



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 600 09 520 T2 2005.03.03**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 212 809 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **600 09 520.7**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US00/25016**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **00 961 848.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 01/020720**

(86) PCT-Anmeldetag: **13.09.2000**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **22.03.2001**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **12.06.2002**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **31.03.2004**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **03.03.2005**

(51) Int Cl.⁷: **H01Q 3/36**
H01Q 21/06, H01P 1/18

(30) Unionspriorität:
153859 P 14.09.1999 US

(73) Patentinhaber:
Paratek Microwave, Inc., Columbia, Md., US

(74) Vertreter:
derzeit kein Vertreter bestellt

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

(72) Erfinder:
ZHU, Yongfei, Ellicott Cuity, US; SENGUPTA, C., Louise, Ellicott City, US; KOZYREV, Andrey, St.Petersburg, RU; ZHANG, Xubai, Columbia, US

(54) Bezeichnung: **REIHENGESPEISTE PHASENARRAYANTENNEN MIT DIELEKTRISCHEN PHASENSCHIEBERN**

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

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

Beschreibung**QUERVERWEIS AUF VERWANDTE PATENTANMELDUNG**

[0001] Diese Anmeldung bezieht sich auf die United States Provisional Patent Application mit der Seriennummer 60/153.859, die am 14. September 1999 eingereicht wurde.

GEBIET DER ERFINDUNG

[0002] Die vorliegende Erfindung bezieht sich allgemein auf Phasenarray-Antennen, und insbesondere auf Mikrostreifen-Patchantennen, die über die Spannung abgestimmte Phasenschieber mit einem coplanaren Wellenleiter (Coplanar Waveguide, CPW) aufweisen.

HINTERGRUND DER ERFINDUNG

[0003] Ein Phasenarray bezieht sich auf eine Antenne mit einer großen Anzahl von Abstrahlelementen, die in der Phase abgestimmte Signale emittieren, um einen Funkstrahl zu bilden. Das Funksignal kann durch die aktive Manipulation der relativen Phasenabstimmung der einzelnen Antennenelemente elektronisch gelenkt werden. Das elektronische Strahlungskonzept gilt für Antennen, die mit einem Sender als auch einem Empfänger verwendet werden. Elektronisch gescannte Phasenarray-Antennen sind im Vergleich mit ihren mechanischen Entsprechungen in Bezug auf die Geschwindigkeit, Genauigkeit und Zuverlässigkeit vorteilhaft. Die Ersetzung von Kardangelenken in mechanisch gescannten Antennen durch elektronische Phasenschieber in elektronisch gescannten Antennen erhöht die Überlebensfähigkeit von Antennen, die in Verteidigungssystemen durch eine genauere und schnellere Zielidentifikation verwendet werden. Komplexe Nachverfolgungsarbeiten können schnell und genau mit einem Phasenarray-Antennensystem bewirkt werden.

[0004] Phasenschieber spielen eine Schlüsselrolle beim Betrieb von Phasenarray-Antennen. Elektronisch gesteuerte Phasenschieber können abstimbare ferroelektrische Materialien verwenden, deren Permittivität (die gewöhnlicherweise als dielektrische Konstante bezeichnet wird) durch Verändern der Stärke eines elektrischen Felds, dem die Materialien ausgesetzt werden, verändert werden kann. Obwohl diese Materialien in ihrer paraelektrischen Phase über der Curie-Temperatur arbeiten, werden sie zweckdienlicherweise als "ferroelektrisch" bezeichnet, weil sie bei Temperaturen unterhalb der Curie-Temperatur eine spontane Polarisierung aufzeigen. Abstimbare ferroelektrische Materialien mit Barium-Strontium-Titanat (BST) oder BST-Verbindungen sind der Gegenstand von mehreren Patenten gewesen.

[0005] Dielektrische Materialien mit Barium-Strontium-Titanat sind in dem U.S. Patent Nr. 5.312.790 von Sengupta et al. mit dem Titel "Ceramic ferroelectric material", U.S. Patent Nr. 5.427.988 von Sengupta et al. mit dem Titel "Ceramic Ferroelectric Composite Material-BSTO-MgO", U.S. Patent Nr. 5.486.491 von Sengupta et al. mit dem Titel "Ceramic Ferroelectric Composite Material-BSTO-ZrO₂", U.S. Patent Nr. 5.635.434 von Sengupta et al. mit dem Titel "Ceramic Ferroelectric Composite Material-BSTO-Magnesium Based Compound", U.S. Patent Nr. 5.830.591 von Sengupta et al. mit dem Titel "Multilayered Ferroelectric Composite Waveguides", U.S. Patent Nr. 5.846.893 von Sengupta et al. mit dem Titel "Thin Film Ferroelectric Composites and Method of Making", U.S. Patent Nr. 5.766.697 von Sengupta et al. mit dem Titel "Method of Making Thin Film Composites", U.S. Patent Nr. 5.693.429 von Sengupta et al. mit dem Titel "Electronically Graded Multilayer Ferroelectric Composites", und U.S. Patent Nr. 5.635.433 von Sengupta mit dem Titel "Ceramic Ferroelectric Composite Material-BSTO-ZnO" offenbart. Diese Patente sind hiermit durch Bezugnahme Teil der vorliegenden Anmeldung. Eine gleichzeitig anhängige gemeinsam übertragene United States-Patentanmeldung mit dem Titel "Electronically Tunable Ceramic Materials Including Tunable Dielectric And Metal Silicate Phases", von Sengupta, eingereicht am 15. Juni 2000, offenbart zusätzliche abstimbare dielektrische Materialien und wird ebenfalls durch Bezugnahme Teil der vorliegenden Anmeldung. Die Materialien, die in diesen Patenten gezeigt sind, insbesondere die BSTO-MgO-Verbindungen, zeigen einen geringen dielektrischen Verlust und eine hohe Abstimmungsfähigkeit. Eine Abstimmungsfähigkeit wird als die anteilige Änderung in der dielektrischen Konstanten mit einer angelegten Spannung definiert.

[0006] Abstimbare Phasenschieber, die ferroelektrische Materialien verwenden, sind in den United States Patents 5.307.033, 5.032.805 und 5.561.407 offenbart. Diese Phasenschieber umfassen ein ferroelektrisches Substrat als die Phasenmodulationselemente. Die Permittivität des ferroelektrischen Substrats kann durch Verändern der Stärke eines an das Substrat angelegten elektrischen Felds verändert werden. Eine Abstimmung der Permittivität des Substrats führt zu einer Phasenverschiebung, wenn ein RF-Signal durch den Phasenschieber läuft. Die ferroelektrischen Phasenschieber, die in diesen Patenten offenbart sind, weisen den Nachteil von hohen Leiterverlusten, hohen Moden, einer DC-Vorspannung, und von Impedanzanpassungsproblemen bei K (18 bis 27 GHz) und Ka (27 bis 40 GHz) Bändern auf.

[0007] Ein bekannter Typ von Phasenschieber ist der Mikrostreifenleitungs-Phasenschieber. Beispiele von Mikrostreifenleitungs-Phasenschiebern, die abstimbare dielektrische Materialien verwenden, sind in den United States Patents Nr. 5.212.463;

5.451.567 und 5.479.139 gezeigt. Diese Patente offenbaren Mikrostreifenleitungen, die mit einem über die Spannung abstimmbaren ferroelektrischen Material geladen sind, um die Geschwindigkeit einer Ausbreitung einer geführten elektromagnetischen Welle zu verändern. Das U.S. Patent 5.561.407 offenbart einen über die Spannung abgestimmten Mikrostreifen-Phasenschieber, der aus einer Blockkeramik gebildet ist. Blockmikrostreifen-Phasenschieber weisen den Nachteil auf, dass sie eine höhere Vorspannung, eine komplexere Herstellungsverarbeitung und hohe Kosten erfordern.

[0008] Coplanare Wellenleiter können auch als Phasenschieber dienen. Die United States Patents Nr. 5.472.935 und 6.078.827 offenbaren coplanare Wellenleiter, bei denen Leiter aus einem supraleitenden Hochtemperatur-Material auf ein abstimmbares dielektrisches Material aufgebracht sind. Die Verwendung von derartigen Einrichtungen erfordert eine Kühlung bei einer relativ geringen Temperatur. Zusätzlich lehren die United States Patents Nr. 5.472.935 und 6.078.827 die Verwendung von abstimmbaren Filmen aus SrTiO_3 , oder $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$ mit einem hohen Verhältnis von Sr. SrTiO_3 und $(\text{Ba}, \text{Sr})\text{TiO}_3$ weisen hohe dielektrische Konstanten auf, was zu einer niedrigen charakteristischen Impedanz führt. Dies macht es erforderlich, die Phasenschieber mit niedriger Impedanz auf die gewöhnlicherweise verwendete 50-Ohm Impedanz zu transformieren.

[0009] Das United States Patent Nr. 5.617.103 offenbart ein ferroelektrisches Phasenverschiebungs-Antennenarray, welches ferroelektrische Phasenverschiebungs-Komponenten verwendet. Die in diesem Patent offenbarten Antennen verwenden einen Aufbau, bei dem ein ferroelektrischer Phasenschieber auf einem einzelnen Substrat mit mehreren Patchantennen integriert ist. Zusätzliche Beispiele von Phasenarray-Antennen, die elektronische Phasenschieber verwenden, kann man in den United States Patents Nr. 5.079.557; 5.218.358; 5.557.286; 5.589.845; 5.917.455; und 5.940.030 finden.

[0010] Es würde wünschenswert sein, eine Phasenarray-Antenne bereitzustellen, die Phasenschieber mit geringen Kosten verwendet, die bei Raumtemperatur und bei hohen Frequenzen, wie über dem Ku-Band (12 bis 18 GHz) arbeiten können. Dies spielt eine wichtige Rolle, dazu beizutragen, elektronisch gescannte Phasenarray-Antennen für kommerzielle Anwendungen praktisch einsetzbar zu machen.

ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

[0011] Eine Phasenarray-Antenne umfasst eine Vielzahl von Abstrahlelementen, eine Speiseleitungs-Baugruppe, eine Masseebene, die zwischen der Vielzahl von Abstrahlelementen und der Speiseleitungs-Baugruppe positioniert ist, wobei die Mas-

seebene eine Vielzahl von Öffnungen aufweist, die zwischen der Vielzahl von Abstrahlelementen und der Speiseleitungs-Baugruppe positioniert sind, und eine Vielzahl von über die Spannung abstimmbaren dielektrischen Phasenschiebern, die mit der Speiseleitungs-Baugruppe gekoppelt sind.

[0012] Antennen, die gemäß dieser Erfindung konstruiert sind, verwenden dielektrische Elemente mit geringen Verlusten und einem abstimmbaren Film und können über einen breiten Frequenzbereich arbeiten. Die Leiter, die den coplanaren Wellenleiter bilden, arbeiten bei Raumtemperatur. Die Einrichtungen hier sind in der Konstruktion einzigartig und zeigen einen geringen Einfügungsverlust sogar bei Frequenzen über dem Ku-Band (12 bis 18 GHz) auf.

KURZBESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0013] Ein vollständiges Verständnis der Erfindung lässt sich aus der folgenden Beschreibung der bevorzugten Ausführungsformen, wenn diese in Verbindung mit den beiliegenden Zeichnungen gelesen werden, erhalten. In den Zeichnungen zeigen:

[0014] Fig. 1 eine Explosionsansicht einer Apertur-gekoppelten Mikrostreifenantenne mit einer seriell gespeisten Spalte von Patchelementen, die zur Verwendung in einer Ausführungsform der Erfindung konstruiert sind;

[0015] Fig. 2 eine Draufsicht auf eines der Abstrahlelemente der Antenne der Fig. 1;

[0016] Fig. 3 eine Explosionsansicht einer Apertur-gekoppelten Mikrostreifenantenne mit fünf seriell gespeisten Spalten von Patchelementen, die zur Verwendung in einer anderen Ausführungsform der Erfindung konstruiert sind;

[0017] Fig. 4 eine Draufsicht auf einen coplanaren Wellenleiter-Phasenschieber, der in einer Antenne verwendet werden kann, die zur Verwendung in Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung konstruiert ist;

[0018] Fig. 5 eine Querschnittsansicht des Phasenschiebers der Fig. 4, entlang der Linie 4-4;

[0019] Fig. 6 eine Draufsicht auf einen anderen Phasenschieber, der in einer Antenne verwendet werden kann, die in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung konstruiert ist;

[0020] Fig. 7 eine Querschnittsansicht des Phasenschiebers der Fig. 6, entlang der Linie 7-7;

[0021] Fig. 8 eine Draufsicht auf einen anderen Phasenschieber, der in einer Antenne verwendet werden kann, die in Übereinstimmung mit der vorlie-

genden Erfindung konstruiert ist;

[0022] Fig. 9 eine Querschnittsansicht des Phasenschiebers der Fig. 8, entlang der Linie 9-9;

[0023] Fig. 10 eine isometrische Ansicht eines Phasenschiebers, der in einer Antenne verwendet werden kann, die in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung konstruiert ist;

[0024] Fig. 11 eine isometrische Explosionsansicht eines Arrays von Phasenschiebern, die in einer Antenne verwendet werden können, die in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung konstruiert ist; und

[0025] Fig. 12 und 13 Draufsichten auf alternative Apertur-Formen.

AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG DER ERFINDUNG

[0026] Die bevorzugte Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfasst eine elektrisch gescannte Phasenschieber-Antenne (Phased Array Antenna) mit über die Spannung abstimmbaren Phasenschiebern mit coplanarem Wellenleiter (CPW) und zirkular polarisierten Apertur-gekoppelten Mikrostreifen-Patchelementen. Die CPW-Phasenschieber umfassen über die Spannung abgestimmte dielektrische Filme, deren dielektrische Konstante (Permittivität) durch Verändern der Stärke eines daran angelegten elektrischen Felds verändert werden kann. Die Abstimmung der Permittivität des Substrats führt zu einer Phasenverschiebung, wenn ein Funkfrequenz-(RF)-Signal durch die CPW-Leitung geht. Die Filme können durch standardmäßige Dickfilm/Dünnschicht-Prozesse auf Substrate mit einem geringen dielektrischen Verlust und einer hohen chemischen Stabilität, wie MgO , LaAlO_3 , Saphir, Al_2O_3 , und einer Vielzahl von keramischen Substraten, aufgebracht werden.

[0027] Bezug nehmend auf die Zeichnungen ist Fig. 1 eine Explosionsansicht einer Apertur-gekoppelten (über eine Öffnung gekoppelten) Mikrostreifenantenne **10** mit einer seriell gespeisten Spalte von Patchelementen, die zur Verwendung in einer Ausführungsform der Erfindung konstruiert ist. Die Antenne umfasst eine Vielzahl von Abstrahlelementen in der Form von quadratischen Mikrostreifenflecken (Mikrostreifenpatches) **12**. Die Mikrostreifenpatches sind auf einem regulären Material **14** mit geringer dielektrischer Konstante, wie Rohacell® Schaumstoff, hergestellt. Der Schaumstoff weist eine hohe Dicke (> 2 mm) auf, um eine breite Bandbreite bereitzustellen. Gewöhnlicherweise erzeugt ein dicker Schaumstoff eine breitete Bandbreite. Jedoch verschlechtert ein dicker Schaumstoff den Wirkungsgrad. Eine typische Schaumstoffdicke ist ungefähr

12,5% bis 25% der Wellenlänge. Die Symmetrie der quadratischen Flecken **12** trägt dazu bei, die zirkulare Polarisation der Antenne aufrechtzuerhalten. Mikrostreifen-Patchelemente sind mit einer Speise-Baugruppe **16** über eine Masseebene **18** gekoppelt, die eine Vielzahl von Öffnungen bzw. Aperturen **20** aufweist. Die Masseebene ist vorzugsweise aus Kupfer gebildet. Die Öffnungen sind länglich, d.h., sie sind in einer Richtung länger als in einer senkrechten Richtung. In der bevorzugten Ausführungsform sind die Öffnungen rechteckförmig. Andere Öffnungsformen könnten verwendet werden. Die Wahl einer bestimmten Öffnungsform hängt von der Bandbreite und der Verarbeitungstoleranz ab. Die Öffnungen sind in orthogonalen Paaren angeordnet, so dass die Hauptachsen der Öffnungen in jedem Paar im Wesentlichen unter einem 90° -Winkel zueinander liegen, um eine zirkulare Polarisation zu bilden.

[0028] Die Speise-Baugruppe **16** umfasst einen coplanaren Wellenleiter **22**, der mit einer linearen Mikrostreifenleitung **24** gekoppelt ist, wobei beide auf dem Boden eines Substrats **26** angebracht sind. Eine Vielzahl von zusätzlichen Mikrostreifenleitungen **28** erstrecken sich im Wesentlichen senkrecht von der linearen Mikrostreifenleitung **24**. Jede der zusätzlichen Mikrostreifenleitungen ist so gebogen, dass sie unterhalb eines Paares der Öffnungen liegt. Der coplanare Wellenleiter umfasst einen Eingang **30**, der mit einer zentralen Streifenleitung **32** gekoppelt ist, und ein Paar von Masseebenelektroden **34** und **36**, die auf den Seiten der zentralen Streifenleitung **32** positioniert und von der zentralen Streifenleitung **32** durch Spalte **38** und **40** getrennt sind. Ein Übergangsabschnitt **42** an dem Ende des coplanaren Wellenleiters koppelt den Wellenleiter mit der Mikrostreifenleitung **24**. Um die Leitermuster auf dem Substrat herzustellen, werden beide Seiten zu Anfang mit Kupfer beschichtet. Dann wird eine Ätzverarbeitung verwendet, um spezifische Muster zu erhalten, wie auf der Metallschicht **18** und der Bodenseite des Substrats **16** ersichtlich. Die Mikrostreifenleitungen in der Speise-Baugruppe weisen gewöhnlicherweise eine charakteristische Impedanz von 50 Ohms auf. Jedoch weist der Phasenschieber mit dem coplanaren Wellenleiter eine Charakteristik von ungefähr 20 Ohms auf. Eine Impedanzanpassung ist erforderlich, um die Differenz zu transformieren. Die verjüngten Enden der Leiter **34** und **36** transformieren den Phasenschieber mit dem coplanaren Wellenleiter auf 50 Ohm. Dann wird der 50-Ohm coplanare Wellenleiter mit der 50-Ohm Mikrostreifenleitung gekoppelt.

[0029] Fig. 1 zeigt eine Apertur-gekoppelte (über eine Öffnung gekoppelte) Mikrostreifenantenne mit einer seriell gespeisten Spalte von Patchelementen. Die Mikrostreifen-Patchelemente sind quadratisch mit einer Länge von ungefähr der halben Wellenlänge des geführten HF-Signals und werden auf dicken (> 2 mm) Materialien mit einer niedrigen dielektri-

schen Konstanten, wie Rohacell® Schaumstoff, hergestellt. Die Symmetrie der quadratischen Patches (Flecken) trägt dazu bei, eine zirkulare Polarisierung aufrechtzuerhalten. Da eine zirkulare Polarisierung durch Erregen von zwei orthogonalen Patchmoden in einer Phasenquadratur erzeugt werden kann, wird jeder Mikrostreifen-Patch durch zwei orthogonale Schlitzte mit einer 90°-Phasendifferenz zueinander gespeist, um eine zirkulare Polarisierung zu erzeugen. Eine senkrecht gebogene Mikrostreifenleitung auf dem Speisesubstrat, mit einer dielektrischen Konstanten von ungefähr 2 bis 3, speist die zwei Öffnungen. Die Länge der Mikrostreifenleitung zwischen den zwei orthogonalen Schlitzten bewirkt die 90°-Phasendifferenz. **Fig. 2** ist eine Draufsicht auf eines der Abstrahlelemente der Antenne der **Fig. 1**.

[0030] **Fig. 3** zeigt den Aufbau einer Phasenarray-Antenne **44** mit einer Speise-Baugruppe **46** mit fünf coplanaren Phasenschiebern **48** und einem 5 × 5 Array von Patchabstrahlelementen **50**, die auf dem Substrat **52** angebracht sind. Die Masseebene **54** umfasst eine Vielzahl von gepaarten orthogonalen Öffnungen **56**, die Signale von der Speise-Baugruppe **46** an die Abstrahlelemente **50** koppeln. Die Speise-Baugruppe umfasst mehrere coplanare Wellenleiter und Streifenleitungen, die ähnlich zu denjenigen sind, die in **Fig. 1** gezeigt sind. Die Antenne **44** ist ein Beispiel der zirkular polarisierten über Öffnungen gekoppelten Mikrostreifenantennen, die von ferroelektrischen CPW-Phasenschiebern gelenkt werden. Ein CPW-Phasenschieber steuert die Phase von jeder Spalte von Mikrostreifen-Patches, um eine zweidimensionale Abtastung (Scanning) zu erhalten.

[0031] **Fig. 4** ist eine Draufsicht auf einen 30 GHz 360° Phasenschieber-Aufbau **60** mit coplanarem Wellenleiter, der in Phasenarray-Antennen verwendet kann, die in Übereinstimmung mit dieser Erfindung konstruiert sind. **Fig. 5** ist eine Querschnittsansicht der Phasenschieber-Baugruppe **60** der **Fig. 4**, entlang der Linie 5-5. Der Phasenschieber wird auf einem abstimmbaren dielektrischen Film **80** mit einer dielektrischen Konstanten (Permittivität) von ungefähr 300 und einer Dicke von 10 Mikrometer hergestellt. Der Film wird auf einem Substrat **90** mit einer niedrigen dielektrischen Konstanten (~ 10) angebracht. Die Dicke des Films kann von 0,5 bis 10 Mikrometer in Abhängigkeit von Aufbringungsverfahren eingestellt werden. Ferner könnte eine andere Verarbeitung, die eine Ablagerung bzw. Aufbringung bei Raumtemperatur anbietet, verwendet werden, um den Film direkt auf dem Substrat aufzubringen.

[0032] Der Aufbau **60** umfasst einen coplanaren Hauptwellenleiter **62** mit einer Mittelleitung **64** und einem Paar von Masseebenen-Leitern **66** und **68**, die von der Mittelleitung durch Spalte **70** und **72** getrennt sind. Der Mittenabschnitt **74** des coplanaren Wellenleiters weist eine charakteristische Impedanz von un-

gefähr 20 Ohm auf. Zwei verjüngte Anpassungsabschnitte **76** und **78** sind an den Enden des Wellenleiters positioniert und bilden Impedanztransformer, um die 20-Ohm Impedanz auf eine 50-Ohm Impedanz anzupassen. Der coplanare Wellenleiter **62** ist auf einer Schicht aus einem abstimmbaren dielektrischen Material **80** positioniert. Leitende Elektroden **66** und **68** befinden sich ebenfalls auf der abstimmbaren dielektrischen Schicht und bilden die CPW Masseebene. Zusätzliche Masseebenelektroden **82** und **84** sind ebenfalls auf der Oberfläche des abstimmbaren dielektrischen Materials **80** positioniert. Die Elektroden **82** und **84** erstrecken sich ebenfalls um die Kanten des Wellenleiters herum, wie in **Fig. 5** gezeigt. Die Elektroden **66** und **68** sind von den Elektroden **82** und **84** jeweils durch Spalte **86** und **88** getrennt. Die Spalte **86** und **88** blocken eine DC-Spannung ab, so dass die DC-Spannung auf die CPW-Spalte vorgespannt werden kann. Die Breiten der Elektroden **66** und **68** betragen ungefähr 0,5 mm. Für eine dielektrische Konstante im Bereich von ungefähr 200 bis 400 und ein MgO-Substrat ist die Mittenleitungs-Breite und die Spalte ungefähr 10 bis 60 Mikrometer. Das abstimmbare dielektrische Material **80** ist auf einer planaren Oberfläche eines Substrats **90** mit einer niedrigen dielektrischen Konstanten (ungefähr 10) positioniert, welches in der bevorzugten Ausführungsform MgO in einer Dicke von 0,25 mm ist. Jedoch kann das Substrat andere Materialien umfassen, wie LaAlO₃, Saphir, Al₂O₃ und andere keramische Substrate. Ein Metallhalter **92** erstreckt sich entlang des Bodens und der Seiten des Wellenleiters. Eine Vorspannungsquelle **94** ist mit dem Streifen **64** über einen Induktor **96** verbunden.

[0033] Die Masseebenen des coplanaren Wellenleiters und der Mikrostreifenleitung sind miteinander durch die Seitenkanten des Substrats verbunden. Die Phasenverschiebung ergibt sich aus einer Abstimmung der dielektrischen Konstanten durch Anlegen einer DC-Spannung über die Spalte des coplanaren Wellenleiters. Die über die Spannung abgestimmten Phasenschieber mit coplanarem Wellenleiter verwenden abstimmbare dielektrische Filme mit niedrigem Verlust. In den bevorzugten Ausführungsformen ist der abstimmbare dielektrische Film eine Barium-Strontium-Titanat (BST)-basierte Verbundkeramik, mit einer dielektrischen Konstanten, die durch Verändern einer DC-Vorspannung verändert werden kann und bei Raumtemperatur arbeiten kann.

[0034] Das abstimmbare Dielektrikum, das in den bevorzugten Ausführungsformen der Phasenschieber dieser Erfindung verwendet wird, weist eine niedrigere dielektrische Konstante als herkömmliche abstimmbare Materialien auf. Die dielektrische Konstante kann um 20% bis 70% bei 20 V/μm, typischerweise um 50%, verändert werden. Die Größe der Vorspannung verändert sich mit der Spaltgröße und ist typischerweise im Bereich von ungefähr 300 bis

400 V für einen 20 µm Spalt. Geringere Vorspannungspegel weisen zahlreiche Vorteile auf, jedoch ist die benötigte Vorspannung von dem Aufbau und den Materialien der Einrichtung abhängig. Der Phasenschieber der **Fig. 4** und **5** ist so konstruiert, dass er eine 360°-Phasenverschiebung aufweist. Die dielektrische Konstante kann im Bereich von 70 bis 600 V und typischerweise von 300 bis 500 V liegen. In der bevorzugten Ausführungsform ist das abstimmbare Dielektrikum ein Barium-Strontium-Titanat (BST)-basierter Film mit einer dielektrischen Konstanten von ungefähr 500 bei einer Vorspannung von null. Das bevorzugte Material wird eine hohe Abstimmung und einen geringen Verlust aufzeigen. Jedoch weist ein abstimmbares Material gewöhnlicherweise eine höhere Abstimmung und höheren Verlust auf. Die bevorzugten Ausführungsformen verwenden Materialien mit einer Abstimmung von ungefähr 50% und einem Verlust so gering wie möglich, der in dem Bereich von (Verlusttangente) 0,01 bis 0,03 bei 24 GHz ist. Insbesondere ist in der bevorzugten Ausführungsform die Zusammensetzung des Materials ein Barium-Strontium-Titanat ($\text{Ba}_x\text{Sr}_{1-x}\text{TiO}_3$, BSTO, wobei x kleiner als 1 ist), oder BSTO-Verbindungen mit einer dielektrischen Konstanten von 70 bis 600, einem Abstimmungsbereich von 20 bis 60% und einer Verlusttangente von 0,008 bis 0,03 bei K- und Ka-Bändern. Die abstimmbare dielektrische Schicht kann ein Dünn- oder Dickfilm sein. Beispiele von derartigen BSTO-Verbindungen, die die benötigten Betriebsparameter besitzen, umfassen BSTO-MgO, BSTO-MgAl₂O₄, BSTO-CaTiO₃, BSTO-MgTiO₃, BSTO-MgSrZrTiO₆ und Kombinationen davon, sind aber nicht darauf beschränkt.

[0035] Die Phasenschieber mit einem coplanaren Wellenleiter im K und Ka Band der bevorzugten Ausführungsformen dieser Erfindung werden auf einem abstimmbaren dielektrischen Film mit einer dielektrischen Konstanten (Permittivität) von ungefähr 300 bis 500 bei einer Null-Vorspannung und einer Dicke von 10 Mikrometer hergestellt. Sowohl Dünn- als auch Dickfilme des abstimmbaren dielektrischen Materials können jedoch verwendet werden. Der Film wird auf einem Substrat MgO mit niedriger dielektrischer Konstanten nur in dem CPW-Gebiet mit einer Dicke von 0,25 mm aufgebracht. Für den Zweck dieser Beschreibung ist eine niedrige dielektrische Konstante kleiner als 25. MgO weist eine dielektrische Konstante von ungefähr 10 auf. Jedoch kann das Substrat andere Materialien sein, wie LaAlO₃, Saphir, Al₂O₃ und andere Keramiken. Die Dicke des Films des abstimmbaren Materials kann von 1 bis 15 Mikrometer in Abhängigkeit von den Ablagerungsverfahren verändert werden. Die Hauptanforderungen für die Substrate sind deren chemische Stabilität, eine Reaktion mit dem abstimmbaren Film bei einer Filmfeuertemperatur (~ 1200°C), sowie ein dielektrischer Verlust (Verlusttangente) bei der Betriebsfrequenz.

[0036] **Fig. 6** ist eine Draufsicht auf eine Phasenschieber-Baugruppe **42** der **Fig. 4** mit einem Vorspanndom **130** hinzugefügt, um die Vorspannung mit den Masseebenen-Elektroden **66** und **68** zu verbinden. **Fig. 7** ist eine Querschnittsansicht der Phasenschieber-Baugruppe **60** der **Fig. 6** entlang der Linie **7-7**. Der Dom verbindet die zwei Masseebenen des coplanaren Wellenleiters und deckt die Haupt-Wellenleiterleitung ab. Ein Elektrodenabschluss **132** ist oben an dem Dom angelötet, um eine Verbindung mit der DC-Vorspannungssteuerung herzustellen. Ein anderer Abschluss (nicht gezeigt) der DC-Vorspannungs-Steuerschaltung ist mit der zentralen Leitung **64** des coplanaren Wellenleiters verbunden. Um die DC-Vorspannung an den CPW anzulegen, werden kleine Spalte **86** und **88** gebildet, um die inneren Masseebenen-Elektroden **66** und **68**, wo der DC-Vorspannungs-Dom angeordnet ist, und den anderen Teil (außerhalb) der Masseebene (Elektroden **82** und **84**) des coplanaren Wellenleiters zu trennen. Die äußere Masseebene erstreckt sich um die Seiten und die Bodenebene des Substrats. Die äußere oder die untere Masseebene ist mit einer RF-Signalmasseebene **134** verbunden. Die positiven und negativen Elektroden der DC-Quelle sind mit dem Dom **130** bzw. der Mittelleitung **64** verbunden. Die kleinen Spalte in der Masseebene arbeiten als DC-Abblockungskondensatoren, die eine DC-Spannung abblocken. Jedoch sollte die Kapazität ausreichend hoch sein, um ein HF-Signal dadurch zu lassen. Der Dom verbindet die Masseebenen **66** und **68** elektrisch.

[0037] Eine Mikrostreifenleitung und die coplanare Wellenleiterleitung kann mit einer Übertragungsleitung gekoppelt sein. **Fig. 8** ist eine Draufsicht auf einen anderen Phasenschieber **136**. **Fig. 9** ist eine Querschnittsansicht des Phasenschiebers der **Fig. 8**, entlang der Linie **9-9**. Die **Fig. 8** und **9** zeigen, wie die Leitung des Mikrostreifens **138** eine Transformation auf den Aufbau **140** mit dem coplanaren Wellenleiter bewirkt. Der Mikrostreifen **138** umfasst einen Leiter **142**, der auf einem Substrat **144** angebracht ist. Der Leiter **142** ist z.B. über einen Lötvorgang oder Bondungsvorgang mit einem zentralen Leiter **146** des coplanaren Wellenleiters **148** verbunden. Masseebenenleiter **150** und **152** sind auf einem abstimmbaren dielektrischen Material **154** angebracht und von dem Leiter **146** über Spalte **156** und **158** getrennt. In der dargestellten Ausführungsform verbindet eine Bondung **160** die Leiter **142** und **146**. Das abstimmbare dielektrische Material **154** ist auf einer Oberfläche eines nicht abstimmbaren dielektrischen Substrats **162** angebracht. Die Substrate **144** und **162** werden durch einen Metallhalter **164** gestützt.

[0038] Da die Spalte in den coplanaren Wellenleitern (< 0,04 mm) viel kleiner als die Dicke des Substrats (0,25 mm) sind, werden fast alle HF (RF) Signale durch den coplanaren Wellenleiter und nicht durch die Mikrostreifenleitung übertragen. Diese Struktur

macht es sehr einfach, eine Transformation von dem coplanaren Wellenleiter auf eine Mikrostreifenleitung ohne die Notwendigkeit eines Kontaktierungslochs oder einer Kopplungstransformation vorzunehmen.

[0039] Fig. 10 ist eine isometrische Ansicht eines Phasenschiebers für eine Antenne, die in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung konstruiert ist. Ein Gehäuse **166** ist über den Vorspannungs-Dom gebaut, um den gesamten Phasenschieber derart abzudecken, dass nur zwei 50 Ohm Mikrostreifenleitungen freigelegt sind, um eine Verbindung mit einer externen Schaltung herzustellen. Nur eine Leitung **168** ist in dieser Ansicht gezeigt.

[0040] Fig. 11 ist eine isometrische Explosionsansicht eines Arrays **170** von 30 GHz Phasenschiebern mit coplanarem Wellenleiter, die in Übereinstimmung mit der vorliegenden Erfindung konstruiert sind, zur Verwendung in einer Phasenarray-Antenne. Eine Vorspannungsleitungsplatte **172**, die aus einem isolierenden Material gebildet ist und ein Vorspannungs-Netz **173** trägt, wird verwendet, um das Phasenschieberarray abzudecken und Vorspannungen mit den Phasenschiebern zu verbinden. Die Elektroden auf dem Dom von jedem Phasenschieber sind mit den Vorspannungsleitungen auf der Vorspannungsleitungsplatte über die Löcher **174**, **176**, **178** und **180** angelötet. Die Phasenschieber sind an einem Halter **182** angebracht, der eine Vielzahl von Mikrostreifenleitungen **184**, **186**, **188**, **190**, **192**, **194**, **196** und **198** zum Verbinden der Funkfrequenzeingangs- und Ausgangssignale mit den Phasenschiebern einschließt. Die bestimmten Aufbauten, die in Fig. 11 gezeigt sind, versehen jeden Phasenschieber mit seinem eigenen Schutzgehäuse. Die Phasenschieber werden individuell zusammengebaut und getestet, bevor sie in der Phasenarray-Antenne installiert werden. Dies verbessert signifikant die Ausbeute der Antenne, die gewöhnlicherweise mehrere Zehn bis Tausende von Phasenschiebern aufweist.

[0041] Die Fig. 12 und 13 sind Draufsichten auf alternative Öffnungsformen. Die Öffnung der Fig. 12 ist allgemein "I"-förmig, mit transversalen rechteckförmigen Abschnitten an jedem Ende. Die Öffnung der

[0042] Fig. 13 ist länglich mit aufgeweiteten Abschnitten an jedem Ende. Die Wahl einer bestimmten Öffnungsform hängt von der Bandbreite und der Verarbeitungstoleranz ab.

[0043] Um die Phasenfeldantenne zu konstruieren, werden Phasenschieber individuell gebaut, wie in Fig. 7 gezeigt. Die coplanaren Wellenleiter werden mit den Mikrostreifenleitungen, beispielsweise durch einen Lötvorgang, wie in den Fig. 8 und 9 gezeigt, gekoppelt. Ein Metallgehäuse ist auf dem Phasenschieber platziert, wie in Fig. 10 gezeigt. Die Abstrahlflecken (Patches), eine Apertur-Kopplung und

eine Speiseleitung werden gebaut, wie in Fig. 3 gezeigt, aber ohne die Phasenschieber **48**. Die Endleitungen der Antennenplatte sind als Leitungen **192**, **194**, **196** und **198** der Fig. 11 gezeigt. Schließlich werden die einzelnen Phasenschieber in der Platine angebracht, wie in Fig. 11 gezeigt.

[0044] Die Phasenschieber umfassen ein Substrat, einen abstimmbaren dielektrischen Film mit einer dielektrischen Konstanten zwischen 70 bis 600, einem Abstimmbereich von 20 bis 60% und einer Verlusttangente zwischen 0,008 bis 0,03 bei K und Ka Bändern, positioniert auf einer Oberfläche des Substrats, einen coplanaren Wellenleiter, der auf einer Oberfläche des abstimmbaren dielektrischen Films dem Substrat gegenüberliegend positioniert ist, einen Eingang zum Koppeln eines Funkfrequenzsignals an den coplanaren Wellenleiter, einen Ausgang zum Empfangen des Funkfrequenzsignals von dem coplanaren Wellenleiter, und eine Verbindung zum Anlegen einer Steuerspannung an den abstimmbaren dielektrischen Film. Die Einrichtungen hier sind in der Konstruktion einzigartig und weisen einen geringen Einfügeverlust sogar bei Frequenzen in den K und Ka Bändern auf.

[0045] Die coplanaren Phasenschieber der bevorzugten Ausführungsformen dieser Erfindung werden auf über die Spannung abgestimmten Barium-Titanat (BST)-basierenden Verbundfilmen hergestellt. Die BST-Verbundfilme weisen einen hervorragenden niedrigen dielektrischen Verlust und eine akzeptable Abstimmbarkeit auf. Diese K und Ka Band Phasenschieber mit coplanarem Wellenleiter stellen die Vorteile einer Behandlung von hoher Leistung, eines geringen Einfügeverlusts, einer schnellen Abstimmung, von geringen Kosten und hohen Anti-Abstrahleigenschaften im Vergleich mit Halbleiter-gestützten Phasenschiebern bereit. Es ist sehr üblich, dass ein dielektrischer Verlust des Materials mit der Frequenz zunimmt. Herkömmliche abstimmbare Materialien sind sehr verlustbehaftet, insbesondere bei K und Ka Bändern. Coplanare Phasenschieber, die aus herkömmlichen abstimmbaren Materialien gebildet sind, sind extrem verlustbehaftet und für Phasenarray-Antennen bei K und Ka Bändern nutzlos. Es sei darauf hingewiesen, dass die Phasenschieber-Aufbauten der vorliegenden Erfindung für irgendwelche abstimmbaren Materialien geeignet sind. Jedoch können nur abstimmbare Materialien mit einem geringen Verlust gute nützliche Phasenschieber erzielen. Es ist wünschenswert, ein Material einer geringen dielektrischen Konstanten für Mikrostreifenleitungs-Phasenschieber zu verwenden, da Materialien mit einer hohen dielektrischen Konstanten leicht hohe EM-Moden bei diesen Frequenzbereichen für Mikrostreifenleitungs-Phasenschieber erzeugen. Jedoch sind keine derartigen herkömmlichen Materialien mit einer geringen dielektrischen Konstanten (< 100) verfügbar.

[0046] Die bevorzugten Ausführungsformen der Phasenschieber in Antennen der vorliegenden Erfindung verwenden Verbundmaterialien, die BST und andere Materialien und zwei oder mehrere Phasen einschließen. Diese Verbundmaterialien zeigen einen viel geringeren dielektrischen Verlust und eine akzeptable Abstimmung im Vergleich mit herkömmlichen ST- oder BST-Filmen. Diese Verbundmaterialien weisen viel niedrigere dielektrische Konstanten als herkömmliche ST- oder BST-Filme auf. Die niedrigen dielektrischen Konstanten erleichtern die Konstruktion und die Herstellung von Phasenschiebern. Diese Phasenschieber können bei Raumtemperatur ($\sim 300^\circ\text{K}$) arbeiten. Ein Betrieb bei Raumtemperatur ist viel einfacher und weitaus kostengünstiger als herkömmliche Phasenschieber, die bei 100°K arbeiten.

[0047] Die vorliegende Erfindung stellt eine kostengünstige elektrisch gescannte Phasenarray-Antenne zum Nachführen von Bodenstationen und einer Raumschiffkommunikation oder Radarantennen bereit. Die bevorzugte Ausführungsform der Erfindung umfasst Phasenschieber mit einem coplanaren Wellenleiter (CPW), die bei Raumtemperatur über der Spannung abgestimmt werden, und eine zirkular polarisierte Mikrostreifen-Phasenantenne. Die coplanaren Phasenschieber werden auf den Spannungs-abgestimmten Barium-Titanat (BST)-gestützten Verbundfilmen gebildet. Die BST-Verbundfilme weisen einen hervorragenden niedrigen dielektrischen Verlust und eine akzeptable Abstimmbarkeit auf. Diese CPW-Phasenschieber weisen die Vorteile einer Behandlung von hoher Leistung, eines niedrigen Einfügeverlusts, einer schnellen Abstimmung, von niedrigen Kosten und hohen Anti-Abstrahleigenschaften im Vergleich mit Halbleiter-gestützten Phasenschiebern auf. Die Phasenarray-Antenne umfasst quadratische Mikrostreifen-Patches, die durch eine Kopplungsöffnung durch zwei orthogonale Schlitz für eine zirkulare Polarisation gespeist werden. Die über eine Öffnung gekoppelte Mikrostreifenantenne stellt mehrere Vorteile gegenüber einer Übertragungsleitung oder gegenüber Sonden-gespeisten Patchantennen bereit, wie mehr Platz für ein Speise-Netz, die Beseitigung einer Notwendigkeit für ein Kontaktierungsloch, eine einfache Steuerung der Eingangsimpedanz, einer hervorragenden zirkularen Polarisation, und von niedrigen Kosten. Die Öffnungs-gekoppelte Mikrostreifenantenne weist einen zusätzlichen Vorteil für Spannungs-abgestimmte Phasenschieber auf, da kein DC-Block zwischen Phasenschiebern und Abstrahlpatches benötigt wird. Dieser Vorteil macht die Phasenschieber sicher und einfach für eine Vorspannung.

[0048] Die vorliegende Erfindung verwendet CPW Spannungs-abgestimmte Phasenschieber, die für Hochfrequenzanwendungen, wie über dem Ku-Band, im Vergleich mit dem Mikrostreifen-Phasenschieber, geeignet sind. Der CPW Phasenschieber zeigt auch

eine breitere Bandbreite, eine geringere Vorspannung und einen einfacheren Aufbau als die Mikrostreifen-Phasenschieber auf. Die Öffnungs-gekoppelte Technik weist einen einzigartigen Vorteil für diese Spannungs-abgestimmte Phasenschieberanwendung auf, weil keine DC-Isolation zwischen dem Phasenschieber und den Abstrahlelementen benötigt wird. Dieser Vorteil macht das Antennensystem einfacher, sicherer und kostengünstig.

Patentansprüche

1. Phasenarrayantenne (10), umfassend eine Vielzahl von Abstrahlelementen (12), eine Speiseleitungs-Baugruppe (16), eine Masseebene (18), die zwischen der Vielzahl von Abstrahlelementen und der Speiseleitungs-Baugruppe positioniert ist, und einen abstimmbaren Phasenschieber (32, 34, 36), der mit der Speiseleitungs-Baugruppe gekoppelt ist, **dadurch gekennzeichnet** dass:

die Masseebene eine Vielzahl von Paaren von orthogonalen Öffnungen (20) aufweist, wobei jedes Paar von orthogonalen Öffnungen angrenzend zu einem der Abstrahlelemente positioniert sind, die Speiseleitungs-Baugruppe (16) eine Vielzahl von Mikrostreifenleitungen (28) einschließt, wobei jede der Mikrostreifenleitungen einen Abschnitt einschließt, der angrenzend zu einem der Paare der orthogonalen Öffnungen positioniert ist; wobei der Phasenschieber umfasst:

ein Substrat (90);
einen abstimmbaren dielektrischen Film (80), der auf einer Oberfläche des Substrats positioniert ist;
einen coplanaren Wellenleiter (64, 66, 68), der auf einer Oberfläche des abstimmbaren dielektrischen Film dem Substrat gegenüberliegend positioniert ist;
einen Eingang (76) zum Koppeln eines Funkfrequenzsignals an den leitenden Streifen;
einen Ausgang (78) zum Empfangen des Funkfrequenzsignals von dem leitenden Streifen; und
eine Verbindung zum Anlegen von Spannung an den abstimmbaren dielektrischen Film, wobei die Verbindung umfasst:

eine erste Elektrode (66), die angrenzend zu einer ersten Seite eines leitenden Streifens (64) des coplanaren Wellenleiters positioniert ist, um einen ersten Spalt zwischen der ersten Elektrode und dem leitenden Streifen zu bilden;
eine zweite Elektrode (68), die angrenzend zu einer zweiten Seite des leitenden Streifens positioniert ist, um einen zweiten Spalt zwischen der zweiten Elektrode und dem leitenden Streifen zu bilden; und
eine leitende Kuppel (130), die elektrisch zwischen die erste und zweite Elektrode geschaltet ist.

2. Phasenarrayantenne nach Anspruch 1, ferner gekennzeichnet durch:

ein leitendes Gehäuse (166), das den Phasenschieber abdeckt.

3. Phasenarrayantenne nach Anspruch 2, ferner gekennzeichnet durch:
 eine Vielzahl von leitenden Gehäusen (**166**), wobei jedes der leitenden Gehäuse einen der Phasenschieber umschließt;
 einen Halter zum Haltern der Phasenschieber und der Vielzahl von Mikrostreifenleitungen, die mit den Eingängen und Ausgängen der Phasenschieber verbunden sind; und
 ein Vorspannnetz zum Anlegen von Vorspannungen an die Phasenschieber.

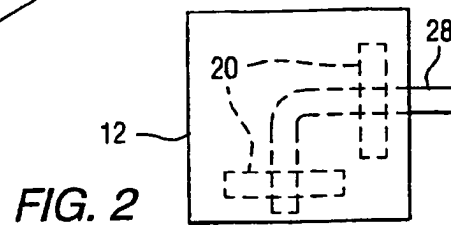
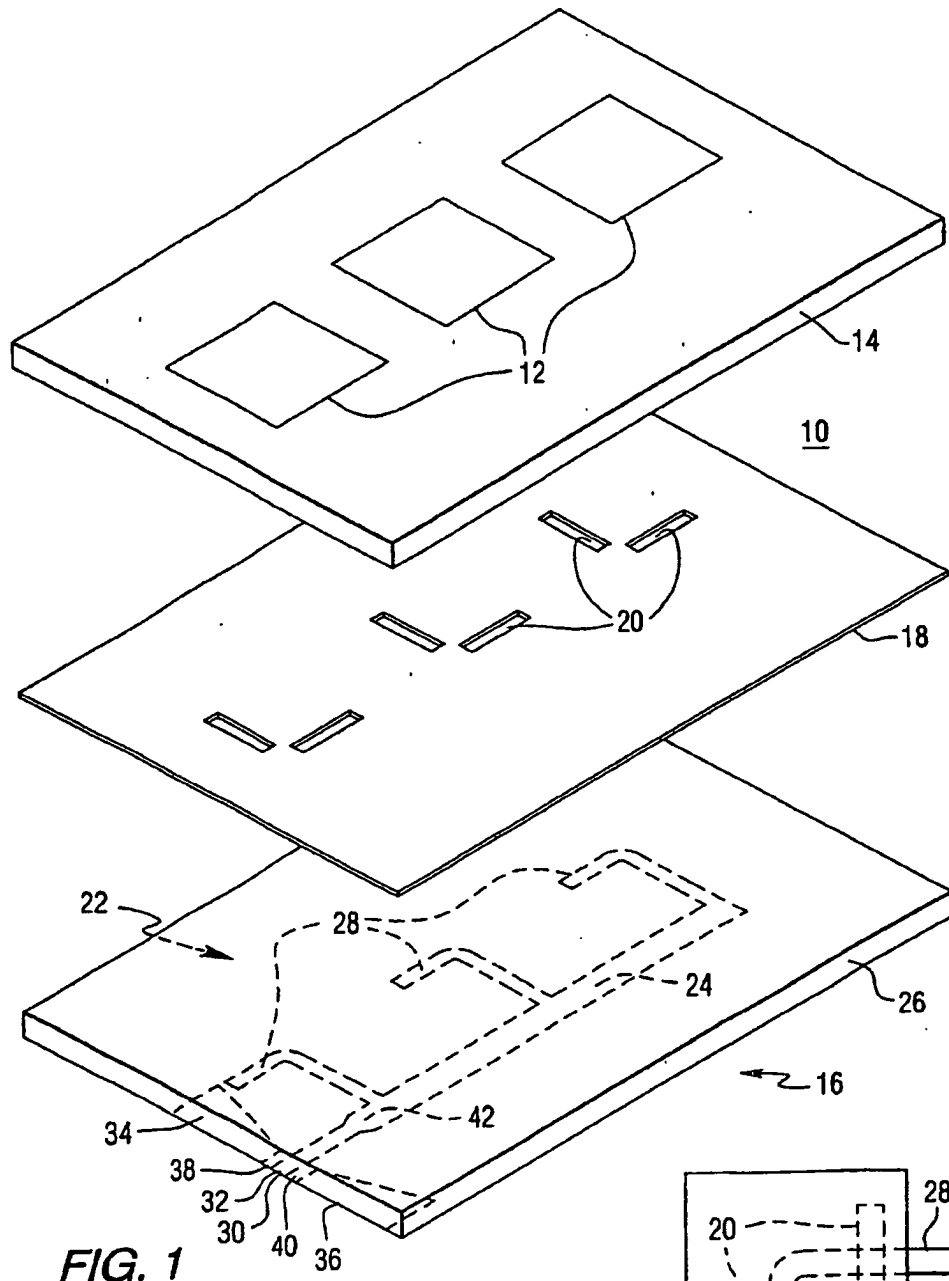
4. Phasenarrayantenne nach Anspruch 1, ferner gekennzeichnet durch eine lineare Mikrostreifenleitung (**24**), wobei sich die Vielzahl von Mikrostreifenleitungen (**28**) senkrecht von der linearen Mikrostreifenleitung erstrecken, und der Abschnitt von jeder der Vielzahl von Mikrostreifenleitungen eine Länge aufweist, die gewählt ist, um eine 90° Phasenverschiebung zwischen den Öffnungen von einem angrenzenden der Paare von orthogonalen Öffnungen bereitzustellen.

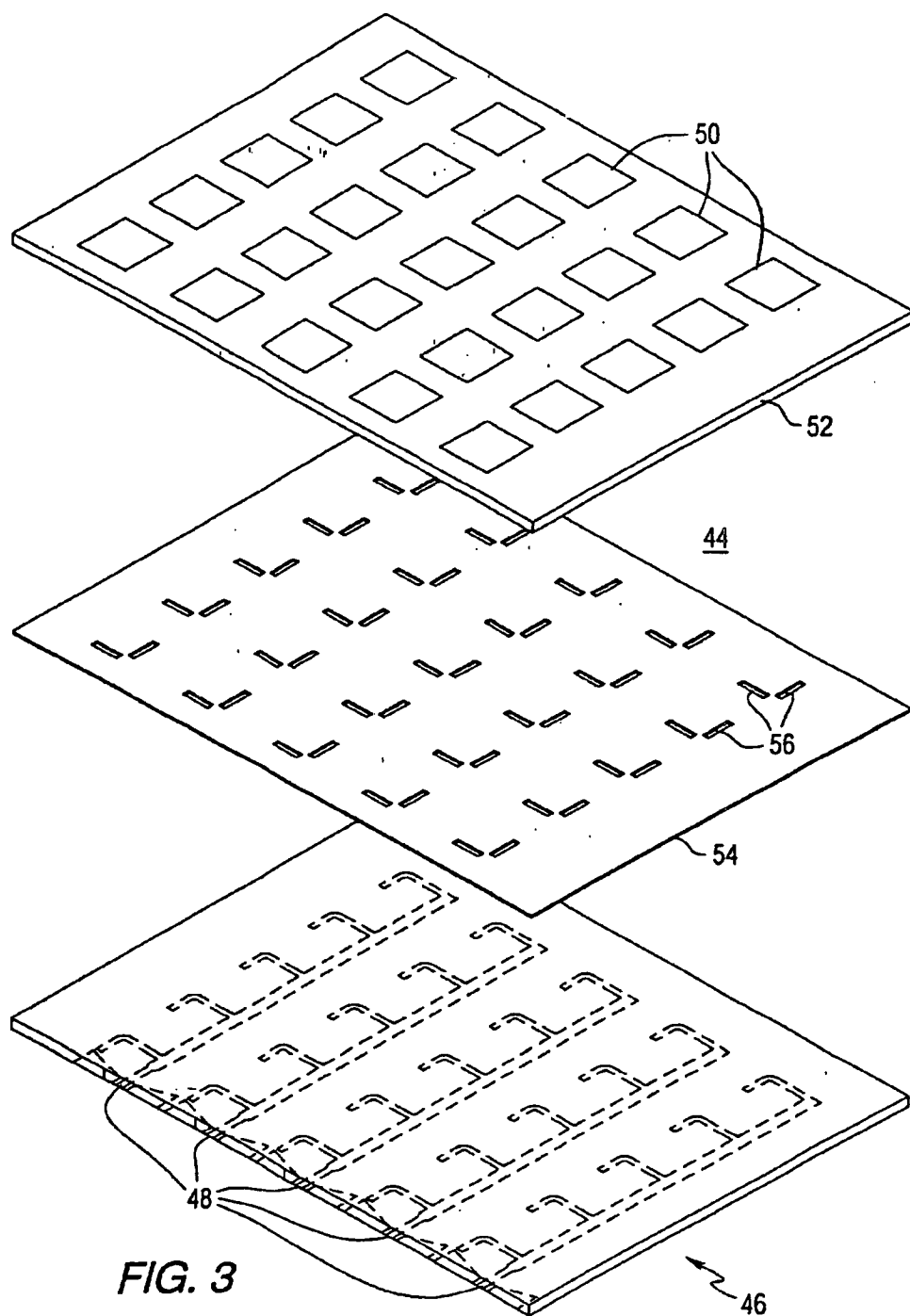
5. Phasenarrayantenne nach Anspruch 4, ferner dadurch gekennzeichnet, dass die Vielzahl von Abstrahlelementen in einer Vielzahl von Zeilen und Spalten angeordnet sind, und wobei die Speiseleitungs-Baugruppe ferner umfasst:
 zusätzliche lineare Mikrostreifenleitungen und zusätzliche Vielzahlen von Mikrostreifenleitungen, die sich senkrecht von jeder der zusätzlichen linearen Mikrostreifenleitungen erstrecken, wobei ein Abschnitt von jeder der Vielzahlen der Mikrostreifenleitungen eine Länge einschließt, die gewählt ist, um eine 90° Phasenverschiebung zwischen den Öffnungen von einem angrenzenden der Paare von orthogonalen Öffnungen bereitzustellen; und
 zusätzliche Phasenschieber (**48**), wobei jeder der zusätzlichen Phasenschieber mit einer der zusätzlichen linearen Mikrostreifenleitungen gekoppelt ist.

6. Phasenarrayantenne nach Anspruch 1, ferner dadurch gekennzeichnet, dass jedes der Abstrahlelemente eine quadratische Form aufweist.

7. Phasenarrayantenne nach Anspruch 1, wobei der abstimmbare dielektrische Film eine dielektrische Konstante zwischen 70 und 600, einen Abstimmbereich von 20 bis 60%, und eine Verlusttangente zwischen 0,008 bis 0,03 bei K und Ka Bändern aufweist.

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen





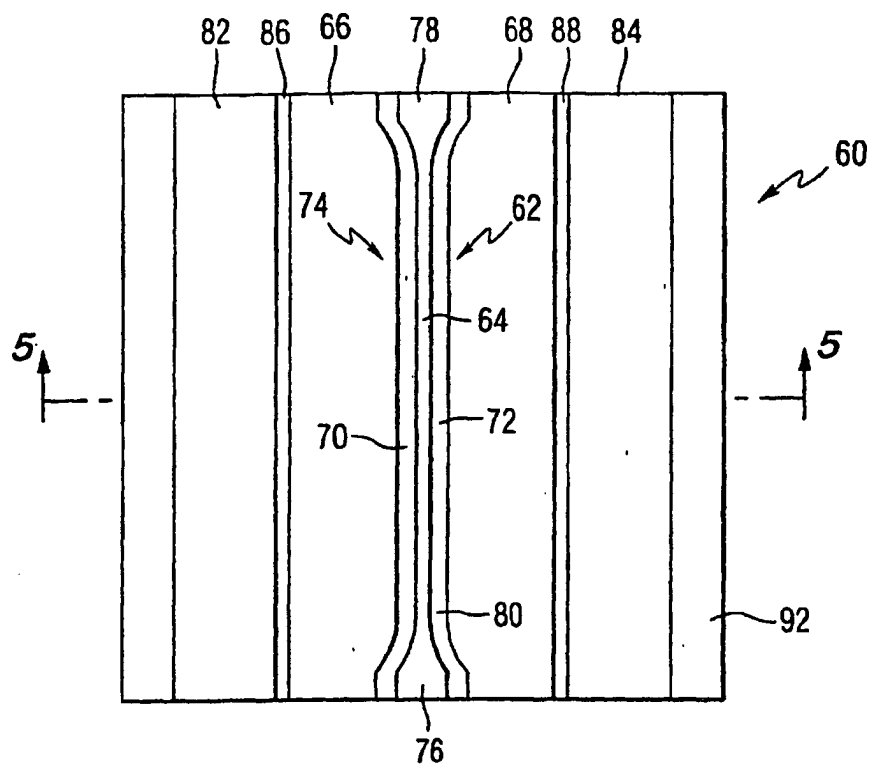


FIG. 4

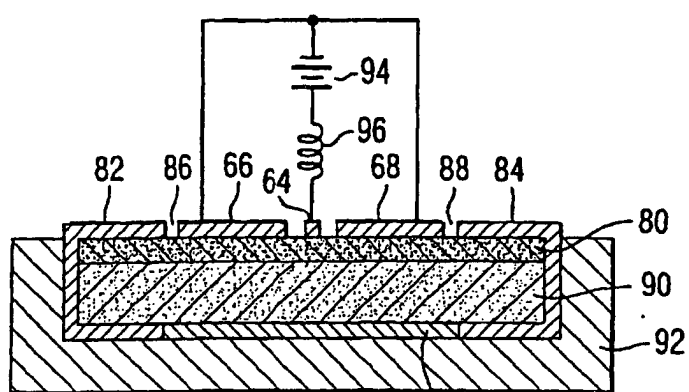


FIG. 5

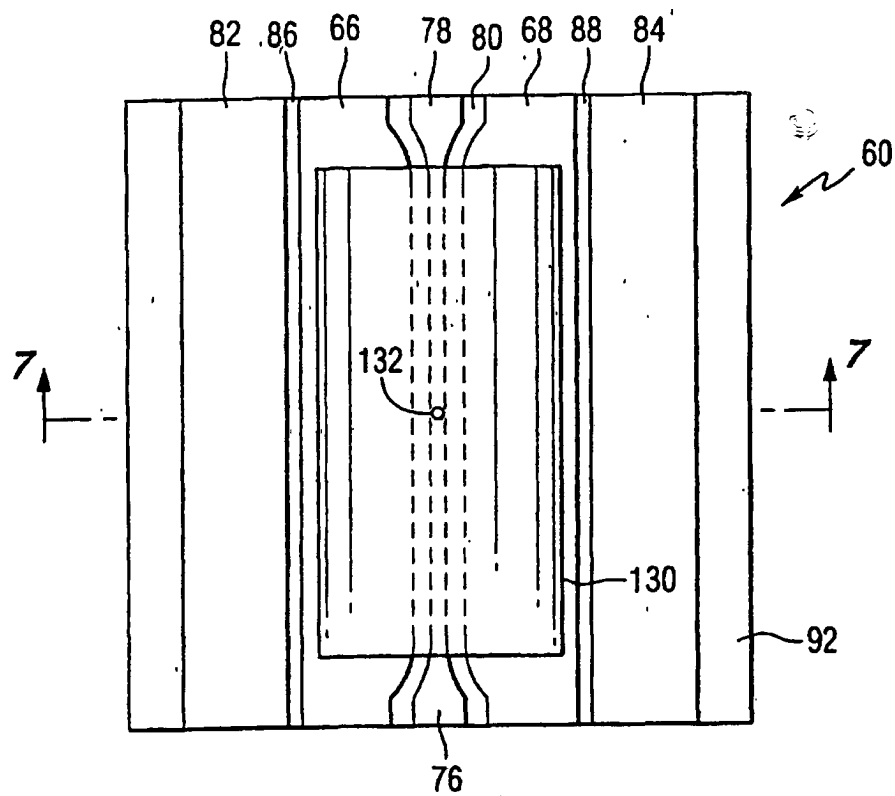


FIG. 6

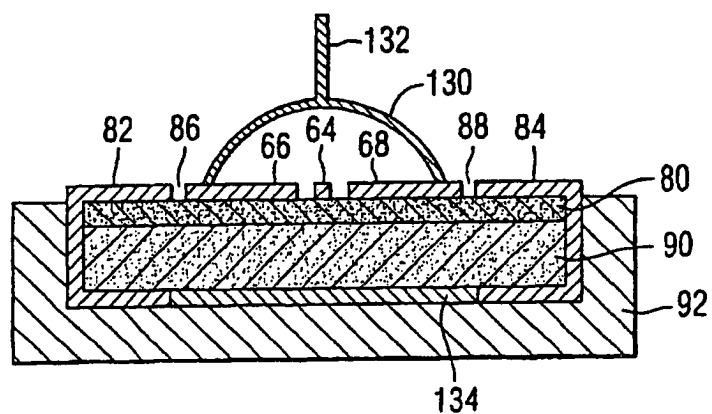


FIG. 7

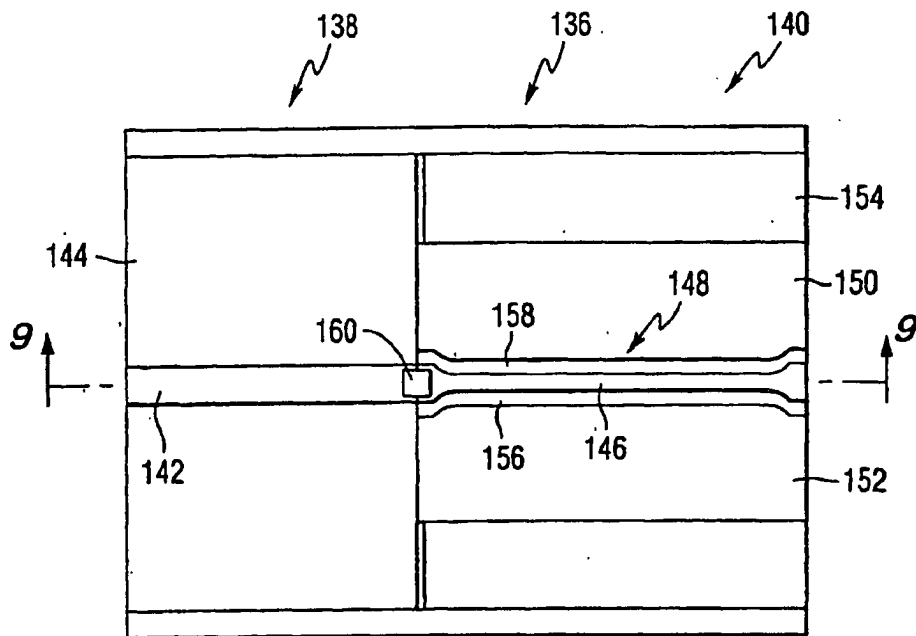


FIG. 8

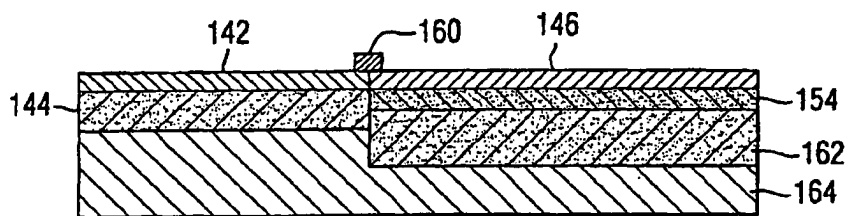


FIG. 9

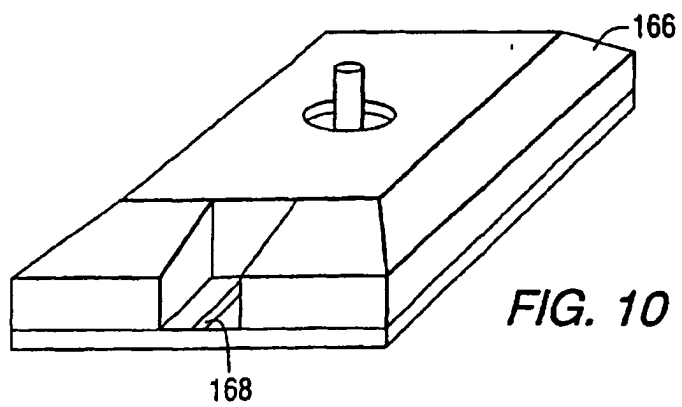


FIG. 10

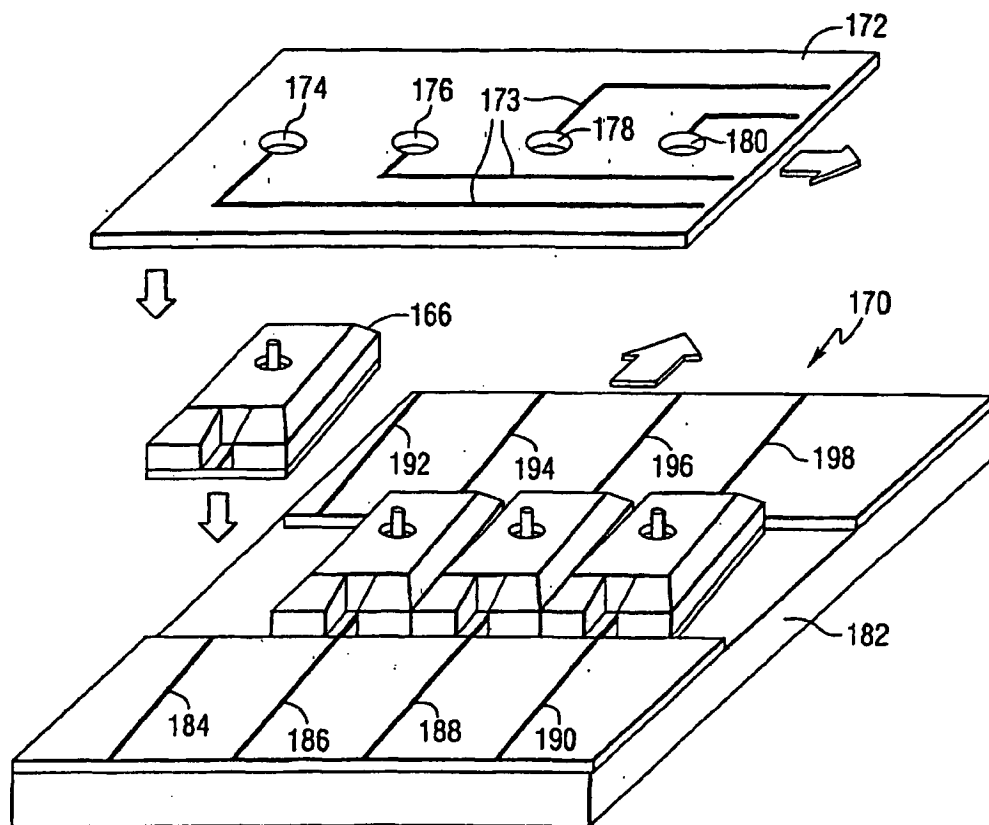


FIG. 11

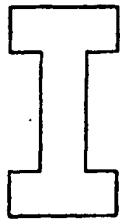


FIG. 12

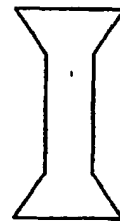


FIG. 13