

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5554681号
(P5554681)

(45) 発行日 平成26年7月23日(2014.7.23)

(24) 登録日 平成26年6月6日(2014.6.6)

(51) Int. Cl.		F I	
GO 1 B 11/24	(2006.01)	GO 1 B 11/24	D
GO 1 B 11/00	(2006.01)	GO 1 B 11/00	G
GO 1 B 9/02	(2006.01)	GO 1 B 9/02	

請求項の数 13 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2010-235715 (P2010-235715)	(73) 特許権者	000137694
(22) 出願日	平成22年10月20日(2010.10.20)		株式会社ミットヨ
(65) 公開番号	特開2011-89988 (P2011-89988A)		神奈川県川崎市高津区坂戸一丁目20番1号
(43) 公開日	平成23年5月6日(2011.5.6)	(74) 代理人	100079108
審査請求日	平成25年9月3日(2013.9.3)		弁理士 稲葉 良幸
(31) 優先権主張番号	09173518.3	(74) 代理人	100109346
(32) 優先日	平成21年10月20日(2009.10.20)		弁理士 大貫 敏史
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)	(74) 代理人	100117189
			弁理士 江口 昭彦
		(74) 代理人	100134120
			弁理士 内藤 和彦

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 物体表面の高さマップを求める方法及びその装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

広帯域光源による白色光干渉法を用いて物体表面の高さマップを求める方法であって、前記物体表面上の各位置の高さを求めるステップにおいて、白色光干渉法を用いて、前記物体に対し対物レンズの焦点面を高さ方向に走査して干渉パターンの強度信号を得るステップと、

前記物体表面上の各位置について前記強度信号の振幅が最大となる前記高さ方向の位置を推定して、当該高さ方向の位置から前記物体表面上の各位置の高さを求めるステップと、を有し、

前記強度信号が最大となる高さ方向の位置を推定するステップは、

前記強度信号をフーリエ変換するステップと、

前記フーリエ変換された信号をフィルタリングしてノイズ信号を取り除くステップと、

前記フィルタリングされた信号を逆フーリエ変換するステップと、

前記逆フーリエ変換された信号の重心の位置を求めて、当該重心の位置を前記高さ方向の位置とするステップと、を有し、

前記逆フーリエ変換された信号の大きさを、前記信号の重心の位置を計算する前に、 $1 \sim 2$ (双方の値を含む) 乗し、好ましくは $1 \sim 8$ 乗する、方法。

【請求項2】

広帯域光源による白色光干渉法を用いて物体表面の高さマップを求める方法であって、

10

20

前記物体表面上の各位置の高さを求めるステップにおいて、
白色光干渉法を用いて、前記物体に対し対物レンズの焦点面を高さ方向に走査して干渉
パターンの強度信号を得るステップと、

前記物体表面上の各位置について前記強度信号の振幅が最大となる前記高さ方向の位置
を推定して、当該高さ方向の位置から前記物体表面上の各位置の高さを求めるステップと
、を有し、

前記強度信号が最大となる高さ方向の位置を推定するステップは、
前記強度信号をフーリエ変換するステップと、
前記フーリエ変換された信号をフィルタリングしてノイズ信号を取り除くステップと、

10

前記フィルタリングされた信号を逆フーリエ変換するステップと、
前記逆フーリエ変換された信号の重心の位置を求めて、当該重心の位置を前記高さ方向
の位置とするステップと、を有し、

前記重心の位置が、重心が配置されている箇所に最も近い像の数を用いて計算される、
方法。

【請求項 3】

広帯域光源による白色光干渉法を用いて物体表面の高さマップを求める方法であって、
前記物体表面上の各位置の高さを求めるステップにおいて、
白色光干渉法を用いて、前記物体に対し対物レンズの焦点面を高さ方向に走査して干渉
パターンの強度信号を得るステップと、

20

前記物体表面上の各位置について前記強度信号の振幅が最大となる前記高さ方向の位置
を推定して、当該高さ方向の位置から前記物体表面上の各位置の高さを求めるステップと
、を有し、

前記強度信号が最大となる高さ方向の位置を推定するステップは、
前記強度信号をフーリエ変換するステップと、
前記フーリエ変換された信号をフィルタリングしてノイズ信号を取り除くステップと、

前記フィルタリングされた信号を逆フーリエ変換するステップと、
前記逆フーリエ変換された信号の重心の位置を求めて、当該重心の位置を前記高さ方向
の位置とするステップと、を有し、

30

前記強度信号の位相を示す位相信号を求めるステップと、
前記重心の位置に最も近い前記位相信号のゼロ交差の位置から前記物体表面上の各位置
の高さを求めるステップと、

前記ゼロ交差に対する $2n$ 交差と $-2n$ 交差 (n は整数) の位置から前記物体表面
上の各位置の高さを求めるステップと、をさらに有する、方法。

【請求項 4】

前記強度信号の位相を示す位相信号を求めるステップは、
前記強度信号をフーリエ変換するステップと、
前記フーリエ変換された信号を、予め定められた周波数範囲外にある全ての周波数を排
除しかつ前記範囲内の周波数を関数によって重み付けするように適合されたフィルタにか
けるステップと、

40

このフィルタリングされた信号を逆フーリエ変換するステップと、
前記逆フーリエ変換された信号から位相信号を計算するステップと、を有する、請求項
3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記予め定められた範囲内の前記周波数がフィルタによって重み付けされる、請求項 4
に記載の方法。

【請求項 6】

前記強度信号の位相を示す位相信号を求めるステップは、
複素ウェーブレットを選択するステップと、

50

前記強度信号に対し、前記重心の位置近くのウェーブレット変換を行うステップと、このウェーブレット変換が行われた信号から位相信号を計算するステップと、を有する、請求項3に記載の方法。

【請求項7】

前記ゼロ交差の位置から求められた前記物体表面の各位置の高さから、第1の高さマップを求めるステップと、

前記2n交差および-2n交差の位置から求められた前記物体表面の各位置の高さから、第2および第3の高さマップを求めるステップと、

コヒーレンス法による前記重心の位置から求められた前記物体表面の各位置の高さから、高さマップを求めるステップと、

前記第1の高さマップの一部を前記第2の高さマップと組み合わせて、ジャンプが最小数の高さマップを求めるステップと、

前記第1の高さマップの一部を前記第3の高さマップと組み合わせて、ジャンプが最小数の高さマップを求めるステップと、

前記組み合わせられた高さマップから、コヒーレンス法を用いて求められた前記高さマップに近い高さマップを選択するステップと、を有する、請求項4、5または6に記載の方法。

【請求項8】

前記コヒーレンス法を用いて求められた前記高さマップをフィルタリングして雑音を低減するステップと、

前記フィルタリングされた前記高さマップと前記第1の高さマップとの間の第1の差を取るステップと

前記第1の高さマップと前記第2の高さマップとの間の第2の差を取るステップと、

前記第2の差を基準とした基準値と前記第1の差とを比較し、前記第1の差が当該基準値よりも大きくなる位置の第1の高さマップのデータを、前記第2の高さマップのデータに置き換え、当該置き換えが複数の前記基準値毎に行われて、第1のセットの複数の高さマップを求めるステップと、

第1のセットの各高さマップにおいて、前記隣接する位置の間のデータ値の差が所定の規定値よりも大きくなる回数が求められ、前記第1のセットから前記回数が最も小さい高さマップが選択されるステップと、

前記第1の高さマップと前記第3の高さマップとの間の第3の差を取るステップと、

前記第3の差を基準とした基準値と前記第1の差とを比較し、前記第1の差が当該基準値よりも大きくなる位置の第1の高さマップのデータを、前記第3の高さマップのデータに置き換え、当該置き換えが複数の前記基準値毎に行われて、第2のセットの複数の高さマップを求めるステップと、

第2のセットの各高さマップにおいて、前記隣接する位置の間のデータ値の差が所定の規定値よりも大きくなる回数が求められ、前記第2のセットから前記回数が最も小さい高さマップが選択されるステップと、

前記第1のセットから選択された高さマップと、前記第2のセットから選択された高さマップのうち、前記フィルタリングされた高さマップとの差が小さい方を選択するステップと、を有する、請求項7に記載の方法。

【請求項9】

広帯域光源による白色光干渉法を用いて物体表面の高さマップを求める装置であって、前記物体を位置決めする手段と、

広帯域白色光源と、

参照鏡と、

受けた光を電気信号に変換する光検出器と、

前記広帯域白色光源からの光を対物レンズを通じて前記物体表面および前記参照鏡に向け、かつ前記参照鏡に反射した光および前記物体表面に反射した光を前記光検出器に向ける光学的手段と、

10

20

30

40

50

前記物体に対し対物レンズの焦点面を走査する走査手段と、
前記走査手段を制御して走査動作を実施し、かつ前記光検出器からの信号を受信し処理する処理装置と、を有し、

前記処理装置は、

前記物体表面上の各位置の高さを求めるステップにおいて、

白色光干渉法を用いて、前記物体に対し対物レンズの焦点面を高さ方向に走査して干渉パターンの強度信号を得るステップと、

前記物体表面上の各位置について前記強度信号の振幅が最大となる前記高さ方向の位置を推定して、当該高さ方向の位置から前記物体表面上の各位置の高さを求めるステップと、
、を行い、

前記強度信号が最大となる高さ方向の位置を推定するステップにおいて、

前記強度信号をフーリエ変換するステップと、

前記フーリエ変換された信号をフィルタリングしてノイズ信号を取り除くステップと、

前記フィルタリングされた信号を逆フーリエ変換するステップと、

前記逆フーリエ変換された信号の重心の位置を求めて、当該重心の位置を前記高さ方向の位置とするステップと、を行い、

前記処理装置は、

前記強度信号の位相を示す位相信号を求めるステップと、

前記重心の位置に最も近い前記位相信号のゼロ交差の位置から前記物体表面上の各位置の高さを求めるステップと、

前記ゼロ交差に対する $2n$ 交差と $-2n$ 交差 (n は整数) の位置から前記物体表面上の各位置の高さを求めるステップと、 をさらに行う、装置。

【請求項 10】

前記処理装置は、

前記強度信号の位相を示す位相信号を求めるステップにおいて、

前記強度信号をフーリエ変換するステップと、

前記フーリエ変換された信号を、予め定められた周波数範囲外にある全ての周波数を排除しかつ前記範囲内の周波数を関数によって重み付けするように適合されたフィルタにかけるステップと、

このフィルタリングされた信号を逆フーリエ変換するステップと、

前記逆フーリエ変換された信号から位相信号を計算するステップと、を行う、請求項 9 に記載の装置。

【請求項 11】

前記処理装置は、

前記強度信号の位相を示す位相信号を求めるステップにおいて、

複素ウェーブレットを選択するステップと、

前記強度信号に対し、前記重心の位置近くのウェーブレット変換を行うステップと、

このウェーブレット変換が行われた信号から位相信号を計算するステップと、を行う、

請求項 9 に記載の装置。

【請求項 12】

前記処理装置は、

前記ゼロ交差の位置から求められた前記物体表面の各位置の高さから、第 1 の高さマップを求めるステップと、

前記 $2n$ 交差および $-2n$ 交差の位置から求められた前記物体表面の各位置の高さから、第 2 および第 3 の高さマップを求めるステップと、

コヒーレンス法による前記重心の位置から求められた前記物体表面の各位置の高さから、高さマップを求めるステップと、

前記第 1 の高さマップの一部を前記第 2 の高さマップと組み合わせて、ジャンプが最小数の高さマップを求めるステップと、

10

20

30

40

50

前記第 1 の高さマップの一部を前記第 3 の高さマップと組み合わせて、ジャンプが最小数の高さマップを求めるステップと、
前記組み合わせられた高さマップから、コヒーレンス法を用いて求められた前記高さマップに近い高さマップを選択するステップと、を行う、請求項 9 ~ 1 1 のいずれかに記載の装置。

【請求項 1 3】

前記処理装置は、

前記コヒーレンス法を用いて求められた前記高さマップをフィルタリングして雑音を低減するステップと、

前記フィルタリングされた前記高さマップと前記第 1 の高さマップとの間の第 1 の差を取るステップと

10

前記第 1 の高さマップと前記第 2 の高さマップとの間の第 2 の差を取るステップと、

前記第 2 の差を基準とした基準値と前記第 1 の差とを比較し、前記第 1 の差が当該基準値よりも大きくなる位置の第 1 の高さマップのデータを、前記第 2 の高さマップのデータに置き換え、当該置き換えが複数の前記基準値毎に行われて、第 1 のセットの複数の高さマップを求めるステップと、

第 1 のセットの各高さマップにおいて、前記隣接する位置の間のデータ値の差が所定の規定値よりも大きくなる回数が求められ、前記第 1 のセットから前記回数が最も小さい高さマップが選択されるステップと、

前記第 1 の高さマップと前記第 3 の高さマップとの間の第 3 の差を取るステップと、

20

前記第 3 の差を基準とした基準値と前記第 1 の差とを比較し、前記第 1 の差が当該基準値よりも大きくなる位置の第 1 の高さマップのデータを、前記第 3 の高さマップのデータに置き換え、当該置き換えが複数の前記基準値毎に行われて、第 2 のセットの複数の高さマップを求めるステップと、

第 2 のセットの各高さマップにおいて、前記隣接する位置の間のデータ値の差が所定の規定値よりも大きくなる回数が求められ、前記第 2 のセットから前記回数が最も小さい高さマップが選択されるステップと、

前記第 1 のセットから選択された高さマップと、前記第 2 のセットから選択された高さマップのうち、前記フィルタリングされた高さマップとの差が小さい方を選択するステップと、を行う、請求項 1 2 に記載の装置。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明は、広帯域光源による白色光干渉法を用いて物体表面の高さマップを求める方法及びその装置に関する。

【背景技術】

【0 0 0 2】

従来例として、白色光干渉法を使用して物体の高さマップを作成するような方法は、米国特許第 5,633,715 号に記載されている。より詳細には、米国特許第 5,633,715 A 号には、広帯域光源による白色光干渉法を通して表面の高さマップを画定するサンプル表面上のいくつかの位置の高さ位置を求める方法であって、サンプル表面上の各位置に対して、白色光干渉法を使用して前記物体表面に対して垂直な方向において表面を走査する間に干渉パターン信号（コレログラム(correlogram)）を得るステップと、強度信号の振幅がその最大にある干渉パターン信号の点を推定して、前記強度信号によって示されたサンプル表面上の特定の位置の高さ位置の近似値を求めるステップとを含む方法が記載されている。

40

【0 0 0 3】

また、米国特許第 5,633,715 号には、広帯域光源による白色光干渉法を通して表面の高さマップを画定するサンプル表面上のいくつかの位置の高さ位置を求める装置であって、被測定面を有する物体を位置決めする手段と、広帯域白色光源と、参照鏡と、受け

50

た光を電気信号に変換するように適合された光検出器と、光源からの光を物体表面および参照鏡に向け、かつ参照鏡で反射した光および物体表面で反射した光を光検出器に向けるための光学的手段と、参照鏡との間を行き来する光と、物体表面との間を行き来する光との間の少なくとも光路差を変更するための走査手段と、走査手段を制御して走査動作を行い、かつ光検出器からの信号を受信するように適合された処理装置とを含み、当該処理装置が、光検出器から受信した信号を強度信号に変換し、かつ強度信号の振幅が最大である強度信号の点を推定し、それゆえ、前記強度信号によって示されたサンプル表面上の特定の位置の高さ位置の近似値を求めるように適合されている、装置が記載されている。

【 0 0 0 4 】

上記方法における強度信号がその最大に達する値の推定は、強度信号の導関数の重心を計算することによって行われる。これは良好な結果をもたらすが、この方法は、走査中のデータ収集プロセスに起因するエラーおよび雑音の影響を非常に受ける。この方法は、位相法ではなく、高さマップを決定するためのコヒーレンス法である。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【 0 0 0 5 】

【特許文献 1】米国特許第 5,633,715 号

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 6 】

20

本発明の目的は、これらの欠点を回避する、上述した種類の方法および装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 7 】

この目的は、強度信号が最大である値の推定が、強度信号にフーリエ変換を行うステップ、フーリエ変換された信号をフィルタにかけるステップ、フィルタリングされた信号に逆フーリエ変換を行うステップ、およびこの逆フーリエ変換された信号の重心を計算するステップによって行われる、上述した種類の方法によって達成される。

【 0 0 0 8 】

この目的はまた、プロセッサが、強度信号にフーリエ変換を行い、フーリエ変換された信号をフィルタにかけ、フィルタリングされた信号に逆フーリエ変換を行い、かつこの逆フーリエ変換された信号の重心を計算するように適合されている、上述した種類の装置によって達成される。

30

【 0 0 0 9 】

この従来技術の方法では、強度信号の導関数の使用により高周波数成分が強調され、従ってエラーが増幅される。それに対して、本発明は信号をフィルタリングし、かつ個別の導関数には依存しない；それゆえ、本発明はエラーおよびアーティファクト(artefacts)を起こしにくい。

【 0 0 1 0 】

上述の方法および装置では、フィルタリングされた信号の重心の位置を計算する。重心が計算される信号の両側で、より鋭いピークまたはより険しいスロープを得るために、本発明の好ましい実施形態は、フィルタリングされ逆フーリエ変換された信号の重心を計算する前に、前記信号の大きさを 1 ~ 2 (双方の値を含む) 乗し、好ましくは 1 . 8 乗することを提案する。

40

【 0 0 1 1 】

上述のコヒーレンス法および装置は、強度信号の頂点の概算値のみ、従って物体表面上の特定の位置の高さを提供する。多くの状況では、高さをより正確に求める必要がある。

【 0 0 1 2 】

より正確に求めるために、位相信号を使用することが好ましい。信号の位相が、振幅よりもエラーを起こしにくいもの(entity)であるので、一般的に、位相で利用可能な情報

50

を使用することが好ましい。

【0013】

とりわけ米国特許第5,398,113号から、高さマップを見つけるために位相を使用することが知られている。その方法では、フーリエドメインの位相を使用して、高さを求める。逆フーリエ信号のゼロ交差は使用しない。

【0014】

それに対し、本発明の好ましい形態は、以下の：強度信号の位相を示す位相信号を導き出すステップ、および高さの推定値に最も近い前記位相信号のゼロ交差の高さの値を求めるステップ、およびまた、隣接する位相線におけるゼロ交差を見つけることによって、位相がそれぞれ2 および - 2 である高さの値を求めるステップを実行する上述した種類の
10
方法および装置を提案する。ここで、干渉パターン信号の値が求められ、ここで、位相のゼロ交差が起こる。

【0015】

上述の形態では、干渉パターン信号の位相のゼロ交差が使用され、それは、位相計算のラップされた (wrapped) 性質のために、そのようなゼロ交差の多くを有する。この実施形態では、先のステップで求められたような高さの推定値に最も近いゼロ交差を選択する。本明細書では、高さの推定値は、フィルタリングされ逆フーリエ変換された強度信号の重心を1~2乗する計算を行うことによって求める。別の実施形態によれば、重心がある像の数が高さの推定値として取られ、より簡単に迅速な計算処理をもたらす。高さの推定値を決定するために、この位相法を他の方法に適用することも可能である。
20

【0016】

上述の形態では、位相信号を干渉パターンから導き出す必要がある。一実施形態では、干渉パターンの強度信号にフーリエ変換を行い、フーリエ変換された信号を、位相共役周波数をゼロにすることを含めて、予め定められた周波数範囲外の全ての周波数を排除しかつファクタによって前記範囲内の周波数を重み付けする (weigh) ように適合されたフィルタにかけ、フィルタリングされた信号に逆フーリエ変換を行い、およびこの逆信号から位相信号を計算することによって、強度信号から位相信号を導き出すことを提案する。

【0017】

本明細書では、フィルタ処理は、位相のゼロ交差を求めることと関わりのない元の強度信号の周波数を排除し、かつこれらの周波数を強調する関数によって残りの周波数を重み
30
付けする。これらの特徴により、従来技術に記載されるようなより一般的な手法よりも正確なゼロ交差の決定、従ってサンプル表面上の特定の位置の高さ位置がもたらされることが明らかである。周波数を重み付けするために使用される関数は、好ましくは、ハミングフィルタの関数によって形成される。ここでも、これは、最良の結果をもたらした。しかしながら、半正弦波に似た関数を有するフィルタのような、類似の特性を有する他のフィルタもまた、魅力的な結果をもたらす。

【0018】

上述の形態で使用したフーリエ変換の代わりとして、他の変換を使用することが可能である。従って、他の代替的な実施形態では、複素ウェーブレットを選択し、干渉パターンの強度信号に、高さの推定値近くの前記ウェーブレットを行い、かつこのウェーブレット
40
を行った信号から位相を計算することによって、コヒーレンス信号から位相信号を導き出すことを提案する。

【0019】

フーリエ変換またはウェーブレット変換のいずれかによって位相のゼロ交差が求められるプロセスは、重心の計算または他の類似のプロセスの概算よりもはるかに正確であるにも関わらず、ある程度の不正確さを有する。この不正確さは、位相信号が周期的である、すなわち、それ自体2 毎に繰り返すという事実に起因する。従って、位相信号は2 毎にゼロ交差を有する。高さの決定に使用されるゼロ交差を選択するために使用される重心が、例えば、光学エラーおよび不正確さに起因し得るような測定および走査プロセス中のエラーが原因で、実際値から逸脱する場合、「誤った」ゼロ交差の選択を除外することが
50

できない。

【0020】

この比較的大きなエラーを除外するための方法を提供するために、任意選択的な実施形態では、以下の：ゼロ交差を含む第1の高さマップを求めるステップと、2位相交差および-2位相交差を含む第2および第3の高さマップを求めるステップと、コヒーレンス法から計算される高さマップを選択するステップと、第1の高さマップの一部を第2の高さマップと組み合わせて、ジャンプが最小数であるプロファイルをもたらすステップと、第1の高さマップの一部を第3の高さマップと組み合わせて、ジャンプが最小数であるマップをもたらすステップと、コヒーレンス法から計算されたマップに最も近い、組み合わせたマップを選択するステップとを実行するように適合されたプロセスおよび装置を提案する。

10

【0021】

この方法は、位相が0、-2および2の間で「ジャンプ」し得るという事実に基づいている。この方法は、「誤った」位相に結びつくことを回避する。本明細書では、位相が「ジャンプ」するとき、0、-2および2の交差も2にわたって「ジャンプ」という事実を利用する。これは、2つの連続的なマップを構成する機会を提供する。それらのマップの一方は、0および-2交差の組み合わせであり、他方は0および2交差の組み合わせである。この改良形態はまた、位相から計算された3つの高さマップおよびコヒーレンス法から計算された1つの高さマップが利用できることを条件として、他の方法によって得られた測定結果にも適用できることに留意されたい。

20

【0022】

この方法は、選択が以下のステップによって行われるときにさらに改良できる：コヒーレンス高さマップを空間的にフィルタリングして雑音を低減するステップ、フィルタリングされたコヒーレンス高さマップとゼロ交差位相高さマップとの間の差を取るステップ、ゼロ交差高さマップと2または-2交差高さマップとの間の差を取るステップ、予め定められた値の範囲に対して高さマップのセットを求めるステップ。ここで、ゼロ交差高さマップからのデータの一部を、同じ位置にある2交差高さマップまたは-2交差高さマップからのデータによって置き換え、置き換えられるデータは、予め定められた値よりも差が大きい位置にあり、かつゼロ交差位相高さマップと2または-2交差高さマップとの間の平均差にわたってジャンプが最小数であるこのセットからの高さマップが選

30

【0023】

このアルゴリズムは、以前にコヒーレンス法から計算された高さマップに最も近いマップを選択する。ここで、コヒーレンス法は、フィルタリングされ逆フーリエ変換された信号の重心である。この方法を、他の方法によって得られた値の補正として実施できることに留意されたい。

【0024】

米国特許第6,775,006B号および米国特許第6,493,093B号の双方で、位相データから計算された高さマップに見つかったジャンプを補正する、異なる方法が提案されている。両方法とも、この実装例で使用された3つの位相プロファイルの代わりに、1つの位相プロファイルのみを使用する。

40

【0025】

本発明はまた、上述のステップを実施するためのデジタルによる指示を含むデータキャリアに関する。

【0026】

続いて、本発明を添付の図面を用いて説明する。

【図面の簡単な説明】

【0027】

【図1】白色光干渉計の主要部分の機能的説明図を示す。

【図2】干渉計の一部である画像デバイスの画素によって発生した干渉パターンの強度信

50

号の、走査距離に応じた図を示す。

【図3】依然としてラップされている、z軸の位置に応じた信号の位相の図を示す。

【図4】本発明による方法によって得られた高さマップを示す。

【図5】本発明によるステップのフロー図を示す。

【図6】ゼロ交差高さマップのデータの一部を2 交差高さマップのデータに置き換えることを示す説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0028】

図1に、表面の高さを測定するのに使用される白色光干渉計1を示す。干渉計1は広帯域光源2を有する。光源2からの光3が、レンズ4a、ビームスプリッタ4b、および一般に対物レンズである第2のレンズ4cを通過する。対物レンズ4cを通過した後、光3はビームスプリッタ5によって第1の部分的なビーム3aと第2の部分的なビーム3bとに分割される。第1の部分的な光ビーム3aを、干渉計1に対して固定されているサンプル(物体)7の表面6に向ける。第2の部分的な光ビーム3bを、参照面9を有する参照鏡8に向ける。部分的な光ビーム3a、3bはそれぞれ表面6、参照面9で反射した後、ビームスプリッタ5で一緒にされて、対物レンズ4c、ビームスプリッタ4b、およびレンズ系4dを通過して光検出器としての画像デバイス10に向かう。画像デバイス10はCCDアレイカメラである。干渉計1は、サンプル7を位置決めする手段11を有している。干渉計1は、サンプル7に対し対物レンズ4cの焦点面を走査する走査手段と、当該走査手段を制御して走査動作を実施し、かつ画像デバイス10からの信号を受信し処理する処理装置を有している。走査手段は、サンプル7側を移動させてもよいし、対物レンズ4cや参照面9を移動させてもよい。なお、本実施の形態においては、ビームスプリッタ4b、5により光学的手段が構成されている。

【0029】

上記干渉計1を用いて、サンプル表面6の高さマップを求めるには、サンプル表面6上の複数の各位置の高さを求める必要がある。サンプル表面6上の複数の各位置の高さは、先ず、白色光干渉法1を用いて、サンプル7に対し対物レンズ4cの焦点面を高さ方向(z方向)に走査して干渉パターンの強度信号を得て、その後、サンプル表面6上の各位置について強度信号の振幅が最大となる高さ方向の位置を推定して、当該高さ方向の位置をサンプル表面6上の各位置の高さとする必要がある。具体的には、参照鏡8およびサンプル7を、それらの表面6、参照面9がカメラ10に焦点が合うように配置する。これにより、カメラ10に干渉信号が発生する。次いで、一般に参照面9、ビームスプリッタ5、および対物レンズ4cを、サンプル7が対物レンズ4cの焦点面(および干渉面)が高さ方向(z軸方向)に移動するように走査して、カメラ10において、干渉信号を取得する。この走査を、名目上等しいステップサイズで行う。また、走査中に、走査された参照鏡8、ビームスプリッタ5および対物レンズ4cの、絶対的位置または相対的位置のいずれも取得する。この位置の取得は、カメラ10からの信号の取得と相関性があるので、各位置に対して対応する像がある。好ましくは、走査は連続運動として行われるので、開始および停止に関する機械力学的問題が回避されることに留意されたい。しかしながら、カメラ10は別々のステップで読み取られることが明白である。

【0030】

カメラ10の全画素がサンプル表面6および参照面9上の面内位置に対応する。走査により、各画素は、サンプル表面6上の各位置に対応する干渉パターンの強度信号を取得する。この強度信号は干渉パターンであり、コレログラムと呼ばれることもある。この干渉信号は一般に、包絡関数によって修正された正弦波信号の合計であると考えられている。そのようなサンプル表面6のある位置に対して取得された強度信号の例を図2に示す。

【0031】

この強度信号における特定の特徴は、参照面9とサンプル表面6との間の部分的な光ビーム3aと3bとの光路差を最小にすることを示すことである。サンプル表面6上の各位置に関して、光強度信号が最大となる高さ方向(z方向)の位置を決定することによって

10

20

30

40

50

、当該サンプル表面 6 上の各位置の高さが分かり、それらを合わせてサンプル表面 6 全体の高さマップが分かる。この高さマップはサンプル表面 6 および参照面 9 を組み合わせたものであるが、参照面 9 の平坦部からの逸脱はいずれも、通常、サンプル表面 6 の平坦部からの逸脱よりも遙かに小さいと考えられている。それゆえ、計算された高さマップは、サンプル表面 6 の平坦部からの逸脱の指標であると考えられている。

【 0 0 3 2 】

場合によっては、強度信号を、高さマップの計算に使用する前に前処理する必要がある。前処理は、データをさらに処理する前に、強度信号の外側で発生するデータを除去するステップ、およびデータからスロープ、ライン、または放物線を除去してエッジ効果を排除するステップのようなステップを含み得る。この実装例では、主強度信号の外側のデータを破棄し、かつ残りのデータからスロープを除去する。

10

【 0 0 3 3 】

実際の高さマップを求める処理は、以下のステップを含む。第 1 に、強度信号にフーリエ変換を適用する。この信号の周波数値が分からないので、代わりに周波数の指数のみが必要となる。フーリエドメインではフィルタが適用される。フィルタは、全ての負の周波数成分の位相（位相共役としても公知）および大きさ、ならびに非常に低い周波数成分、すなわち、最初の 1 つから 2 つの成分をゼロにする。強度信号はさらに、周波数成分の大きさに周波数の調和数を掛けることによってフィルタリングされる。これにより、強度信号のノイズが除去される。次いで、フィルタリングされた強度信号に逆フーリエ変換を適用する。得られる強度信号の絶対値が取られ、 n 乗する（ n は正値であり、好ましくは 1 ~ 2（双方の値を含める）、より好ましくは実質的に 1 . 8 である）。次に得られた強度信号の重心の位置を計算する。得られた強度信号の重心の位置は、サンプル表面 6 の高さとなる。重心の位置は信号 S の合計に位置 z を掛け、信号の合計で割ったものである。像の数 n にわたって和を取る。信号 S の重心 CM を求める式は、

20

【 数 1 】

$$CM = \frac{\sum_{i=1}^n S * z}{\sum_{i=1}^n S}$$

30

である。

【 0 0 3 4 】

以上のように重心からサンプル表面 6 の各位置の高さを求めることにより、サンプル表面 6 全体の高さマップが得られる。この高さマップは、サンプル 7 の表面 6 の高さの推定値として取られる。この方法は迅速であるが、正確ではない可能性がある。この重心から求められる高さマップは、粗い高さマップとなり、位相法ではなくコヒーレンス法により求められたものとなる。

40

【 0 0 3 5 】

より正確な方法のために、干渉パターンの強度信号の位相を使用する必要がある。本発明者らは 2 つの異なる方法を実施して強度信号の位相信号を計算した。

【 0 0 3 6 】

位相信号を計算するための第 1 の方法は、フーリエ変換を使用することである。第 1 に、上述の粗い決定のように、フーリエ変換を強度信号に適用する。フーリエドメインでは、フィルタを適用する。フィルタは、全ての非関連周波数成分（位相共役周波数を含む）の大きさおよび位相をゼロにする。信号はさらに、関連周波数成分にわたって窓関数を掛けて重み付けすることによってフィルタリングされる。この実施形態では、窓関数としてハミング窓が使用されるが、他の関数を使用することもできる。なお、フィルタ自体によ

50

って重み付けされてもよい。次いで、フィルタリングされた信号に逆フーリエ変換を適用する。この信号の位相を取る。これにより、ラップされた (wrapped) 位相信号が導出される。ここで、データは 2π を法とした (modulo) 位相である。そのようなラップされた位相信号を図 3 に示す。

【 0 0 3 7 】

位相信号を計算するための第 2 の方法は、ウェーブレット変換を使用することである。この実装例では、複素ウェーブレットの一つである Morlet ウェーブレットを使用するが、他の複素ウェーブレットを使用することも可能である。Morlet ウェーブレットを求める式は、

【 数 2 】

$$MW = \text{conj} \left(e^{-\left(\frac{k \cdot ss}{Lw}\right)^2} * e^{i \cdot 4 \cdot \pi \cdot \sigma_0 \cdot k \cdot ss} \right)$$

である。

【 0 0 3 8 】

ウェーブレットのパラメータは以下の通りである。 ss は、走査のステップサイズであり (データ収集に使用されるサンプリング間隔)、 Lw は、ウェーブレットの長さであり、ここでは $0.5 \cdot \lambda_0$ を選択し、 λ_0 はここでは $1 / \lambda_0$ である。平均光源有効波長は λ_0 であり、以前に取得したデータのフーリエ解析によって分かっており、光源、対物レンズの数値的な目標 (numerical objective)、およびサンプルに依存して各特定の測定構成によって変化する。 k は、ウェーブレットにおける点の数であり； $-N$ から N (ここでは N は 8 である) まで変化する整数である。この用語は、ウェーブレットの形成に使用される。最終ステップとして、複素共役が取られる。

【 0 0 3 9 】

ウェーブレットは、コンボリューションのような単一の強度信号に適用され、かつこの実装例では、以下のように適用される。ここでは長さが例えば 17 であるウェーブレットとする。同じ数の点による強度信号におけるサイズ数の点であるアレイが形成される。アレイの第 1 の行の始めの 17 の値はウェーブレットを含む。第 2 の行の第 2 ~ 第 18 の値はウェーブレットを含む。第 3 の行の第 3 ~ 第 19 の値はウェーブレットを含む。このプロセスは、ウェーブレットが強度信号の長さ全体をステップし終わるまで続く。次いで、このアレイ中の各行に強度信号を掛けて、新しいアレイを形成する。この新しいアレイの列に沿って合計が取られる。これは、この強度信号のためのウェーブレット係数のセットを形成する。これらのウェーブレット係数は複素である。ウェーブレット係数の角度は、サンプル表面面内の位置および位置の光の位相を示す。これは、ラップされた位相信号であり、データは 2π を法とした位相である。結果として、図 3 に示す種類の信号が得られる。

【 0 0 4 0 】

この方法では、ウェーブレット変換を強度信号における粗い高さ (重心) 付近の少数の位置にのみ適用する。これは時間を節約するために行われる。

【 0 0 4 1 】

次に、上記いずれかの方法によって計算された位相信号に基づいてより正確な高さマップが求められる。フィルタリングされ逆フーリエ変換された信号の重心を求めた方法における像数を使用して分かったように、サンプル表面の粗い高さの位置は最初の開始点として取られる。線形補間によって分かったこの粗い高さの位置に最も近い位相のゼロ交差の位置を、サンプル表面上のその位置の高さとして選択する。この位置はゼロ交差としても知られている。位相がゼロである位置も図 3 に示す。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 2 】

また、位相信号から + 2 交差と - 2 交差における位置も分かり、これらの位置を、サンプル表面上の高さとして選択できる。しかし、アンラッピング (unwrapping) は必要ではない。+ 2 交差および - 2 交差は、図 3 に示すように、隣接する位相線上の線形補間によって分かる。加えて、+ 2 交差および - 2 交差のいずれの整数倍も、次の位相線におけるゼロ交差を計算することによって分かる。

【 0 0 4 3 】

これらのゼロ交差、+ 2 交差、- 2 交差および別の交差も、粗い高さ位置周辺の位相信号をアンラッピングし、かつデータを補間するかまたはデータを関数に当てはめて位置を計算するかのいずれかによって見つけることができる。

10

【 0 0 4 4 】

この手順をサンプル表面上の全ての位置に対して行う場合、- 2 交差、ゼロ交差、および + 2 交差の位置に起因する 3 つの高さマップが求められる。これらの高さマップのプロファイル 1 1、1 2、1 3 と、粗い高さマップのプロファイル 1 4 を図 4 に示す。これらの 3 つの高さマップと粗い高さマップを用いて、最終的な高さマップを求める。これらの高さマップは、ラジアンまたは度の単位を有する位相マップではなく、距離単位 (ミリメートルなど) における実高さマップである。各高さマップのプロファイル 1 1、1 2、1 3 は、各高さマップをそれぞれ 2 つの部分に分割するステップまたはジャンプを有する。これらのステップまたはジャンプは、測定プロセスにおけるアーティファクトおよびエラーに起因する。さらに、3 つの高さマップのそれぞれのプロファイルは傾斜 (ramp) を有し、これは、サンプル表面の傾斜 (ramp) に起因している。従って、これらの傾斜はエラーではなく、実際の測定の結果である。

20

【 0 0 4 5 】

第 1 の高さマップは、ゼロ交差の位置に基づく高さマップである。この高さマップは、上述のようにコヒーレンスデータから分かった高さの推定値である粗い高さのデータを使用して求められている。しかし、実用上のシステムでは、コヒーレンスデータからの高さとの間に不整合が発生し得る。この不整合は、光学的歪み、色収差、および表面スロープなどのサンプルからの影響を含む様々な影響によるものである。

【 0 0 4 6 】

この不整合の影響は、有効半波長の位相高さマップにおけるジャンプである。例えば、平滑な平坦である必要のある表面が、(1 つの特定の測定構成のみに対して) ほぼ $\pm 300 \text{ nm}$ のステップを有する。これらのジャンプを補正するために、本発明者らは ± 2 交差の位置に基づく高さマップを使用する。

30

【 0 0 4 7 】

ゼロ交差の第 1 の高さマップにおけるジャンプを、標準的なアンラッピングアルゴリズムのようなものを使用して補正することができる。この方法には、困難なことがいくつかある。補正した高さマップの絶対値は決して分からない。標準的なアンラッピング手順は、固有のステップまたはジャンプ (位相 / コヒーレンス不整合によるものではない) または欠けた領域を有するサンプルを考慮に入れない。高さマップにおける欠けた領域は、光の変調のない非常に高いスロープに由来する。

40

【 0 0 4 8 】

そこで、これらのジャンプを補正するための、これらの問題のない本発明者らの実装例は以下の通りである。この補正手順に必要なものは、位相データからの - 2、0、および + 2 交差の高さマップ (それぞれ - 2 p H M、0 H M、+ 2 p H M) および (フーリエドメインにおけるフィルタリング後の信号の重心から分かった) 粗い高さマップである。

【 0 0 4 9 】

ここで与えられた実装例では、ジャンプが平均有効波長のほぼ 2 分の 1 にわたると仮定する。実際のデータが、2 つ以上のレベル (level) にわたるジャンプを有することも可能である (レベルは平均有効波長のほぼ 2 分の 1 である)。2 つ以上のレベルにわたるジャ

50

ンプを有するデータの補正の原理は、ここで示すものと同じである。補正は、当該補正が必要な各レベルに対して繰り返して行う必要がある。加えて、各ジャンプのレベルに対して、位相からの追加的な2つの高さマップが必要である。それゆえ、2つのジャンプのレベルを補正するために、 ± 4 のデータが必要であり、および3つのジャンプレベルを補正するために、 ± 6 のデータが必要である。

【0050】

ここでの実装例は、1つのジャンプレベル（平均有効波長の2分の1）の補正である。この開始位置では、本発明者らは、補正された2つの高さマップを作成し得る。これらは、第1の高さマップであるゼロ交差高さマップと第2の高さマップである $+2$ 交差高さマップの組み合わせ（ $0 / +2 \text{ pHM}$ ）、および第1の高さマップであるゼロ交差高さマップと第2の高さマップである -2 交差高さマップの組み合わせ（ $0 / -2 \text{ pHM}$ ）である。これらの補正された2つの高さマップを求めた後、適切な方の高さマップを選択する。

10

【0051】

図5は、補正された2つの高さマップを求め、その一方を選択する処理のフローを示す。当該2つの高さマップを求めるにあたり、2つの初期ステップを行う。第1のステップでは、粗い高さマップをフィルタリング手順によって平滑にして、データの雑音およびスパイクを除去し、CHMをもたらす。次いで、フィルタリングされた粗い高さマップCHMとゼロ交差高さマップ0HMとの間の高さマップの差（DHM）（第1の差）を計算する（ $\text{DHM} = \text{CHM} - 0\text{HM}$ ）。

20

【0052】

次に、0交差高さマップ0HMと $+2$ 交差高さマップとの組み合わせ（ $0 / +2 \text{ pHM}$ ）を作成する。この組み合わせの作成において、まず、第1に、0交差と $+2$ 交差との間の差の絶対値の平均（第2の差）を求める（ $\text{MD} = |\text{mean}(0\text{HM} - +2 \text{ pHM})|$ ）。このMDは、後述するように2分の1平均有効波長の概略値を与え、メリット関数を計算するためにも使用する。

【0053】

基準値としてのs値のベクトルが形成され、それは、 $-0.7 * \text{MD}$ から $+0.7 * \text{MD}$ までの範囲であり、例えば約20個の値を有する（等間隔）。これらのs値を使用して、s値毎に高さマップを求め、複数の高さマップの中から第1のセットを求める。具体的には、図6に示すように各高さマップの基準は0交差高さマップ（0HM）であり、s値を基準に、0交差高さマップ（0HM）の特定の領域のデータを、 $+2$ 交差高さマップの対応する特定領域のデータに置き換える。置き換えられる特定の領域は、高さマップの差（DHM）がs値よりも大きい領域とする。この置き換えが、各s値について行われ、第1のセットの複数の高さマップが求められる。

30

【0054】

次いで、第1のセットの各高さマップについてメリット値を求める。メリット値は、隣接する画素間の差の絶対値がMDの半分（所定の規定値）よりも大きい値を有する回数である。このように、第1のセットの各高さマップに対して、対応するメリット値とs値がある。そして、第1のセットの高さマップの中で、最小のメリット値となる高さマップが、0交差高さマップと $+2$ 交差高さマップとの組み合わせ（ $0 / +2 \text{ pHM}$ ）であると決定される。

40

【0055】

上記0交差高さマップと $+2$ 交差高さマップとの組み合わせ（ $0 / +2 \text{ pHM}$ ）の作成と同等の手順を行って、0交差高さマップと -2 交差高さマップの組み合わせ（ $0 / -2 \text{ pHM}$ ）を作成する。つまり、まず、0交差と -2 交差との間の差の絶対値の平均（第3の差）を求め（ $\text{MD} = |\text{mean}(0\text{HM} - -2 \text{ pHM})|$ ）、MDを基準としたs値と、DHMとを比較し、DHMがs値よりも大きい領域の0交差高さマップ（0HM）のデータを、 -2 交差高さマップの対応する領域のデータに置き換える。当該置き換えが複数のs値毎に行われて、第2のセットの複数の高さマップが求められる。その後

50

、第2のセットの各高さマップにおいて、隣接する領域間のデータ値の差が所定の規定値であるメリット値よりも大きくなる回数が求められ、第2のセットからその回数が最も小さい高さマップが選択される。

【0056】

こうして、データに最小数のジャンプを有する2つの高さマップが求められる。これらの2つの高さマップは、平均有効半波長のオフセットを有する。補正された2つの高さマップのうち、平滑にされた粗い高さマップの値により近いものが好ましい。よって、より粗い高さマップに近い高さマップを選択するため、 $0 / + 2 \text{ pHM}$ および $0 / - 2 \text{ pHM}$ からCHMを引き、その絶対値の平均(D1、D2)を求め、それらの値が小さい方を、最終的に補正された高さマップとする。

10

【0057】

最後に、上述のプロセスは、4つのステップ、すなわち粗い決定ステップ、フーリエ変換を使用する第1のゼロ交差ステップ、第1のゼロ交差ステップの代替であるウェーブレット変換を使用する第2のゼロ交差ステップおよび最終的な補正ステップを含むことを述べる。粗い決定、ゼロ交差ステップの一方および最終的な補正ステップの組み合わせを実行するときに最良の結果を達成するが、各ステップは全て単独で、しばしば本発明の一部を形成しない他のステップと組み合わせて実行してもよいことに留意されたい。粗い決定ステップをゼロ交差ステップの一方と組み合わせる、またはゼロ交差ステップの一方と最終ステップと組み合わせることも可能である。

【符号の説明】

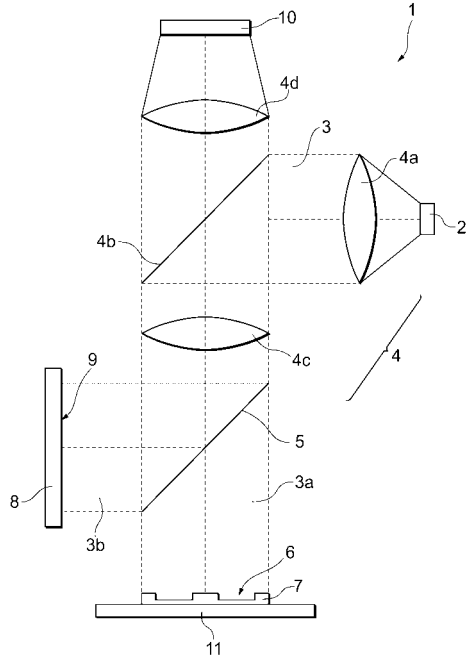
20

【0058】

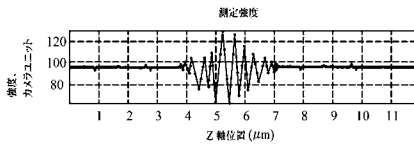
- 1 白色光干渉計
- 2 広帯域光源
- 3 光
- 3 a 第1の部分的な光ビーム
- 3 b 第2の部分的な光ビーム
- 4 a レンズ
- 4 b ビームスプリッタ
- 4 c 第2のレンズ
- 4 d レンズ系
- 5 ビームスプリッタ
- 6 サンプルの表面
- 7 サンプル
- 8 参照鏡
- 9 参照面
- 10 画像デバイス

30

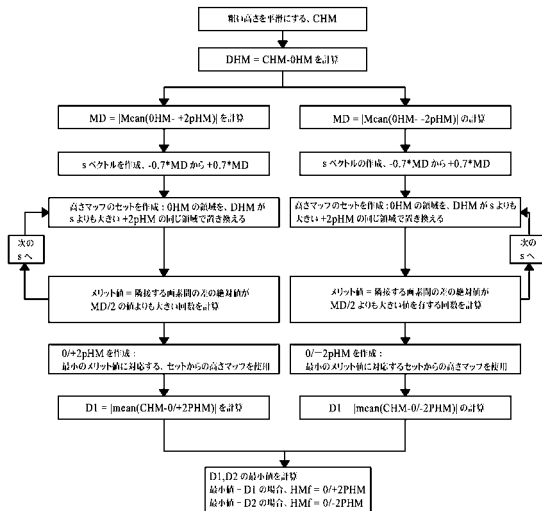
【図1】



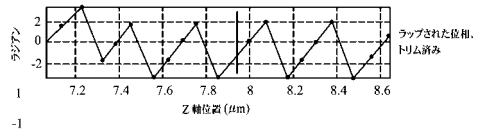
【図2】



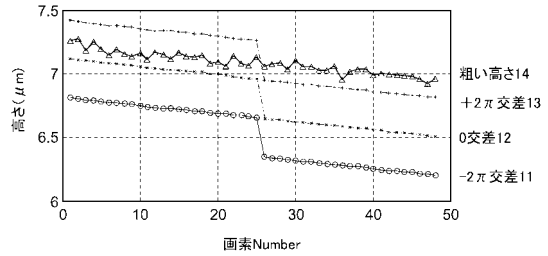
【図5】



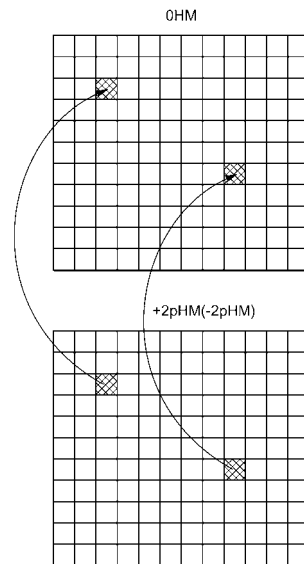
【図3】



【図4】



【図6】



フロントページの続き

- (72)発明者 メデクス キャサリン マリー
オランダ国, ベスト ピージェー - 5 6 8 4 デ リジン 1 8 , ミットヨリサーチセンター ヨー
ロッパ ビー . ブイ .
(72)発明者 ヤクセン マーティン ヨセフ
オランダ国, カスターレン ビービー - 5 5 2 9

審査官 櫻井 仁

- (56)参考文献 国際公開第 2 0 0 6 / 0 6 8 2 1 7 (W O , A 1)
特開 2 0 0 7 - 0 3 3 2 1 6 (J P , A)
特表平 0 7 - 5 0 8 3 4 5 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 1 2 1 8 2 8 (J P , A)
特開 2 0 0 9 - 0 4 7 5 2 7 (J P , A)
特表平 0 8 - 5 0 2 8 2 9 (J P , A)
特開 2 0 0 5 - 2 8 3 1 5 5 (J P , A)
特開 2 0 0 7 - 1 4 7 5 0 5 (J P , A)
特表 2 0 0 9 - 5 0 9 1 4 9 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

G 0 1 B 9 / 0 2
G 0 1 B 1 1 / 0 0 ~ 1 1 / 3 0