

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02016/121866

発行日 平成29年12月21日 (2017.12.21)

(43) 国際公開日 平成28年8月4日 (2016.8.4)

(51) Int.Cl.		F I	テーマコード (参考)	
GO3H	1/00	(2006.01)	GO3H 1/00	2GO43
GO3H	1/22	(2006.01)	GO3H 1/22	2H052
GO3H	1/16	(2006.01)	GO3H 1/16	2K008
GO1N	21/64	(2006.01)	GO1N 21/64	E
GO2B	21/00	(2006.01)	GO1N 21/64	F

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 39 頁) 最終頁に続く

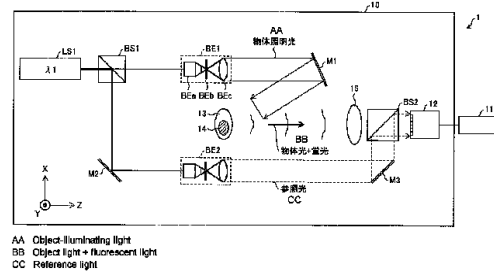
出願番号	特願2016-572142 (P2016-572142)	(71) 出願人	399030060 学校法人 関西大学 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号
(21) 国際出願番号	PCT/JP2016/052487	(71) 出願人	504202472 大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 東京都立川市緑町10番3号
(22) 国際出願日	平成28年1月28日 (2016.1.28)	(74) 代理人	110000338 特許業務法人HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK
(31) 優先権主張番号	特願2015-14802 (P2015-14802)	(72) 発明者	田原 樹 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号 学校法人関西大学システム理工学部内
(32) 優先日	平成27年1月28日 (2015.1.28)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 デジタルホログラフィ記録装置、デジタルホログラフィ再生装置、デジタルホログラフィ記録方法、およびデジタルホログラフィ再生方法

(57) 【要約】

ホログラムと蛍光との両方を分離再生可能な状態で同時に撮像する。記録装置(10)は、物体光が生じるように被写体(13)に物体照明光を照射するレーザ光源(LS1)と、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、蛍光の像とを撮像する撮像装置(12)とを備え、物体照明光はまた、被写体(13)に含まれる蛍光体(14)を励起する。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

物体光が生じるように物体に物体照明光を照射する光源と、
参照光と前記物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、蛍光の像とを撮像する撮像装置とを備え、

前記物体照明光はまた、前記物体に含まれる蛍光体を励起することを特徴とするデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 2】

前記光源は、単一波長の前記物体照明光を出射することを特徴とする請求項 1 に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

10

【請求項 3】

前記撮像装置は、前記物体光と参照光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記蛍光体が発する蛍光の像とが重畳した画像を撮像することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 4】

前記蛍光を前記撮像装置の撮像面に結像させる結像光学素子を備えることを特徴とする請求項 3 に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 5】

前記撮像装置は、カラーフィルタを用いないモノクロ撮像装置であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

20

【請求項 6】

前記光源は、前記物体に第 1 波長の物体照明光を照射する第 1 光源であり、

前記第 1 波長とは異なる第 2 波長の物体光が生じるように前記物体に前記第 2 波長の物体照明光を照射する第 2 光源を備え、

前記撮像装置は、前記第 1 波長のホログラムと、前記第 2 波長のホログラムと、前記蛍光の像とを撮像し、

前記第 1 波長の物体照明光および前記第 2 波長の物体照明光の両方は、前記蛍光体を励起することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 7】

前記撮像装置に入射する前記物体光の光軸に対して、前記撮像装置に入射する前記参照光の光軸は傾いていることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

30

【請求項 8】

物体に物体照明光を照射する光源と、

参照光と前記物体からの物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記物体に含まれる蛍光体が発する蛍光の像とが重畳した画像を撮像する撮像装置とを備えることを特徴とするデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 9】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像から、空間的位相シフト法を用いて前記物体光の複素振幅を求め、

40

前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、

前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得ることを特徴とするデジタルホログラフィ再生装置。

【請求項 10】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換し、

フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出し、

抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求め、

50

前記物体光の複素振幅から 0 次回折光成分を求め、フーリエ変換された前記画像から 0 次回折光成分を除去し、

0 次回折光成分が除去されたフーリエ変換された前記画像から、前記インコヒーレント光の像の空間スペクトルを抽出することを特徴とするデジタルホログラフィ再生装置。

【請求項 1 1】

抽出された前記インコヒーレント光の像の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記インコヒーレント光の像を得ることを特徴とする請求項 1 0 に記載のデジタルホログラフィ再生装置。

【請求項 1 2】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換し、

フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出し、

抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求め、

前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得ることを特徴とするデジタルホログラフィ再生装置。

【請求項 1 3】

光源から出射された物体照明光を物体に照射することにより物体光を生じさせるとともに、前記物体照明光によって前記物体に含まれる蛍光体を励起するステップと、

参照光と前記物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記蛍光体が発する蛍光の像とを撮像するステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ記録方法。

【請求項 1 4】

物体照明光を物体に照射するステップと、

参照光と前記物体からの物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記物体に含まれる蛍光体が発する蛍光の像とが重畳した画像を撮像するステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ記録方法。

【請求項 1 5】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像から、空間的位相シフト法を用いて前記物体光の複素振幅を求めるステップと、

前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求めるステップと、

前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得るステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ再生方法。

【請求項 1 6】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換するステップと、

フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出するステップと、

抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求めるステップと、

前記物体光の複素振幅から 0 次回折光成分を求め、フーリエ変換された前記画像から 0 次回折光成分を除去するステップと、

0 次回折光成分が除去されたフーリエ変換された前記画像から、前記インコヒーレント光の像の空間スペクトルを抽出するステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ再生方法。

【請求項 1 7】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換するステップと、

10

20

30

40

50

フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出するステップと、
抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求めるステップと、

前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得るステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ再生方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明はデジタルホログラフィ装置およびデジタルホログラフィ方法に関する。

【背景技術】

【0002】

以後の文章中で位相の単位はラジアンで表す。光の干渉を利用した干渉計測技術、特にデジタルホログラフィは、非接触かつ非破壊で、物体の3次元情報を得ることができるため、近年、注目を集めている測定法の一つとなっている。

【0003】

デジタルホログラフィは、3次元物体への光照射によって得られる干渉縞から、コンピュータを用いて3次元物体の像を再生する技術である。一般的には例えば、3次元物体への光照射によって得られる物体光と、該物体光に対して可干渉（コヒーレント）である参照光とが作る干渉縞を、CCD（charge coupled device）またはCMOS（complementary metal oxide semiconductor）等の撮像素子を用いて記録する。記録された干渉縞に基づいて、コンピュータで3次元物体の像を再生する。

【0004】

特許文献1には、デジタルホログラフィにより入手した干渉計信号と、試料からの蛍光信号を順次別々に測定して記録する測定および記録ステップと、干渉計信号および蛍光信号を、3次元画像を再構成するために結合するステップとを行う技術が記載されている。

【0005】

特許文献2には、物体からの蛍光を光学的に検出する技術が記載されている。

【0006】

特許文献3には、試料から発せられる蛍光の偏光成分を計測する技術が記載されている。

【0007】

特許文献4～7には、蛍光検出を利用する技術が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0008】

【特許文献1】日本国公表特許公報「特表2004-538451号公報（2004年12月24日公表）」

【特許文献2】日本国公開特許公報「特開2005-037388号公報（2005年2月10日公開）」

【特許文献3】日本国公開特許公報「特開2008-225013号公報（2008年9月25日公開）」

【特許文献4】日本国公開特許公報「特開2002-055050号公報（2002年2月20日公開）」

【特許文献5】日本国公開特許公報「特開2002-072835号公報（2002年3月12日公開）」

【特許文献6】日本国公開特許公報「特開2011-185757号公報（2011年9月22日公開）」

【特許文献7】日本国公表特許公報「特表2013-511341号公報（2013年4

10

20

30

40

50

月4日公開) 」

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

しかしながら、従来の技術では、物体の3次元の形状情報を含む物体光によるホログラムと、物体からの蛍光とは、個別に撮像されていた。例えば、第1時刻に、レーザ光源を用いて物体から物体光を生じさせ、物体光と参照光とが干渉することにより形成されるホログラムを撮像する。次に、第2時刻に、レーザ光源をオフし、励起光源を用いて物体から蛍光を生じさせ、蛍光のみを撮像する。このように、従来の技術では、個別の光源を用いて、ホログラムと蛍光とを個別に撮像する。そのため、カメラのフレームレートでホログラムと蛍光との両方の動画像を撮像することはできない。

10

【0010】

本発明の一態様では、ホログラムと蛍光との両方を分離再生可能な状態で同時に撮像することができる。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明に係るデジタルホログラフィ記録装置は、物体光が生じるように物体に物体照明光を照射する光源と、参照光と前記物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、蛍光の像とを撮像する撮像装置とを備え、前記物体照明光はまた、前記物体に含まれる蛍光体を励起する。

20

【0012】

本発明に係るデジタルホログラフィ記録装置は、物体に物体照明光を照射する光源と、参照光と前記物体からの物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記物体に含まれる蛍光体が発する蛍光の像とが重畳した画像を撮像する撮像装置とを備える。

【0013】

本発明に係るデジタルホログラフィ再生装置は、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像から、空間的位相シフト法を用いて前記物体光の複素振幅を求め、前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得る。

30

【0014】

本発明に係るデジタルホログラフィ再生装置は、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換し、フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出し、抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求め、前記物体光の複素振幅から0次回折光成分を求め、フーリエ変換された前記画像から0次回折光成分を除去し、0次回折光成分が除去されたフーリエ変換された前記画像から、前記インコヒーレント光の像の空間スペクトルを抽出する。

【0015】

本発明に係るデジタルホログラフィ再生装置は、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換し、フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出し、抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求め、前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得る。

40

【0016】

本発明に係るデジタルホログラフィ記録方法は、光源から出射された物体照明光を物体に照射することにより物体光を生じさせるとともに、前記物体照明光によって前記物体に含まれる蛍光体を励起するステップと、参照光と前記物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記蛍光体が発する蛍光の像とを撮像するステップとを含む。

50

【0017】

本発明に係るデジタルホログラフィ記録方法は、物体照明光を物体に照射するステップと、参照光と前記物体からの物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記物体に含まれる蛍光体が発する蛍光の像とが重畳した画像を撮像するステップとを含む。

【0018】

本発明に係るデジタルホログラフィ再生方法は、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像から、空間的位相シフト法を用いて前記物体光の複素振幅を求めるステップと、前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求めるステップと、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得るステップとを含む。

10

【0019】

本発明に係るデジタルホログラフィ再生方法は、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換するステップと、フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出するステップと、抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求めるステップと、前記物体光の複素振幅から0次回折光成分を求め、フーリエ変換された前記画像から0次回折光成分を除去するステップと、0次回折光成分が除去されたフーリエ変換された前記画像から、前記インコヒーレント光の像の空間スペクトルを抽出するステップとを含む。

20

【0020】

本発明に係るデジタルホログラフィ再生方法は、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換するステップと、フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出するステップと、抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求めるステップと、前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得るステップとを含む。

【発明の効果】

【0021】

本発明の一態様によれば、ホログラムと蛍光の像との両方を分離再生可能な状態で同時に撮像することができる。

30

【0022】

本発明の一態様によれば、ホログラムと蛍光の像とが重畳した画像から、物体光および蛍光の像を分離して再生することができる。

【図面の簡単な説明】

【0023】

【図1】本発明の一実施形態に係るデジタルホログラフィ装置の構成を示す模式図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る再生装置が行う再生処理のフローを示す図である。

40

【図3】記録された画像を2次元フーリエ変換したものを概略的に示す図である。

【図4】本発明の他の実施形態に係るデジタルホログラフィ装置の構成を示す模式図である。

【図5】記録された画像を2次元フーリエ変換したものを概略的に示す図である。

【図6】本発明のさらに他の実施形態に係るデジタルホログラフィ装置の構成を示す模式図である。

【図7】本発明の一実施形態に基づくシミュレーションに用いる被写体を示す。

【図8】通常のカメラによって認識される上記被写体の画像を示す。

【図9】(a)は上記シミュレーションにおける記録画像を示し、(b)はその一部を拡大したものを示す。

50

【図10】(a)はフーリエ変換画像を示し、(b)は再生された反射光画像を示し、(c)は再生された位相分布を示す。

【図11】記録画像から0次回折光成分を減算する様子を示す。

【図12】(a)は0次回折光成分が除去されたフーリエ変換画像を示し、(b)は再生された蛍光画像を示す。

【図13】(a)は本発明のさらに他の実施形態に基づくシミュレーションに用いる被写体の反射光のRチャンネルの画像を示し、(b)は被写体の反射光のGチャンネルの画像を示し、(c)は被写体の反射光のBチャンネルの画像を示し、(d)はRGBが色合成された被写体の反射光画像を示す。

【図14】(a)は被写体の蛍光のRチャンネルの画像を示し、(b)は被写体の蛍光のGチャンネルの画像を示し、(c)は被写体の蛍光のBチャンネルの画像を示し、(d)はRGBが色合成された被写体の蛍光画像を示す。

10

【図15】上記被写体の高さ分布を示す。

【図16】通常のカメラによって認識される上記被写体の画像を示す。

【図17】(a)(b)(c)は、それぞれRチャンネルの記録画像より得た、反射光画像(再生像)、蛍光画像(再生像)、位相分布である。

【図18】(a)(b)(c)は、それぞれGチャンネルの記録画像より得た、反射光画像(再生像)、蛍光画像(再生像)、位相分布である。

【図19】(a)(b)(c)は、それぞれBチャンネルの記録画像より得た、反射光画像(再生像)、蛍光画像(再生像)、位相分布である。

20

【図20】(a)は、撮像装置の画素と参照光との関係を説明する模式図であり、(b)は撮像装置の撮像面の一部における参照光の位相シフト量を説明する模式図である。

【図21】本発明のさらに他の実施形態に係る再生装置が行う再生処理のフローを示す図である。

【図22】上記再生処理のフローの概要を示す図である。

【図23】拡大した記録画像の一部における参照光の位相シフト量を示す図である。

【図24】(a)は、物体光の複素振幅を用いて再生した被写体の反射光画像(再生像)であり、(b)は、物体光の複素振幅を用いて計算した位相分布である。

【図25】再生された蛍光画像を示す。

【発明を実施するための形態】

30

【0024】

本発明の実施形態について図に基づいて以下に説明する。説明の便宜上、各項目において、上述の項目に示した部材と同一の機能を有する部材については、同一の符号を付し、適宜その説明を省略することがある。

【0025】

〔実施形態1〕

本実施形態は、物体光の情報と蛍光の情報とを単一露光で同時に記録するデジタルホログラフィ装置に関する。そして、デジタルホログラフィ装置は、記録したホログラムを用いて、物体光の情報と蛍光の情報とを互いに分離して再生することができる。

【0026】

40

(デジタルホログラフィ装置1の構成)

図1は、本実施形態のデジタルホログラフィ装置1の構成を示す模式図である。デジタルホログラフィ装置1は、軸外し型(off-axis型)のデジタルホログラフィ装置である。デジタルホログラフィ装置1は、記録装置10(デジタルホログラフィ記録装置)と再生装置11(デジタルホログラフィ再生装置)とを備える。記録装置10は、撮像装置12、波長 λ のレーザ光源LS1(第1光源)、および光学系を備える。再生装置11は、コンピュータ等の計算機によって構成することができる。なお、レーザ光としては、可視光のみならず、不可視光(赤外線、紫外線、X線等)も利用することができる。

【0027】

光学系は、ミラー等の複数の光学素子を備え、波長 λ のレーザ光(コヒーレント光)

50

を被写体 1 3 (物体) および撮像装置 1 2 へ導く。具体的には、光学系は、複数の光学素子として、ビームスプリッタ B S 1 ~ B S 2、およびミラー M 1 ~ M 3、ビームエキスパンダ B E 1 ~ B E 2、および結像素子 1 5 (結像光学素子) を備える。ビームエキスパンダ B E 1 ~ B E 2 はそれぞれ、対物レンズ B E a、ピンホール B E b、およびコリメータレンズ B E c を備える。ビームスプリッタ B S 1 ~ B S 2 は、ハーフミラーからなる。結像素子 1 5 は、レンズを含む。ただし、これに限らず、結像させるための任意の光学素子を結像素子 1 5 として用いることができる。

【 0 0 2 8 】

撮像装置 1 2 は、撮像するための複数の画素が x 方向および y 方向に配列した撮像面を有し、撮像面に到達した光の強度を記録する。x 方向は y 方向に対して垂直である。z 方向は x 方向および y 方向に対して垂直である。撮像装置 1 2 は、C C D または C M O S 等の撮像素子を有する。撮像装置 1 2 は、撮像面上に形成された干渉縞を記録する。この干渉縞は物体光の情報を有するホログラムである。なお、1 つの画素は有限の受光領域を有する。そのため、1 つの画素によって検出される光強度は、受光領域における干渉縞の光強度の積分である。撮像装置 1 2 はカラーフィルタを備えないため、撮像装置 1 2 の 1 つの画素は同時に複数の波長の光を受光することができる。すなわち撮像装置 1 2 はモノクロ撮像装置である。撮像装置 1 2 は、撮像した画像を示す画像データを再生装置 1 1 に出力する。再生装置 1 1 の詳細については後述する。

10

【 0 0 2 9 】

(物体光、参照光および蛍光)

レーザ光源 L S 1 から出射された波長 λ のレーザ光は、ビームスプリッタ B S 1 によって参照光と物体照明光とに分けられる。

20

【 0 0 3 0 】

ビームスプリッタ B S 1 によって分けられた波長 λ の物体照明光は、ミラー M 1 を経由して、被写体 1 3 に照射される。物体照明光が被写体 1 3 によって散乱 (反射または透過) または回折されたものが物体光である。ここでは、被写体 1 3 による反射光を物体光として利用しているが、被写体 1 3 の背面から物体照明光を照射し、被写体 1 3 を透過した光を物体光として利用してもよい。物体照明光を被写体 1 3 に照射することにより生じた物体光は、結像素子 1 5 およびビームスプリッタ B S 2 を通過し、撮像装置 1 2 の撮像面に入射する。

30

【 0 0 3 1 】

ここで、被写体 1 3 は、蛍光体 1 4 を含む。波長 λ の物体照明光はまた、蛍光体 1 4 を励起する役割も果たす。波長 λ の物体照明光によって励起された蛍光体 1 4 は、蛍光分子に応じた所定の波長の蛍光を発する。波長 λ は、蛍光の波長より短い。ただし、2 光子励起または多光子励起を利用する場合、波長 λ は、蛍光の波長以上となり得る。蛍光体 1 4 から発せられた蛍光は、物体光と同様に、結像素子 1 5 およびビームスプリッタ B S 2 を通過し、撮像装置 1 2 の撮像面に入射する。

【 0 0 3 2 】

ビームスプリッタ B S 1 によって分けられた波長 λ の参照光は、ミラー M 2、ビームエキスパンダ B E 2、ミラー M 3 を経由し、ビームスプリッタ B S 2 で反射され、撮像装置 1 2 の撮像面に入射する。物体光および参照光が撮像面に入射する角度は、光学系に含まれる光学素子 (ビームスプリッタ、ミラー等) によって調整できる。

40

【 0 0 3 3 】

ここでは、被写体 1 3 の中心からの物体光は、撮像装置 1 2 の撮像面の中心に対して、垂直に入射すると仮定している。言い換えれば、被写体 1 3 の中心は、撮像面の中心を通り撮像面に垂直な線上に位置する。これに対し、参照光は、撮像面に斜めに入射する。すなわち、撮像面に入射する物体光の光軸と参照光の光軸との間には角度差がある。

【 0 0 3 4 】

物体光および蛍光は、結像素子 1 5 によって、撮像装置 1 2 の撮像面上に像を結ぶように結像される。物体光は参照光と干渉することにより、撮像面上にホログラム (結像型ホ

50

로그램)を形成する。一方、蛍光は、インコヒーレント光と呼ばれるコヒーレント性が低い光である。また、蛍光は、物体光および参照光とは波長が異なる。そのため、蛍光は、物体光および参照光とは干渉しない。撮像装置12は、ホ로그램と結像された蛍光の像とが重畳した画像を撮像することになる。なお、レーザ光の波長の光を減衰させ、蛍光の波長の光を通過させる光学フィルタ等を撮像面の手前に設けてもよい。蛍光体14から生じる蛍光の強度が物体光の強度に比べて非常に小さい場合、蛍光の像がホ로그램に埋もれないように、物体光または参照光または物体光と参照光との両方の強度を光学フィルタによって小さくしてもよい。

【0035】

(再生装置11の構成)

図2は、本実施形態の再生装置11が行う再生処理のフローを示す図である。再生装置11は、撮像装置12によって記録された画像(ホ로그램+蛍光)を用いて、被写体13の像の再生および蛍光の像の再生を行う。ただし、記録された画像は、物体光の情報(すなわち被写体13の3次元形状情報)を含むホ로그램と、蛍光とが重畳した画像であるので、そのままでは公知のデジタルホログラフィ技術で再生することができない。

【0036】

ここで、記録された画像の各画素の値は、ホ로그램の光強度 I_h および蛍光の光強度 I_f の和である。 I_h および I_f は、画素毎に異なる。蛍光は撮像面上に結像しているので、蛍光の光強度 I_f は、撮像装置12から見た蛍光の分布を表す。ホ로그램の光強度 I_h は、以下ようになる。

$$I_h = |O|^2 + |R|^2 + 2|O||R|\cos \quad (1)$$

ここで、 $|O|$ は物体光の振幅、 $|R|$ は参照光の振幅、 $|O|^2$ は物体光の強度、 $|R|^2$ は参照光の強度、 ϕ は参照光に対する物体光の位相差である。 $|O|$ 、 $|R|$ 、および ϕ は、画素毎に異なり得る。なお、参照光はレーザ光を引き伸ばした平面波であるので、参照光の強度は一樣な値または所定の分布(例えばガウス分布)の値であると仮定(推定)してもよい。なお、より精度よく像を再生するために、事前または事後に参照光のみの強度分布を測定してもよい。参照光の強度分布を測定することは再生の精度を上げるためのキャリブレーションに相当する。それゆえ $|R|^2$ は既知の値として扱うことができる。

【0037】

具体的には、再生装置11は、記録された画像を2次元フーリエ変換する(S1)。ホ로그램は、参照光と物体光とが干渉することにより形成される、様々な間隔の干渉縞を含む。このホ로그램を含む画像をフーリエ変換すると、縞の間隔に応じて、物体光波(1次回折光)、0次回折光、および共役像(-1次回折光)のそれぞれのスペクトルが現れる。以後、2次元フーリエ変換した後の平面を空間周波数面と呼び、スペクトルを空間スペクトルと呼ぶ。

【0038】

図3は、記録された画像を2次元フーリエ変換したものを概略的に示す図である。図3において、横軸はx軸の空間周波数 f_x を示し、縦軸はy軸の空間周波数 f_y を示す。ホ로그램と蛍光の像とを含む画像の空間周波数面において、波長 λ の0次回折光の空間スペクトル、波長 λ の物体光波(1次回折光)の空間スペクトル、波長 λ の共役像(-1次回折光)の空間スペクトル、ならびに、蛍光の空間スペクトルが存在する。なお、共役像の空間スペクトルは物体光波の空間スペクトルに対して原点对称の位置に現れる。なお、ここでは各空間スペクトルは円形である。物体光の経路に同様の形の光透過フィルタ(開口または絞り)を配置したとき等に、このような空間スペクトルが得られる。撮像装置において記録可能な空間周波数帯域は、空間周波数面において原点を中心とした幅 $1/d$ の範囲である。 d は画素間隔である。

【0039】

0次回折光の空間スペクトルは原点を中心に分布する。蛍光の空間スペクトルもまた、その多くが原点を中心に分布する。それゆえ、0次回折光の空間スペクトルと蛍光の空間

10

20

30

40

50

スペクトルとは、空間周波数面において、少なくとも一部が互いに重なって分布する。なお、記録装置 10 において、被写体 13 と撮像装置 12 との間（例えば結像素子 15 付近）に開口または絞りを配置することで、蛍光の空間スペクトルの高周波成分をカットすることができる。これにより、蛍光の空間スペクトルが主に低周波領域（原点付近）に位置するようにすることができる。

【0040】

一方、1 の物体光波の空間スペクトルは、0 次回折光の空間スペクトルよりも高周波側に現れる。記録装置 10 において、撮像面に入射する物体光の光軸と参照光の光軸との角度差が大きくなると、干渉縞の縞の間隔が短くなるため、物体光波の空間スペクトルが高周波側にシフトする。物体光の光軸と参照光の光軸との間にある程度の角度差を設けることにより、空間周波数面において物体光波の空間スペクトルと 0 次回折光の空間スペクトルとが重ならないようにすることができる。

10

【0041】

再生装置 11 は、フーリエ変換された画像から、物体光波の空間スペクトルを抽出する（S2）。例えば、再生装置 11 は、フーリエ変換された画像から、あらかじめ定められた範囲を物体光波の空間スペクトルとして抽出する。物体光波の空間スペクトルが分布する範囲は、物体光の波長、物体光および参照光の入射角、および撮像装置 12 から見た被写体 13 の視野角（開口または絞りで制限することができる）に依存する。そのため、物体光波の空間スペクトルが分布する範囲は、あらかじめ知ることができる。

【0042】

再生装置 11 は、抽出した物体光波の空間スペクトルを逆フーリエ変換する。また、参照光の傾け角度に応じた位相変調量を補正する。これらにより、再生装置 11 は、各画素の物体光の複素振幅（ $|O|$ 、および $|R|$ から参照光による変調量が補正された位相）を求める（S3）。物体光の複素振幅が得られれば、再生装置 11 は、物体光の複素振幅から被写体 13 の像を再生することができる。

20

【0043】

なお、上記逆フーリエ変換された結果は、記録された画像（ホログラム + 蛍光）から 0 次回折光、共役像、および蛍光を除いたものを表す。画素毎に参照光の位相は異なる（参照光が平面波であれば参照光の位相は周期的に変化する）。ここで、位相変調量を補正するとは、上記逆フーリエ変換された結果から得られる物体光の $|O|$ に含まれる（参照光の位相に応じた）位相変調量を、参照光の位相分布に応じて補正（キャンセル）することを意味する。

30

【0044】

再生装置 11 は、物体光の複素振幅から、各画素の $|O|^2$ を求める（S4）。参照光の強度 $|R|^2$ は上述のように既知である。再生装置 11 は、物体光の複素振幅から 0 次回折光成分（ $|O|^2 + |R|^2$ ）を求める。式（1）の右辺は全て既知となるため、再生装置 11 は、ホログラムの光強度 I_h を特定することができる。

【0045】

再生装置 11 は、記録された画像の画素値から 0 次回折光成分（ $|O|^2 + |R|^2$ ）を減算する。再生装置 11 は、0 次回折光成分が除去された画像をフーリエ変換する（S5）。

40

【0046】

空間周波数面において、物体光波の空間スペクトルと蛍光の空間スペクトルとは分離されている。空間周波数面において蛍光と重畳する 0 次回折光成分は除去してある。そのため、再生装置 11 は、0 次回折光成分が除去されたフーリエ変換された前記画像から原点を中心とした所定の範囲を抽出することにより、蛍光の空間スペクトルを抽出することができる。再生装置 11 は、抽出した蛍光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することにより、蛍光の強度分布（蛍光の像）を求める（S6）。なお、上述のように、記録された画像から 0 次回折光成分を減算してもよいし、フーリエ変換された画像からフーリエ変換された 0 次回折光成分を減算してもよい。0 次回折光成分の除去は、実空間およびフーリエ

50

空間のいずれかで行うことができる。

【0047】

再生装置11は、このようにして、ホログラムと蛍光の像とが重畳した画像から、蛍光の像を分離して再生することができる。また、再生装置11は、物体光の複素振幅から被写体13の像を再生し、被写体13の3次元の形状情報を得ることができる。なお、抽出した物体光波の空間スペクトルから像を再生する方法としては公知の技術を利用することができる。

【0048】

本実施形態では、記録装置10は、単一のレーザ光源LS1から出射される物体照明光によって、物体光の生成と蛍光体14の励起とを行う。蛍光体14を励起するためだけの光源を別途設ける必要がないので、記録装置10の小型化を実現することができる。

10

【0049】

また、記録装置10は、参照光の光軸を物体光の光軸に対して傾けることにより、物体光と蛍光とを分離再生可能なように、ホログラムと蛍光の像とを同時に撮像する。すなわち、記録装置10は、空間周波数面において、物体光波の空間スペクトルと0次回折光および蛍光の空間スペクトルとが分離されるように撮像する。このようにして記録されたホログラムから、再生装置11は、上述のように物体光と蛍光とを分離・再生する。デジタルホログラフィ装置1は、ホログラムと蛍光とを同時に1つの画像として撮像するため、撮像装置12のフレームレートで動画像を記録することが可能となる。また、記録装置10の光学系を、反射型の光学系の代わりに、透過型の光学系にしてもよく、反射光の代わりに透過光、回折光、または散乱光を含む光を記録することもできる。そのため、デジタルホログラフィ装置1は、例えば、細胞内の標的の動きの解析、蛍石または塗料等の透明材料の高速特性評価、および、魚類、植物または果物等の粗面体または散乱体の高速特性評価等に利用することができる。

20

【0050】

なお、撮像装置12として、カラー撮像装置を用いることもできる。カラー撮像装置は、RGB(赤緑青)の各色の画像を記録する。この場合、物体光と蛍光との波長が大きく離れていなければ、1つの色の画像に、ホログラムと蛍光の像とが重畳して含まれ得る。また、光源の波長は複数あるため、光源の波長と同じ波長の蛍光が発生し得る。それゆえ、例えば、再生装置11は、RGBの各色の画像において、上述の物体光および蛍光の分離・再生を行う。例えば、蛍光について、RGBに対応した3つの再生画像が得られる。これにより、被写体13に含まれる蛍光体14が既知でない場合でも、蛍光の色を特定することができる。そのため、カラー撮像装置を用いたデジタルホログラフィ装置は、例えば、物質の反射光と蛍光の波長スペクトル同時解析に利用することができる。なお、例えば物体照明光が赤外線の場合、蛍光は物体照明光の波長より長い波長の不可視光である。この場合、例えば赤外線撮像装置を用いることができる。また例えば、カラー撮像装置のように、撮像装置の画素毎に異なる波長選択フィルタ(不可視光領域の波長を選択的に透過するフィルタ)を設け、不可視光である物体光、参照光、および蛍光を撮像してもよい。

30

【0051】

このように、記録装置10は、コヒーレント光によって形成されるホログラムと、被写体が発光するインコヒーレント光によって形成される被写体の像とが重畳した画像を記録(撮像)する。再生装置11は、上記画像からインコヒーレント光によって形成される被写体の像を分離して再生する。ここでは、被写体が発光するインコヒーレント光が蛍光である場合を例に挙げて説明したが、もちろん、被写体が発光するインコヒーレント光は、蛍光に限らず、任意のインコヒーレント光(燐光、放電による発光等)であってもよい。このことは他の実施形態でも同様である。

40

【0052】

なお、図2のS3のフローの後、再生装置11は、求めた物体光の複素振幅からホログラムの光強度 I_h を求めてもよい。再生装置11は、記録画像からホログラムの光強度 I

50

hを減算することにより、蛍光の像のみを抽出することができる。この場合、再生装置11は、2回目のフーリエ変換(S5)・逆フーリエ変換(S6)の処理を省略することができる。フーリエ変換の処理は計算処理の負荷が大きい。そのため、上記のように処理することで、再生装置11は、蛍光の像の再生処理を高速に行うことができる。

【0053】

ただし、ホログラムの光強度I_hを正確に算出するためには、各画素における参照光の位相を正確に特定し、再生装置11に入力する必要がある。(1)光学系において物体光の光軸に対する参照光の光軸の角度を測定する、(2)記録画像のフーリエ変換画像において、原点から物体光波の空間スペクトルの中心までの距離および波長から参照光の光軸の上記角度を算出する、または、(3)参照光の光軸の上記角度を推定(仮定)することによってユーザは参照光の位相を特定することができる。(1)においては、計測(ホログラムおよび蛍光の記録)の前または後で、キャリブレーション処理を行い角度差の情報を求めておくことも考えられる。キャリブレーション処理では、光軸の角度を測定するためにミラーまたは基準となる物体を物体光路に設置する、または光軸に沿った方向に伝搬する平面波または球面波を物体光として設定し、あらかじめホログラムを記録し、記録したホログラムをフーリエ変換し、物体光の空間スペクトルを抽出して位相情報を得る。平面波など複雑でない位相分布を持つ光であれば、参照光による位相変調量の情報抽出が容易であり、より高い精度で角度差の測定(算出)ができる。測定または推定が正確でない場合、算出されるホログラムの光強度の精度が低くなる。それゆえ、得られる蛍光の像の精度が低くなる。一方、0次回折光の強度は、参照光の位相に関係なく求めることができる。そのため、図2のフローのように処理を行うことにより、得られる蛍光の像の精度を高くすることができる。また、本実施形態の再生方法は、後述する実施形態4の再生方法よりも、蛍光の像の精度を高くすることができる。

10

20

【0054】

また、記録装置10は、物体光、参照光および蛍光が発生していない(遮光された)状態で撮像を行い、キャリブレーションのための画像として、再生装置11に出力してもよい。この画像は、ノイズとなる迷光を撮像したものになる。再生装置11は、記録画像の画素値(強度)から迷光の画像の画素値を減算したものを、較正された記録画像として用いてもよい。これによれば、迷光等のノイズの影響を排除し、より再生の精度を高くすることができる。

30

【0055】

〔実施形態2〕

本実施形態では、複数の波長のレーザ光源を用いる場合について説明する。

【0056】

(物体光および蛍光の記録)

図4は、本実施形態のデジタルホログラフィ装置2の構成を示す模式図である。デジタルホログラフィ装置2は、軸外し型(off-axis型)のデジタルホログラフィ装置である。デジタルホログラフィ装置2は、記録装置20(デジタルホログラフィ記録装置)と再生装置11とを備える。記録装置20は、撮像装置12、波長1のレーザ光源LS1、波長2のレーザ光源LS2(第1光源)、波長3のレーザ光源LS3(第2光源)、および光学系を備える。

40

【0057】

光学系は、ミラー等の複数の光学素子を備え、波長1~3のレーザ光(コヒーレント光)を被写体13および撮像装置12へ導く。具体的には、光学系は、複数の光学素子として、ビームスプリッタBS1~BS2、およびミラーM1~M9、ビームエキスパンダBE1~BE4、および結像素子15を備える。ミラーM5~M9は、ダイクロイックミラーまたは偏光ビームスプリッタからなってもよい。

【0058】

波長1~3のレーザ光は、ミラーM4、M5およびビームスプリッタBS1によって同軸に揃えられる。波長1~3のレーザ光は、ビームスプリッタBS1によって物

50

体照明光と参照光とに分割される。

【0059】

波長 1 ~ 3 の物体照明光は被写体 1 3 に照射される。被写体 1 3 からの波長 1 ~ 3 の物体光は、結像素子 1 5 およびビームスプリッタ B S 2 を通過して、撮像装置 1 2 の撮像面に入射する。

【0060】

波長 2、3 の物体照明光はまた、蛍光体 1 4 を励起する役割（励起光の役割）も果たす。加えて、蛍光体 1 4 は、波長 1 の物体照明光によっても励起されてもよい。蛍光体 1 4 は複数の物体照明光によっても励起されるので、発する蛍光の強度が増強される。蛍光体 1 4 から発せられた蛍光は、物体光と同様に、結像素子 1 5 およびビームスプリッタ B S 2 を通過し、撮像装置 1 2 の撮像面に入射する。

10

【0061】

波長 1 の参照光は、ミラー M 6、M 7 を通過し、ミラー M 2、ビームエキスパンダ B E 2 およびミラー M 3 を経由し、ミラー M 9、M 8 を通過し、ビームスプリッタ B S 2 で反射され、撮像装置 1 2 の撮像面に入射する。

【0062】

波長 2 の参照光は、ミラー M 6 を通過し、ミラー M 7 で反射され、ビームエキスパンダ B E 3 を経由し、ミラー M 9 で反射され、ミラー M 8 を通過し、ビームスプリッタ B S 2 で反射され、撮像装置 1 2 の撮像面に入射する。

【0063】

波長 3 の参照光は、ミラー M 6 で反射され、ビームエキスパンダ B E 4 を経由し、ミラー M 8 で反射され、ビームスプリッタ B S 2 で反射され、撮像装置 1 2 の撮像面に入射する。

20

【0064】

記録装置 2 0 は、波長毎に参照光の経路を分けることで、波長毎に異なる入射角（ $x - z$ 平面における入射角および $y - z$ 平面における入射角）で参照光を撮像面に入射させる。

【0065】

撮像装置 1 2 はモノクロ撮像装置である。撮像装置 1 2 は、複数の波長に対応する複数のホログラムと結像された蛍光の像とが重畳した画像を撮像することになる。

30

【0066】

（物体光および蛍光の再生）

図 5 は、記録された画像を 2 次元フーリエ変換したものを概略的に示す図である。図 5 において、横軸は x 軸の空間周波数 f_x を示し、縦軸は y 軸の空間周波数 f_y を示す。

【0067】

再生装置 1 1 は、記録された画像を 2 次元フーリエ変換することにより、フーリエ変換された画像（図 5）を得る。ホログラムと蛍光の像とを含む画像の空間周波数面において、各波長 1 ~ 3 の 0 次回折光の空間スペクトル、各波長 1 ~ 3 の物体光波（1 次回折光）の空間スペクトル、各波長 1 ~ 3 の共役像（-1 次回折光）の空間スペクトル、ならびに、蛍光の空間スペクトルが存在する。

40

【0068】

各波長 1 ~ 3 の 0 次回折光の空間スペクトルは原点を中心に分布し、互いに重なっている。蛍光の空間スペクトルもまた、その多くが原点を中心に分布する。それゆえ、0 次回折光の空間スペクトルと蛍光の空間スペクトルとは、空間周波数面において、少なくとも一部が互いに重なって分布する。

【0069】

一方、1 ~ 3 の物体光波の空間スペクトルは、各波長の参照光の入射角（物体光の光軸と参照光の光軸との間の角度）に応じて、互いに異なる位置に現れる。例えば撮像面に入射する参照光が x 軸方向に傾いていれば、 f_x の高周波側に物体光波の空間スペクトルが現れる。同様に撮像面に入射する参照光が y 軸方向に傾いていれば、 f_y の高周波側

50

に物体光波の空間スペクトルが現れる。各波長の物体光波の空間スペクトルが分離可能なように（重ならないように）、各波長の入射角が異なるように記録装置 20 は構成される。

【0070】

再生装置 11 は、フーリエ変換された画像から、波長毎に物体光波の空間スペクトルを抽出する。それゆえ、再生装置 11 は、波長毎に、抽出した物体光波の空間スペクトルから各画素の物体光の複素振幅を求めることができる。

【0071】

再生装置 11 は、各波長の 0 次回折光成分を求め、フーリエ変換された画像から各波長の 0 次回折光成分を除去することにより、蛍光の空間スペクトルを抽出することができる。このようにして、複数の波長のホログラムと蛍光の像とが重畳している場合でも、再生装置 11 は、各波長の物体光および蛍光を分離し、再生することができる。デジタルホログラフィ装置 2 は、被写体 13 の 3 次元形状のカラーイメージを行うと共に、蛍光の画像（モノクロ）を得ることができる。また、各波長の参照光の入射角が同じ場合でも、波長差に応じて空間周波数が異なることを利用して各波長の物体光波の空間スペクトルを分離しても良い。また、物体光と蛍光、または各波長の物体光同士の間空間スペクトルが一部重畳する場合、重畳する部分を除いて空間スペクトルを抽出し像を再生しても良い。

【0072】

〔実施形態 3〕

本実施形態では、複数の波長のレーザ光源およびカラー撮像装置を用いる場合について説明する。

【0073】

（物体光および蛍光の記録）

図 6 は、本実施形態のデジタルホログラフィ装置 3 の構成を示す模式図である。デジタルホログラフィ装置 3 は、軸外し型（off-axis 型）のデジタルホログラフィ装置である。デジタルホログラフィ装置 3 は、記録装置 30（デジタルホログラフィ記録装置）と再生装置 11 とを備える。記録装置 30 は、撮像装置 32、波長 1 のレーザ光源 LS1、波長 2 のレーザ光源 LS2、波長 3 のレーザ光源 LS3、および光学系を備える。

【0074】

光学系は、ミラー等の複数の光学素子を備え、波長 1 ~ 3 のレーザ光（コヒーレント光）を被写体 13 および撮像装置 32 へ導く。具体的には、光学系は、複数の光学素子として、ビームスプリッタ BS1 ~ BS2、およびミラー M1 ~ M5、ビームエキスパンダ BE1 ~ BE2、および結像素子 15 を備える。

【0075】

物体照明光、物体光および蛍光の経路は、実施形態 2 と同様である。本実施形態では、実施形態 2 とは異なり、波長 1 ~ 3 の参照光は、同じ経路を通り、互いに同軸で撮像面に入射する。ただし、物体光の光軸と参照光の光軸との間には角度差がある。

【0076】

本実施形態では、実施形態 2 とは異なり、撮像装置 32 はカラー撮像装置である。撮像装置 32 は、R（赤）のサブ画素、G（緑）のサブ画素、および B（青）のサブ画素毎に撮像を行い、カラー画像を生成する。カラー画像には、R チャンネルの情報、G チャンネルの情報、B チャンネルの情報が含まれており、カラー画像から各色の画像を分離することができる。ここで、波長 1 の光は R チャンネルにのみ記録され、波長 2 の光は G チャンネルにのみ記録され、波長 3 の光は B チャンネルにのみ記録されるとする。蛍光はその波長に応じて 1 つまたは複数のチャンネルに記録される。

【0077】

例えば、R チャンネルの画像は、波長 1 の波長のホログラムと蛍光の像とが重畳した画像である。例えば、G チャンネルの画像は、波長 2 の波長のホログラムと蛍光の像とが重畳した画像である。例えば、B チャンネルの画像は、波長 3 の波長のホログラムのみを含む画像である。

10

20

30

40

50

【0078】

再生装置11は、Rチャネルの画像から、上記実施形態と同様に、波長1の物体光と蛍光とを分離し、再生することができる。Gチャネルの画像についても同様である。再生装置11は、Bチャネルの画像から、波長3の物体光を再生することができ、結果的に、蛍光の画像としては真っ暗な画像を得る。

【0079】

再生装置11は、物体光または蛍光について、RGBの再生像を合成することで、カラーの再生像を得ることができる。デジタルホログラフィ装置3は、被写体13の3次元形状のカラーイメージングを行うと共に、蛍光のカラー画像を得ることができる。もちろん、RチャネルおよびGチャネルに加えて、Bチャネルの画像が、波長3の波長のホログラムと蛍光の像とが重畳した画像である場合も、同様にして蛍光のカラー画像を得ることができる。

10

【0080】

〔実施形態4〕

本実施形態では、フーリエ変換を用いない再生方法について説明する。本実施形態の再生装置11は、参照光の位相が空間的に異なる（撮像面の画素毎に参照光の位相が異なる）場合に、空間的位相シフト法を用いて物体光の複素振幅を求める。なお、記録装置は、実施形態1と同様の構成とすることができる。以下に具体的に説明する。

【0081】

（記録装置）

図20の(a)は、撮像装置の画素と参照光との関係を説明する模式図であり、図20の(b)は撮像装置の撮像面（または記録画像）の一部における参照光の位相シフト量を説明する模式図である。図20の(b)の1つの矩形は1つの画素に対応する。

20

【0082】

撮像装置の撮像面には、複数の画素12aが配列している。例えば、参照光がz軸に対してx軸方向に傾いている場合、x軸方向において、画素12a毎に参照光の位相が異なる。例えば、x-z平面における入射角が $4d \cdot \sin =$ を満たす場合、ある画素12aにおける参照光の位相を基準(0)とすると、x軸方向に沿って、参照光の位相が0、 $\pi/2$ 、 π 、 $3\pi/2$ である画素が並ぶ。dは画素ピッチである。この基準からの位相のずれを位相シフト量と呼ぶ。記録画像のホログラムにおける参照光の位相シフト量も同様に、図20の(b)に示すようになる。

30

【0083】

なお、参照光の光軸をx軸およびy軸の両方向に傾けると、参照光の位相は斜めにずれていく。位相シフト量の差は $\pi/2$ に限らない。また、物体光と参照光の光軸が揃ったin-line型の光学系において、空間光変調素子アレイ、ガラスまたは波長板等の位相をシフトさせる素子のアレイ、タルボット効果を起こす回折素子、あるいは、偏光子アレイ等を利用して図20の(c)に示すような参照光の位相分布の記録画像を得てもよい。また、参照光の代わりに、物体光の光軸を傾げるか、物体光路に位相シフト素子アレイを設けるかによって、物体光に位相ずれを生じさせてもよい。

40

【0084】

（再生装置）

図21は、本実施形態の再生装置11が行う再生処理のフローを示す図である。図22は、再生処理のフローの概要を示す図である。図22における矩形は一部を拡大して示される画像の画素を表し、矩形の中の数値は位相シフト量を示す。ここでは、x軸方向（水平方向）の隣接画素において、位相シフト量の差が $2\pi/3$ である場合を例にして説明する。記録画像には、物体光および位相がシフトした参照光が干渉したホログラムと、蛍光の像とが重畳して記録されている。

【0085】

再生装置11は、記録画像から、位相シフト量が同じ画素を抽出し、位相シフト量毎に、複数の画像を得る。再生装置11は、複数の画像について、画素の間の画素値を補間し

50

、補間された複数の画像を得る（S 1 1）。

【0086】

再生装置11は、空間的位相シフト法を用いて、互いに位相シフト量が異なる補間された複数の画像から物体光の複素振幅の分布を得る（S 1 2）。この際、ホログラムのみから物体光の複素振幅を求める空間的位相シフト法の公知の式を利用することができる。再生装置11は、物体光の複素振幅分布から、被写体の再生像を得ることができる。

【0087】

再生装置11は、物体光の複素振幅分布と既知の参照光の強度分布と参照光の位相シフト量とから、ホログラムの光強度 I_h の分布を求める（S 1 3）。再生装置11は、記録画像からホログラムの光強度分布を減算（ホログラムを除去）することにより、蛍光の像を得る（S 1 4）。このようにして、再生装置11は、ホログラムと蛍光の像とが重畳した記録画像から、物体光と蛍光の像とを再生することができる。

10

【0088】

フーリエ変換の処理は計算処理の負荷が大きい。本実施形態によれば、再生処理においてフーリエ変換を必要としないので、高速に物体光および蛍光の像の分離・再生を行うことができる。そのため、本実施形態の再生装置11は、物体光および蛍光の像のリアルタイムでの動画像再生を可能にする。

【0089】

（変形例）

上記では、画素を抽出・補間する場合を例に挙げて説明した。さらなる再生処理負荷の低減を目的として、補間処理を行わずに物体光と蛍光の像とを分離・再生する例について説明する。

20

【0090】

図23は、拡大した記録画像の一部における参照光の位相シフト量を示す図である。参照光の光軸を x 軸および y 軸の両方向に傾けると、参照光の位相シフト量の分布は、図23に示すような分布になる。

【0091】

記録画像の画素値 $I(x, y)$ は、蛍光の像の光強度 $I_f(x, y)$ およびホログラムの光強度 $I_h(x, y)$ の和である。 x, y は画素の座標を示す。

$$I(x, y) = I_f(x, y) + I_h(x, y) \quad (2)$$

30

$$I_h(x, y) = |U_o(x, y)|^2 + |U_r(x, y)|^2 + 2A_o(x, y)A_r(x, y)\cos\{\phi_o(x, y) - \phi_r(x, y)\} \quad (3)$$

ここで、物体光の複素振幅を $U_o(x, y) = A_o(x, y)\exp\{j\phi_o(x, y)\}$ とし、参照光の複素振幅を $U_r(x, y) = A_r(x, y)\exp\{j\phi_r(x, y)\}$ とした。 A_o, A_r は振幅を表し、 ϕ_o, ϕ_r は位相を表す。 j は虚数単位である。 M を x 軸方向の画素数、 N を y 軸方向の画素数とし、 $0 \leq x \leq M-1, 0 \leq y \leq N-1$ とする（ x, y は画素番地（整数））。

【0092】

再生装置11は、対象画素（ x, y ）の近傍にある画素の値を利用して、空間的位相シフト法によって物体光の複素振幅を算出する。具体的には以下の式にて対象画素の物体光を算出する。

40

・（ $x + y$ ）÷ 4の余りが0のとき、

$$U_o(x, y) = \frac{\{I(x, y) - I(x+1, y+1)\} + j\{I(x+1, y) + I(x, y+1) - I(x, y) - I(x+1, y+1)\}}{4A_r(x, y)} \quad (4)$$

・（ $x + y$ ）÷ 4の余りが1のとき、

$$U_o(x, y) = \frac{\{-I(x+1, y) + I(x, y+1) - I(x, y) - I(x+1, y+1)\} + j\{I(x, y) - I(x+1, y+1)\}}{4A_r(x, y)} \quad (5)$$

・（ $x + y$ ）÷ 4の余りが2のとき、

$$U_o(x, y) =$$

50

$$\frac{[-\{I(x,y) - I(x+1,y+1)\} - j\{I(x+1,y) + I(x,y+1) - I(x,y) - I(x+1,y+1)\}]}{\{4Ar(x,y)\}} \quad (6)$$

・ $(x + y) \div 4$ の余りが 3 のとき、

$$U_o(x,y) =$$

$$\frac{\{I(x+1,y) + I(x,y+1) - I(x,y) - I(x+1,y+1)\} - j\{I(x,y) - I(x+1,y+1)\}}{\{4Ar(x,y)\}} \quad (7)$$

となる。これによって、再生装置 11 は、物体光の複素振幅を求めることができる。再生装置 11 は、物体光の複素振幅分布と既知の参照光の強度分布と参照光の位相シフト量（参照光の位相）とから、ホログラムの光強度 I_h の分布を求める。式 (2) より、再生装置 11 は、記録画像の画素値 I からホログラムの光強度 I_h を減算することにより、蛍光の像の光強度 I_f を求める。また、参照光の強度分布にむらがある場合、記録画像から参照光の強度分布を減算した後に空間的位相シフト法の計算をしてもよい。これにより、参照光の強度のむらによる出力される像の画質劣化の問題を緩和することができる。

10

【0093】

この変形例によれば、フーリエ変換および画素の補間処理を行わずに済むので、より再生処理の負荷を低減することができ、より高速に再生を行うことができる。

【0094】

〔シミュレーション 1〕

本発明の実施形態 1 に基づくホログラムの記録および再生のシミュレーション結果について説明する。ここでは、図 1 に示すデジタルホログラフィ装置 1 を用いると仮定する。

20

【0095】

図 7 は、シミュレーションに用いる被写体を示す。図 7 の (a) は、被写体の反射光画像（波長 λ の物体光の画像）を示し、図 7 の (b) は、被写体の蛍光の画像を示し、図 7 の (c) は、被写体の高さ分布を示す。例えば、「C」の文字の箇所からは、波長 λ の物体光はほとんど反射されないが、蛍光は強く出射される。通常のカメラまたは人の目で被写体を観察すると、図 8 に示す画像が認識され、反射光（物体光）と蛍光とを分離して識別することができない。なお、図 7 の (c) において、被写体の高さ（z 方向における撮像装置側への高さ）は、明暗で表されている。明るい箇所は暗い箇所よりも高い。

【0096】

シミュレーションの条件は以下の通りである。光源の波長は $\lambda = 532 \text{ nm}$ である。撮像素子の画素数は 2048×2048 （横 \times 縦）、画素ピッチは横方向 $2.2 \mu\text{m}$ 、縦方向 $2.2 \mu\text{m}$ である。off-axis 型のホログラム記録配置を仮定し、参照光の入射角度は z 軸から x 軸に（x-z 平面で）、y 軸に（y-z 平面で）それぞれ $6.05 \times 10^{-2} \text{ rad}$ である。物体照明光と参照光の強度比は 1 : 1 である。参照光強度分布画像は、計測の事前または事後に記録する。反射光および蛍光の強度は 0 ~ 255（階調数は 256）である。物体の最大高さは 200 nm である。単一の光源により反射光と蛍光を得るため、本シミュレーションでは以下の条件を設ける。反射光と蛍光のエネルギー総和は物体照明光のエネルギーよりも少ないものとする。単一光源より射出された光は励起光の役割と反射光およびそのホログラムを生成する役割とを兼ねる。また、物体光と蛍光とを分離するための、物体光または蛍光を遮光するフィルタを設けない。そのため、フィルタによる蛍光の光量損失がなく明るい画像記録が期待できる。

30

40

【0097】

上記の条件の下、計算機によって、図 9 の (a) に示す記録画像を記録し、再生装置 11 により再生像を計算するシミュレーションを行った。なお、ホログラムの記録も計算機によるシミュレーションによって行っている。記録画像は、ホログラムと蛍光の像とが重畳した画像である。図 9 の (b) に記録画像の一部を拡大したものを示す。このように、記録画像には、干渉縞（ホログラム）が記録されている。

【0098】

図 9 の (a) の記録画像をフーリエ変換すると、図 10 の (a) に示す画像（フーリエ変換画像）が得られる。反射光の成分は、ホログラムとして記録されているため、蛍光画

50

像の成分とは分離して取得できる。フーリエ変換画像から反射光成分の空間スペクトル（右下の丸囲みの範囲）を抽出したものを逆フーリエ変換する。逆フーリエ変換された画像から、図10の（b）に示す反射光画像（再生像）と、図10の（c）に示す位相分布とが求められる。位相分布は、被写体の高さを用いた光の位相で表したものである。位相分布には3次元形状の情報が含まれるため、図10の（c）より被写体の高さ情報が分かる。

【0099】

次に、図11に示すように、記録画像（図9の（a））から、0次回折光成分を減算し、フーリエ変換すると、図12の（a）の画像を得る。このとき、0次回折光成分を減算せずに得られたフーリエ変換画像（図10の（a））と異なり、画像中心部にある空間スペクトルの分布が変わる。これは、0次回折光成分が除去されたことにより、蛍光画像の空間スペクトルのみが中心部に残っていることを示す。すなわち、図12の（a）のフーリエ変換画像から、蛍光画像の空間スペクトル（中央の丸囲みの範囲）のみを抽出し、抽出した空間スペクトルを逆フーリエ変換することにより、図12の（b）の蛍光画像（再生像）を得た。

10

【0100】

定量的評価として、元の画像（図7）に対する再生像の平均二乗誤差、相互相関係数、および信号対雑音比を計算した。反射光画像（再生像）の平均二乗誤差は 8.6×10^{-2} 、相互相関係数は 1.00、信号対雑音比は 56 dB であった。蛍光画像（再生像）の平均二乗誤差は 8.5×10^{-2} 、相互相関係数は 1.00、信号対雑音比は 48 dB であつた。高さ分布（位相分布）の平均二乗誤差は 2.7×10^{-2} nm、相互相関係数は 1.00、信号対雑音比は 79 dB であつた。以上より、動的な物体の瞬間の反射光画像、蛍光画像、3次元形状の情報を単一光源の記録装置により高精度に得られる。

20

【0101】

〔シミュレーション2〕

本発明の実施形態3に基づくホログラムの記録および再生のシミュレーション結果について説明する。ここでは、図6に示すデジタルホログラフィ装置3を使用すると仮定する。

【0102】

図13は、シミュレーションに用いる被写体の反射光画像を示す。図13の（a）は、被写体の反射光のR（赤）チャンネルの画像を示し、図13の（b）は、被写体の反射光のG（緑）チャンネルの画像を示し、図13の（c）は、被写体の反射光のB（青）チャンネルの画像を示し、図13の（d）は、RGBが色合成された被写体の反射光画像を示す。図13の（d）では各色が単色（グレー）で表示されているため、色合成された画像のRBの成分が薄く見えるが、図13の（d）は、各色の画像が合成されたものである。なお、他の色合成された画像でも同様である。

30

【0103】

図14は、シミュレーションに用いる被写体の蛍光の画像を示す。図14の（a）は、被写体の蛍光のRチャンネルの画像を示し、図14の（b）は、被写体の蛍光のGチャンネルの画像を示し、図14の（c）は、被写体の蛍光のBチャンネルの画像を示し、図14の（d）は、RGBが色合成された被写体の蛍光画像を示す。

40

【0104】

図15は、被写体の高さ分布を示す。図15において被写体の高さは、明暗で表されている。通常のカメラや人の目で被写体を観察すると、図16に示す画像が認識され、反射光（物体光）と蛍光とを分離して識別することができない。

【0105】

シミュレーションの条件は以下の通りである。光源の波長は $\lambda_1 = 640$ nm、 $\lambda_2 = 532$ nm、 $\lambda_3 = 473$ nm である。Bayer型のカラーフィルタアレイが付されたカラーイメージセンサを撮像装置32として用いる。カラーフィルタアレイの各チャンネルは λ_1 、 λ_2 、 λ_3 の3波長の光のうち2つの波長の光を遮光する。撮像素子の画素数は

50

2048 × 2048 (横 × 縦)、画素ピッチは横方向 1.4 μm、縦方向 1.4 μm である。off-axis 型のホログラム記録配置を仮定し、参照光の入射角度は x 軸、y 軸それぞれ 6.05×10^{-2} rad である。物体照明光と参照光の強度比は 1 : 1 である。各波長の参照光の強度分布画像は、計測の事前または事後に各波長毎に独立して記録する。反射光および蛍光の強度は 0 から 255 (階調数 256) である。被写体の最大高さは 240 nm である。各光源による光により反射光を得られ、3つの光源のうち2つの光源の光により蛍光体が励起されると仮定する。本シミュレーションでは各光源において、反射光と蛍光のエネルギー総和は物体照明光のエネルギーよりも少ないものとしている。また、反射光と蛍光で等しい波長を有する場合を想定している。例えば、3により発生した蛍光と、1による反射光は、等しい波長成分を含む条件を想定している。すなわち、反射光と蛍光を波長フィルタにより分離できない条件を想定している。なお、波長 3の物体照明光により、シアンの蛍光(文字「A」)、黄緑色の蛍光(文字「0」)、黄色の蛍光(文字「B」)、および赤色の蛍光(文字「1」「2」)が生じるとする。波長 2の物体照明光により、黄緑色の蛍光、黄色の蛍光、および赤色の蛍光が生じるとする。波長 1の物体照明光は、蛍光体を励起しないとする。

【0106】

上記の条件の下、計算機によって、RGBの記録画像をカラーイメージセンサの各チャンネルで記録し、再生像を計算するシミュレーションを行った。なお、ホログラムの記録も計算機によるシミュレーションによって行っている。各記録画像は、ホログラムと蛍光の像とが重畳した画像である。

【0107】

カラーイメージセンサのRGB各チャンネルで記録された各色の記録画像から、色毎に、シミュレーション1と同様の手続きにより反射光画像、蛍光画像、高さ分布(位相分布)を再生する。Rチャンネルの記録画像より図17に示す画像を得た。Gチャンネルの記録画像より図18に示す画像を得た。Bチャンネルの記録画像より図19に示す画像を得た。

【0108】

図17の(a)は、Rチャンネルの記録画像より得た反射光画像(再生像)であり、図17の(b)は、Rチャンネルの記録画像より得た蛍光画像(再生像)であり、図17の(c)は、Rチャンネルの記録画像より得た位相分布である。図18の(a)(b)(c)は、それぞれGチャンネルの記録画像より得た、反射光画像(再生像)、蛍光画像(再生像)、位相分布である。図19の(a)(b)(c)は、それぞれBチャンネルの記録画像より得た、反射光画像(再生像)、蛍光画像(再生像)、位相分布である。図18の(c)および図19の(c)の位相分布では、位相の折り畳み(位相が2を超える位置で明から暗に変化する)が生じているため、中央が暗く表示されている。これらの位相分布からでも、位相接続を行うことで3次元形状の情報を得ることができる。

【0109】

各チャンネルにおいて、反射光と蛍光とを分離・再生し、高さ分布(3次元形状)の情報も得られることが分かる。定量的評価として、元の画像(図13~15)に対する各チャンネルにおける再生像の平均二乗誤差、相互相関係数、および信号対雑音比を計算した。Rチャンネルの反射光画像の平均二乗誤差は 5.8×10^{-1} 、相互相関係数は 1.00、信号対雑音比は 30 dB であった。Rチャンネルの蛍光画像の平均二乗誤差は 9.6×10^{-1} 、相互相関係数は 1.00、信号対雑音比は 29 dB であった。Gチャンネルの反射光画像の平均二乗誤差は 6.0×10^{-1} 、相互相関係数は 1.00、信号対雑音比は 31 dB であった。Gチャンネルの蛍光画像の平均二乗誤差は 1.0、相互相関係数は 1.00、信号対雑音比は 30 dB であった。Bチャンネルの反射光画像の平均二乗誤差は 6.9×10^{-1} 、相互相関係数は 1.00、信号対雑音比は 30 dB であった。Bチャンネルの蛍光画像の平均二乗誤差は 5.9×10^{-1} 、相互相関係数は 1.00、信号対雑音比は 29 dB であった。高さ分布(位相分布)の平均二乗誤差は 3.4×10^{-1} nm、相互相関係数は 1.00、信号対雑音比は 58 dB であった。以上より、動的な物体の瞬間のカラー反射光画像、カラー蛍光画像、3次元形状の情報を得られる。

10

20

30

40

50

【 0 1 1 0 】

〔 シミュレーション 3 〕

本発明の実施形態 4 に基づくホログラムの記録および再生のシミュレーション結果について説明する。ここでは、図 1 に示すデジタルホログラフィ装置 1 を使用すると仮定する。

【 0 1 1 1 】

シミュレーションに用いる被写体（反射光画像、蛍光画像、および高さ分布）は、シミュレーション 1（図 7）のものと同じである。また、記録におけるシミュレーションの条件もシミュレーション 1 と同じである。すなわち、本シミュレーションに用いる記録画像はシミュレーション 1（図 9）のものと同じである。

10

【 0 1 1 2 】

上記の条件の下、計算機によって、図 9 の（ a ）に示す記録画像を記録し、再生装置 1 により再生像を計算するシミュレーションを行った。なお、ホログラムの記録も計算機によるシミュレーションによって行っている。記録画像は、ホログラムと蛍光の像とが重畳した画像である。

【 0 1 1 3 】

再生装置 1 1 により、空間的位相シフト法（上式（ 4 ）～（ 7 ））を用いて、記録画像から物体光の複素振幅（の分布）を求めた。図 2 4 の（ a ）は、物体光の複素振幅を用いて再生した被写体の反射光画像（再生像）であり、図 2 4 の（ b ）は、物体光の複素振幅を用いて計算した位相分布である。反射光画像および位相分布の成分（物体光の情報）はホログラムとして記録されており、空間的位相シフト法の信号処理を施すと蛍光画像から分離してこれらを得ることができる。位相分布には 3 次元形状の情報が含まれるため、図 2 4 の（ b ）より被写体の高さ情報が分かる。

20

【 0 1 1 4 】

再生装置 1 1 により、物体光の複素振幅、参照光の強度分布および参照光の位相から、ホログラムの画像（ホログラムの光強度）を求めた。そして、記録画像からホログラムの画像を減算することにより、図 2 5 に示す蛍光画像（再生）を得た。これは、ホログラムと蛍光の像とが重畳した記録画像から、ホログラムの成分を除去する処理に対応する。このように、再生装置 1 1 によって、ホログラムと蛍光の像とが重畳した記録画像から、反射光画像（物体光の再生像）と蛍光画像とを分離して再生することができた。

30

【 0 1 1 5 】

定量的評価として、元の画像（図 7）に対する再生像の平均二乗誤差、相互相関係数、および信号対雑音比を計算した。反射光画像の平均二乗誤差は 5.8×10^{-1} 、相互相関係数は 0.999、信号対雑音比は 39 dB であった。蛍光画像の平均二乗誤差は 7.5×10^{-1} 、相互相関係数は 0.999、信号対雑音比は 29 dB であった。高さ分布（位相分布）の平均二乗誤差は 3.4×10^{-1} nm、相互相関係数は 1.00、信号対雑音比は 57 dB であった。以上より、動的な物体の瞬間の反射光画像、蛍光画像、3 次元形状の情報を単一光源の記録装置により高精度に得られる。

【 0 1 1 6 】

〔 ソフトウェアによる実現例 〕

再生装置 1 1 の処理は、集積回路（ IC チップ）等に形成された論理回路（ハードウェア）によって実現してもよいし、 CPU（Central Processing Unit）を用いてソフトウェアによって実現してもよい。

40

【 0 1 1 7 】

後者の場合、再生装置 1 1 は、各機能を実現するソフトウェアであるプログラムの命令を実行する CPU、上記プログラムおよび各種データがコンピュータ（または CPU）で読み取り可能に記録された ROM（Read Only Memory）または記憶装置（これらを「記録媒体」と称する）、上記プログラムを展開する RAM（Random Access Memory）などを備えている。そして、コンピュータ（または CPU）が上記プログラムを上記記録媒体から読み取って実行することにより、本発明の目的が達成される。上記記録媒体としては、「

50

一時的でない有形の媒体」、例えば、テープ、ディスク、カード、半導体メモリ、プログラマブルな論理回路などを用いることができる。また、上記プログラムは、該プログラムを伝送可能な任意の伝送媒体（通信ネットワークや放送波等）を介して上記コンピュータに供給されてもよい。なお、本発明は、上記プログラムが電子的な伝送によって具現化された、搬送波に埋め込まれたデータ信号の形態でも実現され得る。

【0118】

〔まとめ〕

本発明の一態様に係るデジタルホログラフィ記録装置は、物体光が生じるように物体に物体照明光を照射する光源と、参照光と前記物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、蛍光の像とを撮像する撮像装置とを備え、前記物体照明光はまた、前記物体に含まれる蛍光体を励起する。

10

【0119】

上記の構成によれば、ホログラムと蛍光の像との両方を分離再生可能な状態で同時に撮像することができる。また、1つの光源から出射される物体照明光が、物体光を生じさせる役割と、蛍光体を励起する励起光としての役割とを兼ねる。そのため、上記デジタルホログラフィ記録装置は小型化に有利である。

【0120】

前記光源は、単一波長の前記物体照明光を出射する構成であってもよい。

【0121】

前記撮像装置は、前記物体光と参照光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記蛍光体が発する蛍光の像とが重畳した画像を撮像する構成であってもよい。

20

【0122】

前記蛍光を前記撮像装置の撮像面に結像させる結像光学素子を備える構成であってもよい。

【0123】

上記の構成によれば、記録された画像から結像した蛍光の像を再生することができる。

【0124】

前記撮像装置は、カラーフィルタを用いないモノクロ撮像装置であってもよい。

【0125】

上記の構成によれば、カラーフィルタを用いずとも、物体光と蛍光とを分離・再生することができる。また、撮像装置は、カラーフィルタによる蛍光の光量損失がなく、明るい画像を記録することができる。

30

【0126】

前記光源は、前記物体に第1波長の物体照明光を照射する第1光源であり、前記第1波長とは異なる第2波長の物体光が生じるように前記物体に前記第2波長の物体照明光を照射する第2光源を備え、前記撮像装置は、前記第1波長のホログラムと、前記第2波長のホログラムと、前記蛍光の像とを撮像し、前記第1波長の物体照明光および前記第2波長の物体照明光の両方は、前記蛍光体を励起する構成であってもよい。

【0127】

上記の構成によれば、2つの波長の物体光による複数のホログラムを得ることができ、物体の分光計測を行うことができる。また、2つの波長の物体照明光によって蛍光体を励起することができるため、蛍光体が発する蛍光の強度を増強することができる。

40

【0128】

前記撮像装置に入射する前記物体光の光軸に対して、前記撮像装置に入射する前記参照光の光軸は傾いている構成であってもよい。

【0129】

上記の構成によれば、記録画像の空間周波数面において、精度よく物体光波の空間スペクトルを抽出することができる。そのため、物体光の再生の精度を高くすることができる。

【0130】

50

本発明の一態様に係るデジタルホログラフィ記録装置は、物体に物体照明光を照射する光源と、参照光と前記物体からの物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記物体に含まれる蛍光体が発する蛍光の像とが重畳した画像を撮像する撮像装置とを備える。

【0131】

上記の構成によれば、ホログラムと蛍光の像との両方を分離再生可能な状態で同時に撮像することができる。

【0132】

本発明の一態様に係るデジタルホログラフィ再生装置は、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、蛍光の像とが重畳した画像から、空間的位相シフト法を用いて前記物体光の複素振幅を求め、前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度（光強度分布）を求め、前記画像から前記ホログラムを除去する（ホログラムの光強度分布を減算する）ことにより、前記蛍光の像（を示す画像）を得る。

10

【0133】

上記の構成によれば、ホログラムと蛍光の像とが重畳した画像から、高速に物体光の情報および蛍光の情報を分離することができる。

【0134】

本発明の一態様に係るデジタルホログラフィ再生装置は、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、蛍光の像とが重畳した画像をフーリエ変換し、フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出し、抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求め、前記物体光の複素振幅から0次回折光成分を求め、フーリエ変換された前記画像から0次回折光成分を除去し、0次回折光成分が除去されたフーリエ変換された前記画像から、前記蛍光の像の空間スペクトルを抽出する。

20

【0135】

上記の構成によれば、ホログラムと蛍光の像とが重畳した画像から、精度よく物体光の情報および蛍光の情報を分離することができる。

【0136】

前記デジタルホログラフィ再生装置は、抽出された前記蛍光の像の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記蛍光の像を得る構成であってもよい。

30

【0137】

上記の構成によれば、ホログラムと蛍光の像とが重畳した画像から、物体光および蛍光の像を分離して再生することができる。

【0138】

本発明の一態様に係るデジタルホログラフィ再生装置は、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、蛍光の像とが重畳した画像をフーリエ変換し、フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出し、抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求め、前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記蛍光の像を得る。

40

【0139】

本発明の一態様に係るデジタルホログラフィ記録方法は、光源から出射された物体照明光を物体に照射することにより物体光を生じさせるとともに、前記物体照明光によって前記物体に含まれる蛍光体を励起するステップと、参照光と前記物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記蛍光体が発する蛍光の像とを撮像するステップとを含む。

【0140】

本発明の一態様に係るデジタルホログラフィ記録方法は、物体照明光を物体に照射するステップと、参照光と前記物体からの物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記物体に含まれる蛍光体が発する蛍光の像とが重畳した画像を撮像するステップ

50

とを含む。

【0141】

本発明の一態様に係るデジタルホログラフィ再生方法は、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、蛍光の像とが重畳した画像から、空間的位相シフト法を用いて前記物体光の複素振幅を求めるステップと、前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求めるステップと、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記蛍光の像を得るステップとを含む。

【0142】

本発明の一態様に係るデジタルホログラフィ再生方法は、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、蛍光の像とが重畳した画像をフーリエ変換するステップと、フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出するステップと、抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求めるステップと、前記物体光の複素振幅から0次回折光成分を求め、フーリエ変換された前記画像から0次回折光成分を除去するステップと、0次回折光成分が除去されたフーリエ変換された前記画像から、前記蛍光の像の空間スペクトルを抽出するステップとを含む。

10

【0143】

本発明の一態様に係るデジタルホログラフィ再生方法は、参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、蛍光の像とが重畳した画像をフーリエ変換するステップと、フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出するステップと、抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求めるステップと、前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記蛍光の像を得るステップとを含む。

20

【0144】

本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせ得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。

【産業上の利用可能性】

【0145】

本発明は、デジタルホログラフィ装置、ハイスピード3Dカメラ、および蛍光3次元顕微鏡等に利用することができる。

30

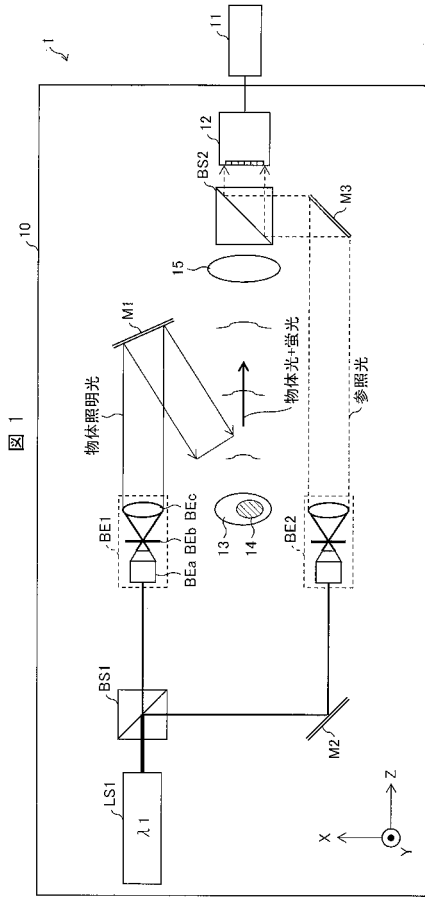
【符号の説明】

【0146】

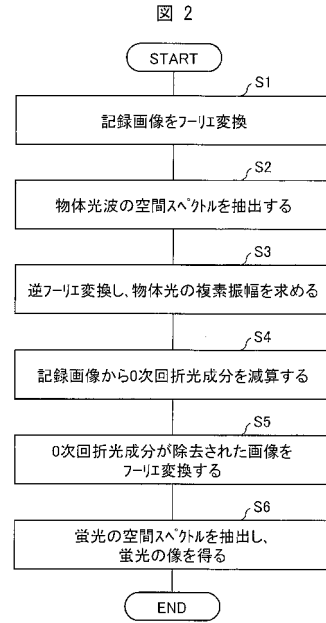
- 1～3 デジタルホログラフィ装置
- 10、20、30 記録装置（デジタルホログラフィ記録装置）
- 11 再生装置（デジタルホログラフィ再生装置）
- 12、32 撮像装置
- 13 被写体（物体）
- 14 蛍光体
- 15 結像素子（結像光学素子）
- LS1～LS3 レーザ光源（第1光源、第2光源）

40

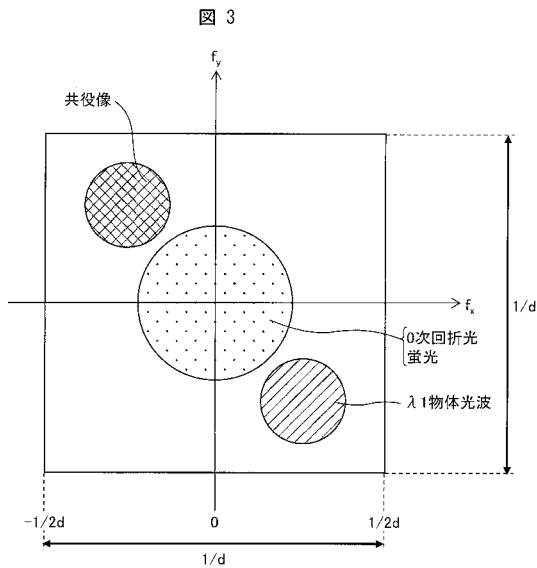
【 図 1 】



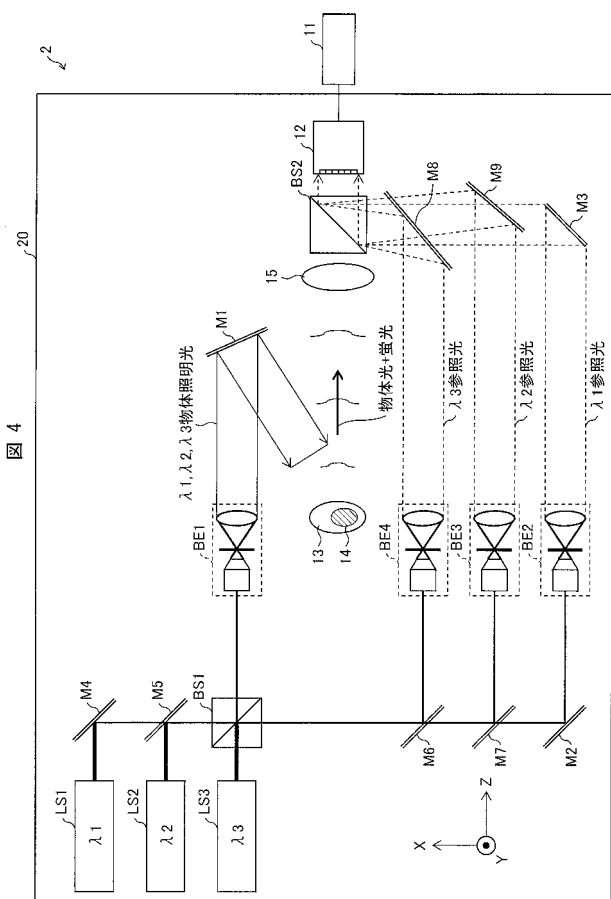
【 図 2 】



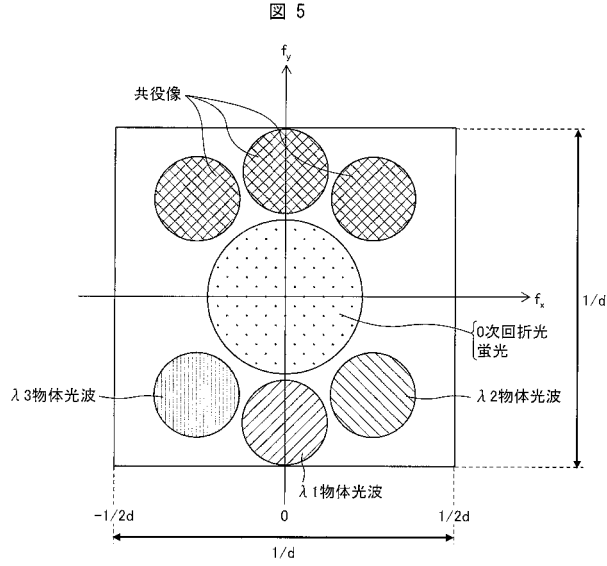
【 図 3 】



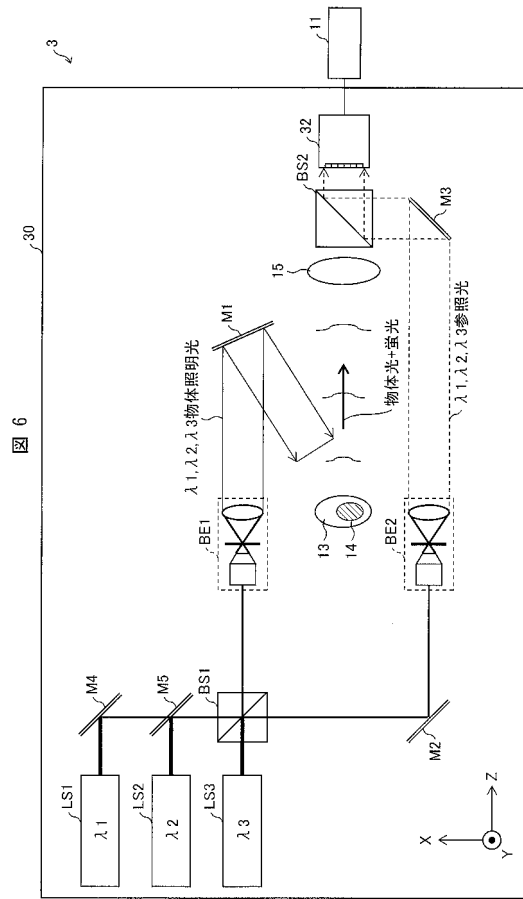
【 図 4 】



【 図 5 】

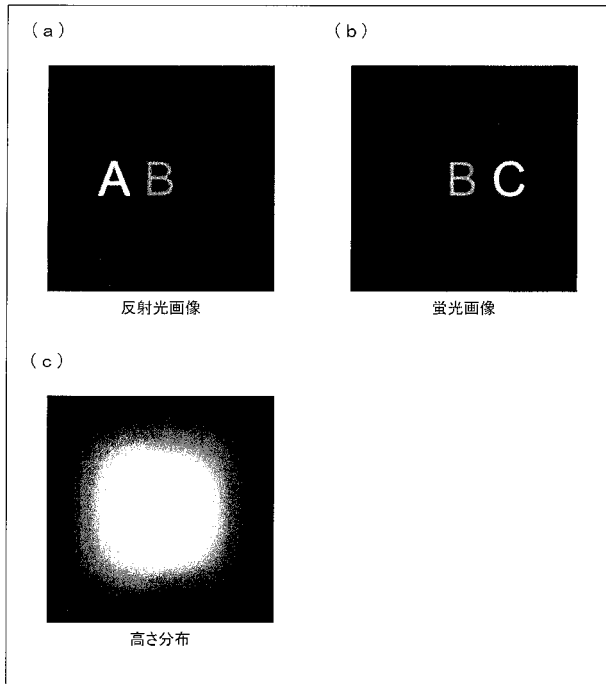


【 図 6 】



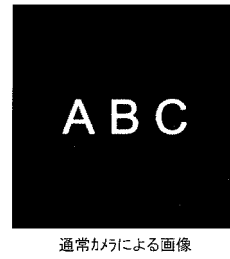
【 図 7 】

図 7



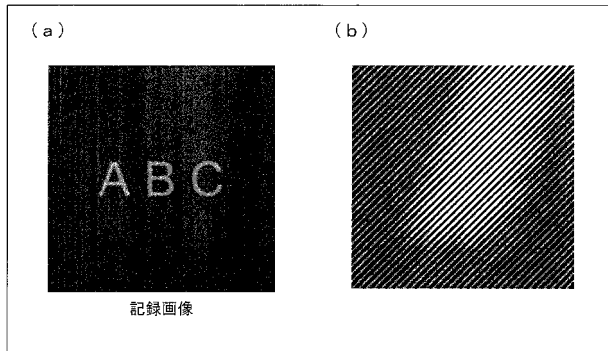
【 図 8 】

図 8



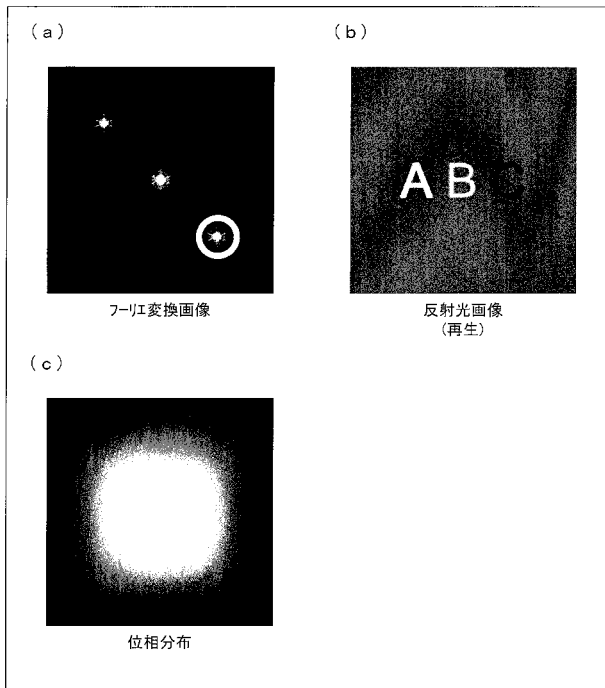
【 図 9 】

図 9



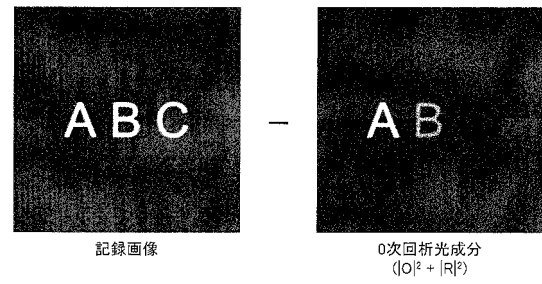
【図 1 0】

図 10



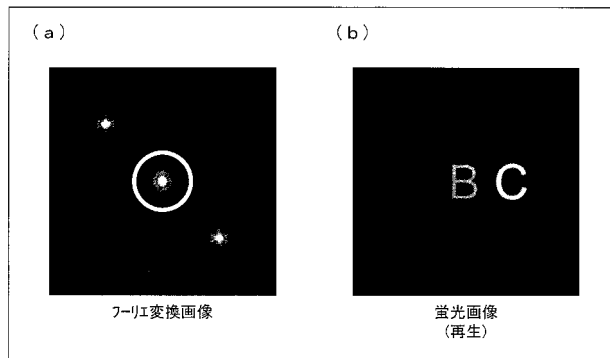
【図 1 1】

図 11



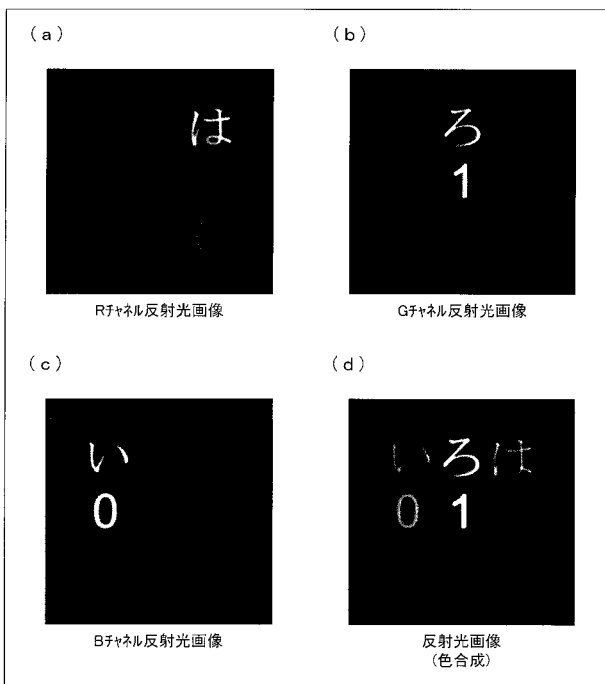
【図 1 2】

図 12



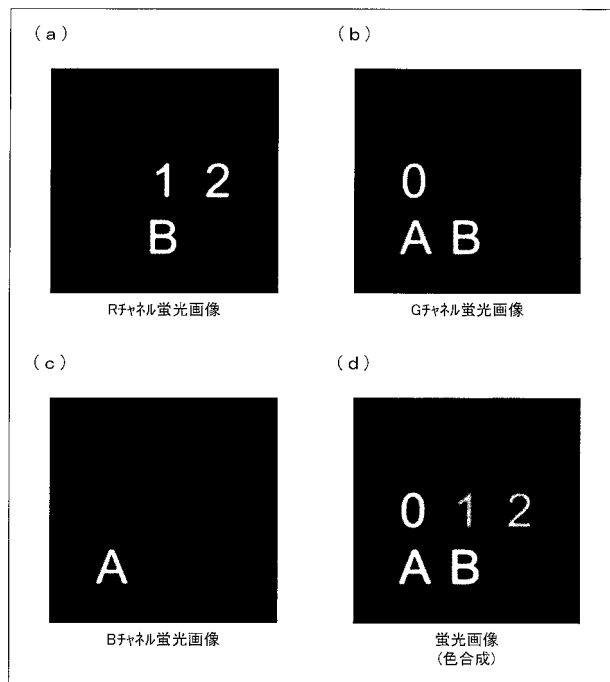
【図 1 3】

図 13



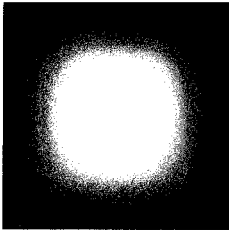
【図 1 4】

図 14



【図 15】

図 15



高さ分布

【図 16】

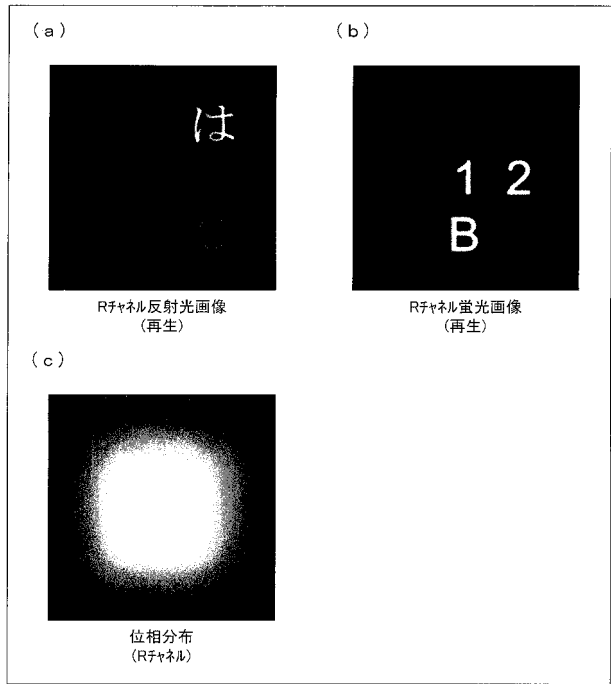
図 16



通常カメラによる画像

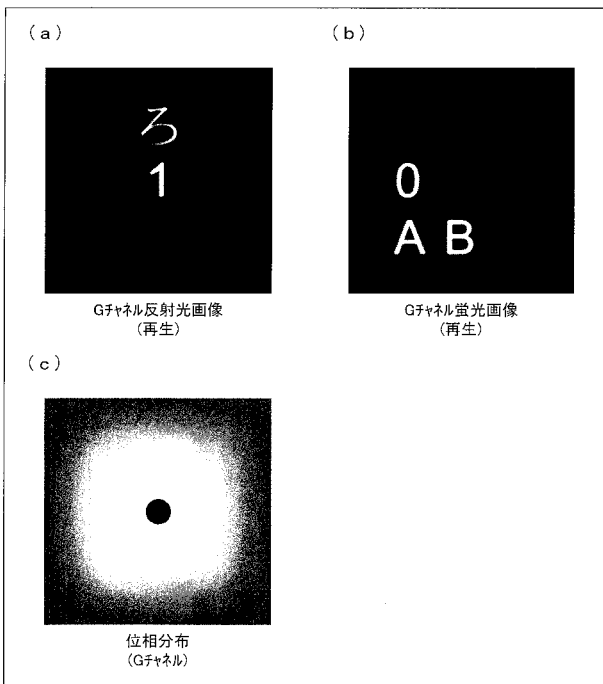
【図 17】

図 17



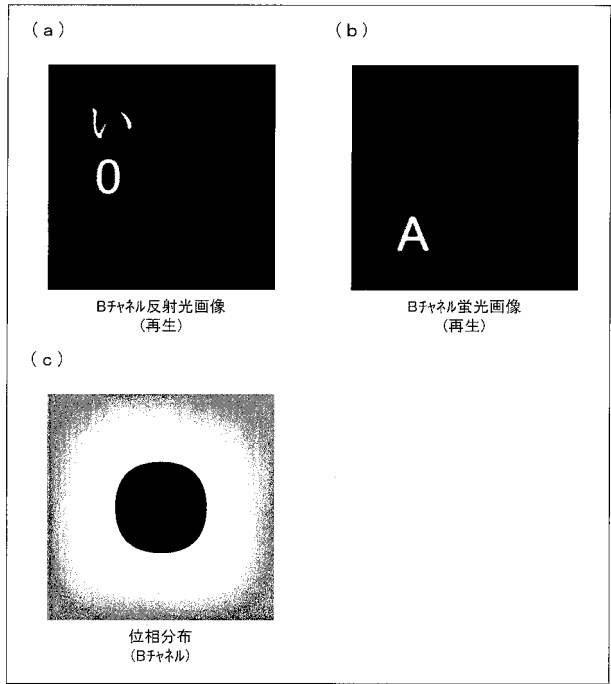
【図 18】

図 18



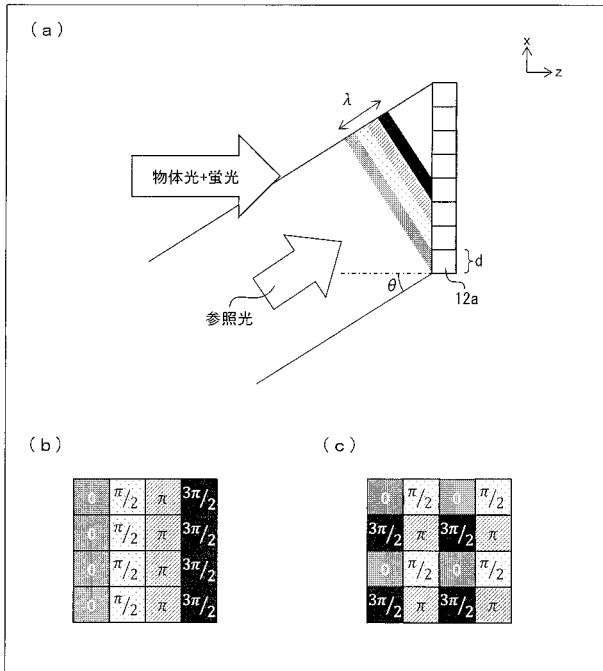
【図 19】

図 19



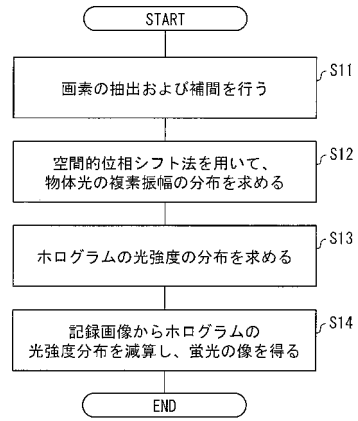
【 図 2 0 】

図 20



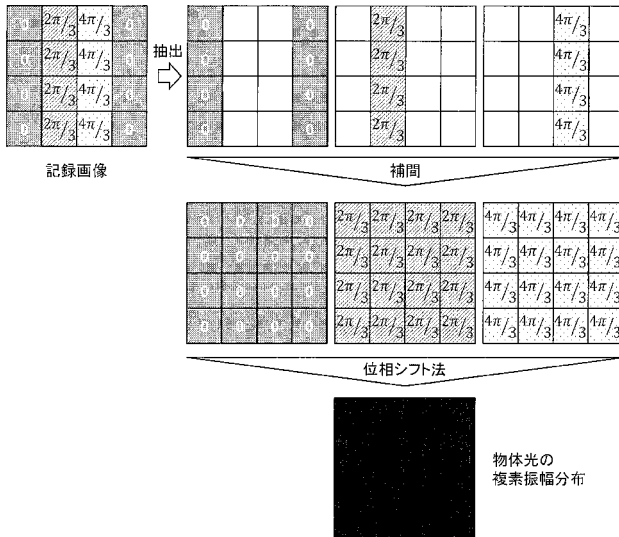
【 図 2 1 】

図 21



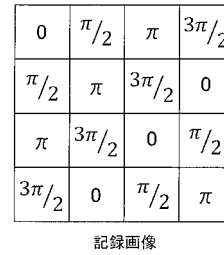
【 図 2 2 】

図 22



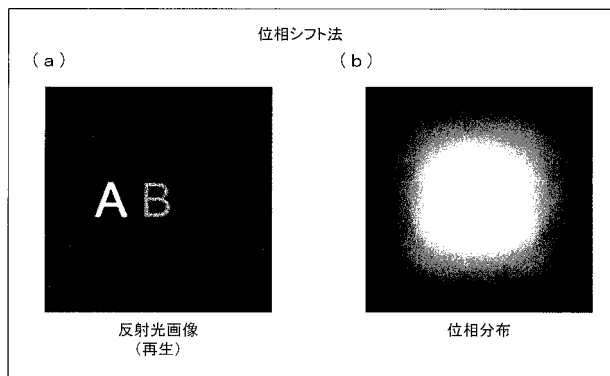
【 図 2 3 】

図 23



【 図 2 4 】

図 24



【 図 2 5 】



【 手続補正書 】

【 提出日 】 平成28年6月28日 (2016.6.28)

【 手続補正 1 】

【 補正対象書類名 】 特許請求の範囲

【 補正対象項目名 】 全文

【 補正方法 】 変更

【 補正の内容 】

【 特許請求の範囲 】

【 請求項 1 】

物体光が生じるように物体に物体照明光を照射する光源と、
参照光と前記物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、蛍光の像とを同時に撮像する撮像装置とを備え、

前記物体照明光はまた、前記物体に含まれる蛍光体を励起することを特徴とするデジタルホログラフィ記録装置。

【 請求項 2 】

前記光源は、単一波長の前記物体照明光を出射することを特徴とする請求項 1 に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【 請求項 3 】

前記撮像装置は、前記物体光と参照光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記蛍光体が発する蛍光の像とが重畳した画像を撮像することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【 請求項 4 】

前記蛍光を前記撮像装置の撮像面に結像させる結像光学素子を備えることを特徴とする請求項 3 に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【 請求項 5 】

前記撮像装置は、カラーフィルタを用いないモノクロ撮像装置であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 6】

前記光源は、前記物体に第 1 波長の物体照明光を照射する第 1 光源であり、

前記第 1 波長とは異なる第 2 波長の物体光が生じるように前記物体に前記第 2 波長の物体照明光を照射する第 2 光源を備え、

前記撮像装置は、前記第 1 波長のホログラムと、前記第 2 波長のホログラムと、前記蛍光の像とを撮像し、

前記第 1 波長の物体照明光および前記第 2 波長の物体照明光の両方は、前記蛍光体を励起することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 7】

前記撮像装置に入射する前記物体光の光軸に対して、前記撮像装置に入射する前記参照光の光軸は傾いていることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 8】

物体に物体照明光を照射する光源と、

参照光と前記物体からの物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記物体に含まれる蛍光体が発する蛍光の像とを同時に撮像することにより、前記ホログラムと前記蛍光の像とが重畳した画像を撮像する撮像装置とを備えることを特徴とするデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 9】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像から、空間的位相シフト法を用いて前記物体光の複素振幅を求め、

前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、

前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得ることを特徴とするデジタルホログラフィ再生装置。

【請求項 10】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換し、

フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出し、

抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求め、

前記物体光の複素振幅から 0 次回折光成分を求め、フーリエ変換された前記画像から 0 次回折光成分を除去し、

0 次回折光成分が除去されたフーリエ変換された前記画像から、前記インコヒーレント光の像の空間スペクトルを抽出することを特徴とするデジタルホログラフィ再生装置。

【請求項 11】

抽出された前記インコヒーレント光の像の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記インコヒーレント光の像を得ることを特徴とする請求項 10 に記載のデジタルホログラフィ再生装置。

【請求項 12】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換し、

フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出し、

抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求め、

前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得ることを特徴とするデジタルホログラフィ再生装置。

【請求項 13】

光源から出射された物体照明光を物体に照射することにより物体光を生じさせるとともに、前記物体照明光によって前記物体に含まれる蛍光体を励起するステップと、

参照光と前記物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記蛍光体が発する蛍光の像とを同時に撮像するステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ記録方法。

【請求項 14】

物体照明光を物体に照射するステップと、

参照光と前記物体からの物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記物体に含まれる蛍光体が発する蛍光の像とを同時に撮像することにより、前記ホログラムと前記蛍光の像とが重畳した画像を撮像するステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ記録方法。

【請求項 15】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像から、空間的位相シフト法を用いて前記物体光の複素振幅を求めるステップと、

前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求めるステップと、

前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得るステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ再生方法。

【請求項 16】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換するステップと、

フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出するステップと、

抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求めるステップと、

前記物体光の複素振幅から 0 次回折光成分を求め、フーリエ変換された前記画像から 0 次回折光成分を除去するステップと、

0 次回折光成分が除去されたフーリエ変換された前記画像から、前記インコヒーレント光の像の空間スペクトルを抽出するステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ再生方法。

【請求項 17】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換するステップと、

フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出するステップと、

抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求めるステップと、

前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得るステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ再生方法。

【手続補正書】

【提出日】平成28年11月4日(2016.11.4)

【手続補正 1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

物体光が生じるように物体に物体照明光を照射する光源と、

参照光と前記物体光とが干渉することにより形成され、画素に応じて変化する前記参照光および前記物体光についての位相シフト量が導入されたホログラムと、蛍光の像とを同時に撮像する撮像装置とを備え、

前記物体照明光はまた、前記物体に含まれる蛍光体を励起することを特徴とするデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 2】

前記光源は、単一波長の前記物体照明光を出射することを特徴とする請求項 1 に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 3】

前記撮像装置は、前記物体光と参照光とが干渉することにより形成されるホログラムと、前記蛍光体が発する蛍光の像とが重畳した画像を撮像することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 4】

前記蛍光を前記撮像装置の撮像面に結像させる結像光学素子を備えることを特徴とする請求項 3 に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 5】

前記撮像装置は、カラーフィルタを用いないモノクロ撮像装置であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 6】

前記光源は、前記物体に第 1 波長の物体照明光を照射する第 1 光源であり、

前記第 1 波長とは異なる第 2 波長の物体光が生じるように前記物体に前記第 2 波長の物体照明光を照射する第 2 光源を備え、

前記撮像装置は、前記第 1 波長のホログラムと、前記第 2 波長のホログラムと、前記蛍光の像とを撮像し、

前記第 1 波長の物体照明光および前記第 2 波長の物体照明光の両方は、前記蛍光体を励起することを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 7】

前記撮像装置に入射する前記物体光の光軸に対して、前記撮像装置に入射する前記参照光の光軸は傾いていることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか一項に記載のデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 8】

物体に物体照明光を照射する光源と、

参照光と前記物体からの物体光とが干渉することにより形成され、画素に応じて変化する前記参照光および前記物体光についての位相シフト量が導入されたホログラムと、前記物体に含まれる蛍光体が発する蛍光の像とを同時に撮像することにより、前記ホログラムと前記蛍光の像とが重畳した画像を撮像する撮像装置とを備えることを特徴とするデジタルホログラフィ記録装置。

【請求項 9】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像から、空間的位相シフト法を用いて前記物体光の複素振幅を求め、

前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、

前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得ることを特徴とするデジタルホログラフィ再生装置。

【請求項 10】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換し、

フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出し、

抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複

素振幅を求め、

前記物体光の複素振幅から 0 次回折光成分を求め、フーリエ変換された前記画像から 0 次回折光成分を除去し、

0 次回折光成分が除去されたフーリエ変換された前記画像から、前記インコヒーレント光の像の空間スペクトルを抽出することを特徴とするデジタルホログラフィ再生装置。

【請求項 1 1】

抽出された前記インコヒーレント光の像の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記インコヒーレント光の像を得ることを特徴とする請求項 1 0 に記載のデジタルホログラフィ再生装置。

【請求項 1 2】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換し、

フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出し、

抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求め、

前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得ることを特徴とするデジタルホログラフィ再生装置。

【請求項 1 3】

光源から出射された物体照明光を物体に照射することにより物体光を生じさせるとともに、前記物体照明光によって前記物体に含まれる蛍光体を励起するステップと、

参照光と前記物体光とが干渉することにより形成され、画素に応じて変化する前記参照光および前記物体光についての位相シフト量が導入されたホログラムと、前記蛍光体が発する蛍光の像とを同時に撮像するステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ記録方法。

【請求項 1 4】

物体照明光を物体に照射するステップと、

参照光と前記物体からの物体光とが干渉することにより形成され、画素に応じて変化する前記参照光および前記物体光についての位相シフト量が導入されたホログラムと、前記物体に含まれる蛍光体が発する蛍光の像とを同時に撮像することにより、前記ホログラムと前記蛍光の像とが重畳した画像を撮像するステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ記録方法。

【請求項 1 5】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像から、空間的位相シフト法を用いて前記物体光の複素振幅を求めるステップと、

前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求めるステップと、

前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得るステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ再生方法。

【請求項 1 6】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換するステップと、

フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出するステップと、

、

抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求めるステップと、

前記物体光の複素振幅から 0 次回折光成分を求め、フーリエ変換された前記画像から 0 次回折光成分を除去するステップと、

0 次回折光成分が除去されたフーリエ変換された前記画像から、前記インコヒーレント光の像の空間スペクトルを抽出するステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラ

フィ再生方法。

【請求項 17】

参照光と物体光とが干渉することにより形成されるホログラムと、インコヒーレント光の像とが重畳した画像をフーリエ変換するステップと、

フーリエ変換された前記画像から、前記物体光の空間スペクトルを抽出するステップと

、

抽出された前記物体光の空間スペクトルを逆フーリエ変換することで、前記物体光の複素振幅を求めるステップと、

前記物体光の複素振幅から前記ホログラムの強度を求め、前記画像から前記ホログラムを除去することにより、前記インコヒーレント光の像を得るステップとを含むことを特徴とするデジタルホログラフィ再生方法。

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2016/052487
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G03H1/00(2006.01)i, G01N21/64(2006.01)i, G03H1/06(2006.01)i, G03H1/22(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G03H1/00, G01N21/64, G03H1/06, G03H1/22 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2016 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2016 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2016 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y A	JP 2004-538451 A (Universite Libre de Bruxelles), 24 December 2004 (24.12.2004), paragraphs [0049] to [0061] & US 2004/0156098 A1 paragraphs [0058] to [0075] & WO 2003/002972 A2 & EP 1321760 A1 & CA 2451166 A & AU 2002344849 A & CA 2724743 A & ES 2398088 T	1-4, 8, 13-14 5-7 9-12, 15-17
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 12 April 2016 (12.04.16)		Date of mailing of the international search report 26 April 2016 (26.04.16)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan		Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2016/052487

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y A	JP 2013-508775 A (The Regents of the University of California), 07 March 2013 (07.03.2013), paragraphs [0020] to [0024], [0033], [0048] & US 2012/0218379 A1 paragraphs [0035] to [0039], [0048], [0063] & WO 2011/049965 A1 & EP 2491366 A & CA 2778284 A & KR 10-2012-0071405 A	5-7 9-12,15-17
Y A	JP 2013-507647 A (Universite Libre de Bruxelles), 04 March 2013 (04.03.2013), paragraphs [0021], [0063] to [0074] & US 2012/0200901 A1 paragraphs [0021], [0141] to [0152] & WO 2011/042442 A1 & EP 2357539 A1 & CA 2772735 A & CN 102576209 A & KR 10-2012-0093270 A	6-7 9-12,15-17
Y A	JP 2013-54336 A (Mitsutoyo Corp.), 21 March 2013 (21.03.2013), paragraph [0039] & US 2013/0057935 A1 paragraph [0066] & EP 2565725 A1 & CN 102981390 A	7 9-12,15-17

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 6 / 0 5 2 4 8 7													
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G03H1/00(2006.01)i, G01N21/64(2006.01)i, G03H1/06(2006.01)i, G03H1/22(2006.01)i															
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G03H1/00, G01N21/64, G03H1/06, G03H1/22															
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2016年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2016年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2016年	日本国実用新案登録公報	1996-2016年	日本国登録実用新案公報	1994-2016年				
日本国実用新案公報	1922-1996年														
日本国公開実用新案公報	1971-2016年														
日本国実用新案登録公報	1996-2016年														
日本国登録実用新案公報	1994-2016年														
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語) JSTPlus/JMEDPlus/JST7580 (JDreamIII)															
C. 関連すると認められる文献															
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号													
X Y A	JP 2004-538451 A (ユニベルスイテ リープル ドウ ブリュッセ ル) 2004.12.24, 段落[0049]-[0061] & US 2004/0156098 A1, 段落[0058]-[0075] & WO 2003/002972 A2 & EP 1321760 A1 & CA 2451166 A & AU 2002344849 A & CA 2724743 A & ES 2398088 T	1-4, 8, 13-14 5-7 9-12, 15-17													
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。 <input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。															
<table border="0"> <tr> <td>* 引用文献のカテゴリー</td> <td>の日の後に公表された文献</td> </tr> <tr> <td>「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの</td> <td>「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの</td> </tr> <tr> <td>「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの</td> <td>「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)</td> <td>「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの</td> </tr> <tr> <td>「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献</td> <td>「&」同一パテントファミリー文献</td> </tr> <tr> <td>「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願</td> <td></td> </tr> </table>				* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献	「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの	「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの	「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの	「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献	「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願	
* 引用文献のカテゴリー	の日の後に公表された文献														
「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの	「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの														
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの	「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの														
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)	「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの														
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献	「&」同一パテントファミリー文献														
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願															
国際調査を完了した日 12.04.2016		国際調査報告の発送日 26.04.2016													
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 早川 貴之 電話番号 03-3581-1101 内線 3271	20 3314												

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2 0 1 6 / 0 5 2 4 8 7
C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
Y A	JP 2013-508775 A (ザ リージェンツ オブ ザ ユニバーシティ オブ カリフォルニア) 2013.03.07, 段落[0020]-[0024], [0033], [0048] & US 2012/0218379 A1, 段落[0035]-[0039], [0048], [0063] & WO 2011/049965 A1 & EP 2491366 A & CA 2778284 A & KR 10-2012-0071405 A	5-7 9-12, 15-17
Y A	JP 2013-507647 A (ユニヴェルシテ リブル ドゥ ブリュッセル) 2013.03.04, 段落[0021], [0063]-[0074] & US 2012/0200901 A1, 段落[0021], [0141]-[0152] & WO 2011/042442 A1 & EP 2357539 A1 & CA 2772735 A & CN 102576209 A & KR 10-2012-0093270 A	6-7 9-12, 15-17
Y A	JP 2013-54336 A (株式会社ミットヨ) 2013.03.21, 段落[0039] & US 2013/0057935 A1, 段落[0066] & EP 2565725 A1 & CN 102981390 A	7 9-12, 15-17

フロントページの続き

(51)Int.Cl. F I テーマコード(参考)
G 0 3 H 1/06 (2006.01) G 0 2 B 21/00
 G 0 3 H 1/06

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, T
 J, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, R
 O, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ,
 BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, H
 N, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG
 , NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ,
 UA, UG, US

(72)発明者 佐藤 いまり
 東京都千代田区一ツ橋2 - 1 - 2 大学共同利用機関法人情報・システム研究機構 国立情報学研
 究所内

(72)発明者 高橋 祐樹
 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号 学校法人関西大学システム理工学部内

(72)発明者 神野 健也
 大阪府吹田市山手町3丁目3番35号 学校法人関西大学システム理工学部内

Fターム(参考) 2G043 AA03 BA01 BA06 BA07 BA16 CA04 CA05 DA02 EA01 EA02
 EA06 EA13 EA14 EA15 FA01 FA02 FA03 FA06 GA02 GA08
 GA21 GB21 HA01 HA02 HA06 HA07 HA09 HA15 JA02 JA03
 KA01 KA02 KA03 KA07 KA09 LA03 MA01 NA01 NA05 NA13
 2H052 AA04 AA09 AC04 AC09 AC14 AC27 AC34 AF14 AF25
 2K008 AA06 BB04 CC01 CC03 FF21 HH03 HH06 HH28

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に
 係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法
 第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。