



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 011 193 A1** 2004.09.16

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 011 193.6**

(22) Anmeldetag: **04.03.2004**

(43) Offenlegungstag: **16.09.2004**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **G03B 42/06**

(30) Unionspriorität:

**10/383990      06.03.2003      US**

(71) Anmelder:

**General Electric Co., Schenectady, N.Y., US**

(74) Vertreter:

**Rüger und Kollegen, 73728 Esslingen**

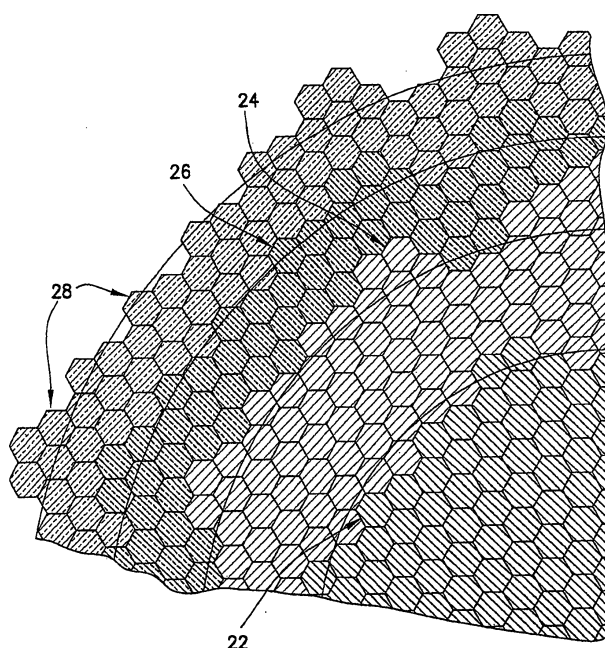
(72) Erfinder:

**Thomenius, Kai, Clifton Park, N.Y., US; Fisher, Rayette A., Niskayuna, N.Y., US; Mills, David M., Niskayuna, N.Y., US; Wodnicki, Robert G., Niskayuna, N.Y., US; Hazard, Christopher Robert, Schenectady, N.Y., US; Smith, Lowell Scott, Niskayuna, N.Y., US**

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Mosaikarrayanordnung, die mikrobearbeitete Ultraschalltransducer nutzt**

(57) Zusammenfassung: Ein Ultraschalltransducerarray enthält eine Vielzahl von Subelementen (U1, U2, U3), die durch eine Vielzahl von mikroelektronischen Schaltern (X1, X2, X3) miteinander verschaltet sind, wobei jedes Subelement eine entsprechende Vielzahl von mikrobearbeiteten Ultraschalltransducer-(MUT)-Zellen (2) aufweist. Die MUT-Zellen innerhalb eines speziellen Subelements sind miteinander fest verdrahtet. Die Schalter werden verwendet, um die Subelemente zu konfigurieren, um mehrfache konzentrische ringförmige Elemente zu bilden. Diese Konstruktion reduziert die Komplexität erheblich und ermöglicht dabei ein Fokussieren in der Elevationsrichtung während einer Ultraschallbilddatenerfassung.



**Beschreibung****HINTERGRUND ZU DER ERFINDUNG**

[0001] Die Erfindung betrifft ganz allgemein Mosaikarrayanordnungen von Ultraschalltransducerelementen und die Verwendung von mikrobearbeiteten Ultraschalltransducern (MUTs) in Arrays. Ein spezielle Anwendung für MUTs ist in medizinischen diagnostischen Ultraschallbildgebungssystemen gegeben.

[0002] Herkömmliche Ultraschallbildgebungssysteme umfassen eine Gruppe von Ultraschalltransducern, die dazu dienen, einen Ultraschallstrahl abzustrahlen und anschließend den von dem zu untersuchenden Objekt reflektierten Strahl zu empfangen. Ein solches Abtasten umfasst eine Serie von Messungen, während derer die fokussierte Ultraschallwelle abgestrahlt wird, wonach das System nach einer kurzen Zeitspanne auf Empfangsmodus schaltet und die reflektierte Ultraschallwelle empfangen, strahlgebündelt und für eine Anzeige verarbeitet wird. Typischerweise werden die Abstrahlung und der Empfang während jeder Messung in der gleichen Richtung fokussiert, um Daten aus einer Reihe von Punkten entlang einer akustischen Strahl- oder Abtastzeile zu erlangen. Der Empfänger wird während des Empfangs der reflektierten Ultraschallwellen dynamisch auf eine Folge von Bereichen entlang der Abtastzeile fokussiert.

[0003] Im Falle einer Ultraschallbildgebung weist der Array gewöhnlich viele Transducer auf, die in einer oder mehreren Zeilen angeordnet sind und mit eigenen Spannungen betrieben werden. Durch Wählen der Zeitverzögerung (oder Phase) und Amplitude der verwendeten Spannungen, kann der einzelne Transducer in einer vorgegebenen Zeile angesteuert werden, um Ultraschallwellen zu erzeugen, die sich vereinigen, um eine Netto-Ultraschallwelle zu bilden, die sich entlang einer bevorzugten Vektorrichtung fortbewegt und auf einen ausgewählten Bereich entlang des Strahls fokussiert ist.

[0004] Dieselben Prinzipien kommen zur Anwendung, wenn die Transducersonde eingesetzt wird, um das reflektierte akustische Signal in einem Empfangsmodus zu empfangen. Die durch die Empfangstransducer erzeugten Spannungen werden summiert, so dass das Netto-Signal den Ultraschall kennzeichnet, der von einer einzelnen Fokuszone in dem Objekt reflektiert wird. Wie im Falle des Abstrahlmodus wird dieser fokussierte Empfang der Ultraschallenergie verwirklicht, indem den von den jeweiligen Empfangstransducern stammenden Signalen gesonderte Zeitverzögerungen (und/oder Phasenverschiebungen) und Verstärkungen auferlegt werden. Die Zeitverzögerungen werden entsprechend der zunehmenden Tiefe des zurückgekehrten Signals eingestellt, um ein dynamisches Fokussieren während des Empfangs zu ermöglichen.

[0005] Die Qualität oder Auflösung des erzeugten Bildes hängt unter anderem von der Anzahl der

Transducer ab, die die Abstrahl- bzw. Empfangsöffnungen des Transducerarrays bilden.

[0006] Dementsprechend ist sowohl für zwei- als auch für dreidimensionale Bildgebungsanwendungen eine große Anzahl von Transducern erwünscht, um eine hohe Bildqualität zu erreichen. Die Ultraschalltransducer sind gewöhnlich in einer in der Hand zu haltenden Transducersonde angeordnet, die über ein flexibles Anschlusskabel mit einer Elektronik Einheit verbunden ist, die die Transducersignale verarbeitet und Ultraschallbilder erzeugt. Die Transducersonde kann sowohl eine Ultraschallabstrahlschaltung als auch eine Ultraschallempfängerschaltung tragen.

[0007] In letzter Zeit wurden Halbleiterherstellungsverfahren zur Herstellung einer Bauart von Ultraschalltransducern verwendet, die als mikrobearbeitete Ultraschalltransducer (MUTs) bekannt sind, und die kapazitiver (MUT) oder piezoelektrischer (pMUT) Natur sein können. MUTs sind winzige membranartige Vorrichtungen mit Elektroden, die die Schall-schwingung eines empfangenen Ultraschallsignals in eine Kapazitätsmodulation umwandeln. Für das Abstrahlen wird die kapazitive Ladung moduliert, um die Membran der Vorrichtung in Schwingungen zu versetzen, und dadurch eine Schallwelle abzustrahlen.

[0008] Ein Vorteil von MUTs besteht darin, dass diese mittels Halbleiterherstellungsverfahren erzeugt werden können, z.B. durch Mikrofertigungsverfahren, die unter dem Oberbegriff "Mikrobearbeitung" einzuordnen sind. Wie in der US-Patentschrift 6 359 367 erläutert: ist Mikrobearbeitung definiert als die Bildung von mikroskopischen Strukturen unter Verwendung einer Kombination oder Untergruppe von (A) Mustererzeugungsmittel (im Allgemeinen lithographische beispielsweise Projektionsjustieranlagen oder Wafer-Stepper), und (B) Aufbringmittel, wie PVD (physikalisches Aufdampfen), CVD (chemisches Aufdampfen), LPCVD (chemisches Niederdruckaufdampfen), PECVD (chemisches Plasmaaufdampfen), und (C) Ätzverfahren, wie nasschemisches Ätzen, Plasmaätzen, Ionenstrahlätzen, Sputterätzen oder Laser-Ätzen. Mikrobearbeitung wird gewöhnlich an Substraten oder wafern durchgeführt, die aus Silizium, Glas, Saphir oder Keramik hergestellt sind. Solche Substrate oder Wafer sind im Allgemeinen sehr flach und glatt, und weisen Abmessungen im Bereich von einigen Zoll auf. Sie werden gewöhnlich als Gruppen in Kassetten bearbeitet, während sie von einem Prozesswerkzeug zum nächsten bewegt werden. Jedes Substrat kann vorteilhafterweise (jedoch nicht notwendigerweise) zahllose Kopien des Produkts verkörpern. Es existieren zwei herstellerübergreifende Arten von Mikrobearbeitung ... 1) Grobe Mikrobearbeitung, bei der die Dicke des Wafers oder Substrats in großen Abschnitten gestaltet wird, und 2) Oberflächenmikrobearbeitung, bei der sich das Gestalten im Allgemeinen auf die Oberfläche beschränkt, und insbesondere auf die dünnen Beschichtungsfilme auf der Oberfläche. Die hier verwendete Definition einer Mikrobearbeitung schließt

die Verwendung herkömmlicher oder bekannter mikrobearbeitbarer Materialien ein, einschließlich Silizium, Saphir, Glaswerkstoffe jeder Art, Polymere (beispielsweise Polyimid), Polysilizium, Siliziumnitrid, Siliziumoxinitrid, dünne Beschichtungsmetalle, wie Aluminiumlegierungen, Kupferlegierungen und Wolfram, Aufschleudergläser (SOGs), implantable oder diffundierte Dotierungssubstanzen und gezüchtete Beschichtungen, beispielsweise Siliziumoxide und -nitride.

[0009] Diese Definition von Mikrobearbeitung wird hier übereinstimmend übernommen.

[0010] Es besteht ein ständiger Bedarf nach Verbesserungen der Konstruktion von Ultraschalltransducerarrays. Die Komplexität heutiger Ultraschallbildgebungssysteme muss hoch sein, um eine ausgezeichnete Bildqualität zu erzielen. Herkömmliche Sonden weisen gewöhnlich 128 Signalverarbeitungskanäle auf (und im Falle von Arrays mit elektronischer Elevationsfokussierung, erhöht sich diese Zahl sogar auf das Fünffache). Auch die Chance, zu einer korrekten medizinischen Diagnose zu gelangen, erhöht sich bei den meisten Bildgebungsmodalitäten (einschließlich des Ultraschalls) durch Verwendung einer dünneren Scheibendicke. Die Implementation eines sowohl in Elevation als auch Azimut dynamisch fokussierten Strahls ist sehr komplex und kostspielig, insbesondere für allgemeine Bildgebungsanwendungen (im Gegensatz zu echokardiographischen). Außerdem stellt der Platzbedarf und Energieverbrauch der Elektronik ein Hindernis dar, um ein System bequem transportierbar zu gestalten.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0011] Der vorliegenden Erfindung liegt die Idee zu Grunde, die aktive Öffnung eines Ultraschalltransducers in ein Mosaik von sehr kleinen Subelementen zu unterteilen und danach aus diesen Subelementen Elemente zu bilden, indem die Subelemente mittels elektronischer Schalter miteinander verbunden werden. Diese Elemente können elektronisch über die Oberfläche der Mosaikarrayanordnung "bewegt" werden, um durch Verändern der Schalterkonfiguration ein Scannen durchzuführen. Andere Elementkonfigurationen erlauben eine Strahlsteuerung, wodurch es möglich wird, volumetrische Datensätze zu gewinnen. Eine Konfiguration mehrfacher konzentrischer kreisringförmiger Elemente ermöglicht eine optimale Ultraschallbildqualität, indem die Gestalt des Elements an die akustischen Phasenfronten angepasst wird. Ein Aspekt der Erfindung ist die Rekonfigurierbarkeit des sich ergebenden Arrays.

[0012] Durch diese Fähigkeiten, nämlich die Elemente sowohl zu rekonfigurieren als auch zu veranlassen, dass sich diese an Phasenfronten anpassen, wird es möglich, die Anzahl von Elementen (oder Kanälen), die erforderlich sind, um die Bildqualität eines High-End-Systems zu erreichen, erheblich zu reduzieren. Mit weniger Kanälen sinkt auch die Anzahl der

durch die Strahlformungselektronik zu verarbeitenden Signale drastisch. Demzufolge kommt der Volumen- und Energieverbrauch einer Systemelektronik einer Mosaikarrayanordnung der Verwirklichung portabler Ultraschallsysteme in hohem Maße entgegen. [0013] Ein Aspekt der Erfindung ist eine Mosaikarrayanordnung mit vielen Subelementen, wobei sämtliche Subelemente eine entsprechende Vielzahl von mikrobearbeiteten Ultraschalltransducer-(MUT)-Zellen aufweisen, und wobei jede MUT-Zelle eine obere Elektrode und eine untere Elektrode umfasst. Die oberen Elektroden der MUT-Zellen, die jedes einzelne Subelement bilden, sind miteinander fest verdrahtet, während die unteren Elektroden jener besagten MUT-Zellen ebenfalls miteinander fest verdrahtet sind.

[0014] Ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Ultraschalltransducerarray, der viele Subelemente aufweist, die durch viele mikroelektronischen Schalter miteinander verschaltet sind, wobei jedes Subelement entsprechend viele MUT-Zellen aufweist, und die MUT-Zellen innerhalb eines speziellen Subelements jeweils miteinander fest verdrahtet sind.

[0015] Noch eine Aufgabe der Erfindung ist ein Verfahren zum Herstellen eines Ultraschalltransducers, mit den folgenden Schritten: Herstellen eines Substrats mit einer darin enthaltenen Vielzahl von mikroelektronischen Schaltern; und Mikrobearbeitung einer Vielzahl von MUT-Zellen auf dem Substrat, wobei die MUT-Zellen untereinander zu Clustern verbunden werden, und jedes Cluster von miteinander verschalteten MUT-Zellen mit einem entsprechenden der mikroelektronischen Schalter verbunden ist.

[0016] Noch ein weiterer Aspekt der Erfindung ist ein Ultraschalltransducer, zu dem gehören: eine Vielzahl von MUT-Zellen, wobei jede MUT-Zelle eine entsprechende obere Elektrode und eine entsprechende untere Elektrode umfasst, wobei die oberen Elektroden der MUT-Zellen miteinander fest verdrahtet sind, und die unteren Elektroden der MUT-Zellen miteinander fest verdrahtet sind; ein mikroelektronischer Schalter mit einem Ausgangsanschluss, der mit den miteinander verschalteten oberen Elektroden oder mit den miteinander verschalteten unteren Elektroden verbunden wird; und ein Treiberschaltkreis mit einem Ausgangsanschluss, der mit einem Eingangsanschluss des mikroelektronischen Schalters verbunden wird, um die Vielzahl von MUT-Zellen zu betreiben, um Ultraschallwellen zu erzeugen, wenn der mikroelektronische Schalter eingeschaltet wird.

[0017] Andere Aspekte der Erfindung sind nachstehend offenbart und beansprucht.

#### KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0018] **Fig. 1** zeigt eine Zeichnung, die eine Schnittansicht einer typischen cMUT-Zelle veranschaulicht.

[0019] **Fig. 2** zeigt eine Zeichnung, die ein "Gänseblümchen"-Subelement veranschaulicht, das von sieben hexagonalen MUT-Zellen gebildet wird, deren

obere bzw. untere Elektroden jeweils miteinander fest verdrahtet sind.

[0020] **Fig. 3** zeigt eine Zeichnung, die ein "hexagonales" Subelement veranschaulicht, das von 19 hexagonalen MUT-Zellen gebildet wird, deren obere bzw. untere Elektroden jeweils miteinander fest verdrahtet sind.

[0021] **Fig. 4** zeigt eine Zeichnung, die einen Sektor Abschnitt einer Mosaikarrayanordnung veranschaulicht, der gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung vier ringförmige Elemente aufweist, wobei jedes Element aus einer mosaikförmigen Gruppierung von "Gänseblümchen"-Subelementen aufgebaut ist, die so konfiguriert sind, dass sie pro Element in etwa dieselbe Fläche aufweisen.

[0022] **Fig. 5** zeigt eine Zeichnung, die einen Sektor einer Mosaikarrayanordnung veranschaulicht, die gemäß noch einem Ausführungsbeispiel der Erfindung sechs ringförmige Elemente aufweist, wobei jedes Element aus einer mosaikförmigen Gruppierung von "Gänseblümchen"-Subelementen aufgebaut ist, die so konfiguriert sind, dass sie pro Element in etwa dieselbe Fläche aufweisen.

[0023] **Fig. 6** zeigt eine Zeichnung, die einen Sektor einer Mosaikarrayanordnung veranschaulicht, der gemäß noch einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung vier Elemente aufweist, wobei jedes Element aus einer mosaikförmigen Gruppierung von "hexagonalen" Subelementen aufgebaut ist.

[0024] **Fig. 7** zeigt eine Zeichnung, die einen Sektor einer Mosaikarrayanordnung veranschaulicht, die gemäß einem weiteren Ausführungsbeispiel der Erfindung sechs Elemente aufweist, wobei jedes Element aus einer mosaikförmigen Gruppierung von "hexagonalen" Subelementen aufgebaut ist.

[0025] **Fig. 8** zeigt eine Zeichnung, die eine mosaikförmige Gruppierung von "Gänseblümchen"-Subelementen veranschaulicht, die durch Spalte getrennt sind, um ein Übersprechen von Signalen zu verringern.

[0026] **Fig. 9** zeigt eine Zeichnung, die eine mosaikförmige Gruppierung von "hexagonalen" Subelementen veranschaulicht, die durch Spalte getrennt sind, um ein Übersprechen von Signalen zu verringern.

[0027] **Fig. 10** zeigt in einer schematischen Darstellung eine Kaskade von Hochspannungsschaltkreisen, die dazu dienen, gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung Ultraschalltransducer einer Mosaikarrayanordnung selektiv zu betreiben.

[0028] Es wird nun auf die Zeichnungen eingegangen, in denen ähnliche Elemente in unterschiedlichen Zeichnungen die gleichen Bezugszeichen tragen.

#### DETAILLIERTE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0029] Die hier offenbarte Neuerung ist ein besonderes Verfahren zum Einrichten einer Mosaikarrayanordnung mit mikrobearbeiteten Ultraschalltransdu-

cern (MUTs). Zum Zweck einer Veranschaulichung werden vielfältige Ausführungsbeispiele der Erfindung beschrieben, die kapazitive mikrobearbeitete Ultraschalltransducer (cMUTs) nutzen. Es sollte allerdings klar sein, dass die Aspekte der hier offenbarten Erfindung nicht auf eine Verwendung von cMUTs beschränkt sind, sondern dass vielmehr ebenso pMUTs oder auch würfelförmige piezokeramische Arrays verwendet werden können, bei denen jedes der würfelförmigen Subelemente durch Verschaltungsmittel mit einer darunterliegenden Schaltschicht verbunden sind.

[0030] cMUTs sind auf Silizium basierende Vorrichtungen, die kleine (z.B. 50 µm große) kapazitive "Trommelmembranen" oder Zellen enthalten, die in der Lage sind, Ultraschallenergie abzustrahlen und zu empfangen. Unter Bezugnahme auf **Fig. 1** ist eine typische MUT-Transducerzelle **2** im Querschnitt gezeigt. Ein Array derartiger MUT-Transducerzellen wird gewöhnlich auf einem Substrat **4**, beispielsweise einem Siliziumwafer hergestellt. Für jede MUT-Transducerzelle, ist ein dünnes Diaphragma oder eine Membran **8**, die aus Siliziumnitrid hergestellt sein kann, schwebend oberhalb des Substrats **4** angeordnet. Die Membrane **8** wird an ihrem Umfang durch einen isolierenden Träger **6** getragen, der aus Siliziumoxid oder Siliziumnitrid hergestellt sein kann. Der Hohlraum **20** zwischen der Membrane **8** und dem Substrat **4** kann mit Luft oder Gas gefüllt, oder völlig oder teilweise evakuiert sein. Ein Film oder eine Schicht aus einem leitenden Material, z.B. einer Aluminiumlegierung oder einem anderen geeigneten leitenden Material, bildet eine Elektrode **12** auf der Membrane **8**, und ein weiterer aus einem leitenden Material hergestellter Film bzw. Schicht bildet eine Elektrode **10** auf dem Substrat **4**. Alternativ kann die Elektrode **10** in das Substrat **4** eingebettet sein. Außerdem kann die Elektrode **12**, anstatt wie in **Fig. 1** gezeigt, im Inneren der Membrane **8**, auf deren Oberseite eingebettet sein.

[0031] Die beiden durch den Hohlraum **20** getrennten Elektroden **10** und **12** bilden eine Kapazität. Wenn ein auftreffendes akustisches Signal bewirkt, dass die Membran **8** schwingt, lässt sich die Änderung der Kapazität mittels einer (in **Fig. 1** nicht gezeigten) zugeordneten Elektronik erfassen, wobei das akustische Signal in ein elektrisches Signal umgewandelt wird. Andererseits wird ein an eine der Elektroden angelegtes Wechselstromsignal die Ladung auf der Elektrode modulieren, was wiederum eine Modulation der kapazitiven Kraft zwischen den Elektroden herbeiführt, wobei letztere bewirkt, dass sich die Membran bewegt und dabei ein akustisches Signal abstrahlt.

[0032] Im Betrieb liegt an der MUT-Zelle gewöhnlich eine Gleichspannungsvorspannung  $V_{bias}$  an, die erheblich höher ist als die zeitlich veränderliche Spannung  $v(t)$ , die über die Elektroden anliegt. Diese Vorspannung zieht die obere Elektrode aufgrund der Coulombschen Kraft nach unten. In diesem stark vor-

gespannten Fall, erfahren die MUT-Trommelmembranen einen Membranausschlag  $u$ , der gegeben ist durch die Gleichung:

$$u(t) \approx \frac{\epsilon}{d^2} * V_{\text{bias}} * v(t) \quad (1)$$

mit  $d$  gleich dem Abstand zwischen den Elektroden oder Platten des Kondensators, und  $\epsilon$  gleich der effektiven Dielektrizitätskonstante der Zelle. Es stellte sich heraus, dass die Empfindlichkeit der MUT-Zelle am größten ist, wenn die Vorspannung hoch und die Elektroden nahe zueinander angeordnet sind.

[0033] Da die Abmessungen einer typischen MUT im Mikrometerbereich liegen, werden gewöhnlich zahlreiche MUT-Zellen in enger räumlicher Nachbarschaft erzeugt, um ein einzelnes Transducerelement zu bilden. Die einzelnen Zellen können runde, rechteckige, hexagonale oder andere Umrissformen aufweisen. Hexagonale Umrisse ermöglichen eine hohe Packdichte der MUT-Zellen eines Transducerelements. Die MUT-Zellen können unterschiedliche Abmessungen aufweisen, so dass das Transducerelement aufgrund der unterschiedlichen Zellenabmessungen über eine gemischte Charakteristik verfügt, was dem Transducer eine Breitbandcharakteristik verleiht.

[0034] Die MUT-Zellen lassen sich in dem Mikrobearbeitungsvorgang miteinander fest verdrahten, um Subelemente, d. h. Cluster aus einzelnen MUT-Zellen zu bilden, die in einer voraussichtlich intelligenten Weise gruppiert sind (nachstehend wird der Begriff "Subelement" verwendet, um einen derartigen Cluster zu bezeichnen). Um größere Elemente zu bilden, z.B. Kreislänge, werden diese Subelemente (im Gegensatz zu einer festen Verdrahtung) durch mikroelektronische Schalter miteinander verschaltet, indem innerhalb der Siliziumschicht, auf der die MUT-Subelemente aufgebaut sind, solche Schalter angeordnet sind. Diese Konstruktion basiert auf Halbleiterherstellungsverfahren, die die Herstellung großer Mengen zu geringen Kosten ermöglichen.

[0035] Es existieren viele Verfahren, das Mosaik geeignet zu gestalten, um die optimale akustische Leistung zu erhalten. Beispielsweise ist es möglich, sowohl für das Abstrahlen als auch den Empfang Phasenfronten anzupassen; einen Spalt zwischen benachbarten Subelementen vorzusehen, um ein Übersprechen von Element zu Element zu reduzieren; vielfältige Subelementmuster zu wählen, um eine mosaikförmige Gruppierung des Mosaikrasters zu bilden; und vielfältige elementare Muster für das Abstrahlen und Empfangen zu wählen, um in speziellen Anwendungen eine maximale akustische Leistung zu erzielen.

[0036] Gemäß den hierin offenbarten Ausführungsbeispielen wird der Transducer mittels einer Gruppe von MUT-Subelementen hergestellt, die sich auf vielfältigen Wegen untereinander verschalten lassen, um eine spezielle akustische Ausgabe hinsichtlich der Strahlrichtung, der Lage des Brennpunkts und der

Minimalisierung von Nebenkeulen und Gitterkeulen zu erreichen.

[0037] **Fig. 2** zeigt zum Zweck einer Veranschaulichung ein "Gänseblümchen"-Subelement **14**, das aus sieben hexagonalen MUT-Zellen **2** aufgebaut ist, und zwar aus einer zentralen Zelle, die von einem aus sechs Zellen bestehenden Ring umgeben ist, wobei jede Zelle in dem Ring an eine entsprechende Seite der zentralen Zelle und an die benachbarten Zellen in dem Ring angrenzt. Die oberen Elektroden jeder Zelle sind miteinander fest verdrahtet. In ähnlicher Weise sind die unteren Elektroden jeder Zelle miteinander fest verdrahtet, wobei sie ein siebenmal größeres kapazitives Subelement bilden.

[0038] In **Fig. 3** ist ein alternatives "hexagonales" Subelement **16** gezeigt, das aus 19 MUT-Zellen aufgebaut ist. Die oberen Elektroden der Zellen in jeder Gruppe sind miteinander fest verdrahtet; in ähnlicher Weise sind die unteren Elektroden der Zellen in jeder Gruppe verbunden und bilden dementsprechend ein größeres kapazitives Subelement. Da sich die MUT-Zelle mit sehr geringen Abmessungen herstellen lässt, ist es möglich, Mosaikarrayanordnungen mit sehr kleinen Kontaktabständen zu erzeugen.

[0039] Es existieren zahlreiche Möglichkeiten der Herstellung von Transducerarrays mittels MUT-Zellen und Subelementen, die in den Schutzbereich der vorliegenden Erfindung fallen. **Fig. 4** und **5** zeigen Beispiele von mosaikförmigen Gruppierungen von Subelementen, um Mosaikarrayanordnungen zu bilden. In dem in **Fig. 4** gezeigten Ausführungsbeispiel sind vier im Wesentlichen ringförmige Elemente (die mit den Bezugszeichen **22**, **24**, **26** bzw. **28** bezeichnet sind), von denen jedes eine mosaikförmige (aus sieben miteinander fest verdrahteten MUT-Zellen pro Subelement aufgebaute) Gruppierung von "Gänseblümchen"-Subelementen aufweist, so konfiguriert, dass sie pro Element in etwa dieselbe Fläche aufweisen. In dem in **Fig. 5** gezeigten Ausführungsbeispiel sind sechs im Wesentlichen ringförmige Elemente (die mit den Bezugszeichen **30**, **32**, **34**, **36**, **38** bzw. **40** bezeichnet sind), von denen jedes eine mosaikförmige Gruppierung von "Gänseblümchen"-Subelementen aufweist, so konfiguriert, dass sie pro Element etwa dieselbe Fläche aufweisen. Die mosaikförmige Gruppierung kann in jedem Fall aus mehreren Arten von Subelementen aufgebaut sein. Das Arraymuster muss nicht eine lückenlose mosaikförmige Gruppierung sein, sondern kann auch Bereiche ohne akustische Subelemente aufweisen. Beispielsweise könnten Durchkontakte vorhanden sein, um Verbindungen der oberen Elektrode des MUT-Subelements oder der MUT-Zellen unterhalb des Arrays zugänglich zu machen.

[0040] Die Konfigurationen der Erfindung können abgewandelt werden, um vielfältige akustische Parameter, beispielsweise die Keulenbreite, den Nebenkeulenpegel oder die Schärfentiefe zu optimieren. Alternativ könnten die Subelemente gruppiert sein, um eine Öffnung für den Abstrahlvorgang zu bilden, und

unmittelbar auf eine andere Öffnung für den Empfangsabschnitt geschaltet zu werden. Während **Fig. 4** und **5** im wesentlichen ringförmige Elemente zeigen, können auch andere Konfigurationen eingerichtet werden, beispielsweise nicht kontinuierliche Ringe, Oktalringe oder Bögen. Die Wahl eines Musters wird von den Anforderungen der Anwendung abhängen.

[0041] **Fig. 6** und **7** veranschaulichen einige Beispiele elementarer Muster, die eine mosaikförmige Gruppierung von "hexagonalen" Subelementen enthalten. Das in **Fig. 6** gezeigte Ausführungsbeispiel weist vier (mit den Bezugszeichen **42**, **44**, **46** bzw. **48** bezeichnete) Elemente auf, wobei jedes Element eine mosaikförmige Gruppierung von "hexagonalen" Subelementen (pro Subelement **19** miteinander fest verdrahtete MUT-Zellen) enthält. Die Elemente sind nicht kreisförmig. Insbesondere ist das dritte Element ein nicht kontinuierlicher Ring, d. h. ist aus mehreren "hexagonalen" Subelementen aufgebaut, die um den Umfang herum in gleichen Winkelintervallen verteilt sind. Das in **Fig. 7** gezeigte Ausführungsbeispiel weist sechs (mit den Bezugszeichen **50**, **52**, **54**, **56**, **58** bzw. **60** bezeichnete) Elemente auf, wobei jedes Element aus einer mosaikförmigen Gruppierung von "hexagonalen" Subelementen aufgebaut ist. In diesem Ausführungsbeispiel ist das vierte Element ein nicht kontinuierlicher Ring, während das erste (d. h. zentrale) Element hexagonal anstelle von kreisförmig ist.

[0042] Es ist selbstverständlich, dass die in **Fig. 4–7** gezeigten Muster lediglich dem Zwecke der Veranschaulichung dienen. Zahlreiche andere Muster können definiert werden und diese Offenbarung ist nicht dahingehend zu bewerten, dass sie die Innovation auf jene Muster beschränkt, die ausdrücklich gezeigt sind.

[0043] Im Falle kreisringförmiger Mosaikarrays ermöglichen die Kreislänge eine drastische Reduzierung der Anzahl von Signalen, die durch die Strahlformungselektronik zu verarbeiten sind. Falls die c-MUT-Zellen beispielsweise in einem aus acht Elementen bestehenden kreisringförmigen Array verteilt sind, bedeutet dies, dass die Strahlformungselektronik lediglich die acht Signale zu verarbeiten hat, die durch jene Kreislänge ausgegeben werden. Dies stellt einen krassen Unterschied zum Fall von herkömmlichen Sonden dar, bei denen die Anzahl von Signalverarbeitungskanälen gewöhnlich 128 beträgt (wobei diese Zahl im Falle von Arrays mit elektronischer Elevationsfokussierung noch mit dem Faktor fünf zu multiplizieren ist).

[0044] Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung kann ein Übersprechen zwischen Elementen in einem rekonfigurierbaren Array reduziert werden, indem zwischen den Subelementen ein kleiner Spalt eingeführt wird. **Fig. 8** zeigt eine mosaikförmige Gruppierung von "Gänseblümchen"-Subelementen **14**, bei denen jedes "Gänseblümchen"-Subelement von benachbarten Subelementen durch einen Spalt

**62** getrennt ist. **Fig. 9** zeigt eine mosaikförmige Gruppierung von "hexagonalen" Subelementen **16**, bei denen jedes "hexagonale" Subelement von benachbarten Subelementen durch einen Spalt **64** getrennt ist. Um ein Übersprechen weiter zu reduzieren, könnte in dem Siliziumsubstrat um jedes Subelement eine Rinne ausgebildet sein.

[0045] Die Subelemente (ob vom Typ "Gänseblümchen", "hexagonal" oder einer anderen Gestalt) können mittels unterhalb des Arrays angeordneter Schalter dynamisch verbunden werden, wodurch es möglich wird, willkürliche elementare Muster oder, mit anderen Worten, einen rekonfigurierbaren Array zu bilden. Während diese Schalter eigens hinzugefügte Komponenten sein können, ist es auch möglich, die Schalter tatsächlich innerhalb desselben Halbleitersubstrats herzustellen, auf dem das MUT-Array auszubilden ist. Der zum Ausbilden des MUT-Arrays verwendete Mikrobearbeitungsvorgang wird sich nicht nachteilig auf die integrierte Elektronik auswirken.

[0046] Gemäß einem Aspekt der Erfindung ist es möglich, die Anzahl von Hochspannungsschaltern durch die Verwendung von Pulsgeberschaltkreisen zu reduzieren, die sich sehr klein konstruieren lassen, da der Strom den die hochohmigen MUTs benötigen, sehr gering ist.

[0047] Jedes MUT-Subelement kann durch einen Hochspannungsschaltkreis betrieben werden, der zwei DMOS-FETs aufweist, die Rücken an Rücken verbunden sind (wobei die Quellenknoten zusammengeschlossen sind; siehe Schalter X1-X3 in **Fig. 10**), um einen bipolaren Betrieb zu ermöglichen. Ein derartiger Umschalterschaltkreis ist in der US-Patentanmeldung SN 10/248 968 mit dem Titel "Integrated High-Voltage Switching Circuit for Ultrasound Transducer Array" offenbart. In dem Umschalterschaltkreis fließt Strom durch die Schalteranschlüsse, wenn beide FETs eingeschaltet sind. Um den Schalter einzuschalten, muss die Gatterspannung dieser Vorrichtungen um eine Schwellwertspannung größer sein als deren Quellenspannung. Oberhalb der Schwellwertspannung verhält sich der Einschaltwiderstand im Wesentlichen umgekehrt proportional zu der Gatterspannung. Da die Quellenspannung nahe bei der Drainspannung sein wird (falls der Pegel Low am Widerstand anliegt und der Strom gering ist), wird die Quellenspannung der Ultraschallabstrahlungspulsspannung nachfolgen. Um zu erreichen, dass die Gatterquellenspannung konstant bleibt, muss die Gatterspannung ebenfalls der Abstrahlungspulsspannung folgen. Diese kann erreicht werden, indem die Quelle und das Gatter von dem Schaltersteuerschaltkreis isolieren werden, und an dem Gatter in Bezug auf die Quelle für ein festes Potential gesorgt wird. Dies wird vorzugsweise mittels dynamischer Pegelumsetzer verwirklicht.

[0048] Die US-Patentanmeldung SN 10/248 968 offenbart einen Einschalterschaltkreis, der einen Hochspannungs-PMOS-Transistor aufweist, dessen Drain über eine Diode mit einem gemeinsamen Gatter der

DMOS-FETs verbunden ist. An dem Gatter des PMOS-Transistors liegt die Schaltergattereinschaltspannung  $V_p$  an. An der Quelle des PMOS-Transistors liegt als Vorspannung eine globale Schaltergattervorspannung (nominal 5 V) an. Um den Schalter einzuschalten, wird die Gatterspannung  $V_p$  des PMOS-Transistors von High (5 V) nach Low (0 V) überführt, was bewirkt, dass die globale Vorspannung über den PMOS-Transistor an den gemeinsamen Gatteranschluss der DMOS-FETs angelegt wird. Die Diode ist vorgesehen, um zu verhindern, dass der PMOS-Transistor durchschaltet, wenn die Schaltergatterspannung  $V_p$  über die globale Schaltergattervorspannung hinaus driftet. Sobald die Schaltergatterspannung  $V_p$  die Schaltergattervorspannung erreicht hat, wird die parasitäre Gatterkapazität der DMOS-FETs diese Spannung zurückhalten. Daher kann der PMOS-Transistor, sobald sich die Gatterspannung  $V_p$  stabilisiert hat, abgeschaltet werden, um Energie zu sparen. Die Tatsache, dass der Einschaltzustand effektiv auf der Schaltergatterkapazität gespeichert ist, bedeutet, dass der Schalter über einen eigenen Speicher verfügt.

[0049] Dieser Umschalterschaltkreis kann, wie in **Fig. 10** gezeigt, als Teil einer Kaskade von Schaltern verwendet werden (wie aus der erwähnten Patentanmeldung SN 10/248 968 zu entnehmen). Die in **Fig. 10** gezeigte exemplarische Kaskade umfasst drei in Reihe verbundene Schalter X1, X2 und X3, obwohl es klar sein sollte, dass auch mehr als drei Schalter in der gezeigten Weise kaskadiert werden können. Die Zustände der Schalter X1 bis X3 werden mittels entsprechender Schaltersteuerschaltkreise C1 bis C3 gesteuert. Ein (nicht gezeigter) digitaler Schaltkreis ist vorhanden, der die Gatterausschaltspannung  $V_N$  und die Gattereinschaltspannung  $V_p$  steuert. Dieser digitale Schaltkreis verfügt über ein lokales Gedächtnis hinsichtlich des Schaltzustands des Schalters. Ein externes Steuerungssystem (der Programmierungsschaltkreis **68** in **Fig. 10**) programmiert sämtliche Schalterpeicher in einen der Zustände EIN, AUS oder KEIN WECHSEL. Anschließend wird eine globale Ansteuerungsleitung **70** (siehe **Fig. 10**) verwendet, um den Zustand auf den tatsächlichen Schaltersteuerschaltkreis anzuwenden. Auf diese Weise sind  $V_N$  und  $V_p$  beide Null, bis die Ansteuerungsleitung betätigt wird. In diesem Zustand behält der Schalter von sich aus seinen letzten Zustand bei. Wenn die globale Ansteuerungsleitung **70** angesteuert wird, wird der gespeicherte Schalterzustand auf den Schalter selbst übertragen, indem entweder  $V_N$  auf High (Abschalten des Schalters),  $V_p$  auf Low (Einschalten des Schalters) oder  $V_N$  und  $V_p$  beide auf Low gesetzt werden (keine Änderung des Schalterzustands). Die Anschlüsse für die globale Schaltergattervorspannung sämtlicher Schalter X1–X3 in **Fig. 10** sind mit einem Bus **72** verbunden. Die globale Ansteuerungsleitung **70** ermöglicht in Verbindung mit dem globalen Schaltergattervorspannungsbuss **72**, die Einschaltspannung jedes Schalters X1–X3

unabhängig zu programmieren. Genauer gesagt bedeutet dies, dass jeder Schalter mit seiner eigenen einzigartigen Gattereinschaltspannung programmiert werden kann, die eingesetzt werden kann, um die Einschaltwiderstände sämtlicher Schalter in dem Array einzustellen, um herstellungsbedingte Abweichungen zu korrigieren.

[0050] Noch immer Bezug nehmend auf **Fig. 10**, kann ein erster Ultraschalltransducer U1 durch den Ultraschalltreiber **66** betrieben werden, wenn der Schalter X1 eingeschaltet ist; ein zweiter Ultraschalltransducer U2 kann durch den Ultraschalltreiber **10** betrieben werden, wenn die Schalter X1 und X2 beide eingeschaltet sind; und ein dritter Ultraschalltransducer U3 kann durch den Ultraschalltreiber **10** betrieben werden, wenn sämtliche Schalter X1, X2 und X3 eingeschaltet sind. Jeder Ultraschalltransducer kann ein Subelement einer der hier offenbarten Bauarten sein.

#### I. Anwendungen für eine rekonfigurierbare auf MUT basierende Mosaikarrayanordnung

[0051] Die vorliegende Erfindung nutzt das Konzept einer Rekonfigurierbarkeit von Arrays. Die nachfolgenden Beispiele sollen nicht sämtliche Möglichkeiten abdecken, aus denen Vorteile gezogen werden können, sondern dienen vielmehr der Veranschaulichung.

##### a. Kreisringförmige Arrays

[0052] Im Falle von bekannten nicht mosaikförmigen kreisringförmigen Arrays ist es gewöhnlich üblich, diese näherungsweise mit übereinstimmenden Flächen zu fertigen, bei denen das zentrale Element und die Kreisringe alle die gleiche Fläche aufweisen. Dieser Ansatz bedingt, dass die Phasenverschiebung über jedes Element hinweg konstant ist. Dies sorgt außerdem dafür, dass sämtliche Elementimpedanzen einheitlich sind, woraus eine übereinstimmende Last für die Schaltung resultiert, die die Elemente betreibt und von diesen empfängt. Dies trägt dazu bei, dass der Spektralanteil von jedem Element nahezu einheitlich ist, und maximiert daher die Kohärenz der Abstrahlungs- und Empfangsstrahlformungsprozesse.

[0053] Allerdings zeigen Rechnersimulationen, dass der Ansatz der Verwendung gleicher Flächen die Nahfeldleistung des Arrays aufgrund der beschränkten Anzahl von Elementen, die im Nahfeld ins Spiel kommen, begrenzt. Eine alternative Konstruktion wird als die Konstruktion mit konstantem Blendenwert bezeichnet, die für flache (nicht vorfokussierte) kreisringförmige Arrays zu verwenden ist. Bei diesem Ansatz wird versucht, über den interessierenden Bereich hinweg einen konstanten Blendenwert aufrecht zu erhalten, bis die Grenze des Öffnungswerts erreicht ist. Diese Konstruktionen und andere Abwandlungen lassen sich ohne weiteres mit den hier offen-

barten rekonfigurierbaren Arrays von MUT-Subelementen durchführen.

#### b. Nicht kreisringförmige Arrays

[0054] Es sollte beachtet werden, dass die Rekonfigurierbarkeit von MUTs eine große Verallgemeinerung hinsichtlich der Form und Abmessung eines Mosaikarrayelements ermöglicht. Einige klinisch Anwendungen erfordern möglicherweise andere Konfigurationen, beispielsweise elliptische Konfigurationen (falls Elevationsobjektive verwendet werden) oder mögliche spärliche Array-Designs.

#### c. Unterschiedliche Konfigurationen bei Abstrahl- und Empfangsmodus

[0055] Eine integrierte Elektronik innerhalb des MUT-Arrays substrats ermöglicht es, das elementare Muster oder die Konfiguration des Arrays rasch umzuschalten. Ein Vorteil, der hierdurch für die akustische Performance besteht, ist die Möglichkeit für die Abstrahlung und den Empfang über jeweils unterschiedliche Blendenöffnungen zu verfügen. Es ist möglich, für das Abstrahlen die optimale Blende für eine feststehende Schärfentiefe zu konfigurieren, während für den Empfang eine Öffnung implementiert werden kann, die sich für einen dynamisch verändernden Fokus (oder Öffnung oder Apodisation) eignet. Diese ist nicht auf ein Verändern der Größe der Öffnung beschränkt (beispielsweise lassen sich sämtliche Systemkanäle sowohl für das Abstrahlen als auch den Empfang verwenden).

#### d. Strahlsteuerung

[0056] Ein rekonfigurierbarer Array stellt die Möglichkeit zur Verfügung, Strahlen durch ein Gruppieren jener Subelemente zu steuern, die für den gegebenen Strahl ähnliche Verzögerungswerte aufweisen. Während ein Querstrahl Gruppierungen aufweist, die als kreisförmige Ringe gestaltet sind, haben Strahlen, die abseits der Senkrechten gesteuert sind, bogenförmige Gruppierungen.

[0057] Der Strahl lässt sich dreidimensional, d. h. sowohl in der Azimut- als auch Elevationsrichtung steuern. Der gesteigerte Wert der rekonfigurierbaren Konstruktion liegt darin, dass sich diese gesteuerten Strahlen mit einer geringeren Anzahl an Systemkanälen verwirklichen lassen, da eine typische phasengesteuerte Arrayantenne das akustische Feld bei flachen Steuerwinkeln stark überabtastet. Die Strahlsteuerung kann also mit einer beschränkten Anzahl von Kanälen erreicht werden, indem Elemente entsprechend der erforderlichen Zeitverzögerung effizient in der Mosaikkonstruktion gruppiert werden. Die Anzahl von diskreten Verzögerungen, die benötigt werden, hängt von dem Pegel der Nebenkeulen ab, die auftauchen, während die Grobteilung des räumlichen Abtastens erhöht wird.

## II. Akustische Leistungsverbesserungen

### a. Änderung der Vorspannung von Subelement zu Subelement

[0058] Es ist allgemein bekannt, dass abrupte Amplitudenänderungen aufgrund eines mit dem Gibbs-Phänomen verwandten Prozesses an der Abstrahlöffnung Seitenkeulen mit größeren Amplituden erzeugen. Im Falle von eindimensionalen Arrays verwenden die meisten Hersteller eine Gewichtung (oder Apodisation), um diese Nebenkeulen zu reduzieren. Bei kreisringförmigen Mosaikarrays, die bezüglich der Fläche des Arrays in eine senkrechte Richtung abstrahlen, kann die Apodisation auf die einzelnen Ringe des Arrays angewandt werden. Diese ist mit einem strahlgesteuerte Kreisringmosaikarray nicht mehr möglich, da auf sämtliche Bogen eine konstante Amplitude angewandt werden müsste, und diese Bogen an den Rändern der Öffnung des Kreisringmosaikarrays enden. Um dieses Problem zu umgehen, ist es möglich, die Vorspannung über die Öffnung hinweg zu modifizieren, um eine sphärische (oder anders gestaltete) Änderung über die MUT-Zellen hinweg zu erzeugen und dadurch den Strahlformungsprozess nach Bedarf zu variieren. Im Allgemeinen bedeutet dies ein Steuern der Vorspannung über die aktive Öffnung hinweg. Ein weiteres Mal hängt der Grad, wie diskret diese Steuerung arbeiten soll, von der gewünschten Strahlqualität und der vertretbaren Schaltkreiskomplexität ab. Bei Verwendung der Vorspannung, um die Form der Apodisation einzurichten, lässt sich die Apodisation auch dann besser steuern, wenn Kreisinge verwendet werden, da die Form der Apodisationsfunktion von den Subelementen abhängt, und nicht von den Kreisingen.

[0059] Weiter ist die akustische Empfindlichkeit von Subelementen aufgrund von Fertigungsabweichungen möglicherweise über den Array hinweg nicht einheitlich. Da die Empfindlichkeit von der Vorspannung abhängt, kann ein unabhängiges Einstellen dieser Spannung für jedes Subelement die Empfindlichkeitsänderung kompensieren.

### b. Adaptive Akustik

[0060] Die Qualität der Strahlformung kann periodisch überprüft werden, indem die Echos, die durch jedes Subelement (oder jede Gruppe von Subelementen) in dem Array empfangen werden, isoliert werden, und die zeitliche Beziehung der Echos mit jenen der Summe sämtlicher Mosaikarrayelemente (der Strahlsumme) verglichen wird. Dieses Subelement (bzw. diese Gruppe) kann dann abhängig von der Beziehung seiner (ihrer) Phase oder Zeitverzögerung gegenüber dem Strahlsummensignal einem anderen Kreisring oder Bogen neu zugeordnet werden.



## c. Oberschwingungen

[0061] Die hier offenbarten Mosaikarrayanordnungen bringen ferner die Vorteile einer großen Bandbreite ein. Es wird erwartet, dass durch das Verwenden von Mosaikarrayanordnungen, insbesondere in der kreisringförmigen Mosaikkonfiguration, aufgrund der ermöglichten besseren Kontrolle über das akustische Feld, höhere Energieanteile an Oberschwingungen zu erzielen sind als mit rechteckigen Öffnungen. Es wird ferner antizipiert, dass sich diese zusätzliche Oberwellenenergie aufgrund der großen Bandbreite von MUTs leichter erfassen lässt.

[0062] Was die Breitbandleistung betrifft, ist die Wahrscheinlichkeit, zweite Oberschwingungen bildgebend zu erfassen, mittels des hier offenbarten Ansatzes einer Mosaikarrayanordnung weitaus höher (gegenwärtige Systeme nutzen lediglich die erste Oberschwingung).

[0063] Darüber hinaus schaffen die hier offenbarten Mosaikarrayanordnungen Vorteile für die Strahlform. Techniken wie die Charakterisierung von Gewebe ziehen aus der Verwendung von Vorrichtungen mit großer Bandbreite, wie es MUTs sind, unmittelbar Vorteile. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Charakteristik von Gewebe aufgrund der hervorragenden Auflösung besser abgetastet wird.

[0064] Zusammenfassend ermöglicht die hier offenbarte Erfindung eine überragende Strahlleistung, darin eingeschlossen eine reduzierte Scheibendicke, in Elevationsrichtung dynamisch fokussierte Strahlen und eine Rekonfigurierbarkeit des Arrays, um die akustische Leistung oder den Einsatz für spezielle klinische Situationen zu verbessern. Die Erfindung reduziert aufgrund der geringeren Kanalzahl darüber hinaus die Systemkomplexität, wodurch ein Senken des Energieverbrauchs, eine Reduzierung der Kosten und eine Steigerung des Tragekomforts ermöglicht werden.

[0065] Die Kombination von MUT-Technologie mit Mosaikarrayanordnungen macht es möglich, Elemente mit geringen Kontaktabständen zu rekonfigurieren, um akustische Phasenfronten anzupassen, was erforderlich ist, um über einen breiten Bereich unterschiedlicher Ultraschallanwendungen eine ausgezeichnete Bildqualität zu erreichen. Die MUT-Zellen sind außerdem resonanzfreie Konstruktionen. Aus diesem Grund sind sie in der Lage, über einen erheblich größeren Frequenzbereich zu arbeiten, als dies mit herkömmlichen piezokeramischen Arrays möglich ist. Die Mosaikarraytechnologie wird in Echtzeit zweidimensionale und elektronisch betrieben dreidimensionale Bildgebung ermöglichen, mit einer erheblich feineren Formung und Steuerung des Strahls, als bei Arrays nach dem gegenwärtigen Stand der Technik.

[0066] Ein Ultraschalltransducerarray enthält eine Vielzahl von Subelementen (U1, U2, U3), die durch eine Vielzahl von mikroelektronischen Schaltern (X1, X2, X3) miteinander verschaltet sind, wobei jedes Su-

belement eine entsprechende Vielzahl von mikrobearbeiteten Ultraschalltransducer-(MUT)-Zellen (2) aufweist. Die MUT-Zellen innerhalb eines speziellen Subelements sind miteinander fest verdrahtet. Die Schalter werden verwendet, um die Subelemente zu konfigurieren, um mehrfache konzentrische ringförmige Elemente zu bilden. Diese Konstruktion reduziert die Komplexität erheblich, und ermöglicht dabei ein Fokussieren in der Elevationsrichtung während einer Ultraschallbilddatenerfassung.

[0067] Während die Erfindung anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen beschrieben wurde, ist es dem Fachmann klar, dass an deren Elementen vielfältige Änderungen vorgenommen werden können, und die Beispiele durch äquivalente Ausführungen substituiert werden können, ohne dass der Schutzbereich der Erfindung berührt ist. Darüber hinaus können viele Abwandlungen durchgeführt werden, um eine spezielle Situation an die Lehre der Erfindung anzupassen, ohne von dem hauptsächlichen Gegenstand der Erfindung abzuweichen. Demzufolge ist es nicht beabsichtigt, die Erfindung auf das spezielle Ausführungsbeispiel zu beschränken, das als die am besten geeignete Weise der Verwirklichung der Erfindung erachtet wird, vielmehr soll die Erfindung sämtliche Ausführungsbeispiele einbeziehen, die in den Schutzbereich der beigefügten Patentansprüche fallen.

### Patentansprüche

1. Mosaikarrayanordnung mit einer Vielzahl von Subelementen (U1, U2, U3), wobei jedes der Subelemente eine entsprechende Vielzahl von mikrobearbeiteten Ultraschalltransducer-(MUT)-Zellen (2) aufweist, und wobei jede MUT-Zelle eine obere Elektrode (12) und eine untere Elektrode (10) aufweist, wobei die obere Elektroden der MUT-Zellen, die ein beliebiges spezielles Subelement bilden, miteinander fest verdrahtet sind, und die untere Elektroden jener besagten MUT-Zellen miteinander fest verdrahtet sind.

2. Mosaikarrayanordnung nach Anspruch 1, zu der ferner eine Vielzahl von Schaltern (X1, X2, X3) gehören, wobei jeder aus der Vielzahl von Schaltern mit einem entsprechenden der Subelemente verbunden ist.

3. Mosaikarrayanordnung nach Anspruch 2, zu der ferner ein Halbleitersubstrat (4) gehört, wobei die Schalter innerhalb des Halbleitersubstrats hergestellt sind und die c-MUT-Zellen auf dem Halbleitersubstrat hergestellt sind.

4. Mosaikarrayanordnung nach Anspruch 2, zu der ferner ein Programmierungsschaltkreis (66) gehört, der die Vielzahl von Schaltern steuert.

5. Mosaikarrayanordnung nach Anspruch 4, bei

der der Programmierungsschaltkreis die Schalter geeignet steuert, so dass eingeschaltete Subelemente einen im Wesentlichen kreisförmigen Ring bilden.

6. Ultraschalltransducerarray mit einer Vielzahl von Subelementen (U1, U2, U3), die durch eine Vielzahl von mikroelektronischen Schaltern miteinander verschaltet sind, wobei jedes Subelement eine entsprechende Vielzahl von MUT-Zellen aufweist, und jede MUT-Zelle innerhalb eines speziellen Subelements verdrahtet ist.

7. Array nach Anspruch 6, ferner mit Programmierungsmitteln (**68**), die dazu dienen, ausgewählte Subelemente miteinander zu verbinden, um entsprechende Elemente zu bilden.

8. Array nach Anspruch 7, bei dem die entsprechenden Elemente mehrfache konzentrische Kreisinge eines elektronisch geformten ringförmigen Arrays bilden.

9. Array nach Anspruch 7, bei dem die Subelemente während des Abstrahlens in einer ersten Konfiguration und während des Empfangs in einer zweiten Konfiguration miteinander verschaltet sind, wobei sich die erste und zweite Konfiguration voneinander unterscheiden.

10. Ultraschalltransducer umfassend: eine Vielzahl von MUT-Zellen (**2**), wobei jede MUT-Zelle eine entsprechende obere Elektrode (**12**) und eine entsprechende untere Elektrode (**10**) umfasst, bei der die oberen Elektroden der MUT-Zellen miteinander fest verdrahtet sind, und die unteren Elektroden der MUT-Zellen miteinander fest verdrahtet sind; ein mikroelektronischer Schalter (X1) mit einem Ausgangsanschluss, der mit den miteinander verschalteten oberen Elektroden oder mit den miteinander verschalteten unteren Elektroden verbunden ist; und ein Treiberschaltkreis (**66**) mit einem Ausgangsanschluss, der mit einem Eingangsanschluss des mikroelektronischen Schalters verbunden ist, um die Vielzahl von MUT-Zellen zu betreiben, um Ultraschallwellen zu erzeugen, wenn der mikroelektronische Schalter eingeschaltet wird.

Es folgen 9 Blatt Zeichnungen

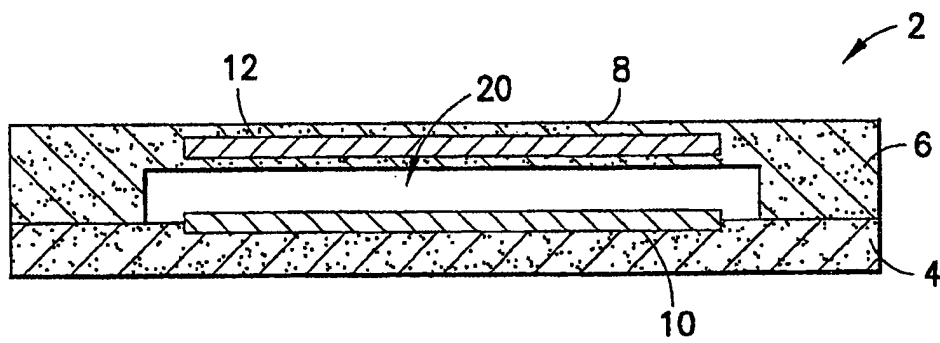
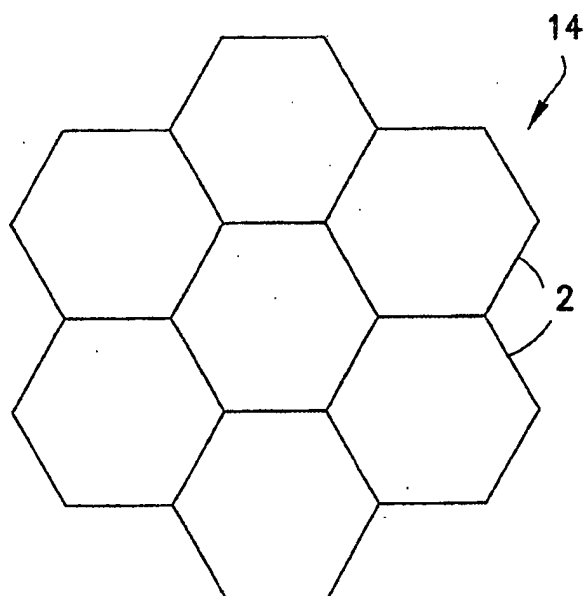
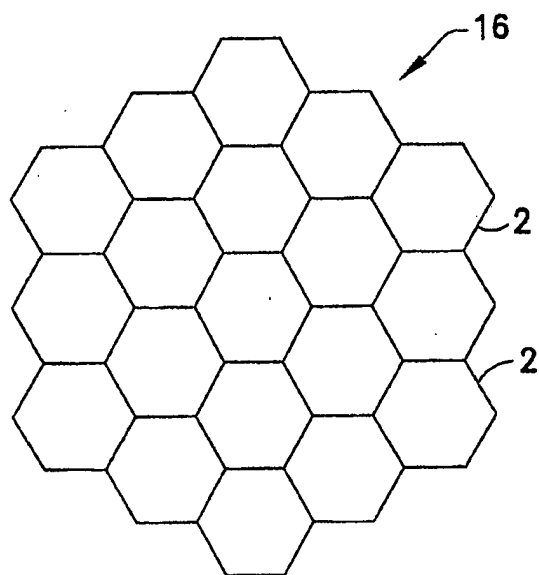


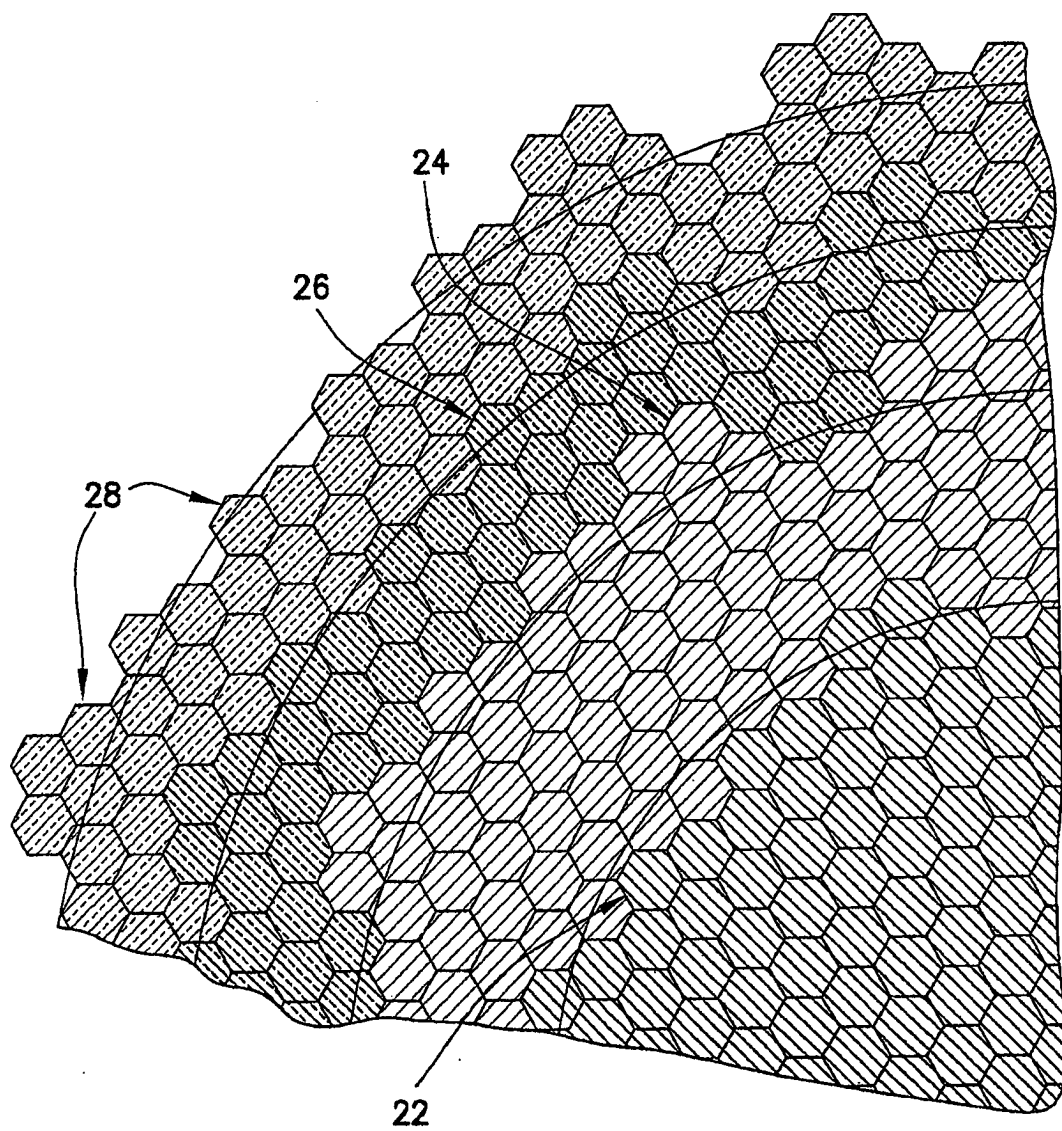
FIG.1



**FIG. 2**



**FIG. 3**



**FIG.4**

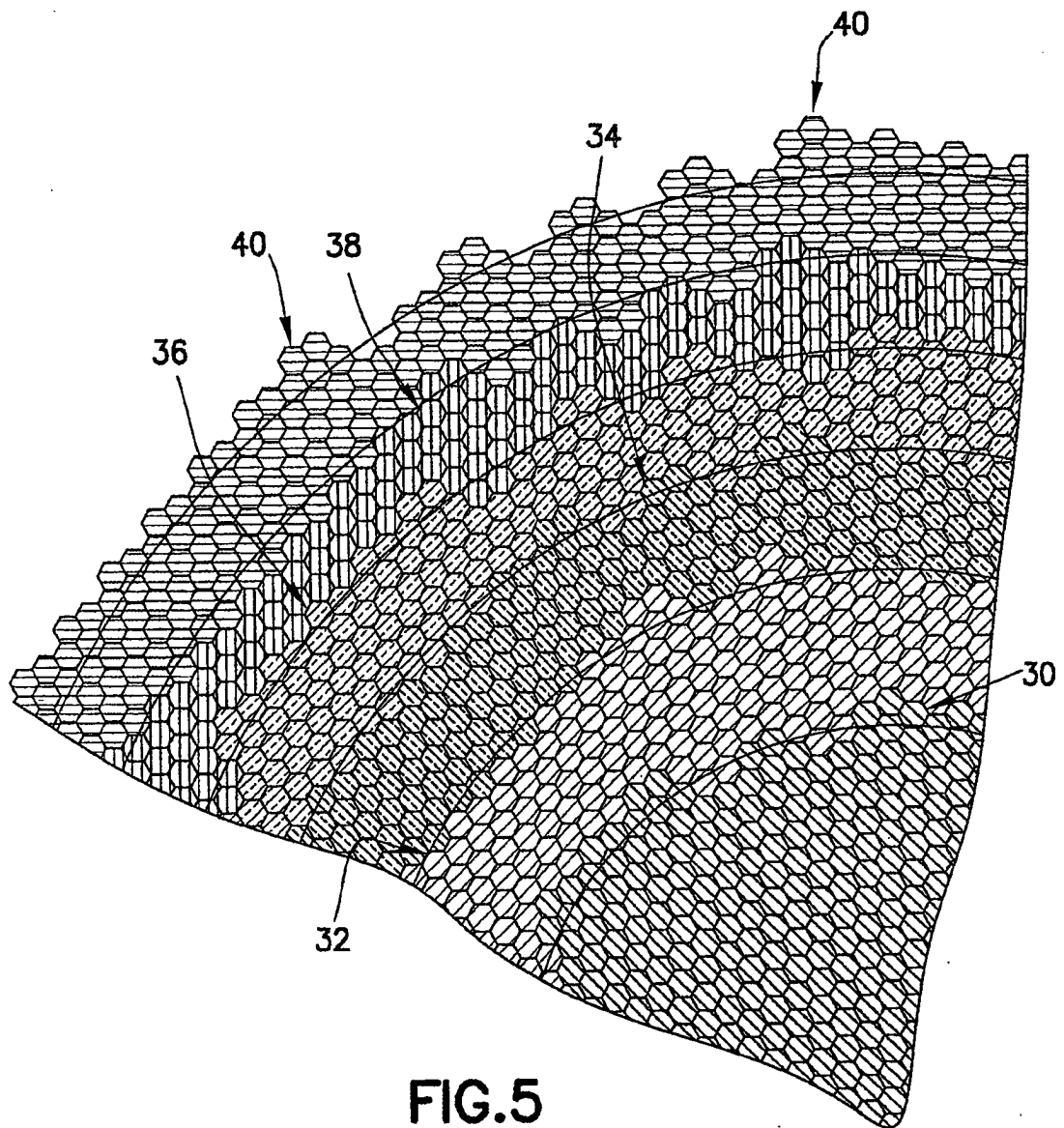


FIG. 5

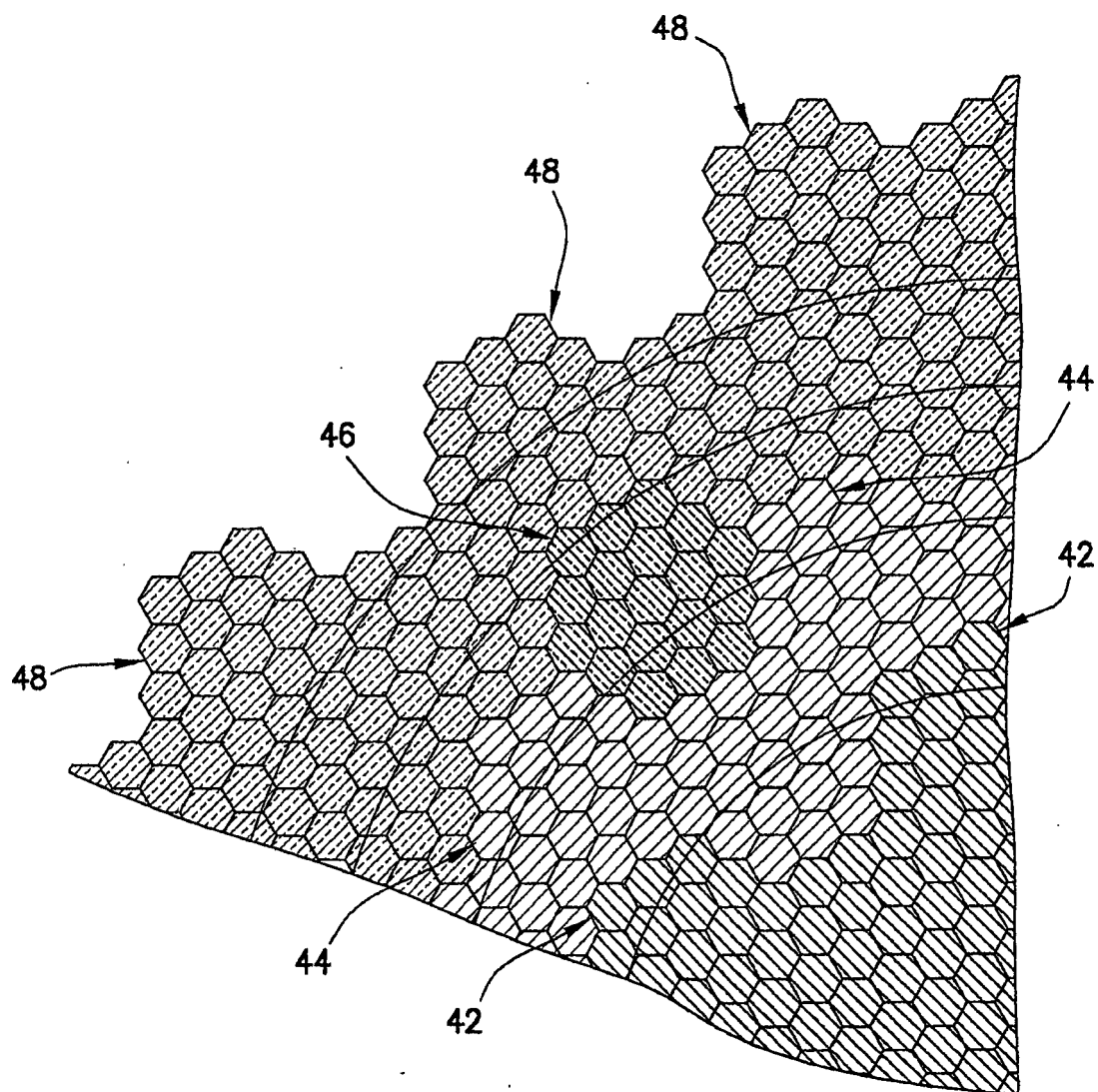
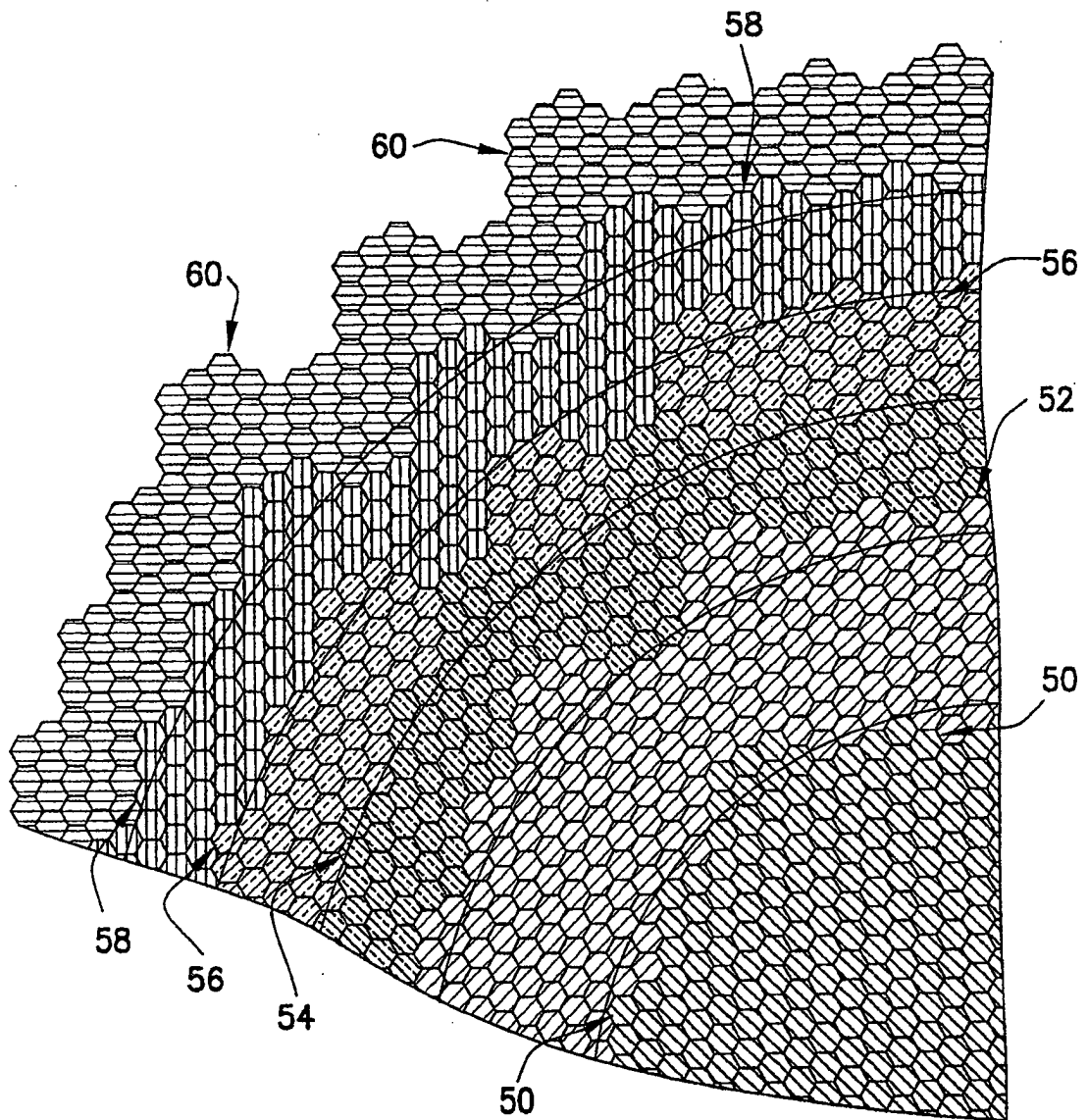
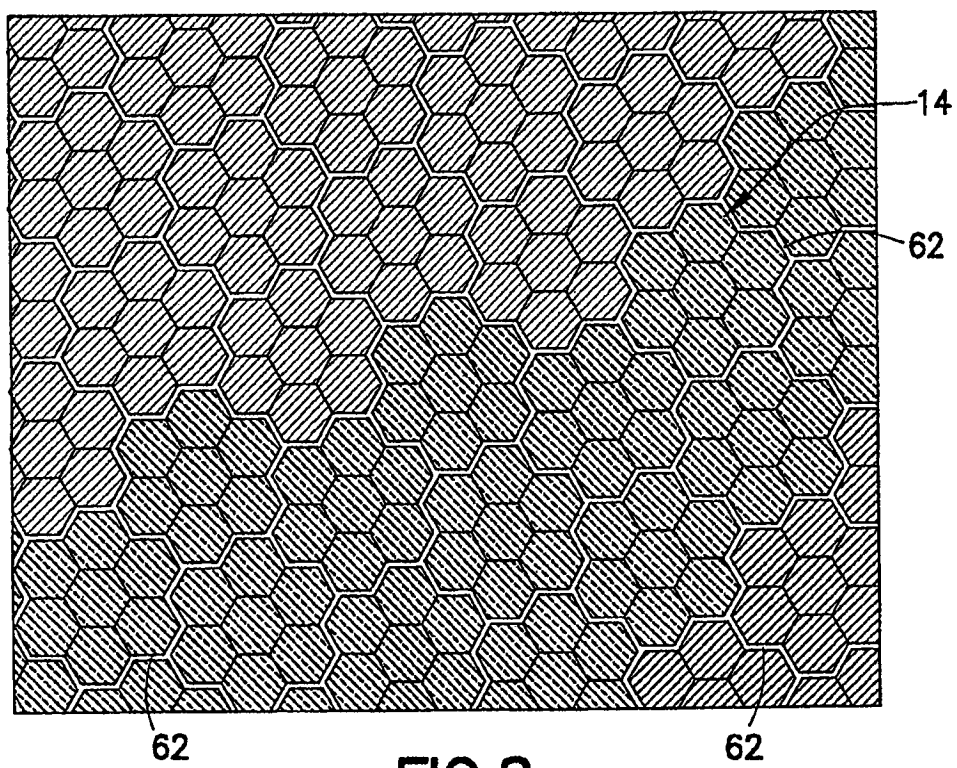


FIG.6

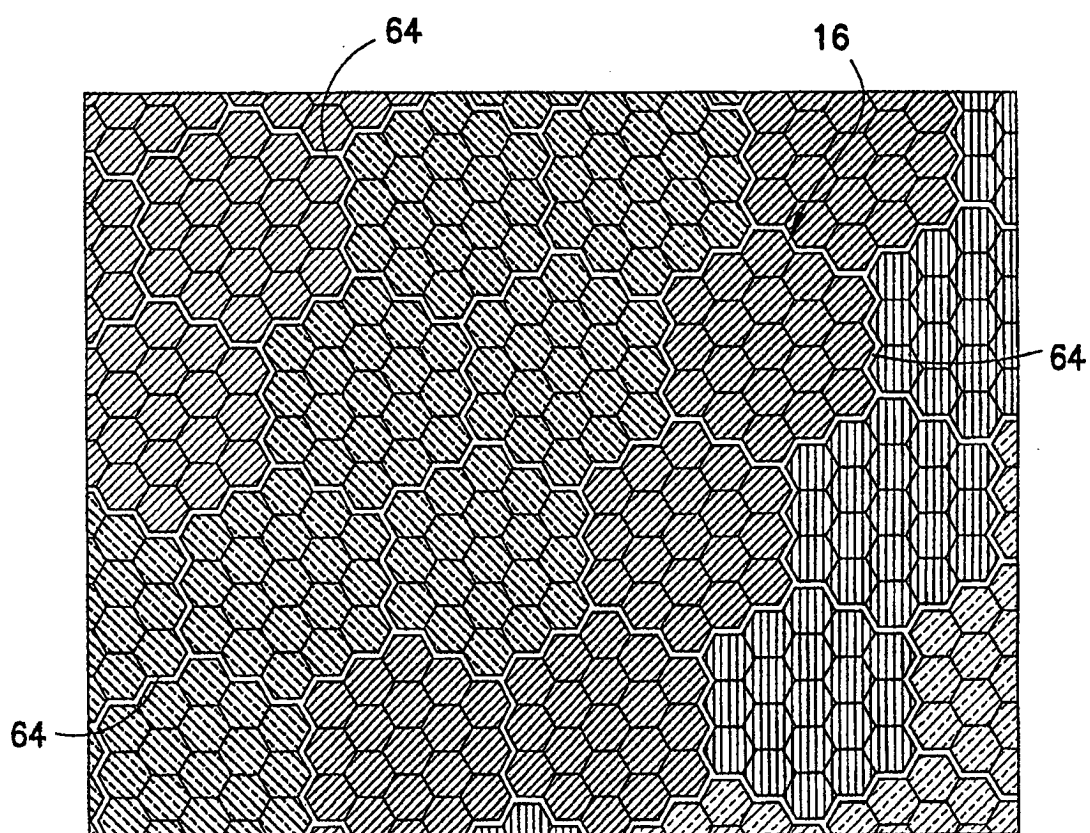


**FIG.7**





**FIG. 8**



**FIG.9**

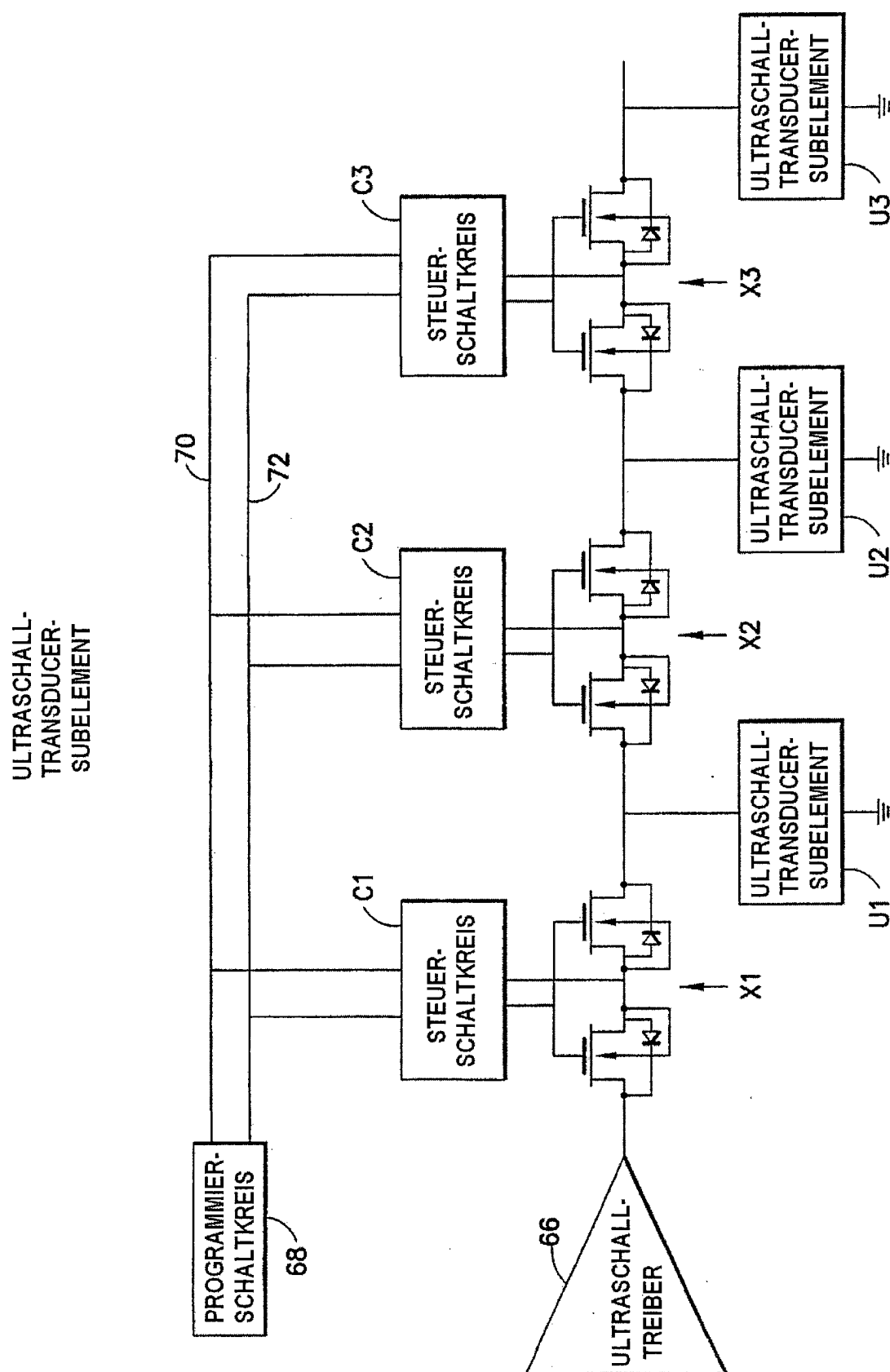


FIG.10