

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7367877号
(P7367877)

(45)発行日 令和5年10月24日(2023.10.24)

(24)登録日 令和5年10月16日(2023.10.16)

(51)国際特許分類

G 0 1 H 9/00 (2006.01)

F I G 0 1 H 9/00 C

請求項の数 7 (全24頁)

(21)出願番号	特願2022-539833(P2022-539833)	(73)特許権者	000004226
(86)(22)出願日	令和2年7月28日(2020.7.28)		日本電信電話株式会社
(86)国際出願番号	PCT/JP2020/028872		東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(87)国際公開番号	WO2022/024217	(74)代理人	100121706
(87)国際公開日	令和4年2月3日(2022.2.3)		弁理士 中尾 直樹
審査請求日	令和4年11月29日(2022.11.29)	(74)代理人	100128705
			弁理士 中村 幸雄
		(74)代理人	100147773
			弁理士 義村 宗洋
		(72)発明者	石川 憲治
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号
			日本電信電話株式会社内
		(72)発明者	白木 善史
			東京都千代田区大手町一丁目5番1号
			日本電信電話株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 音計測方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

干渉計と音を用いて光の位相を変調する音測定部とを含む干渉光生成器と、2つの光検出器（以下、第1の光検出器、第2の光検出器という）と、差動信号生成器とを含む音計測装置が、音による光位相変調量 ϕ_s を計測する音計測方法であって、

前記干渉光生成器が、光源から射出された光から、前記音測定部により光位相変調した光を含む光（以下、第1の光という）と、前記第1の光とは異なる、前記音測定部により光位相変調した光を含む光（以下、第2の光という）とを得る干渉光生成ステップと、

前記第1の光検出器が、前記第1の光から電気信号（以下、第1の電気信号という）を得る第1光検出ステップと、

前記第2の光検出器が、前記第2の光から電気信号（以下、第2の電気信号という）を得る第2光検出ステップと、

前記差動信号生成器が、前記第1の電気信号と前記第2の電気信号からその差分である差動信号を得る差動信号生成ステップと、

を含み、

前記第1の光に含まれる光位相変調した光の位相と前記第2の光に含まれる光位相変調した光の位相は、反転した関係にあり、

前記光位相変調量 ϕ_s は、式 $\Delta i = \beta I_A \cos(\phi_s + \phi_0)$ （ただし、 β は所定の定数、 I_A は干渉縞の振幅、 ϕ_0 は音以外の要素による光位相変調量）により表される前記差動信号の電流 Δi として計測される

音計測方法。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の音計測方法であって、

前記干渉計は、ビームスプリッタと、2つの鏡（以下、第 1 の鏡、第 2 の鏡という）とを含み、

前記干渉光生成器内の第 1 の光路を伝搬する光は、前記ビームスプリッタ、前記音測定部の順に通過し、前記第 1 の鏡で反射され、前記音測定部、前記ビームスプリッタの順に通過する光であり、

前記干渉光生成器内の第 2 の光路を伝搬する光は、前記ビームスプリッタを通過し、前記第 2 の鏡で反射され、前記ビームスプリッタを通過する光であり、

前記第 1 の光と前記第 2 の光は、前記ビームスプリッタにおいて前記干渉光生成器内の第 1 の光路を伝搬する光と前記干渉光生成器内の第 2 の光路を伝搬する光を分岐することにより、得られる光である

ことを特徴とする音計測方法。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の音計測方法であって、

前記干渉計は、2つの偏光ビームスプリッタ（以下、第 1 の偏光ビームスプリッタ、第 2 の偏光ビームスプリッタという）と、2つの $1/2$ 波長板（以下、第 1 の $1/2$ 波長板、第 2 の $1/2$ 波長板という）と、2つの $1/4$ 波長板（以下、第 1 の $1/4$ 波長板、第 2 の $1/4$ 波長板という）と、2つの鏡（以下、第 1 の鏡、第 2 の鏡という）とを含み、

前記干渉光生成器内の第 1 の光路を伝搬する光は、前記第 1 の $1/2$ 波長板、前記第 1 の偏光ビームスプリッタ、前記第 1 の $1/4$ 波長板、前記音測定部の順に通過し、前記第 1 の鏡で反射され、前記音測定部、前記第 1 の $1/4$ 波長板、前記第 1 の偏光ビームスプリッタ、前記第 2 の $1/2$ 波長板、前記第 2 の偏光ビームスプリッタの順に通過する光であり、

前記干渉光生成器内の第 2 の光路を伝搬する光は、前記第 1 の $1/2$ 波長板、前記第 1 の偏光ビームスプリッタ、前記第 2 の $1/4$ 波長板の順に通過し、前記第 2 の鏡で反射され、前記第 2 の $1/4$ 波長板、前記第 1 の偏光ビームスプリッタ、前記第 2 の $1/2$ 波長板、前記第 2 の偏光ビームスプリッタの順に通過する光であり、

前記第 1 の光と前記第 2 の光は、前記第 2 の偏光ビームスプリッタにおいて前記干渉光生成器内の第 1 の光路を伝搬する光と前記干渉光生成器内の第 2 の光路を伝搬する光を分岐することにより、得られる光である

ことを特徴とする音計測方法。

【請求項 4】

請求項 1 に記載の音計測方法であって、

前記干渉計は、偏光ビームスプリッタと、ウォラストンプリズムと、2つの $1/2$ 波長板（以下、第 1 の $1/2$ 波長板、第 2 の $1/2$ 波長板という）と、2つの $1/4$ 波長板（以下、第 1 の $1/4$ 波長板、第 2 の $1/4$ 波長板という）と、2つの鏡（以下、第 1 の鏡、第 2 の鏡という）とを含み、

前記干渉光生成器内の第 1 の光路を伝搬する光は、前記第 1 の $1/2$ 波長板、前記偏光ビームスプリッタ、前記第 1 の $1/4$ 波長板、前記音測定部の順に通過し、前記第 1 の鏡で反射され、前記音測定部、前記第 1 の $1/4$ 波長板、前記偏光ビームスプリッタ、前記第 2 の $1/2$ 波長板、前記ウォラストンプリズムの順に通過する光であり、

前記干渉光生成器内の第 2 の光路を伝搬する光は、前記第 1 の $1/2$ 波長板、前記偏光ビームスプリッタ、前記第 2 の $1/4$ 波長板の順に通過し、前記第 2 の鏡で反射され、前記第 2 の $1/4$ 波長板、前記偏光ビームスプリッタ、前記第 2 の $1/2$ 波長板、前記ウォラストンプリズムの順に通過する光であり、

前記第 1 の光と前記第 2 の光は、前記ウォラストンプリズムにおいて前記干渉光生成器内の第 1 の光路を伝搬する光と前記干渉光生成器内の第 2 の光路を伝搬する光を分岐することにより、得られる光である

10

20

30

40

50

ことを特徴とする音計測方法。

【請求項 5】

ビームスプリッタと、干渉計と音を用いて光の位相を変調する音測定部とを含む干渉光生成器と、2つの光検出器（以下、第1の光検出器、第2の光検出器という）と、差動信号生成器とを含む音計測装置が、音による光位相変調量 ϕ_s を計測する音計測方法であって、

前記ビームスプリッタが、光源から射出された光から、2つの光（以下、第1の光、第2の光という）を得る光分岐ステップと、

前記干渉光生成器が、前記第1の光から、前記音測定部により光位相変調した光を含む光（以下、第3の光という）を得る干渉光生成ステップと、

前記第1の光検出器が、前記第3の光から電気信号（以下、第1の電気信号という）を得る第1光検出ステップと、

前記第2の光検出器が、前記第2の光から電気信号（以下、第2の電気信号という）を得る第2光検出ステップと、

前記差動信号生成器が、前記第1の電気信号と前記第2の電気信号からその差分である差動信号を得る差動信号生成ステップと、

を含み、

前記光位相変調量 ϕ_s は、式 $\Delta i = \beta I_A \cos(\phi_s + \phi_0)$ （ただし、 β は所定の定数、 I_A は干渉縞の振幅、 ϕ_0 は音以外の要素による光位相変調量）により表される前記差動信号の電流 Δi として計測され、

前記干渉計は、ビームスプリッタと、2つの鏡（以下、第1の鏡、第2の鏡という）とを含み、

前記干渉光生成器内の第1の光路を伝搬する光は、前記ビームスプリッタ、前記音測定部の順に通過し、前記第1の鏡で反射され、前記音測定部、前記ビームスプリッタの順に通過する光であり、

前記干渉光生成器内の第2の光路を伝搬する光は、前記ビームスプリッタを通過し、前記第2の鏡で反射され、前記ビームスプリッタを通過する光であり、

前記第3の光は、前記ビームスプリッタにおいて前記干渉光生成器内の第1の光路を伝搬する光と前記干渉光生成器内の第2の光路を伝搬する光を分岐することにより、得られる光であり、

前記干渉光生成器は、更にマルチパスミラーを含むものであり、前記干渉光生成器内の第1の光路を伝搬する光は、マルチパスミラーによる反射により音による光位相変調量 ϕ_s が増大した光となる

音計測方法。

【請求項 6】

干渉計と音を用いて光の位相を変調する音測定部とを含む干渉光生成器と、2つの光検出器（以下、第1の光検出器、第2の光検出器という）と、差動信号生成器と、光位相変調量調整器とを含む音計測装置が、音による光位相変調量 ϕ_s を計測する音計測方法であって、

前記干渉光生成器が、光源から射出された光から、前記音測定部により光位相変調した光を含む光（以下、第1の光という）と、前記第1の光とは異なる、前記音測定部により光位相変調した光を含む光（以下、第2の光という）とを得る干渉光生成ステップと、

前記第1の光検出器が、前記第1の光から電気信号（以下、第1の電気信号という）を得る第1光検出ステップと、

前記第2の光検出器が、前記第2の光から電気信号（以下、第2の電気信号という）を得る第2光検出ステップと、

前記差動信号生成器が、前記第1の電気信号と前記第2の電気信号からその差分である差動信号を得る差動信号生成ステップと、

前記光位相変調量調整器が、前記差動信号を誤差信号として、干渉縞の位相がミッドフリンジにあるように前記干渉計を固定することで、音以外の要素による光位相変調量 ϕ_0 を

調整する光位相変調量調整ステップと、

を含み、

前記第 1 の光に含まれる光位相変調した光の位相と前記第 2 の光に含まれる光位相変調した光の位相は、反転した関係にあり、

前記光位相変調量 ϕ_s は、式 $\Delta i = \beta I_A \sin(\phi_s)$ (ただし、 β は所定の定数、 I_A は干渉縞の振幅) により表される前記差動信号の電流 Δi として計測される

音計測方法。

【請求項 7】

請求項 6 に記載の音計測方法であって、

干渉計は、ビームスプリッタと、2 つの鏡 (以下、第 1 の鏡、第 2 の鏡という) とを含み、

前記干渉光生成器内の第 1 の光路を伝搬する光は、前記ビームスプリッタ、前記音測定部の順に通過し、前記第 1 の鏡で反射され、前記音測定部、前記ビームスプリッタの順に通過する光であり、

前記干渉光生成器内の第 2 の光路を伝搬する光は、前記ビームスプリッタを通過し、前記第 2 の鏡で反射され、前記ビームスプリッタを通過する光であり、

前記第 1 の光と前記第 2 の光は、前記ビームスプリッタにおいて前記干渉光生成器内の第 1 の光路を伝搬する光と前記干渉光生成器内の第 2 の光路を伝搬する光を分岐することにより、得られる光である

ことを特徴とする音計測方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光による音計測技術に関する。

【背景技術】

【0002】

光を用いた音計測方法の 1 つとして、音響光学効果と呼ばれる音による媒質の屈折率変化を利用する方法がある。音響光学効果によると、空気中の音による光位相変調量 ϕ_s は、次式により表される。

【数 1】

$$\phi_s = k \frac{n_0 - 1}{\gamma p_0} \int p dl \cdots (1)$$

ただし、 k は光の波数、 n_0 は定常状態の空気屈折率、 p_0 は定常状態の大気圧、 γ は空気の比熱比、 p は音圧である。また、式 (1) の積分は光の伝搬経路に沿った線積分である。

【0003】

つまり、式 (1) で与えられる音による光位相変調量 ϕ_s を観測することによって、非接触に音を計測することができる。

【0004】

音響光学効果を利用した音計測方法の多くで、光干渉計を利用する。光干渉計として、マイケルソン型、マッハツェンダ型、フィゾー型など任意の光干渉計を用いることができる。図 1 は、マイケルソン干渉計を用いた音計測装置を示す。図 1 の音計測装置は、マイケルソン干渉計と、音測定部と、光検出器を含む。また、マイケルソン干渉計は、ビームスプリッタと 2 つの鏡を含む。音測定部が、音を用いて光の位相を変調する構成部である。なお、光源にはレーザを用いることができる。図 1 中の BS、M、PD はそれぞれビームスプリッタ、鏡、光検出器を表す。また、矢印は、光が分岐、伝搬する様子を表す。

【0005】

以下、図 1 の音計測装置の動作について説明する。光源から射出された光をビームスプリッタで 2 つの光に分割する。そして、2 つの光は干渉計内の異なる経路を伝搬し、少な

10

20

30

40

50

くとも1つの光は音測定部を通過する。その後、2つの光はビームスプリッタで合波される。合波された光、すなわち、干渉光を光検出器で検出することによって、2つの光の位相差を電気信号として取り出す。ここで、光検出器の出力である電気信号（出力信号）の電流*i*は、次式により表される。

【数2】

$$i = \eta I = \eta [I_{DC} + I_A \cos(\phi_s + \phi_0)] \cdots (2)$$

ただし、 η は光検出器の量子効率、 I は干渉光の光量、 I_{DC} は干渉光の光量の直流成分（平均光強度）、 I_A は干渉縞の振幅、 ϕ_0 は音以外の要素による光位相変調量である。

【0006】

式(2)からわかるように、出力信号の電流*i*は、音による光の位相変調量 ϕ_s に依存して変化する。このことを利用して、非接触な音計測が実現される（非特許文献1参照）。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0007】

【文献】P. Yuldashev, M. Karzova, V. Khokhlova, S. Ollivier, and P. Blanc-Benon, "Mach-Zehnder interferometry method for acoustic shock wave measurements in air and broadband calibration of microphones," The Journal of the Acoustical Society of America, 137(6), pp.3314-3324, 2015.

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

図1の音計測装置の出力信号の電流*i*は、平均光強度 I_{DC} に、音による光位相変調量 ϕ_s を含む干渉の影響を示す強度 $I_A \cos(\phi_s + \phi_0)$ を加算した結果から得られる。一般に、音による光位相変調量 ϕ_s は微小であり、平均光強度 I_{DC} に対して非常に小さい。また、平均光強度 I_{DC} には光源の強度揺らぎなどに起因する雑音が含まれている。この雑音は、平均光強度 I_{DC} に対しては微小であっても、音による光位相変調量 ϕ_s に対しては無視することができない。そのため、音計測装置で検出可能な最小の光位相変調量が決定されることがしばしばある。したがって、音計測装置における雑音を低減し、SN比を向上させるためには、平均光強度 I_{DC} に含まれる雑音の低減が重要な課題となる。

【0009】

そこで本発明では、平均光強度に含まれる雑音の影響を受けることがない、音による光位相変調量の計測技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明の一態様は、干渉計と音を用いて光の位相を変調する音測定部とを含む干渉光生成器と、2つの光検出器（以下、第1の光検出器、第2の光検出器という）と、差動信号生成器とを含む音計測装置が、音による光位相変調量 ϕ_s を計測する音計測方法であって、前記干渉光生成器が、光源から射出された光から、前記音測定部により光位相変調した光を含む光（以下、第1の光という）と、前記第1の光とは異なる、前記音測定部により光位相変調した光を含む光（以下、第2の光という）とを得る干渉光生成ステップと、前記第1の光検出器が、前記第1の光から電気信号（以下、第1の電気信号という）を得る第1光検出ステップと、前記第2の光検出器が、前記第2の光から電気信号（以下、第2の電気信号という）を得る第2光検出ステップと、前記差動信号生成器が、前記第1の電気信号と前記第2の電気信号からその差分である差動信号を得る差動信号生成ステップと、を含み、前記第1の光に含まれる光位相変調した光の位相と前記第2の光に含まれる光位相変調した光の位相は、反転した関係にあり、前記光位相変調量 ϕ_s は、式 $\Delta i = \beta I_A \cos(\phi_s + \phi_0)$ （ただし、 β は所定の定数、 I_A は干渉縞の振幅、 ϕ_0 は音以外の要素による光位相変調量）により表される前記差動信号の電流 Δi として計測される。

10

20

30

40

50

【0011】

本発明の一態様は、ビームスプリッタと、干渉計と音を用いて光の位相を変調する音測定部とを含む干渉光生成器と、2つの光検出器（以下、第1の光検出器、第2の光検出器という）と、差動信号生成器とを含む音計測装置が、音による光位相変調量 ϕ_s を計測する音計測方法であって、前記ビームスプリッタが、光源から射出された光から、2つの光（以下、第1の光、第2の光という）を得る光分岐ステップと、前記干渉光生成器が、前記第1の光から、前記音測定部により光位相変調した光を含む光（以下、第3の光という）を得る干渉光生成ステップと、前記第1の光検出器が、前記第3の光から電気信号（以下、第1の電気信号という）を得る第1光検出ステップと、前記第2の光検出器が、前記第2の光から電気信号（以下、第2の電気信号という）を得る第2光検出ステップと、前記差動信号生成器が、前記第1の電気信号と前記第2の電気信号からその差分である差動信号を得る差動信号生成ステップと、を含み、前記光位相変調量 ϕ_s は、式 $\Delta i = \beta I_A \cos(\phi_s + \phi_0)$ （ただし、 β は所定の定数、 I_A は干渉縞の振幅、 ϕ_0 は音以外の要素による光位相変調量）により表される前記差動信号の電流 Δi として計測される。

10

【0012】

本発明の一態様は、干渉計と音を用いて光の位相を変調する音測定部とを含む干渉光生成器と、2つの光検出器（以下、第1の光検出器、第2の光検出器という）と、差動信号生成器と、光位相変調量調整器とを含む音計測装置が、音による光位相変調量 ϕ_s を計測する音計測方法であって、前記干渉光生成器が、光源から射出された光から、前記音測定部により光位相変調した光を含む光（以下、第1の光という）と、前記第1の光とは異なる、前記音測定部により光位相変調した光を含む光（以下、第2の光という）とを得る干渉光生成ステップと、前記第1の光検出器が、前記第1の光から電気信号（以下、第1の電気信号という）を得る第1光検出ステップと、前記第2の光検出器が、前記第2の光から電気信号（以下、第2の電気信号という）を得る第2光検出ステップと、前記差動信号生成器が、前記第1の電気信号と前記第2の電気信号からその差分である差動信号を得る差動信号生成ステップと、前記光位相変調量調整器が、前記差動信号を誤差信号として、干渉縞の位相がミッドフリンジにあるように前記干渉計を固定することで、音以外の要素による光位相変調量 ϕ_0 を調整する光位相変調量調整ステップと、を含み、前記第1の光に含まれる光位相変調した光の位相と前記第2の光に含まれる光位相変調した光の位相は、反転した関係にあり、前記光位相変調量 ϕ_s は、式 $\Delta i = \beta I_A \sin(\phi_s)$ （ただし、 β は所定の定数、 I_A は干渉縞の振幅）により表される前記差動信号の電流 Δi として計測される。

20

30

【発明の効果】

【0013】

本発明によれば、平均光強度に含まれる雑音の影響を受けることなく、音による光位相変調量を計測することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】従来の音計測装置の構成の一例を示す図である。

【図2】本願の音計測装置の構成の一例を示す図である。

【図3】ビームスプリッタにおける入射光と出射光の様子を示す図である。

40

【図4】光量調整器を含む構成の一例を示す図である。

【図5】本願の音計測装置の構成の一例を示す図である。

【図6】本願の音計測装置の構成の一例を示す図である。

【図7】ウォラトンプリズムを用いた構成の一例を示す図である。

【図8】本願の音計測装置の構成の一例を示す図である。

【図9】光位相変調量調整器の構成の一例を示す図である。

【図10】干渉縞の位相と干渉光の強度の関係を示す図である。

【図11】干渉光のパワースペクトル密度の様子を示す図である。

【図12】マルチパスミラーを用いた構成の一例を示す図である。

【図13】音計測装置100の構成を示すブロック図である。

50

【図14】音計測装置100の動作を示すフローチャートである。
【図15】干渉光生成器110の構成を示すブロック図である。
【図16】干渉光生成器110の構成を示すブロック図である。
【図17】干渉光生成器110の構成を示すブロック図である。
【図18】音計測装置200の構成を示すブロック図である。
【図19】音計測装置200の動作を示すフローチャートである。
【図20】音計測装置300の構成を示すブロック図である。
【図21】音計測装置300の動作を示すフローチャートである。
【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、本発明の実施の形態について、詳細に説明する。なお、同じ機能を有する構成部には同じ番号を付し、重複説明を省略する。

【0016】

各実施形態の説明に先立って、この明細書における表記方法について説明する。

【0017】

^（キャレット）は上付き添字を表す。例えば、 $x^y{}^z$ は y^z が x に対する上付き添字であり、 $x_y{}^z$ は y^z が x に対する下付き添字であることを表す。また、_（アンダースコア）は下付き添字を表す。例えば、 $x^y{}_z$ は y_z が x に対する上付き添字であり、 $x_y{}_z$ は y_z が x に対する下付き添字であることを表す。

【0018】

ある文字 x に対する ^{x} や ${}_x$ のような上付き添え字の“^”や“_”は、本来“ x ”の真上に記載されるべきであるが、明細書の記載表記の制約上、 ^{x} や ${}_x$ と記載しているものである。

【0019】

<技術的背景>

本発明の実施形態では、音響光学効果を用いた光による音計測において、干渉光を差動検出する。これにより、平均光強度を相殺し、平均光強度に含まれる雑音を除去することができる。したがって、従来の音計測装置における主要な雑音である、光源の光強度雑音を除去することによって、SN比を大幅に向上させることができる。また、同程度のSN比を実現しようとする場合における光源の強度安定性に対する要求を大幅に低下させることができ、コスト削減が可能となる。

【0020】

以下、本発明の実施形態における音計測装置の構成例をいくつか示す。

【0021】

（構成例1）

図2は、音計測装置の構成の一例を示す図である。図2の音計測装置は、マイケルソン干渉計による構成例であり、ビームスプリッタと、干渉計と、音測定部と、2つの光検出器と、差動検出部を含む。また、干渉計は、ビームスプリッタと2つの鏡を含む。図2中のBS、M、PDはそれぞれビームスプリッタ、鏡、光検出器を表す。○に十字の記号は、差動検出部を表す。また、矢印は光が分岐、伝搬する様子を表す。

【0022】

なお、光源にはレーザを用いることができる。また、干渉計には、マイケルソン干渉計の代わりに、マッハツェンダ型、フィゾー型など任意の干渉計を用いることができる。

【0023】

以下、図2の音計測装置の動作について説明する。光源から射出された光は干渉計のビームスプリッタによって2つの光に分割される。そのうち少なくとも1つの光は音測定部を1回以上通過する。2つの光はそれぞれ鏡により反射され、干渉計のビームスプリッタに入射し結合される。ビームスプリッタの2つポート（図3の出射ポート1と出射ポート2）から射出された光はそれぞれ光検出器によって検出され、電気信号に変換される。2つの電気信号の差分である差動信号が出力信号として得られる。

【0024】

ここで、図3に示すように干渉計のビームスプリッタにおける入射光と出射光の関係について考える。出射ポート1に出射される光は、入射ポート1から入射した光のうちビームスプリッタを透過した成分と入射ポート2から入射した光のうちビームスプリッタで反射した成分の和である。また、出射ポート2に出射される光は、入射ポート1から入射した光のうちビームスプリッタで反射した成分と入射ポート2から入射した光のうちビームスプリッタを透過した成分の和である。ここで、屈折率の異なる媒質間での光の反射の法則により、入射ポート1から入射した光のうちビームスプリッタで反射した成分と入射ポート2から入射した光のうちビームスプリッタで反射した成分のどちらか一方は、反射時に位相が反転する。ただし、どちらの成分の位相が反転するかは、ビームスプリッタの構造や向きに依存する。ここでは、入射ポート1から入射した光のうちビームスプリッタで反射した成分の位相が反転したものとする。ここで、 E_{IN1} を入射ポート1から入射した光、 E_{IN2} を入射ポート2から入射した光とすると、出射ポート1に出射される光 E_1 、出射ポート2に出射される光 E_2 は、それぞれ以下の式で表すことができる。

【数3】

$$E_1 = \frac{1}{\sqrt{2}}(E_{IN1} + E_{IN2}) \cdots (3)$$

【数4】

$$E_2 = \frac{1}{\sqrt{2}}(-E_{IN1} + E_{IN2}) \cdots (4)$$

I_1 を光 E_{IN1} の強度（光量）、 I_2 を光 E_{IN2} の強度（光量）とすると、2つの光検出器PD1、PD2から出力される電気信号の電流 i_1 、 i_2 は、それぞれ以下の式で表すことができる。

【数5】

$$i_1 = \eta I_1 = \eta[I_{DC} + I_A \cos(\phi_s + \phi_0)] \cdots (5)$$

【数6】

$$i_2 = \eta I_2 = \eta[I_{DC} - I_A \cos(\phi_s + \phi_0)] \cdots (6)$$

したがって、差動検出部の出力信号である差動信号の電流 Δi は、以下の式で表される。

【数7】

$$\Delta i = \eta(I_1 - I_2) = 2\eta I_A \cos(\phi_s + \phi_0) \cdots (7)$$

式(7)からわかるように、差動信号の電流 Δi には平均光強度 I_{DC} を含む項が含まれていない。したがって、平均光強度に含まれる光源の強度の揺らぎなどに起因する雑音に影響されない低雑音な音、つまり、音による光位相変調量 ϕ_s を計測することができる。

【0025】

なお、図4に示すように、音計測装置は、2つの光検出器に入射する光量を独立して調整するための光量調整器（図4中のP）を備えるものであってもよい。ここで、光量調整器として、直線偏光子を用いることができる。構成例1では、2つの光の偏光状態は等しい。例えば、2つの光が直線偏光であるとすれば、直線偏光子を回転することで光検出器に入射する光量を調整することができる。このように、図2の音計測装置が光量調整器を備えることで、光学系による入射光量の差や光検出器の感度の不一致により2つの光検出器から出力される電気信号が完全に同じ振幅にならないという問題を解決することができる。

【0026】

(構成例2)

図5は、音計測装置の構成の一例を示す図である。図5の音計測装置は、構成例1と同様、マイケルソン干渉計による構成例であり、ビームスプリッタと、干渉計と、音測定部と、2つの光検出器と、差動検出部を含む。ただし、光源の近くに位置するビームスプリッタの向きが、図2と図5では反転している。そのため、光検出器PD2で検出される光は、干渉計を通過したものではなく、光検出器PD2で検出される光の光量は直流成分のみとなる。

【0027】

2つの光検出器PD1, PD2から出力される電気信号の電流 i_1 , i_2 は、それぞれ以下の式で表すことができる。

10

【数8】

$$i_1 = \eta I_1 = \eta [I_{DC} + I_A \cos(\phi_s + \phi_0)] \cdots (8)$$

【数9】

$$i_2 = \eta I_2 = 2\eta I_{DC} \cdots (9)$$

ここで、光検出器PD2で検出される平均光強度は I_{DC} の2倍（つまり、 $2I_{DC}$ ）となる。この強度を光学的もしくは電氣的に調整したうえで差動検出部に入力することにより、差動検出部の出力信号である差動信号の電流 Δi は、以下の式で表される。

20

【数10】

$$\begin{aligned} \Delta i &= \eta (I_1 - \frac{1}{2} I_2) \\ &= \eta I_A \cos(\phi_s + \phi_0) \cdots (10) \end{aligned}$$

なお、図5には、この差動検出部の入力信号の強度を調整する機構については、図示していない。

30

【0028】

式(10)からわかるように、構成例2においても、差動信号の電流 Δi には平均光強度 I_{DC} を含む項が含まれていない。したがって、平均光強度に含まれる雑音の影響を受けることなく、音による光位相変調量 ϕ_s を計測することができる。

【0029】

(構成例3)

図6は、音計測装置の構成の一例を示す図である。図6の音計測装置は、偏光素子を用いた干渉計による構成例であり、干渉計と、音測定部（図示しない）と、2つの光検出器と、差動検出部を含む。干渉計は、2つの偏光ビームスプリッタと2つの1/2波長板と2つの1/4波長板と2つの鏡（図示しない）を含む。図6中のPBS, H, Qはそれぞれ偏光ビームスプリッタ、1/2波長板、1/4波長板を表す。

40

【0030】

以下、図6の音計測装置の動作について説明する。ここでは、光源から射出された光は直線偏光であるものとする。光源から射出された直線偏光は1/2波長板（光源に近い位置にある1/2波長板）によって45°に傾いた直線偏光に変換される。この変換された直線偏光は偏光ビームスプリッタによって直交する直線偏光に分岐される。2つの直線偏光はそれぞれ2回1/4波長板を透過することによって、その向きが90°回転し、再び偏光ビームスプリッタへ戻り、2つの直線偏光が入射したポートとは異なるポート（図6中の左方向に射出するポート）から光が出力される。この光は直交する2つの直線偏光の重ね

50

合わせである。次に、 $1/2$ 波長板によって2つの直線偏光の向きを 45° 回転させる。これを別の偏光ビームスプリッタで分岐し、2つの光検出器PD1, PD2で検出する。このとき、2つの光検出器PD1, PD2から出力される電気信号の電流は、定数項を除いて式(5)、式(6)の電流 i_1, i_2 と等しい。したがって、差動検出部の出力信号である差動信号の電流 Δi は、式(7)で表される。

【0031】

(変形例)

なお、図7に示すように、音計測装置は、ウォラストンプリズム(図7中のWP)を用いて構成することができる。図7は、図6の光検出器の近くに位置する偏光ビームスプリッタをウォラストンプリズムで置き換えた音計測装置の構成例を示すものである。ウォラストンプリズムによって2つの直線偏光は同じ面から異なる方向に分離される。したがって、ウォラストンプリズムを用いることにより、追加の光学素子を用いることなく、同一平面に配置された2つの光検出器で検出することが可能となる。

【0032】

(構成例4)

図8は、音計測装置の構成の一例を示す図である。図8の音計測装置は、出力信号である差動信号によるフィードバック制御を行う干渉計を含むものであり、当該フィードバック制御のためにフィードバック制御器とピエゾ素子(図8中のPZT)をさらに含む点において、図2の音計測装置と異なる。ここで、フィードバック制御器とピエゾ素子を含む構成部を光位相変調量調整器という。一般に、光位相変調量調整器は、図9に示すように、フィードバック制御器と光位相制御器を含む。光位相変調量調整器は、差動信号を誤差信号として、干渉縞の位相がミッドフリンジにあるように干渉計を固定することで、音以外の要素による光位相変調量 ϕ_0 を調整する。図8の音計測装置では、光位相制御器であるピエゾ素子が参照光路の鏡の位置を制御することにより、光位相変調量 ϕ_0 を調整する。ここで、参照光路とは、干渉計内を、ビームスプリッタを通過し、鏡で反射され、ビームスプリッタを通過する光路のことである。また、干渉計内を、ビームスプリッタ、音測定部の順に通過し、鏡で反射され、音測定部、ビームスプリッタの順に通過する光路のことを測定光路という。なお、光位相変調量の調整は、計測対象となる音の周波数よりも低い周波数帯域で行う。

【0033】

以下、光位相変調量調整器の動作について説明する。まず、その動作原理となるミッドフリンジロックについて説明する。図10は、干渉縞の位相と干渉光の強度(光量)の関係を示す。図10に示すように、干渉光の強度が最小、最大となる点をそれぞれダークフリンジ、ブライトフリンジという。また、ダークフリンジとブライトフリンジの中間点をミッドフリンジという。ミッドフリンジにおいて、位相変化に対する光強度変化、すなわち、干渉計の感度が最大となる。したがって、計測対象となる音が存在しない場合に干渉縞の位相が常にミッドフリンジにあるように干渉計を固定することで、干渉計の感度を最大化することができる。このように干渉計を制御する方法をミッドフリンジロックという。つまり、光位相変調量調整器は干渉計をミッドフリンジロックする構成部である。

【0034】

ここで、干渉光の光量 $I = I_{DC} + I_A \cos(\phi_s + \phi_0)$ に含まれる2つの光位相変調量 ϕ_s, ϕ_0 について考える。音による光位相変調量 ϕ_s は、その変動量・周波数が計測対象となる音に依存する。一方、音以外の要素による光位相変調量 ϕ_0 は、光学系の配置によって決まる定数項と空気揺らぎや地面振動などによって生じる緩やかな変動を含む。図11からわかるように、光位相変調量 ϕ_0 は、低周波成分ほどパワーが大きく、主に100Hz以下の成分が支配的である。したがって、計測対象となる音の周波数よりも低い周波数帯域でフィードバック制御を行うことによって、光位相変調量 ϕ_0 の変動量をゼロとする(つまり、光位相変調量 ϕ_0 をある定数に固定する)一方で、光位相変調量 ϕ_s の変動についてはそのまま残すことができる。

【0035】

干渉縞の位相がミッドフリンジにあるとき、光位相変調量 ϕ_0 は $\phi_0 = \pi/2 + N\pi$ （ただし、 N は整数）と表すことができる。そこで、例えば、 $\phi_0 = -\pi/2$ となるようにミッドフリンジロックする場合、干渉光の光量は $I = I_{DC} + I_A \sin(\phi_s)$ となる。このとき、差動検出部の出力信号である差動信号の電流 Δi は、以下の式で表される。

【数 1 1】

$$\Delta i = 2\eta I_A \sin(\phi_s) \cdots (11)$$

ここで、一般的な音に対しては $\phi_s \ll 1$ が成り立つので、差動信号の電流 Δi は以下の式により近似することができる。

【数 1 2】

$$\Delta i = 2\eta I_A \phi_s \cdots (12)$$

したがって、計測対象となる音よりも低い周波数帯域でミッドフリンジロックが達成されれば、差動信号の電流 Δi と音による光位相変調量 ϕ_s は比例関係となり、差動信号そのものが低雑音な音信号となる。

【0 0 3 6】

なお、一般に $\phi_0 = \pi/2 + N\pi$ となるようにミッドフリンジロックする場合、 N の値によっては電流 Δi の符号が反転することもあるが、この場合は単に差動信号の符号を反転すればよい。

【0 0 3 7】

以下、ミッドフリンジロックを達成するための光位相変調量調整器の動作について説明する（図 9 参照）。まず、差動信号を誤差信号としてフィードバック制御器に入力する。フィードバック制御器は、この誤差信号に対して、音以外の要素による光位相変調量 ϕ_0 の変動を相殺する（音以外の要素による光位相変調量 ϕ_0 の変動量がゼロとなる）ような制御信号を生成する。これは上述の通り制御帯域を音の周波数よりも低くすることで実現できる。また、フィードバック制御器には、例えば、単一あるいは複数の増幅器および積分器からなる電気回路、PID 制御器、デジタル回路など、音を含まない帯域において誤差信号がゼロになるように光位相制御器の駆動信号を生成する働きをするあらゆるシステムを用いることができる。次に、フィードバック制御器の出力信号である制御信号を用いて光位相制御器を駆動する。光位相制御器は、参照光路の鏡または測定光路の鏡の位置を制御するか、参照光路または測定光路の途中に挿入した光位相変調器によって参照光路を伝搬する光（参照光）または測定光路を伝搬する光（測定光）の位相を制御する。鏡の位置を制御する方法では、例えば鏡に取りつけたピエゾ素子を制御信号で駆動し、参照光路あるいは測定光路を伸縮させることによって、2つの光の位相差を制御し、干渉縞をミッドフリンジに固定する（図 8 参照）。一方、参照光または測定光の位相を制御する方法では、参照光路または測定光路の途中に挿入した光位相変調器を制御信号で駆動し、参照光または測定光の位相を制御することによって、2つの光の位相差を制御し、干渉縞をミッドフリンジに固定する。動作中、干渉計には計測対象となる音と音以外の要因（外乱）が入力されているので、外乱のみを相殺する（光位相変調量 ϕ_0 の変動量がゼロとなる）ように上記フィードバック制御を続ける。これによって、音による光位相変調量 ϕ_s のみが干渉計から出力される。したがって、光位相変調量 ϕ_s に比例する低雑音な差動信号が得られることになる。

【0 0 3 8】

以上説明した通り、差動信号を誤差信号としてフィードバック制御を行うことによって、ミッドフリンジロックを実現することができる。制御帯域を計測対象となる音の周波数よりも低く設定することで、ミッドフリンジ近傍の感度最大点で音を計測することが可能となる。さらに計測対象となる音の振幅が小さい場合、光位相変調量 ϕ_s と差動信号の電流 Δi が比例関係となり、差動信号を後処理することなく、低雑音な音信号として取り出すこ

10

20

30

40

50

とが可能となる。

【００３９】

（構成例５）

図１２は、音計測装置の構成例１～４における音測定部の光路を多重化することにより、音による光位相変化量を高感度に計測する構成の一例を示す図である。図１２の構成では、光が音測定部を複数回通過するようにマルチパスミラーを配置する。これにより、音による光位相変化量 ϕ_s が増大する。具体的には、光の往復回数を M 回とすると、音による光位相変化量 ϕ_s は M 倍になる。

【００４０】

<第１実施形態>

音計測装置１００は、光源から射出された光を入力とし、音による光位相変調量 ϕ_s を計測する。

【００４１】

以下、図１３～図１４を参照して音計測装置１００を説明する。図１３は、音計測装置１００の構成を示すブロック図である。図１４は、音計測装置１００の動作を示すフローチャートである。図１３に示すように音計測装置１００は、干渉光生成器１１０と、２つの光検出器１２０（以下、第１の光検出器１２０－１、第２の光検出器１２０－２という。）と、差動信号生成器１３０とを含む。また、干渉光生成器１１０は、干渉計１１１／１１２／１１３と、音を用いて光の位相を変調する音測定部１１４とを含む。

【００４２】

図１４に従い音計測装置１００の動作について説明する。

【００４３】

Ｓ１１０において、干渉光生成器１１０は、光源９１０から射出された光を入力とし、光源から射出された光から、音測定部１１４により光位相変調した光を含む光（以下、第１の光という）と、第１の光とは異なる、音測定部１１４により光位相変調した光を含む光（以下、第２の光という）とを得、出力する。第１の光に含まれる光位相変調した光の位相と第２の光に含まれる光位相変調した光の位相は、反転した関係となる。

【００４４】

Ｓ１２０－１において、第１の光検出器１２０－１は、Ｓ１１０で出力した第１の光を入力とし、第１の光から電気信号（以下、第１の電気信号という）を得、出力する。

【００４５】

Ｓ１２０－２において、第２の光検出器１２０－２は、Ｓ１１０で出力した第２の光を入力とし、第２の光から電気信号（以下、第２の電気信号という）を得、出力する。

【００４６】

なお、第１の電気信号と第２の電気信号の振幅が同一となるように、音計測装置１００は、第１の光の光量を調整する第１の光量調整器（図示しない）と第２の光の光量を調整する第２の光量調整器（図示しない）とを含むものであってもよい。

【００４７】

Ｓ１３０において、差動信号生成器１３０は、Ｓ１２０－１で出力した第１の電気信号とＳ１２０－２で出力した第２の電気信号とを入力とし、第１の電気信号と第２の電気信号からその差分である差動信号を得、出力する。

【００４８】

音による光位相変調量 ϕ_s は、式 $\Delta i = \beta I_A \cos(\phi_s + \phi_0)$ （ただし、 β は所定の定数、 I_A は干渉縞の振幅、 ϕ_0 は音以外の要素による光位相変調量）により表される差動信号の電流 Δi として計測される。

【００４９】

以下、干渉光生成器１１０の構成例について説明する。

【００５０】

（構成例１）

図１５に示すように干渉光生成器１１０は、干渉計１１１（図示しない）と、音測定部

10

20

30

40

50

１１４とを含む。干渉計１１１は、ビームスプリッタ１１１１と、２つの鏡１１１２（以下、第１の鏡１１１２－１、第２の鏡１１１２－２という）とを含む。干渉計１１１を含む音計測装置１００は、＜技術的背景＞で説明した（構成例１）に相当する。音計測装置１００は、図２にあるように、第２の光検出器１２０－２の近くにビームスプリッタ（図示しない）を含む構成であってもよい。

【００５１】

干渉光生成器１１０内の第１の光路を伝搬する光を、ビームスプリッタ１１１１、音測定部１１４の順に通過し、第１の鏡１１１２－１で反射され、音測定部１１４、ビームスプリッタ１１１１の順に通過する光、干渉光生成器１１０内の第２の光路を伝搬する光を、ビームスプリッタ１１１１を通過し、第２の鏡１１１２－２で反射され、ビームスプリッタ１１１１を通過する光とすると、第１の光と第２の光は、ビームスプリッタ１１１１において干渉光生成器１１０内の第１の光路を伝搬する光と干渉光生成器１１０内の第２の光路を伝搬する光を分岐することにより、得られる光である。

【００５２】

（構成例２）

図１６に示すように干渉光生成器１１０は、干渉計１１２（図示しない）と、音測定部１１４とを含む。干渉計１１２は、２つの偏光ビームスプリッタ１１２１（以下、第１の偏光ビームスプリッタ１１２１－１、第２の偏光ビームスプリッタ１１２１－２という）と、２つの１／２波長板１１２２（以下、第１の１／２波長板１１２２－１、第２の１／２波長板１１２２－２という）と、２つの１／４波長板１１２３（以下、第１の１／４波長板１１２３－１、第２の１／４波長板１１２３－２という）と、２つの鏡１１２４（以下、第１の鏡１１２４－１、第２の鏡１１２４－２という）とを含む。干渉計１１２を含む音計測装置１００は、＜技術的背景＞で説明した（構成例３）に相当する。

【００５３】

干渉光生成器１１０内の第１の光路を伝搬する光を、第１の１／２波長板１１２２－１、第１の偏光ビームスプリッタ１１２１－１、第１の１／４波長板１１２３－１、音測定部１１４の順に通過し、第１の鏡１１２４－１で反射され、音測定部１１４、第１の１／４波長板１１２３－１、第１の偏光ビームスプリッタ１１２１－１、第２の１／２波長板１１２２－２、第２の偏光ビームスプリッタ１１２１－２の順に通過する光、干渉光生成器１１０内の第２の光路を伝搬する光を、第１の１／２波長板１１２２－１、第１の偏光ビームスプリッタ１１２１－１、第２の１／４波長板１１２３－２の順に通過し、第２の鏡１１２４－２で反射され、第２の１／４波長板１１２３－２、第１の偏光ビームスプリッタ１１２１－１、第２の１／２波長板１１２２－２、第２の偏光ビームスプリッタ１１２１－２の順に通過する光とすると、第１の光と第２の光は、第２の偏光ビームスプリッタ１１２１－２において干渉光生成器１１０内の第１の光路を伝搬する光と干渉光生成器１１０内の第２の光路を伝搬する光を分岐することにより、得られる光である。

【００５４】

なお、図１６では、第１の１／４波長板１１２３－１と音測定部１１４の位置関係を、第１の１／４波長板１１２３－１が左、音測定部１１４が右となる位置関係としたが、逆であってもよい。この場合、干渉光生成器１１０内の第１の光路を伝搬する光は、第１の１／２波長板１１２２－１、第１の偏光ビームスプリッタ１１２１－１、音測定部１１４、第１の１／４波長板１１２３－１の順に通過し、第１の鏡１１２４－１で反射され、第１の１／４波長板１１２３－１、音測定部１１４、第１の偏光ビームスプリッタ１１２１－１、第２の１／２波長板１１２２－２、第２の偏光ビームスプリッタ１１２１－２の順に通過する光となる。

【００５５】

（構成例３）

図１７に示すように干渉光生成器１１０は、干渉計１１３（図示しない）と、音測定部１１４とを含む。干渉計１１３は、偏光ビームスプリッタ１１３１と、ウォラストンプリズム１１３２と、２つの１／２波長板１１３３（以下、第１の１／２波長板１１３３－１

10

20

30

40

50

、第2の1/2波長板1133-2という)と、2つの1/4波長板1134(以下、第1の1/4波長板1134-1、第2の1/4波長板1134-2という)と、2つの鏡1135(以下、第1の鏡1135-1、第2の鏡1135-2という)とを含む。干渉計113を含む音計測装置100は、<技術的背景>で説明した(構成例3)の(変形例)に相当する。

【0056】

干渉光生成器110内の第1の光路を伝搬する光を、第1の1/2波長板1133-1、偏光ビームスプリッタ1131、第1の1/4波長板1134-1、音測定部114の順に通過し、第1の鏡1135-1で反射され、音測定部114、第1の1/4波長板1134-1、偏光ビームスプリッタ1131、第2の1/2波長板1133-2、ウォラストンプリズム1132の順に通過する光、干渉光生成器110内の第2の光路を伝搬する光を、第1の1/2波長板1133-1、偏光ビームスプリッタ1131、第2の1/4波長板1134-2の順に通過し、第2の鏡1135-2で反射され、第2の1/4波長板1134-2、偏光ビームスプリッタ1131、第2の1/2波長板1133-2、ウォラストンプリズム1132の順に通過する光とすると、第1の光と第2の光は、ウォラストンプリズム1132において干渉光生成器110内の第1の光路を伝搬する光と干渉光生成器110内の第2の光路を伝搬する光を分岐することにより、得られる光である。

【0057】

なお、図17では、第1の1/4波長板1134-1と音測定部114の位置関係を、第1の1/4波長板1134-1が左、音測定部114が右となる位置関係としたが、逆であってもよい。この場合、干渉光生成器110内の第1の光路を伝搬する光は、第1の1/2波長板1133-1、偏光ビームスプリッタ1131、音測定部114、第1の1/4波長板1134-1の順に通過し、第1の鏡1135-1で反射され、第1の1/4波長板1134-1、音測定部114、偏光ビームスプリッタ1131、第2の1/2波長板1133-2、ウォラストンプリズム1132の順に通過する光となる。

【0058】

本発明の実施形態によれば、平均光強度に含まれる雑音の影響を受けることなく、音による光位相変調量を計測することが可能となる。

【0059】

<第2実施形態>

音計測装置200は、光源から射出された光を入力とし、音による光位相変調量 ϕ_s を計測する。

【0060】

以下、図18～図19を参照して音計測装置200を説明する。図18は、音計測装置200の構成を示すブロック図である。図19は、音計測装置200の動作を示すフローチャートである。図18に示すように音計測装置200は、ビームスプリッタ210と、干渉光生成器110と、2つの光検出器120(以下、第1の光検出器120-1、第2の光検出器120-2という。)と、差動信号生成器130とを含む。また、干渉光生成器110は、干渉計111と、音を用いて光の位相を変調する音測定部114とを含む。

【0061】

図19に従い音計測装置200の動作について説明する。

【0062】

S210において、ビームスプリッタ210は、光源910から射出された光を入力とし、光源から射出された光を分岐することにより、2つの光(以下、第1の光、第2の光という)を得、出力する。

【0063】

S110において、干渉光生成器110は、S210で出力した第1の光を入力とし、第1の光から、音測定部114により光位相変調した光を含む光(以下、第3の光という)を得、出力する。

【0064】

10

20

30

40

50

S 1 2 0 - 1 において、第 1 の光検出器 1 2 0 - 1 は、S 1 1 0 で出力した第 3 の光を入力とし、第 3 の光から電気信号（以下、第 1 の電気信号という）を得、出力する。

【 0 0 6 5 】

S 1 2 0 - 2 において、第 2 の光検出器 1 2 0 - 2 は、S 2 1 0 で出力した第 2 の光を入力とし、第 2 の光から電気信号（以下、第 2 の電気信号という）を得、出力する。

【 0 0 6 6 】

なお、第 1 の電気信号と第 2 の電気信号の振幅が同一となるように、音計測装置 2 0 0 は、第 2 の光の光量を調整する光量調整器（図示しない）、第 2 の電気信号の電流を調整する電流調整器（図示しない）のいずれかを含む。

【 0 0 6 7 】

S 1 3 0 において、差動信号生成器 1 3 0 は、S 1 2 0 - 1 で出力した第 1 の電気信号と S 1 2 0 - 2 で出力した第 2 の電気信号とを入力とし、第 1 の電気信号と第 2 の電気信号からその差分である差動信号を得、出力する。

【 0 0 6 8 】

音による光位相変調量 ϕ_s は、式 $\Delta i = \beta I_A \cos(\phi_s + \phi_0)$ （ただし、 β は所定の定数、 I_A は干渉縞の振幅、 ϕ_0 は音以外の要素による光位相変調量）により表される差動信号の電流 Δi として計測される。

【 0 0 6 9 】

なお、干渉光生成器 1 1 0 の構成は、第 1 実施形態で説明した干渉光生成器 1 1 0 の（構成例 1）と同一でよい。したがって、第 3 の光は、ビームスプリッタ 1 1 1 1 において干渉光生成器 1 1 0 内の第 1 の光路を伝搬する光と干渉光生成器 1 1 0 内の第 2 の光路を伝搬する光を分岐することにより、得られる光である。

【 0 0 7 0 】

本発明の実施形態によれば、平均光強度に含まれる雑音の影響を受けることなく、音による光位相変調量を計測することが可能となる。

【 0 0 7 1 】

< 第 3 実施形態 >

音計測装置 3 0 0 は、光源から射出された光を入力とし、音による光位相変調量 ϕ_s を計測する。

【 0 0 7 2 】

以下、図 2 0 ～図 2 1 を参照して音計測装置 3 0 0 を説明する。図 2 0 は、音計測装置 3 0 0 の構成を示すブロック図である。図 2 1 は、音計測装置 3 0 0 の動作を示すフローチャートである。図 2 0 に示すように音計測装置 3 0 0 は、干渉光生成器 1 1 0 と、2 つの光検出器 1 2 0（以下、第 1 の光検出器 1 2 0 - 1、第 2 の光検出器 1 2 0 - 2 という。）と、差動信号生成器 1 3 0 と、光位相変調量調整器 3 4 0 とを含む。また、干渉光生成器 1 1 0 は、干渉計 1 1 1 と、音を用いて光の位相を変調する音測定部 1 1 4 とを含む。

【 0 0 7 3 】

図 2 1 に従い音計測装置 3 0 0 の動作について説明する。

【 0 0 7 4 】

S 1 1 0 において、干渉光生成器 1 1 0 は、光源 9 1 0 から射出された光を入力とし、光源から射出された光から、音測定部 1 1 4 により光位相変調した光を含む光（以下、第 1 の光という）と、第 1 の光とは異なる、音測定部 1 1 4 により光位相変調した光を含む光（以下、第 2 の光という）とを得、出力する。第 1 の光に含まれる光位相変調した光の位相と第 2 の光に含まれる光位相変調した光の位相は、反転した関係となる。

【 0 0 7 5 】

S 1 2 0 - 1 において、第 1 の光検出器 1 2 0 - 1 は、S 1 1 0 で出力した第 1 の光を入力とし、第 1 の光から電気信号（以下、第 1 の電気信号という）を得、出力する。

【 0 0 7 6 】

S 1 2 0 - 2 において、第 2 の光検出器 1 2 0 - 2 は、S 1 1 0 で出力した第 2 の光を入力とし、第 2 の光から電気信号（以下、第 2 の電気信号という）を得、出力する。

【0077】

なお、第1の電気信号と第2の電気信号の振幅が同一となるように、音計測装置300は、第1の光の光量を調整する第1の光量調整器（図示しない）と第2の光の光量を調整する第2の光量調整器（図示しない）とを含むものであってもよい。

【0078】

S130において、差動信号生成器130は、S120-1で出力した第1の電気信号とS120-2で出力した第2の電気信号とを入力とし、第1の電気信号と第2の電気信号からその差分である差動信号を得、出力する。

【0079】

S340において、光位相変調量調整器340は、S130で出力した差動信号を入力とし、差動信号を誤差信号として、干渉縞の位相がミッドフリンジにあるように干渉計111を固定することで、音以外の要素による光位相変調量 ϕ_0 を調整する。

【0080】

音による光位相変調量 ϕ_s は、式 $\Delta i = \beta I_A \sin(\phi_s)$ （ただし、 β は所定の定数、 I_A は干渉縞の振幅）により表される差動信号の電流 Δi として計測される。なお、 $\phi_s \ll 1$ が成り立つ場合、音による光位相変調量 ϕ_s は、式 $\Delta i = \beta I_A \phi_s$ （ただし、 β は所定の定数、 I_A は干渉縞の振幅）により表される差動信号の電流 Δi として計測される。

【0081】

なお、干渉光生成器110の構成は、第1実施形態で説明した干渉光生成器110の（構成例1）と同一でよい。この場合、光位相変調量調整器340は、差動信号を用いて、計測対象となる音の周波数よりも低い周波数帯域で、音以外の要素による光位相変調量 ϕ_0 の変動量がゼロとなる（つまり、音以外の要素による光位相変調量 ϕ_0 の値がある定数となる）ように制御する制御信号を生成し、制御信号を用いて干渉光生成器110内の第1の光路を伝搬する光と干渉光生成器110内の第2の光路を伝搬する光との位相差を制御することにより、音以外の要素による光位相変調量 ϕ_0 を調整し、干渉縞の位相がミッドフリンジにあるように干渉計111を固定する。

【0082】

ここで、光位相変調量調整器340は、制御信号を用いて第1の鏡1112-1に取り付けたピエゾ素子を駆動し、干渉光生成器110内の第1の光路を伸縮させることにより、干渉光生成器110内の第1の光路を伝搬する光と干渉光生成器110内の第2の光路を伝搬する光との位相差を制御するようにしてもよいし、光位相変調量調整器340は、制御信号を用いて第2の鏡1112-2に取り付けたピエゾ素子を駆動し、干渉光生成器110内の第2の光路を伸縮させることにより、干渉光生成器110内の第1の光路を伝搬する光と干渉光生成器110内の第2の光路を伝搬する光との位相差を制御するようにしてもよい。また、光位相変調量調整器340は、制御信号を用いて、干渉光生成器110内の第1の光路のビームスプリッタ1111と第1の鏡1112-1の間に挿入した光位相変調器を駆動し、干渉光生成器110内の第1の光路を伝搬する光の位相を制御することにより、干渉光生成器110内の第1の光路を伝搬する光と干渉光生成器110内の第2の光路を伝搬する光との位相差を制御するようにしてもよいし、光位相変調量調整器340は、制御信号を用いて、干渉光生成器110内の第2の光路のビームスプリッタ1111と第2の鏡1112-2の間に挿入した光位相変調器を駆動し、干渉光生成器110内の第2の光路を伝搬する光の位相を制御することにより、干渉光生成器110内の第1の光路を伝搬する光と干渉光生成器110内の第2の光路を伝搬する光との位相差を制御するようにしてもよい。

【0083】

本発明の実施形態によれば、平均光強度に含まれる雑音の影響を受けることなく、音による光位相変調量を計測することが可能となる。

【0084】

<第4実施形態>

音計測装置100／200／300に含まれる干渉光生成器110は、<技術的背景>

10

20

30

40

50

で説明した（構成例５）のように、マルチパスミラーを含むものであってもよい。

【００８５】

したがって、干渉光生成器１１０は、更にマルチパスミラーを含むものであり、干渉光生成器１１０内の第１の光路を伝搬する光は、マルチパスミラーによる反射により、音による光位相変調量 ϕ_s が増大した光となる。

【００８６】

本発明の実施形態によれば、平均光強度に含まれる雑音の影響を受けることなく、音による光位相変調量を計測することが可能となる。

【００８７】

<補記>

上述の本発明の実施形態の記載は、例証と記載の目的で提示されたものである。網羅的であるという意思はなく、開示された厳密な形式に発明を限定する意思もない。変形やバリエーションは上述の教示から可能である。実施形態は、本発明の原理の最も良い例証を提供するために、そして、この分野の当業者が、熟考された実際の使用に適するように本発明を色々な実施形態で、また、色々な変形を付加して利用できるようにするために、選ばれて表現されたものである。すべてのそのような変形やバリエーションは、公正に合法的に公平に与えられる幅にしたがって解釈された添付の請求項によって定められた本発明の範囲内である。

10

20

30

40

50

【図面】

【図 1】

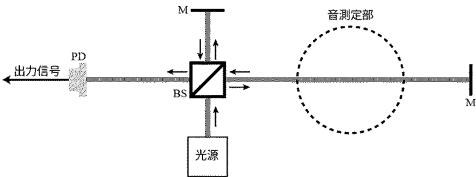


図 1

【図 2】

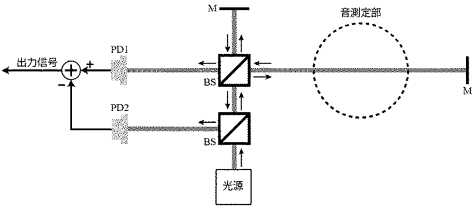


図 2

10

【図 3】

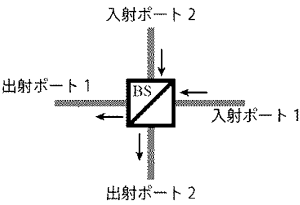


図 3

【図 4】

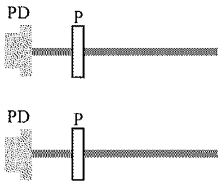


図 4

20

30

40

50

【図 5】

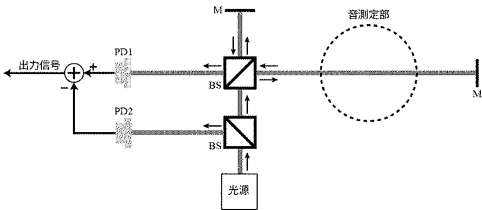


図5

【図 6】

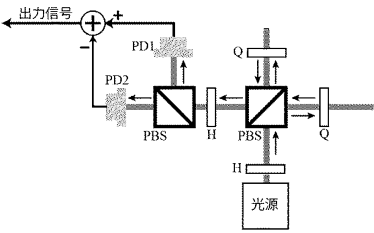


図6

【図 7】

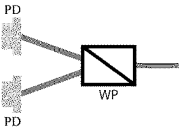


図7

【図 8】

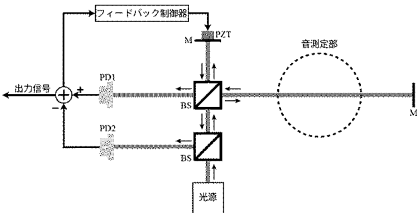


図8

10

20

30

40

50

【図 9】

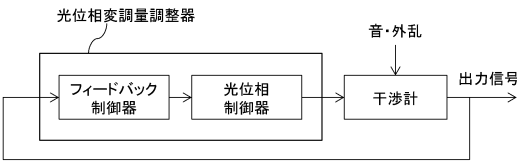


図 9

【図 1 0】

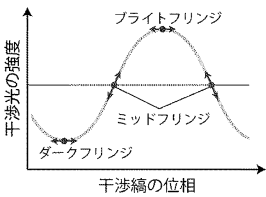


図 1 0

10

【図 1 1】

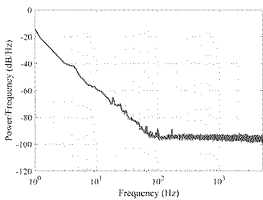


図 1 1

【図 1 2】

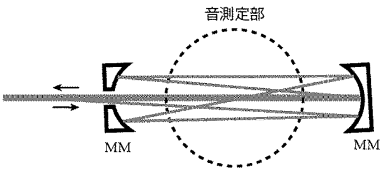


図 1 2

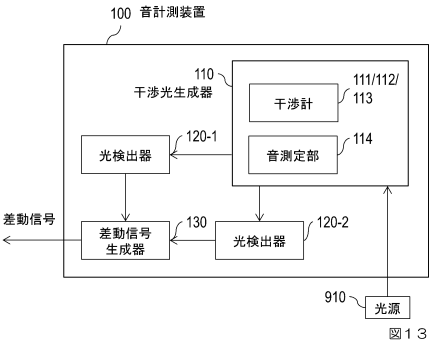
20

30

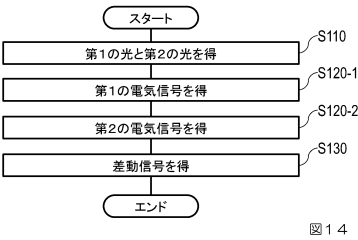
40

50

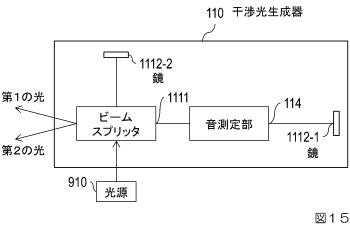
【図 1 3】



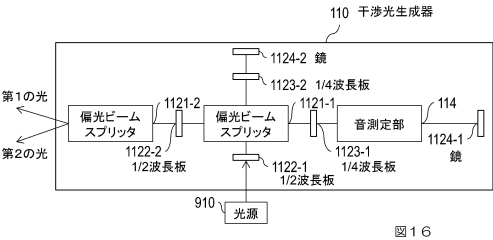
【図 1 4】



【図 1 5】



【図 1 6】



10

20

30

40

50

【図 1 7】

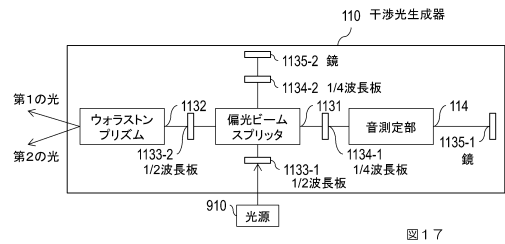


図 1 7

【図 1 8】

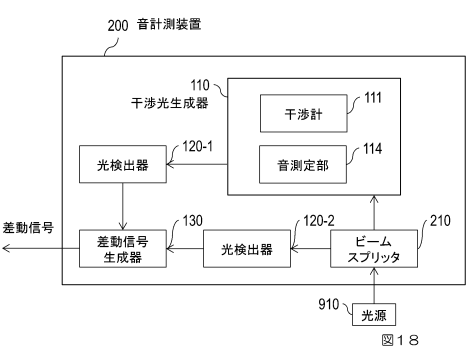


図 1 8

10

【図 1 9】

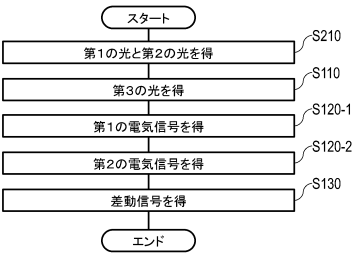


図 1 9

【図 2 0】

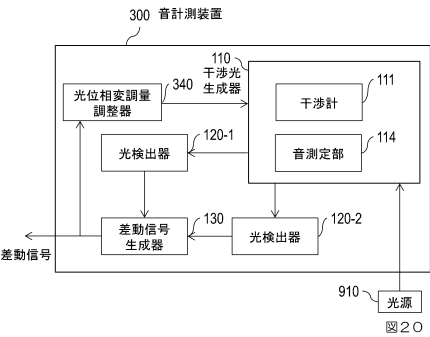


図 2 0

20

30

40

50

【図 2 1】

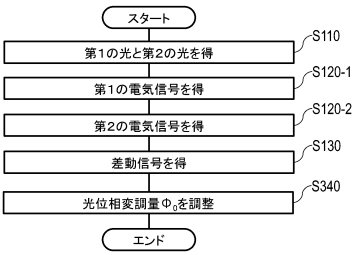


図 2 1

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 守谷 健弘
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 日達 研一
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 石澤 淳
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
- (72)発明者 小栗 克弥
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
- 審査官 森口 正治
- (56)参考文献 実公平03-005875 (JP, Y2)
特開平05-172738 (JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
G01H 1/00-17/00