



(10) **DE 10 2021 200 293 B4** 2022.08.11

(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2021 200 293.5**
(22) Anmeldetag: **14.01.2021**
(43) Offenlegungstag: **14.07.2022**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **11.08.2022**

(51) Int Cl.: **H04R 23/00** (2006.01)
G08C 23/04 (2006.01)
G02F 1/01 (2006.01)

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
**Karlsruher Institut für Technologie, 76131
Karlsruhe, DE; Universität Patras, Rio Achaia, GR**

(74) Vertreter:
**Altmann Stöbel Dick Patentanwälte PartG mbB,
68165 Mannheim, DE**

(72) Erfinder:
**Trimis, Dimosthenis, 90762 Fürth, DE; Stelzner,
Björn, 76137 Karlsruhe, DE; Mourjopoulos, John,
Patras, GR; Kaleris, Konstantinos, Patras, GR**

(56) Ermittelte(r) Stand der Technik:

**HOSOYA, Naoki; NAGATA, Masaki;
KAJIWARA, Itsuro: Acoustic testing in a very
small space based on a point sound source
generated by laser-induced breakdown:
Stabilization of plasma formation. In: Journal of
Sound and Vibration, 332, 2013, 19, 4572-4583.**

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung und Verfahren zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals**

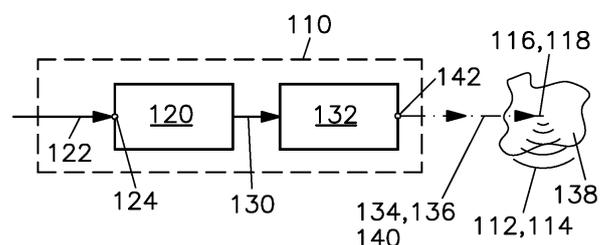
(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung (110) und ein Verfahren zur Wiedergabe (112) mindestens eines akustischen Signals (114). Die Vorrichtung (110) umfasst:

- mindestens ein Laserelement (132), das zur Abstrahlung (134) mindestens eines optischen Signals (136) derart an mindestens ein Zielmedium (138) eingerichtet ist, dass hierdurch eine Übertragung (140) des mindestens einen optischen Signals (136) an das mindestens eine Zielmedium (138) und eine Wiedergabe (112) mindestens eines akustischen Signals (114) mittels des mindestens einen Zielmediums (138) erfolgt, wobei das mindestens eine Zielmedium (138) zur Umwandlung des mindestens einen optischen Signals (136) in das mindestens eine akustische Signal (114) eingerichtet ist; und

- mindestens eine Steuerschnittstelle (120), die dazu eingerichtet ist, aus dem mindestens einem elektronischen Signal (122), das mit dem mindestens einen zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal (114) korreliert ist, mindestens ein Steuersignal (130) an das mindestens eine Laserelement (132) zur Steuerung der Abstrahlung (134) des mindestens einen optischen Signals (136) bereitzustellen.

Das Verfahren und die Vorrichtung (110) ermöglichen eine Wiedergabe (140) akustischer Signale (114), insbesondere von Wort, Musik oder Geräusch, aus analogen oder digitalen Signalquellen an einem weitgehend frei wählbaren, insbesondere von der Signalquelle entfernten Ort (116) mit breitbandigen Spektraleigenschaften,

ohne dass hierfür eine Empfangs- oder Dekodiereinrichtung oder eine lokale Stromversorgung erforderlich sind.



Beschreibung

Gebiet der Erfindung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung und Verfahren zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals sowie deren Verwendung.

Stand der Technik

[0002] Die derzeitige Lautsprechertechnologie basiert auf elektromechanischen Wandlern, z. B. Einheiten mit beweglichen Spulen, die in der Regel groß und schwer sind und daher physikalische Objekte von beträchtlicher Größe, fester Geometrie und räumlicher Lage darstellen. Sie können den Schall nur an ihrem Ort wiedergeben, da sie den Schall nicht über große Entfernungen übertragen und wiedergeben können.

[0003] Lautsprecher haben einen geringen Wirkungsgrad bei der Umwandlung von elektrischer Leistung in akustische Leistung, so dass für die Verstärkung von elektronischen Audiosignalen ein ständiger lokaler Anschluss an eine Stromversorgung erforderlich ist, während sie außerdem einen begrenzten Wiedergabebereich der Frequenzen der Audiosignale haben. Darüber hinaus sind für eine Übergabe der Audiosignale an den Verstärker spezielle drahtgebundene oder drahtlose Verbindungen erforderlich. Auch die akustische Abstrahlung des Lautsprechers im dreidimensionalen Raum ist vorgegeben und kann nicht mit den Abstrahleigenschaften realer Schallquellen übereinstimmen. Daher kann die Wiedergabe komplexer akustischer Szenen, die eine oder mehrere reale akustische Quellen umfassen, die in typischen Umgebungen Schall abstrahlen, nur näherungsweise über einen begrenzten Empfangsbereich durch die kombinierte akustische Abstrahlung einer Vielzahl von räumlich verteilten Lautsprechern erfolgen, die an festen Positionen um die gewünschte Empfangsposition herum platziert sind. Auf diese Weise ermöglicht die derzeitige Lautsprechertechnologie eine annähernde Darstellung von räumlichen Schallquellen und -feldern über einen begrenzten Empfangsbereich.

[0004] Alternative Wandlertechnologien, wie z.B. piezoelektrische Lautsprecher, sind ebenfalls durch die oben genannten Anforderungen an die örtliche Anordnung begrenzt, während sie außerdem nicht dazu eingerichtet sind, akustische Signale im mittleren bis unteren Schallbereich zu reproduzieren, was ihren Einsatz auf Hochfrequenz- oder Ultraschallanwendungen beschränkt. Elektromechanische und piezoelektrische Wandler erreichen aufgrund ihres begrenzten Frequenzgangs und ihrer begrenzten Schallleistung keine Wiedergabe von starken, breitbandigen, impulsartigen Schallwellen. Daher sind sie für den Einsatz bei akustischen Messungen oder

anderen Anwendungen, bei denen breitbandige, impulsartige Signale benötigt werden, ungeeignet.

[0005] Spannungsgesteuerte Plasmalautsprecher, die auf Corona- und Bogeneffekten basieren, erzeugen Schallwellen durch ein lokales Luftplasma, weisen jedoch ähnliche Einschränkungen wie die elektromechanischen und piezoelektrischen Lautsprecher auf. Die Plasmaerzeugung findet hier in der Regel zwischen einer Kathode und einer Anode statt und der Ort der Schallerzeugung bleibt lokal gebunden, während ihre Wiedergabefähigkeit im unteren, mittleren und tiefen Frequenzbereich deutlich beeinträchtigt ist.

[0006] Eine Kodierung und Übertragung von Schallinformationen mittels Laserstrahlung ist aus der Telekommunikation bekannt, jedoch werden auch hier die akustischen Signale über elektromechanische Wandler wiedergegeben. Entsprechend ist eine Übertragung von akustischen Signalen an entfernte Zuhörer nicht möglich.

[0007] CN 108 495 246 A J. G. Bolaños, S. Delikaris-Manias, V. Pulkki, J. Eskelinen und E. Haeggström, Laser-induced acoustic point source for accurate impulse response measurements within the audible bandwidth, J. Acoust. Soc. Am. 135(6), 2014, 298-303, und J. Eskelinen, E. Haeggström, S. Delikaris-Manias, J. G. Bolaños und V. Pulkki, Beamforming with a volumetric array of massless laser spark sources - Application in reflection tracking, J. Acoust. Soc. Am. 137 (6), 2015, 389-395, beschreiben jeweils eine Vorrichtung und Verfahren zur Erzeugung von akustischen Signalen, wobei ein laserinduziertes Plasma (LIB) mittels eines gepulsten Lasersignals, das eine Wiederholrate von 2 Hz bzw. 20-100 Hz aufweist, erzeugt wird, das als Punktquelle für möglichst genaue Impulsresonanz-Untersuchungen eingesetzt wird.

[0008] N. Hosoya, M. Nagata, I. Kajiwara, Acoustic testing in a very small space based on a point sound source generated by laser-induced breakdown: stabilization of plasma formation, Journal of Sound and Vibration 332, 2013, S. 4572-83, beschreiben ein Verfahren zur akustischen Prüfung, basierend auf einer Punktquelle, die durch laserinduzierten Durchschlag in Luft erzeugt wird. Ein leistungsstarker Neodym-Yttrium-Aluminium-Granat-Pulslaser wird zur Erzeugung des laserinduzierten Durchbruchs in akustischen Feldern verwendet. Die Plasmabildung erfolgt durch den laserinduzierten Durchbruch, wenn die lokale Intensität des Laserstrahls 10^{15} W/m² erreicht. Die Stoßwelle, die durch Verbrauch eines Teils der Plasmaenergie entsteht, wird zu einer Schallquelle. Wird der Laserstrahl durch eine konvexe Linse auf ein kleines Volumen fokussiert und weist die Schallquelle durch den laserinduzierten Durchbruch eine ungerichtete Eigenschaft auf,

kann damit eine Punktquelle erzeugt werden. Durch Sicherung des Laserlichtweges wird keine Vorrichtung zur akustischen Anregung in akustischen Feldern installiert.

[0009] Ausgehend hiervon, besteht die Aufgabe der vorliegenden Erfindung darin, eine Vorrichtung und Verfahren zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals sowie deren Verwendung bereitzustellen, welche die aufgeführten Nachteile und Einschränkungen des Standes der Technik zumindest teilweise überwinden.

[0010] Insbesondere sollen die Vorrichtung und das Verfahren eine Wiedergabe akustischer Signale, insbesondere von Wort, Musik oder Geräuschgeräuschen, aus analogen oder digitalen Signalquellen an einem weitgehend frei wählbaren, insbesondere von der Signalquelle entfernten Ort mit breitbandigen Spektraleigenschaften, ermöglichen, ohne dass hierfür eine Empfangs- oder Dekodierungseinrichtung oder eine lokale Stromversorgung erforderlich sind.

Offenbarung der Erfindung

[0011] Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung und ein Verfahren zur gemäß den Merkmalen der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen, welche einzeln oder in beliebiger Kombination realisierbar sind, sind in den abhängigen Ansprüchen dargestellt.

[0012] In einem ersten Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung eine Vorrichtung zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals. Die Vorrichtung umfasst hierbei:

- mindestens ein Laserelement, das zur Abstrahlung mindestens eines optischen Signals derart an mindestens ein Zielmedium eingerichtet ist, dass hierdurch eine Übertragung des mindestens einen optischen Signals an das mindestens eine Zielmedium und eine Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals mittels des mindestens einen Zielmediums erfolgt, wobei das mindestens eine Zielmedium zur Umwandlung des mindestens einen optischen Signals in das mindestens eine akustische Signal eingerichtet ist; und

- mindestens eine Steuerschnittstelle, die dazu eingerichtet ist, aus mindestens einem elektronischen Signal, das mit dem mindestens einen zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal korreliert ist, mindestens ein Steuersignal an das mindestens eine Laserelement zur Steuerung der Abstrahlung des mindestens einen optischen Signals bereitzustellen.

[0013] Die hierin vorgeschlagene Vorrichtung zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals kann insbesondere als „akustischer Wandler“ betrachtet werden, an dessen Eingang ein elektronisches Signal anliegt, das mindestens eine Information eines zur Übertragung und Wiedergabe vorgesehenen, ursprünglichen akustischen Signals trägt, und an dessen Ausgang mindestens ein optisches Signal abgestrahlt wird, das mittels eines mit dem mindestens einen optischen Signal beaufschlagten Zielmediums wieder, bevorzugt in unveränderter Form, in das mindestens eine ursprüngliche akustische Signal umgewandelt wird. Das auf diese Weise wiedergegebene mindestens eine akustische Signal umfasst somit die Information des mindestens einen ursprünglichen akustischen Signals.

[0014] Der Begriff des „akustischen Signals“ bezieht sich hierbei auf eine von Schallwellen getragene Information, wobei die Information durch eine Modulation in die Schallwelle eingepreßt ist. Bei der Information kann es sich hierbei insbesondere um mindestens ein akustisches Element, vorzugsweise ausgewählt aus Wort, Musik oder einem Geräuschgeräusch handeln. Der Begriff des „Wortes“ bezeichnet hierbei eine von Schallwellen getragene Information, die von einem menschlichen Hörer als Sprachinformation interpretiert werden kann, während sich der Begriff der „Musik“ auf einen organisierten Klang bezieht, der, bevorzugt über Instrumente oder die menschliche Stimme, insbesondere für künstlerische Zwecke, erzeugt wird. Weiterhin betrifft der Begriff des „Geräuschgeräusches“ mindestens ein akustisches Signal, das für einen menschlichen Hörer hinsichtlich der hiervon übertragenen Information nicht unbedingt von Interesse sind, jedoch für mindestens eine Anwendung geeignet ist, insbesondere ausgewählt aus der Medizin, dem Bioingenieurwesen, der Industrie und/oder der Forschung. Besonders geeignet für die vorliegende Erfindung sind daher Schallwellen, die eine Frequenz von 16 Hz bis 20 kHz aufweisen und die als für Menschen hörbarer Schall auch als „Hörschall“ bezeichnet werden. Allerdings eignet sich die vorliegende Erfindung auch für Schallwellen, die eine Frequenz von mehr als 20 kHz bis 1,6 GHz (Ultraschall) aufweisen und die, insbesondere in einem Ultraschallgenerator eingesetzt werden können. Weniger geeignet für die vorliegende Erfindung sind Schallwellen, die eine Frequenz unterhalb von 16 Hz (Infraschall) oder oberhalb von 1,6 GHz (Hyperschall) aufweisen.

[0015] Die vorgeschlagene Vorrichtung umfasst mindestens ein Laserelement, vorzugsweise ein einzelnes Laserelement oder eine Mehrzahl von Laserelementen, insbesondere in Form einer matrixförmigen Anordnung, wobei das mindestens eine Laserelement zur Abstrahlung mindestens eines optischen Signals an mindestens ein Zielmedium eingerichtet ist. Der Begriff des „optischen Signals“

bezieht sich hierbei auf eine von elektromagnetischen Wellen in dem optischen oder einem hieran angrenzenden Spektralbereich getragene Information, wobei die Information durch eine Modulation in die elektromagnetische Welle eingepreßt ist. Hierbei weisen die für das optische Signal verwendeten elektromagnetischen Wellen bevorzugt eine Frequenz von 10^{13} Hz bis 10^{16} Hz, besonders bevorzugt von 10^{14} Hz bis 10^{15} Hz, auf. Der Begriff des „Laserelements“ bezeichnet hierbei ein optisches Element, das zur Erzeugung von kohärenten elektromagnetischen Wellen mit mindestens einer dieser Frequenzen eingerichtet, insbesondere durch Bereitstellung von kurze oder ultrakurzen Laserpulsen zur Erzeugung eines Durchschlag und/oder einer Ablation in dem mindestens einen Zielmedium. Insbesondere eignen sich hierfür Laserelemente, die Pulsenergien von 1 μ J bis 10 J, besonders bevorzugt von 10 μ J bis 1 J, erzeugen können. Hiermit lassen sich vorzugsweise Laserpulse, die eine Dauer von 1 ns bis 100 ms, vorzugsweise von 10 fs bis 500 ns, erzeugen. Vorzugsweise kann das mindestens eine Laserelement ausgewählt sein aus einem Festkörperlaser, insbesondere einem Nd: YAG-Laser oder einem Ti: Saphir-Laser; einer leistungsstarken Laserdiode; oder einem Gaslaser oder kann auf einem optischparametrischen Verstärkungsprozess basieren, insbesondere ein optischer parametrischer Verstärker (OPA) oder ein optischer parametrischer Chirp-Pulsverstärker (OPCPA); andere Arten von Laserelementen sind jedoch möglich.

[0016] Wie bereits erwähnt, erfolgt die Abstrahlung des mindestens eines optischen Signals an mindestens ein Zielmedium. Der Begriff des „Zielmediums“ bezeichnet hierbei mindestens eine feste Substanz, insbesondere einen festen Körper; eine fluide, d.h. eine flüssige und/oder gasförmige, Substanz, oder eine Mischung hiervon, z.B. eine die Vorrichtung zumindest teilweise umgebende natürliche oder künstliche Atmosphäre; in welche das mindestens eine optische Signal aus dem mindestens einen Laserelement eingestrahlt wird. Das mindestens eine Zielmedium, in welches die Einstrahlung des mindestens eines optischen Signals erfolgt, und dessen räumliche Anordnung in dem dreidimensionalen Raum werden erfindungsgemäß derart ausgewählt, dass hierdurch eine Übertragung des mindestens eines optischen Signals an das mindestens eine Zielmedium und eine Wiedergabe des mindestens eines akustischen Signals mittels des mindestens einen Zielmediums erfolgt. Der Begriff der „Übertragung“ bezeichnet einen Transport eines Signals, hier des mindestens eines optischen Signals, bevorzugt in unveränderter Form, von einem ersten Ort in einem dreidimensionalen Raum, hier von einem Ausgang des mindestens eines Laserelements, zu einem davon verschiedenen weiteren Ort in demselben dreidimensionalen Raum, an dem sich hier zumindest ein Teil des mindestens einen Zielmediums

befindet. Der Begriff der „Wiedergabe“ bezeichnet eine Bereitstellung eines Signals, hier des mindestens eines akustischen Signals, bevorzugt in unveränderter Form, an dem weiteren Ort in demselben dreidimensionalen Raum, an dem sich hier zumindest ein Teil des mindestens einen Zielmediums befindet.

[0017] Da das mindestens eine Zielmedium erfindungsgemäß zur Umwandlung des mindestens eines optischen Signals in das mindestens eine akustische Signal eingerichtet ist, kann somit an dem weiteren Ort in demselben dreidimensionalen Raum, an dem sich hier zumindest ein Teil des mindestens einen Zielmediums befindet, die Bereitstellung des mindestens eines akustischen Signals erfolgen. Insbesondere kann sich in dem mindestens einen Zielmedium mindestens eine Plasmaquelle in Form eines stationäres oder sich bewegendes massenloses laserinduziertes Plasmas (LIB) ausbilden. Der Begriff des „laserinduzierten Plasmas“, kurz „LIB“, bezieht sich auf ein Plasma, das sich in Folge einer Beaufschlagung mindestens eines Zielmediums durch mindestens ein optisches Signal, vorzugsweise eine Folge von optischen Signalen, die durch mindestens ein Laserelement erzeugt werden, an einem Ort in dem dreidimensionalen Raum ausbildet, wobei an dem Ort gleichzeitig die gewünschte Umwandlung des mindestens eines optischen Signals in das mindestens eine akustische Signal erfolgt. Wie in den untenstehenden Ausführungsbeispielen näher erläutert, kann es sich bei dem mindestens einen Zielmedium um einen festen Körper handeln, zum Beispiel in Form einer Platte, die insbesondere mindestens ein Metall, eine Keramik oder ein Polymer aufweisen kann, der bei Beaufschlagung durch das mindestens eine, von dem mindestens einen Laserelement abgestrahlte optische Signal eine direkte Wiedergabe des akustischen Signals ermöglicht. Allerdings können hierbei durch Vibrationen der Platte und/oder durch Bearbeiten der Oberfläche der Platte hervorgerufene Ablationen zusätzliche harmonische oder nicht-harmonische Verzerrungen entstehen. Besonders bevorzugt ist daher mindestens ein Fluid, d.h. mindestens ein in einer Atmosphäre vorhandenes Gas, bevorzugt eine natürliche Atmosphäre; mindestens eine Flüssigkeit; oder eine Mischung hiervon, in dem sich die Plasmaquelle an einem weitgehend frei wählbaren Ort ausbilden kann. Das mindestens eine Zielmedium kann bevorzugt mindestens ein Gas oder ein Gasgemisch unter kontrollierten Druckbedingungen umfassen, um die Effizienz der Übertragung und Wiedergabe zu erhöhen.

[0018] Die vorgeschlagene Vorrichtung umfasst weiterhin mindestens eine Steuerschnittstelle, vorzugsweise genau eine Steuerschnittstelle, die dazu eingerichtet ist, aus mindestens einem elektronischen Signal, das mit dem mindestens einen zu

übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal korreliert ist, mindestens ein Steuersignal an das mindestens eine Laserelement zur Steuerung der Abstrahlung des mindestens einen optischen Signals bereitzustellen. Der Begriff des „elektronischen Signals“ bezieht sich hierbei auf eine von elektromagnetischen Wellen getragene Information, wobei die Information durch eine Modulation in die elektromagnetische Welle eingepreßt ist, z. B. durch Änderung einer elektrischen Spannung oder eines elektrischen Stroms, oder mittels eines drahtgebundenen oder drahtlosen Informationssignals. Im Unterschied zu den für das mindestens eine optische Signal eingesetzten Frequenzen, weisen die für das mindestens eine elektronische Signal verwendeten elektromagnetischen Wellen eine Frequenz von 1 Hz bis 5 MHz, bevorzugt von 10 Hz bis 500 kHz, auf.

[0019] Die gemäß der vorliegenden Erfindung für das mindestens eine elektronische Signal eingesetzten elektromagnetischen Wellen sind mit mindestens einem zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal korreliert. Im vorliegenden Zusammenhang bezeichnet der Begriff „korreliert“ eine Möglichkeit, ein akustisches Signal, bevorzugt in unveränderter Form, derart in ein elektronisches Signal umzuwandeln, dass das akustische Signal, bevorzugt in unveränderter Form, wieder aus dem elektronischen Signal erzeugbar ist. Anstelle des Begriffs „korreliert“ kann hier gleichbedeutend auch der Begriff „kodiert“ verwendet werden. Bei der in die elektromagnetische Welle eingepreßten mindestens einen Information kann es sich insbesondere um Wort, Musik oder ein Geräusch handeln, die der von dem mindestens einen akustischen Signal getragenen Information entsprechen. Daher kann das vorliegende mindestens eine elektronische Signal auch als „Audiosignal“ bezeichnet werden.

[0020] Der Begriff der „Steuerschnittstelle“ bezeichnet eine elektronische Einrichtung, die zur Erzeugung mindestens eines Steuersignals eingerichtet ist, wobei das mindestens eine Steuersignal zur Ansteuerung mindestens einer weiteren Einrichtung ausgestaltet ist. Der Begriff des „Steuersignals“ bezeichnet hierbei ein Signal, bevorzugt ein elektronisches Signal oder ein optisches Signal, das Informationen umfasst, die dazu eingerichtet sind, mindestens einen Zustand der hierdurch zu steuernden weiteren Einrichtung derart zu ändern, dass die weitere Einrichtung eine gewünschte Aktion ausführt.

[0021] In einer bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann die mindestens eine Steuerschnittstelle dazu eingerichtet sein, das mindestens eine Steuersignal zu erzeugen, das an das mindestens eine Laserelement übertragen wird, und so der Steuerung der Abstrahlung des mindestens einen optischen Signals aus dem mindestens einen Laserelement dient. In einer bevorzugten Ausgestal-

tung kann das mindestens eine ursprüngliche Audiosignal, das entweder analog oder digital sein kann, in das mindestens eine Steuersignal umgewandelt werden, insbesondere mindestens ein erstes Steuersignal zur Ansteuerung des mindestens einen Laserelements, das daher auch als „Triggersignal“ bezeichnet werden kann, und, wie unten näher ausgeführt, optional mindestens ein zweites Steuersignal zur Ansteuerung einer optischen Modulationseinheit. Das Steuersignal kann hierbei als Strom von rechteckigen elektrischen Impulsen ausgestaltet sein, wobei ein elektrischer Impuls eine Emission eines einzelnen Laserpulses hervorrufen oder eine Modulation des von dem mindestens einen Laserelement abgestrahlten optischen Signals bewirken kann.

[0022] In einer besonders bevorzugten Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann die vorgeschlagene Vorrichtung weiterhin mindestens einen Signalmodulator, vorzugsweise genau einen Signalmodulator, umfassen, der zum Empfang mindestens eines elektronischen Signals, das mit mindestens einem zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal korreliert ist, und zur Erzeugung mindestens eines modulierten elektronischen Signals eingerichtet ist. Hierbei bezeichnen die Begriffe „modulieren“ oder „Modulation“ eine Überlagerung eines Trägersignals, hier des mindestens einen elektronischen Signals, mit mindestens einer zusätzlichen Information, um auf diese Weise das Trägersignal mit der zusätzlichen Information zu kodieren. Die mindestens eine zusätzliche Information kann mittels eines ausgewählten Verfahrens in das Trägersignal, hier in das mindestens eine elektronische Signal, eingepreßt werden. Hierzu kann auf bekannte Modulationsverfahren zurückgegriffen werden, wobei Verfahren der digitalen Audiomodulation, insbesondere Pulsweitenmodulation (PWM), Pulsamplituden-Modulation (PAM) und/oder ein $\Sigma\Delta$ -Modulationsverfahren, besonders bevorzugt sind; ein Einsatz von anderen Modulationsverfahren ist jedoch möglich. Die „Pulsweitenmodulation“ betrifft hierbei ein Vorgehen, bei dem ein Tastgrad eines wiederholten Impulses, z.B. eines Rechteckpulses, jeweils entsprechend der zu kodierenden Information verändert wird, wobei die Frequenz des Trägersignals unverändert bleibt. Die „Pulsamplitudenmodulation“ betrifft ein zeitdiskretes, analoges oder digitales Modulationsverfahren, bei dem die Informationen als Änderungen der Amplitude der Impulse eines Impulsstroms kodiert werden. Eine „1-Bit $\Sigma\Delta$ Modulation“ betrifft ein gepulstes digitales Modulationsverfahren, das zu kodierende Informationen in den Änderungen des Impuls-zu-Puls-Zeitabstands aufeinanderfolgender Impulse kodiert, während eine „Multi-Bit $\Sigma\Delta$ Modulation“ ein gepulstes digitales Modulationsverfahren betrifft, das zu kodierende Informationen sowohl in den Änderungen des Impuls-zu-Puls-Zeitabstands aufeinanderfolgender Impulse als auch in der Amplitude der Impulse

kodiert. Für die vorliegende Erfindung eignen sich auch gemischte Verfahren, die als Kombination von PWM-, PAM- und $\Sigma\Delta$ -Modulationsverfahren auftreten können. Hierbei kann bei ausgewählten Modulationsverfahren, insbesondere bei den PWM- und PAM-Modulationsverfahren auf die Erzeugung des mindestens eines modulierten elektronischen Signals verzichtet werden; dies kann jedoch auf andere Modulationsverfahren nicht zutreffen, insbesondere für $\Sigma\Delta$ -Modulationsverfahren oder gemischte Modulationsverfahren.

[0023] Insbesondere in dieser bevorzugten Ausgestaltung kann eine Signalvorverarbeitung und Kodierung von zufälligen komplexen akustischen Signalen verfolgen, um diese mittels des mindestens einen Laserelements über mindestens einen optischen Pulsstrom wiederzugeben. Zusätzlich kann hierdurch eine Echtzeit-Modulation der Pulsenergie und einer Puls-zu-Puls-Wiederholrate ermöglicht werden, wodurch der mindestens eine gewünschte optische Pulsstrom erzeugt werden kann. Weiterhin kann die Signalvorverarbeitung in vorteilhafter Weise auch zur Verringerung oder, bevorzugt, zur Beseitigung von Verzerrungen, die bei einer Übertragung des optischen Signals zu dem Zielmedium oder einer Reaktion des optischen Signals mit dem Zielmedium auftreten können, eingesetzt werden.

[0024] Wie bereits erwähnt, kann die vorgeschlagene Vorrichtung bevorzugt weiterhin mindestens eine optische Modulationseinheit umfassen, die zur optischen Modulation des von dem mindestens einen Laserelement abgestrahlten optischen Signals vor der Beaufschlagung des mindestens einen Zielmediums mit dem mindestens einen optischen Signal eingerichtet ist, wobei die mindestens eine optische Modulationseinheit mittels eines weiteren, von der Steuerschnittstelle bereitgestellten weiteren Steuersignals steuerbar ist. Die mindestens eine optische Modulationseinheit kann vorzugsweise zur optischen Modulation einer Amplitude des von dem mindestens einen Laserelement abgestrahlten optischen Signals eingerichtet ist, umfassen. Hierbei kann die mindestens eine optische Modulationseinheit bevorzugt ausgewählt sein aus einem akustooptischen Modulator (AOM-Modulator), insbesondere einer Bragg-Zelle; oder einem elektrooptischen Modulator, insbesondere einer Pockels-Zelle; andere Arten von optischen Modulationseinheiten sind jedoch denkbar. Die „Bragg-Zelle“ umfasst hierbei einen Kristall und einen piezoelektrischen Wandler, wobei der Wandler eine Schallwelle in den Kristall aussendet, wodurch mechanische Spannungen erzeugt werden. Abhängig von der Intensität der Schallwelle lenkt der Kristall hierbei einen Teil des einfallenden Lichts ab. Der Begriff der „Pockels-Zelle“ bezeichnet einen elektrooptischen Modulator, der über einen optisch doppelbrechenden Kristall verfügt, in dem aus dem die Pockels-Zelle beauf-

schlagenden weiteren Steuersignal ein elektrisches Feld erzeugt wird, das Größe und Ausrichtung der Doppelbrechung ändern kann.

[0025] In einer bevorzugten Ausgestaltung kann die Vorrichtung weiterhin mindestens ein weiteres optisches Element umfassen, das als eigenständiges optisches Element ausgestaltet und/oder in das mindestens eine Laserelement integriert sein kann. Das mindestens eine weitere optische Element kann vorzugsweise dazu eingerichtet sein, das von dem mindestens einen Laserelement abgestrahlte mindestens eine optische Signal auf mindestens einen gewünschten Ort in einem dreidimensionalen Raum zu fokussieren. Hierzu kann das mindestens eine weitere optische Element insbesondere ausgewählt sein aus mindestens einer optischen Linse, bevorzugt einer fokussierenden optischen Linse, oder mindestens einem optischen Spiegel. Alternativ kann das von dem mindestens einen Laserelement erzeugte optische Signal bereits eine ausreichend hohe Fokussierung aufweisen und bereits in der gewünschten Richtung in den dreidimensionalen Raum abgestrahlt werden. Unabhängig von der Art der Fokussierung des mindestens einen optischen Signals kann somit sichergestellt werden, dass das mindestens eine akustische Signal an dem mindestens einen gewünschten Ort in dem dreidimensionalen Raum erzeugt werden kann.

[0026] In einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung ein Verfahren zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals. Das Verfahren umfasst hierbei die folgenden Schritte a) bis c):

- a) Empfangen mindestens eines elektronischen Signals, das mit mindestens einem zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal korreliert ist;
- b) Bereitstellen mindestens eines Steuersignals an mindestens ein Laserelement zur Steuerung einer Abstrahlung mindestens eines optischen Signals unter Verwendung des mindestens eines elektronischen Signals, das mit dem mindestens einen zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal korreliert ist; und
- c) Abstrahlen des mindestens eines optischen Signals durch das mindestens eine Laserelement derart an mindestens ein Zielmedium, dass hierdurch eine Übertragung des mindestens eines optischen Signals an das mindestens eine Zielmedium und eine Wiedergabe des mindestens eines akustischen Signals mittels des mindestens einen Zielmediums erfolgt, wobei das mindestens eine Zielmedium eine Umwandlung des mindestens eines optischen Signals in das mindestens eine akustische Signal ausführt.

[0027] Die Schritte a) bis c) können hierbei vorzugsweise mehrfach in der angegebenen Reihenfolge ausgeführt werden, wobei vor Beendigung des Schrittes c) mit einem weiteren elektronischen Signal wieder mit Schritt a) begonnen werden kann. Hierbei können die Schritte a) bis c) bevorzugt entsprechend der Länge des mindestens einen elektronischen Signals wiederholt ausgeführt werden, wodurch eine Echtzeit-Informationstranskodierung des mit dem mindestens einen akustischen Signal korrelierten mindestens einen elektronischen Signals in das mindestens einen optische Signal und schließlich in das erfindungsgemäß wiedergegebene mindestens einen akustische Signal erreicht wird.

[0028] In einer bevorzugten Ausgestaltung kann aus dem mindestens einen elektronischen Signal, das mit dem mindestens einem zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal korreliert ist, mindestens ein moduliertes elektronisches Signal bereitgestellt werden, wobei das mindestens eine Steuersignal an das mindestens eine Laserelement aus dem mindestens einen modulierten elektronischen Signal erzeugt werden kann. Alternativ kann das mindestens eine Steuersignal an das mindestens eine Laserelement jedoch auch direkt aus dem mindestens einen elektronischen Signal, das mit dem mindestens einen zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal korreliert ist, erzeugt werden.

[0029] In einer weiterhin bevorzugten Ausgestaltung kann mindestens ein weiteres Steuersignal an mindestens eine optische Modulationseinheit zur Steuerung einer optischen Modulation des durch das mindestens eine Laserelement abgestrahlten optischen Signals bereitgestellt werden, wobei die optische Modulation des von dem mindestens einen Laserelement abgestrahlten optischen Signals vor einer Beaufschlagung des mindestens einen Zielmediums mit dem mindestens einen optischen Signal erfolgt. Hierbei kann es besonders bevorzugt sein, wenn die optische Modulation des durch das mindestens eine Laserelement abgestrahlten optischen Signals eine optische Modulation einer Amplitude, insbesondere eine Pulsamplituden-Modulation, des durch das mindestens eine Laserelement abgestrahlten optischen Signals umfasst. Hierbei kann das mindestens eine weitere Steuersignal an die mindestens eine optische Modulationseinheit direkt aus dem mindestens einen elektronischen Signal, das mit dem mindestens einen zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal korreliert ist, oder aus dem mindestens einen modulierten elektronischen Signal erzeugt werden.

[0030] In einer weiterhin bevorzugten Ausgestaltung kann vor der Beaufschlagung des mindestens einen Zielmediums mit dem mindestens einen optischen Signal weiterhin eine Fokussierung des von dem

mindestens einen Laserelement abgestrahlten mindestens einen optischen Signals auf mindestens einen gewünschten Ort in einem dreidimensionalen Raum erfolgen. Wie oben erwähnt kann hierzu das mindestens eine weitere optische Element insbesondere ausgewählt werden aus mindestens einer optischen Linse, bevorzugt einer fokussierenden optischen Linse, oder mindestens einem optischen Spiegel, wobei, alternativ, das von dem mindestens einen Laserelement erzeugte optische Signal bereits eine ausreichend hohe Fokussierung aufweisen und bereits in der gewünschten Richtung in den dreidimensionalen Raum abgestrahlt werden kann, um so sicherzustellen, dass das mindestens eine akustische Signal an dem mindestens einen gewünschten Ort in dem dreidimensionalen Raum erzeugt werden kann.

[0031] Für weitere Einzelheiten in Bezug auf das vorliegende Verfahren wird auf die Beschreibung der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwiesen.

[0032] In einem weiteren Aspekt betrifft die vorliegende Erfindung eine Verwendung der Vorrichtung zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals. Eine besonders bevorzugte Verwendung kann hierbei einen Einsatz der Vorrichtung als Lautsprecher zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals an einem gewünschten Ort in einem dreidimensionalen Raum betreffen, bevorzugt zur Wiedergabe von akustischen Signalen mit hoher Qualität, insbesondere Wiedergabe von High-Fidelity Audio. Wie oben bereits dargelegt, bezieht sich das akustische Signal hierbei auf eine in mindestens eine Schallwelle eingeprägte und auf diese Weise von der mindestens einen Schallwelle getragenen Information, wobei es sich insbesondere um mindestens ein akustisches Element, vorzugsweise ausgewählt aus Wort, Musik oder einem Geräusch, handeln kann.

[0033] Weiterhin sind insbesondere folgende bevorzugte Verwendungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals möglich:

- Rendering von sich bewegenden Audioquellen, insbesondere in Echtzeit;
- Rendering von holographischen Klanglandschaften;
- Erzeugung impulsartiger oder kontinuierlicher akustischer Signale, insbesondere als Testsignale für akustische Messungen und industrielle Anwendungen;
- Schallquellen mit eigener Stromversorgung, die über große Entfernungen erzeugt werden können;
- Übertragung von Schallleistung über große Entfernungen und/oder hohe Leistungen;

- Übertragung von akustischen Signalen und Schalleistung für extraterrestrische Anwendungen;
- Präzisionsformung von lasergeneriertem Schall oder Ultraschall für medizinische Anwendungen;
- Anwendungen in der Kernfusion.

[0034] Weitere Verwendungen der vorliegenden erfindungsgemäßen Vorrichtung sind jedoch denkbar.

[0035] Für weitere Einzelheiten in Bezug auf die Verwendung der vorliegenden Vorrichtung wird auf die Beschreibung der erfindungsgemäßen Vorrichtung verwiesen.

[0036] Hierin werden die Begriffe „haben“, „aufweisen“, „umfassen“ oder „einschließen“ oder beliebige grammatikalische Abweichungen davon in nicht-ausschließlicher Weise verwendet. Dementsprechend können sich diese Begriffe sowohl auf Situationen beziehen, in welchen, neben den durch diese Begriffe eingeführten Merkmalen, keine weiteren Merkmale vorhanden sind, oder auf Situationen, in welchen ein oder mehrere weitere Merkmale vorhanden sind. Beispielsweise kann sich der Ausdruck „A hat B“, „A weist B auf“, „A umfasst B“ oder „A schließt B ein“ sowohl auf die Situation beziehen, in welcher, abgesehen von B, kein weiteres Element in A vorhanden ist (d.h. auf eine Situation, in welcher A ausschließlich aus B besteht), als auch auf die Situation, in welcher, zusätzlich zu B, ein oder mehrere weitere Elemente in A vorhanden sind, beispielsweise Element C, Elemente C und D oder sogar weitere Elemente.

[0037] Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass die Begriffe „mindestens ein“ und „ein oder mehrere“ sowie grammatikalische Abwandlungen dieser Begriffe, wenn diese in Zusammenhang mit einem oder mehreren Elementen oder Merkmalen verwendet werden und ausdrücken sollen, dass das Element oder Merkmal einfach oder mehrfach vorgesehen sein kann, in der Regel lediglich einmalig verwendet werden, beispielsweise bei der erstmaligen Einführung des Merkmals oder Elementes. Bei einer nachfolgenden erneuten Erwähnung des Merkmals oder Elementes wird der entsprechende Begriff „mindestens ein“ oder „ein oder mehrere“ in der Regel nicht mehr verwendet, ohne dass hierdurch die Möglichkeit eingeschränkt wird, dass das Merkmal oder Element einfach oder mehrfach vorgesehen sein kann.

[0038] Weiterhin werden hierin die Begriffe „vorzugsweise“, „insbesondere“, „beispielsweise“ oder ähnliche Begriffe in Verbindung mit optionalen Merkmalen verwendet, ohne dass alternative Ausführungsformen

hierdurch beschränkt werden. So sind Merkmale, welche durch diese Begriffe eingeleitet werden, optionale Merkmale, und es ist nicht beabsichtigt, durch diese Merkmale den Schutzzumfang der Ansprüche und insbesondere der unabhängigen Ansprüche einzuschränken. So kann die Erfindung, wie der Fachmann erkennen wird, auch unter Verwendung anderer Ausgestaltungen durchgeführt werden. In ähnlicher Weise werden Merkmale, welche durch „in einer Ausführungsform der Erfindung“ oder durch „in einem Ausführungsbeispiel der Erfindung“ eingeleitet werden, als optionale Merkmale verstanden, ohne dass hierdurch alternative Ausgestaltungen oder der Schutzzumfang der unabhängigen Ansprüche eingeschränkt werden soll. Weiterhin sollen durch diese einleitenden Ausdrücke sämtliche Möglichkeiten unangetastet bleiben, die hierdurch eingeleiteten Merkmale mit anderen Merkmalen zu kombinieren, seien es optionale oder nicht-optionale Merkmale.

Vorteile der Erfindung

[0039] Das vorliegende Verfahren und die beschriebene Vorrichtung eignen sich insbesondere zur Übertragung mindestens eines akustischen Signals, das aus einer analogen oder einer digitalen Signalquelle stammen kann, über große Entfernungen und zur Wiedergabe direkt auf einem entfernten Ziel oder einem Ort in der Luft, ohne dass hierfür eine Empfangseinrichtung und/oder eine Dekodierungsvorrichtung, insbesondere in Form eines elektromechanischen Wandlers, oder eine lokale Stromversorgung erforderlich ist. Die Demodulation des Schallsignals findet direkt in der umgebenden Atmosphäre statt und das akustische Signal in Form von einfachen oder komplexen Worten, Musik oder Geräuschen kann vom menschlichen oder tierischen Gehör wahrgenommen werden. Insbesondere kann erfindungsgemäß eine gleichzeitige Übertragung der gewünschten Information und des Leistungssignals erfolgen.

[0040] Die vorliegende Erfindung ermöglicht weiterhin eine Echtzeit-Verschiebung der mindestens einen akustischen Signalquelle in einem dreidimensionalen Raum durch Verschiebung des Fokuspunktes eines Laserelements sowie die Bereitstellung mindestens einer akustischen Signalquelle mit beliebiger Richtwirkung, d.h. analog zu realen, sich bewegenden akustischen Signalquellen. Dies kann durch die Verwendung von piezoelektrischen Positionierrichtungen mit schneller Rotation für den Laser oder sich schnell bewegenden Spiegeln erreicht werden, die den Strahl an die gewünschte Position umlenken, oder durch jedes andere Verfahren, das eine schnelle Verschiebung des Laserfokuspunktes im dreidimensionalen Raum ermöglicht. Potenziell können an einem gewünschten Ort in dem dreidimensionalen Raum grundsätzlich beliebig viele

derartiger virtueller Signalquellen bereitgestellt werden. Die ist mit den bekannten lautsprecherbasierten Wiedergabemethoden von Schall nur angenähert möglich. Die Erfindung ermöglicht weiterhin eine Erzeugung von kontrollierten impulsartigen akustischen Signalen mit sehr kurzen Laufzeiten bei beliebigen, insbesondere hohen, Drücken, die für viele akustische Messungen und virtuelle Audiosysteme nützlich sind. Die vorliegende Erfindung ermöglicht damit die ferngesteuerte Bereitstellung grundsätzlich beliebiger akustischer Signalquellen, die sich von den traditionellen drahtgebundenen oder drahtlosen Audiokanalverfahren unterscheiden. Insbesondere keine elektrischen, elektronischen oder optoelektronischen Komponenten, wie z.B. Kabel oder Glasfasern, zur Übertragung der kodierten Signale benötigt.

[0041] Die vorliegende Erfindung kann weiterhin auch zur Wiedergabe von akustischen Ultraschallsignalen verwendet werden, die in Feststoffen oder Fluiden erzeugt werden können, wobei deren Intensität, Position und Dauer genau gesteuert werden kann, insbesondere für medizinische oder prüftechnische Anwendungen.

[0042] Damit können mittels der vorliegenden Erfindung insgesamt die folgenden Vorteile erzielt werden:

- Wiedergabe von kontrollierten und kontinuierlichen breitbandigen akustischen Signalen über das mindestens eine Laserelement;
- Ansteuerung des mindestens einen Laserelements mit modulierten digitalen Audiosignalen über nicht spezialisierte Audioschnittstellen;
- Wiedergabe von 3D-Audioobjekten mit kontrollierter Richtwirkung aus stationären oder sich bewegenden masselosen Plasmaquellen in einer Atmosphäre oder in festen oder fluiden Objekten; und
- Bereitstellung einer akustischen Ultraschallquelle mit kontrollierter beliebiger und variabler Intensität und Strahlungsprofilen in Festkörpern, Flüssigkeiten oder in einer natürlichen oder künstlichen Atmosphäre.

Figurenliste

[0043] Weitere Einzelheiten und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung von bevorzugten Ausführungsbeispielen, insbesondere in Verbindung mit den abhängigen Ansprüchen. Hierbei können die jeweiligen Merkmale für sich alleine oder zu mehreren in Kombination miteinander verwirklicht sein. Die Erfindung ist jedoch nicht auf die Ausführungsbeispiele beschränkt. Die Ausführungsbeispiele sind schematisch in den nachfolgenden Figuren darge-

stellt. Hierbei bezeichnen gleiche Bezugsziffern in den Figuren gleiche oder funktionsgleiche Elemente bzw. hinsichtlich ihrer Funktionen einander entsprechende Elemente.

[0044] Im Einzelnen zeigen:

Fig. 1 eine schematische Darstellung der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals;

Fig. 2 eine schematische Darstellung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals;

Fig. 3 eine schematische Darstellung eines weiteren bevorzugten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals; und

Fig. 4 eine schematische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals.

Beschreibung der Ausführungsbeispiele

[0045] **Fig. 1** zeigt eine schematische Darstellung einer erfindungsgemäßen Vorrichtung 110 zur Wiedergabe 112 von akustischen Signalen 114 an einem Ort 116 in einem dreidimensionalen Raum 118. Bei den akustischen Signalen 114 handelt es sich hierbei um eine von Schallwellen getragene Information, die durch eine Modulation in die Schallwelle eingepreßt ist. Bei der Information kann es sich hierbei insbesondere um mindestens ein akustisches Element, vorzugsweise ausgewählt aus einem Wort, Musik oder einem Geräusch, handeln. Besonders geeignet sind daher Schallwellen, die eine Frequenz von 16 Hz bis 20 kHz aufweisen und die als für Menschen hörbarer Schall auch als „Hörschall“ bezeichnet werden. Jedoch eignet sich die vorliegende Erfindung auch für Schallwellen, die eine Frequenz von mehr als 20 kHz bis 1,6 GHz (Ultraschall) aufweisen und die sich, insbesondere in einem Ultraschallgenerator, bevorzugt für mindestens eine der oben genannte Verwendungen, einsetzen lassen.

[0046] Das in **Fig. 1a** schematisch dargestellte Ausführungsbeispiel der Vorrichtung 110 umfasst eine Steuerschnittstelle 120, die dazu eingerichtet ist, elektronische Signale 122, die mit den zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signalen 114 derart korreliert sind, dass die akustischen Signale 114, vorzugsweise in möglichst unveränderter Form, wieder aus den elektronischen Signalen 122 erzeugbar sind, an einem Signaleingang 124 zu empfangen. Daher können die mit den akustischen Signalen 114 korrelierten elektronischen Signale 122 üblicherweise auch als „Audiosignale“

bezeichnet werden. Im Unterschied zu den akustischen Signalen 114 handelt es sich bei den elektronischen Signalen um eine von elektromagnetischen Wellen getragene Information, wobei die Information durch eine Modulation in die elektromagnetische Welle eingepreßt ist. Besonders geeignet hierfür sind elektromagnetische Wellen, die eine Frequenz von 1 Hz bis 5 MHz, bevorzugt von 10 Hz bis 500 kHz, aufweisen.

[0047] Das in **Fig. 1b** schematisch dargestellte weitere Ausführungsbeispiel der Vorrichtung 110 umfasst zusätzlich zu der Steuerschnittstelle 120 einen Signalmodulator 126, der dazu eingerichtet, aus den elektronischen Signalen 122 jeweils modulierte elektronische Signale 128 zu erzeugen. Hierzu erfolgt eine Modulation der von dem Signalmodulator 126 empfangenen elektronischen Signale 122 durch Überlagerung der elektronischen Signale 122, um die elektronischen Signale 122 als Trägersignal mittels zusätzlicher Information zu kodieren, wobei die zusätzliche Information mittels eines ausgewählten Verfahrens in die als Trägersignal fungierenden elektronischen Signale 122 eingepreßt werden. Wie oben erwähnt, kann hierbei auf bekannte Modulationsverfahren zurückgegriffen werden, wobei Verfahren der digitalen Audiomodulation, insbesondere der Pulsweitenmodulation (PWM), Plusamplituden-Modulation (PAM) oder ein $\Sigma\Delta$ -Modulationsverfahren oder besonders bevorzugt sind; anderen Modulationsverfahren ist jedoch möglich. Der Signalmodulator 126 eignet sich insbesondere für einige Modulationsverfahren, insbesondere für $\Sigma\Delta$ -Modulationsverfahren, während sich Steuersignale 130 für andere Modulationsverfahren, insbesondere für PWM und PAM, direkt aus den elektronischen Signalen 122, die mit den zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signalen 114 korreliert sind, erzeugen lassen.

[0048] Wie weiterhin aus den **Fig. 1 a** und **Fig. 1b** hervorgeht, erzeugt die Steuerschnittstelle 120 aus den elektronischen Signalen 122, die mit den zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signalen 114 korreliert sind, die Steuersignale 130, die an das hier dargestellte einzige Laserelement 132 zur Steuerung einer Abstrahlung 134 von optischen Signalen 136 bereitgestellt werden. In einer weiteren Ausführung (nicht dargestellt) kann die Vorrichtung 110 jedoch über mindestens zwei, insbesondere drei, vier, fünf, sechs, acht, zehn, zwölf oder mehr, Laserelemente 132 verfügen. Bei jedem Laserelement 132 kann es sich vorzugsweise um eine Laserdiode oder einen Festkörperlaser handeln; andere Arten von Laserelementen 132 sind jedoch möglich.

[0049] Die Steuerschnittstelle 120 kann hierbei eine elektronische Einrichtung, die zur Erzeugung der Steuersignale 130 eingerichtet ist, sein oder umfassen, wobei die Steuersignale 130 vorzugsweise wei-

tere elektronische Signale oder optische Signale sind, die Informationen zur Änderung mindestens eines Zustands des hierdurch zu steuernden Laserelements 132 aufweisen. Wie in **Fig. 3** näher ausgeführt, kann die Steuerschnittstelle 120 vorzugsweise ein oder mehrere weitere Steuersignale an ein oder mehrere weitere Einheiten zu deren Steuerung übertragen. Für weitere Einzelheiten wird auf die untenstehende Beschreibung zu den **Fig. 2** und **Fig. 3** verwiesen.

[0050] Wie **Fig. 1** weiterhin schematisch zeigt, umfasst die vorgeschlagene Vorrichtung das hier dargestellte eine Laserelement 132, das zur Abstrahlung 134 der optischen Signale 136 an ein Zielmedium 138 eingerichtet ist. Hierdurch erfolgt eine Übertragung 140 der optischen Signale 136 an das Zielmedium 138 sowie eine Wiedergabe 112 der akustischen Signale 114 mittels des Zielmediums 138, das zur Umwandlung der optischen Signale 136 in die akustischen Signale 114 eingerichtet ist. Als das Zielmedium 138 eignet sich eine feste Substanz, insbesondere ein fester Körper; eine fluide, d.h. eine flüssige und/oder gasförmige, Substanz; oder eine Mischung hiervon. Das Zielmedium 138, in das die Einstrahlung der optischen Signale 136 erfolgt, und dessen räumliche Anordnung werden erfindungsgemäß derart ausgewählt, dass hierdurch ein Transport der optischen Signale 136, bevorzugt in unveränderter Form, von einem optischer Ausgang 142 des Laserelements 132 zu dem Ort 116 in dem dreidimensionalen Raum 118 und die Bereitstellung der akustischen Signale 114, bevorzugt in unveränderter Form, an dem Ort 116 in dem dreidimensionalen Raum 118. Da sich das Zielmedium 138 erfindungsgemäß zur Umwandlung der optischen Signale 136 in die akustischen Signale 114 eignet, kann somit an dem Ort 116 in dem dreidimensionalen Raum 118, an dem sich das Zielmedium 138 oder ein Teil hiervon befindet, die Wiedergabe der akustischen Signale 114 erfolgen. Für bevorzugte Ausführung des Zielmediums 138 wird auf die untenstehenden Ausführungsbeispiele verwiesen.

[0051] Die **Fig. 2** und **Fig. 3** zeigen jeweils eine schematische Darstellung eines bevorzugten Ausführungsbeispiels der erfindungsgemäßen Vorrichtung 110 zur Wiedergabe 112 der akustischen Signale 114 an dem gewünschten Ort 116 in dem dreidimensionalen Raum 118, der sich an oder in dem Zielmedium 138 befindet. Während **Fig. 2** eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 110 auf Basis einer Einzel-Bit-Kodierung zeigt, stellt **Fig. 2** schematisch eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung 110 auf Basis einer Multi-Bit-Kodierung dar.

[0052] Sowohl der in **Fig. 2** als auch der in **Fig. 3** eingesetzte Signalmodulator 126 ist jeweils dazu eingerichtet, die als „Audiosignale“ bezeichneten elekt-

ronischen Signale 122, die mit den zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signalen 114 - wie oben näher beschrieben - korreliert sind, zu empfangen. Hierbei erzeugt der in der Ausführungsform gemäß **Fig. 2** eingesetzte Signalmodulator 126 aus den empfangenen elektronischen Signalen 122 modulierte elektronische Signale 128, aus welchen die Steuerschnittstelle 120 - ebenso wie in der Darstellung gemäß **Fig. 1b** - die Steuersignale 130 zur Ansteuerung des Laserelements 132 erzeugt, die z.B. einem Trigger-Eingang des Laserelements 132 bereitgestellt werden können. Damit kann die Steuerschnittstelle 120 die als „Audiosignale“ bezeichneten elektronischen Signale 122, die der Signalmodulator 126 in Form von analogen, modulierten elektronischen Signalen, vorzugsweise als pulsweitenmodulierte Signale, bereitstellt, in einen Strom von digitalen modulierten elektronischen Signalen 128 umwandeln.

[0053] Zusätzlich kann der Signalmodulator 126 in der Ausführungsform gemäß **Fig. 3** ebenfalls aus den empfangenen, als „Audiosignale“ bezeichneten elektronischen Signalen 122 zusätzlich weitere modulierte elektronische Signale 144 erzeugen, aus welchen die Steuerschnittstelle 120 - in ähnlicher Weise wie die Steuersignale 130 - weitere Steuersignale 146 zur Ansteuerung einer optischen Modulationseinheit 148 erzeugen kann, vorzugsweise mittels eines Modulator-Kontrollers 150. Bei der optischen Modulationseinheit 148 kann es sich bevorzugt um eine Bragg-Zelle handeln, die mittels Spannungssignalen 152, die von dem Modulator-Kontroller 150 erzeugt werden, beaufschlagt werden kann; andere Arten von optischen Modulationseinheiten 148, z.B. eine Pockels-Zelle, sind jedoch denkbar. Unabhängig von der Art ihrer Ausführung ist die optische Modulationseinheit 148 zur optischen Modulation der von dem Laserelement 148 abgestrahlten optischen Signale 136, insbesondere der Amplitude der von dem Laserelement 148 abgestrahlten optischen Signale 136, vor der Beaufschlagung des Zielmediums 138 mit den optischen Signalen 136 eingerichtet.

[0054] Bei der Steuerschnittstelle 120, die in den Ausführungsformen gemäß den **Fig. 2** und **Fig. 3** eingesetzt wird, kann es sich vorzugsweise um eine Input/Output-Schnittstelle handeln, bevorzugt um eine handelsübliche Soundkarte 154 mit breitem Frequenzbereich, hoher Abtastrate und einer ausreichenden Anzahl von Ausgangskanälen, um die Steuersignale 130, 146 zu liefern.

[0055] In den beiden Ausführungsformen gemäß den **Fig. 2** und **Fig. 3** werden die optischen Signale 136 vor der Beaufschlagung des Zielmediums 138 mittels eines geeigneten optischen Elements 156, insbesondere einer fokussierenden optischen Linse 158, fokussiert, um so eine möglichst lokale Beauf-

schlagung des Orts 116 in dem Zielmedium 138 zu erreichen, um auf diese Weise eine möglichst lokal begrenzte Erzeugung eines Plasmas, insbesondere eines laserinduzierten Plasmas (LIB), an dem Ort 116 zu bewirken. Damit kann mittels der Ausführungsform gemäß **Fig. 2** jeder optische Impuls genau einen akustischen Impuls erzeugen, während die als „Audiosignale“ bezeichneten elektronischen Signale 122 eine Folge der akustischen Impulse an dem Ort 116 nachbilden können.

[0056] In beiden den Ausführungsformen gemäß den **Fig. 2** und **Fig. 3** ermöglicht jeweils eine Platte 160, die insbesondere mindestens ein Metall, eine Keramik oder ein Polymer aufweisen kann, eine direkte Wiedergabe 112 der akustischen Signale 114, wobei zusätzliche harmonische oder nicht-harmonische Verzerrungen durch Ablation in Folge einer Bearbeitung, insbesondere eines Ätzens, einer Oberfläche der Platte 160 und/oder aufgrund von Vibrationen der Platte 160 entstehen können. Wie bereits oben erwähnt, kann das Zielmedium 138 jedoch auch auf andere Art ausgeführt sein, insbesondere in Form eines Fluids, vorzugsweise eine die Vorrichtung umgebende natürliche oder künstliche Atmosphäre.

[0057] Während in der Ausführungsform gemäß **Fig. 2** die Frequenzen der akustischen Signale 114 durch eine Wiederholrate des Laserelements 132 begrenzt sind, ermöglicht es die in der Ausführungsform gemäß **Fig. 3** eingesetzte optische Modulationseinheit 148, eine Energiemenge der anfänglichen, von dem Laserelement 132 erzeugten optischen Signale 136 und somit eine Intensität der hieraus an dem Ort 116 erzeugten akustischen Signale 114 zu steuern, wodurch eine Implementierung von verschiedenen Pegeln der gewünschten Multi-Bit-Kodierung ermöglicht wird.

[0058] Zum Nachweis der Erzeugung der akustischen Signale 114 kann, wie die **Fig. 2** und **Fig. 3** schematisch zeigen, ein Mikrofon 162 eingesetzt werden, das der Soundkarte 154 als der Input/Output-Schnittstelle 128 weitere elektronische Signale 164 zuführen kann, die hieraus noch weitere elektronische Signale 166 erzeugen kann, die dem Signalmodulator 126 zugeführt werden können, der hieraus durch Signalmodulation demodulierte elektronische Signale 168 erzeugen kann, die an einem Signalausgang 170 ausgegeben und mit den als „Audiosignale“ bezeichneten elektronischen Signalen 122 verglichen werden können.

[0059] **Fig. 4** zeigt eine schematische Darstellung eines erfindungsgemäßen Verfahrens 210 zur Wiedergabe 112 mindestens eines akustischen Signals 114.

[0060] Sowohl in der Ausführung gemäß **Fig. 4a** als auch in der Ausführung gemäß **Fig. 4b** erfolgt während eines Empfangsschritts 212 gemäß Schritt a) ein Empfangen der als „Audiosignale“ bezeichneten elektronischen Signale 122, die mit den zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signalen 114 korreliert sind.

[0061] Gemäß eines Bereitstellungsschritts 214 gemäß Schritt b) erfolgt ein Bereitstellen der Steuersignale 130 an das Laserelement 132 zur Steuerung der Abstrahlung 134 der optischen Signale 136 unter Verwendung der während des Empfangsschritts 212 gemäß Schritt a) empfangenen elektronischen Signale 122. Optional kann der Bereitstellungsschritt 214 ein Bereitstellen der weiteren Steuersignale 146 an die optische Modulationseinheit 148 ebenfalls unter Verwendung der während des Empfangsschritts 212 gemäß Schritt a) empfangenen elektronischen Signale 122 umfassen.

[0062] Gemäß eines Abstrahlungsschritts 216 gemäß Schritt c) erfolgt ein Abstrahlen der optischen Signale 136 durch das Laserelement 132 derart an das Zielmedium 138, dass hierdurch eine Übertragung 140 der optischen Signale 136 an das Zielmedium 138 und eine Wiedergabe 112 der akustischen Signale 114 mittels des Zielmediums 138 erfolgt, wobei das Zielmedium 138 eine Umwandlung der optischen Signale 136 in die akustischen Signale 114 ausführt.

[0063] In der Ausführung gemäß **Fig. 4b** zusätzlich gemäß eines Modulationsschritts 218 ein Erzeugen von modulierten elektronischen Signalen 128, 144, insbesondere mittels des Signalmodulators 126, ebenfalls unter Verwendung der während des Empfangsschritts 212 gemäß Schritt a) empfangenen elektronischen Signale 122, erfolgen.

[0064] Für weitere Einzelheiten in Bezug auf das Verfahren 210 wird auf die obige Darstellung der Vorrichtung 110 verwiesen.

128	modulierte elektronische Signale
130	Steuersignale
132	Laserelement
134	Abstrahlung
136	optische Signale
138	Zielmedium
140	Übertragung
142	optischer Ausgang
144	weitere modulierte elektronische Signale
146	weitere Steuersignale
148	optische Modulationseinheit
150	Modulator-Kontroller
152	Spannungssignale
154	Soundkarte
156	optisches Element
158	fokussierende optische Linse
160	Platte
162	Mikrofon
164	weitere elektronische Signale
166	noch weitere elektronische Signale
168	demodulierte elektronische Signale
170	Signalausgang
210	Verfahren zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals
212	Empfangsschritt
214	Bereitstellungsschritt
216	Abstrahlungsschritt
218	Modulationsschritt

Patentansprüche

1. Vorrichtung (110) zur Wiedergabe (112) mindestens eines akustischen Signals (114), umfassend
 - mindestens ein Laserelement (132), das zur Abstrahlung (134) mindestens eines optischen Signals (136) derart an mindestens ein Zielmedium (138) eingerichtet ist, dass hierdurch eine Übertragung (140) des mindestens einen optischen Signals (136) an das mindestens eine Zielmedium (138) und eine Wiedergabe (112) mindestens eines akustischen Signals (114) mittels des mindestens einen Zielmediums (138) erfolgt, wobei das mindestens eine Zielmedium (138) zur Umwandlung des mindestens einen optischen Signals (136) in das mindestens eine akustische Signal (114) eingerichtet

Bezugszeichenliste

110	Vorrichtung zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals
112	Wiedergabe
114	akustische Signale
116	Ort
118	dreidimensionaler Raum
120	Steuerschnittstelle
122	elektronische Signale
124	Signaleingang
126	Signalmodulator

ist; und

- mindestens eine Steuerschnittstelle (120), die dazu eingerichtet ist, aus mindestens einem elektronischen Signal (122), das mit dem mindestens einen zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal (114) korreliert ist, mindestens ein Steuersignal (130) an das mindestens eine Laserelement (132) zur Steuerung der Abstrahlung (134) des mindestens einen optischen Signals (136) bereitzustellen.

2. Vorrichtung (110) nach dem vorangehenden Anspruch, ferner umfassend

- mindestens einen Signalmodulator (126), der zum Empfang des mindestens eines elektronischen Signals (122), das mit dem mindestens einem zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal (114) korreliert ist, und zur Erzeugung des mindestens einen Steuersignals (130) an das mindestens eine Laserelement (132) eingerichtet ist.

3. Vorrichtung (110) nach dem vorangehenden Anspruch, wobei der mindestens eine Signalmodulator (126) weiterhin zur Erzeugung mindestens eines modulierten elektronischen Signals (128) eingerichtet ist, wobei das mindestens eine Steuersignal (130) an das mindestens eine Laserelement (132) aus dem mindestens einen modulierten elektronischen Signal (128) erzeugt wird.

4. Vorrichtung (110) nach einem der vorangehenden Ansprüche, weiterhin umfassend

- mindestens eine optische Modulationseinheit (148), die zur optischen Modulation des von dem mindestens einen Laserelement (132) abgestrahlten optischen Signals (136) vor einer Beaufschlagung des mindestens einen Zielmediums (138) mit dem mindestens einen optischen Signal (136) eingerichtet ist, wobei die mindestens eine Steuerschnittstelle (120) weiterhin dazu eingerichtet ist, mindestens ein weiteres Steuersignal (146) an die mindestens eine optische Modulationseinheit (148) zur Steuerung der optischen Modulation des von dem mindestens einen Laserelement (132) abgestrahlten optischen Signals (136) bereitzustellen.

5. Vorrichtung (110) nach dem vorangehenden Anspruch, wobei der mindestens eine Signalmodulator (126) weiterhin zur Erzeugung des mindestens eines weiteren Steuersignals (146) an die mindestens eine optische Modulationseinheit (148) eingerichtet ist.

6. Vorrichtung (110) nach dem vorangehenden Anspruch, wobei der mindestens eine Signalmodulator (126) und/oder die mindestens eine Steuerschnittstelle (120) dazu eingerichtet ist, das mindestens eine weitere Steuersignal (146) an die mindestens eine optische Modulationseinheit (148)

aus dem mindestens einen modulierten elektronischen Signal (128) zu erzeugen.

7. Vorrichtung (110) nach einem der drei vorangehenden Ansprüche, wobei die mindestens eine optische Modulationseinheit (148) zur optischen Modulation einer Amplitude des von dem mindestens einen Laserelement (132) abgestrahlten optischen Signals (136) eingerichtet ist.

8. Vorrichtung (110) nach einem der vorangehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung (110) oder das mindestens eine Laserelement (132) weiterhin mindestens ein weiteres optisches Element (156) umfasst, wobei das mindestens eine weitere optische Element (156) dazu eingerichtet ist, das von dem mindestens einen Laserelement (132) abgestrahlte mindestens eine optische Signal (136) auf mindestens einen gewünschten Ort (116) in einem dreidimensionalen Raum (118) zu fokussieren.

9. Verfahren (210) zur Wiedergabe (112) mindestens eines akustischen Signals (114), umfassend die Schritte:

a) Empfangen mindestens eines elektronischen Signals (122), das mit mindestens einem zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal (114) korreliert ist;

b) Bereitstellen mindestens eines Steuersignals (130) an mindestens ein Laserelement (132) zur Steuerung einer Abstrahlung (134) mindestens eines optischen Signals (136) unter Verwendung des mindestens eines elektronischen Signals (122), das mit dem mindestens einen zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal (114) korreliert ist; und

c) Abstrahlen (134) des mindestens eines optischen Signals (136) durch das mindestens eine Laserelement (132) derart an mindestens ein Zielmedium (138), dass hierdurch eine Übertragung (140) des mindestens einen optischen Signals (136) an das mindestens eine Zielmedium (138) und eine Wiedergabe (112) des mindestens einen akustischen Signals (114) mittels des mindestens einen Zielmediums (138) erfolgt, wobei das mindestens eine Zielmedium (138) eine Umwandlung des mindestens einen optischen Signals (136) in das mindestens eine akustische Signal (114) ausführt.

10. Verfahren (210) nach dem vorangehenden Anspruch, wobei aus dem mindestens einen elektronischen Signal (122), das mit dem mindestens einem zu übertragenden und wiederzugebenden akustischen Signal (114) korreliert ist, mindestens ein moduliertes elektronisches Signal (128) bereitgestellt wird, wobei das mindestens eine Steuersignal (130) an das mindestens eine Laserelement (132) aus dem mindestens einen modulierten elektronischen Signal (128) erzeugt wird.

11. Verfahren (210) nach einem der vorangehenden Verfahrensansprüche, wobei mindestens ein weiteres Steuersignal (146) an mindestens eine optische Modulationseinheit (148) zur Steuerung einer optischen Modulation des durch das mindestens eine Laserelement (132) abgestrahlten optischen Signals (136) bereitgestellt wird, wobei die optische Modulation des von dem mindestens einen Laserelement (132) abgestrahlten optischen Signals (136) vor einer Beaufschlagung des mindestens einen Zielmediums (138) mit dem mindestens einen optischen Signal (136) erfolgt.

12. Verfahren (210) nach dem vorangehenden Anspruch, wobei das mindestens eine weitere Steuersignal (146) an die mindestens eine optische Modulationseinheit (148) aus dem mindestens einen modulierten elektronischen Signal (128) erzeugt wird.

13. Verfahren (210) nach einem der beiden vorangehenden Ansprüche, wobei die optische Modulation des durch das mindestens eine Laserelement (132) abgestrahlten optischen Signals (136) eine optische Modulation einer Amplitude des durch das mindestens eine Laserelement (132) abgestrahlten optischen Signals (134) umfasst.

14. Verfahren (210) nach einem der vorangehenden Verfahrensansprüche, wobei vor der Beaufschlagung des mindestens einen Zielmediums (138) mit dem mindestens einen optischen Signal (136) weiterhin eine Fokussierung des von dem mindestens einen Laserelement (132) abgestrahlten mindestens einen optischen Signals (136) auf mindestens einen gewünschten Ort (116) in einem dreidimensionalen Raum (118) erfolgt.

15. Verwendung einer Vorrichtung (110) nach einem der vorangehenden Ansprüche betreffend die Vorrichtung (110) als Lautsprecher zur Wiedergabe mindestens eines akustischen Signals (114) an einem gewünschten Ort (116) in einem dreidimensionalen Raum (118).

Es folgen 3 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

Fig. 1a

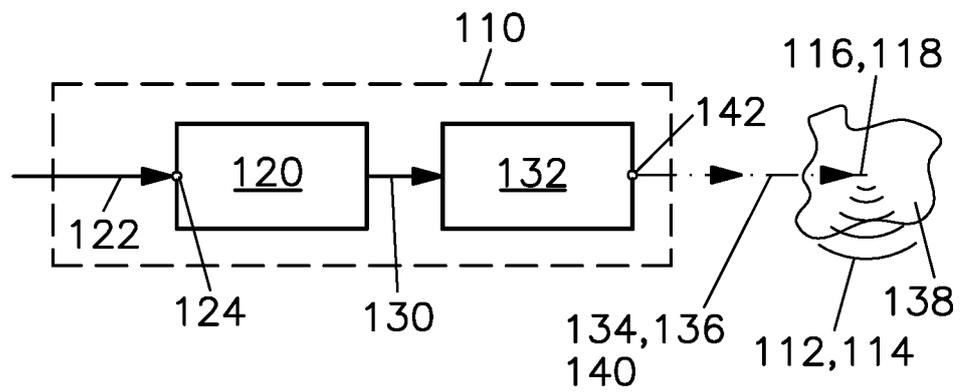


Fig. 1b

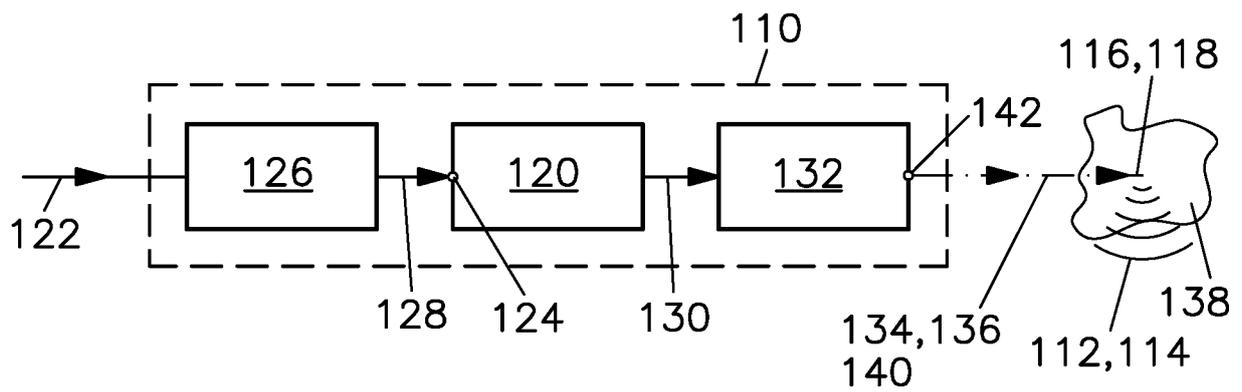


Fig. 2

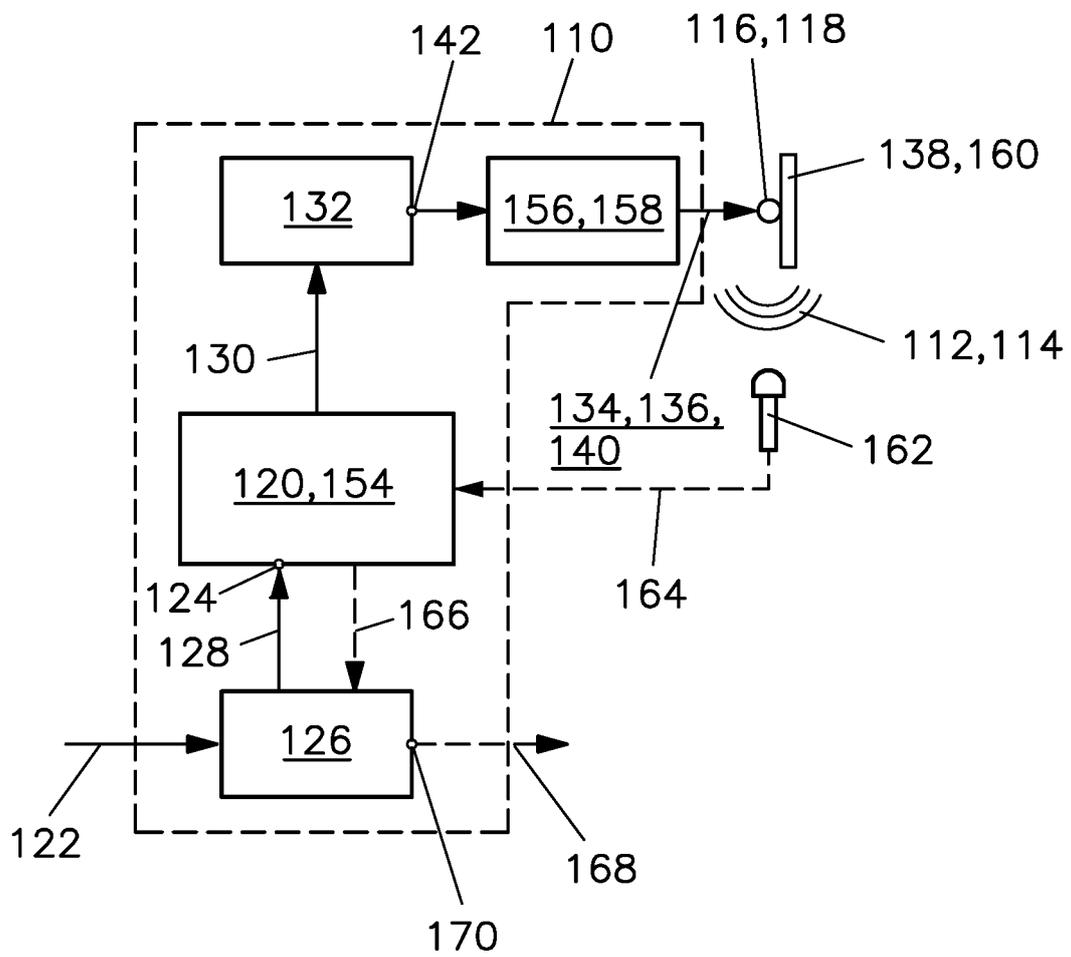


Fig. 3

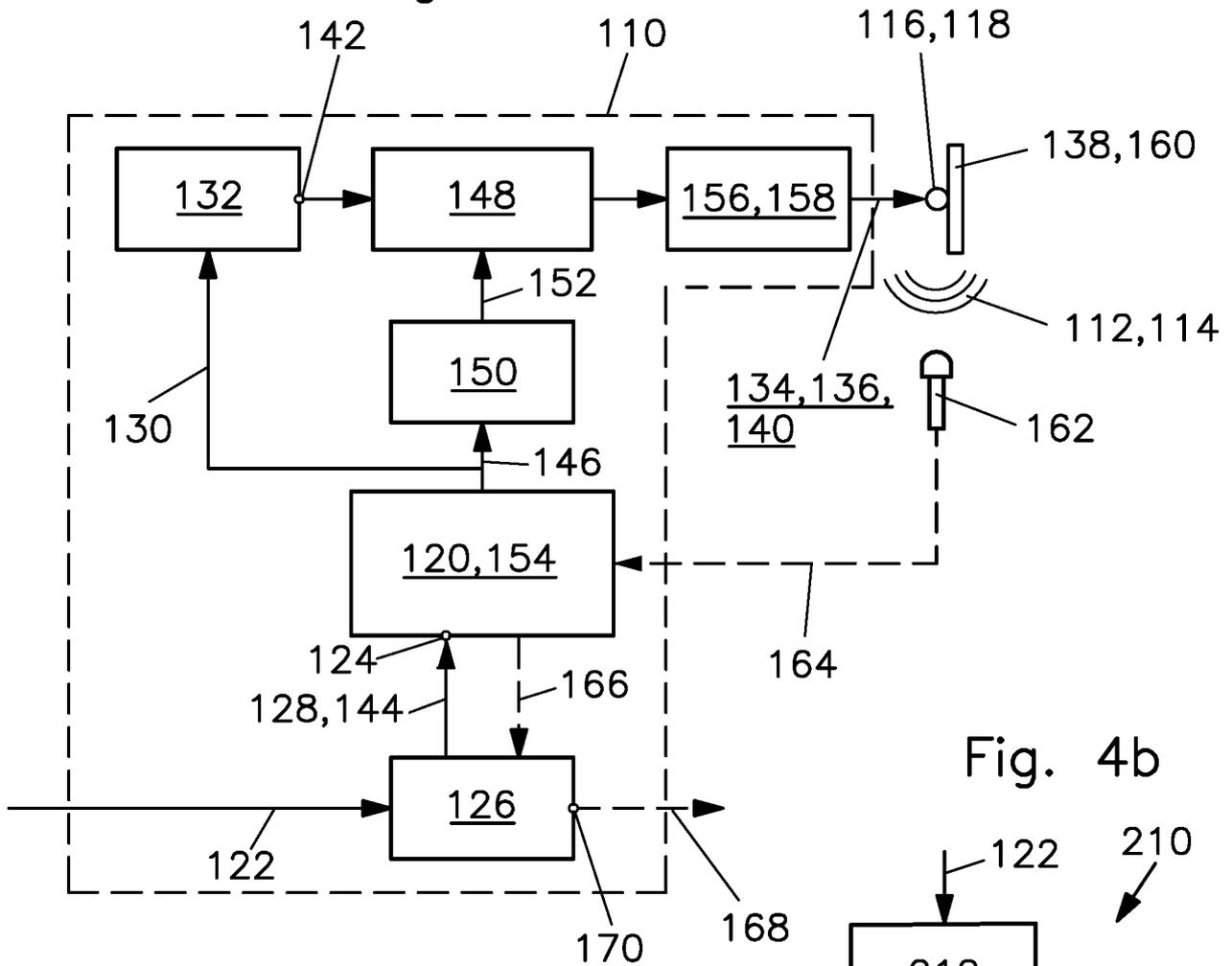


Fig. 4b

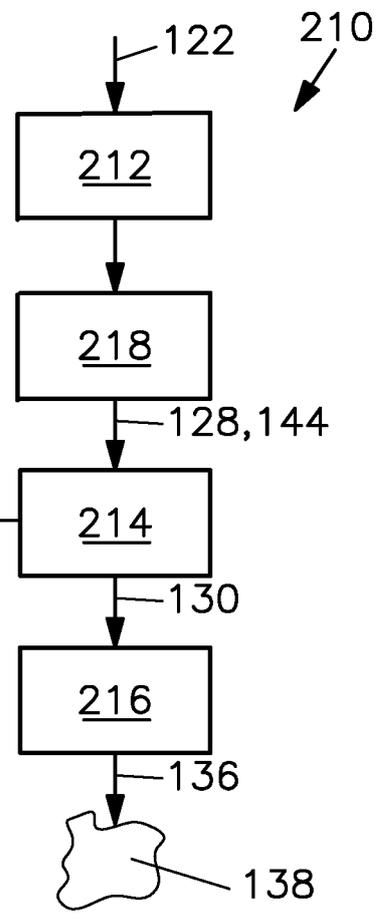


Fig. 4a

