

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2006-165011

(P2006-165011A)

(43) 公開日 平成18年6月22日(2006.6.22)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 41/09 (2006.01)	HO 1 L 41/08 K	5 F O 3 1
HO 1 L 21/68 (2006.01)	HO 1 L 21/68 K	
HO 2 N 2/00 (2006.01)	HO 2 N 2/00 B	
	HO 1 L 41/08 C	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2004-349474 (P2004-349474)	(71) 出願人	592032636 学校法人トヨタ学園 愛知県名古屋市天白区久方2丁目12番地1
(22) 出願日	平成16年12月2日(2004.12.2)	(71) 出願人	502121111 株式会社ナノコントロール 東京都品川区南大井6丁目17番17号
		(74) 代理人	100099944 弁理士 高山 宏志
		(72) 発明者	古谷 克司 愛知県名古屋市天白区久方2-12-1 豊田工業大学内
		(72) 発明者	宗片 睦夫 千葉県千葉市若葉区千城台西2-19-5 1

最終頁に続く

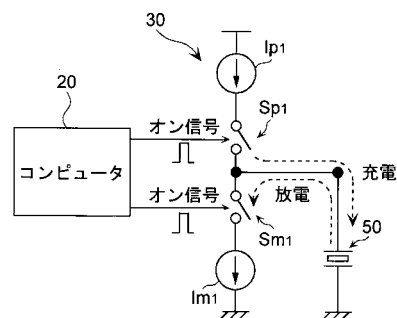
(54) 【発明の名称】 圧電素子駆動装置および圧電素子の駆動方法

(57) 【要約】

【課題】 圧電素子に大きな変位を短時間で生じさせ、しかもその分解能を高めた変位置制御を行うための圧電素子駆動装置および駆動方法を提供する。

【解決手段】 圧電素子50を変位させるための駆動装置10は、コンピュータ20と、駆動電源30を有する。駆動電源30は、圧電素子50に電流を供給するためのカレントソース I_{p1} と、圧電素子50に充電された電荷を放電させるためのカレントシンク I_{m1} と、カレントソース I_{p1} に設けられた給電用の切り換えスイッチ S_{p1} と、カレントシンク I_{m1} に設けられた放電用の切り換えスイッチ S_{m1} とを備えている。一定のスイッチング時間 t_1 でスイッチ S_{p1} のオン/オフを繰り返して行うことで圧電素子50を伸ばす。圧電素子50に対して充放電が行われていないときには、圧電素子50は駆動電源30と切り離された状態となるので、変位量が一定に維持される。

【選択図】 図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

圧電素子を電流駆動するための駆動装置であって、
 圧電素子に電流を供給するためのカレントソースと、
 前記カレントソースから圧電素子に所定のスイッチング時間で給電を行うための給電用切り換えスイッチと、
 前記圧電素子に充電された電荷を放電させるためのカレントシンクと、
 圧電素子から前記カレントシンクへ所定のスイッチング時間で放電を行うための放電用切り換えスイッチと、
 を具備し、

10

前記カレントソースと前記カレントシンクとは、前記給電用切り換えスイッチと放電用切り換えスイッチを介してトータムポール接続されており、

前記給電用切り換えスイッチのオン/オフを繰り返すことによって作り出される電流パルスによって圧電素子を充電して変位させ、前記放電用切り換えスイッチのオン/オフを繰り返すことによって作り出される電流パルスによって圧電素子に充電された電荷を放電させて変位させ、前記圧電素子に対して充放電が行われないうちは前記給電用切り換えスイッチと前記放電用切り換えスイッチがオフ状態に保持されて圧電素子の変位量が一定に制御されることを特徴とする圧電素子駆動装置。

【請求項 2】

前記給電用切り換えスイッチは、前記カレントソース 1 個に対して複数接続され、これら複数の給電用切り換えスイッチは互いに並列に接続され、個々に異なるスイッチング時間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。

20

【請求項 3】

前記放電用切り換えスイッチは、前記カレントシンク 1 個に対して複数接続され、これら複数の放電用切り換えスイッチは互いに並列に接続され、個々に異なるスイッチング時間を有することを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の圧電素子駆動装置。

【請求項 4】

前記カレントソースを複数備え、かつ、前記給電用切り換えスイッチはそれぞれのカレントソースに対して 1 個ずつ接続され、

これら複数のカレントソースから取り出される電流のピーク値がそれぞれに異な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。

30

【請求項 5】

前記複数のカレントソースにそれぞれ接続された給電用切り換えスイッチのスイッチング時間は、前記カレントソースから取り出される電流のピーク値が小さくなるにつれて短くなっていることを特徴とする請求項 4 に記載の圧電素子駆動装置。

【請求項 6】

前記カレントシンクを複数備え、かつ、前記放電用切り換えスイッチはそれぞれのカレントシンクに対して 1 個ずつ接続され、

これら複数のカレントシンクへ吸い込まれる電流値のピーク値がそれぞれに異なることを特徴とする請求項 1, 4, 5 のいずれか 1 項に記載の圧電素子駆動装置。

40

【請求項 7】

前記複数のカレントシンクにそれぞれ接続された放電用切り換えスイッチのスイッチング時間は、前記カレントシンクへ吸い込まれる電流のピーク値が小さくなるにつれて短くなってい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】

複数の圧電素子を変位させることができるように、圧電素子ごとに、前記給電用切り換えスイッチおよび前記放電用切り換えスイッチと同期してオン/オフ自在な充放電用切り換えスイッチを複数備え、

1 つの充放電用切り換えスイッチがオン状態のときに残りの充放電用切り換えスイッチはオフ状態となることを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の圧電素

50

子駆動装置。

【請求項 9】

前記給電用切り換えスイッチとスイッチング時間を決定し、所定のオン信号によってそのスイッチング時間の間だけ前記給電用切り換えスイッチをオン状態に保持する第 1 の時間調整回路と、

前記放電用切り換えスイッチとスイッチング時間を決定し、所定のオン信号によってそのスイッチング時間の間だけ前記放電用切り換えスイッチをオン状態に保持する第 2 の時間調整回路と、

前記オン信号を作り出して前記第 1 の時間調整回路と前記第 2 の時間調整回路とに出力する信号発生器と、

を具備することを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の圧電素子駆動装置。

10

【請求項 10】

所定の時間幅のパルス信号を発生させる信号発生器をさらに具備し、

前記信号発生器から出力されるパルス信号の時間幅にしたがって前記給電用切り換えスイッチと前記放電用切り換えスイッチのスイッチング時間が設定されることを特徴とする請求項 1 から請求項 8 のいずれか 1 項に記載の圧電素子駆動装置。

【請求項 11】

前記圧電素子の変位量を測定するための変位センサと、

前記変位センサの測定データに基づいて、前記給電用切り換えスイッチと前記放電用切り換えスイッチのオンオフ動作を制御するための制御装置と、

をさらに具備することを特徴とする請求項 1 から請求項 7 のいずれか 1 項に記載の圧電素子駆動装置。

20

【請求項 12】

前記圧電素子の変位量を測定するための変位センサをさらに具備し、

前記信号発生器は、前記変位センサの測定データに基づいて、前記給電用切り換えスイッチと前記放電用切り換えスイッチのオンオフ動作を制御するための制御信号を発生させることを特徴とする請求項 9 または請求項 10 に記載の圧電素子駆動装置。

【請求項 13】

圧電素子を電流駆動するための駆動方法であって、

所定の電荷を有する電流パルスにより圧電素子に充電を行い、

所定の電荷を有する電流パルスにより充電された圧電素子からの放電を行い、

前記圧電素子に充放電を行わないときには、前記圧電素子に充放電を行うために前記圧電素子に設けられた電極を開放して電荷の移動を抑制することで、前記圧電素子の変位量を一定とすることを特徴とする圧電素子の駆動方法。

30

【請求項 14】

前記圧電素子を充電するための電流パルスとして、電荷量の異なる複数の電流パルスを用いることを特徴とする請求項 13 に記載の圧電素子の駆動方法。

【請求項 15】

前記圧電素子からの放電を行うための電流パルスとして、電荷量の異なる複数の電流パルスを用いることを特徴とする請求項 13 または請求項 14 に記載の圧電素子の駆動方法。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、圧電素子を用いた位置決め装置に用いられる圧電素子駆動装置および駆動方法に関し、より詳しくは、半導体製造装置等の超精密位置決め装置に設けられる位置決め用圧電素子駆動装置および駆動方法に関する。

に関する。

【背景技術】

50

【0002】

例えば、近時の半導体装置における回路の微細化、高集積化に伴い、例えば、露光装置（ステッパ）等の半導体製造装置では、シリコンウエハを高い精度で位置決めする必要がある。そこで、このようなシリコンウエハを保持したステージの位置決めには圧電素子（主に積層型圧電素子）が用いられるようになってきている。

【0003】

圧電素子の駆動方法は、電圧駆動と電流駆動に大別される。電圧駆動では、通常は、所望の変位量を得るために、コンピュータで発生させた指令値（デジタル信号）をD/Aコンバータでアナログ信号に変換し、それをアンプで電力増幅させて圧電素子に印加し、圧電素子を変位させる。そして、圧電素子の変位量を変位計によって測定し、そのデータをコンピュータにフィードバックし、コンピュータに新たな指令値を発生させる（例えば、非特許文献1、特許文献1参照）。

10

【0004】

一方、電流駆動では、定電流電源から出力される電流値の大きさをコンピュータで制御することによって、圧電素子に充電される電荷量を制御して、圧電素子を変位させる。この場合も、圧電素子の変位量を変位計によって測定し、そのデータをコンピュータにフィードバックし、定電流電源から出力される電流値を制御する（例えば、非特許文献2、特許文献2参照）。このような電流駆動では、圧電素子の変位にヒステリシスが生じないという特徴がある。なお、この場合にも、コンピュータと低電流電源との間にはD/Aコンバータが設けられる。

20

【0005】

しかしながら、このような従来の圧電素子の駆動方法では、圧電素子に大きな変位を短時間で生じさせ、しかも例えばサブナノメートルオーダーの高い分解能を得るような分解能を高めた変位量制御を行うことは、駆動電源（アンプ）の特性面から困難である。

【0006】

その理由として、圧電素子を電圧駆動する場合には、D/Aコンバータに高い分解能が要求されるが、高速で16ビット以上の分解能を持つD/Aコンバータの実現は困難であり、ノイズによっても圧電素子を変位するために、高い分解能を得ることが困難であることや、圧電素子の端子電圧によって流れる電流値が変化するために、パルス状の一定電圧を加えても1パルスあたりの変位量が一定せず、具体的には、端子電圧が低い場合には多くの電流が流れて大きく伸び、逆に端子電圧が高いと電流が小さくなって殆ど伸びないという事態が起こる。

30

【0007】

また、圧電素子を電流駆動する場合においては、一般に定電流電源の出力インピーダンスが高く、圧電素子に供給できる電流値に制限があるために、圧電素子を高速で変位させることは困難である。また、電圧駆動と同様に、D/Aコンバータの高分解能化が困難であるという問題がある。

【0008】

さらに、従来の圧電素子を電流駆動する方法では、圧電素子の変位を一定に保持したい場合にも、圧電素子と駆動電源とが常に導通した状態にある。そのために圧電素子と駆動電源との間に電流が流れて、圧電素子が微小な伸縮（振動）を繰り返し、精密位置決め

40

【特許文献1】特開平1-181580号公報

【非特許文献1】岡崎祐一，「圧電素子を用いた微小変位工具台」，精密工学会誌，54，7，pp1375-1380（1988）

【特許文献2】特開平2-129975号公報

【非特許文献2】C. V. Newcomb and I. flinn：Improving The Linearity of Piezoelectric Ceramic Actuators，Electronics Letter，18，pp442-444（1982）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

50

【0009】

本発明はかかる事情に鑑みてなされたものであり、圧電素子に大きな変位を短時間で生じさせ、しかもその分解能を高めた変位量制御を行うことができる、圧電素子駆動装置および駆動方法を提供することを目的とする。また、本発明は、圧電素子を変位させた状態で静止させることができる圧電素子駆動装置および駆動方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明によれば、圧電素子を電流駆動するための駆動装置であって、
圧電素子に電流を供給するためのカレントソースと、
前記カレントソースから圧電素子に所定のスイッチング時間で給電を行うための給電用切り換えスイッチと、
前記圧電素子に充電された電荷を放電させるためのカレントシンクと、
圧電素子から前記カレントシンクへ所定のスイッチング時間で放電を行うための放電用切り換えスイッチと、
を具備し、
前記カレントソースと前記カレントシンクとは、前記給電用切り換えスイッチと放電用切り換えスイッチを介してトータムポール接続されており、
前記給電用切り換えスイッチのオン/オフを繰り返すことによって作り出される電流パルスによって圧電素子を充電して変位させ、前記放電用切り換えスイッチのオン/オフを繰り返すことによって作り出される電流パルスによって圧電素子に充電された電荷を放電させて変位させ、前記圧電素子に対して充放電が行われなるときには前記給電用切り換えスイッチと前記放電用切り換えスイッチがオフ状態に保持されて圧電素子の変位量が一定に制御されることを特徴とする圧電素子駆動装置、が提供される。

10

20

【0011】

この圧電素子駆動装置において、給電用切り換えスイッチは、カレントソース1個に対して複数接続され、これら複数の給電用切り換えスイッチは互いに並列に接続され、個々に異なるスイッチング時間を有する構成とすることも好ましい。これと同様に、放電用切り換えスイッチも、カレントシンク1個に対して複数接続され、これら複数の放電用切り換えスイッチは互いに並列に接続され、個々に異なるスイッチング時間を有する構成とすることが好ましい。これにより圧電素子に大きな変位を短時間で生じさせ、しかもその分解能を高めた変位量制御を行うことができる。

30

【0012】

本発明に係る圧電素子駆動装置は、カレントソースを複数備え、かつ、給電用切り換えスイッチはそれぞれのカレントソースに対して1個ずつ接続され、これら複数のカレントソースから取り出される電流のピーク値がそれぞれに異なる構成とすることも好ましい。さらに、複数のカレントソースにそれぞれ接続された給電用切り換えスイッチのスイッチング時間は、カレントソースから取り出される電流のピーク値が小さくなるにつれて短くなっていることが好ましい。これにより圧電素子に大きな変位を短時間で生じさせ、しかもその分解能を高めた変位量制御を行うことができる。

40

【0013】

これと同様に、カレントシンクを複数備え、かつ、放電用切り換えスイッチはそれぞれのカレントシンクに対して1個ずつ接続され、これら複数のカレントシンクへ吸い込まれる電流値のピーク値がそれぞれに異なる構成とし、さらに、複数のカレントシンクにそれぞれ接続された放電用切り換えスイッチのスイッチング時間は、カレントシンクへ吸い込まれる電流のピーク値が小さくなるにつれて短くなっていることが好ましい。

【0014】

本発明に係る圧電素子駆動装置は、複数の圧電素子を変位させることができるように、圧電素子ごとに、給電用切り換えスイッチおよび放電用切り換えスイッチと同期してオン/オフ自在な充放電用切り換えスイッチを複数備え、1つの充放電用切り換えスイッチが

50

オン状態のときに残りの充放電用切り換えスイッチはオフ状態となる構成とすることも好ましい。

【0015】

本発明に係る圧電素子駆動装置は、給電用切り換えスイッチとスイッチング時間を決定し、所定のオン信号によってそのスイッチング時間の間だけ給電用切り換えスイッチをオン状態に保持する第1の時間調整回路と、放電用切り換えスイッチとスイッチング時間を決定し、所定のオン信号によってそのスイッチング時間の間だけ放電用切り換えスイッチをオン状態に保持する第2の時間調整回路と、このようなオン信号を作り出して第1の時間調整回路と第2の時間調整回路とに出力する信号発生器と、を具備する構成とすることができる。

10

【0016】

または、所定の時間幅のパルス信号を発生させる信号発生器をさらに具備し、この信号発生器から出力されるパルス信号の時間幅にしたがって給電用切り換えスイッチと放電用切り換えスイッチのスイッチング時間が設定されるようにしてもよい。

【0017】

圧電素子の変位をフィードバック制御（クローズドループ制御）する場合には、圧電素子の変位量を測定するための変位センサと、変位センサの測定データに基づいて、給電用切り換えスイッチと放電用切り換えスイッチのオンオフ動作を制御するための制御装置をさらに具備する構成とすればよい。前述したように、給電用切り換えスイッチと放電用切り換えスイッチを動作させるための信号発生器を具備する場合には、例えば、この信号発生器がコンピュータであれば、制御装置としては、このコンピュータを用いることができる。

20

【0018】

本発明によれば、上述した圧電素子駆動装置を用いて実施可能な圧電素子の駆動方法を提供する。すなわち、本発明によれば、圧電素子を電流駆動するための駆動方法であって、

所定の電荷を有する電流パルスにより圧電素子に充電を行い、

所定の電荷を有する電流パルスにより充電された圧電素子からの放電を行い、

前記圧電素子に充放電を行わないときには、前記圧電素子に充放電を行うために前記圧電素子に設けられた電極を開放して電荷の移動を抑制することで、前記圧電素子の変位量を一定とすることを特徴とする圧電素子の駆動方法、が提供される。

30

【0019】

圧電素子を充電するための電流パルスとしては、電荷量の異なる複数の電流パルスを用いることが好ましく、圧電素子からの放電を行うための電流パルスとしても、電荷量の異なる複数の電流パルスを用いることが好ましい。

【発明の効果】

【0020】

本発明によれば、固定値の電流電源を用いるために、圧電素子に大きな変位を短時間で生じさせ、しかもその分解能を高めた変位量制御を行うことができる。また、電流値にノイズが含まれている場合にも、電流が積分された電荷により圧電素子の変位量が制御されるために、ノイズによる圧電素子の変位量の誤差を極めて小さくすることができる。さらに、圧電素子を駆動するための1つの電流パルスに対する圧電素子の変位量がわかるために、変位計を用いなくとも、電流パルス数から圧電素子の変位量を推定することができる。

40

【0021】

なお、電流パルスの高さ、パルス幅、発生間隔を調整することにより、圧電素子を変位させる際の加速度を変えることができるので、圧電素子の伸縮を利用した位置決め機構では適切な加減速特性を設定することができ、精密な位置決めを実現することができるとともに残留振動を抑えることもできる。

【発明を実施するための最良の形態】

50

【0022】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照しながら詳細に説明する。図1に圧電素子駆動装置10（以下「駆動装置10」と記す）の概略構成を示す。駆動装置10は、コンピュータ20と、駆動電源（駆動アンプ）30と、変位計40と、を備えている。

【0023】

コンピュータ20は、作業者が圧電素子50を駆動するための指令を入力し、また、作業者が圧電素子50の変位量等を視認できるように表示する入出力部21と、圧電素子50を駆動するための信号を発生させるためのプログラム等が記録された記録部23と、変位計40が測定する圧電素子50の変位量に関するデータを取り込む入力インタフェース（入力IF）24bと、この変位量を用いてプログラムにしたがって圧電素子50を駆動するための指令信号を発生させるプロセスコントローラ（CPU）22と、プロセスコントローラ（CPU）22で発生させたデジタル信号を駆動電源30に出力するためのデジタル出力ポート（出力IF）24aと、を備えている。なお、入力インタフェース（入力IF）24bは変位センサの種類により、アナログ・デジタル変換機能を用いてデータを取り込むもの、または、デジタル信号を取り込むものが用いられる。

10

【0024】

図2に駆動電源30の概略構成および駆動電源30と圧電素子50の概略の接続形態を示す。この駆動電源30は、圧電素子50に電流を供給するため1個のカレントソース（電流供給源） I_{p1} と、圧電素子50に充電された電荷を放電させるための1個のカレントシンク（電流吸い込み源） I_{m1} と、カレントソース I_{p1} に設けられた給電用の切り換えスイッチ S_{p1} と、カレントシンク I_{m1} に設けられた放電用の切り換えスイッチ S_{m1} とを備えている。

20

【0025】

このカレントソース I_{p1} から出力される電流のピーク値（「 I_1 」とする）は常に一定とする。このカレントソース I_{p1} としては、一般に市販等されている定電流電源を用いることができるが、このとき、定電流電源の受電部に並列に大容量のコンデンサを設けると、定電流電源へ電気エネルギーを供給する大元の電源の容量を小さくすることができる。カレントソース I_{p1} を小型で安価に構成することができる。

【0026】

カレントシンク（電流吸い込み源） I_{m1} としては、定電流ダイオード、バイポーラトランジスタ、電界効果トランジスタ（FET）、演算増幅器（オペアンプOperational Amplifier）IC等で構成された定電流回路等が好適に用いられる。ここでは、カレントシンク I_{m1} は、ピーク値が I_1 の電流で圧電素子50に充電された電荷を吸い込むことができるようになっており、つまり圧電素子50の放電電流のピーク値は I_1 となっているものとする。

30

【0027】

各切り換えスイッチ S_{p1} ・ S_{m1} としては、高速スイッチング素子であるパワーMOS-FET（Power Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor）やIGBT（Insulated Gate Bipolar Transistor）、静電誘導トランジスタ（Static Induction Transistor）等を用いることができる。これらの切り換えスイッチ S_{p1} ・ S_{m1} は通常はオフの状態となっている。各切り換えスイッチ S_{p1} ・ S_{m1} がオン状態（閉じた状態）となるスイッチング時間はそれぞれ t_1 となるように回路構成がなされており、各切り換えスイッチ S_{p1} ・ S_{m1} のオン/オフ動作はコンピュータ20から出力される一定時間幅の矩形パルス等の信号により行われる構成となっている。

40

【0028】

変位計40としては、圧電素子50の最大変位量と分解能に応じて適切なものを選択することができる。例えば、リニアエンコーダやレーザー干渉変位計、うず電流変位計等が用いられる。

【0029】

次に、駆動装置10による圧電素子50の駆動方法について説明する。図3に圧電素子

50

50に供給される電流(電荷)と圧電素子50の変位量との関係を模式的に示すグラフを示す。最初にカレントソース I_{p1} をスタンバイさせる。次いで、コンピュータ20で切り換えスイッチ S_{p1} を閉じるための制御信号(以下「オン信号」という)を発生させ、そのオン信号を駆動電源30に出力させる。これにより切り換えスイッチ S_{p1} が閉じて(オン状態)、カレントソース I_{p1} から電流値 I_1 の電流が時間 t_1 だけ圧電素子50に流れ込む。こうして“ $I_1 \times t_1$ ”の電荷が圧電素子50に充電され、圧電素子50はその電荷量に応じて伸びる(この伸びを図3において「 Δx 」と示す)。切り換えスイッチ S_{p1} を閉じてから時間 t_1 が経過すると切り換えスイッチ S_{p1} が開く(オフ状態)。

【0030】

このように駆動装置10では圧電素子50を電流パルスで駆動する。従来も電流パルスで圧電素子を駆動する方法は知られているが、従来は駆動電源は常に圧電素子と接続された状態にあるために、圧電素子と駆動電源との間で電荷の移動が起こり、これにより圧電素子が微小な伸縮を繰り返していた。しかし、駆動装置10によれば、圧電素子50に対する充電/放電が行われていないときには、駆動電源30と圧電素子50とが切り離されるために、駆動電源30と圧電素子50との間で電荷の移動が生じず、そのために圧電素子50を実質的に完全に静止させた状態とすることができる。

10

【0031】

このような切り換えスイッチ S_{p1} のオン/オフを繰り返すことにより、圧電素子50を段階的に伸ばすことができる。変位計40は圧電素子50の変位量を測定して、そのデータをコンピュータ20にフィードバックする。コンピュータ20は、そのデータに基づいて、圧電素子50の変位量が所望値に達するまで、切り換えスイッチ S_{p1} のオン/オフを行う。

20

【0032】

こうして伸びた圧電素子50を縮めるには、コンピュータ20で切り換えスイッチ S_{m1} のオン信号を発生させて、駆動電源30に出力する。これにより切り換えスイッチ S_{m1} が閉じると、圧電素子50から放電が始まり、“ $I_1 \times t_1$ ”の電荷がカレントシンク I_{m1} に流れ込み、その電荷量の大きさに応じて圧電素子50が縮む。切り換えスイッチ S_{m1} を閉じてから時間 t_1 が経過すると切り換えスイッチ S_{m1} が開く。これにより、圧電素子50からの放電は停止されるので、圧電素子50の変位が維持される。このようなオン/オフを繰り返すことにより、圧電素子50を段階的に縮めることができる。なお、図3では $I_1 = I_1$ としているが、 $I_1 \neq I_1$ であってもよい。

30

【0033】

なお、駆動装置10から変位センサ40を除いた構成(所謂、オープンループ制御)とした場合にも、圧電素子50の変位量を制御することが可能である。例えば、変位センサ40を用いずに圧電素子50を駆動する場合、圧電素子50に“ $I_1 \times t_1$ ”の電荷量を充電した際の圧電素子50の変位量と、圧電素子50に充電することができる電荷量の上限値を前もって計測しておいて、その情報をコンピュータ20にインプットしておく。そして、コンピュータ20は、所望の変位量を得るために必要な電荷量を計算し、さらに切り換えスイッチ S_{p1} のオン/オフ回数を計算して、圧電素子50を充電すればよい。このように変位センサ40を用いない構成においても、圧電素子50を電流パルスで駆動する電荷制御では、ヒステリシスの発生を抑えることができる。

40

【0034】

このような図3に示す駆動方法では、カレントソース I_{p1} から出力される電流値 I_1 を大きくし、かつ、切り換えスイッチ S_{p1} のスイッチング時間 t_1 を長くすると、1回の圧電素子50の変位量を大きくすることができるが、高い分解能を得ることは困難となる。一方、カレントソース I_{p1} から出力される電流値 I_1 を小さくし、かつ、切り換えスイッチ S_{p1} のスイッチング時間 t_1 を短くすると、1回の圧電素子50の変位量は小さいが、高い分解能を得ることができる。これと同様のことが、カレントシンク I_{m1} に流すことができる電流 I_1 と切り換えスイッチ S_{m1} のスイッチング時間との関係についても言える。

50

【0035】

駆動電源30を用いた圧電素子50の駆動において、電流パルスの高さ、パルス幅、発生間隔を変えることにより、圧電素子50を变形させる際の加速度を変えることができる。そのため、圧電素子50の伸縮を利用した位置決め機構では、適切な加減速特性を設定することができるので、精密な位置決めを実現できるとともに残留振動を抑えることもできるようになる。

【0036】

この駆動装置10では、各切り換えスイッチ $S_{p1} \cdot S_{m1}$ のスイッチング時間を t_1 に固定し、コンピュータ20が各切り換えスイッチ $S_{p1} \cdot S_{m1}$ のオン/オフ動作のためのオン信号を出力する構成を、各切り換えスイッチ $S_{p1} \cdot S_{m1}$ のそれぞれのスイッチング時間をコンピュータ20から出力される矩形波の時間幅で調整する構成に変更することができる。この構成変更は、コンピュータ20の記録部23に記録された信号発生のためのプログラムを変更すること等によって行うことができる。

10

【0037】

そのような駆動装置を用いた場合の圧電素子50に供給される電流(電荷)と圧電素子50の変位量との関係を模式的に示すグラフを図4に示す。図4に示す圧電素子50の駆動方法は次の通りである。すなわち、最初にカレントソース I_{p1} をスタンバイさせる。次いで、コンピュータ20で切り換えスイッチ S_{p1} のスイッチング時間が T_1 となるオン信号を発生させ、駆動電源30に出力する。これによりカレントソース I_{p1} から電流値 I_1 の電流が時間 T_1 だけ圧電素子50に流れ込み、“ $I_1 \times T_1$ ”の電荷が圧電素子50に充電されて、圧電素子50はその電荷量に応じて伸びる。そして、切り換えスイッチ S_{p1} を閉じてから時間 T_1 が経過すると切り換えスイッチ S_{p1} が開く。

20

【0038】

続いて、コンピュータ20でスイッチング時間が T_2 ($T_2 < T_1$)となる切り換えスイッチ S_{p1} のオン信号を発生させ、駆動電源30に出力する。これにより“ $I_1 \times T_2$ ”の電荷が圧電素子50に充電されて、圧電素子50はその電荷量に応じて伸びる。このような切り換えスイッチ S_{p1} のオン/オフを、時間幅 T_3, T_4 ($T_4 < T_3 < T_2 < T_1$)のオン信号により逐次行う。これにより、少ないオン/オフ回数で大きな変位と高い分解能を得ることができる。

30

【0039】

このようにして伸びた圧電素子50を縮める場合には、高い分解能を必要としない場合には、例えば、スイッチング時間 T_1 のオン信号で切り換えスイッチ S_{m1} をオン/オフすればよい。一方、縮み量を制御するために高い分解能を必要とする場合には、時間幅 $T_1 \sim T_4$ のオン信号を適宜組み合わせる切り換えスイッチ S_{m1} をオン/オフし、または時間幅 T_4 のオン信号で切り換えスイッチ S_{m1} をオン/オフすればよい。

【0040】

なお、圧電素子50の変位量が予め決められており、圧電素子50の変位量を変位計40で測定してフィードバック制御を行う場合には、コンピュータ20は、変位計40によるデータに基づいて、圧電素子50の変位量が所望値に達するまで、時間幅 $T_1 \sim T_4$ のオン信号から適切な時間幅のものを選択して、切り換えスイッチ S_{p1} を繰り返してオン/オフさせる。

40

【0041】

上述した図4に示す圧電素子50の駆動方法は、図5に示す駆動電源30aを用いても行うことができる。図5は、駆動電源30aの概略構成および駆動電源30aと圧電素子50の概略の接続形態を示す図である。駆動電源30aは、カレントソース I_{p1} と、カレントシンク I_{m1} と、並列接続された給電用の切り換えスイッチ $S_{p1} \cdot S_{p2} \cdot S_{p3} \cdot S_{p4}$ と、並列接続された放電用の切り換えスイッチ $S_{m1} \cdot S_{m2} \cdot S_{m3} \cdot S_{m4}$ とを備えている。切り換えスイッチ $S_{p1} \cdot S_{p2} \cdot S_{p3} \cdot S_{p4}$ のスイッチング時間は、それぞれ T_1, T_2, T_3, T_4 ($T_4 < T_3 < T_2 < T_1$)に固定されており、切り換えスイッチ $S_{m1} \cdot S_{m2} \cdot S_{m3} \cdot S_{m4}$ のスイッチング時間もそれぞれ $T_1,$

50

T_2 , T_3 , T_4 に固定されている。

【0042】

コンピュータ20は各切り換えスイッチ $S_{p_1} \sim S_{p_4} \cdot S_{m_1} \sim S_{m_4}$ のオン/オフ動作のための一定時間幅の矩形パルス等の信号を各切り換えスイッチ $S_{p_1} \sim S_{p_4} \cdot S_{m_1} \sim S_{m_4}$ に出力する。

【0043】

このようなコンピュータ20と駆動電源30aを用いて先に図4に示した圧電素子50の駆動を行うには、まず切り換えスイッチ S_{p_1} をオンさせて(このとき、他の切り換えスイッチ $S_{p_2} \cdot S_{p_3} \cdot S_{p_4} \cdot S_{m_1}$ をオフ状態とする)、“ $I_1 \times T_1$ ”の電荷を圧電素子50に充電する。続いて切り換えスイッチ S_{p_1} がオフ状態となった後に、切り換えスイッチ S_{p_2} をオンさせて“ $I_1 \times T_2$ ”の電荷を圧電素子50に充電し、切り換えスイッチ S_{p_2} がオフ状態となった後に切り換えスイッチ S_{p_3} をオンさせて“ $I_1 \times T_3$ ”の電荷を圧電素子50に充電し、さらに切り換えスイッチ S_{p_3} がオフ状態となった後に切り換えスイッチ S_{p_4} をオンさせて“ $I_1 \times T_4$ ”の電荷を圧電素子50に充電する。

10

【0044】

放電はこの充電方法と同様にして、切り換えスイッチ $S_{m_1} \sim S_{m_4}$ を逐次オン/オフさせればよい。圧電素子50の変位量を変位計40で測定してフィードバック制御を行う場合等には、圧電素子50の目標変位量に応じて、切り換えスイッチ $S_{p_1} \sim S_{p_4}$ の中から好適な切り換えスイッチを適宜選択して、1回または複数回、オン/オフさせればよい。

20

【0045】

上述した駆動電源30・30aでは、1個のカレントソース I_{p_1} のみを具備した構成であるために、1回の切り換えスイッチ I_{p_1} のオン/オフで圧電素子50に充電することができる電荷量の最小値で圧電素子50の分解能が決定される。つまり圧電素子50の分解能は、切り換えスイッチ I_{p_1} の最小スイッチング時間 $t_{m_{i_n}}$ で決定され、“ $I_1 \times t_{m_{i_n}}$ ”未満の電荷を圧電素子50に充電して、圧電素子50の変位量を制御することはできない。カレントシンク I_{m_1} についても同様に、“ $I_1 \times t_{m_{i_n}}$ ”未満の電荷を圧電素子50から放電させることができない。

【0046】

そこで、ピーク電流値の異なる複数のカレントソース、カレントシンクを設けることで、圧電素子50を短時間で大きく変位させ、しかも、圧電素子50の分解能をさらに高めることを可能とする駆動電源について、図6を参照しながら説明する。図6に駆動電源60の概略構成を示す。

30

【0047】

この駆動電源60は、圧電素子50に電流を供給するための n 個(n は2以上の整数)のカレントソース I_{p_n} (I_{p_1} , I_{p_2} , \dots , I_{p_n})と、 k 個(k は2以上の整数)のカレントシンク I_{m_k} (I_{m_1} , I_{m_2} , \dots , I_{m_k})と、カレントソース I_{p_n} ごとに設けられた切り換えスイッチ S_{p_n} (S_{p_1} , S_{p_2} , \dots , S_{p_n})と、カレントシンク I_{m_k} ごとに設けられた切り換えスイッチ S_{m_k} (S_{m_1} , S_{m_2} , \dots , S_{m_k})と、を備えている。

40

【0048】

各カレントソース I_{p_n} と各カレントシンク I_{m_k} は、各切り換えスイッチ S_{p_n} と各切り換えスイッチ S_{m_k} とを介してトータムポール接続されている。図6では $k = n$ の場合を示しているが、 $k < n$ であってもよい。

【0049】

駆動電源60では、 n 個のカレントソース I_{p_n} がそれぞれ供給することができるピーク電流の大きさは異なっている。例えば、カレントソース(I_{p_1} , I_{p_2} , \dots , I_{p_n})はそれぞれにピーク電流値(I_1 , I_2 , \dots , I_n)の電流を供給することができる構成となっている。例えば、一般的なD/A変換器と同様に、ピーク電流値(I_1

50

I_2, \dots, I_n) は、公比を 2 とする等比数列 (つまり、 $I_1, I_2 = I_1 / 2, I_n = I_1 / 2^n$) とすることができるし、不均一な比率とすることもできる。

【0050】

同様に、 k 個のカレントシンク I_{m_k} がそれぞれ吸い込むことができるピーク電流の大きさは異なっている。例えば、カレントシンク ($I_{m_1}, I_{m_2}, \dots, I_{m_k}$) はそれぞれに公比を 2 とする等比数列の関係にあるピーク電流値 (I_1, I_2, \dots, I_k) の電流を吸い込むことができる構成とすることができる。ここでは、 $k = n$ であるので、カレントソース I_{p_n} のピーク電流値 I_n とカレントシンク I_{m_k} のピーク電流値 I_k はそれぞれ同じ大きさとなる。

【0051】

n 個のカレントソース I_{p_n} ごとに設けられた n 個の切り換えスイッチ S_{p_n} のスイッチング時間は、それぞれに異なる値としてもよいが、ここでは説明および理解を容易とするために、全て " t_1 " で同じであるとする。また、 k 個のカレントシンク I_{m_k} ごとに設けられた k 個の切り換えスイッチ S_{m_k} のスイッチング時間もそれぞれに異なる値としてもよいが、ここでは全て " t_1 " で同じであるとする。コンピュータ 20 は $k + n$ 個の各切り換えスイッチ $S_{p_n} \cdot S_{m_k}$ のオン/オフ動作のための一定時間幅の矩形パルス等の信号を $k + n$ 個の各切り換えスイッチ $S_{p_n} \cdot S_{m_k}$ に出力する。

【0052】

このスイッチング時間 t_1 を最小スイッチング時間 $t_{m_{in}}$ とすれば、例えば、切り換えスイッチ $S_{p_2} \cdot S_{m_2}$ をオン/オフさせれば、そのときの電荷の移動量は " $I_2 \times t_{m_{in}} = (I_1 / 2) \times t_{m_{in}}$ " となる。よって、切り換えスイッチ $S_{p_2} \cdot S_{m_2}$ の 1 回のオン/オフで、先に説明した駆動電源 30・30a における最小電荷移動量である " $I_1 \times t_{m_{in}}$ " よりも少ない電荷を圧電素子 50 に供給し、また、圧電素子 50 から放電させることができるので、圧電素子 50 の分解能を高めることができる。

【0053】

なお、勿論、 $k + n$ 個の切り換えスイッチ $S_{p_n} \cdot S_{m_k}$ ごとに異なるスイッチング時間を設定してもよいが、その場合には、各カレントソース I_{p_n} から圧電素子 50 に供給される電荷量が同じにならないように、また、圧電素子 50 から各カレントシンク I_{m_k} に吸い込まれる電荷量が同じにならないように、スイッチング時間を設定することが、圧電素子 50 を高い分解能で短時間で大きく変位させる観点から、好ましい。

【0054】

この駆動電源 60 による圧電素子 50 の駆動方法は、図 5 に示した駆動電源 30a により圧電素子 50 を駆動する方法と同様である。例えば、切り換えスイッチ S_{p_1} をオンさせて、" $I_1 \times t_1$ " の電荷を圧電素子 50 に充電し、圧電素子 50 を伸ばす。続いて切り換えスイッチ S_{p_1} がオフ状態となった後に、切り換えスイッチ S_{p_2} をオンさせて " $I_2 \times t_1$ " の電荷を圧電素子 50 に充電し、さらに圧電素子 50 を伸ばす。このような充電操作を、適宜選択された切り換えスイッチ S_{p_n} について実行する。放電はこの充電方法と同様にして、切り換えスイッチ $S_{m_1} \sim S_{m_k}$ から適宜選択したものを逐次オン/オフさせればよい。

【0055】

なお、圧電素子 50 の変位量を変位計 40 で測定してフィードバック制御を行う場合には、コンピュータ 20 は、変位計 40 によるデータに基づいて、圧電素子 50 の変位量が所望値に達するまで、カレントソース I_{p_n} から好適なものを選択して、それに対応する切り換えスイッチ S_{p_n} をオン/オフさせる。

【0056】

この駆動電源 60 を用いた圧電素子 50 の駆動方法をより具体的に数値を挙げて説明する。圧電素子 50 は積層型圧電素子であるとする。そして、圧電素子 50 に対して充電/放電するための電流 I_1 を 10 A、スイッチング時間 t_1 を 50 μ s (マイクロ秒) とすると、切り換えスイッチ S_{p_1} を 1 回オン/オフさせた際に圧電素子 50 に供給される電荷は 500 μ C となる。また、電流 I_2 を 1 mA とすると、スイッチング時間 t_1 は 50

10

20

30

40

50

μs であるから、切り換えスイッチ S_{p_2} を1回オン/オフさせた際に圧電素子 50 に供給される電荷は 50 nC となる。ここで、圧電素子 50 の変位量は電荷量にほぼ比例するため、切り換えスイッチ $S_{p_1} \cdot S_{p_2}$ をそれぞれ1回オンオフさせた場合の圧電素子 50 の変位量の差として、容易に 10000 倍程度を得ることができる。

【0057】

圧電素子 50 の静電容量が $6\ \mu\text{F}$ で、 100 V 印加時に $10\ \mu\text{m}$ 伸びるとすると、最大伸長時の充電電荷は $600\ \mu\text{C}$ であるから、切り換えスイッチ S_{p_1} を用いれば、フルストロークに近い $8.3\ \mu\text{m}$ ($=10\ \mu\text{m} \times 500\ \mu\text{C} / 600\ \mu\text{C}$) の変位量を得ることができる。また、切り換えスイッチ S_{p_2} を用いた場合の分解能は $0.83\ \text{nm}$ ($=10\ \mu\text{m} \times 50\ \text{nC} / 600\ \mu\text{C}$) となるから、サブナノオーダーでの変位制御が可能となる。ここで、さらに切り換えスイッチ $S_{p_1} \cdot S_{m_2}$ のスイッチング時間 t_1 を $10\ \mu\text{s}$ に変更した構成とすると、その分解能は約 $0.17\ \text{nm}$ となる。

10

【0058】

そこで、切り換えスイッチ $S_{p_1} \cdot S_{p_2}$ を組み合わせると、高速かつ高分解能で圧電素子 50 を駆動することができる。このような圧電素子 50 の駆動方法は、圧電素子 50 に供給される電流パルスの変化とパルス密度変調とを組み合わせたと駆動方法であると言える。そのため、通常の D/A 変換器を用いるよりも段階数が少ないにもかかわらず、高い分解能を容易に得ることができる。

【0059】

次に、駆動電源 60 を用いて複数の圧電素子 50_j (j は2以上の自然数) を駆動するための方法および回路構成について説明する。図7に駆動電源 60 と複数の圧電素子 50_j との接続形態を示す。駆動電源 60 の構成は先に図5を参照しながら説明しているので、ここでの説明は割愛する。複数の圧電素子 50_j は並列接続されており、圧電素子 50_j ごとに圧電素子 50_j に対する給電/放電を行い、また圧電素子 50_j を開放状態に保持するための切り換えスイッチ $S_{c_1} \sim S_{c_j}$ が設けられている。

20

【0060】

圧電素子 50_1 から順に1個ずつ駆動していく場合には、切り換えスイッチ S_{c_1} をオン状態に維持し、その他のスイッチ $S_{c_2} \sim S_{c_j}$ をオフ状態に維持して、先に説明したように、切り換えスイッチ $S_{p_1} \sim S_{p_n}$ の中の1個のスイッチがオンの状態であるときに他のスイッチがオフ状態となるように、切り換えスイッチ $S_{p_1} \sim S_{p_n}$ の中から選ばれたスイッチをオン/オフさせて、圧電素子 50_1 を充電すればよい。そして、圧電素子 50_1 について所望の変位量が得られたら、圧電素子 50_2 を駆動するために、切り換えスイッチ S_{c_2} をオン状態に保持し、その他の切り換えスイッチ $S_{c_1} \cdot S_{c_3} \sim S_{c_j}$ をオフ状態に維持して、圧電素子 50_1 を充電する方法と同様にして、圧電素子 50_2 を充電すればよい。さらに、このような処理を残る圧電素子 $50_3 \sim 50_j$ について行う。

30

【0061】

また、圧電素子 $50_3 \sim 50_j$ を逐次駆動する場合には、選ばれた切り換えスイッチ S_{p_n} と切り換えスイッチ S_{c_j} とを同期させてオン/オフすればよい。圧電素子 $50_3 \sim 50_j$ を縮める場合の操作は、充電時の切り換えスイッチ S_{p_n} の操作を切り換えスイッチ S_{m_n} の操作に変更して、その他は同様に行えばよいことは、先の説明からも明らかであるので、ここでの詳細な説明は割愛する。

40

【0062】

以上、本発明の実施の形態について説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、切り換えスイッチ S_{p_n} 等の各種切り換えスイッチのスイッチング時間の調整方法としては、電流値 I_n (または I_k) ごとに一定のパルス幅しかでないように回路を構成しておき、コンピュータ 20 から送ったオン信号の立ち上がりを検出し、電流パルスの発生のタイミングを取るようにしてもよい。

【0063】

また本発明は、スチュワート・プラットホーム型パラレル機構の駆動に用いることができる。図8にそのパラレル機構 60 の概略構成を示す。パラレル機構 60 は、圧電素子 6

50

2 a ~ 6 2 f により伸縮するリンク 6 1 a ~ 6 1 f を 6 本用いて、ベースプレート 6 3 とステージ 6 4 とが接続された構造を有している。これらのリンク 6 1 a ~ 6 1 f の伸縮を、コントローラ (CPU) や信号入出力用のインターフェース等を備えたコンピュータ 6 5 で制御することにより、ステージ 6 4 の x y z 方向の並進およびそれらの軸周りの傾きの 6 自由度を制御することができる。

【0064】

リンク 6 1 a ~ 6 1 f にはそれぞれ、各圧電素子 6 2 a ~ 6 2 f の伸縮量を測定するための変位センサ (図示せず) が設けられている。各変位センサの出力はコンピュータ 6 5 に取り込まれ、コンピュータ 6 5 内に格納されたプログラムに基づいて各圧電素子 6 2 a ~ 6 2 f の伸縮が判別される。それにしたがってコンピュータ 6 5 は駆動信号を駆動電源 6 6 に与える。駆動電源 6 6 としては、図 7 に示した構成のものが用いられ、駆動電源 6 6 は、駆動信号に基づいて所定の電流パルスを押電素子 6 2 a ~ 6 2 f に与える。

10

【0065】

上述の通り、圧電素子 6 2 a ~ 6 2 f にはパルス状の電流が供給され、また、同様に圧電素子 6 2 a ~ 6 2 f からの放電が行われるため、パラレル機構 6 0 では、例えば、制御の 1 周期中に 6 個の圧電素子 6 2 a ~ 6 2 f を切り替えながら駆動する、所謂、時分割方式での駆動が可能である。具体的には、切り換えスイッチ S_{p_1} , S_{p_2} , \dots , S_{p_6} または S_{m_1} , S_{m_2} , \dots , S_{m_6} および S_{c_1} , S_{c_2} , \dots , S_{c_6} を切り替える。この動作により駆動電源 6 6 の稼働率を上げることができる。なお、図 8 では、リンク 6 1 a ~ 6 1 f の選択 (つまり、圧電素子 6 2 a ~ 6 2 f の選択) を「チャンネル選択」と記し、圧電素子 6 2 a ~ 6 2 f の充放電の選択を「ソース/シンク選択」と記している。

20

【0066】

さらに本発明は、圧電素子を駆動してインクの粒を吐出するインクジェットプリンタにも適用することができる。その場合には、圧電素子の変位加速度を変えることによって、1 滴のインク容量を変えることも可能となる。

【実施例】

【0067】

(実施例 1)

図 2 に示す構成を有する駆動電源 3 0 において、圧電素子の代わりに負荷として $9.4 \mu\text{F}$ のコンデンサを接続し、カレントソース I_{p_1} およびカレントシンク I_{m_1} としてトランジスタおよび抵抗で構成した回路を用い、このコンデンサに対する充電・放電電流を 60 mA 、切り換えスイッチ S_{p_1} のスイッチング時間 (電流パルス幅) を $500 \mu\text{s}$ 、切り換えスイッチ S_{m_1} のスイッチング時間を $100 \mu\text{s}$ として、切り換えスイッチ S_{p_1} を繰り返しオン/オフさせることでコンデンサの電圧を上昇させ、切り換えスイッチ S_{m_1} を繰り返しオン/オフさせることでコンデンサの電圧を低下させた。コンデンサの電圧の増減は電荷の増減に対応している。一方、圧電素子の変位は充電される電荷に比例する。したがって、本実験は圧電素子の変位制御と等価と考えることができる。駆動電源 3 0 のより詳細な回路構成を図 9 に、コンデンサの電極電圧の変化を示すグラフを図 1 0 に、それぞれ示す。

30

40

【0068】

この図 1 0 に示されるように、切り換えスイッチ S_{p_1} , S_{m_1} の 1 回のオン/オフに起因して、コンデンサの電極端子電圧は階段状に変化している。コンデンサへの給電 (充電) を停止した状態においてコンデンサの端子電圧がわずかに減少しているのは、オシロスコープで波形観察を行っているために、コンデンサからオシロスコープに電流が流れたことに起因するものであり、コンデンサと駆動電源 3 0 との間で電流が流れたことに起因するものではない。この図 1 0 から、コンデンサの電圧変化の 1 つの段差を小さくすること、つまり 1 回の切り換えスイッチ S_{p_1} のスイッチングで流すことができる電荷量を少なくすることにより、コンデンサの端子電圧を高い分解能で制御することができることがわかる。このことは、コンデンサを圧電素子に置き換えた場合には、圧電素子を高い分解

50

能で駆動できることを示している。

【0069】

なお、実際には圧電素子の内部抵抗および空中への放電によって電荷が減少する。しかし、これに起因する変位の減少をあらかじめ測定しておいて、それを補償する電流パルスを一定時間おきに与えることで、圧電素子の変位の誤差を最小限に抑えることができる。

【0070】

(実施例2)

図6に示す駆動電源60において、 $n = k = 2$ とした回路を構成し、圧電素子を変位させた。

(実験装置)

DSP(MTT社製sBox)でパルス信号を発生し、それにより定電流回路を駆動した。圧電アクチュエータとしてDynamic Structures & Materials製FPA-100-DEMOを用いた。これはNEC/TOKIN製の積層型圧電素子AE0505D16の変位を拡大する機構を備えている。その変位量は100V印加時に70 μ mであり、電圧駆動の場合には昇圧/降圧に伴うヒステリシスが観察された。固有振動数は単体で1.3kHz、後述するセンサターゲットを取り付けた状態で1kHzである。

【0071】

圧電アクチュエータの変位量は、ターゲットとして20mm \times 20mm \times 2mmの鋼板を用い、うず電流センサ(キーエンス製EX-201)で測定した。センサ出力をNF回路設計ブロック製差動アンプ5307で20倍に増幅した。そのため、1mm/5.65Vの感度は1mm/113Vとなった。ただし、ノイズも増幅されるため、分解能は0.4 μ mで変わらない。センサの遮断周波数は1kHzに設定した。

【0072】

電流パルス幅の時間調整にはsbox_DaGet()関数を用いた。1000回ループさせたところ324 μ sであったため、1回あたりを324ns(ナノ秒)として計算した。D/A変換器のスルーレートにより、立ち上がり/立ち下り波形が図11に示すように鈍り、5V変化するために約10 μ sを要することが確認された。

【0073】

(電流パルス幅の設定)

オープンループ制御により圧電素子を駆動することで、カレントソースとカレントシンクで1電流パルスあたりの変位量が等しくなるように、パルス幅を設定した。カレントソースとカレントシンクで電流値の大きい方のパルス幅を最短時間(5 μ s)とし、小さい方のパルス幅を長くすることで1電流パルスあたりの電荷量を合わせた。また、休止時間を調整することで、カレントソース・カレントシンクの1周期の時間を粗動(カレントソース I_{p1} 、カレントシンク I_{m1})では640 μ s(2000回待ち)、微動(カレントソース I_{p2} 、カレントシンク I_{m2})では160 μ s(500回待ち)に合わせた。先に実施例1で示したように、圧電アクチュエータを構成する圧電素子の端子電圧を測定するためにオシロスコープを接続すると、漏れ電流が大きくなって線形性が悪くなるため、オシロスコープは接続しなかった。

【0074】

このような調整後の電流値およびパルス幅を表1に示す。なお、回路の性能上、もう少し短いパルス幅でも設定可能である。

【0075】

10

20

30

40

【表 1】

粗動	充電電流パルス	電流値	220mA
		時間幅(スイッチング時間)	5 μ sec
		時間調整ループ数	16
	放電電流パルス	電流値	164mA
		時間幅(スイッチング時間)	30 μ sec
		時間調整ループ数	95
微動	充電電流パルス	電流値	3.2mA
		時間幅(スイッチング時間)	5 μ sec
		時間調整ループ数	16
	放電電流パルス	電流値	0.8mA
		時間幅(スイッチング時間)	8 μ sec
		時間調整ループ数	25

10

20

【0076】

図12は、駆動電源の粗動用の回路部分、つまり、カレントソース I_{p1} 、カレントシンク I_{m1} 、切り換えスイッチ $S_{p1} \cdot S_{m1}$ を用いて圧電アクチュエータを変位させた場合の変位量を示すグラフであり、伸縮両方ともそれぞれ70パルスで駆動している。収縮時に線形性が悪いのは、カレントシンク側の回路の線形性が悪いことが原因である。圧電アクチュエータの1電流パルスあたりの変位量は $0.51 \mu\text{m}$ ($4.07\text{V} / 70$ パルス)であった。

【0077】

図13は、駆動電源の微動用の回路部分、つまり、カレントソース I_{p2} 、カレントシンク I_{m2} 、切り換えスイッチ $S_{p2} \cdot S_{m2}$ を用いて圧電アクチュエータを変位させた場合の変位量を示すグラフであり、伸縮両方ともそれぞれ5000パルスで駆動している。図13に示されるように、微動のみでオープンループで駆動しても、もれ電流の影響は見られなかった。計算上、圧電アクチュエータの変位量は、 $7.1 \text{nm} / 1$ 電流パルス ($4.00\text{V} / 5000$ パルス)となった。圧電素子に充電される電荷量は端子電圧と静電容量の積となる。したがって、圧電素子に並列にコンデンサを接続することで、同一電荷量のパルスを与えても電圧変化が小さくなり、さらに圧電素子の変位分解能を向上させることができる。

30

【0078】

(実施例3)

実施例2の装置を用いて圧電素子の変位を目標値に追従させるフィードバック制御を行った。目標値は、図14(a)に示す、 $0.5\text{V} \sim 5.2\text{V}$ に変化するステップ状の電圧として与えた。圧電素子の変位は(株)キーエンス製の渦電流式変位計により測定した。このフィードバック制御における圧電アクチュエータ変位を図14(b)に示す。1電流パルスあたりの電流値とパルス幅の積で決まる電荷量と圧電素子の静電容量の関係により、変位の立ち上がり時間は 50ms (ミリ秒)であった。

40

【産業上の利用可能性】

【0079】

本発明は、半導体製造装置等における精密位置決めに好適である。

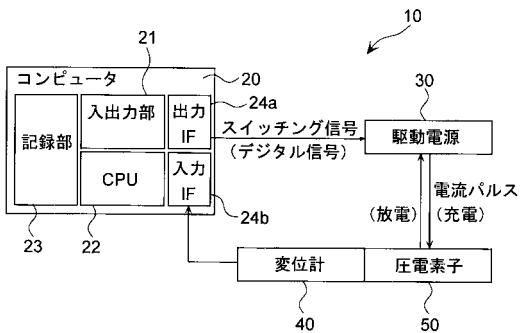
【図面の簡単な説明】

【0080】

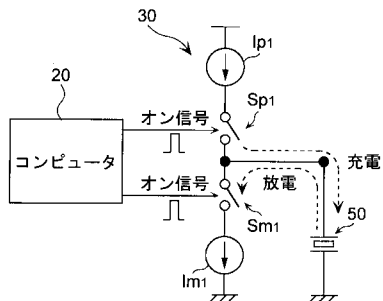
50

- 【図 1】 圧電素子駆動装置の概略構成を示す図。
- 【図 2】 駆動電源の概略構成および駆動電源と圧電素子の概略の接続形態を示す図。
- 【図 3】 圧電素子に供給される電流（電荷）と圧電素子の変位量との関係を模式的に示すグラフ。
- 【図 4】 圧電素子に供給される電流（電荷）と圧電素子の変位量との関係を模式的に示す別のグラフ。
- 【図 5】 別の駆動電源の概略構成およびその駆動電源と圧電素子の概略の接続形態を示す図。
- 【図 6】 さらに別の駆動電源の概略構成を示す図。
- 【図 7】 図 6 に示す駆動電源に複数の圧電素子を接続させた形態を示す図。 10
- 【図 8】 駆動電源をスチュワート・プラットホーム型パラレル機構に適用した概略構成を示す図。
- 【図 9】 図 2 に示す駆動電源のより詳細な回路構成を示す図。
- 【図 10】 圧電素子の電極電圧の変化を示すグラフ。
- 【図 11】 電流パルスの立ち上がり / 立ち下り波形を示すグラフ。
- 【図 12】 粗動回路による圧電アクチュエータの変位を示すグラフ。
- 【図 13】 微動回路による圧電アクチュエータの変位を示すグラフ。
- 【図 14】 (a) は変位フィードバック制御における位置指令電圧を示すグラフ、(b) は圧電アクチュエータの変位を示すグラフ。
- 【符号の説明】 20
- 【 0 0 8 1 】
- 1 0 ; 圧電素子駆動装置
 - 2 0 ; コンピュータ
 - 2 1 ; 入出力部
 - 2 2 ; プロセスコントローラ (C P U)
 - 2 3 ; 記録部
 - 2 4 a ; デジタル出力ポート (出力 I F)
 - 2 4 b ; 入力インタフェース (入力 I F)
 - 3 0 ・ 3 0 a ・ 6 0 ; 駆動電源
 - 4 0 ; 変位センサ 30
 - 5 0 ・ 5 0 _j ; 圧電素子
 - 6 0 ; パラレル機構
 - 6 1 a ~ 6 1 f ; リンク
 - 6 2 a ~ 6 2 f ; 圧電素子
 - 6 3 ; ベースプレート
 - 6 4 ; ステージ
 - 6 5 ; コンピュータ
 - 6 6 ; 駆動電源
 - I p_n ; カレントソース
 - I m_k ; カレントシンク 40
 - S p_n ; (給電用) 切り換えスイッチ
 - S m_k ; (放電用) 切り換えスイッチ
 - S c_j ; (充放電用) 切り換えスイッチ

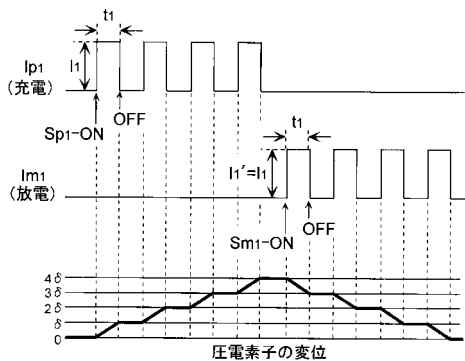
【 図 1 】



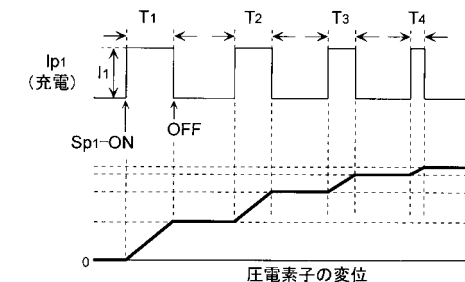
【 図 2 】



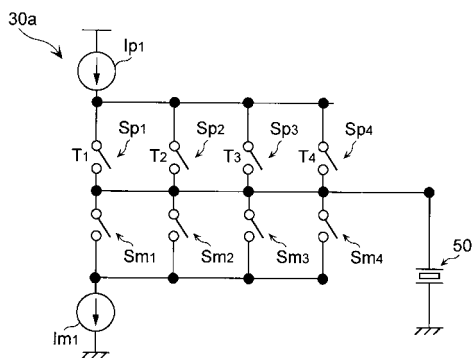
【 図 3 】



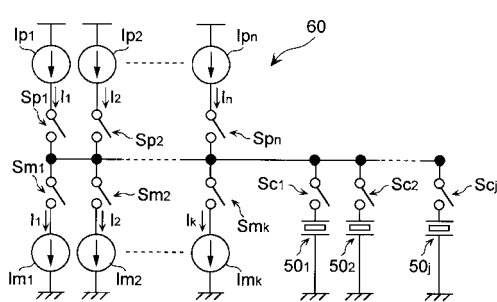
【 図 4 】



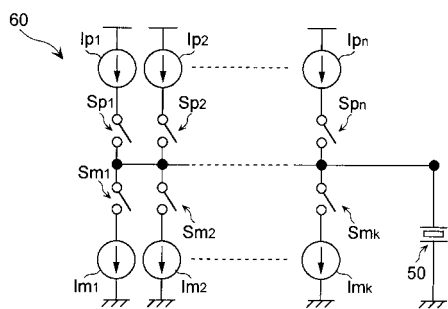
【 図 5 】



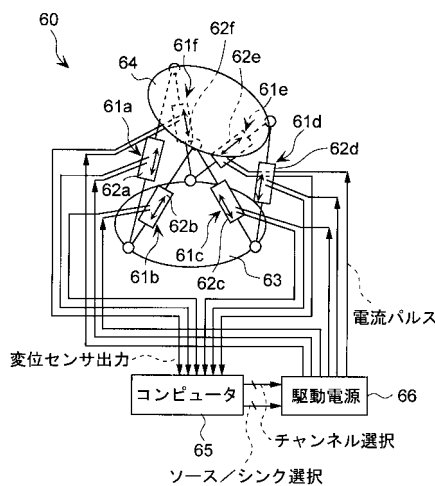
【 図 7 】



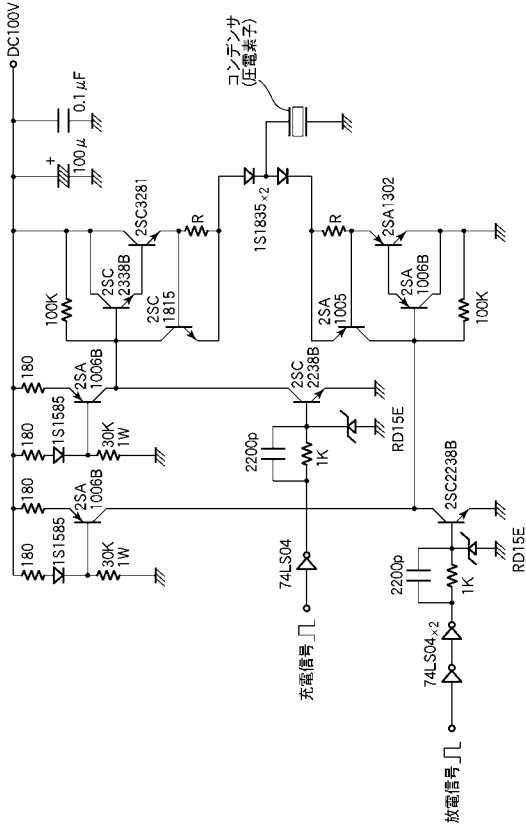
【 図 6 】



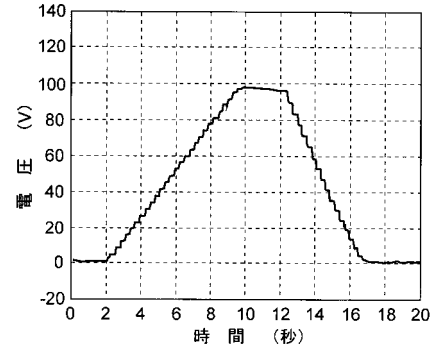
【 図 8 】



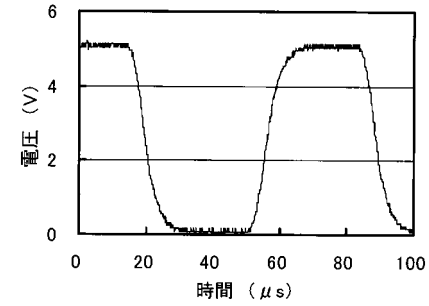
【 図 9 】



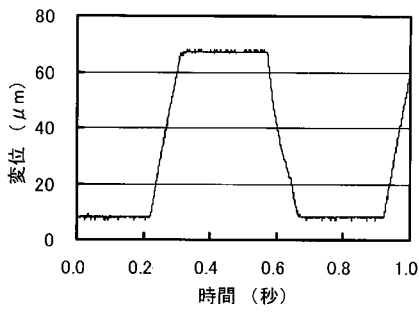
【 図 10 】



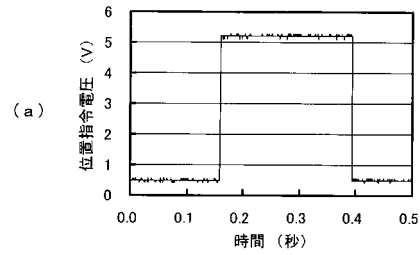
【 図 11 】



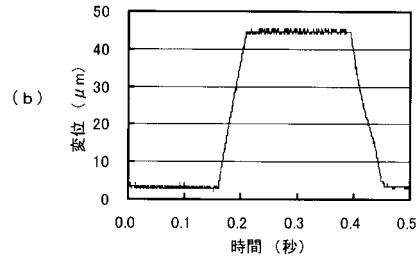
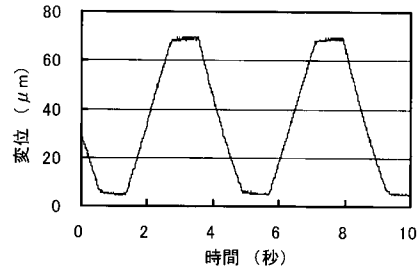
【 図 12 】



【 図 14 】



【 図 13 】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F031 CA02 HA53 HA57 HA58 LA10 PA30