



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 11 2005 002 635 T5** 2007.09.13

(12)

Veröffentlichung

der internationalen Anmeldung mit der
(87) Veröffentlichungs-Nr.: **WO 2007/005036**
in deutscher Übersetzung (Art. III § 8 Abs. 2 IntPatÜG)
(21) Deutsches Aktenzeichen: **11 2005 002 635.3**
(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US2005/030236**
(86) PCT-Anmeldetag: **25.08.2005**
(87) PCT-Veröffentlichungstag: **11.01.2007**
(43) Veröffentlichungstag der PCT Anmeldung
in deutscher Übersetzung: **13.09.2007**

(51) Int Cl.⁸: **H03K 17/693** (2006.01)

(30) Unionspriorität:
10/978,196 **29.10.2004** **US**

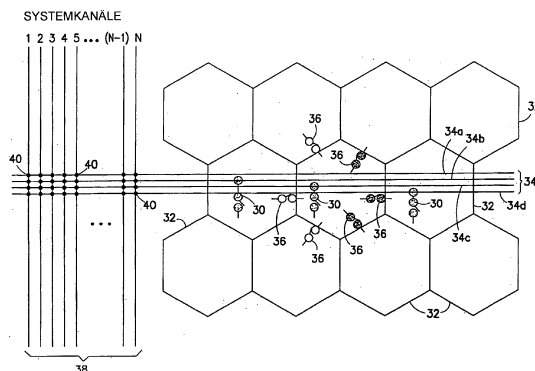
(71) Anmelder:
General Electric Company, Schenectady, N.Y., US

(74) Vertreter:
Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen

(72) Erfinder:
Thomenius, Kai Erik, Clifton Park, N.Y., US; Fisher, Rayette Ann, Niskayuna, N.Y., US; Wodnicki, Robert Gideon, Niskayuna, N.Y., US; Hazard, Christopher Robert, Schenectady, N.Y., US; Smith, Lowell Scott, Niskayuna, N.Y., US; Mills, David Martin, Niskayuna, N.Y., US

(54) Bezeichnung: **Schaltkreise zum Schalten rekonfigurierbarer Arrays von Sensorelementen**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung mit mehreren Sensorelementen die in Reihen angeordnet sind;
mit mehreren Busleitungen;
mit mehreren Systemkanälen;
mit einer Vielzahl von Multiplexerschaltern zur wahlweisen Verbindung verschiedener Busleitungen mit verschiedenen Systemkanälen;
mit einem ersten Satz von Zugangsschaltern zur wahlweisen Verbindung eines ersten Satzes der Sensorelemente in einer ersten Reihe mit einer ersten Busleitung der mehreren Busleitungen, wobei jeder Zugangsschalter des ersten Satzes von Zugangsschaltern unter einem jeweiligen Sensorelement des ersten Satzes von Sensorelementen angeordnet ist, wobei ein erster Zugangsschalter des ersten Satzes von Zugangsschaltern mit einem ersten Sensorelement verbunden ist, das ein Element des ersten Satzes von Sensorelementen ist;
mit mehreren Sätzen von Matrixschaltern, wobei jeder der Sätze von Matrixschaltern wahlweise ein jeweiliges Sensorelement der mehreren Sensorelemente mit einem jeweiligen Satz benachbarter Sensorelemente verbindet, wobei ein erster Matrixschalter der mehreren Sätze von Matrixschaltern mit einem ersten Sensorelement und mit einem zweiten Sensorelement verbunden ist, das kein Element...



Beschreibung**ERKLÄRUNG ÜBER VON DER US-BUNDESREGIERUNG GEFÖRDERTE FORSCHUNG UND ENTWICKLUNG**

[0001] Die Regierung der Vereinigten Staaten kann gemäß dem Vertrag mit der US-Regierung mit der Nummer DAMD17-02-1-0181, anerkannt von der US-Army, gewisse Rechte an dieser Erfindung haben.

VERWANDTE PATENTANMELDUNG

[0002] Diese Anmeldung bildet eine Continuation-in-Part-Anmeldung und beansprucht Priorität der US-Patentanmeldung mit der Anmeldenummer 10/383,990, die am 6. März 2003 eingereicht worden ist und den Titel „Mosaic Arrays Using Micromachined Ultrasound Transducers“ trägt.

HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG

[0003] Diese Erfindung betrifft allgemein rekonfigurierbare Arrays von Sensoren (z.B. optischen, thermischen, Druck-, Ultraschallsensoren). Insbesondere betrifft die Erfindung durch Mikrobearbeitung hergestellte Ultraschallwandlerarrays (MUT-Arrays, Micromachined Ultrasonic Transducer Arrays). Eine spezielle Anwendung für MUTs liegt in Ultraschallbildgebungssystemen zur medizinischen Diagnose. Ein weiteres spezielles Beispiel stellt die zerstörungsfreie Prüfung (NDE, Non-Destructive Evaluation) von Materialien, beispielsweise Gussstücken, Schmiedestücken oder Rohrleitungen, dar.

[0004] Herkömmliche Ultraschallbildgebungssysteme weisen ein Array von Ultraschallwandlern auf, die verwendet werden, um einen Ultraschallstrahl auszusenden und anschließend den von dem gerade untersuchten Objekt reflektierten Strahl zu empfangen. Ein derartiges Scannen umfasst eine Folge von Messungen, in denen die fokussierte Ultraschallwelle ausgesandt wird, das System nach einer kurzen Zeitspanne in den Empfangsmodus umschaltet und die reflektierte Ultraschallwelle empfangen, strahlgeformt und zur Anzeige verarbeitet wird. Gewöhnlich werden das Senden und der Empfang während jeder Messung in der gleichen Richtung fokussiert, um Daten von einer Folge von Punkten entlang einer akustischen Strahllinie oder Scannlinie zu akquirieren. Der Empfänger wird entlang der Scannlinie kontinuierlich neu fokussiert, während die reflektierten Ultraschallwellen empfangen werden.

[0005] Für eine Ultraschallbildgebung weist das Array gewöhnlich eine Vielzahl von Wandlern auf, die in einer oder mehreren Zeilen bzw. Reihen angeordnet und beim Senden mit gesonderten Spannungen angesteuert werden. Durch Auswahl der Zeitverzöge-

rung (oder Phase) und Amplitude der angelegten Spannungen können die einzelnen Wandler gesteuert werden, um Ultraschallwellen hervorzubringen, die sich kombinieren bzw. einander überlagern, um eine Gesamtultraschallwelle zu bilden, die sich entlang einer bevorzugten Vektorrichtung ausbreitet und in einer ausgewählten Zone entlang des Strahls fokussiert ist.

[0006] Die gleichen Prinzipien gelten, wenn die Ultraschallsonde verwendet wird, um den reflektierten Schall in einem Empfangsmodus zu empfangen. Die an den Empfangswandlern erzeugten Spannungen werden derart aufsummiert, dass das Netto- bzw. Gesamtsignal den von einer einzelnen Fokuszone in dem Objekt reflektierten Ultraschall kennzeichnet. Wie in dem Sendemodus wird auch dieser fokussierte Empfang der Ultraschallenergie dadurch erreicht, dass dem Signal von jedem Empfangswandler eine gesonderte Zeitverzögerung (und/oder Phasenverschiebungen) gegeben wird. Die Zeitverzögerungen sind an die zunehmende Tiefe des rückkehrenden Signals angepasst, um beim Empfang eine dynamische Fokussierung zu erzielen.

[0007] Die Qualität oder Auflösung des erzeugten Bildes ist zum Teil von der Anzahl von Wandlern abhängig, die jeweils die Sende- und Empfangsaperaturen des Wandlerarrays bilden. Zur Erzielung einer hohen Bildqualität ist folglich eine große Anzahl von Wandlern sowohl für zwei- als auch für dreidimensionale Bildgebungsanwendungen erwünscht. Die Ultraschallwandler sind gewöhnlich in einer von Hand gehaltenen Wandlersonde angeordnet, die über ein flexibles Kabel mit einer Elektroneinheit verbunden ist, die die Wandler signale verarbeitet und Ultraschallbilder erzeugt. Die Wandlersonde kann sowohl eine Ultraschallsendesaltung als auch eine Ultraschallempfangsschaltung tragen.

[0008] Ein rekonfigurierbares Ultraschallarray ist eines, das Gruppen von Subelementen ermöglicht, in dynamischer Weise miteinander verbunden zu werden, so dass erzielt werden kann, dass die Gestalt des resultierenden Elementes mit der Gestalt der Wellenfront übereinstimmt. Dies kann zu einem verbesserten Verhalten und/oder einer reduzierten Kanalanzahl führen. Eine Rekonfigurierbarkeit kann unter Verwendung eines Schaltnetzwerks erreicht werden.

[0009] In letzter Zeit sind Halbleiterprozesse dazu verwendet worden, Ultraschallwandler einer als mikrobearbeitete Ultraschallwandler (MUTs, Micromachined Ultrasonic Transducers) bekannten Bauart herzustellen, die von der kapazitiven (MUT) oder piezoelektrischen Art (pMUT) sein können. MUTs sind winzige membranartige Vorrichtungen mit Elektroden, die die Schallschwingung eines empfangenen Ultraschallsignals in eine modulierte elektrische Ka-

pazität umwandeln. Zum Senden wird die kapazitiven Ladung moduliert, um die Membran der Vorrichtung schwingen zu lassen und dadurch eine Schallwelle auszusenden. Ein Vorteil der MUTs besteht darin, dass sie unter Verwendung von Halbleiterfertigungsprozessen, beispielsweise Mikrofertigungsprozessen, die unter dem Oberbegriff „Mikrobearbeitung“ zusammengefasst werden, hergestellt werden können. Die aus derartigen Mikrobearbeitungsprozessen resultierenden Systeme werden gewöhnlich als „mikrobearbeitete elektromechanische Systeme“ (MEMS, Micromachined Electro-Mechanical Systems) bezeichnet.

[0010] Die cMUTs sind gewöhnlich hexagonalförmige Strukturen, die eine über diese gespannte Membran aufweisen. Diese Membran wird durch eine angelegte Vorspannung nahe an der Substratoberfläche gehalten. Durch Anwendung eines Schwingungssignals auf den bereits vorgespannten cMUT, kann die Membran zum Schwingen veranlasst werden, wodurch es ihr ermöglicht wird, Schallenergie auszustrahlen. In gleicher Weise können die beim Auftreffen von Schallwellen auf die Membran entstehenden Schwingungen in Form von Spannungsveränderungen auf dem cMUT erfasst werden. Eine cMUT-Zelle ist der Ausdruck, der verwendet wird, um eine einzelne dieser hexagonalen „Trommel“-Strukturen zu beschreiben. Die cMUT-Zellen können sehr kleine Strukturen sein. Typische Zellenabmessungen betragen 25–50 Abmessungen von einem flachen Rand zum anderen flachen Rand auf dem Hexagon. Die Abmessungen der Zellen sind in vielfältiger Weise durch die ausgelegte akustische Antwort bestimmt. Es kann evtl. nicht möglich sein, größere Zellen zu erzeugen, die hinsichtlich der gewünschten Frequenzantwort und Empfindlichkeit immer noch gut funktionieren.

[0011] Bedauerlicherweise ist es schwierig, eine Elektronik zu erzeugen, die eine individuelle Steuerung bei derart kleinen Zellen ermöglichen würde. Während im Hinblick auf das akustische Verhalten des Arrays in seiner Gesamtheit die kleine Zellengröße hervorragend ist und zu einer großen Flexibilität führt, ist die Steuerung auf größere Strukturen begrenzt. Eine gemeinsame Gruppierung mehrerer Zellen und ihre elektrische Verbindung ermöglicht es, ein größeres Subelement zu erzeugen, das die individuelle Steuerung aufweisen kann, während das gewünschte akustische Antwortverhalten aufrechterhalten wird. Ein derartiges Subelement ist eine Gruppe von elektrisch miteinander verbundenen Zellen, die nicht rekonfiguriert werden können. Für die Zwecke dieser Offenbarung ist das Subelement die kleinste unabhängig steuerbare akustische Einheit. Durch Verbindung von Subelementen untereinander unter Verwendung eines Schaltnetzwerks können Ringe oder Elemente geschaffen werden. Die Elemente können rekonfiguriert werden, indem der Zustand

des Schaltnetzwerks verändert wird. Jedoch weisen Subelemente miteinander verbundene Zellen auf, die nicht durch Schalten voneinander getrennt und somit nicht rekonfiguriert werden können. Die gesamte folgende Analyse ist auch gültig, wenn das Array aus PZT oder durch irgendeine andere üblichere oder künftige Wandlertechnologie hergestellt ist.

[0012] Eine Rekonfigurierbarkeit bei Ultraschallwandlersubelementen auf Siliziumbasis ist in der US-Patentanmeldung mit der Anmeldenummer 10/383,990 beschrieben. Eine Form der Rekonfigurierbarkeit ist das mosaikartige ringförmige Array, das ebenfalls in dieser Patentanmeldung beschrieben ist. Das Konzept des mosaikartigen ringförmigen Arrays umfasst die Bildung von kreisringförmigen Elementen durch Gruppierung von Subelementen unter Verwendung eines rekonfigurierbaren elektronischen Schaltnetzwerks. Das Ziel besteht darin, die Anzahl von Strahlformungskanälen unter Aufrechterhaltung der Bildqualität und Verbesserung der Schichtdicke zu reduzieren. Zur Reduktion von Systemkanälen verwendet das mosaikartige ringförmige Array die Tatsache, dass bei einem ungesteuerten Strahl die Verzögerungskonturen auf der Oberfläche des zugrundeliegenden zweidimensionalen Wandlerarrays kreisförmig sind. In anderen Worten stellen die Isoverzögerungskurven (mit gleichen Verzögerungen) Ringe um das Zentrum des Strahls dar. Die Kreis-symmetrie der Verzögerungen führt zu der naheliegenden Gruppierung dieser Subelemente mit gleichen gemeinsamen Verzögerungen und führt zu dem Konzept eines Ringarrays. Die Rekonfigurierbarkeit kann dazu verwendet werden, den Strahl entlang des größeren zugrundeliegenden zweidimensionalen Wandlerarrays schrittweise weiterzuführen, um einen Scann oder ein Bild zu erzeugen. Die Rekonfigurierbarkeit kann auch zur Verbesserung des Verhaltens für Mehrfach-Sendeanwendungen verwendet werden, indem mehrere Kanäle der kleineren aktiven Apertur in dem Nahfeld zugewiesen werden. Es gibt viele weitere Anwendungen, in denen sich eine Rekonfigurierbarkeit als nützlich erweist.

[0013] Rekonfigurierbare Ultraschallwandler erfordern ein komplexes Schaltnetzwerk, dessen Implementierung mit momentan verfügbarer Elektronik sich schwierig gestalten oder nicht ausführbar sein kann. Es besteht ein Bedarf nach einem vereinfachten Schaltnetzwerk, das ein akzeptables Funktionsverhalten ergibt.

KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0014] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung, die ein Array von Sensoren aufweist, die mittels eines Schaltnetzwerks neu konfiguriert werden können. Die Sensoren können optische, thermische Sensoren oder Drucksensoren oder Ultraschallwandler sein. Die hier beschriebene Ausführungsform verwendet

ein zweidimensionales Array von kapazitiven mikro-bearbeiteten Ultraschallwandlern (cMUTs) als das zugrundeliegende Gitter, von dem aus größere Elemente aufgebaut werden. Die vorliegende Erfindung ist jedoch nicht auf cMUT-Strukturen beschränkt, sondern in gleicher Weise auf andere herkömmliche oder zukünftige Wandlertechnologien anwendbar.

[0015] Ein Aspekt der Erfindung betrifft eine Vorrichtung, die aufweist: mehrere Sensorelemente; mehrere Busleitungen; einen ersten Satz von Zugangsschaltern zur wahlweisen Verbindung eines ersten Satzes der Sensorelemente in einer ersten Reihe mit einer ersten Busleitung der mehreren Busleitungen, wobei ein erster Zugangsschalter des ersten Satzes von Zugangsschaltern mit einem ersten Sensorelement verbunden ist, das ein Teil oder Element des ersten Satzes von Sensorelementen ist; mehrere Sätze von Matrixschaltern, wobei jeder Satz Matrixschalter wahlweise ein jeweiliges Sensorelement der mehreren Sensorelemente mit einem jeweiligen Satz benachbarter Sensorelemente verbindet, wobei ein erster Matrixschalter der mehreren Sätze von Matrixschaltern mit einem ersten Sensorelement und einem zweiten Sensorelement verbunden ist, das kein Element des ersten Satzes von Sensorelementen ist; und eine Steuerungsschaltung, die die Zugangsschalter und die Matrixschalter entsprechend einer gewählten Schaltkonfiguration derart ansteuert, dass das erste Sensorelement mit der ersten Busleitung über den ersten Zugangsschalter verbunden ist, während gleichzeitig das zweite Sensorelement mit dem ersten Zugangsschalter über den ersten Matrixschalter verbunden ist.

[0016] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft eine Vorrichtung, die aufweist: mehrere Sensorelemente, die in Reihen angeordnet sind; mehrere Busleitungen; mehrere Systemkanäle; mehrere Schalter zur wahlweisen Verbindung verschiedener Busleitungen mit verschiedenen Systemkanälen; einen ersten Satz von Zugangsschaltern zur wahlweisen Verbindung eines ersten Satzes der Sensorelemente in einer ersten Reihe mit einer ersten Busleitung der mehreren Busleitungen, wobei jeder Zugangsschalter des ersten Satzes von Zugangsschaltern unter einem jeweiligen Sensorelement des ersten Satzes von Sensorelementen angeordnet ist, wobei ein erster Zugangsschalter des ersten Satzes von Zugangsschaltern mit einem ersten Sensorelement verbunden ist, das ein Element des ersten Satzes von Sensorelementen ist; mehrere Sätze von Matrixschaltern, wobei jeder der Sätze von Matrixschaltern wahlweise ein jeweiliges Sensorelement der mehreren Sensorelemente mit einem jeweiligen Satz benachbarter Sensorelemente verbindet, wobei ein erster Matrixschalter der mehreren Sätze von Matrixschaltern mit einem ersten Sensorelement und mit einem zweiten Sensorelement verbunden ist, das kein Element des ersten Satzes von Sensorelementen ist;

und eine Steuerungsschaltung, die die Multiplexerschalter, die Zugangsschalter und die Matrixschalter gemäß einer gewählten Schaltkonfiguration derart steuert, dass das erste Sensorelement mit einem ersten Systemkanal über einen ersten Kreuzungspunktschalter der mehreren Kreuzungspunktschalter, der mit der ersten Busleitung verbunden ist, über die erste Busleitung und über den ersten Zugangsschalter verbunden ist, während gleichzeitig das zweite Sensorelement mit dem ersten Zugangsschalter über den ersten Matrixschalter verbunden ist.

[0017] Ein weiterer Aspekt der Erfindung betrifft ein Ultraschallwandlerarray, das aufweist: mehrere Busleitungen, mehrere Zugangsschalter, wobei jeder Zugangsschalter mit einer der Busleitungen verbunden ist; und mehrere Subelemente, wobei jedes Subelement mit einer der Busleitungen durch Umschalten über einen jeweiligen der Zugangsschalter verbindbar ist und mehrere zugehörige MUT-Zellen sowie mehrere zugehörige Matrixschalter aufweist, wobei alle MUT-Zellen in einem bestimmten Subelement untereinander verbunden und nicht durch Schalten voneinander getrennt werden können, wobei jedes Subelement mit jedem benachbarten Subelement über einen jeweiligen Matrixschalter durch Umschalten verbindbar ist.

[0018] Weitere Aspekte der Erfindung sind nachstehend beschrieben und beansprucht.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0019] [Fig. 1](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung einer Querschnittsansicht einer typischen cMUT-Zelle.

[0020] [Fig. 2](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung eines „Gänseblumen“-förmigen („Daisy“-)Subelementes, das aus sieben hexagonalen MUT-Zellen gebildet ist, deren obere und untere Elektroden jeweils ohne dazwischen eingefügte Schalter miteinander verbunden sind. Diese Zeichnung ist der US-Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 10/383,990 entnommen.

[0021] [Fig. 3](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung eines Sektors eines vier ringförmige Elemente aufweisenden Mosaikarrays, wie es in der US-Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 10/383,990 beschrieben ist, wobei jedes Element aus einer Mosaikanordnung von „Gänseblumen“-Subelementen besteht, die konfiguriert sind, um einen annähernd gleichen Flächenbereich pro Element zu haben.

[0022] [Fig. 4](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung einer Querschnittsansicht eines kointegrierten cMUT- und anwendungsspezifischen integrierten Schaltungs (ASIC)-Arrays.

[0023] [Fig. 5](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung einer Querschnittsansicht eines cMUT-Wafers, der mit einer ASIC-Schaltmatrix verbunden ist.

[0024] [Fig. 6](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung einer Draufsicht auf ein hexagonales Array von cMUT-Subelementen über einem hexagonalen Array zugehöriger Einzelschaltzellen.

[0025] [Fig. 7](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung einer Draufsicht auf ein hexagonales Array von cMUT-Subelementen über einem rechteckigen Array zugehöriger Einzelschaltzellen.

[0026] [Fig. 8](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung einer Verschiebung eines ringförmigen Wandlerelementes quer durch ein Array.

[0027] [Fig. 9](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung einer Architektur, in der sämtliche Systemkanäle über das Array hinweg derart verteilt angeordnet sind, dass jedes Wandlersubelement zu jedem Systemkanal Zugang hat.

[0028] [Fig. 10](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung einer Architektur, in der die Anzahl von Schaltern in jedem Subelement dadurch begrenzt ist, dass eine einzige Busleitung pro Reihe von Subelementen vorgesehen ist, wobei die Busleitungen über einen Multiplexer mit Systemkanälen verbunden sind.

[0029] [Fig. 11](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung einer Architektur mit mehreren Busleitungen pro Reihe von Subelementen, die es ermöglicht, Subelemente auf unterschiedlichen Systemkanälen innerhalb der gleichen Reihe gemeinsam zu gruppieren.

[0030] [Fig. 12](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung einer Architektur entsprechend einer Ausführungsform der Erfindung, die es ermöglicht, ein Subelement in einer ersten Reihe mit einer Busleitung für eine zweite Reihe von Subelementen zu verbinden, indem dieses mit einem Zugangsschalter eines benachbarten Subelementes in der zweiten Reihe über einen Matrixschalter des Subelementes in der ersten Reihe verbunden wird.

[0031] [Fig. 13](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung einer Architektur gemäß einer weiteren Ausführungsform der Erfindung, die es ermöglicht, ein bestimmtes Subelement in einer bestimmten Reihe eines cMUT-Arrays mit einer beliebigen von einer Vielzahl von Systemkanalbusleitungen zu verbinden.

[0032] [Fig. 14](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung eines hexagonalen Arrays von Subelementen mit Busleitungen, die mit jeweiligen Spalten

von Subelementen über (durch feste Punkte angezeigte) Zugangsschalter verbunden sind.

[0033] [Fig. 15](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung eines hexagonalen Arrays von Subelementen, wobei einige Subelemente mit vertikalen und horizontalen Busleitungen über jeweilige (durch feste Punkte angezeigte) Zugangsschalter verbunden sind.

[0034] [Fig. 16](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung eines hexagonalen Arrays von Subelementen mit Busleitungen, die diagonal entlang der natürlichen Achsen des hexagonalen Arrays angeordnet sind. Die Zugangsschalter sind durch feste Punkte angedeutet.

[0035] [Fig. 17](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung von Verbindungen zu einem gemeinsamen Verbindungspunkt in der Elektronik, die einem bestimmten akustischen Subelement zugeordnet ist, gemäß der in [Fig. 13](#) dargestellten Ausführungsform.

[0036] [Fig. 18](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung von Komponenten einer repräsentativen Einzelschaltzelle, die unter einem (nicht veranschaulichten) akustischen Subelement gebildet und elektrisch mit diesem verbunden ist.

[0037] [Fig. 19](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung eines Zugangsschalters und Schaltkreises zur Steuerung des Zustandes dieses Zugangsschalters, wie bisher in der US-Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 10/248,968 beschrieben.

[0038] [Fig. 20](#) zeigt eine Zeichnung unter Veranschaulichung einer Anordnung von Zugangs- und Matrixschaltern zur Verwendung im Zusammenhang mit Ringen (deren Abschnitte durch mit Strichlinie eingezeichnete Bögen angedeutet sind) mit einer Einzelsubelementweite, die dicht zusammengepackt sind. Zugangsschalter sind durch feste Punkte angezeigt; Matrixschalter sind durch Bindestriche angezeigt.

[0039] Es wird nun auf die Zeichnungen Bezug genommen, in denen ähnliche Elemente in unterschiedlichen Zeichnungen die gleichen Bezugszeichen tragen.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0040] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung, die ein Array von Sensoren aufweist, die mittels eines Schaltnetzwerks rekonfigurierbar sind. Für die Zwecke der Veranschaulichung ist das rekonfigurierbare Array in Bezug auf kapazitive mikrobearbeitete Ultraschallwandler (cMUTs) beschrieben. Jedoch sollte es

verständlich sein, dass die Aspekte der hier offenbarten Erfindung nicht auf ihre Anwendung auf Sonden, die cMUTs verwenden, beschränkt sind, sondern dass sie auch auf Sonden angewandt werden können, die pMUTs oder sogar würfel- oder chipförmige piezokeramische Arrays verwenden, in denen jedes der würfel- bzw. chipförmigen Subelemente durch Verbindungsmittel mit einer zugrundeliegenden Schaltebene oder -schicht verbunden sind. Die gleichen Aspekte der Erfindung sind ebenfalls auf rekonfigurierbare Arrays von optischen Sensoren, thermischen Sensoren oder Drucksensoren anwendbar.

[0041] Bezugnehmend auf [Fig. 1](#) ist eine gewöhnliche cMUT-Wandlerzelle **2** im Querschnitt veranschaulicht. Ein Array von derartigen cMUT-Wandlerzellen ist gewöhnlich auf einem Substrat **4**, beispielsweise einem stark dotierten Siliziumwafer (somit Halbleiterwafer) erzeugt. Bei jeder cMUT-Wandlerzelle ist oberhalb des Substrats **4** eine dünne Membran oder Membranwand **8** aufgehängt, die aus Siliziumnitrid hergestellt sein kann. Die Membran **8** ist an ihrem Rand durch einen isolierenden Träger **6** gehalten, der aus Siliziumoxid oder Siliziumnitrid hergestellt sein kann. Der Hohlraum **14** zwischen der Membran **8** und dem Substrat **4** kann mit Luft oder einem Gas gefüllt oder vollständig oder teilweise evakuiert sein. Gewöhnlich sind cMUTs so vollständig, wie es die Prozesse ermöglichen, evakuiert. Ein Film oder eine Schicht eines leitfähigen Materials, beispielsweise einer Aluminiumlegierung oder eines sonstigen geeigneten leitfähigen Werkstoffs, bildet eine Elektrode **12** an der Membran **8**, während ein weiterer Film oder eine Schicht, die aus einem leitfähigen Material hergestellt ist, eine Elektrode **10** an dem Substrat **4** bildet. Alternativ kann die untere Elektrode auch durch geeignetes Dotieren des halbleitenden Substrats **4** gebildet sein.

[0042] Die beiden Elektroden **10** und **12**, die durch den Hohlraum **14** voneinander getrennt sind, bilden eine Kapazität. Wenn ein auftreffendes Schaltsignal die Membran **8** zum Schwingen veranlasst, kann die Schwankung der Kapazität unter Verwendung einer zugehörigen (in [Fig. 1](#) nicht veranschaulichten) Elektronik erfasst werden, wodurch das Schaltsignal in ein elektrisches Signal umgewandelt wird. Umgekehrt beeinflusst bzw. steuert ein Wechselspannungssignal, das an eine der Elektroden angelegt wird, die Ladung an der Elektrode, die wiederum eine Beeinflussung bzw. Steuerung der kapazitiven Kraft zwischen den Elektroden zur Folge hat, wobei die Letztere die Membran veranlasst, sich zu bewegen und dadurch ein Schallsignal auszusenden.

[0043] Die einzelnen Zellen weisen runde, rechteckige, hexagonale oder sonstige Randformen auf. Hexagonale Formen ergeben eine dichte Packung der cMUT-Zellen eines Wandlersubelementes. Die cMUT-Zellen können unterschiedliche Abmessungen

haben, so dass die Wandlersubelemente aus den verschiedenen Zellengrößen zusammengesetzte Eigenschaften aufweisen, die dem Wandler eine Breitbandcharakteristik verleihen.

[0044] Bedauerlicherweise ist es schwierig, eine Elektronik zu erzeugen, die eine individuelle Steuerung über derart kleinen Zellen ermöglichen würde. Während hinsichtlich des akustischen Verhaltens des Arrays als Ganzes die kleine Zellengröße hervorragend ist und zu einer großen Flexibilität führt, ist eine Steuerung auf größere Strukturen begrenzt. Eine gemeinsame Gruppierung mehrerer Zellen und ihre elektrische Verbindung ermöglicht es, ein größeres Subelement zu erzeugen, das die individuelle Steuerung aufweisen kann, während das gewünschte akustische Antwortverhalten aufrechterhalten wird. Es können Ringe oder Elemente durch Verbindung von Subelementen unter Verwendung eines Schaltnetzwerks gebildet werden. Die Elemente können durch Veränderung des Zustands des Schaltnetzwerks neu konfiguriert werden. Jedoch können einzelne Subelemente nicht neu konfiguriert werden, um unterschiedliche Subelemente zu bilden.

[0045] MUT-Zellen können miteinander (d.h. ohne dazwischen geschaltete Schalter) in dem Mikrobearbeitungsprozess verbunden werden, um Subelemente zu erzeugen. Der Ausdruck „akustisches Subelement“ oder „Schallsubelement“ wird im Folgenden verwendet, um ein derartiges Cluster bzw. eine derartige Gruppe zu beschreiben. Diese akustischen Subelemente werden durch mikroelektronische Schalter miteinander verbunden, um größere Elemente zu bilden, indem derartige Schalter in der Siliziumschicht oder auf einem anderen Substrat, das unmittelbar neben dem Wandlerarray angeordnet ist, platziert werden.

[0046] In dem hier verwendeten Sinne bezeichnet der Ausdruck „akustisches Subelement“ bzw. „Schallsubelement“ eine einzelne Zelle oder eine Gruppe von elektrisch miteinander verbundenen Zellen, die nicht rekonfiguriert werden kann bzw. können, was bedeutet, dass das Subelement die kleinste unabhängig von anderen steuerbare akustische Einheit bildet. Der Ausdruck „Subelement“ meint ein akustisches Subelement und seine zugehörige integrierte Elektronik. Ein „Element“ wird gebildet, indem Subelemente unter Verwendung eines Schaltnetzwerks untereinander verbunden werden. Die Elemente können rekonfiguriert werden, indem der Zustand des Schaltnetzwerks verändert wird. Wenigstens einige der in dem Schaltnetzwerk enthaltenen Schalter sind Teil der „zugehörigen integrierten Elektronik“, wie dies in größeren Einzelheiten nachstehend erläutert ist.

[0047] Für die Zwecke der Veranschaulichung zeigt [Fig. 2](#) ein „Gänseblume“-förmiges („Daisy“) Wandler-

subelement **16**, das aus sieben hexagonalen cMUT-Zellen **2** erzeugt ist: Eine zentrale Zelle ist von einem Ring aus sechs Zellen umgeben, wobei jede Zelle in dem Ring mit einer jeweiligen Seite der zentralen Zelle und den benachbarten Zellen in dem Ring zusammenhängt bzw. an diese angrenzt. Die oberen Elektroden **12** jeder cMUT-Zelle **2** sind durch Verbindungen, die nicht durch Schalten unterbrochen werden können, elektrisch miteinander gekoppelt. In dem Fall eines hexagonalen Arrays führen sechs Leiter strahlenförmig von der oberen Elektrode **12** nach außen weg und sind jeweils mit den oberen Elektroden der benachbarten cMUT-Zellen verbunden (außer in dem Fall der Zellen an dem Rand, die mit drei, nicht sechs weiteren Zellen verbunden sind). In ähnlicher Weise sind die unteren Elektroden **10** aller Zellen **2** durch Verbindungen elektrisch miteinander gekoppelt, die nicht durch Schalten voneinander getrennt werden können, wodurch ein sieben Mal größeres kapazitives Wandler-subelement **16** gebildet ist.

[0048] Subelemente der in [Fig. 2](#) veranschaulichten Art können eingerichtet sein, um ein zweidimensionales Array auf einem halbleitenden (z.B. aus Silizium hergestellten) Substrat zu bilden. Diese Subelemente können mit einem Schaltnetzwerk rekonfiguriert werden, um Elemente, beispielsweise kreisringförmige Ringe, zu bilden. Eine Rekonfigurierbarkeit unter Verwendung auf Silizium basierender Ultraschallwandlersubelemente ist in der US-Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 10/383,990 beschrieben. Eine Form der Rekonfigurierbarkeit bildet das Mosaikringarray, das ebenfalls in dieser Patentanmeldung beschrieben ist. Das Konzept des mosaikartigen kreisringförmigen Arrays umfasst die Bildung kreisringförmiger Elemente durch gemeinsame Gruppierung von Subelementen unter Verwendung eines rekonfigurierbaren elektronischen Schaltnetzwerks. Das Ziel besteht darin, die Anzahl von Strahlformungskanälen zu reduzieren, wobei gleichzeitig die Bildqualität aufrechterhalten werden und die Schichtdicke verbessert sein soll. Zur Reduktion von Systemkanälen nutzt das mosaikartige Ringarray die Tatsache, dass für einen ungesteuerten bzw. unausgelenkten Strahl die Verzögerungskonturen auf der Fläche des zugrundeliegenden zweidimensionalen Wandlerarrays kreisförmig sind. In anderen Worten sind die die gleiche Verzögerung aufweisenden Isoverzögerungskurven durch über dem Zentrum des Strahls angeordnete Ringe gebildet. Die Kreissymmetrie der Verzögerungen hat die naheliegende Gruppierung dieser Subelemente mit gleichen, gemeinsamen Verzögerungen zur Folge. Die Rekonfigurierbarkeit kann verwendet werden, um den Strahl entlang des größeren zugrundeliegenden zweidimensionalen Wandlerarrays fortzuschalten, um einen Scann oder ein Bild zu erzeugen.

[0049] Es gibt zahlreiche Möglichkeiten zur Erzeu-

gung von Wandlerarrays unter Verwendung von MUT-Zellen und akustischen Subelementen. [Fig. 3](#) veranschaulicht ein Beispiel für Mosaikanordnungen von akustischen Subelementen zur Erzeugung eines mosaikartigen Arrays. In der in [Fig. 3](#) veranschaulichten Ausführungsform sind vier annähernd kreisringförmige Elemente (die jeweils mit den Bezugszeichen **18A–D** bezeichnet sind), von denen jedes eine Mosaikanordnung von „gänseblumen“-förmigen akustischen Subelementen aufweist (wobei sieben MUT-Zellen pro Subelementen miteinander verbunden sind), derart konfiguriert, dass sie ungefähr die gleiche Fläche pro Element haben. Die Mosaikanordnung kann in jedem Fall aus mehreren Subelementarten gebildet sein. Das Arraymuster muss nicht eine Mosaik sein, sondern kann Bereiche ohne akustische Subelemente aufweisen. Beispielsweise können Durchkontaktierungen enthalten sein, die die oberen Elektrodenanschlüsse des akustischen Subelementes oder der Zellen bis unter das Array heranzuführen.

[0050] Die Konfigurationen der Erfindung können verändert werden, um verschiedene akustische Parameter, wie beispielsweise die Strahlweite, das Maß der Nebenkeule oder die Tiefe des Fokuspunktes, zu optimieren. Alternativ können die akustischen Subelemente gemeinsam gruppiert, um eine einzelne Appertur für den Sendebetrieb zu bilden, und sofort zu einer anderen Appertur für den Empfangsteil umgeschaltet werden. Während [Fig. 3](#) jeweilige Abschnitte von annähernd kreisringförmigen Elementen veranschaulicht, können andere Konfigurationen, z.B. diskontinuierliche Ringe, Oktalringe oder Bögen, verwirklicht werden. Die Wahl des Musters hängt von den Anforderungen der Anwendung ab.

[0051] Die meisten Apperturen bestehen aus zusammenhängenden, gruppierten Subelementen, die miteinander verbunden sind, um ein einzelnes größeres Element, beispielsweise die in [Fig. 3](#) veranschaulichten kreisringförmigen Elemente, zu bilden. In diesem Fall ist es nicht erforderlich, jedes Subelement unmittelbar an seine zugehörige Busleitung anzuschließen. Es reicht aus, eine begrenzte Anzahl von Subelementen in einer gegebenen Gruppe anzuschließen und dann die restlichen Subelemente miteinander zu verbinden. Auf diese Weise wird das Sendesignal von dem System entlang der Busleitungen und in das Element hinein über eine begrenzte Anzahl von Zugangspunkten weitergeleitet. Von da aus breitet sich das Signal in dem Element über lokale Verbindungen aus.

[0052] Wenn eine bestimmte Geometrie vorgegeben ist, mappt das rekonfigurierbare Array akustische Subelemente auf Systemkanäle bzw. ordnet diese den Systemkanälen zu. Dieses Mapping oder diese Zuordnung ist dazu eingerichtet, ein verbessertes Verhalten zu erzielen. Das Mapping wird durch ein Schaltnetzwerk vorgenommen, das idealerweise

unmittelbar in dem Substrat platziert ist, auf dem die cMUT-Zellen ausgebildet sind, wobei es jedoch auch in einem anderen Substrat neben dem Wandlersubstrat integriert sein kann. Da cMUT-Arrays unmittelbar auf der Oberseite eines Siliziumsubstrats aufgebaut werden, kann die Schaltelektronik in dieses Substrat eingefügt werden. Für ein PZT oder eine eher herkömmliche Implementierung würde das Schaltnetzwerk einfach in einem gesonderten Siliziumsubstrat erzeugt und an dem PZT-Array angebracht werden.

[0053] Eine Querschnittsansicht eines kointegrierten cMUT- und ASIC-Arrays ist in [Fig. 4](#) veranschaulicht, um zu zeigen, auf welche Weise die Verbindungen von dem ASIC zu den cMUTs hergestellt sein würden. Wie veranschaulicht, wird eine einzelne Durchkontaktierung **56** verwendet, um jedes cMUT-Subelement **32** mit einem seinen Gegenpart bildenden CMOS-Subelement (oder einer „Zelle“) **50** zu verbinden. Die Durchkontaktierungen **56**, die die Signalelektroden mit jeweiligen leitfähigen Anschlussinseln **66** verbinden, die an dem Schalter-ASIC ausgebildet sind, können in einer akustischen Trägerschicht **62** eingebettet sein.

[0054] Es ist auch möglich, die cMUTs auf einem gesonderten Wafer auszubilden und sie mit der ASIC-Schaltmatrix gesondert zu verbinden, wie dies in [Fig. 5](#) veranschaulicht ist. Hier werden beispielsweise Lötperlen **64** und leitfähige Anschlussinseln **66** verwendet, um die einzelnen cMUT-Subelemente **32** mit ihren Gegenstücken **50** der Schaltelektronik zu verbinden. Es können auch andere Packungstechniken, wie beispielsweise ein anisotropischer leitfähiger Film (ACF, Anisotropic Conductive Film) oder eine flexible Zwischenverbindung, verwendet werden.

[0055] Für eine optimale Packungsdichte ist es nützlich, die cMUT-Subelemente **32** und die zugehörige Elektornik auf einem hexagonalen Gitter oder Raster kachelartig anzuordnen, wie es in [Fig. 6](#) veranschaulicht ist, die eine Draufsicht auf die ASIC-Schaltmatrix zeigt. Hier sind die CMOS-Einzelschaltzellen **50** in Spalten angeordnet, wobei jede zweite Spalte um eine halbe Zellenhöhe versetzt angeordnet ist. Bei richtiger Wahl der Zellenabmessungen ergibt dies ein vollkommen hexagonales Array von Anschlussinseln **66**, wie es veranschaulicht ist. Die Durchkontaktierungen **56** (die ebenfalls in Form eines hexagonalen Arrays angeordnet sind) verbinden dann die jeweiligen (in [Fig. 4](#) nicht veranschaulichten) Anschlussinseln, die die Basis für Verbindungen zu der darüber liegenden Wandlerschicht bilden, die ein hexagonales Array von Subelementen aufweist. Eine etwas einfachere ASIC-Implementierung ist in [Fig. 7](#) veranschaulicht. Hier sind die CMOS-Einzelschaltzellen **50** in horizontalen Reihen und vertikalen Spalten angeordnet, um ein rechteckiges Gitter

bzw. Raster zu bilden, während die hexagonalen Subelemente **32** über diesen ein hexagonales Gitter bzw. Raster bilden. Wie in [Fig. 7](#) veranschaulicht, sind die Anschlussinseln **66** der Einzelschaltzellen, die in Reihen und Spalten angeordnet sind, so dass sie ein rechteckiges Array bilden, weiterhin auf einer Linie richtig ausgerichtet, um die Verbindungen zu bilden, so dass die Einzelschaltzellen **50** mit jeweiligen hexagonalen Subelementen **32** elektrisch verbunden sind. In jedem Fall ermöglicht das hexagonale Gittermuster der Subelemente, die Strahlmuster des mosaikartigen ringförmigen Arrays, wie in [Fig. 3](#) veranschaulicht, zu realisieren.

[0056] In typischem Betrieb wird das rekonfigurierbare Array mit einem anfänglichen Aperturmuster programmiert, das dem in [Fig. 3](#) veranschaulichten ähnlich ist. Dieses Muster ermöglicht dem Strahlformer, einen Strahl vor dem Array zu erzeugen. Bei einer Bildgebung wird die Apertur über dem Array **60** in der in [Fig. 8](#) veranschaulichten Weise gescannt, in der der Ring von dem Ring 1 bei $t = 1$ zu dem Ring 2 bei $t = 2$ und schließlich zu dem Ring N bei $t = N$ übergeht, wobei t die Zeit darstellt, während N eine positive ganze Zahl ist, die größer ist als 2. Auf diese Weise wird der Strahl in dem Raum vor dem Array gewobelt bzw. abgelenkt, während die strahlgeformten Echos verwendet werden, aufeinanderfolgende Linien des Bildes zu bilden. Das rekonfigurierbare Array hat den Zweck, den in [Fig. 8](#) veranschaulichten Bildgebungsvorgang elektronisch für ein willkürlich komplexes Arraymuster bewerkstelligen zu können. Bisherige Ultraschallscanner sind in der Lage, ein elektronisches Scannen zu bewerkstelligen, sind jedoch aufgrund einer fehlenden feinen Verteilung von Sensorsubelementen in der Höhen- bzw. Elevationsrichtung und einer festen Geometrie hinsichtlich der Komplexität der Apertur beschränkt.

[0057] Ein voll rekonfigurierbares Array, wie es in [Fig. 8](#) veranschaulicht ist, stellt bei der Implementierung viele wesentliche Herausforderungen bzw. Schwierigkeiten dar. Das Sensorarray ist in zehntausende Subelemente unterteilt. Strahlmuster werden gebildet, indem die Subelemente an ihren Verbindungen mit einer endlichen Anzahl von Sende/Empfangs- und Strahlformungskanälen des Systems gruppiert werden. Bei der Verwendung zur Realisierung des Konzeptes des mosaikartigen kreisringförmigen Arrays bildet das rekonfigurierbare Array mehrere Ringe, die in elektronischer Weise quer durch das Array verschoben werden. Bei jedem neuen Schritt der Verschiebung wird das gesamte Ringmuster in das Array neu einprogrammiert, um eine neue Konfiguration zu erzeugen. Es könnte auch die Möglichkeit bereitgestellt werden, Ringmuster zwischen dem Senden und dem Empfang sowie in mehreren Intervallen während des Empfangs zu aktualisieren, um die Verzerrung des geformten Strahls zu reduzieren und dadurch die Bildqualität zu verbessern.

[0058] In typischen Systemen werden 128 oder mehrere Strahlformungskanäle verwendet. Momentane Ultraschallsysteme verwenden Multiplexarchitekturen, die die 128 Systemkanäle zu einer festen Anzahl von Wandlerelementen leiten können. Unter Verwendung eines vernünftigen Entwurfs dieser Multiplexernetzwerke ist es möglich, ein standardgemäßes Scannmuster mit einer begrenzten Anzahl von elektronischen Bauelementen zu erzeugen. In den meisten Fällen ist jedoch das Scannmuster festgelegt und aufgrund der Beschränkungen des Netzwerks nicht rekonfigurierbar. Ein vollständig rekonfigurierbares Array ist diesen Beschränkungen nicht unterworfen; jedoch erfordert es zu seiner Implementierung eine sehr dichte Schaltmatrix.

[0059] Wie in [Fig. 8](#) veranschaulicht, erfordert die grundlegende Natur des rekonfigurierbaren Arrays, dass jedes beliebige Subelement willkürlich mit einem beliebigen Systemkanal verbunden werden kann. Wenn beispielsweise die Apertur von der ersten Stelle zu der nächsten Stelle gescannt wird, muss das Subelement S2 zuerst einen Teil eines (nicht veranschaulichten) inneren Ringes und anschließend einen Teil des Ringes 2 bilden. Dies bedeutet, dass es innerhalb einer kurzen Zeitspanne von einem an einen ersten Systemkanal angeschlossenen Zustand zu einem an einen anderen Systemkanal angeschlossenen Zustand umschalten muss. Dies gilt im Wesentlichen für eine große Anzahl von Subelementen in dem Array während eines Scannvorgangs.

[0060] Der einfachste Weg zur Verwirklichung dieser Anforderung besteht darin, sämtliche Systemkanäle über das Array hinweg derart zu verteilen, dass jedes Subelement einen Zugang zu jedem Systemkanal aufweist. Diese Architektur ist in [Fig. 9](#) veranschaulicht. Hier sind zu Veranschaulichungszwecken lediglich fünf Systemkanäle dargestellt. Jeder Systemkanal ist an einen durch jedes Subelement führenden Bus angeschlossen, wobei lokale Schalter verwendet werden, um auszuwählen, welcher Systemkanal durch welches Subelement erfasst wird.

[0061] In einem System, in dem die Matrixelektronik unmittelbar hinter dem Wandlerarray liegt, ist der freie Raum für die Schaltelektronik jedes Subelementes auf die Größe des Subelementes begrenzt. In gewöhnlichen Ultraschallsystemen liegt diese Größe in der Größenordnung einiger hundert Mikrometer, könnte jedoch kleiner als dieses sein. Da sich die Größe eines Schalters im umgekehrten Verhältnis zu seinem Durchlasswiderstand verändert, steht man vor einem Kompromiss: mehr Schalter mit höherem Durchlasswiderstand oder weniger Schalter mit geringerem Durchlasswiderstand. Selbst wenn jedoch die Extremfälle berücksichtigt werden, in denen die Schalter so klein wie nur möglich ausgeführt sind, wird bald verständlich, dass mit den momentanen Halbleitertechnologien viel mehr als 16 Schalter nicht

ohne weiteres in den zugewiesenen Raum passen können. Da die voll bestückte Architektur nach [Fig. 9](#) für ein echtes Array noch mehr Schalter enthalten wird, scheint dies mit dem momentanen Stand der Technik schwer zu bewältigen sein.

[0062] Obwohl künftige Technologien es wohl praktisch ermöglichen werden, viel mehr Schalter in demselben Raum zu integrieren, wird der Fortschritt beim Ultraschall dahingehen, die zugeteilte Zellengröße zu reduzieren, weil diese mit der Wellenlänge der Bildgebungseinrichtung in Beziehung steht, die zur Verbesserung der Bildqualität verringert werden muss. Außerdem werden viele weitere Komponenten, beispielsweise digitale Steuer- und Sende/Empfangsschaltungen in diesen gleichen begrenzten Bereich überführt. Deshalb ist die voll bestückte Architektur, obwohl sie angesichts ihrer Einfachheit attraktiv ist, nicht ohne weiteres haltbar oder sofort ausführbar.

[0063] Eine bessere Lösung zu dem vorstehend beschriebenen Verbindungsproblem besteht darin, die Anzahl von Schaltern in jedem Subelement zu reduzieren und dabei gleichzeitig die in einem rekonfigurierbaren Array erforderliche Flexibilität sicherzustellen. Dies kann unter Verwendung einer begrenzten Anzahl von Busleitungen und einer rekonfigurierbaren Einrichtung derselben bewerkstelligt werden, wie dies in [Fig. 10](#) veranschaulicht ist. Hier wird ein Multiplexer (MUX) **70** dazu verwendet, in willkürlicher Weise einen beliebigen der Systemkanäle **38** (K.1 bis K.N) zur Verbindung mit einer beliebigen der Busleitungen **74** auszuwählen, wobei jede Reihe der Subelemente **32** durch lediglich eine einzelne Busleitung bedient wird. Die cMUT-Zellen **2** jedes Subelementes (für jedes Subelement ist lediglich eine einzelne cMUT-Zelle veranschaulicht) sind mittels eines zugehörigen Zugangsschalters **30** mit einer Busleitung verbindbar. Ein Hauptmerkmal dieser Architektur liegt darin, dass viele der Schalter außerhalb des Arrays angeordnet und folglich von der Geometrie der Wandler unabhängig sind. Ein eindimensionales Muster kann quer durch das Array unter Verwendung dieser Architektur gescannt werden, indem in einer Aufeinanderfolge gewählt wird, welche Reihe von Subelementen mit welchem Systemkanal verbunden wird. Eine weitere Verbesserung bei dieser Architektur ist in [Fig. 11](#) veranschaulicht. Hier sind mehrere Busleitungen **74**, **76** entlang jeder Reihe von Subelementen **32** weitergeführt. Die cMUT-Zellen **2** jedes Subelementes **32** können entweder mit der Busleitung **74** über einen Zugangsschalter **30'** oder mit der Busleitung **76** über einen Zugangsschalter **30** verbunden werden. Diese Architektur stellt eine Flexibilität in der horizontalen Richtung bereit, weil es nun möglich ist, Elemente auf verschiedenen Systemkanälen innerhalb derselben Reihe gemeinsam zu gruppieren.

[0064] Eine weitere Verbesserung in Bezug auf die

obige Architektur kann erzielt werden, wenn erkannt wird, dass die meisten Apperturen aus zusammenhängenden bzw. benachbarten gruppierten Subelementen bestehen, die miteinander verbunden sind, um ein einzelnes größeres Element zu bilden. In diesem Fall ist es nicht erforderlich, jedes Subelement unmittelbar an seine zugehörige Busleitung anzuschließen. Es genügt, eine begrenzte Anzahl von Subelementen in einer gegebenen Gruppe anzuschließen und anschließend die verbleibenden Subelemente untereinander zu verbinden. Auf diese Weise breitet sich das Sendesignal von dem System entlang der Busleitungen und in das Element über eine begrenzte Anzahl von Zugangspunkten hinein aus. von da aus breitet sich das Signal in dem Element über lokale Verbindungen aus. Diese Architektur ist in [Fig. 12](#) veranschaulicht. Hier sind einzelne Subelemente **32** in der Lage, an die Busleitung, die jeder Reihe zugeordnet ist, mittels Zugangsschalter **30** angeschlossen zu werden und können mit der Busleitung, die einer benachbarten Reihe zugeordnet ist, mittels Matrixschalter **36** angeschlossen werden, die ein einzelnes Subelement mit einem benachbarten Subelement verbinden.

[0065] Eine Ausführungsform der Erfindung, die in [Fig. 13](#) veranschaulicht ist, bezieht alle der vorerwähnten Verbesserungen gemeinsam mit ein. Hier wird ein Zugangsschalter **30** dazu verwendet, ein gegebenes Subelement **32** mit einer Reihenbusleitung des Busses **34** zu verbinden. Diese Architektur ist unmittelbar auf ein mosaikartiges Ringarray anwendbar. In einer derartigen Vorrichtung können mehrere Ringe unter Verwendung der vorliegenden Architektur gebildet werden, wobei jeder Ring mit einem einzelnen Systemkanal unter Verwendung eines oder mehrerer Zugangsschalter verbunden ist, wobei jeder der Zugangsschalter mit einer Busleitung verbunden ist, die wiederum mit einem Systemkanal verbunden ist.

[0066] Die Zugangsschalter sind, wie in [Fig. 13](#) veranschaulicht, abgestuft bzw. versetzt angeordnet, um die für eine gegebene Anzahl von Busleitungen erforderliche Anzahl zu reduzieren, wie dies nachstehend erläutert ist. Es könnte auch eine nach dem Zufallsprinzip ausgewählte Zuordnung der Zugangsschalter zu den Busleitungen (nicht veranschaulicht) verwendet werden, um auf die sich wiederholenden Muster zurückzuführende Artefakte zu reduzieren. Es könnten mehr als nur ein einzelner Schalter in jedem Subelement verwendet werden, um die Flexibilität des Arrays zu verbessern. In einer derartigen Architektur würde ein Kompromiss zwischen der Flexibilität und der Anzahl von Zugangsschaltern pro Subelement erzielt werden, bei dem die Anzahl immer noch deutlich kleiner ist als die Anzahl von Busleitungen und Systemkanälen. Es ist auch möglich, mehr als nur einen einzelnen Zugangsschalter pro Busleitung in jedem Element zu verwenden. Dies würde die Ausbeu-

te der Vorrichtung verbessern, weil nicht funktionierende Zugangsschalter unter Verwendung der redundanten Zugangsschalter überbrückt werden könnten.

[0067] Die Reihenbusleitungen sind mit den Systemkanälen unter Verwendung einer Kreuzungspunkt-Schaltmatrix verbunden, wie sie in [Fig. 13](#) veranschaulicht ist. Es könnte auch ein dünn besetzter Kreuzungspunktschalter verwendet werden, in dem weniger Multiplexerschalter erforderlich sein würden. Eine derartige Architektur wäre hinsichtlich der Nutzung von Raum effizienter, würde jedoch eine ausgeklügelte Auswahl von Schaltkonfigurationen erfordern, um sicherzustellen, dass sämtliche Busleitungen in der richtigen Weise angeschlossen werden können. Wie in [Fig. 12](#) veranschaulicht, können mehrere Busleitungen pro Reihe verwendet werden. Mehrere Busleitungen verbessern die Flexibilität des Arrays auf Kosten mehrerer Multiplexerschalter und eines größeren Leitungsführungsbereichs innerhalb des Arrays. Es ist möglich, Reihen auszulassen oder eine unterschiedliche Anzahl von Busleitungen in unterschiedlichen Reihen zu verwenden. Beispielsweise könnte es zur Platzersparnis vorteilhaft sein, eine Gruppe von Busleitungen von jedem Paar einander benachbarter Reihen von Subelementen gemeinsam benutzen zu lassen.

[0068] Obwohl soweit nur horizontale Busleitungen beschrieben worden sind, ist es auch möglich, in einem Array sowohl vertikal als auch horizontal verlaufende Busleitungen anzuordnen. Busleitungen können in vertikaler Richtung angeordnet sein, wie dies in [Fig. 14](#) veranschaulicht ist (siehe Busleitungen **72**, **74**, **76**). Bezugnehmend auf [Fig. 15](#) könnte ein Satz von Busleitungen **82** in horizontaler Richtung angeordnet sein, während ein anderer Satz **84** in vertikaler Richtung angeordnet ist. In diesem Fall würde jedes Subelement oder jede Gruppe von Subelementen mit einer vertikalen Busleitung über einen einzelnen Zugangsschalter verbindbar sein, und sie würde ferner mit einer horizontalen Busleitung über einen anderen Zugangsschalter verbunden werden können. Jedoch könnte in dem Fall, in dem Busleitungen in beiden Richtungen verlaufen, aber der für Busleitungen verfügbare echte Raum für die Elektronik eng wird und mehr Busleitungen erforderlich sind, jedoch weiterhin nur ein einzelner Zugangsschalter in einem Subelement vorhanden ist, der Zugangsschalter jedes Subelementes entweder mit der horizontalen Busleitung oder mit der vertikalen Busleitung und nicht mit beiden verbunden sein. Schließlich könnten Busleitungen auch in diagonalen Richtung angeordnet sein, wie dies in [Fig. 16](#) veranschaulicht ist. Diese Leitungen **76**, **80** verlaufen jeweils entlang von zwei der natürlichen Achsen des hexagonalen Arrays und würden folglich eine Adressierung der Subelemente vereinfachen.

[0069] Die Anzahl von Zugangsschaltern und Rei-

henbusleitungen ist durch die Größenbeschränkungen und die Anwendung bestimmt. Für die Zwecke der Beschreibung einer beispielhaften, den Schutzzumfang in keiner Weise beschränkenden Implementierung (wie sie in [Fig. 13](#) veranschaulicht ist) werden ein einzelner Zugangsschalter **30** für jedes Subelement **32** und vier Reihenbusleitungen **34a–34d** für jede Reihe des Arrays angenommen. Die zweite Schalterart ist ein Matrixschalter **36**, der verwendet wird, um einen Verbindungspunkt **42** eines einzelnen Subelementes (siehe [Fig. 17](#)) mit dem Verbindungspunkt eines benachbarten Subelementes zu verbinden. Dies ermöglicht einem akustischen Subelement, mit einem Systemkanal über die integrierte Elektronik, die einem benachbarten akustischen Subelement zugeordnet ist, verbunden zu werden. Dies bedeutet auch, dass ein akustisches Subelement mit einem Systemkanal verbunden werden kann, selbst wenn es nicht unmittelbar über einen Zugangsschalter angeschlossen ist. Während [Fig. 13](#) drei Matrixschalter pro Subelement veranschaulicht, ist es auch möglich, weniger als drei zu verwenden, um Fläche einzusparen, oder Schalter zu berücksichtigen, die einen kleineren Durchlasswiderstand aufweisen und folglich eine größere Fläche einnehmen. Außerdem können die Matrixschalter dazu verwendet werden, bei einem gegebenen Array die Leitungsstrecke um ein bekanntes schlechtes Subelement herum zu führen. Schließlich sind, obwohl hexagonale Subelemente veranschaulicht sind, auch rechteckige Subelemente möglich.

[0070] Bezugnehmend auf [Fig. 17](#) ist jedes der Subelemente mit einem gemeinsamen Verbindungspunkt **42** in der Elektronik verbunden, die dem akustischen Subelement **32** zugeordnet ist. Dieser gemeinsame Verbindungspunkt **42** schafft eine elektrische Verbindung für acht Komponenten in jedem Subelement. Der gemeinsame Verbindungspunkt **42** verbindet das akustische Subelement oder den Wandler **32** mit dem Zugangsschalter **30** für dieses Subelement, mit den drei Matrixschaltern **36**, die diesem Subelement zugeordnet sind, und mit den drei Matrixschaltern, die den drei benachbarten Subelementen zugeordnet sind, über Verbindungen **46**. Ein Signal, das einen Matrixschalter durchläuft, wird an den gemeinsamen Verbindungspunkt des benachbarten Subelementes angekoppelt.

[0071] [Fig. 13](#) veranschaulicht, in welcher Weise das Schaltnetzwerk für ein bestimmtes Subelement funktionieren kann. Dies ist lediglich eine beispielhafte Einrichtung. Ein Bus **34**, der vier Reihenbusleitungen **34a** bis **34d** enthält, verläuft abwärts durch die Reihe von Subelementen **32**. [Fig. 13](#) zeigt lediglich drei Subelemente in dieser Reihe, wobei es jedoch verständlich sein sollte, dass weitere Subelemente in dieser Reihe nicht veranschaulicht sind. Die Reihenbusleitungen des Busses **34** sind an dem Ende einer Reihe mittels Multiplexschalter **40**, die eine Kreuzungspunkt-Schaltmatrix bilden, im Multiplexbetrieb an Systemkanalbusleitungen des Systemkanalbusses **38** angeschlossen. Wie aus [Fig. 13](#) zu ersehen, kann jede Reihenbusleitung **34a**, **34d** mit einer beliebigen der Systemkanalbusleitungen des Busses **38** verbunden werden, indem der geeignete Multiplexschalter **40** eingeschaltet wird und die Multiplexschalter, die die bestimmte Reihenbusleitung mit den anderen Systemkanalbusleitungen verbinden, ausgeschaltet werden. Diese Multiplexelektronik kann zu der Seite hin abgeschaltet werden und ist somit durch die Größe nicht so beschränkt. [Fig. 13](#) zeigt einen voll bestückten Kreuzungspunkt- bzw. Koppelpunktschalter. In Fällen, in denen es nicht erforderlich ist, Schalter zu haben, die es ermöglichen, jede Busleitung mit jedem Systemkanal zu verbinden, kann jedoch ein dünn bestückter Kreuzungspunktschalter verwendet werden, bei dem lediglich eine Untermenge von Systemkanälen mit einer gegebenen Busleitung verbunden werden kann, wobei in diesem Fall nur einige der in [Fig. 13](#) dargestellten Schalter **40** vorhanden sein würden.

[0072] Ein Zugangsschalter wird so bezeichnet, weil er einem Subelement einen unmittelbaren Zugang zu einer Busleitung verschafft. In der in [Fig. 13](#) veranschaulichten beispielhaften Implementierung sind sechs weitere Schaltverbindungen für jedes Subelement vorhanden. Diese Verbindungen nehmen die Form von Matrixschaltern **36** ein. Ein Matrixschalter ermöglicht einem Subelement, mit einem benachbarten Subelement verbunden zu werden. Während in diesem hexagonalen Muster sechs Verbindungen zu benachbarten Subelementen für jedes Subelement vorgesehen sind, befinden sich nur drei Schalter in jedem Subelement, während die anderen drei Verbindungen durch Schalter in den benachbarten Subelementen gesteuert sind. Somit gibt es eine Gesamtzahl von vier Schaltern und eine zugehörige digitale Logik in jedem Subelement. Dies stellt lediglich eine einzelne beispielhafte Realisierung dar. Die Anzahl von Busleitungen, die Anzahl von Zugangsschaltern und die Anzahl und Topologie der Matrixschalter können alle anders sein, obwohl das allgemeine Konzept gleich bleiben würde.

[0073] [Fig. 18](#) zeigt einige der Komponenten einer repräsentativen Einzelschaltzelle, die unter einem (nicht veranschaulichten) akustischen Subelement gebildet und mit diesem (über einen Verbindungspunkt **42**) elektrisch verbunden ist. Die Einzelschaltzelle kann mit dem akustischen Subelement über eine Metallanschlussinsel bzw. -fläche **66** der in [Fig. 4](#) dargestellten Art elektrisch gekoppelt sein. Die Einzelschaltzelle weist einen Zugangsschalter **30**, der den Verbindungspunkt **42** mit einer Busleitung **34** verbindet, sowie drei Matrixschalter **36** auf. Die Schalter sind von einer Bauart, die einen Schaltzustandsspeicher zur Speicherung des momentanen Schalterzustandes aufweist. Die Einzelschaltzelle

weist ferner als Latches bezeichnete Zwischenspeicher **88** auf (von denen lediglich ein einzelner veranschaulicht ist), die dazu dienen, Daten zu speichern, die künftige Schaltzustände des Zugangsschalters **30** und der drei Matrixschalter **36** kennzeichnen. Die Daten in Bezug auf die künftigen Schaltzustände werden über einen digitalen Datenbus **45** empfangen, der mehrere Busleitungen aufweist (wobei lediglich eine einzige Busleitung in [Fig. 18](#) veranschaulicht ist). In Abhängigkeit von einem Schreibsignal, das über einen Steuerbus **44** empfangen wird, der mehrere Busleitungen aufweist (wobei wiederum nur eine einzige Busleitung veranschaulicht ist), werden die zukünftigen Schaltzustandsdaten auf dem Datenbus **45** in die Zwischenspeicher **88** eingeschrieben. In Abhängigkeit von einem Lesesignal, das über den Steuerbus **44** während eines nachfolgenden Zyklus empfangen wird, werden die Schaltzustandsdaten aus den Zwischenspeichern ausgelesen und (durch eine nicht veranschaulichte Logik) in Steuerungssignale gewandelt, die die Zustände der Schalter entsprechend verändern. Diese neuen Schaltzustände werden in den Schaltzustandsspeichern der Schalter gespeichert. Der Zwischenspeicher **88** und die Schalter **30** und **36** empfangen Versorgungsspannungen über eine Spannungs- bzw. Netzleitung **90**.

[0074] Obwohl die Zugangs- und Matrixschalter durch gesondert gepackte Komponenten gebildet sein können, ist es möglich, die Schalter in demselben Halbleitersubstrat, auf dem das MUT-Array gefertigt werden soll, zu erzeugen. Diese Schalter können Hochspannungs-Schaltkreise der Bauart aufweisen, wie sie in der US-Patentanmeldung mit dem Aktenzeichen 10/248,968 und dem Titel „Integrated High-Voltage Switching Circuit for Ultrasound Transducer Array“ beschrieben ist. Jeder Schalter weist zwei DMOS FETs, die direkt hintereinander angeschlossen sind (Source-Knotenpunkte sind gemeinsam kurzgeschlossen), um einen bipolaren Betrieb zu ermöglichen. Strom fließt durch die Schalteranschlüsse, wenn beide FETs eingeschaltet sind. Die Zustände der Schalter sind durch zugehörige Schaltersteuerungsschaltkreise gesteuert. Die Zustände der Schaltkreise zur Schaltersteuerung sind wiederum durch Ausgänge von einer Programmierschaltung vorgegeben, die die Schaltersteuerungsschaltkreise gemäß einer optimierten Schaltkonfiguration programmiert, die unter Verwendung des hier beschriebenen Algorithmus hergeleitet wird. Eine Scannsteuerungseinrichtung lädt die optimierte Schaltkonfiguration in die Programmierschaltung. Obwohl die Verwendung von CMOS-Hochspannungsschaltern eine bevorzugte Ausführungsform bildet, ist die hier beschriebene Erfindung unmittelbar auf andere Schalttechnologien, beispielsweise Niederspannungsschalter, MEMS-Schalter oder weitere künftige Schalttechnologien, die entwickelt werden, anwendbar.

[0075] [Fig. 19](#) zeigt ein akustisches Subelement **32**, das mit einem Zugangsschalter **30** über einen gemeinsamen Verbindungspunkt **42** verbunden ist. Die sechs weiteren Leitungen, die mit dem Verbindungspunkt **42** verbunden sind, sind nicht veranschaulicht. Bei diesem Beispiel weist der Zugangsschalter **30** das vorerwähnte Paar von hintereinander angeordneten DMOS FETs auf. Die Steuerungsschaltung **52** schaltet den Schalter **30** in Abhängigkeit von Steuerungssignalen, die durch die Programmierschaltung **54** gesandt werden, ein oder aus. Wenn der Zugangsschalter **30** eingeschaltet ist, ist das akustische Subelement **32** (d.h. ein Subarray von miteinander verbundenen cMUT-Zellen) mit der Reihenbusleitung **34a** verbunden. Für diese Konfiguration weist die jedem akustischen Subelement zugeordnete Elektronik einen einzelnen Zugangsschalter, drei Matrixschalter, eine jeweilige Steuerungsschaltung für jeden dieser vier Schalter und einen zugehörigen Leiter auf, der den gemeinsamen Verbindungspunkt mit den Matrixschaltern der drei benachbarten Subelemente verbindet (nicht veranschaulicht).

[0076] Das Signal, das von dem Subelement zu der Reihenbusleitung läuft, ist das elektrische Empfangssignal. Hier ist das Empfangssignal die elektrische Antwort oder Reaktion, die durch das akustische Subelement erzeugt wird, wenn eine Schalldruckwelle mit dem Wandler wechselwirkt. Das Sendesignal, bei dem ein elektrischer Impuls durch das Ultraschallsystem erzeugt wird, läuft von der Reihenbusleitung zu dem Matrixschalter. Bei einem gegebenen Kanal läuft dieser elektrische Anregungsimpuls über eine Systemkanalbusleitung zu einer Reihenbusleitung. Das Signal läuft von der Reihenbusleitung zu dem akustischen Subelement über einen Zugangsschalter und läuft ferner zu weiteren Subelementen über die Matrixschalter.

[0077] Die Anzahl von Schaltern, die hinter einem akustischen Subelement passen, ist begrenzt. Die Größe des Schalters bestimmt den Durchlasswiderstand des Schalters, so dass je kleiner der Schalter ist, desto größer der Durchlasswiderstand ist. Die durch das Schalten herbeigeführte Verzögerung und Verzerrung steigt, wenn der Durchlasswiderstand des Schalters größer wird. Dies bedeutet, dass es eine Wechselbeziehung zwischen der Anzahl von Schaltern hinter einem akustischen Subelement und der durch diese Schalter herbeigeführten Verzögerung gibt. Eine Lösung zu dieser Wechselbeziehung umfasst eine Reduktion der Anzahl von Schaltern auf eine kleine Anzahl unter Aufrechterhaltung einer so großen Flexibilität wie nur möglich. Diese Reduktion wird unter Verwendung von Matrixschaltern, die akustischen Subelementen ermöglichen, durch andere Subelemente hindurch an einen Systemkanal angeschlossen zu werden, sowie durch eine Begrenzung der Anzahl von Zugangsschaltern auf eine kleine Anzahl erreicht.

[0078] Die Busleitungen, die die Zugangsschalter mit den Systemkanälen verbinden, nehmen ebenfalls Raum in der Elektronikschicht ein, so dass eine Minimierung der Anzahl von Busleitungen ebenfalls von Vorteil ist. Die Anzahl von einzelnen Kanälen, die unmittelbar mit akustischen Subelementen in der gleichen Reihe verbunden werden können, ist durch die Anzahl von Busleitungen bestimmt. Da jedoch die Matrixschalter Subelementen in einer einzelnen Reihe ermöglichen, mit Subelementen in anderen Reihen verbunden zu sein, wird die Anzahl von Kanälen in einer Reihe durch die Matrixschalter erhöht. Dies ermöglicht es, die Anzahl von Busleitungen klein zu halten, während weiterhin eine große Anzahl von Kanälen bedient wird. Natürlich steigern mehrere Busleitungen die Flexibilität, benötigen jedoch mehr Platz.

[0079] Die Verwendung von Matrixschaltern bedeutet, dass die Anzahl von Zugangsschaltern hinter jedem Subelement reduziert werden kann. In dem äußersten Fall ist lediglich ein einzelner Zugangsschalter für jedes Subelement vorhanden. Falls jedoch mehr als eine einzige Busleitung vorgesehen sind, muss eine Festlegung erfolgen, an welche Busleitung jeder Zugangsschalter angeschlossen sein sollte. Eine Lösung besteht darin, die Verbindungen derart abgestuft bzw. versetzt anzuordnen, dass die angeschlossene Busleitung sich alle N Subelemente in einer Reihe wiederholt, wobei N eine Zahl darstellt, die durch das Erfordernis nach einer minimalen Signalverzerrung bestimmt ist, wie dies nachstehend erläutert ist. Bezugnehmend auf [Fig. 13](#) ist jedes Subelement **32** in der Reihe mit einer der Reihenbusleitungen in dem Reihenbus **34** über einen zugehörigen Zugangsschalter **30** verbunden. Dieses Muster von abgestuften bzw. versetzten Verbindungen wiederholt sich alle vier Subelemente. Die Abstufung ermöglicht mehr Busleitungen bei weniger Zugangsschaltern und ermöglicht ferner in Kombination mit den Matrixschaltern eine größere Flexibilität dahingehend, welche Systemkanäle mit jedem Subelement verbunden werden können. Natürlich erhöht eine Einrichtung mit mehr als nur einem einzelnen Zugangsschalter pro Zelle die Flexibilität der Verbindungen, erfordert jedoch kleinere Schalter mit höherem Durchlasswiderstand.

[0080] Im Allgemeinen ist die Anzahl von Reihen N , nach der sich das Muster wiederholt, durch die maximale Anzahl von Matrixschaltern bestimmt, die bei weiterer Aufrechterhaltung einer adäquaten Signalintegrität aneinandergereiht werden können. Diese Anzahl erklärt sich aus dem Verständnis heraus, dass der Widerstand des Matrixschalters und die cMUT-Kapazitäten gemeinsam eine RC-Verzögerungsleitung mit einer Verzögerungszeitkonstante bilden, die mit der Anzahl von in Reihe hintereinander geschalteten Abgriffen oder Stufen N exponentiell variiert. Eine versetzte Anordnung oder Staffelung der

Zugangsschalter an mehreren Reihenbusleitungen ermöglicht eine Erhöhung der Anzahl von Elementen, die bei der gegebenen Beschränkung hinsichtlich der Verzögerungsleitung unterstützt werden können. Wie in [Fig. 20](#) veranschaulicht, tritt der ungünstigste Fall für den Entwurf auf, wenn Ringe (von denen Abschnitte durch gestrichelte Bögen angezeigt sind) mit einer Einzelsubelementweite dicht aneinander gepackt werden. Die vertikalen Abschnitte des Rings ergeben den ungünstigsten Fall, weil Busleitungen **74**, **76** in dieser Ausgestaltung horizontal verlaufen. In den horizontalen Abschnitten der Ringe könnte einfach ein einzelner Zugangsschalter an jedem Subelement verwendet werden, weil sie alle die gleichen sein würden, da die Busleitungen parallel zu den Ringen verlaufen. In den vertikalen Abschnitten ist jedoch jede Reihe von Subelementen **32** einer anderen Busleitung zugeordnet, die mit einem anderen Systemkanal verbunden ist. Folglich können Subelemente, die in diesem Bereich in vertikaler Richtung voneinander beabstandet sind, nur unter Verwendung der durch Bindestriche dargestellten Matrixschalter **36** unterstützt werden. In [Fig. 20](#) sind zwei Busleitungen pro Reihe vorgesehen, und das Muster der (durch Punkte gekennzeichneten) Zugangsschalter **30** wiederholt sich jeweils nach vier Reihen. Bei jeder Reihe werden zwei Ringe durch die beiden Zugangsschalter und ihre zugehörige Kette von mit Matrixschaltern gruppierten Subelementen unterstützt. Da sich das Muster nach vier Reihen wiederholt, unterstützt diese besondere Architektur eine Maximalzahl von $2 \times 4 = 8$ Ringen. Im Allgemeinen kann für ein Array mit M Busleitungen auf jeder Reihe und N Abgriffen oder Stufen für jede Kette von Subelementen eine Maximalzahl von K Systemkanälen unterstützt werden, wobei $K = M \times N$. Natürlich sind die meisten Abschnitte der Ringe weder vollkommen horizontal noch vollkommen vertikal ausgerichtet. Deshalb besteht die Aufgabe für den Systementwickler darin, die Arraykonfiguration in allen Punkten in der Apertur unter den Randbedingungen der Architektur zu optimieren.

[0081] Für die besondere Implementierung der Rekonfigurierbarkeit, wie sie hier beschrieben ist, gibt es durch die Elektronik auferlegte Beschränkungen. Es gibt einen Satz von Regeln, die die Schaltkonfigurationen für ein System beeinflussen. Zusätzlich zu den harten Regeln gibt es auch Richtlinien, wie beispielsweise eine Sollreduktion des Abstandes bzw. der Distanz zwischen einem akustischen Subelement und einem Verbindungspunkt. Die Regeln müssen befolgt und die Richtlinien können verwendet werden, um das Leistungsverhalten zu verbessern. Die Regeln sind wie folgt:

[1] Jede Reihe weist „ n “ Reihenbusleitungen auf. Für das hier beschriebene Beispiel ist $n = 4$. Dies bedeutet, dass für die gesamte Reihe nur vier Systemkanalbusleitungen vorhanden sind, an die die Zugangsschalter angeschlossen sein können.

[2] Jedes Subelement in der Reihe ist an lediglich eine der n Reihenbusleitungen angeschlossen. Dies rührt von der Tatsache her, dass es nur einen einzelnen Zugangsschalter in dem Subelement gibt. Dies bedeutet auch, dass ein gegebenes Subelement nur an einen einzelnen Systemkanal unmittelbar angeschlossen sein kann, wobei dieser Kanal durch den Multiplexer zwischen den Systemkanalbusleitungen und den Reihenbusleitungen bestimmt ist.

[3] Jede Reihenbusleitung ist mit einer einzelnen Systemkanalbusleitung verbunden. Während die Systemkanalbusleitungen mit den Reihenbusleitungen gemultiplext werden, kann diese Verbindung für eine gegebene Konfiguration nicht verändert werden.

[4] Das Muster, nach dem eine Reihenbusleitung mit einem gegebenen Zugangsschalter verbunden ist, wiederholt sich über die Reihe hinweg. Für den hier beschriebenen Fall wiederholt sich das Muster alle vier Subelemente.

[5] Für eine gegebene Schaltungsimplementierung ist die Gesamtzahl von Zugangsschaltern, die mit derselben Reihenbusleitung verbunden sind, eine kleine endliche Zahl. In dem besonderen Fall, wie er nachstehend in dieser Offenbarung beschrieben ist, beträgt der Grenzwert 4. Dies rührt von den Stromentnahmebeschränkungen her, die durch die begrenzte Größe der Reihenbusleitungen auferlegt werden. Die Grenze basiert auf Simulationen und kann durch Steigerung der Größe der Reihenbusleitungen vergrößert werden, wodurch größere Stromentnahmen ermöglicht werden, wobei dies jedoch größere Subelemente erfordern kann.

[0082] Eine Bestimmung der Schaltnetzwerkkonfiguration bedingt eine Bestimmung, welche Zugangsschalter an sind und in welcher Weise der Multiplexer (d.h. das Feld von Multiplexerschaltern **40**, wie sie teilweise in [Fig. 13](#) dargestellt sind) zwischen den Reihenbusleitungen und den Systemkanalbusleitungen festgelegt wird. Die Zustände der Matrixschalter sind einfach zu ermitteln, wenn das gewünschte Muster bekannt ist. Die Matrixschalter werden eingestellt, indem einfach bestimmt wird, ob das benachbarte Subelement, an den der Schalter angeschlossen ist, auf dem gleichen Systemkanal sein sollte oder nicht. So ist die Arbeit dadurch bestimmt, in welcher Weise Systemkanäle mit den gemultiplexten Reihenbusleitungen zu verbinden sind. Wenn dies bekannt ist, gestaltet sich eine Zuordnung der Zugangsschalter ebenfalls einfach.

[0083] Um einen linearen Scann zu schaffen, muss die aktive Appertur des mosaikartigen ringförmigen Arrays schrittweise quer durch das zugrundeliegende zweidimensionalen Array fortgeschaltet werden. Diese Fortschaltung erfordert es, dass das Schaltnetzwerk neu konfiguriert wird. Es gibt verschiedene

Möglichkeiten zur Vornahme dieser Fortschaltung. Wenn die erforderliche Strahlteilung, wie sie durch die Auflösung des Arrays und die Anforderungen der vorliegenden Anwendung bestimmt ist, derart ist, dass eine Fortschaltung um ein gesamtes Subelement zulässig ist, kann die gleiche durch einen Algorithmus abgeleitete Schaltkonfiguration für jeden Strahl verwendet werden. In diesem Fall schreitet die Schaltkonfiguration einfach über einen oder mehrere Subelemente hinweg für jeden Strahl fort. Um die Neuprogrammierung und die durch das System verbrauchte Leistung zur Rekonfiguration auf ein Minimum zu reduzieren, kann es möglich sein, die Schalterzustände unmittelbar von einem Subelement auf den Nachbar zu übertragen und dadurch eine externe Neuprogrammierung des gesamten Arrays zu vermeiden. Jedoch muss zusätzlich zu einer Verschiebung des Zugangs- und Matrixschaltermusters der Multiplexer, der die Reihenbusleitungen mit den Systemkanalbusleitungen verbindet, ebenfalls umgeschaltet bzw. geändert werden. Beim Fortschreiten des Strahls um ganze Subelemente in der Richtung der Reihenbusleitungen ist diese Änderung einfach eine Drehung der Kanäle. Wenn beispielsweise vier Systemkanäle, die mit A, B, C bzw. D bezeichnet sind, mit den vier Reihenbusleitungen einer bestimmten Reihe für eine bestimmte Konfiguration verbunden sind, muss, wenn das Schaltmuster zu der nächsten Strahlstelle gescannt wird, der Zustand des Systemkanal/Reihen-Multiplexers derart angepasst werden, dass die Systemkanäle unter den vier Reihenbusleitungen im Turnus wechseln, z.B. die Systemkanäle B, C, D bzw. A jeweils in dieser Reihenfolge mit den gleichen vier Reihenbusleitungen verbunden werden. Alternativ könnte anstelle einer Veränderung des Multiplexens zwischen den Systemkanälen und den Reihenbusleitungen der Strahlformer des Systems unmittelbar die Geometrieänderung berücksichtigen und folglich die Verzögerungen an den vier Kanälen anpassen, um die neuen Verzögerungen zu berücksichtigen.

[0084] Wie vorstehend erwähnt, besteht in dem Fall, dass die kreisringförmigen Ringe derart schrittweise fortgeschaltet werden, dass die Bewegung ein ganzzahliges Vielfaches der Subelemente darstellt, kein Erfordernis für eine erneute Optimierung für jeden Strahl (wenn angenommen wird, dass die zugrundeliegende Schaltmatrix über dem gesamten zugrundeliegenden zweidimensionalen Array gleichbleibende elektrische Eigenschaften aufweist). Jedoch kann es Fälle geben, in denen die gewünschte Strahldichte es erfordert, dass Linien enger als ein einzelnes Subelement aneinander liegen. In diesem Fall wird das Strahlzentrum um einen Bruchteil eines Subelementes weitergeschaltet, so dass z.B. die Appertur verformt wird, um den Strahl effektiv um einen halben Schritt zwischen vollen Schritten der Appertur abzuweichen, wodurch die Auflösung der Bildgebungseinsicht erhöht wird. Für diese Fälle lässt sich die

Optimierung nicht einfach übertragen, so dass eine neue Optimierung für jeden Teilschritt vorgenommen werden muss. Jedoch können diese um einen Bruchteil fortschreitenden Konfigurationen erneut auftreten, wenn das kreisringförmige Array über dem zugrundeliegenden zweidimensionalen Array fortgeschaltet wird, um einen linearen Scann zu bilden. In diesen Fällen wird, wenn der gleiche Bruchteilschritt erforderlich ist, die Optimierung gleich sein, so dass diese erneut verwendet werden kann. So wird selbst in dem Fall einer bruchteilweisen Fortschaltung eine kleine Zahl von Optimierungen erforderlich sein. In diesen Fällen kann es zur Einsparung der Programmierzeit und des Leistungsverbrauchs möglich sein, alle Strahlen für eine bestimmte Konfiguration abzufeuern und diese Konfiguration über dem Array in dem groben Strahlrastermaß vorzuschalten. In diesem Fall wäre es möglich, Konfigurationen von einem Subelement zu einem Nachbar unmittelbar zu übergeben. Nachdem der Grobscann beendet worden ist, kann eine neue Konfiguration, die einen Bruchteilschritt gegenüber der alten Konfiguration darstellt, programmiert und über dem Array fortgeschaltet werden. Dies kann für jeden Bruchteilschritt wiederholt werden. Die resultierenden grob beabstandeten Strahlen von jeder Konfiguration können durch den Scannkonverter miteinander verschachtelt werden, um den erwünschten feinen Strahlabstand zu erzielen. Es sollte auch erwähnt werden, dass bei einer Vermischung von Strahlen aus unterschiedlichen Konfigurationen es erforderlich sein kann, die Verstärkung zwischen den Strahlen anzupassen, um Verstärkungsunterschiede beim Strahlformen auszugleichen und die Linien von diesen unterschiedlichen Konfigurationen miteinander zu vermischen bzw. aneinander anzugleichen.

[0085] Die vorstehenden Aspekte können wie folgt zusammengefasst werden:

- (a) Beim Fortschalten um ganze Zahlen bzw. Vielfache von Subelementen können Schalterzustände unmittelbar von einem Subelement auf einen Nachbarn übergeben werden, ohne dass die Notwendigkeit zur Programmierung über den digitalen Bus besteht. Dies spart Zeit und Leistung.
- (b) Beim Fortschalten um Bruchteile von Subelementen können die Strahlen für jede unterschiedliche Konfiguration unabhängig von den anderen mit dem groben Strahlrastermaß bzw. der groben Strahleinteilung unter Verwendung des unmittelbaren Subelement-zu-Nachbar-Übertragungsschemas fortgeschaltet werden, wobei die resultierenden Sätze von groben Strahlen durch den Scannkonverter miteinander vermischt bzw. verschachtelt werden können, um die volle Auflösung zu erhalten.
- (c) Beim Fortschalten um ganze Zahlen bzw. Vielfachen von Subelementen ändert sich der Multiplexer zwischen Reihenbusleitungen und Systemkanälen auf eine wohl definierte Weise, d.h. ent-

sprechend einer Drehung der Kanäle. Dies kann die Steuerung vereinfachen.

(d) Beim Fortschalten um ganze Zahlen bzw. Vielfachen von Subelementen ist es tatsächlich nicht erforderlich, den Multiplexer zwischen den Reihenbusleitungen und den Systemkanälen zu verändern. Wenn der Strahlformer des Systems den Zustand kennt, kann er die Verzögerungen an den gegebenen Kanälen verändern, um die neue Geometrie zu berücksichtigen. Dies erfordert jedoch einen verfeinerten bzw. weiter entwickelten Systemstrahlformer und ermöglicht es nicht, diese rekonfigurierbaren Sonden an den momentan verfügbaren Maschinen bzw. Geräten zu betreiben.

[0086] Die Integration der Zugangs- und Matrixschalter zur Verbindung von Sensorelementen mit Busleitungen ergibt eine größere Flexibilität. Entsprechend verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung können eine oder mehrere der folgenden Merkmale verwendet werden:

- (1) Die Zugangsschalter können abgestuft oder versetzt angeordnet sein, um die Anzahl von Zugangsschaltern, die für eine gegebene Anzahl von Busleitungen erforderlich sind, zu reduzieren.
- (2) Ein einzelner Zugangsschalter kann für ein Subelement in einem abgestuften bzw. gestaffelten Muster verwendet werden.
- (3) Ein Mapping mit zufälliger Zuordnung von Zugangsschaltern zu Busleitungen kann verwendet werden, um auf die sich wiederholenden Muster zurückzuführenden Artefakte zu reduzieren.
- (4) In jedem Subelement können mehr als nur ein einzelner Schalter, jedoch weiterhin weniger Schalter im Vergleich zu der Anzahl von Busleitungen und Systemkanälen verwendet werden.
- (5) Busleitungen können mit Systemkanälen unter Verwendung einer Kreuzungspunkt-Schaltmatrix verbunden werden.
- (6) Ein dünn bestückter Kreuzungspunktschalter kann verwendet werden, um Busleitungen mit Systemkanälen zu verbinden.
- (7) Schalter können konfiguriert werden, um sicherzustellen, dass es jeweils unterschiedliche Zugangsschalter gibt, die an beiden Enden einer langen Kette oder Folge von Matrixschalterverbindungen angeschlossen sind, wobei diese Zugangsschalter mit derselben Busleitung verbunden sind, um die Verzögerung zu reduzieren.
- (8) Es können Schaltkonfigurationen verwendet werden, in denen ein Satz von Matrixschaltern und eine begrenzte Anzahl von Zugangsschaltern vorhanden sind. Die Matrixschalter verbinden benachbarte Subelemente in dynamischer Weise untereinander. Die Zugangsschalter sind an Busleitungen angeschlossen, die auf Systemkanälen gemultiplext sind.

[0087] Gemäß verschiedenen Ausführungsformen der Erfindung können ein oder mehrere der folgen-

den zusätzlichen Merkmale in dem System vorhandenen sein:

- (1) In jedem Subelement wird ein einzelner Zugangsschalter pro Busleitung verwendet.
- (2) Pro Reihe können mehrere Busleitungen verwendet werden.
- (3) Die Busleitungen können sowohl vertikal als auch horizontal in einem Array angeordnet sein. Gemäß einer Ausführungsform wird, falls ein Satz von Busleitungen horizontal angeordnet ist, während ein anderer Satz vertikal angeordnet ist, jedes Subelement oder jede Gruppe von Subelementen über einen einzigen Zugangsschalter an eine vertikale Busleitung anschließbar sein und wird ferner über einen anderen Zugangsschalter an eine horizontale Busleitung anschließbar sein. In dem Fall, in dem Busleitungen in beide Richtungen verlaufen, könnte jedoch, wenn der für Busleitungen verfügbare Platz der Elektronik zu klein wird und mehr Busleitungen erforderlich sind, wobei es weiterhin nur einen einzigen Zugangsschalter in einem Subelement gibt, der Zugangsschalter jedes Subelementes entweder mit der horizontalen Busleitung oder mit der vertikalen Busleitung und nicht mit beiden verbunden sein. Dies hat auch dann Auswirkungen, wenn die Anzahl von Schaltern, die für eine gegebene Busleitung eingeschaltet sein können, durch die Stromentnahme und die Größe der Leitung begrenzt ist.
- (4) Zugangsschalter können gewählt werden, um in gleichem Abstand zu jedem Rand eines Rings (oder einer sonstigen Form) zu liegen, um die Verzögerung innerhalb des Rings auf ein Minimum zu reduzieren. Ein „Rand eines Rings“ bezieht sich auf den Fall, in dem die Rekonfigurierbarkeit dazu verwendet wird, ein Ringarray zu approximieren. In diesem Fall gibt es ein erwünschtes ringförmiges Array oder eine Ringstruktur, das oder die man durch Verbindung von Subelementen nachzubilden wünscht. Der Rand des Rings bezieht sich auf das Subelement in der Nähe der Begrenzung des Rings, den man versucht zu approximieren, d.h. es ist der Rand des größeren Elementes, das durch Verbindung von Subelementen gebildet wird. Die Zugangsschalter sollten derart gewählt werden, dass sie auf beiden Seiten des Elementes und nicht alle auf einer einzelnen Seite liegen. Die Gestalt braucht nicht ringförmig zu sein; stattdessen könnten andere Formen verwendet werden, und es wäre am besten, Zugangsschalter an beiden Rändern der Gestalt zu haben, die durch Verbindung der Subelemente approximiert wird.
- (5) Es könnten mehr als nur ein einzelner Zugangsschalter pro Busleitung in jedem Subelement verwendet werden. Diese redundante Verbindung verbessert die Ausbeute der Vorrichtungen.
- (6) Es könnte die Einrichtung vorgesehen sein, um Ringmuster zwischen Senden und Empfangen und in mehreren Intervallen während eines

Empfangs zu aktualisieren.

- (7) Ein einzelner Zugangsschalter könnte mit einem gesamten Ring von Subelementen verbunden sein, wobei alle Subelemente wiederum durch Matrixschalter untereinander verbunden sind.
- (8) Mehrere Zugangsschalter könnten mit einem gesamten Ring verbunden sein, während Matrixschalter zwischen Subelementen Zugangsschalter aufweisen, um jeweilige Abschnitte des Rings zu bilden.
- (9) Mehrere Zugangsschalter könnten mit einem gesamten Ring verbunden sein, während die Schalter äquidistant um den Ring herum zueinander beabstandet verteilt angeordnet sind, um die Signalverzögerung für diese Subelemente zwischen den Schaltern zu reduzieren.
- (10) Es können mehrere Ringe gebildet sein, wobei jeder Ring mit einem einzelnen Systemkanal unter Verwendung eines oder mehrerer Zugangsschalter verbunden ist, während jeder der Zugangsschalter mit einer Busleitung verbunden ist, die wiederum an einen Systemkanal angeschlossen ist.
- (11) Es können mehrere redundante Matrixschalterverbindungen verwendet werden, um einen einzelnen Ring zu bilden, um den Reihenwiderstand zu reduzieren und dadurch die Verzögerung zu reduzieren.
- (12) Matrixschalter können dazu verwendet werden, für ein gegebenes Array ein bekanntes schlechtes Subelement zu überbrücken oder eine Umleitung um dieses zu schaffen.
- (13) Es können andere Muster außer Ringen gebildet werden, während weiterhin die Platzierung der Zugangsschalter derart gewählt werden kann, dass die Verzögerung minimiert wird.
- (14) Ein gesamtes Ringmuster kann verschoben werden, um einen sich bewegenden Strahl zu erzeugen, indem der Minimalverzögerungsalgorithmus bei jedem neuen Schritt der Verschiebung wiederholt eingesetzt wird.
- (15) Das Zentrum eines Elementes kann durch Veränderung der Gestalt des Elementes mit einer Schrittweite fortgeschaltet werden, die kleiner ist als ein vollständiges Subelement.

[0088] Die Schaltelektronik kann unter Verwendung der CMOS- oder BiCMOS- oder SOI- oder MEMS- oder einer sonstigen bisher nicht identifizierten Schalttechnologie aufgebaut werden.

[0089] Während die Erfindung mit Bezug auf die bevorzugten Ausführungsformen beschrieben worden ist, versteht es sich für einen Fachmann auf dem Gebiet, dass verschiedene Veränderungen vorgenommen werden können und ihre Elemente durch äquivalente Mittel ersetzt werden können, ohne von dem Schutzzumfang der Erfindung abzuweichen. Außerdem können viele Modifikationen vorgenommen wer-

den, um eine bestimmte Situation an die Lehre der Erfindung anzupassen, ohne deren wesentlichen Rahmen zu verlassen. Deshalb besteht die Absicht, dass die Erfindung nicht auf die bestimmte Ausführungsform beschränkt sein soll, die hier beschrieben und als die beste Ausführungsform der Erfindung angesehen wird, sondern dass die Erfindung auch sämtliche Ausführungsformen umfassen soll, die in den Schutzbereich der beigefügten Ansprüche fallen.

Zusammenfassung:

[0090] Eine Vorrichtung weist ein Array von Sensoren auf, die mittels eines Schaltnetzwerks rekonfigurierbar sind. Die Sensoren können optische Sensoren, thermische Sensoren oder Drucksensoren oder Ultraschallwandler sein. Insbesondere weist die Vorrichtung auf: mehrere Sensorelemente; mehrere Busleitungen; einen Satz von Zugangsschaltern zur wahlweisen Verbindung eines Satzes der Sensorelemente in einer Reihe mit einer Busleitung, wobei einer der Zugangsschalter mit einem ersten Sensorelement verbunden ist; mehrere Sätze von Matrixschaltern, wobei jeder Satz von Matrixschaltern wahlweise ein jeweiliges Sensorelement der mehreren Sensorelemente mit einem jeweiligen Satz benachbarter Sensorelemente verbindet, wobei einer der Matrixschalter mit dem ersten Sensorelement und mit einem zweiten Sensorelement, das kein Element des Satzes von Sensorelementen bildet, verbunden ist; und eine Steuerungsschaltung, die die Zugangsschalter und die Matrixschalter gemäß einer gewählten Schaltkonfiguration derart steuert, dass das erste Sensorelement mit der Busleitung über den einen Zugangsschalter verbunden ist, während gleichzeitig das zweite Sensorelement mit dem einen Zugangsschalter über den einen Matrixschalter verbunden ist.

Patentansprüche

1. Vorrichtung

mit mehreren Sensorelementen die in Reihen angeordnet sind;
mit mehreren Busleitungen;
mit mehreren Systemkanälen;
mit einer Vielzahl von Multiplexerschaltern zur wahlweisen Verbindung verschiedener Busleitungen mit verschiedenen Systemkanälen;
mit einem ersten Satz von Zugangsschaltern zur wahlweisen Verbindung eines ersten Satzes der Sensorelemente in einer ersten Reihe mit einer ersten Busleitung der mehreren Busleitungen, wobei jeder Zugangsschalter des ersten Satzes von Zugangsschaltern unter einem jeweiligen Sensorelement des ersten Satzes von Sensorelementen angeordnet ist, wobei ein erster Zugangsschalter des ersten Satzes von Zugangsschaltern mit einem ersten Sensorelement verbunden ist, das ein Element des ersten Satzes von Sensorelementen ist;
mit mehreren Sätzen von Matrixschaltern, wobei je-

der der Sätze von Matrixschaltern wahlweise ein jeweiliges Sensorelement der mehreren Sensorelemente mit einem jeweiligen Satz benachbarter Sensorelemente verbindet, wobei ein erster Matrixschalter der mehreren Sätze von Matrixschaltern mit einem ersten Sensorelement und mit einem zweiten Sensorelement verbunden ist, das kein Element des ersten Satzes von Sensorelementen ist; und mit einer Steuerungsschaltung, die die Multiplexerschalter, die Zugangsschalter und die Matrixschalter gemäß einer gewählten Schaltkonfiguration derart steuert, dass das erste Sensorelement mit einem ersten Systemkanal über einen ersten Multiplexerschalter der mehreren Multiplexerschalter, der mit der ersten Busleitung verbunden ist, über die erste Busleitung und über den ersten Zugangsschalter verbunden ist, während gleichzeitig das zweite Sensorelement mit dem ersten Zugangsschalter über den ersten Matrixschalter verbunden ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, die ferner einen zweiten Satz von Zugangsschaltern zur wahlweisen Verbindung eines zweiten Satzes der Sensorelemente in der ersten Reihe mit einer zweiten Busleitung der mehreren Busleitungen aufweist, wobei jeder Zugangsschalter des zweiten Satzes von Zugangsschaltern unter einem jeweiligen Sensorelement des zweiten Satzes von Sensorelementen angeordnet ist, wobei ein zweiter Zugangsschalter des zweiten Satzes von Zugangsschaltern mit einem dritten Sensorelement verbunden und unter dem dritten Sensorelement angeordnet ist, das ein Element des zweiten Satzes von Sensorelementen darstellt, wobei ein zweiter Matrixschalter der mehreren Sätze von Matrixschaltern mit dem dritten Sensorelement und mit einem vierten Sensorelement, das kein Element des zweiten Satzes von Sensorelementen ist, verbunden ist, wobei die Steuerungsschaltung die Multiplexerschalter, die Zugangsschalter und die Matrixschalter gemäß der gewählten Schaltkonfiguration derart steuert, dass das dritte Sensorelement mit einem zweiten Systemkanal über einen zweiten Multiplexerschalter der mehreren Multiplexerschalter, der mit der zweiten Busleitung verbunden ist, über die zweite Busleitung sowie über den zweiten Zugangsschalter verbunden ist, während gleichzeitig das vierte Sensorelement mit dem zweiten Zugangsschalter über den zweiten Matrixschalter verbunden ist.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1, die ferner einen zweiten Satz von Zugangsschaltern zur wahlweisen Verbindung eines zweiten Satzes der Sensorelemente in der ersten Reihe mit der ersten Busleitung aufweist, wobei jeder Zugangsschalter des zweiten Satzes von Zugangsschaltern unter einem jeweiligen Sensorelement des zweiten Satzes von Sensorelementen angeordnet ist, wobei ein zweiter Zugangsschalter des zweiten Satzes von Zugangsschaltern mit einem dritten Sensorelement, das ein Element des zweiten Satzes von Sensorelementen ist, ver-

bunden und unter diesem angeordnet ist, wobei ein zweiter Matrixschalter der mehreren Sätze von Matrixschaltern mit dem dritten Sensorelement und mit einem vierten Sensorelement, das kein Element des zweiten Satzes von Sensorelementen ist, verbunden ist, wobei die Steuerungsschaltung die Multiplexerschalter, die Zugangsschalter und die Matrixschalter gemäß der gewählten Schaltkonfiguration derart steuert, dass das dritte Sensorelement mit dem ersten Systemkanal über einen zweiten Multiplexerschalter der mehreren Multiplexerschalter, der mit der ersten Busleitung verbunden ist, über die erste Busleitung sowie über den zweiten Zugangsschalter verbunden ist, während gleichzeitig das vierte Sensorelement mit dem vierten Zugangsschalter über den zweiten Matrixschalter verbunden ist.

4. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei jedes der Sensorelemente eine jeweilige Vielzahl von mikrobearbeiteten Ultraschallwandler(MUT)-Zellen aufweist und jede MUT-Zelle eine obere Elektrode sowie eine untere Elektrode aufweist, wobei die oberen Elektroden der MUT-Zellen, die ein bestimmtes Subelement bilden, untereinander verbunden und nicht durch Schalten voneinander trennbar sind und die unteren Elektroden derselben MUT-Zellen miteinander verbunden und nicht durch Schalten voneinander trennbar sind.

5. Vorrichtung nach Anspruch 1, die ferner ein Halbleitersubstrat aufweist, wobei die Zugangsschalter und die Matrixschalter in oder auf dem Halbleitersubstrat erzeugt sind und die Sensorelemente in oder auf dem Halbleitersubstrat hergestellt sind.

6. Vorrichtung nach Anspruch 1, die ferner ein erstes und ein zweites Substrat aufweist, die schichtweise aneinander gefügt sind, wobei die Zugangsschalter und die Matrixschalter in oder auf dem ersten Substrat gefertigt sind, während die Sensorelemente in oder auf dem zweiten Substrat gefertigt sind.

7. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass sich die Appertur beim Senden von der Appertur beim Empfangen unterscheidet.

8. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass die eingeschalteten Sensorelemente im Wesentlichen einen Kreisring bilden.

9. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei die Zugangsschalter des ersten und des zweiten Satzes von Zugangsschaltern versetzt zueinander angeordnet sind, um die Anzahl von Zugangsschaltern, die für eine gegebene Anzahl von Busleitungen erforderlich ist, zu reduzieren.

10. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei jedes Sensorelement in der ersten Reihe lediglich einen einzigen zugehörigen Zugangsschalter aufweist, der ihm zugeordnet ist, wobei jeder der Zugangsschalter mit lediglich einer einzigen jeweiligen Busleitung aus einem Satz von Busleitungen, die der ersten Reihe von Sensorelementen zugeordnet sind, verbunden ist.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, wobei eine willkürliche Zuordnung eines Zugangsschalter-zu-Busleitung-Mappings verwendet wird, um Artefakte zu reduzieren, die auf sich wiederholende Muster zurückzuführen sind.

12. Vorrichtung nach Anspruch 2, wobei jedes Sensorelement in der ersten Reihe einen jeweiligen Satz von N Zugangsschaltern aufweist, die ihm zugeordnet sind, wobei die Zugangsschalter dieses Satzes mit jeweiligen Busleitungen eines Satzes von Busleitungen verbunden sind, die der ersten Reihe von Sensorelementen zugeordnet sind, wobei die Anzahl von Busleitungen in dem Satz von Busleitungen, die der ersten Reihe von Sensorelementen zugeordnet sind, größer als oder gleich N ist.

13. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Multiplexerschalter eine Kreuzungspunkt-Schaltmatrix bilden, wobei jede Busleitung wahlweise mit jedem Systemkanal verbunden werden kann.

14. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Multiplexerschalter eine dünn besetzte Kreuzungspunkt-Schaltmatrix bilden.

15. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Zugangs- und Matrixschalter steuert um sicherzustellen, dass jeweils ein anderer Zugangsschalter an einem der beiden Enden einer langen Folge von Matrixschalterverbindungen angeschlossen ist, wobei diese Zugangsschalter an derselben Busleitung angeschlossen sind, um die Verzögerung zu reduzieren.

16. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die mehreren Busleitungen einen Satz von horizontalen Busleitungen und einen Satz von vertikalen Busleitungen aufweisen.

17. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Zugangsschalter derart steuert, dass Zugangsschalter gewählt werden, um von jedem Rand eines durch die gewählten Sensorelemente gebildeten Rings (oder einer sonstigen Form) gleich weit entfernt zu liegen, um die Verzögerung innerhalb des Rings (oder der sonstigen Form) auf ein Minimum zu reduzieren.

18. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei mehr als ein einzelner Zugangsschalter pro Busleitung in je-

dem Sensorelement verwendet wird, um eine redundante Verbindung zur Verbesserung der Ausbeute zu schaffen.

19. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass sich die Aperturen in mehreren zeitlichen Abständen während des Empfangs voneinander unterscheiden.

20. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass ein einzelner Zugangsschalter mit einem gesamten Ring von Sensorelementen verbunden ist, wobei alle Sensorelemente in dem Ring wiederum durch Matrixschalter untereinander verbunden sind.

21. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass mehrere Zugangsschalter mit einem gesamten Ring von Sensorelementen verbunden sind, wobei Matrixschalter zwischen Sensorelementen Zugangsschalter aufweisen, um jeweilige Abschnitte des Rings zu bilden.

22. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass mehrere Zugangsschalter mit einem gesamten Ring von Sensorelementen verbunden sind, wobei die Zugangsschalter in gleichen Abständen zueinander rund um den Ring verteilt angeordnet sind, um die Signalverzögerung für diese Sensorelemente zwischen den Zugangsschaltern zu reduzieren.

23. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass mehrere Ringe von Sensorelementen gebildet sind, wobei jeder Ring mit einem einzelnen Systemkanal unter Verwendung eines oder mehrerer Zugangsschalter verbunden ist, wobei jeder der Zugangsschalter mit einer Busleitung verbunden ist, die wiederum mit einem Systemkanal verbunden ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass mehrere redundante Matrixschalterverbindungen zur Bildung eines einzelnen Rings verwendet werden, um den Reihenwiderstand zu reduzieren und dadurch die Verzögerung zu reduzieren.

25. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass ausgewählte Matrixschalter dazu verwendet werden, ein bekanntes schlechtes Sensorelement zu überbrücken.

26. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass eingeschaltete Sensorelemente andere, sich von Ringen unterscheidende Muster bilden, während die

Anordnung der Zugangsschalter derart gewählt ist, dass die Verzögerung minimiert wird.

27. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass ein gesamtes Ringmuster von Sensorelementen verschoben werden kann, um einen sich bewegenden Strahl zu erzeugen, indem ein Minimalverzögerungsalgorithmus in jedem neuen Schritt während der Verschiebung eingesetzt wird.

28. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass das Zentrum eines Elementes mit einer Schrittweite, die kleiner ist als ein vollständiges Subelement, durch Veränderung der Gestalt des Elementes fortgeschaltet werden kann.

29. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass beim Fortschalten um ganze Vielfache von Subelementen Schalterzustände unmittelbar von einem Subelement zu einem Nachbar übergeben werden können, ohne eine Programmierung über die Busleitungen zu erfordern.

30. Vorrichtung nach Anspruch 1, die ferner einen Scannkonverter aufweist, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass beim Fortschalten um Bruchteile von Subelementen die Strahlen für jede unterschiedliche Konfiguration unabhängig von anderen mit dem groben Strahlrastermaß unter Verwendung des direkten Subelement-zu-Nachbar-Übertragungsschemas fortgeschaltet werden können und die resultierenden Sätze von groben Strahlen durch den Scannkonverter verschachtelt werden können, um die volle Auflösung zu erhalten.

31. Vorrichtung nach Anspruch 1, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass beim Fortschalten um ganze Vielfache von Subelementen die Multiplexerschalter zwischen den Reihenbusleitungen und den Systemkanälen sich durch eine Drehung der Kanäle verändern.

32. Vorrichtung nach Anspruch 1, die ferner einen Systemstrahlformer aufweist, wobei die Steuerungsschaltung die Schalter derart steuert, dass beim Fortschalten um ganze Vielfache von Subelementen die Zustände der Multiplexerschalter zwischen den Reihenbusleitungen und den Systemkanälen sich nicht verändern, sondern vielmehr der Systemstrahlformer die Verzögerungen auf den gegebenen Kanälen verändert, um das Fortschalten zu berücksichtigen.

33. Ultraschallwandlerarray, das aufweist: mehrere Busleitungen; mehrere Zugangsschalter, wobei jeder Zugangsschalter mit einer der Busleitungen verbunden ist;

und mehrere Subelemente, wobei jedes Subelement an eine der Busleitungen durch Umschalten über einen zugehörigen der Zugangsschalter anschließbar ist und eine zugehörige Vielzahl von MUT-Zellen sowie eine zugehörige Vielzahl von Matrixschaltern aufweist, wobei alle MUT-Zellen in einem bestimmten Subelement untereinander verbunden und durch Schalten nicht voneinander trennbar sind, wobei jedes Subelement mit jedem benachbarten Subelement durch Umschalten über einen zugehörigen Matrixschalter verbindbar ist.

34. Array nach Anspruch 33, wobei ein ausgewähltes Subelement mit einer ausgewählten Busleitung über einen Matrixschalter, der das ausgewählte Subelement mit einem benachbarten Subelement verbindet, sowie über einen Zugangsschalter, über den das benachbarte Subelement mit der ausgewählten Busleitung verbunden ist, verbunden werden kann.

35. Array nach Anspruch 33, das ferner eine Programmierereinrichtung aufweist, die dazu eingerichtet ist, ausgewählte Subelemente miteinander zu verbinden, um jeweilige Elemente zu bilden.

36. Array nach Anspruch 35, wobei die jeweiligen Elemente mehrere konzentrische Kreise eines elektronisch erzeugten Ringarrays bilden.

37. Array nach Anspruch 36, wobei das elektronisch erzeugte Ringarray unter einer elektronischen Steuerung quer durch das Wandlerarray bewegt wird.

38. Vorrichtung
mit mehreren Sensorelementen;
mit mehreren Busleitungen;
mit einem ersten Satz von Zugangsschaltern zur wahlweisen Verbindung eines ersten Satzes der Sensorelemente in einer ersten Reihe mit einer ersten Busleitung der mehreren Busleitungen, wobei ein erster Zugangsschalter des ersten Satzes von Zugangsschaltern mit einem ersten Sensorelement verbunden ist, das ein Element des ersten Satzes von Sensorelementen bildet;
mit mehreren Sätzen von Matrixschaltern, wobei jeder der Sätze von Matrixschaltern wahlweise ein jeweiliges Sensorelement der mehreren Sensorelemente mit einem jeweiligen Satz benachbarter Sensorelemente verbindet, wobei ein erster Matrixschalter der mehreren Sätze von Matrixschaltern mit dem ersten Sensorelement und mit einem zweiten Sensorelement, das kein Element des ersten Satzes von Sensorelementen bildet, verbunden ist; und
mit einer Steuerungsschaltung, die die Zugangsschalter und die Matrixschalter gemäß einer gewählten Schaltkonfiguration derart steuert, dass das erste Sensorelement mit der ersten Busleitung über den

ersten Zugangsschalter verbunden ist, während gleichzeitig das zweite Sensorelement mit dem ersten Zugangsschalter über den ersten Matrixschalter verbunden ist.

39. Vorrichtung nach Anspruch 38, wobei jedes der Sensorelemente eine jeweilige Vielzahl von mikrobearbeiteten Ultraschallwandler(MUT)-Zellen aufweist und jede MUT-Zelle eine obere Elektrode sowie eine untere Elektrode aufweist, wobei die oberen Elektroden der MUT-Zellen, die ein bestimmtes Subelement bilden, untereinander verbunden und durch Schalten nicht voneinander trennbar sind und die unteren Elektroden derselben MUT-Zellen untereinander verbunden und durch Schalten nicht voneinander trennbar sind.

Es folgen 12 Blatt Zeichnungen

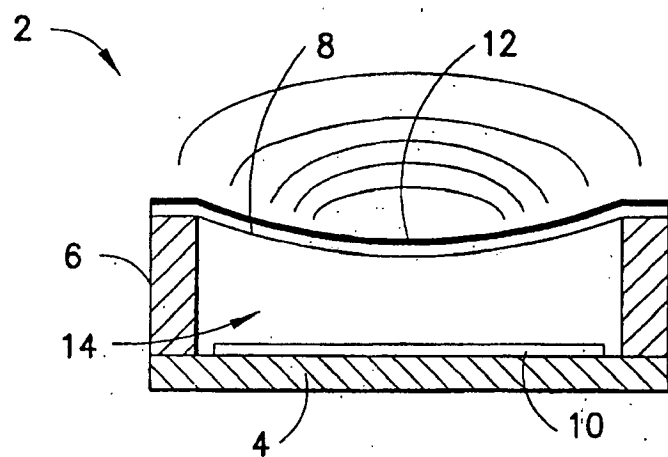


FIG. 1

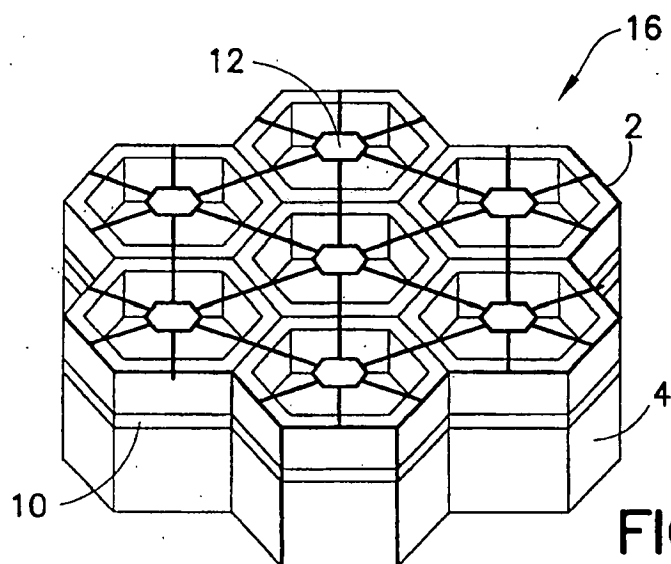


FIG. 2

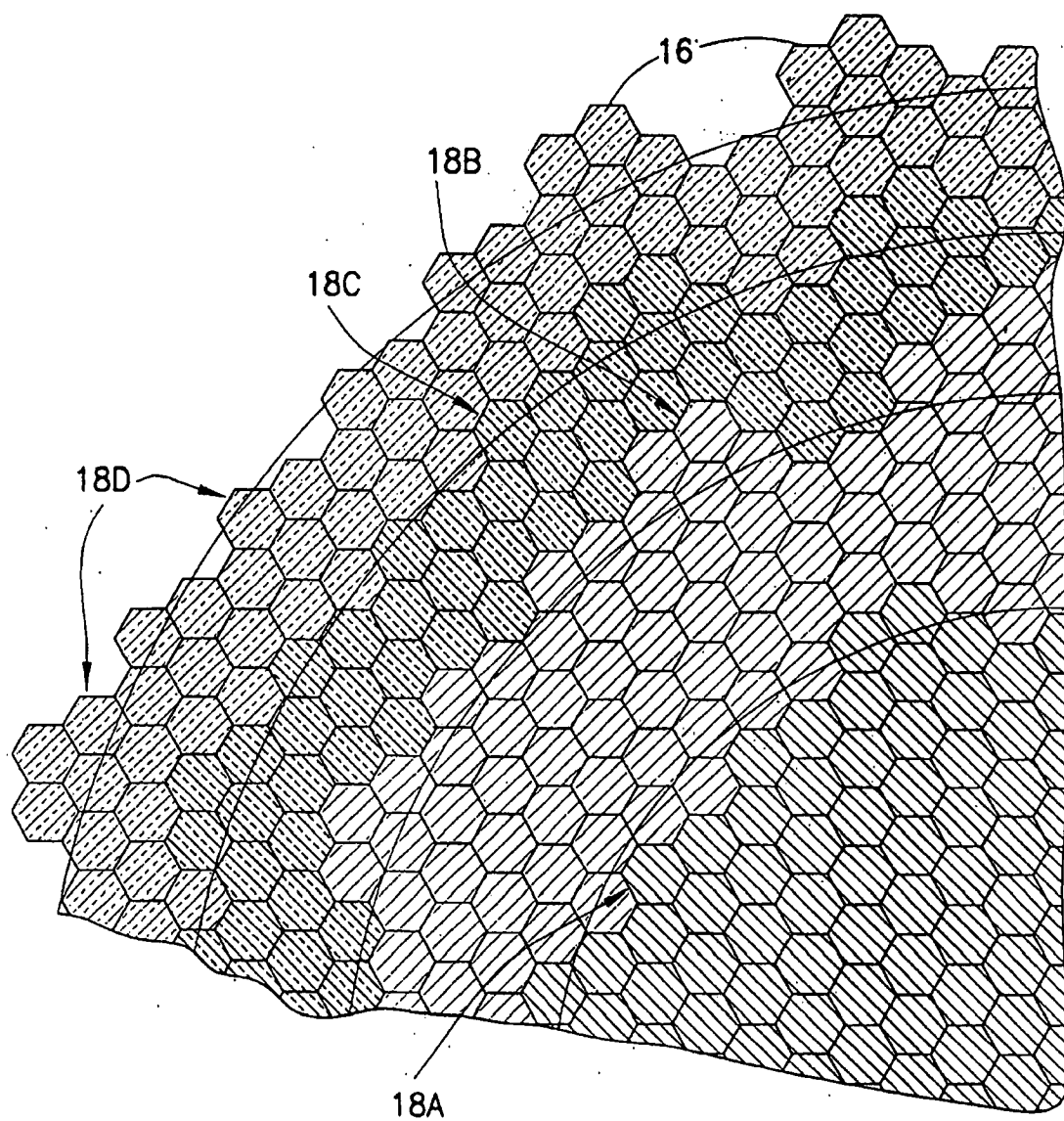


FIG.3

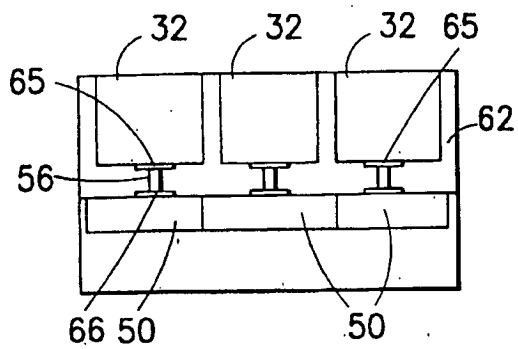


FIG. 4

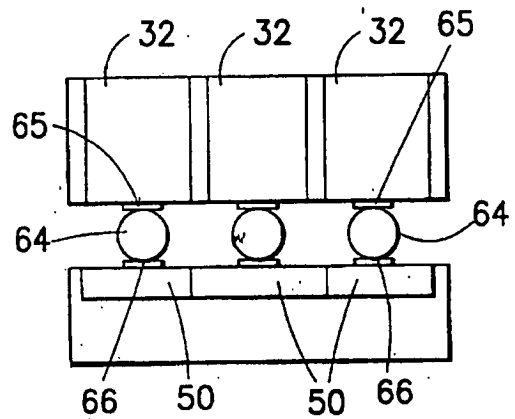


FIG. 5

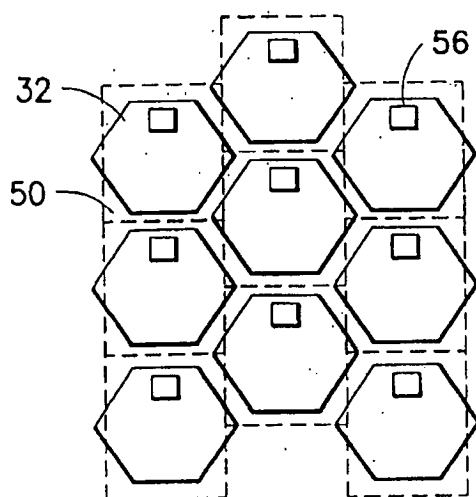


FIG. 6

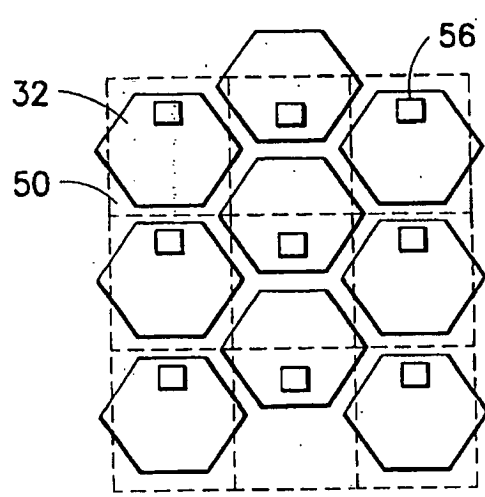


FIG. 7

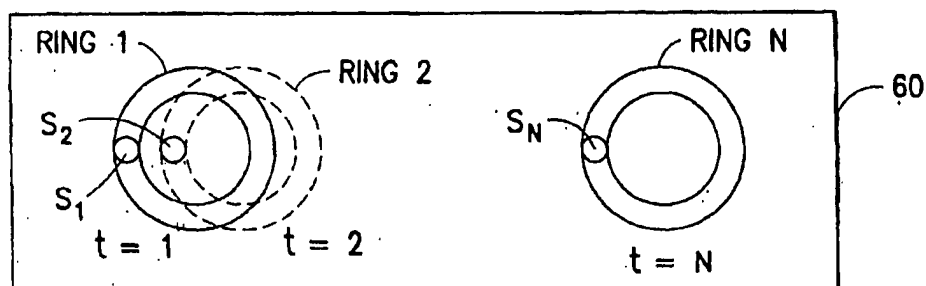


FIG. 8

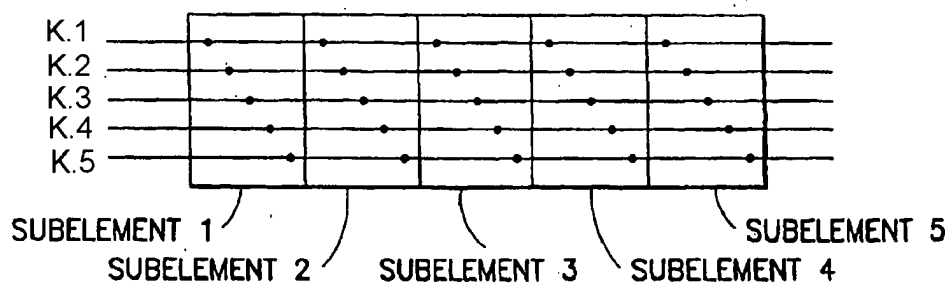


FIG. 9

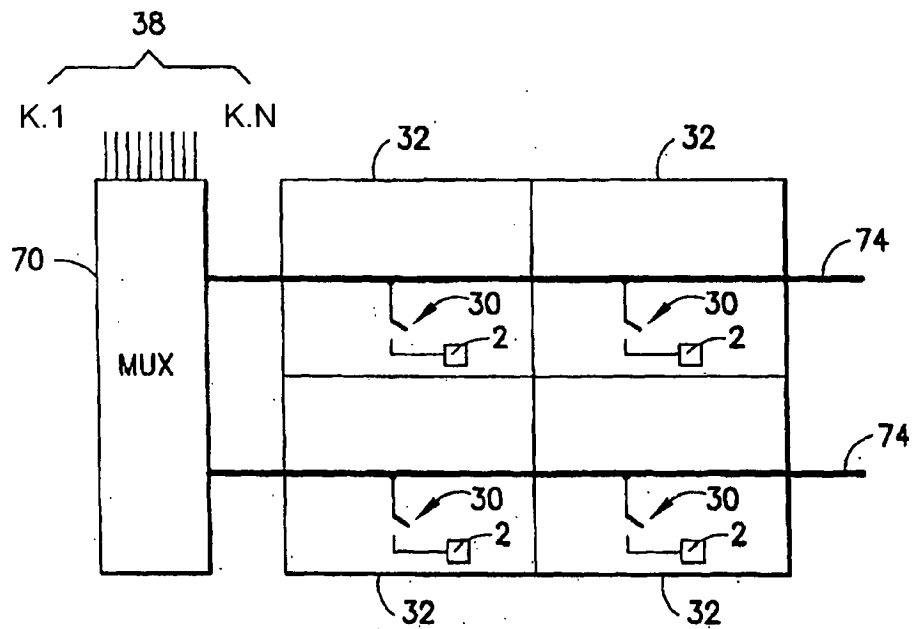


FIG. 10

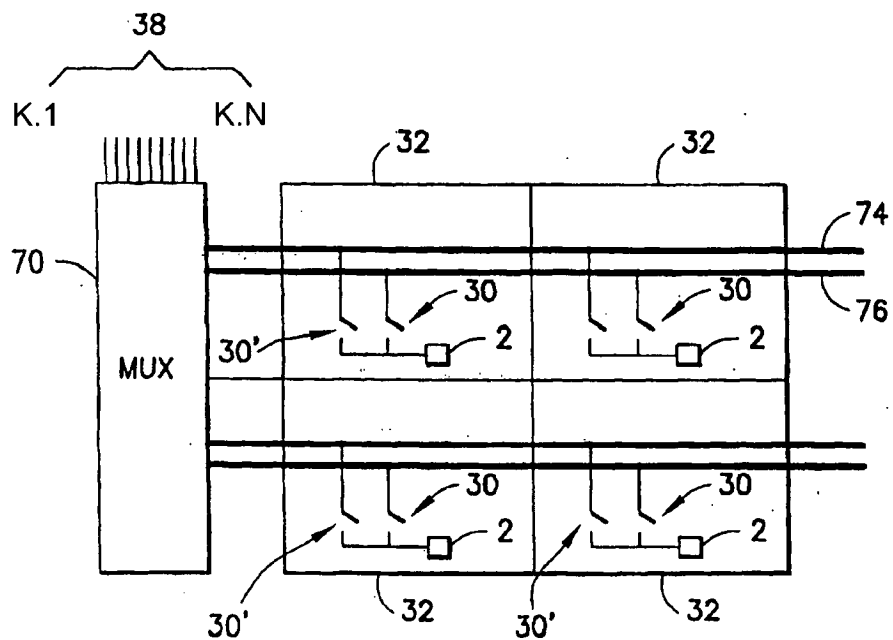


FIG. 11

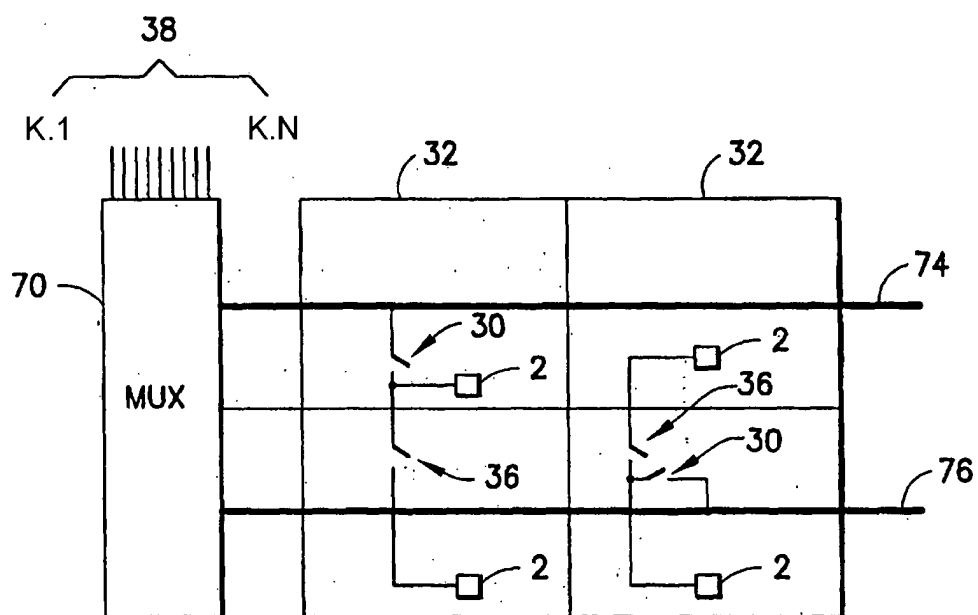


FIG.12

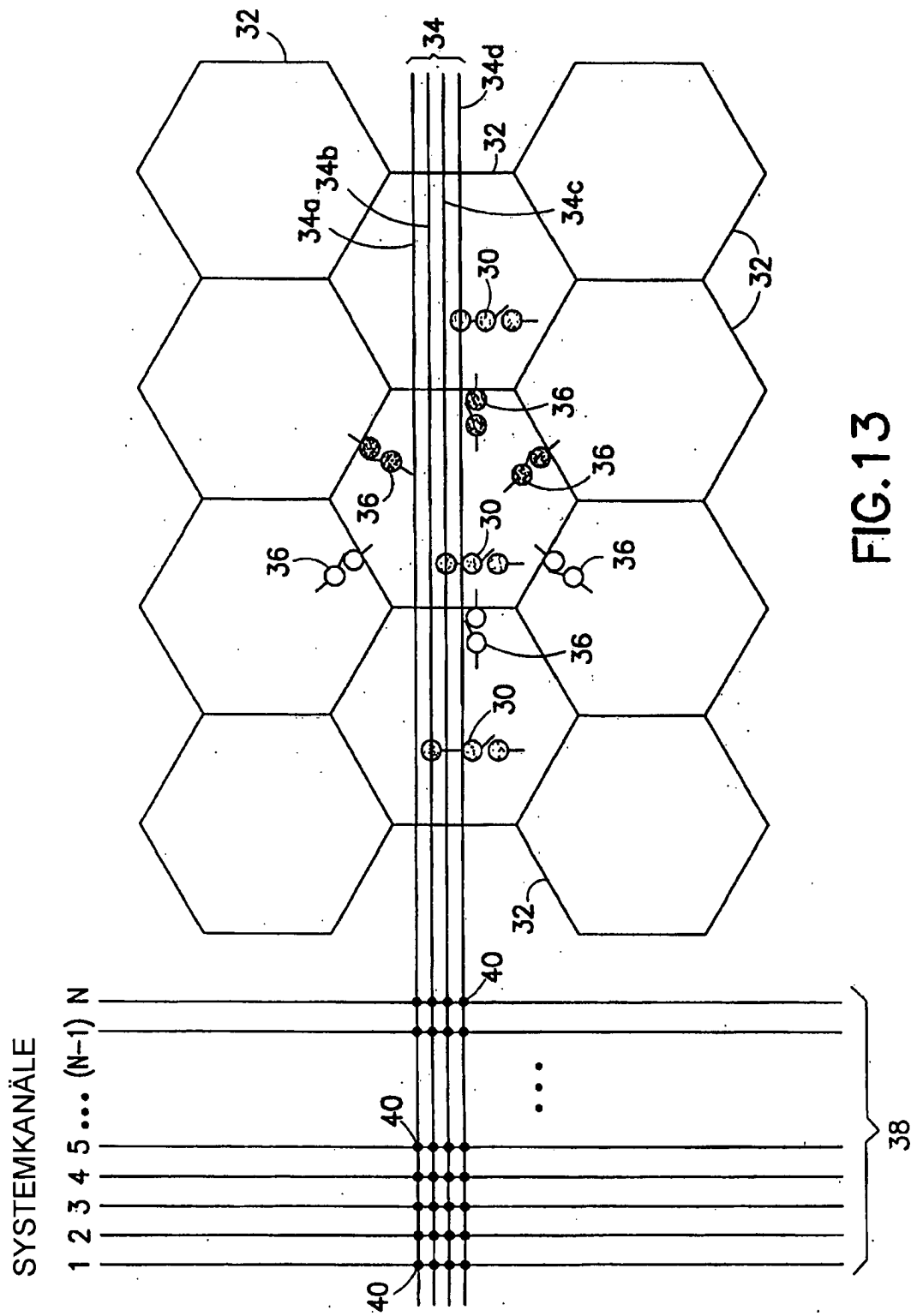


FIG. 13

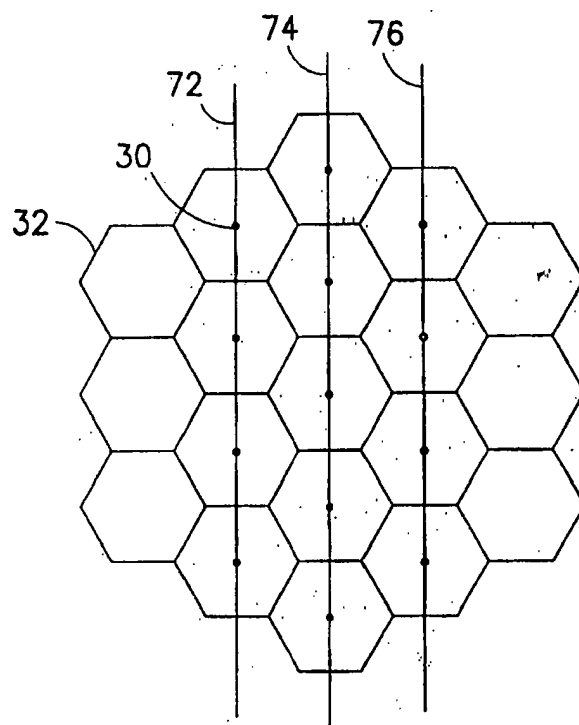


FIG. 14

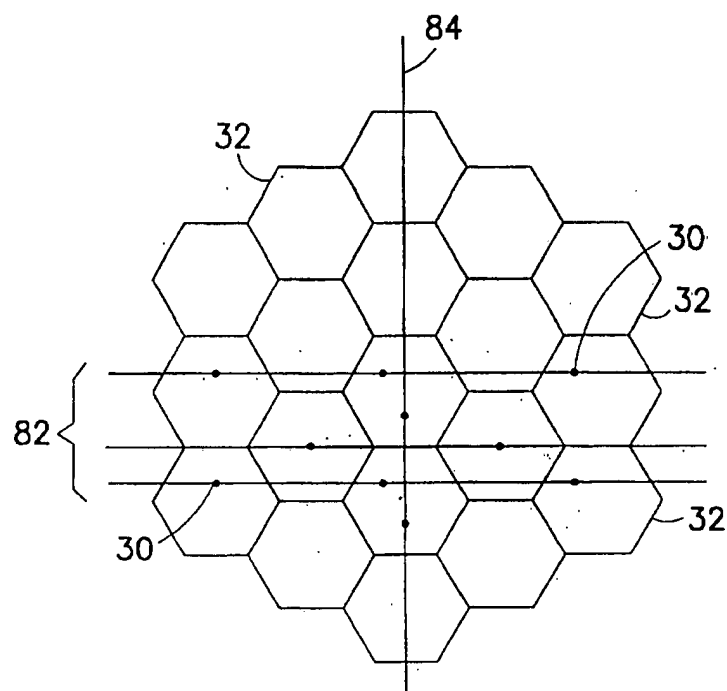


FIG. 15

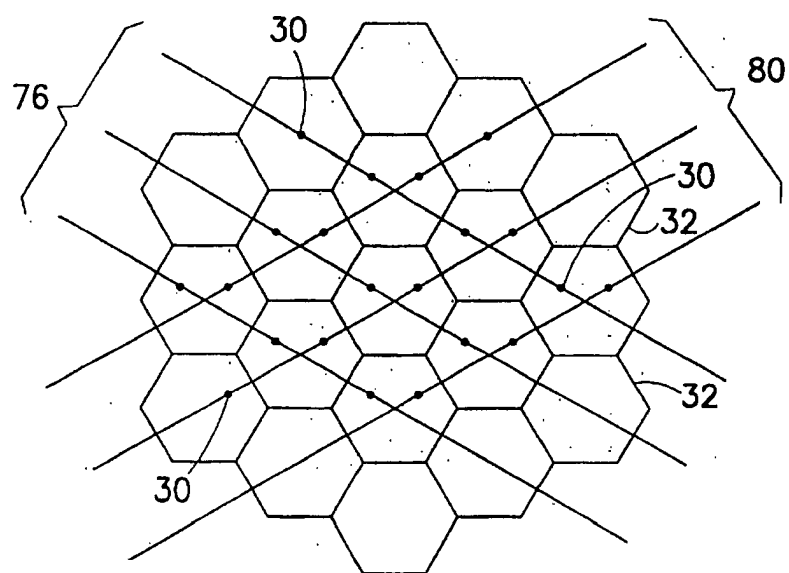


FIG.16

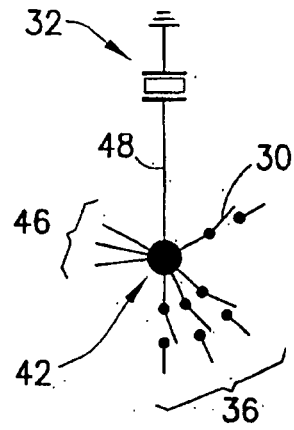


FIG. 17

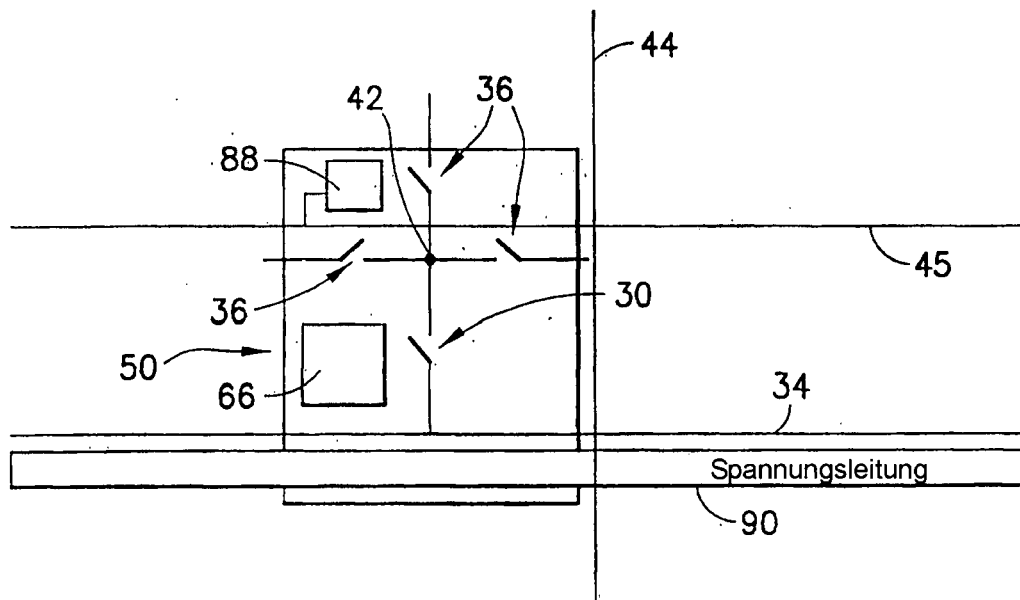


FIG. 18

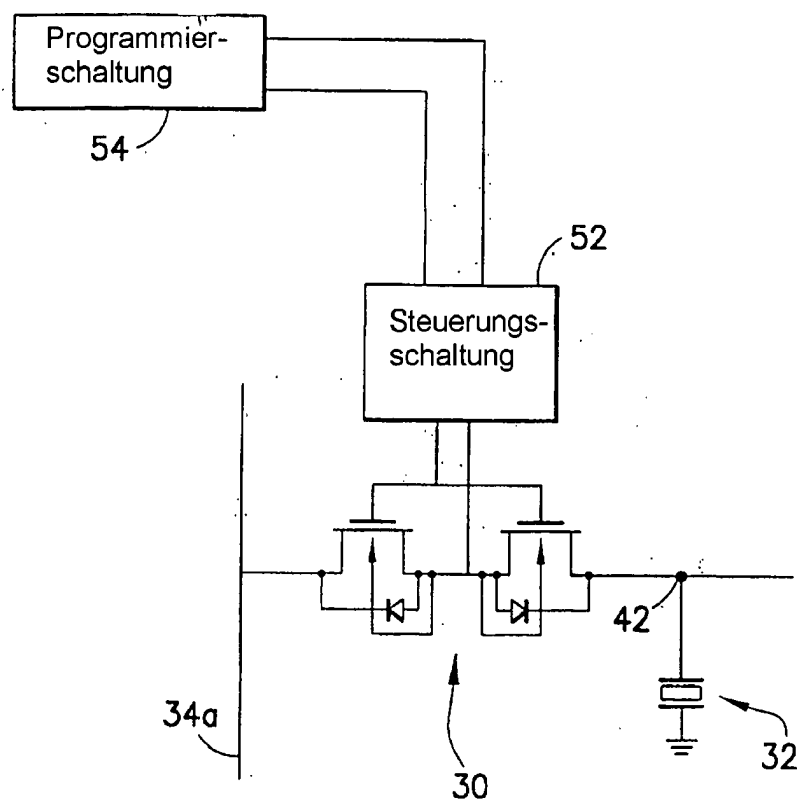


FIG.19

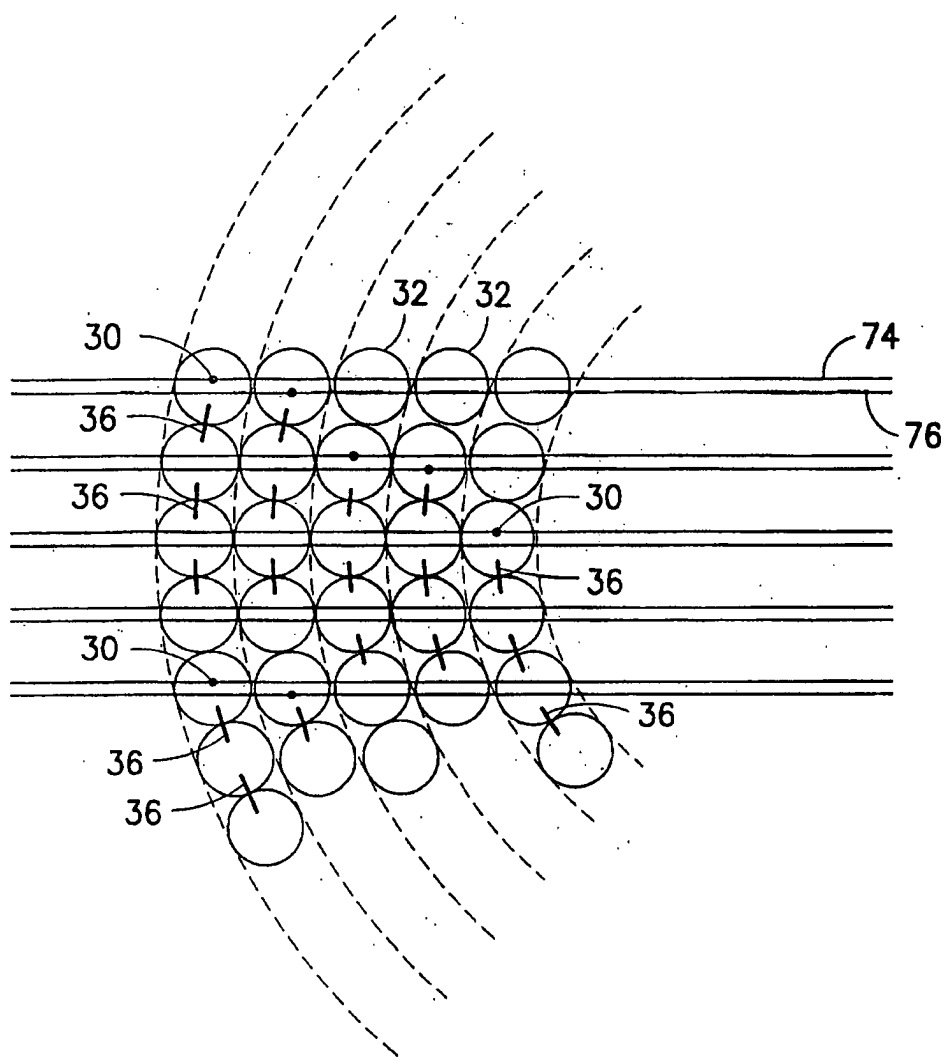


FIG. 20