

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号
特開2013-83581
(P2013-83581A)

(43) 公開日 平成25年5月9日(2013.5.9)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
GO 1 B 9/02 (2006.01)	GO 1 B 9/02	2 F 0 6 4
GO 1 B 11/24 (2006.01)	GO 1 B 11/24 D	2 F 0 6 5
GO 1 B 11/00 (2006.01)	GO 1 B 11/00 G	

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2011-224306 (P2011-224306)	(71) 出願人	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成23年10月11日 (2011.10.11)	(74) 代理人	100076428 弁理士 大塚 康德
		(74) 代理人	100112508 弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100115071 弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894 弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409 弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175 弁理士 永川 行光

最終頁に続く

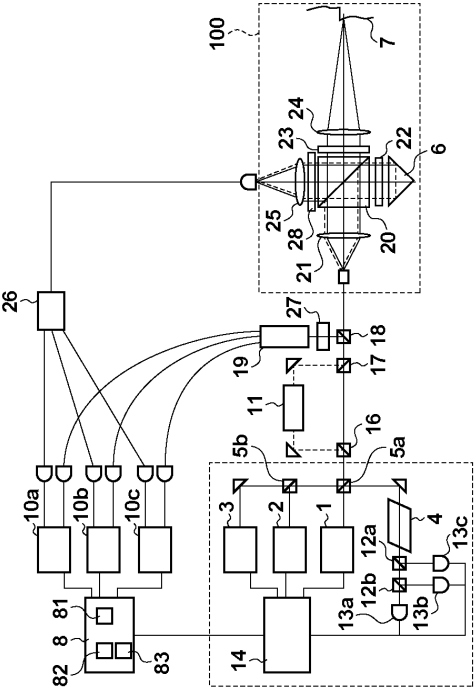
(54) 【発明の名称】 計測装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】簡易な構成で広い計測レンジと高い計測精度とを実現した計測装置を提供する。

【解決手段】計測装置は、第1光源、第2光源、第1検出器、第2検出器及び算出部を備える。第1光源は第1波長と第2波長との間で波長が走査された走査区間を含む第1光を生成する。第2光源は第3波長の第2光を生成する。第1検出器は第1光を参照面及び被検面に各々照射することで生成された第1干渉縞を検出する。第2検出器は第2光を参照面及び被検面に各々照射することで生成された第2干渉縞を検出する。第3波長は第1波長及び第2波長の合成波長より短い。算出部は第1時刻において第2干渉縞の位相のデータから第2干渉縞の次数が算出できなくなった場合に、第1時刻より後の走査区間における第1干渉縞の位相の変化に基づいて第1時刻以降における第2干渉縞の次数を算出し、該算出された第2干渉縞の次数を用いて第1時刻以降における被検面の形状を算出する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

参照面に照射された参照光と被検面に照射された計測光との干渉によって生成された干渉縞を検出して前記被検面の位置又は形状を計測する計測装置であって、

第 1 波長と第 2 波長との間で波長が走査された走査区間を含む第 1 光を生成する第 1 光源と、

第 3 波長を有する第 2 光を生成する第 2 光源と、

前記第 1 光源により生成された前記第 1 光を前記参照面及び前記被検面にそれぞれ照射することによって生成された第 1 干渉縞を検出する第 1 検出器と、

前記第 2 光源により生成された前記第 2 光を前記参照面及び前記被検面にそれぞれ照射することによって生成された第 2 干渉縞を検出する第 2 検出器と、

前記第 2 検出器により検出された前記第 2 干渉縞の位相のデータに基づき、前記第 3 波長を計測レンジを決定する計測波長として前記被検面の位置又は形状を算出する算出部と、

を備え、

前記第 3 波長は、前記第 1 波長及び前記第 2 波長の合成波長より短く、

前記算出部は、第 1 時刻より後の前記走査区間における前記第 1 干渉縞の位相の変化に基づいて前記第 1 時刻以降における前記第 2 干渉縞の次数を算出し、該算出された前記第 2 干渉縞の次数と前記第 2 干渉縞の位相のデータとを用いて前記第 1 時刻以降における前記被検面の位置又は形状を算出する、

ことを特徴とする計測装置。

【請求項 2】

参照面に照射された参照光と被検面に照射された計測光との干渉によって生成された干渉縞を検出して前記被検面の位置又は形状を計測する計測装置であって、

第 1 波長と第 2 波長との間で波長が走査された走査区間を含む第 1 光を生成する第 1 光源と、

第 3 波長を有する第 2 光を生成する第 2 光源と、

第 4 波長を有する第 3 光を生成する第 3 光源と、

前記第 1 光源により生成された前記第 1 光を前記参照面及び前記被検面にそれぞれ照射することによって生成された第 1 干渉縞を検出する第 1 検出器と、

前記第 2 光源により生成された前記第 2 光を前記参照面及び前記被検面にそれぞれ照射することによって生成された第 2 干渉縞を検出する第 2 検出器と、

前記第 3 光源により生成された前記第 3 光を前記参照面及び前記被検面にそれぞれ照射することによって生成された第 3 干渉縞を検出する第 3 検出器と、

前記第 2 検出器及び前記第 3 検出器によりそれぞれ検出された前記第 2 干渉縞の位相のデータ及び前記第 3 干渉縞の位相のデータに基づき、前記第 3 波長及び前記第 4 波長の第 1 の合成波長を計測レンジを決定する計測波長として前記被検面の位置又は形状を算出する算出部と、

を備え、

前記第 1 の合成波長は、前記第 1 波長及び前記第 2 波長の第 2 の合成波長より短く、

前記算出部は、第 1 時刻において前記第 2 干渉縞の位相と第 3 干渉縞の位相との差で示される前記第 1 の合成波長の位相のデータから前記第 1 の合成波長の干渉次数が算出できなくなった場合に、前記第 1 時刻より後の前記走査区間における前記第 1 干渉縞の位相の変化に基づいて前記第 1 時刻以降における前記第 1 の合成波長の干渉次数を算出し、該算出された前記第 1 の合成波長の干渉次数と前記第 1 の合成波長の位相のデータとを用いて前記第 1 時刻以降における前記被検面の位置又は形状を算出する、

ことを特徴とする計測装置。

【請求項 3】

前記算出部は、前記第 1 時刻より後の前記走査区間における前記第 1 干渉縞の位相の変化から前記区間が終了した第 2 時刻における前記第 1 干渉縞の次数を算出し、該第 2 時刻

10

20

30

40

50

における前記第 1 干渉縞の次数から前記第 2 時刻における前記計測波長の干渉次数を算出し、該第 2 時刻における前記計測波長の干渉次数と前記第 1 時刻以降の前記計測波長の位相のデータとから前記第 1 時刻以降の前記計測波長の干渉次数を算出し、該算出された計測波長の干渉次数と前記計測波長の位相のデータとを用いて前記第 1 時刻以降における前記被検面の位置又は形状を算出する、ことを特徴とする請求項 1 又は請求項 2 に記載の計測装置。

【請求項 4】

前記算出部は、

前記第 1 干渉縞及び前記計測波長の位相を算出し、該計測波長の位相のデータから前記計測波長の干渉次数が算出される場合に該計測波長の干渉次数を算出し、算出された前記計測波長の位相及び干渉次数に基づいて前記被検面の位置又は形状を算出する第 1 算出部と、

10

前記計測波長の位相のデータから前記計測波長の干渉次数が算出されなくなった場合に該計測波長の干渉次数を算出する第 2 算出部と、

を含む、ことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 3 のいずれか 1 項に記載の計測装置。

【請求項 5】

前記第 1 光源により生成された前記第 1 光と前記第 2 光源により生成された前記第 2 光とのそれぞれを第 1 光束と第 2 光束とに分割する第 1 偏光ビームスプリッタと、前記第 2 光束を一定の周波数で変調する変調部と、該変調部で変調された第 2 光束と前記第 1 光束とを合成する第 2 偏光ビームスプリッタとを前記第 1 光源及び前記第 2 光源と前記参照面及び前記被検面との間に備える、ことを特徴とする請求項 1、請求項 3 及び請求項 4 のいずれか 1 項に記載の計測装置。

20

【請求項 6】

前記第 1 光源により生成された前記第 1 光と前記第 2 光源により生成された前記第 2 光と前記第 3 光源により生成された前記第 3 光とのそれぞれを第 1 光束と第 2 光束とに分割する第 1 偏光ビームスプリッタと、前記第 2 光束を一定の周波数で変調する変調部と、該変調部で変調された第 2 光束と前記第 1 光束とを合成する第 2 偏光ビームスプリッタとを前記第 1 光源、前記第 2 光源及び前記第 3 光源と前記参照面及び前記被検面との間に備える、ことを特徴とする請求項 2 乃至請求項 4 のいずれか 1 項に記載の計測装置。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、被検面の位置又は形状を計測する計測装置に関する。

【背景技術】

【0002】

形状等を高精度に計測する装置として一般的に干渉計測装置が知られている。単波長の光を用いる干渉計測装置では、被検面に計測光の波長の半分以上の段差がある場合には段差の高低差の判別ができない為、被検面の形状等を計測できない。更に被検面が粗さを持つ場合、表面粗さに起因するスペックルパターンは 2 より大きい標準偏差のランダム位相を有する為、単波長の光を用いる干渉計測装置では計測不確かが大きくなってしまう。

40

【0003】

これらの問題を解決する為に、複数の異なる波長で干渉計測し各波長の位相を合成する干渉計測装置が知られている。例えば、2 つの異なる波長 λ_1 、 λ_2 ($\lambda_1 > \lambda_2$) を用いる場合、その合成波長 $\lambda = \lambda_1 \times \lambda_2 / (\lambda_1 - \lambda_2)$ の半分までの段差が計測可能となり単波長の光のみを用いる干渉計測装置と比較して計測レンジの拡大が可能となる。合成波長の光を用いる干渉計測装置は、特許文献 1、2 にて開示されている。特許文献 1 では、多重モードレーザを光源に用い、複数の波長を同時に干渉させ回折格子にて波長分離して波長毎に位相検出を行う。特許文献 2 では、複数の波長を同時に発振するレーザ光源を用い、複数の波長を同時に干渉させダイクロイックミラーにて波長分離して波長毎に位相検出を行う。

50

【 0 0 0 4 】

一方、非特許文献 1 によると、2つの波長のスペックルに相関があるならば、その2つの波長の位相差は巨視的表面プロファイルと微視的表面粗さに関する情報が得られるとしている。更に2つの波長のスペックルの相関は、合成波長に依存し、合成波長が小さい程減少し、逆に合成波長が大きいと増加する。このことから、単波長の光を用いる干渉計測装置では困難である粗面を有する被検物においても、多波長の光を用いる干渉計測装置では精度良く計測することが可能となる。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 5 】

【 特許文献 1 】 特開平 5 - 5 2 5 4 0 号公報

【 特許文献 2 】 特開平 1 0 - 2 8 1 7 3 8 号公報

【 非特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 非特許文献 1 】 “ High-order statistical properties of speckle fields and their application rough-surface interferometry ” U.Vry and F.Fercher, J.Opt.Soc.Am.A, 3,7,988-1000(1986)

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 7 】

多波長の光を用いる干渉計測装置により計測レンジを拡大させる場合、異なる波長の波長差をより小さくする必要がある。例えば、多波長の光を用いて計測レンジ 1 0 m m (光路長差 2 0 m m) を計測する場合を考える。2波長の合成波長で計測する場合で、各波長は $\lambda_1 = 1 5 0 0 . 0 0 0 \text{ nm}$ と $\lambda_2 = 1 5 0 0 . 1 1 3 \text{ nm}$ (波長差 1 1 3 p m) の波長が必要となる。波長差 1 1 3 p m を分離するような回折格子を用いて2波長を分離する場合、非常に大型かつ高精度の回折光学素子が必要となり実現性が困難である。

【 0 0 0 8 】

また、特許文献 2 で開示されているような薄膜 (ダイクロイックミラー) により波長を分離する方法では波長差 1 1 3 p m を分離するような分光特性を持つような薄膜の構成の実現は困難である。一方、1 0 m m の計測レンジを確保する別の手法として3波長で計測することも可能である。例えば、 $\lambda_1 = 1 5 0 0 . 0 0 \text{ nm}$ と $\lambda_2 = 1 5 2 0 . 0 0 0 \text{ nm}$ (波長差 2 0 n m) との2つの波長で合成波長 $\lambda_{12} = 1 1 4 . 0 0 0 \mu \text{ m}$ を構成する。更に $\lambda_1 = 1 5 0 0 . 0 0 0 \text{ nm}$ と $\lambda_3 = 1 4 8 0 . 6 2 9 \text{ nm}$ (波長差 1 9 . 3 7 1 n m) の2つの波長で合成波長 $\lambda_{13} = 1 1 4 . 6 5 3 \mu \text{ m}$ を構成する。この結果、合成波長 λ_{12} と合成波長 λ_{13} との合成波長 λ_2 は、 $\lambda_2 = 2 0 \text{ mm}$ となり、分離すべき必要波長差が 1 9 . 3 7 1 n m で 1 0 m m の計測レンジを得ることが可能となる。しかし、非特許文献 1 より被検面が粗さをもつ場合は、粗さに起因するスペックルの相関は波長差が広がると減少する為に、2波長構成と比較して3波長構成は検出精度が低下してしまうという問題がある。

【 0 0 0 9 】

本発明は、簡易な構成で広い計測レンジと高い計測精度とを実現した計測装置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 】

【 0 0 1 0 】

本発明の一つの側面は、参照面に照射された参照光と被検面に照射された計測光との干渉によって生成された干渉縞を検出して前記被検面の位置又は形状を計測する計測装置であって、第 1 波長と第 2 波長との間で波長が走査された走査区間を含む第 1 光を生成する第 1 光源と、第 3 波長を有する第 2 光を生成する第 2 光源と、前記第 1 光源により生成された前記第 1 光を前記参照面及び前記被検面にそれぞれ照射することによって生成された第 1 干渉縞を検出する第 1 検出器と、前記第 2 光源により生成された前記第 2 光を前記参

10

20

30

40

50

照面及び前記被検面にそれぞれ照射することによって生成された第 2 干渉縞を検出する第 2 検出器と、前記第 2 検出器により検出された前記第 2 干渉縞の位相のデータに基づき、前記第 3 波長を計測レンジを決定する計測波長として前記被検面の位置又は形状を算出する算出部と、を備え、前記第 3 波長は、前記第 1 波長及び前記第 2 波長の合成波長より短く、前記算出部は、第 1 時刻より後の前記走査区間における前記第 1 干渉縞の位相の変化に基づいて前記第 1 時刻以降における前記第 2 干渉縞の次数を算出し、該算出された前記第 2 干渉縞の次数と前記第 2 干渉縞の位相のデータとを用いて前記第 1 時刻以降における前記被検面の位置又は形状を算出する、ことを特徴とする。

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、簡易な構成で広い計測レンジと高い計測精度とを実現した計測装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図 1】計測装置の構成を示す図。

【図 2】計測手法を示す図

【図 3】複数の光源の波長の推移を示す図

【図 4】被検面の形状が計測波長の計測レンジ内である場合を示す図

【図 5】被検面の形状が計測波長の計測レンジ外である場合を示す図

【発明を実施するための形態】

【0013】

以下に、参照面に照射された参照光と被検面に照射された計測光との干渉によって生成された干渉縞を検出して前記被検面の位置又は形状を計測する計測装置の実施形態を添付の図面に基づいて詳細に説明する。本実施形態の計測装置は、図 1 に示すように、第 1 光源（波長可変レーザ）1 と第 2 光源（固定波長レーザ）2 と第 3 光源（固定波長レーザ）3 と、波長の基準素子としてのガスセル 4 とを備える。波長可変レーザ 1 は、第 1 波長₁ と第 2 波長₂ との間で波長が走査された走査区間を含む第 1 光を生成する。固定波長レーザ 2 は、第 3 波長₃ を有する第 2 光を生成する。固定波長レーザ 3 は、第 4 波長₄ を有する第 3 光を生成する。

【0014】

計測装置は、更に、偏光ビームスプリッタ 20 と、参照面 6 と、参照面 6 及び被検面 7 の光路差に起因して生成された干渉縞を検出する第 1 乃至第 3 検出器 10c ~ 10a とを有している。第 1 検出器 10c は、波長可変レーザ 1 により生成された波長₁ と第 2 波長₂ との間で波長が走査された第 1 光を参照面 6 及び被検面 7 にそれぞれ照射することによって生成された第 1 干渉縞を検出する。第 2 検出器 10b は、固定波長レーザ 2 により生成された波長₃ の第 2 光を参照面 6 及び被検面 7 にそれぞれ照射することによって生成された第 2 干渉縞を検出する。第 3 検出器 10a は、固定波長レーザ 3 により生成された波長₄ の第 3 光を参照面 6 及び被検面 7 にそれぞれ照射することによって生成された第 3 干渉縞を検出する。

【0015】

計測装置は、更に、参照面 6 に対する被検面 7 の絶対距離を算出する算出部 8 を有する。固定波長レーザ 2 及び固定波長レーザ 3 から第 1 の合成波長が生成され、波長が走査される波長可変レーザ 1 から第 2 の合成波長が生成される。第 1 の合成波長は、前記第 3 波長及び前記第 4 波長の積を前記第 3 波長及び前記第 4 波長の差で割った波長₃₄（ $= \lambda_3 \times \lambda_4 / |\lambda_3 - \lambda_4|$ ）で示される。第 2 の合成波長は、前記第 1 波長及び前記第 2 波長の積を前記第 1 波長及び前記第 2 波長の差で割った波長₁₂（ $= \lambda_1 \times \lambda_2 / |\lambda_1 - \lambda_2|$ ）で示される。

【0016】

本実施形態では、第 2 の合成波長₁₂ は、第 1 波長乃至第 4 波長_{1 ~ 4} よりはるかに長く計測精度は低い計測レンジは広い。一方、第 1 の合成波長₃₄ は、第 1 波長

10

20

30

40

50

乃至第 4 波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ 及び第 2 の合成波長 λ_{12} より短い。その結果、第 1 の合成波長 λ_{34} は、第 1 波長乃至第 4 波長 $\lambda_1 \sim \lambda_4$ 及び第 2 の合成波長 λ_{12} と比較して計測精度が高いものの計測レンジは狭い。

【0017】

本実施形態の算出部 8 は、第 2、第 3 検出器 10b, 10a で検出された第 2、第 3 干渉縞の位相のデータに基づき、計測精度が高い第 1 の合成波長 λ_{34} を計測レンジを決定する計測波長として被検面 7 の位置又は形状を算出する。参照面に対する被検面の距離を計測し、計測を行う被検面上の各点の距離（位置）を繋ぎ合わせることで被検面の形状を求めることができる。しかし、被検面 7 に $\lambda_{34}/2$ を超える段差が存在している場合、その段差を検出した時刻（第 1 時刻）以降において、第 1 の合成波長 λ_{34} の位相のデータから第 1 の合成波長 λ_{34} の干渉次数が求められず、その結果、被検面 7 の位置又は形状を算出しえない。

【0018】

そこで、段差以上の大きさを有する第 2 の合成波長 λ_{12} と第 1 の合成波長 λ_{34} とを繋ぎ合わせることで、第 2 の合成波長 λ_{12} の干渉次数から第 1 の合成波長 λ_{34} の干渉次数を決定する。この構成により、計測装置は、波長可変レーザ 1 の波長の走査量を大幅に低減して、大きな計測レンジを有することが可能となる。更に、計測装置は、レーザの電流変調による波長走査が可能となる為、被検面 7 の絶対距離の高速な計測を実現する。

【0019】

波長可変レーザ 1 を出射した光束はビームスプリッタ 5a で分割される。また、波長可変レーザ 1 と異なる波長を有する固定波長レーザ 2 を出射した光束は、ビームスプリッタ 5b に入射して偏向後、ビームスプリッタ 5a に入射し、光軸が波長可変レーザ 1 を出射した光束と同軸になると同時に光束も分割される。また、波長可変レーザ 1 及び固定波長レーザ 2 と異なる波長を有する固定波長レーザ 3 を出射した光束は、ビームスプリッタ 5b に入射し透過後、ビームスプリッタ 5a に入射し、光軸が波長可変レーザ 1 を出射した光束と同軸になると同時に光束も分割される。

【0020】

ビームスプリッタ 5a で分割された光束の一方はガスセル 4 を透過後、分光素子 12a, 12b で波長可変レーザ 1 と固定波長レーザ 2 と固定波長レーザ 3 の光束それぞれに分離される。ガスセル 4 を透過後、波長可変レーザ 1 の光束の光量は検出器 13a により、固定波長レーザ 2 の光束の光量は検出器 13b により、固定波長レーザ 3 の光束の光量は検出器 13c によりそれぞれ検出される。ここで、波長可変レーザ 1 と固定波長レーザ 2 と固定波長レーザ 3 は同様の DFB（分布帰還型）半導体レーザを用いる。また、本実施形態では波長可変レーザ 1 と固定波長レーザ 2 と固定波長レーザ 3 とは、別のレーザとしているが、光通信に用いられる多波長光源と同様に複数の半導体レーザを 1 つの素子に集積した構造としても構わない。その場合にはコストおよび寸法の観点で有利である。

【0021】

レーザ制御部 14 は、検出器 13b の信号を用いて固定波長レーザ 2 の波長をガスセル 4 の吸収線である波長 λ_3 に安定化するように制御を行う。波長の安定化は検出器 13b の透過強度が一定となるように、レーザ制御部 14 により固定波長レーザ 2 の波長を調整することにより行う。レーザ制御部 14 は、固定波長レーザ 2 の波長を調整するために、注入電流を変調する。同様にレーザ制御部 14 は、検出器 13c の信号を用いて固定波長レーザ 3 の波長をガスセル 4 の吸収線である波長 λ_4 に安定化するように制御を行う。

【0022】

波長可変レーザ 1 は、波長 λ_1 に相当するガスセル 4 の透過スペクトルに安定化されているが、安定化制御を解除し、電流変調によって波長 λ_2 に波長走査された後に波長 λ_2 で安定化される。波長 λ_2 から波長 λ_1 への波長走査も同様である。このように波長可変レーザ 1 は、少なくとも 2 つの基準波長 λ_1 、 λ_2 のいずれかに安定化可能で、 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ 間を周期的に、且つ高速に走査する。図 3 は本実施形態の波長可変レーザ 1 と固定波長レー

10

20

30

40

50

ザ 2 と固定波長レーザ 3 のそれぞれの波長の時間変化を示している。本実施形態ではガスセル 4 のみを用いて波長精度を保障しているが、以下で述べる次数決定の為の精度条件を満たせば波長保障としてエタロンを用いても構わない。また、ガスセル 4 とエタロンの両方を用いても構わない。

【0023】

ビームスプリッタ 5 a で分割されたもう一方の光束は、偏光ビームスプリッタ（第 1 偏光ビームスプリッタ）16 によって第 1 光束と第 2 光束とに更に分割される。第 1 光束は偏光ビームスプリッタ（第 2 偏光ビームスプリッタ）17 まで伝播する。第 2 光束は一定の周波数で変調する変調部（波長シフタ）11 に入射する。波長シフタ 11 は、波長可変レーザ 1 と固定波長レーザ 2, 3 のそれぞれから出力される光束について、図示されない音響光学素子により入射波長に対して一定量の周波数シフト d を印加する。波長シフタ 11 を出射した光束は偏光ビームスプリッタ 17 まで伝播する。前記第 1 光束と前記第 2 光束は偏光ビームスプリッタ 17 により合成されて再び共通光路となった後にビームスプリッタ 18 によって 2 つに分岐される。分岐された光束の一方は偏光子 27 を通過した後分光素子 19 に入射する。

10

【0024】

分光素子 19 は、同軸で入射した波長可変レーザ 1 と固定波長レーザ 2 と固定波長レーザ 3 の光束を分離する。分光素子 19 として、アレイ導波路型の回折格子を用いる。アレイ導波路型の回折格子以外の分光素子 19 として、プリズムやバルク型の回折格子も使用可能である。分光素子 19 を介した波長 λ_1 の第 1 光束と第 2 光束との干渉信号として両光束の周波数差に相当するビート信号が第 1 検出器 10 c で検出される。また、波長 λ_3 の前記第 1 光束と第 2 光束との干渉信号として両光束の周波数差に相当するビート信号が第 2 検出器 10 b で検出される。同様に、波長 λ_4 の前記第 1 光束と第 2 光束との干渉信号として両光束の周波数差に相当するビート信号が第 3 検出器 10 a で検出される。第 1 ~ 第 3 検出器 10 c ~ 10 a の内部では、偏光子により前記第 1 光束と前記第 2 光束の共通偏光成分を抽出することで干渉信号を得る。以下、分光素子 19 を介して第 1 ~ 第 3 検出器 10 c ~ 10 a で検出される干渉信号を基準信号と称す。

20

【0025】

ビームスプリッタ 18 で分岐されたもう一方の光束は距離を計測する干渉計 100 に入射する。干渉計 100 に入射した光束はコリメータレンズ 21 で平行光束とされる。干渉計 100 内の偏光ビームスプリッタ 20 は第 1 光束を透過し、第 2 光束を反射するように配置される。偏光ビームスプリッタ 20 を反射した第 2 光束は $\lambda/4$ 板 22 により円偏光とされ、コーナーキューブである参照面 6 で反射され逆周りの円偏光となる。第 2 光束は、 $\lambda/4$ 板 22 を再度透過することで、入射時とは偏波面が 90 度回転した直線偏光となって偏光ビームスプリッタ 20 に再度入射する。第 2 光束は、その後、偏光ビームスプリッタ 20 を透過した後偏光子 28 を通過し、更に集光レンズ 25 によって集光された後、分光素子 26 に入射する。

30

【0026】

一方、偏光ビームスプリッタ 20 を透過した第 1 光束は、 $\lambda/4$ 板 23 により円偏光とされ、集光レンズ 24 で収束光束となって被検面 7 に集光される。被検面 7 で反射されて逆周りの円偏光とされた後、 $\lambda/4$ 板 23 を再度透過することにより入射時とは偏波面が 90 度回転した直線偏光となって偏光ビームスプリッタ 20 に再度入射する。第 1 光束は、その後、偏光ビームスプリッタ 20 で反射され、集光レンズ 25 によって集光された後、分光素子 26 に入射する。以下、参照面 6 で反射する光束を参照光束、被検面 7 で反射する光束を計測光束と称す。尚、高コントラストの干渉信号を得る為に、参照光束と計測光束の強度を同じにすることが好ましい。この為、回転機構（不図示）によって偏光子 28 を回転させ強度調整を可能にすることが好ましい。また ND フィルタ等（不図示）で参照光束もしくは計測光束の強度を調整しても構わない。

40

【0027】

分光素子 26 に入射した波長 λ_1 の参照光束と計測光束の干渉信号が第 1 検出器 10 c

50

で検出される。また、波長₃の参照光束と計測光束の干渉信号が第2検出器10bで検出される。また、波長₄の参照光束と計測光束の干渉信号が第3検出器10aで検出される。以下、分光素子26を介して第1～第3検出器10c～10aで検出される干渉信号を計測信号と称す。計測信号は、第1光束と第2光束の干渉信号として両光束の周波数差に相当するビート信号となる点は同一であるが、計測光と参照光の光路長差により干渉信号の位相が基準信号と異なる。

【0028】

干渉計100の光束を分割する素子として偏光成分で分割可能な偏光ビームスプリッタ20を用いることによる効果は、参照面6と被検面7のそれぞれで反射する光束を偏光により分離する事が可能となる点にある。以上の効果を利用すれば、直交する2つの偏光間で僅かに周波数シフト差を加えることで被検面7と参照面6間のヘテロダイン検出が構成可能となり、高精度な位相計測が実現する。また、本実施例では被検面7の距離を計測する干渉計として構成したが、被検面7をXY平面内に駆動可能なステージに載せることで被検面7の面形状情報を得るような形状計測にも適用可能である。また、この場合、駆動ステージの代わりにガルバノミラーを干渉計100と被検面7の間に配置しても構わない。

【0029】

算出部8は、少なくともメモリ81と第1算出部82と第2算出部83から構成されている。メモリ81は各光源1～3の位相計測を記憶する。第1算出部82は、基準信号と計測信号からの信号が接続され、被検面7と参照面6間の絶対距離を算出する。第2算出部83は、計測時に被検面7の高低差が波長₃と波長₄との第1の合成波長₃₄の計測レンジを超えてしまう場合や光源からの光が一時遮断されてしまうことによって、第1の合成波長₃₄の干渉次数が不明になった場合に後から干渉次数を決定する。同時に算出部8は、レーザ制御部14にも接続され計測フローに応じて波長可変レーザ1の波長制御も行う。本実施形態は1つの光源ユニットに対して複数の干渉計100を配置する際には、光源ユニットとビームスプリッタ16との間で光束を分割することで、容易に対応可能な構成になっている。

【0030】

次に図2を用いて本実施形態の計測の手法を説明する。算出部8は、まず計測を開始するにあたって計算フラグを0に設定する。ここで、計算フラグとは波長走査開始時刻 t_0 から次の波長走査終了時刻 t_1 までの間の被検面7の高低差が₃₄の半分を超えた場合1となり、それ以外は0とする判断フラグである。この計算フラグの役割については下記の説明の中で行っていく。

【0031】

計測フローは大きく2つのループに分けられる。1つは波長制御ループであり、もう1つは計測ループである。波長制御ループでは、図3で示すように、波長可変レーザ1を基準波長₁～₂間で走査し、その後どちらかの基準波長に安定化制御することを繰り返している。また、S402とS404で、算出部8は、基準波長に制御完了後、波長走査完了を示すフラグを計測ループ側のS104へ送信する。このフラグを受けて、算出部8は、S104で波長走査完了の判断をする。

【0032】

次に計測ループについて説明をする。計測ループは、波長可変レーザ1の波長を第1基準波長₁と第2基準波長₂との間で走査しながら、当該走査された波長と、固定波長レーザ2,3の第3基準波長₃及び第4基準波長₄で位相の計測を繰り返す。ここでは、時刻 $t_0 \sim t_1$ の間における位相計測を例にとって説明する。第1～第3検出器10c～10aは、S101、S201で、第3基準波長₃及び、第4基準波長₄および第2基準波長₂において位相計測をする。位相計測とは計測信号と基準信号の位相差を計測することであり、算出部8は、基準信号と計測信号の位相を位相計で計測しそれらの差分を算出することにより位相差を得る。得られた位相差は図12のメモリ81に格納される。

10

20

30

40

50

【0033】

S101で第2、第3検出器10b, 10cによりそれぞれ計測される位相差 ϕ_k ($k = 3, 4$) は式1で表わされる。

$$\phi_k(t) = 2\pi \times 2D(t) / \lambda_k \quad (k = 3, 4) \cdots (1)$$

【0034】

S201で第1検出器10cにより計測される波長可変レーザ1の光を用いた位相差 $\phi_a(t_0)$ は式2で表される。図3に示すように、時刻 t_0 のときの波長可変レーザの波長は λ_2 である。Dは参照面と被検面の絶対距離である。

$$\phi_a(t_0) = 2\pi \times 2D(t_0) / \lambda_2 \cdots (2)$$

【0035】

S102で、算出部8は、S101で計測された位相差 ϕ_3 及び ϕ_4 から式3を用いて ϕ_{34} と λ_{34} の第1の合成波長 λ_{34} の位相差 $\phi_{34}(t)$ を算出する。

$$\phi_{34}(t) = \phi_4(t) - \phi_3(t) \cdots (3)$$

なお、第1の合成波長 λ_{34} は、 λ_1 と λ_2 との第2の合成波長 λ_{12} よりもはるかに短く、被検面7の距離、形状を最も高精度に計測し得る。本実施形態では、被検面7の距離、形状を最も高精度に計測し得る短い波長の合成波長を得るために、波長 λ_3 を有する固定波長レーザ2と波長 λ_4 を有する固定波長レーザ3とを用意した。しかし、例えば、固定波長レーザ2の波長 λ_3 が被検面7の距離、形状を高精度に計測し得る波長であるならば、固定波長レーザ3を設けなくてもよい。

【0036】

S103及びS202で、算出部8は、S101、S102及びS201にて計測かつ算出された、合成波長 λ_{34} の位相差 $\phi_{34}(t)$ と可変レーザの位相差 $\phi_a(t_0)$ の履歴をメモリ81に格納する。S104で、算出部8は、計測ループでのS402、S404より送信された波長走査完了フラグに基づいて、波長走査が完了したか否かを判断する。波長走査が未完の場合はS105へ、完了している場合はS110へ進む。

【0037】

まず、S104にて波長走査が未完である場合について説明する。この場合、算出部8は、S105で、式4で示される条件式を満たすかどうか判断する。

$$|h(t)| < \lambda_{34} / 2 \cdots (4)$$

ここで $h(t)$ は時刻 t'_1 における被検面7の距離と各計測時の時刻 t_a における被検面の距離との差を表わす。

【0038】

式4の条件を満たさない場合は、先の波長走査が完了した時点 ($t = t'_1$) 以降に被検面7の高低差が合成波長 λ_{34} の計測レンジ ($\lambda_{34} / 2$) を超えてしまい位相の接続の決定ができなくなる。計測レンジを越える被検面7の段差を計測する時には急峻な光量変化が発生する。したがって光量モニタ(図2には不図示)で光量変動の変化量の閾値を事前に設定しておき、光量が閾値を超えたとき式4の条件を満たさなくなったと判断する。もしくは、事前に被検面7の形状の概略が分かっている場合は、その形状情報を基に段差の存在を判断しても構わない。

【0039】

まず、図4のように、波長走査開始時刻 t'_0 から次の波長走査終了時刻 t_1 の間の被検面7の段差が小さくS105にて式4を満たさない場合 (S105でNoの場合) について説明する。算出部8は、S107で、前回計測時の干渉次数 $N_{34}(i)$ 及び位相差の計測結果 $\phi_{34}(i)$ と、今回の位相差の計測結果 $\phi_{34}(i+1)$ とを用いて、式5により干渉次数 N_{34} を算出する。

$$N_{34}(i+1) = N_{34}(i) + \text{round}(\phi_{34}(i+1) - \phi_{34}(i)) \cdots (5)$$

【0040】

算出部8の第1算出部82は、S107で、第1の合成波長 λ_{34} の相対的な位相変化を用いて式6より被検面7の絶対距離Dを算出する。式4の条件を満たすのであれば、次

10

20

30

40

50

の波長走査完了のフラグが確認されるまではこのように高速な相対測長と干渉次数 N_{34} を用いて絶対距離 D を算出する。そして、計測ループへ戻る。

$$D(t) = (\lambda_{34} / 2) \times \{ N_{34}(t) + (\lambda_{34}(t) / (2 \lambda_{34})) \} \cdots (6)$$

【0041】

次に、S105にて、図5のようにある走査区間が開始した時刻 t'_0 から次の走査区間が終了した時刻(第2時刻) t_1 の間の時刻(第1時刻) $t = t_a$ において被検面7に数式4を満たす段差がある場合(S105でYesの場合)について説明する。算出部8は、S106において計算フラグが0の場合、S109で、被検面7の段差の計測時刻 t_a をメモリ81に記憶する。また、算出部8は、計算フラグを1に変更する。この段階から次の波長走査が完了するまでの間は干渉次数 N_{34} や絶対測長距離 $D(t)$ の算出は行わず、計測ループに戻る。S106において、計算フラグが1の場合はそのまま計測ループに戻る。

【0042】

次にS104にて波長走査が完了している場合について説明する。時刻 t_1 での波長可変レーザ1の光を用いた位相差 $a(t_1)$ が式7より求められる。

$$a(t_1) = 2 \times 2D(t_1) / \lambda_{34} \cdots (7)$$

【0043】

時刻 t_1 での波長可変レーザ1の位相は、時刻 t_0 での波長可変レーザ1の光を用いた位相差 $a(t_0)$ に、高精度の第1の合成波長 λ_{34} を使用した $t_0 \sim t_1$ 間の連続的な位相差の変化から算出した相対変位 $D(t_0 \sim t_1)$ を加算することでも算出される。すなわち、算出部8は、S202で、履歴に残された位相差の計測結果 $a(t_0)$ から、波長 λ_{34} のままで絶対距離 $D(t_1)$ のときの位相差 $a'(t_1)$ を式8を用いて算出する。この時刻 t_1 での波長可変レーザ1の光を用いた位相差 $a'(t_1)$ は、式7で算出された位相差 $a(t_1)$ の補正值に当たる。

$$a'(t_1) = 2 \{ (a(t_0) / 2) + 2D(t_0 \sim t_1) / \lambda_{34} \} \cdots (8)$$

ただし、

$$D(t_0 \sim t_1) = (\lambda_{34} / 2) \times \{ N_{34}(t_1) - N_{34}(t_0) \} \cdots (9)$$

【0044】

算出部8は、S111で、式10を用いて時刻 t_1 での干渉次数 $M_{12}(t_1)$ を算出する。ここで λ_{12} は波長 λ_1 と λ_2 の合成波長を表わす。

$$M_{12}(t_1) = \{ 2D(t_1) / \lambda_{12} \} - \{ (a(t_1) - a'(t_1)) / 2 \} \cdots (10)$$

【0045】

算出部8は、S112で、合成波長 λ_{34} による計測の干渉次数 $N_{34}(t_1)$ を算出する。また、算出部8は、S112で、波長 λ_2 と合成波長 λ_{34} の合成波長を λ_{234} による計測の干渉次数 $M_{23}(t_1)$ も算出する。まず、式10を $D(t_1)$ について解くと、式11のように変形される。

$$D(t_1) = (\lambda_{12} / 2) \times \{ M_{12}(t_1) + (a(t_1) - a'(t_1)) / 2 \} \cdots (11)$$

【0046】

$D(t_1)$ は、合成波長 λ_{34} 、合成波長 λ_{234} を用いて式12、式13のように表わされる。

$$D(t_1) = (\lambda_{34} / 2) \times \{ N_{34}(t_1) + (\lambda_{34}(t_1) / 2) \} \cdots (12)$$

$$D(t_1) = (\lambda_{234} / 2) \times \{ M_{23}(t_1) + (\lambda_{34}(t_1) - a(t_1)) / 2 \} \cdots (13)$$

【0047】

式12、式13を用いて $N_{34}(t_1)$ について解き、式11、式13を用いて M_{23}

10

20

30

40

50

(t_1) について解くと、 $N_{34}(t_1)$ 、 $M_{23}(t_1)$ は式 14、式 15 でそれぞれ表わされる。

$$N_{34}(t_1) = \text{round}(\{M_{23}(t_1) + (\lambda_{34}(t_1) - \lambda_a(t_1)) / 2\} (\lambda_{234} / \lambda_{34}) - \{\lambda_{34}(t_1) / 2\} \cdots (14))$$

$$M_{23}(t_1) = \text{round}(\{M_{12}(t_1) + (\lambda_a(t_1) - \lambda'_a(t_1)) / 2\} (\lambda_{12} / \lambda_{234}) - \{(\lambda_{34}(t_1) - \lambda_a(t_1)) / 2\} \cdots (15))$$

【0048】

算出部 8 は、S 111 で求めた $M_{12}(t_1)$ から式 15 を用いて $M_{23}(t_1)$ を算出し、算出された $M_{23}(t_1)$ から式 14 を用いて $N_{34}(t_1)$ を算出する。3つの合成波長 λ_{34} 、 λ_{234} 、 λ_{12} には $\lambda_{34} < \lambda_{234} < \lambda_{12}$ の関係がある。最も波長の長い λ_{12} は最も計測レンジが大きく被検面 7 に段差が存在しても連続して計測可能であるが計測精度が低い。一方、最も波長の短い合成波長 λ_{34} 用いると最も高精度に被検面 7 の距離、形状が計測できるが、計測レンジが小さい。そのため、合成波長 λ_{34} 用いると段差がある時点で合成波長 λ_{34} の干渉次数 N_{34} が不連続となる。しかし、時刻 $t = t_1$ における合成波長 λ_{34} の干渉次数 $N_{34}(t_1)$ が式 14 を用いて算出できる。

10

【0049】

S 113 において計算フラグが 0 の場合、つまり前回の走査区間の開始時刻 t'_0 から t_1 までの間の被検面 7 の高低差が λ_{34} の半分以下である場合について説明する。この場合、算出部 8 は、S 117 において、S 107 に記録された干渉次数 N_{34} を S 112 で求められた干渉次 $N_{34}(t_1)$ に更新し計算ループに戻る。

20

【0050】

一方、S 113 において計算フラグが 1 の場合、つまり前回の走査区間の終了時刻 t'_0 から t_1 までの間の被検面 7 の高低差が λ_{34} の半分以上である場合について説明する。S 109 で記憶した第 1 時刻 t_a から第 2 時刻 t_1 までの位相接続ができない為に第 1 時刻以降における絶対距離 $D(t)$ が算出されていない。ところで、 $t = t_1$ における次数 $N_{34}(t_1)$ は、S 112 で求めて既知となっている。また、 $t = t_a \sim t_1$ の間の合成波長 λ_{34} の位相差の履歴は、S 103 でメモリ 81 に記憶されている。そこで、算出部 8 は、S 114 において、 $t = t_1$ における次数 $N_{34}(t_1)$ と $t = t_a \sim t_1$ の間の合成波長 λ_{34} の位相差の履歴とから式 16 を用いて $t = t_a \sim t_1$ の間の次数 N_{34} の履歴を逆算する。

30

$$N_{34}(i+1) = N_{34}(i) + \text{round}\{\lambda_{34}(i+1) - \lambda_{34}(i)\} \cdots (16)$$

【0051】

算出部 8 は、S 115 で式 17 を用いて合成波長 λ_{34} の相対的な位相差の変化の履歴を用いて時刻 t_a から t_1 までの間の被検面 7 の絶対距離 $D(t)$ を算出する。

$$D(t) = (\lambda_{34} / 2) \times \{N_{34}(t) + (\lambda_{34}(t) / 2)\} \cdots (17)$$

算出部 8 は、S 116 で計算フラグを 0 に戻し、S 117 において、S 107 に記録された干渉次数 N_{34} を S 112 で求められた干渉次数 N_{34} に更新し計算ループに戻る。S 114、S 115 は第 1 算出部 82 で処理される計測ループとは別に、第 2 算出部 83 で計算することで計測ループ時間に遅延を発生させないようにすることができる。以上の通り、本実施形態によれば波長走査量の低減が可能となる為、簡易な構成で高速かつ計測レンジの広い計測装置を提供する事が出来る。

40

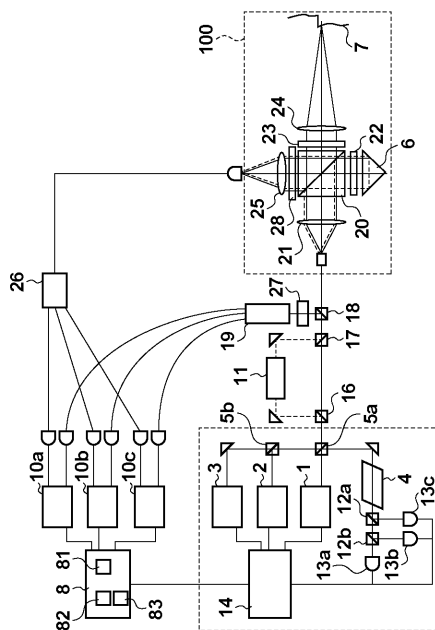
【0052】

以上、本発明の好ましい実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形および変更が可能である。例えば、本実施形態では被検面の高低差が合成波長 λ_{34} を超えた場合に干渉次数が不明となってしまうことに対する対策を説明した。同様に、光源からの光が一時的に遮断されることによって干渉

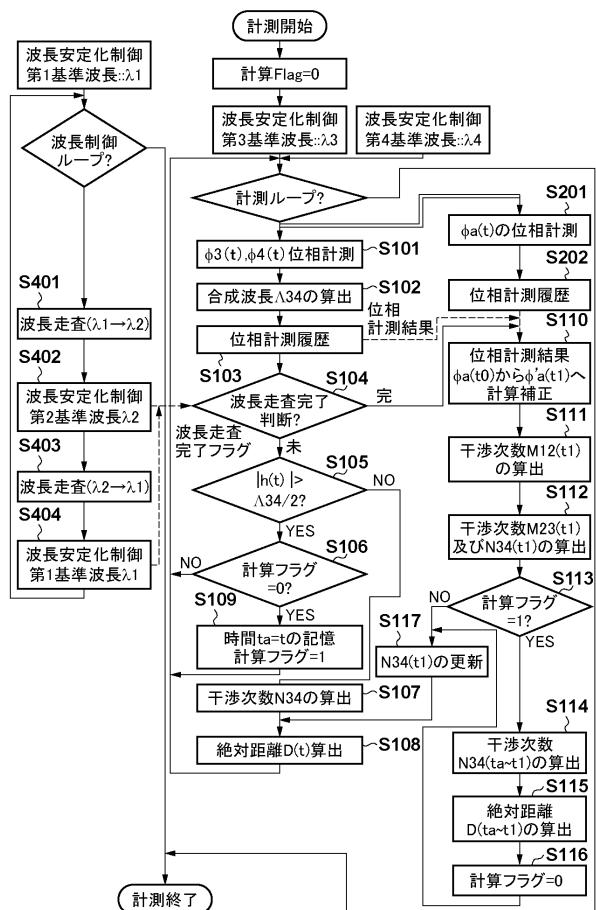
50

次数が不明となる場合にも同じような対策が可能となる。また、ヘテロダイン干渉計の構成で説明したがホモダイン干渉計での構成でも構わない。

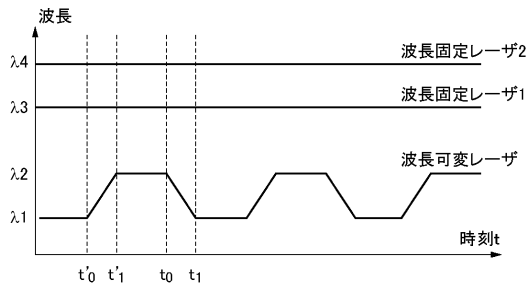
【図 1】



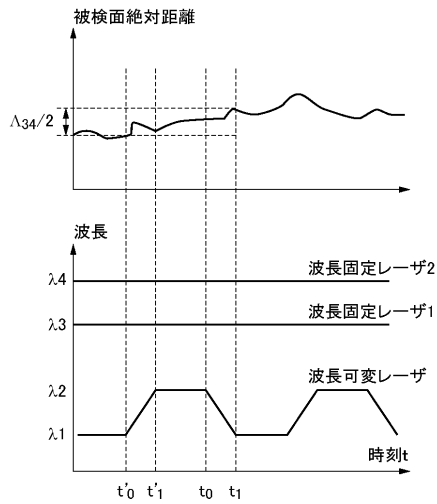
【図 2】



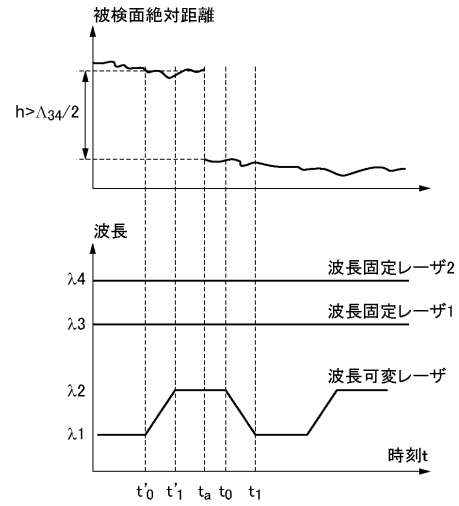
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(72)発明者 山田 顕宏

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

Fターム(参考) 2F064 AA01 AA09 CC08 EE01 FF02 FF05 FF08 GG13 GG16 GG22
GG23 GG33 GG38 GG41 GG44 GG49 GG55 GG70 HH01 HH04
JJ05 JJ06
2F065 AA04 AA53 BB05 DD03 FF52 GG04 GG06 GG23 GG25 HH04
HH13 JJ01 JJ05 JJ18 LL00 LL02 LL04 LL12 LL17 LL20
LL24 LL33 LL36 LL37 LL42 LL46 LL57 LL62 MM03 MM16
MM26 PP12 QQ23 QQ25 QQ27 QQ29 QQ31 UU02 UU05