



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201240478 A1

(43)公開日：中華民國 101 (2012) 年 10 月 01 日

(21)申請案號：100143345

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 11 月 25 日

(51)Int. Cl. : **H04R1/40 (2006.01)** **H04R19/02 (2006.01)**

(30)優先權：2010/11/26 美國 61/417,298

2011/03/29 美國 61/468,916

(71)申請人：奧迪歐像素有限公司 (以色列) AUDIO PIXELS LTD. (IL)
以色列

(72)發明人：哈伯 艾利克 A HABER, ERIC ANDREAS (IL)；列文 丹尼爾 LEWIN, DANIEL (IL)；卡普蘭 沙伊 KAPLAN, SHAY (IL)；西蒙 麥爾 B SIMON, MEIR BEN (IL)；柯亨 尤瓦爾 COHEN, YUVAL (IL)

(74)代理人：惲軼群；陳文郎

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：99 項 圖式數：29 共 162 頁

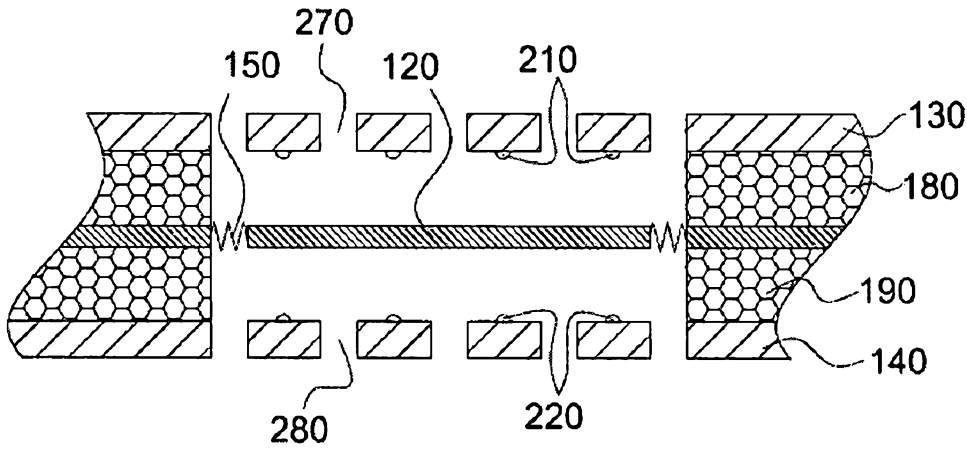
(54)名稱

用於致動器陣列之個別定址及雜訊減小之裝置及方法

APPARATUS AND METHODS FOR INDIVIDUAL ADDRESSING AND NOISE REDUCTION IN ACTUATOR ARRAYS

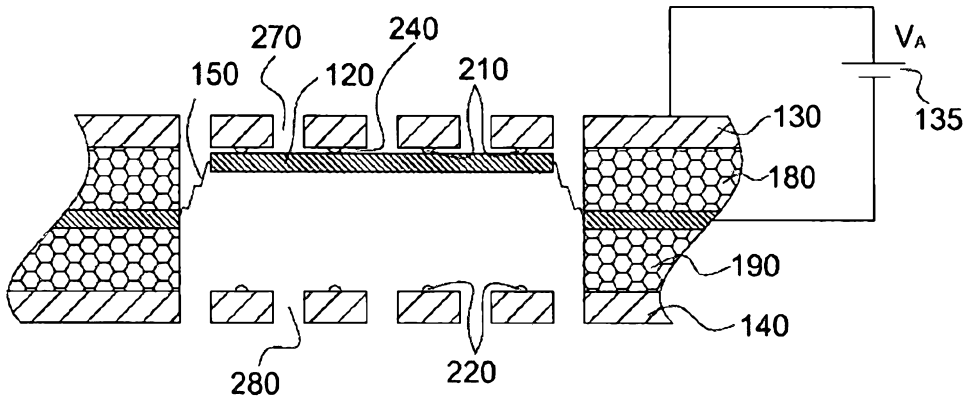
(57)摘要

本發明揭示用於產生一目標物理效果之裝置，該目標物理效果之至少一屬性對應於週期性取樣之一數位輸入信號之至少一特性，該裝置包括：複數個靜電致動器元件，其等各包括在第一電極與第二電極之間移動之一移動元件，該複數個靜電致動器元件包含 N_r 個第一子集(R子集)之致動器元件及 N_c 個第二子集(C子集)之致動器元件，其中該複數個致動器元件之一第一劃分產生該等 N_r 個第一子集(R子集)且該複數個致動器元件之一第二劃分產生該等 N_c 個第二子集(C子集)；第一複數個 N_r 電氣連接件(R佈線)，其等互連各 R 子集中之致動器元件之移動元件，使得各個別 R 子集中之任何致動器元件之移動元件電連接至該個別 R 子集中之全部其他致動器元件之移動元件，並且與未在該個別 R 子集中之全部致動器元件之移動元件電隔離；第二複數個 N_c 電氣連接件(A佈線)，其等互連各 C 子集中之致動器元件之第一電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第一電極電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第一電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；第三複數個 N_c 電氣連接件(B佈線)，其等互連各 C 子集中之致動器元件之第二電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第二電極電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第二電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；及電連接至該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件之一控制器，該控制器操作用於接收一數位輸入信號，且操作用於對該等電氣連接件之各者分別施加一預定、有限組之電位之一者，使得該等移動元件之所得移動一起產生所期望之物理效果。

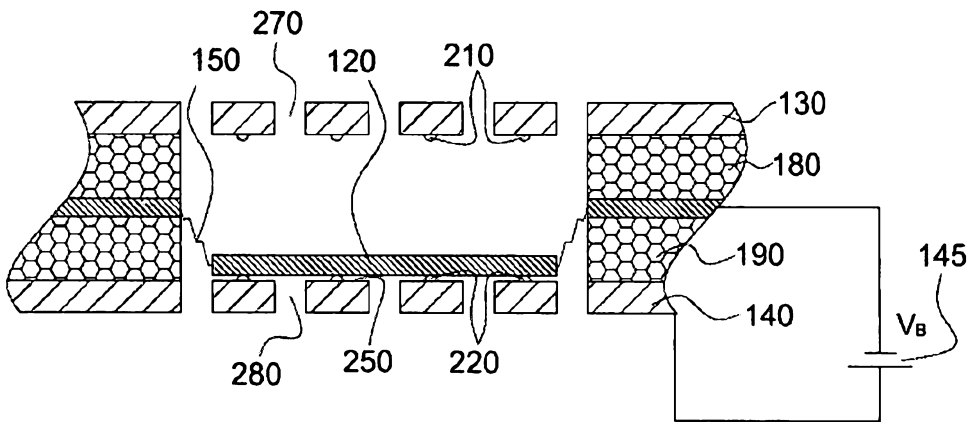


- 120：移動元件
- 130：電極
- 135：電壓
- 140：電極
- 145：電壓
- 150：支承件
- 180：間隔件
- 190：間隔件
- 210：凹坑
- 220：凹坑
- 240：氣隙
- 250：氣隙
- 270：孔

第 1A 圖



第 1B 圖



第 1C 圖



(19)中華民國智慧財產局

(12)發明說明書公開本

(11)公開編號：TW 201240478 A1

(43)公開日：中華民國 101 (2012) 年 10 月 01 日

(21)申請案號：100143345

(22)申請日：中華民國 100 (2011) 年 11 月 25 日

(51)Int. Cl. : **H04R1/40 (2006.01)** **H04R19/02 (2006.01)**

(30)優先權：2010/11/26 美國 61/417,298

2011/03/29 美國 61/468,916

(71)申請人：奧迪歐像素有限公司 (以色列) AUDIO PIXELS LTD. (IL)
以色列

(72)發明人：哈伯 艾利克 A HABER, ERIC ANDREAS (IL)；列文 丹尼爾 LEWIN, DANIEL (IL)；卡普蘭 沙伊 KAPLAN, SHAY (IL)；西蒙 麥爾 B SIMON, MEIR BEN (IL)；柯亨 尤瓦爾 COHEN, YUVAL (IL)

(74)代理人：惲軼群；陳文郎

申請實體審查：無 申請專利範圍項數：99 項 圖式數：29 共 162 頁

(54)名稱

用於致動器陣列之個別定址及雜訊減小之裝置及方法

APPARATUS AND METHODS FOR INDIVIDUAL ADDRESSING AND NOISE REDUCTION IN ACTUATOR ARRAYS

(57)摘要

本發明揭示用於產生一目標物理效果之裝置，該目標物理效果之至少一屬性對應於週期性取樣之一數位輸入信號之至少一特性，該裝置包括：複數個靜電致動器元件，其等各包括在第一電極與第二電極之間移動之一移動元件，該複數個靜電致動器元件包含 N_r 個第一子集(R子集)之致動器元件及 N_c 個第二子集(C子集)之致動器元件，其中該複數個致動器元件之一第一劃分產生該等 N_r 個第一子集(R子集)且該複數個致動器元件之一第二劃分產生該等 N_c 個第二子集(C子集)；第一複數個 N_r 電氣連接件(R佈線)，其等互連各 R 子集中之致動器元件之移動元件，使得各個別 R 子集中之任何致動器元件之移動元件電連接至該個別 R 子集中之全部其他致動器元件之移動元件，並且與未在該個別 R 子集中之全部致動器元件之移動元件電隔離；第二複數個 N_c 電氣連接件(A佈線)，其等互連各 C 子集中之致動器元件之第一電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第一電極電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第一電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；第三複數個 N_c 電氣連接件(B佈線)，其等互連各 C 子集中之致動器元件之第二電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第二電極電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第二電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；及電連接至該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件之一控制器，該控制器操作用於接收一數位輸入信號，且操作用於對該等電氣連接件之各者分別施加一預定、有限組之電位之一者，使得該等移動元件之所得移動一起產生所期望之物理效果。

六、發明說明：

同在申請之申請案之參考

本發明主張 2011 年 3 月 29 日申請之標題為 "Apparatus and methods for individual addressing and noise reduction in actuator arrays" 的美國臨時申請案第 61/468,916 號，以及 2010 年 11 月 26 日申請之標題為 "Methods for Individual Addressing and Noise Reduction in Actuator Arrays" 的美國臨時申請案第 61/417,298 號之優先權。

同在申請之申請案亦包含下列案：

| 國家 | 案號 | 標題 |
|-----|-------------------|---|
| USA | 60/802,126 | AN APPARATUS FOR GENERATING PRESSURE |
| USA | 60/907,450 | APPARATUS FOR GENERATING PRESSURE AND METHODS OF MANUFACTURE THEREOF |
| USA | 60/872,488 | VOLUME CONTROL |
| PCT | PCT/IL2007/000622 | APPARATUS AND METHODS FOR GENERATING PRESSURE WAVES |
| USA | 60/924,203 | APPARATUS AND METHODS FOR GENERATING PRESSURE WAVES |
| USA | | IMPROVED MANUFACTURING |
| PCT | PCT/IL2007/000618 | DIRECT DIGITAL SPEAKER APPARATUS HAVING A DESIRED DIRECTIVITY PATTERN |
| PCT | PCT/IL2007/000621 | VOLUME AND TONE CONTROL IN DIRECT DIGITAL SPEAKERS |
| USA | 60/996,513 | IMPROVED SPEAKER APPARATUS AND METHODS USEFUL IN CONJUNCTION THEREWITH |
| USA | 61/136,778 | ACTUATOR APPARATUS WITH COMB-DRIVE COMPONENT AND METHODS USEFUL FOR MANUFACTURING |

| | | |
|-----|-------------------|--|
| PCT | PCT/IL2009/000943 | AND OPERATING SAME ACTUATOR APPARATUS WITH COMB-DRIVE COMPONENT AND METHODS USEFUL FOR MANUFACTURING AND OPERATING SAME |
| USA | 61/171,946 | DUST PROTECTION APPARATUS FOR FLAT DIGITAL LOUDSPEAKERS |
| USA | 61/476,352 | CORONA DISCHARGE |
| USA | 12/301,954 | VOLUME AND TONE CONTROL IN DIRECT DIGITAL SPEAKERS |
| PCT | PCT/IL2008/001524 | DIGITAL SPEAKER APPARATUS |
| USA | 12/301,951 | APPARATUS AND METHODS FOR GENERATING PRESSURE WAVES |
| USA | 12/601,427 | DIRECT DIGITAL SPEAKER APPARATUS HAVING A DESIRED DIRECTIVITY PATTERN |

【發明所屬之技術領域】

本發明主要係關於致動器陣列且更特定言之係關於數位揚聲器。

【先前技術】

尤其在下列申請案中描述關於本發明之特定實施例之習知技術：

例如從同在申請之已公開 PCT 申請案第 WO 2007/135680 號中已知用於產生壓力波之裝置及方法；從同在申請中之已公開 PCT 申請案第 WO 2009/066290 號中已知數位揚聲器器件。

亦稱為西格瑪-德爾塔調變及德爾塔-西格瑪調變之習知雜訊整形 (noise shaping) 係在 Richard Schreier 及

Gabor C. Temes 之 “Understanding Delta-Sigma Data Converters” 中描述。

本說明書中所提及之全部公開案及專利文件之揭示內容，以及其中所引述之公開案及專利文件之揭示內容係直接或間接地以引用之方式併入本文。

【發明內容】

本揭示標的包含用於使用複數個靜電致動器元件（致動器陣列）產生一物理效果的方法及裝置，其中各致動器元件包含例如如本文參考第 1A 圖至第 1C 圖所述之一第一電極、一第二電極及一移動元件，且其中例如如本文參考第 2 圖及第 3 圖所述，第一電極之子集、第二電極之子集，以及移動元件之子集係電互連的。

本揭示標的之特定態樣為「驅動方案」，亦即用於藉由將一有限、預定組之電壓之一者施加至第一電極之各電互連子集、施加至第二電極之各電互連子集，且施加至移動元件之各電互連子集，而造成一或多個經選擇之移動元件之移動同時防止其他（未經選擇）之移動元件之移動的方法及裝置。根據本發明之一些態樣，最小化由一驅動方案所採用之不同驅動電壓之數量，以及/或其等之量值，因此促進該裝置之具成本效益之實施。根據本發明之其他態樣，增加每時間單位用於起始移動元件之移動之機會數量，因此增加該裝置之時間解析度，促進

更準確地產生所期望之物理效果。

本揭示標的之另一態樣為「初始化」，亦即，一種用於僅使用已由例如如第 13 圖所展示之一驅動方案採用之驅動電壓（亦即，無需額外電壓）而使致動器陣列內之全部移動元件進入一已知、有用之開始位置的方法。

根據本揭示標的之另一態樣，一種例如如第 14 圖所展示包含一致動器陣列及一控制器的裝置係操作成其類比輸出為諸如（例如）可聽聲音之一物理效果的一類型之數位轉類比轉換器。該控制器可將驅動電壓施加至與一致動時脈同步的第一電極之各電互連子集、第二電極之各電互連子集，以及各電互連子集移動元件，該致動時脈之頻率可不同於在其下取樣至該控制器之一數位輸入信號的頻率。

本揭示標的之其他態樣為「元件選擇方法」，亦即，例如如第 15 圖至第 23 圖所展示用於使一致動時脈之各循環期間在一特定位置中或在一特定方向上移動之移動元件之數量，充分接近實現準確產生一期望物理效果之一期望值的方法。

本揭示標的之其他態樣為用於整形所產生之物理效果中可能出現之不同類型之雜訊之頻譜，該等不同類型之雜訊包含：起因於由各致動器元件產生之物理效果之量值差的不匹配雜訊；起因於特定條件下元件選擇方法無法使一特定位置中或在一特定方向上移動之移動元件之數量精確等於一期望值的定址雜訊；以及起因於該致動

器陣列中之致動器元件之數量小於一數位輸入信號可假定之可能值之數量的量化雜訊。

應明白本文所展示且描述之任何或全部計算步驟可實施為諸如（例如）在一特定應用積體電路（ASIC）中之專用電子電路，或者使用諸如（例如）一場可程式化閘陣列（FPGA）之可重新組態之電路，或者可在運行於例如一微控制器、數位信號處理器（DSP）或其他類型微處理器上之軟體中實施。

以上器件可經由任何習知有線或無線數位通信手段而通信，例如經由一有線或蜂巢式電話網路或諸如網際網路之一電腦網路。

根據本發明之特定實施例，本發明之裝置可包含機器可讀記憶體，該機器可讀記憶體含有或是以其他方式儲存指令之一程式，當由該機器執行時，該指令程式實施本文所展示且描述之本發明之裝置、方法、特徵及功能的一些或全部。或者或是另外，根據本發明之特定實施例，本發明之裝置可包含如上可以任何習知程式化語言寫入的一程式，以及視需要用於執行該程式之一機器，諸如（但不限於）可視需要根據本發明之教示組態或啟用的一通用電腦。本文所併入之教示之任何者可在任何情況下適當運用在代表物理目標或物質的信號上。

在下個部分中詳細描述參考上文之實施例，以及其他實施例。

正文或圖式中出現之任何商標係其擁有者之財產且在

本文中出現僅用以解釋或說明可如何實施本發明之一實施例的一實例。

除非另有明確聲明，如從下列討論中顯而易見，應明白在本說明書討論之各處，利用諸如「處理」、「計算」、「估計」、「選擇」、「分列」、「分級」、「計算」、「判定」、「產生」、「重新評估」、「分類」、「產生」、「產生」、「立體匹配」、「暫存」、「偵測」、「相關聯」、「疊置」、「獲得」之術語或類似術語指一電腦或計算系統，或者處理器或類似電子計算器件在該計算系統之暫存器及/或記憶體內，將表示為諸如物理電子、量子之資料操縱及/或變換為該計算系統之記憶體、暫存器或其他此種資訊儲存器、傳輸或顯示器件內類似地表示為物理量子之其他資料的動作及/或過程。術語「電腦」應被廣泛地視為涵蓋具有資料處理能力之任何種類電子器件，舉非限制性實例而言，包含個人電腦、伺服器、計算系統、通信期間、處理器（例如，數位信號處理器（DSP）、微控制器、場可程式化閘陣列（FPGA）、特定用途積體電路（ASIC）等等）以及其他電子計算器件。

本文個別地列示之元件無需為不同組件且替代地可為相同結構。

【實施方式】

例如本文參考第 2 圖所展示且描述，本文根據本發明

之特定實施例提供一種用於產生一目標物理效果的裝置，該目標物理效果之至少一屬性對應於週期性取樣之一數位輸入信號的至少一特性，該裝置包括：

複數個靜電致動器元件，其等各包括在第一電極與第二電極之間移動之一移動元件，該複數個靜電致動器元件包含 N_r 個第一子集（R 子集）之致動器元件及 N_c 個第二子集（C 子集）之致動器元件，其中該複數個致動器元件之一第一劃分產生該等 N_r 個第一子集（R 子集）且該複數個致動器元件之一第二劃分產生該等 N_c 個第二子集（C 子集）；

第一複數個 N_r 電氣連接件（R 佈線），其等互連各 R 子集中之致動器元件之移動元件，使得各個別 R 子集中之任何致動器元件之移動元件電連接至該個別 R 子集中之全部其他致動器元件之移動元件，並且與未在該個別 R 子集中之全部致動器元件之移動元件電隔離；

第二複數個 N_c 電氣連接件（A 佈線），其等互連各 C 子集中之致動器元件之第一電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第一電極電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第一電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；

第三複數個 N_c 電氣連接件（B 佈線），其等互連各 C 子集中之致動器元件之第二電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第二電極電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第二電極，並且與未在該個別

C 子集中之全部致動器元件電隔離；及

電連接至該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件之一控制器，該控制器操作用於接收一數位輸入信號，且操作用於對該等電氣連接件之各者分別施加一預定、有限組之電位之一者，使得該等移動元件之所得移動一起產生所期望之物理效果。

應明白 R 子集可具有（但無需全部具有）相同數量的元件。此對於 C 子集而言同樣如此。R 子集可或可不與全部 C 子集相交。

根據特定實施例，例如如本文參考第 2 圖所展示且描述，該控制器係操作用於根據該數位輸入信號而判定用於分別施加至該第一複數個 N_r 電氣連接件（R 佈線）之 N_r 元組之電位、用於分別施加至該第二複數個 N_c 電氣連接件（A 佈線）之第一 N_c 元組之電位，以及用於分別施加至該第三複數個 N_c 電氣連接件（B 佈線）之第二 N_c 元組之電位。

根據特定實施例，例如如本文參考第 2 圖及第 14 圖所展示且描述，由該控制器判定該等 N_r 元組、該等第一 N_c 元組及該等第二 N_c 元組，使得其等至該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件之施加分別造成該複數個致動器元件之移動元件產生對應於該數位輸入信號之至少一特性之一物理效果。

根據特定實施例，例如如本文參考第 1b 圖至第 1c 圖所展示且描述，各移動元件係回應於由該控制器施加之

電位而操作用於從與該第二電極相比更接近該第一電極之一第一極限位置，移動至與該第一電極相比更接近該第二電極之一第二極限位置，並返回。

根據特定實施例，例如如本文參考第 2 圖至第 3 圖所展示且描述，該等第一子集之致動器元件之任何個別者與該等第二子集之致動器元件之任何個別者之交點全部包含一致數量之致動器元件（1 或更多）。

根據特定實施例，例如如本文參考第 4 圖至第 8 圖及第 10 圖至第 12 圖所展示且描述，該預定、有限組之電位包含第一有限組之電位值及第二有限組之電位值，該等 N_r 元組之電位係選自該等第一有限組之電位值；且該等第一 N_c 元組之電位及該等第二 N_c 元組之電位係選自該等第二有限組之電位值。該等第一有限組之電位值及該等第二有限組之電位值之至少一成員可為零（接地）。該第一有限組之電位值及該第二有限組之電位值之各者可包含為零（接地）之一成員。該等第一有限組之電位值及該等第二有限組之電位值之至少一者可精確具有兩個值。該等第一有限組之電位值及該等第二有限組之電位值之二者可精確具有兩個值。該等第一有限組之電位值及該等第二有限組之電位值之至少一者可精確具有三個值。該第一有限組之電位值之至少一成員可等於該第二有限組之電位值之至少一成員。該第一有限組之電位值之至少一成員可為該第二有限組之電位值之至少一成員之值的兩倍。相對於該第二有限組之電位值之至少一

成員，該第一有限組之電位值之至少一成員在量值上係相等的且在極性上係相反的。

根據特定實施例，如本文參考第 2 圖至第 14 圖所展示且描述，該控制器係操作用於分別對該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件週期性施加該等預定、有限組之電位之一者。該控制器可操作用於根據該數位輸入信號而週期性判定用於分別週期性施加至該第一複數個電氣連接件（R 佈線）之 N_r 個成員的 N_r 元組之電位、用於分別週期性施加至該第二複數個電氣連接件（A 佈線）之 N_c 個成員的 N_c 元組之電位，以及用於分別週期性施加至該第三複數個電氣連接件（B 佈線）之 N_c 個成員的 N_c 元組之電位。該等 N_r 元組之電位、該等第一 N_c 元組之電位及該等第二 N_c 元組之電位之施加可與一致動器時脈同步，使得每隔一致動時脈循環，週期性且同時地將一 N_r 元組之電位施加至該第一複數個 N_r 電氣連接件（R 佈線）、將一第一 N_c 元組之電位施加至該第二複數個 N_c 電氣連接件（R 佈線），且將一第二 N_c 元組之電位施加至該第三複數個 N_c 電氣連接件（B 佈線）達該致動時脈循環之持續時間。

根據特定實施例，如本文參考第 1b 圖至第 1c 圖所展示且描述，各移動元件係回應於由該控制器施加之電位而操作用於從與該第二電極相比更接近該第一電極之一第一極限位置，移動至與該第一電極相比更接近該第二電極之一第二極限位置，並返回，且其中此類移動係在

一單個致動時脈循環內完成。例如如本文參考第 9 圖所述，各移動元件可回應於由該控制器施加之電位而操作用於從與該第二電極相比更接近該第一電極之一第一極限位置，移動至與該第一電極相比更接近該第二電極之一第二極限位置，並返回，且其中此類移動係在 k 個致動時脈循環內完成，其中 k 為一正整數，例如 2（例如第 9 圖、第 10 圖）或更大。

根據特定實施例，如本文參考第 2 圖所展示且描述，提供一種用於製造用於產生一物理效果之裝置之方法，該物理效果之至少一屬性對應於週期性取樣之一數位輸入信號之至少一特性，該方法包括：

提供複數個靜電致動器元件，該複數個靜電致動器元件各包括在第一電極與第二電極之間移動之一移動元件，該提供包含界定：

該複數個致動器元件成 N_r 個第一子集（ R 子集）之一第一劃分；及

該複數個致動器元件成 N_c 個第二子集（ C 子集）之一第二劃分；

經由第一複數個 N_r 電氣連接件（ R 佈線）互連各 R 子集中之致動器元件之移動元件，使得各個別 R 子集中之任何致動器元件之移動元件係電連接至該個別 R 子集中之全部其他致動器元件之移動元件，並且與未在該個別 R 子集中之全部致動器元件之移動元件電隔離；

經由第二複數個 N_c 電氣連接件（ A 佈線）互連各 C

子集中之致動器元件之第一電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第一電極係電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第一電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；

經由第三複數個 N_c 電氣連接件（B 佈線）互連各 C 子集中之致動器元件之第二電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第二電極係電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第二電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；及

提供連接至該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件之一控制器，該控制器操作用於接收一數位輸入信號，且操作用於對該等電氣連接件之各者分別施加預定、有限組之電位之一者，使得該等移動元件之所得移動一起產生所期望之物理效果。

例如本文參考第 10 圖、第 24 圖所述，各移動元件可回應於由該控制器施加之電位而操作用於從與該第二電極相比更接近該第一電極之一第一極限位置，移動至與該第一電極相比更接近該第二電極之一第二極限位置，並返回；

且其中，在一單個致動時脈循環期間，該複數個移動元件之一些離開其等之極限位置之一者且仍未到達其等之極限位置之另一者，且該複數個移動元件之其他者在該單個致動時脈循環之前之一致動時脈循環期間，在離開其等之極限位置之一者之後到達其等之極限位置之另

一者。

根據特定實施例，如本文參考第 14 圖所展示且描述，提供一種用於產生其之至少一屬性對應於週期性取樣之一數位輸入信號之至少一特性之一物理效果的方法，該方法包括：

提供複數個靜電致動器元件，該複數個靜電致動器元件各包括在第一電極與第二電極之間移動之一移動元件，該複數個靜電致動器元件包含 N_r 個第一子集（R 子集）之致動器元件及 N_c 個第二子集（C 子集）之致動器元件，其中該複數個致動器元件之一第一劃分產生該等 N_r 個第一子集（R 子集）且該複數個致動器元件之一第二劃分產生該 N_c 個第二子集（C 子集）；

提供互連各 R 子集中之致動器元件之移動元件之第一複數個 N_r 電氣連接件（R 佈線），使得各個別 R 子集中之任何致動器元件之移動元件係電連接至該個別 R 子集中之全部其他致動器元件之移動元件，並且與未在該個別 R 子集中之全部致動器元件之移動元件電隔離；

提供互連各 C 子集中之致動器元件之第一電極之第二複數個 N_c 電氣連接件（A 佈線），使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第一電極係電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第一電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；

提供互連各 C 子集中之致動器元件之第二電極之第三複數個 N_c 電氣連接件（B 佈線），使得各個別 C 子集中

之任何致動器元件之第二電極係電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第二電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；及

使用連接至該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件之一控制器，以接收一數位輸入信號，且對該等電氣連接件之各者分別施加一預定、有限組之電位之一者，使得該等移動元件之所得移動一起產生所期望之物理效果。

該物理效果可為定義下列屬性之聲音：音量；及音高；其中該數位輸入信號具有下列特性：振幅；及頻率；且其中該數位輸入信號之振幅對應於該聲音之音量且該數位輸入信號之頻率對應於該聲音之音高。

根據特定實施例，例如如本文參考第 16 圖所展示且描述，移動元件係回應於由該控制器施加之電位而操作用於從與該第二電極相比更接近該第一電極之一第一極限位置，移動至與該第一電極相比更接近該第二電極之一第二極限位置，並返回；

且其中，每隔一致動時脈循環，該控制器係操作用於計算一淨_移動 (net_moves) 數量，該淨_移動數量之特徵為：在該個別時脈循環期間，若 $m1$ 個移動元件係從該第一極限位置釋放且 $m2$ 個移動元件係從該第二極限位置釋放，且 $m2 - m1 = \text{淨}_\text{移動}$ ，則在該個別時脈循環期間產生該物理效果。

根據特定實施例，例如如本文參考第 15 圖至第 23 圖

所展示且描述，該控制器另外係操作用於每隔一時脈循環判定有效施加之電位，當分別施加至該第一複數個 N_r 電氣連接件（R 佈線）、該第二複數個 N_c 電氣連接件（A 佈線），以及該第三複數個 N_c 電氣連接件（B 佈線）時，該等有效施加之電位係操作用於實現：

- 從該第一極限位置釋放 k_1 個移動元件
- 從該第二極限位置釋放 k_2 個移動元件

使得 k_1-k_2 足夠接近淨_移動以出於一給定應用之目的而產生充分緊密地類似該目標物理效果的一物理效果。

在各致動時脈循環下，可藉由從該等極限位置之至少一者中釋放零個元件而最小化從兩個極限位置釋放之移動元件之總數量。

根據特定實施例，例如如本文參考第 24 圖所展示且描述，在各致動時脈循環下，除非存在對於其而言 k_1-k_2 較接近淨_移動的一較高總數量，否則最小化從兩個極限位置釋放之移動元件之總數量。通常，在各致動時脈循環下，若淨_移動為正或零： $k_1=2\times$ 淨_移動且 $k_2=$ 淨_移動。通常，若淨_移動為負： $k_1=$ 淨_移動且 $k_2=2\times$ 淨_移動。

根據特定實施例，例如如本文參考第 15 圖至第 23 圖所展示且描述，在一單個致動時脈循環期間，該複數個移動元件之一些離開其等之極限位置之一者且仍未到達其等之極限位置之另一者，且該複數個移動元件之其他

者在該單個致動時脈循環之前之一致動時脈循環期間，在離開其等之極限位置之一者之後到達其等之極限位置之另一者，且由該控制器選擇該等有效施加之電位以確保在該單個致動時脈循環之前已從其等之極限位置之一者釋放之任何移動元件在一適當時脈循環期間到達相對極限位置。

各移動元件可回應於由該控制器施加之電位而操作用於從與該第二電極相比更接近該第一電極之一第一極限位置，移動至與該第一電極相比更接近該第二電極之一第二極限位置，並返回，且其中此類移動係在 k 個致動時脈循環內完成，其中 k 為一正整數。

根據特定實施例，例如如本文參考第 4 圖至第 7 圖、第 10 圖及第 24 圖所展示且描述：

- 各 R 子集包含 N_c 個移動元件
- 各 C 子集包含 N_r 個移動元件
- 將 R 佈線任意地、連續地或是以其他方式編號為 0 至 N_r-1 ，藉此界定其之一定序。應明白如本文使用之編號並不包含經編號之任何元件之任何實體標記。
- 將 A 佈線及 B 佈線任意地、連續地或是以其他方式編號為 0 至 N_r-1 ，藉此界定其之一定序。
- 移動元件經編號使得各移動元件具有數字： $N_r \times C$ 子集數字 + R 子集數字。

該控制器可選擇有效施加之電位使得在各致動時脈循

環下，當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字形成一連續回繞序列，且當前處於 B 位置中之全部移動元件之數字亦形成一連續回繞序列。

根據特定實施例，例如如本文參考第 24 圖所展示且描述，該控制器選擇該等有效施加之電位使得在各致動時脈循環下，除非存在對於其而言 k_1-k_2 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字形成一單連續回繞序列，且當前處於 B 位置中之全部移動元件之數字亦形成一單連續回繞序列。在任何致動時脈循環下，當當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字及當前處於 B 位置中之全部移動元件之數字各均未形成一單連續回繞序列時，該控制器可選擇該等有效施加之電位，使得在一隨後致動時脈循環下，當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字再次形成一單連續回繞序列，且當前處於 B 位置中之全部移動元件之數字亦再次形成一單連續回繞序列。在任何致動時脈循環下，當當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字及當前處於 B 位置中之全部移動元件之數字各均未形成一單連續回繞序列時，該控制器可選擇該等有效施加之電位，使得在一隨後致動時脈循環下，除非存在對於其而言 k_1-k_2 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字再次形成一單連續回繞序列，且當前處於 B 位置中之全部移動元件之數字亦再次形成一單連續回繞序列。

根據特定實施例，例如如本文參考第 24 圖所展示且描述，該控制器可選擇有效施加之電位，使得在各致動時脈循環下，當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字形成 S 個連續回繞序列，且當前處於 B 位置中之全部移動元件之數字亦形成 S 個連續回繞序列，其中 S 為一正整數。該控制器選擇該等有效施加之電位，使得在各致動時脈循環下，除非存在對於其而言 k_1-k_2 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字形成 S 個連續回繞序列，且當前處於 B 位置中之全部移動元件之數字亦形成 S 個連續回繞序列，其中 S 為一正整數。在任何致動時脈循環下，當當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字及當前處於 B 位置中之全部移動元件之數字各形成多於 S 個連續回繞序列時，該控制器可選擇該等有效施加之電位，使得在一隨後致動時脈循環下，當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字再次僅形成 S 個連續回繞序列，且當前處於 B 位置中之全部移動元件之數字亦再次僅形成 S 個連續回繞序列。在任何致動時脈循環下，當當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字及當前處於 B 位置中之全部移動元件之數字各形成多於 S 個連續回繞序列時，該控制器可選擇該等有效施加之電位，使得在一隨後致動時脈循環下，除非存在對於其而言 k_1-k_2 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字再次僅形成 S 個連續回繞序列，且當前處於 B 位置

中之全部移動元件之數字亦再次僅形成 S 個連續回繞序列。

根據特定實施例，例如如本文參考第 15 圖至第 23 圖所展示且描述，該控制器選擇該等有效施加之電位，使得在任何致動時脈循環期間從該第一極限位置釋放之任何移動元件之數字立即跟隨從該第一極限位置最新近釋放之移動元件之數字，在到達 $N_r \times N_c - 1$ 之後回調至 0。該控制器可選擇該等有效施加之電位，使得除非存在對於其而言 $k_1 - k_2$ 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則在任何致動時脈循環期間從該第一極限位置釋放之任何移動元件之數字立即跟隨從該第一極限位置最新近釋放之移動元件之數字，在到達 $N_r \times N_c - 1$ 之後回調至 0。該控制器可另外選擇該等有效施加之電位，使得在任何致動時脈循環期間從該第二極限位置釋放之任何移動元件之數字亦立即跟隨從該第二極限位置最新近釋放之移動元件之數字，在到達 $N_r \times N_c - 1$ 之後回調至 0。該控制器可另外選擇該等有效施加之電位，使得除非存在對於其而言 $k_1 - k_2$ 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則在任何致動時脈循環期間從該第二極限位置釋放之任何移動元件之數字亦立即跟隨從該第二極限位置最新近釋放之移動元件之數字，在到達 $N_r \times N_c - 1$ 之後回調至 0。該控制器可選擇該等有效施加之電位，使得除非存在對於其而言 $k_1 - k_2$ 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則在相同致動時脈循環期間從該第一極限位置釋放之全

部移動元件全部處於一單個第一 C 子集中。該控制器可另外選擇該等有效施加之電位，使得除非存在對於其而言 k_1-k_2 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則該相同致動時脈循環期間從該第二極限位置釋放之全部移動元件全部處於一單個第二 C 子集中。

根據特定實施例，例如如本文參考第 14 圖所展示且描述，除元件選擇功能之外，該控制器包含一定標器、可或不使用抖動之一量化器、至少一位準偏移器、一低通濾波器及一取樣速率轉換器之一些或全部。

根據特定實施例，例如如本文參考第 13 圖所展示且描述，在無施加至該第一複數個 N_r 電氣連接件、該第二複數個 N_c 電氣連接件，以及該第三複數個 N_c 電氣連接件之任何電位下，諸如例如當該裝置斷電時，該等移動元件可返回至位於該第一極限位置與該第二極限位置之間之一靜止位置，且該控制器另外包括造成一或多個該等移動元件從其等之靜止位置移動至該第一極限位置及該第二極限位置之一者的構件。該控制器可操作用於同時造成該致動器陣列內之該等移動元件之全部從其等之靜止位置移動至該第一極限位置及該第二極限位置之一者。

該控制器可操作用於造成該等移動元件之一些從其等之靜止位置移動至該第一極限位置，且同時造成該等移動元件之其他者從其等之靜止位置移動至該第二極限位置。

該控制器可使用一單個預定、有限組之電位而實現移動元件從其等之靜止位置移動至該第一極限位置及該第二極限位置之一者，且實現移動元件在其等之第一極限位置與第二極限位置之間移動。該等電位之間之差在量值上可能不足以造成移動元件從其等之靜止位置處之平衡態直接移動至該等極限位置之一者。該控制器可藉由對該第一複數個 N_r 電氣連接件、該第二複數個 N_c 電氣連接件，以及該第三複數個 N_c 電氣連接件之一或多個成員施加一預定序列之電位，而實現移動元件從其等之靜止位置移動至該第一極限位置及該第二極限位置之一者。

根據特定實施例，例如如本文參考第 13 圖所展示且描述，該預定序列可包括：一第一部分，其中該控制器重複改變施加至該第一複數個 N_r 電氣連接件、該第二複數個 N_c 電氣連接件，以及該第三複數個 N_c 電氣連接件之該等成員之電位之一或多者，使得一或多個電位中之此等變化造成該等移動元件以其等之機械共振頻率在其等之靜止位置周圍振盪；以及一第二部分，其中該控制器將最大化將各移動元件吸引朝向其待移動之極限位置之靜電力的一組電位，施加至該第一複數個 N_r 電氣連接件、該第二複數個 N_c 電氣連接件，以及該第三複數個 N_c 電氣連接件之成員。該控制器可操作用於定時在一時間點下將發生之從該第一部分至該第二部分之一轉變，在該時間點中，與接近相對極限位置相比，該等移動元

件之各者更接近其待移動之極限位置。該第一部分期間之一或多個電位中之變化可在一頻率下週期性發生，該頻率為該等移動元件之機械共振頻率之兩倍。

根據特定實施例，例如如本文參考第 27 圖所展示且描述，在一或多個致動時脈循環期間，定址雜訊係起因於 k_1-k_2 與淨_移動之間之非零差（定址誤差），該定址雜訊具有一頻譜，其中該控制器包含一定址雜訊整形迴路，該定址雜訊整形迴路操作用於整形該定址雜訊之該頻譜，使得定址雜訊能量在所關注之一頻帶內減小且在所關注之該頻帶外增加。該雜訊整形迴路可具有一迴路濾波器，該迴路濾波器具有一脈衝回應且接收該定址雜訊，使得根據由該脈衝回應判定之一定址雜訊轉移函數整形該定址雜訊之該頻譜。

根據特定實施例，例如如本文參考第 29 圖所展示且描述，量化雜訊係起因於該致動器陣列中之致動器元件之數量小於該數位輸入信號可假定之可能值之數量，該量化雜訊具有一頻譜，且該控制器包含一量化雜訊整形迴路，該量化雜訊整形迴路操作用於整形該量化雜訊之該頻譜，使得量化雜訊能量在所關注之一頻帶內減小且在所關注之該頻帶外增加。該雜訊整形迴路可具有一迴路濾波器，該迴路濾波器具有一脈衝回應且接收量化雜訊，使得根據由該脈衝回應判定之一量化雜訊轉移函數整形該量化雜訊之該頻譜。

根據特定實施例，例如如本文參考第 28 圖所展示且描

述，該控制器包含一雜訊整形迴路，該雜訊整形迴路操作用於整形該定址雜訊及該量化雜訊二者之頻譜，使得定址雜訊能量及量化雜訊能量之二者在所關注之一頻帶內減小且在所關注之該頻帶外增加。該雜訊整形迴路可具有一單迴路濾波器，該單迴路濾波器具有一單脈衝回應且接收該定址雜訊及該量化雜訊之總和，使得根據由該單脈衝回應判定之一單雜訊轉移函數整形該定址雜訊及該量化雜訊之二者之該等頻譜。

根據特定實施例，例如如本文參考第 29 圖所展示且描述，在一或多個致動時脈循環期間，定址雜訊係起因於 k_1-k_2 與淨_移動之間之非零差（定址誤差），該定址雜訊具有一定址雜訊波譜，且該裝置亦遭受起因於該致動器陣列中之致動器元件之數量小於該數位輸入信號可假定之可能值之數量的量化雜訊，該量化雜訊具有一量化雜訊波譜，且該控制器包含操作用於整形該定址雜訊之頻譜之一定址雜訊整形迴路，以及操作用於整形該量化雜訊之頻譜之一量化雜訊整形迴路，使得定址雜訊能量及量化雜訊能量在所關注之一頻帶內減小且在所關注之該頻帶外增加。該定址雜訊整形迴路可具有一第一迴路濾波器，該第一迴路濾波器具有一第一脈衝回應且接收該定址雜訊，且該量化雜訊整形迴路具有一第二迴路濾波器，該第二迴路濾波器具有一第二脈衝回應且接收該量化雜訊，使得根據由該第一脈衝回應判定之一第一雜訊轉移函數整形該定址雜訊之頻譜，且根據由該第二脈衝

回應判定之一第二雜訊轉移函數整形該量化雜訊之頻譜。

根據特定實施例，例如如本文參考第 13 圖所展示且描述，該第二部分之持續時間至少為該等移動元件之機械共振週期 (T_{res}) 之一半。該組電位可選自該預定、有限組之電位中，且在該第二部分中未變化。

根據特定實施例，例如如本文參考第 24 圖所展示且描述，該控制器在各致動時脈循環下產生：

控制施加至該等 R 佈線 R_0 至 $R(N_r-1)$ 之各者之電位的 N_r 個 R 信號 r_0 至 $r(N_r-1)$ ；

控制施加至該等 A 佈線 A_0 至 $A(N_c-1)$ 之各者之電位的 N_c 個 A 信號 a_0 至 $a(N_c-1)$ ；及

控制施加至該等 B 佈線 B_0 至 $B(N_c-1)$ 之各者之電位的 N_c 個 B 信號 b_0 至 $b(N_c-1)$ 。

R 信號至 R 佈線之分配、A 信號至 A 佈線之分配及 B 信號至 B 佈線之分配可為固定的，使得：

該等 R 信號 r_0 至 $r(N_r-1)$ 之各者總是控制相同 R 佈線；

該等 A 信號 a_0 至 $a(N_c-1)$ 之各者總是控制相同 A 佈線；

且該等 B 信號 b_0 至 $b(N_c-1)$ 之各者總是控制相同 B 佈線。

該控制器視需要在該裝置之操作期間改變 R 信號至 R 佈線之分配及/或 A 信號至 A 佈線之分配及 B 信號至 B

佈線之分配。

R 信號至 R 佈線之分配及/或 A 信號至 A 佈線之分配及 B 信號至 B 佈線之分配中之變化可週期性發生。

R 信號至 R 佈線之分配及/或 A 信號至 A 佈線之分配及 B 信號至 B 佈線之分配中之變化可與致動時脈同時發生。

R 信號至 R 佈線之分配及/或 A 信號至 A 佈線之分配及 B 信號至 B 佈線之分配中之變化可改變移動元件隨後從該等極限位置之一者中釋放的順序。

R 信號至 R 佈線之分配及/或 A 信號至 A 佈線之分配及 B 信號至 B 佈線之分配中之變化可整形起因於由各致動器元件產生之物理效果之量值差的不匹配雜訊之頻譜，使得由該裝置產生之物理效果整體上更緊密地類似該目標物理效果。該不匹配雜訊之頻譜之整形可例如包括減小該不匹配雜訊之頻譜中之峰值之量值。

通常，R 信號至 R 佈線之分配及/或 A 信號至 A 佈線之分配及 B 信號至 B 佈線之分配中之變化不會導致施加至該等 R 佈線、該等 A 佈線及該等 B 佈線之電位之任何者中有任何直接變化。

通常，R 信號至 R 佈線之分配及/或 A 信號至 A 佈線之分配及 B 信號至 B 佈線之分配中之變化不會導致該致動器陣列內之任何移動元件之位置中有任何直接變化。

術語「直接」指與 R 信號至 R 佈線之分配及/或 A 信號至 A 佈線之分配及 B 信號至 B 佈線之分配中發生變化大體上同時發生。

R 信號至 R 佈線之分配中之變化可包含調換兩個 R 信號，使得先前由一第一 R 信號控制之一第一 R 佈線變成由一第二 R 信號控制，且先前由該第二 R 信號控制之一第二 R 佈線變成由該第一 R 信號控制。

該控制器可操作用於識別可調換之 R 信號之組，且若該等組之可調換 R 信號之至少一者具有多於一個成員，則該控制器判定 R 信號至 R 佈線之一新分配。

該控制器可操作用於識別可調換之 R 信號之組，使得對於一組可調換之 R 信號內之任何特定 R 信號而言，其 R 佈線當前由該特定 R 信號控制之 R 子集中之移動元件，以及其 R 佈線當前由相同組之可調換 R 信號內之另一 R 信號控制之全部 R 子集中之移動元件全部係處於相同位置中且（若在移動中）在相同方向上移動。

該控制器可操作用於識別可調換之 R 信號之組，使得對於一組可調換之 R 信號內之任何特定 R 信號，且對於從 0 上至（且包含） N_c-1 之任何數字 i 而言， C 子集 i 及其 R 佈線當前由該特定 R 信號控制之 R 子集之交點處之移動元件，係處於與 C 子集 i 及其 R 佈線當前由相同組之可調換 R 信號內之 R 信號之任何其他者控制之任何其他 R 子集之交點處之移動元件相同的位置中且（若在移動中）在相同方向上移動。

該控制器可採用一偽隨機數字產生器用於判定 R 信號至 R 佈線之新分配。

A 信號至 A 佈線及 B 信號至 B 佈線之分配中之變化可

包含調換兩個 A 信號及各自 B 信號，使得先前分別由一第一 A 信號及一第一 B 信號控制之一第一 A 佈線及一第一 B 佈線變成分別由一第二 A 信號及一第二 B 信號控制，且先前分別由該第二 A 信號及該第二 B 信號控制之一第二 A 佈線及一第二 B 佈線變成分別由該第一 A 信號及該第一 B 信號控制。

該控制器可操作用於識別可調換之 A 信號及各自 B 信號之組，且若該等組之可調換 A 信號及各自 B 信號之至少一者具有多於一個成員，則該控制器判定 A 信號至 A 佈線及各自 B 信號至 B 佈線之一新分配。

該控制器可操作用於識別可調換之 A 信號及各自 B 信號之組，使得對於一組可調換之 A 信號及各自 B 信號內之任何特定 A 信號及特定 B 信號而言，其 A 佈線及 B 佈線當前分別由該特定 A 信號及該特定 B 信號控制之 C 子集中之移動元件，以及其 A 佈線及 B 佈線當前由相同組之可調換 A 信號及各自 B 信號內之另一 A 信號及其各自 B 信號控制之全部 C 子集中之移動元件，係全部處於相同位置中且（若在移動中）在相同方向上移動。

該控制器可操作用於識別可調換之 A 信號及各自 B 信號之組，使得對於一組可調換之 A 信號及各自 B 信號內之任何特定 A 信號及特定 B 信號，且對於從 0 上至（且包含） $Nr-1$ 之任何數字 i 而言， R 子集 i 及其 A 佈線及 B 佈線當前分別由該特定 A 信號及該特定 B 信號控制之 C 子集之交點處之移動元件，係處於與 R 子集 i 及其 A 佈

線及 B 佈線當前由相同組之可調換 A 信號內之該等 A 信號之一者及其各自 B 信號控制之任何其他 C 子集之交點處之移動元件相同的位置中且（若在移動中）在相同方向上移動。

該控制器可採用一偽隨機數字產生器用於判定 A 信號至 A 佈線及各自 B 信號至 B 佈線之新分配。

該控制器可操作用於識別可調換之 R 信號之組，使得對於一組可調換之 R 信號內之各特定 R 信號，當前施加至由該特定 R 信號控制之該 R 佈線之電位係與當前施加至由相同組可調換之 R 信號內之任何其他 R 信號控制之任何 R 佈線之電位相同。

該控制器可操作用於識別可調換之 A 信號及各自 B 信號之組，使得對於一組可調換之 A 信號及各自 B 信號內之各特定 A 信號及各自 B 信號而言，當前施加至由該特定 A 信號及各自 B 信號控制之 A 佈線及各自 B 佈線之電位，係與當前施加至由該相同組可調換之 A 信號及各自 B 信號內之任何其他 A 信號及各自 B 信號控制之任何 A 佈線及各自 B 佈線之電位相同。

術語「當前」意欲包含下列時間下之發生：

- 在控制器「識別」可調換組時；或
- 在其中控制器「識別」可調換組之致動時脈循環期間；或
- 在當前致動時脈循環期間。

現參考第 1A 圖至第 1C 圖，其等係可應用本發明之一類型之雙面靜電致動器元件的橫截面圖。該致動器元件包含一移動元件 120，該移動元件 120 藉由諸如撓曲件或彈簧之一適當支承件 150 而機械連接至該致動器元件之靜止位置。該支承件 150 界定移動元件 120 可沿其行進之一軸 125，此防止該移動元件 120 在其他方向上行進，並且界定該移動元件 120 之一靜止位置。該致動器元件進一步包括下文亦分別稱為「A 電極」及「B 電極」的兩個電極 130 及 140，該等電極 130 及 140 係佈置於該移動元件 120 之相對側上。該移動元件 120 藉由間隔件 180 及間隔件 190 而與電極 130 及電極 140 分開。凹坑 210 及凹坑 220 係分別形成於各面向移動元件 120 之電極 130 及電極 140 的表面上。

第 1A 圖展示處於其靜止位置中之移動元件 120，其中該移動元件 120 與電極 130 及電極 140 之任一者之間未施加電壓。

在移動元件與任一電極之間施加一電壓產生將該移動元件吸引朝向該電極的一靜電力，該靜電力之量值係與所施加之電壓之量值成比例，並且與移動元件 120 之面向表面與各自電極之間之分開距離之平方成反比例。同時，該移動元件 120 遠離其靜止位置之任何移動會造成支承件 150 在該移動元件 120 上施加將該移動元件 120 朝向其靜止位置拉回的一彈簧力。移動元件 120 亦可受其他力影響，諸如可自然出現或者出於諸如改良長期可

靠性之實際原因而有意引入的阻尼力或摩擦力。然而，此類額外力非為本發明之目的所必需。該移動元件 120 可到達其中作用於其上之全部力之總和為零的一平衡位置，或者可如在第 1B 圖及第 1C 圖下所述般將其閂鎖。

第 1B 圖展示儘可能接近 A 電極 130 且儘可能遠離 B 電極 140 地將移動元件 120 閂鎖於下文亦稱為「A 位置」之一第一極限位置中。一般言之，移動元件 120 到達此位置是由於在 A 電極 130 與移動元件 120 之間施加一電壓 V_A ，產生一靜電力（下文亦稱為「A 力」）將移動元件 120 吸引朝向 A 電極 130 的結果。隨著移動元件 120 靠近 A 電極 130，A 力與移動元件 120 之面向表面與電極 130 之間之分開距離之平方成反比例增加，而將移動元件 120 朝向其靜止位置拉回之彈簧力與該移動元件 120 離其靜止位置之偏差成比例增加。取決於支承件 150 之彈簧常數且取決於 V_A 之範圍，沿軸 125 可能存在一臨界點，其中 A 力及彈簧力相等且移動元件 120 朝向 A 電極 130 之任何進一步行進會造成 A 力比彈簧力更快速地增長。若移動元件 120 恰輕微移動超過此臨界點，且假定 V_A 維持恆定，則諸力之平衡造成移動元件 120 朝向 A 電極 130 加速直至其與凹坑 210 接觸一下文稱為「閂鎖」的一過程。在閂鎖後，足以將移動元件 120 保持於此位置中之 V_A 之量值（下文稱為「保持電壓」）小於足以達成將移動元件 120 閂鎖至該 A 位置中之 V_A 之量值（下文稱為「閂鎖電壓」）。

當將移動元件 120 門鎖在該 A 位置中且在 B 電極 140 與移動元件 120 之間施加一第二電壓 V_B 時，起因於 V_B 之靜電力在量值上明顯小於起因於相同量值之一 V_A 的 A 力。因此，一非零 V_B 之存在僅輕微增加足以使移動元件 120 保持門鎖在該 A 位置中之保持電壓的量值。

若 V_A 隨後下降低於該保持電壓，則 A 力在量值上變得小於彈簧力，此造成移動元件 120 移動遠離該 A 位置並且朝向其靜止位置一下文稱為「釋放」的一過程。在 V_A 及 V_B 等於零的情況下，移動元件 120 接著以其振盪頻率（下文亦稱為其「機械共振頻率」）在其靜止位置周圍振盪，該振盪頻率主要由移動元件 120 之質量及支承件 150 之彈簧常數（忽略阻尼），以及由於摩擦、空氣阻尼或其他能量損耗而逐漸減少之振盪的振幅來判定。或者，在存在足夠量值之一非零 V_B 時，將移動元件 120 儘可能接近 B 電極 140 且儘可能遠離 A 電極 130 地門鎖至下文亦稱為「B 位置」之一第二極限位置中。

根據本發明之一實施例，控制器可調整 V_A 及 V_B 使得移動元件 120 總是在 A 位置或在 B 位置中，或者在此等兩個位置之間轉變；亦即，在常規操作期間，移動元件 120 決不會停留在其靜止位置中或除兩個極限位置之外的任何其他位置中。

當移動元件 120 在兩個極限位置之間之轉變期間到達其靜止位置時，其具有相對於電極 130 及電極 140 的非零動能及線性速度且因此繼續朝向其新極限位置行進直

至其動能被支承件 150 吸收。由於從較接近其新極限位置之一位置門鎖移動元件 120 比在其靜止位置將移動元件 120 從平衡態門鎖至該相同極限位置需要一更低之靜電力，故用於在極限位置間轉變之門鎖電壓小於用於從靜止處門鎖之門鎖電壓。

凹坑 210 之目的係維持一氣隙 240，藉此容許空氣比不具一氣隙之情形所為般更容易流動通過電極 130 中之孔 270 且流動至移動元件 120 與第一電極 130 之間之空間中，藉此促進移動元件 120 從 A 位置更快速地釋放。若凹坑 210 包含電絕緣材料，則其等亦可用來使移動元件 120 與電極 130 絕緣。若凹坑 210 包含導電材料，則可採用一些其他手段之電絕緣，諸如用電絕緣材料塗佈移動元件 120 及電極 130 之至少一者。

第 1C 圖展示儘可能接近電極 140 且儘可能遠離電極 130 地將移動元件 120 門鎖在 B 位置中。顛倒 A 電極 130 及 B 電極 140 之角色、 V_A 及 V_B 之角色以及 A 力及 B 力之角色後，可以與上文在第 1B 圖下所述之方式類似的一种方式達成移動元件 120 至 B 位置中之門鎖及自 B 位置之釋放。凹坑 220 及氣隙 250 之功能與上述凹坑 210 及氣隙 240 之功能類似。在特定實施例中，致動器元件之幾何形態繞移動元件 120 之平面大致上對稱，此導致用於 B 位置之保持電壓及門鎖電壓大體上等於 A 位置之保持電壓及門鎖電壓。或者，該致動器元件之幾何形態可為非對稱的；舉例而言，間隔件 180 及間隔件 190 可在厚

度上有所不同，此導致 A 位置及 B 位置分別有兩個不同門鎖電壓；並且/或凹坑 210 及凹坑 220 可在高度上不同，此導致兩個不同保持電壓。

用於生產如第 1A 圖至第 1C 圖所展示之致動器元件及緊密相關類型之致動器元件之適當材料及製造技術係在 2011 年 9 月 15 日公開且共同擁有之 WO2011/111042 (“Electrostatic Parallel Plate Actuators Whose Moving Elements Are Driven Only By Electrostatic Force and Methods Useful in Conjunction Therewith”) 中討論。

本發明並不取決於任何特定材料或製造技術。

應明白由於無論電壓 V_A 及電壓 V_B 之極性為何，靜電力係相同的，故此等電壓之極性可在不影響致動器元件之操作的情況下顛倒。

本文所展示且描述之器件相對於水平面之定向無需為如所展示般。舉例而言，第 1A 圖至第 1C 圖之裝置可經佈置使得諸層如所展示般為水平，或者可例如經佈置使得該等層為垂直。此外，若期望，可將該裝置設定在其側面上或可將其反轉，使得電極層 140 在移動元件 120 的頂部上，反之則不然。根據特定實施例，由於由支承件 150 施加在移動元件上之力以及由電極或多個電極產生之靜電力比重力大許多量級，故重力之力可忽略。

由於本發明之裝置通常係在空氣中操作，故本文使用術語「氣隙」僅為舉例而言，然而，此無需總是如此，且或者舉例而言，該裝置可在任何其他適當媒體中操作。

亦應明白第 1A 圖至第 1C 圖中所展示之凹坑本發明之目的所必需。此外，凹坑可形成於移動元件 120 而非電極 210 及電極 220 之表面上，或者例如如第 2 圖，可代替凹坑而使用 2011 年 9 月 15 日公開且共同擁有之 WO2011/111042 (“Electrostatic Parallel Plate Actuators Whose Moving Elements Are Driven Only By Electrostatic Force and Methods Useful in Conjunction Therewith”) 中所述的機械限制器。

第 2 圖係根據本發明之特定實施例之一致動器陣列的一簡化示意圖，該致動器陣列包括複數個靜電致動器元件 110，該等靜電致動器元件 110 可例如為（例如）本文參考第 1A 圖至第 1C 圖所展示且描述之類型。

致動器元件 110 係劃分成下文稱為「R 子集」且其移動元件電互連的 N_r 第一子集，此導致下文稱為「R 佈線」的一組 N_r 互連 400。另外，該等致動器元件 110 亦劃分成下文稱為「C 子集」且其等之 A 電極及 B 電極分別電互連的 N_c 第二子集，此導致用於 A 電極且下文稱為「A 佈線」的一第一組 N_c 互連 410，以及用於 B 電極且下文稱為「B 佈線」的一第二組 N_c 互連 420。

在圖式中， $N_r=N_c=3$ ，然而，該等子集可含有任何數量之致動器元件。在特定實施例中，全部 R 子集含有 N_c 個致動器元件，全部 C 子集含有 N_r 個致動器元件，且陣列中移動元件之總數量為 $N_r \times N_c$ 。在第 2 圖中，R 子集係配置成若干列且 C 子集係配置成若干行，然而亦可使

用致動器的任何其他布局。

各 R 佈線、A 佈線及 B 佈線亦連接至一控制器 50。因此，該陣列與該控制器 50 之間之電氣互連之總數量為 $N_r \times 2N_c$ ，而各致動器元件具有專用互連之實施方案可能採用更多此類互連。舉例而言，為各移動元件、各 A 電極及各 B 電極提供個別互連可採用 $3 \times N_r \times N_c$ 個互連；或者，為各移動元件提供個別互連加上各為全部 A 電極及全部 B 電極提供一個共用連接件可例如如在 2011 年 9 月 15 日公開且共同擁有之 WO2011/111042 (“Electrostatic Parallel Plate Actuators Whose Moving Elements Are Driven Only By Electrostatic Force and Methods Useful in Conjunction Therewith”) 中描述採用 $(N_r \times N_c) + 2$ 個互連。

可使用例如 2011 年 9 月 15 日公開且共同擁有之 WO2011/111042 (“Electrostatic Parallel Plate Actuators Whose Moving Elements Are Driven Only By Electrostatic Force and Methods Useful in Conjunction Therewith”) 中所述之 MEMS 製造技術在矽或其他半導體或者特定金屬之一單個單塊晶粒上製造所述類型之致動器元件。

第 3 圖係根據本發明之特定實施例之一致動器陣列之一簡化示意圖，其類似於第 2 圖所展示之陣列，但是其中 R 子集不與列重合且 C 子集不與行重合。該陣列包括劃分成八個 R 子集及四個 C 子集的 64 個致動器元件 110。各 R 子集具有分別標記為 R0 至 R7 的一條 R 佈線，

且各 C 子集具有分別標記為 A0 至 A3 與 B0 至 B3 的一條 A 佈線及一條 B 佈線。一個 R 子集與一個 C 子集之每個交點含有兩個致動器元件。每個 R 子集含有來自一列的四個致動器元件以及來自另一列的四個致動器元件；舉例而言，與 R 佈線 R1 相關聯之 R 子集 1 含有頂部列的左手半部分以及來自頂部之第二列的右手半部分。每個 C 子集含有兩個鄰近行之全部致動器元件；舉例而言，與 A 佈線 A1 及 B 佈線 B1 相關聯之 C 子集 1 含有來自左側的第三行及第四行。

根據本發明建構之致動器陣列可使其等之致動器元件佈置成任何圖案，並且可在一 R 子集與一 C 子集之各交點處具有任何數量之致動器元件。特定實施例在各此交點處具有相同數量的致動器元件。

先前已參考第 1B 圖定義用於一單個、特定致動器元件之術語「門鎖電壓」及「保持電壓」。在下文中，此等術語係定義用於其致動器元件可能並未全部精確相同的一致動器陣列。另外，下文亦定義術語「釋放電壓」供下文使用。

- 「門鎖電壓」 V_L 意指在陣列內之移動元件已從相對極限位置釋放後，具有僅恰好將該等移動元件之任何者門鎖至如參考第 1B 圖所述之其 A 位置或其 B 位置之足夠量值的一電壓。用於一致動器陣列之此門鎖電壓通常稍微高於用於先前參考第 1B 圖所定義之一個

別致動器元件的閉鎖電壓，例如，因為：（1）由於個別致動器元件之幾何形態可能歸因於製造容限而有所不同，故各個別致動器元件可具有一稍有不同之閉鎖電壓；依據定義，此處定義之 V_L 通常超過其等之全部。（2）同樣地，一致動器元件之幾何形態之不對稱可分別產生兩個不同的閉鎖電壓用於其 A 位置及 B 位置；在此情形中，此處定義之 V_L 通常超過兩者之較高者。（3）取決於致動器陣列之意圖使用，致動器元件 110 可經受可在其等之移動元件 120 上產生額外力的諸多環境狀況，諸如機械衝擊（例如，可攜式/手持應用中）、磁場或氣流。為使閉鎖可靠，此處定義之 V_L 通常足以克服該陣列設計用於之環境狀況下的此類額外力。

- 「閉鎖電壓」 V_H 意指具有僅恰好將陣列內之移動元件之任何者保持在兩個極限位置中之足夠量值的一電壓。此保持電壓通常將出於上文參考「閉鎖電壓」所述之相同原因而稍微高於用於參考第 1B 圖所定義之一個別致動器元件的保持電壓。
- 「釋放電壓」意指其量值僅恰好足夠低以將陣列內之致動器元件之任何者從其兩個極限位置釋放的一電壓。對於一理想致動器元件， V_R 與 V_H 之間之差無限小；然而，在一真實陣列中， V_R 與 V_H 之間存在歸因

於上文參考「閃鎖電壓」所述之製造容限、不對稱性及環境狀況之一有限差。

根據特定實施例，本發明採用在量值上足夠低而不致引發任何個別致動器元件閃鎖至任一極限位置中的一致動器陣列保持電壓 V_H 。

第 4 圖係根據本發明之特定實施例之一致動器陣列的一簡化表示，類似於第 2 圖所展示之致動器陣列，該致動器陣列包括劃分成四個 R 子集及四個 C 子集的十六個致動器元件。R 佈線係標記為 R0 至 R3、A 佈線係標記為 A0 至 A3，且 B 佈線係標記為 B0 至 B3。各方形表示一個致動器元件 110。位於 R 子集 1 與 C 子集 2 之交點且下文亦稱為「經選擇之元件」並標記為 111 的致動器元件當前係閃鎖於 A 位置中且將移動至 B 位置中。因此，本實例中之控制器 50 之任務為對陣列之 R 佈線、A 佈線及 B 佈線施加適當電位使得所選擇之元件從 A 位置釋放且閃鎖至 B 位置，同時保持陣列內之全部其他致動器元件（下文亦稱為「未經選擇之元件」）閃鎖在其等當前所處之兩個極限位置之任一者中。在第 4 圖之各方形內，頂部線指達成此之 V_A 之量值且底部線指達成此之 V_B 之量值。對於所選擇之元件， V_A 之量值等於或小於釋放電壓 V_R 且 V_B 之量值等於或大於閃鎖電壓 V_L ；而對於全部未經選擇之元件， V_A 及 V_B 二者之量值等於或高於保持電壓 V_H 。

此可藉由下列項來達成：

- 對連接至經選擇之元件且下文亦稱為「經選擇之佈線」之 R 佈線(本文中為 R1) 施加一第一電壓 V_{RS} (「經選擇之 R 電壓」)，同時對全部其他 R 佈線施加一第二電壓 V_{RU} (「未經選擇之 R 電壓」)；下文中此過程稱為「選擇」一 R 佈線，或與一 R 佈線相關聯之 R 子集；及
- 對連接至從其處釋放所選擇之元件之電極且下文亦稱為「釋放佈線」之 A 佈線或 B 佈線(本文中為 A2) 施加一第三電壓 V_{CR} (「釋放電壓」)，同時對連接至將閘鎖經選擇之元件之電極且下文亦稱為「閘鎖佈線」的 A 佈線或 B 佈線(本文中為 B2) 施加一第四電壓 V_{CL} (「閘鎖 C 電壓」)，並且亦對下文全體稱為「未經選擇」之 A 佈線或 B 佈線的全部其他 A 佈線或 B 佈線施加一第五電壓 V_{CU} (「未經選擇之 C 電壓」)；下文中此過程稱為「選擇」一 C 子集，且含有釋放佈線及閘鎖佈線之 C 子集下文稱為「經選擇之 C 子集」。

下文參考第 5 圖至第 8 圖所述之「驅動方案」係操作用於對 R 佈線、A 佈線及 B 佈線施加適當電壓，使得得以滿足下文之下列六個條件：

1. $|V_{RS} - V_{CR}| \leq V_R$

滿足此條件確保已選擇之元件從其當前閘鎖位置成功

釋放。在特定實施例中，可期望最大化移動元件加速遠離當前門鎖該移動元件之電極，下文亦稱為「釋放電極」；在此情形中，可較佳使 $|V_{RS}-V_{CR}|=0$ V，因為與僅減小此靜電力相反，此完全消除將移動元件吸引至釋放電極的靜電力。

$$2. |V_{RS}-V_{CL}|\geq V_L$$

滿足此條件確保已選擇之元件成功門鎖至其新極限位置中。

$$3. |V_{RS}-V_{CU}|\geq V_H$$

滿足此條件防止位於已選擇之 R 子集中之任何未經選擇之致動器元件之釋放。

$$4. |V_{RU}-V_{CR}|\geq V_H$$

滿足此條件防止位於已選擇之 C 子集中且當前門鎖於與已選擇之元件相同之位置中之任何未經選擇之致動器元件之釋放。

$$5. |V_{RU}-V_{CL}|\geq V_H$$

滿足此條件防止位於已選擇之 C 子集中且門鎖於相對已選擇之元件之當前位置之極限位置中之任何未經選擇之致動器元件的釋放。

$$6. |V_{RU}-V_{CU}|\geq V_H$$

滿足此條件防止位於任何未經選擇之 R 子集與任何未經選擇之 C 子集之交點，以及門鎖於兩個極限位置之

任一者中之未經選擇之致動器元件的釋放。

本文所述之方法亦可用來將致動器元件從 B 位置移動至 A 位置；在該情形中，釋放佈線為一 B 佈線且門鎖佈線為一 A 佈線。舉例而言，若經選擇之元件 111 在 B 位置中，則可藉由對 R1 施加 V_{RS} 、對 A2 施加 V_{CL} 且對 B2 施加 V_{CR} 而將其移動至 A 位置中。由於同時選擇多於一個 R 子集及/或多於一個 C 子集會選擇位於任何經選擇之 R 子集及任何經選擇之 C 子集之交點的全部致動器元件，故相同方法亦可用來將多於一個移動元件從一個極限位置移動至另一個極限位置。舉例而言，假定第 4 圖之底部左側象限中之全部移動元件開始處於 A 位置中，對 R2 及 R3 施加 V_{RS} 且對 B0 及 B1 施加 V_{CL} ，並且對 A0 及 A1 施加 V_{CR} 後將其等從該 A 位置移動至 B 位置。其移動元件已在 B 位置中之任何經選擇之致動器元件將維持門鎖於該 B 位置中。

在特定實施例中，其間一移動元件從一個極限位置移動至另一個極限位置（包含其從第一極限位置之釋放以及至第二極限位置中之門鎖）之時間約為經選擇之元件之共振週期 T_{res} 的一半，其中 T_{res} 為先前參考第 1B 圖所述之其機械共振頻率的倒數。例如若存在明顯之摩擦或阻尼，則專用於此一移動之時間可稍微長於 $T_{res}/2$ ，或者例如若 $V_{RS}-V_{CL}$ 之量值足夠高以使該移動明顯加速，則其可稍微快於 $T_{res}/2$ 。然而，在特定實施例中，其接近

$T_{rcs}/2$ 。

為確保成功閂鎖移動元件，對經選擇之 R 佈線施加 V_{RS} 、對釋放佈線施加 V_{CR} ，以及對閂鎖佈線施加 V_{CL} 係定時成持續足夠長時間以使陣列內之最慢移動元件（容許歸因於製造容限之變動）完成一移動，亦即通常稍微長於 $T_{rcs}/2$ 。在經過此時間之後，經選擇之元件被閂鎖於其新位置中，且經選擇之 R 佈線、A 佈線及 B 佈線通常變為不選擇，亦即，控制器對先前選擇之 R 佈線施加 V_{RU} 且對先前之閂鎖佈線及釋放佈線施加 V_{CU} 。該控制器可接著藉由選擇其他 R 子集及/或 C 子集而在其等之極限位置之間移動其他移動元件。在特定實施例中，根據下文稱為「致動時脈」之一時脈全部取樣施加至 R 佈線、A 佈線及 B 佈線的電壓，該時脈之頻率通常稍微低於移動元件之機械共振頻率的兩倍。

第 5 圖繪示根據下文稱為「驅動方案 1」之驅動方案操作之第 4 圖的致動器陣列。驅動方案 1 之特徵為：

- $V_{RS}=V_{CR}\geq V_H$
- $V_{RU}=0$
- $V_{CL}\geq V_L+V_{RS}$
- $V_{CU}\geq 2\times V_{RS}$

在第 5 圖之各方形內，頂部線指 V_A 之量值且底部線指 V_B 之量值。可見此驅動方案滿足上文參考第 4 圖所述的六個條件，且亦具有若干額外有用之性質，例如：

- 可選擇任何數量之 R 子集及任何數量之 C 子集；選擇位於全部經選擇之 R 子集及任何經選擇之 C 子集之交點的全部致動器元件，不選擇全部其他致動器元件。
- 已閉鎖於所期望之新位置(例如，在此實例中，處於 B 位置中)中之全部移動元件維持於該位置中。因此，驅動方案 1 可用來控制致動器元件之一子集，該子集之致動器元件可能未全部使其等之移動元件閉鎖於相同位置中，或者其當前閉鎖位置可能未知。
- 其滿足上文之六個條件之第一個的較嚴格版本 ($|V_{RS}-V_{CR}|=0V$)，藉此最小化其間已選擇之元件從其等之當前閉鎖位置釋放的時間。

為允許選擇任何所期望之 R 子集或多個 R 子集，實施驅動方案 1 之一控制器係操作用於對各 R 佈線 400 施加兩個電壓 (V_{RS} 或 V_{RU}) 之任一者。同樣地，為允許選擇任何所期望之 C 子集或多個 C 子集，且由於各 A 佈線及各 B 佈線在一給定時間下可為一釋放佈線、一閉鎖佈線或一未經選擇之佈線，故此一控制器係操作用於對各 A 佈線 410 且對各 B 佈線 420 施加三個電壓 (V_{CR} 、 V_{CL} 或 V_{CU}) 之任一者。

第 6 圖繪示根據下文稱為「驅動方案 2」之驅動方案操作之第 4 圖及第 5 圖的致動器陣列，驅動方案 2 之特

徵為：

- $V_{RS} = V_{CR} \geq V_H$
- $V_{RU} = 0$
- $V_{CL} = V_{CU} \geq V_L + V_{RS}$

兩個驅動方案之間之差別在於 V_{CU} 之最小量值已從 $2 \times V_H$ 增加至 $V_L + V_H$ 。依據定義，由於 V_L 大於 V_H （如上文參考第 4 圖所述），故驅動方案 2 滿足六個條件。實施驅動方案 2 之一控制器具有能夠對各 A 佈線 410 且對各 B 佈線 420 施加僅兩個電壓（ V_{CR} 或 V_{CL}/V_{CU} ）之任一者的優點，與其中各 A 佈線及 B 佈線可採用三個不同電壓之驅動方案 1 相比較，此導致減小之複雜度及成本。

在驅動方案 2 下，未經選擇之 C 子集中之未經選擇之致動器元件之 V_A 及 V_B 在量值上係高於驅動方案 1 之 V_A 及 V_B ，並且高於保持該等未經選擇之元件門鎖在其等之當前極限位置所需之 V_A 及 V_B ，但是不高於驅動方案 1 下已出現之 V_A 及 V_B （其等於 V_{CL} 與 V_{RU} 之間之差且係在位於未經選擇之 R 子集與已選擇之 C 子集之間之交點之致動器元件中出現）。此通常非為一缺點。

第 7 圖繪示根據下文稱為「驅動方案 3」之方案操作之第 4 圖至第 6 圖的致動器陣列。驅動方案 3 之特徵為：

- $V_{RS} = V_{CR} = 0$
- $V_{RU} \leq -V_H$
- $V_{CL} = V_{CU} \geq V_L$

此在全部致動器元件中產生與驅動方案 2 相同之 V_A 及 V_B 。然而，與驅動方案 2 相比較，已從施加至全部 R 佈線、A 佈線及 B 佈線之電壓中減去 V_H 。

應明白在全部 R 佈線電壓、A 佈線電壓及 B 佈線電壓中加入或減去任何其他給定電壓亦導致驅動方案等效於驅動方案 2。此外，可在不影響致動器元件之操作下反轉任何驅動方案中之驅動電壓之極性，只要 V_A 及 V_B 保有與驅動方案 2 下相同之量值。舉例而言，下文稱為「驅動方案 4」之下列驅動方案係等效於驅動方案 2 及驅動方案 3：

- $V_{RS} = V_{CR} \leq -V_H$
- $V_{RU} = 0$
- $V_{CL} = V_{CU} \leq -(V_L + V_{RS})$

同樣地，下文稱為「驅動方案 5」之下列驅動方案係等效於驅動方案 2 至驅動方案 4：

- $V_{RS} = V_{CR} = 0$
- $V_{RU} \geq V_H$
- $V_{CL} = V_{CU} \leq -V_L$

第 8 圖係列表形式之驅動方案 1 至驅動方案 5 的概述。

第 9 圖係作用在參考第 1A 圖至第 1C 圖所述般建構之一移動元件 120 上之靜電力及彈簧力的一曲線圖，該靜電力及該彈簧力為該移動元件 120 沿軸 125 且朝向 A 電極 130 之偏差之一函數。在第 9 圖之實例中，間隔件 180

及間隔件 190 之厚度為 $3\ \mu\text{m}$ 。水平軸表示移動元件從其靜止位置朝向 A 電極之偏差，其中負值指示遠離 A 電極且朝向 B 電極之一偏差。A 力、B 力、彈簧力（先前分別參考第 1B 圖、第 1C 圖及第 1A 圖定義）及總力係標繪於垂直軸上。

在第 9 圖之實例中， V_B 且因此同樣之 B 力為零，而 V_A 為非零且產生一非零 A 力。因此，施加於移動元件 120 上之總力為 A 力及彈簧力之總和。可見存在其中作用於移動元件 120 上之總力為零的兩個平衡點。第一個平衡點接近靜止位置，亦即稍微接近第 9 圖之曲線圖中之原點的右邊，且為一穩定平衡態，亦即，若移動元件 120 離平衡點之任一側一小段距離，則作用於該移動元件 120 上之力之平衡將造成其移動朝向該第一平衡點。第二平衡點係以約 $2\ \mu\text{m}$ 之一偏差在更接近 A 電極處出現，且為一非穩定平衡態。若一移動元件 120 比此第二平衡點進一步遠離 A 電極 130 一小段距離，則作用於該移動元件上之力之平衡將造成其朝向第一平衡點移動且被門鎖在 A 位置中。

上述驅動方案適用於其中在一致動器元件中一經選擇之元件在其兩個極限位置之間之運動可由不同時間點處之不同效果主導的實施例。

緊接在經選擇之元件從其當前門鎖位置釋放之後，由支承件 150 施加於其移動元件上之彈簧力主導其運動，將其推進朝向其新定位。在上述驅動方案之任何者下，

將移動元件 120 朝向其先前閉鎖之位置拉回之靜電力為零。儘管先前所討論之驅動方案提供將移動元件 120 吸引朝向閉鎖電極之一靜電力，然而由於可單獨由彈簧力達成所期望之運動，故此靜電力在此時實際上非為必需。在任何情形中，此時靜電力（若存在）係相對弱的，因為移動元件 120 相對遠離閉鎖電極。因此，閉鎖電極與移動元件 120 之間產生靜電力之電壓（ $V_{CL}-V_{RS}$ ）此時並不關鍵，並且可在未實質上影響致動器陣列之操作的情況下變化。

隨著經選擇之元件之移動元件 120 靠近閉鎖電極，由支承件 150 施加於其上之彈簧力與其當前行進方向相對且在量值上有所增長。此時，採用將移動元件 120 吸引朝向閉鎖電極之一靜電力以達成閉鎖。因此，成功的閉鎖取決於閉鎖電極與移動元件 120 之間之電壓（ $V_{CL}-V_{RS}$ ）具有足夠高之量值以克服彈簧力以及諸如摩擦力或阻尼力的任何其他相對力。另一方面，由於移動元件 120 相對遠離釋放電極，故此時在該釋放電極與該移動元件 120 之間所施加之任何電壓（ $V_{CR}-V_{RS}$ ）僅產生將移動元件 120 朝向該釋放電極拉回的一相對小之靜電力。因此，電壓 $V_{CR}-V_{RS}$ 此時並不關鍵，並且可在不實質上影響致動器陣列之操作的情況下變化。

在軸 125 之中部中，在移動元件 120 之靜止位置周圍，彈簧力及兩個靜電力二者在量值上係相對低的。當經選擇之元件之移動元件 120 處於此區中時，該移動元件 120

主要歸因於由於其從其先前閘鎖位置處釋放所獲取之動量而維持為運動。

在上述實施例中，先前參考第 4 圖所述之「六個條件」之前兩個之一者或二者可放寬為如下：

$$1. |V_{RS}-V_{CR}| \leq V_R \quad (\text{通常 } |V_{RS}-V_{CR}|=0 \text{ V})$$

僅在移動之初期部分期間，亦即，在釋放期間及即刻釋放之後。

$$2. |V_{RS}-V_{CL}| \geq V_L$$

僅在移動之後期部分中，亦即，在閘鎖期間及即刻閘鎖之前。

下文將此等兩個條件連同最初六個條件之未修改條件 3 至 6 一起稱為「放寬條件」。基於此等放寬條件，一移動元件從一個極限位置移動至另一極限位置（包含其從第一極限位置之釋放以及至第二極限位置中之閘鎖）可分成兩個或多個階段，使得所選擇之 R 電壓及所選擇之 C 電壓之至少一者在多個階段之間變化。

舉例而言，亦稱為「驅動方案 6」之下述驅動方案使用兩個階段，其中保持下列項：

- V_{RS} 在多個階段之間變化如下：

$$\text{階段 1 : } V_{RS}=V_{CR}$$

$$\text{階段 2 : } V_{RS}=0$$

- 在兩個階段中 $V_{RU}=0$
- 在兩個階段中 $V_{CR} \geq \dot{V}_H$

- 在兩個階段中 $V_{CL}=V_{CU}\geq\max(V_L,2\times V_H)$

此可視為驅動方案 2 之一變體，差別之處在於 (a) 僅在階段 1 期間而非如在整個驅動方案 2 中選擇經選擇之 R 子集；以及 (b) 閉鎖 C 電壓 V_{CL} 及未選擇之 C 電壓 V_{CU} 係低於驅動方案 2 中之閉鎖 C 電壓 V_{CL} 及未選擇之 C 電壓 V_{CU} 。由於與驅動方案 2 相比較，此後一點容許更具成本效益地實施控制器電路，故其為驅動方案 6 之一優點。

驅動方案 6 之致動時脈（先前參考第 4 圖所述）之頻率通常為諸如先前搭配相同致動器陣列使用所述之驅動方案 1 至驅動方案 5 之單階段驅動方案之致動時脈頻率的兩倍。

在驅動方案 6 中，從全部 R 佈線電壓、A 佈線電壓及 B 佈線電壓中減去 V_H 後產生下文稱為「驅動方案 7」的一電等效方案，其特徵為：

- V_{RS} 在多個階段之間變化如下：

$$\text{階段 1: } V_{RS}=0$$

$$\text{階段 2: } V_{RS}=V_{RU}$$

- 在兩個階段中 $V_{RU}\leq-V_H$
- 在兩個階段中 $V_{CR}=0$
- 在兩個階段中 $V_{CL}=V_{CU}\geq\max(V_L,-2\times V_{RU})+V_{RU}$

驅動方案 7 具有驅動電壓之最高量值（在此情形中為 V_{CL}/V_{CU} ）低於目前所述之全部其他驅動方案中之量值的

優點。然而，其亦具有採用正驅動電壓及負驅動電壓二者之缺點。

第 10 圖係根據本發明之特定實施例之一致動器陣列的一簡化表示，類似於第 4 圖至第 7 圖所展示之致動器陣列，該致動器陣列包括劃分成四個 R 子集及兩個 C 子集的八個致動器元件。R 佈線係標記為 R0 至 R3、A 佈線係標記為 A0 至 A1 且 B 佈線係標記為 B0 至 B1。各方形表示一個致動器元件 110。位於 R 子集 1 與 C 子集 1 之交點且下文亦稱為「經選擇之元件」並且標記為 111 之致動器元件當前係閉鎖於 A 位置中且將移動至 B 位置中。

該致動器陣列根據下文稱為「驅動方案 8」之一驅動方案操作，該驅動方案 8 使用相反極性的兩個驅動電壓，一正驅動電壓 $+V_D$ 及一負驅動電壓 $-V_D$ 。驅動電壓二者之量值為保持電壓 V_H 及一半閉鎖電壓 V_L 之較大者（亦即， $V_D = \max(V_L/2, V_H)$ ）。驅動方案 8 之其他特徵為：

- V_{RS} 在多個階段之間變化如下：

階段 1： $V_{RS} = 0 \text{ V}$

階段 2： $V_{RS} = -V_D$

- 在兩個階段中 $V_{RU} = -V_D$
- 在兩個階段中 $V_{CR} = 0 \text{ V}$
- 在兩個階段中 $V_{CL} = V_{CU} = +V_D$

在第 10 圖之各方形內，頂部線指 V_A 之量值且底部線

指 V_B 之量值。可見此驅動方案滿足上文參考第 9 圖所述之「放寬條件」，且此外，提供優於目前所述之驅動方案之下列優點的一些或全部：

- 由於 $+V_D$ 及 $-V_D$ 具有相同量值，故可使用諸如一反轉電荷泵之一相對簡單且低成本之電路從一者中產生另一者；而在目前所討論之其他驅動方案中，驅動電壓通常在量值上有所不同，且因此產生用於此等驅動方案之驅動電壓將通常採用諸如一切換模式 DC 至 DC 轉換器之一更為複雜且昂貴的電路。
- 若 $V_H < V_L/2$ ，則所採用之驅動電壓之最高量值（此情形中為 V_{CL}/V_{CU} ）低於目前所述之全部其他驅動方案中之量值。

驅動方案 8 並不等效於驅動方案 6 及驅動方案 7。舉例而言：

- 在兩個階段期間，對於位於經選擇之 C 佈線及未經選擇之 R 佈線之交點處以及門鎖在釋放側之未經選擇之元件而言，用於將其等之移動元件保持於其等之當前位置中之 V_A 及 V_B 在驅動方案 6/7 與驅動方案 8 之間有所不同。
- 僅在階段 1 期間，對於位於未經選擇之 C 佈線及未經選擇之 R 佈線之交點之未經選擇之元件而言，用於將其等之移動元件保持於其等之當前位置中之 V_A 及

V_B 在驅動方案 6/7 與驅動方案 8 之間有所不同。

- 僅在階段 1 期間，對於所選擇之元件，閉鎖佈線與其等之移動元件之間之電壓在驅動方案 6/7 與驅動方案 8 之間有所不同。
- 僅在階段 2 期間，對於所選擇之元件，釋放佈線與其等之移動元件之間之電壓在驅動方案 6/7 與驅動方案 8 之間有所不同。

以上驅動方案可假定在常規操作期間之任何給定時間下，控制器將一或多個致動器元件從 A 位置移動至 B 位置，或者將一或多個致動器元件從 B 位置移動至 A 位置，或者不移動任何致動器元件。然而，在下列條件下，運用驅動方案 8，亦可將一或多個致動器元件從 A 位置同時移動至 B 位置，同時亦將一或多個致動器元件從 B 位置移動至 A 位置：

- 由於僅在選擇各自 R 子集時方可釋放移動元件，故待移動之全部致動器元件係位於所選擇之 R 子集中；
及
- 從其等之 A 位置待移動至其等之 B 位置之致動器元件無法位於與從其等之 B 位置待移動至其等之 A 位置之致動器元件相同的 C 子集中。此係因為，在驅動方案 8 下，閉鎖 C 電壓 ($V_{CL}=+V_D$) 與釋放 C 電壓 ($V_{CR}=0V$) 不同，此使一單個 A 佈線或 B 佈線同時為一閉鎖

佈線及一釋放佈線二者。

總而言之，在驅動方案 8 下，若致動器元件全部處於相同 R 子集中但是在不同 C 子集中，則可在相反方向上同時移動該等致動器元件。

如先前參考驅動方案 3 及驅動方案 6 所述，在全部 R 佈線電壓、A 佈線電壓及 B 佈線電壓中加入或減去一給定電壓會導致等效於驅動方案 8 的驅動方案。舉例而言，將 V_D 加入至全部 R 佈線電壓、A 佈線電壓及 B 佈線電壓產生下文稱為「驅動方案 9」的一變體，其特徵為：

- V_{RS} 在多個階段之間變化如下：

$$\text{階段 1: } V_{RS} = V_D$$

$$\text{階段 2: } V_{RS} = 0 \text{ V}$$

- 在兩個階段中 $V_{RU} = 0 \text{ V}$
- 在兩個階段中 $V_{CR} = V_D$
- 在兩個階段中 $V_{CL} = V_{CU} = 2 \times V_D$

驅動方案 9 消除來自控制器的負電壓（此取決於用於實施該控制器之技術），此可減小其成本。由於較高驅動電壓 $2 \times V_D$ 精確地為較低驅動電壓 V_D 之量值的兩倍，故變得可使用諸如一電壓倍增電荷泵之一相對簡單且低成本之電路而從較低驅動電壓中產生較高驅動電壓；而目前所述之其他驅動方案在驅動電壓之間通常不具有一 2:1 比率，且因此產生用於此等驅動方案之驅動電壓通常

將採用諸如一切換模式 DC 至 DC 轉換器之一更為複雜且昂貴的電路。取決於用於實施控制器電路之技術，與使用如同驅動方案 8 之一反轉電荷泵相比較，使用一倍增電荷泵可減小或增加控制器之成本。

應明白，如同此處所述之全部其他驅動方案，可搭配任何大小之致動器陣列（亦即，任何數量之 R 子集及 C 子集，以及一 R 子集與一 C 子集之各交點處之任何數量之致動器元件）使用驅動方案 8。第 2 圖至第 7 圖及第 10 圖已出於簡單而僅選擇少量 R 子集及 C 子集。實務上，與各移動元件具有專用連接件且全部 A 電極及全部 B 電極分別具有兩個共用連接件之一實施方案相比較，如第 10 圖所展示之一 4×2 矩陣之致動器元件並未減小致動器陣列與控制器 50 之間之電氣連接件之數量；且因此，建立此一矩陣並無優點。然而對於大矩陣尺寸而言，大幅減小了連接件之數量（從 $N_r N_c + 2$ 減小至 $N_r + 2 \times N_c$ ）。亦應明白可在不影響致動器陣列之操作的情況下反轉驅動方案 6 至驅動方案 9 中之驅動電壓之極性。此外應明白，具有多於兩個階段之驅動方案可設計成亦將滿足上文參考第 9 圖所述之「放寬條件」。

在驅動方案 1 至驅動方案 9 中，用於從一個極限位置釋放一移動元件且將其門鎖於相對極限位置中並且下文亦稱為致動時間 T_a 之時間主要係由移動元件 120 之質量以及由支承件 150 施加於其上之彈簧力判定，且該時間約等於移動元件 120 之共振週期 T_{res} 的一半，其中 T_{res}

為先前參考第 1B 圖所述之其等之機械共振頻率的倒數。此可限制該裝置用於特定目的的適用性；舉例而言，若該裝置係用於產生聲音或超音波，則致動時間 T_a 通常比待產生之最高聲音或超音波頻率之週期的一半更短（根據奈奎斯特（Nyquist）取樣理論）。此外，當使用過度取樣（例如，在諸如下文參考第 27 圖至第 29 圖所述之雜訊整形迴路的一雜訊整形迴路中）時，期望最小化致動時間以增加過度取樣比率。減小致動時間之一方法為減小移動元件 120 之質量；然而，機械穩定性及可靠性之特定應用需求可能限制此重量可減小之程度。另一選項為增加支承件 150 之彈性係數，但是此具有增加所採用之驅動電壓之量值的缺點。

對於使用諸如驅動方案 6 至驅動方案 9 之多階段驅動方案控制之致動器陣列而言，針對此問題之一替代做法為使多個階段重疊。舉例而言，驅動方案 8 容許同時移動兩組致動器元件，使得一第一組致動器元件處於如上所述之階段 1 中，同時一第二組致動器元件處於如上所述之階段 2 中；下文亦稱為「雙倍速度定址」的一過程。儘管並未影響完成各移動之整體時間，然而雙倍速度定址倍增每時間單位用於釋放移動元件的機會數量。結果，可及時更精確地控制由致動器陣列產生之物理效果。舉例而言，若致動器陣列產生聲音或超音波，則倍增可產生之最大頻率；且若使用過度取樣，則有效倍增過度取樣比率。效果係類似於將致動時間 T_a 從 $T_{res}/2$ 減

小至 $T_{rcs}/4$ ，但是並未在致動器元件之機械性質上引起任何變化。然而，只要兩個元件同時在運動中使得一者處於階段 1 中且另一者處於階段 2 中，則保持下文稱為「雙倍速度規則」的兩個條件：

1. 兩個元件不能在相同 R 子集中，因為驅動方案 8 對各階段中之經選擇之 R 佈線施加不同電壓（階段 1 中之 0 V 相對於階段 2 中且用於未經選擇之 R 佈線之 $-V_D$ ）。
2. 若兩個元件在相反方向上移動，則其等處於不同 C 子集。此係因為驅動方案 8 對釋放佈線及門鎖佈線施加不同電壓（在兩個階段中，0 V 用於釋放佈線相對於 $+V_D$ 用於門鎖佈線）。

可使用下文亦稱為「驅動方案 10」之一經修改之驅動方案移除第二個雙倍速度規則，該驅動方案之特徵為：

- V_{CR} 在多個階段之間變化如下：

階段 1： $V_{RS}=0\text{ V}$

階段 2： $V_{RS}=-V_D$

- 在兩個階段中 $V_{RU}=-V_D$

- V_{CR} 在多個階段之間變化如下：

階段 1： $V_{CR}=0\text{ V}$

階段 2： $V_{CR}=+V_D$

- 在兩個階段中 $V_{CL}=V_{CU}=+V_D$

驅動方案 10 與驅動方案 8 之不同之處在於階段 2 中之釋放 C 電壓為 $+V_D$ 而非 0 V，此與階段 2 中之門鎖 C 電

壓相同。結果，一 A 佈線或 B 佈線變得可為階段 1 中之一移動元件之釋放佈線，而且同時充當階段 2 中之另一移動元件的閉鎖佈線。然而，此驅動方案可採用稍微更高之驅動電壓以確保成功閉鎖，並且/或可稍微增加在其他相同之條件下用於閉鎖的時間。

第 11 圖係列表形式之驅動方案 6 至驅動方案 10 的概述。

第 12 圖係一些其他可行兩階段驅動方案的概述。此等係藉由組合用於階段 2 中之 V_{CR} 之三個不同選項(0、 $+V_D$ 及「不關注」，亦即 0 或 $+V_D$) 與用於階段 1 中之相同三個選項而獲得，此產生總共九個可行之組合，其中七個係展示於第 12 圖中(剩餘兩個組合為第 11 圖所展示之驅動方案 8 及驅動方案 10)。各驅動方案導致一不同組之「雙倍速度規則」(先前用於驅動方案 8 及驅動方案 10 所述)。所展示之驅動方案之一些可採用 V_D 之一輕度調整以確保成功釋放及閉鎖。

含有「不關注」條件之驅動方案(其中在相同階段中 V_{CR} 及 V_{CL} 之一者或二者可為 0 或 $+V_D$)，諸如驅動方案 11、驅動方案 14、驅動方案 15、驅動方案 16 及驅動方案 17，在選擇 R 佈線電壓、A 佈線電壓及 B 佈線電壓上提供更多自由度以產生一所期望之物理效果。結果，此類驅動方案可實現更精確地產生所期望之物理效果，並且/或可簡化判定 R 佈線電壓、A 佈線電壓及 B 佈線電壓之過程。然而，在此類驅動方案下由致動器元件產生之

物理效果可取決於各自電壓是否為 0 或 $+V_D$ 而稍有變化。取決於應用，此變動可能或可能未表示勝過較高準確度之優點的一缺點。

先前已參考第 10 圖描述「雙倍速度定址」。在一些實施例中，該方法可外推至達成高於雙倍速度的定址，且一般化成三倍、四倍或 k 元組之速度定址。根據本發明之特定實施例之 k 倍速度定址使用具有 k 個階段的一驅動方案（其中 k 為一正整數），且一致動時脈比具有相同致動器陣列之一單階段驅動方案快 k 倍，以實現一移動元件從其極限位置之一者移動至相對極限位置。源自驅動方案 8 之潛在有用驅動方案共用下列特徵之一些或全部：

- 在第一階段中 $V_{RS}=0$ ，且在最後階段中 $V_{RS}=-V_D$ 。
- 在全部階段中 $V_{RU}=-V_D$ 。
- 在第一階段中 $V_{CR}=0$ 。
- 在最後階段中 $V_{CL}=+V_D$ 。
- 在全部階段中 $V_{CU}=+V_D$ 。

此等驅動方案之間之差別包含下列項之一者或多者：

- 中間階段（亦即，非為第一階段亦非最後階段之任何階段）中之 V_{RS} 之值；可能之值包含 0、 $-V_D$ 及「不關注」（亦即，0 或 $-V_D$ ）
- 除第一階段之外之階段中之 V_{CR} 之值；可能值包含 0、 $+V_D$ 及「不關注」（亦即，0 或 $-V_D$ ）

- 除最後階段之外之階段中之 V_{CL} 之值；可能值包含 0 、 $+V_D$ 及「不關注」（亦即， 0 或 $-V_D$ ）

作為一實例，下文稱為「驅動方案 18」之一可行之四倍速度驅動方案之特徵為：

- V_{RS} 在多個階段之間變化如下：
 - 階段 1 及階段 2： $V_{RS}=0\text{ V}$
 - 階段 3 及階段 4： $V_{RS}=-V_D$
- 在全部階段中 $V_{RU}=-V_D$
- V_{CR} 在多個階段之間變化如下：
 - 階段 1 至階段 3： $V_{CR}=0\text{ V}$
 - 階段 4： $V_{CR}=0\text{ V}$ 或 $+V_D$ 「不關注」
- V_{CR} 在多個階段之間變化如下：
 - 階段 1： $V_{CR}=0\text{ V}$ 或 $+V_D$ 「不關注」
 - 階段 4： $V_{CR}=+V_D$
- 在全部階段中 $V_{CU}=+V_D$

如先前參考第 10 圖所述，較高速度定址之關鍵優點在於可及時較準確地控制由致動器陣列產生之物理效果。另一方面，較高速度定址亦使判定產生一期望物理效果之 R 佈線電壓、A 佈線電壓及 B 佈線電壓的過程（下文稱為一「定址方法」）變複雜。運用雙倍速度或更高速度定址方法，用於各致動時脈循環之 R 佈線電壓、A 佈線電壓及 B 佈線電壓通常經選擇使得在先前致動時脈循環

中釋放，但仍未門鎖於其等之新位置中之任何移動元件被正確地門鎖；而運用單速度定址方法，由於在一單個致動時脈循環內完成全部移動，故 R 佈線電壓、A 佈線電壓及 B 佈線電壓之選擇上並無此約束。結果，雙倍速度或更高速度定址方法通常在產生所期望之物理效果之各致動時脈循環處具有較少可用之自由度。取決於應用，此潛在缺點可能或可能未勝過較高速度定址之優點。

應明白在任何較高速度驅動方案中，在全部驅動電壓中加入或減去任何給定電壓，或者反轉全部驅動電壓之極性會導致電等效於最初驅動方案的驅動方案。此外，應明白亦可使用非對稱驅動電壓來設計較高速度驅動方案（例如，設計成先前所呈現之驅動方案 6 或驅動方案 7 之一較高速度版本），或者使用多於兩個非零驅動電壓設計之（例如，設計成先前所呈現之驅動方案 1 之一較高速度版本）。

第 13 圖係使用先前所述驅動方案 8 用於初始化一致動器陣列中之一或多個致動器元件之電壓波形，以及移動元件 120 離其靜止位置之所得偏差的曲線圖。

此處「初始化」指例如在立即通電之後將靜電致動器之一陣列內之一些或全部致動器元件，諸如先前參考第 2 圖至第 4 圖所述之致動器元件，門鎖至其等之極限位置之一者中。由於當該裝置斷電時移動元件在其等之靜止位置處處於平衡態，故初始化過程通常達成自靜止位置之門鎖；而在常規操作期間，移動元件在先前已鎖住

後總是被門鎖至一新極限位置中，且接著從相對極限位置釋放。先前參考第 3 圖定義之門鎖電壓 V_L 僅足以達成後個情形但是並非自靜止位置之門鎖。結果，通常產生等於移動元件與門鎖電極之間之 V_L 之一電壓之以上驅動方案無需能夠從其等之靜止位置中直接門鎖移動元件；此通常在可使用此等驅動方案之前首先在一個別初始化程序中達成。

一個可行之解決方案為增加所選擇之 R 電壓及/或門鎖 C 電壓之量值，使得門鎖電極與移動元件之間之所得電壓之量值變得足夠大以從其等之靜止位置直接門鎖移動元件。然而，較高驅動電壓可使控制器電路之實施更昂貴且/或增加該裝置在常規操作期間之功率消耗。另一可行解決方案為僅為初始化使用較高驅動電壓且為常規操作回復較低驅動電壓。然而，額外電壓可能增加控制器之複雜度。舉例而言，根據驅動方案 8 操作之一控制器通常僅能夠對各 R 佈線施加兩個驅動電壓（0 或 $-V_D$ ）之一者且對各 A 佈線及 B 佈線施加兩個驅動電壓（0 或 $+V_D$ ）之一者，而具有額外較高驅動電壓之一修改版本將須在三個不同電壓之間切換 R 佈線及/或 A 佈線及 B 佈線。

第 13 圖所繪示之初始化程序利用移動元件之機械共振，且結果並未採用較高或額外驅動電壓。在第 13 圖中， T_{Res} 指移動元件 120 之共振週期，亦即，先前參考第 1B 圖所述之其等之機械共振頻率的倒數； V_{CSA} 指施

加至所選擇之 A 佈線之電壓，亦即含有待初始化之致動器元件之 C 子集之 A 佈線；同樣地， V_{CSB} 指施加至所選擇之 B 佈線之電壓；且 V_{RS} 指施加至所選擇之 R 佈線之電壓，亦即含有待初始化之致動器元件之 R 子集之 R 佈線。在該曲線圖之底部，隨時間標繪一典型移動元件 120 遠離其靜止位置且朝向 A 位置之偏差。

第 13 圖所繪示之初始化程序通常包括第一階段及第二階段。在第一階段中，控制器對所選擇之 R 佈線施加 0 V 之一電壓，且對下文亦稱為未經選擇之 R 佈線之任何其他 R 佈線施加負驅動電壓 $-V_D$ （亦即， $V_{RS}=0$ ， $V_{RU}=-V_D$ ）。此時，控制器將 V_{CSA} 及 V_{CSB} 分別交替設定成正驅動電壓 $+V_D$ 及 0 V，在此等電壓之間週期性切換，使得只要對一經選擇之 A 佈線施加 $+V_D$ ，便將 0 V 施加至各自 B 佈線，且反之亦然，此創建兩個方波，其頻率大體上等於移動元件 120 之參考第 1B 圖所述之機械共振頻率，且其等不同相 180 度；同時亦對任何其他 A 佈線及 B 佈線恆定地施加正驅動電壓 $+V_D$ 。此造成移動元件 120 繞其靜止位置振盪，其中振盪之振幅隨時間逐漸增加。在特定實施例中，此第一階段之持續時間大體上等於移動元件 120 之一半共振週期 T_{res} 加上四分之一共振週期的一整數倍（亦即， $(0.5 \times Ni + 0.25) \times T_{res}$ ）（其中 Ni 為一整數），並且該持續時間恰好足夠長以容許到達最大振盪振幅。因此，在第一階段最後，移動元件 120 接近其靜止位置且朝兩個電極之一者行進（在第 13 圖之情形

中，朝向 A 電極)。在第 13 圖所展示之模擬實例中，第一階段之持續時間為六又四分之一共振週期，亦即 $N_i=12$ 。然而，應明白最佳 N_i 取決於機械性質及致動器元件之阻尼。在初始化程序之第二階段中，控制器對包含經選擇之 R 佈線之全部 R 佈線施加負驅動電壓 $-V_D$ ，同時使全部 A 佈線及 B 佈線恆定地保持在第一階段最後施加至其等之相同電壓下。

V_{RS} 從第一個階段至第二個之變化增加移動元件 120 與閘鎖電極（亦即，該移動元件 120 朝其行進之電極）之間之電壓，使得與移動元件之動量組合之所得靜電力足以克服支承件 150 施加之彈簧力，此容許移動元件 120 到達足夠靠近閘鎖電極之一位置以達成閘鎖至如參考第 1B 圖所述之兩個極限位置之一者中（在第 13 圖之情形中為 A 位置）。此第二階段之持續時間通常足以達成閘鎖，通常在一共振週期之半與一全共振週期之間。對於將移動元件閘鎖至 B 位置而非 A 位置中之一初始化程序而言，該程序係如上文所述，其中用於 V_{CSA} 及 V_{CSB} 之波形顛倒。藉由對各自 A 佈線及 B 佈線施加不同波形，亦可同時在一單個初始化中將一些 C 子集之移動元件閘鎖至 A 位置中且將其他 C 子集之移動元件閘鎖至 B 位置中。

類似初始化程序可設計用於先前所述之其他驅動方案。舉例而言，對全部 R 佈線電壓、A 佈線電壓及 B 佈線電壓加入 V_D 產生僅使用驅動方案 9 中已呈現之驅動電

壓的一初始化程序。

應明白初始化期間無需任何未經選擇之 R 子集或 C 子集；若致動器陣列內之全部移動元件具有大體上相同之機械共振頻率，則可同時初始化整個陣列。另一方面，在機械共振頻率大幅變化之一致動器陣列中，初始化程序可重複若干次，其中信號時序調整成不同機械共振頻率。亦應明白，除通電後之外，亦可不時使用該初始化程序以例如返回至先前任何移動元件（例如）由於不尋常強烈之機械衝擊而可能未能閃鎖之一精確界定之位置。

第 14 圖係本發明之一實施例之一簡化方塊圖，該實施例包括一控制器 50 及致動器陣列 100。此特定實施例依賴於下列假定：由該致動器陣列 100 內之移動元件產生之物理效果主要係由任何時間點處在各極限位置中之移動元件之數量來判定，以及取決於哪些特定移動元件處於各極限位置中之物理效果之變動可忽略或者與使用該裝置之應用無關；或是或者，無論哪些特定移動元件執行移動，物理效果主要係由任何時間點處從一個極限位置移動至另一極限位置之移動元件之數量判定。後者為真，舉例而言，若由一個別致動器元件產生之物理效果為一壓力脈衝，則由整個裝置產生之整體物理效果為可聽聲音，且該致動器陣列之實體大小明顯小於重製之最高音訊頻率之波長（利用較大或更稀鬆隔開之致動器陣列，所得可聽聲音可為指向性的，如 WO2007/135678

(“Direct digital speaker apparatus having a desired directivity pattern”) 中所述)。在該情形中，整個裝置基本上為其類比輸出為聲音壓力（而非如大多數 DAC 之電壓或電流）的一數位轉類比轉換器（DAC）。

控制器 50 接收經週期性取樣之一數位音訊信號 600，並且調整施加至 R 佈線 400、A 佈線 410 及 B 佈線 420 之電壓，造成致動器陣列 100 內之致動器元件在其等之兩個極限位置之間移動且藉此重製由音訊信號 70 表示之一可聽聲音。在此特定實施例中，如下文所述，控制器 50 包括一低通濾波器 510、一取樣速率轉換器 520、一定標器 530、一量化器 540、一元件選擇器 550，以及一高電壓驅動器 560。

低通濾波器（LPF）510 接收數位音訊信號 600 且產生一經低通濾波之信號 610。該 LPF 之目的為音量控制。LPF 在此項技術中已熟知，但是通常並不用於基於習知揚聲器之聲音重製系統中之音量控制。然而，在基於致動器陣列之聲音重製系統中，使用一 LPF 而非習知方法用於音量控制可為有利的，因為其可在低音量下導致改良之低音回應。此係描述於 WO2007/135679（“Systems and Methods for Volume Control in Direct Digital Speakers”）中。

若無需音量控制器或者若不管低音量下之較差低音回應而由習知方法實現音量控制，則該 LPF 係選用的且可省略。或者，該 LPF 可實施為整個裝置嵌入至其中之一

較大系統之另一部分；舉例而言，其可運行為一消費性電子器件中之一多媒體處理器 IC（積體電路）中之一單處理演算法。如已公開 PCT 申請案第 WO2007/135679 號（“Systems and Methods for Volume Control in Direct Digital Speakers”）中所述，LPF 通常具有高於其角頻率之一 6 dB/倍頻帶斜率。上文參考之申請案中所述之 LPF 之其他特性並非本發明之關鍵所在。

取樣速率轉換器（SRC）520 使經低通濾波之信號 610 之取樣速率與在其下元件選擇器 550 操作的致動時脈頻率匹配，此產生一經重新取樣之信號 620。數位音訊信號 600 之取樣速率且因此經低通濾波之信號 610 之取樣速率取決於應用。舉例而言，數位電話通常使用 8 kHz 或 16 kHz 之取樣速率，而消費性音訊器件中用於數位音樂重製之通用取樣速率包含 44.1 kHz 及 48 kHz。另一方面，如先前參考第 4 圖、第 9 圖及第 12 圖所述，致動時脈頻率係由致動器元件之機械性質及驅動方案（k）中所使用之階段之數量指定，並且通常不等於（通常高於）用於數位音訊內容之典型取樣速率，因此採用取樣速率轉換。取樣速率轉換在此項技術中已熟知，且雖然實施細節可能影響該裝置之整體聲音保真度，但是其等並非關鍵所在。若在等於致動時脈速率之一取樣速率下將音訊信號 600 傳遞至控制器 50，則該 SRC 係選用的且可省略。其亦可實施為整個裝置嵌入至其中之一較大系統之另一部分。

定標器 530 使經重新取樣之信號 620 之範圍與致動器陣列 100 之解析度匹配，此產生一定標信號 630，該定標信號 630 直接表示任何給定時間下為產生所期望之聲音而應處於 A 位置中之致動器元件之數量（或是或者，應處於 B 位置中之元件之數量。舉例而言，數位音訊信號可為具有 16 位元解析度的二之補數格式，使得其值可在 -32768 與 +32767 之間變化。另一方面，致動器陣列 100 之範圍等於其含有之致動器元件之數量加一。舉例而言，在具有 32 個 R 子集及 32 個 C 子集之一致動器陣列（含有 1204 個致動器元件）中，處於 A 位置中之移動元件之數量可採用 1025 個不同值（從 0 至 1024；B 位置亦同樣如此）。致動器陣列之範圍通常小於經重新取樣之信號之範圍，因此採用定標。定標通常係藉由使經重新取樣之信號乘以一第一常數並且加入一第二常數而達成。在以上實例中，第一常數可為 $1/64$ 且第二常數可為 512。若經重新取樣之信號 620 之範圍與致動器陣列 100 之範圍匹配，則定標器係選用的且可忽略。

考慮到處於 A 狀態（或 B 狀態）之移動元件之數量總為一整數的事實，量化器 540 量化定標信號 630。其輸出為僅採用整數值的一量化信號 640。量化在此項技術中已熟知。量化信號可例如為定標信號 630 捨棄小數部分之一截短整數。或者，量化器可使用抖動來改良裝置之效能。抖動在此項技術中已熟知，且通常尤其用於類比轉數位轉換器及數位轉類比轉換器中。可例如藉由在

截短之前將具有一矩形或三角形概率分佈函數 (PDF) 之一偽隨機信號加入至定標信號 630 而達成抖動。舉例而言，若經重新取樣之信號 620 之解析度小於或等於致動器陣列 100 之解析度，則該量化器係選用的且可省略。

元件選擇器 550 接收量化信號 640 且從其中判定陣列驅動信號 650，該陣列驅動信號 650 指示在任何時間點下該等驅動電壓之何者應施加至各 R 佈線、A 佈線及 B 佈線以使處於 A 位置中之致動器元件之數量 (或是或者，處於 B 位置中之元件之數量) 等於或儘可能接近由量化信號 640 表示的數量。先前已參考第 4 圖至第 12 圖描述用於在其等之兩個極限位置之間移動一或多個特定致動器元件之方法，亦即驅動方案。取決於任何給定時間下各致動器元件之狀態及量化信號，可能存在一種以上獲得處於 A 位置 (或者處於 B 位置) 中之移動元件之所期望之數量的方法。因此，可採用多種不同的元件選擇方法來判定任何給定時間點下應選擇哪些特定致動器元件。下文參考第 15 圖至第 24 圖描述元件選擇方法。

在無論使用哪個驅動方案下，高電壓驅動器 560 將驅動信號 650 之電壓位準轉譯成由致動器陣列 100 所採用的驅動電壓，並且將此等驅動電壓施加至 R 佈線 400、A 佈線 410 及 B 佈線 420。高電壓驅動器可實施為例如複數個習知位準偏移電路。取決於致動器元件之機械尺寸，驅動電壓可具有數十或數百伏特的量值，而數位電子電路通常使用遠遠低於 10 伏特之供應電壓。此外，上

文參考第 5 圖至第 12 圖所述之全部驅動方案採用至少三個不同驅動電壓（例如，參考第 10 圖所述之驅動方案 8 具有 $+V_D$ 及 0 供 A 佈線及 B 佈線用，以及 $-V_D$ 及 0 供 R 佈線用），而數位電路通常僅使用兩個不同的位準（邏輯高/低）。舉例而言，若使用驅動方案 8，則可將來自元件選擇器 550 之「高」及「低」輸出分別轉譯成 $-V_D$ 及 0 供 R 佈線用，並且分別轉譯成 $+V_D$ 及 0 供 A 佈線及 B 佈線用。因此，採用位準偏移。位準偏移電路在此項技術中已知。

應理解低通濾波、取樣速率轉換及定標之功能無需以第 14 圖所展示之順序實行，且可在不影響裝置之功能的情況下以任何順序實行。此外，可以不同方法實體劃分第 14 圖之組件。舉例而言且無限制性，LPF、SRC、量化器及元件選擇器之各者可實施為在一通用微處理器或微控制器上或在一數位信號處理器（DSP）上運行的一演算法，或者實施為一固線式電子電路。形成控制器 50 之部分之任何電子電路可或可不整合至一或多個積體電路（IC）中，且可與致動器陣列 100，與其他系統組件共同封裝，或者實施為一獨立式組件。

第 15 圖至第 23 圖係一起形成一元件選擇方法之過程的簡化流程圖，該元件選擇方法可在諸如第 14 圖之裝置的一裝置中之一元件選擇器中使用。第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法係基於先前所述之驅動方案 8，亦即，其假定移動元件從一個極限位置移動至另一極限位置係

在 2 個致動時脈循環內完成。應明白在細節上做必要的修正後，其他驅動方案可替代地用作一基礎。

第 15 圖之方法通常包括經適當排序之下列步驟之一些或全部，例如如下所展示：

步驟 1510：實行如參考第 13 圖所述之初始化程序，使全部 C 子集之一些（通常一半）之全部其等之移動元件處於 A 位置中（「滿」），且其他 C 子集之全部其等之元件處於 B 位置中（「空」）。初始化程序以全部 R 信號、A 信號及 B 信號「斷開」為結束。

步驟 1520：選擇一數字 d（例如，任何任意數字）使得存在編號 d 之一 R 子集。

步驟 1530：選擇一數字 e（例如，任何任意數字）使得編號 e 之 C 子集為空。

步驟 1540：選擇一數字 f（例如，任何任意數字）使得存在編號 f 之一 R 子集。

步驟 1550：選擇一數字 g（例如，任何任意數字）使得編號 g 之一 C 子集為滿。

步驟 1560：將內部變量 Na 初始化成當前處於 A 位置中之移動元件之數量

步驟 1570：每致動時脈循環執行主迴路（例如，根據第 16 圖）一次

第 16 圖之方法通常包括經適當排序之下列步驟之一些或全部，例如如下所展示：

步驟 1610：計算元件選擇器輸入信號（表示應處於 A

位置中以產生所期望之物理效果之移動元件之數量) 與處於 A 位置中之元件之實際數量 (內部變量 N_a) 之間的差淨_移動 (net_moves)

步驟 1620: 若淨_移動為零, 則實行第 23 圖之方法

步驟 1630: 若淨_移動為正, 則實行第 17 圖之方法

步驟 1640: 若淨_移動為負, 則實行第 18 圖之方法

步驟 1650: 在下個致動時脈循環返回至步驟 1610

第 17 圖之方法通常包括經適當排序之下列步驟之一些或全部, 例如如下所展示:

步驟 1710: 若在最後致動時脈循環期間, 除 $b(e)$ 之外之任何 A 信號, 或者任何 B 信號為「開通」: 參看第 23 圖。

步驟 1720: 若在最後致動時脈循環期間, 除 $b(e)$ 之外無任何 A 信號, 且無任何 B 信號為「開通」, 則實行下列操作之一些或全部:

A: 「接通」 $b(e)$, 且「關斷」全部其他 A 信號及 B 信號。

B: 若先前致動時脈循環期間編號在 d 與 $d + \text{淨}_\text{移動} - 1$ 之間之任何 R 信號為「開通」: 實行第 18 圖之方法

C: 若先前致動時脈循環期間無編號在 d 與 $d + \text{淨}_\text{移動} - 1$ 之間之 R 信號為「開通」: 實行第 19 圖之方法

步驟 1730: 按當前「開通」之 R 信號之數量增加 N_a

步驟 1740: 跳轉至主迴路中之步驟 1650 (例如, 根據第 16 圖)

第 18 圖之方法通常包括經適當排序之下列步驟之一些或全部，例如如下所展示：

步驟 1810：「接通」編號從 d 上至（且包含）在先前致動時脈循環期間為「斷開」之最低編號之 R 信號（若存在）的任何 R 信號

步驟 1820：「關斷」全部其他 R 信號

步驟 1830：按當前「開通」之 R 信號之數量增加 d

步驟 1840：跳轉至第 17 圖之步驟 1730

第 19 圖之方法通常包括經適當排序之下列步驟之一些或全部，例如如下所展示：

步驟 1910：若 $d + \text{淨}_\text{移動} > N_r$ ，則實行下列操作之一些或全部：

A：「接通」編號從 d 上至（且包含） $N_r - 1$ 之全部 R 信號。

B：「關斷」全部其他 R 信號

C：設定 $d = 0$

D：若 $e = N_c - 1$ ，則設定 $e = 0$ ；否則按一增加 e

步驟 1920：若 $d + \text{淨}_\text{移動} - 1 < N_r$ ，則實行下列操作之一些或全部：

A：「接通」編號從 d 上至（且包含） $d + \text{淨}_\text{移動} - 1$ 的全部 R 信號。

B：「關斷」全部其他 R 信號

C：按淨_{移動}增加 d 。

步驟 1930：跳轉至第 17 圖中之步驟 1730

第 20 圖之方法通常包括經適當排序之下列步驟之一些或全部，例如如下所展示：

步驟 2010：若最後致動時脈循環期間除 a(g) 之外之任何 B 信號，或者任何 A 信號為「開通」，則實行第 23 圖之方法。

步驟 2020：若最後致動時脈循環期間除 a(g) 之外無任何 B 信號，且無任何 A 信號為「開通」，則實行下列操作之一些或全部：

A：「接通」A(g)，且「關斷」全部其他 A 信號及 B 信號。

B：若先前致動時脈循環期間編號在 f 與 f-淨_移動-1 之間之任何 R 信號為「開通」：實行第 21 圖之方法

C：若先前致動時脈循環期間無編號在 f 與 f-淨_移動-1 之間之任何 R 信號為「開通」：實行第 22 圖之方法

步驟 2030：按當前「開通」之 R 信號之數量增加 Na 跳轉至主迴路中之步驟 1650（第 16 圖）

第 21 圖之方法通常包括經適當排序之下列步驟之一些或全部，例如如下所展示：

步驟 2110：「接通」編號從 f 上至（且包含）先前致動時脈循環期間為「斷開」之最低編號之 R 信號（若存在）的任何 R 信號。

步驟 2120：「關斷」全部其他信號

步驟 2130：按當前「開通」之 R 信號之數量增加 f

步驟 2140：跳轉至第 20 圖中之步驟

第 22 圖之方法通常包括經適當排序之下列步驟之一些或全部，例如如下所展示：

步驟 2210：若 $f\text{-淨}_\text{移動} > N_r$ ：

A：「接通」編號從 f 上至（且包含） N_r-1 之全部 R 信號。

B：「關斷」全部其他 R 信號

C：設定 $f=0$

D：若 $g=N_c-1$ ，則設定 $g=0$ ；否則按一增加

步驟 2220：若 $f\text{-淨}_\text{移動} \leq N_r$ ，則實行下列操作之一些或全部：

A：「接通」編號從 f 上至（且包含） $f\text{-淨}_\text{移動}-1$ 之全部 R 信號。

B：「關斷」全部其他 R 信號

C：按淨_{移動}增加 f

步驟 2230：跳轉至第 20 圖中之步驟 2030

第 23 圖之方法通常包括經適當排序之下列步驟之一些或全部，例如如下所展示：

步驟 2310：「關斷」全部 R 信號

步驟 2320：若先前致動時脈循環期間 N_a 變化，則實行下列操作之一些或全部：

A：使任何 A 信號或 B 信號保持「開通」為先前致動時脈循環期間為「開通」之 A 信號或 B 信號。

B：「關斷」全部其他 A 信號及 B 信號

步驟 2330：若先前致動時脈循環 N_a 未變化，則「關

斷」全部 A 信號及全部 B 信號。

步驟 2340：返回。

一般言之，第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法接收根據致動時脈取樣之一單輸入信號，該單輸入信號可為例如諸如第 14 圖中之信號 640 的一量化器之輸出。對於具有 N_r 個 R 子集及 N_c 個 C 子集之一致動器陣列，第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法假定各 R 子集含有 N_c 個移動元件且各 C 子集含有 N_r 個移動元件。該方法產生 $N_r + 2 \times N_c$ 個單位元陣列驅動信號： N_r 個 R 信號，編號為 r_0 至 $r(N_r - 1)$ 且指示施加至致動器陣列之各 R 佈線的電壓； N_c 個 A 信號，編號為 a_0 至 $a(N_c - 1)$ 且指示施加至各 A 佈線的電壓；以及 N_c 個 B 信號，編號為 b_0 至 $b(N_c - 1)$ 且指示施加至各 A 佈線的電壓。例如可將此等饋送至如第 14 圖所展示之一高電壓驅動器。假定此等信號之各者以相同數字控制各自 R 佈線、A 佈線及 B 佈線。當一信號為「開通」時，施加至各自佈線之電壓為 0 V；當其為「關斷」時，該電壓為 $-V_D$ （用於 R 佈線）或者 $+V_D$ （用於 A 佈線及 B 佈線）。

若存在下列項，則在由第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法控制之一致動器陣列中，各致動循環下處於 A 位置中之元件之數量緊密近似該方法之輸入信號：

1. e 永不變成等於 g （ e 及 g 係在第 15 圖中定義）；且
2. 該方法之輸入信號之轉換速率每致動時脈循環小於 $N_r/2$ 。

若 e 及 g 變成相等，則控制器可對一單個 C 子集之 A 佈線及 B 佈線二者施加 0 V，此在驅動方案 8 下是不被容許的，因為其將造成該 C 子集中之移動元件從一個極限位置釋放但是未閉鎖於另一極限位置中。可例如藉由始終確保至少一個 C 子集為「滿」(亦即，使其全部移動元件處於 A 位置中)且至少一個 C 子集為「空」(全部移動元件處於 B 位置中)而防止 e 及 g 變相等。在如第 14 圖所展示之一裝置中，此可藉由例如設計定標器 530 使得量化器輸出信號 640 (亦即，至第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之輸入)之值總是高於 N_r 且低於 $N_r \times (N_c - 1)$ 來達成。或者，可在其他處例如在第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法本身之一改良版本內限制該輸入信號。

第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之轉換速率限制會增加，因為第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法決不會在相同致動時脈循環中釋放多於一個 C 子集內之移動元件。只要輸入信號每致動時脈循環未增加或減少多於 $N_r/2$ 個，處於 A 位置中之元件之數量(雖然其無需每致動時脈循環精確地等於輸入信號)仍緊密地近似該輸入信號。若該輸入信號變化較快，則該輸入信號與處於 A 位置中之元件之數量之間之差(下文稱為「定址誤差」)可能在多於兩個致動時脈循環上累積。在此類情形中，第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法進入一重複性兩循環型樣，其中每隔一循環，移動元件之一整個 C 子集從一

極限位置釋放，其後接著其中未釋放移動元件且門鎖先前釋放之移動元件的一循環。若轉換速率低於 $Nr/2$ 但是接近該 $Nr/2$ ，則亦可能出現此兩循環型樣之短叢發。

第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法在各致動時脈循環期間僅執行少量步驟，並且僅採用少量記憶體。其已儲存之資料包括變量 d 、 e 、 f 、 g 、 Na ，以及其本身之輸出之先前值，亦即，陣列驅動信號 r_0 至 $r(Nr-1)$ 、 a_0 至 $a(Nc-1)$ 及 b_0 至 $b(Nc-1)$ 之先前值。由於以內部變量 d 、 e 、 f 及 g 暗示此資訊，故第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法並未保持個別地追蹤各移動元件之位置。

應明白類似於第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之元件選擇方法亦可設計用於其他驅動方案，諸如先前所述之驅動方案 1 至驅動方案 7 以及驅動方案 9 至驅動方案 18（驅動方案 8 之邏輯超集合，例如驅動方案 11、驅動方案 15 及驅動方案 17 以現狀支援第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法）。此類類似方法之複雜度為不同電壓之數量，以及驅動方案中使用之階段（ k ）之數量的一函數。搭配諸如先前所述之驅動方案 1 至驅動方案 5 之單步驟驅動方案使用之類似方法，通常每致動時脈循環比第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法執行更少之步驟，因為在下個致動時脈循環開始之前，一個致動時脈循環期間所釋放之全部移動元件已被門鎖。相反，搭配諸如（例如）四階段驅動方案 18 之較高速度驅動方案使用之類似方法，通常每致動時脈循環比第 15 圖至第 23 圖之元件選

擇方法執行更多的步驟，因為在較高速度驅動方案下，一個致動時脈循環期間之任何移動元件之釋放創建三個致動時脈循環後在相對極限位置中閃鎖經釋放之移動元件之需求，此需要特定 R 佈線、A 佈線及 B 佈線上有特定電壓，且藉此減小控制器可用的自由度。

此外應明白，對於任何給定驅動方案，亦可將元件選擇方法設計成不與第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法有任何相似之處。舉例而言，一「蠻力」方法可針對驅動方案容許之陣列驅動信號值之每個可行組合而計算下個時脈循環處各移動元件之位置，並且根據諸如產生之定址誤差之準則及/或可能與一給定應用相關之準則選擇陣列驅動信號值之一最佳組合。

第 24 圖係根據本發明之特定實施例之一致動器陣列的一簡化表示，與第 2 圖及第 4 圖所展示之致動器陣列類似，該致動器陣列包括劃分成八個 R 子集及八個 C 子集的 64 個致動器元件。R 佈線係標記為 R0 至 R7、A 佈線係標記為 A0 至 A7，且 B 佈線係標記為 B0 至 B7。各方形表示一個致動器元件。

在第 24 圖中，致動器元件係根據下列公式編號：

元件數字 = R 子集之數字 × C 子集數字 + R 子集數字

並且在第 24 圖中以十六進位記述法予以標記。第 24 圖中加陰影且編號為 16 至 2B 之二十二個移動元件係處於 A 位置中且第 24 圖中未加陰影之剩餘移動元件係處於 B 位置中。

此為由第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法控制之一致動器陣列的一典型情況。在此實例中，第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法中之內部變量之值為：

- $N_a=22$
- $d=4$
- $e=5$
- $f=6$
- $g=2$

第 24 圖中可見 A 位置中之移動元件組(下文稱為「A 組」)之數量形成從 16 延續至 2B (根據第 24 圖按十六進位記述法) 的一連續序列。同樣地，B 位置中之移動元件組(下文稱為「B 組」)之數量亦形成從 2C 延續至 15 且從 3F (最高編號之移動元件) 回繞至 00 的一連續序列。第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法具有下列性質：A 組及 B 組二者總是形成可或可不從最高編號之移動元件回繞至最低編號之移動元件的此類連續序列(下文稱為「連續調換序列」)。第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法依賴於此性質以在不採用一 $N_r \times N_c$ 矩陣資料結構下保持追蹤移動元件之位置。

在第 24 圖之情況中，若至第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之輸入之值增加，則從 B 位置待釋放之下個移動元件按根據其等之編號之升序為 2C、2D、2E 等等。同樣地，若至第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之輸入之

值減少，則從 A 位置待釋放之下個移動元件按根據其等之編號之降序為 2C、2D、2E 等等。在特定應用中，可能不期望元件選擇方法總是如第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之情形般以相同順序釋放移動元件。為此之一原因為起因於不匹配誤差之不匹配雜訊，亦即各移動元件產生之物理效果之量值差，該等量值差可能起因於例如製造容限，或者起因於移動元件在其製造後於某時受到機械損害。若總是以相同順序釋放移動元件，則此不匹配雜訊（取決於輸入信號）之波譜可能使得不匹配雜訊能量集中於輸入信號中未含有之特定頻率。此現象在西格瑪-德爾塔數位轉類比轉換器中已熟知，且可造成由此類數位轉類比轉換器重製之可聽聲音含有輸入信號中未呈現之可聽音調。此項技術中已知多種方法用於整形不匹配雜訊之頻譜以例如在音訊應用中使不匹配雜訊較難聽見或甚至聽不見。通常稱為「資料加權平均 (DWA)」之一此方法將不匹配雜訊能量分佈成近似均勻地跨越頻譜，亦即使之「白化」。根據本發明之特定實施例之一元件選擇方法可藉由下列而實施 DWA：在淨_移動為正之致動時脈循環中，將 $2 \times$ 淨_移動個移動元件從 A 位置釋放且將淨_移動個移動元件從 B 位置釋放，以及在淨_移動為正之致動時脈循環中，將 $2 \times$ 淨_移動個移動元件從 B 位置釋放且將淨_移動個移動元件從 A 位置釋放。然而，歸因於下列事實：通常在致動器陣列中之致動器元件之間共用電氣連接件，而非如習知數位轉類比轉換器之通

常情形般各電氣連接件專用於一個特定元件，實施 DWA 之此類元件選擇方法可能是複雜的（亦即，在各致動時脈循環處執行大量步驟），並且/或與未實施 DWA 之元件選擇方法之輸入信號相比，在由此一元件選擇方法控制之一致動器陣列中，在各致動循環下處於 A 位置中之元件之數量可能較不緊密接近該方法之輸入信號。

現描述用於「白化」不匹配雜訊之頻譜且可與第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法以及基於第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之方法直接搭配使用的方法。第 15 圖至第 23 圖之方法假定 R 信號 r_0 至 $r(N_r-1)$ 、A 信號 a_0 至 $a(N_a-1)$ 及 B 信號 b_0 至 $b(N_b-1)$ 之各者控制致動器陣列之各自 R 佈線、A 佈線或 B 佈線。然而，若改變此等分配使得例如相應而言，R 信號 r_4 控制一 R 佈線而非 R_4 ，或者 A 信號 a_0 及 B 信號 b_0 控制一 A 佈線而非 A_0 與一 B 佈線而非 B_0 ，則第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法釋放移動元件之順序會變化。藉由對 R 佈線、A 佈線及 B 佈線之陣列驅動信號重複（例如，每致動時脈循環一次）進行此類變化，釋放移動元件之順序變成偽隨機，因此將不匹配雜訊能量分佈成更均勻地跨越頻譜。

在下列實例中， $R'(i)$ 指示當前由 R 信號 $r(i)$ 控制之 R 佈線， $A'(i)$ 指示當前由 A 信號 $a(i)$ 控制之 A 佈線，且 $B'(i)$ 指示當前由 B 信號 $b(i)$ 控制之 B 佈線。在第 24 圖所描繪之情況中，可調換 R 信號 r_4 及 R 信號 r_5 ，使得 r_4 控制 R'_5 （在此情形中為 R_5 ）且 r_5 控

制 R'4 (在此情形中為 R4)，而不會影響任何移動元件在致動器陣列中之位置。在調換 r4 及 r5 之後，從 B 位置待釋放之下個移動元件為 2D，而在調換之前，其為 2C。同樣地，可調換 r6 及 r7 使得 r6 控制 R'7 且 r7 控制 R'6，此導致移動元件 17 而非移動元件 16 變成從 A 位置待釋放之下個移動元件。亦可在不影響任何移動元件在致動器陣列中之位置的情況下調換 R 信號 r0 至 r3 之任何兩者。整體言之，在第 24 圖所描繪之情況中，存在三組 R 信號，其中可用任何成員調換任何其他成員： $\{r0、r1、r2、r3\}$ 、 $\{r4、r5\}$ ，及 $\{r6、r7\}$ 。然而，用來自此等組之一者之任何 R 信號調換來自另一組之任何 R 信號可能干擾第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之操作，導致在該裝置中不再產生期望之物理效果。可類似地調換 A 信號及 B 信號。舉例而言，在第 24 圖所描繪之情況中，可藉由改變輸出分配而調換 A 信號 a6 及 A 信號 a1 使得 a6 控制 A'1 (在此情形中為 A1)，且 a1 控制 A'6 (在此情形中為 A6)。例如在上述情形中，只要調換兩個 A 信號，亦調換各自 B 信號，改變輸出分配使得 b6 控制 B'1 (在此情形中為 B1)，且 b1 控制 B'6 (在此情形中為 B6)。在此調換之後，在 C 子集 5 變滿之後，在一未來致動時脈循環中自 B 位置待釋放之下個元件為 C 子集 1 中之移動元件 08，而非 C 子集 6 中之移動元件 30。未用 B 信號調換 A 信號，亦即，A 信號總是控制 A 佈線且 B 信號總是控制 B 佈線。在第 24 圖所描繪之情況中，存在兩組

A 信號，其成員可在不干擾第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之操作的情況下互相調換： $\{a_0、a_1、a_6、a_7\}$ 及 $\{a_3、a_4\}$ ；且 B 信號同樣如此。在不干擾第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之操作的情況下， $a_2、a_5、b_2$ 或 b_5 均無法與任何其他 C 子集調換。

對於可調換兩個以上 R 信號之組，諸如以上實例中之組 $\{r_0、r_1、r_2、r_3\}$ ，根據本發明之特定實施例之一控制器可例如使用一偽隨機數字產生器而選擇待調換之一對 R 信號。或者，可由任何其他方法來打亂 $r_0、r_1、r_2$ 及 r_3 至 $R'_0、R'_1、R'_2$ 及 R'_3 之分配使得 $r_0、r_1、r_2$ 及 r_3 之各者精確控制 R 佈線 $R'_0、R'_1、R'_2$ 及 R'_3 之一者。同樣地，在以上實例中，控制器可在組 $\{a_0、a_1、a_6、a_7\}$ 內選擇任何對 A 信號及各自對 B 信號用於調換，或者其可改變輸出分配使得 $a_0、a_1、a_6$ 及 a_7 之各者精確控制 A 佈線 $A'_0、A'_1、A'_6$ 及 A'_7 之一者，且各各自 B 輸出控制各自 B 佈線。

一般言之，若對於全部 m (其中 $0 \leq m < N_c$)，R 佈線 $R'(i)$ 之 R 子集與 C 子集 m 之交點處之移動元件處於相同位置中，且在與 $R'(j)$ 之 R 子集與 C 子集 m 之交點處之移動元件相同的方向上移動 (若在移動中)，則可調換任何兩個 R 信號 $r(i)$ 及 R 信號 $r(j)$ 。

一般言之，若對於全部 m (其中 $0 \leq m < N_r$)，R 子集 m 與 A 佈線 $A'(i)$ 及 B 佈線 $B'(i)$ 之 C 子集之交點處之移動元件處於相同位置中，且在與 R 子集 m 與 $A'(j)$

及 $B'(j)$ 之 C 子集之交點處之移動元件相同的方向上移動（若在移動中），則可調換任何兩個 A 信號 $a(i)$ 及 $a(j)$ 以及各自 B 信號 $b(i)$ 及 $b(j)$ 。

運用第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法，在任何給定時脈循環期間大多數 C 子集為滿或為空。結果，若使用第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法，則若（使用括號指示邏輯算子之先後次序）： $(e < i < g \text{ 且 } e < j < g)$ ，或者 $((i > e \text{ 或 } i < g) \text{ 且 } (j > e \text{ 或 } j < g))$ ，則可調換任何兩個 A 信號 $a(i)$ 及 $a(j)$ 以及各自 B 信號 $b(i)$ 及 $b(j)$ 。

現描述減小定址誤差且改良瞬態回應之第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之改良（例如實現控制器在各致動時脈循環釋放大量移動元件）。在第 24 圖中，在當前致動時脈循環期間，第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法可從 A 位置釋放之移動元件之最大數量為二（第 24 圖中編號為 16 及 17 之元件）。因此，若淨₋移動超過二，則當前致動時脈循環期間定址誤差將為非零。同樣地，第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法在第 24 圖之情況中之一單個致動時脈循環內可從 B 位置釋放之移動元件之最大數量為四（第 24 圖中編號為 2C 至 2F 之元件），且因此，低於 -4 之淨₋移動亦將產生非零定址誤差（與其中淨₋移動 > 2 之情形相比較，為相反極性）。在此等情形中，定址誤差為第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法永不在相同致動時脈循環內釋放多於一個 C 子集內之移動元件之事實的一直接結果。藉由使用第 15 圖至第 23 圖之元件選

擇方法之改良版本（其能夠在一單個致動時脈循環期間釋放多於一個 C 子集內之移動元件），可在此類情形中消除定址誤差。舉例而言，若淨_移動=6，則藉由跳過下個 C 子集，對 B6 且對任何六個 R 佈線施加 0 V；或者藉由對 R2 至 R5、B5 及 B6 施加 0 V（選擇八個移動元件但是利用移動元件 2A 及移動元件 2B 已處於 A 位置中之事實），可從 B 位置精確釋放為六的移動元件。或者，可藉由對 R4 至 R7、A2、B5 及 B6 施加 0 V，藉此從 B 位置同時釋放八個移動元件（2C 至 2F 及 34 至 37）且從 A 位置同時釋放兩個移動元件（16 及 17）而達成相同物理效果。然而應注意，對 R0、R1、R4 至 R7、B5 及 B6 施加 0 V 將產生一不同物理效果，因為將釋放總數為十而非六的移動元件（2C 至 31 及 34 至 37）。上述可行解決方案之各者打破 A 組之連續性使得其不再形成一連續回繞序列。結果，在此等情況中消除定址誤差之元件選擇方法通常比第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法更為複雜。此類方法可例如將 A 組及 B 組分成 S 個連續回繞序列，並且採用與第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之 d、e、f 及 g 類似的 $4 \times S$ 個內部變量以保持追蹤各連續回繞序列。或者，連續回繞序列之數量可適當隨時間變化以最小化定址誤差，或者可設計保持追蹤各致動器元件之位置而不管任何連續回繞序列的元件選擇方法。

應明白亦可出現其中定址誤差非是歸因於一特定元件選擇方法之限制而是無論使用何種元件選擇方法皆不可

避免的情況。舉例而言，在第 24 圖之致動器陣列中，若全部移動元件處於 A 位置中，則無法在一單個致動時脈循環期間精確釋放十一個移動元件；通常，若致動器陣列具有 N_r 個 R 子集及 N_c 個 C 子集，則若 P 為大於 N_r 及 N_c 二者之一質數，則無法精確釋放 P 個移動元件。

第 25 圖展示例如如參考第 24 圖所述般在調換下列驅動陣列信號之後的第 24 圖之致動器陣列：

- R 信號 r_4 及 R 信號 r_5
- R 信號 r_6 及 R 信號 r_7
- A 信號 a_1 及 A 信號 a_6
- B 信號 b_1 及 B 信號 b_6

全部移動元件係處於與第 24 圖中之位置相同的位置中。然而，在第 25 圖中，從 B 位置待釋放之下面六個移動元件為 2D、2C、2F、2E、08 及 09（以此順序），而在第 24 圖中，從 B 位置待釋放之下面六個移動元件為 2C、2D、2E、2F、30 及 31。

雖然在第 24 圖中，對於全部 i ($0 \leq i < N_r$)， $R'(i)$ 為 $R(i)$ ，且對於全部 j （其中 $0 \leq j < N_c$ ）， $A'(j)$ 為 $A(j)$ 且 $B'(j)$ 為 $B(j)$ ，但是此不再為第 25 圖之情形。當在每致動時脈循環下週期性調換陣列驅動信號時，陣列驅動信號至 R 佈線、A 佈線及 B 佈線之分配變成偽隨機。

第 26 圖展示較之第 24 圖許多移動元件處於一不同位置的致動器陣列。

與第 24 圖不同，第 26 圖之各方形中之數字為各移動元件之虛擬元件數字，該虛擬元件數字係在當前控制該各移動元件之陣列驅動信號方面定義：

$$\text{虛擬元件數字} = N_r \times A \text{ 信號數字} + R \text{ 信號數字}$$

在第 26 圖中可見，儘管 A 組之元件數字未如參考第 24 圖所述般形成一連續回繞序列，然而 A 組之虛擬元件數字確實形成一連續回繞序列。此外，第 26 圖中 A 組之虛擬元件數字與第 24 圖中相同。結果，第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之全部內部變量（先前參考第 15 圖至第 23 圖所述之 d、e、f 及 g）在第 26 圖之情況中與在第 24 圖之情況中具有相同值。實際上，就第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之操作而言，兩種情況是相同的。

第 27 圖係根據本發明之特定實施例之一裝置的一簡化方塊圖，該裝置包括一控制器 50 及致動器陣列 100。該控制器 50 含有一元件選擇器 550 及上文參考第 14 圖描述其功能的一高電壓驅動器 560。在無定址誤差時，致動器陣列 100 內處於 A 位置中之移動元件之數量等於由元件選擇器 550 之輸入信號 601 表示之數量。元件選擇器 550 係放置於一雜訊整形迴路 60 內部，該雜訊整形迴路 60 亦包括一迴路濾波器 553、兩個加法器 541 及 552，以及一反相器（亦即，乘 -1 之一數位乘法）551。元件選擇器 550 產生一額外信號 651，該額外信號 651 表示實際處於 A 位置中之移動元件之數量（與表示應處於 A 位置中以產生所期望之物理效果之移動元件之數量

的信號 601 相反)。加法器 552 及反相器 551 自元件選擇器 550 之輸入信號 601 中減去此信號，產生表示由元件選擇器 550 引入之定址誤差的一誤差信號 653。迴路濾波器 553 對誤差信號 652 濾波且將所得經濾波之誤差信號 653 加入至迴路輸入信號 600 以產生用於元件選擇器 550 之輸入信號 601。

假定定址誤差與輸入信號 600 不相關，則迴路之信號轉移函數 (STF) 為一，同時其雜訊轉移函數 (NTF) 係由下式給出：

$$NTF=1-H_c[z]$$

其中 $H_c[z]$ 為迴路濾波器 61 在 z 域中之脈衝回應。藉由利用一適當 $H_c[z]$ 設計一迴路，可獲得在所關注之一頻帶上具有一高增益 (「帶內增益」) 且在此頻帶之外具有一低增益 (「帶外增益」) 的一 NTF。結果，定址雜訊 (起因於定址誤差) 之頻譜經整形使得與不具雜訊整形迴路 60 時將含有之定址雜訊相比，由致動器陣列 100 產生之物理效果在所關注之頻帶上含有較少之所得定址雜訊。

例如數位轉類比轉換器 (DAC) 及類比轉數位轉換器 (ADC) 中用於整形量化雜訊之頻譜的類似雜訊整形迴路在此項技術中已知，且通常稱為「西格瑪-德爾塔調變器」及「德爾塔-西格瑪調變器」。用於設計習知西格瑪-德爾塔調變器用之方法在此項技術中已知。

在習知西格瑪-德爾塔調變器及根據本發明之特定實施例之定址雜訊整形迴路二者中，迴路濾波器之設計目

標通常包含獲得一期望之 NTF，以及確保雜訊整形迴路無條件穩定（亦即，不會產生輸入信號中不存在且通常為非期望之振盪），或者在特定條件下穩定。用於預測 NTF 作為迴路濾波器之脈衝回應之一函數之習知方法，或者用於查找近似一期望之 NTF 之一迴路濾波器回應之習知方法亦可用於根據本發明之特定實施例之定址雜訊整形迴路。

然而，用於預測一習知西格瑪-德爾塔調變器是否穩定之習知方法，或者用於選擇迴路濾波器脈衝回應以確保穩定性之習知方法無需適用於根據本發明之特定實施例之定址雜訊整形迴路。根據本發明之特定實施例之定址雜訊整形迴路之穩定性取決於所使用之元件選擇方法。舉例而言，若輸入信號具有一高轉換速率，則先前參考第 15 圖至第 23 圖所述之第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法進入一重複性二循環型樣，此在一半致動時脈頻率下產生振盪。加入一定址雜訊整形迴路可造成此類振盪比無一雜訊整形迴路之一類似裝置中之振盪持續更久。結果，其中元件選擇器使用第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之定址雜訊整形迴路變得相對容易不穩定。運用其他元件選擇方法，諸如參考第 24 圖所述之第 15 圖至第 23 圖之元件選擇方法之變體，迴路可維持穩定達一更長範圍之輸入信號。

此外，根據本發明之定址雜訊整形迴路之穩定性亦可取決於定址誤差與輸入信號之間之相關度。如上所述，

根據本發明之特定實施例之定址雜訊整形迴路假定無此相關性。同樣地，習知西格瑪-德爾塔調變器依賴於量化誤差與輸入信號不相關之假設。實際上，兩種類型之誤差通常展現與輸入信號之一定程度之相關性。習知西格瑪-德爾塔調變器及根據本發明之特定實施例之定址雜訊整形迴路二者假定各自相關性足夠低以致可忽略。然而，取決於所使用之元件選擇方法，根據本發明之特定實施例之定址雜訊整形迴路中之定址誤差與輸入信號之間之相關度可比一習知西格瑪-德爾塔調變器中之量化雜訊與輸入信號之間之相關性更高。

通常，根據本發明之特定實施例之定址雜訊整形迴路之穩定性取決於迴路濾波器之脈衝回應及所使用之元件選擇方法二者。對於特定輸入信號，可藉由例如在諸如 MATLAB 之一軟體套件中模擬整個雜訊整形迴路而確認迴路穩定性。對於一給定元件選擇方法，若迴路濾波器 553 具有一短、平滑脈衝回應，則該迴路更可能穩定。舉例而言，若迴路濾波器 553 為具有在 z 域中給定為 $b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + b_3 z^{-3} + \dots + b(n) z^{-n}$ 之一轉移函數的一有限脈衝回應 (FIR) 濾波器，則若 n 為低且對於 $0 \leq i < n$ 而言 $|b(i) - b(i+1)|$ 為低，則迴路更可能穩定。作為一實例，在使用具有脈衝回應 $0.5z^{-1} + 0.5z^{-2}$ 之一迴路濾波器時，根據本發明之特定實施例之定址雜訊整形迴路對於一特定輸入信號而言是穩定的，且在使用具有脈衝回應 $z^{-1} + 0z^{-2}$ 之一迴路濾波器時，對於相同輸入信號而

言是不穩定的。

雜訊整形迴路之各種不同拓撲在此項技術中已知。雖然第 27 圖之實例展示稱為「誤差反饋」的一拓撲，但是此僅為一實例且可使用任何其他迴路拓撲。此項技術中已知之雜訊整形迴路拓撲包含（但無限制性）：「單反饋」、代替反饋或除反饋之外使用前饋之拓撲、級聯式及多級拓撲。

第 27 圖假定雜訊整形迴路 60 包含至少一個致動時脈循環之一延遲。舉例而言，若誤差信號 653 未曾包含一延遲，且迴路濾波器 553 為具有在 z 域中給定為 $b_0 + b_1z^{-1} + b_2z^{-2} + b_3z^{-3} + \dots + b(n)z^{-n}$ 之一轉移函數的一有限脈衝回應（FIR）濾波器，則 b_0 通常為零。或者，該延遲可為元件選擇器 550、反相器 551 及/或加法器 552 之一自然附產物，或為其等之一審慎性增設。

迴路濾波器及因此之 NTF 可具有任何量級且可具有任何特性，諸如低通、帶通或高通。

信號轉移函數（STF）可為一。或者，取決於應用，可期望具有非平坦頻率回應之一 STF，且/或其效果可被具有一非平坦頻率回應之其他系統分量抵銷。具有非平坦 STF 之雜訊整形迴路架構在此項技術中已熟知。

在參考第 27 圖之全部前文中，在未根本上改變裝置之操作的情況下，詞字「A 位置」可被「B 位置」取代。

根據本發明之特定實施例之一控制器可包含如第 27 圖及隨後圖式中所展示例如結合參考第 14 圖所述之一

或多個低通濾波器、取樣速率轉換器、定標器及量化器的一雜訊整形迴路。

第 28 圖係根據本發明之另一實施例且與第 27 圖之實施例類似的一簡化方塊圖，但是其中未對量化雜訊以及定址雜訊應用雜訊整形。先前已參考第 14 圖描述在本發明內使用一量化器。量化雜訊或量化誤差指量化器之輸入與其輸出之間之差。在第 28 圖中，誤差信號 658 表示量化誤差及定址誤差之總和（而第 27 圖之誤差信號 653 僅表示定址誤差），且因此對量化雜訊及定址雜訊應用雜訊整形迴路 60 之雜訊轉移函數（NTF）（與如第 27 圖中僅對定址雜訊施加 NTF 相反）。結果，可更準確地且/或以比無量化雜訊整形時可能具有之數量更低之數量之致動器元件重製輸入信號 70。

第 29 圖係本發明之另一實施例的一簡化方塊圖。如同第 27 圖及 28 圖中，該裝置包含一控制器 50 及致動器陣列 100，其中該控制器 50 以一雜訊整形迴路 60 為特徵。對量化雜訊及定址雜訊應用雜訊整形。然而，與其中為兩種類型之雜訊使用一單迴路濾波器之第 28 圖不同，在第 29 圖中，個別地處理兩種類型之雜訊。加法器 542 與反相器 541 一起從量化器之輸入信號 603 中減去量化信號 640，藉此產生表示量化誤差之信號 642。由一第一迴路濾波器 543 對此濾波以產生經濾波且由加法器 535 加至輸入信號 600 的量化雜訊信號 643。同樣地，加法器 552 與反相器 551 一起從由量化信號 640 表示之處於 A

位置中之移動元件之所期望數量中減去由信號 651 表示之處於 A 位置中之移動元件之實際數量，此產生表示定址誤差之信號 652。由一第二迴路濾波器 553 對此濾波以產生一經濾波且連同經濾波之量化雜訊信號 643 一起加至輸入信號 600 之定址雜訊信號 653。

定址雜訊之特性可在下列方式之任何者或全部上與量化雜訊之特性不同：

- 定址雜訊可比量化雜訊具有更高之峰值振幅，此受限於一窄範圍之值（儘管該範圍可比抖動更寬，然而若量化器不使用抖動，則通常為 ± 0.5 最少明顯位元）。
- 多種類型之雜訊之波譜可不同。舉例而言，可藉由使用如參考第 14 圖所述具有一三角概率函數之抖動而在量化器中整形量化雜訊。此導致在進入雜訊整形迴路之前，量化雜訊能量已主要集中於信號中之高頻率。此技術在此項技術中，例如在西格瑪-德爾塔轉換器領域中已熟知。對定址雜訊應用相同技術可使定址雜訊整形迴路如參考第 27 圖所述般不穩定，且可能因此為非期望的。
- 如參考第 27 圖所述，與量化雜訊所為相比，定址雜訊可展現與輸入信號 70 之一更高相關度，因此與可能提供一更長、較不平滑之脈衝回應之量化雜訊相

反，一迴路濾波器可提供一短、平滑的脈衝回應以維持迴路穩定性。

分別對量化雜訊及定址雜訊使用兩個個別迴路濾波器 543 及 553，使得可組合積極型量化雜訊整形（例如使用對於迴路濾波器 543 具有一相對長脈衝回應之一有限脈衝回應（FIR）濾波器）與定址雜訊之更保守型整形（例如使用對於迴路濾波器 553 具有一更短脈衝回應之一 FIR）。更一般言之，可針對各類型之雜訊實施不同 NTF 以符合應用之需求。

本文所展示且描述之個別定址方法及裝置對雙面靜電致動器尤為有用。本文所展示且描述之雜訊減小方法及裝置在諸如（但不限於）本文所展示且描述之許多各種陣列中 useful。

亦可在一單個實施例中組合提供在個別實施例之內容中描述的本發明之特徵。相反，可個別地或以任何適當子組合或以一不同順序提供一單個實施例之內容中出於簡短或以一特定順序描述之本發明之特徵（包含方法步驟）。

可適當使用電腦化之感測器、輸出器件或顯示器、處理器、資料儲存器及網路之任何者或全部以實施本文所展示且描述之方法及裝置之任何者。

應明白由於在一替代實施方案中，相同元件可定義為非強制性且非為必需或甚至可被完全消除，故諸如「強

制性」、「必需」、「需要」及「必須」之術語指在本文出於清楚而描述之一特定實施方案或應用之內容內作出的實施選擇且無意為限制性。

應明白若期望，本發明之軟體組件包含可實施於包含 CD-ROM、EPROM 及 EPROM 之 ROM（唯讀記憶體）形式中，或者可儲存於任何其他適當且通常為非暫時性之電腦可讀媒體，諸如（但不限於）各種種類之磁碟、各種種類之卡及 RAM 中之程式及資料。或者若期望，可使用習知技術將本文描述為軟體之組件整體或部分地實施於硬體中。或者相反，若期望，可使用習知技術將本文描述為硬體之組件整體或部分地實施於軟體中。

本發明之範圍尤其包含：電磁信號，其運送用於以任何適當順序實行本文所展示且描述之方法之任何者之步驟之任何者或全部的電腦可讀指令；機器可讀指令，用於以任何適當順序實行本文所展示且描述之方法之任何者之步驟之任何者或全部；可由機器讀取之程式儲存器件，其有形地體現可由該機器執行以以任何適當順序實行本文所展示且描述之方法之任何者之步驟之任何者或全部的指令之一程式；包括一電腦可用媒體之一電腦程式產品，該電腦可用媒體具有諸如可執行代碼之電腦可讀程式代碼，該電腦可讀程式代碼在其中體現且/或包含用於以任何適當順序實行本文所展示且描述之方法之任何者之步驟之任何者或全部的電腦可讀程式代碼；當以任何適當順序實行時，由本文所展示且描述之方法之任

何者之步驟之任何者或全部產生的任何技術效果；任何適當裝置或器件或此等之組合，其等可經程式化以任何適當順序單獨或組合地實行本文所展示且描述之方法之任何者之步驟之任何者或全部；電子器件，其各包含一處理器及一協作輸入器件及/或輸出器件且操作用於以軟體實行本文所展示且描述之任何步驟；諸如磁碟或硬碟之資訊儲存器件或實體記錄器，其造成一電腦或其他器件經組態以便以任何適當順序進行本文所展示且描述之方法之任何者之步驟之任何者或全部；在下載之前或之後預儲存於記憶體中或諸如網際網路之一資訊網路上之一程式，該程式以任何適當順序體現本文所展示且描述之方法之任何者之步驟之任何者或全部，及上載或下載此之方法，以及包含用於使用此之（多個）伺服器及/或（多個）用戶端之一系統；以及以任何適當順序單獨或結合軟體地實行本文所展示且描述之方法之任何者之步驟之任何者或全部的硬體。本文所述之任何電腦可讀或機器可讀媒體意欲包含非暫時性電腦或機器可讀媒體。

本文所述之分析之任何計算或其他形式可由一適當電腦化之方法實行。本文所述之任何步驟可為電腦實施的。本文所展示且描述之本發明可包含（a）使用一電腦化方法識別針對該等問題之任何者或用於本文所述之目的之任何者之一解決方案，該解決方案視需要包含本文所述以一積極方式影響本文所述之一問題或目的之一決

策、一動作、一產品、一服務或任何其他資訊之至少一者；以及 (b) 輸出該解決方案。

本發明之範圍不限於本文明確描述之結構及功能，且亦無意包含具有產生本文所述之一結構或實行本文所述之一功能之能力的器件，使得即使該器件之使用者無法使用該能力，其等仍可（若其等如此期望）修改該裝置以獲得該結構或功能。

亦可在一單個實施例中組合提供在個別實施例之內容中描述的本發明之特徵。

相反，可個別地或以任何適當子組合或以一不同順序提供一單個實施例之內容中出於簡短或以一特定順序描述之本發明之特徵（包含方法步驟）。本文在無意為限制性之一特定實例之意義上使用「例如」。圖式之任何者中展示成耦合之器件、裝置或系統實際上在特定實施例中可整合至一單平台中，或可經由任何適當有線或無線耦合，諸如（但不限於）光纖、乙太網路、無線 LAN、家庭 PNA、電力線通信、蜂巢式電話、PDA、Blackberry GPRS、包含 GPS 之衛星，或其他行動傳遞系統予以耦合。應明白，在本文所展示且描述之實施方式及圖式中，描述或說明為系統及其子單元之功能亦可提供為方法及其內之步驟，描述或說明為方法及其內之步驟之功能亦可提供為系統及其子單元。圖式中而用來繪示各個元件之標度僅為示例性且/或適用於表示之清楚性並且無意為限制性。

【圖式簡單說明】

在下列圖式中繪示本發明之特定實施例：

第 1A 圖至第 1C 圖係形成根據本發明之特定實施例之致動器陣列時有用之一類型之雙面靜電致動器元件的橫截面圖。

第 2 圖至第 4 圖係根據本發明之實施例之致動器陣列的簡化示意圖。

第 5 圖至第 7 圖繪示多種致動器陣列可根據其操作的驅動方案，該等驅動方案全部根據本發明之特定實施例。

第 8 圖、第 11 圖及第 12 圖係理解本發明之特定實施例時有用的表格。

第 9 圖及第 13 圖係理解本發明之特定實施例時有用的曲線圖。

第 10 圖係根據本發明之特定實施例建構且操作之一致動器陣列的一簡化表示。

第 14 圖係根據本發明之特定實施例建構且操作之一控制器及藉此控制之致動器陣列的一簡化方塊圖。

第 15 圖至第 23 圖係一起形成根據本發明之特定實施例操作之一元件選擇方法之處理程序的簡化流程圖。

第 24 圖至第 26 圖係例如在一調換程序之後全部根據本發明之特定實施例處於各種位置中之一致動器陣列的簡化表示。

第 27 圖至第 29 圖係全部根據本發明之特定實施例建構且操作之一控制器及藉此控制之致動器陣列的簡化方塊圖。

本文所述且繪示之計算組件可以各種形式實施為例如硬體電路，諸如（但不限於）VLSI 電路或閘陣列或者諸如（但不限於）FPGA 之可程式化硬體器件，微控制器或數位信號處理器（DSP），或者實施為儲存於至少一無形電腦可讀媒體上且可由至少一處理器執行之軟體程式代碼，或其等之任何適當組合。一特定功能組件可由全體如本文參考所討論之功能組件所述般動作或表現或動作的一特定序列之軟體代碼或由複數個此類軟體代碼形成。舉例而言，該組件可分佈在諸如（但不限於）物件、程序、函數、常式及程式之若干代碼序列上，且可源自通常協同操作之若干電腦檔案。

資料可儲存於在一或多個不同定位、不同網路節點或一單個節點或定位處之不同儲存器件儲存的一或多個無形電腦可讀媒體上。

【主要元件符號說明】

| | |
|-----|--------|
| 50 | 控制器 |
| 60 | 雜訊整形迴路 |
| 70 | 音訊信號 |
| 100 | 致動器陣列 |

| | |
|------|---------|
| 110 | 靜電致動器元件 |
| 111 | 靜電致動器元件 |
| 120 | 移動元件 |
| 125 | 軸 |
| 130 | 電極 |
| 135A | 電壓 |
| 140 | 電極 |
| 145B | 電壓 |
| 150 | 支承件 |
| 180 | 間隔件 |
| 190 | 間隔件 |
| 210 | 凹坑 |
| 220 | 凹坑 |
| 270 | 孔 |
| 270 | 孔 |
| 400 | R 佈線 |
| 410 | A 佈線 |
| 420 | B 佈線 |
| 510 | 低通濾波器 |
| 520 | 取樣速率轉換器 |
| 530 | 定標器 |
| 535 | 加法器 |
| 540 | 量化器 |
| 541 | 加法器 |

- 542 加法器
- 543 迴路濾波器
- 550 元件選擇器
- 551 反相器
- 552 加法器
- 553 迴路濾波器
- 560 高電壓驅動器
- 600 數位音訊信號
- 601 輸入信號
- 603 輸入信號
- 610 經低通濾波之信號
- 620 經重新取樣之信號
- 630 定標信號
- 640 量化信號
- 642 量化誤差信號
- 643 經濾波之量化雜訊信號
- 650 陣列驅動信號
- 651 額外信號
- 652 定址誤差信號
- 653 經濾波之定址雜訊信號
- 658 總誤差信號

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫；惟已有申請案號者請填寫)

※申請案號：100143345

※申請日期：102.11.25

※IPC 分類：

H04R 1/40 (2006.01)

H04R 19/02 (2006.01)

原申請案號：

一、發明名稱：(中文/英文)

用於致動器陣列之個別定址及雜訊減小之裝置及方法

APPARATUS AND METHODS FOR INDIVIDUAL ADDRESSING AND NOISE
REDUCTION IN ACTUATOR ARRAYS

二、中文發明摘要：

本發明揭示用於產生一目標物理效果之裝置，該目標物理效果之至少一屬性對應於週期性取樣之一數位輸入信號之至少一特性，該裝置包括：複數個靜電致動器元件，其等各包括在第一電極與第二電極之間移動之一移動元件，該複數個靜電致動器元件包含 N_r 個第一子集 (R 子集) 之致動器元件及 N_c 個第二子集 (C 子集) 之致動器元件，其中該複數個致動器元件之一第一劃分產生該等 N_r 個第一子集 (R 子集) 且該複數個致動器元件之一第二劃分產生該等 N_c 個第二子集 (C 子集)；第一複數個 N_r 電氣連接件 (R 佈線)，其等互連各 R 子集中之致動器元件之移動元件，使得各個別 R 子集中之任何致動器元件之移動元件電連接至該個別 R 子集中之全部其他致動器元件之移動元件，並且與未在該個別 R 子集中之全部致動器元件之移動元件電隔離；第二複數個 N_c 電氣連接件 (A 佈線)，其等互連各 C 子集中之致動器元件之第一電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第一電極電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第一電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；第三複數個 N_c 電

氣連接件 (B 佈線)，其等互連各 C 子集中之致動器元件之第二電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第二電極電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第二電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；及電連接至該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件之一控制器，該控制器操作用於接收一數位輸入信號，且操作用於對該等電氣連接件之各者分別施加一預定、有限組之電位之一者，使得該等移動元件之所得移動一起產生所期望之物理效果。

三、英文發明摘要：

Apparatus for generating a target physical effect, at least one attribute of which corresponds to at least one characteristic of a digital input signal sampled periodically, the apparatus comprising a multiplicity of electrostatic actuator elements, each comprising a moving element moving between first and second electrodes, the multiplicity of electrostatic actuator elements including N_r first subsets (R-subsets) of actuator elements and N_c second subsets (C-subsets) of actuator elements, wherein a first partitioning of the multiplicity of actuator elements yields the N_r first subsets (R-subsets) and a second partitioning of the multiplicity of actuator elements yields the N_c second subsets (C-subsets); a first plurality of N_r electrical connections (R-wires) interconnecting the moving elements of actuator elements in each R-subset, such that the moving element of any actuator element in each individual R-subset is electrically connected to the moving elements of all other actuator elements in the individual R-subset, and electrically isolated from the moving elements of all actuator elements not in the individual R-subset; a second plurality of N_c electrical connections (A-wires) interconnecting the first electrodes of actuator elements in each C-subset, such that the first electrode of any actuator element in each individual C-subset is electrically connected to the first electrode of all other actuator elements in the

individual C-subset, and electrically isolated from all actuator elements not in the individual C-subset; a third plurality of N_c electrical connections (B-wires) interconnecting the second electrodes of actuator elements in each C-subset, such that the second electrode of any actuator element in each individual C-subset is electrically connected to the second electrode of all other actuator elements in the individual C-subset, and electrically isolated from all actuator elements not in the individual C-subset; and a controller electrically connected to the first, second and third pluralities of electrical connections, operative to receive a digital input signal, and to apply one of a predetermined, finite set of electric potentials to each of said electrical connections respectively, such that resulting movements of the moving elements together produce the desired physical effect.

七、申請專利範圍：

1. 一種用於產生一目標物理效果的裝置，該目標物理效果之至少一屬性對應於週期性取樣之一數位輸入信號之至少一特性之，該裝置包括：

複數個靜電致動器元件，其等各包括在第一電極與第二電極之間移動之一移動元件，該複數個靜電致動器元件包含 N_r 個第一子集（R 子集）之致動器元件及 N_c 個第二子集（C 子集）之致動器元件，其中該複數個致動器元件之一第一劃分產生該等 N_r 個第一子集（R 子集）且該複數個致動器元件之一第二劃分產生該等 N_c 個第二子集（C 子集）；

第一複數個 N_r 電氣連接件（R 佈線），其等互連各 R 子集中之致動器元件之移動元件，使得各個別 R 子集中之任何致動器元件之移動元件電連接至該個別 R 子集中之全部其他致動器元件之移動元件，並且與未在該個別 R 子集中之全部致動器元件之移動元件電隔離；

第二複數個 N_c 電氣連接件（A 佈線），其等互連各 C 子集中之致動器元件之第一電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第一電極電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第一電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；

第三複數個 N_c 電氣連接件（B 佈線），其等互連各 C 子集中之致動器元件之第二電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第二電極電連接至該個別 C 子集中

之全部其他致動器元件之第二電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；及

電連接至該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件之一控制器，該控制器操作用於接收一數位輸入信號，且操作用於對該等電氣連接件之各者分別施加一預定、有限組之電位之一者，使得該等移動元件之所得移動一起產生所期望之物理效果。

2. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中該控制器係操作用於根據該數位輸入信號而判定用於分別施加至該第一複數個 N_r 電氣連接件（R 佈線）之 N_r 元組之電位、用於分別施加至該第二複數個 N_c 電氣連接件（A 佈線）之第一 N_c 元組之電位，以及用於分別施加至該第三複數個 N_c 電氣連接件（B 佈線）之第二 N_c 元組之電位。

3. 如申請專利範圍第 2 項之裝置，其中由該控制器判定該等 N_r 元組、該等第一 N_c 元組及該等第二 N_c 元組，使得其等至該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件之施加分別造成該複數個致動器元件之該等移動元件產生對應於該數位輸入信號之至少一特性之一物理效果。

4. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中各移動元件係回應於由該控制器施加之電位而操作用於從與該第二電極相比更接近該第一電極之一第一極限位置，移動至與該第一電極相比更接近該第二電極之一第二極限位置，並返回。

5. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中該等第一子集之

致動器元件之任何個別者與該等第二子集之致動器元件之任何個別者之交點全部包含一致數量之致動器元件。

6. 如申請專利範圍第 5 項之裝置，其中該一致數量之致動器元件為一個。

7. 如申請專利範圍第 5 項之裝置，其中該一致數量之致動器元件大於一個。

8. 如申請專利範圍第 2 項之裝置，其中該預定、有限組之電位包含第一有限組之電位值及第二有限組之電位值，且其中：

該等 N_r 元組之電位係選自該等第一有限組之電位值；且該等第一 N_c 元組之電位及該第二 N_c 元組之電位係選自該等第二有限組之電位值。

9. 如申請專利範圍第 8 項之裝置，其中該等第一有限組之電位值及該等第二有限組之電位值之至少一成員為零（接地）。

10. 如申請專利範圍第 8 項之裝置，其中該第一有限組之電位值及該第二有限組之電位值之各者包含為零（接地）之一成員。

11. 如申請專利範圍第 8 項之裝置，其中該等第一有限組之電位值及該等第二有限組之電位值之至少一者精確具有兩個值。

12. 如申請專利範圍第 8 項之裝置，其中該等第一有限組之電位值及該等第二有限組之電位值之二者精確具有兩個值。

13. 如申請專利範圍第 8 項之裝置，其中該等第一有限組之電位值及該等第二有限組之電位值之至少一者精確具有三個值。

14. 如申請專利範圍第 8 項之裝置，其中該第一有限組之電位值之至少一成員等於該第二有限組之電位值之至少一成員。

15. 如申請專利範圍第 8 項之裝置，其中該第一有限組之電位值之至少一成員為該第二有限組之電位值之至少一成員之值的兩倍。

16. 如申請專利範圍第 8 項之裝置，其中相對於該第二有限組之電位值之至少一成員，該第一有限組之電位值之至少一成員在量值上係相等的且在極性上係相反的。

17. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中該控制器係操作用於分別對該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件週期性施加該等預定、有限組之電位之一者。

18. 如申請專利範圍第 17 項之裝置，其中該控制器係操作用於根據該數位輸入信號而週期性判定用於分別週期性施加至該第一複數個電氣連接件（R 佈線）之 N_r 個成員的 N_r 元組之電位、用於分別週期性施加至該第二複數個電氣連接件（A 佈線）之 N_c 個成員的 N_c 元組之電位，以及用於分別週期性施加至該第三複數個電氣連接件（B 佈線）之 N_c 個成員的 N_c 元組之電位。

19. 如申請專利範圍第 18 項之裝置，其中該等 N_r 元組之電位、該等第一 N_c 元組之電位及該等第二 N_c 元組之

電位之施加係與一致動器時脈同步，使得每隔一致動時脈循環，週期性且同時地將一 N_r 元組之電位施加至該第一複數個 N_r 電氣連接件（ R 佈線）、將一第一 N_c 元組之電位施加至該第二複數個 N_c 電氣連接件（ R 佈線），且將一第二 N_c 元組之電位施加至該第三複數個 N_c 電氣連接件（ B 佈線）達該致動時脈循環之持續時間。

20. 如申請專利範圍第 19 項之裝置，其中各移動元件係回應於由該控制器施加之該電位而操作用於從與該第二電極相比更接近該第一電極之一第一極限位置，移動至與該第一電極相比更接近該第二電極之一第二極限位置，並返回，且其中此類移動係在一單個致動時脈循環內完成。

21. 如申請專利範圍第 19 項之裝置，其中各移動元件係回應於由該控制器施加之該電位而操作用於從與該第二電極相比更接近該第一電極之一第一極限位置，移動至與該第一電極相比更接近該第二電極之一第二極限位置，並返回，且其中此類移動係在 k 個致動時脈循環內完成，其中 k 為一正整數。

22. 一種用於製造用於產生一物理效果之裝置之方法，該物理效果之至少一屬性對應於週期性取樣之一數位輸入信號之至少一特性，該方法包括：

提供複數個靜電致動器元件，該複數個靜電致動器元件各包括在第一電極與第二電極之間移動之一移動元件，該提供包含界定：

該複數個致動器元件成 N_r 個第一子集 (R 子集) 之一第一劃分；及

該複數個致動器元件成 N_c 個第二子集 (C 子集) 之一第二劃分；

經由第一複數個 N_r 電氣連接件 (R 佈線) 互連各 R 子集中之致動器元件之移動元件，使得各個別 R 子集中之任何致動器元件之移動元件係電連接至該個別 R 子集中之全部其他致動器元件之移動元件，並且與未在該個別 R 子集中之全部致動器元件之移動元件電隔離；

經由第二複數個 N_c 電氣連接件 (A 佈線) 互連各 C 子集中之致動器元件之第一電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第一電極係電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第一電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；

經由第三複數個 N_c 電氣連接件 (B 佈線) 互連各 C 子集中之致動器元件之第二電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第二電極係電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第二電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；及

提供連接至該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件之一控制器，該控制器操作用於接收一數位輸入信號，且操作用於對該等電氣連接件之各者分別施加預定、有限組之電位之一者，使得該等移動元件之所得移動一起產生所期望之物理效果。

23. 如申請專利範圍第 21 項之裝置，其中 k 等於二。

24. 如申請專利範圍第 21 項之裝置，其中 k 大於二。

25. 如申請專利範圍第 19 項之裝置，其中各移動元件係回應於由該控制器施加之該電位而操作用於從與該第二電極相比更接近該第一電極之一第一極限位置，移動至與該第一電極相比更接近該第二電極之一第二極限位置，並返回；

且其中，在一單個致動時脈循環期間，該複數個移動元件之一些離開其等之極限位置之一者且仍未到達其等之極限位置之另一者，且該複數個移動元件之其他者在該單個致動時脈循環之前之一致動時脈循環期間，在離開其等之極限位置之一者之後到達其等之極限位置之另一者。

26. 一種用於產生其之至少一屬性對應於週期性取樣之一數位輸入信號之至少一特性之一物理效果的方法，該方法包括：

提供複數個靜電致動器元件，該複數個靜電致動器元件各包括在第一電極與第二電極之間移動之一移動元件，該複數個靜電致動器元件包含 N_r 個第一子集（ R 子集）之致動器元件及 N_c 個第二子集（ C 子集）之致動器元件，其中該複數個致動器元件之一第一劃分產生該等 N_r 個第一子集（ R 子集）且該複數個致動器元件之一第二劃分產生該等 N_c 個第二子集（ C 子集）；

提供互連各 R 子集中之致動器元件之移動元件之第一

複數個 N_r 電氣連接件 (R 佈線)，使得各個別 R 子集中之任何致動器元件之移動元件係電連接至該個別 R 子集中之全部其他致動器元件之移動元件，並且與未在該個別 R 子集中之全部致動器元件之移動元件電隔離；

提供互連各 C 子集中之致動器元件之第一電極之第二複數個 N_c 電氣連接件 (A 佈線)，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第一電極係電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第一電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；

提供互連各 C 子集中之致動器元件之第二電極之第三複數個 N_c 電氣連接件 (B 佈線)，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第二電極係電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第二電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；及

使用連接至該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件之一控制器，以接收一數位輸入信號，且對該等電氣連接件之各者分別施加一預定、有限組之電位之一者，使得該等移動元件之所得移動一起產生所期望之物理效果。

27. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中該物理效果為定義下列屬性之聲音：音量；及音高；其中該數位輸入信號具有下列特性：振幅；及頻率；且其中該數位輸入信號之振幅對應於該聲音之音量且該數位輸入信號之頻率對應於該聲音之音高。

28. 如申請專利範圍第 19 項之裝置，其中各移動元件係回應於由該控制器施加之電位而操作用於從與該第二電極相比更接近該第一電極之一第一極限位置，移動至與該第一電極相比更接近該第二電極之一第二極限位置，並返回；

且其中，每隔一致動時脈循環，該控制器係操作用於計算一淨_移動數量，該淨_移動數量之特徵為：在該個別時脈循環期間，若 $m1$ 個移動元件係從該第一極限位置釋放且 $m2$ 個移動元件係從該第二極限位置釋放，且 $m2 - m1 = \text{淨}_\text{移動}$ ，則在該個別時脈循環期間產生該物理效果。

29. 如申請專利範圍第 28 項之裝置，其中該控制器另外係操作用於每隔一時脈循環判定有效施加之電位，當分別施加至該第一複數個 Nr 電氣連接件（R 佈線）、該第二複數個 Nc 電氣連接件（A 佈線），以及該第三複數個 Nc 電氣連接件（B 佈線）時，該等有效施加之電位係操作用於實現：

- 從該第一極限位置釋放 $k1$ 個移動元件
- 從該第二極限位置釋放 $k2$ 個移動元件

使得 $k1 - k2$ 足夠接近淨_移動以出於一給定應用之目的而產生充分緊密地類似該目標物理效果的一物理效果。

30. 如申請專利範圍第 29 項之裝置，其中在各致動時脈循環下，藉由從該等極限位置之至少一者中釋放零個元

件而最小化從兩個極限位置釋放之移動元件之總數量。

31. 如申請專利範圍第 22 項之方法，其中該控制器包含一定標器。

32. 如申請專利範圍第 29 項之裝置，其中在各致動時脈循環下，除非存在對於其而言 k_1-k_2 較接近淨_移動的一較高總數量，否則最小化從兩個極限位置釋放之移動元件之總數量。

33. 如申請專利範圍第 29 項之裝置，其中在各致動時脈循環下，若淨_移動為正或零： $k_1=2\times$ 淨_移動且 $k_2=$ 淨_移動。

34. 如申請專利範圍第 33 項之裝置，其中若淨_移動為負： $k_1=$ 淨_移動且 $k_2=2\times$ 淨_移動。

35. 如申請專利範圍第 29 項之裝置，其中在一單個致動時脈循環期間，該複數個移動元件之一些離開其等之極限位置之一者且仍未到達其等之極限位置之另一者，且該複數個移動元件之其他者在該單個致動時脈循環之前之一致動時脈循環期間，在離開其等之極限位置之一者之後到達其等之極限位置之另一者；

且其中由該控制器選擇該等有效施加之電位以確保在該單個致動時脈循環之前已從其等之極限位置之一者釋放之任何移動元件在一適當時脈循環期間到達相對極限位置。

36. 如申請專利範圍第 8 項之裝置，其中各移動元件係回應於由該控制器施加之該電位而操作用於從與該第二電

極相比更接近該第一電極之一第一極限位置，移動至與該第一電極相比更接近該第二電極之一第二極限位置，並返回，且其中此類移動係在 k 個致動時脈循環內完成，其中 k 為一正整數。

37. 如申請專利範圍第 29 項之裝置，其中：

- 各 R 子集包含 N_c 個移動元件
- 各 C 子集包含 N_r 個移動元件
- R 佈線編號為 0 至 N_r-1
- A 佈線及 B 佈線編號為 0 至 N_c-1
- 移動元件經編號使得各移動元件具有數字： $N_r \times C$ 子集數字 + R 子集數字。

38. 如申請專利範圍第 37 項之裝置，其中該控制器選擇有效施加之電位使得在各致動時脈循環下，當前處於 A 位置中之全部移動元件之數字形成一連續回繞序列，且當前處於 B 位置中之全部移動元件之數字亦形成一連續回繞序列。

39. 如申請專利範圍第 37 項之裝置，其中該控制器選擇該等有效施加之電位使得在各致動時脈循環下，除非存在對於其而言 k_1-k_2 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則當前處於該 A 位置中之全部移動元件之該等數字形成一單連續回繞序列，且當前處於該 B 位置中之全部移動元件之該等數字亦形成一單連續回繞序列。

40. 如申請專利範圍第 39 項之裝置，其中在任何致動時

脈循環下，當當前處於該 A 位置中之全部移動元件之該等數字及當前處於該 B 位置中之全部移動元件之該等數字各均未形成一單連續回繞序列時，該控制器選擇該等有效施加之電位，使得在一隨後致動時脈循環下，當前處於該 A 位置中之全部移動元件之該等數字再次形成一單連續回繞序列，且當前處於該 B 位置中之全部移動元件之該等數字亦再次形成一單連續回繞序列。

41. 如申請專利範圍第 39 項之裝置，其中在任何致動時脈循環下，當當前處於該 A 位置中之全部移動元件之該等數字及當前處於該 B 位置中之全部移動元件之該等數字各均未形成一單連續回繞序列時，該控制器選擇該等有效施加之電位，使得在一隨後致動時脈循環下，除非存在對於其而言 k_1-k_2 較接近淨移動之其他有效施加電位，否則當前處於該 A 位置中之全部移動元件之該等數字再次形成一單連續回繞序列，且當前處於該 B 位置中之全部移動元件之該等數字亦再次形成一單連續回繞序列。

42. 如申請專利範圍第 37 項之裝置，其中該控制器選擇該等有效施加之電位，使得在各致動時脈循環下，當前處於該 A 位置中之全部移動元件之該等數字形成 S 個連續回繞序列，且當前處於該 B 位置中之全部移動元件之該等數字亦形成 S 個連續回繞序列，其中 S 為一正整數。

43. 如申請專利範圍第 37 項之裝置，其中該控制器選擇該等有效施加之電位，使得在各致動時脈循環下，除非

存在對於其而言 k_1-k_2 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則當前處於該 A 位置中之全部移動元件之該等數字形成 S 個連續回繞序列，且當前處於該 B 位置中之全部移動元件之該等數字亦形成 S 個連續回繞序列，其中 S 為一正整數。

44. 如申請專利範圍第 43 項之裝置，其中在任何致動時脈循環下，當當前處於該 A 位置中之全部移動元件之該等數字及當前處於該 B 位置中之全部移動元件之該等數字各形成多於 S 個連續回繞序列時，該控制器選擇該等有效施加之電位，使得在一隨後致動時脈循環下，當前處於該 A 位置中之全部移動元件之該等數字再次僅形成 S 個連續回繞序列，且當前處於該 B 位置中之全部移動元件之該等數字亦再次僅形成 S 個連續回繞序列。

45. 如申請專利範圍第 43 項之裝置，其中在任何致動時脈循環下，當當前處於該 A 位置中之全部移動元件之該等數字及當前處於該 B 位置中之全部移動元件之該等數字各形成多於 S 個連續回繞序列時，該控制器選擇該等有效施加之電位，使得在一隨後致動時脈循環下，除非存在對於其而言 k_1-k_2 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則當前處於該 A 位置中之全部移動元件之該等數字再次僅形成 S 個連續回繞序列，且當前處於該 B 位置中之全部移動元件之該等數字亦再次僅形成 S 個連續回繞序列。

46. 如申請專利範圍第 37 項之裝置，其中該控制器選擇

該等有效施加之電位，使得在任何致動時脈循環期間從該第一極限位置釋放之任何移動元件之該等數字立即跟隨從該第一極限位置最新近釋放之該等移動元件之該等數字，在到達 $Nr \times Nc - 1$ 之後回調至 0。

47. 如申請專利範圍第 37 項之裝置，其中該控制器選擇該等有效施加之電位，使得除非存在對於其而言 $k1 - k2$ 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則在任何致動時脈循環期間從該第一極限位置釋放之任何移動元件之該等數字立即跟隨從該第一極限位置最新近釋放之該等移動元件之該等數字，在到達 $Nr \times Nc - 1$ 之後回調至 0。

48. 如申請專利範圍第 46 項之裝置，其中該控制器另外選擇該等有效施加之電位，使得在任何致動時脈循環期間從該第二極限位置釋放之任何移動元件之該等數字亦立即跟隨從該第二極限位置最新近釋放之該等移動元件之該等數字，在到達 $Nr \times Nc - 1$ 之後回調至 0。

49. 如申請專利範圍第 47 項之裝置，其中該控制器另外選擇該等有效施加之電位，使得除非存在對於其而言 $k1 - k2$ 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則在任何致動時脈循環期間從該第二極限位置釋放之任何移動元件之該等數字亦立即跟隨從該第二極限位置最新近釋放之該等移動元件之該等數字，在到達 $Nr \times Nc - 1$ 之後回調至 0。

50. 如申請專利範圍第 37 項之裝置，其中該控制器選擇該等有效施加之電位，使得除非存在對於其而言 $k1 - k2$

較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則在相同致動時脈循環期間從該第一極限位置釋放之全部移動元件全部處於一單個第一 C 子集中。

51. 如申請專利範圍第 50 項之裝置，其中該控制器另外選擇該等有效施加之電位，使得除非存在對於其而言 $k1-k2$ 較接近淨_移動之其他有效施加電位，否則該相同致動時脈循環期間從該第二極限位置釋放之全部移動元件全部處於一單個第二 C 子集中。

52. 如申請專利範圍第 22 項之方法，其中該控制器包含一量化器。

53. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中該控制器包含一定標器。

54. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中該控制器包含一量化器。

55. 如申請專利範圍第 54 項之裝置，其中該量化器使用抖動。

56. 如申請專利範圍第 52 項之裝置，其中該量化器使用抖動。

57. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中該控制器包含至少一位準偏移電路。

58. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中該控制器包含一低通濾波器。

59. 如申請專利範圍第 1 項之裝置，其中該控制器包含一取樣速率轉換器。

60. 如申請專利範圍第 22 項之方法，其中該控制器包含一低通濾波器。

61. 如申請專利範圍第 22 項之方法，其中該控制器包含一取樣速率轉換器。

62. 如申請專利範圍第 4 項之裝置，其中在無施加至該第一複數個 N_r 電氣連接件、該第二複數個 N_c 電氣連接件，以及該第三複數個 N_c 電氣連接件之任何電位下，諸如例如當該裝置斷電時，該等移動元件返回至位於該第一極限位置與該第二極限位置之間之一靜止位置；

其中該控制器另外包括造成一或多個該等移動元件從其等之靜止位置移動至該第一極限位置及該第二極限位置之一者的構件。

63. 如申請專利範圍第 62 項之裝置，其中該控制器能夠同時造成該致動器陣列內之該等移動元件之全部從其等之靜止位置移動至該第一極限位置及該第二極限位置之一者。

64. 如申請專利範圍第 62 項之裝置，其中該控制器能夠造成該等移動元件之一些從其等之靜止位置移動至該第一極限位置，且同時造成該等移動元件之其他者從其等之靜止位置移動至該第二極限位置。

65. 如申請專利範圍第 62 項之裝置，其中該控制器使用一單個預定、有限組之電位而實現移動元件從其等之靜止位置至該第一極限位置及該第二極限位置之一者之該移動，且實現移動元件在其等之第一極限位置與第二極

限位置之間之移動。

66. 如申請專利範圍第 65 項之裝置，其中該等電位之間之差在量值上不足以造成移動元件從其等之靜止位置處之平衡態直接移動至該等極限位置之一者。

67. 如申請專利範圍第 65 項之裝置，其中該控制器藉由對該第一複數個 N_r 電氣連接件、該第二複數個 N_c 電氣連接件，以及該第三複數個 N_c 電氣連接件之一或多個成員施加一預定序列之電位，而實現移動元件從其等之靜止位置移動至該第一極限位置及該第二極限位置之一者。

68. 如申請專利範圍第 67 項之裝置，其中該預定序列包括：

一 第一部分，其中該控制器重複改變施加至該第一複數個 N_r 電氣連接件、該第二複數個 N_c 電氣連接件，以及該第三複數個 N_c 電氣連接件之該等成員之該等電位之一或多者，使得一或多個電位中之此等變化造成該等移動元件以其等之機械共振頻率在其等之靜止位置周圍振盪；

一 第二部分，其中該控制器將最大化將各移動元件吸引朝向其待移動之極限位置之靜電力的一組電位，施加至該第一複數個 N_r 電氣連接件、該第二複數個 N_c 電氣連接件，以及該第三複數個 N_c 電氣連接件之該等成員。

69. 如申請專利範圍第 68 項之裝置，其中該控制器係操作用於在一時間點下定時將發生之從該第一部分至該第

二部分之一轉變，在該時間點中，與接近相對極限位置相比，該等移動元件之各者更接近其待移動之極限位置。

70. 如申請專利範圍第 68 項之裝置，其中該第一部分期間之一或多個電位中之該等變化在一頻率下週期性發生，該頻率為該等移動元件之該機械共振頻率之兩倍。

71. 如申請專利範圍第 29 項之裝置，其在一或多個致動時脈循環期間遭受起因於 k_1-k_2 與淨_移動之間之非零差（定址誤差）的定址雜訊，該定址雜訊具有一頻譜，其中該控制器包含一定址雜訊整形迴路，該定址雜訊整形迴路操作用於整形該定址雜訊之該頻譜，使得定址雜訊能量在所關注之一頻帶內減小且在所關注之該頻帶外增加。

72. 如申請專利範圍第 71 項之裝置，其中該雜訊整形迴路具有一迴路濾波器，該迴路濾波器具有一脈衝回應且接收該定址雜訊，使得根據由該脈衝回應判定之一定址雜訊轉移函數整形該定址雜訊之該頻譜。

73. 如申請專利範圍第 29 項之裝置，其遭受起因於該致動器陣列中之致動器元件之數量小於該數位輸入信號可假定之可能值之數量的量化雜訊，該量化雜訊具有一頻譜；

其中該控制器包含一量化雜訊整形迴路，該量化雜訊整形迴路操作用於整形該量化雜訊之該頻譜，使得量化雜訊能量在所關注之一頻帶內減小且在所關注之該頻帶外增加。

74. 如申請專利範圍第 73 項之裝置，其中該雜訊整形迴路具有一迴路濾波器，該迴路濾波器具有一脈衝回應且接收量化雜訊，使得根據由該脈衝回應判定之一量化雜訊轉移函數整形該量化雜訊之該頻譜。

75. 如申請專利範圍第 29 項之裝置，其在一或多個致動時脈循環期間遭受起因於 k_1 - k_2 與淨_移動之間之非零差（定址誤差）的定址雜訊，該定址雜訊具有一定址雜訊波譜，且亦遭受起因於該致動器陣列中之致動器元件之該數量小於該數位輸入信號可假定之可能值之該數量的量化雜訊，該量化雜訊具有一定址雜訊波譜；

其中該控制器包含一雜訊整形迴路，該雜訊整形迴路操作用於整形該定址雜訊及該量化雜訊二者之該等頻譜，使得定址雜訊能量及量化雜訊能量二者在所關注之一頻帶內減小且在所關注之該頻帶外增加。

76. 如申請專利範圍第 75 項之裝置，其中該雜訊整形迴路具有一單迴路濾波器，該單迴路濾波器具有一單脈衝回應且接收該定址雜訊及該量化雜訊之總和，使得根據由該單脈衝回應判定之一單雜訊轉移函數整形該定址雜訊及該量化雜訊之二者之該等頻譜。

77. 如申請專利範圍第 29 項之裝置，其在一或多個致動時脈循環期間遭受起因於 k_1 - k_2 與淨_移動之間之非零差（定址誤差）的定址雜訊，該定址雜訊具有一定址雜訊波譜，且亦遭受起因於該致動器陣列中之致動器元件之該數量小於該數位輸入信號可假定之可能值之該數量的

量化雜訊，該量化雜訊具有一量化雜訊波譜；

其中該控制器包含操作用於整形該定址雜訊之該頻譜之一定址雜訊整形迴路，以及操作用於整形該量化雜訊之該頻譜之一量化雜訊整形迴路，使得定址雜訊能量及量化雜訊能量在所關注之一頻帶內減小且在所關注之該頻帶外增加。

78. 如申請專利範圍第 77 項之裝置，其中：

該定址雜訊整形迴路具有一第一迴路濾波器，該第一迴路濾波器具有一第一脈衝回應且接收該定址雜訊

該量化雜訊整形迴路具有一第二迴路濾波器，該第二迴路濾波器具有一第二脈衝回應且接收該量化雜訊

使得根據由該第一脈衝回應判定之一第一雜訊轉移函數整形該定址雜訊之該頻譜，且根據由該第二脈衝回應判定之一第二雜訊轉移函數整形該量化雜訊之該頻譜。

79. 如申請專利範圍第 68 項之裝置，其中該第二部分之持續時間至少為該等移動元件之該機械共振週期 (T_{res}) 之一半。

80. 如申請專利範圍第 37 項之裝置，其中該控制器在各致動時脈循環下產生：

控制施加至該等 R 佈線 R_0 至 $R(N_r-1)$ 之各者之電位的 N_r 個 R 信號 r_0 至 $r(N_r-1)$ ；

控制施加至該等 A 佈線 A_0 至 $A(N_c-1)$ 之各者之電位的 N_c 個 A 信號 a_0 至 $a(N_c-1)$ ；及

控制施加至該等 B 佈線 B_0 至 $B(N_c-1)$ 之各者之電位

的 N_c 個 B 信號 b_0 至 $b(N_c-1)$ 。

81. 如申請專利範圍第 80 項之裝置，其中 R 信號至 R 佈線之分配、A 信號至 A 佈線之分配及 B 信號至 B 佈線之分配係固定的，使得：

該等 R 信號 r_0 至 $r(N_r-1)$ 之各者總是控制相同 R 佈線；

該等 A 信號 a_0 至 $a(N_c-1)$ 之各者總是控制相同 A 佈線；

且該等 B 信號 b_0 至 $b(N_c-1)$ 之各者總是控制相同 B 佈線。

82. 如申請專利範圍第 82 項之裝置，其中該控制器在該裝置之操作期間改變 R 信號至 R 佈線之該分配及/或 A 信號至 A 佈線之該分配及 B 信號至 B 佈線之該分配。

83. 如申請專利範圍第 82 項之裝置，其中 R 信號至 R 佈線之該分配及/或 A 信號至 A 佈線之該分配及 B 信號至 B 佈線之該分配中之該等變化係週期性發生。

84. 如申請專利範圍第 82 項之裝置，其中 R 信號至 R 佈線之該分配及/或 A 信號至 A 佈線之該分配及 B 信號至 B 佈線之該分配中之該等變化係與致動時脈同時發生。

85. 如申請專利範圍第 82 項之裝置，其中 R 信號至 R 佈線之該分配及/或 A 信號至 A 佈線之該分配及 B 信號至 B 佈線之該分配中之該等變化改變移動元件隨後從該等極限位置之一者中釋放的順序。

86. 如申請專利範圍第 82 項之裝置，其中 R 信號至 R 佈

線之該分配及/或 A 信號至 A 佈線之該分配及 B 信號至 B 佈線之該分配中之該等變化整形起因於由各致動器元件產生之該物理效果之量值差的不匹配雜訊之頻譜，使得由該裝置產生之該物理效果整體上更緊密地類似該目標物理效果。

87. 如申請專利範圍第 86 項之裝置，其中該不匹配雜訊之該頻譜之該整形包括減小該不匹配雜訊之該頻譜中之峰值之量值。

88. 如申請專利範圍第 82 項之裝置，其中 A 信號至 A 佈線及 B 信號至 B 佈線之該分配中之該等變化包含調換兩個 A 信號及各自 B 信號，使得先前分別由一第一 A 信號及一第一 B 信號控制之一第一 A 佈線及一第一 B 佈線變成分別由一第二 A 信號及一第二 B 信號控制，且先前分別由該第二 A 信號及該第二 B 信號控制之一第二 A 佈線及一第二 B 佈線變成分別由該第一 A 信號及該第一 B 信號控制。

89. 如申請專利範圍第 82 項之裝置，其中該控制器係操作用於識別可調換之 A 信號及各自 B 信號之組，且若該等組之可調換 A 信號及各自 B 信號之至少一者具有多於一個成員，則該控制器判定 A 信號至 A 佈線及各自 B 信號至 B 佈線之一新分配。

90. 如申請專利範圍第 82 項之裝置，其中 R 信號至 R 佈線之該分配包含調換兩個 R 信號，使得先前由一第一 R 信號控制之一第一 R 佈線變成由一第二 R 信號控制，且

先前由該第二 R 信號控制之一第二 R 佈線變成由該第一 R 信號控制。

91. 如申請專利範圍第 82 項之裝置，其中該控制器係操作用於識別可調換之 R 信號之組，且若該等組之可調換 R 信號之至少一者具有多於一個成員，則該控制器判定 R 信號至 R 佈線之一新分配。

92. 如申請專利範圍第 91 項之裝置，其中該控制器係操作用於識別可調換之 R 信號之組，使得對於一組可調換之 R 信號內之任何特定 R 信號而言，其 R 佈線當前由該特定 R 信號控制之 R 子集中之移動元件，以及其 R 佈線當前由相同組之可調換 R 信號內之另一 R 信號控制之全部 R 子集中之移動元件全部係處於相同位置中且（若在移動中）在相同方向上移動。

93. 如申請專利範圍第 91 項之裝置，其中該控制器係操作用於識別可調換之 R 信號之組，使得對於一組可調換之 R 信號內之任何特定 R 信號，且對於從 0 上至且包含 N_c-1 之任何數字 i 而言，C 子集 i 及其 R 佈線當前由該特定 R 信號控制之 R 子集之交點處之移動元件，係處於與 C 子集 i 及其 R 佈線當前由該相同組之可調換 R 信號內之該等 R 信號之任何其他者控制之任何其他 R 子集之交點處之移動元件相同的位置中且（若在移動中）在相同方向上移動。

94. 如申請專利範圍第 91 項之裝置，其中在判定 R 信號至 R 佈線之該新分配時該控制器採用一偽隨機數字產生

器。

95. 如申請專利範圍第 91 項之裝置，其中該控制器係操作用於識別可調換之 R 信號之組，使得對於一組可調換之 R 信號內之各特定 R 信號，當前施加至由該特定 R 信號控制之該 R 佈線之電位係與當前施加至由該相同組可調換之 R 信號內之任何其他 R 信號控制之任何 R 佈線之電位相同。

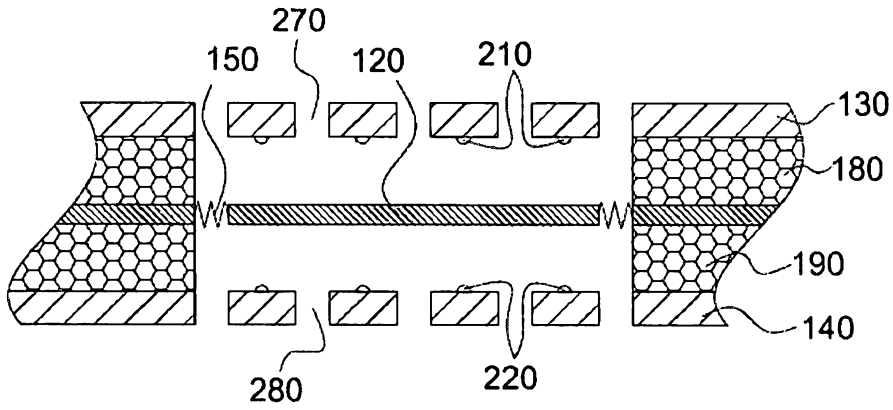
96. 如申請專利範圍第 89 項之裝置，其中該控制器係操作用於識別可調換之 A 信號及各自 B 信號之組，使得對於一組可調換之 A 信號及各自 B 信號內之各特定 A 信號及各自 B 信號而言，當前施加至由該特定 A 信號及各自 B 信號控制之該 A 佈線及各自 B 佈線之電位，係與當前施加至由該相同組可調換之 A 信號及各自 B 信號內之任何其他 A 信號及各自 B 信號控制之任何 A 佈線及各自 B 佈線之電位相同。

97. 如申請專利範圍第 89 項之裝置，其中該控制器係操作用於識別可調換之 A 信號及各自 B 信號之組，使得對於一組可調換之 A 信號及各自 B 信號內之任何特定 A 信號及特定 B 信號而言，其 A 佈線及 B 佈線當前分別由該特定 A 信號及該特定 B 信號控制之 C 子集中之移動元件，以及其 A 佈線及 B 佈線當前由相同組之可調換 A 信號及各自 B 信號內之另一 A 信號及其各自 B 信號控制之全部 C 子集中之移動元件，係全部處於相同位置中且(若在移動中)在相同方向上移動。

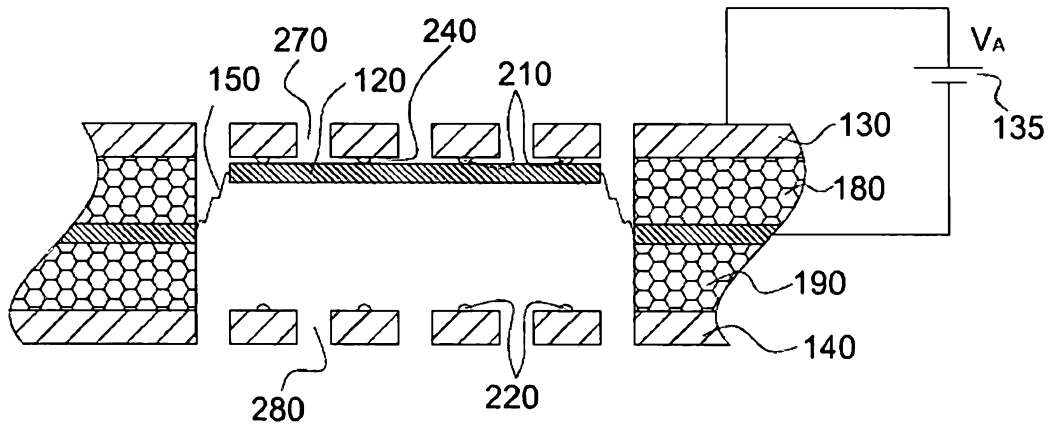
98. 如申請專利範圍第 89 項之裝置，其中該控制器係操作用於識別可調換之 A 信號及各自 B 信號之組，使得對於一組可調換之 A 信號及各自 B 信號內之任何特定 A 信號及特定 B 信號，且對於從 0 上至且包含 N_r-1 之任何數字 i 而言， R 子集 i 及其 A 佈線及 B 佈線當前分別由該特定 A 信號及該特定 B 信號控制之 C 子集之交點處之移動元件，係處於與 R 子集 i 及其 A 佈線及 B 佈線當前由相同組之可調換 A 信號內之該等 A 信號之一者及其各自 B 信號控制之任何其他 C 子集之交點處之移動元件相同的位置中且（若在移動中）在相同方向上移動。

99. 如申請專利範圍第 89 項之裝置，其中在判定 A 信號至 A 佈線及各自 B 信號至 B 佈線之該新分配時該控制器採用一偽隨機數字產生器。

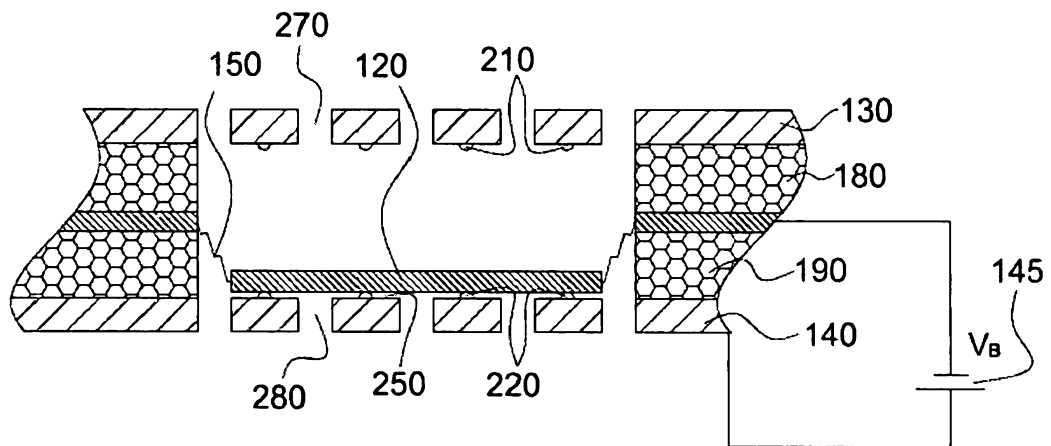
八、圖式：



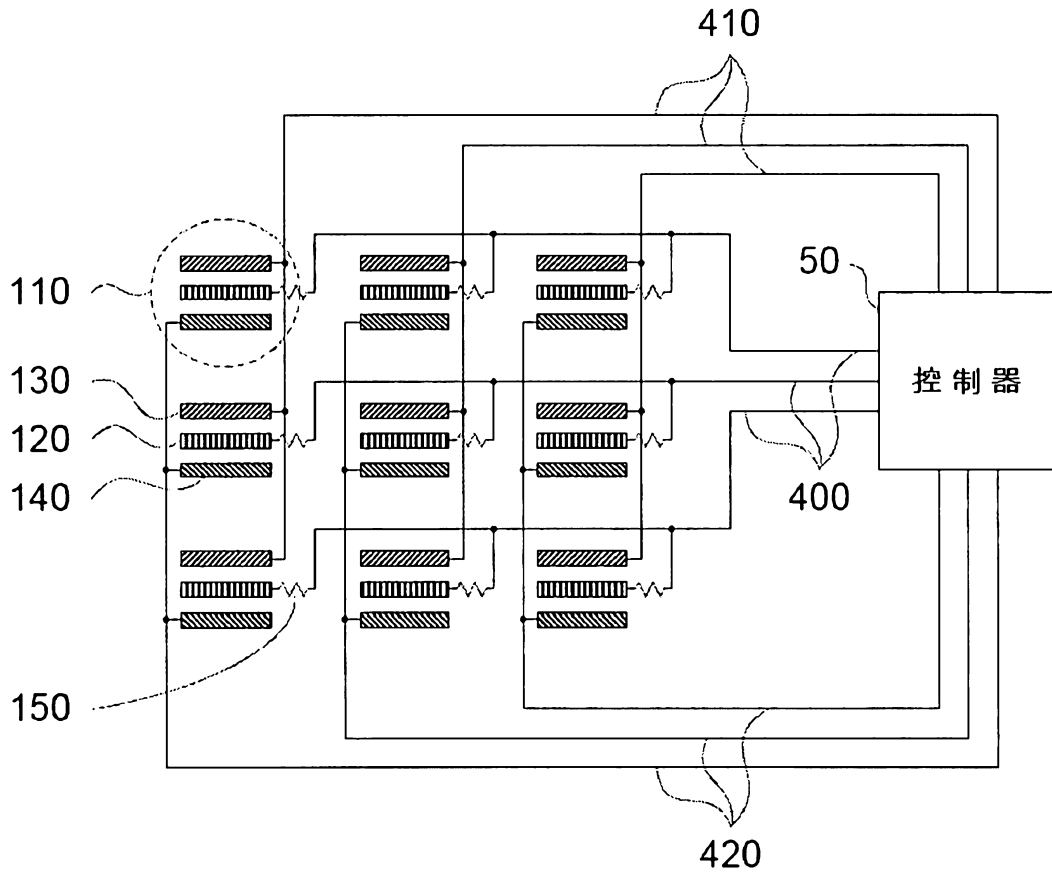
第 1A 圖



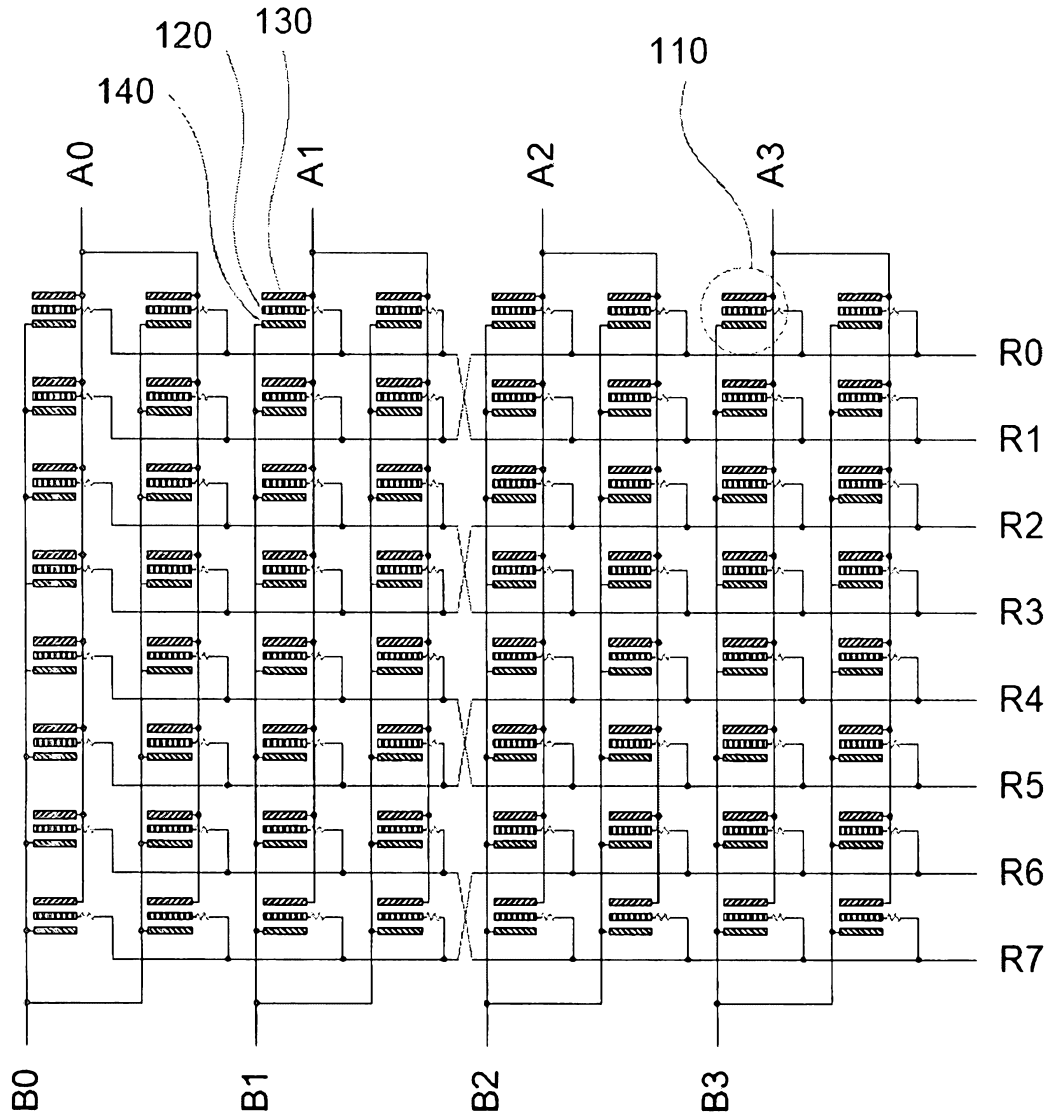
第 1B 圖



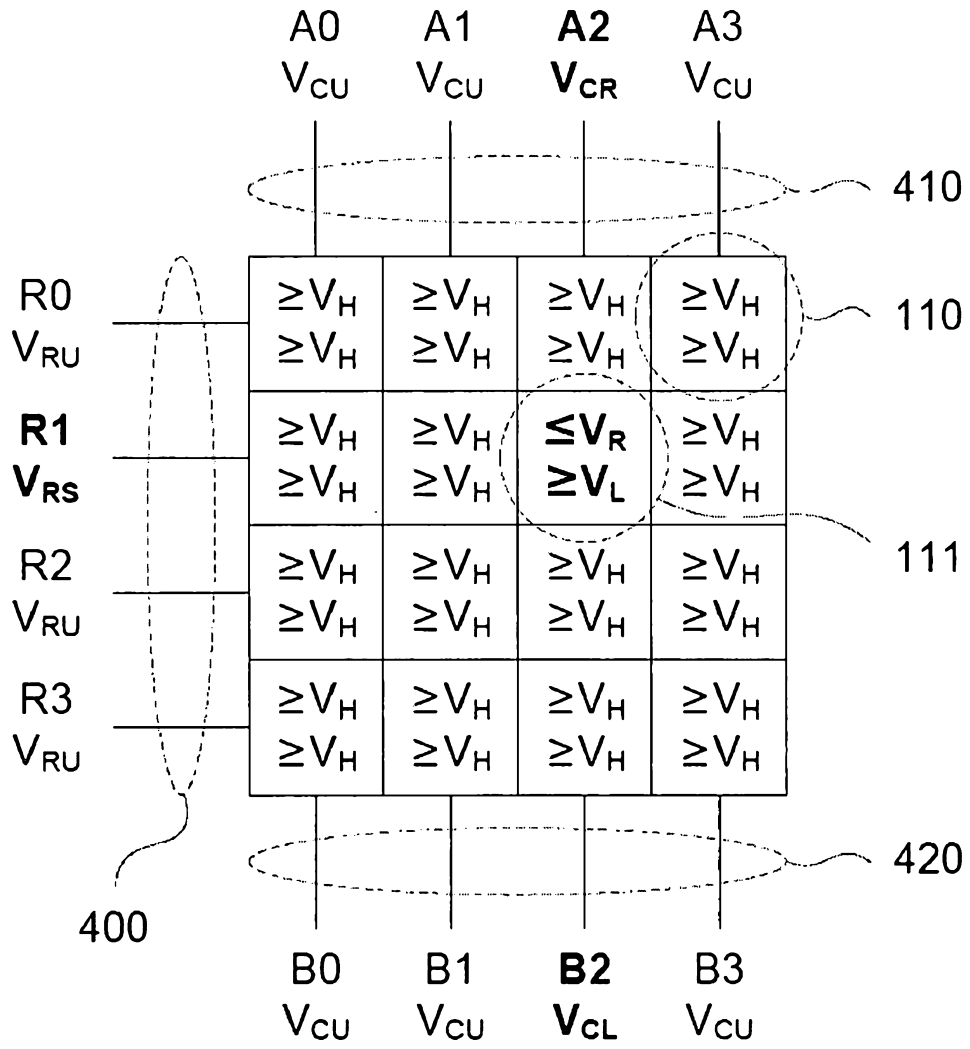
第 1C 圖



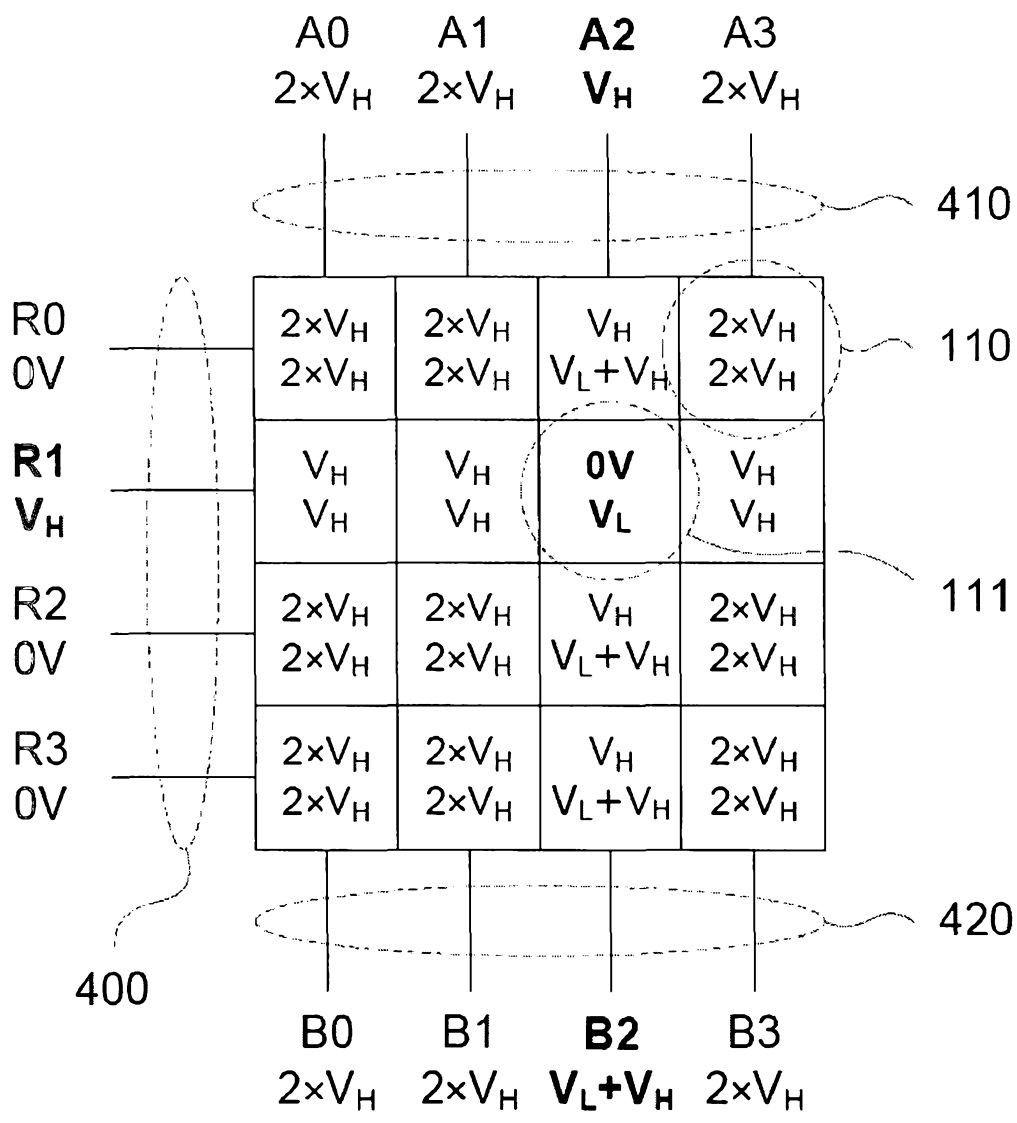
第 2 圖



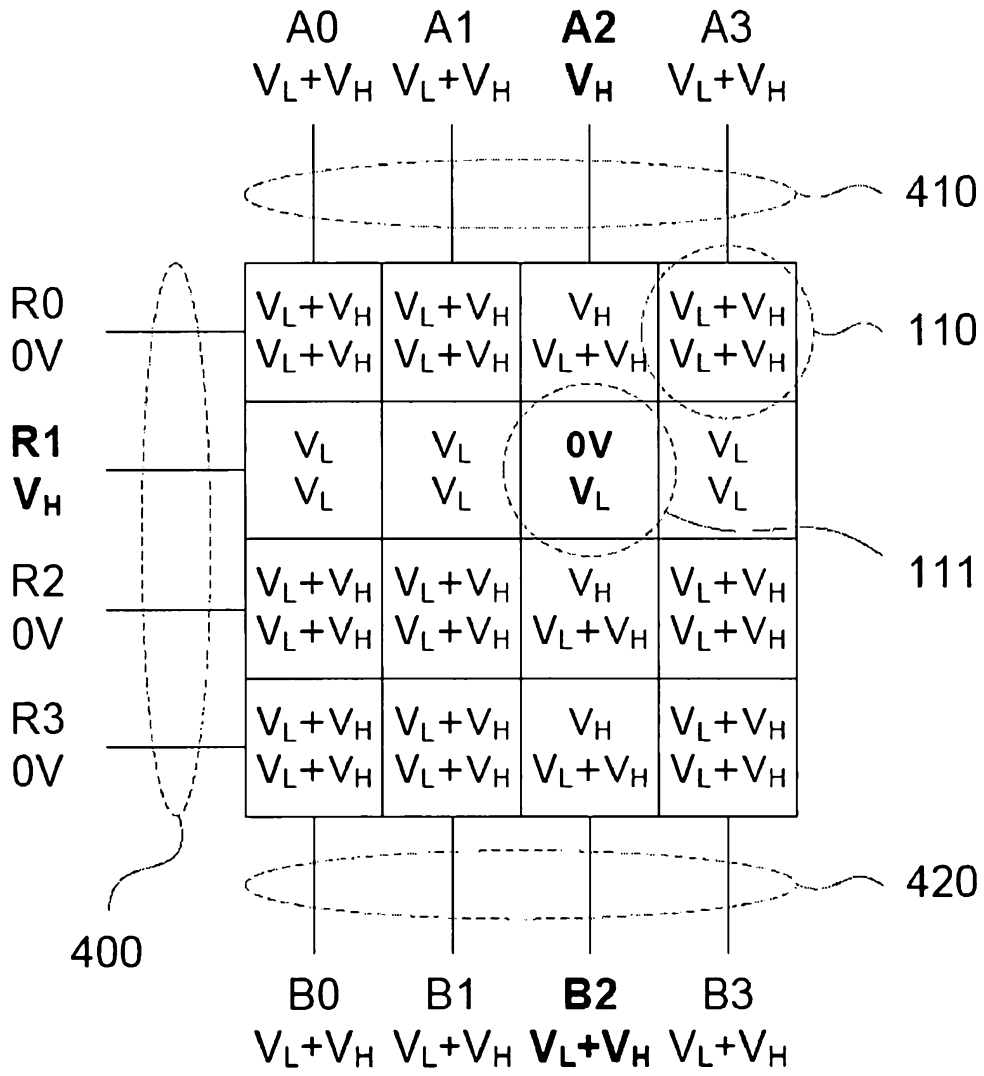
第 3 圖



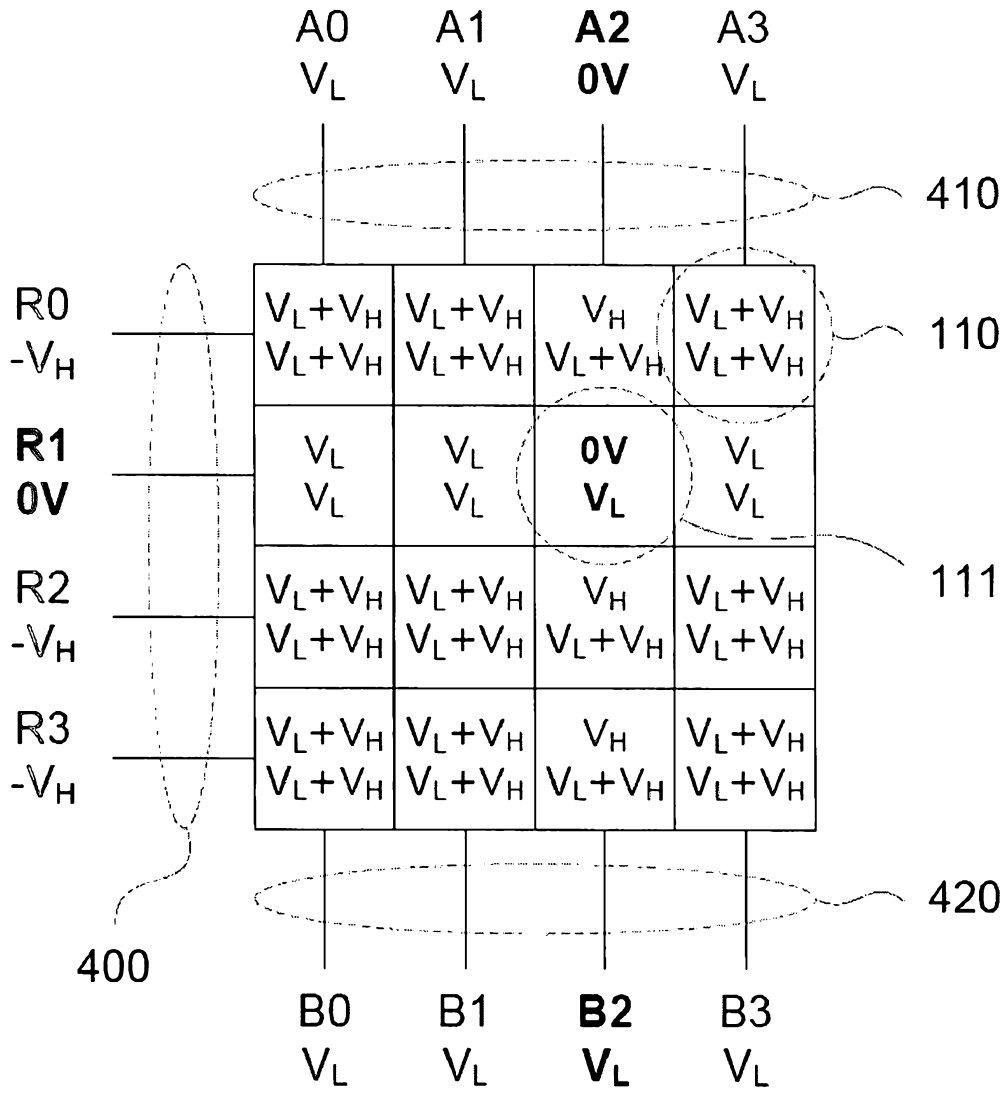
第 4 圖



第 5 圖



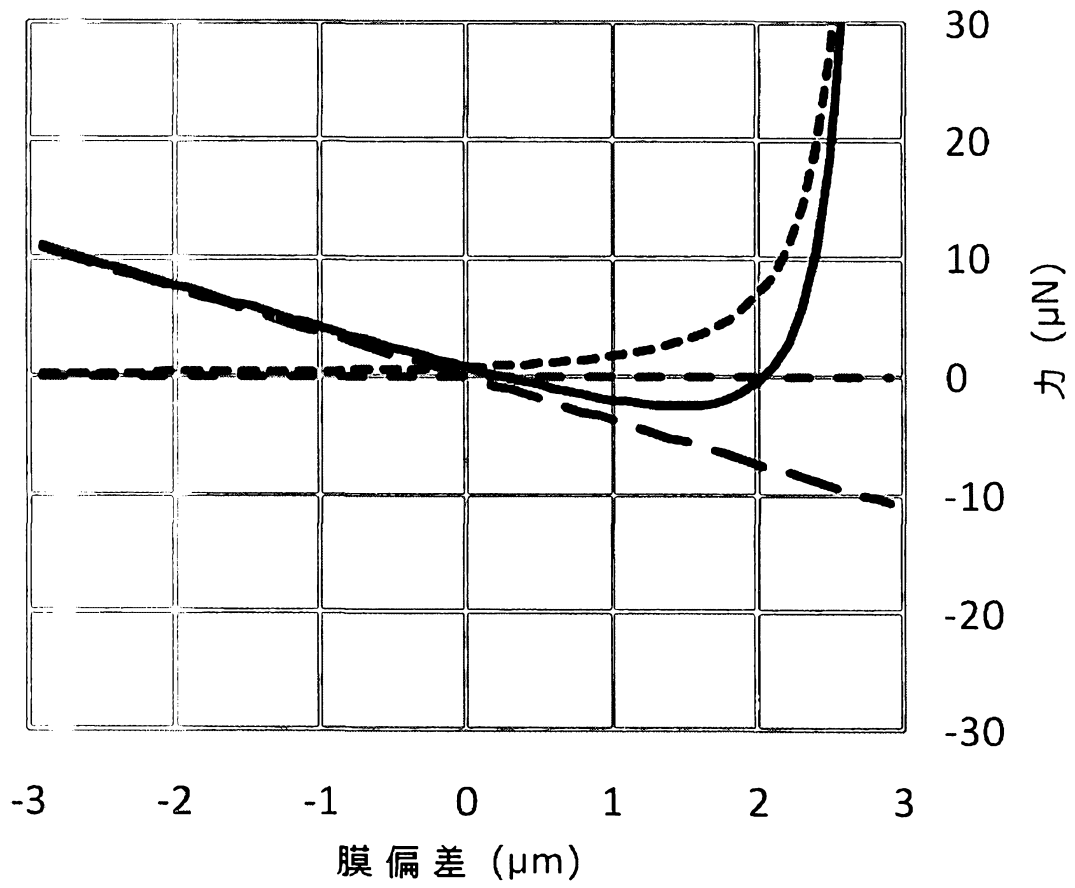
第 6 圖



第 7 圖

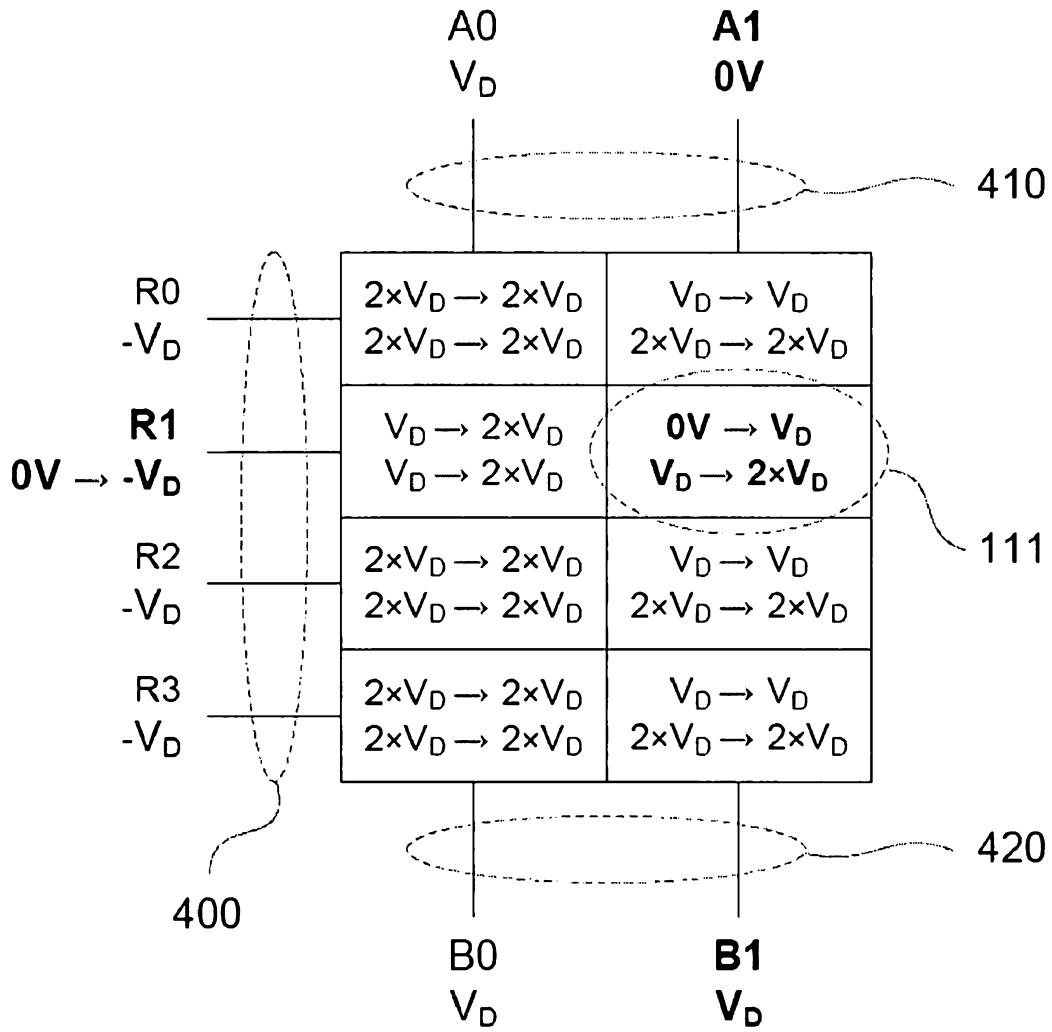
| 驅動 方案 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|------------------------|---------------------|-------------|------------------------|-------------|
| V_{RS} | $\geq V_H$ | $\geq V_H$ | 0 | $\leq -V_H$ | 0 |
| V_{RU} | 0 | 0 | $\leq -V_H$ | 0 | $\geq V_H$ |
| V_{CR} | $\geq V_H$ | $\geq V_H$ | 0 | $\leq -V_H$ | 0 |
| V_{CL} | $\geq V_L + V_{RS}$ | $\geq V_L + V_{RS}$ | $\geq V_L$ | $\leq -(V_L + V_{RS})$ | $\leq -V_L$ |
| V_{CU} | $\geq 2 \times V_{RS}$ | $\geq V_L + V_{RS}$ | $\geq V_L$ | $\leq -(V_L + V_{RS})$ | $\leq -V_L$ |

第 8 圖



- - - A-力 - · - B-力
 — · — 彈力 — 總力

第 9 圖



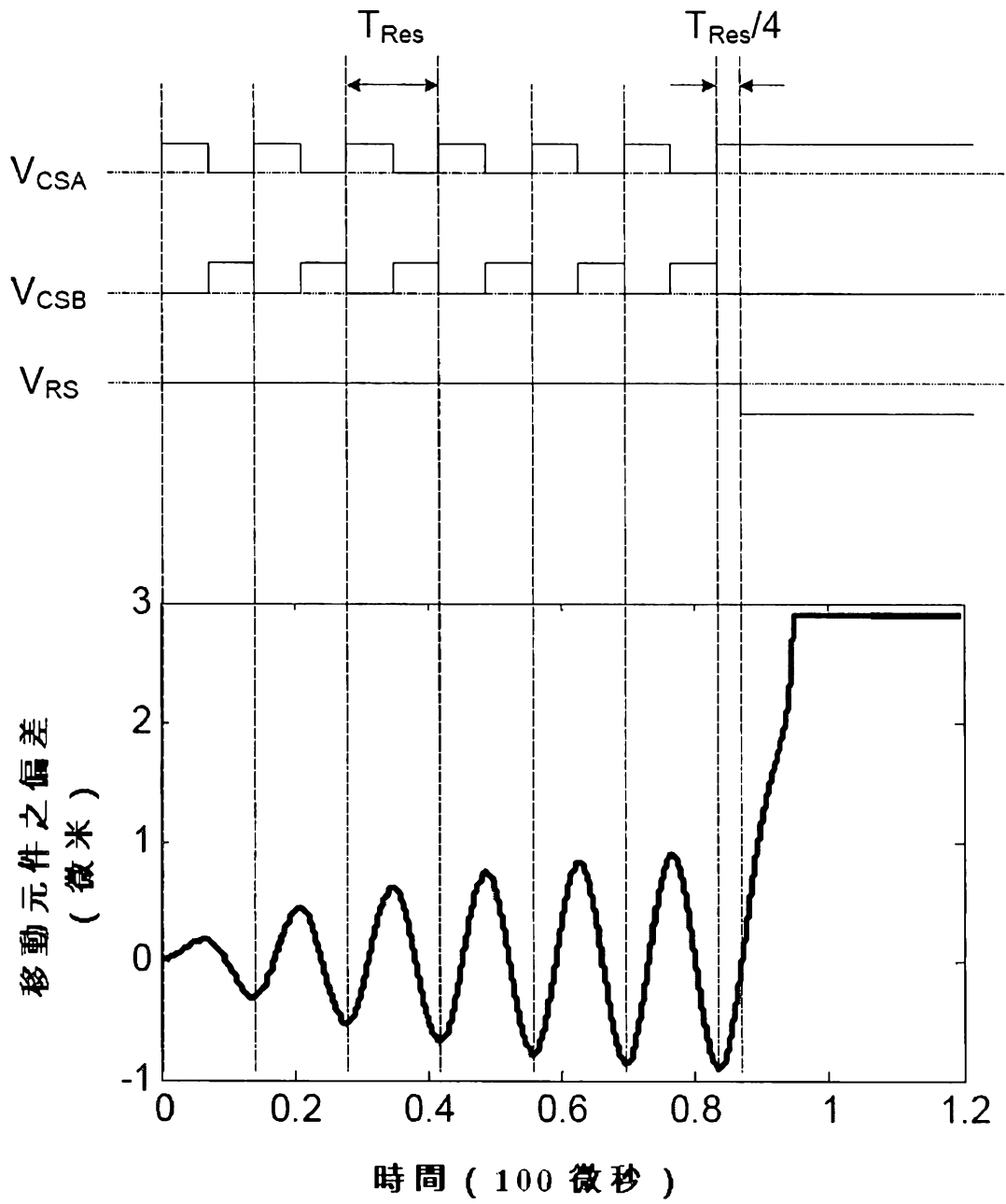
第 10 圖

| 驅動方案 | | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------|------|--------------------------------|-----------------------------|--------|----------------|--------|
| V_{RS} | 階段 1 | $\geq V_H$ | 0 | 0 | $+V_D$ | 0 |
| | 階段 2 | 0 | $\leq -V_H$ | $-V_D$ | 0 | $-V_D$ |
| V_{RU} | 階段 1 | 0 | $\leq -V_H$ | $-V_D$ | 0 | $-V_D$ |
| | 階段 2 | 0 | $\leq -V_H$ | $-V_D$ | 0 | $-V_D$ |
| V_{CR} | 階段 1 | $\geq V_H$ | 0 | 0 | $+V_D$ | 0 |
| | 階段 2 | $\geq V_H$ | 0 | 0 | $+V_D$ | $+V_D$ |
| V_{CL} | 階段 1 | $\geq \max(V_L, 2 \times V_H)$ | $\geq \max(V_L - V_H, V_H)$ | $+V_D$ | $2 \times V_D$ | $+V_D$ |
| | 階段 2 | $\geq \max(V_L, 2 \times V_H)$ | $\geq \max(V_L - V_H, V_H)$ | $+V_D$ | $2 \times V_D$ | $+V_D$ |
| V_{CU} | 階段 1 | $\geq \max(V_L, 2 \times V_H)$ | $\geq \max(V_L - V_H, V_H)$ | $+V_D$ | $2 \times V_D$ | $+V_D$ |
| | 階段 2 | $\geq \max(V_L, 2 \times V_H)$ | $\geq \max(V_L - V_H, V_H)$ | $+V_D$ | $2 \times V_D$ | $+V_D$ |

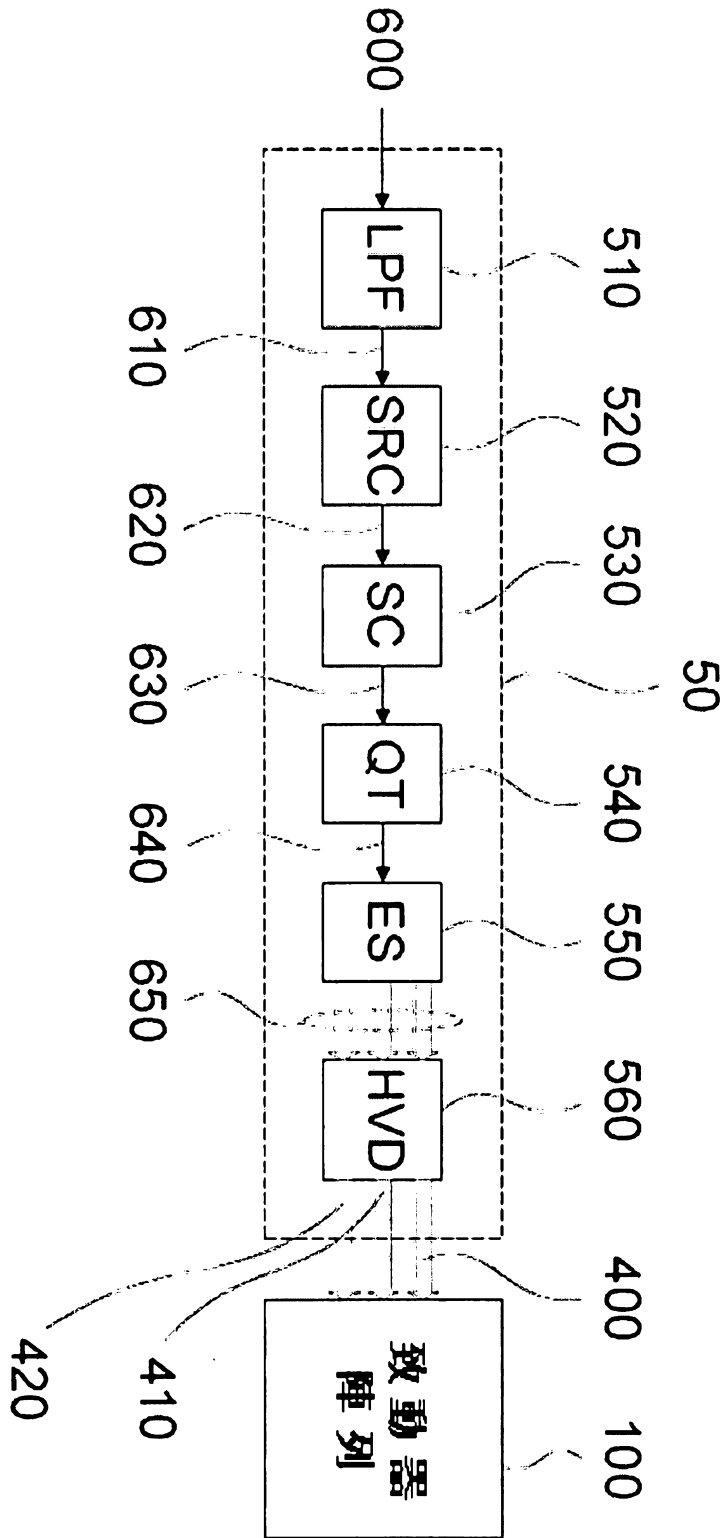
第 11 圖

| 驅動方案 | | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 |
|----------|------|-------------|--------|--------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| V_{RS} | 階段 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 階段 2 | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ |
| V_{RU} | 階段 1 | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ |
| | 階段 2 | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ | $-V_D$ |
| V_{CR} | 階段 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | 階段 2 | 0 or $+V_D$ | 0 | $+V_D$ | 0 or $+V_D$ | 0 | $+V_D$ | 0 or $+V_D$ |
| V_{CL} | 階段 1 | $+V_D$ | 0 | 0 | 0 | 0 or $+V_D$ | 0 or $+V_D$ | 0 or $+V_D$ |
| | 階段 2 | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ |
| V_{CU} | 階段 1 | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ |
| | 階段 2 | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ | $+V_D$ |

第 12 圖



第 13 圖



第 14 圖

第 15 圖

1510: 實行如參考圖 13 所述之初始化程序, 使全部 C 子集之一些 (通常一半) 之全部其等之移動元件處於 A 位置中 (「滿」), 且其他 C 子集之全部其等之元件處於 B 位置中 (「空」)。初始化程序以全部 R 信號、A 信號及 B 信號「斷開」為結束。

↓

1520: 選擇一數字 d (例如, 任何任意數字) 使得存在編號 d 之一 R 子集。

↓

1530: 選擇一數字 e (例如, 任何任意數字) 使得編號 e 之 C 子集為空。

↓

1540: 選擇一數字 f (例如, 任何任意數字) 使得存在編號 f 之一 R 子集。

↓

1550: 選擇一數字 g (例如, 任何任意數字) 使得編號 g 之一 C 子集為滿。

↓

1560: 將內部變量 N_a 初始化成當前處於 A 位置中之移動元件之數量

↓

1570: 每致動時脈循環執行主迴路 (例如, 根據圖 16) 一次

第 17 圖

1710: 若在最後致動時脈循環期間，除 b(e) 之外之任何 A 信號，或者任何 B 信號為「閉通」：參看圖 23。

↓

1720: 若在最後致動時脈循環期間，除 b(e) 之外無任何 A 信號，且無任何 B 信號為「閉通」，則實行下列操作之一些或全部：

A: 「接通」 b(e)，且「關斷」全部其他 A 信號及 B 信號。

B: 若先前致動時脈循環期間編號在 d 與 d+淨_移動-1 之間之任何 R 信號為「閉通」：實行圖 18 之方法

C: 若先前致動時脈循環期間無編號在 d 與 d+淨_移動-1 之間之 R 信號為「閉通」：實行圖 19 之方法

↓

1730: 按當前「閉通」之 R 信號之數量增加 N_a

↓

跳轉至主迴路中之步驟 1650 (例如，根據圖 16)

第 18 圖

1810: 「接通」編號從 d 上至 (且包含) 在先前致動時脈循環期間為
「斷開」之最低編號之 R 信號 (若存在) 的任何 R 信號



1820: 「斷開」全部其他 R 信號



1830: 按當前「接通」之 R 信號之數量增加 d



跳轉至圖 17 之步驟 1730

第 19 圖

1910: 若 $d + \text{淨}_\text{移動} > N_r$, 則實行下列操作之一些或全部 :

A: 「接通」編號從 d 上至 (且包含) $N_r - 1$ 之全部 R 信號。

B: 「關斷」全部其他 R 信號

C: 設定 $d = 0$

D: 若 $e = N_c - 1$, 則設定 $e = 0$; 否則按 $-$ 增加 e

↓

1920: 若 $d + \text{淨}_\text{移動} - 1 < N_r$, 則實行下列操作之一些或全部 :

A: 「接通」編號從 d 上至 (且包含) $d + \text{淨}_\text{移動} - 1$ 的全部 R 信號。

B: 「關斷」全部其他 R 信號

C: 按 $\text{淨}_\text{移動}$ 增加 d 。

↓

跳轉至圖 17 中之步驟 1730

第 20 圖

2010: 若最後致動時脈循環期間除 $a(g)$ 之外之任何 B 信號, 或者任何 A 信號為「開通」, 則實行圖 23 之方法。

↓

2020: 若最後致動時脈循環期間除 $a(g)$ 之外無任何 B 信號, 且無任何 A 信號為「開通」, 則實行下列操作之一些或全部:

A: 「接通」 $A(g)$, 且「關斷」全部其他 A 信號及 B 信號。

B: 若先前致動時脈循環期間編號在 f 與 f -淨_移動-1 之間之任何 R 信號為「開通」: 實行圖 21 之方法

C: 若先前致動時脈循環期間無編號在 f 與 f -淨_移動-1 之間之任何 R 信號為「開通」: 實行圖 22 之方法

↓

2030: 按當前「開通」之 R 信號之數量增加 N_a

↓

跳轉至主迴路中之步驟 1650 (圖 16)

第 21 圖

2110: 「接通」編號從 f 上至 (且包含) 先前致動時脈循環期間為「斷開」之最低編號之 R 信號 (若存在) 的任何 R 信號。

↓

2120: 「斷開」全部其他 R 信號

↓

2130: 按當前「接通」之 R 信號之數量增加 f

↓

跳轉至圖 20 中之步驟 2030

第 22 圖

2210: 若 $f\text{-淨}_\text{移動} > N_r$:

A: 「接通」編號從 f 上至 (且包含) N_r-1 之全部 R 信號。

B: 「關斷」全部其他 R 信號

C: 設定 $f=0$

D: 若 $g=N_c-1$, 則設定 $g=0$; 否則按 $-$ 增加

↓

2220: 若 $f\text{-淨}_\text{移動} = N_r$, 則實行下列操作之一些或全部 :

A: 「接通」編號從 f 上至 (且包含) $f\text{-淨}_\text{移動}-1$ 之全部 R 信號。

B: 「關斷」全部其他 R 信號

C: 按淨_{移動}增加 f

↓

跳轉至圖 20 中之步驟 2030

第 23 圖

2310: 「關斷」全部 R 信號



2320: 若先前致動時脈循環期間 N_a 變化, 則實行下列操作之一些或全部:

A: 使任何 A 信號或 B 信號保持「開通」為先前致動時脈循環期間為
「開通」之 A 信號或 B 信號。

B: 「關斷」全部其他 A 信號及 B 信號



2330: 若先前致動時脈循環 N_a 未變化, 則「關斷」全部 A 信號及
全部 B 信號。



返回。

| | A0 | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 00 | 08 | 10 | 18 | 20 | 28 | 30 | 38 | R0 |
| | 01 | 09 | 11 | 19 | 21 | 29 | 31 | 39 | R1 |
| | 02 | 0A | 12 | 1A | 22 | 2A | 32 | 3A | R2 |
| | 03 | 0B | 13 | 1B | 23 | 2B | 33 | 3B | R3 |
| | 04 | 0C | 14 | 1C | 24 | 2C | 34 | 3C | R4 |
| | 05 | 0D | 15 | 1D | 25 | 2D | 35 | 3D | R5 |
| | 06 | 0E | 16 | 1E | 26 | 2E | 36 | 3E | R6 |
| | 07 | 0F | 17 | 1F | 27 | 2F | 37 | 3F | R7 |
| | B0 | B1 | B2 | B3 | B4 | B5 | B6 | B7 | |

⋮

第 24 圖

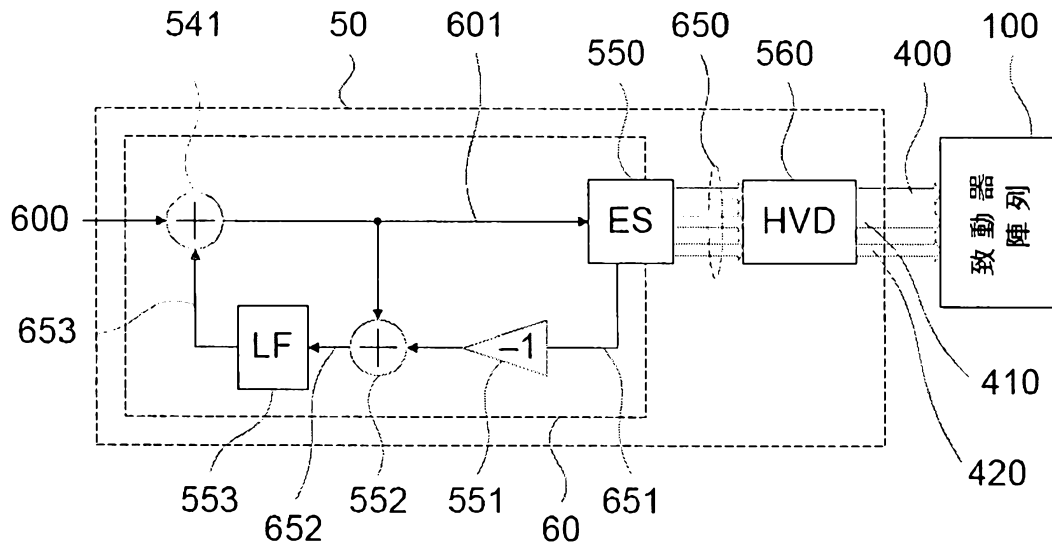
| | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A'0 | A'6 | A'2 | A'3 | A'4 | A'5 | A'1 | A'7 | |
| | 00 | 08 | 10 | 18 | 20 | 28 | 30 | 38 | R'0 |
| | 01 | 09 | 11 | 19 | 21 | 29 | 31 | 39 | R'1 |
| | 02 | 0A | 12 | 1A | 22 | 2A | 32 | 3A | R'2 |
| | 03 | 0B | 13 | 1B | 23 | 2B | 33 | 3B | R'3 |
| | 04 | 0C | 14 | 1C | 24 | 2C | 34 | 3C | R'5 |
| | 05 | 0D | 15 | 1D | 25 | 2D | 35 | 3D | R'4 |
| | 06 | 0E | 16 | 1E | 26 | 2E | 36 | 3E | R'7 |
| | 07 | 0F | 17 | 1F | 27 | 2F | 37 | 3F | R'6 |
| ... | | | | | | | | | |
| | B'0 | B'6 | B'2 | B'3 | B'4 | B'5 | B'1 | B'7 | |

第 25 圖

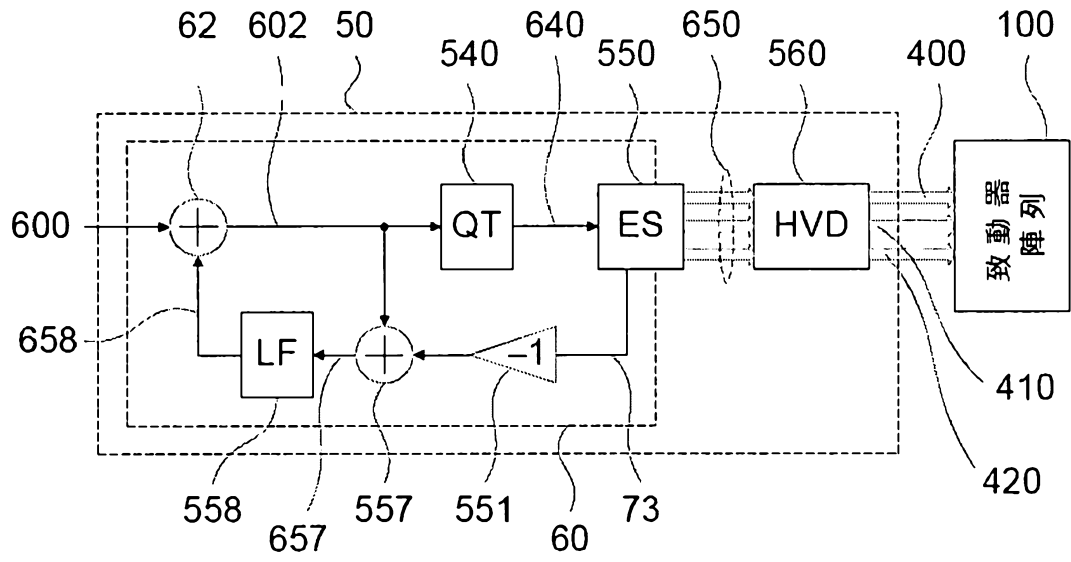
| | | | | | | | | | |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--|
| A'0 | A'1 | A'2 | A'6 | A'4 | A'5 | A'3 | A'7 | | |
| 00 | 08 | 10 | 30 | 20 | 28 | 18 | 38 | R'0 | |
| 06 | 0E | 16 | 36 | 26 | 2E | 1E | 3E | R'6 | |
| 02 | 0A | 12 | 32 | 22 | 2A | 1A | 3A | R'2 | |
| 03 | 0B | 13 | 33 | 23 | 2B | 1B | 3B | R'3 | |
| 04 | 0C | 14 | 34 | 24 | 2C | 1C | 3C | R'4 | |
| 05 | 0D | 15 | 35 | 25 | 2D | 1D | 3D | R'5 | |
| 01 | 09 | 11 | 31 | 21 | 29 | 19 | 39 | R'1 | |
| 07 | 0F | 17 | 37 | 27 | 2F | 1F | 3F | R'7 | |
| B'0 | B'1 | B'2 | B'6 | B'4 | B'5 | B'3 | B'7 | | |

...

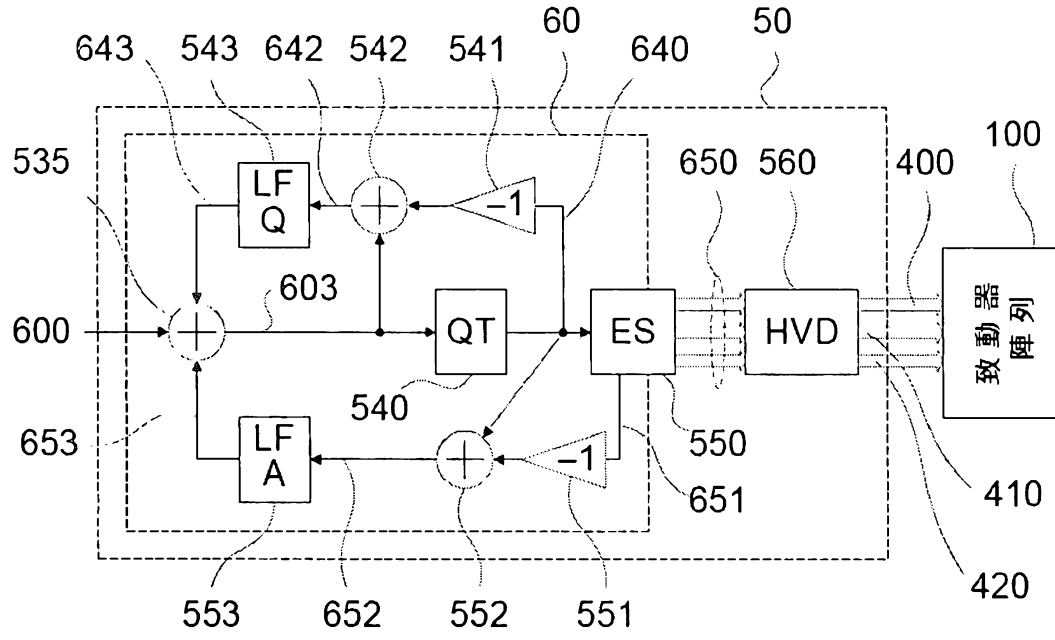
第 26 圖



第 27 圖



第 28 圖



第 29 圖

四、指定代表圖：

(一) 本案指定代表圖為：第 (1) 圖。

(二) 本代表圖之元件符號簡單說明：

| | |
|-----|------|
| 120 | 移動元件 |
| 130 | 電極 |
| 135 | 電壓 |
| 140 | 電極 |
| 145 | 電壓 |
| 150 | 支承件 |
| 180 | 間隔件 |
| 190 | 間隔件 |
| 210 | 凹坑 |
| 220 | 凹坑 |
| 240 | 氣隙 |
| 250 | 氣隙 |
| 270 | 孔 |

五、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

無

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：100/43345

※ 申請日期：100.11.25

※ IPC 分類：

H04R 1/60

H04R 19/02

一、發明名稱：(中文/英文)

用於致動器陣列之個別定址及雜訊減小之裝置及方法

APPARATUS AND METHODS FOR INDIVIDUAL ADDRESSING AND NOISE
REDUCTION IN ACTUATOR ARRAYS

二、中文發明摘要：

本發明揭示用於產生一目標物理效果之裝置，該目標物理效果之至少一屬性對應於週期性取樣之一數位輸入信號之至少一特性，該裝置包括：複數個靜電致動器元件，其等各包括在第一電極與第二電極之間移動之一移動元件，該複數個靜電致動器元件包含 N_r 個第一子集 (R 子集) 之致動器元件及 N_c 個第二子集 (C 子集) 之致動器元件，其中該複數個致動器元件之一第一劃分產生該等 N_r 個第一子集 (R 子集) 且該複數個致動器元件之一第二劃分產生該等 N_c 個第二子集 (C 子集)；第一複數個 N_r 電氣連接件 (R 佈線)，其等互連各 R 子集中之致動器元件之移動元件，使得各個別 R 子集中之任何致動器元件之移動元件電連接至該個別 R 子集中之全部其他致動器元件之移動元件，並且與未在該個別 R 子集中之全部致動器元件之移動元件電隔離；第二複數個 N_c 電氣連接件 (A 佈線)，其等互連各 C 子集中之致動器元件之第一電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第一電極電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第一電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；第三複數個 N_c 電

發明專利說明書

(本說明書格式、順序，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※ 申請案號：100/43345

※ 申請日期：100.11.25

※ IPC 分類：

H04R 1/60

H04R 19/02

一、發明名稱：(中文/英文)

用於致動器陣列之個別定址及雜訊減小之裝置及方法

APPARATUS AND METHODS FOR INDIVIDUAL ADDRESSING AND NOISE
REDUCTION IN ACTUATOR ARRAYS

二、中文發明摘要：

本發明揭示用於產生一目標物理效果之裝置，該目標物理效果之至少一屬性對應於週期性取樣之一數位輸入信號之至少一特性，該裝置包括：複數個靜電致動器元件，其等各包括在第一電極與第二電極之間移動之一移動元件，該複數個靜電致動器元件包含 N_r 個第一子集 (R 子集) 之致動器元件及 N_c 個第二子集 (C 子集) 之致動器元件，其中該複數個致動器元件之一第一劃分產生該等 N_r 個第一子集 (R 子集) 且該複數個致動器元件之一第二劃分產生該等 N_c 個第二子集 (C 子集)；第一複數個 N_r 電氣連接件 (R 佈線)，其等互連各 R 子集中之致動器元件之移動元件，使得各個別 R 子集中之任何致動器元件之移動元件電連接至該個別 R 子集中之全部其他致動器元件之移動元件，並且與未在該個別 R 子集中之全部致動器元件之移動元件電隔離；第二複數個 N_c 電氣連接件 (A 佈線)，其等互連各 C 子集中之致動器元件之第一電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第一電極電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第一電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；第三複數個 N_c 電

氣連接件 (B 佈線)，其等互連各 C 子集中之致動器元件之第二電極，使得各個別 C 子集中之任何致動器元件之第二電極電連接至該個別 C 子集中之全部其他致動器元件之第二電極，並且與未在該個別 C 子集中之全部致動器元件電隔離；及電連接至該第一、該第二及該第三複數個電氣連接件之一控制器，該控制器操作用於接收一數位輸入信號，且操作用於對該等電氣連接件之各者分別施加一預定、有限組之電位之一者，使得該等移動元件之所得移動一起產生所期望之物理效果。

三、英文發明摘要：

Apparatus for generating a target physical effect, at least one attribute of which corresponds to at least one characteristic of a digital input signal sampled periodically, the apparatus comprising a multiplicity of electrostatic actuator elements, each comprising a moving element moving between first and second electrodes, the multiplicity of electrostatic actuator elements including N_r first subsets (R-subsets) of actuator elements and N_c second subsets (C-subsets) of actuator elements, wherein a first partitioning of the multiplicity of actuator elements yields the N_r first subsets (R-subsets) and a second partitioning of the multiplicity of actuator elements yields the N_c second subsets (C-subsets); a first plurality of N_r electrical connections (R-wires) interconnecting the moving elements of actuator elements in each R-subset, such that the moving element of any actuator element in each individual R-subset is electrically connected to the moving elements of all other actuator elements in the individual R-subset, and electrically isolated from the moving elements of all actuator elements not in the individual R-subset; a second plurality of N_c electrical connections (A-wires) interconnecting the first electrodes of actuator elements in each C-subset, such that the first electrode of any actuator element in each individual C-subset is electrically connected to the first electrode of all other actuator elements in the