



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 602 23 785 T2 2008.10.30

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 331 201 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 602 23 785.8

(96) Europäisches Aktenzeichen: 02 027 514.5

(96) Europäischer Anmeldetag: 05.12.2002

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 30.07.2003

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: 28.11.2007

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 30.10.2008

(51) Int Cl.⁸: **B81B 3/00** (2006.01)

G02B 26/08 (2006.01)

G02B 26/10 (2006.01)

(30) Unionspriorität:
52169 17.01.2002 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LI, LU, MC, NL, PT, SE, SI, SK, TR

(73) Patentinhaber:
Microsoft Corp., Redmond, Wash., US

(72) Erfinder:
Sinclair,J. Michael, Kirkland, Washington 98033, US

(74) Vertreter:
Grünecker, Kinkeldey, Stockmair & Schwanhäusser, 80802 München

(54) Bezeichnung: **Struktur mit thermischem Aktuator mit einem aus der Fläche biegenden Balken**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelebt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung**Gebiet der Erfindung**

[0001] Die Erfindung betrifft MEMS-Aktuatoren (Microelectromechanical System MEMS, mikroelektromechanisches System) und insbesondere thermische MEMS-Aktuatoren, die mittels Joule'scher Erwärmung aktiviert bzw. betätigt werden.

Hintergrund der Erfindung

[0002] MEMS-Aktuatoren ermöglichen die Steuerung sehr kleiner Bauelemente, die auf Halbleitersubstraten mittels herkömmlicher Halbleiterherstellungsprozesse (beispielsweise CMOS) hergestellt werden. MEMS-Systeme und Aktuatoren werden bisweilen als mikrogefertigte chipinterne Systeme (micro-machined systems-on-a-chip) bezeichnet.

[0003] Einer der gängigen MEMS-Aktuatoren ist der elektrostatische Aktuator oder Kammtrieber. Üblicherweise umfassen derartige Aktuatoren zwei Kammstrukturen, die jeweils mehrere Kammspitzen aufweisen, die in einer parallel zu einem Substrat verlaufenden Ebene ausgerichtet sind. Die Spitzen der beiden Kammstrukturen stehen miteinander in Wechselwirkung. Potenzialdifferenzen, die an die Kammstrukturen angelegt werden, bewirken eine elektrostatische Wechselwirkung zwischen beiden, wodurch sich die Kammstrukturen aufeinander zu und voneinander weg bewegen.

[0004] Die Vorteile eines derartigen elektrischen Aktuators liegen darin, dass er einen niedrigen Strom benötigt, was zu einer niedrigen Betätigungsenergie führt, und er ein vergleichsweise hohes Frequenzansprechvermögen aufweist. Die Nachteile liegen darin, dass er hohe Treiberspannungen (so beispielsweise Dutzende oder Hunderte von Volt) benötigt, große Flächen einnimmt und niedrige Ausgabekräfte bereitstellt. (Elektrostatische) Kammtriebsaktuatoren, die in Mikrostruktur anwendungen Verwendung finden, nehmen üblicherweise ein Vielfaches der Fläche der Vorrichtung ein, bei der sie eingesetzt sind. Zudem können die Hochspannungen (von beispielsweise Dutzenden oder Hunderten von Volt), die zum Betreiben der elektrostatischen Aktuatoren erforderlich sind, inkompatibel sein und eine Integration mit gängigen logischen elektronischen Niederspannungsbauelementen verhindern.

[0005] Ein pseudo-bimorpher thermischer Aktuator stellt eine Alternative zu einem elektrostatischen Aktuator dar. Diese Aktuatoren bedienen sich einer differenziellen Wärmeausdehnung von zwei unterschiedlich bemessenen Polysiliziumarmen, um einen pseudo-bimorphen Körper zu bilden, der sich in einem Bogen parallel zu dem Substrat verbiegt. Ein derartiger thermischer Aktuator erzeugt viel höhere

Kräfte (100 bis 400 Mal) pro Einheitsvolumen als Kammtriebsaktuatoren und kann bei sehr niedrigen Spannungen betrieben werden. Derartige Aktuatoren sind auf eine Schwenk- oder Bogenbewegung in der Ebene des Aktuators beschränkt.

[0006] Der Beitrag „1D and 2D Scanning Mirrors Using Thermal Buckle-Beam Actuation“ von M. J. Sinclair, veröffentlicht bei Device and Process Technologies for MEMS and Microelectronic II, Proceedings of SPIE, Band 4592 (2001), Seiten 307 bis 314, beschreibt Mikrospiegel mit linearem Ablenverhalten für Systeme, die eindimensionale und zweidimensionale optische Abtastmuster benötigen.

[0007] [Fig. 25](#) der Druckschrift WO98/35258 zeigt ein Zeilenrastersystem bzw. Rasterscannersystem, das zwei aktivierte Spiegel und einen stationären Spiegel umfasst.

Zusammenfassung der Erfindung

[0008] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht darin, eine verbesserte thermische mikroelektromechanische Aktuatorstruktur bereitzustellen.

[0009] Die Aufgabe wird durch die Erfindung gemäß Beanspruchung in dem unabhängigen Anspruch gelöst.

[0010] Bevorzugte Ausführungsbeispiele sind in den abhängigen Ansprüchen niedergelegt.

[0011] Bei der vorliegenden Erfindung wird ein mikroelektromechanischer Aktuator in Form von thermischen sich aus einer Ebene herausbiegenden Stäben verwendet, wobei der Aktuator auf einem planaren Substrat eines Halbleitermaterials (beispielsweise Silizium) ausgebildet ist. Der Aktuator enthält erste und zweite Verankerungen, die an dem Substrat befestigt sind, sowie mehrere längliche thermische Biegestäbe, die zwischen den Verankerungen befestigt sind. Die Biegestäbe sind aus einem Halbleitermaterial, so beispielsweise aus Silizium, gebildet.

[0012] Eine Quelle für zyklischen Strom leitet zyklischen elektrischen Strom durch die thermischen Biegestäbe über die Verankerungen, um eine Wärmeausdehnung der Biegestäbe und somit eine zyklische Biegebewegung derselben aus der Ebene des Substrates heraus (das heißt von diesem weg) zu bewirken. Bei einer Implementierung weist der Aktuator einen charakteristischen Resonanzablenkfrequenzbereich auf, und der zyklische Strom ist von einer ersten Frequenz innerhalb des Resonanzablenkfrequenzbereiches.

[0013] Die bei der vorliegenden Erfindung verwendeten Aktuatoren ermöglichen eine aus der Ebene heraus erfolgende Bewegung mit Kräften, die mit her-

kömmlichen thermischen Aktuatoren vergleichbar sind. Die Resistivität von Silizium ermöglicht, dass die Aktuatoren bei Spannungen und Strömen arbeiten, die mit integrierten Standardschaltkreisen (beispielsweise CMOS) verträglich sind. Darüber hinaus sind die bei der vorliegenden Erfindung verwendeten Aktuatoren der Fläche nach sehr klein und bieten eine vergleichsweise hohe Kraft. Das Verständnis der vorliegenden Erfindung wird durch den Umstand vertieft, dass diese elektrisch angeregte Bewegung in Mikromotoren, optischen Abtastvorrichtungen, optischen MEMS-Anwendungsmechanismen und anderen Bereichen, in denen eine mechanische Bewegung im Mikromaßstab von Nöten ist, eingesetzt werden kann. Die Aktuatorstruktur der vorliegenden Erfindung umfasst ein Paar von Queraktuatoren und einen aus der Ebene heraus klappbaren Spiegel, die derart zusammenwirken, dass sie einen Videoraster-scanner bilden.

[0014] Zusätzliche Aufgaben und Vorteile der vorliegenden Erfindung erschließen sich aus der Detailbeschreibung eines bevorzugten Ausführungsbeispieles derselben, die sich unter Bezugnahme auf die begleitende Zeichnung anschließt.

Kurzbeschreibung der Zeichnung

[0015] [Fig. 1](#) bis [Fig. 15](#) sind Querschnittsansichten eines allgemeinen MEMS-Multiuserprozesses, der aus dem Stand der Technik zur Herstellung von mikroelektromechanischen Vorrichtungen bekannt ist. Die Querschraffuren sind weggelassen, um die dargestellte Struktur und den dargestellten Prozess aus dem Stand der Technik deutlicher zu machen.

[0016] [Fig. 16](#) ist eine diagrammatische Planansicht eines zum Verständnis nützlichen mikroelektromechanischen Aktuators in Form von thermischen sich aus einer Ebene herausbiegenden Stäben.

[0017] [Fig. 17](#) ist eine diagrammatische Seitenansicht des Aktuators von [Fig. 16](#) in einem entspannten Zustand.

[0018] [Fig. 18](#) ist eine diagrammatische Seitenansicht des Aktuators von [Fig. 16](#) in einem aktivierten bzw. betätigten Zustand.

[0019] [Fig. 19](#) ist eine vergrößerte Seitenansicht, die einen zum Verständnis der vorliegenden Erfindung nützlichen Biegestab in einem entspannten Zustand mit Vorspannungsstrukturen darstellt, die eine Vorspannung oder Vorneigung bzw. Prädisposition für den Biegestab derart bereitstellen, dass sich dieser von dem Substrat weg biegt.

[0020] [Fig. 20](#) ist eine vergrößerte Seitenansicht, die einen zum Verständnis der vorliegenden Erfindung nützlichen Biegestab in einem betätigten Zu-

stand mit Vorspannungsstrukturen darstellt, die eine Vorspannung oder Vorneigung bzw. Prädisposition für den Biegestab derart bereitstellen, dass sich dieser von dem Substrat weg biegt.

[0021] [Fig. 21](#) ist ein Graph, der obere und untere Winkelablenkgrenzen als Funktion der Frequenz darstellt, um einen Resonanzbetrieb eines zum Verständnis der vorliegenden Erfindung nützlichen Aktuators zu erläutern.

[0022] [Fig. 22](#) ist eine diagrammatische Planansicht einer Beispielsimplementierung einer mikroelektromechanischen Aktuatorbaugruppe mit mehreren zum Verständnis der vorliegenden Erfindung nützlichen Aktuatoren in Form von sich aus der Ebene heraus biegenden Stäben.

[0023] [Fig. 23](#) ist eine diagrammatische Planansicht eines Paares von mikroelektromechanischen Aktuatoren in Form von thermischen sich aus einer Ebene heraus biegenden Stäben, die derart angeordnet sind, dass sie zusammen als Teil eines Videorasterscanners arbeiten.

[0024] [Fig. 24](#) ist eine schematische Seitenansicht, die den Betrieb der Aktuatoren von [Fig. 23](#) als Videorasterscanner darstellt.

[0025] [Fig. 25](#) und [Fig. 26](#) sind eine Plan- bzw. Seitenansicht eines Klappspiegels, der bei dem Videorasterscanner von [Fig. 24](#) Verwendung findet.

[0026] [Fig. 27](#) ist eine Planansicht des Videorasterscanners von [Fig. 24](#).

[0027] [Fig. 28A](#) bis [Fig. 28D](#) zeigen schematisch eine Implementierung von aufeinanderfolgenden Schritten zur Herstellung und zum Betrieb des Videorasterscanners von [Fig. 24](#) und [Fig. 27](#).

Detailbeschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

[0028] Um das Verständnis der vorliegenden Erfindung zu verbessern, wird anhand von [Fig. 1](#) bis [Fig. 15](#) die allgemeine Vorgehensweise bei der Herstellung von mikromechanischen Vorrichtungen bei Verwendung eines MUMPs-Prozesses erläutert.

[0029] Der MUMPs-Prozess stellt drei Schichten von konformem Polysilizium bereit, die geätzt werden, um eine gewünschte physikalische Struktur zu erzeugen. Die erste Schicht, die mit POLY 0 bezeichnet wird, wird mit einem Trägerwafer verbunden, wobei die zweite Schicht POLY 1 und die dritte Schicht POLY 2 jeweils mechanische Schichten darstellen, die von der darunterliegenden Struktur durch die Verwendung von Hilfs- bzw. Opferschichten getrennt werden können und während des Prozesses besei-

tigt werden.

[0030] Die begleitenden Figuren zeigen einen allgemeinen Prozess der Herstellung eines Mikromotors, wie er von MEMS Technology Applications Center, 3021 Cornwallis Road, Research Triangle Park, North Carolina, hergestellt wird.

[0031] Der MUMPs-Prozess beginnt mit einem Siliziumwafer **10** vom n-Typ mit 100 mm. Die Waferoberfläche wird mit Phosphor in einem Standarddiffusionsofen unter Verwendung von POCl_3 als Dotierquelle stark dotiert. Hierdurch wird der Ladungsdurchfluss zum Silizium von elektrostatischen Vorrichtungen, die anschließend auf dem Wafer angebracht werden, verringert. Als Nächstes wird eine LPCVD-Siliziumnitridschicht **12** (Low Pressure Chemical Vapor Deposition LPCVD, chemische Dampfaufbringung bei niedrigem Druck) mit geringer Spannung und 600 nm als elektrische Isolationsschicht auf das Silizium aufgebracht. Der Siliziumwafer und die Siliziumnitridschicht bilden ein Substrat.

[0032] Als Nächstes wird eine LPCVD-Polysiliziumschicht **14** mit 500 nm – POLY 0 – auf das Substrat aufgebracht. Die POLY-0-Schicht **14** wird anschließend mittels Fotolithografie gemustert, das heißt mittels eines Prozesses, der umfasst: das Beschichten der POLY-0-Schicht mit einem Fotoresist **16**, das Freilegen des Fotoresist mit einer Maske (nicht gezeigt) und das Entwickeln des freiliegenden Fotoresist zum Zwecke der Herstellung der gewünschten Ätzmaske für eine nachfolgende Musterübertragung in die POLY-0-Schicht ([Fig. 2](#)). Nach der Musterung des Fotoresist wird die POLY-0-Schicht **14** in einem RIE-System (Reactive Ion Etch RIE, reaktives Ionenätzen) geätzt ([Fig. 3](#)).

[0033] Wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, wird eine PSG-Hilfs- bzw. Opferschicht **18** (phosphosilicate glass PSG, Phosphosilikatglas) mit 2,0 μm mittels LPCVD auf die POLY-0-Schicht **14** und freiliegende Abschnitte der Nitridschicht **102** aufgebracht. Diese PSG-Schicht, die hier als erstes Oxid bezeichnet wird, wird am Ende des Prozesses entfernt, um die erste mechanische Polysiliziumschicht POLY 1 (nachstehend noch beschrieben) von der Barunterliegenden Struktur, nämlich POLY 0 und den Siliziumnitridschichten, zu befreien. Die Hilfs- bzw. Opferschicht wird mit einer DIMPLES-Maske lithografisch gemustert, sodass Marken (Dimples) **20** in der Schicht des ersten Oxides durch RIE ([Fig. 5](#)) mit einer Tiefe von 750 nm gebildet werden. Der Wafer wird anschließend mit einer dritten Maskenschicht ANCHOR 1 gemustert und geätzt ([Fig. 6](#)), um Verankerungslöcher **22** bereitzustellen, die sich durch die Schicht des ersten Oxides zu der POLY-0-Schicht erstrecken. Die Löcher ANCHOR 1 werden im nächsten Schritt durch die POLY-1-Schicht **24** gefüllt.

[0034] Nach dem ANCHOR-1-Ätzen wird die erste Strukturschicht des Polysiliziums (POLY 1) **24** mit einer Dicke von 2,0 μm aufgebracht. Eine dünne PSG-Schicht **26** mit 200 nm wird anschließend auf die POLY-1-Schicht **24** aufgebracht, und der Wafer wird erwärmt und abgekühlt ([Fig. 7](#)), um die POLY-1-Schicht mit Phosphor aus den PSG-Schichten zu dotieren. Das Erwärmen und Abkühlen verringert darüber hinaus Spannungen in der POLY-1-Schicht. Die POLY-1- und PSG-Maskierschichten **24** und **26** werden lithografisch gemustert, um die Struktur der POLY-1-Schicht zu bilden. Nach dem Ätzen der POLY-1-Schicht ([Fig. 8](#)) wird der Fotoresist abgestreift, und es wird die verbleibende Oxidmaske durch RIE entfernt.

[0035] Nachdem die POLY-1-Schicht **24** geätzt worden ist, wird eine zweite PSG-Schicht **28** (nachstehend als „zweites Oxid“ bezeichnet) aufgebracht ([Fig. 9](#)). Das zweite Oxid wird unter Verwendung von zwei verschiedenen Ätzmasken mit verschiedenen Absichten gemustert.

[0036] Zunächst stellt eine POLY1_POLY2_VIA-Ätzung (mit **30** bezeichnet) Ätzlöcher in dem zweiten Oxid bis hinunter zur POLY-1-Schicht **24** bereit. Diese Ätzung bildet eine mechanische und elektrische Verbindung zwischen der POLY-1-Schicht und einer nachfolgenden POLY-2-Schicht. Die POLY1_POLY2_VIA-Schicht wird lithografisch gemustert und durch RIE geätzt ([Fig. 10](#)).

[0037] Als zweites wird eine ANCHOR2-Ätzung (mit **32** bezeichnet) vorgenommen, um sowohl die Schicht **18** des ersten Oxides wie auch die Schicht **28** des zweiten Oxides sowie die POLY-1-Schicht **24** in einem Schritt zu ätzen ([Fig. 11](#)). Für die ANCHOR2-Ätzung wird die zweite Oxidschicht lithografisch gemustert und durch RIE auf dieselbe Weise wie bei der POLY1_POLY2_VIA-Ätzung geätzt. [Fig. 11](#) zeigt den Waferquerschnitt, nachdem sowohl die POLY1_POLY2_VIA- wie auch die ANCHOR2-Ätzung fertiggestellt worden sind.

[0038] Eine zweite Strukturschicht POLY 2 **34** wird anschließend mit einer Dicke von 1,5 μm , gefolgt von der Aufbringung von PSG mit 200 nm aufgebracht. Der Wafer wird anschließend erwärmt und wieder abgekühlt, um die POLY-2-Schicht zu dotieren und die restlichen Schichtspannungen zu verringern. Als nächstes wird die POLY-2-Schicht lithografisch mit einer siebten Maske gemustert, und es werden die PSG- und POLY-2-Schichten durch RIE geätzt. Der Fotoresist kann anschließend abgestreift werden, und es wird das Maskeroxid entfernt ([Fig. 13](#)).

[0039] Die letzte aufgebrachte Schicht in dem MUMPs-Prozess ist eine Metallschicht **36** mit 0,5 μm , die das Sondenbilden (probing), das Anschließen (bonding), das elektrische Routen sowie hochreflek-

tive Spiegelflächen ermöglicht. Der Wafer wird lithografisch mit der achten Maske gemustert, und das Metall wird unter Verwendung einer Lift-off-Technik aufgebracht und gemustert. Die fertige nichtfreigelegte Beispielestruktur ist in [Fig. 14](#) gezeigt.

[0040] Als letztes werden die Wafer einer Hilfs- bzw. Opferfreisetzung und einem Test unter Verwendung bekannter Verfahren unterzogen. [Fig. 15](#) zeigt die Vorrichtung, nachdem die Hilfs- bzw. Opferoxide freigesetzt worden sind.

[0041] Bei den bevorzugten Ausführungsbeispielen wird die Vorrichtung der vorliegenden Erfindung durch den MUMPs-Prozess entsprechend den vorgeschriebenen Schritten hergestellt. Gleichwohl werden bei der Herstellung der vorliegenden Erfindung nicht die spezifischen Maskenmuster, die in dem allgemeinen Prozess in [Fig. 1](#) bis [Fig. 15](#) gezeigt sind, eingesetzt, sondern vielmehr Maskenmuster, die spezifisch für die Struktur der vorliegenden Erfindung sind. Zudem können sich die vorstehend für den MUMPs-Prozess beschriebenen Schritte gemäß Vorgabe durch das MEMS Technology Applications Center ändern. Der Herstellungsvorgang ist kein Teil der vorliegenden Erfindung und stellt nur einen von mehreren Prozessen dar, die zur Herstellung der vorliegenden Erfindung eingesetzt werden können.

[0042] [Fig. 16](#) ist eine diagrammatische Planansicht eines zum Verständnis der vorliegenden Erfindung nützlichen mikroelektromechanischen Aktuators **50** in Form von thermischen sich aus einer Ebene herausbiegenden Stäben. Der Aktuator **50** enthält ein Paar von Strukturverankerungen **52** und **54**, die an einem Substrat (beispielsweise einem Substrat **10** oder einer Nitridschicht **12**, nicht gezeigt) befestigt sind, sowie einen oder mehrere thermische Biegestäbe **56** (es sind mehrere gezeigt), die an ihren Basisenden **60** und **62** an Verankerungen **52** beziehungsweise **54** befestigt sind. Die Biegestäbe **56** sind im Wesentlichen dieselben, erstrecken sich im Wesentlichen parallel zum Substrat und in einem Abstand von diesem und sind außerhalb der Verankerungen **52** und **54** von diesem freigegeben.

[0043] Ein Schwenkrahmen **64** enthält ein Rahmenunterteil **66**, das an Biegestäben **56** an Verbindungs punkten **68** befestigt ist, die bei einer Implementierung zwischen den Biegestabmittelpunkten (mit der gestrichelten Linie **70** bezeichnet) und einer der Verankerungen **52** und **54** (beispielsweise Verankerung **54**) befestigt sind. Der Schwenkrahmen **64** enthält darüber hinaus wenigstens einen Schwenkarm **72** (es sind zwei gezeigt), der mit dem Rahmenunterteil **66** an einem Ende verbunden ist und sich zu einem freien Ende **74** hin erstreckt, das aus der Ebene heraus schwenkt, wenn der Aktuator **50** aktiviert bzw. betätigt wird. Der Schwenkrahmen **64** ist freigegeben und kann sich überall dort bewegen, wo das Rahme-

nunterteil **66** nicht mit den Verbindungspunkten **68** verbunden ist. [Fig. 17](#) ist eine diagrammatische Seitenansicht des Aktuators **50** in einem entspannten Zustand, wo ein Schwenkrahmen **64** als im Allgemeinen parallel und koplanar zu den Biegestäben **56** dargestellt ist.

[0044] Die Strukturverankerungen **52** und **54** sowie die Biegestäbe **56** weisen Eigenschaften von elektrischen Halbleitern und Eigenschaften einer thermischen Ausdehnung mit positivem Koeffizienten auf. Die Biegestäbe **56** sind beispielsweise aus Silizium gebildet. Der Aktuator **50** wird betätigt, wenn ein elektrischer Strom von einer Stromquelle **80** durch die Biegestäbe **56** jeweils über die elektrisch leitenden Verbindungen **82** und **84** und die Strukturverankerungen **52** und **54** geleitet wird. Der fließende Strom induziert eine Joule'sche Erwärmung der Biegestäbe **56**, wodurch diese veranlasst werden, sich thermisch der Länge nach auszudehnen, was von den Temperaturausdehnungskoeffizienten des Siliziums her röhrt. Da die Verankerungen **52** und **54** die Basisen den **60** und **62** der Biegestäbe **56** festhalten, biegen sich die sich ausdehnenden Stäbe **56** letztendlich von dem Substrat weg. Bei einer Implementierung sind die Biegestäbe **56** derart ausgebildet, dass sie ein vergrößertes Seitenverhältnis aufweisen, wobei die Breiten (parallel zum Substrat) größer als die Dicken (senkrecht zum Substrat) sind, um eine Vorspannung oder Vorneigung bzw. Prädisposition dahingehend bereitzustellen, dass eine Biegung nicht parallel zum Substrat erfolgt. Die Biegestäbe **56** weisen beispielsweise ein vergrößertes Querschnittsseitenverhältnis von 3:2 auf, mit Breiten von 3 µm, Dicken von 2 µm und Längen von 194 µm. [Fig. 18](#) ist eine diagrammatische Seitenansicht des Aktuators **50** in einem aktivierte Zustand, der das aus einer Ebene heraus erfolgende Biegen der Stäbe **56** darstellt.

[0045] Das Biegen der Biegestäbe **56** von dem Substrat weg im aktiven Zustand des Aktuators **50** bewirkt, dass das freie Ende **74** des Schwenkrahmens **64** von dem Substrat weg schwenkt. Der Schwenkrahmen **64** dreht sich um das Rahmenunterteil **66**, das ebenfalls von dem Substrat durch die Biegestäbe **56** abgehoben wird. Im Ergebnis bewegt sich das freie Ende **74** und übt eine Schwenk- oder Drehkraft von dem Substrat weg nach außen aus. Endet der Aktivierungsstrom, so kühlen sich die Biegestäbe **56** ab und ziehen sich zusammen, was bewirkt, dass die freien Enden **74** des Schwenkrahmens **64** in ihre Anfangsstellung zurückkehren. Derartige Drehablenkungen des Schwenkrahmens **64** können bei einer Vielzahl von Anwendungen verwendet werden, darunter die Bereitstellung einer Anwendung mit einer aus einer Ebene heraus erfolgenden Biegung bei anderen mikromechanischen Strukturen, so beispielsweise denjenigen, die in mikrooptischen Vorrichtungen eingesetzt werden. Bei den in [Fig. 16](#) bis [Fig. 18](#) dargestellten Implementierungen wird ein Spiegel **86**

beispielsweise an dem freien Ende **74** befestigt und schwenkt mit dem Schwenkrahmen **64**, um Licht selektiv in Abhängigkeit davon abzulenken, ob der Aktuator **50** in seinem entspannten oder aktivierte Zustand befindlich ist.

[0046] Die vergrößerten Seitenverhältnisse der Biegestäbe **56** verhindern im Allgemeinen, dass sich diese parallel zum Substrat verbiegen. Bei Nichtvorhandensein einer Vorspannung oder Vorneigung bzw. Prädisposition kann ein senkrecht zum Substrat erfolgendes Biegen der Biegestäbe **56** (siehe beispielsweise [Fig. 18](#)) willkürlich von dem Substrat weg oder auf dieses zu erfolgen, wobei ersteres für den Betrieb des Aktuators **50** notwendig ist. Entsprechend zeigen [Fig. 19](#) und [Fig. 20](#) Vorspannungsstrukturen, die eine Vorspannung oder Vorneigung bzw. Prädisposition für den Biegestab **56** derart bereitstellen, dass sich dieser von dem Substrat weg und nicht zu diesem hin biegt.

[0047] [Fig. 19](#) ist eine vergrößerte Seitenansicht, die einen als Beispiel angegebenen Biegestab **56** in einem entspannten Zustand und mit einer Erstreckung über einen Abstandsblock **90** zeigt, der an einem Substrat **10** befestigt ist und sich von dem Substrat (so beispielsweise die Nitridschicht **12**) in der Nähe der Mitte des Biegestabes **56** weg erstreckt. Es ist aus Gründen der einfacheren Darstellung kein Schwenkrahmen gezeigt. [Fig. 20](#) ist eine vergrößerte Seitenansicht, die einen als Beispiel angegebenen Biegestab **56** in einem aktivierte Zustand zeigt. Der Abstandsblock **90** kam als P0-Schicht mit einer mittleren Dicke von 0,5 µm gebildet werden, und der Biegestab **56** kann aus einer anderen (freigegebenen) Schicht gebildet werden. Der Abstandsblock **90** erzwingt eine kleine Erhebung (von beispielsweise 0,5 µm) oder eine Ablenkung **94** in jedem der Biegestäbe **56** aufgrund der konformen Natur der Herstellung. Eine Marke **52** ist zudem in der Nähe jedes Endes des Biegestabes **56** ausgebildet. Die Marken **92** können in Form von Vorsprüngen oder Dimples, die sich von einer unteren Fläche des Biegestabes **56** erstrecken, oder in Form von Aussparungen in deren obere Fläche hinein, oder in Form von beidem, wie dargestellt ist. ausgebildet sein. Bei einer MUMPs-Implementierung kann die Marke **92** beispielsweise als Vertiefung von 0,5 µm in einer POLY-1-Schicht von 2 µm ausgebildet sein und berührt das Substrat nicht.

[0048] Der Abstandsblock **90** und die Marken **92** bewirken, dass sich die Biegestäbe **56** von dem Substrat weg biegen und verringern die Haftriebung zwischen den Biegestäben **56** und dem Substrat (beispielsweise der Nitridschicht **12**). Es ist einsichtig, dass für die Mehrzahl von Biegestäben **56** bei einem typischen Aktuator **50** ein getrennter Abstandsblock **90** für jeden Biegestab **56** ausgebildet sein kann, oder es kann ein Abstandsblock **90** als einzelner durchgehender Block ausgebildet sein, der sich unter

allen Biegestäben **56** erstreckt. Der Abstandsblock **90** und die Marken **92** können – entweder einzeln oder zusammen – allein oder mit einem vergrößerten Seitenverhältnis für die Biegestäbe **56** verwendet werden, um eine Vorspannung oder Vorneigung bzw. Prädisposition für diese dahingehend bereitzustellen, dass sich diese von dem Substrat weg biegen.

[0049] Anfängliche Experimente haben gezeigt, dass der Aktuator **50** in der Lage ist, ein Verschwenken oder Ablenken des Schwenkrahmens **64** mit wenigstens ungefähr 15° relativ zum Substrat auszuführen. Bei einer Implementierung ermöglicht das Befestigen des Rahmenunterteiles **66** an den Verbindungs punkten **68**, die in der Mitte zwischen den Mittelpunkten der Biegestäbe und einer der Verankerungen **52** und **54** befindlich sind, die größte Verschwenkung oder Ablenkung des Schwenkrahmens **64**. Derartige Verbindungspunkte **68** entsprechen den Ablenkungspunkten in den Stäben **56**, wenn diese gebogen werden, und stellen damit die größte Ablenkung des Schwenkrahmens **64** bereit.

[0050] Im Allgemeinen kann ein beliebiger Herstellungsprozess zum Einsatz kommen, bei dem wenigstens eine freisetzbare Schicht vorhanden ist, die einen positiven Temperaturausdehnungskoeffizienten aufweist und in der Lage ist, einen Strom für eine Ohm'sche Erwärmung zu führen. Darüber hinaus besteht keine theoretische Grenze bezüglich der Anzahl der Biegestäbe **56**, solange nur der Aktuator und die zugehörigen Leiter mit dem Strom oder der Wärme umgehen und die Stäbe die Wärme rasch ab geben können. Bei einer Implementierung wurde die Erwärmungstemperatur unter 800°C gehalten, um ein Selbsterwärmen und -abkühlen zu vermeiden, das irreversiblen Schaden anrichten kann.

[0051] Die Biegestäbe **56** wie auch die Verankerungen **52** und **54** können entweder einzeln oder beide aus freisetzbaren MUMPs-Polysiliziumschichten her gestellt werden, wobei die Verankerungen **52** und **54** jedoch nicht freiliegen. Bei derartigen MUMPs-Implementierungen kann der Aktuator **50** mögliche Dicken von 1,5, 2,0 oder 3,5 µm aufweisen. Die Resistivität des Polysiliziums ermöglicht, dass der Aktuator bei Spannungen und Strömen arbeitet, die mit integrierten Standardschaltkreisen (beispielsweise CMOS) verträglich sind. Darüber hinaus sind die bei der vorliegenden Erfindung zum Einsatz kommenden Aktuatoren der Fläche nach sehr klein und stellen eine vergleichsweise hohe Kraft bereit.

[0052] Bei einigen Betriebsmodi können der Spiegel **86** und der Schwenkrahmen **64** ein Pendel bilden, das um das Rahmenunterteil **66** oszilliert, wodurch es möglich wird, dass der Aktuator **50** als Resonanzoszillator arbeitet. Bei einer Implementierung tritt eine derartige Resonanzmode bei 14 kHz auf und stellt eine maximale Ablenkung des Spiegels **86** bei unge-

fähr 25° relativ zum entspannten Zustand bereit. In diesem Modus scheinen die Biegestäbe **56** eine nahezu einem stationären Zustand gleichende Biegestellung anzunehmen, was eine statische Ablenkung des Spiegels **86** und des Schwenkrahmens **64** bewirkt. Demgegenüber weist im Nichtresonanzmodus dieser Implementierung der Aktuator **50** eine Halbamplitudenreaktion von ungefähr 2 kHz und eine Ablenkung von ungefähr 5° auf.

[0053] [Fig. 21](#) ist ein Graph **150**, der obere und untere Winkelablenkgrenzen als Funktion der Frequenz zeigt, um den Resonanzbetrieb eines zum Verständnis der Erfindung nützlichen Aktuators **50** darzustellen. Bei dieser Darstellung wird der Aktuator **50** mit einer 4-V-Rechteckwelle erregt. Der Graph **150** zeigt eine Halbamplitudenbandbreite bei etwa 1 kHz (Datenpunkte **152**) und eine Resonanzaktuatorablenkung von ungefähr 8 kHz (Datenpunkte **154**). Bei dieser Implementierung weist die Resonanzaktuatorablenkung (beispielsweise der Spiegel **86**) eine maximale Gesamtauslenkung von etwa 18° optisch (das heißt aus der Ebene heraus) auf.

[0054] Die Resonanzaktuatorablenkung tritt innerhalb eines Resonanzablenkfrequenzbereiches **156** auf, der einem Frequenzbereich von abnehmenden Winkelablenkungen folgt. Der Resonanzablenkfrequenzbereich **156** kann des Weiteren durch eine steile Zunahme (oder Abnahme) bei der Winkelablenkung charakterisiert werden.

[0055] Man beachte, dass bei Frequenzen über der Resonanz (das heißt über 8 kHz) die zyklische Aktuatorablenkung schnell abnimmt, bis die Ablenkung einen statischen Ablenkungswert (Datenpunkt **158**) annimmt. Man geht davon aus, dass der Aktuator **50** in diesem Zustand nicht in der Lage ist, mechanisch auf eine schnelle Erwärmung und Abkühlung der Biegestäbe **56** zu reagieren. Der statische Ablenkungswert ist gleich einem der Ruhelage entsprechenden Restspannungsversatz von $4,5^\circ$ (Datenpunkt **160**) plus einer Ablenkung aufgrund eines RMS-Erwärmungswertes von 2 V für die anliegende Rechteckwelle, was einen Gesamtversatz von 10° an dem Datenpunkt **158** ergibt. Die Vorspannungen aufgrund der Restspannung und der durchschnittliche Erwärmungswert des Antriebssignals tragen zu einer Anhebung des Spiegels **86** nach oben bei und verhindern so einen Zusammenstoß mit dem Substrat.

[0056] [Fig. 22](#) ist eine diagrammatische Planansicht einer zum Verständnis der vorliegenden Erfindung nützlichen Beispieldarstellung einer mikroelektromechanischen Aktuatorbaugruppe **100** mit sich aus einer Ebene herausbiegenden Biegestäben, wobei die Baugruppe mit mehreren (beispielsweise zwei) Aktuatoren **102A**, **102B** versehen ist, die senkrecht zueinander in Ausrichtung mit den benachbarten Seiten eines rechteckigen (beispielsweise qua-

datischen) Spiegels **120** befindlich sind. Die Aktuatoren **102A**, **102B** sind jeweils zu dem vorbeschriebenen Aktuator **50** analog, mit der Ausnahme, dass die Aktuatoren **102A**, **102B** Schwenkrahmen **110A**, **110B** umfassen, die von dem Schwenkrahmen **64** verschieden sind. Auf ähnliche Weise ist der Spiegel **120** analog zu dem Spiegel **86**, unterscheidet sich jedoch hinsichtlich seiner Anbringung und Verbindung mit den Schwenkrahmen **110A**, **110B**. Die nachfolgende Beschreibung betrifft den Aktuator **102A**, ist jedoch auch auf den Aktuator **102B** anwendbar, wobei gleiche Komponenten mit denselben Bezugszeichen bezeichnet sind.

[0057] Der Aktuator **102A** umfasst ein Paar von Strukturverankerungen **52A** und **54A**, die an einem Substrat (beispielsweise einem Substrat **10** oder einer Nitridschicht **12**, nicht gezeigt) befestigt sind, sowie mehrere thermische Biegestäbe **56A**, die an ihren Basisenden mit den Verankerungen **52** und **54** verbunden sind. Ein Schwenkrahmen **110A** umfasst ein Basisunterteil **112A**, das an den Biegestäben **56A** befestigt ist, sowie einen Schwenkarm **114A**, der mit dem Rahmenunterteil **112A** an einem Ende verbunden ist und sich zu einem freien Ende **116A** hin erstreckt, das sich aus der Ebene herausbiegt, wenn der Aktuator **102A** aktiviert wird. Das freie Ende **116A** ist an einer Ecke eines Spiegels **120** angebracht, die von einem Vorspannungsglied **122** mit der Spiegelverankerung **124** verbunden und ansonsten von dem Substrat freigegeben ist.

[0058] Der Aktuator **102A** wird aktiviert, wenn ein elektrischer Strom von einer Stromquelle **124A** durch die Biegestäbe **56A** jeweils über die elektrisch leitenden Verbindungen **126A** und **128A** und die Strukturverankerungen **52A** und **54A** geleitet wird. Der fließende Strom bewirkt eine Ohm'sche oder Joule'sche Erwärmung der Biegestäbe **56A**, wodurch diese sich auf vorbeschriebene Weise der Länge nach auszudehnen, was von den positiven Temperaturausdehnungskoeffizienten des Siliziums herrührt.

[0059] Die Aktuatoren **102A** und **102B** wirken dahingehend, dass sie den Spiegel **120** um Kippachsen **130A** beziehungsweise **130B** kippen. Die Aktuatoren **102A** und **102B** mit jeweiligen Stromquellen **124A** und **124B** können getrennt betrieben werden, um den Spiegel **120** beliebig um die Kippachsen **130A** und **130B** zu kippen. Bei einem koordinierten Betrieb können die Aktuatorbaugruppe **100** und der Spiegel **120** als Scansteuerspiegel in einem Barcode- oder Vektorbildscanner oder zur Bereitstellung eines Raster-scanmusters zur Bilderstellung eingesetzt werden.

[0060] [Fig. 23](#) zeigt eine diagrammatische Planansicht eines Paares von mikroelektromechanischen Aktuatoren **50H** und **50V** mit thermischen sich aus einer Ebene herausbiegenden Biegestäben, die derart angeordnet sind, dass sie zusammen als Teil eines

Videorasterscanners **200** arbeiten ([Fig. 24](#) und [Fig. 27](#)). Die Aktuatoren **50H** und **50V** weisen im Wesentlichen denselben Aufbau wie der Aktuator **50** von [Fig. 16](#) auf, weshalb entsprechende ähnliche Komponenten dieselben Bezugszeichen tragen. Die Aktuatoren **50H** und **50V** enthalten beispielsweise die jeweiligen Spiegel **86H** und **86V**.

[0061] Die Aktuatoren **50H** und **50V** mit den Spiegeln **86H** und **86V** wirken derart, dass sie eine horizontale beziehungsweise vertikale Abtastung eines Bildanzeigelichtstrahles **202** ([Fig. 24](#)) aus einer Anzeigelichtquelle **204**, wie nachstehend detaillierter beschrieben ist, bereitstellen. Der Aktuator **50H** stellt eine hochfrequente horizontale Abtastung bereit, wohingegen der Aktuator **50V** eine niederfrequente vertikale Abtastung bereitgestellt. Im NTSC-Standardanzeigeformat stellt beispielsweise der Aktuator eine horizontale Abtastung mit einer Frequenz von ungefähr 15 kHz bereit, wohingegen der Aktuator **50V** eine Abtastung mit einer Frequenz von 60 Hz bereitstellt. Entsprechend kann der Aktuator **50H** mit einem Resonanzablenkfrequenzbereich **156** versehen ist, der eine Nennbetriebsfrequenz von 15 kHz aufweist. Die Anzeigelichtquelle **204** kann eine einfarbige oder mehrfarbige, fokussierte oder parallelgerichtete Quelle sein, die pixelweise moduliert wird.

[0062] [Fig. 24](#) ist eine schematische Seitenansicht, die den Betrieb der Aktuatoren **50H** und **50V** mit der Lichtquelle **204** und einem im Allgemeinen statischen Klappspiegel **206** darstellt. Die Aktuatoren **50H** und **50V** werden zusammen mit dem Klappspiegel **206** in einem gemeinsamen Substrat **208** (wie gezeigt) oder alternativ auf getrennten im Allgemeinen koplanaren Substraten gebildet. Gemäß [Fig. 24](#) oszillieren die Aktuatoren **50H** und **50V** aus der Ebene des Substrates **208** heraus um jeweilige Querachsen (das heißt senkrechte Achsen, wie gezeigt) **210** und **212**. Der Lichtstrahl **202** aus der Lichtquelle **204** wird von dem Spiegel **86H** zu dem Klappspiegel **206** als Lichtstrahlsegment **202A** reflektiert und sodann von dem Klappspiegel **206** zu **86V** als Lichtstrahlsegment **202** reflektiert.

[0063] [Fig. 25](#) und [Fig. 26](#) sind eine Plan- bzw. eine Seitenansicht des Spiegels **206**, der aus darstellerischen Gründen freistehend gezeigt ist. Der Klappspiegel **206** ist an einem Körper **220** ausgebildet, der relativ zu dem Substrat **208** gekippt oder gekrümmmt ist. Eine Öffnung **222** (schematisch in [Fig. 24](#) dargestellt) erstreckt sich durch den Körper **220**, damit Licht aus der Lichtquelle **204** durch den Körper **220** zu dem Spiegel **86H** des Aktuators **50H** gelangen kann.

[0064] Der Körper **220** ist als eine Halbleiterschicht oder mehrere Halbleiterschichten entsprechend den Halbleiterherstellungsvorgängen ausgebildet, die zur Herstellung der Aktuatoren **50H** und **50V** verwendet

werden. Der Klappspiegel **206** kann daher einfach eine Oberfläche eines Halbleitermaterials sein. Darüber hinaus enthält der Körper **220** einen Hauptoberflächenbereich **224**, auf dem eine Materialschicht (beispielsweise aus Gold) mit einem Ausdehnungskoeffizienten vorhanden ist, der sich von demjenigen des Halbleitermaterials des Körpers **220** unterscheidet.

[0065] Der Unterschied zwischen dem Ausdehnungskoeffizienten des Körpers **220** und der Schicht in dem Bereich **224** induziert bei der Herstellung eine Restspannung, die bewirkt, dass der Körper **220** aus der Ebene des Substrates **208** kippt oder sich biegt. Bei einer Implementierung enthält der Körper **220** einen Endbereich **226**, der als versteifte Mehrschichtenstruktur ausgebildet ist, wodurch das Auftreten von Problemen hinsichtlich einer Restspannungsverwölbung in dem Spiegelbereich **226** vermieden wird. Bei einer Anordnung hiervon in Ausrichtung mit dem Spiegel **206** ermöglicht der Endbereich **226**, dass der Körper **220** und der Klappspiegel **206** im Allgemeinen eben bleiben. Im Ergebnis kann der Spiegel **206** das Licht von dem Spiegel **86H** des Aktuators **50H** genauer zu dem Spiegel **86V** des Aktuators **50V** reflektieren.

[0066] [Fig. 27](#) ist eine Planansicht eines Videorasterscanners **200**, die einen Körper **220** zeigt, der den Klappspiegel **206** stützt, der über dem Aktuator **50H** angeordnet ist. Die Lichtquelle **204** ([Fig. 24](#)) leitet einen Lichtstrahl **202** durch eine Öffnung **222** zu dem Spiegel **86H** des Aktuators **50H**.

[0067] [Fig. 28A](#) bis [Fig. 28D](#) zeigen schematisch eine Implementierung von aufeinanderfolgenden Schritten bei der Herstellung und beim Betrieb eines Videorasterscanners **200**. [Fig. 28A](#) zeigt ein Anfangsherstellungslayout **250** der Aktuatoren **50H** und **50V** relativ zu dem Körper **220** des Klappspiegels. Es ist einsichtig, dass bei der anfänglichen Herstellung die Aktuatoren **50H** und **50V** und der Klappspiegelkörper **220** in einer Ebene mit dem Substrat **208** ausgebildet sind.

[0068] [Fig. 28B](#) und [Fig. 28C](#) zeigen jeweilige Herstellungslayouts **252** und **254**, die nacheinander dem Anfangsherstellungslayout **250** folgen. Die Herstellungslayouts **252** und **254** zeigen den Klappspiegelkörper **220**, wie dieser sich entlang wenigstens eines Paares von Führungen **256** in die jeweiligen Zwischen- und Endherstellungsstellungen bewegt (das heißt verschoben wird). Die Führungen **256** sind an dem Substrat **208** befestigt, erstrecken sich von diesem weg und erstrecken sich über Seitenränder des Körpers **220**, der relativ zu dem Substrat **208** und den Führungen **256** verschiebbar ist.

[0069] Bei einer Implementierung sind die Führungen **256** entlang der Länge des Körpers **220** in einem

Anfangsherstellungslayout **250** ausgebildet. Wird der Körper **220** aus der Anfangsherstellungsstellung (Layout **250**) in die Zwischen- und Endherstellungsstellungen (Layouts **252** und **254**) bewegt, so erstreckt sich aufeinanderfolgend immer mehr des Bereiches **224** über die Führungen **256** hinaus, und die Restspannung in dem Bereich **224** bewirkt, dass der Körper **220** von dem Substrat **208** weg kippt oder sich biegt. Es ist einsichtig, dass der Körper **220** aus seiner Anfangs- in seine Endherstellungsstellung mittels automatischer Steuerungen (Aktuator) oder mittels einer Handbedienung, wie aus dem Stand der Technik bekannt ist, bewegt werden kann. **Fig. 28D** ist eine schematische Planansicht, die den Betrieb des Videorasterscanners **200** zeigt.

[0070] Es ist einsichtig, dass die Spiegel **86H**, **86V** und **206** groß genug bemessen sein müssen, um dem Bewegungsbereich des Lichtstrahls **202** relativ zu den einzelnen sich bewegenden Spiegeln und der Bewegung der Lichtstrahlsegmente **202A** oder **202B** gerecht zu werden.

[0071] Teile der Beschreibung des bevorzugten Ausführungsbeispiels betreffen Schritte des vorstehend beschriebenen MUMPs-Herstellungsprozesses. MUMPs ist jedoch, wie ausgeführt worden ist, ein allgemeiner Herstellungsprozess, der einen weiten Bereich von MEMS-Vorrichtungsausgestaltungen abdeckt. Infolgedessen enthält ein Herstellungsprozess, der spezifisch für die vorliegende Erfindung konzipiert ist, wahrscheinlich andere Schritte, zusätzliche Schritte, andere Abmessungen und Dicken sowie andere Materialien. Derartige spezifische Herstellungsprozesse erschließen sich einem Fachmann auf dem Gebiet fotolithografischer Prozesse und stellen keinen Teil der vorliegenden Erfindung dar.

[0072] Eingedenk der vielen möglichen Ausführungsbeispiele, auf die die Prinzipien der Erfindung anwendbar sind, ist einsichtig, dass die detaillierten Ausführungsbeispiele rein illustrativ sind und keine Beschränkung des Schutzmanges der Erfindung darstellen.

Patentansprüche

1. Thermische mikroelektromechanische Aktuatorstruktur, die auf einem planaren Substrat ausgebildet ist, wobei sie umfasst:
einen ersten und einen zweiten Aktuator (**50H**, **50V**) in Form von sich aus der Ebene heraus biegenden Stäben, wobei jeder Aktuator enthält:
mehrere längliche Wärme-Biegestäbe (**56H**, **56V**), die erste und zweite Enden haben, die an ersten und zweiten Verankerungen (**52H**, **52V**, **54H**, **54V**) befestigt sind, die an dem Substrat befestigt sind,
einen Schwenkrahmen (**64H**, **64V**), der ein Rahmenunterteil (**66H**, **66V**), das an den Biegestäben befestigt ist, sowie wenigstens einen Schwenkarm (**72H**, **72V**) enthält, der mit dem Rahmenunterteil an einem Ende verbunden ist und ein freies Ende enthält, das einen optischen Reflektor (**86H**, **86V**) enthält und aus der Ebene heraus geschwenkt wird, wenn der Aktuator betätigt wird, und

elektrische Verbindungen (**82H**, **82V**, **84H**, **84V**), die elektrischen Strom über die Verankerung durch die Wärme-Biegestäbe leiten, um Wärmeausdehnung der Wärme-Biegestäbe und Bewegung derselben von dem Substrat weg zu bewirken und so jeden der Aktuatoren zu aktivieren;
wobei die Struktur des Weiteren einen Spiegel (**206**) umfasst, der aus der Ebene des Substrats geklappt wird und an einem Körper (**220**) gehalten wird, der an dem Substrat angebracht und so über dem ersten sowie dem zweiten Aktuator positioniert ist, dass der Klappspiegel so ausgerichtet ist, dass er Licht zwischen den optischen Reflektoren des ersten und des zweiten Aktuators reflektiert, wobei der Körper eine Öffnung (**222**) enthält, durch die sich Licht zu oder von den optischen Reflektoren ausbreiten kann.

2. Struktur nach Anspruch 1, die des Weiteren eine Einrichtung für zyklische Aktivierung des ersten und des zweiten Aktuators umfasst.

3. Struktur nach Anspruch 1, die des Weiteren eine Einrichtung für zyklische Aktivierung des ersten und des zweiten Aktuators mit jeweils verschiedenen ersten und zweiten Frequenzen umfasst.

4. Struktur nach Anspruch 3, die des Weiteren eine Einrichtung für zyklische Aktivierung des ersten und des zweiten Aktuators umfasst, wobei wenigstens der erste oder der zweite Aktuator einen charakteristischen Resonanz-Ablenkfrequenzbereich hat und die zyklische Aktivierung wenigstens des ersten oder des zweiten Aktuators bei einer Frequenz innerhalb des Resonanz-Ablenkfrequenzbereiches stattfindet.

5. Struktur nach Anspruch 1, wobei der erste und der zweite Aktuator im Allgemeinen senkrecht zueinander sind.

6. Struktur nach Anspruch 5, die des Weiteren eine Einrichtung für zyklische Aktivierung des ersten und des zweiten Aktuators bei jeweils verschiedenen ersten und zweiten Frequenzen umfasst.

7. Struktur nach Anspruch 6, wobei der erste und der zweite Aktuator so eingerichtet sind, dass sie zusammenwirken und ein Zeilenraster eines Lichtstrahls bilden.

8. Struktur nach Anspruch 7, wobei die erste und die zweite Frequenz zyklischer Aktivierung horizontalen und vertikalen TV-Abtastfrequenzen des NTSC-Standardes entsprechen.

DE 602 23 785 T2 2008.10.30

SC-Standards entsprechen.

Es folgen 11 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

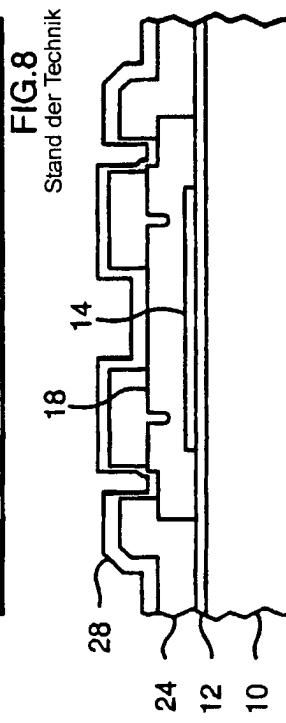
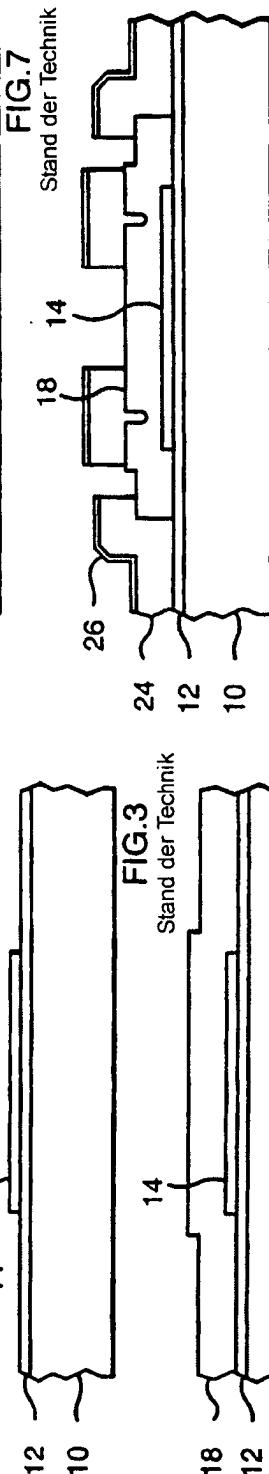
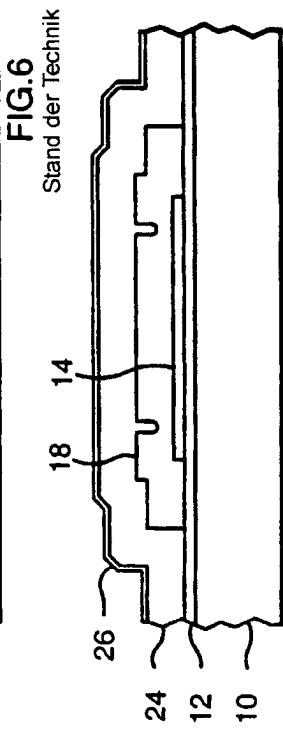
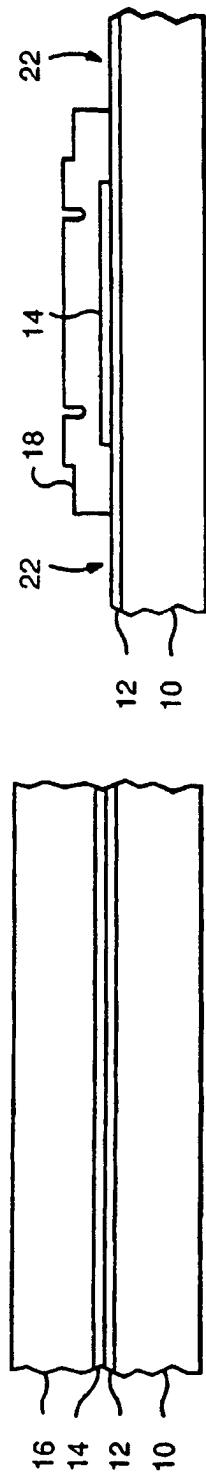
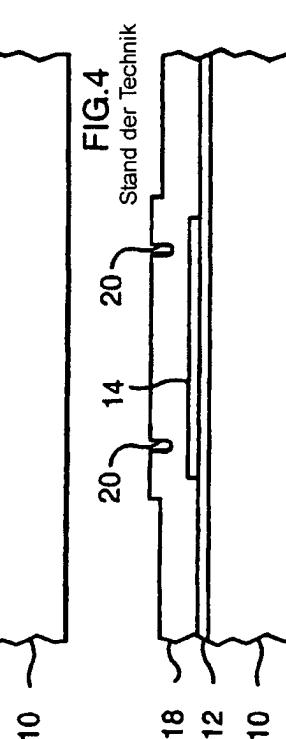
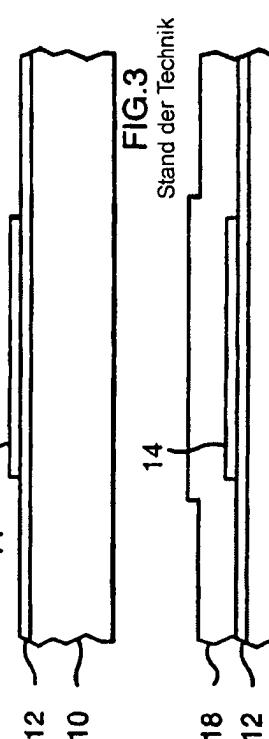
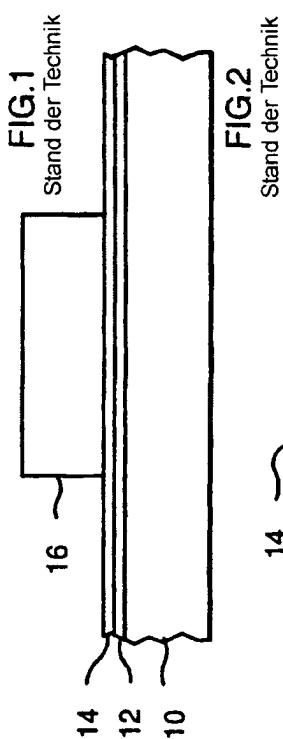
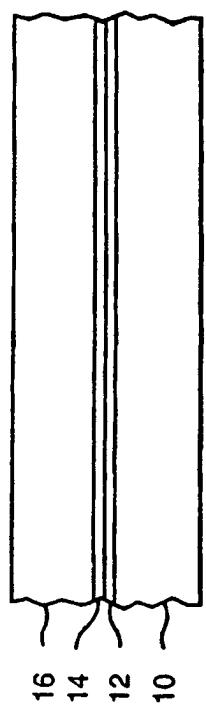


FIG. 9
Stand der Technik



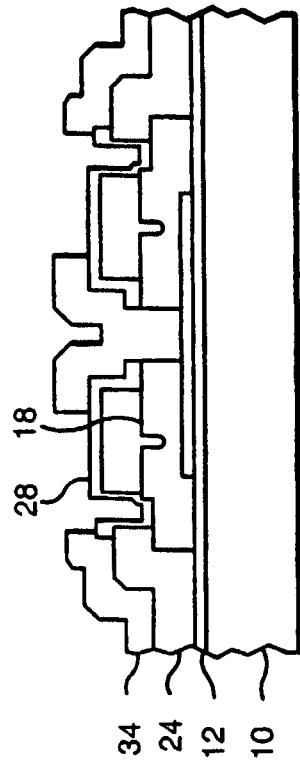


FIG. 10
Stand der Technik

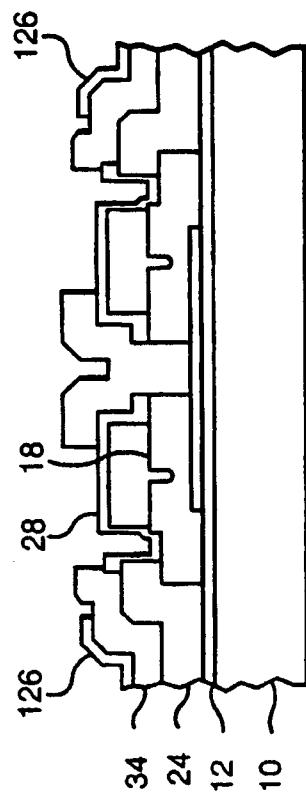


FIG. 13
Stand der Technik

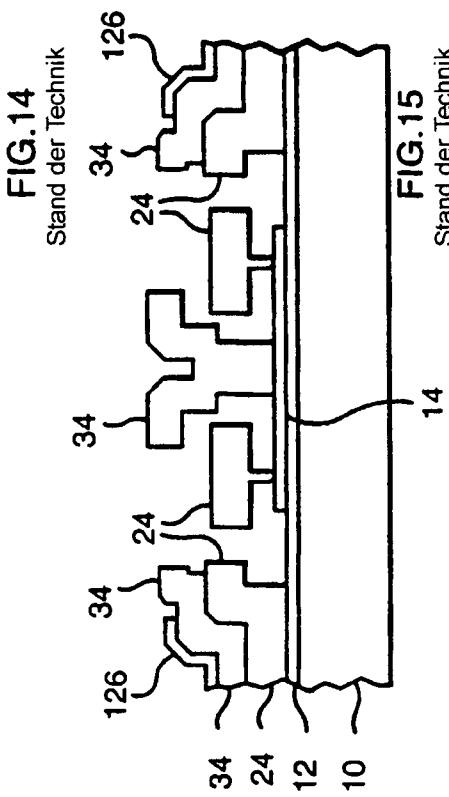


FIG. 14
Stand der Technik

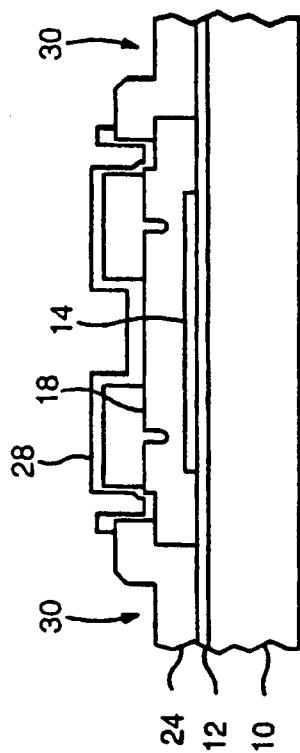


FIG. 12
Stand der Technik

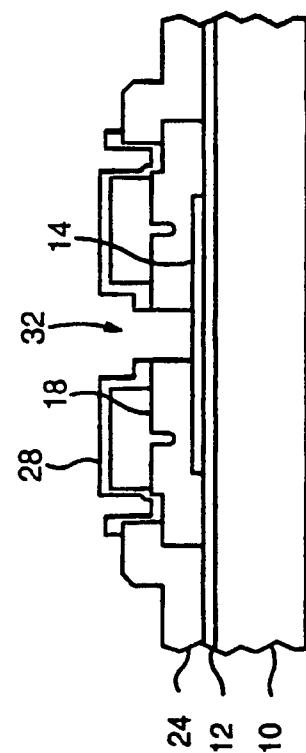


FIG. 11
Stand der Technik

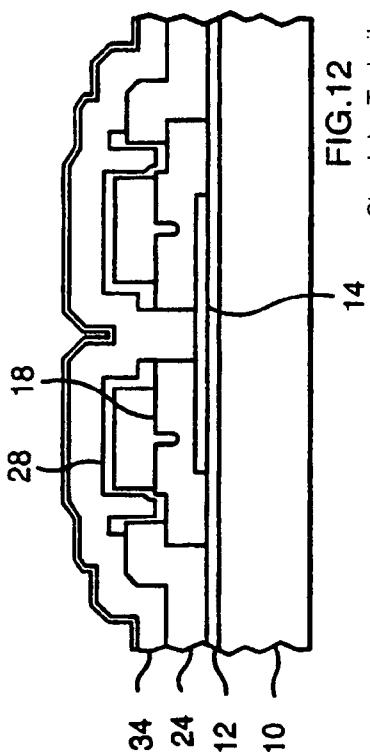


FIG. 15
Stand der Technik

FIG.16

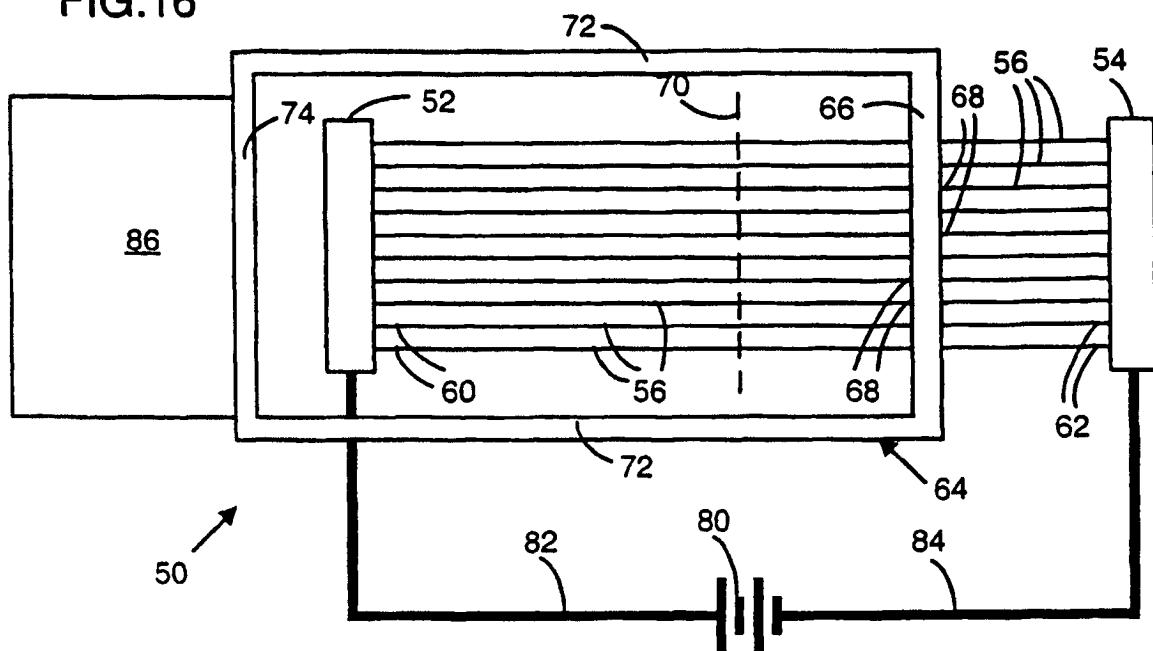


FIG. 17

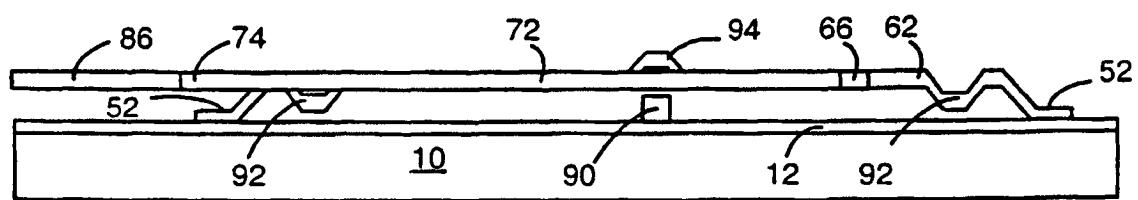


FIG.18

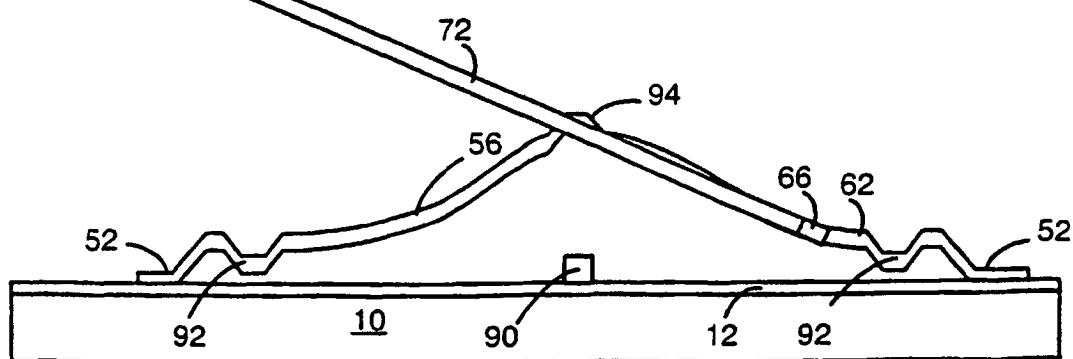


FIG. 19

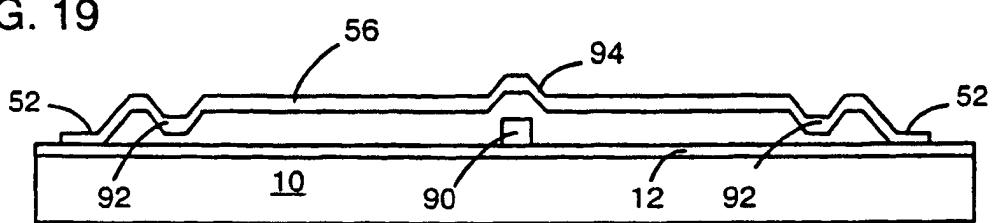


FIG. 20

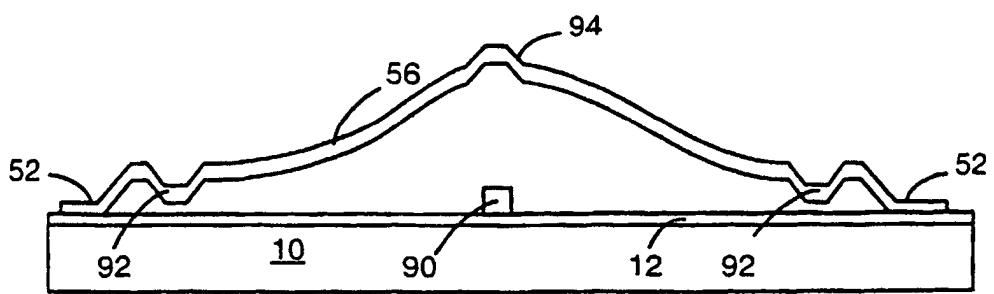


FIG. 21

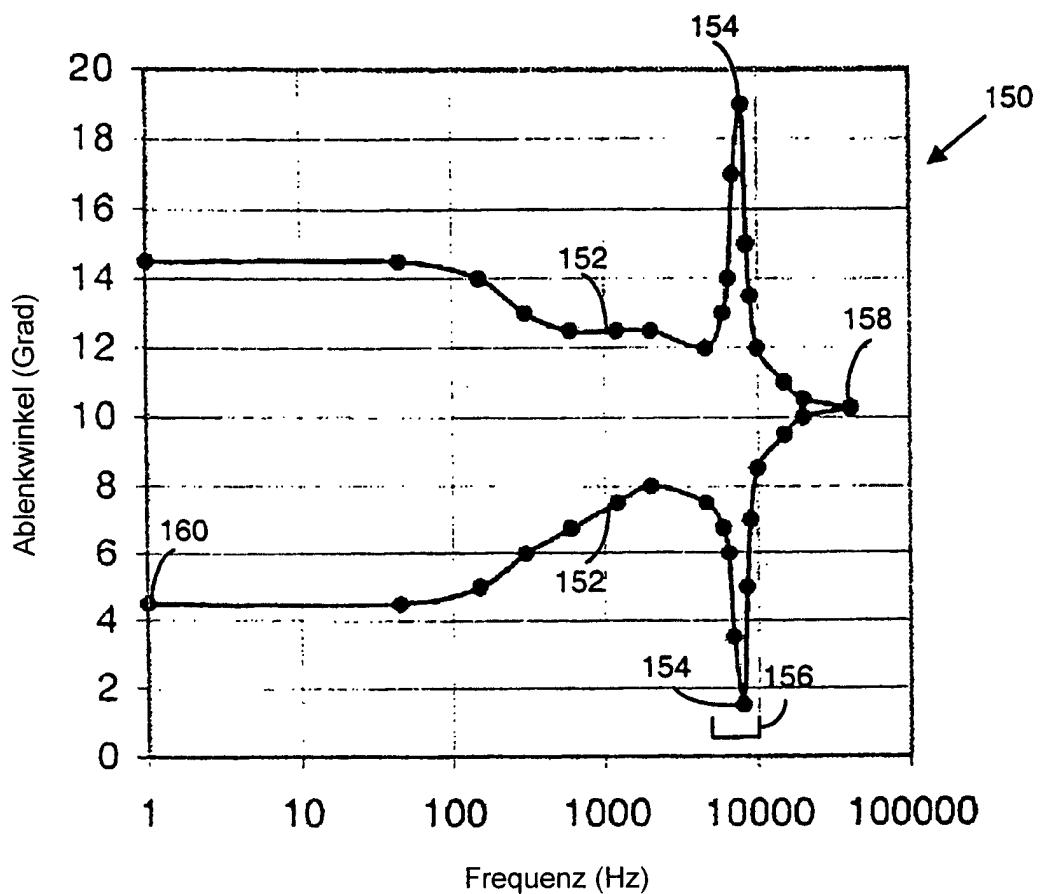


FIG. 22

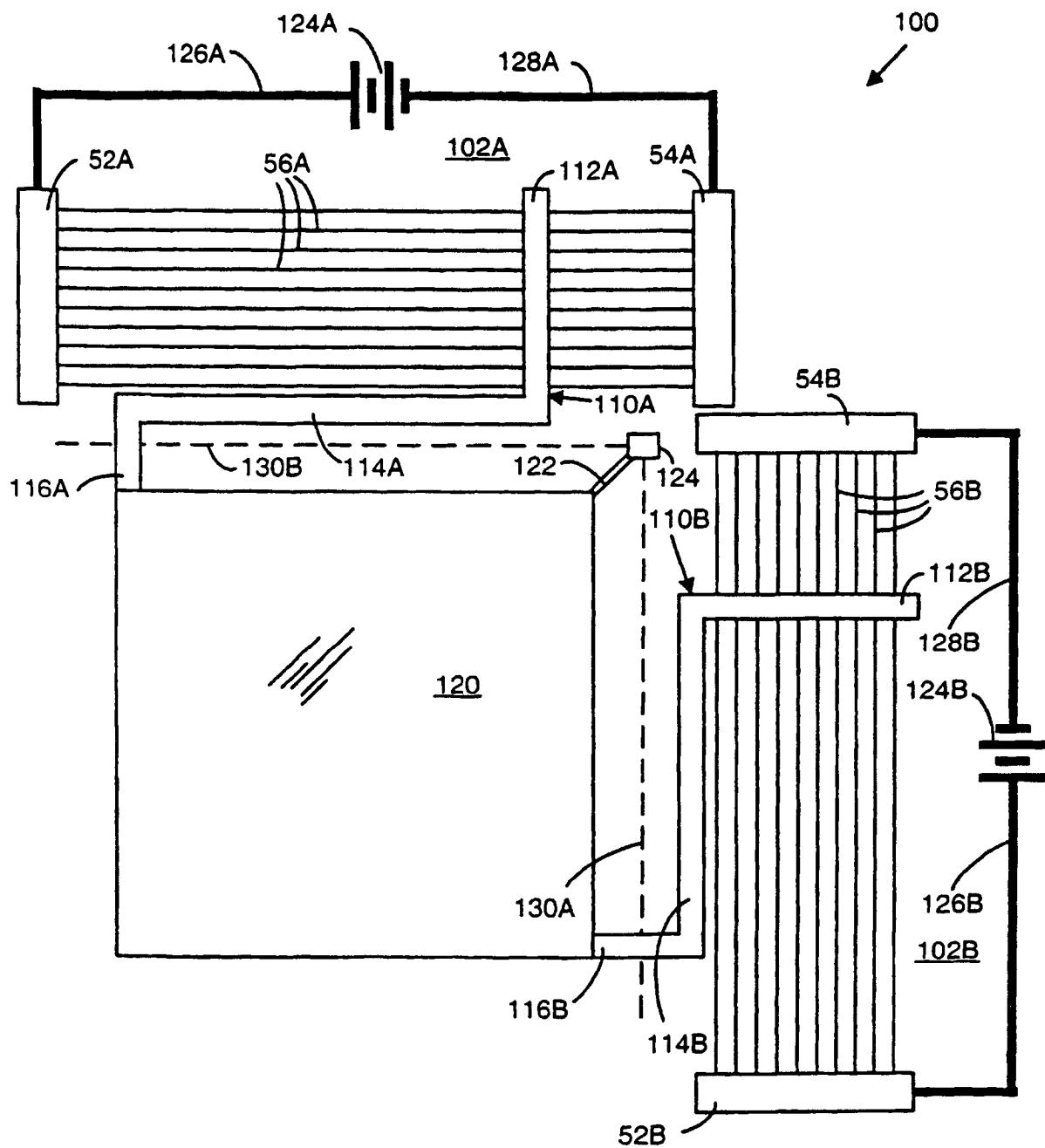


FIG. 24

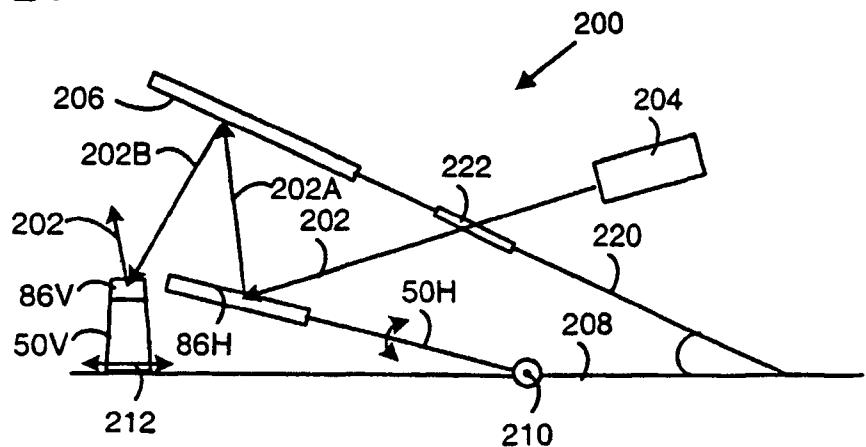


FIG. 25

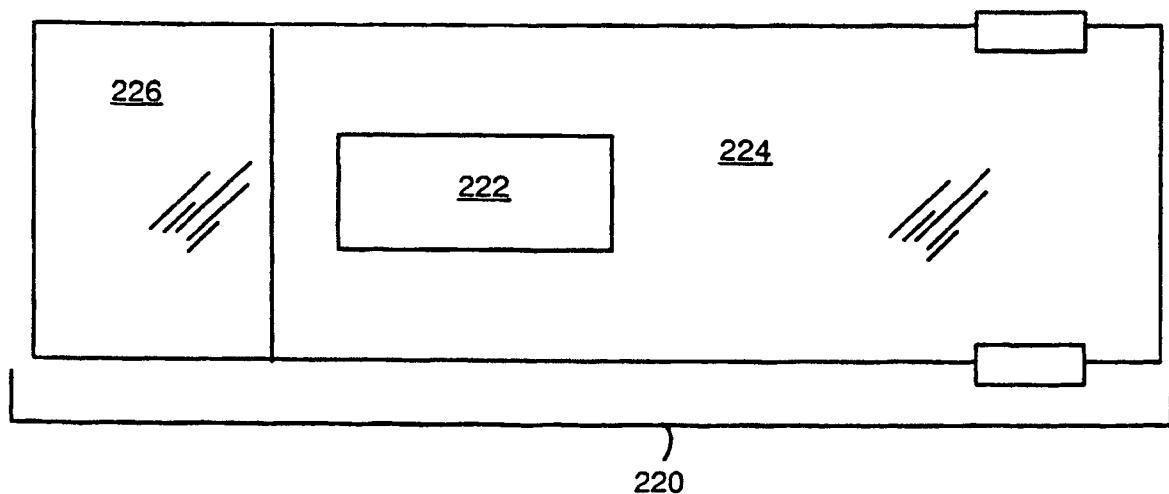


FIG. 26

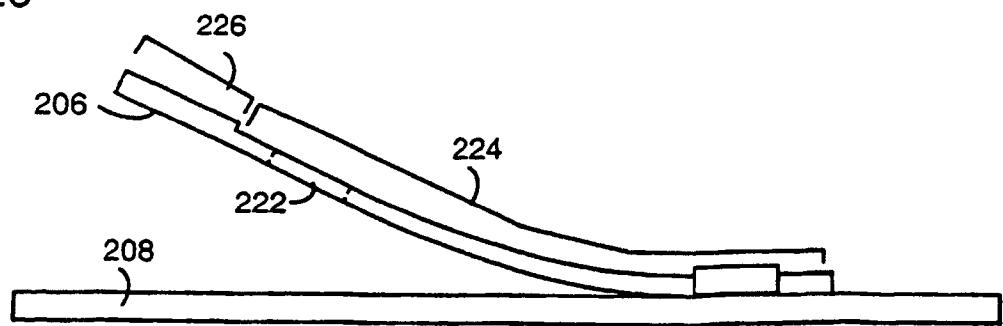


FIG. 28A

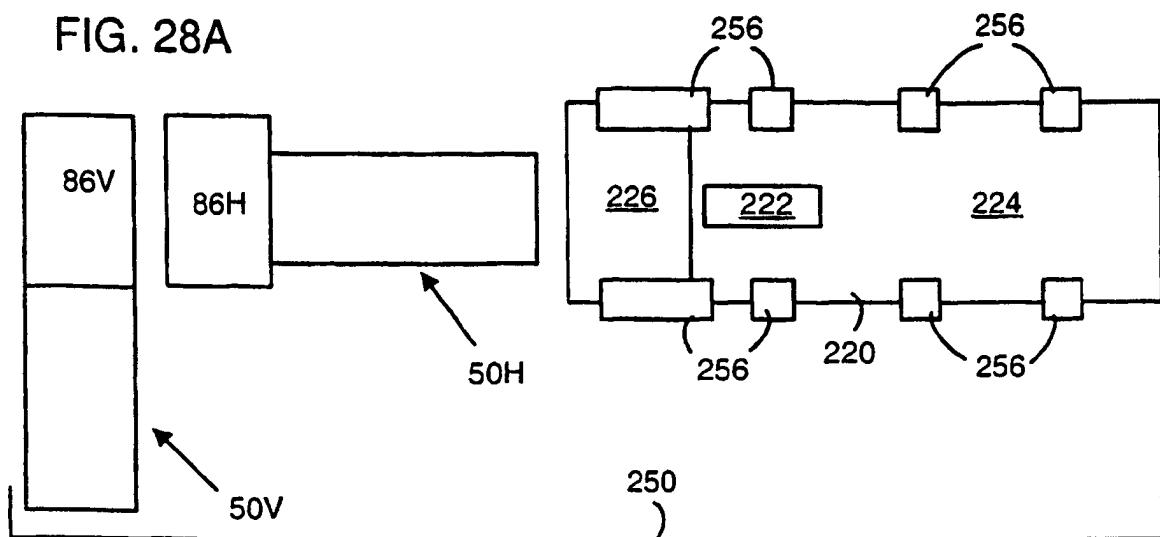


FIG. 28B

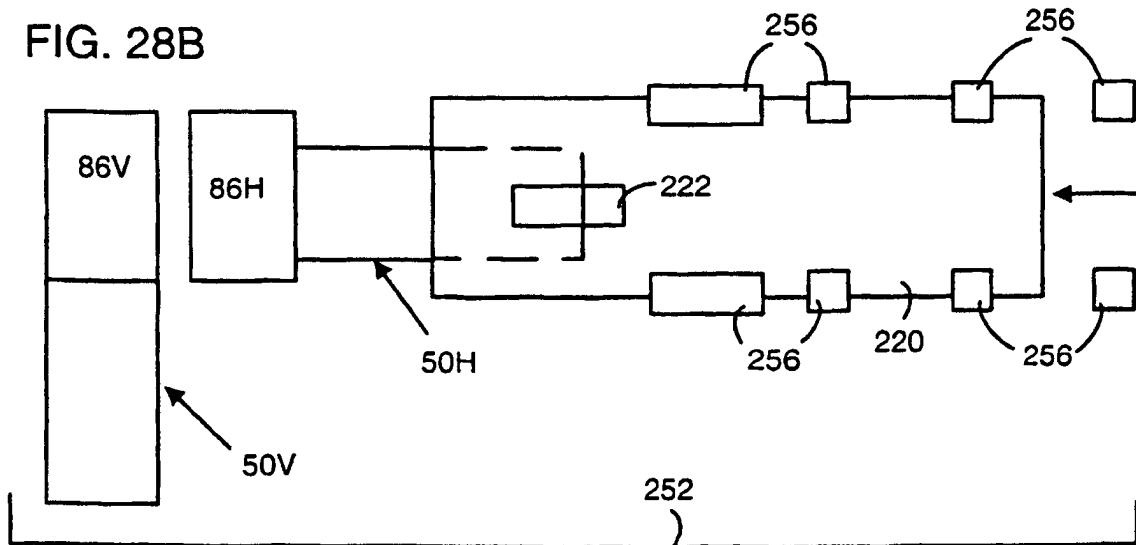


FIG. 28C

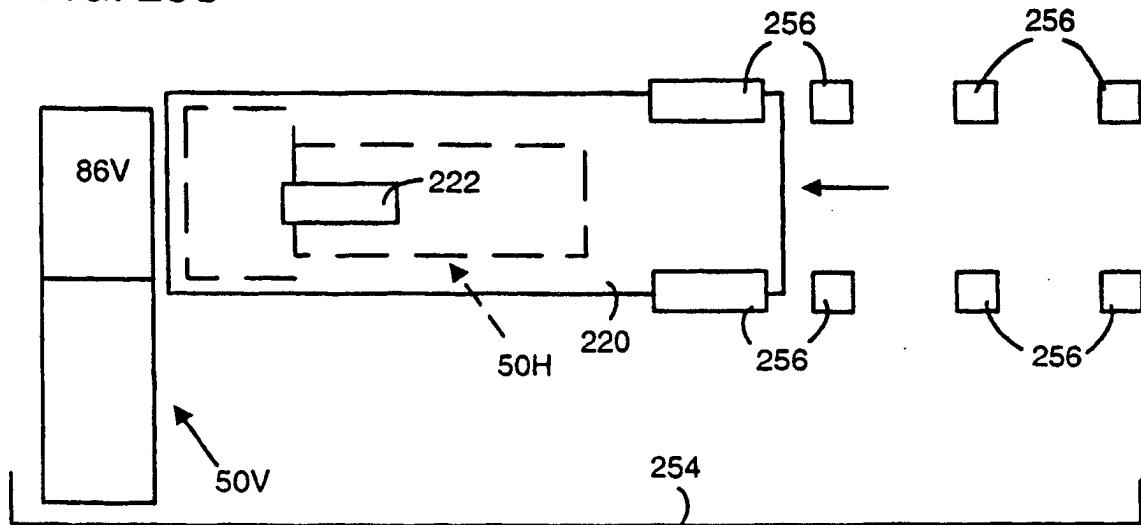
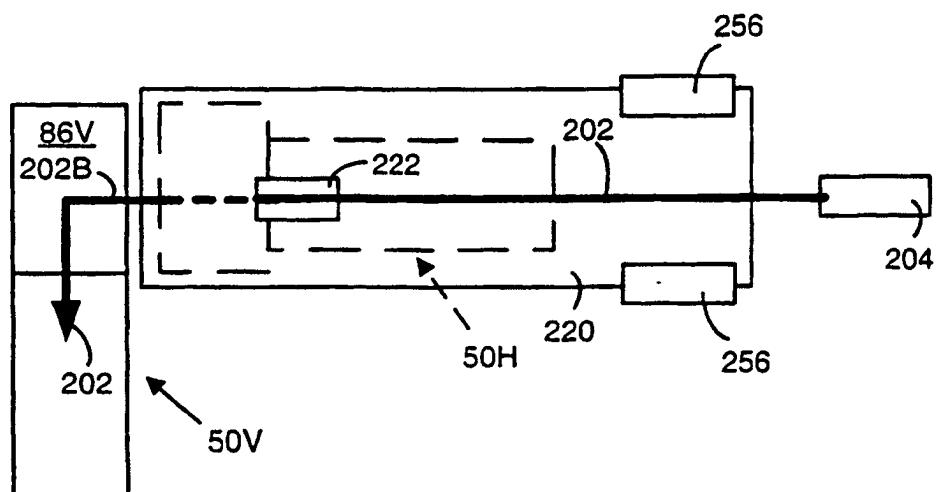


FIG. 28D



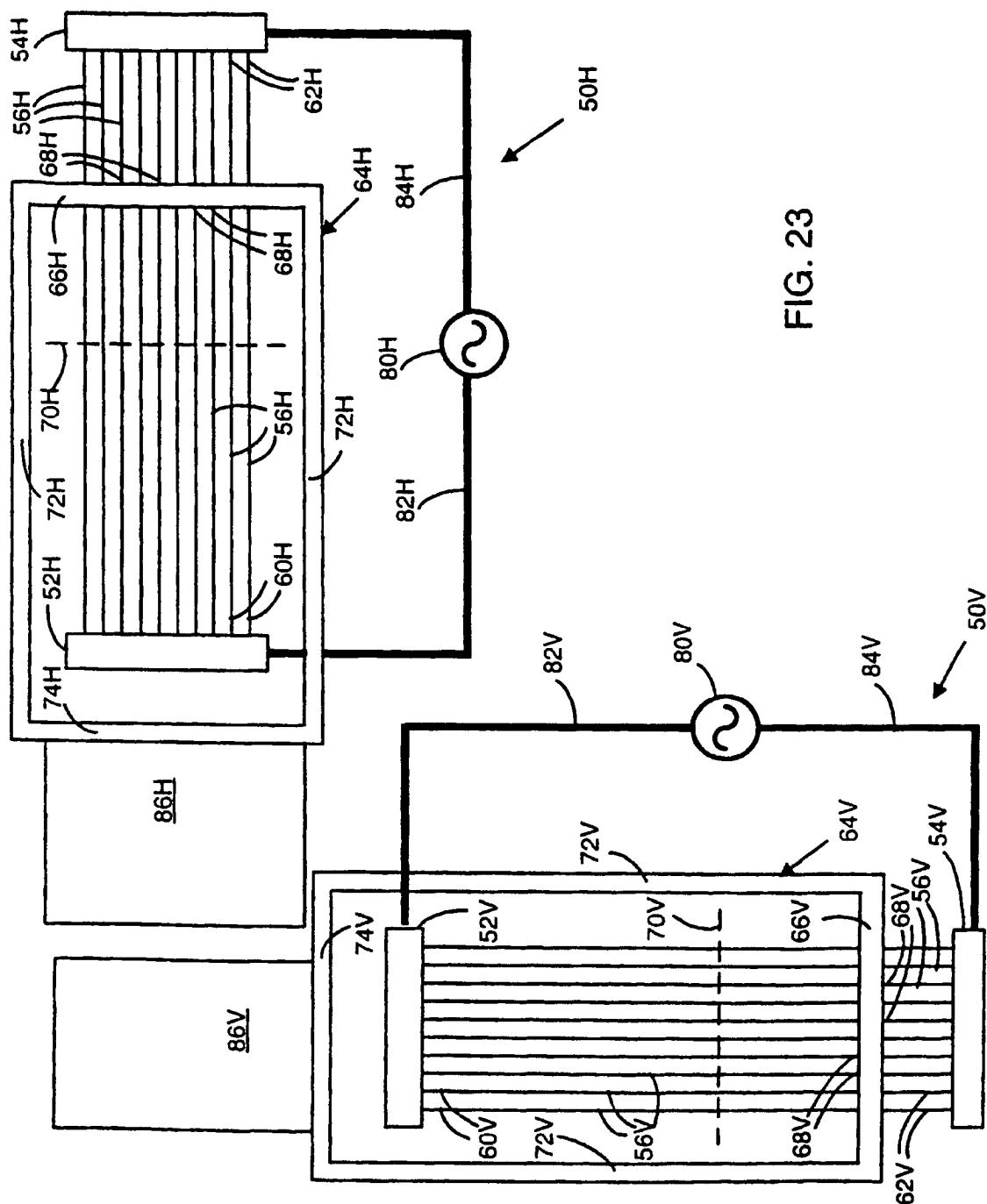


FIG. 23

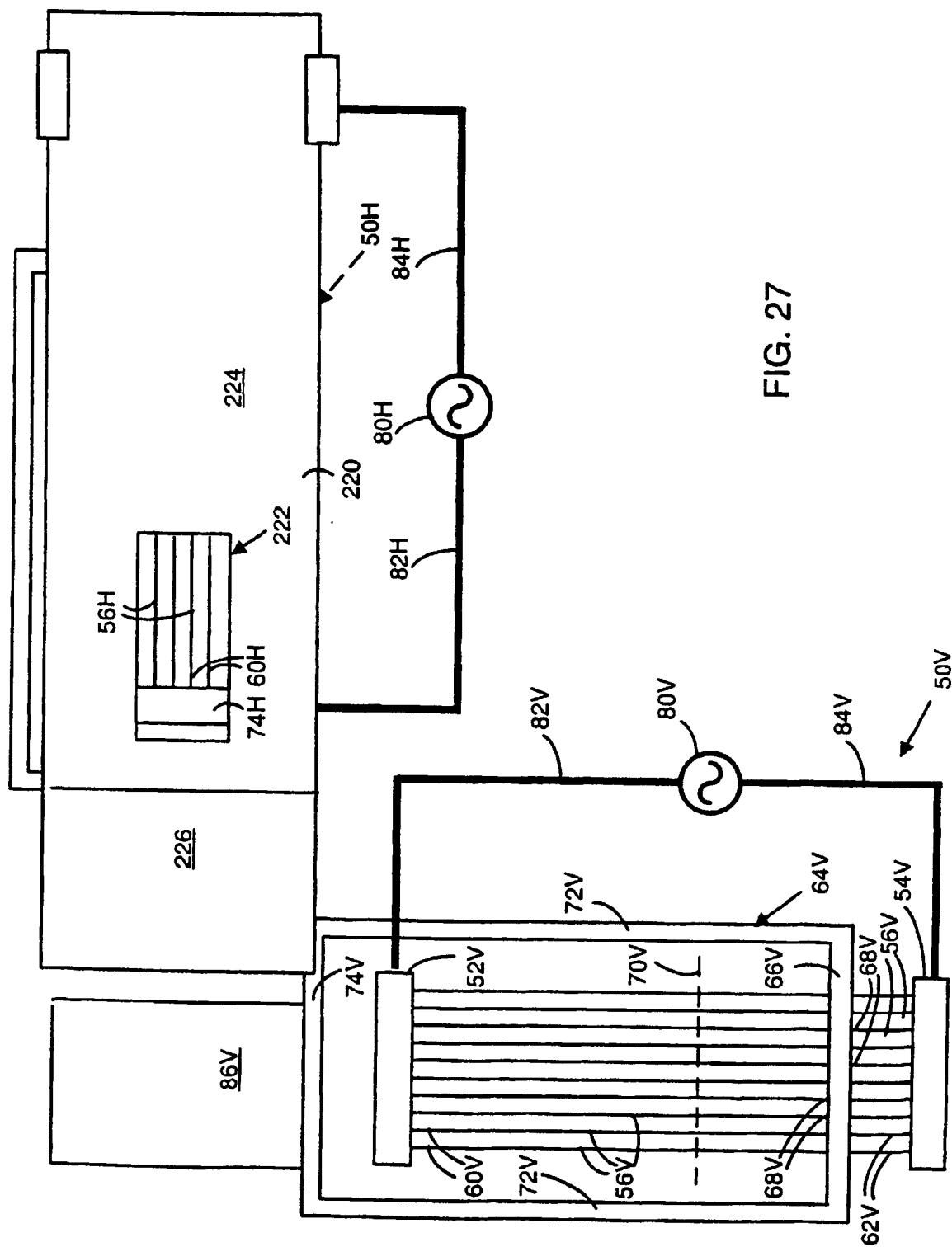


FIG. 27