり、ＭＯＳＦＥＴ５１がオフする。
【０１８５】
ＭＯＳＦＥＴ５１がオンしたとき、そのＭＯＳＦＥＴ５１を経た略１２Ｖの電圧が抵抗５４を介してＭＯＳＦＥＴ１２のゲートに印加され、ＭＯＳＦＥＴ１２がオンする。ＭＯＳＦＥＴ５１がオフされると、ＭＯＳＦＥＴ１２もオフする。
【０１８６】
ＭＯＳＦＥＴ５１およびＭＯＳＦＥＴ１２がオンしたとき、実線矢印のようにインダクタ１１に電流が流れ、インダクタ１１にエネルギーがチャージされていく。ここで、ＭＯＳＦＥＴ５１のオン時間は上記した時定数に基づく５０μ秒に制限される。この時間制限により、インダクタ１１へのエネルギーのチャージが飽和する前にインダクタ１１への通電が停止され、過電流による回路部品の破損が未然に防止される。
【０１８７】
ＭＯＳＦＥＴ１２がオフすると、インダクタ１１にチャージされたエネルギーが整流ダイオード１３を介してピエゾ素子６に印加され、ピエゾ素子６が充電されていく。この充電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吸込まれる。このときの電流径路は、インダクタ１１から整流ダイオード１３、ピエゾ素子６、アースライン、ダイオード５８を通ってインダクタ１１に戻る経路である。このとき、ＭＯＳＦＥＴ１２のゲート電圧はダイオード５８のカソード電圧である０．７Ｖ程度と小さく、よってＭＯＳＦＥＴ１２のオフ状態が維持される。
【０１８８】
インダクタ１１からピエゾ素子６へのエネルギーの供給は、インダクタ１１の出力電圧がピークに達したとき、ピエゾ素子６から整流ダイオード１３のカソードに加わるバイアス（いわゆる逆バイアス）により、停止する。
【０１８９】
こうして、ピエゾ素子６の充電が完了した後、放電回路３のＭＯＳＦＥＴ１４がオンされる。このオンにより、破線矢印で示すように、ピエゾ素子６の充電電圧がＭＯＳＦＥＴ１４を通ってアース側に急速放電される。この急速放電に伴うピエゾ素子６の動作により、液体が吐出される。この放電後、ＭＯＳＦＥＴ１４がオフされる。
この第１６の実施形態の特徴として、第１５の実施形態と同じく、昇圧回路３の出力端からダイオード３３およびツェナーダイオード３４を介して直流電源１の正側端子につながる配線が、ダイオード３３およびツェナーダイオード３４と共に、除去されている。そして、上記抵抗１４０の抵抗値として、抵抗５４の抵抗値よりもはるかに大きい値が選定されている。
【０１９０】
作用を説明する。
【０１９１】
ダイオード３３、ツェナーダイオード３４、およびその配線が除去されることにより、昇圧回路３の出力の一部が、寄生キャパシタンス３３ａ，３４ａおよびその他の寄生キャパシタンスの充電に使われない。
【０１９２】
したがって、ピエゾ素子６の電圧は、駆動開始からすぐに目標レベルに達する。つまり、駆動開始からすぐに、ピエゾ素子６の充電量が十分となって、適正な量の液体を吐出できる。
【０１９３】
抵抗１４０の抵抗値として抵抗５４の抵抗値よりはるかに大きな値が選定されているので、ピエゾ素子６の破損や接続外れがない正常時は、ＭＯＳＦＥＴ５１の出力電圧によってのみＭＯＳＦＥＴ１２のオン，オフが制御される。
【０１９４】
ＭＯＳＦＥＴ１２のオフによってピエゾ素子６に対する充電が始まったとき、仮にピエゾ素子６に破損や接続外れが生じていれば、整流ダイオード１３のカソード電圧（ピエゾ

素子６に加わる電圧）が通常の８０Ｖから許容レベルの１２０Ｖ～１４４Ｖを超えて２４０Ｖ程度に急上昇する。この場合、急上昇した過電圧がダイオード５８を逆方向に介して抵抗１４０，５４の直列回路に印加される。このとき、抵抗５４に生じる電圧がＭＯＳＦＥＴ１２のゲートの閾値電圧（例えば０．８Ｖ～１．１Ｖ）を超えて、ＭＯＳＦＥＴ１２がオンする。ＭＯＳＦＥＴ１２がオンすると、整流ダイオード１３のカソードがＭＯＳＦＥＴ１２を介してアース接続され、アースラインに過電圧が放電される。これにより、圧電素子駆動装置２の回路部品が過電圧から保護される。

【０１９５】

他の構成、作用、効果は第３および第9の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【０１９６】

［１７］第１７の実施形態について説明する。

図４６に示すように、塗布装置全体の動作用電圧を出力する主電源として、例えば２４Ｖの直流電圧Ｖｉｎを発生する直流電源１５０が設けられている。この直流電源１５０に、マスターコントローラ１５１および複数の液体吐出ヘッド１５２が接続される。マスターコントローラ１５１は、直流電圧Ｖｉｎにより動作し、各液体吐出ヘッド１５２を統括的に制御する。各液体吐出ヘッド１５２は、上記各実施形態の制御ユニット２０、この制御ユニットに動作用の直流電圧を供給する直流電源（ＤＣ／ＤＣコンバータ）２１、複数たとえば２５６個の圧電素子駆動装置２、これら圧電素子駆動装置２に動作用の１２Ｖの直流電圧Ｖｐを供給する電源ユニット２００からなる。

【０１９７】

各圧電素子駆動装置２の構成は、上記各実施形態で示したいずれのものでもよいが、説明を分かり易くするために、図１に示した第１の実施形態の構成と同じであるとする。

【０１９８】

電源ユニット２００は、図４７に示すように、ＭＯＳＦＥＴ２０１、ツェナーダイオード２０２、インダクタ２０３、およびコンデンサ２０４からなるＤＣ／ＤＣコンバータを有し、上記直流電圧Ｖｉｎを各圧電素子駆動装置２の動作に必要な一定レベルの直流電圧Ｖｐに変換して出力する。とくに、電源ユニット２００は、出力の直流電圧ＶｐをＰＩ制御部２０６にフィードバックし、その直流電圧Ｖｐと基準電圧電源２０５の基準電圧Ｖｒｅｆとの差をＰＩ制御によって電圧調整信号に変換し、その電圧調整信号の電圧レベルに応じたオン，オフデューティのスイッチング信号をパルス幅変調回路（ＰＷＭ）２０７から出力する。このスイッチング信号が上記ＤＣ／ＤＣコンバータのＭＯＳＦＥＴ２０１のゲートに供給されることにより、常に上記一定レベルに保たれた直流電圧Ｖｐが得られる。

【０１９９】

各圧電素子駆動装置２は、直流電圧Ｖｐによって動作し、ＭＯＳＦＥＴ１２のオンによってインダクタ１１にエネルギーをチャージし、チャージしたエネルギーをＭＯＳＦＥＴ１２のオフ（昇圧）によってピエゾ素子６に供給することによりピエゾ素子６の充電を行い、その後、ＭＯＳＦＥＴ１４のオンによってピエゾ素子６を放電させる。ＭＯＳＦＥＴ１２，１４の動作、ピエゾ素子６の電圧波形、ＭＯＳＦＥＴ１２の電流波形を図４８に示している。

ここで、ＭＯＳＦＥＴ１２のオン時間Ｔｃは例えば１０μ秒～３０μ秒の範囲で調節可変である。このオン時間Ｔｃを長くするほど、ピエゾ素子６への印加電圧Ｖｏｕｔが高くなって（最高９０Ｖ）、液体の吐出量が多くなる。オン時間Ｔｃを短くするほど、ピエゾ素子６への印加電圧Ｖｏｕｔが低くなって（最低３０Ｖ）、液体の吐出量が少なくなる。

【０２００】

Ｖｏｕｔ＝Ｖｐ×Ｔｃ／√（Ｌ×Ｃ）

Ｌはインダクタ１１のインダクタンス、Ｃはピエゾ素子６の寄生キャパシタンスである。

他の構成、作用、効果は上記各実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【０２０１】
［１８］第１８の実施形態について説明する。
上記の第７の実施形態において、ＭＯＳＦＥＴ１２のオフ（昇圧）からＭＯＳＦＥＴ１４のオン（放電）までの時間は、変えることができない。したがって、ピエゾ素子６の充放電に基づく液体の１回の吐出に要する時間を短くするためには、ＭＯＳＦＥＴ１２のオン時間Ｔｃを短くすればよい。しかしながら、ＭＯＳＦＥＴ１２のオン時間Ｔｃを短くすると、ピエゾ素子６の充電量が少なくなって、液体の1回の吐出量が少なくなってしまう。
【０２０２】
また、液体吐出ヘッド１５２内の各圧電素子駆動装置２のうち、動作（液体吐出）が必要ないくつかの圧電素子駆動装置２は、それぞれの動作が互いに影響し合わないよう、同じタイミングで動作する。このため、各圧電素子駆動装置２の動作時と非動作時とで直流電圧Ｖｐに変動が生じ、その変動に対して電源ユニット２００のフィードバック制御が追従できなくなる可能性がある。こうなると、たとえＭＯＳＦＥＴ１２のオン時間Ｔｃを調節しても、液体の吐出量を適正に制御することが困難となる。
【０２０３】
そこで、この第７の実施形態では、電源ユニット２００が図４９に示すように構成される。
電源ユニット２００は、直流電圧Ｖｉｎを各圧電素子駆動装置２の動作に必要な一定レベルの直流電圧Ｖｐに変換して出力するとともに、その出力する直流電圧Ｖｐの一定レベルを各圧電素子駆動装置２の同時動作の個数ｎに応じたフィードフォワード制御により調整する。
【０２０４】
すなわち、直流電圧Ｖｐの設定用として制御ユニット２０から出力されるパルス幅変調（ＰＷＭ）信号が、ローパスフィルタ２１０で平滑されて、基準電圧Ｖｒｅｆとなる。この基準電圧ＶｒｅｆがＰＩ制御部２０６に入力される。また、当該電源ユニット２００の出力である直流電圧Ｖｐが、ＰＩ制御部２０６にフィードバックされる。ＰＩ制御部２０６は、基準電圧Ｖｒｅｆと直流電圧Ｖｐとの差をＰＩ制御によって電圧調整信号に変換する。この電圧調整信号は、差動増幅回路２１３の一方の入力端に入力される。
【０２０５】
また、制御ユニット２０から各圧電素子駆動装置２のＭＯＳＦＥＴ１２に対して供給される複数の駆動信号が、それぞれ抵抗１２１を介して演算部２１２に取り込まれる。演算部２１２は、各抵抗１２１を介して取り込まれる駆動信号から、各圧電素子駆動装置のうち同時動作（液体吐出）する圧電素子駆動装置２の個数ｎを検出する。そして、演算部２１２は、検出した個数ｎに基づく下式の演算により、パルス幅変調回路（ＰＷＭ）２０７から出力すべきスイッチング信号のオン，オフデューティｄを求め、そのオン，オフデューティｄに対応する電圧レベルの電圧調整信号を出力する。
【０２０６】
ｄ∝（Ｌ０／Ｌ）×ｎ×Ｖｐ／（Ｖｉｎ－Ｖｐ）
ＬｏはＤＣ／ＤＣコンバータのインダクタ２０３のインダクタンス、Ｌは各圧電素子駆動装置２におけるインダクタ１１の代表的なインダクタンス、Ｖｐは設計上の基準値、Ｖｉｎも設計上の基準値である。
【０２０７】
この演算部２１２から出力される電圧調整信号は、上記差動増幅回路２１３の他方の入力端に入力される。差動増幅回路２１３は、両入力端に入力される電圧調整信号の差に対応する電圧レベルの信号を最終的な電圧調整信号として出力する。この電圧調整信号がパルス幅変調回路（ＰＷＭ）２０７に供給される。
【０２０８】
パルス幅変調回路（ＰＷＭ）２０７は、差動増幅回路２１３から供給される電圧調整信号の電圧レベルに応じてオン，オフデューティが変化するスイッチング信号を出力する。

このスイッチング信号がＤＣ／ＤＣコンバータのＭＯＳＦＥＴ２０１のゲートに供給されることにより、当該電源ユニット２００から直流電圧Ｖｐが出力される。

【０２０９】

このような構成によれば、圧電素子駆動装置２の動作の個数ｎが多いほど、演算部２１２から高い電圧レベルの電圧調整信号が出力されて、電源ユニット２００から出力される直流電圧Ｖｐが上昇方向に調整される。例えば、直流電圧Ｖｐが通常の１２Ｖから１８Ｖの範囲で調整される。つまり、圧電素子駆動装置２の動作の個数ｎに応じて直流電圧Ｖｐを予め調整するフィードフォワード制御が行われる。

【０２１０】

したがって、個数ｎの圧電素子駆動装置２が同時動作した際に、直流電圧Ｖｐが低下方向に変動しようとしても、その変動が上記フィードフォワード制御によって補われる。

【０２１１】

さらに、直流電圧Ｖｐが変動なく安定することにより、各圧電素子駆動装置２におけるＭＯＳＦＥＴ１２のオン時間Ｔｃの調節による吐出量制御の信頼性が向上する。

【０２１２】

しかも、基準電圧Ｖｒｅｆを高めて直流電圧Ｖｐを高くすれば、各圧電素子駆動装置２におけるＭＯＳＦＥＴ１２のオン時間Ｔｃを図５０に示すように短縮しても、ピエゾ素子６の充電量は減少せず、よって液体の1回の吐出量を最適な状態に維持できる。ＭＯＳＦＥＴ１２のオン時間Ｔｃを短縮できれば、液滴の吐出から次の吐出までの時間を短くすることができ、液滴吐出の高速化が図れる。

他の構成、作用、効果は上記第１７の実施形態と同じである。よって、その説明は省略する。

【０２１３】

［１９］変形例

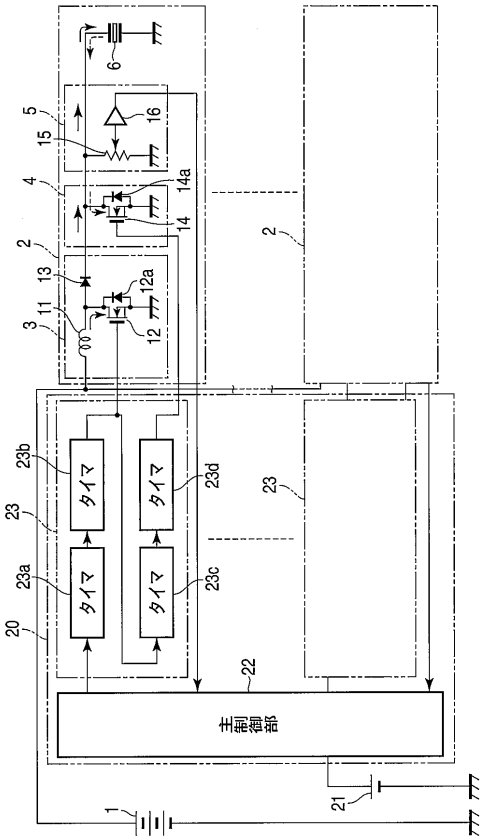
なお、この発明は、上記各実施形態そのままに限定されるものではなく、実施段階ではその要旨を逸脱しない範囲で構成要素を変形して具体化できる。また、上記各実施形態に開示されている複数の構成要素の適宜な組み合わせにより種々の実施形態を形成できる。各実施形態に示される全構成要素から幾つかの構成要素を削除してもよい。更に、異なる実施形態の構成要素を適宜に組み合わせてもよい。

【産業上の利用可能性】

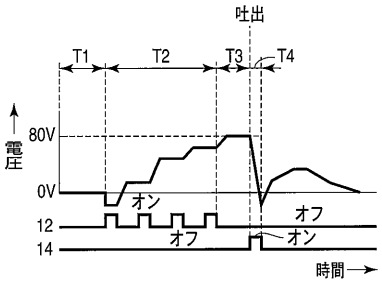
【０２１４】

この発明の圧電素子駆動装置および塗布装置は、基板上に液体たとえばインクを噴射塗布して機能性薄膜を形成するインクジェットヘッド等への利用が可能である。

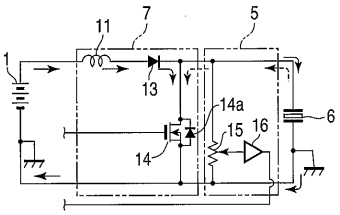
【図１】



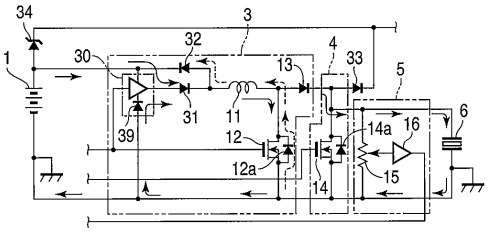
【図２】



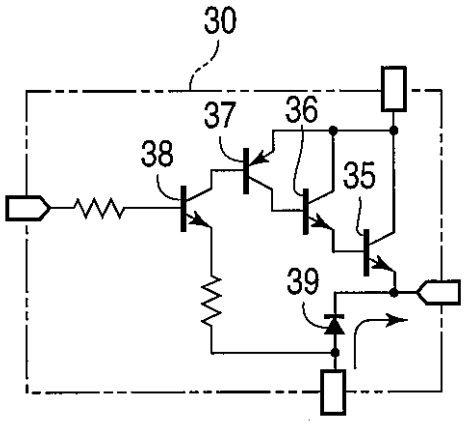
【図３】



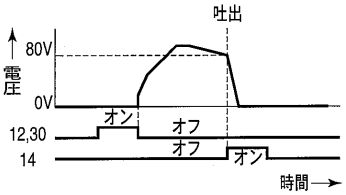
【図４】



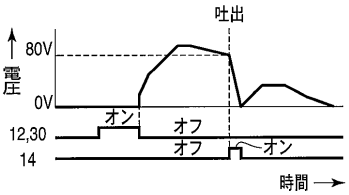
【図５】



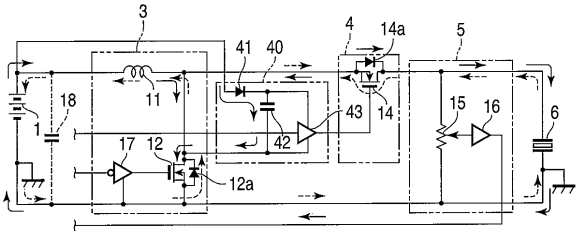
【図６】



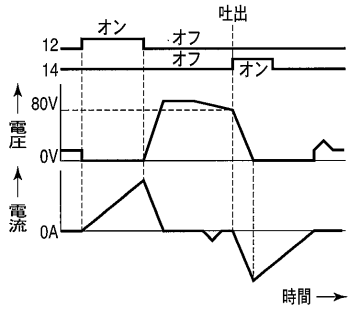
【図７】



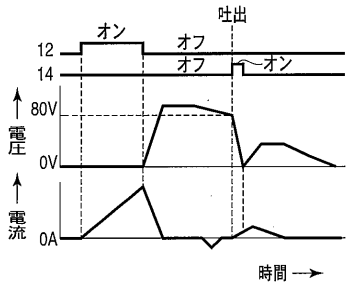
【図８】



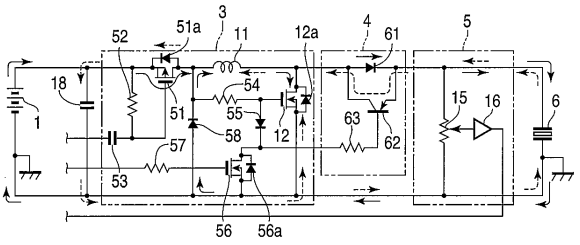
【図９】



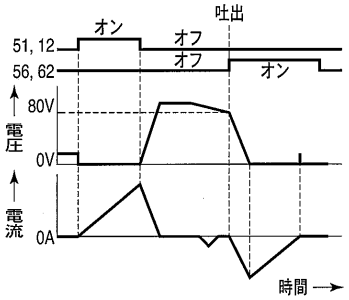
【図１０】



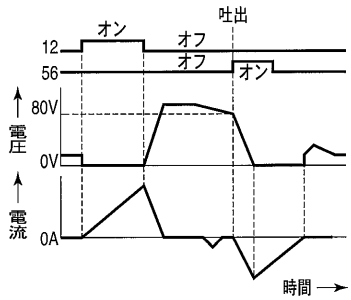
【図１１】



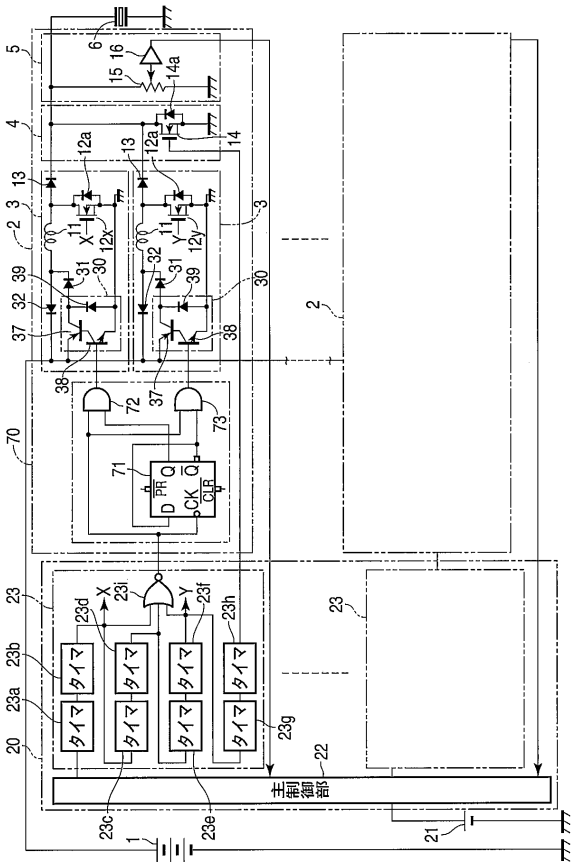
【図１２】



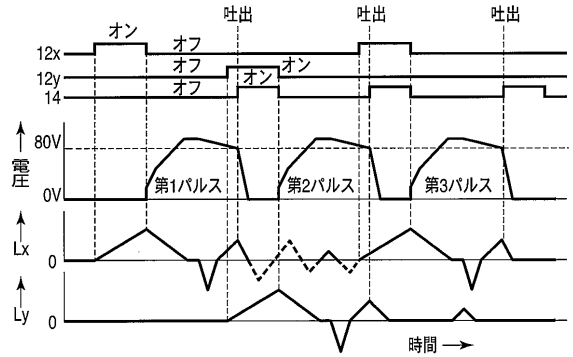
【図１３】



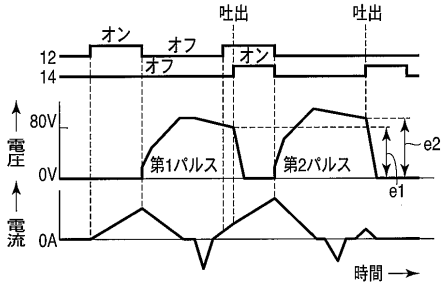
【図１４】



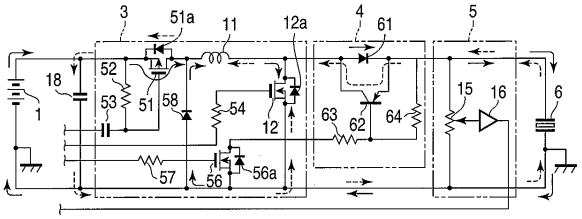
【図１５】



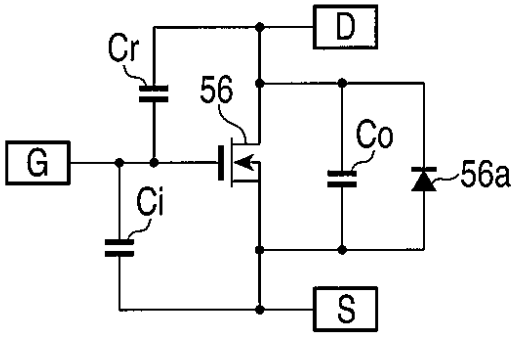
【図１６】



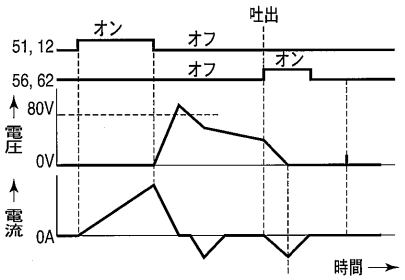
【図１７】



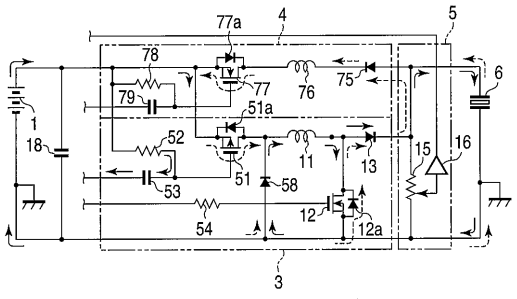
【図１８】



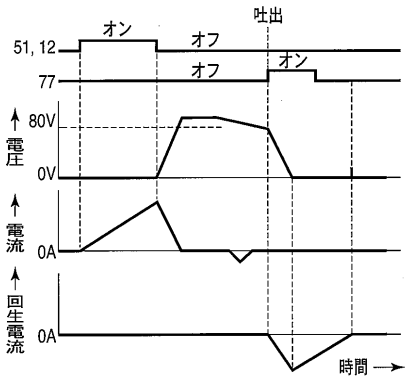
【図１９】



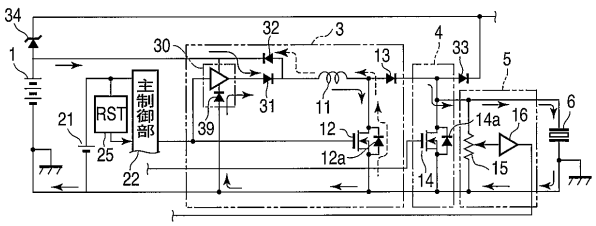
【図２０】



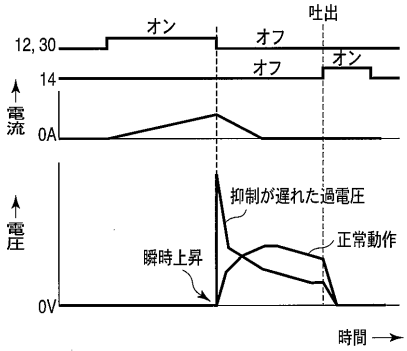
【図２１】



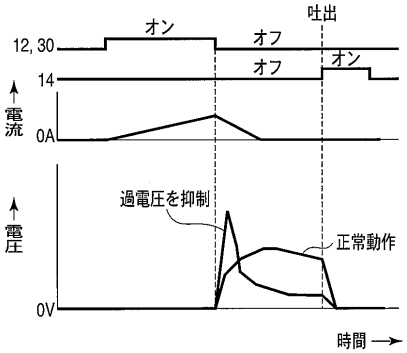
【図２２】



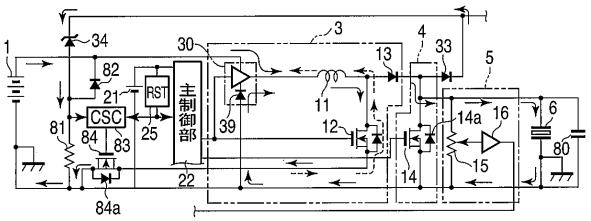
【図２３】



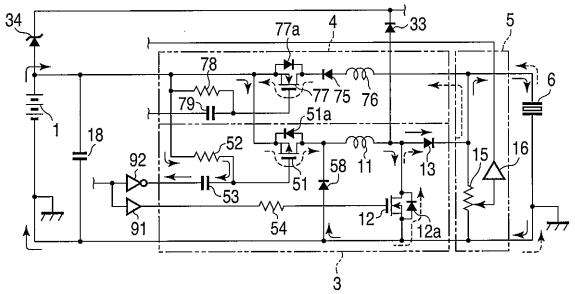
【図２５】



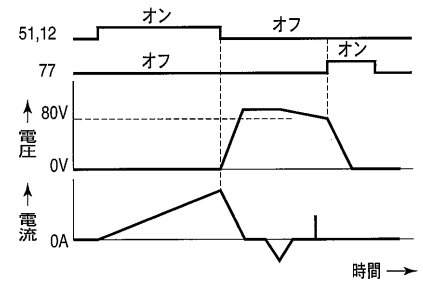
【図２４】



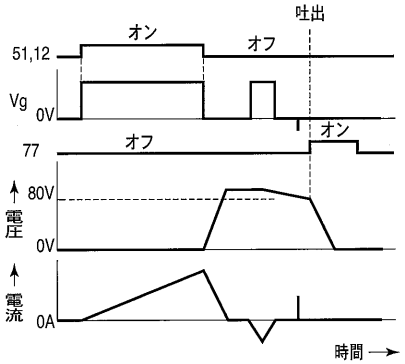
【図２６】



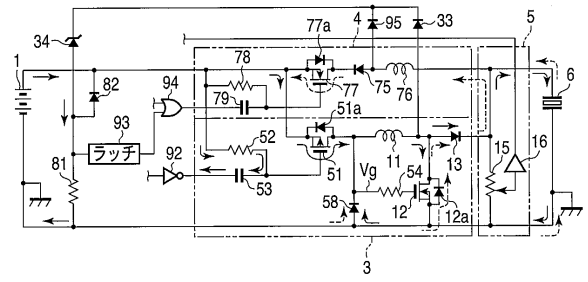
【図２７】



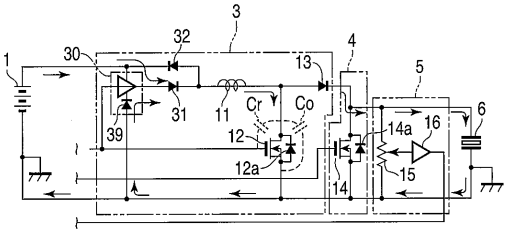
【図２９】



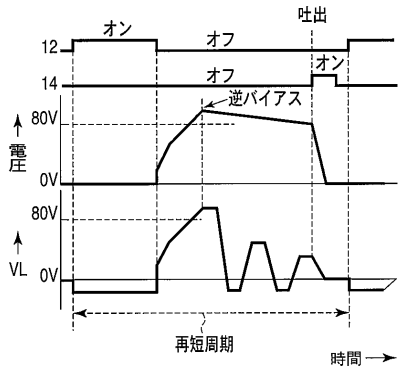
【図２８】



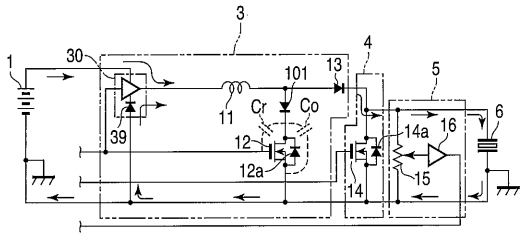
【図３０】



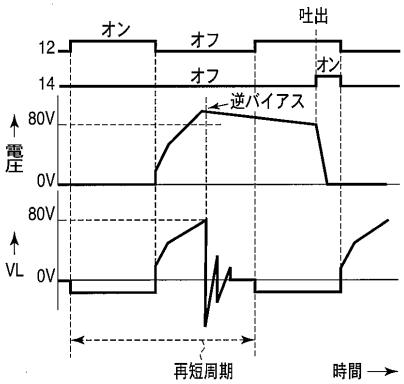
【図３１】



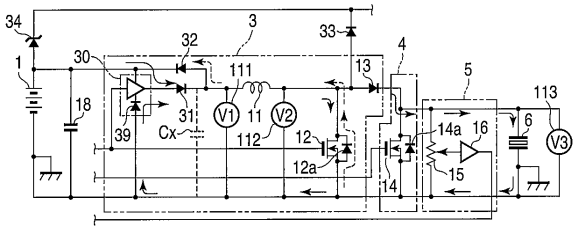
【図３２】



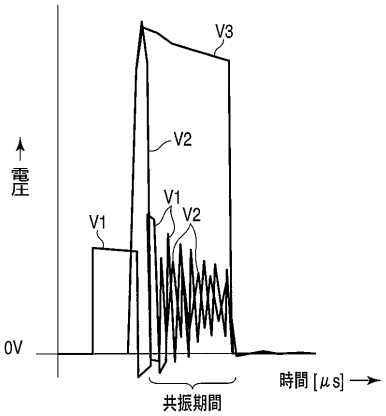
【図３３】



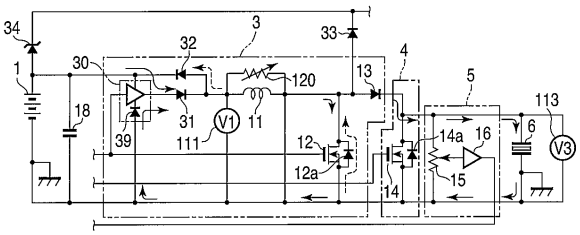
【図３４】



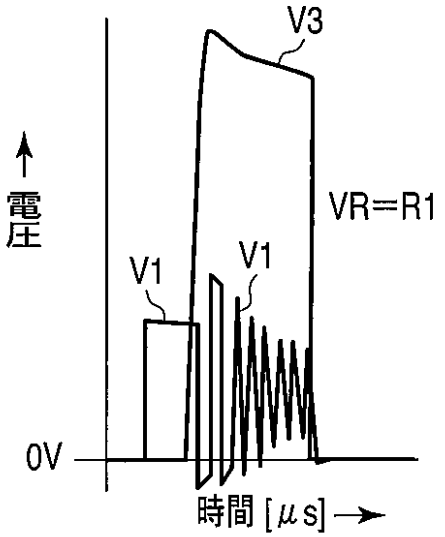
【図３５】



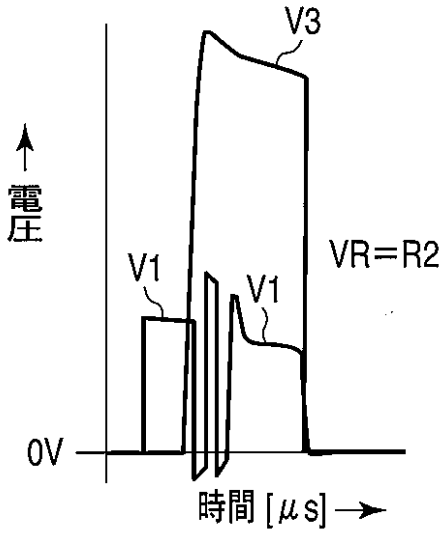
【図３６】



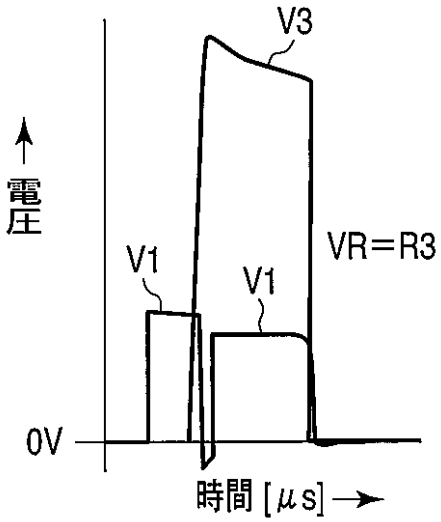
【図３７】



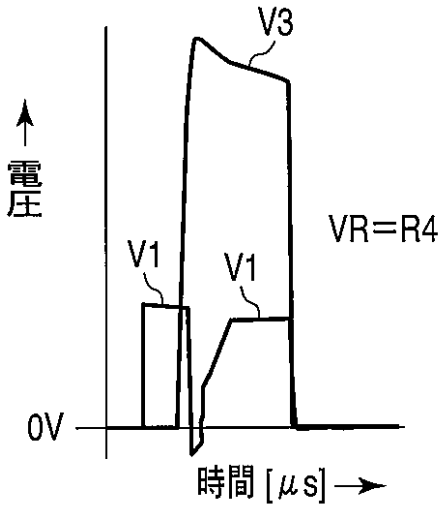
【図３８】



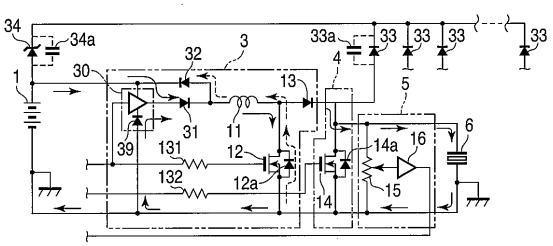
【図３９】



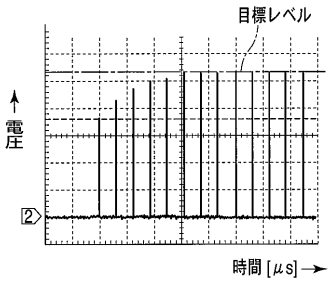
【図４０】



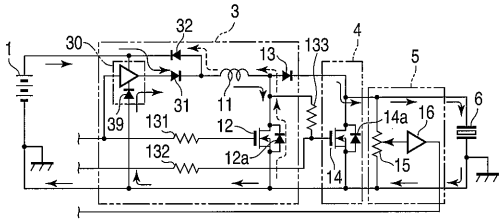
【図４１】



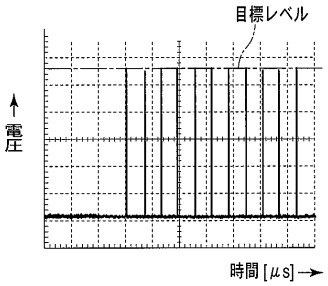
【図４２】



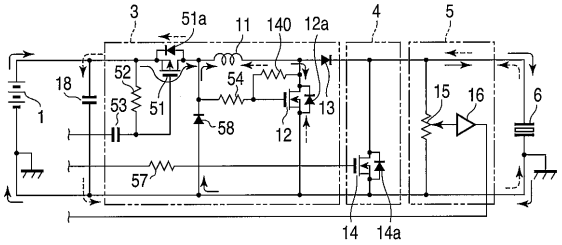
【図４３】



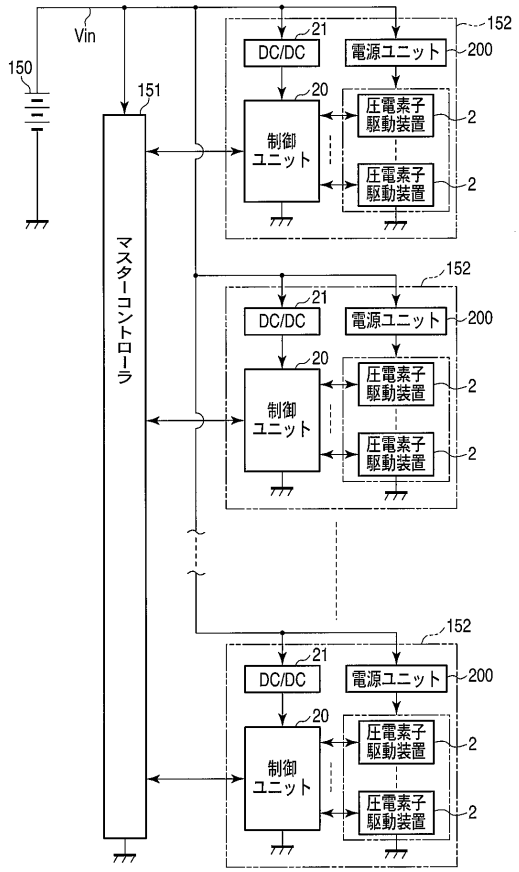
【図４４】



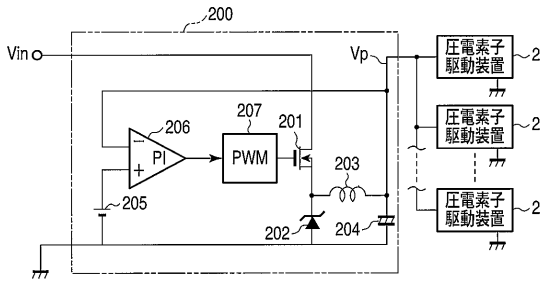
【図４５】



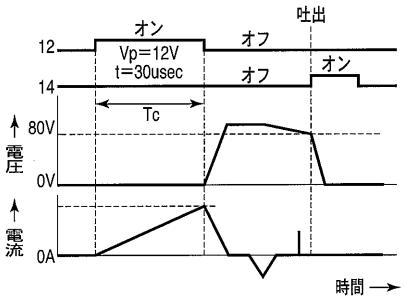
【図４６】



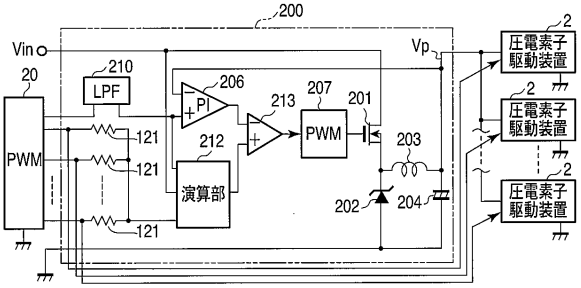
【図４７】



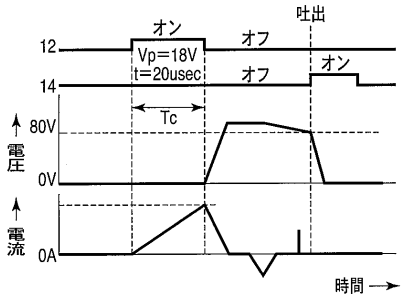
【図４８】



【図４９】


200
Vin
20
PWM
210
LPF
121
121
121
206
PI
212
演算部
213
207
PWM
201
203
202
204
Vp
2
圧電素子
駆動装置
2
圧電素子
駆動装置
2
圧電素子
駆動装置

【図５０】


吐出
オン
オフ
12
Vp=18V
t=20usec
オフ
オン
14
Tc
80V
電圧
0V
電流
0A
時間

フロントページの続き

(72)発明者　宮本　泰彰
日本国神奈川県横浜市栄区笠間二丁目５番１号　芝浦メカトロニクス株式会社横浜事業所内

審査官　服部　俊樹

(56)参考文献　特開２００２－３６１８６５（ＪＰ，Ａ）
特開２００５－０３９９９０（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－３０６６８１（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－０９６４６９（ＪＰ，Ａ）
特開平０１－２５２１６５（ＪＰ，Ａ）
特開２００２－２３８２４９（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－１３５５７１（ＪＰ，Ａ）
特開２００７－１３６４５０（ＪＰ，Ａ）
国際公開第２００６／１１２４５３（WO，Ａ１）
特開２００６－３１１６３５（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－００７７６７（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０２Ｎ　　２／００