



(10) **DE 10 2011 050 841 A1** 2012.12.06

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 050 841.4**
(22) Anmeldetag: **03.06.2011**
(43) Offenlegungstag: **06.12.2012**

(51) Int Cl.: **H01Q 1/38 (2011.01)**
H01Q 21/29 (2012.01)
H01Q 3/22 (2012.01)
H01Q 3/26 (2012.01)
H01Q 13/20 (2012.01)
H01Q 15/24 (2012.01)
H01Q 19/28 (2012.01)
H01Q 25/04 (2012.01)

(71) Anmelder:
Universität Duisburg-Essen, 45141, Essen, DE

(74) Vertreter:
**Michalski Hüttermann & Partner Patentanwälte,
40221, Düsseldorf, DE**

(72) Erfinder:
**Pi, Chu, 45478, Mülheim, DE; Rennings, Andreas,
47652, Weeze, DE; Otto, Simon, 45468, Mülheim,
DE**

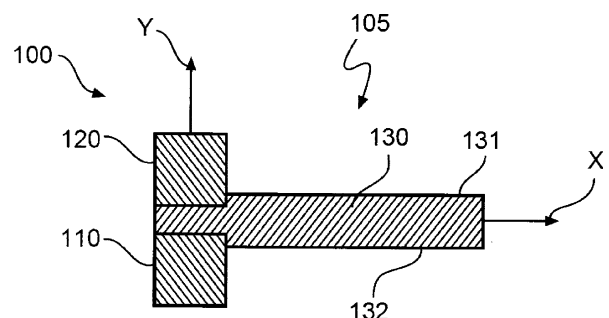
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:
siehe Folgeseiten

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Planare Antennenanordnung und Verfahren zum Erzeugen einer elektromagnetischen Welle
mittels einer planaren Antennenanordnung**

(57) Zusammenfassung: Eine planare Antennenanordnung (105) weist zumindest eine Antennenzelle (100) auf. Die zumindest eine Antennenzelle (100) weist ein erstes elektrisch leitendes Verbindungselement (110) zum Zuführen von elektrischer Energie, ein zweites elektrisch leitendes Verbindungselement (120) zum Abführen von elektrischer Energie, ein elektrisch leitendes Antennenelement (130) zum Abstrahlen einer elektromagnetischen Welle, und eine Massefläche (140) auf, die elektrisch isoliert zu dem ersten Verbindungselement (110), zu dem zweiten Verbindungselement (120) und zu dem Antennenelement (130) angeordnet ist. Das erste Verbindungselement (110) und das zweite Verbindungselement (120) erstrecken sich entlang einer ersten Richtung (y), das Antennenelement (130) erstreckt sich ausgehend von dem ersten Verbindungselement (110) und dem zweiten Verbindungselement (120) entlang einer quer zu der ersten Richtung (y) verlaufenden, zweiten Richtung (x), und das erste Verbindungselement (110) und das zweite Verbindungselement (120) sind voneinander beabstandet angeordnet. Das erste Verbindungselement (110) ist benachbart zu einer ersten Seite (132) des Antennenelements (130) angeordnet, und das zweite Verbindungselement (120) ist benachbart zu einer, der ersten Seite (132) gegenüberliegenden, zweiten Seite (131) des Antennenelements (130) angeordnet. Die Antennenanordnung (105) weist verbesserte Charakteristika bezüglich ihrer Herstellung, Kosten, Bauweise und Abstrahlung auf.



(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 10 2004 039 743 A1
US 7 330 090 B2
US 2010 / 0 019 863 A1
EP 1 855 348 A1
WO 2008/ 007 545 A1
WO 2011/ 024 575 A1

Abielmona, S.; Nguyen, H.V.; Caloz, C.; ,
"Analog Direction of Arrival Estimation Using
an Electronically-Scanned CRLH Leaky-Wave
Antenna," Antennas and Propagation, IEEE
Transactions on , vol.59, no.4, pp.1408-1412,
April 2011doi: 10.1109/TAP.2011.2109672URL:
[http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=
&arnumber=5704551&isnumber=5742740](http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5704551&isnumber=5742740)

Baccarelli, Paolo "1-D Periodic Leaky-Wave
Antennas: Radiation Properties and Design
Aspects" ESoA Course on Leaky Waves and
Periodic Structures for Antenna Applications "La
Sapienza" University of Rome, Italy Roma, Italy,
April 26-29, 2011 [http://151.100.120.244/personale/
frezza/EuSA/thirdEdition/CourseLectures/
ThursdayApril28/ESoA_1-D%20periodic_LWAs_
X_WEB.pdf\[rech. 20.3.2012\]](http://151.100.120.244/personale/frezza/EuSA/thirdEdition/CourseLectures/ThursdayApril28/ESoA_1-D%20periodic_LWAs_X_WEB.pdf[rech. 20.3.2012])

Balanis, Constantine A. ANTENNA THEORY
ANALYSIS AND DESIGN Kapitel 103rd Ed.Wiley
2005 ISBN: 0-471-66782-X

Cheng-Jung Lee; Leong, K.M.K.H.; Itoh, T.; ,
"Composite right/left-handed transmission line
based compact resonant antennas for RF module
integration," Antennas and Propagation, IEEE
Transactions on , vol.54, no.8, pp.2283-2291,
Aug. 2006doi: 10.1109/TAP.2006.879199URL:
[http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=
&arnumber=1668302&isnumber=34930](http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1668302&isnumber=34930)

Chu Pi "Analysis and Design of Periodic
Leaky Wave Antennas with Circular
Polarization" 21.10.2010 [http://hft.uni-duisburg-
essen.de/arbeiten/BA_Pi_Ch_u.pdf\[rech. 20.3.2012\]](http://hft.uni-duisburg-essen.de/arbeiten/BA_Pi_Ch_u.pdf[rech. 20.3.2012])

Liebig, T.; Rennings, A.; Otto, S.; Caloz, C.;
Erni, D.; , "Comparison between CRLH zeroth-
order antenna and series-fed microstrip patch
array antenna," Antennas and Propagation,
2009. EuCAP 2009. 3rd European Conference
on , vol., no., pp.529-532, 23-27 March 2009URL:
[http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=
&arnumber=5067681&isnumber=5067558](http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5067681&isnumber=5067558)

Menzel, W.; Sathiseelan, M.; , "Frequency
scanned antenna array using a suspended
stripline negative index transmission line,
" Microwave Conference, 2005 European ,
vol.1, no., pp. 4 pp., 4-6 Oct. 2005doi: 10.1109/
EUMC.2005.1608841URL: [http://ieeexplore.
ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=
1608841&isnumber=33788](http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1608841&isnumber=33788)

Minwook Kang; Caloz, C.; Itoh, T.; ,
"Miniaturized MIM CRLH transmission line
structure and application to backfire-to-endfire
leaky-wave antenna," Antennas and Propagation
Society International Symposium, 2004. IEEE ,
vol.1, no., pp. 827- 830 Vol.1, 20-25 June 2004doi:
10.1109/APS.2004.1329798URL: [http://ieeexplore.
ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=
1329798&isnumber=29352](http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1329798&isnumber=29352)

Nguyen, H.V.; Abielmona, S.; Parsa, A.;
Caloz, C.; , "Novel power recycling schemes
for enhanced radiation efficiency in leaky-wave
antennas," Microwave Conference, 2009. APMC
2009. Asia Pacific , vol., no., pp.2006-2009, 7-10
Dec. 2009doi: 10.1109/APMC.2009.5385282URL:
[http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=
&arnumber=5385282&isnumber=5384114](http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5385282&isnumber=5384114)

Nguyen, H.V.; Abielmona, S.; Rennings, A.;
Caloz, C.; , "Pencil-Beam Full-Space Scanning
2D CRLH Leaky-Wave Antenna Array," Signals,
Systems and Electronics, 2007. ISSSE '07.
International Symposium on , vol., no., pp.139-
142, July 30 2007-Aug. 2 2007doi: 10.1109/
ISSSE.2007.4294433URL: [http://ieeexplore.
ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=
4294433&isnumber=4294391](http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4294433&isnumber=4294391)

Nguyen, H.V.; Caloz, C.; , "Simple-Design and
Compact MIM CRLH Microstrip 3-dB Coupled-
Line Coupler," Microwave Symposium Digest,
2006. IEEE MTT-S International , vol., no.,
pp.1733-1736, 11-16 June 2006doi: 10.1109/
MWSYM.2006.249715URL: [http://ieeexplore.
ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=
4015283&isnumber=4014789](http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4015283&isnumber=4014789)

Nguyen, H.V.; Yang, N.; Caloz, C.; , "Differential
Bi-directional CRLH Leaky-wave Antenna in
CPS Technology," Microwave Conference, 2007.
APMC 2007. Asia-Pacific , vol., no., pp.1-4, 11-14
Dec. 2007doi: 10.1109/APMC.2007.4554579URL:
[http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=
&arnumber=4554579&isnumber=4554523](http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4554579&isnumber=4554523)

Okabe, H.; Caloz, C.; Itoh, T.; , "A compact
enhanced-bandwidth hybrid ring using
a left-handed transmission line section,"
Microwave Symposium Digest, 2003 IEEE MTT-
S International , vol.1, no., pp. 329- 332 vol.1, 8-
13 June 2003doi: 10.1109/MWSYM.2003.1210945
URL: [http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?
tp=&arnumber=1210945&isnumber=27238](http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=1210945&isnumber=27238)

Oliner , A.A.; Jackson D.R.Kapitel 11 Leaky-
Wave AntennasIn: Volakis, John Leonidas
Antenna engineering handbook 4te Ausgabe
Publisher: McGraw-Hill Professional; Publication
Date: June 7, 2007 ISBN-10: 0071475745 ISBN-13:
978-0071475747

Otto, S.; Rennings, A.; Liebig, T.; Caloz, C.;
Solbach, K.; , "An energy-based circuit parameter
extraction method for CRLH leaky wave antennas,



" Antennas and Propagation (EuCAP), 2010 Proceedings of the Fourth European Conference on , vol., no., pp.1-5, 12-16 April 2010URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5505106&isnumber=5504894>

Paulotto, S.; Baccarelli, P.; Frezza, F.; Jackson, D.R.; , "A Novel Technique for Open-Stopband Suppression in 1-D Periodic Printed Leaky-Wave Antennas," Antennas and Propagation, IEEE Transactions on , vol.57, no.7, pp.1894-1906, July 2009doi: 10.1109/TAP.2009.2019900URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5159563&isnumber=5159551>

Rennings, A.; Liebig, T.; Otto, S.; Caloz, C.; Wolff, I.; , "Highly Directive Resonator Antennas based on Composite Right/Left-Handed (CRLH) Transmission Lines," Antennas, 2007. INICA '07. 2nd International ITG Conference on , vol., no., pp.190-194, 28-30 March 2007doi: 10.1109/INICA.2007.4353960URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4353960&isnumber=4353914>

Rennings, A.; Mosig, J.; Bahr, A.; Caloz, C.; Ladd, M.E.; Erni, D.; , "A CRLH metamaterial based RF coil element for magnetic resonance imaging at 7 tesla," Antennas and Propagation, 2009. EuCAP 2009. 3rd European Conference on , vol., no., pp.3231-3234, 23-27 March 2009URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5068290&isnumber=5067558>

Sung-soo Nam; Hong-min Lee; , "Composite right/left-handed transmission line leaky-wave antenna using LTCC technology," Antenna Technology, 2009. iWAT 2009. IEEE International Workshop on , vol., no., pp.1-4, 2-4 March 2009 doi: 10.1109/IWAT.2009.4906891URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=4906891&isnumber=4906863>

Tolani, H.; Eberspächer, M.A.; Eibert, T.F.; , "Composite Right/Left-Handed Leaky Wave Antenna with structurally non-periodic unit cell arrangement," Antennas and Propagation Conference (LAPC), 2010 Loughborough , vol., no., pp.165-168, 8-9 Nov. 2010doi: 10.1109/LAPC.2010.5666240URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5666240&isnumber=5665995>

Yuan, Q.; Chen, Z.; Otto, S.; Held, S.; Solbach, K.; Erni, D.; Rennings, A.; , "MetaBeam: Multi-layer CRLH antennas for 24 GHz sensor applications based on low cost PCBs," Microwave Conference (GeMIC), 2011 German , vol., no., pp.1-4, 14-16 March 2011URL: <http://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=5760758&isnumber=5760651>

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine planare Antennenanordnung und ein Verfahren zum Erzeugen einer elektromagnetischen Welle mittels einer planaren Antennenanordnung.

[0002] Antennenanordnungen werden im Allgemeinen zum Senden und Empfangen von elektrischen Signalen verwendet. Dazu wird eine beispielsweise eine linear polarisierte elektromagnetische Welle von der Antenne abgestrahlt oder empfangen.

[0003] Antennenanordnungen in planarer Bauweise werden häufig verwendet, um zu gewährleisten, dass die Antennen nicht direkt sichtbar sind. Ferner können planare Antennenanordnungen in Baugruppen verwendet werden, in denen aufgrund von Platzmangel eine Miniaturisierung der Bauelemente notwendig ist. Solche Baugruppen können beispielsweise als Satellitenkommunikationsgerät, Kommunikationsgerät, Mobilfunkgeräte und Mobilcomputer ausgebildet und in Flugzeugen/Fahrzeugen aufgenommen sein. In Fahrzeugen können Antennenanordnungen als Abstandssensoren oder zum Erfassen von Objekten, beispielsweise von Verkehrsschildern, verwendet werden.

[0004] Radarsysteme sowie Kommunikationssysteme mit Antennen für linear polarisierte Wellen haben jedoch den Nachteil, dass aufgrund der linearen Polarisation eine genaue Ausrichtung der Antennen nötig ist, da ansonsten im Fall von zwei orthogonalen linear polarisierten Antennen keine Leistung empfangen werden kann. Mit zirkularer Polarisation kann zumindest immer ein Teil der Leistung einer linear polarisierten Antenne empfangen werden.

[0005] Bei Radarsystemen können Objekte schlechter detektiert werden, wenn sie in der Polarisations Ebene nur eine geringe Ausdehnung aufweisen. Beispielsweise kann ein vertikaler Metallischer Mast von einer horizontal polarisierten Welle schlechter erfasst werden als von einer vertikal polarisierten Welle.

[0006] Es ist eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine planare Antennenanordnung mit verbesserten Charakteristika bereitzustellen. Es ist ferner eine Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zum Erzeugen einer elektromagnetischen Welle mittels einer solchen planaren Antennenanordnung und eine Verwendung einer solchen planaren Antennenanordnung bereitzustellen, das bzw. die eine verbesserte Charakteristika aufweist.

[0007] Diese Aufgabe wird durch den Gegenstand der unabhängigen Ansprüche gelöst. Bevorzugte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen beschrieben.

[0008] Gemäß einem exemplarischen Aspekt der Erfindung wird eine planare Antennenanordnung bereitgestellt, mit zumindest einer Antennenzelle aufweisend ein erstes elektrisch leitendes Verbindungselement zum Zuführen von elektrischer Energie, ein zweites elektrisch leitendes Verbindungselement zum Abführen von elektrischer Energie, ein elektrisch leitendes Antennenelement zum Abstrahlen einer elektromagnetischen Welle, und eine Massefläche, die elektrisch isoliert zu dem ersten Verbindungselement, zu dem zweiten Verbindungselement und zu dem Antennenelement angeordnet ist, wobei sich das erste Verbindungselement und das zweite Verbindungselement entlang einer ersten Richtung erstrecken, wobei sich das Antennenelement ausgehend von dem ersten Verbindungselement und dem zweiten Verbindungselement entlang einer quer zu der ersten Richtung verlaufenden, zweiten Richtung erstreckt, wobei das erste Verbindungselement und das zweite Verbindungselement voneinander beabstandet angeordnet sind, wobei das erste Verbindungselement benachbart zu einer ersten Seite des Antennenelements angeordnet ist, wobei das zweite Verbindungselement benachbart zu einer, der ersten Seite gegenüberliegenden, zweiten Seite des Antennenelements angeordnet ist.

[0009] Gemäß einem weiteren exemplarischen Aspekt der Erfindung wird die Antennenanordnung zum Abstrahlen oder Empfangen zumindest einer elektromagnetischen Welle verwendet.

[0010] Gemäß einem weiteren exemplarischen Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren zum Erzeugen zumindest einer elektromagnetischen Welle mittels einer oben beschriebenen planaren Antennenanordnung bereitgestellt, wobei das Verfahren Zuführen von elektrischer Energie zu ein erstes elektrisch leitendes Verbindungselement einer Antennenzelle der Antennenanordnung, Abführen von elektrischer Energie aus einem zweiten elektrisch leitenden Verbindungselement der Antennenzelle der Antennenanordnung, und Abstrahlen einer elektromagnetischen Welle über ein elektrisch leitendes Antennenelement der Antennenzelle der Antennenanordnung aufweist.

[0011] Eine elektronische Vorrichtung weist eine oben beschriebene Antennenanordnung auf.

[0012] Ein Verfahren zum Herstellen einer oben beschriebenen Antennenanordnung weist Bereitstellen eines ersten elektrisch leitenden Verbindungselements zum Zuführen von elektrischer Energie, eines zweiten elektrisch leitenden Verbindungselements zum Abführen von elektrischer Energie, eines elektrisch leitenden Antennenelements zum Abstrahlen einer elektromagnetischen Welle, und eine Massefläche, die elektrisch isoliert zu dem ersten Verbindungselement, zu dem zweiten Verbindungselement und zu dem Antennenelement angeordnet ist, und

Anordnen des ersten Verbindungselements und des zweiten Verbindungselements und des Antennenelements auf, derart, dass sich das erste Verbindungselement und das zweite Verbindungselement entlang einer ersten Richtung erstrecken, wobei sich das Antennenelement ausgehend von dem ersten Verbindungselement und dem zweiten Verbindungselement entlang einer quer zu der ersten Richtung verlaufenden, zweiten Richtung erstreckt, wobei das erste Verbindungselement und das zweite Verbindungselement voneinander beabstandet angeordnet sind, wobei das erste Verbindungselement benachbart zu einer ersten Seite des Antennenelements angeordnet ist, wobei das zweite Verbindungselement benachbart zu einer, der ersten Seite gegenüberliegenden, zweiten Seite des Antennenelements angeordnet ist.

[0013] Im Kontext der vorliegenden Anmeldung kann der Begriff „planare Antennenanordnung“ insbesondere eine Antennenanordnung bezeichnen, die eine flächige oder Flachbauweise aufweisen kann. Insbesondere kann sich die Antennenanordnung in einer Ebene oder in nah zueinander beabstandeten Ebenen erstrecken.

[0014] Der Begriff „quer“ kann insbesondere eine nicht parallele Ausrichtung zweier Elemente bezeichnen. Insbesondere können die Elemente zueinander orthogonal ausgerichtet sein.

[0015] Der Begriff „das Antennenelement erstreckt sich ausgehend von dem ersten Verbindungselement und dem zweiten Verbindungselement“ kann insbesondere eine solche relative Anordnung der Verbindungselemente und des Antennenelements bezeichnen, bei der Seitenflächen der Verbindungselemente entlang der Richtung y und eine Seitenfläche des Antennenelements entlang der Richtung y entlang einer gemeinsamen Verbindungslinie der Seitenflächen angeordnet sind.

[0016] Gemäß den exemplarischen Aspekten der Erfindung kann die Antennenzelle mit zwei Schwingkreisen modelliert werden. Die Verbindungselemente entlang der ersten Richtung können in einem einfachen Ersatzschaltbild durch einen Serienschwingkreis dargestellt werden, der mit einem Parallelschwingkreis gekoppelt sein kann, der durch das Antennenelement in der zweiten Richtung gebildet werden kann. Bei einem Zuführen von elektrischer Energie in die Antennenzelle kann die Antennenzelle über die elektrischen Streufelder zwischen dem Antennenelement und den beiden Verbindungselementen, bzw. der Massefläche eine elektromagnetische Welle abstrahlen, die sich in einer Richtung ausbreiten kann, die quer zu der ersten Richtung und der zweiten Richtung ausgebildet sein kann. Eine Polarisationsrichtung der elektromagnetischen Welle kann dabei beliebig sein.

[0017] Folglich kann insbesondere die Antennenanordnung aufgrund der wenigen Bauteile einfach und kostengünstig hergestellt werden. Insbesondere kann die Antennenanordnung eine kompakte und einfache Bauweise aufweisen.

[0018] Im Folgenden werden exemplarische Ausführungsbeispiele der planaren Antennenanordnung beschrieben. Diese Ausführungsbeispiele gelten auch für das Verfahren zum Erzeugen einer elektromagnetischen Welle, die Verwendung, die elektronische Vorrichtung und das Verfahren zum Herstellen der Antennenanordnung.

[0019] Insbesondere kann sich das Antennenelement orthogonal zu dem ersten und dem zweiten Verbindungselement der Antennenzelle erstrecken, so dass eine Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle senkrecht zu dem Antennenelement besonders einfach definierbar ist. Somit ist je nach Beschaltung des Ausgangs der Antennenanordnung eine horizontale, vertikale oder zirkuläre Polarisation der abgestrahlten elektromagnetischen Welle erzielbar.

[0020] Insbesondere kann die Antennenzelle bezüglich der zweiten Richtung symmetrisch ausgebildet und bezüglich der ersten Richtung unsymmetrisch ausgebildet sein. Insbesondere kann die Antennenzelle bezüglich der zweiten Richtung spiegelsymmetrisch ausgebildet sein. Folglich kann eine konstruktive Bauweise der Antennenzelle und/oder der Antennenanordnung vereinfacht werden, wodurch Baukosten jeder gering sein können.

[0021] Insbesondere kann die Antennenanordnung als Flachbaugruppe in Leiterplattentechnologie oder in Mikrostreifentechnologie ausgebildet sein, so dass die Antennenanordnung besonders kompakt und/oder besonders kostengünstig mit bekannten Herstellungsfahren gefertigt werden kann.

[0022] In einer Ausführungsform weist die Antennenzelle ferner ein Dielektrikum auf, das sich benachbart zu und sich entlang der Massefläche erstreckt, wobei das erste Verbindungselement und das zweite Verbindungselement an einer ersten Seite des Dielektrikums angeordnet ist, und wobei das Antennenelement an einer weiteren, der ersten Seite gegenüberliegenden Seite des Dielektrikums angeordnet ist. Auf diese Weise kann die elektrisch leitenden Verbindungselemente von dem elektrisch leitenden Antennenelement mittels des Dielektrikums isoliert werden.

[0023] Insbesondere kann die zumindest eine Antennenzelle ein weiteres oder weitere Dielektrika aufweisen, die sich zwischen dem Dielektrikum und der Massefläche erstrecken und das elektrisch leitende Antennenelement und/oder die leitenden Ver-

bindungselemente von der Massefläche isolieren kann. Das leitende Antennenelement oder die Verbindungselemente können in einem Dielektrikum eingebettet sein, so dass weniger Dielektrika in der Antennenzelle vorhanden sein können.

[0024] Das Dielektrikum und/oder die weiteren Dielektrika können aus einem Material gebildet sein. Als Dielektrikum kann auch Luft dienen. Dies kann beispielsweise realisiert werden, indem eine Trägerstruktur mit isolierende(n) Abstandshalterelementen zwischen den Verbindungselementen, der Massefläche und dem Antennenelement vorgesehen sein können.

[0025] In einer weiteren Antennenanordnung sind das erste Verbindungselement und das Antennenelement teilweise überlappend angeordnet, und das zweite Verbindungselement und das Antennenelement sind teilweise überlappend angeordnet. Insbesondere kann das Antennenelement T-förmig mit einem ersten und einem zweiten Abschnitt ausgebildet sein, wobei ein Abschnitt des Antennenelements mit dem ersten und zweiten Verbindungselement teilweise überlappen kann. Dadurch kann eine kapazitive Kopplung des ersten und zweiten Verbindungselements und des Antennenelements bewirkt werden, so dass die zugeführte Energie auf das Antennenelement übertragen werden kann, um von dort als elektromagnetische Welle abgestrahlt zu werden.

[0026] In einer weiteren Ausführungsform sind das erste Verbindungselement und das zweite Verbindungselement an einer freiliegenden oberen Seite des Dielektrikums angeordnet, und das Antennenelement ist an einer unteren Seite des Dielektrikums angeordnet.

[0027] In einer weiteren Ausführungsform sind das erste Verbindungselement und das zweite Verbindungselement an einer unteren Seite des Dielektrikums angeordnet, und das Antennenelement ist an einer freiliegenden oberen Seite des Dielektrikums angeordnet.

[0028] Beide Ausführungsformen ermöglichen eine Schichtstruktur der Antennenzelle und können besonders einfach und kostengünstig mittels Mikrostreifen- und/oder Leiterplattentechnologie realisiert werden.

[0029] In einer weiteren Ausführungsform sind das erste Verbindungselement, das zweite Verbindungselement und das Antennenelement in einer Ebene angeordnet oder erstrecken sich in der Ebene, die benachbart zu der Massefläche angeordnet ist. Dadurch kann das Antennenelement besonders kostengünstig ausgebildet sein, indem die Verbindungselemente und das Antennenelement gleichzeitig als (insbesondere einstückige) Schicht hergestellt wer-

den können. Bei dieser Ausführungsform kann lediglich ein Dielektrikum die elektrisch leitenden Verbindungselemente und das elektrisch leitende Antennenelement von der Massefläche isolieren.

[0030] In einer weiteren Ausführungsform beträgt ein Abstand zwischen einem dem Antennenelement abgewandten Ende des ersten Verbindungselements und einem dem Antennenelement abgewandten Ende des zweiten Verbindungselements höchstens $\lambda/2$, insbesondere weniger als $\lambda/2$, insbesondere weniger als $\lambda/4$. Auf diese Weise kann eine elektrisch kurze Antennenzelle bereitgestellt werden. Hierbei handelt es sich um Antennenzellen die einen Phasenbezug zwischen Eingang und Ausgang von 0 Grad bei der Mittenfrequenz über quasi-konzentrierte Elemente (Induktivitäten und Kapazitäten) realisiert und als effektives Medium gesehen werden kann.

[0031] Die englischsprachige Literatur spricht hier von „periodic leaky-wave antenna, where $n = 0$, the fundamental mode is radiating“.

[0032] Die normierte Längenbezeichnung λ bezieht sich auf die geführte Wellenlänge im Material (Luft oder Dielektrikum) und berücksichtigt eine effektive Permittivität (ϵ effektiv) die sich aus dem planaren Aufbau der geschichteten Materialien und der jeweiligen Leitungsgeometrie bestimmt. Als Frequenz zur Bestimmung der Wellenlänge λ ist die Mittenfrequenz zu wählen, bei dem ein Verbund von Antennenelementen quer zur ersten und quer zur zweiten Richtung (Broadside) abstrahlt.

[0033] In einer weiteren Ausführungsform beträgt ein Abstand zwischen einem dem Antennenelement abgewandten Ende der ersten Verbindungselements und einem dem Antennenelement abgewandten Ende des zweiten Verbindungselements zwischen $\lambda/2$ und $1,5 \lambda$. Hierbei handelt es sich um Antennenzellen die einen Phasenbezug zwischen Eingang und Ausgang von 360 Grad über eine Leitung der Länge λ realisiert. Die englischsprachige Literatur spricht hier von „periodic leaky-wave antenna, where the $n = -1$ space harmonic is radiating“.

[0034] Insbesondere kann eine Länge des Antennenelements in der zweiten Richtung etwa $\lambda/2$ betragen, um eine Leitungstransformation (offenes Ende transformiert über $\lambda/2$ Leitung) zu nutzen, welches ein Parallelschwingkreisverhalten an dem, dem offenen Ende gegenüberliegenden Ende aufweist.

[0035] Insbesondere kann eine Breite des Antennenelements (eine Ausdehnung in der ersten Richtung) von etwa $\lambda/30$ bis λ betragen. Über die Breite des Antennenelements kann die

Intensität der Abstrahlung die eine Polarisation in der zweiten Richtung hat eingestellt werden. Dieses kann genutzt werden, um die erste der beiden Bedingungen für Zirkulare Polarisation (1. Amplitudengleichheit zwei orthogonaler elektrischer Felder, die 2. ebenfalls 90 Grad Phasen verschoben sind) einzustellen. Der 90 Grad Phasenversatz in der zweiten Bedingung kann sich automatisch aufgrund der Antennenanordnung einstellen, mit anderen Worten: Der 90 Grad Phasenversatz in 2. stellt sich automatisch aufgrund der Schaltung ein.

[0036] Insbesondere können die angegebenen Werte für die Abstände und/oder die Längen in einem Intervall liegen, das durch den speziellen angegebenen Wert minus etwa 20 % und durch den speziellen angegebenen Wert plus etwa 20 % gebildet werden kann.

[0037] In einer weiteren Ausführungsform weist die Antennenanordnung eine Vielzahl von Antennenzellen auf, wobei die Antennenzellen entlang der zueinander identischen ersten Richtungen zueinander benachbart angeordnet sind, und wobei das zweite Verbindungselement jeder Antennenzelle elektrisch leitend mit dem ersten Verbindungselement einer benachbarten Antennenzelle verbunden ist. Auf diese Weise kann eine Abstrahlfläche der Antennenanordnung erhöht und damit eine verbesserte Richtwirkung der Antenne erzielt werden.

[0038] Insbesondere kann die Antennenanordnung zwischen 1 und 20 Antennenzellen, insbesondere zwischen 20 und 40 Antennenzellen, weitere insbesondere zwischen 40 und 60 Antennenzellen, aufweisen. Insbesondere kann die Antennenanordnung genau 5, genau 10 oder genau 15 Antennenzellen aufweisen.

[0039] Insbesondere können alle Antennenzellen bezüglich der Bauweise gleich ausgebildet sein, um einen Entwurf/Herstellung der Antennenanordnung zu vereinfachen. Insbesondere kann bei einer solchen Antennenanordnung eine exponentielle Antennenaperturbelegung im Leckwellen-Betrieb bereitgestellt werden.

[0040] Insbesondere kann zumindest eine Antennenzelle der Antennenanordnung bezüglich der übrigen Antennenzellen unterschiedliche Abmessungen aufweisen und dadurch mit unterschiedlicher Gewichtung abstrahlen, um eine Antennenaperturbelegung gezielt zu synthetisieren und das Antennenrichtdiagramm für eine spezielle Anwendung zu optimieren.

[0041] In einer weiteren Ausführungsform weist die Antennenanordnung einen elektrisch offenen Abschluss auf, der mit dem zweiten Verbindungselement der in den ersten Richtungen gesehen letz-

ten Antennenzelle verbunden ist, zum Erzeugen einer linear polarisierten elektromagnetischen Welle, die sich von zumindest einer Antennenzelle in einer Richtung ausbreitet, die quer zur ersten Richtung und zur zweiten Richtung verläuft, und entlang der zweiten Richtung polarisiert ist. Hierbei kann ein Leerlauf der Antennenzelle bewirkt (wobei nur die parallel Resonatoren Energie führen und nicht die Serien Resonatoren) werden, und die sich in den Verbindungselementen der Antennenzellen ausbreitende Energie entspricht der Überlagerung von einer hin- und rücklaufenden Wanderwellen, welches eine Stehwelle auf der Antennenanordnung zu Folge hat. Die abgestrahlte Welle kann folglich als eine bezüglich der ersten und zweiten Richtung, die senkrecht aufeinander stehen können, vertikal linear polarisierte (Richtung 2) elektromagnetische Welle ausgebildet sein. Dieser Effekt ist eine schmalbandige Resonanzerscheinung.

[0042] In einer weiteren Ausführungsform weist die Antennenanordnung einen elektrischen Kurzschluss auf, der mit dem zweiten Verbindungselement der in den ersten Richtungen gesehen letzten Antennenzelle verbunden ist, zum Erzeugen einer linear polarisierten elektromagnetischen Welle, die sich von zumindest einer Antennenzelle in einer Richtung ausbreitet, die quer zur ersten Richtung und zur zweiten Richtung verläuft, und entlang der ersten Richtung polarisiert ist. Hierbei kann ein Kurzschluss der Antennenzelle bewirkt werden, und die gespeicherte Energie ist in den Parallelschwingkreisen gespeichert. Die abgestrahlte Welle kann als horizontal linear (Richtung 1) polarisierte elektromagnetische Welle ausgebildet sein. Dieser Effekt ist eine schmalbandige Resonanzerscheinung.

[0043] Insbesondere kann die Antennenanordnung in den beiden zuvor genannten Ausführungsformen die elektromagnetische, linear polarisierte Welle aus einer Ebene, die die erste Richtung und die zweite Richtung aufweist, heraus abstrahlen. Die Polarisationsrichtungen der mittels dieser beiden Ausführungsformen der Antennenanordnung kann orthogonal zueinander stehen.

[0044] In einer weiteren Ausführungsform weist die Antennenanordnung einen elektrischen Sumpf auf, der mit dem zweiten Verbindungselement der in den ersten Richtungen gesehen letzten Antennenzelle verbunden ist, zum Erzeugen einer zirkular polarisierten elektromagnetischen Welle, die sich von zumindest einer Antennenzelle quer zur zweiten Richtung verlaufend ausbreitet. Insbesondere kann die Polarisation der zirkular polarisierten Welle quer, insbesondere senkrecht, zur Ausbreitungsrichtung der elektromagnetischen Welle sein. Insbesondere kann sich die zirkular polarisierte Welle in einer Ebene ausbreiten, die quer zur zweiten Richtung verlaufen kann, und in einer Ebene, die die erste und zweite Richtung

aufweisen kann, zirkular polarisiert sein kann. Der Begriff „Sumpf“ kann insbesondere einen Abschluss oder eine Terminierung bezeichnen, der die Antennenanordnung, die einen aufgrund ihrer Bauweise vorgegeben Wellenwiderstand aufweisen kann, reflexionsfrei abschließen kann. Die abgestrahlte Welle ist dabei eine zirkular polarisierte elektromagnetische Welle. Ein Sumpf kann insbesondere zumindest einen Widerstand aufweisen. Die zirkular polarisierte Welle kann dabei breitbandiges Verhalten aufweisen. Daher kann ein „beam-steering“ (engl. für „Strahl-Steuerung“) Effekt erreicht werden, d.h., dass in einem Winkel um die bevorzugte Ausbreitungsrichtung, das ist 90 Grad zur Ebene der Antennenanordnung, die abgestrahlte Welle auffächert. Der Winkel des Fächers ist dabei von der Arbeitsfrequenz des in die Antennenanordnung eingespeisten Signales abhängig.

[0045] In einer weiteren Ausführungsform weist die Antennenanordnung ein Schaltelement auf, das geeignet ist, zwischen zumindest zwei Abschlüssen ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus dem elektrisch offenen Abschluss, dem elektrischen Kurzschluss und dem elektrischen Sumpf zu schalten. Insbesondere kann das Schaltelement zwischen allen drei Abschlüssen umschalten, so dass die Antennenanordnung je nach dem operativ aktiv verbundenen elektrischen Abschluss elektromagnetischen Wellen unterschiedlicher Richtungen und/oder Polarisationen ausstrahlen kann. Insbesondere kann die Antennenanordnung, wie oben beschreiben, eine horizontal linear polarisierte, eine vertikal linear polarisierte oder eine zirkular polarisierte Welle abstrahlen. Folglich kann die Antennenanordnung gleichzeitig vielseitig verwendet werden.

[0046] In einer weiteren Ausführungsform weist die Antennenanordnung ein Rückkopplungselement zum phasensynchronen Rückkoppeln von elektrischer Energie aus einer in den ersten Richtungen gesehen letzten Antennenzelle in eine in den ersten Richtungen gesehen ersten Antennenzelle auf. Eine elektrisch kurze Antennenanordnung (also wenn die Antennenanordnung wenige Antennenzellen aufweisen kann) kann bewirken, dass nicht die gesamte eingespeiste elektrische Energie in die abgestrahlte elektromagnetische Welle umgewandelt werden kann, sondern dass ein Anteil der Energie als Verlustwärme im Sumpf abgeführt werden kann. Durch die phasengleiche Rückkopplung kann die am Ausgang der Antennenanordnung ankommende Restenergie wieder am Eingang der Antennenanordnung in diese Antennenanordnung zurück eingespeist werden, womit die Energieeffizienz der Antennenanordnung erhöht werden kann.

[0047] In einer weiteren Ausführungsform ist die elektrische Energie selektiv an dem ersten Verbindungselement der in den ersten Richtungen gese-

hen ersten Antennenzelle oder an dem zweiten Verbindungselement der in den ersten Richtungen gesehen letzten Zelle zuführbar, zum Erzeugen von entweder einer ersten elektromagnetischen Welle mit einer zirkularen Polarisation oder einer zweiten elektromagnetischen Welle mit einer zirkularen Polarisation, deren Polarisationsrichtung entgegengesetzt zu der Polarisationsrichtung der ersten elektromagnetischen Welle gerichtet ist. Es kann somit je nach Zuführungsrichtung der Energie bezüglich der Ausrichtung des Antennenelements eine sogenannte Left-Handed-Circular polarisierte (LHCP) Welle oder eine sogenannte Right-Handed-Circular polarisierte (RHCP) Welle erzeugt werden. Insbesondere kann diese Ausführungsform auch ohne Rückkopplungselement in der Antennenanordnung verwirklicht sein.

[0048] Für beide vorgenannten Ausführungsformen kann das Rückkopplungselement einen Rat-Race-Coupler (Engl. für „Ringkoppler“) aufweisen, um die phasengleiche Rückkopplung der Restenergie zu bewirken und/oder selektiv eine links händisch zirkular polarisierte (LHCP)- oder eine rechts händisch zirkular polarisierte (RHCP)-Welle in der Antennenanordnung zu generieren.

[0049] Die Antennenanordnung kann im Radar-Bereich und/oder im Bereich der Telekommunikation verwendet werden. Betriebsfrequenzbereiche der Antennenanordnung, die der zugeführten Energie zugeordnet sein kann, können in einem Frequenzbereich um etwa 24 Gigahertz (insbesondere für den Radar-Bereich), um etwa 60 Gigahertz (insbesondere für die Telekommunikation) oder um etwa 77–79 Gigahertz (insbesondere für den Radar-Bereich) angesiedelt sein.

[0050] Die Antennenanordnung kann zum Abstrahlen einer elektromagnetischen Welle und zum Empfangen einer elektromagnetischen Welle verwendet werden. Im letzteren Fall kann an den Verbindungselementen der Antennenzelle und/oder Antennenanordnung ein elektrisches Signal erzeugt werden, deren Größe von einer Intensität der empfangenen elektromagnetischen Welle abhängen kann.

[0051] Insbesondere kann die Antennenanordnung in einer elektronischen Vorrichtung aufgenommen sein, die als Kommunikationsgerät oder Radargerät ausgebildet sein kann.

[0052] Im Folgenden wird die Erfindung anhand von bevorzugten Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Figuren der Zeichnung weiter im Detail beschrieben. Es zeigen:

[0053] [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung in Draufsicht beziehungsweise eine weitere Darstellung in Draufsicht auf eine Antennenzelle einer

planaren Antennenanordnung gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0054] [Fig. 3](#) einen Querschnitt durch die Antennenzelle in [Fig. 1](#) und [Fig. 2](#).

[0055] [Fig. 4](#), [Fig. 5](#) und [Fig. 6](#) Ersatzschaltbilder der Antennenzelle in [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#).

[0056] [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#) eine schematische Darstellung von unten beziehungsweise eine weitere Darstellung von unten auf eine Antennenzelle einer planaren Antennenanordnung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0057] [Fig. 9](#) einen Querschnitt durch die Antennenzelle in [Fig. 7](#) und [Fig. 8](#).

[0058] [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#) eine schematische Darstellung in Draufsicht beziehungsweise eine weitere Darstellung in Draufsicht auf eine Antennenzelle einer planaren Antennenanordnung gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

[0059] [Fig. 12](#) einen Querschnitt durch die Antennenzelle in [Fig. 10](#) und [Fig. 11](#).

[0060] [Fig. 13](#) eine schematische Darstellung in Draufsicht auf eine Antennenanordnung gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung, die an ihrem Ende elektrisch offen ist.

[0061] [Fig. 14](#) eine schematische Darstellung in Draufsicht auf eine Antennenanordnung gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung, die an ihrem Ende elektrisch kurzgeschlossen ist.

[0062] [Fig. 15](#) eine schematische Darstellung in Draufsicht auf eine Antennenanordnung gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung, die an ihrem Ende mit einem Wellenwiderstand abgeschlossen ist, der dem Wellenwiderstand der Antennenanordnung entspricht.

[0063] [Fig. 16](#) eine schematische Darstellung in Draufsicht auf eine Antennenanordnung gemäß einem siebten Ausführungsbeispiel der Erfindung, die an ihrem Ende ein Schaltelement aufweist.

[0064] [Fig. 17](#) eine schematische Draufsicht auf eine Antennenanordnung gemäß einem achten Ausführungsbeispiel der Erfindung, die ein Rückkopplungselement an ihren Ende aufweist.

[0065] [Fig. 18](#) eine schematische Draufsicht auf eine Antennenanordnung gemäß einem neunten Ausführungsbeispiel der Erfindung, die ein weiteres Rückkopplungselement auf ihren Ende aufweist.

[0066] Die Darstellungen in den Zeichnungen sind schematisch und nicht maßstabsgetreu.

[0067] Die in [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) gezeigte Antennenzelle **100** einer Antennenanordnung **105** gemäß einem ersten Ausführungsbeispiels ist in Mikrostreifentechnologie ausgeführt und weist ein erstes elektrisch leitendes Verbindungselement **110**, ein zweites elektrisch leitendes Verbindungselement **120** und ein elektrisch leitendes Antennenelement **130** auf.

[0068] Das erste und zweite Verbindungselement **110**, **120** erstrecken sich entlang einer ersten Richtung y , und das Antennenelement **130** erstreckt sich entlang einer zweiten Richtung x , die senkrecht zur ersten Richtung y verläuft. Das Antennenelement **130** weist einen Querschnitt mit einer wesentlich größeren Länge als Breite auf, wohingegen die Flächen der beiden Verbindungselemente **110**, **120** etwa quadratisch ausgebildet sind. Längsachsen der Verbindungselemente **110**, **120** weisen in dieselbe Richtung y und eine Längsachse des Antennenelements **130** ist orthogonal zu den Längsachsen der Verbindungselemente **110**, **120** orientiert.

[0069] Das Antennenelement ist T-förmig ausgebildet und weist einen parallel zu den Längsachsen der Verbindungselemente **110**, **120** verlaufenden ersten Abschnitt **135** und einem sich orthogonal dazu erstreckenden zweiten Abschnitt **136** auf. Die ersten und zweiten Abschnitte **135**, **136** des Antennenelements **130** weisen etwa eine gleiche Fläche in einer Ebene, die durch die Richtungen y und x definiert ist, auf.

[0070] Die Verbindungselemente **110**, **120** sind auf einer Oberseite **151** einer ersten Dielektrizitätsschicht **150** angeordnet. An einer Unterseite **152** dieser Dielektrizitätsschicht **150** ist das Antennenelement **110** in einer Verklebeschicht **160** eingebettet, welche eine Dielektrizitätskonstante aufweist, die etwa der der ersten Dielektrizitätsschicht **150** entspricht. Die Verklebeschicht **160** dient zur Aufnahme des Antennenelements **130** und zum Verkleben der ersten Dielektrizitätsschicht **150** mit einer zweiten Dielektrizitätsschicht **170**, die auf einer Massefläche **140** zwischen der Massefläche **140** und der Verklebeschicht **160** angeordnet ist.

[0071] Das erste Verbindungselement **110** ist benachbart zu einer ersten Außenseite **132** des Antennenelements **130** angeordnet, und das zweite Verbindungselement **120** ist benachbart zu einer, der ersten Seite **132** gegenüberliegenden, zweiten Außenseite **131** des Antennenelements **130** angeordnet. Die beiden Verbindungselemente **110**, **120** sind jeweils symmetrisch zu und teilweise überlappend über dem Antennenelement **130** angeordnet, und das Antennenelement **130** ragt nur zu einer Seite entlang der Richtung x unter den Verbindungselementen **110**, **120** heraus.

[0072] Die beiden Verbindungselemente **110**, **120** sind durch einen dazwischen liegenden Spalt **180** getrennt (Fig. 3).

[0073] Entlang einer Richtung z, die senkrecht zu den Richtungen y und x verläuft, sind die Verbindungselemente **110**, **120** und das Antennenelement **130** dünn ausgebildet und weisen eine zueinander etwa gleiche Dicke und eine bezüglich der Dielektrika **150**, **160**, **170** geringere Dicke auf.

[0074] Die Gesamtbreite der Antennenzelle **100** in der Richtung y wird durch die Längen der Verbindungselemente **110**, **120** und einer Breite des zwischen den beiden Verbindungselementen **110**, **120** angeordneten Spaltes **180** definiert und beträgt, gemessen zwischen einem Ende **111** des ersten Verbindungselements **110** und einem Ende **112** des zweiten Verbindungselements höchstens $\lambda/4$. Hierbei bezeichnet λ die geführte Wellenlänge in der Antennenzelle **100**. Eine Länge der Antennenzelle **100** in der Richtung x wird durch die Länge des zweiten Abschnitts **136** des Antennenelements **130** definiert und beträgt $\lambda/2$.

[0075] Die erste Dielektrizitätsschicht **150** ist aus RO 4350 mit einer Dielektrizitätskonstante von 3,66 ausgebildet. Die Verklebeschicht **160** ist aus RO4450 mit einer Dielektrizitätskonstante von 3,66 ausgebildet. Die zweite Dielektrizitätsschicht **170** ist aus RO4350 mit einer Dielektrizitätskonstante von 3,66 ausgebildet.

[0076] Es wird angemerkt, dass der Übersichtlichkeit halber in Fig. 1 und Fig. 2 lediglich die beiden Verbindungselemente **110**, **120** und das Antennenelement **130** dargestellt sind, und die übrigen Elemente **140**, **150**, **160**, **170** der Antennenzelle sind weggelassen worden.

[0077] Fig. 4, Fig. 5 und Fig. 6 zeigen Ersatzschaltungen **190a**–**c** der Antennenzelle **100** in Fig. 1 bis Fig. 3. In Fig. 4 ist die Antennenzelle **100** in perspektivischer Ansicht dargestellt. Die Elemente der Ersatzschaltung **190a** sind jeweils mit Pfeilen den physikalischen Elementen der Antennenzelle **100** zugeordnet. Die Verbindungselemente **110**, **120** sind mittels Widerständen TL23 modelliert. Zwischen den Verbindungselementen **110**, **120** und dem ersten Abschnitt **135** des Antennenelements **130** ist eine Kapazität C23 gebildet, während der zweiten Abschnitt **136** des Antennenelements **130** mit einem Widerstand TL1 und einer Kapazität Rsh modelliert ist. Der Spalt **180** zwischen den beiden Verbindungselementen **110**, **120** ist einem Widerstand Rse und einer Kapazität C1 zugeordnet. Somit weist die Antennenzelle **100** einen Schwingkreis auf, der entlang der Verbindungselemente **110**, **120** einen Serienzweig und einen dazu parallel geschalteten Shuntzweig aufweist, der durch die kapazitive Kopplung des ersten und zweiten Verbindungselements **110**, **120** und des

Antennenelements **130** und durch den zweiten Abschnitt **136** des Antennenelements **130** gebildet ist.

[0078] Fig. 5 zeigt ein äquivalentes Ersatzschaltung **190b**, das zur vereinfachten Modellierung der Antennenzelle **100** anstatt der Widerstände TL23 Induktivitäten L1, anstatt der kapazitiven Kopplung mittels C1 und Rse eine Kapazität C1 und anstatt der Serienschaltung des Widerstands TL1 und der Kapazität Rsh eine Parallelschaltung von einer Kapazität C4 mit einer Induktivität L2 aufweist. U1 und U2 bezeichnen Potentiale an den gemeinsamen Knotenpunkten der Induktivität L1, der Kapazität C1 und der Kapazität C23.

[0079] Fig. 6 zeigt die Ersatzschaltung **190c**, die sich nach einer Transformation des Kapazitätsdreiecks C23, C1, C23 der Ersatzschaltungen **190a**, **b** in Fig. 4 und Fig. 5 in einen Kapazitätsstern Ca, Cb, Cc ergibt. Die Kapazitäten Ca, Cb, Cc entsprechen Metal Insulator Metal (engl. für „Metal Isolator Metal“, MIM)-Kondensatoren. Die Ersatzschaltung **190c** weist folglich zwei Reihenschwingkreise (L1 – Ca, L1 – Cb) und ein Parallelschwingkreis (C4 – L2) auf. In und In + 1 bezeichnen Ströme, die der Reihenschaltung aus Induktivität L1 und Kapazität Ca zugeführt bzw. von der Reihenschaltung aus Kapazität Cb und Induktivität L1 abgeführt werden.

[0080] Für die mathematischen Berechnungen bezeichnen In und In + 1 Ströme, die sich für eine Einheitszelle einstellen, die periodisch unendlich kaskadiert ist.

[0081] In Fig. 6 sind zwei Maschen Mesh 1 und Mesh 2 eingezeichnet, mit denen eine Maschenstromanalyse oder ein Knotenpotentialverfahren angewandt werden kann.

[0082] Die Netzwerkanalyse mit Maschenstromanalyse oder Knotenpotentialverfahren belegt, dass sich zwischen den Spannungen U12 = U1 – U2 und U3 (Bezug auf Masse) eine Phasendifferenz von 90 Grad bildet (Winkel von U12/U3 = 90 Grad). Wobei die Spannung U12 einem elektrischen Feld welches in erster Richtung Polarisiert ist entspricht und die Spannung U3 einem Feld, das in der zweiten Richtung polarisiert ist. Dieser Phasenbezug ist Frequenzunabhängig und ermöglicht so eine breitbandig zirkular polarisierte Abstrahlung.

[0083] In einem Betrieb der Antennenanordnung **105** in den Fig. 1 bis Fig. 6 wird elektrische Energie in Form von Spannung dem ersten Verbindungselement **110** zugeführt, die kapazitiv an das zweite Verbindungselement **120** und das Antennenelement **130** übertragen wird. Aufgrund der Stromausbreitung in den ersten und zweiten Verbindungselementen **110**, **120** und dem Antennenelement **130** wird von dem den ersten und zweiten Verbindungselementen **110**,

120 und dem Antennenelement **130** eine links zirkular polarisierte Welle entlang der Richtung z abgestrahlt.

[0084] Eine in [Fig. 7](#) bis [Fig. 9](#) gezeigte Antennenzelle **100** einer Antennenanordnung **105** gemäß dem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung ist ebenfalls in Mikrostreifentechnologie ausgeführt und ähnlich zu der Antennenzelle **100** in [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) ausgebildet. Allerdings sind Verbindungselemente **110**, **120** an einer Unterseite **152** einer ersten Dielektrizitätsschicht **150** in eine Verklebeschicht **160** eingebettet, während das Antennenelement **130** auf einer Oberseite **151** der ersten Dielektrizitätsschicht **150** angeordnet ist. Die Verbindungselemente **110**, **120** weisen einen rechteckigen Querschnitt auf und sind entlang einer Richtung y länger ausgebildet als entlang einer Richtung x . Beide Verbindungselemente **110**, **120** weisen gleiche Dimensionen auf. Ein Querschnitt des Antennenelements **130** ist etwa quadratisch. Die Gesamtlänge der Antennenzelle **100** in der Richtung y , gemessen von Außenseiten der Verbindungselemente **110**, **120**, die entgegengesetzt zu den benachbarten Seiten **131**, **132** des Antennenelements **130** angeordnet sind, beträgt λ . Die Gesamtlänge der Antennenzelle **100** in der Richtung x , gemessen entlang der Längserstreckung des Antennenelements **130**, beträgt $\lambda/3$.

[0085] Ein Betrieb der Antennenanordnung **105** ist ähnlich zu einem Betrieb der Antennenanordnung **105** von Antennenzellen **100** in [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#). Allerdings wird die erzeugte zirkular polarisierte elektromagnetische Welle nur über das Antennenelement **130** abgestrahlt.

[0086] Die in [Fig. 10](#) bis [Fig. 12](#) gezeigte Antennenzelle **100** einer Antennenanordnung **105** gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel ist ebenfalls in Mikrostreifentechnologie ausgeführt. Die Verbindungselemente **110**, **120** sind direkt an gegenüberliegenden Seiten **131**, **132** des Antennenelements **130** angeordnet und berühren diese. Die Verbindungselemente **110**, **120** und das Antennenelement **130** erstrecken sich in einer Ebene, die durch zueinander senkrechte Richtungen y und x definiert wird. Ein Dielektrikum **150** ist zwischen den Verbindungselementen **110**, **120** und dem Antennenelement **130** angeordnet und trennt die Ebene des Antennenelements **130** und der Verbindungselemente **110**, **120** von einer Ebene einer Massefläche **140**. Somit ist weder das Antennenelement **130** noch die Verbindungselemente **110**, **120** in ein Dielektrikum eingelassen, und es entfällt auch die Notwendigkeit einer Verklebeschicht.

[0087] Die Verbindungselemente **110**, **120** sind in der Richtung y wesentlich länger als in der Richtung x ausgebildet. Die Länge der Verbindungselemente **110**, **120** in der Richtung y ist wesentlich kürzer als eine Länge des Antennenelements **130** in der Richtung

y und x . Die Länge des Antennenelements **130** in der Richtung y ist größer als die Länge des Antennenelements **130** in der Richtung x . Die Gesamtlänge der Antennenzelle **100** in der Richtung y beträgt λ , und die Gesamtlänge der Antennenzelle **100** in der Richtung x beträgt $\lambda/4$.

[0088] Ein Betrieb der Antennenanordnung **105** ist ähnlich zu einem Betrieb der Antennenanordnung **105** der Antennenzellen **100** in [Fig. 1](#) bis [Fig. 12](#). Die erzeugte zirkular polarisierte elektromagnetische Welle wird über das Antennenelement **130** abgestrahlt.

[0089] In [Fig. 13](#) ist eine Antennenanordnung **105** gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung die eine Vielzahl von Antennenzellen **100**, **101**, **102** aufweist, dargestellt. Die Antennenzellen **100**, **101**, **102** sind identisch zu der Antennenzelle **100** in [Fig. 1](#) bis [Fig. 3](#) ausgebildet und entlang der zueinander identischen Richtungen y der Antennenzellen **100**, **101**, **102** angeordnet. Die Antennenelemente **130** erstrecken sich ausgehend von den Verbindungselementen **110**, **120** jeweils in dieselbe Richtung x . Die Antennenanordnung **105** ist über das erste Verbindungselement **110** der in der Richtung y gesehen ersten Antennenzelle **101**, die ein erstes Ende der Antennenanordnung **105** darstellt, mit Energie speisbar und weist an ihren zweiten Ende, das durch das zweite Verbindungselement **120** der in der Richtung y letzten Antennenzelle **102** gebildet wird, einen elektrisch offenen Abschluss **190** auf.

[0090] In einem Betrieb der Antennenanordnung **105** wird durch das Zuführen oder Einspeisen der Energie in die Antennenanordnung **105** aufgrund von elektrischen Feldkomponenten E_x , E_y , die in [Fig. 4](#) gezeigt sind, eine elektromagnetische Welle erzeugt, die sich in der Richtung z ausbreitet und entlang der Richtung x linear polarisiert ist. Ein Pfeil **191** bezeichnet die Polarisationsrichtung der elektromagnetischen Welle. Diese ist in diesem Ausführungsbeispiel eine vertikale Polarisation.

[0091] In [Fig. 14](#) ist eine Antennenanordnung **105** gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel gezeigt, die ähnlich zu der Antennenanordnung in [Fig. 13](#) ausgebildet ist. Allerdings weist die Antennenanordnung **105** an ihrem zweiten Ende einen Kurzschluss **192** als elektrischen Abschluss auf.

[0092] In einem Betrieb der Antennenanordnung **105** wird durch das Zuführen oder Einspeisen der Energie in die Antennenanordnung **105** eine elektromagnetische Welle erzeugt, die sich in einer Richtung z ausbreitet und entlang einer Richtung y linear polarisiert ist. Ein Pfeil **191** bezeichnet die Polarisationsrichtung der elektromagnetischen Welle. Diese ist in diesem Ausführungsbeispiel eine horizontale Polarisation.

[0093] In [Fig. 15](#) ist eine Antennenanordnung **105** gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel gezeigt, die ähnlich zu der Antennenanordnung in [Fig. 13](#) ausgebildet ist. Allerdings weist die Antennenanordnung **105** an ihrem zweiten Ende einen reflexionsfreien Sumpf **194** als elektrischen Abschluss auf, der einen Wellenwiderstand aufweist, der dem Wellenwiderstand der übrigen Antennenanordnung **105**, also der Antennenzellen **100–102**, entspricht.

[0094] In Betrieb der Antennenanordnung **105** wird durch das Zuführen der Energie in die Antennenanordnung **105** eine elektromagnetische Welle erzeugt, die sich in der Richtung z ausbreitet und in der Ebene, die senkrecht auf der Richtung z steht und die Richtungen y und x aufweist, zirkular polarisiert ist.

[0095] Die zirkular polarisierte Welle weist dabei breitbandiges Verhalten auf. Daher kann ein „beam-steering“ (engl. für „Strahl-Steuerung“) Effekt erreicht werden, bei dem die abgestrahlte Welle in Winkeln um die Ausbreitungsrichtung, was 90 Grad zur Ebene der Antennenanordnung **105** ist, auffächert. Der Winkel des Fächers ist dabei von der Arbeitsfrequenz des in die Antennenanordnung **105** eingespeisten Signales abhängig.

[0096] [Fig. 16](#) zeigt eine Antennenanordnung **105** gemäß einem siebten Ausführungsbeispiel, die ähnlich zu der Antennenanordnung **105** in [Fig. 13](#) bis [Fig. 15](#) ausgebildet ist. Allerdings weist die Antennenanordnung **105** anstatt der elektrischen Abschlüsse **190**, **192**, **194** an ihrem zweiten Ende ein Schaltelement **196** und einen elektrisch offenen Abschluss **190**, einen Kurzschluss **194** und einen reflexionsfreien Abschluss **194** auf. Das Schaltelement **196** ist dazu eingerichtet, wahlweise zwischen dem elektrisch offenen Abschluss **190**, dem elektrischen Kurzschluss **192** oder dem reflexionsfreien Widerstand **194** umzuschalten.

[0097] In einem Betrieb der Antennenanordnung **105** wird durch das Zuführen der Energie in die Antennenanordnung **105** eine elektromagnetische Welle erzeugt, die je nach Art des Abschlusses **190**, **192**, **194** in der mit Bezug auf die Antennenanordnung **105** in [Fig. 13](#) bis [Fig. 15](#) beschriebenen Art ausgebildet ist.

[0098] [Fig. 16](#) zeigt eine Antennenanordnung **105** gemäß einem achten Ausführungsbeispiel, die ähnlich zu der Antennenanordnung **105** in [Fig. 15](#) ausgebildet ist, allerdings ein Rückkopplungselement **198** zwischen dem zweiten Verbindungselement **120** einer letzten Zelle **102** und einem reflexionsfreien Abschluss **194** aufweist. Das Rückkopplungselement **198** ist als Rat-Race-Coupler oder -Koppler ausgebildet, der dazu eingerichtet ist, die Einspeiseenergie in die Antennenanordnung **105** am Verbindungselement **110** der ersten Antennenzelle **101** einzu-

leiten und die am anderen zweiten Ende der Antennenanordnung **105** ausgeführte Restenergie am Verbindungselement **120** der letzten Antennenzelle **102** aufzunehmen und phasensynchron wieder in die Antennenanordnung **105** zurück zu koppeln. Diese Restenergie würde sonst in einem Betrieb der Antennenanordnung **105** in Verlustwärme in dem Abschluss **194** umgewandelt werden. Ein Anteil der der Antennenanordnung **105** zugeführten Energie kann innerhalb der Antennenanordnung **105** als Wärme dem System verloren gehen. Damit kann die Energieeffizienz der Antennenanordnung **105** gesteigert werden.

[0099] [Fig. 16](#) zeigt eine Antennenanordnung **105** gemäß einem neunten Ausführungsbeispiel, die ähnlich zu der Antennenanordnung in [Fig. 15](#) ausgebildet ist, allerdings keinen reflexionsfreien Abschluss aufweist, der mit einem Rat-Race-Coupler **198** verbunden ist. Elektrische Energie ist selektiv über das Verbindungselement **110** der ersten Zelle **110** oder über das zweite Verbindungselement **120** der letzten Zelle **102** über den Rat-Race-Coupler **198** zuführbar.

[0100] Dadurch können in einem Betrieb der Antennenanordnung **105** abwechselnd zwei zirkular polarisierte Wellen erzeugt werden, die sich beide entlang der Richtung z ausbreiten, wobei deren zirkulare Polarisierung zueinander entgegengesetzt ist. Wird die Energie über das erste Verbindungselement **110** der ersten Zelle **101** zugeführt, so wird eine links zirkular polarisierte Welle erzeugt, während bei einem Zuführen der Energie über das zweite Verbindungselement **110** der letzten Zelle **102** eine rechts zirkular polarisierte Welle erzeugt wird.

[0101] Ergänzend ist darauf hinzuweisen, dass „aufweisend“ keine anderen Elemente oder Schritte ausschließt und die Verwendung des Artikels „eine“ oder „ein“ keine Vielzahl ausschließt. Ferner sei darauf hingewiesen, dass Merkmale oder Schritte, die mit Verweis auf eines der obigen Ausführungsbeispiele beschrieben worden sind, auch in Kombination mit anderen Merkmalen oder Schritten anderer oben beschriebener Ausführungsbeispiele verwendet werden können. Bezugszeichen in den Ansprüchen sind nicht als Einschränkung anzusehen.

Patentansprüche

1. Planare Antennenanordnung (**105**), mit zumindest einer Antennenzelle (**100**), aufweisend:
 - ein erstes elektrisch leitendes Verbindungselement (**110**) zum Zuführen von elektrischer Energie,
 - ein zweites elektrisch leitendes Verbindungselement (**120**) zum Abführen von elektrischer Energie,
 - ein elektrisch leitendes Antennenelement (**130**) zum Abstrahlen einer elektromagnetischen Welle, und

– eine Massefläche (140), die elektrisch isoliert zu dem ersten Verbindungselement (110), zu dem zweiten Verbindungselement (120) und zu dem Antennenelement (130) angeordnet ist,

wobei sich das erste Verbindungselement (110) und das zweite Verbindungselement (120) entlang einer ersten Richtung (y) erstrecken,

wobei sich das Antennenelement (130) ausgehend von dem ersten Verbindungselement (110) und dem zweiten Verbindungselement (120) entlang einer quer zu der ersten Richtung (y) verlaufenden, zweiten Richtung (x) erstreckt,

wobei das erste Verbindungselement (110) und das zweite Verbindungselement (120) voneinander beabstandet angeordnet sind,

wobei das erste Verbindungselement (110) benachbart zu einer ersten Seite (132) des Antennenelements (130) angeordnet ist,

wobei das zweite Verbindungselement (120) benachbart zu einer, der ersten Seite (131) gegenüberliegenden, zweiten Seite (131) des Antennenelements (130) angeordnet ist.

2. Antennenanordnung (105) nach Anspruch 1, wobei die Antennenzelle (100) ferner aufweist:

– ein Dielektrikum (150), das sich benachbart zu und sich entlang der Massefläche (140) erstreckt,

wobei das erste Verbindungselement (110) und das zweite Verbindungselement (120) an einer ersten Seite (151, 152) des Dielektrikums (150) angeordnet ist, und wobei das Antennenelement (130) an einer weiteren, der ersten Seite (151, 152) gegenüberliegenden Seite (152, 151) des Dielektrikums (150) angeordnet ist.

3. Antennenanordnung (105) nach Anspruch 2, wobei das erste Verbindungselement (110) und das Antennenelement (130) teilweise überlappend angeordnet sind, und wobei das zweite Verbindungselement (120) und das Antennenelement (130) teilweise überlappend angeordnet sind.

4. Antennenanordnung (105) nach Anspruch 2 oder 3, wobei das erste Verbindungselement (110) und das zweite Verbindungselement (120) an einer freiliegenden oberen Seite (151) des Dielektrikums (150) angeordnet sind, und wobei das Antennenelement (130) an einer unteren Seite (152) des Dielektrikums (150) angeordnet ist.

5. Antennenanordnung (105) nach Anspruch 2 oder 3, wobei das erste Verbindungselement (110) und das zweite Verbindungselement (120) an einer unteren Seite (152) des Dielektrikums (150) angeordnet sind, und wobei das Antennenelement (130) an einer freiliegenden oberen Seite (151) des Dielektrikums (150) angeordnet ist.

6. Antennenanordnung (105) nach Anspruch 1, wobei das erste Verbindungselement (110), das

zweite Verbindungselement (120) und das Antennenelement (130) in einer Ebene angeordnet sind, die benachbart zu der Massefläche (140) angeordnet ist.

7. Antennenanordnung (105) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei ein Abstand zwischen einem dem Antennenelement (130) abgewandten Ende (111) des ersten Verbindungselements (110) und einem dem Antennenelement (130) abgewandten Ende (121) des zweiten Verbindungselements (120) höchstens $\lambda/2$, insbesondere weniger als $\lambda/2$, insbesondere weniger als $\lambda/4$, beträgt.

8. Antennenanordnung (105) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei ein Abstand zwischen einem dem Antennenelement (130) abgewandten Ende (111) des ersten Verbindungselements (110) und einem dem Antennenelement (130) abgewandten Ende (121) des zweiten Verbindungselements (120) zwischen $\lambda/2$ und $1,5 \lambda$ beträgt.

9. Antennenanordnung (105) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, mit einer Vielzahl von Antennenzellen (100), wobei die Antennenzellen (100) entlang der zueinander identischen ersten Richtungen (y) zueinander benachbart angeordnet sind, und wobei das zweite Verbindungselement (120) jeder Antennenzelle (100) elektrisch leitend mit dem ersten Verbindungselement (110) einer benachbarten Antennenzelle (100) verbunden ist.

10. Antennenanordnung (105) nach Anspruch 9, mit einem elektrisch offenen Abschluss (190), der mit dem zweiten Verbindungselement (120) der in den ersten Richtungen (y) gesehen letzten Antennenzelle (102) verbunden ist, zum Erzeugen einer linear polarisierten elektromagnetischen Welle, die sich von zumindest einer Antennenzelle (100) in einer dritten Richtung (z) ausbreitet, die quer zur ersten Richtung (y) und zur zweiten Richtung (x) verläuft, und entlang der zweiten Richtung (x) polarisiert ist.

11. Antennenanordnung (105) nach Anspruch 9 oder 10, mit einem elektrischen Kurzschluss (192), der mit dem zweiten Verbindungselement (120) der in den ersten Richtungen (y) gesehen letzten Antennenzelle (102) verbunden ist, zum Erzeugen einer linear polarisierten elektromagnetischen Welle, die sich von zumindest einer Antennenzelle (100) in einer dritten Richtung (z) ausbreitet, die quer zur ersten Richtung (y) und zur zweiten Richtung (x) verläuft, und entlang der ersten Richtung (y) polarisiert ist.

12. Antennenanordnung (105) nach einem der Ansprüche 9 bis 11, mit einem elektrischen Sumpf (194), der mit dem zweiten Verbindungselement (120) der in den ersten Richtungen (y) gesehen letzten Antennenzelle (102) verbunden ist, zum Erzeugen einer zirkular polarisierten elektromagnetischen Welle, die

sich von zumindest einer Antennenzelle (**100**) quer zur zweiten Richtung verlaufend (x) ausbreitet.

13. Antennenanordnung (**105**) nach einem der Ansprüche 9 bis 12, mit einem Schaltelement (**196**), das geeignet ist, zwischen zumindest zwei Abschlüssen ausgewählt aus einer Gruppe bestehend aus dem elektrisch offenen Abschluss (**190**), dem elektrischen Kurzschluss (**192**) und dem elektrischen Sumpf (**194**) zu schalten.

14. Antennenanordnung (**105**) nach einem der Ansprüche 9 bis 13, mit einem Rückkopplungselement (**198**) zum phasensynchronen Rückkoppeln von elektrischer Energie aus einer in den ersten Richtungen (y) gesehen letzten Antennenzelle (**102**) in eine in den ersten Richtungen (y) gesehen ersten Antennenzelle (**101**).

15. Antennenanordnung (**105**) nach einem der Ansprüche 9 bis 14, wobei die elektrische Energie selektiv an dem ersten Verbindungselement (**110**) der in den ersten Richtungen (y) gesehen ersten Antennenzelle (**101**) oder an dem zweiten Verbindungselement (**120**) der in den ersten Richtungen (y) gesehen letzten Zelle (**102**) zuführbar ist, zum Erzeugen von entweder einer ersten elektromagnetischen Welle mit einer zirkularen Polarisierung oder einer zweiten elektromagnetischen Welle mit einer zirkularen Polarisierung, deren Polarisierungsrichtung der Polarisierungsrichtung der ersten elektromagnetischen Welle entgegengesetzt gerichtet ist.

16. Verwendung einer Antennenanordnung (**105**) nach einem der Ansprüche 1 bis 15 zum Abstrahlen oder Empfangen zumindest einer elektromagnetischen Welle.

17. Verfahren zum Erzeugen einer elektromagnetischen Welle mittels einer planaren Antennenanordnung (**105**) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, wobei das Verfahren aufweist:

- Zuführen von elektrischer Energie zu einem ersten elektrisch leitenden Verbindungselement (**110**) zumindest einer Antennenzelle (**100**) der Antennenanordnung (**105**),
- Abführen von elektrischer Energie aus einem zweiten elektrisch leitenden Verbindungselement (**120**) der zumindest einen Antennenzelle (**100**) der Antennenanordnung (**105**), und
- Abstrahlen einer elektromagnetischen Welle über ein elektrisch leitendes Antennenelement (**130**) der zumindest einen Antennenzelle (**100**) der Antennenanordnung (**105**).

Es folgen 7 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

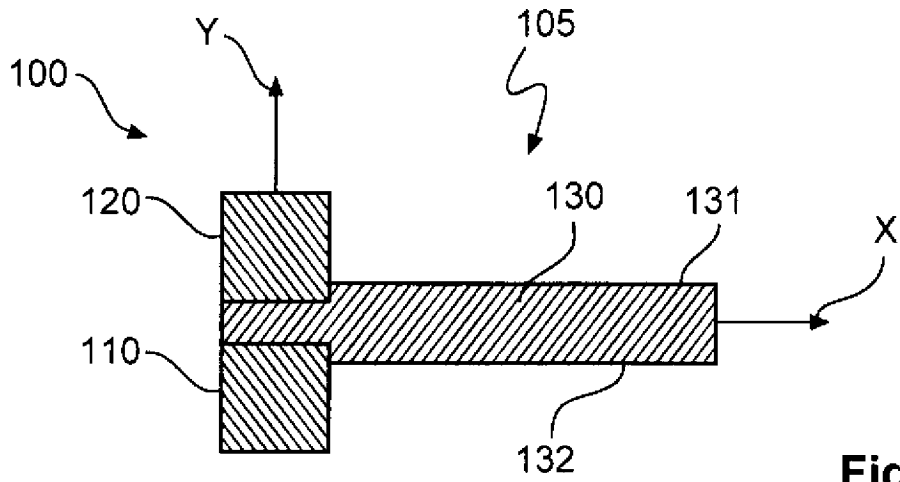


Fig. 1

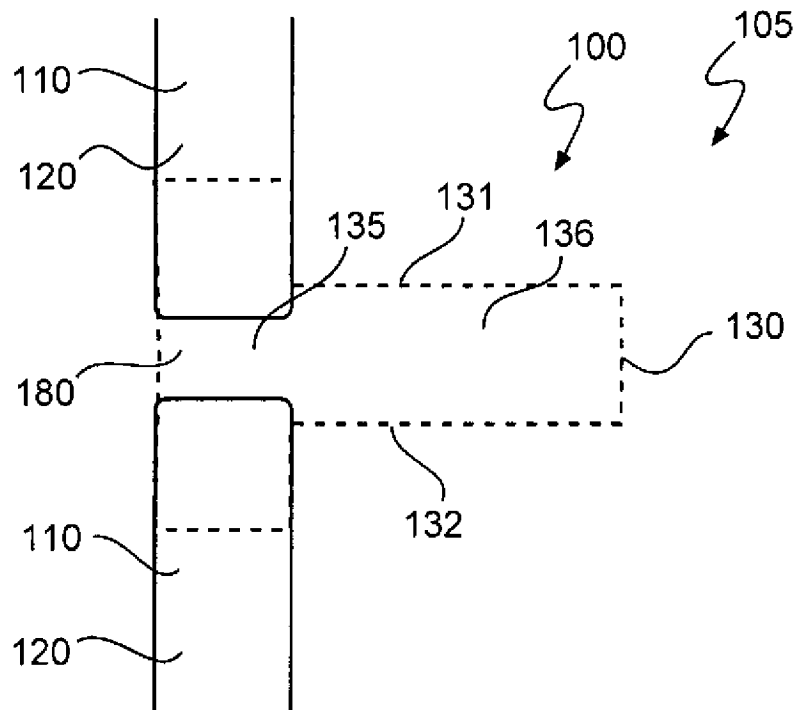


Fig. 2

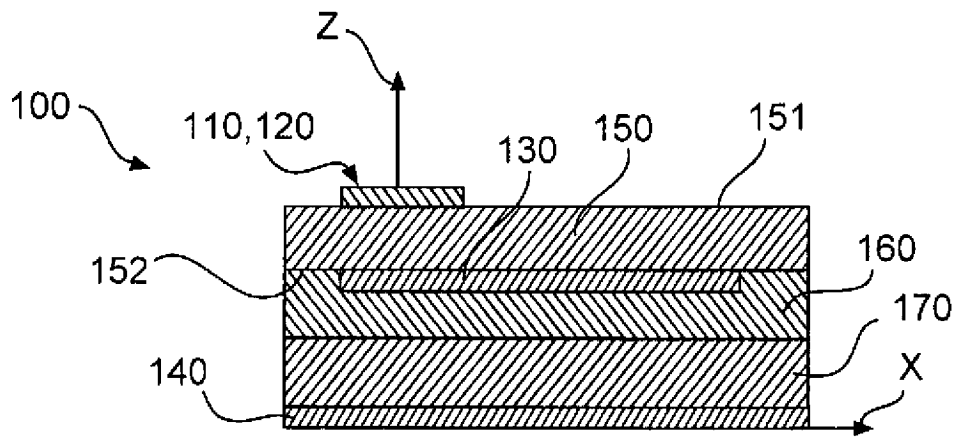


Fig. 3

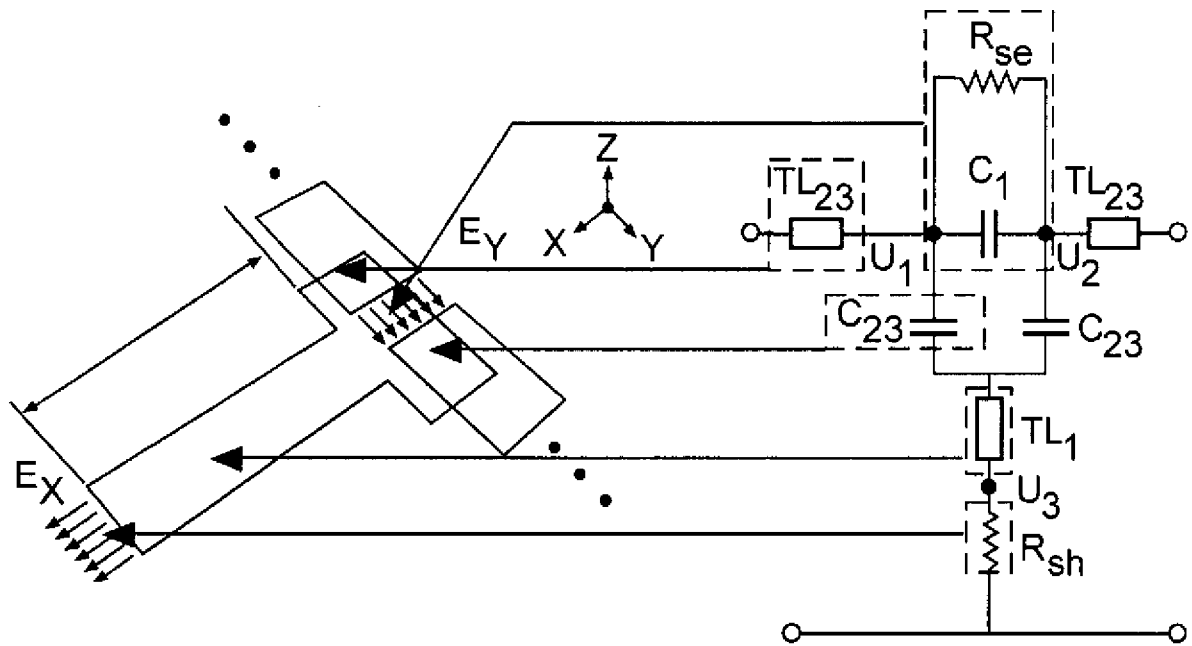


Fig. 4

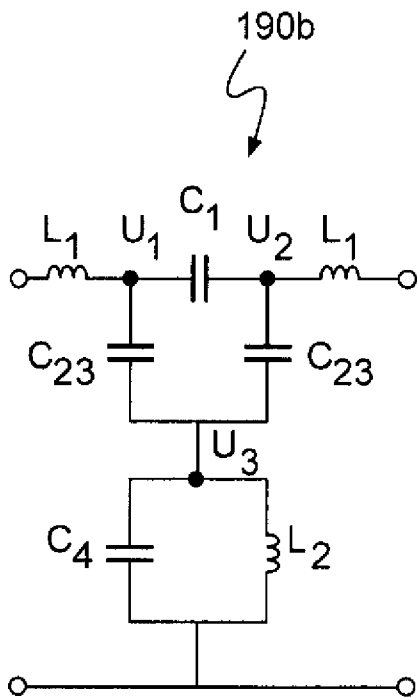


Fig. 5

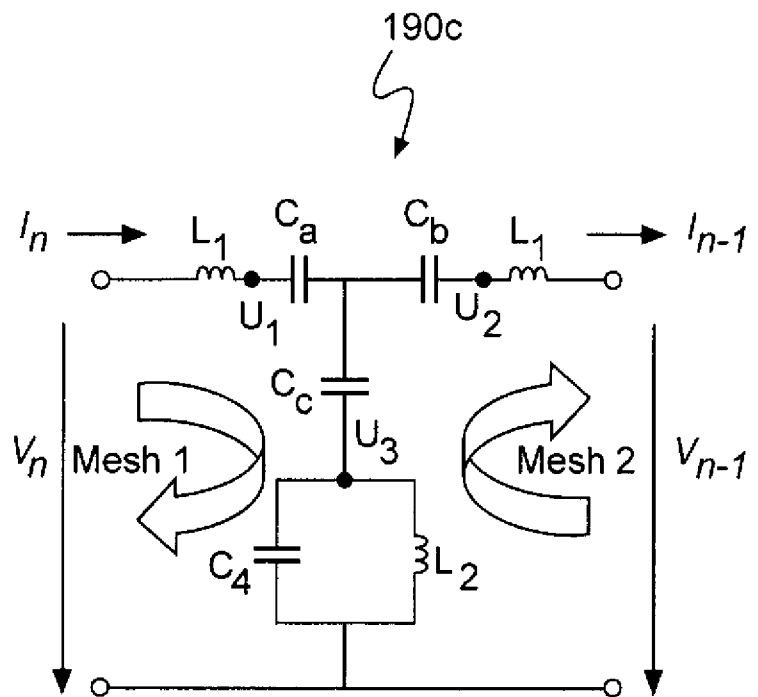
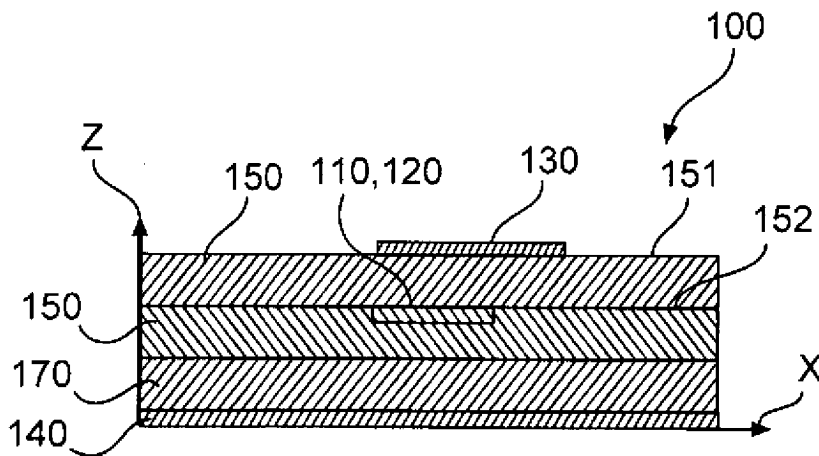
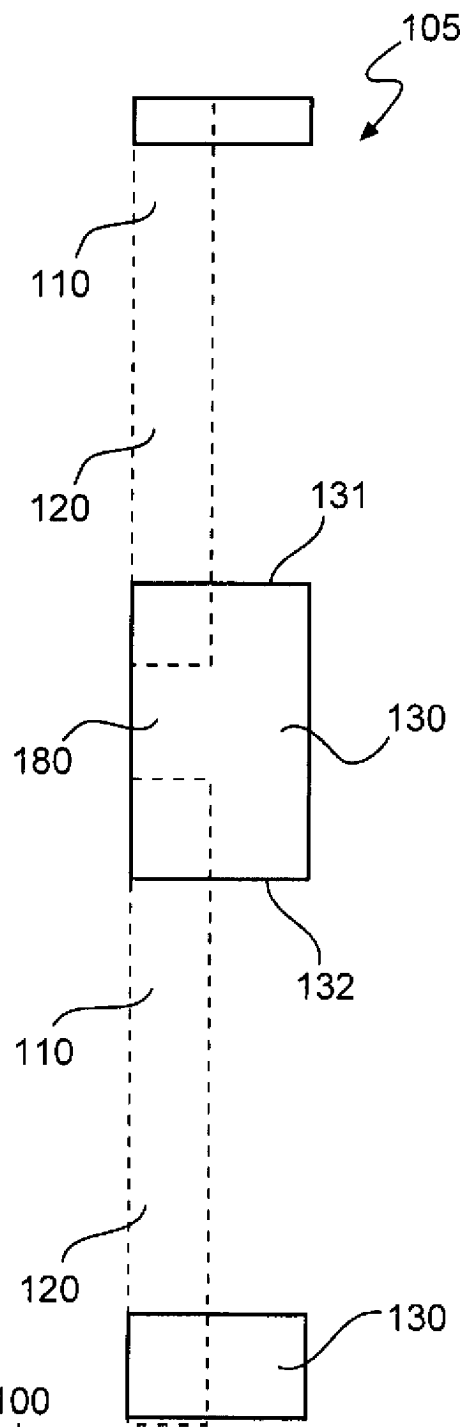
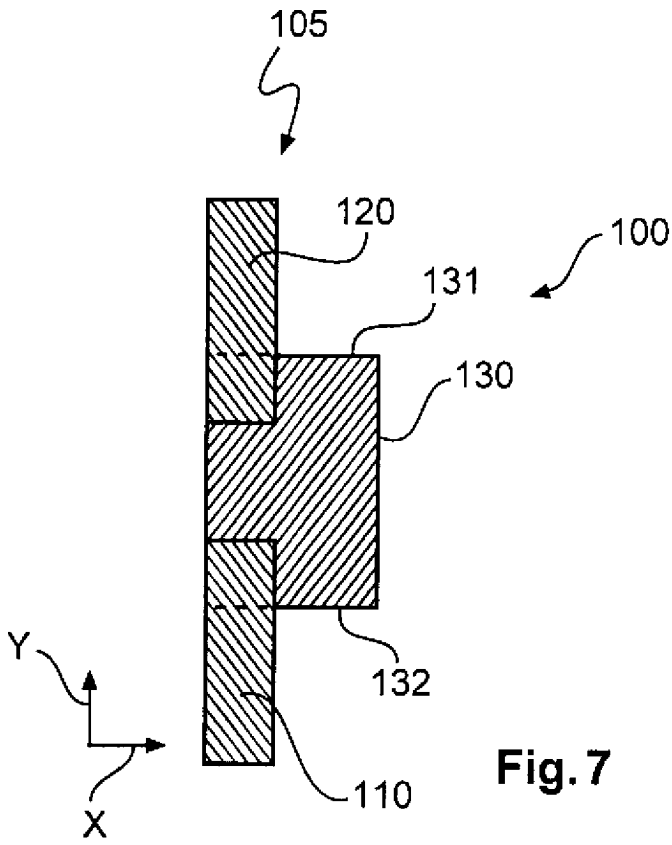


Fig. 6



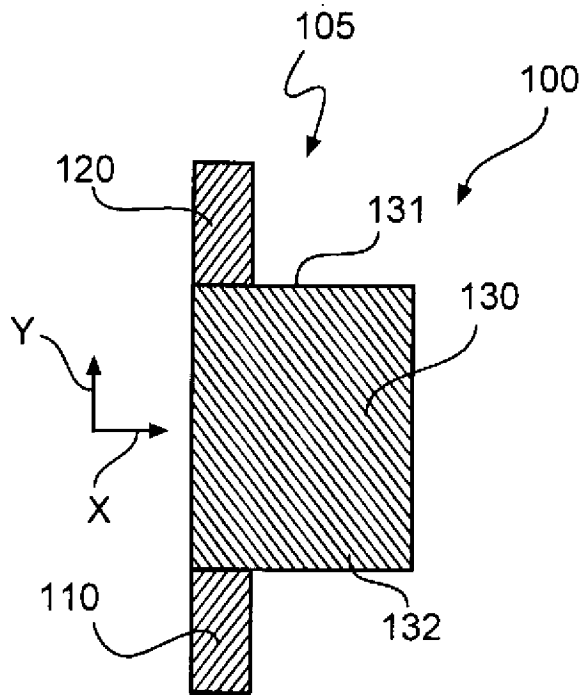


Fig. 10

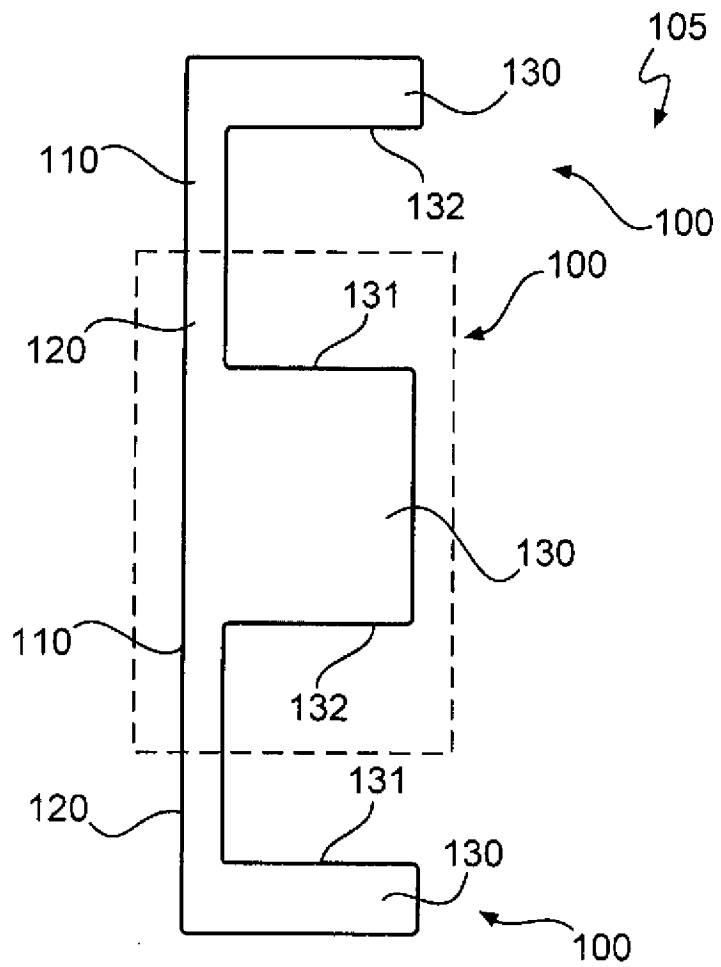


Fig. 11

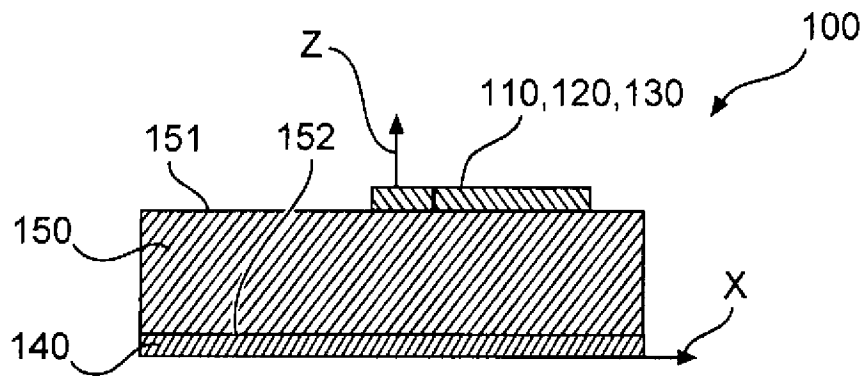


Fig. 12

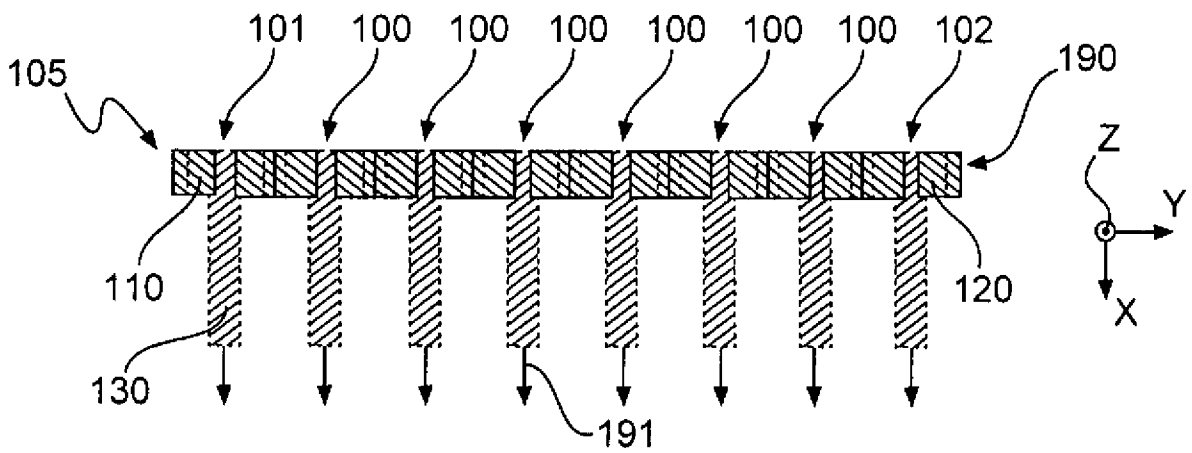


Fig. 13

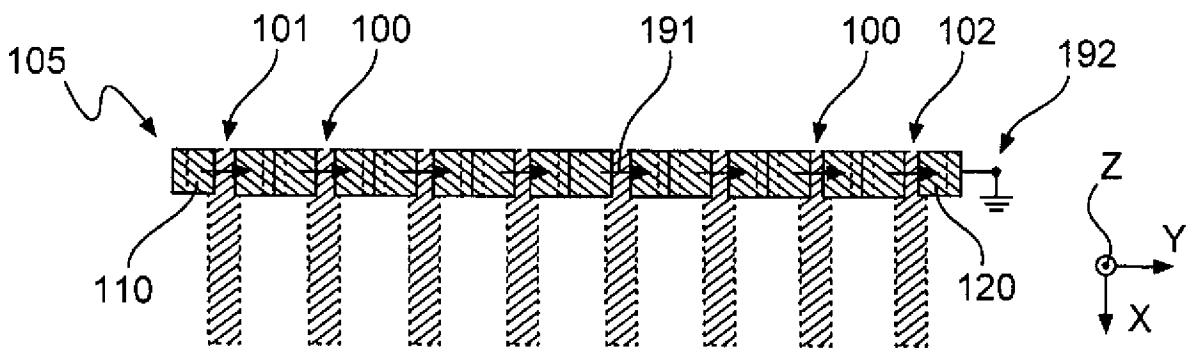


Fig. 14

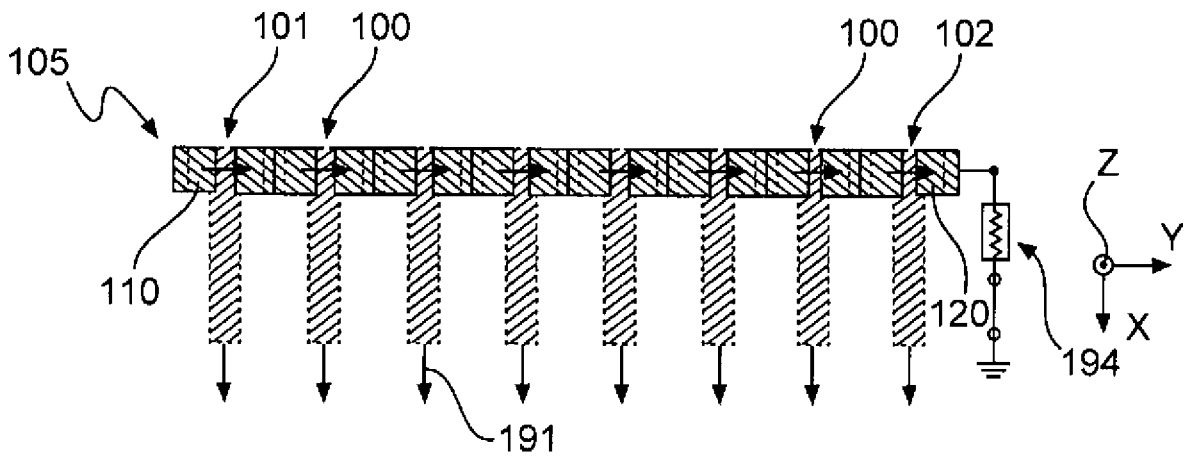


Fig. 15

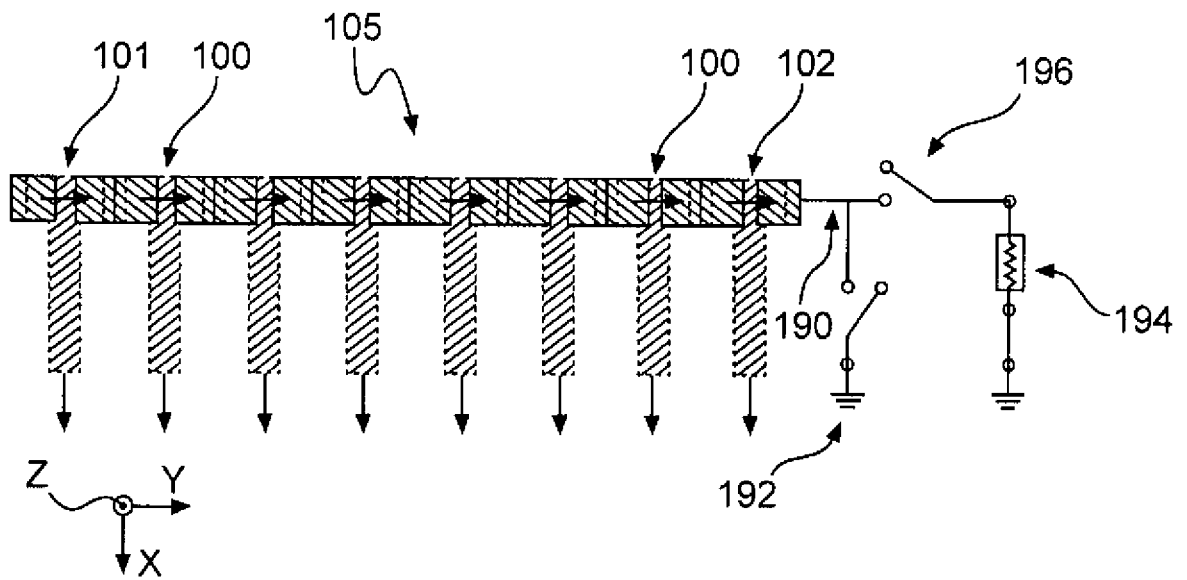


Fig. 16

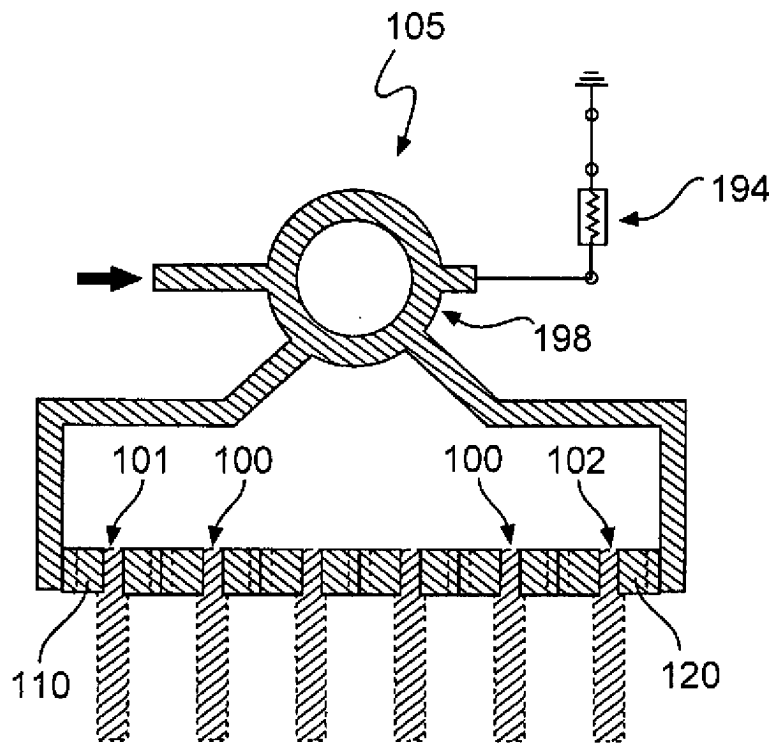


Fig. 17

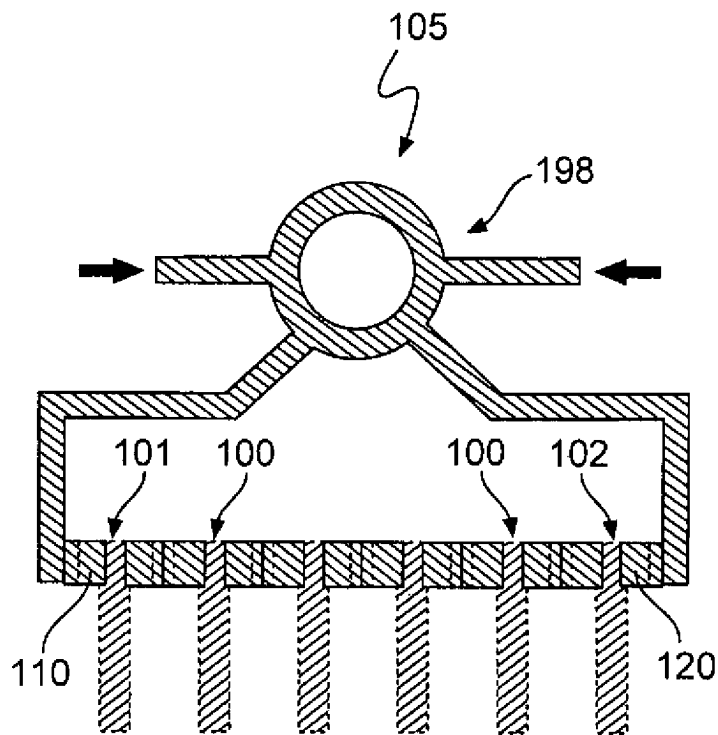


Fig. 18