

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4921775号
(P4921775)

(45) 発行日 平成24年4月25日(2012.4.25)

(24) 登録日 平成24年2月10日(2012.2.10)

(51) Int. Cl. F I
G O 1 B 11/16 (2006.01) G O 1 B 11/16 G
G O 3 H 1/00 (2006.01) G O 3 H 1/00
G 1 1 B 7/0065 (2006.01) G 1 1 B 7/0065

請求項の数 4 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2005-328166 (P2005-328166)	(73) 特許権者	000004352
(22) 出願日	平成17年11月11日(2005.11.11)		日本放送協会
(65) 公開番号	特開2007-132872 (P2007-132872A)		東京都渋谷区神南2丁目2番1号
(43) 公開日	平成19年5月31日(2007.5.31)	(74) 代理人	100064414
審査請求日	平成20年6月6日(2008.6.6)		弁理士 磯野 道造
特許権者において、実施許諾の用意がある。		(74) 代理人	100111545
			弁理士 多田 悦夫
		(72) 発明者	石井 紀彦
			東京都世田谷区砧一丁目10番11号
			日本放送協会放送技
			術研究所内
		(72) 発明者	木下 延博
			東京都世田谷区砧一丁目10番11号
			日本放送協会放送技
			術研究所内
			最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 記録媒体変形測定装置、変形量解析装置及び記録媒体変形測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

ホログラフィックメモリ記録媒体の光重合による変形を測定する記録媒体変形測定装置であって、

前記ホログラフィックメモリ記録媒体に物体光を照射する物体光照射手段と、前記ホログラフィックメモリ記録媒体に参照光を照射する参照光照射手段と、受光素子が2次元状に配列された2次元光センサと、を備え、

前記2次元光センサは、前記受光素子が、物体光及び参照光が照射されて干渉縞が記録された前記ホログラフィックメモリ記録媒体に更に照射された参照光が前記干渉縞で回折されて生成した再生光と、前記ホログラフィックメモリ記録媒体に更に照射された物体光と、を同時に検出することにより、前記物体光及び前記再生光の画像を撮像して、前記画像を示す画像データを取得し、

前記ホログラフィックメモリ記録媒体に記録された干渉縞の変形による前記撮像された画像における前記再生光の前記物体光に対する位置の差から、前記ホログラフィックメモリ記録媒体の変形を測定することを特徴とする記録媒体変形測定装置。

【請求項2】

請求項1に記載の記録媒体変形測定装置から再生光及び物体光の画像データを入力されて、当該画像データによって示される画像に基づいてホログラフィックメモリ記録媒体の光重合による変形量を解析する変形量解析装置であって、

前記画像における前記再生光と前記物体光との位置の差、または前記位置の差によって

生じた干渉縞の縞間隔と縞回転角とから、前記ホログラフィックメモリ記録媒体からの前記再生光の出射角度と前記物体光の出射角度との差を解析する角度変位解析手段と、

前記解析された出射角度の差を用いて、前記ホログラフィックメモリ記録媒体の厚さ方向の変形量、あるいは更に面方向の変形量を算出する変形量算出手段と、を備えることを特徴とする変形量解析装置。

【請求項 3】

請求項 1 に記載の記録媒体変形測定装置から再生光及び物体光の画像データを入力されて、当該画像データによって示される画像に基づいてホログラフィックメモリ記録媒体の光重合による変形量を解析する変形量解析装置であって、

前記画像における前記再生光と前記物体光との位置の差、または前記位置の差によって生じた干渉縞から、前記再生光と前記物体光との位相のずれを解析し、前記位相のずれの前記画像における分布を示す画像データを、前記ホログラフィックメモリ記録媒体の変形の分布を示すデータとして生成する位相解析手段を備えることを特徴とする変形量解析装置。

10

【請求項 4】

ホログラフィックメモリ記録媒体の光重合による変形を測定する記録媒体変形測定方法であって、

前記ホログラフィックメモリ記録媒体に物体光及び参照光を照射して干渉縞を記録する干渉縞記録ステップと、

前記干渉縞記録ステップにおいて前記ホログラフィックメモリ記録媒体に照射された物体光及び参照光と同じ物体光及び参照光を、当該ホログラフィックメモリ記録媒体に照射して、前記参照光を前記干渉縞記録ステップにおいて記録された干渉縞で回折させて再生光を生成させる光照射ステップと、

20

前記光照射ステップにおいて生成した再生光と、前記光照射ステップにおいて照射された物体光と、を同時に受光素子に検出されることにより、前記受光素子が 2 次元状に配列された 2 次元光センサで前記物体光及び前記再生光の画像が撮像される光検出ステップと、を含み、

前記ホログラフィックメモリ記録媒体に記録された干渉縞の変形による前記撮像された画像における前記再生光の前記物体光に対する位置の差から、前記ホログラフィックメモリ記録媒体の変形を測定することを特徴とする記録媒体変形測定方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ホログラフィックメモリ記録媒体（以下、単に記録媒体という）の光重合による体積収縮（変形）を測定して解析する記録媒体変形測定装置、変形量解析装置及び記録媒体変形測定方法に関する。

【背景技術】

【0002】

ホログラム記録の際には、参照光と物体光との 2 つの光が照射される。デジタルホログラムでは、物体光として 2 次元データを液晶やその他の空間光変調素子で駆動して変調データとする。この変調データを集光レンズで集光し、フーリエ変換する。そして、この物体光と参照光との干渉縞を記録媒体に記録する。

40

【0003】

この記録媒体を形成する物質として、フォトポリマが有望視されている。フォトポリマは、光の強度により重合（光重合）を起こし、屈折率分布を形成する。この屈折率分布が回折格子となって変調データが記録される。再生時には参照光がこの回折格子に入射し、回折されて再生光が生成される。この再生光の再生画像により 2 次元データが読み出される。

【0004】

この記録媒体の実用化における問題点は、フォトポリマの重合時の体積収縮である。体

50

積収縮を起こすと干渉縞の間隔が変化するため、再生画像の再生位置も変化する。記録媒体の開発においてこの体積収縮をいかに小さくするかが課題となっている。そして、記録媒体の開発の際には体積収縮が測定され、この測定方法は開示されている（特許文献1参照）。

【0005】

ここで、図9及び図10を参照して、従来の記録媒体Dの体積収縮の測定方法について説明する。図9は、従来の記録媒体の体積収縮の測定方法を説明するための説明図、(a)は、干渉縞の記録時の様子を模式的に示す模式図、(b)は、体積収縮の測定時の様子を模式的に示す模式図である。図10は、体積収縮前後の記録媒体と干渉縞とを模式的に示す模式図である。

10

【0006】

図9(a)に示すように、まず、記録媒体Dに、所定の角度で単純平面波の物体光と参照光とを、図示しない集光レンズ等を経由して照射し、干渉縞を記録する。ここで、図10に示すように、厚さが $d(1 + \sigma)$ の記録媒体Dが体積収縮して厚さが d になったとする。なお、図10では、体積収縮前の記録媒体D及び干渉縞を点線で、体積収縮後を実線で示した。すると、点線で示した体積収縮前に比べて体積収縮後には干渉縞の傾きが変化する。

【0007】

そして、記録後に残った感光剤を消去するため、インコヒーレントな光（図示せず）で感光する。その後、図9(b)に示すように、記録媒体Dに参照光を照射する。このとき、図10に示すように、記録時とは記録媒体Dに記録された干渉縞の傾きが変化しており、この記録媒体Dの傾きを変化させてパワーメータPでスキャンすることで、体積収縮の前後の物体光と再生光との角度の差（角度変位）を求める。

20

【0008】

この角度変位を複数の点について測定し、以下の式(1)～(3)を用いて、記録媒体Dの厚み変化を算出することができる（非特許文献1参照）。

【0009】

【数1】

$$\phi_1 = \frac{\pi}{2} - \arctan \left[\frac{\tan \left(\frac{\pi}{2} - \phi_0 \right)}{1 + \sigma} \right] \quad \dots (1)$$

30

$$\Lambda_1 = \Lambda_0 \cdot \frac{\sin \phi_1}{\sin \phi_0} \quad \dots (2)$$

$$\Delta \theta_{\text{Bragg}} = \arcsin \left\{ n_1 \cdot \sin \left[\phi_1 - \frac{\pi}{2} + \arcsin \left(\frac{\lambda}{2\Lambda_1 n_1} \right) \right] \right\} - \arcsin \left\{ n_0 \cdot \sin \left[\phi_0 - \frac{\pi}{2} + \arcsin \left(\frac{\lambda}{2\Lambda_0 n_0} \right) \right] \right\}$$

… (3)

40

ϕ_0 : 記録媒体法線と物体光及び参照光のビーム中心線とのなす角（記録時）

ϕ_1 : 記録媒体法線と再生光及び参照光のビーム中心線とのなす角（再生時）

σ : 記録媒体の厚み変化

n_0 : 記録媒体の屈折率（記録時）

n_1 : 記録媒体の屈折率（再生時）

Λ_0 : 干渉縞間隔（記録時）

Λ_1 : 干渉縞間隔（再生時）

λ : 波長

$\Delta \theta_{\text{Bragg}}$: 記録時と再生時の角度変位

【特許文献1】特開2002-32001号公報（段落番号0032～0036）

50

【非特許文献1】L. Dhar, et al, "Temperature-induced changes in photopolymer volume holograms", Applied Physics Letters, September 7, 1998, Volume 73, Issue 10, pp.1337-1339

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

しかしながら、特許文献1に記載の方法では、角度変位を検出するために記録媒体の角度を変えてスキャンしなくてはならず、測定の分解能が記録媒体を回転させる回転ステージの回転角の分解能で決まってしまう。そのため、この方法では微小の厚み変化（厚さ方向の体積収縮）は検出できないという問題があった。また、記録媒体の面方向の体積収縮や、記録媒体内の微小部分の歪みは検出できず、これらの体積収縮の変化量を測定する方法が確立されていないという問題があった。

10

【0011】

本発明は、前記従来技術の問題を解決するために成されたもので、記録媒体の重合による体積収縮を高い分解能で測定・解析できるとともに、記録媒体の面方向の収縮や、記録媒体内の微小領域の歪みも高い分解能で測定・解析できる記録媒体変形測定装置、変形量解析装置及び記録媒体変形測定方法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】

【0012】

前記課題を解決するため、請求項1に記載の記録媒体変形測定装置は、ホログラフィックメモリ記録媒体の光重合による変形を測定する記録媒体変形測定装置であって、前記ホログラフィックメモリ記録媒体に物体光を照射する物体光照射手段と、前記ホログラフィックメモリ記録媒体に参照光を照射する参照光照射手段と、受光素子が2次元状に配列された2次元光センサと、を備え、前記2次元光センサは、前記受光素子が、物体光及び参照光が照射されて干渉縞が記録された前記ホログラフィックメモリ記録媒体に更に照射された参照光が前記干渉縞で回折されて生成した再生光と、前記ホログラフィックメモリ記録媒体に更に照射された物体光と、を同時に検出することにより、前記物体光及び前記再生光の画像を撮像して、前記画像を示す画像データを取得する構成とした。

20

【0013】

かかる構成によれば、記録媒体変形測定装置は、再生光と物体光とを同時に1つの2次元センサで撮像する。そして、ホログラフィックメモリ記録媒体に変形が生じている場合には、記録された干渉縞も変形し、この変形の大きさや向きに応じて再生光と物体光とにずれが生じる。これによって、記録媒体変形測定装置は、ホログラフィックメモリ記録媒体の変形の向きと変形量とを示す、再生光と物体光との画像データを取得することができる。

30

【0014】

また、請求項2に記載の変形量解析装置は、請求項1に記載の記録媒体変形測定装置から再生光及び物体光の画像データを入力されて、当該画像データによって示される画像に基づいてホログラフィックメモリ記録媒体の光重合による変形量を解析する変形量解析装置であって、前記画像における前記再生光と前記物体光との位置の差、または前記位置の差によって生じた干渉縞の縞間隔と縞回転角とから、前記ホログラフィックメモリ記録媒体からの前記再生光の出射角度と前記物体光の出射角度との差を解析する角度変位解析手段と、前記解析された出射角度の差を用いて、前記ホログラフィックメモリ記録媒体の厚さ方向の変形量、あるいは更に面方向の変形量を算出する変形量算出手段と、を備える構成とした。

40

【0015】

かかる構成によれば、変形量解析装置は、ホログラフィックメモリ記録媒体に記録された干渉縞の変形の大きさや向きに応じて生じている再生光と物体光との画像データから、このずれの向きや大きさに基づいて、ホログラフィックメモリ記録媒体の変形の向きと変形量とを解析することができる。

50

【 0 0 1 6 】

また、請求項 3 に記載の変形量解析装置は、請求項 1 に記載の記録媒体変形測定装置から再生光及び物体光の画像データを入力されて、当該画像データによって示される画像に基づいてホログラフィックメモリ記録媒体の光重合による変形量を解析する変形量解析装置であって、前記画像における前記再生光と前記物体光との位置の差、または前記位置の差によって生じた干渉縞から、前記再生光と前記物体光との位相のずれを解析し、前記位相のずれの前記画像における分布を示す画像データを、前記ホログラフィックメモリ記録媒体の変形の分布を示すデータとして生成する位相解析手段を備える構成とした。

【 0 0 1 7 】

かかる構成によれば、変形量解析装置は、ホログラフィックメモリ記録媒体に記録された干渉縞の変形の大きさや向きに応じたずれの生じている再生光と物体光との画像データから、この 2 つの光の位相のずれの分布を解析することができる。

10

【 0 0 1 8 】

また、請求項 4 に記載の記録媒体変形測定方法は、ホログラフィックメモリ記録媒体の光重合による変形を測定する記録媒体変形測定方法であって、前記ホログラフィックメモリ記録媒体に物体光及び参照光を照射して干渉縞を記録する干渉縞記録ステップと、この干渉縞記録ステップにおいて前記ホログラフィックメモリ記録媒体に照射された物体光及び参照光と同じ物体光及び参照光を、当該ホログラフィックメモリ記録媒体に照射して、前記参照光を前記干渉縞記録ステップにおいて記録された干渉縞で回折させて再生光を生成させる光照射ステップと、この光照射ステップにおいて生成した再生光と、前記光照射ステップにおいて照射された物体光と、を同時に受光素子に検出されることにより、前記受光素子が 2 次元状に配列された 2 次元光センサで前記物体光及び前記再生光の画像が撮像される光検出ステップと、を含むことを特徴とする。

20

【 0 0 1 9 】

この方法によれば、再生光と物体光とを同時に 1 つの 2 次元センサで撮像する。そして、ホログラフィックメモリ記録媒体に変形が生じている場合には、記録された干渉縞も変形し、この変形の大きさや向きに応じて再生光と物体光とにずれが生じる。これによって、ホログラフィックメモリ記録媒体の変形の向きと変形量とを示す、再生光と物体光との画像データを取得することができる。

【 発明の効果 】

30

【 0 0 2 0 】

本発明に係る記録媒体変形測定装置、変形量解析装置及び記録媒体変形測定方法では、以下のような優れた効果を奏する。請求項 1 及び請求項 4 に記載の発明によれば、従来の記録媒体を回転させる方法のように、記録媒体を回転させる回転ステージの回転角の分解能に測定の分解能が依存することなく、高い分解能で、記録媒体の厚さ方向及び面方向の変形や局所的な変形を示す画像データを取得することができる。

【 0 0 2 1 】

請求項 2 に記載の発明によれば、従来の記録媒体を回転させる方法のように、記録媒体を回転させる回転ステージの回転角の分解能に測定の分解能が依存することなく、高い分解能で、記録媒体の変形の向きや変形量を解析することができる。

40

【 0 0 2 2 】

請求項 3 に記載の発明によれば、記録媒体の変形の分布を示す位相のずれの分布を解析することができる。そのため、記録媒体の干渉縞が記録された箇所において局所的な歪みを解析することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 3 】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。まず、図 1 を参照して、本発明の実施の形態である記録媒体収縮測定装置 1 の構成について説明する。図 1 は、本発明の実施の形態である記録媒体収縮測定装置及び収縮解析装置の構成を模式的に示した模式図、(a) は、干渉縞の記録時の様子を模式的に示す模式図、(b) は、再生光の再

50

生時の様子を模式的に示す模式図である。

【 0 0 2 4 】

[記録媒体収縮測定装置の構成]

記録媒体収縮測定装置（記録媒体変形測定装置）1は、記録媒体Dに物体光と再生光とを照射して、記録媒体Dの重合による体積収縮を測定するものである。ここでは、透過型ホログラムの場合について説明する。更に、ここでは、レーザ光源（図示せず）から射出したコヒーレントなレーザビームをビームスプリッタ（図示せず）等によって2つのビームに分岐して、それぞれ物体光及び参照光とした。記録媒体収縮測定装置1は、レンズ11、12、13と、CCD14とを備える。

【 0 0 2 5 】

なお、ここでは、レーザ光源としては、DPSS（半導体励起固体；Diode Pumped Solid State）レーザや青紫色レーザ光源等の様々なものを用いることができる。また、ここでは、記録媒体収縮測定装置1は、変調されておらずデジタルデータを含まないビームを物体光として用い、参照光にも変調されていないビームを用いることとしたが、記録媒体収縮測定装置1が空間光変調素子を備え、変調されたビームを物体光あるいは参照光として用いることとしてもよい。ここで、本発明の記録媒体収縮測定装置1において、物体光と参照光との違いはデジタルデータを含むか否かではなく、干渉縞の記録後に記録媒体Dに照射されて記録媒体Dを透過あるいは反射した後にCCD14（2次元光センサ）に入射する光を物体光とし、干渉縞の記録後に照射されて記録媒体Dの干渉縞によって回折してCCD14に入射する再生光を生成する光を参照光とする。つまり、例えば、図1（b）において、物体光の延長上ではなく参照光の延長上にCCD（図示せず）を配置して、記録媒体Dを透過した参照光と、記録媒体Dに物体光が照射されて生成された再生光（図示せず）とをCCDが撮像することとし、図1の物体光及び参照光をそれぞれ参照光及び物体光とみなしてもよい。

【 0 0 2 6 】

また、ここで測定に供する記録媒体Dには、予めデジタルデータの記録されたものではなく、デジタルデータの記録されていないものを用いることとした。

【 0 0 2 7 】

レンズ11は、物体光を集光して、記録媒体Dに照射するものである。また、レンズ12は、参照光を集光して、記録媒体Dに照射するものである。更に、レンズ13は、干渉縞が記録された記録媒体Dに参照光が照射されることで生成された再生光と、記録媒体Dを透過した物体光とを平行光にするものである。このレンズ13を透過した光は、CCD14に入射する。このレンズ11、12、13は、例えば、凸レンズやフーリエ変換レンズ等から構成される。

【 0 0 2 8 】

なお、特許請求の範囲に記載の物体光照射手段は、ここでは、レーザ光源（図示せず）、ビームスプリッタ（図示せず）及びレンズ11に相当し、参照光照射手段は、レーザ光源（図示せず）、ビームスプリッタ（図示せず）及びレンズ12に相当する。更に、例えば、記録媒体収縮測定装置1の外部にレーザ光源やビームスプリッタを備える場合には、物体光照射手段は、レンズ11に相当し、参照光照射手段は、レンズ12に相当する。

【 0 0 2 9 】

CCD（2次元センサ）14は、干渉縞が記録された記録媒体Dに参照光が照射されることで生成した再生光と、記録媒体Dを透過した物体光とを撮像するものである。ここで、記録媒体Dが干渉縞の記録時に体積収縮していない場合には、物体光と再生光とは完全に一致して物体光と再生光との干渉縞は生じず、CCD14に干渉縞は撮像されない。一方、記録媒体Dが体積収縮している場合には、物体光と再生光とにずれが生じるとともに、その体積収縮に応じた干渉縞が生じてCCD14に撮像される。このCCD14には、複数の受光素子が互いに隣接して平面状（2次元状）に配列されている。物体光及び再生光がCCD14で撮像されて取得された画像データは、外部に接続された収縮解析装置2に入力される。

10

20

30

40

50

【 0 0 3 0 】

以上によって、記録媒体収縮測定装置 1 は、記録媒体 D の重合による体積収縮を示す画像データを取得することができる。ここで取得された画像データによって示される再生光と物体光とのずれは、厚さ方向の体積収縮の大きさを示す。また、画像データによって示される干渉縞は、厚さ方向の体積収縮の大きさだけでなく、面方向の体積収縮の大きさや、部分ごとに体積収縮が異なることで生じる局所的な歪みをも示すものとなる。

【 0 0 3 1 】

[記録媒体収縮測定装置の動作]

次に、記録媒体収縮測定装置 1 の動作について説明する。まず、レーザ光源（図示せず）から出射したコヒーレントなレーザビームをビームスプリッタ（図示せず）等によって 2 つのビーム（物体光及び参照光）に分岐する。

10

【 0 0 3 2 】

(干渉縞記録ステップ)

そして、物体光をレンズ 1 1 によって集光して、記録媒体 D に照射するとともに、参照光をレンズ 1 2 によって集光して、記録媒体 D に照射する。このとき、記録媒体 D において物体光と参照光とが交差するように、物体光と参照光とを照射する。そうすると、記録媒体 D に物体光と参照光との干渉縞が記録される。

【 0 0 3 3 】

次いで、記録後に記録媒体 D に残った感光剤を消去するため、インコヒーレントな光（図示せず）を照射する。

20

【 0 0 3 4 】

(光照射ステップ)

その後、物体光をレンズ 1 1 によって集光して、記録媒体 D に照射するとともに、参照光をレンズ 1 2 によって集光して、記録媒体 D に照射する。そうすると、物体光の一部は記録媒体 D を透過し、また、参照光の一部は記録媒体 D に記録された干渉縞によって回折されて、再生光となって記録媒体 D から出射する。

【 0 0 3 5 】

(光検出ステップ)

そして、CCD 1 4 によって、物体光と再生光とを同時に撮像する。ここで撮像される物体光と再生光とのずれは記録媒体 D の体積収縮に応じて生じるため、この物体光と再生光との干渉縞は、記録媒体 D の体積収縮の大きさや収縮方向等を示す。なお、ここでは、記録媒体 D が透過型ホログラムである場合について説明したが、本発明の記録媒体収縮測定装置は、反射型ホログラムに対して適用してもよく、この場合は、記録媒体 D で反射した物体光（図示せず）と再生光（図示せず）との光路上に CCD（図示せず）が設置される。

30

【 0 0 3 6 】

[収縮解析装置の構成（第 1 の実施の形態）]

次に、図 2 及び図 3 を参照（適宜図 1 参照）して、本発明の第 1 の実施の形態である収縮解析装置 2 の構成について説明する。図 2 は、本発明の第 1 の実施の形態である収縮解析装置の構成を示したブロック図である。図 3 は、媒体収縮が大きい場合の画像データの例と、物体光と再生光の配置とを模式的に示す模式図、（ a ）は、媒体収縮が大きい場合の画像データの例を模式的に示す模式図、（ b ）は、（ a ）に示す図において物体光と再生光の配置とを模式的に示す模式図である。

40

【 0 0 3 7 】

収縮解析装置（変形量解析装置）2 は、記録媒体収縮測定装置 1 から入力された画像データに基づいて、記録媒体 D の体積収縮を解析するものである。ここでは、収縮解析装置 2 は、記録媒体 D の体積収縮が、画像データによって示される再生光と物体光とのずれの大きさを検出できる程度に大きい場合に、このずれの方向と大きさに基づいて、記録媒体 D の厚み変化を算出することとした。収縮解析装置 2 は、角度変位解析部 2 1 と、収縮算出部 2 2 とを備える。

50

【 0 0 3 8 】

角度変位解析部（角度変位解析手段）21は、入力された画像データから、記録媒体Dからの物体光の出射角度と再生光の出射角度との差（角度変位）を算出するものである。以下、角度変位解析部21が角度変位を算出する方法について説明する。

【 0 0 3 9 】

図3(a)に示すように、物体光と再生光とがずれて撮像された画像データが角度変位解析部21に入力されたとする。そうすると、角度変位解析部21は、物体光の位置に対して再生光の位置が、どの方向にどれだけずれたかを検出する。つまり、図3(b)において、物体光と再生光との位置のずれdを検出する。そして、角度変位解析部21は、検出されたずれdに基づいて、物体光と再生光との記録媒体Dからの出射角度の差（角度変位）を求める。ここで算出された角度変位は、収縮算出部22に出力される。

10

【 0 0 4 0 】

収縮算出部（変形量算出手段）22は、角度変位解析部21から入力された角度変位に基づいて、記録媒体Dの厚み変化を算出するものである。この収縮算出部22は、前記の式(1)～(3)を用い、前記角度変位を式(3)の λ_{Bragg} に代入して、記録媒体Dの厚み変化を算出することができる。ここで解析された厚み変化の情報は外部に出力される。

【 0 0 4 1 】

以上のようにして、収縮解析装置2は、従来の記録媒体Dを回転させる方法のように、記録媒体Dを回転させる回転ステージの回転角の分解能に測定の分解能が依存することなく、高い分解能で記録媒体Dの厚み変化を算出することができる。

20

【 0 0 4 2 】

[収縮解析装置の構成（第2の実施の形態）]

次に、図4から図6を参照（適宜図1参照）して、本発明の第2の実施の形態である収縮解析装置2Aの構成について説明する。図4は、本発明の第2の実施の形態である収縮解析装置の構成を示したブロック図である。図5は、媒体収縮が小さい場合の画像データの例と、物体光と再生光の配置とを模式的に示す模式図、(a)は、媒体収縮が小さい場合の画像データの例を模式的に示す模式図、(b)は、(a)に示す図において物体光と再生光の配置とを模式的に示す模式図である。図6は、媒体収縮による記録媒体に記録された干渉縞の変化を説明するための説明図、(a)は、記録された干渉縞を模式的に示す模式図、(b)は、厚み方向に体積収縮した場合の干渉縞を模式的に示す模式図、(c)は、厚み方向と面方向に体積収縮した場合の干渉縞を模式的に示す模式図である。

30

【 0 0 4 3 】

収縮解析装置（変形量解析装置）2Aは、記録媒体収縮測定装置1から入力された画像データに基づいて、記録媒体Dの体積収縮を解析するものである。ここでは、前記画像データに、物体光と再生光とのずれを示す、この2つの光の干渉縞が示される。収縮解析装置2Aは、この干渉縞の間隔と向きとに基づいて、記録媒体Dの厚み変化を算出することとした。収縮解析装置2Aは、角度変位解析部21Aと、収縮算出部22Aとを備える。

【 0 0 4 4 】

角度変位解析部（角度変位解析手段）21Aは、入力された画像データによって示される干渉縞から、角度変位を算出するものである。以下、角度変位解析部21Aが角度変位を算出する方法について説明する。なお、ここでは、体積収縮が小さく、再生光と物体光との位置がほぼ一致する場合を例に説明するが、図3に示す第1の実施の形態にて解析した画像のように、記録媒体Dの体積収縮が大きく、再生光と物体光とが大きくずれる場合にも適用することができる。

40

【 0 0 4 5 】

図5(a)に示すように、物体光と再生光とがほぼ重なって撮像された画像データが角度変位解析部21Aに入力されたとする。このとき、図5(b)に示すように、物体光と再生光との位置はほぼ一致し、画像データにおいて図5(a)に示すように干渉縞Fが撮像されている。

50

【0046】

ここで、ホログラム面上での物体光と参照光の複素振幅をそれぞれ $A_o \exp(i \dots)$ 、 $A_r \exp(i \dots)$ とすると、両者の干渉強度 I は以下の式(4)で表される。

$$I = |A_o \exp(i \dots) + A_r \exp(i \dots)|^2$$

$$= A_o^2 + A_r^2 + A_o A_r \exp[i(\dots - \dots)] + A_o A_r \exp[-i(\dots - \dots)] \dots (4)$$

【0047】

そして、記録媒体Dへの干渉縞の記録後に感光剤の消去をした後の振幅透過率 T は、 T_0 を定数とすると、以下の式(5)で表される。

$$T = T_0 - I \dots (5)$$

10

【0048】

そして、再生光の複素振幅 U_R は、以下の式(6)で表される。

$$U_R = T A_r \exp(i \dots)$$

$$= [T_0 - (A_o^2 - A_r^2)] A_r \exp(i \dots) - A_r^2 A_o \exp(i \dots) - A_r^2 A_o \exp[i(2 \dots - \dots)] \dots (6)$$

【0049】

式(6)の右辺の第2項は、物体光と同じ形をしているので、ホログラムから先では物体光とまったく同じように空間を伝搬する。その他の項は、ホログラムで曲げられず直進する波と、本来の再生光に対して波面が反転した波を示している。つまり、理想的には再生光は物体光と絶対強度が異なる同じ形の波となる。そのため、理想的な再生光と物体光では干渉が起こらず、干渉縞 F は観測されない。

20

【0050】

しかし、記録媒体Dが収縮して再生光が変化すると、図5(a)に示すように干渉縞 F が生じる。そして、干渉縞間隔を Λ_n 、縞回転角を $\Delta \theta_{Braggh}$ 、再生光の水平方向への角度変位を $\Delta \theta_{Braggv}$ 、再生光の垂直方向への角度変位を $\Delta \theta_{Braggv}$ とすると以下の式(7)、(8)、(9)が成り立つ。

【0051】

【数2】

$$\Lambda_n = \frac{\lambda}{2n_1 \sin\left(\frac{\Delta \theta_{Braggh}}{2}\right)} \dots (7)$$

30

つまり、

$$\Delta \theta_{Braggh} = 2 \arcsin\left(\frac{\lambda}{2\Lambda_n n_1}\right) \dots (8)$$

$$\Delta \theta_{Braggv} = \alpha \dots (9)$$

【0052】

そのため、角度変位解析部21Aは、記録媒体収縮測定装置1によって撮影された干渉縞 F の画像データに基づいて、干渉縞 F の干渉縞間隔 Λ_n と縞回転角 $\Delta \theta_{Braggh}$ を解析し、式(7)、(8)、(9)に代入することで、角度変位 $\Delta \theta_{Braggh}$ 、 $\Delta \theta_{Braggv}$ を算出することができる。なお、図9に示すような従来の測定方法によって算出される角度変位 $\Delta \theta_{Braggv}$ は、水平方向への角度変位 $\Delta \theta_{Braggh}$ に相当する。

40

【0053】

収縮算出部(変形量算出手段)22Aは、角度変位解析部21Aから入力された角度変位 $\Delta \theta_{Braggh}$ 、 $\Delta \theta_{Braggv}$ に基づいて、記録媒体Dの厚み変化及び面方向の体積収縮を算出するものである。ここで解析された厚み変化及び面方向の体積収縮の情報は外部に出力される。

50

【 0 0 5 4 】

ここで、収縮算出部 2 2 A が、厚み変化及び面方向の体積収縮を算出する方法について説明する。まず、記録媒体 D が厚さ方向のみに体積収縮した場合には、図 6 (a) に示す干渉縞 F_0 は、図 6 (b) に示すように、フォトポリマを挟む基板 B , B の間隔が狭まることで厚さ方向につぶされたような干渉縞 F_1 となる。なお、図 6 では干渉縞を模式的に板状の形状で示しており、ここでは、各々の板の表面は、記録された干渉縞において、例えば、屈折率の高い点を通る平面を示すこととする。そして、記録媒体 D が厚さ方向のみに体積収縮した場合には、この干渉縞 F_1 の表面の法線 (図示せず) は、収縮前の干渉縞 F_0 の表面の法線 (図示せず) を含むある平面 (図示せず) 内に含まれ、かつ、この法線との傾きの差が $\Delta \theta_{Braggh}$ となる。そのため、収縮算出部 2 2 A は、前記の式 (1) ~ (3) を用い、角度変位 $\Delta \theta_{Braggh}$ を式 (3) の θ_{Bragg} に代入して、記録媒体 D の厚み変化 Δd_v を算出することができる。

10

【 0 0 5 5 】

更に、記録媒体 D が厚さ方向と面方向とに体積収縮した場合には、図 6 (a) に示す干渉縞 F_0 は、フォトポリマを挟む基板 B , B の間隔が狭まることで、図 6 (c) に示すように、厚さ方向につぶされるとともにフォトポリマを挟む基板 B , B が面方向にずれることで、図 6 (b) に示す干渉縞 F_1 に比べて、面方向のずれに応じて更に向きが変化した干渉縞 F_2 となる。そして、記録媒体 D が厚さ方向のみに体積収縮した場合には、干渉縞 F_1 の表面の法線は、収縮前の干渉縞 F_0 の表面の法線を含むある平面内に含まれるが、面方向にも体積収縮した場合には、干渉縞 F_2 の表面の法線 (図示せず) は、当該平面以外の方向を向く。そして、干渉縞 F_1 の表面の法線と干渉縞 F_2 の表面の法線との傾きの差が $\Delta \theta_{Braggv}$ となる。

20

【 0 0 5 6 】

そのため、干渉縞 F_2 の全体の長さ (記録媒体 D に照射された物体光の直径) を d_0 とすると、収縮算出部 2 2 A は、記録媒体 D の面方向 (図 6 (c) では奥行き方向) の体積収縮の長さ d_v を、以下の式 (1 0) によって算出することができる。

【 0 0 5 7 】

【 数 3 】

$$\Delta d_v = d_0 \times \sin \left(\frac{\Delta \theta_{Braggv}}{2} \right) \times 2 \quad \dots (10)$$

30

【 0 0 5 8 】

なお、記録媒体 D の面方向 (図 6 (c) における奥行き方向) に幅 d_v で干渉縞 F_2 を記録した場合、記録媒体 D の面方向の体積収縮率 r_v [%] は、以下の式 (1 1) によって算出できる。

【 0 0 5 9 】

【 数 4 】

$$r_v = \frac{2d_0 \times \sin \left(\frac{\Delta \theta_{Braggv}}{2} \right)}{d_v} \times 100 \quad \dots (11)$$

40

【 0 0 6 0 】

そして、実際には、重合によって記録媒体 D は、厚さ方向と面方向とに体積収縮していることが実験結果から分かった。ここで、従来の測定方法では、厚み変化しか測定できなかった。更に、従来の測定方法では、測定の分解能が記録媒体 D を回転させる回転ステージの回転角の分解能 (角度変位が 0 . 0 0 2 ° 程度) となっており、例えば、回転ステージからパワーメータまでの距離を 5 0 c m とすると、分解能は 1 7 μ m であった。一方、収縮解析装置 2 A は、波長オーダー (n m オーダー) の極めて高い分解能で記録媒体 D の

50

厚み方向及び面方向の双方の体積収縮を算出することができる。

【0061】

[収縮解析装置の構成(第3の実施の形態)]

次に、図7及び図8を参照(適宜図1参照)して、本発明の第3の実施の形態である収縮解析装置2Bの構成について説明する。図7は、本発明の第3の実施の形態である収縮解析装置の構成を示したブロック図である。図8は、位相情報解析部が画像データから再生光の位相変化を解析する方法を説明するための説明図である。

【0062】

収縮解析装置(変形量解析装置)2Bは、記録媒体収縮測定装置1によって撮影された干渉縞の画像データに基づいて、記録媒体Dの歪みを解析するものである。ここでは、収縮解析装置2Bは、FFT(Fast Fourier Transform; 高速フーリエ変換)法を用いて、記録媒体収縮測定装置1から入力された画像データに対して2次元フーリエ変換(2次元FFT)を行うことで再生光の位相変化(再生光と物体光との位相のずれ)を求め、記録媒体Dの歪みを解析することとした。収縮解析装置2Bは、位相情報解析部23Bを備える。

【0063】

位相情報解析部(位相解析手段)23Bは、前記画像データに基づいて、FFT法を用いて再生光の位相変化を解析するものである。以下、位相情報解析部23Bが画像データから再生光の位相変化を解析する方法を説明する。

【0064】

図8に示すように、位相情報解析部23Bは、図8(a)に示す画像データによって示される画像に2次元FFTを行い、変換された画像[図8(b)]の中心にDC(direct current; 直流)成分がくるようにこの画像をシフトする。更に、位相情報解析部23Bは、シフトされた画像[図8(c)]から、干渉縞の主成分である1次ピーク付近を取り出して、重心計算を行い中心座標を割り出す。そして、位相情報解析部23Bは、割り出された部分を取り出し[図8(e)]、座標中心にシフトする。

【0065】

続いて、位相情報解析部23Bは、図8(f)に示す中心にすえた光点をシフトして4隅に配置し[図8(g)]、この画像に逆FFTを行い、振幅と位相とを解析する。ここで解析された位相情報を示す画像[図8(i)]が再生光の波面を示す。記録媒体Dに歪みがあると波面が局所的に変動するため、この画像から記録媒体Dの局所的な体積収縮が分かる。ここで解析された位相情報を示す画像のデータ(位相分布画像データ)は外部に出力される。

【0066】

なお、振幅の画像からは記録媒体Dのレーザ光の吸収の分布を示す。ここで、例えば、物体光にガウシアンビームを用いた場合には、CCD14によって撮像された光の振幅は理想的には2つのガウシアンビームを重ね合わせた分布となる。しかし、記録媒体Dの光の吸収の度合いが局所的に異なる場合には、振幅画像によって示される振幅の分布はこの吸収の度合いに応じて、2つのガウシアンビームを重ね合わせた分布とは局所的に異なる。

【0067】

以上のようにして収縮解析装置2Bは、FFT法を用いて記録媒体Dの局所的な歪みを解析することができるが、本発明の収縮解析装置2Bは、縞走査法や、シャックハルトマンセンサ法等の様々な方法を用いて記録媒体Dの局所的な歪みを波長オーダーで解析することができる。また、物体光や参照光として、ガウシアンビームのような照射面において強度分布の一樣でないレーザ光を用いた場合に、当該レーザ光が照射された領域において記録媒体Dの歪みの大きさの分布も一樣でなくなることが想定できるが、本発明の収縮解析装置2Bによれば、このような歪みの分布についても解析することが可能になる。

【0068】

なお、本発明の収縮解析装置は、図2に示す収縮解析装置2の角度変位解析部21と、

10

20

30

40

50

図4に示す収縮解析装置2Aの角度変位解析部21Aと、角度変位解析部21及び角度変位解析部21Aによって解析された角度変位に基づいて記録媒体Dの厚み変化及び面方向の体積収縮を算出する収縮算出部(図示せず)とを1つの装置内に備えることとしてもよい。ここで、この収縮算出部は、図4に示す収縮解析装置2Aの収縮算出部22Aと同じ機能を有し、角度変位解析部21によって解析された角度変位、又は、角度変位解析部21Aによって解析された角度変位 θ_{Bragg} に基づいて厚さ方向の体積収縮を算出することができるとともに、角度変位解析部21Aによって解析された角度変位 θ_{agg} に基づいて面方向の体積収縮を算出することができる。

【0069】

このように収縮解析装置を構成することで、収縮解析装置は、角度変位解析部21によって角度変位を解析した後に収縮算出部によって記録媒体Dの体積収縮を算出して、体積収縮が大きい場合において簡易的に体積収縮を求めることができる。また、体積収縮が小さい場合や、高い精度で体積収縮を求める場合や、面方向の体積収縮を求める場合には、収縮解析装置は、角度変位解析部21Aによって角度変位を解析した後に収縮算出部によって体積収縮を算出することができる。ここで、体積収縮が大きい場合とは、画像データを取得した記録媒体収縮測定装置1(図1参照)において、画素ピッチがsであるCCD14(2次元センサ)を使用し、記録媒体DからCCD14までの距離がLであるとすると、再生光と物体光とのずれd(図3参照)が画素ピッチsよりも大きい、つまり、角度変位が $\arctan(s/L)$ よりも大きい場合が挙げられる。この場合、角度変位の解析の分解能はCCD14の画素ピッチsで決まる。なお、この収縮解析装置は、角度変位解析部21、21Aのどちらで角度変位を解析するかを、再生光と物体光とのずれdの大きさに基づいて判定することとしてもよいし、ユーザによって外部から指令を入力されることで決定することとしてもよい。

【0070】

更に、本発明の収縮解析装置は、図2に示す収縮解析装置2の角度変位解析部21と、図4に示す収縮解析装置2Aの角度変位解析部21Aと、角度変位解析部21及び角度変位解析部21Aによって解析された角度変位に基づいて体積収縮を算出する収縮算出部(図示せず)と、図7に示す収縮解析装置2Bの位相情報解析部23Bとを1つの装置内に備えることとしてもよい。このように収縮解析装置を構成することで、収縮解析装置は、角度変位解析部21、角度変位解析部21A及び収縮算出部によって厚さ方向及び面方向の体積収縮を解析することができるとともに、位相情報解析部23Bによって位相分布画像データを生成することができる。

【0071】

また、収縮解析装置2、2A、2Bは、コンピュータにおいて各手段を各機能プログラムとして実現することも可能であり、各機能プログラムを結合して、収縮解析プログラムとして動作させることも可能である。

【図面の簡単な説明】

【0072】

【図1】本発明の実施の形態である記録媒体収縮測定装置及び収縮解析装置の構成を模式的に示した模式図、(a)は、干渉縞の記録時の様子を模式的に示す模式図、(b)は、再生光の再生時の様子を模式的に示す模式図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態である収縮解析装置の構成を示したブロック図である。

【図3】本発明の実施の形態である記録媒体収縮測定装置によって撮像された、媒体収縮が大きい場合の画像データの例と、物体光と再生光の配置とを模式的に示す模式図、(a)は、媒体収縮が大きい場合の画像データの例を模式的に示す模式図、(b)は、(a)に示す図において物体光と再生光の配置とを模式的に示す模式図である。

【図4】本発明の第2の実施の形態である収縮解析装置の構成を示したブロック図である。

【図5】本発明の実施の形態である記録媒体収縮測定装置によって撮像された、媒体収縮

10

20

30

40

50

が小さい場合の画像データの例と、物体光と再生光の配置とを模式的に示す模式図、(a)は、媒体収縮が小さい場合の画像データの例を模式的に示す模式図、(b)は、(a)に示す図において物体光と再生光の配置とを模式的に示す模式図である。

【図6】媒体収縮による記録媒体に記録された干渉縞の変化を説明するための説明図、(a)は、記録された干渉縞を模式的に示す模式図、(b)は、厚み方向に体積収縮した場合の干渉縞を模式的に示す模式図、(c)は、厚み方向と面方向に体積収縮した場合の干渉縞を模式的に示す模式図である。

【図7】本発明の第3の実施の形態である収縮解析装置の構成を示したブロック図である。

【図8】本発明の第3の実施の形態である収縮解析装置の位相情報解析部が、画像データから再生光の位相変化を解析する方法を説明するための説明図である。

10

【図9】従来の記録媒体の体積収縮の測定方法を説明するための説明図、(a)は、干渉縞の記録時の様子を模式的に示す模式図、(b)は、再生光の再生時の様子を模式的に示す模式図である

【図10】体積収縮前後の記録媒体と干渉縞とを模式的に示す模式図である。

【符号の説明】

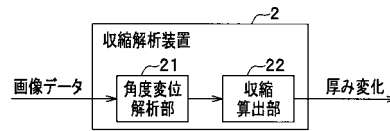
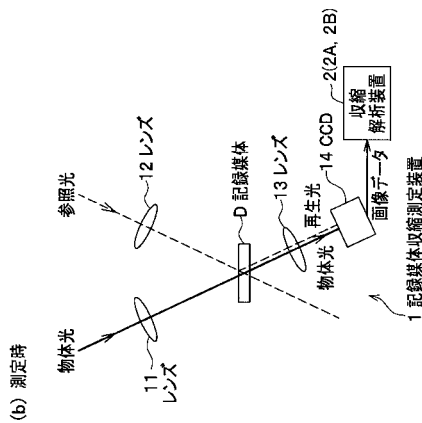
【0073】

- 1 記録媒体収縮測定装置(記録媒体変形測定装置)
- 11、12、13 レンズ
- 14 CCD(2次元センサ)
- 2、2A、2B 収縮解析装置(変形量解析装置)
- 21、21A 角度変位解析部(角度変位解析手段)
- 22、22A 収縮算出部(変形量算出手段)
- 23B 位相情報解析部(位相解析手段)
- D 記録媒体(ホログラフィックメモリ記録媒体)

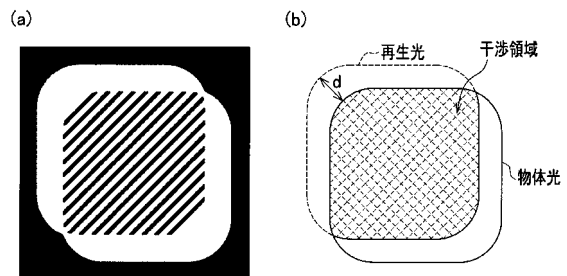
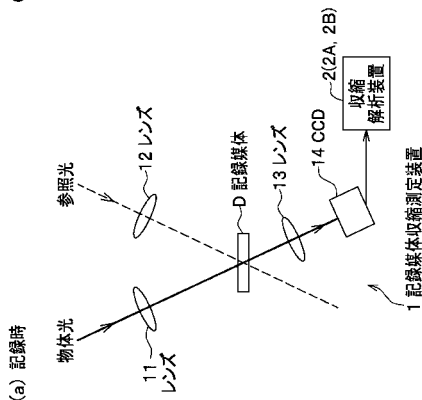
20

【図1】

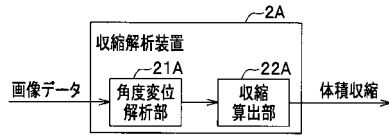
【図2】



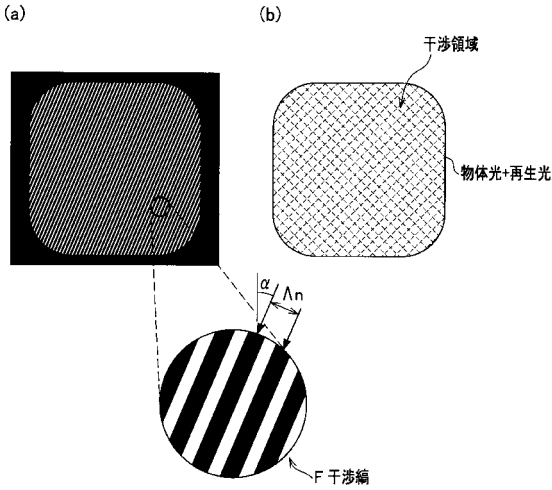
【図3】



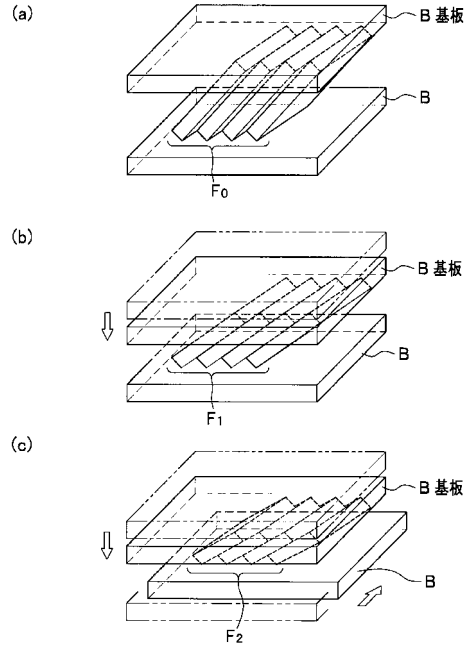
【図4】



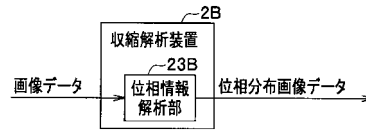
【図5】



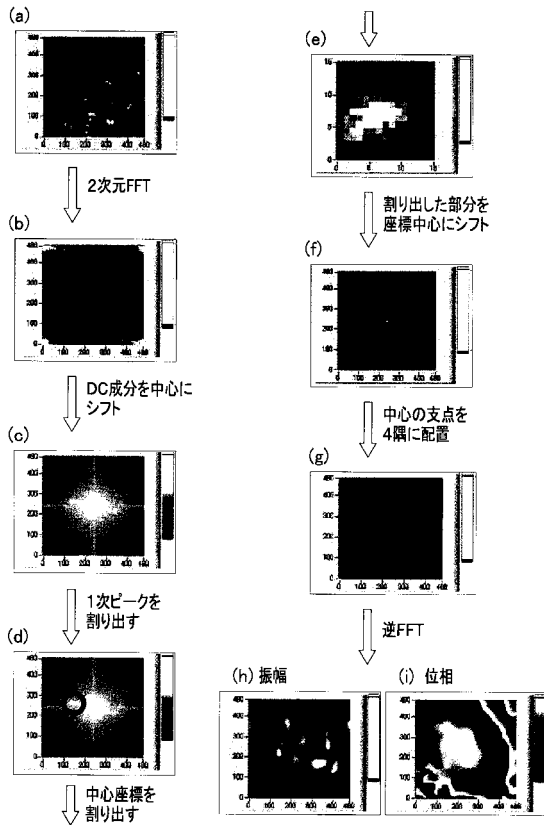
【図6】



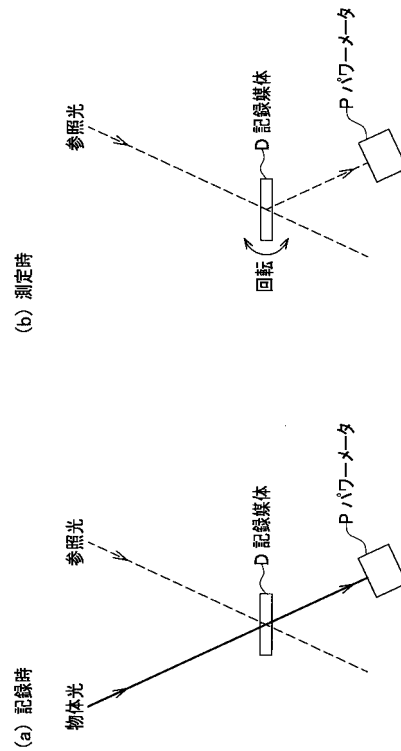
【図7】



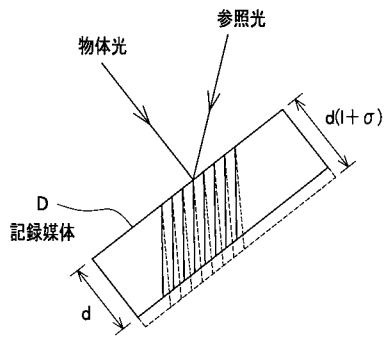
【図8】



【図9】



【図 10】



フロントページの続き

- (72)発明者 椎野 弘崇
東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日本放送協会放送技術研究所内
- (72)発明者 清水 直樹
東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日本放送協会放送技術研究所内
- (72)発明者 上條 晃司
東京都世田谷区砧一丁目10番11号 日本放送協会放送技術研究所内

審査官 清藤 弘晃

- (56)参考文献 特開平10-019530(JP,A)
特開平11-143342(JP,A)
特開平07-077925(JP,A)
特開2000-241129(JP,A)
特開2000-250382(JP,A)
特開2002-032001(JP,A)
特開2004-069859(JP,A)
特開平10-307529(JP,A)
特開昭59-088778(JP,A)
特開平10-281933(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01B11/00-11/30
G01B 9/00- 9/10
G01M11/00-11/08
G03H 1/00- 5/00
G11B 7/0065