



(10) **DE 10 2023 210 312 A1** 2025.04.24

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2023 210 312.5**

(22) Anmeldetag: **19.10.2023**

(43) Offenlegungstag: **24.04.2025**

(51) Int Cl.: **H01Q 21/08 (2006.01)**

(71) Anmelder:

IMST GmbH, 47475 Kamp-Lintfort, DE

(74) Vertreter:

**GILLE HRABAL Partnerschaftsgesellschaft mbB
Patentanwälte, 40593 Düsseldorf, DE**

(72) Erfinder:

**Arias Campo, Marta, Dr., 47058 Duisburg, DE;
Bruni, Simona, Dr., 47475 Kamp-Lintfort, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

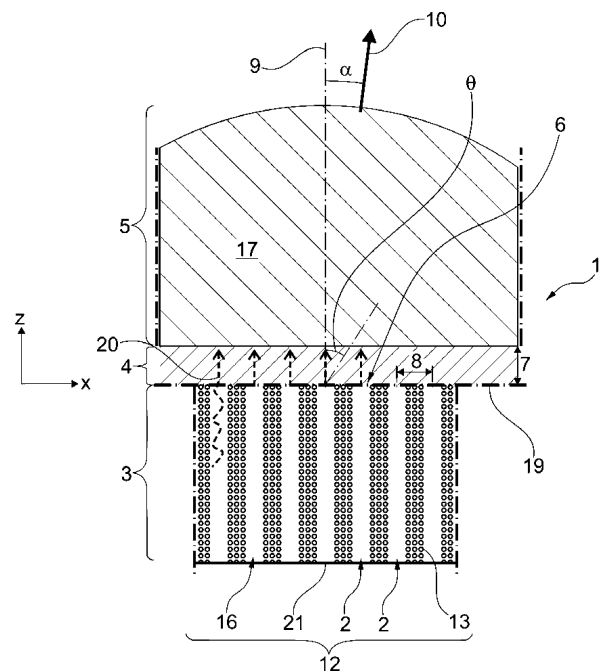
DE	10 2016 002 588	A1
US	2018 / 0 108 969	A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Senden von elektromagnetischer Strahlung im Gigahertz-Bereich mit einer Array-Antennenvorrichtung sowie Array-Antennenvorrichtung**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Senden von elektromagnetischer Strahlung (10) mit einer Frequenz im Gigahertz-Bereich mittels einer Array-Antennenvorrichtung (1), die eine Vielzahl von Antenneneinheiten (2) umfasst, wobei jede der Antenneneinheiten (2) eine Einzelstrahlung (20) abgibt und die Einzelstrahlung (20) der jeweiligen Antenneneinheiten (2) zusammen die elektromagnetische Strahlung (10) bildet, wobei die Antenneneinheiten (2) seitlich nebeneinander angeordnet sind und jeweils die Einzelstrahlung (20) überwiegend nach oben abgeben, wobei die Array-Antennenvorrichtung (1) mehrere, nach oben übereinander angeordnete Abschnitte umfasst, wobei ein unterer, erster Abschnitt (3) im Wesentlichen aus den nebeneinander angeordneten Antenneneinheiten (2) gebildet wird, wobei die nach oben abgegebene Einzelstrahlung (20) der jeweiligen Antenneneinheiten (2) einen sich von einer Oberseite (6) des ersten Abschnitts (3) mit einer Dicke (7) von mindestens $0,3 \lambda$ und/oder höchstens $0,7 \lambda$ nach oben erstreckenden zweiten Abschnitt (4) durchquert, wobei λ die mittlere Wellenlänge der Strahlung innerhalb des zweiten Abschnitts ist. Die Erfindung betrifft ferner eine entsprechende Array-Antennenvorrichtung. Es wird hierdurch ermöglicht, mehr Bauraum für aktive Bauelemente zwischen den Antenneneinheiten zu erhalten.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Senden von elektromagnetischer Strahlung mit einer Frequenz im Gigahertz-Bereich mittels einer Array-Antennenvorrichtung, die eine Vielzahl von Antenneneinheiten umfasst, wobei jede der Antenneneinheiten eine Einzelstrahlung mit einer mittleren Wellenlänge im Vakuum λ_0 abgibt und die Einzelstrahlung der jeweiligen Antenneneinheiten zusammen die elektromagnetische Strahlung bildet, wobei die Antenneneinheiten seitlich nebeneinander angeordnet sind und jeweils die Einzelstrahlung überwiegend nach oben abgeben, wobei die Array-Antennenvorrichtung mehrere, nach oben übereinander angeordnete Abschnitte umfasst, wobei ein unterer, erster Abschnitt im Wesentlichen aus den nebeneinander angeordneten Antenneneinheiten gebildet wird, die von einer mit der Masse verbundenen Metallfläche umgeben sind oder auf dieser liegen. Die Erfindung betrifft ferner eine entsprechende Array-Antennenvorrichtung.

[0002] Zum Senden von elektromagnetischer Strahlung im Gigahertz-Bereich weist eine übliche Array-Antennenvorrichtung mehrere nebeneinander angeordnete Antenneneinheiten auf, wobei jede der Antenneneinheiten eine Einzelstrahlung abgibt und die Einzelstrahlung der jeweiligen Antenneneinheiten zusammen die elektromagnetische Strahlung der Array-Antennenvorrichtung bildet.

[0003] Zwei benachbarte Antenneneinheiten weisen dabei einen Abstand auf, der üblicherweise kleiner oder gleich einer halben bis 0,6 Wellenlänge der von den Antenneneinheiten abgegebenen Einzelstrahlung ist. Die Wellenlänge bezieht sich dabei auf das Medium mit effektiver relativer Permittivität $\epsilon_{r, \text{medium}}$, das die Antenne einstrahlt ($\lambda_{\text{medium}} = \lambda_0 / \epsilon_{r, \text{medium}}^{0,5}$).

[0004] Der Grund hierfür liegt in der Vermeidung von sogenannten Gitterkeulen, durch die bei größeren Abständen der Antenneneinheiten normalerweise Strahlungsenergie in eine ungewünschte Richtung abgestrahlt und somit für die sogenannte Hauptkeule verloren ginge. Die Hauptkeule enthält die gesendete elektromagnetische Strahlung, die in die gewünschte Richtung ein Antennensignal der Array-Antennenvorrichtung an einen Empfänger übermittelt, z.B. zur Kommunikation und Datenübertragung. Zur Radar-Anwendung empfängt der Empfänger das Antennensignal in Form eines an einem Objekt reflektierten Echo-Signals.

[0005] Um insbesondere im Gigahertz-Bereich eine Strahlungsintensität für gewünschte Bandbreiten und Datenübertragungsraten zu erhalten, werden üblicherweise aktive Bauelemente eingesetzt. Die Abstände, die jedoch üblicherweise eingehalten wer-

den, um Gitterkeulen zu vermeiden, machen es schwierig bis unmöglich, hinreichend leistungsstarke, aktive Bauelemente für jedes Antennenelement bei Frequenzen im Gigahertzbereich (GHz-Bereich) zu integrieren. Während die Größe der Antennenspeisung und der Abstand zwischen den Antennenelementen mit der Frequenz abnehmen, nimmt die Größe der aktiven Bauelemente nicht in demselben Maße ab. Beispielsweise hat ein 8-Kanal-MMIC bei 28 GHz des Herstellers Anokiwave eine Größe von $4,25 \text{ mm} (= 0,4 \lambda_0) \times 5,35 \text{ mm} (= 0,5 \lambda_0)$, während ein 4-Kanal-MMIC bei 140 GHz der IHP GmbH eine Größe von $6,4 \text{ mm} (= 3 \lambda_0) \times 4,6 \text{ mm} (= 2 \lambda_0)$ hat. Das liegt daran, dass die Größe der Schaltkreise zwar grundsätzlich diesem Skalierungsfaktor folgen könnte, die Anschlusspads für die Chips aber nicht kleiner als eine bestimmte Mindestgröße sein können, um noch auf Standard-Leiterplattenträger montiert und angeschlossen werden zu können. Darüber hinaus muss der Abstand zwischen den Elementen üblicherweise um den Faktor $\epsilon_{r, \text{medium}}^{0,5}$ verringert sein, wenn das Array als Feed für eine Linse verwendet wird, wobei das Medium hier das Dielektrikum der Linse ist, was die Integration der aktiven Schaltung noch schwieriger macht.

[0006] Beispiele für bekannte Antennenvorrichtungen und Array-Antennenvorrichtungen mit den oben erläuterten Nachteilen sind US 8780012 B2; US 8937577 B2; M. Arias Campo et al., „On the Use of Fly's Eye Lenses with Leaky-Wave Feeds for Wideband Communications“, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 68, no. 4, pp. 2480-2493, April 2020; N. T. Nguyen et al., „Focal Array Fed Dielectric Lenses: An Attractive Solution for Beam Reconfiguration at Millimeter Waves“, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 59, no. 6, pp. 2152-2159, June 2011; and O. Yurduseven et al., „Wideband Dielectric Lens Antenna With Stable Radiation Patterns Fed by Coherent Array of Connected Leaky Slots“, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 62, no. 4, pp. 1895-1902, April 2014, CN110165403A.

[0007] Die vorgenannten, aus dem Stand der Technik bekannten Merkmale können einzeln oder in beliebiger Kombination mit einem der nachfolgend beschriebenen erfindungsgemäßen Gegenstände und Ausführungsformen kombiniert werden.

[0008] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein weiterentwickeltes Verfahren nebst Array-Antennenvorrichtung bereitzustellen.

[0009] Zur Lösung der Aufgabe dienen ein Verfahren gemäß dem Anspruch 1 sowie eine Array-Antennenvorrichtung für das Verfahren gemäß dem Nebenanspruch. Vorteilhafte Ausführungsformen ergeben sich aus den Unteransprüchen.

[0010] Ein erster Aspekt betrifft ein Verfahren zum Senden von elektromagnetischer Strahlung mit einer Frequenz im Gigahertz-Bereich mittels einer Array-Antennenvorrichtung, die eine Vielzahl von Antenneneinheiten umfasst. Bei dem Verfahren wird also eine elektromagnetische Strahlung mit einer Frequenz im Gigahertz-Bereich gesendet. Jede der Antenneneinheiten gibt eine Einzelstrahlung ab und die Einzelstrahlung der jeweiligen Antenneneinheiten zusammen bildet die elektromagnetische Strahlung. Die Antenneneinheiten sind seitlich nebeneinander angeordnet und geben jeweils die Einzelstrahlung überwiegend nach oben ab. Die Array-Antennenvorrichtung umfasst mehrere, nach oben übereinander angeordnete Abschnitte, wobei ein unterer, erster Abschnitt im Wesentlichen aus den nebeneinander angeordneten Antenneneinheiten gebildet wird. Insbesondere sind die Antenneneinheiten von einer Metallplatte umgeben oder liegen auf einer Metallplatte.

[0011] Die nach oben abgegebene Einzelstrahlung der jeweiligen Antenneneinheiten durchquert einen sich von einer Oberseite des ersten Abschnitts mit einer Dicke von mindestens $0,3 \lambda$ (mittlere Wellenlänge) und/oder höchstens $0,7 \lambda$ (mittlere Wellenlänge) nach oben erstreckenden zweiten Abschnitt, wobei λ die mittlere Wellenlänge der Strahlung innerhalb des zweiten Abschnitts ist. Die Wellenlänge bezieht sich dabei insbesondere auf das Medium des zweiten Abschnitts mit einer effektiven relativen Permittivität ϵ_r , zweiter Abschnitt ($\lambda_{\text{zweiter Abschnitt}} = \lambda_0 / \epsilon_r$, zweiter Abschnitt^{0,5}), wobei λ_0 wie oben erwähnt die mittlere Wellenlänge im Vakuum bezeichnet. Es wird auf diese Weise ermöglicht, einen besonders großen Bauraum für aktive Bauelemente zwischen den Antenneneinheiten zu erhalten.

[0012] Ein besonders großer Abstand zwischen den Antenneneinheiten, also jeweils zwischen zwei benachbarten Antenneneinheiten, kann somit vorgesehen werden, ohne einen nennenswerten Verlust an Strahlungsintensität des Antennensignals, das durch die elektromagnetische Strahlung übertragen wird, gegenüber den eingangs beschriebenen Antennenvorrichtungen des Stands der Technik zu erleiden bzw. ein Verlust im Vergleich zu dem eingangs erwähnten üblichen Abstand von bis zur halben Wellenlänge zwischen den Antenneneinheiten. Durch das Verfahren gemäß dem ersten Aspekt können die Antenneneinheiten mit einem Abstand größer oder deutlich größer als die halbe Wellenlänge angeordnet werden, sodass kann hinreichend Bauraum zum Integrieren von leistungsstarken, aktiven Bauelementen geschaffen wird, um besonders hohe Bandbreiten und Datenübertragungsraten realisieren zu können, auch z.B. bei Frequenzen > 25 GHz.

[0013] Insbesondere ist ein Intensitätsprofil oder Strahlungsprofil bevorzugt im Antennendiagramm für Kommunikationsanwendungen, zur Datenübermittlung und/oder für Radar-Anwendungen geeignet, wenn eine Gitterkeule oder mehrere unerwünschte Gitterkeulen kleiner als -10 oder besser -13 dB in Bezug auf das gewünschte Maximum der Hauptkeule bleibt bzw. bleiben. Die elektromagnetische Strahlung überträgt insbesondere ein Antennensignal im Gigahertz-Bereich. Das Antennensignal kann von einem Empfänger, insbesondere einer Empfangsantenne, empfangen werden. Die Hauptkeule, die sich aus nur einer oder mehrerer Hauptkeulen zusammensetzen kann, enthält wie eingangs erwähnt die gesendete elektromagnetische Strahlung, die bevorzugt in eine gewünschte Richtung ein Antennensignal der Array-Antennenvorrichtung versendet und/oder an einen Empfänger übermittelt. Im Fall der Radar-Ortung empfängt der Empfänger das Antennensignal in Form eines an einem Objekt reflektierten Echo-Signals. Eine gewünschte Richtung der Strahlung entspricht insbesondere einem gewünschten Schwenkwinkel, der einstellbar ist. Vorzugsweise ist ein Schwenkwinkel der gesendeten, elektromagnetischen Strahlung der Array-Antennenvorrichtung von -30° bis $+30^\circ$ einstellbar. Der Schwenkwinkel kann zwischen der Richtung der gesendeten Strahlung mit dem Intensitätsmaximum und der z-Achse gemessen werden.

[0014] Ein zweiter Aspekt betrifft eine Array-Antennenvorrichtung, insbesondere für das Verfahren des ersten Aspekts, zum Senden von elektromagnetischer Strahlung mit einer Frequenz im Gigahertz-Bereich, wobei die Array-Antennenvorrichtung eine Vielzahl von Antenneneinheiten umfasst, wobei jede der Antenneneinheiten zum Abgeben einer Einzelstrahlung eingerichtet ist, wobei die Antenneneinheiten derart angeordnet sind und die Array-Antennenvorrichtung so konfiguriert ist, dass die Einzelstrahlung der jeweiligen Antenneneinheiten zusammen die elektromagnetische Strahlung bildet. Die Antenneneinheiten sind seitlich nebeneinander angeordnet und jeweils zur Abgabe der Einzelstrahlung überwiegend nach oben eingerichtet, wobei die Array-Antennenvorrichtung mehrere, nach oben übereinander angeordnete Abschnitte umfasst. Ein unterer, erster Abschnitt wird im Wesentlichen aus den nebeneinander angeordneten Antenneneinheiten gebildet. Insbesondere sind die Antenneneinheiten von einer Metallplatte umgeben oder liegen darauf. Ein zweiter Abschnitt erstreckt sich von einer Oberseite des ersten Abschnitts mit einer Dicke von mindestens $0,3 \lambda$ und/oder höchstens $0,7 \lambda$ nach oben, um von der nach oben abgegebene Einzelstrahlung der jeweiligen Antenneneinheiten durchquert zu werden, wobei λ die mittlere Wellenlänge der Strahlung innerhalb des zweiten Abschnitts ist.

[0015] Mit Einzelstrahlung ist diejenige Strahlung gemeint, die von einer einzelnen Antenneneinheit erzeugt und abgegeben wird. Die Einzelstrahlung der Antenneneinheiten, die das Array der Array-Antennenvorrichtung bilden, erzeugen zusammen die elektromagnetische Strahlung der Array-Antennenvorrichtung. Dies entspricht der Formulierung, dass die Einzelstrahlung der jeweiligen Antenneneinheiten zusammen die elektromagnetische Strahlung bildet. Die Antenneneinheiten bilden insbesondere Einspeisepunkte für die elektromagnetische Strahlung, die das Antennensignal bildet.

[0016] Die im Kontext des ersten Aspekts offenbarten Merkmale, Definitionen und Wirkungen gelten auch für den zweiten Aspekt. Die folgende Offenbarung bezieht sich für den ersten Aspekt und den zweiten Aspekt gleichermaßen.

[0017] Eine Array-Antennenvorrichtung enthält nebeneinander angeordnete Antenneneinheiten, die insbesondere entlang einer vorzugsweise gerade verlaufenden x-Achse in einer Reihe angeordnet sind. In einer Ausgestaltung ist nur eine Reihe vorgesehen. In einer bevorzugten Ausgestaltung sind mehreren Reihen vorgesehen, bevorzugt voneinander bzw. hintereinander entlang einer sich insbesondere gerade erstreckenden y-Achse. Eine Array-Antennenvorrichtung mit mehreren Reihen auf einer insbesondere planaren Ebene hat eine Anordnung der Antenneneinheiten in einem sogenannten zweidimensionalen Array. Grundsätzlich ist eine Ausgestaltung mit einem dreidimensionalen Array möglich, wenn Antenneneinheiten zusätzlich (in x-Achse und y-Achse versetzt) übereinander bzw. untereinander (senkrecht zur Oberseite) angeordnet sind, also entlang einer z-Achse. Insbesondere enthält der erste Abschnitt Antennenelemente, die auf einer metallischen Grundplatte oder Metallplatte liegen. In einer alternativen oder ergänzenden Ausgestaltung weisen Antennenelemente strahlende Aperturen oder Hohlwellenleiter auf, die von einer metallischen Grundplatte oder Metallplatte vorzugsweise seitlich umgeben sind.

[0018] Ein Abschnitt kann eine Schicht sein. Insbesondere ist der zweite Abschnitt eine Schicht, insbesondere bestehend aus oder gebildet durch ein Dielektrikum.

[0019] In einer Ausgestaltung besteht der zweite Abschnitt zu einem Volumenanteil von mehr als 90%, bevorzugt mehr als 95%, oder größer 99% aus einem Dielektrikum. In einer Ausgestaltung wird als Dielektrikum für den zweiten Abschnitt, der vorzugsweise eine Schicht ist, Kunststoff mit einer relativen Permittivität ϵ_r zwischen 1,8 bis 4 eingesetzt, wie z.B. PP, PC, ABS, HDPE, COC oder PTFE. In einer Ausgestaltung wird als Dielektrikum für den zweiten Abschnitt Quarz (z.B. mit einer relativen Permittivität ϵ_r

zwischen 3,8 bis 4), Silizium (mit einer relativen Permittivität ϵ_r zwischen 11,7 bis 12), Leiterplattenmaterial, Vakuum oder Luft insbesondere mit ϵ_r von ungefähr 1, oder Keramik mit ϵ_r zwischen 4 bis 10 wie z.B. LTCC oder Alumina eingesetzt. In einer Ausgestaltung wird ein Komposit-Material, eine Mischung und/oder ein Mehrschichtaufbau aus mehreren in diesem Absatz offenbarten Stoffen bzw. Materialien verwendet.

[0020] In einer Ausführungsform handelt es sich bei der Array-Antennenvorrichtung um eine kohärente Array-Antennenvorrichtung, bei der nach dem Durchqueren des zweiten Abschnitts die Einzelstrahlung der Antenneneinheiten aus dem zweiten Abschnitt kohärent nach oben austritt. Die Einzelstrahlung einer ersten Antenneneinheit und die Einzelstrahlung einer zweiten Antenneneinheit breiten sich also beim Verlassen des zweiten Abschnitts kohärent aus. Ein für Kommunikationsanwendungen oder Radar benötigte Strahlungsintensität des Antennensignals im Gigahertz-Bereich, insbesondere für Anwendungen mit Frequenzen > 25 GHz, wird so ermöglicht.

[0021] In einer Ausführungsform schließt sich an den zweiten Abschnitt nach oben ein dritter Abschnitt an, in den die Einzelstrahlung nach dem Durchqueren des zweiten Abschnitts eintritt und als die elektromagnetische Strahlung der Frequenz im Gigahertz-Bereich austritt, um als ein Antennensignal versendet zu werden. Durch das Vorsehen eines dritten Abschnitts kann die Strahlung gezielt gebündelt und die Strahlungsintensität (in der im Wesentlichen senkrechten Richtung zur Oberseite des zweiten Abschnitts) erhöht werden. Das Antennensignal kann zur Kommunikation einschließlich Datenübertragung oder zur Radar-Ortung eingesetzt werden.

[0022] In einer Ausgestaltung wird die gesendete, elektromagnetische Strahlung nur durch denjenigen Teil der jeweiligen Einzelstrahlung der Antenneneinheiten gebildet, der die Oberseite des zweiten Abschnitts in Abhängigkeit von dessen Strahlungsrichtung passieren kann, wobei passierende Strahlung eine Strahlungsrichtung hat, die mit einer im Wesentlichen Senkrechten zur Oberseite des ersten Abschnitts, also innerhalb eines festgelegten Abstrahlwinkels, liegt. Vorzugsweise ist der Betrag des Abstrahlwinkels kleiner als 50°. Der Abstrahlwinkel wird insbesondere in Bezug auf die Strahlung innerhalb des dritten Abschnitts gemessen.

[0023] Insbesondere ist der dritte Abschnitt ein Dielektrikum mit einer der folgenden Formen, vorzugsweise nur in einer Ebene oder rotationssymmetrisch: elliptisch (insbesondere Linse), hemisphärisch oder erweiterte hemisphärisch (insbesondere Linse), sphärisch (insbesondere Linse). Alternativ oder ergänzend kann ein semi-infinites oder quasiinfinites

Medium vorgesehen werden (Höhe oder Tiefe >> Wellenlänge). Insbesondere ist der zweite Abschnitt ein Dielektrikum mit einer der folgenden Formen: Planar, sphärisch oder zylindrisch (insbesondere in beide Oberflächen), keilförmig (bevorzugt bis etwa 20° Neigung).

[0024] Insbesondere hat der dritte Abschnitt eine dritte relative Permittivität, die größer ist als eine zweite relative Permittivität des zweiten Abschnitts. In einer Ausführungsform ist eine zweite relative Permittivität des zweiten Abschnitts kleiner als eine dritte relative Permittivität des dritten Abschnitts. Die Strahlungsintensität des Antennensignal kann auf diese Weise (im Wesentlichen in der senkrechten Richtung zur Oberseite des zweiten Abschnitts) weiter erhöht werden.

[0025] In einer Ausführungsform ist eine zweite relative Permittivität des zweiten Abschnitts kleiner als eine erste relative Permittivität des ersten Abschnitts. Die Strahlungsintensität des Antennensignal kann auf diese Weise weiter erhöht werden.

[0026] In einer Ausgestaltung beträgt der Abstand zwischen zwei nebeneinander angeordneten Antenneneinheiten, insbesondere in x-Achse oder y-Achse, mindestens $0,6 \lambda$ oder $0,7 \lambda$, bevorzugt mindestens 1λ . Die Wellenlänge λ ist die der Einzelstrahlung im zweiten Abschnitt.

[0027] In einer Ausgestaltung ist die Array-Antennenvorrichtung für eine Frequenz der zu sendenden elektromagnetischen Strahlung von mindestens 15 GHz, bevorzugt mindestens 25 GHz, und oder höchstens 300 GHz oder höchstens 320 GHz eingerichtet. Normalerweise kann diese Frequenz einem Datenblatt entnommen oder mittels Messungen der gesendeten elektromagnetischen Strahlung ermittelt werden.

[0028] In einer Ausführungsform enthält mindestens eine oder jede Antenneneinheit zum Erzeugen, Steuern und Verstärken der Einzelstrahlung mindestens ein aktives Bauelement, insbesondere einen Monolithischen Integrierten Mikrowellenschaltkreis - abgekürzt MMIC.

[0029] In einer alternativen oder ergänzenden Ausführungsform werden mehrere Antennenelemente mit ihren jeweiligen aktiven Bauelementen in eine oder mehrere Leiterplatten integriert. Ein besonders intensives Antennensignal kann so erhalten werden.

[0030] In einer Ausgestaltung erstreckt sich eine oder mehrere Leiterplatten flächig parallel zu einer oder mehreren Metallplatten.

[0031] In einer Ausgestaltung erstreckt sich eine oder mehrere Leiterplatten flächig nach oben (also

in z-Richtung) und in Richtung einer Reihe der Antenneneinheiten, die nebeneinander angeordnet sind (also in x-Richtung). Die Stapelung erfolgt dann senkrecht zur flächigen Erstreckung (also in y-Richtung). Die Stapelung erfolgt insbesondere in Richtung von Spalten (also in y-Richtung), die durch voreinander oder hintereinander angeordneten Antenneneinheiten oder Reihen von nebeneinander angeordneten Antenneneinheiten gebildet werden.

[0032] In Stapelrichtung (also in y-Richtung) schließt sich nach insbesondere mehreren, gestapelten Leiterplatten eine Metallplatte flächig an, die somit ebenfalls eine Lage des Stapels bildet. Insbesondere wird eine Reihe von nebeneinander angeordneten Antenneneinheiten in Stapelrichtung beidseitig durch mindestens eine Metallplatte begrenzt. Insbesondere ist eine Metallplattendicke in Stapelrichtung geringer als eine Stackdicke aus mehreren, verbundenen Leiterplatten zwischen zwei Metallplatten.

[0033] In einer Ausgestaltung sind mehrere Leiterplatten flächig gestapelt, und zwar in Richtung der Längserstreckung der Durchkontaktierungen, welche die aufeinander gestapelten Leiterplatten verbinden. Insbesondere erstreckt sich eine Durchkontaktierung senkrecht zur flächigen Ausdehnung einer Leiterplatte.

[0034] In einer Ausgestaltung haben mehrere Leiterplatten, die zu einem Stack gestapelt sind, eine Ausdehnung in einer Stapelrichtung, die der Ausdehnung eines Hohlwellenleiters einer Antenneneinheit in dieser Richtung entspricht. Bevorzugt entspricht die Längserstreckung einer Durchkontaktierung einer Ausdehnung eines Hohlwellenleiters einer Antenneneinheit in Stapelrichtung und/oder einer Ausdehnung eines Stacks von mehreren Leiterplatten in Stapelrichtung.

[0035] Insbesondere sind mehr (parallele) Durchkontaktierungen (übereinander) in Richtung nach oben (also in z-Richtung) vorgesehen (bevorzugt zwischen acht und zwanzig Durchkontaktierungen) als die Anzahl von (parallelen) Durchkontaktierungen (seitlich nebeneinander) in Richtung einer Reihe von nebeneinander angeordneten Antenneneinheiten (bevorzugt zwischen zwei und fünf Durchkontaktierungen), also in x-Richtung.

[0036] In einer Ausgestaltung erstrecken sich die Leiterplatten und/oder Metallplatten flächig derart, dass sich die jeweilige Fläche einer Leiterplatte bzw. Metallplatte parallel zueinander erstrecken.

[0037] Vorzugsweise enthält eine Antenneneinheit einen Hohlwellenleiter. Insbesondere wird der Hohlwellenleiter aus einer Metallplatte und/oder einer Vielzahl von metallischer Durchkontaktierungen

gebildet. Vorzugsweise sind mehrere, parallele Durchkontaktierungen übereinander (nach oben) und/oder nebeneinander (in Richtung der Reihe) vorgesehen, um gemeinsam für elektromagnetische Wellen wie eine metallische Wandung eines Hohlwellenleiters zu wirken. Insbesondere sind die Durchkontaktierungen rohrförmig, vorzugsweise mit einem kreisförmigen Querschnittsprofil, und/oder aus Metall.

[0038] In einer Ausgestaltung hat jede Antenneneinheit einen Hohlwellenleiter, insbesondere in Form einer mehreckigen oder rechteckigen, länglichen Röhre zum Leiten von elektromagnetischen Wellen. Die Wandungen des Hohlwellenleiters werden insbesondere durch Metallelement oder Massewände gebildet, die bevorzugt metallisch sind und/oder eine der folgenden Formen aufweisen: planar (insbesondere parallel oder gestapelt senkrecht zur Schnittstellenfläche zwischen dem zweiten Dielektrikum des zweiten Abschnitts und dem dritten Dielektrikum des dritten Abschnitts), sphärisch oder zylindrisch.

[0039] In einer Ausführungsform bildet die vorzugsweise gedruckte Leiterplatte durch das Vorsehen von metallischen Durchkontaktierungen eine Wandung eines Hohlwellenleiters der Antenneneinheit, der ein elektromagnetisches Feld nach oben zur Erzeugung der Einzelstrahlung leitet, insbesondere mitten durch die Antenneneinheit.

[0040] In einer Ausführungsform ist mindestens eine weitere Wandung des Hohlwellenleiters durch ein Metallelement, insbesondere eine Metallplatte gebildet. Einerseits kann so Wärme abtransportiert werden und gleichzeitig die Strahlungswelle der Einzelstrahlung geleitet werden. Dem Metallelement bzw. der Nutzung einer Metallplatte kommt so eine Doppelfunktion zu. Vorzugsweise ist das Metallelement oder die Metallplatte aus Aluminium, Kupfer und/oder Messing. Insbesondere sind Durchkontaktierungen aus Metall und/oder Lötstellen zwischen zwei Leiterplatten (auch Platine genannt) eines Stacks. Vorzugsweise ist ein gemeinsames, einstückiges Metallelement, z.B. ein Metallband, vorzusehen, das sich räumlich über mehrere Antenneneinheiten erstreckt.

[0041] In einer Ausführungsform hat der Hohlwellenleiter im Querschnitt eine Mehreckform oder Rechteckform, die durch zwei gegenüberliegende Metallplatten und eine oder mehrere gedruckte Leiterplatte mit den metallischen Durchkontaktierungen gebildet wird. Eine besonders kompakte Bauweise mit möglichst viel Bauraum für aktive Bauelemente kann so ermöglicht werden.

[0042] Insbesondere wird der Hohlwellenleiter der Antenneneinheit nach oben durch eine Grenzfläche

zum zweiten Abschnitt, insbesondere zum Medium des zweiten Abschnitts, begrenzt.

[0043] Insbesondere dient die Öffnung des Hohlwellenleiters in der Grenzfläche zum zweiten Abschnitt als Startpunkt des Antennenelements für die erzeugte Einzelstrahlung. Bevorzugt erstreckt sich der Hohlwellenleiter mit einer ungefähr gleichbleibenden Querschnittskontur von unten nach oben innerhalb des ersten Abschnitts, also in Richtung der z-Achse. Die Querschnittskontur, die durch die seitlichen Wandungen gebildet wird, hat bevorzugt eine Querausdehnung, die größer ist als die Dicke der Leiterplatten. Vorzugsweise hat der Hohlwellenleiter eine Ausdehnung nach von unten nach oben bzw. in Richtung der z-Achse, die ein Vielfaches der Querausdehnung der Querschnittskontur entspricht, bevorzugt mindestens dem Zweifachen und/oder höchstens dem Zehnfachen. Die Querschnittskontur der Öffnung des Hohlwellenleiters, an der die Einzelstrahlung erzeugt wird bzw. entspringt, hat räumlich bevorzugt die Form eines Quaders.

[0044] Insbesondere dienen die seitlichen Wandungen zur Leitung eines durch ein aktives Bauelement generiertes, elektromagnetischen Feldes bis zur Öffnung des entsprechenden Antennenelements, bis es über die Grenzfläche nach oben als Einzelstrahlung abgestrahlt wird. Insbesondere wird die Dicke des zweiten Abschnitts von der Grenzfläche gemessen.

[0045] In einer Ausführungsform ist die Array-Antennenvorrichtung so beschaffen, dass eine Ausbreitung mindestens eines Leck-Wellen-Modus, insbesondere aller Leck-Wellen-Modi, im zweiten Abschnitt stattfinden.

Insbesondere besteht der dritte Abschnitt aus einem Dielektrikum oder enthält ein Dielektrikum, vorzugsweise zu einem Volumenanteil von mindestens 80%, bevorzugt mehr als 95%, oder größer 99%. In einer Ausgestaltung wird als Dielektrikum für den dritten Abschnitt Kunststoff mit einer relative Permittivität ϵ_r zwischen bevorzugt 1,8 bis 4 eingesetzt, wie z.B. PP, PC, ABS, HDPE, COC oder PTFE. In einer Ausgestaltung wird als Dielektrikum für den dritten Abschnitt Quarz (z.B. mit einer relative Permittivität ϵ_r zwischen 3,8 bis 4), Silizium (mit einer relative Permittivität ϵ_r zwischen 11,7 bis 12), Leiterplattenmaterial, Wasser oder Körperflüssigkeit insbesondere mit ϵ_r von ungefähr 5 bis 90, oder Keramik mit ϵ_r zwischen 4 bis 10 wie z.B. LTCC oder Alumina eingesetzt. In einer Ausgestaltung wird ein inhomogenes Material, Komposit-Material, eine Mischung und/oder ein Mehrschichtaufbau aus mehreren in diesem Absatz offenbarten Stoffen bzw. Materialien verwendet.

[0046] Insbesondere ist der dritte Abschnitt eine Schicht, vorzugsweise gebildet durch ein Dielektrikum, vorzugsweise ein Dielektrikum gemäß dem vor-

herigen Absatz. Insbesondere hat der dritte Abschnitt in Form einer Schicht eine dritte relative Permittivität, die größer ist als die zweite relative Permittivität des zweiten Abschnitts.

[0047] In einer Ausführungsform liegt die Frequenz der zu sendenden elektromagnetischen Strahlung, für die die Array-Antennenvorrichtung eingerichtet ist, zwischen 10 GHz und 350 GHz.

[0048] Eine Array-Antennenvorrichtung im Gigahertz-Bereich ist für eine festgelegte Frequenz eingerichtet und konfiguriert. Diese Frequenz kann in eine Wellenlänge umgerechnet werden. Auf diese Weise kann besonders einfach die für die Array-Antennenvorrichtung gemäß Herstellerangaben festgelegte Frequenz unter Berücksichtigung der relativen Permittivität des Mediums des zweiten Abschnitts in eine Wellenlänge umgerechnet werden, die vereinfacht als die in den Ansprüchen enthaltene mittlere Wellenlänge angenommen werden kann. Das Adjektiv „mittlere“ meint hier das arithmetische Mittel. Die mittlere Wellenlänge λ_0 beschreibt das arithmetische Mittel der Wellenlängen im Vakuum. Die mittlere Wellenlänge λ_0 entspricht der festgelegten Frequenz im Vakuum. Die festgelegte Frequenz kann normalerweise einem Datenblatt der Array-Antennenvorrichtung entnommen werden. Wenn das tatsächliche Medium des zweiten Abschnitts Vakuum ist, entspricht die mittlere Wellenlänge $\lambda = \lambda_0$. Wenn das tatsächliche Medium des zweiten Abschnitts einer Array-Antennenvorrichtung Luft ist, kann die mittlere Wellenlänge λ aufgrund der geringen Abweichung der relativen Permittivität zwischen Luft und Vakuum als gleich λ_0 angesehen werden. Wenn das tatsächliche Medium des zweiten Abschnitts einer Array-Antennenvorrichtung eine relative Permittivität größer 1 aufweist, kann die mittlere Wellenlänge im zweiten Medium unter Berücksichtigung der relativen Permittivität des tatsächlichen Mediums des zweiten Abschnitts durch Berechnung ermittelt werden. Die relative Permittivität des zweiten Mediums kann vom Materialhersteller angegeben sein oder (im relevanten Frequenzbereich) mit Hilfe verschiedener, bekannter Methoden gemessen werden. Hierzu kann beispielsweise die Formel $\lambda' = \lambda_0 / (\mu_r \epsilon_r)^{0.5}$ mit λ' als die durch Berechnung ermittelte mittlere Wellenlänge, λ_0 die durchschnittliche Wellenlänge in Luft oder Vakuum, μ_r als die gemessene relative Permeabilität und ϵ_r als die gemessene relative Permittivität des tatsächlichen Mediums des zweiten Abschnitts der Array-Antennenvorrichtung. Weil ein Senden von elektromagnetischer Strahlung durch die Array-Antennenvorrichtung im Gigahertz-Bereich und ein Messen der mittleren Wellenlänge grundsätzlich schwerlich unter Idealbedingungen möglich ist, können geringfügige Messabweichungen vorliegend vernachlässigt werden. Im Zweifel kann als Frequenz die festgelegte Frequenz der Array-Antennenvorrichtung und als die mittlere Wellenlänge die mit

der festgelegten Frequenz der Array-Antennenvorrichtung und der Permittivität des entsprechenden Abschnitts berechnete Wellenlänge anzunehmen. Insbesondere können die gemessenen Werte um bis zu $\pm 25\%$ um die festgelegten oder berechneten Werte insbesondere hinsichtlich der Wellenlänge schwanken.

[0049] Alternativ kann die Frequenz der aktiven Bauelemente der Antenneneinheiten im demontierten Zustand oder am unmittelbaren Ausgang des jeweiligen Bauelements gemessen werden, und die aus der Messung ermittelten, mittleren Frequenz unter Berücksichtigung der relativen Permittivität des Mediums des zweiten Abschnitts in die mittlere Wellenlänge umgerechnet werden.

[0050] Alternativ kann die durchschnittliche Frequenz (arithmetisches Mittel z.B. über einen Zeitraum von beispielsweise einer Sekunde) des Antennensignal bzw. der von der Array-Antennenvorrichtung gesendeten elektromagnetischen Strahlung mit der Frequenz im Gigahertz-Bereich gemessen werden und anhand der relativen Permittivität des Mediums des zweiten Abschnitts in die mittlere Wellenlänge umgerechnet werden.

[0051] Ein dritter Aspekt betrifft eine Array-Antennenvorrichtung, insbesondere für das Verfahren des ersten Aspekts, zum Senden eines Antennensignals im Gigahertz-Bereich, das durch Einzelstrahlung gebildet wird, also von vielen Einzelstrahlen, die von einer Vielzahl von Antenneneinheiten der Array-Antennenvorrichtung abgegeben werden und mehrere, übereinander angeordnete Abschnitte durchqueren. Die im Kontext des ersten und zweiten Aspekts offenbarten Definitionen, Ausgestaltungen und Wirkungen können mit dem dritten Aspekt kombiniert und darauf angewendet werden. Die folgende Offenbarung bezieht sich auf alle drei Aspekt gleichermaßen.

[0052] Nachfolgend werden Ausführungsbeispiele der Erfindung auch anhand von Figuren näher erläutert. Merkmale der Ausführungsbeispiele können einzeln oder in einer Mehrzahl mit den beanspruchten Gegenständen kombiniert werden, sofern nichts Gegenteiliges angegeben wird. Die beanspruchten Schutzbereiche sind nicht auf die Ausführungsbeispiele beschränkt.

[0053] Es zeigen:

Fig. 1: Schematische Schnittdarstellung einer Array-Antennenvorrichtung;

Fig. 2a: Schematische Draufsicht auf die Antenneneinheiten der Array-Antennenvorrichtung insbesondere der **Fig. 1**;

Fig. 2b: Schematische, räumliche Darstellung der Antenneneinheiten der Array-Antennenvorrichtung insbesondere der **Fig. 1**;

Fig. 3a-c: Schematische Darstellung des Stands der Technik (A1), der Auswirkung einer Vergrößerung des Antenneneinheiten-Abstands beim Stand der Technik (A2) und bei einer erfindungsgemäßen Array-Antennenvorrichtung (B2) auf die Haupt- und Gitterkeule;

Fig. 4a-e: Schematische Darstellung verschiedener Ausgestaltungen des ersten Abschnitts mit unterschiedlichen Arten der Einspeisung;

Fig. 5a-c: Schematische Darstellung des Aufbaus zur Einspeisung mittels Dipol- und Schlitz-Typ einschließlich des resultierenden Strahlungsdiagramm.

Fig. 6a-e: Schematische Darstellung unterschiedlicher Varianten der Form und Anordnung der Abschnitte von erfindungsgemäßen Array-Antennenvorrichtungen.

[0054] Die **Fig. 1** zeigt eine exemplarische Ausgestaltung für eine erfindungsgemäße Array-Antennenvorrichtung 1 zum Senden von elektromagnetischer Strahlung 10 mit einer Frequenz im Gigahertz-Bereich insbesondere unter einem Winkel α zur z-Achse oder einer Senkrechten 9 zur Oberseite 6, insbesondere zur Grenzfläche 19, des ersten Abschnitts 3. Eine Vielzahl von Antenneneinheiten 2 geben jeweils eine Einzelstrahlung 20 mit einer mittleren Wellenlänge λ ab, die zusammen die elektromagnetische Strahlung 10 bilden, die insbesondere ein Antennensignal enthält, dass von der Array-Antennenvorrichtung 1 gesendet wird. Der Winkel α kann als Schwenkwinkel bezeichnet werden. Durch das Einstellen des Winkels α kann eine Array-Antennenvorrichtung mit einer Richtwirkung zum Senden in eine gewünschte Strahlungsrichtung erhalten werden. Durch mindestens ein aktives Bauelement pro Antenneneinheit 2 können in einer Ausgestaltung der Winkel α , eine Signalstärke, insbesondere EIRP (Equivalent isotropically radiated power), und/oder eine Form des Strahlungsmusters insbesondere von mehreren vordefinierten Formen eingestellt werden. Die Antenneneinheiten 2 sind seitlich nebeneinander angeordnet und jeweils zur Abgabe der Einzelstrahlung 20 überwiegend nach oben eingerichtet.

[0055] Die Array-Antennenvorrichtung 1 umfasst mehrere, nach oben übereinander angeordnete Abschnitte, wobei ein unterer, erster Abschnitt 3 im Wesentlichen aus den nebeneinander angeordneten Antenneneinheiten 2 gebildet wird. Ein zweiter Abschnitt 4, der sich von einer Oberseite 6 des ersten Abschnitts 3 mit einer Dicke 7 von mindestens $0,3 \lambda$, insbesondere mindestens $0,4 \lambda$, und/oder höchstens $0,7 \lambda$ nach oben erstreckt, ist insbesondere in Form

einer Schicht vorgesehen, wobei λ die mittlere Wellenlänge der Strahlung innerhalb des zweiten Abschnitts 4 ist. Die von den jeweiligen Antenneneinheiten 2 nach oben abgegebene Einzelstrahlung 20 durchquert den insbesondere schichtartigen, zweiten Abschnitt 4.

[0056] Insbesondere enthält die Oberseite 6 die Grenzschicht 19 einer Antenneneinheit 2, ab der sich die Einzelstrahlung 20 von einem ersten Dielektrikum des ersten Abschnitts 3 in ein zweites Dielektrikum des zweiten Abschnitts 4 ausbreitet. Vorzugsweise ist die Grenzschicht 19 ein insbesondere mittlerer Bereich der Oberseite 6 einer Antenneneinheit. Die Dicke 7 wird ausgehend von der Grenzschicht 19 gemessen. Vorzugsweise wird die Einzelstrahlung 20 in dem ersten Dielektrikum durch ein dort (insbesondere mit einem aktiven Bauelement) generiertes elektromagnetisches Feld erzeugt, das insbesondere innerhalb eines Wellenleiters 16 zur Grenzschicht 19 geleitet wird. Vorzugsweise ist die Grenzschicht das obere Ende eines solchen Wellenleiters 16.

[0057] In dem Beispiel der in **Fig. 1** gezeigten Ausgestaltung der Erfindung enthält jede Antenneneinheit 2 zum Erzeugen, Steuern und Verstärken der Einzelstrahlung 20 mindestens ein aktives Bauelement (in den Figuren nicht explizit dargestellt). Das aktive Bauelement einer Antenneneinheit 2 und/oder aktive Komponenten (in den Figuren nicht explizit dargestellt), die einem oder mehreren Antenneneinheiten 2 zugehören, sind bevorzugt in einem oder mehreren MMICs integriert, die insbesondere auf einer oder mehrere Leiterplatten 12 angeordnet oder montiert sind. Bevorzugt sind mehrere gedruckte Leiterplatten 12 (vgl. auch **Fig. 2** und **3**) zu einem Stapel verbunden, vorzugsweise mithilfe von Metallplatten 15 (vgl. auch **Fig. 2** und **3**), zwischen denen bevorzugt genau zwei oder mehr als zwei flächig gestapelte Leiterplatten 12 angeordnet und miteinander elektrisch verbinden sind. Durch diesen Aufbau kann in der gezeigten Ausgestaltung eine Wandung eines Hohlwellenleiters 16 der Antenneneinheit 2 durch eine Metallplatte 15 gebildet werden, die sich flächig parallel zu den Leiterplatten 12 erstreckt. In einer Ausgestaltung wird eine (weitere) Wandung des Hohlwellenleiters 16 der Antenneneinheit 2 durch metallische Durchkontaktierungen 13 gebildet. Vorzugsweise werden ein Flächenanteil von mindestens 30% der Wandung eines Hohlwellenleiters 16 durch metallische Durchkontaktierungen 13 gebildet, vorzugsweise ein Flächenanteil von größer als 50%, besonders bevorzugt größer als 75%.

[0058] Insbesondere wird eine Wandung des Hohlwellenleiters 16 durch ein Metallelement, insbesondere eine Metallplatte 15, gebildet, und eine Wandung mittels Durchkontaktierungen 13, die die

Leiterplatten senkrecht durchdringen. Insbesondere sind Metallplatten 15 und Durchkontaktierungen 13 derart angeordnet, dass zwei gegenüberliegende Metallplatten 15 mit den metallischen Durchkontaktierungen 13, die in mindestens einer zwischen den Metallplatten 15 liegenden gedruckten Leiterplatte 12 eingebracht sind, einen Hohlwellenleiter 16 im Querschnitt rechteckartig begrenzen. Insbesondere erstreckt sich dieser Hohlwellenleiter 16 mit diesem rechteckartigen Querschnitt in Richtung der z-Achse von einer Bodenfläche 21 zur Grenzfläche 19, um die Einzelstrahlung 20 an der Grenzfläche 19 zu erzeugen.

[0059] Eine nach oben abgegebene Einzelstrahlung 20 kann schräg zur z-Achse oder zur Senkrechten 9 verlaufen und grundsätzlich einen Winkel θ von weniger als 90° zur z-Achse oder zur Senkrechten 9 einschließen. Bevorzugt liegt ein Austrittswinkel der Einzelstrahlung 20 innerhalb eines Winkelbereichs des Winkels θ von weniger als 50° , bevorzugt weniger als 45° , zu beiden Seiten der z-Achse oder zur Senkrechten 9, also kleiner als $\pm 50^\circ$ bzw. $\pm 45^\circ$.

[0060] In **Fig. 1** ist eine Schnittdarstellung in einer x-z-Ebene gezeigt, die auch als H-Ebene für das elektromagnetische Feld bezeichnet wird. Dazu senkrecht steht die sogenannte E-Ebene des elektromagnetischen Feldes. In **Fig. 1** ist nur ein zentraler Teil gezeigt und einzelne Konturen wurden für eine bessere Darstellbarkeit nicht proportional zueinander, sondern vergrößert dargestellt. Insbesondere sind die Antenneneinheiten in einem mittigen Bereich angeordnet, der höchstens 80%, bevorzugt höchstens 50%, der Größe der Fläche eines dritten Abschnitts 5 entspricht, der sich nach oben an den zweiten Abschnitt 4 anschließt. Eine verbesserte Signalintensität wird so erreicht.

[0061] In einer einfach realisierbaren Ausgestaltung kann - wie in **Fig. 1** dargestellt - als der dritte Abschnitt 5 eine Linse 17, insbesondere eine halbkugelförmige oder halbkugelförmige Linse 17, eingesetzt werden. In alternativen Ausgestaltungen können andere Körper und/oder anders geformte Körper insbesondere aus einem Dielektrikum eingesetzt werden. Andere Ausgestaltungen sind darüber hinaus möglich (s. **Fig. 5**), insbesondere beispielsweise eine Ausgestaltung, bei der von dem zweiten Abschnitt 4 in ein halbbunendliches Medium des dritten Abschnitts 5 gestrahlt wird.

[0062] Die Dicke 7 des zweiten Abschnitts 4 beträgt zwischen $0,3 \lambda_{\text{zweiter Abschnitt}}$ und $0,7 \lambda_{\text{zweiter Abschnitt}}$. Bevorzugte Dicken 7 des zweiten Abschnitts 4 liegen unter Berücksichtigung der Frequenz und der Dielektrika des ersten und zweiten Abschnitts vorzugsweise bei mindestens 0,1 mm. Insbesondere beträgt die Dicke 7 höchstens 15 mm. Insbesondere beträgt die Wellenlänge $\lambda_{\text{zweiter Abschnitt}}$ z.B. in Luft (in

einem Frequenzbereich zwischen 15 und 330 GHz) ca. 0,9 bis 20 mm.

[0063] Der Abstand 8 von zwei nebeneinander angeordneten Antenneneinheiten 2 beträgt bevorzugt mindestens 0,1 oder 0,5 mm, bevorzugt mindestens 1 mm, besonders bevorzugt mindestens 2,5 mm.

[0064] Die **Fig. 2a** zeigt schematisch die Anordnung von Antenneneinheiten 2, insbesondere die sieben Antenneneinheiten 2 der **Fig. 1** in einer der fünf Reihen 11. Zu erkennen ist die insbesondere rechteckige Kontur des Innenraums des Hohlwellenleiters 16 in der Leiterplatte 12. Die Leiterplatte 12 erstreckt sich bevorzugt einstückig entlang der gesamten Reihe 11. Parallel zur Leiterplatte 12 erstrecken sich die Metallplatten 15, also ebenfalls in x-Richtung. Quer durch die Leiterplatten 12 verlaufen die Durchkontaktierungen 13, die in der Draufsicht der **Fig. 2a** grundsätzlich nicht durch die Oberfläche zu sehen sind und daher mit gestrichelten Linien angedeutet sind. Mehrere bedruckte Leiterplatten 12 bilden einen Stack 14, der oben auch als Stapel bezeichnet wurde. Insbesondere sind die Antenneneinheiten 2 in Reihen 11 und Spalten 33 angeordnet.

[0065] Die **Fig. 2b** zeigt in einer räumlichen Darstellung die Antenneneinheiten 2 einer Array-Antennenvorrichtung 1, insbesondere der Vorrichtung der **Fig. 1** und/oder **Fig. 2a**. Ein Stack 14 aus mindestens ein oder zwei Leiterplatten 12 (in **Fig. 2b** nicht explizit dargestellt) erstreckt sich in Richtung einer Reihe 11. Insbesondere sind die and anderen Antenneneinheiten 2 oder die überwiegende Anzahl der anderen Antenneneinheiten 2 baugleich ausgeführt. Die Stacks 14 sind seitlich zwischen zwei Metallplatten 15 angeordnet, die sich parallel zu den Stacks 14 erstrecken. Die Grenzfläche 19 liegt an der Oberseite des Stacks 14, insbesondere am oberen Ende eines Hohlwellenleiters 16. Ein dreidimensionaler Ausschnitt zeigt eine Antenneneinheit 2 als Detailansicht, in der zum Zwecke der Illustration der Stack durchsichtig ist, um die Durchkontaktierungen 16 sichtbar zu machen. Insbesondere liegt die Grenzfläche 19 am oberen Ende eines Hohlwellenleiters in z-Richtung höher als die übrige Oberfläche an der Oberseite des Stacks 14, insbesondere jedoch unterhalb der Oberfläche der Oberseite der Metallplatten 15.

[0066] Im Strahlungsdiagramm von Array-Antennenvorrichtungen kann es neben der Hauptkeule 31 auch zur Abstrahlung in andere Richtungen kommen. Diese unbeabsichtigten Strahlungskeulen werden als Gitterkeulen 30 bezeichnet. Wenn der Antenneneinheiten-Abstand 8 kleiner oder gleich $0,6 \lambda$ Wellenlänge ist, gibt es im sichtbaren Bereich nur die Hauptkeule 31 und normalerweise keine Gitterkeulen 30, die in der Regel nur dann auftreten,

wenn der Antenneneinheiten-Abstand 8 im Array größer als $0,6$ Wellenlänge ist und die Dicke 7 nicht gemäß der Erfindung konfiguriert ist. Die Wellenlänge bezieht sich dabei auf das Medium des dritten Abschnitts, das die Antenne einstrahlt ($\lambda_{\text{dritter Abschnitt}} = \lambda_0 / \epsilon_r$, dritter Abschnitt ^{0,5}).

[0067] Die **Fig. 3a** zeigt schematisch einen typischen Aufbau des Eingangs erwähnten Stands der Technik (A1) mit einem Abstand 8 zweier benachbarter Antenneneinheiten von kleiner oder gleich $0,6 \lambda_{\text{dritter Abschnitt}}$. Würde dieser Abstand 8 so weit vergrößert, wie es durch Anwendung der vorliegenden Erfindung möglich wird, träten bei den Antennenvorrichtungen des in dieser Weise modifizierten Stands der Technik (A2) unerwünschte Gitterkeulen 30 auf. Mit anderen Worten würden größere Abstände im Stand der Technik dazu führen, dass Gitterkeulen 30 auftreten würden. Bei einer erfindungsgemäßen Array-Antennenvorrichtung 1 - gekennzeichnet mit B2 - mit einer Dicke 7 des zweiten Abschnitts 4 von mindestens $0,3 \lambda_{\text{zweiter Abschnitt}}$ und/oder höchstens $0,7 \lambda_{\text{zweiter Abschnitt}}$ dominiert hingegen die Hauptkeule 31 und anders als im Stand der Technik bei gleichen Antenneneinheiten-Abständen 8 werden Gitterkeulen 30 hinreichend unterdrückt.

[0068] Die **Fig. 3b** und **3c** zeigen Simulationsdaten exemplarisch für einen Ausschnitt eines 3×3 Arrays (in den **Fig. 3b** und **3c** umrahmt hervorgehoben), d.h., drei Reihen in x-Achse und drei sich in Richtung der y-Achse erstreckende Spalten von Antenneneinheiten 2, mit Luft als dem zweiten Dielektrikum als den zweiten Abschnitt 4. Bei dem Aufbau der **Fig. 3b** wurde für den dritten Abschnitt 5 ein Dielektrikum mit der relativen Permittivität $\epsilon_r = 2$ eingesetzt, während in dem Aufbau der **Fig. 3c** für den dritten Abschnitt 5 ein Dielektrikum mit der relativen Permittivität $\epsilon_r = 12$ verwendet wurde. Die linke, mit A gekennzeichnete Simulation zeigt das Intensitätsprofil der Einzelstrahlung 20 ohne Anwendung der Erfindung. Die Strahlungsintensität wurde hier innerhalb des ersten Abschnitts 3 simuliert. Die rechte, mit B2 gekennzeichnete Simulation zeigt das Intensitätsprofil der Einzelstrahlung 20 mit Anwendung der Erfindung in der im vorhergehenden Absatz erläuterten Konfiguration. Die gezeigten Diagramme der **Fig. 3b** und **3c** zeigen die Richtcharakteristik der Antennen 26 mit der Einheit dBi, der in Abhängigkeit von dem Winkel 27 mit der Einheit Grad aufgetragen ist, der insbesondere zur Senkrechten 9 gemessen wird und/oder dem Winkel θ entspricht (vgl. z.B. **Fig. 1**). Die Kurven 28 mit der durchgezogenen Linie zeigen die Messwerte der Strahlung in x-Richtung, während die Kurven 29 die Messwerte der Strahlung in y-Richtung zeigen. Eine signifikant größere Intensität des Antennensignals mit einer dominanten Hauptkeule 31 ist erkennbar in den Diagrammen B2, die mit Anwendung der Erfindung erhalten wurden. Die Gitterkeulen 30 sind im Vergleich zu den Dia-

grammen A sichtbar und signifikant in der Intensität reduziert. Insbesondere ist eine hinreichend hohe Intensität der Hauptkeule 31 gegeben und/oder die Gitterkeulen 30 ausreichend reduziert, wenn die Gitterkeulen 30 im Strahlprofil kleiner als -10 dB oder bevorzugt -13 dB in Bezug auf das gewünschte Maximum der Hauptkeule 31 sind. Die Strahlungsleistung der Gitterkeulen 30 geht für die planmäßig gesendete elektromagnetische Strahlung und/oder das Antennensignal gewissermaßen verloren.

[0069] Die **Fig. 4a-e** zeigen verschiedene Ausgestaltungen des ersten Abschnitts 3 mit unterschiedlichen Arten der Einspeisung der Einzelstrahlung 20 zum Erzielen des Antennensignals der Array-Antennenvorrichtung 1. Insbesondere kann die Einspeisung zirkulär oder linear polarisiert mit einem entsprechenden Aufbau erfolgen. In einer Ausgestaltung ist ein Array mit dreieckigen, rechteckigen, quadratischen oder hexagonalen Raster vorgesehen. In einer Ausgestaltung ist ein kreisförmiger, quadratischer, rechteckiger, dreieckiger oder hexagonaler Array vorgesehen. In einer Ausgestaltung ist ein Aufbau planar, kugelförmig oder zylinderförmig, wie in einigen Varianten der **Fig. 6a-e** illustriert. Die **Fig. 4a-e** zeigen Varianten des Aufbaus exemplarisch mit quadratischen Arrays mit rechteckigem Raster, die auch mit einer der oben aufgeführten Array-Formen kombinierbar sind.

[0070] Die **Fig. 4a** zeigt einen Aufbau mit nebeneinander angeordneten Wellenleitern, die durch nebeneinander angeordnete und sich senkrecht erstreckende Luftkanäle 24 realisiert sind. Die **Fig. 4b** zeigt substrat-integrierte Hohlwellenleiter 16 (engl. „substrate integrated waveguide“) insbesondere analog zur Ausgestaltung gemäß **Fig. 1**. Die **Fig. 4d** zeigt einen Aufbau für eine Patch-Typ-Einspeisung mittels gedruckter Leiterplatten 12 in Form von voneinander beabstandeten Patch-Antennen 23. In einer alternativen oder ergänzenden Ausführungsform ist eine Mikrostreifenleitung vorgesehen. Der erste Abschnitt 3 hat einen Schichtaufbau aus einer Bodenschicht, und einer oder mehreren dünnen Schichten aus Dielektrikum, auf dem die Patches angeordnet sind. Die **Fig. 4c** zeigt eine Schlitz-Typ-Einspeisung und die **Fig. 4e** eine Dipol-Typ-Einspeisung, die im Kontext der **Fig. 5a-c** näher erläutert werden und beide einen einschichtiger oder mehrschichtigen Dielektrikum-Aufbau des ersten Abschnitts 3 und zweiten Abschnitts 4 haben. Insbesondere ist bevorzugt bei der Ausgestaltung der **Fig. 4c** eine Bodenlage 32 des ersten Abschnitts 3 aus einem Dielektrikum oder einer Leiterplatte, bevorzugt aus einem Dielektrikum mit einer niedrigeren Permittivität als das zweite Dielektrikum des zweiten Abschnitts 4. Insbesondere enthält bei einer der Ausgestaltungen der **Fig. 4d** oder **Fig. 4e** der erste Abschnitt 3 eine Bodenlage 32 aus einem Dielektrikum, bevorzugt aus dem gleichen Dielektri-

kum des zweiten Abschnitts 4 bzw. des zweiten. Besonders bevorzugt ist unter der Bodenlage 32 eine Metallage als Bodenfläche 21 vorgesehen, insbesondere bei den Ausgestaltungen der **Fig. 4d** oder **4e**. Insbesondere ist in dem gezeigten Ausführungsbeispiel der **Fig. 4c** die sichtbare, dünne Zwischenstruktur zwischen der Bodenlage 32 (Leiterplatte bzw. Dielektrikum) und des zweiten Abschnitts eine dünne Metallschicht oder eine Metallbeschichtung, die - wie schematisch dargestellt - Schlitze für die Schlitz-Typ-Einspeisung aufweist.

[0071] Die **Fig. 5a** zeigt einen Aufbau für eine Dipol-Typ-Einspeisung in einer Schnittdarstellung, bei dem ein Dipol 22 in den zweiten Abschnitt 4 integriert ist, vorzugsweise mittig in Richtung der z-Achse. Insbesondere ist der Dipol 22 zwischen zwei vorzugsweise gleich dicke Schichten eines zweischichtig aufgebauten, zweiten Abschnittes 4 angeordnet. Insbesondere ist die Dicke des Dipols 22 und/oder des Patches 23 kleiner als 10% der Dicke 7 des zweiten Abschnitts 4.

[0072] Die **Fig. 5b** zeigt einen Aufbau für eine Schlitz-Typ-Einspeisung in einer Schnittdarstellung, bei dem ein Schlitz 25 in eine Bodenfläche 21 eingebracht ist. Insbesondere ist die Bodenfläche 21 eine Metallschicht. Insbesondere entspricht der zweite Abschnitt 4 einer Schicht mit der erfindungsgemäßen Dicke 7. Insbesondere ist die Dicke der Metallschicht zum Bereitstellen der Bodenfläche 21 (als Massefläche) dünner als 10% der Dicke 7 des zweiten Abschnitts 4.

[0073] Insbesondere ist in den Ausgestaltungen der **Fig. 5a** und/oder **Fig. 5b** der zweite Abschnitt 4 aus dem Dielektrikum Quarz und/oder der dritte Abschnitt 5 aus dem Dielektrikum Silikon. Insbesondere enthält der erste Abschnitt 3 die Bodenfläche 21 (als Massefläche), insbesondere eine Metallschicht.

[0074] Der dielektrische Schichtaufbau der **Fig. 5a** und **5b** ermöglicht die radiale Ausbreitung (in Richtung der x-Achse) von bevorzugt drei Leck-Wellen-Moden (TM₀, TE₁ und TM₁) entlang des Dielektrikums des zweiten Abschnitts 4. Diese Moden strahlen bei ihrer Ausbreitung Energie in das Dielektrikum des dritten Abschnitts 3 ab. Diese Moden strahlen den größten Teil der Energie in θ -Winkeln ab, die kleiner sind als ein sogenannter kritischer Winkel θ_k , wie in der Optik definiert, zwischen dem zweiten Dielektrikum des zweiten Abschnitts 4 und dem dritten Dielektrikum des dritten Abschnitts 5. An der Schnittstellenfläche zwischen einem Medium mit höherer Permittivität und einem Medium mit niedrigerer Permittivität ist der kritische Winkel θ_k in der Optik definiert als der Einfallswinkel im dichteren der beiden Medien, bei dem keine Übertragung der Wellen in das weniger dichte Medium mehr stattfindet.

[0075] Insbesondere ist ein dielektrischer Schichtaufbau des ersten Abschnitts 3, des zweiten Abschnitts 4 (insbesondere Quarz) und/oder des dritten Abschnitts 5 (insbesondere Silizium) vorgesehen, bei dem die relative Permittivität des zweiten Abschnitts 4 geringer ist im Vergleich zum dritten Abschnitt 5. Es kann so ermöglicht werden, dass besonders wenig oder keine Strahlung der Einzelstrahlung 20 unter Winkeln nach oben aus dem zweiten Abschnitt 4 austritt, die größer als der kritische Winkel θ_k sind. Wenn die Gitterkeulen 30 auf einen Winkel fallen, der größer als dieser kritische Winkel θ_k ist, wird ihre Strahlung somit verbessert unterdrückt. Der Abstand 8 zwischen den Antenneneinheiten 2 kann somit besonders groß dimensioniert werden, insbesondere bis zu einem Punkt, an dem die Gitterkeulen 30 in θ -Winkel eintreten, die kleiner als der kritische Winkel θ_k sind.

[0076] Insbesondere ist jede Antenneneinheit 2 separat ansteuerbar und/oder durch die aktiven Bauelemente einschließlich z.B. Verstärker, Filter und/oder Phasenschieber wird ein bestimmter Frequenzbereich erzeugt, insbesondere innerhalb einer einstellbaren Bandbreite, und/oder eine Amplitude wird verändert. Vorzugsweise dient eine Phasenverschiebung der Steuerung der Einzelstrahlung 20 innerhalb des Dielektrikums durch Beeinflussen des Richtungswinkel bzw. des Winkels α . Insbesondere können aktive Bauelemente die Funktion Time-Delay, Filter, Mischer und/oder Analog-Digital-Wandler haben.

[0077] Beim Dipol-Typ ist der Dipol 22 ungefähr in der Mitte der Höhe (in z-Richtung) des Dielektrikums des zweiten Abschnitts 4 angeordnet, und/oder die Grundplatte, insbesondere die Metallschicht, befindet sich darunter. Beim Schlitz-Typ ist der Schlitz 25 eine Öffnung in der Grundplatte, die insbesondere eine Metallschicht ist.

[0078] Insbesondere regt die Dipol-Einspeisung die TE₁- und TM₁-Moden an. Da beide in ähnlichen Winkeln abstrahlen, ergibt sich ein besonders symmetrisches Strahlungsdiagramm in den Ebenen, die parallel und orthogonal zur Polarisierung ausgerichtet sind (jeweils E- und H-Ebene). Die Schlitzspeisung regt insbesondere die TE₁-, TM₁- und auch die TM₀-Moden an. Insbesondere ist Letztere in der E-Ebene vorhanden und zeichnet sich durch eine Strahlungsspitze in der Nähe des kritischen Winkels aus. Eine verbesserte Unterdrückung der Strahlung in der E-Ebene bei einem Winkel, der größer als der kritische Winkel θ_k ist, kann erzielt werden.

[0079] Die **Fig. 5c** zeigt ein Strahlungsdiagramm der Abstrahlung in das Dielektrikum des dritten Abschnitts 5, in dem die Moden TE₁-, TM₁- und TM₀ für einen Aufbau mit individuellem, infinitesimalem

Dipol- und Schlitz-Einspeisung aufgezeigt sind. Insbesondere beträgt der kritischen Winkel θ_k $34,4^\circ$. Insbesondere kann die Abstrahlung der TM₀ in der Schlitz-Typ-Einspeisung durch Vergrößerung der Speisung in der E-Ebene oder durch Verwendung von zwei symmetrischen Schlitzten abgeschwächt werden.

[0080] Durch Einfügen und Vorsehen des zweiten Abschnitts 4 mit der Dicke 7 von mindestens $0,3 \lambda$, bevorzugt mindestens $0,4 \lambda$, und/oder höchstens $0,7 \lambda$, bevorzugt höchstens $0,6 \lambda$ des zweiten Abschnitts 4, bevorzugt zusätzlich das Vorsehen des dritten Abschnitts 5 mit einem Dielektrikum mit einer größeren Permittivität verglichen mit dem zweiten Abschnitt 4, kann der Abstand 8 zwischen den Elementen des Arrays vergrößert werden, so dass in der Strahlung der Einspeisung im Dielektrikum des dritten Abschnitts 4 (z.B. Linse oder halbumendliches Medium) Gitterkeulen 30 wirksam reduziert oder vermieden werden. Vorzugsweise beträgt der Abstand 8 zwischen zwei benachbarten Antenneneinheiten 2 (in Richtung einer Reihe oder Spalte und/oder in der H-Ebene) unabhängig von der relativen Permittivität des dritten Abschnitts 5 grundsätzlich mindestens $1,3 \lambda$ für Dipol-Typ-Einspeisung in der H- und E-Ebenen und für Schlitz-Typ-Einspeisung in der H-Ebene, und/oder $0,57 \lambda$ für Schlitz-Typ-Einspeisung in der E-Ebene. In diesem Absatz bezeichnet λ die mittlere Wellenlänge im zweiten Abschnitt 4.

[0081] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung wird der Abstand 8 zwischen den Antenneneinheiten 2 im Array durch eine der folgenden Konfigurationen vergrößert, ohne dass die Einspeisestrahlung im Dielektrikum des dritten Abschnitts 3 (z.B. Linse oder halbumendliches Medium) durch Gitterkeulen 30 störend beeinträchtigt wird:

[0082] In einer bevorzugten Konfiguration wird für den dritten Abschnitt 4 ein Dielektrikum eingesetzt, dass eine relative Permittivität ϵ_r von mindestens 2 hat. Der Abstand 8 zwischen zwei benachbarten Antenneneinheiten 2 kann auf diese Weise um den Faktor 1,5 von $0,6 \lambda_{\text{dritter Abschnitt}}$ bis auf ca. $0,9 \lambda_{\text{dritter Abschnitt}}$ vergrößert werden. Die mittlere im dritten Abschnitt vorliegende Wellenlänge wird hier als $\lambda_{\text{dritter Abschnitt}}$ bezeichnet. In einer weiter bevorzugten Konfiguration wird für den dritten Abschnitt 4 ein Dielektrikum eingesetzt, dass eine relative Permittivität ϵ_r von mindestens 6 hat. Der Abstand 8 zwischen zwei benachbarten Antenneneinheiten 2 kann auf diese Weise um den Faktor 3,3 von $0,6 \lambda_{\text{dritter Abschnitt}}$ bis auf ca. $2 \lambda_{\text{dritter Abschnitt}}$ vergrößert werden. In einer weiter bevorzugten Konfiguration wird für den dritten Abschnitt 4 ein Dielektrikum eingesetzt, dass eine relative Permittivität ϵ_r von ungefähr oder höchstens 12 hat. Der Abstand 8 zwischen zwei benachbarten Antenneneinheiten 2 kann auf diese Weise um den

Faktor 5,4 von $0,6 \lambda_{\text{dritter Abschnitt}}$ bis auf ca. $3,2 \lambda_{\text{dritter Abschnitt}}$ vergrößert werden.

[0083] Die obigen Konfigurationen gelten sowohl für Schlitz-Typ-Einspeisung als auch für Dipol-Typ-Einspeisung. Es wird hierdurch ermöglicht, mehr Baureaum für aktive Bauelemente zwischen den Antenneneinheiten 2 zu erhalten.

[0084] Die Fig. 6a bis 6e zeigen unterschiedliche Varianten der Form und Anordnung der Abschnitte von erfindungsgemäßen Array-Antennenvorrichtungen, insbesondere eine elliptische Linse 17 mit flacher metallischer Massewand des ersten Abschnitts 3 (Fig. 6a), insbesondere eine elliptische Linse 17 mit geneigter metallischer Massewand des ersten Abschnitts 3 (Fig. 6b), insbesondere eine sphärische Linse 17 (Fig. 6c) oder zylindrische Linse 17 mit sphärischer oder zylindrischer metallischer Massewand des ersten Abschnitts 3, insbesondere eine bevorzugt elliptische Linse mit gestapelten Metallplatten 15 und/oder Leiterplatten 12 mit nicht dargestellten Durchkontaktierungen 13 zum Wirken wie eine Metallplatte oder Massewand (Fig. 6d). Eine Massewand und/oder ein Metallelement können eine metallisierte Leiterplatte (z.B. ENIG, EPIC, Silber oder Kupfer), eine Metallplatte und/oder metallische Durchkontaktierungen in einer Leiterplatte sein.

[0085] In einer Ausgestaltung, die insbesondere in Fig. 6a gezeigt ist, sind die Antenneneinheiten 2 nebeneinander auf einer planaren Ebene angeordnet und/oder die Dicke 7 des zweiten Abschnitts ist kontant in Richtung x-Achse und/oder y-Achse. In einer Ausgestaltung, die insbesondere in Fig. 6b gezeigt ist, verläuft die Oberseite 6 des ersten Abschnitts planar und eine Schnittstellenfläche zwischen dem zweiten Abschnitt 4 und dem dritten Abschnitt 5 verläuft planar und/oder unter einem Winkel zur Oberseite 6 des ersten Abschnitts 3, der bevorzugt kleiner als 30° ist. In einer Ausgestaltung, die insbesondere in Fig. 6c gezeigt ist, verläuft die Oberseite 6 des ersten Abschnitts 3 (und/oder eine Schnittstellenfläche zwischen dem zweiten Abschnitt 4 und dem dritten Abschnitt 5) nicht-planar, bevorzugt bogenförmig oder halbkugelförmig. In einer Ausgestaltung, die insbesondere in Fig. 6d gezeigt ist, kann der dritte Abschnitt 5 zu beiden Seiten und/oder nach oben sich mit einer Form ausdehnen, die keine bogenförmige Linsenform ist. In einer Ausgestaltung, die in Fig. 6e dargestellt ist, entspricht der dritte Abschnitt 5 einem Messobjekt 18, insbesondere einem zu messenden Körper mit Körperflüssigkeit, insbesondere mit einer relativen Permittivität ϵ_r von mindestens 5 und/oder höchstens 90.

[0086] In den Fig. 6d und 6e kann der Aufbau der Antenneneinheiten 2 wie in der Ausgestaltungen der Fig. 4 vorgesehen sein.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- US 8780012 B2 [0006]
- US 8937577 B2 [0006]
- CN 110165403 [0006]

Zitierte Nicht-Patentliteratur

- M. Arias Campo et al., „On the Use of Fly's Eye Lenses with Leaky-Wave Feeds for Wideband Communications“, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 68, no. 4, pp. 2480-2493, April 2020 [0006]
- N. T. Nguyen et al., „Focal Array Fed Dielectric Lenses: An Attractive Solution for Beam Reconfiguration at Millimeter Waves“, IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 59, no. 6, pp. 2152-2159, June 2011 [0006]

Patentansprüche

1. Verfahren zum Senden von elektromagnetischer Strahlung (10) mit einer Frequenz im Gigahertz-Bereich mittels einer Array-Antennenvorrichtung (1), die eine Vielzahl von Antenneneinheiten (2) umfasst, wobei jede der Antenneneinheiten (2) eine Einzelstrahlung (20) abgibt und die Einzelstrahlung (20) der jeweiligen Antenneneinheiten (2) zusammen die elektromagnetische Strahlung (10) bildet, wobei die Antenneneinheiten (2) seitlich nebeneinander angeordnet sind und jeweils die Einzelstrahlung (20) überwiegend nach oben abgeben, wobei die Array-Antennenvorrichtung (1) mehrere, nach oben übereinander angeordnete Abschnitte umfasst, wobei ein unterer, erster Abschnitt (3) im Wesentlichen aus den nebeneinander angeordneten Antenneneinheiten (2) gebildet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass die nach oben abgegebene Einzelstrahlung (20) der jeweiligen Antenneneinheiten (2) einen sich von einer Oberseite (6) des ersten Abschnitts (3) mit einer Dicke (7) von mindestens $0,3 \lambda$ und/oder höchstens $0,7 \lambda$ nach oben erstreckenden zweiten Abschnitt (4) durchquert, wobei λ die mittlere Wellenlänge der Strahlung innerhalb des zweiten Abschnitts (4) ist.

2. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass es sich bei der Array-Antennenvorrichtung (1) um eine kohärente Array-Antennenvorrichtung (1) handelt, bei der nach dem Durchqueren des zweiten Abschnitts (4) die Einzelstrahlung (20) der Antenneneinheiten (2) aus dem zweiten Abschnitt (4) kohärent nach oben austritt.

3. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich an den zweiten Abschnitt (4) nach oben ein dritter Abschnitt (5) anschließt, in den die Einzelstrahlung (20) nach dem Durchqueren des zweiten Abschnitts (4) eintritt und als die elektromagnetische Strahlung (10) mit der Frequenz im Gigahertz-Bereich austritt, um als ein Antennensignal versendet zu werden.

4. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine zweite relative Permittivität des zweiten Abschnitts (4) kleiner als eine dritte relative Permittivität des dritten Abschnitts (5) ist.

5. Array-Antennenvorrichtung (1) zum Senden von elektromagnetischer Strahlung (10) mit einer Frequenz im Gigahertz-Bereich, wobei die Array-Antennenvorrichtung (1) eine Vielzahl von Antenneneinheiten (2) umfasst, wobei jede der Antenneneinheiten (2) zum Abgeben einer Einzelstrahlung (20) eingerichtet ist, wobei die Antenneneinheiten (2) derart angeordnet sind und die Array-Antennenvorrichtung (1) so konfiguriert ist, dass die Einzel-

strahlung (20) der jeweiligen Antenneneinheiten (2) zusammen die elektromagnetische Strahlung (10) bildet, wobei die Antenneneinheiten (2) seitlich nebeneinander angeordnet und jeweils zur Abgabe der Einzelstrahlung (20) überwiegend nach oben eingerichtet sind, wobei die Array-Antennenvorrichtung (1) mehrere, nach oben übereinander angeordnete Abschnitte umfasst, wobei ein unterer, erster Abschnitt (3) im Wesentlichen aus den nebeneinander angeordneten Antenneneinheiten (2) gebildet wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass sich ein zweiter Abschnitt (4) von einer Oberseite (6) des ersten Abschnitts (3) mit einer Dicke (7) von mindestens $0,3 \lambda$ und/oder höchstens $0,7 \lambda$ nach oben erstreckt, um von der nach oben abgegebene Einzelstrahlung (20) der jeweiligen Antenneneinheiten (2) durchquert zu werden, wobei λ die mittlere Wellenlänge der Strahlung innerhalb des zweiten Abschnitts (4) ist.

6. Array-Antennenvorrichtung (1) nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass jede Antenneneinheit (2) zum Erzeugen, Steuern und Verstärken der Einzelstrahlung (20) mindestens ein aktives Bauelement enthält, insbesondere einen Monolithisch Integrierten Mikrowellenschaltkreis - abgekürzt MMIC - und/oder wobei mehrere Antenneneinheiten (2) mit ihren entsprechenden aktiven Bauelementen in eine oder mehrere Leiterplatten (12) integriert sind.

7. Array-Antennenvorrichtung (1) nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass die gedruckte Leiterplatte (12) durch das Vorsehen von metallischen Durchkontaktierungen (13) eine Wandung eines Hohlwellenleiters (16) der Antenneneinheit (2) bildet, der ein elektromagnetisches Feld nach oben zur Erzeugung der Einzelstrahlung (20) leitet.

8. Array-Antennenvorrichtung (1) nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass mindestens eine weitere Wandung des Hohlwellenleiters (16) durch ein Metallelement, insbesondere eine Metallplatte (15) gebildet wird, und/oder der Hohlwellenleiter (16) im Querschnitt eine Rechteckform durch zwei gegenüberliegende Metallplatten (15) und zwei gegenüberliegende gedruckte Leiterplatten (12) mit den metallischen Durchkontaktierungen (13) hat.

9. Array-Antennenvorrichtung (1) nach einem der vier vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Antenneneinheiten (2) einen Aufbau für eine Schlitz-Typ-Einspeisung, Dipol-Typ-Einspeisung oder Patch-Typ-Einspeisung aufweisen.

10. Array-Antennenvorrichtung (1) nach einem der fünf vorhergehenden Ansprüche, **dadurch**

gekennzeichnet, dass eine zweite relative Permittivität des zweiten Abschnitts (4) kleiner als eine dritte relative Permittivität des dritten Abschnitts (5) ist.

11. Array-Antennenvorrichtung (1) nach einem der sechs vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Frequenz der zu sendenden elektromagnetischen Strahlung (10), für die die Array-Antennenvorrichtung (1) eingerichtet ist, zwischen 10 GHz und 350 GHz liegt.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

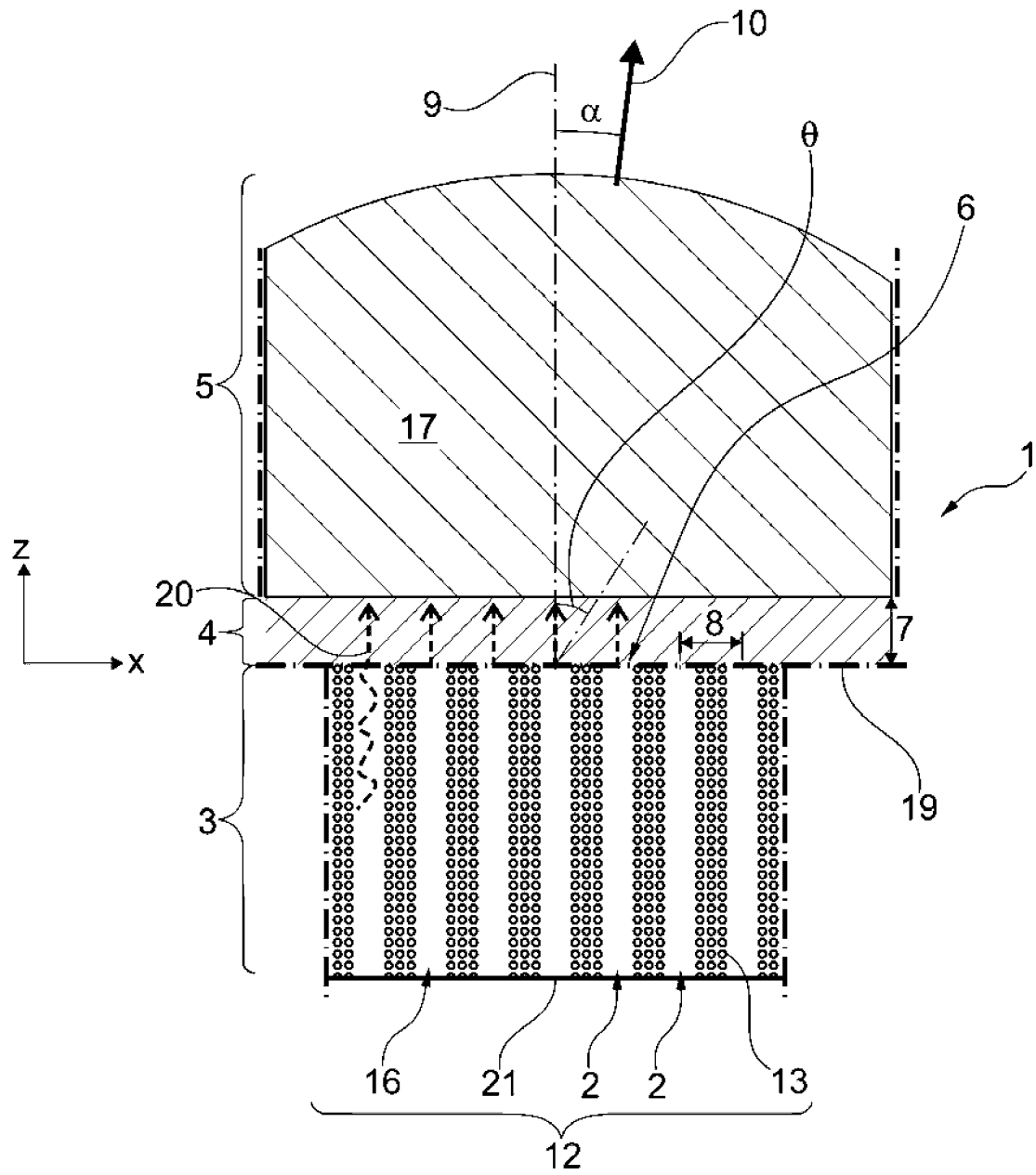


Fig. 1

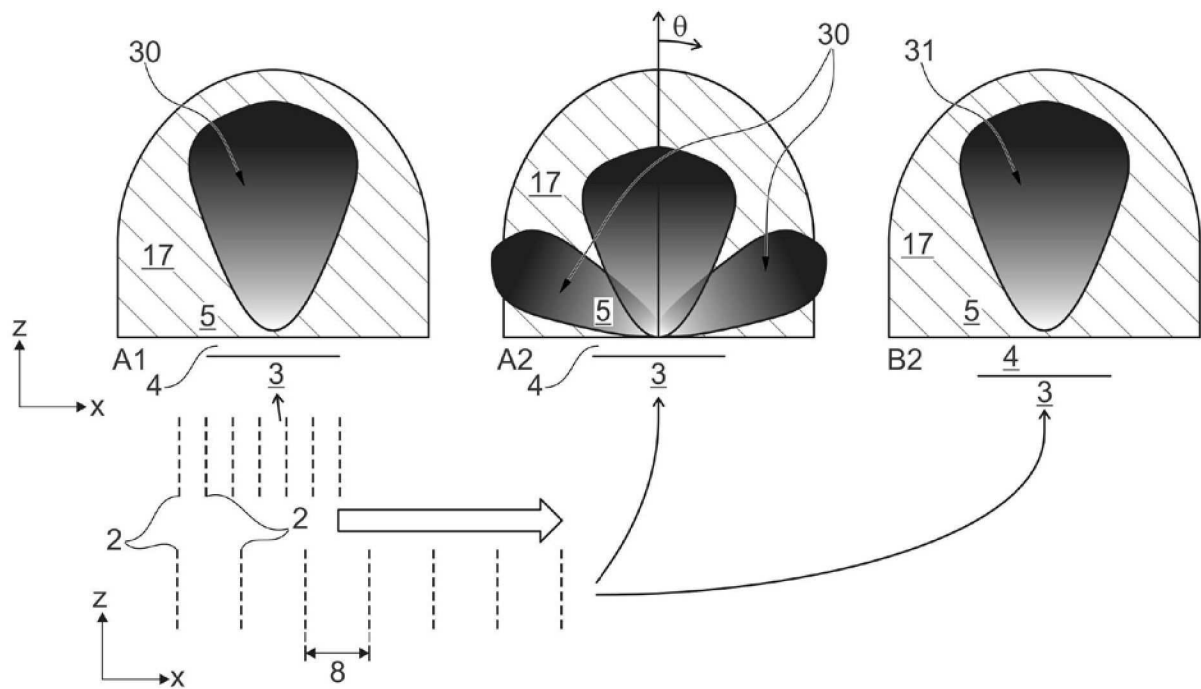


Fig. 3a

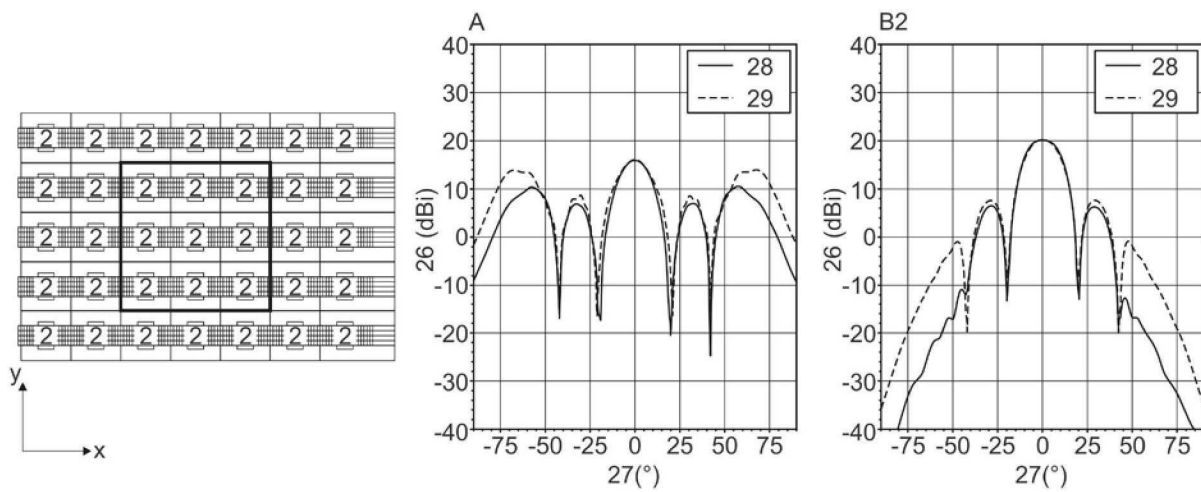


Fig. 3b

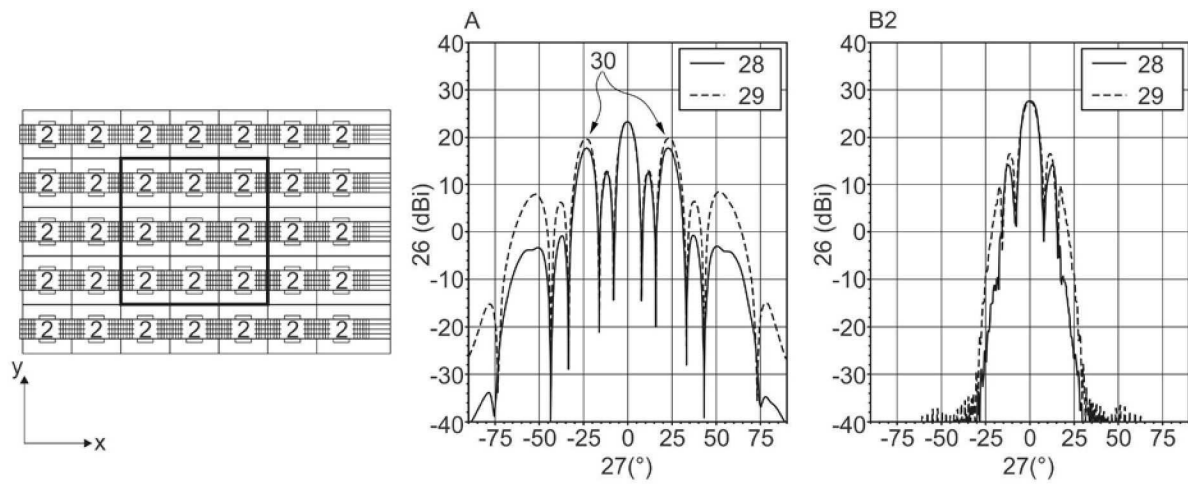
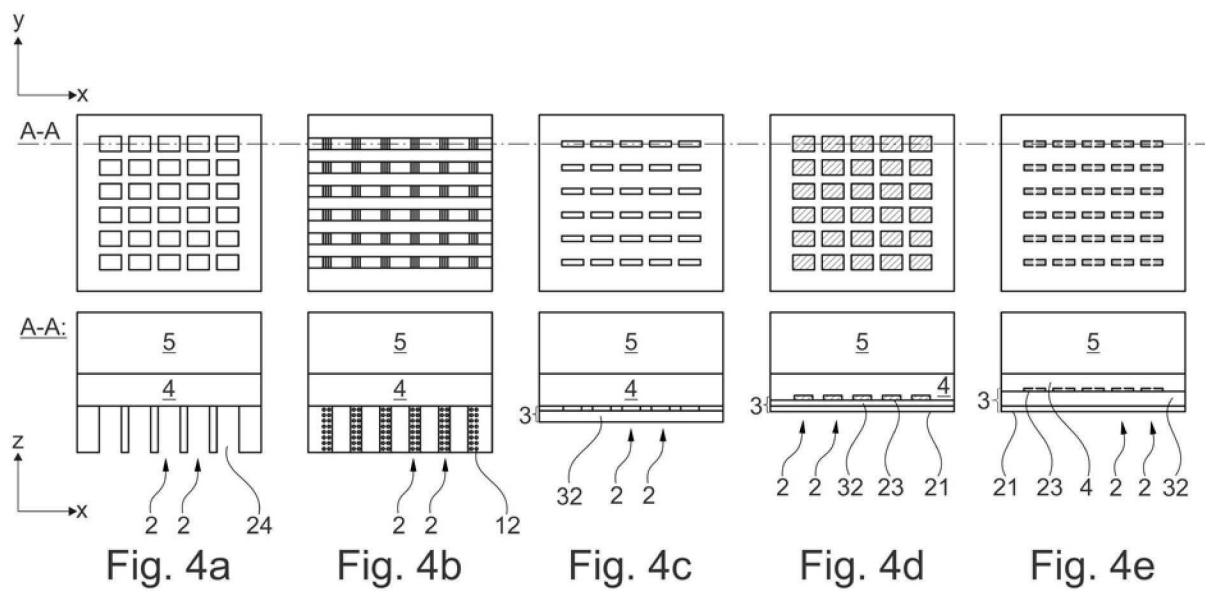


Fig. 3c



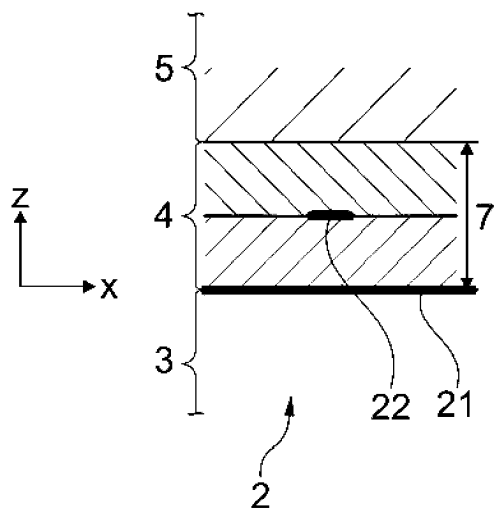


Fig. 5a

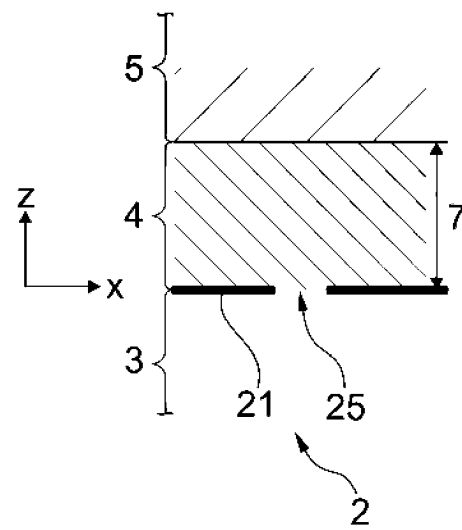


Fig. 5b

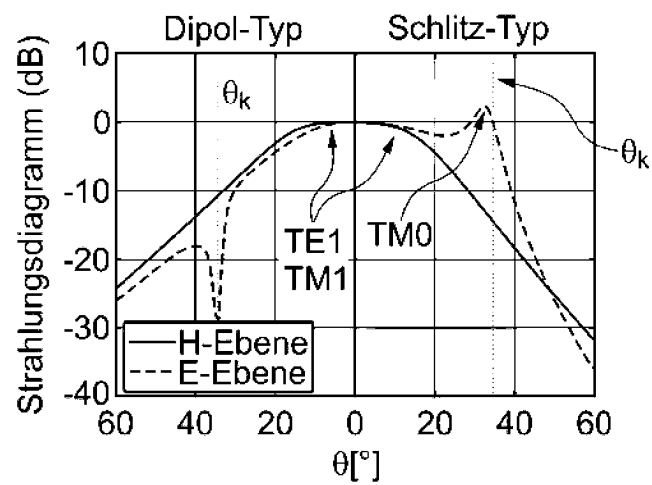


Fig. 5c

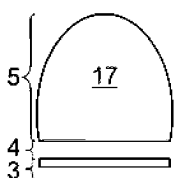


Fig. 6a

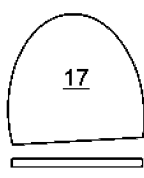


Fig. 6b

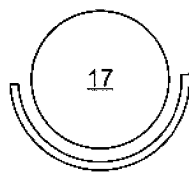


Fig. 6c

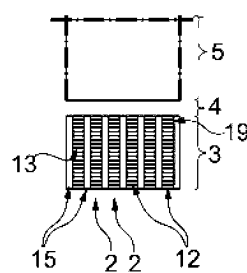


Fig. 6d

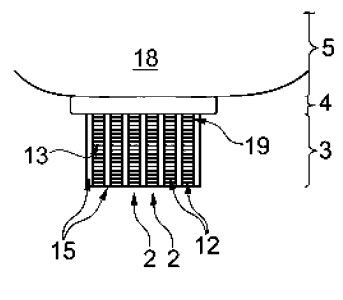


Fig. 6e