

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02009/066771

発行日 平成23年4月7日(2011.4.7)

(43) 国際公開日 平成21年5月28日(2009.5.28)

| | | |
|----------------------------|-----------|------------|
| (51) Int.Cl. | F I | テーマコード(参考) |
| G03H 1/22 (2006.01) | G03H 1/22 | 2H149 |
| G02B 5/30 (2006.01) | G02B 5/30 | 2K008 |

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 65 頁)

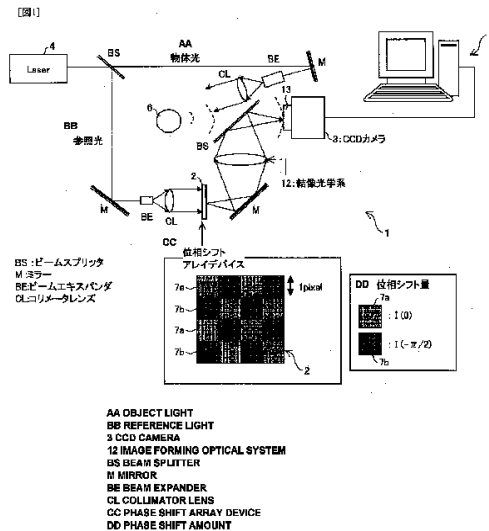
| | | | |
|--------------|------------------------------|----------|---|
| 出願番号 | 特願2009-542605 (P2009-542605) | (71) 出願人 | 504255685 国立大学法人京都工芸繊維大学 京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地 |
| (21) 国際出願番号 | PCT/JP2008/071246 | (74) 代理人 | 110000338 特許業務法人原謙三国際特許事務所 |
| (22) 国際出願日 | 平成20年11月21日(2008.11.21) | (72) 発明者 | 粟辻 安浩 日本国京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地 国立大学法人京都工芸繊維大学内 |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2007-303127 (P2007-303127) | (72) 発明者 | 金子 篤志 日本国京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地 国立大学法人京都工芸繊維大学内 |
| (32) 優先日 | 平成19年11月22日(2007.11.22) | (72) 発明者 | 小山 貴正 日本国京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地 国立大学法人京都工芸繊維大学内 |
| (33) 優先権主張国 | 日本国(JP) | | |
| (31) 優先権主張番号 | 特願2008-31965 (P2008-31965) | | |
| (32) 優先日 | 平成20年2月13日(2008.2.13) | | |
| (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装置及び位相板アレイ

(57) 【要約】

装置構成を容易にし、かつ画質が向上したデジタルホログラフィ装置(1)は、光を出射し、出射した光に基づいて被写体(6)から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源(4)と、光源(4)から出射された光を、その進行方向に垂直な平面上において互いに位相が異なる2種類の参照光に分割するアレイデバイス(2)と、アレイデバイス(2)によって分割された2種類の参照光と被写体(6)から放射または透過または散乱または反射または回折された物体光とがそれぞれ干渉した2種類の干渉縞が記録される撮像面(13)を有するCCDカメラ(3)と、撮像面(13)に記録された2種類の干渉縞に基づいて被写体(6)の再生像を生成する再生像生成器(5)とを備える。



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源と、

前記光源から出射された光を、その進行方向に垂直な平面上において互いに位相が異なる 2 種類の参照光に分割する位相シフト素子と、

前記位相シフト素子によって分割された 2 種類の参照光と前記被写体から放射または透過または散乱または反射または回折された物体光とがそれぞれ干渉した 2 種類の干渉縞が記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された 2 種類の干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。 10

【請求項 2】

前記位相シフト素子は、前記光源から出射された光の進行方向に垂直な平面上において格子状に配置された 2 種類の領域を有するアレイデバイスである請求項 1 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 3】

前記撮像手段は、CCDカメラまたはCMOSイメージセンサーカメラであり、

前記 2 種類の領域は、前記撮像手段の各画素に対応して配置されている請求項 2 記載のデジタルホログラフィ装置。 20

【請求項 4】

前記位相シフト素子は、位相シフト計測手段の基準となる位相を有する参照光と、その参照光と 0 からラジアンの間のある値分位相が異なる参照光とに前記光を分割する請求項 1 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 5】

前記光源は、第 1 方向に偏光した光を出射し、

前記位相シフト素子によって分割された 2 種類の参照光の一方は第 2 方向に偏光し、前記参照光の他方は第 3 方向に偏光し、

前記物体光と前記 2 種類の参照光とを透過させる偏光子アレイデバイスをさらに備え、

前記偏光子アレイデバイスは、前記第 2 方向に偏光した参照光の一方と前記物体光の前記第 2 方向への正射影成分とを透過させる第 1 領域と、前記第 3 方向に偏光した参照光の他方と前記物体光の前記第 3 方向への正射影成分とを透過させる第 2 領域とを有している請求項 1 記載のデジタルホログラフィ装置。 30

【請求項 6】

前記偏光子アレイデバイスは、前記撮像手段と一体に構成されている請求項 5 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 7】

前記位相シフト素子は、 $1/4$ 波長板である請求項 5 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 8】

前記光源は、第 1 方向偏光成分と第 2 方向偏光成分とを有する直線偏光を出射し、 40

前記物体光を第 1 方向偏光成分の光に変換し、前記光源から出射された光を第 2 方向偏光成分の光に変換する偏光ビームスプリッタをさらに備え、

前記位相シフト素子は、前記第 2 方向偏光成分の光を、その進行方向に垂直な平面上において互いに位相が異なる 2 種類の参照光に分割する波長板光学媒質アレイデバイスと、前記物体光の第 3 方向偏光成分と前記 2 種類の参照光の第 3 方向偏光成分と透過させる偏光子とを有している請求項 1 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 9】

前記位相シフト素子は、前記撮像手段と一体に構成されている請求項 8 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 10】

前記波長板光学媒質アレイデバイスは、前記第2方向偏光成分の光を透過させる光学媒質と、前記第2方向偏光成分の光を位相をシフトさせて透過させる1/4波長板とを有している請求項8記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項11】

光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源と、

前記物体光に基づいて、互いに光路差が異なる第1光路物体光及び第2光路物体光を生成し、前記光源から出射された光に基づいて、互いに光路差が異なる第1光路参照光及び第2光路参照光を生成する光路差生成素子と、

前記光路差生成素子によって生成された第1光路物体光及び第1光路参照光が干渉した第1干渉縞と、前記光路差生成素子によって生成された第2光路物体光及び第2光路参照光が干渉した第2干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第1干渉縞と第2干渉縞とに基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項12】

前記光路差生成素子は、前記物体光及び前記光源から出射された光の進行方向に垂直な平面上において格子状に配置された2種類の領域を有するアレイデバイスである請求項11記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項13】

前記撮像手段は、CCDカメラまたはCMOSイメージセンサーカメラであり、

前記2種類の領域の一方は、前記物体光及び前記光源から出射された光に基づいて、前記第1光路物体光及び前記第1光路参照光をそれぞれ生成し、

前記2種類の領域の他方は、前記物体光及び前記光源から出射された光に基づいて、前記第2光路物体光及び前記第2光路参照光をそれぞれ生成する請求項12記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項14】

前記アレイデバイスは、物体光と参照光とに対して屈折率が等しい光学媒質によって形成されており、

前記2種類の領域の一方の厚みと前記2種類の領域の他方の厚みとは、互いに異なっている、請求項12記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項15】

前記アレイデバイスは、入射する物体光および参照光に対して第1屈折率を有する第1光学媒質と、前記物体光および参照光に対して第2屈折率を有する第2光学媒質とによって形成されており、

前記第1屈折率と前記第2屈折率とは、互いに異なっており、

前記第1および第2光学媒質は、同じ厚みを有している請求項12記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項16】

第1方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、

前記物体光と前記光源ユニットから出射された第1方向偏光成分の光とを位相をシフトさせて透過させる第1領域と、前記物体光と前記光源ユニットから出射された第1方向偏光成分の光とを透過させる第2領域とを有する位相シフト素子と、

前記第1領域を位相をシフトさせて透過した前記物体光と前記光とが干渉した第1干渉縞と、前記第2領域を透過した前記物体光と前記光とが干渉した第2干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第1及び第2干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項17】

前記撮像手段は、CCDカメラまたはCMOSイメージセンサーカメラであり、

前記2種類の領域の一方は、前記物体光及び前記光源から出射された光に基づいて、前記第1光路物体光及び前記第1光路参照光をそれぞれ生成し、

前記2種類の領域の他方は、前記物体光及び前記光源から出射された光に基づいて、前記第2光路物体光及び前記第2光路参照光をそれぞれ生成する請求項12記載のデジタルホログラフィ装置。

10

20

30

40

50

前記位相シフト素子の第1領域は位相板または波長板によって構成されており、第2領域は光学的等方性媒質によって構成されており、

前記位相シフト素子は、前記第1領域と前記第2領域とを格子状に配置して構成されている請求項16記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項18】

前記位相シフト素子は、前記撮像手段と一体に構成されている請求項16記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項19】

第1方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、

前記出射した第1方向偏光成分の光から参照光を分離する分離手段と、

前記第1方向に対して+45度傾いた第1偏光子と、-45度傾いた第2偏光子とを交互に配置した偏光子アレイデバイスと、

前記第1方向に対して+45度傾いた高速軸と、-45度傾いた低速軸とを有する位相シフト素子と、

前記第1偏光子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第1干渉縞と、前記第2偏光子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第2干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第1及び第2干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項20】

前記位相シフト素子は、位相板または波長板である請求項19記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項21】

前記偏光子アレイデバイスと前記位相シフト素子とは、前記撮像手段と一体に構成されている請求項19記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項22】

互いに異なる第1波長及び第2波長をそれぞれ有する第1波長光及び第2波長光をそれぞれ出射し、前記出射した第1波長光及び第2波長光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するためにそれぞれ設けられた第1光源及び第2光源と、

前記第1光源及び第2光源からそれぞれ出射された第1波長光及び第2波長光を、第1位相及び前記第1波長に対応する第1位相第1波長参照光と、前記第1位相と異なる第2位相及び前記第1波長に対応する第2位相第1波長参照光と、前記第1位相及び前記第2波長に対応する第1位相第2波長参照光と、前記第2位相及び前記第2波長に対応する第2位相第2波長参照光とに、前記第1波長光及び第2波長光の入射方向に垂直な平面上において分割する位相シフト波長選択素子と、

前記位相シフト波長選択素子によって分割された第1位相第1波長参照光、第2位相第1波長参照光、第1位相第2波長参照光、及び第2位相第2波長参照光と、前記被写体から放射または透過または散乱または反射または回折された物体光とがそれぞれ干渉した第1位相第1波長干渉縞、第2位相第1波長干渉縞、第1位相第2波長干渉縞、及び第2位相第2波長干渉縞が記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第1位相第1波長干渉縞、第2位相第1波長干渉縞、第1位相第2波長干渉縞、及び第2位相第2波長干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項23】

前記位相シフト波長選択素子は、前記第1波長光及び第2波長光の入射方向に垂直な第1方向に沿ってストライプ状にそれぞれ配置されて、前記第1位相に対応する第1位相領域と前記第2位相に対応する第2位相領域とを有する位相シフトアレイデバイスと、

10

20

30

40

50

前記第 1 波長光及び第 2 波長光の入射方向に垂直な方向であって前記第 1 方向に交差する方向に沿ってストライプ状にそれぞれ配置されて、前記第 1 波長を有する光を透過する第 1 波長領域と前記第 2 波長を有する光を透過する第 2 波長領域とを有する波長選択アレイデバイスとを有する請求項 2 2 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 2 4】

前記撮像手段は、CCDカメラまたはCMOSイメージセンサーカメラであり、

前記第 1 及び第 2 位相領域、並びに前記第 1 及び第 2 波長領域は、前記撮像手段の各画素に対応して配置されている請求項 2 3 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 2 5】

前記位相シフト波長選択素子は、前記第 1 及び第 2 位相と異なる第 3 位相に対応する第 3 位相領域と、

前記第 1 及び第 2 及び第 3 位相と異なる第 4 位相に対応する第 4 位相領域とをさらに有している請求項 2 3 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 2 6】

前記第 1 及び第 2 波長と異なる第 3 波長を有する第 3 波長光を出射し、前記第 1、第 2、及び第 3 波長光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた第 3 光源をさらに備える請求項 2 2 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 2 7】

前記第 1 及び第 2 および第 3 波長と異なる第 4 波長を有する第 4 波長光を出射し、前記第 1、第 2、第 3 及び前記 4 波長に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた第 4 光源をさらに備える請求項 2 6 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 2 8】

前記第 1 光源及び第 2 光源からそれぞれ出射される第 1 波長光及び第 2 波長光は、第 1 方向偏光であり、

前記位相シフト波長選択素子は、前記第 1 波長光が入射されて前記第 1 位相に対応する高速軸と前記第 2 位相に対応する低速軸とを有する第 1 (1/4) 波長板と、前記第 2 波長光が入射されて前記高速軸と前記低速軸とを有する第 2 (1/4) 波長板と、前記第 1 波長光を透過させる第 1 波長領域と前記第 2 波長光を透過させる第 2 波長領域とを配置した波長選択アレイデバイスとを有しており、

前記高速軸に平行な偏光を透過させる高速軸透過領域と、前記低速軸に平行な偏光を透過させる低速軸透過領域とを有する偏光子アレイをさらに備える請求項 2 2 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 2 9】

前記波長選択アレイデバイスと前記偏光子アレイとは、前記撮像手段と一体に構成される請求項 2 8 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 3 0】

前記第 1 光源及び第 2 光源からそれぞれ出射される第 1 波長光及び第 2 波長光は、第 1 方向偏光であり、

前記位相シフト波長選択素子は、前記第 1 波長光を透過させる第 1 波長領域と、前記第 2 波長光を透過させる第 2 波長領域とを配置した波長選択アレイデバイスと、前記第 1 位相に対応する高速軸と前記第 2 位相に対応する低速軸とを有して前記第 1 波長光に対応する第 1 (1/4) 波長板と、前記第 1 位相に対応する高速軸と前記第 2 位相に対応する低速軸とを有して前記第 2 波長光に対応する第 2 (1/4) 波長板とを配置した位相シフトアレイデバイスと、前記第 1 方向偏光成分を透過させる偏光子とを有している請求項 2 2 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 3 1】

前記位相シフト波長選択素子は、前記撮像手段と一体に構成されている請求項 3 0 記載のデジタルホログラフィ装置。

10

20

30

40

50

【請求項 3 2】

入射した光を位相をシフトさせて透過させるために位相板または波長板によって構成された第 1 領域と、

入射した光を位相を透過させるために光学的等方性媒質によって構成された第 2 領域とを備え、

前記第 1 領域と前記第 2 領域とを格子状に配置したことを特徴とする位相板アレイ。

【請求項 3 3】

第 1 方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、

前記出射した第 1 方向偏光成分の光から参照光を分離する分離手段と、

1 / 4 波長板と 1 / 2 波長板とを交互に配置した波長板アレイデバイスと、

前記第 1 方向に対して傾斜する偏光子と、

前記 1 / 4 波長板を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第 1 干渉縞と、前記 1 / 2 波長板を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第 2 干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第 1 及び第 2 干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項 3 4】

第 1 方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、

前記出射した第 1 方向偏光成分の光から参照光を分離する分離手段と、

互いに直交する第 1 高速軸および第 1 低速軸を有する第 1 波長板素子と、前記第 1 高速軸に平行な第 2 低速軸および前記第 1 低速軸に平行な第 2 高速軸を有する第 2 波長板素子とを交互に配置した波長板アレイデバイスと、

前記第 1 波長板素子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第 1 干渉縞と、前記第 2 波長板素子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第 2 干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第 1 及び第 2 干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項 3 5】

第 1 方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、

前記出射した第 1 方向偏光成分の光から参照光を分離する分離手段と、

第 1 偏光方向と異なる方向に高速軸と低速軸を持つ 4 分の 1 波長板と、

前記 4 分の 1 波長板の高速軸または低速軸に平行な第 2 偏光方向を有する第 1 偏光子と、前記第 2 偏光方向に直交する第 3 偏光方向を有する第 2 偏光子とを交互に配置した偏光子アレイデバイスと、

前記第 1 偏光子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第 1 干渉縞と、前記第 2 偏光子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第 2 干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第 1 及び第 2 干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、物体光と参照光とが干渉した干渉縞に基づいて被写体の再生像を生成するデジタルホログラフィ装置及びこれに用いる位相板アレイに関するものである。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

以後の文章中で位相および角度の単位はラジアンで表す。入射した光を互いに位相が異なる4種類の参照光に分割して出射する位相シフトアレイ素子を備えたデジタルホログラフィ装置を本発明者らは提案している(特許文献1)。図23は、従来のデジタルホログラフィ装置101の構成を説明するための模式図である。デジタルホログラフィ装置101は、レーザ光を出射する光源104を備えている。光源104から出射されたレーザ光は、ビームスプリッタBSにより分割される。分割されたレーザ光の一方は、ミラーMによって反射され、ビームエキスパンダBEを通過してコリメータレンズCLにより平行光となり、被写体106に照射され、被写体106によって反射されて物体光となり、他のビームスプリッタBSを通過してCCDカメラ103に設けられた撮像面100に入射する。

10

【0003】

ビームスプリッタBSにより分割されたレーザ光の他方は、他のミラーMによって反射され、他のビームエキスパンダBEを通過して他のコリメータレンズCLにより平行光となり、アレイデバイス102に入射する。

【0004】

アレイデバイス102は、レーザ光の入射方向に垂直な平面上において格子状に配置された4種類の領域107a・107b・107c・107dを有している。4種類の領域107a・107b・107c・107dは、CCDカメラ103の各画素に対応して配置されている。アレイデバイス102の領域107aを通過したレーザ光は位相シフト計測手段の基準となる位相を有する参照光となる。領域107bを通過したレーザ光は、領域107aを通過した参照光の位相よりも $-\pi/2$ 位相がシフトした参照光に変換される。領域107cを通過したレーザ光は、領域107aを通過した参照光の位相よりも $(-\pi/2)$ 位相がシフトした参照光に変換される。領域107dを通過したレーザ光は、領域107aを通過した参照光の位相よりも $(-3\pi/2)$ 位相がシフトした参照光に変換される。

20

【0005】

アレイデバイス102により生成された4種類の参照光は、さらに他のミラーMにより反射され、結像光学系を通過して他のビームスプリッタBSにより反射されてCCDカメラ103に設けられた撮像面100に入射する。

30

【0006】

撮像面100には、4種類の参照光と物体光とがそれぞれ干渉した4種類の干渉縞が記録される。再生像生成器105は、撮像面100に記録された4種類の干渉縞に基づいて被写体106の再生像を生成する。

【0007】

また、偏光波面分割法による単一ショット位相シフトデジタルホログラフィの構成が知られている(非特許文献2)。この構成では、偏光イメージングカメラを用いて物体光と位相の異なる2枚の干渉縞を、偏光イメージングカメラの撮像面に同時に記録するため、1回の記録により、静止した被写体の複素振幅分布を取得できる。しかしながら、被写体が動くたびに物体光の強度分布の取得が必要となるので動く被写体の複素振幅分布を取得できない。また、図23に示す構成と比較して、結像光学系が不要であり、 μm 単位で光学系をセッティングする必要がない。また、アレイデバイス102を用いないので、波長依存性が無い。

40

【0008】

デジタルホログラフィで得られる位相分布は、 $-\pi < \phi < \pi$ の範囲に折り畳まれている。これをもとの位相分布に戻すために位相接続をする必要がある。その1つの方法として以下に示す方法が提案されている。

【0009】

まず、2波長を用いた位相接続法(非特許文献5)が知られている。この方法によれば、2波長の組み合わせにより、合成波長の長さを自由に変更することができる。また、1

50

波長を用いた位相接続法に比べ、非常に長い合成波長で記録したのと同程度の位相分布を得ることができ、位相の折り畳みが少ない。

【 0 0 1 0 】

また、並列位相シフトデジタルホログラフィの構成が知られている。この構成では、通常複数回の撮影が必要であるが、空間分割多重することで1回の記録でよい。また、瞬時の被写体の再生像を得られるため被写体は動く物体でも良い。

【特許文献1】特開2005-283683号公報(平成17年10月13日公開)

【非特許文献1】Yasuhiro Awatsuji,他著、「Parallel three-step phase-shifting digital holography」、1 Mat 2006/Vol.45, No.13/APPLIED OPTICS, 2995-3002頁

【非特許文献2】Takanori Nomura,他著、「Phase-shifting digital holography with a phase difference between orthogonal polarizations」、10 July 2006/Vol.45, No.20/APPLIED OPTICS, 4873-4877頁

【非特許文献3】X.F.Meng, 他著、「Two-step phase-shifting interferometry and its application in image encryption」、OPTICS LETTERS/Vol.31, No.10/May 15, 2006、14 14-1416頁

【非特許文献4】Yan Zhang, 他著、「Reconstruction of in-line digital holograms from two intensity measurements」、August 1, 2004/Vol.29, No.15/OPTICS LETTERS、178 7-1789頁

【非特許文献5】Daniel Parshall, 他著、「Digital holographic microscopy with dual-wavelength phase unwrapping」、20 January 2006/Vol.45, No.3/ APPLIED OPTICS, 45 1-459頁

【発明の開示】

【 0 0 1 1 】

しかしながら、図23に示す構成に対しては、被写体の再生像の画質の向上に対する要望が強いという問題がある。

【 0 0 1 2 】

また、結像光学系が必要であり、収差による問題が生じる。位相をシフトさせるアレイデバイスによる回折が生じるため、 μm 単位で光学系をセッティングする必要があり、アレイデバイスの位置合わせが困難であるという問題がある。また、位相をシフトさせるアレイデバイスは、波長依存性があるので、特定の波長においてしか使用することができないという問題がある。

【 0 0 1 3 】

前記した偏光波面分割法による単一ショット位相シフトデジタルホログラフィの構成では、特殊なカメラを用いる必要があるという問題があり、また、偏光特性や波長に依存するという問題がある。

【 0 0 1 4 】

前記した2波長を用いた位相接続法では、2波長を使用するため、2回以上の撮影が必要であるという問題がある。

【 0 0 1 5 】

本発明の目的は、画質が向上したデジタルホログラフィ装置を提供することにある。

【 0 0 1 6 】

本発明に係るデジタルホログラフィ装置は、光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源と、前記光源から出射された光を、その進行方向に垂直な平面上において互いに位相が異なる2種類の参照光に分割する位相シフト素子と、前記位相シフト素子によって分割された2種類の参照光と前記被写体から放射または透過または散乱または反射または回折された物体光とがそれぞれ干渉した2種類の干渉縞が記録される撮像面を有する撮像手段と、前記撮像面に記録された2種類の干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

10

20

30

40

50

この特徴によれば、位相シフト素子は、前記光源から出射された光を、その進行方向に垂直な平面上において互いに位相が異なる２種類の参照光に分割する。このため、位相シフトの段階数を従来の構成の４段階から２段階に減らすことができる。従って、被写体の再生像の画質を、従来構成のデジタルホログラフィ装置よりも向上させることができ、また、位相シフト素子の作製が、従来のデジタルホログラフィ装置よりも容易になる。

【００１８】

本発明に係るデジタルホログラフィ装置では、前記位相シフト素子は、前記光源から出射された光の進行方向に垂直な平面上において格子状に配置された２種類の領域を有するアレイデバイスであることが好ましい。

【００１９】

上記構成によれば、光源から出射された光を、その進行方向に垂直な平面上において互いに位相が異なる２種類の参照光に分割する位相シフト素子を、簡単な構成によって実現することができる。

【００２０】

本発明に係るデジタルホログラフィ装置では、前記撮像手段は、ＣＣＤカメラまたはＣＭＯＳイメージセンサーカメラであり、前記２種類の領域は、前記撮像手段の各画素に対応して配置されていることが好ましい。

【００２１】

上記構成によれば、位相シフト素子によって分割された２種類の参照光と被写体から放射または透過または散乱または反射または回折された物体光とがそれぞれ干渉した２種類の干渉縞を、簡単な構成によって記録することができる。

【００２２】

本発明に係るデジタルホログラフィ装置では、前記位相シフト素子は、位相シフト計測手段の基準となる位相を有する参照光と、その参照光と０からラジアンの中のいずれかの値分位相が異なる参照光とに前記光を分割することが好ましい。

【００２３】

上記構成によれば、簡単な構成によって、並列２段階位相シフトデジタルホログラフィ装置を実現することができる。

【００２４】

本発明に係るデジタルホログラフィ装置では、前記光源は、第１方向に偏光した光を出射し、前記位相シフト素子によって分割された２種類の参照光の一方は第２方向に偏光し、前記参照光の他方は第３方向に偏光し、前記物体光と前記２種類の参照光とを透過させる偏光子アレイデバイスをさらに備え、前記偏光子アレイデバイスは、前記第２方向に偏光した参照光の一方と前記物体光の前記第２方向への正射影成分とを透過させる第１領域と、前記第３方向に偏光した参照光の他方と前記物体光の前記第３方向への正射影成分とを透過させる第２領域とを有していることが好ましい。前記偏光子アレイデバイスは偏光子をアレイ状に配置したデバイスである。

【００２５】

本発明に係るデジタルホログラフィ装置では、前記偏光子アレイデバイスは、前記撮像手段と一体に構成されていることが好ましい。

【００２６】

本発明に係るデジタルホログラフィ装置では、前記位相シフト素子は、１／４波長板であることが好ましい。

【００２７】

本発明に係るデジタルホログラフィ装置では、前記光源は、第１方向偏光成分と第２方向偏光成分とを有する直線偏光を出射し、前記物体光を第１方向偏光成分の光に変換し、前記光源から出射された光を第２方向偏光成分の光に変換する偏光ビームスプリッタをさらに備え、前記位相シフト素子は、前記第２方向偏光成分の光を、その進行方向に垂直な平面上において互いに位相が異なる２種類の参照光に分割する波長板光学媒質アレイデバイスと、前記物体光の第３方向偏光成分と前記２種類の参照光の第３方向偏光成分と透過

10

20

30

40

50

させる偏光子とを有していることが好ましい。前記波長板光学媒質アレイデバイスは波長板と光学媒質を交互に配置したデバイスである。

【0028】

本発明に係るデジタルホログラフィ装置では、前記位相シフト素子は、前記撮像手段と一体に構成されていることが好ましい。

【0029】

本発明に係るデジタルホログラフィ装置では、前記波長板光学媒質アレイデバイスは、前記第2方向偏光成分の光を透過させる光学媒質と、前記第2方向偏光成分の光を位相をシフトさせて透過させる1/4波長板とを有していることが好ましい。

【0030】

本発明に係る他のデジタルホログラフィ装置は、光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源と、前記物体光に基づいて、互いに光路差が異なる第1光路物体光及び第2光路物体光を生成し、前記光源から出射された光に基づいて、互いに光路差が異なる第1光路参照光及び第2光路参照光を生成する光路差生成素子と、前記光路差生成素子によって生成された第1光路物体光及び第1光路参照光が干渉した第1干渉縞と、前記光路差生成素子によって生成された第2光路物体光及び第2光路参照光が干渉した第2干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、前記撮像面に記録された第1干渉縞と第2干渉縞とに基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とする。

10

20

【0031】

この特徴によれば、光路差生成素子が、前記物体光に基づいて、互いに光路差が異なる第1光路物体光及び第2光路物体光を生成し、前記光源から出射された光に基づいて、互いに光路差が異なる第1光路参照光及び第2光路参照光を生成する。このため、異なる光路差で形成される第1干渉縞と第2干渉縞とを1つの撮像手段によって同時に取得することができる。従って、3次元像を瞬時に記録することができるデジタルホログラフィ装置を提供することができる。

【0032】

本発明に係る他のデジタルホログラフィ装置では、前記光路差生成素子は、前記物体光及び前記光源から出射された光の進行方向に垂直な平面上において格子状に配置された2種類の領域を有することが好ましい。

30

【0033】

上記構成によれば、2種類の領域によって、物体光及び光源から出射された光に光路差を与えることができる。

【0034】

本発明に係る他のデジタルホログラフィ装置では、前記撮像手段は、CCDカメラまたはCMOSイメージセンサーカメラであり、前記2種類の領域の一方は、前記物体光及び前記光源から出射された光に基づいて、前記第1光路物体光及び前記第1光路参照光をそれぞれ生成し、前記2種類の領域の他方は、前記物体光及び前記光源から出射された光に基づいて、前記第2光路物体光及び前記第2光路参照光をそれぞれ生成することが好ましい。

40

【0035】

上記構成によれば、2種類の領域によって、光路差が異なる干渉縞を得ることができる。

【0036】

本発明に係る他のデジタルホログラフィ装置では、前記アレイデバイスは、物体光と参照光とに対して屈折率が等しい光学媒質によって形成されており、前記2種類の領域の一方の厚みと前記2種類の領域の他方の厚みとは、互いに異なっていることが好ましい。

【0037】

上記構成によれば、光路差が異なる干渉縞を得るための2種類の領域を有するアレイデ

50

バイスを容易に構成することができる。

【0038】

本発明に係る他のデジタルホログラフィ装置では、前記アレイデバイスは、入射する物体光および参照光に対して第1屈折率を有する第1光学媒質と、前記物体光および参照光に対して第2屈折率を有する第2光学媒質とによって形成されており、前記第1屈折率と前記第2屈折率とは、互いに異なっており、前記第1および第2光学媒質は、同じ厚みを有していることが好ましい。

【0039】

上記構成によれば、光路差が異なる干渉縞を得るための2種類の領域を有するアレイデバイスを容易に構成することができる。

10

【0040】

本発明に係るさらに他のデジタルホログラフィ装置は、第1方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、前記物体光と前記光源ユニットから出射された第1方向偏光成分の光とを位相をシフトさせて透過させる第1領域と、前記物体光と前記光源ユニットから出射された第1方向偏光成分の光とを透過させる第2領域とを有する位相シフト素子と、前記第1領域を位相をシフトさせて透過した前記物体光と前記光とが干渉した第1干渉縞と、前記第2領域を透過した前記物体光と前記光とが干渉した第2干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、前記撮像面に記録された第1及び第2干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とする。

20

【0041】

本発明に係るさらに他のデジタルホログラフィ装置では、前記位相シフト素子の第1領域は1/2波長板によって構成されており、第2領域はガラスによって構成されており、前記位相シフト素子は、前記第1領域と前記第2領域とを格子状に配置して構成されていることが好ましい。

【0042】

本発明に係るさらに他のデジタルホログラフィ装置では、前記位相シフト素子は、前記撮像手段と一体に構成されていることが好ましい。

【0043】

本発明に係るさらに他のデジタルホログラフィ装置は、第1方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、前記出射した第1方向偏光成分の光から参照光を分離する分離手段と、前記第1方向に対して+45度傾いた第1偏光子と、-45度傾いた第2偏光子とを交互に配置した偏光子アレイデバイスと、前記第1方向に対して+45度傾いた高速軸と、-45度傾いた低速軸とを有する位相シフト素子と、前記第1偏光子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第1干渉縞と、前記第2偏光子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第2干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、前記撮像面に記録された第1及び第2干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とする。

30

40

【0044】

本発明に係るさらに他のデジタルホログラフィ装置では、前記位相シフト素子は、1/2波長板であることが好ましい。

【0045】

本発明に係るさらに他のデジタルホログラフィ装置では、前記偏光子アレイデバイスと前記位相シフト素子とは、前記撮像手段と一体に構成されていることが好ましい。

【0046】

本発明に係るさらにもう一つの他のデジタルホログラフィ装置は、互いに異なる第1波長及び第2波長をそれぞれ有する第1波長光及び第2波長光をそれぞれ出射し、前記出射した第1波長光及び第2波長光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反

50

射または回折される物体光を供給するためにそれぞれ設けられた第1光源及び第2光源と、前記第1光源及び第2光源からそれぞれ出射された第1波長光及び第2波長光を、第1位相及び前記第1波長に対応する第1位相第1波長参照光と、前記第1位相と異なる第2位相及び前記第1波長に対応する第2位相第1波長参照光と、前記第1位相及び前記第2波長に対応する第1位相第2波長参照光と、前記第2位相及び前記第2波長に対応する第2位相第2波長参照光とに、前記第1波長光及び第2波長光の入射方向に垂直な平面上において分割する位相シフト波長選択素子と、前記位相シフト波長選択素子によって分割された第1位相第1波長参照光、第2位相第1波長参照光、第1位相第2波長参照光、及び第2位相第2波長参照光と、前記被写体から放射または透過または散乱または反射または回折された物体光とがそれぞれ干渉した第1位相第1波長干渉縞、第2位相第1波長干渉縞、第1位相第2波長干渉縞、及び第2位相第2波長干渉縞が記録される撮像面を有する撮像手段と、前記撮像面に記録された第1位相第1波長干渉縞、第2位相第1波長干渉縞、第1位相第2波長干渉縞、及び第2位相第2波長干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とする。

10

【0047】

この特徴によれば、互いに異なる第1波長及び第2波長に対応する第1位相第1波長干渉縞、第2位相第1波長干渉縞、第1位相第2波長干渉縞、及び第2位相第2波長干渉縞を同時に撮像面に記録することができる。このため、1回の撮影で正確な位相分布を計算することができ、動いている被写体についても2波長位相接続を実施することができる。

20

【0048】

本発明に係るさらにもう一つの他のデジタルホログラフィ装置では、前記位相シフト波長選択素子は、前記第1波長光及び第2波長光の入射方向に垂直な第1方向に沿ってストライプ状にそれぞれ配置されて、前記第1位相に対応する第1位相領域と前記第2位相に対応する第2位相領域とを有する位相シフトアレイデバイスと、前記第1波長光及び第2波長光の入射方向に垂直な方向であって前記第1方向に交差する方向に沿ってストライプ状にそれぞれ配置されて、前記第1波長を有する光を透過する第1波長領域と前記第2波長を有する光を透過する第2波長領域とを有する波長選択アレイデバイスとを有することが好ましい。前記波長選択アレイデバイスは波長フィルタをアレイ状に配置したデバイスである。

30

【0049】

上記構成によれば、位相シフトアレイデバイスと波長選択アレイデバイスとによって、前記第1光源及び第2光源からそれぞれ出射された第1波長光及び第2波長光を、第1位相及び前記第1波長に対応する第1位相第1波長参照光と、前記第1位相と異なる第2位相及び前記第1波長に対応する第2位相第1波長参照光と、前記第1位相及び前記第2波長に対応する第1位相第2波長参照光と、前記第2位相及び前記第2波長に対応する第2位相第2波長参照光とに、前記第1波長光及び第2波長光の入射方向に垂直な平面上において分割する位相シフト波長選択素子を容易に構成することができる。

40

【0050】

本発明に係るさらにもう一つの他のデジタルホログラフィ装置では、前記撮像手段は、CCDカメラまたはCMOSイメージセンサーカメラであり、前記第1及び第2位相領域、並びに前記第1及び第2波長領域は、前記撮像手段の各画素に対応して配置されていることが好ましい。

50

【0051】

上記構成によれば、位相シフト波長選択素子によって分割された第1位相第1波長参照光、第2位相第1波長参照光、第1位相第2波長参照光、及び第2位相第2波長参照光と、前記被写体から放射または透過または散乱または反射または回折された物体光とがそれぞれ干渉した第1位相第1波長干渉縞、第2位相第1波長干渉縞、第1位相第2波長干渉縞、及び第2位相第2波長干渉縞を、簡単な構成によって記録することができる。

【0052】

本発明に係るさらにもう一つの他のデジタルホログラフィ装置では、前記位相シフトア

50

レイデバイスは、前記第1及び第2位相と異なる第3位相に対応する第3位相領域と、前記第1及び第2及び第3位相と異なる第4位相に対応する第4位相領域とをさらに有していることが好ましい。

【0053】

上記構成によれば、4つの異なる位相に基づいた干渉縞を得ることができる。

【0054】

本発明に係るさらにもう一つの他のデジタルホログラフィ装置では、前記第1及び第2波長と異なる第3波長を有する第3波長光を出射し、前記第1、第2、及び第3波長光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた第3光源をさらに備えることが好ましい。

10

【0055】

本発明に係るさらにもう一つの他のデジタルホログラフィ装置では、前記第1及び第2および第3波長と異なる第4波長を有する第4波長光を出射し、前記第1、第2、第3及び前記4波長に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた第4光源をさらに備えることが好ましい。

【0056】

本発明に係るさらにもう一つの他のデジタルホログラフィ装置では、前記第1光源及び第2光源からそれぞれ出射される第1波長光及び第2波長光は、第1方向偏光であり、前記位相シフト波長選択素子は、前記第1波長光が入射されて前記第1位相に対応する高速軸と前記第2位相に対応する低速軸とを有する第1(1/4)波長板と、前記第2波長光が入射されて前記高速軸と前記低速軸とを有する第2(1/4)波長板と、前記第1波長光を透過させる第1波長領域と前記第2波長光を透過させる第2波長領域とを配置した波長選択アレイデバイスとを有しており、前記高速軸に平行な偏光を透過させる高速軸透過領域と、前記低速軸に平行な偏光を透過させる低速軸透過領域とを有する偏光子アレイをさらに備えることが好ましい。

20

【0057】

本発明に係るさらにもう一つの他のデジタルホログラフィ装置では、前記波長選択アレイデバイスと前記偏光子アレイとは、前記撮像手段と一体に構成されることが好ましい。

【0058】

本発明に係るさらにもう一つの他のデジタルホログラフィ装置では、前記第1光源及び第2光源からそれぞれ出射される第1波長光及び第2波長光は、第1方向偏光であり、前記位相シフト波長選択素子は、前記第1波長光を透過させる第1波長領域と、前記第2波長光を透過させる第2波長領域とを配置した波長選択アレイデバイスと、前記第1位相に対応する高速軸と前記第2位相に対応する低速軸とを有して前記第1波長光に対応する第1(1/4)波長板と、前記第1位相に対応する高速軸と前記第2位相に対応する低速軸とを有して前記第2波長光に対応する第2(1/4)波長板とを配置した位相シフトアレイデバイスと、前記第1方向偏光成分を透過させる偏光子とを有していることが好ましい。

30

【0059】

本発明に係るさらにもう一つの他のデジタルホログラフィ装置では、前記位相シフト波長選択素子は、前記撮像手段と一体に構成されていることが好ましい。

40

【0060】

本発明に係る位相板アレイは、入射した光を透過させ、その入射した光の位相をシフトさせるために1/2波長板によって構成された第1領域と、入射した光を透過させるためにガラスによって構成された第2領域とを備え、前記第1領域と前記第2領域とを格子状に配置したことを特徴とする。

【0061】

本発明に係るさらにもう一つの他のデジタルホログラフィ装置は、第1方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、前記出射した第1方向偏光成

50

分の光から参照光を分離する分離手段と、 $1/4$ 波長板と $1/2$ 波長板とを交互に配置した波長板アレイデバイスと、前記第1方向に対して傾斜する偏光子と、前記 $1/4$ 波長板を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第1干渉縞と、前記 $1/2$ 波長板を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第2干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、前記撮像面に記録された第1及び第2干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とする。前記波長板アレイデバイスは波長板をアレイ状に配置したデバイスである。

【0062】

本発明に係るさらに他のデジタルホログラフィ装置は、第1方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、前記出射した第1方向偏光成分の光から参照光を分離する分離手段と、互いに直交する第1高速軸および第1低速軸を有する第1波長板素子と、前記第1高速軸に平行な第2低速軸および前記第1低速軸に平行な第2高速軸を有する第2波長板素子とを交互に配置した波長板アレイデバイスと、前記第1波長板素子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第1干渉縞と、前記第2波長板素子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第2干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、前記撮像面に記録された第1及び第2干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とする。

10

【0063】

本発明に係るさらに他のデジタルホログラフィ装置は、第1方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、前記出射した第1方向偏光成分の光から参照光を分離する分離手段と、第1偏光方向と異なる方向に高速軸と低速軸を持つ $4分の1$ 波長板と、 $4分の1$ 波長板の高速軸または低速軸に平行な第2偏光方向を有する第1偏光子と、前記第2偏光方向に直交する第3偏光方向を有する第2偏光子とを交互に配置した偏光子アレイデバイスと、前記第1偏光子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第1干渉縞と、前記第2偏光子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第2干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、前記撮像面に記録された第1及び第2干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とする。

20

30

【0064】

本発明に係るデジタルホログラフィ装置は、以上のように、前記光源から出射された光を、その進行方向に垂直な平面上において互いに位相が異なる2種類の参照光に分割する位相シフト素子を備えているので、被写体の再生像の画質を、従来構成のデジタルホログラフィ装置よりも向上させることができ、また、位相シフト素子の作製が、従来のデジタルホログラフィ装置よりも容易になるという効果を奏する。

【0065】

本発明に係る他のデジタルホログラフィ装置は、以上のように、前記物体光に基づいて、互いに光路差が異なる第1光路物体光及び第2光路物体光を生成し、前記光源から出射された光に基づいて、互いに光路差が異なる第1光路参照光及び第2光路参照光を生成する光路差生成素子を備えているので、異なる光路差で形成される第1干渉縞と第2干渉縞とを1つの撮像手段によって同時に取得することができ、従って、3次元像を瞬時に記録することができるデジタルホログラフィ装置を提供することができるという効果を奏する。

40

【0066】

本発明に係るさらに他のデジタルホログラフィ装置は、以上のように、前記第1光源及び第2光源からそれぞれ出射された第1波長光及び第2波長光を、第1位相及び前記第1波長に対応する第1位相第1波長参照光と、前記第1位相と異なる第2位相及び前記第1波長に対応する第2位相第1波長参照光と、前記第1位相及び前記第2波長に対応する第1位相第2波長参照光と、前記第2位相及び前記第2波長に対応する第2位相第2波長参

50

照光とに、前記第 1 波長光及び第 2 波長光の入射方向に垂直な平面上において分割する位相シフト波長選択素子を備えているので、1 回の撮影で正確な位相分布を計算することができ、動いている被写体についても 2 波長位相接続を実施することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0067】

【図 1】実施の形態 1 に係るデジタルホログラフィ装置の構成を説明するための模式図である。

【図 2】上記デジタルホログラフィ装置における被写体のホログラフィ像再生手順を説明するための図である。

【図 3】(a) は物体光の振幅分布を示す図であり、(b) は物体光の位相分布を示す図であり、(c) は従来法による再生像の振幅分布を示す図であり、(d) は従来法による再生像の位相分布を示す図であり、(e) は本発明による再生像の振幅分布を示す図であり、(f) は本発明による再生像の位相分布を示す図である。

【図 4】本発明及び従来法の相関係数値を示す図である。

【図 5】本発明及び従来法の相関係数値を示すグラフである。

【図 6】実施の形態 2 に係るデジタルホログラフィ装置の構成を説明するための模式図である。

【図 7】上記デジタルホログラフィ装置に設けられたアレイデバイスの構成を説明するための模式的な斜視図である。

【図 8】上記デジタルホログラフィ装置に設けられたアレイデバイスの構成を説明するための模式的な断面図である。

【図 9】上記デジタルホログラフィ装置における像再構成アルゴリズムを説明するための図である。

【図 10】(a) は上記デジタルホログラフィ装置による被写体の再生像を示す図であり、(b) は従来のフレネル変換法による被写体の再生像を示す図であり、(c) は従来の逐次位相シフトデジタルホログラフィによる被写体の再生像を示す図である。(d) は従来法である特許文献 1 によるデジタルホログラフィ装置による被写体の再生像を示す図である。

【図 11】実施の形態 3 に係るデジタルホログラフィ装置の構成を説明するための模式図である。

【図 12】上記デジタルホログラフィ装置に設けられたアレイデバイスの構成を説明するための図である。

【図 13】上記デジタルホログラフィ装置における像再構成アルゴリズムを説明するための図である。

【図 14】(a) ~ (e) は、上記デジタルホログラフィ装置における画素の補間方法を説明するための図である。

【図 15】上記デジタルホログラフィ装置における複素振幅を求める方法を説明するための図である。

【図 16】(a) はデジタルホログラフィ装置の被写体の高さ分布を示す図であり、(b) は被写体の振幅分布を示す図であり、(c) は波長 633 nm、532 nm のレーザを用いた場合の計算機シミュレーションの結果を示し、(d) は波長 633 nm、635 nm のレーザを用いた場合の計算機シミュレーションの結果を示し、(e) は従来法である特許文献 1 によるデジタルホログラフィ装置 (波長: 633 nm) による計算機シミュレーションの結果を示す。

【図 17】実施の形態 3 に係る他のデジタルホログラフィ装置の構成を説明するための模式図である。

【図 18】上記デジタルホログラフィ装置に設けられたアレイデバイスの構成を説明するための図である。

【図 19】上記デジタルホログラフィ装置における像再構成アルゴリズムを説明するため

10

20

30

40

50

の図である。

【図 2 0】上記デジタルホログラフィ装置における画素の補間方法を説明するための図である。

【図 2 1】上記デジタルホログラフィ装置における複素振幅を求める方法を説明するための図である。

【図 2 2】(a)は波長 633 nm、532 nm のレーザを用いた場合の計算機シミュレーションの結果を示し、(b)は波長 633 nm、532 nm、475 nm のレーザを用いた場合の計算機シミュレーションの結果を示す。

【図 2 3】従来法である特許文献 1 によるデジタルホログラフィ装置の構成を説明するための模式図である。

【図 2 4】実施の形態 4 に係るデジタルホログラフィ装置の構成を説明するための模式図である。

【図 2 5】(a)は上記デジタルホログラフィ装置の偏光子アレイデバイスの構成を説明するための模式図であり、(b)は偏光方向を示す図である。

【図 2 6】上記デジタルホログラフィ装置における偏光方向の変化を説明するための図である。

【図 2 7】デジタルホログラフィ装置に設けられた CCD カメラの撮像面における参照光の偏光方向と位相分布とを示す図である。

【図 2 8】実施の形態 4 に係る他のデジタルホログラフィ装置の構成を説明するための模式図である。

【図 2 9】上記他のデジタルホログラフィ装置に設けられた位相シフトアレイデバイスの構成を説明するための図である。

【図 3 0】上記位相シフトアレイデバイスにおける参照光の位相シフトと偏光方向の変化を説明するための図である。

【図 3 1】上記他のデジタルホログラフィ装置における物体光と参照光との各素子での位相と偏光方向との変化を説明するための図である。

【図 3 2】実施の形態 5 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 3 3】実施の形態 5 に係る他の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 3 4】実施の形態 6 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 3 5】上記デジタルホログラフィ装置に設けられた波長選択アレイデバイスと偏光子アレイとの構成を説明するための模式的斜視図である。

【図 3 6】上記デジタルホログラフィ装置における偏光状態の変化を説明するための図である。

【図 3 7】実施の形態 6 に係る他の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 3 8】上記他のデジタルホログラフィ装置に設けられた波長選択アレイデバイスと偏光子アレイとの構成を説明するための模式的斜視図である。

【図 3 9】上記他のデジタルホログラフィ装置における偏光状態の変化を説明するための図である。

【図 4 0】実施の形態 6 に係るさらに他の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 4 1】上記さらに他のデジタルホログラフィ装置に設けられた位相シフト波長選択素子の構成を説明するための模式的斜視図である。

【図 4 2】上記さらに他のデジタルホログラフィ装置における偏光状態の変化を説明するための図である。

【図 4 3】実施の形態 6 に係るさらにもう 1 つの他の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 4 4】上記さらにもう 1 つの他のデジタルホログラフィ装置に設けられた位相シフト波長選択素子の構成を説明するための模式的斜視図である。

10

20

30

40

50

【図 4 5】上記さらにもう 1 つの他のデジタルホログラフィ装置における偏光状態の変化を説明するための図である。

【図 4 6】実施の形態 7 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 4 7】上記デジタルホログラフィ装置に設けられた波長板アレイデバイスと偏光子と CCD カメラとの構成を示す模式図である。

【図 4 8】上記波長板アレイデバイスと偏光子との構成を示す模式図である。

【図 4 9】実施の形態 7 に係る他の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 0】実施の形態 8 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 1】上記デジタルホログラフィ装置に設けられた 1 / 4 波長板アレイと CCD カメラとの構成を示す模式図である。

10

【図 5 2】上記 1 / 4 波長板アレイの構成を示す模式図である。

【図 5 3】実施の形態 9 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 4】上記デジタルホログラフィ装置に設けられた偏光子アレイデバイスと CCD カメラとの構成を示す模式図である。

【図 5 5】上記偏光子アレイデバイスの構成を示す模式図である。

【符号の説明】

【0068】

- | | | | | |
|--------|-----------|------------------------|---------------------------|--------|
| 1、 | 1 c ~ 1 m | デジタルホログラフィ装置 | | |
| 2 | | アレイデバイス (位相シフト素子) | 20 | |
| 3 | | CCD カメラ (撮像手段) | | |
| 4 | | 光源 | | |
| 5 | | 再生像生成器 | | |
| 6 | | 被写体 | | |
| 7 a、 | 7 b | 領域 | | |
| 8 | | 干渉縞 | | |
| 9 a、 | 9 b | 領域 | | |
| 10 a、 | 10 b、 | 11 a、 | 11 b | 干渉縞データ |
| 12 | | 結像光学系 | | |
| 13 | | 撮像面 | 30 | |
| 14 | | アレイデバイス (光路差生成素子) | | |
| 15 a、 | 15 b | 領域 | | |
| 16 | | 干渉縞 | | |
| 17 a、 | 17 b | 領域 | | |
| 18 a、 | 18 b、 | 19 a、 | 19 b | 干渉縞データ |
| 20 | | アレイデバイス (位相シフト波長選択素子) | | |
| 21 | | 位相シフトアレイデバイス | | |
| 22 | | 波長選択アレイデバイス | | |
| 23 a ~ | 23 d | 位相領域 | | |
| 24 a、 | 24 b | 波長領域 | 40 | |
| 25 a ~ | 25 h | 干渉縞 | | |
| 26 a ~ | 26 c | 波長領域 | | |
| 27 a ~ | 27 l | 干渉縞 | | |
| 28 a、 | 28 b、 | 28 c | 光源 (第 1 光源、第 2 光源、第 3 光源) | |
| 31、 | 31 a | 光源 | | |
| 32 | | 1 / 4 波長板 (位相シフト素子) | | |
| 33 | | 偏光子アレイデバイス | | |
| 34 a、 | 34 b | 領域 (第 1 領域、第 2 領域) | | |
| 35 | | 位相シフトアレイデバイス (位相シフト素子) | | |
| 36 | | 波長板光学媒質アレイデバイス | 50 | |

| | | |
|-------------------|---------------------------------|----|
| 3 7 | 偏光子 | |
| 3 8 | 光学媒質 | |
| 3 9 | 1 / 4 波長板 | |
| 4 0 | 高速軸 | |
| 4 1 | 低速軸 | |
| 3 1 b | 光源ユニット | |
| 4 2 | 位相板アレイ (位相シフト素子) | |
| 4 3、4 4 | 領域 (第 1 領域、第 2 領域) | |
| 4 5 | 1 / 4 波長板 | |
| 4 6 | 高速軸 | 10 |
| 4 7 | 低速軸 | |
| 4 8 | 光源 | |
| 4 9 | 偏光板 | |
| 5 0 | 偏光子アレイデバイス | |
| 5 1 a、5 1 b | 偏光子 | |
| 5 2 | 1 / 4 波長板 (位相シフト素子) | |
| 5 3 | 高速軸 | |
| 5 4 | 低速軸 | |
| 5 5 a、5 5 b、5 5 c | 光源 | |
| 5 6 | 位相シフト波長選択素子 | 20 |
| Q W P 1 | 1 / 4 波長板 (第 1 (1 / 4) 波長板) | |
| Q W P 2 | 1 / 4 波長板 (第 2 (1 / 4) 波長板) | |
| Q W P 3 | 1 / 4 波長板 (第 3 (1 / 4) 波長板) | |
| 5 7、6 1 | 波長選択アレイデバイス | |
| 5 8 a、6 2 a | 波長領域 (第 1 波長領域) | |
| 5 8 b、6 2 b | 波長領域 (第 2 波長領域) | |
| 5 9 | 偏光子アレイ | |
| 6 2 c | 波長領域 (第 3 波長領域) | |
| 6 0 a | 高速軸透過領域 | |
| 6 0 b | 低速軸透過領域 | 30 |
| 6 3、7 2 | 高速軸 | |
| 6 4、7 3 | 低速軸 | |
| 6 5 a、6 5 b、6 5 c | 光源 | |
| 6 6、7 4 | 位相シフト波長選択素子 | |
| 6 7、7 5 | 波長選択アレイデバイス | |
| 6 8 a、7 6 a | 波長領域 (第 1 波長領域) | |
| 6 8 b、7 6 b | 波長領域 (第 2 波長領域) | |
| 7 6 c | 波長領域 (第 3 波長領域) | |
| 6 9、7 7 | 位相シフトアレイデバイス | |
| 7 1 | 偏光子 | 40 |
| 7 0 a、7 8 a | 1 / 4 波長板 (第 1 (1 / 4) 波長板) | |
| 7 0 b、7 8 b | 1 / 4 波長板 (第 2 (1 / 4) 波長板) | |
| 7 8 c | 1 / 4 波長板 (第 3 (1 / 4) 波長板) | |
| 8 0 | 波長板アレイデバイス | |
| 8 1 a | 1 / 4 波長板 | |
| 8 1 b | 1 / 2 波長板 | |
| 8 2 | 偏光板 | |
| 8 3 | 偏光子 | |
| 8 4 | 波長板アレイデバイス | |
| 8 5 | 第 1 波長板素子 | 50 |

- 8 6 a 第 1 高速軸
- 8 6 b 第 1 低速軸
- 8 7 第 2 波長板素子
- 8 8 a 第 2 高速軸
- 8 8 b 第 2 低速軸
- 8 9 偏光子アレイデバイス
- 9 0 a 第 1 偏光子
- 9 0 b 第 2 偏光子
- 9 1 1 / 4 波長板
- B S 1 , B S 2 ビームスプリッタ
- P B S 1 , P B S 2 偏光ビームスプリッタ

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0069】

本発明の一実施形態について図 1 ないし図 5 5 に基づいて説明すると以下の通りである。

【0070】

(実施の形態 1)

図 1 は、実施の形態 1 に係るデジタルホログラフィ装置 1 の構成を説明するための模式図である。デジタルホログラフィ装置 1 は、レーザ光を出射する光源 4 を備えている。光源 4 から出射されたレーザ光は、ビームスプリッタ B S により分割される。分割されたレーザ光の一方は、ミラー M によって反射され、ビームエキスパンダ B E を通ってコリメータレンズ C L により平行光となり、被写体 6 に照射され、被写体 6 によって散乱されて物体光となり、他のビームスプリッタ B S を通って C C D カメラ 3 に設けられた撮像面 1 3 に入射する。

20

【0071】

ビームスプリッタ B S により分割されたレーザ光の他方は、他のミラー M によって反射され、他のビームエキスパンダ B E を通って他のコリメータレンズ C L により平行光となり、アレイデバイス 2 に入射する。

【0072】

アレイデバイス 2 は、レーザ光の入射方向に垂直な平面上において格子状に配置された 2 種類の領域 7 a ・ 7 b を有している。2 種類の領域 7 a ・ 7 b は、C C D カメラ 3 の各画素に対応して配置されている。アレイデバイス 2 の領域 7 a を通過したレーザ光は、位相シフト計測手段の基準となる参照光となる。領域 7 b を通過したレーザ光は、領域 7 a を通過したレーザ光の位相よりも (- / 2) 位相がシフトした参照光に変換される。

30

【0073】

アレイデバイス 2 により生成された 2 種類の参照光は、さらに他のミラー M により反射され、結像光学系 1 2 を通過して他のビームスプリッタ B S により反射されて C C D カメラ 3 に設けられた撮像面 1 3 に入射する。

【0074】

図 2 は、上記デジタルホログラフィ装置 1 における被写体 6 のホログラフィ像再生手順を説明するための図である。C C D カメラ 3 の撮像面 1 3 には、2 種類の参照光と物体光とがそれぞれ干渉した干渉縞 8 が記録される。干渉縞 8 は、格子状に交互に配置された領域 9 a ・ 9 b を有している。領域 9 a は、物体光と、アレイデバイス 2 の領域 7 a を通過して位相シフト計測手段の基準となる位相を有する参照光とが干渉した干渉縞が記録される領域である。領域 9 b は、物体光と、アレイデバイス 2 の領域 7 b を通過して、領域 7 a を通過した参照光の位相よりも (- / 2) 位相がシフトした参照光とが干渉した干渉縞が記録される領域である。

40

【0075】

再生像生成器 5 は、領域 9 a からなる干渉縞データ 1 0 a と、領域 9 b からなる干渉縞データ 1 0 b とを干渉縞 8 からそれぞれ抜き出す。そして、再生像生成器 5 は、干渉縞デ

50

ータ 10 a を補間して干渉縞データ 11 a を生成し、干渉縞データ 10 b を補間して干渉縞データ 11 b を生成する。次に、再生像生成器 5 は、干渉縞データ 11 a ・ 11 b をフネレル変換して被写体 6 の再生像を生成する。

【 0 0 7 6 】

参照光の強度は、十分強いことが好ましく、物体光強度の 2 倍以上であることが好ましい。その理由は、再生像生成器 5 において行われるホログラフィ像再生手順で用いられる (3) 式 ~ (5) 式が成立するための必要条件だからである。

【 0 0 7 7 】

次に、被写体 6 の再生像を生成する原理を説明する。CCD カメラ 3 の撮像面 13 での物体光の複素振幅分布を求めることにより、物体の 3 次元情報を計算する。物体の複素振幅分布を求めるためには、次の情報が必要である。

- ・ 参照光の強度分布
- ・ 物体光と参照光とによる干渉縞
- ・ 物体光と (- / 2) 位相がシフトした参照光とによる干渉縞

これらの情報から CCD カメラ 3 の撮像面 13 での物体光の複素振幅分布を求める理論を次に示す。

【 0 0 7 8 】

【 数 1 】

$$\text{物体光} : U_{(x,y)} = A_{o(x,y)} e^{j\theta_{(x,y)}}$$

($A_{o(x,y)}$: 物体光の振幅分布, $\theta_{(x,y)}$: 物体光の位相分布)

$$\text{参照光} : U_{r(x,y)} = A_{r(x,y)} e^{j\{\phi_{(x,y)} + \delta\}}$$

($A_{r(x,y)}$: 参照光の振幅分布, $\phi_{(x,y)}$: 参照光の位相分布, δ : 参照光の位相シフト量)

$$\text{参照光の強度} : I_{r(x,y)} = A_{r(x,y)}^2 \quad (A_{r(x,y)} = \sqrt{I_{r(x,y)}})$$

【 0 0 7 9 】

物体光と参照光とで生成される干渉縞は、次式 (1) により表わされる。

【 0 0 8 0 】

【 数 2 】

$$I_{(x,y;\delta)} = |U_{(x,y)} + U_{r(x,y)}|^2 = A_{o(x,y)}^2 + A_{r(x,y)}^2 + 2A_{o(x,y)}A_{r(x,y)} \cos[\theta_{(x,y)} - \{\phi_{(x,y)} + \delta\}] \quad (1)$$

【 0 0 8 1 】

位相シフト量 δ が、0、(- / 2) のときの干渉縞はそれぞれ次の通りである。

【 0 0 8 2 】

【 数 3 】

$$\delta = 0 \quad : \quad I_{(x,y;0)} = A_{o(x,y)}^2 + A_{r(x,y)}^2 + 2A_{o(x,y)}A_{r(x,y)} \cos[\theta_{(x,y)} - \phi_{(x,y)}]$$

$$\delta = -\frac{\pi}{2} \quad : \quad I_{(x,y;-\frac{\pi}{2})} = A_{o(x,y)}^2 + A_{r(x,y)}^2 - 2A_{o(x,y)}A_{r(x,y)} \sin[\theta_{(x,y)} - \phi_{(x,y)}]$$

【 0 0 8 3 】

ここで、干渉縞の 0 次回折光成分を、

【 0 0 8 4 】

10

20

30

40

50

【数 4】

$$a_{(x,y)} = A_{o(x,y)}^2 + A_{\gamma(x,y)}^2$$

【0085】

と定義し、参照光の初期位相 $(x, y) = 0$ とする。
上の2つの式を書き換えると、

【0086】

【数 5】

10

$$A_{o(x,y)} \cos \theta_{(x,y)} = \frac{I_{(x,y;0)} - a_{(x,y)}}{2\sqrt{I_{\gamma(x,y)}}}$$

$$A_{o(x,y)} \sin \theta_{(x,y)} = -\frac{I_{(x,y;-\frac{\pi}{2})} - a_{(x,y)}}{2\sqrt{I_{\gamma(x,y)}}} \quad (2)$$

【0087】

20

となる。干渉縞の0次回折光成分 $a(x, y)$ を求める手順を述べる。三角関数の公式 $\sin^2 + \cos^2 = 1$ に(2)式を代入すると、

【0088】

【数 6】

$$A_{o(x,y)}^2 \{ \cos^2 \theta_{(x,y)} + \sin^2 \theta_{(x,y)} \} = \left\{ \frac{I_{(x,y;0)} - a_{(x,y)}}{2\sqrt{I_{\gamma(x,y)}}} \right\}^2 + \left\{ \frac{-I_{(x,y;-\frac{\pi}{2})} + a_{(x,y)}}{2\sqrt{I_{\gamma(x,y)}}} \right\}^2$$

30

【0089】

となる。これを整理すると次式(3)に示す $a(x, y)$ の2次方程式となる。

【0090】

【数 7】

$$a_{(x,y)}^2 + va_{(x,y)} + w = 0$$

$$v = - \left(I_{(x,y;0)} + I_{(x,y;-\frac{\pi}{2})} + 2I_{\gamma(x,y)} \right)$$

$$w = \frac{1}{2} \left(I_{(x,y;0)}^2 + I_{(x,y;-\frac{\pi}{2})}^2 \right) + 2I_{\gamma(x,y)}^2 \quad (3)$$

10

$a_{(x,y)}$ について解くと

$$a_{(x,y)} = \frac{-v \pm \sqrt{v^2 - 4w}}{2} \quad (4)$$

$a_{(x,y)} = A_{o(x,y)}^2 + A_{\gamma(x,y)}^2$ であるので、根号は負となり

$$a_{(x,y)} = \frac{-v - \sqrt{v^2 - 4w}}{2} \quad (5)$$

20

【0091】

これより、2枚の干渉縞、参照光の強度の情報からCCD面での物体光の複素振幅分布を求められる。その順序は以下の通りである。

【0092】

まず、2枚の干渉縞、参照光の強度分布を撮像素子に記録する。そして、2枚の干渉縞、参照光の強度分布の情報を(5)式に代入して干渉縞の0次回折光成分を求める。次に、2枚の干渉縞、参照光の強度分布の情報、求めた干渉縞の0次回折光成分を(2)式に代入して物体光の実部、虚部を求める。

30

【0093】

実施の形態1に係るデジタルホログラフィの有効性を示すために、計算機を用いてシミュレーションを行なった。図3(a)は物体光の振幅分布を示す図であり、図3(b)は物体光の位相分布を示す図であり、図3(c)は従来法である特許文献1によるデジタルホログラフィ装置による再生像の振幅分布を示す図であり、図3(d)は従来法である特許文献1によるデジタルホログラフィ装置による再生像の位相分布を示す図であり、図3(e)は本発明による再生像の振幅分布を示す図であり、図3(f)は本発明による再生像の位相分布を示す図である。図4は、本発明及び従来法の相関係数値を示す図である。図5は、本発明及び従来法の相関係数値を示すグラフである。

40

【0094】

シミュレーション条件は以下の通りである。

- ・記録・再生光の波長：632.8 [nm]
- ・CCD面からの再生距離：7 [cm]
- ・CCDの画素数：512 × 512 [pixels]
- ・CCDの画素間隔：10 [μm]
- ・像再生手法：コンポリューション法
- ・Ar(x, y)：2

Ar(x, y) = 2としているのは、物体光の強度分布を規格化しており、物体光の強度と参照光の強度との比を1：4と仮定したためである。比較対象として従来法である特

50

許文献 1 のデジタルホログラフィで同様の条件でシミュレーションを行なった。補間処理方法として、共に、CCD 面上で欠落した各位相シフト量の画素値を補間した。比較の方法として、図 3 に示す物体光の振幅分布、位相分布と、それぞれの方法で得られた再生像の振幅分布、位相分布とで相関をとった。その得られた相関係数の値から有効性を調べた。相関係数 r を求める式を次に示す。

【 0 0 9 5 】

【 数 8 】

$$\gamma = \frac{\sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} (P_{(i,j)} - \bar{P})(Q_{(i,j)} - \bar{Q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} (P_{(i,j)} - \bar{P})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} (Q_{(i,j)} - \bar{Q})^2}} \quad (6) \quad 10$$

$$\bar{P} = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} P_{(i,j)}$$

$$\bar{Q} = \frac{1}{N_x N_y} \sum_{i=1}^{N_x} \sum_{j=1}^{N_y} Q_{(i,j)}$$

20

【 0 0 9 6 】

上式 (6) において、 $P_{(i,j)}$ を被写体のデータの各画素値とし、 $Q_{(i,j)}$ を再生像のデータの各画素値とし、 N_x 、 N_y をそれぞれ x 、 y 軸方向の画素数とする。 $P_{(i,j)}$ に被写体の振幅分布、位相分布のデータを与え、 $Q_{(i,j)}$ に再生像の振幅分布、位相分布を与えた。図 4 に相関値を、図 5 にグラフを示す。このシミュレーション結果より、画質の向上を確認することができた。

【 0 0 9 7 】

なお、実施の形態 1 では、光源 4 がレーザ光を出射する例を示したが、しかしながら、本発明はこれに限定されない。レーザ光の代わりに、超音波、X 線、LED からの光、スーパーミネッセントダイオードからの光、ハロゲンランプからの光、キセノンランプからの光、水銀ランプからの光、ナトリウムランプからの光、マイクロ波、テラヘルツ光、電子線、またはラジオ波を使用するように構成してもよい。後述する実施の形態も同様である。

30

【 0 0 9 8 】

また、アレイデバイス 2 の領域 7 a・7 b は、アレイデバイス 2 を構成する材料のガラスの厚みを変えることによって構成してもよいし、アレイデバイス 2 に液晶素子を設け、液晶分子の向きを変えることによって構成してもよい。

【 0 0 9 9 】

また、CCD カメラを撮像手段として使用する例を示したが、本発明はこれに限定されない。撮像手段として撮像素子一般を用いることができ、CCD カメラの代わりに CMOS イメージセンサーカメラを使用してもよい。後述する実施の形態も同様である。

40

【 0 1 0 0 】

また、アレイデバイスをガラスによって構成する例を示したが、本発明はこれに限定されない。

【 0 1 0 1 】

また、光源から出射されたレーザ光が被写体によって散乱されて物体光となる例を示したが、本発明はこれに限定されない。被写体から放射または透過または反射または回折されて物体光となってもよい。後述する実施の形態においても同様である。

【 0 1 0 2 】

(実施の形態 2)

50

図6は、実施の形態2に係るデジタルホログラフィ装置1cの構成を説明するための模式図である。前述した構成要素と同一の構成要素には同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。

【0103】

デジタルホログラフィ装置1cは、レーザ光を出射する光源4を備えている。光源4から出射されたレーザ光は、ビームスプリッタBSにより分割される。分割されたレーザ光の一方は、ミラーMによって反射され、ビームエキスパンダBEを通過してコリメータレンズCLにより平行光となり、被写体6に照射され、被写体6によって散乱されて物体光となり、他のビームスプリッタBSを通過してアレイデバイス14に入射する。

【0104】

ビームスプリッタBSにより分割されたレーザ光の他方は、他のミラーMによって反射され、他のビームエキスパンダBEを通過して他のコリメータレンズCLにより平行光となり、さらに他のミラーM及び他のビームスプリッタBSによって反射されてアレイデバイス14に入射する。

【0105】

図7はアレイデバイス14の構成を説明するための模式的な斜視図であり、図8はその断面図である。アレイデバイス14は、レーザ光の入射方向に垂直な平面上において交互に格子状に配置された2種類の領域15a・15bを有している。2種類の領域15a・15bは、CCDカメラ3の各画素に対応して配置されている。アレイデバイス14は、物体光と参照光とに対して屈折率が等しいガラスによって構成されており、図8に示すように、領域15aは、領域15bよりも薄く構成されている。

【0106】

領域15aは、被写体6からの物体光及び他のビームスプリッタBSにより反射されたレーザ光に基づいて、第1光路物体光及び第1光路参照光をそれぞれ生成して撮像面13に入射する。領域15bは、被写体6からの物体光及び他のビームスプリッタBSにより反射されたレーザ光に基づいて、第2光路物体光及び第2光路参照光をそれぞれ生成して撮像面13に入射する。アレイデバイス14は、CCDカメラ3の撮像面13に貼り付けてもよい。このようなアレイデバイス14の構成によって、CCDカメラ3の画素ごとに光路差が生じるので、光路長の異なる2枚の干渉縞を一回で同時記録することができる。この光路差は満たすべき特定の条件を持たないので、ガラスの厚さは均一であれば自由に定めても良い。

【0107】

アレイデバイスは、同じ厚みを有する第1光学媒質および第2光学媒質によって形成してもよい。この場合は、第1光学媒質は、入射する物体光および参照光に対して第1屈折率を有し、第2光学媒質は、物体光および参照光に対して第1屈折率と異なる第2屈折率を有するように構成する。

【0108】

図9は、デジタルホログラフィ装置1cにおける像再構成アルゴリズムを説明するための図である。CCDカメラ3の撮像面13には、干渉縞16が記録される。干渉縞16は、格子状に交互に配置された2種類の領域17a・17bに記録される。領域17aは、アレイデバイス14の領域15aに対応する。領域17bは、アレイデバイス14の領域15bに対応する。

【0109】

再生像生成器5は、領域17aからなる干渉縞データ18aと、領域17bからなる干渉縞データ18bとを干渉縞16から抜き出す。そして、再生像生成器5は、干渉縞データ18aを補間して干渉縞データ19aを生成し、干渉縞データ18bを補間して干渉縞データ19bを生成する。次に、再生像生成器5は、干渉縞データ19a・19bをフレネル変換して被写体6の再生像を生成する。

【0110】

このように、光路長の異なる2枚の干渉縞情報を本実施の形態の撮像素子で記録し、各

10

20

30

40

50

成分を抜き出しそれぞれ欠落した画素を補間する。そして、以上のプロセスで得た 2 枚の干渉縞から、計算機で像再生計算を行うことで物体光を求め、三次元情報を再生する。

【 0 1 1 1 】

以上のように、インライン上に配置された撮像素子 (CCD カメラ 3) と被写体 6 の間の距離が異なる 2 つの位置で記録した 2 枚のインラインホログラムから、任意の位置での被写体の振幅情報を再生することが可能である。この手法の原理を以下で述べる。

【 0 1 1 2 】

被写体 6 に光を照射することで被写体 6 から散乱される物体光と、参照光となる平面波とをインラインで重ね合わせることで撮像素子上に干渉縞が形成される。この撮像素子で記録される干渉縞は、撮像素子と被写体の間の距離を z とすると、

10

【 0 1 1 3 】

【 数 9 】

$$I(x, y, z) = \left| A_0 \exp\left(-i \frac{2\pi d}{\lambda}\right) [1 + u(x, y, z)] \right|^2 \quad (7)$$

A_0 : 参照光の振幅 (実数の定数)

$u(x, y, z)$: 物体光の振幅・位相分布

20

【 0 1 1 4 】

の式 (7) で与えられる。

【 0 1 1 5 】

ここで、物体光が参照光に対して十分に小さいとき、(7) 式は近似を用いて、

【 0 1 1 6 】

【 数 10 】

$$\begin{aligned} I(x, y, z) &= \left| A_0 \exp\left(-i \frac{2\pi d}{\lambda}\right) \exp[u(x, y, z)] \right|^2 \\ &= A_0^2 \exp[u(x, y, z) + u^*(x, y, z)] \end{aligned} \quad (8)$$

30

【 0 1 1 7 】

の式 (8) のように表される。

ここで、関数を式 (9) のように定義する。

【 0 1 1 8 】

【 数 11 】

$$l(x, y, z) = \log[I(x, y, z) / A_0^2] = u(x, y, z) + u^*(x, y, z) \quad (9)$$

40

【 0 1 1 9 】

このとき、 $l(x, y, z)$ のフーリエ変換は、

【 0 1 2 0 】

【数 1 2】

$$\begin{aligned}
 L(x, y, z) &= \iint l(x, y, z) \exp[-i2\pi(f_x x + f_y y)] dx dy \\
 &= U(f_x, f_y, 0)H(f_x, f_y, z) + U^*(-f_x, -f_y, 0)H^*(f_x, f_y, z)
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

【0 1 2 1】

の式(10)となる。

ここで、 $H(f_x, f_y, z)$ はレイリー・ゾンマーフェルトの積分を用いた伝達関数であり、

【0 1 2 2】

【数 1 3】

$$H(f_x, f_y, \Delta z) = \exp\left[-i \frac{2\pi z}{\lambda} (1 - \lambda^2 f_x^2 - \lambda^2 f_y^2)^{\frac{1}{2}}\right]
 \tag{11}$$

【0 1 2 3】

の式(11)で与えられる。(10)式より、関数 $L(x, y, z)$ は物体の複素振幅分布とその共役像の両方のフーリエ変換像を含んでいる。

【0 1 2 4】

そこで物体の複素振幅分布を再生し、共役像を除去するために撮像素子と被写体の距離が $z + \Delta z$ の干渉縞を記録する。この干渉縞より $L(x, y, z + \Delta z)$ を求める。

【0 1 2 5】

求めた $L(x, y, z)$ 、 $L(x, y, z + \Delta z)$ より以下の式(12)が成立する。

【0 1 2 6】

【数 1 4】

$$\begin{aligned}
 \Delta L(x, y, z) &= L(x, y, z) - L(x, y, z + \Delta z)H(f_x, f_y, \Delta z) \\
 &= U(f_x, f_y, 0)H(f_x, f_y, z) \times [1 - H(f_x, f_y, 2\Delta z)]
 \end{aligned}
 \tag{12}$$

【0 1 2 7】

この式(12)から物体光をフーリエ変換した関数 $U(f_x, f_y, 0)$ を求めることができるので、逆フーリエ変換により求める物体の振幅・位相情報となる $u(x, y, 0)$ を求めることができる。

【0 1 2 8】

図10(a)は上記デジタルホログラフィ装置1cによる被写体の再生像を示す図であり、図10(b)は従来のフレネル変換法による被写体の再生像を示す図であり、図10(c)は従来の逐次位相シフトデジタルホログラフィによる被写体の再生像を示す図である。図10(d)は従来法である(特許文献1)によるデジタルホログラフィ装置による被写体の再生像を示す図である。

【0 1 2 9】

実施の形態2に係るデジタルホログラフィ装置1cによれば、従来の逐次位相シフトデジタルホログラフィ及び従来法である(特許文献1)によるデジタルホログラフィ装置による再生像と同等の画質を得られることが分かる。

【0 1 3 0】

10

20

30

40

50

(実施の形態3)

図11は、実施の形態3に係るデジタルホログラフィ装置1dの構成を説明するための模式図である。前述した構成要素と同一の構成要素には同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。

【0131】

デジタルホログラフィ装置1dは、緑色に対応する波長を有する緑色レーザ光を出射する光源28aと、赤色に対応する波長を有する赤色レーザ光を出射する光源28bとを備えている。光源28aから出射した緑色レーザ光は、ミラーMにより反射されてハーフミラーHMを透過して他のハーフミラーHMに入射する。光源28bから出射した赤色レーザ光は、ハーフミラーHMにより反射されて他のハーフミラーHMに入射する。

10

【0132】

他のハーフミラーHMによって反射された緑色レーザ光及び赤色レーザ光は、ビームエキスパンダBEを通して被写体6に照射され、被写体6により透過される物体光は、他のミラーMにより反射されビームスプリッタBSにより反射されてCCDカメラ3の撮像面13に入射する。

【0133】

他のハーフミラーHMを通り抜けた緑色レーザ光及び赤色レーザ光は、さらに他のミラーMによって反射され他のビームエキスパンダBEを通してアレイデバイス20に入射する。

20

【0134】

図12は、アレイデバイス20の構成を説明するための図である。アレイデバイス20は、緑色レーザ光及び赤色レーザ光の入射方向に垂直な第1方向に沿ってストライプ状にそれぞれ配置されて、位相0に対応する位相領域23aと、位相 $(\pi/2)$ に対応する位相領域23bと、位相 (π) に対応する位相領域23cと、位相 $(3\pi/2)$ に対応する位相領域23dとを有する位相シフトアレイデバイス21と、緑色レーザ光及び赤色レーザ光の入射方向に垂直な方向であって前記第1方向に垂直に交差する方向に沿ってストライプ状にそれぞれ配置されて、緑色に対応する波長を有する緑色レーザ光を透過する波長領域24aと、赤色に対応する波長を有する赤色レーザ光を透過する波長領域24bとを有する波長選択アレイデバイス22とを有している。

【0135】

位相領域23a・23b・23c・23d、並びに波長領域24a・24bは、CCDカメラ3の各画素に対応して配置されている。

30

【0136】

瞬時に正確な位相分布を取得するためには、2つの波長に対応する干渉縞を同時に記録するシステムがあればよい。また、参照光の位相をシフトさせたものを波長ごとに取得できれば、0次回折光などの影響を軽減できる。上記のように構成されたアレイデバイス20及びCCDカメラ3を設けた。

【0137】

即ち、CCDカメラ3の画素ごとに位相シフト量が0、 $(\pi/2)$ 、 (π) 、 $(3\pi/2)$ のいずれかとなる位相シフトアレイデバイス21と、さらにその前面に特定の波長のみを通す波長選択アレイデバイス22とを取り付けたものである。

40

【0138】

このように、アレイデバイス20は、光源28a及び光源28bからそれぞれ出射された緑色レーザ光及び赤色レーザ光を、位相0及び緑色波長に対応する第1位相緑色参照光と、位相 $(\pi/2)$ 及び緑色波長に対応する第2位相緑色参照光と、位相 (π) 及び緑色波長に対応する第3位相緑色参照光と、位相 $(3\pi/2)$ 及び緑色波長に対応する第4位相緑色参照光と、位相0及び赤色波長に対応する第1位相赤色参照光と、位相 $(\pi/2)$ 及び赤色波長に対応する第2位相赤色参照光と、位相 (π) 及び赤色波長に対応する第3位相赤色参照光と、位相 $(3\pi/2)$ 及び赤色波長に対応する第4位相赤色参照光との8種類の参照光に、緑色レーザ光及び赤色レーザ光の入射方向に垂直な平面上において分割する。

50

【 0 1 3 9 】

図 1 3 は、デジタルホログラフィ装置 1 d における像再構成アルゴリズムを説明するための図である。前述した第 1 位相緑色参照光、第 2 位相緑色参照光、第 3 位相緑色参照光、第 4 位相緑色参照光、第 1 位相赤色参照光、第 2 位相赤色参照光、第 3 位相赤色参照光、及び第 4 位相赤色参照光と、物体光とがそれぞれ干渉して撮像面 1 3 に記録された干渉縞から、同じ波長かつ同じ位相シフト量で記録された画素を抜き出し、干渉縞 2 5 a · 2 5 b · 2 5 c · 2 5 d · 2 5 e · 2 5 f · 2 5 g · 2 5 h の 8 枚の干渉縞を得る。

【 0 1 4 0 】

図 1 4 (a) ~ 図 1 4 (e) は、デジタルホログラフィ装置 1 d における画素の補間方法を説明するための図である。8 枚の干渉縞 2 5 a ~ 2 5 h のそれぞれにおいて欠落した画素を図 1 4 (a) ~ 図 1 4 (e) に示すように補間する。端の画素では近接する画素の値を複製する。8 画素を 1 グループとし、図 1 4 (a) ~ 図 1 4 (e) に示す丸印の 1 番から丸印の 7 番の順番に補間を行う。

10

【 0 1 4 1 】

図 1 5 は、デジタルホログラフィ装置 1 d における複素振幅を求める方法を説明するための図である。補間を行った 8 枚の干渉縞 2 5 a ~ 2 5 h を用いて、波長ごとに位相シフト計算を再生像生成器 5 により行い、それぞれの波長に対応する複素振幅分布を求める。そして、2 つの波長に対する複素振幅分布に基づいて、それぞれの位相分布を計算する。次に、2 つの波長に対する位相分布の画像中の同じ位置に配置された画素同士で差を取る。その結果、負となった画素に対して 2 を加える。

20

【 0 1 4 2 】

次に、実施の形態 3 に係るデジタルホログラフィの原理を説明する。物体の複素振幅分布 U とすると、物体の位相分布 ϕ は以下のように複素振幅 U より求められる。

【 0 1 4 3 】

【 数 1 5 】

$$\phi = \arctan \frac{\Im[U]}{\Re[U]}$$

30

【 0 1 4 4 】

観測される位相分布は \arctan で求められるため、 $-\pi < \phi < \pi$ の範囲に折り畳まれ、正確な位相分布を得ることができない。そこで、正確な位相分布を得るために位相接続を行う。

【 0 1 4 5 】

2 波長を用いて位相接続を行う方法を 2 波長位相接続法と呼ぶ。その理論を次に示す。

【 0 1 4 6 】

波長 λ_m に対する位相分布 ϕ_m とすると、それに対応する物体の表面形状 z_m は次のように表せる。

【 0 1 4 7 】

【 数 1 6 】

$$z_m = \frac{\phi_m}{2\pi} \lambda_m$$

40

【 0 1 4 8 】

以下、2 つの波長 λ_1 、 λ_2 ($\lambda_1 < \lambda_2$) とし、波長 λ_1 に対する位相分布 ϕ_1 、波長 λ_2 に対する位相分布 ϕ_2 とする。2 つの位相分布 ϕ_1 、 ϕ_2 の差 $\phi_1 - \phi_2$ を次のように求める。

50

【 0 1 4 9 】

【 数 1 7 】

$$\varphi_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$$

【 0 1 5 0 】

この φ_{12} は、 φ_1 、 φ_2 の折り返し点に対応する点において位相差が 2π となり、このような点が多数存在する。この位相差が 2π となる点の数を減らすために、 $\varphi_{12} < 0$ となる部分に 2π を加える。その結果、求まる位相分布 φ'_{12} は、以下のように表される。 10

【 0 1 5 1 】

【 数 1 8 】

$$\varphi'_{12} = \varphi_{12} + \begin{cases} 2\pi (\varphi_{12} < 0 \text{ のとき}) \\ 0 (\varphi_{12} \geq 0 \text{ のとき}) \end{cases}$$

【 0 1 5 2 】

Λ_{12} は、次式で表される合成波長 Λ_{12} により得られる位相分布に相当する。 20

【 0 1 5 3 】

【 数 1 9 】

$$\Lambda_{12} = \frac{\lambda_1 \lambda_2}{|\lambda_1 - \lambda_2|}$$

【 0 1 5 4 】

図 1 6 (a) はデジタルホログラフィ装置 1 d の被写体 6 の高さ分布を示す図であり、図 1 6 (b) は被写体 6 の振幅分布を示す図であり、図 1 6 (c) は波長 6 3 3 n m、5 3 2 n m のレーザを用いた場合の計算機シミュレーションの結果を示し、図 1 6 (d) は波長 6 3 3 n m、6 3 5 n m のレーザを用いた場合の計算機シミュレーションの結果を示し、図 1 6 (e) は従来法である (特許文献 1) によるデジタルホログラフィ装置 (波長 : 6 3 3 n m) による計算機シミュレーションの結果を示す。 30

【 0 1 5 5 】

シミュレーション条件は、以下に示すとおりである。

- ・物体とホログラム面の距離 (再生距離) : 1 0 c m
- ・物体光・参照光の波長 : 6 3 3 n m と 5 3 2 n m、または 6 3 3 n m と 6 3 5 n m
- ・ホログラム、再生像の画素間隔 : 1 0 μ m 40
- ・ホログラム、再生像の画素数 : 5 1 2 \times 5 1 2 p i x e l s
- ・像再生の方法 : コンボリューション法

また、被写体 6 の高さは最大 3 μ m とした。図 1 6 に示す画像は、2 5 6 階調に値を規格化しており、最小値を黒 (0)、最大値を白 (2 5 5) としている。

【 0 1 5 6 】

図 1 6 (c) ~ 図 1 6 (e) は、計算機シミュレーションの結果を示す。波長 6 3 3 n m と 5 3 2 n m のレーザを用いた場合の合成波長は約 3 . 3 μ m となる。また、波長 6 3 3 n m と 6 3 5 n m のレーザを用いた場合の合成波長は約 2 0 0 μ m となる。

【 0 1 5 7 】

図 1 7 は、実施の形態 3 に係る他のデジタルホログラフィ装置 1 e の構成を説明するた 50

めの模式図である。前述した図 1 1 で示した構成要素と同一の構成要素には同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。

【 0 1 5 8 】

デジタルホログラフィ装置 1 e が前述した図 1 1 で示したデジタルホログラフィ装置 1 d と異なる点は、光源 2 8 c を追加した点、及びアレイデバイス 2 0 に代えてアレイデバイス 2 0 e を設けた点である。光源 2 8 c は、青色に対応する波長を有する青色レーザ光を出射する。

【 0 1 5 9 】

図 1 8 は、アレイデバイス 2 0 e の構成を説明するための図である。アレイデバイス 2 0 e は、位相シフトアレイデバイス 2 1 と波長選択アレイデバイス 2 2 e とを有している。

10

【 0 1 6 0 】

位相シフトアレイデバイス 2 1 は、緑色レーザ光、赤色レーザ光及び青色レーザ光の入射方向に垂直な第 1 方向に沿ってストライプ状にそれぞれ配置されて、位相 0 に対応する位相領域 2 3 a と、位相 ($\pi/2$) に対応する位相領域 2 3 b と、位相 π に対応する位相領域 2 3 c と、位相 ($3\pi/2$) に対応する位相領域 2 3 d とを有している。

【 0 1 6 1 】

波長選択アレイデバイス 2 2 e は、緑色レーザ光、赤色レーザ光及び青色レーザ光の入射方向に垂直な方向であって前記第 1 方向に垂直に交差する方向に沿ってストライプ状にそれぞれ配置されて、緑色に対応する波長を有する緑色レーザ光を透過する波長領域 2 6 a と、赤色に対応する波長を有する赤色レーザ光を透過する波長領域 2 6 b と、青色に対応する波長を有する青色レーザ光を透過する波長領域 2 6 c とを有している。位相領域 2 3 a ・ 2 3 b ・ 2 3 c ・ 2 3 d 、並びに波長領域 2 6 a ・ 2 6 b ・ 2 6 c は、CCD カメラ 3 の各画素に対応して配置されている。

20

【 0 1 6 2 】

図 1 9 は、デジタルホログラフィ装置 1 e における像再構成アルゴリズムを説明するための図である。アレイデバイス 2 0 e によって生成した 1 2 種類の参照光と物体光とが干渉して撮像面 1 3 に記録された干渉縞から、同じ波長かつ同じ位相シフト量で記録された画素を抜き出して、1 2 枚の干渉縞 2 7 a ~ 2 7 l を得る。

【 0 1 6 3 】

図 2 0 は、デジタルホログラフィ装置 1 e における画素の補間方法を説明するための図である。1 2 枚の干渉縞 2 7 a ~ 2 7 l のそれぞれにおいて欠落した画素の補間を以下のように行う。端の画素では近接する画素の値を複製する。補間は以下に示すように重み付けをし、補間する。

30

【 0 1 6 4 】

例) 有効な 4 画素から欠落した画素を記録する場合

有効な 4 画素 A、B、C、D とし、画素 A、B、C、D から欠落した画素までの距離をそれぞれ a、b、c、d とする。欠落した画素を画素 F とすると、画素 F の値は、下記の式に従って求める。

【 0 1 6 5 】

40

【 数 2 0 】

$$F = \frac{\frac{1}{a}A + \frac{1}{b}B + \frac{1}{c}C + \frac{1}{d}D}{\frac{1}{a} + \frac{1}{b} + \frac{1}{c} + \frac{1}{d}}$$

【 0 1 6 6 】

図 2 1 は、デジタルホログラフィ装置 1 e における複素振幅を求める方法を説明するた

50

めの図である。補間を行った12枚の干渉縞27a~27lを用いて、波長ごとに位相シフト計測法における複素振幅分布を求める計算を行い、それぞれの波長に対応する複素振幅分布を求める。そして、3つの波長に対する複素振幅分布より、それぞれの位相分布を計算する。次に、3つの波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3 < \lambda_1$)のうち、 λ_1 と λ_3 、 λ_2 と λ_3 の2組に2波長位相接続法を適用する。その後、上記2波長位相接続法を適用して得られた2つの位相分布に、さらに、2波長位相接続法を適用する。

【0167】

図22(a)は波長633nm、532nmのレーザを用いた場合の計算機シミュレーションの結果を示し、図22(b)は波長633nm、532nm、475nmのレーザを用いた場合の計算機シミュレーションの結果を示す。

10

【0168】

シミュレーション条件、被写体等は、図16を参照して前述した並列2波長位相接続法と同じである。また、前述した並列2波長位相接続法(波長:633nm、532nm)の合成波長は約3.3 μ mであり、並列3波長位相接続法(波長:633nm、532nm、475nm)の合成波長は約13.5 μ mである。

【0169】

次に、3波長を用いて位相接続する方法の原理を説明する。3つの波長を λ_1 、 λ_2 、 λ_3 ($\lambda_2 < \lambda_3 < \lambda_1$)とする。まず、波長 λ_1 と λ_3 に対応する位相分布に2波長位相接続法を適用し、合成波長 λ_{13} に対応する位相分布を得る。次に、波長 λ_2 と λ_3 に対応する位相分布に2波長位相接続法を適用し、合成波長 λ_{23} に対応する位相分布を得る。その後、合成波長 λ_{13} と λ_{23} に対応する位相分布に2波長位相接続法を適用し、合成波長 $\lambda_{13} - \lambda_{23}$ に対応する位相分布を得る。

20

以下に、合成波長 $\lambda_{13} - \lambda_{23}$ を導く。

【0170】

各合成波長は、

【0171】

【数21】

$$\Lambda_{13} = \frac{\lambda_1 \lambda_3}{|\lambda_1 - \lambda_3|}, \quad \Lambda_{23} = \frac{\lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_2 - \lambda_3|}$$

30

【0172】

となる。

【0173】

λ_{13} と λ_{23} の合成波長 $\lambda_{13} - \lambda_{23}$ は以下のように計算される。

【0174】

【数 2 2】

$$\Lambda_{13-23} = \frac{\frac{\lambda_1 \lambda_3}{|\lambda_1 - \lambda_3|} \frac{\lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_2 - \lambda_3|}}{\frac{\lambda_1 \lambda_3}{|\lambda_1 - \lambda_3|} - \frac{\lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_2 - \lambda_3|}} = \frac{\frac{\lambda_1 \lambda_3 \lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_1 - \lambda_3| |\lambda_2 - \lambda_3|}}{\frac{|\lambda_2 - \lambda_3| \lambda_1 \lambda_3 - |\lambda_1 - \lambda_3| \lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_1 - \lambda_3| |\lambda_2 - \lambda_3|}} = \frac{\frac{\lambda_1 \lambda_3 \lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_1 - \lambda_3| |\lambda_2 - \lambda_3|}}{\frac{|\lambda_2 - \lambda_3| \lambda_1 \lambda_3 - |\lambda_1 - \lambda_3| \lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_1 - \lambda_3| |\lambda_2 - \lambda_3|}}$$

$$= \frac{\lambda_1 \lambda_3 \lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_2 - \lambda_3| \lambda_1 \lambda_3 - |\lambda_1 - \lambda_3| \lambda_2 \lambda_3} = \frac{\lambda_1 \lambda_3 \lambda_2 \lambda_3}{\lambda_3 (|\lambda_2 - \lambda_3| \lambda_1 - |\lambda_1 - \lambda_3| \lambda_2)} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_2 - \lambda_3| \lambda_1 - |\lambda_1 - \lambda_3| \lambda_2} \quad (\because \lambda_3 > 0)$$

ここで、 $\lambda_2 < \lambda_3 < \lambda_1$ であるから、

$$\Lambda_{13-23} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{|(\lambda_3 - \lambda_2) \lambda_1 - (\lambda_1 - \lambda_3) \lambda_2|} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_1 \lambda_3 - \lambda_1 \lambda_2 - (\lambda_1 \lambda_2 - \lambda_2 \lambda_3)|} = \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_1 \lambda_3 - \lambda_1 \lambda_2 - \lambda_1 \lambda_2 + \lambda_2 \lambda_3|}$$

$$= \frac{\lambda_1 \lambda_2 \lambda_3}{|\lambda_1 \lambda_3 + \lambda_2 \lambda_3 - 2\lambda_1 \lambda_2|}$$

10

【0 1 7 5】

(実施の形態 4)

図 2 4 は、実施の形態 4 に係るデジタルホログラフィ装置 1 f の構成を説明するための模式図である。前述した構成要素と同一の構成要素には同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。

20

【0 1 7 6】

図 2 4 は、CCDカメラ 3 の撮像面 1 3 に偏光子アレイデバイス 3 3 を貼り付ける場合の光学系の一例を示している。図 2 4 に示す光学系の説明を行なう。まず、光源 3 1 から出射されるレーザは垂直偏光成分のみを有するものとする。光源 3 1 から出射された光は、ビームエキスパンダ B E を通り、対物レンズと平行光を形成するレンズ (コリメートレンズ C L) によって、拡大された平行光となり、ビームスプリッタ B S 1 によって物体光と参照光とに分けられる。物体光は物体 (被写体 6) の散乱光が偏光子とビームスプリッタ B S 2 とを通過して偏光子アレイデバイス 3 3 と一体に構成された CCDカメラ 3 (撮像素子) へ到達する。一方、参照光は 1 / 4 波長板 3 2 を通過するとき垂直偏光と水平偏光との成分を持った偏光になる。このとき、参照光は位相シフトのない成分と - / 2 位相シフトした成分とを持つ。そしてビームスプリッタ B S 2 を通して偏光子アレイデバイス 3 3 と一体に構成された CCDカメラ 3 へ到達する。

30

【0 1 7 7】

図 2 5 (a) はデジタルホログラフィ装置 1 f の偏光子アレイデバイス 3 3 の構成を説明するための模式図であり、図 2 5 (b) は偏光方向を示す図である。CCDカメラ 3 の撮像面 1 3 に偏光子アレイデバイス 3 3 を貼り付ける場合についての位相シフトアレイデバイスの概要図を図 2 5 に示す。この場合、位相シフトアレイデバイスは図 2 5 のような偏光子アレイデバイス 3 3 となる。図中の矢印は、図中の矢印方向の偏光のみが通過できることを示す。この偏光子アレイデバイス 3 3 の 1 区間の大きさは CCDカメラ 3 の撮像素子の 1 画素の大きさに対応しており、偏光子アレイデバイス 3 3 は撮像素子の撮像面 1 3 上に貼り付けられる。偏光子アレイデバイス 3 3 は、光源 3 1 から出射された光を、その進行方向に垂直な平面上において互いに位相が異なる 2 種類の参照光に分割する。

40

【0 1 7 8】

図 2 6 は、デジタルホログラフィ装置 1 f における偏光方向の変化を説明するための図である。図 2 4 の光学系における、物体光と参照光の偏光方向の変化を図 2 6 に示す。物体光は、位相シフトせずに CCDカメラ 3 の撮像面 1 3 (撮像素子) の各画素に記録される。1 / 4 波長板 3 2 を通過した後の参照光の偏光は図 2 6 のように 2 つの直線偏光で表せる。片側の偏光は位相がシフトせず、もう片側は 1 / 4 波長板 3 2 によって位相が -

50

/ 2シフトする。そして、撮像面 1 3 に貼り付けられた偏光子アレイデバイス 3 3 によって、位相がシフトしていない成分のみ又は位相が - / 2シフトした成分のみの参照光が各画素に記録される。

【 0 1 7 9 】

図 2 7 は、デジタルホログラフィ装置 1 f に設けられた CCD カメラ 3 の撮像面 1 3 における参照光の偏光方向と位相分布とを示す図である。図 2 6 の撮像面 1 3 での参照光の偏光方向と位相分布とを図 2 7 に示す。CCD カメラ 3 (撮像素子) には偏光子アレイデバイス 3 3 が貼り付けられており、偏光子アレイデバイス 3 3 によって決められた偏光し通らない。そのために、位相がシフトしていない成分のみ又は位相が - / 2シフトした成分のみの参照光が各画素に記録される。よって、図 2 7 の通りの位相シフト量を持った参照光が各画素に記録される。物体光は位相が変化しないので、干渉縞は、参照光が位相シフトしていないものと - / 2 位相シフトしたものの 2 種類になる。このようにして 2 枚分の干渉縞の情報をシングルショットで記録する。

10

【 0 1 8 0 】

このように、光源 3 1 は、垂直方向に偏光した光を出射し、1 / 4 波長板 3 2 によって分割された 2 種類の参照光の一方は垂直方向に対して 4 5 度傾斜する第 2 方向に偏光し、参照光の他方は垂直方向に対して - 4 5 度傾斜する第 3 方向に偏光する。

【 0 1 8 1 】

物体光と 2 種類の参照光とを透過させる偏光子アレイデバイス 3 3 は、第 2 方向に偏光した参照光の一方と物体光の第 2 方向への正射影成分とを透過させる領域 3 4 a と、第 3 方向に偏光した参照光の他方と物体光の第 3 方向への正射影成分とを透過させる領域 3 4 b とを有している。

20

【 0 1 8 2 】

図 2 8 は、実施の形態 4 に係る他のデジタルホログラフィ装置 1 g の構成を説明するための模式図である。前述した構成要素と同一の構成要素には同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。

【 0 1 8 3 】

CCD カメラ 3 の撮像面 1 3 に波長板光学媒質アレイデバイス 3 6 と偏光子 3 7 と有する位相シフトアレイデバイス 3 5 を貼り付ける場合の光学系の一例を図 2 8 に示す。図 2 8 に示す光学系の説明を行なう。まず、光源 3 1 a から出射されるレーザは、垂直偏光と水平偏光の成分を持つ直線偏光とする。光源 3 1 a から出射された光は対物レンズと平行光を形成するレンズによって拡大された平行光となり、ビームスプリッタ B S 1 によって物体光と参照光に分けられる。物体光は、物体の散乱光が偏光ビームスプリッタ P B S で反射するとき垂直偏光成分のみとなり、そして位相シフトアレイデバイス 3 5 と一体に構成された CCD カメラ 3 へ到達する。ただし、位相シフトアレイデバイス 3 5 を通過するとき物体光の位相はシフトしない。一方、参照光は、偏光ビームスプリッタ P B S を通過して水平偏光成分のみとなり、そして位相シフトアレイデバイス 3 5 と一体に構成された CCD カメラ 3 へ到達する。

30

【 0 1 8 4 】

図 2 9 は、デジタルホログラフィ装置 1 g に設けられた位相シフトアレイデバイス 3 5 の構成を説明するための図である。CCD カメラ 3 の撮像面 1 3 に波長板光学媒質アレイデバイス 3 6 と偏光子 3 7 とを有する位相シフトアレイデバイス 3 5 を貼り付ける場合の位相シフトアレイデバイス 3 5 の概要図を図 2 9 に示す。この場合、位相シフトアレイデバイス 3 5 は図 2 9 のような波長板光学媒質アレイデバイス 3 6 と偏光子 3 7 とから構成される。光学媒質 3 8 は、等方性で、屈折率が波長板の高速軸 4 0 の屈折率と等しく、厚みが波長板と等しく、光の吸収のない材料で設計される。本方法で必要とされる波長板は 1 / 4 波長板 3 9 以外のものでも良いが、今回、参照光の位相シフト量が 0 と - / 2 として説明しているため、一例として 1 / 4 波長板 3 9 を用いる。また、図中の偏光子 3 7 の矢印は、図中の矢印方向の偏光のみが通過できることを示す。この波長板光学媒質アレイデバイス 3 6 の 1 区画の大きさは CCD カメラ 3 の撮像素子の 1 画素の大きさに対応し

40

50

ており、波長板光学媒質アレイデバイス36と偏光子37とはCCDカメラ3の撮像面13上に貼り付けられる。

【0185】

図30は、位相シフトアレイデバイス1gにおける参照光の位相シフトと偏光方向の変化を説明するための図であり、偏光ビームスプリッタPBSからCCDカメラ3の撮像面13へ向かう参照光が位相シフトする様子を示す。水平偏光成分のみを持つ参照光は、波長板光学媒質アレイデバイス36に設けられて高速軸40と低速軸41とを有する波長板(1/4波長板39)の部分を通過するとき位相が $\pi/2$ シフトする。その後偏光子37を通り、偏光方向が一定で2段階の位相を持った参照光が撮像面13に記録される。

10

【0186】

図31は、デジタルホログラフィ装置1gにおける物体光と参照光との各素子での位相と偏光方向との変化を説明するための図である。光源31a(レーザ)から射出された垂直偏光と水平偏光との成分を持った直線偏光は、偏光ビームスプリッタBS1によって物体光が垂直または水平偏光成分のみ、参照光が物体光と垂直な偏光成分のみに変えられ、位相シフトアレイデバイス35と一体に構成されたCCDカメラ3に向かう。波長板の高速軸40と低速軸41とが図29に示すようなものであるとき、物体光は垂直偏光、参照光は水平偏光である。物体光は波長板光学媒質アレイデバイス36を通過したときに、波長板光学媒質アレイデバイス36のあらゆる区画で位相がシフトしない。そして偏光子37を通して、撮像面13の各画素に図31に示す偏光方向の物体光が記録される。波長板光学媒質アレイデバイス36の波長板(1/4波長板39)の部分を通った参照光は位相が $\pi/2$ シフトし、偏光子37を通して図31に示す偏光方向の参照光が記録される。撮像面13で物体光と参照光との偏光方向が揃うため干渉し、また2枚分の干渉縞の情報をシングルショットで記録する。

20

【0187】

このように、光源31aは、垂直方向偏光成分と水平方向偏光成分とを有する直線偏光を出射する。そして、物体光を垂直方向偏光成分の光に変換し、参照光を水平方向偏光成分の光に変換する偏光ビームスプリッタPBSが設けられる。位相シフトアレイデバイス35は、水平偏光成分の光を、その進行方向に垂直な平面上において互いに位相が異なる2種類の参照光に分割する波長板光学媒質アレイデバイス36と、物体光の垂直方向に対して -45 度傾斜した第3方向偏光成分と2種類の参照光の第3方向偏光成分と透過させる偏光子37とを有している。波長板光学媒質アレイデバイス36は、水平方向偏光成分の光を透過させる光学媒質38と、水平方向偏光成分の光を位相をシフトさせて透過させる1/4波長板39とを有している。

30

【0188】

(実施の形態5)

異なる距離での2枚の干渉縞による像再生デジタルホログラフィの実現方法を説明する。

【0189】

図32は、実施の形態5に係るデジタルホログラフィ装置1hの構成を示す模式図である。位相板をアレイ状に配列したデバイスを用いて2枚の干渉縞を記録する方法を以下に示す。まず、光学系を図32に示す。光源48から出た光は、直後の偏光板49により垂直な偏光の成分のみが取り出される。この垂直偏光方向と1/4波長板45の高速軸46とが一致するように、1/4波長板45を、CCDカメラ3の撮像面13の直前に貼り付けられた位相板アレイ42の領域43に配置する。位相板アレイ42は前述の1/4波長板45と、位相を変化させないガラスを設けた領域44とが1画素ごとに格子状に交互に配置されており、位相の異なる2枚の干渉縞情報を一度に記録することができる。

40

【0190】

位相板アレイ42の実現方法として2例を挙げて、その作製方法をのべる。

【0191】

50

【デバイスの実現方法 1 : 1 / 4 波長板をフォトニック結晶で実現する方法】

- (1) ガラスなどの等方性媒質に対して、フォトレジストを塗布する。
- (2) フォトマスクを用いて露光をおこなう。フォトマスクとしては、田パターンのうち右上と左下の部分が光を通し他の部分が光を通さない、あるいは右上と左下の部分が光を通さず他の部分を通すものが周期的に並んだものを用いる。田の各口部分は撮像素子と同じ大きさを持つ。
- (3) エッチングを行い、凹凸分布を作製する。
- (4) 凹の部分には、フォトニック結晶を作製して 1 / 4 波長板の機能を形成する。

【 0 1 9 2 】

【デバイスの実現方法 2 : 1 / 4 波長板を微細周期構造で実現する方法】

10

上記 (1) ~ (3) を行う。

- (4) 凹の部分には、光源として使用する光の波長程度以下の微細周期構造を構造的複屈折により 1 / 4 波長板の機能を形成する。

【 0 1 9 3 】

図 3 3 は、実施の形態 5 に係る他のデジタルホログラフィ装置 1 i の構成を示す模式図である。前述した構成要素と同一の構成要素には同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。

【 0 1 9 4 】

偏光子をアレイ状に配列したデバイスを用いて 2 枚の干渉縞を記録する方法を以下に示す。まず、光学系を図 3 3 に示す。光源ユニット 3 1 b は、光源 4 8 と偏光板 4 9 とを備えている。光源 4 8 から出た光は、直後の偏光板 4 9 により垂直な偏光の成分のみが取り出される。この偏光方向に対して - 4 5 度傾いた偏光子 5 1 a と、+ 4 5 度傾いた偏光子 5 1 b が交互に配置された偏光子アレイデバイス 5 0 を撮像面 1 3 の直前に貼り付ける。偏光子アレイデバイス 5 0 の直後には、撮像面 1 3 と同等の大きさを持つ 1 / 4 波長板 5 2 を配置する。1 / 4 波長板 5 2 の高速軸 5 3 は偏光子 5 1 a が + 4 5 度傾いた方向に一致しており、低速軸 5 4 は - 4 5 度傾いた方向に一致している。このため、干渉縞の位相が遅れた情報と、位相遅れの無い情報とを同時に記録することができる。

20

【 0 1 9 5 】

(実施の形態 6)

図 3 4 は、実施の形態 6 に係るデジタルホログラフィ装置 1 j の構成を示す模式図である。図 3 5 は、デジタルホログラフィ装置 1 j に設けられた波長選択アレイデバイス 5 7 と偏光子アレイ 5 9 との構成を説明するための模式的斜視図である。図 3 6 は、デジタルホログラフィ装置 1 j における偏光状態の変化を説明するための図である。前述した構成要素と同一の構成要素には同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。

30

【 0 1 9 6 】

図 3 4 は、2 波長を用いて並列位相シフトデジタルホログラフィを実現する光学系を示しており、図 3 5 は、偏光子アレイ 5 9 ・波長選択アレイデバイス 5 7 と一体に構成した位相シフト波長選択素子 5 6 を設けた CCD カメラ 3 の撮像面 1 3 の構造を示しており、図 3 6 は、各時点での偏光状態を示している。

40

【 0 1 9 7 】

光源 5 5 a (L A S E R 1) から出る波長 1 の光及び光源 5 5 b (L A S E R 2) から出る波長 2 の光の偏光状態は垂直偏光である。光源 5 5 a から出た光は 1 / 4 波長板 Q W P 1 を通りハーフミラー H M で反射され、次のハーフミラー H M で参照光と物体光とに分けられる。光源 5 5 b から出た光は 1 / 4 波長板 Q W P 2 を通りミラー M で反射され、ハーフミラー H M を透過した後、次のハーフミラー H M で参照光と物体光に分けられる。光は 1 / 4 波長板の低速軸 6 4 を透過するとその低速軸 6 4 と平行な偏光の位相が / 2 遅れ、高速軸 6 3 を透過した偏光の位相は変化しない。参照光はコリメートされ、ミラー M、ビームスプリッタ B S で反射し、一体型 CCD カメラ 3 に入る。

【 0 1 9 8 】

50

物体光は偏光板 P 1 で波長板の高速軸 6 3 を透過する偏光方向と同じ偏光のみが透過し、コリメートされ被写体 6 を透過する。その後、偏光板 P 2 で垂直偏光のみが透過し、ビームスプリッタ B S を透過し、一体型 C C D カメラ 3 に入る。

【 0 1 9 9 】

一体型 C C D カメラ 3 の撮像面 1 3 には、波長選択アレイデバイス 5 7 と、偏光子アレイ 5 9 とが貼り付けられる。物体光及び参照光は、波長選択アレイデバイス 5 7 で各波長に応じたフィルタを透過し、その後、物体光は偏光子アレイ 5 9 を波長板の低速軸 6 4 に平行な偏光と高速軸 6 3 に平行な偏光として透過し、それぞれの偏光方向と同じ偏光方向を持つ参照光と干渉する。そして、その干渉縞が撮像面 1 3 に記録され、その干渉強度を撮像素子 (C C D カメラ 3) で取り込む。

10

【 0 2 0 0 】

波長選択アレイデバイス 5 7 は、光源 5 5 a からの第 1 波長光を透過させる波長領域 5 8 a と光源 5 5 b からの第 2 波長光を透過させる波長領域 5 8 b とを配置している。偏光子アレイ 5 9 は、高速軸 6 3 に平行な偏光を透過させる高速軸透過領域 6 0 a と、低速軸 6 4 に平行な偏光を透過させる低速軸透過領域 6 0 b とを有している。

【 0 2 0 1 】

図 3 7 は、実施の形態 6 に係る他のデジタルホログラフィ装置 1 k の構成を示す模式図である。図 3 8 は、デジタルホログラフィ装置 1 k に設けられた波長選択アレイデバイス 6 1 と偏光子アレイ 5 9 との構成を説明するための模式的斜視図である。図 3 9 は、デジタルホログラフィ装置 1 k における偏光状態の変化を説明するための図である。前述した構成要素と同一の構成要素には同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。

20

【 0 2 0 2 】

図 3 7 は 3 波長を用いて並列位相シフトデジタルホログラフィを実現する光学系を示している。図 3 8 は、偏光子アレイ 5 9 ・波長選択アレイデバイス 6 1 と一体に構成された C C D カメラ 3 の撮像面 1 3 の構造を示している。また、各時点での偏光状態を図 3 9 に示している。2 波長の場合と異なる点は、光源 5 5 c (L A S E R 3) 及び 1 / 4 波長板 Q W P 3 の追加、波長選択アレイデバイスの変更 (波長 3 に対応するフィルタの追加) である。

【 0 2 0 3 】

光源 5 5 a (L A S E R 1) から出る波長 1 の光及び光源 5 5 b (L A S E R 2) から出る波長 2 の光及び光源 5 5 c (L A S E R 3) から出る波長 3 の光の偏光状態は垂直偏光である。光源 5 5 a から出た光は 1 / 4 波長板 Q W P 1 を通りハーフミラー H M で反射され、次のハーフミラー H M で参照光と物体光に分けられる。光源 5 5 b から出た光は 1 / 4 波長板 Q W P 2 を通りハーフミラー H M で反射され、ハーフミラー H M を透過した後、次のハーフミラーで参照光と物体光に分けられる。光源 5 5 c から出た光は 1 / 4 波長板 Q W P 3 を通りミラー M で反射され、ハーフミラー H M を透過し、さらにもう一つハーフミラー H M を透過した後、次のハーフミラー H M で参照光と物体光に分けられる。これらの光は波長板の低速軸 6 4 を透過するとその軸と平行な偏光の位相が $\pi/2$ 遅れ、高速軸 6 3 を透過した偏光の位相は変化しない。参照光はコリメートされ、ミラー M、ビームスプリッタ B S で反射し、一体型 C C D カメラ 3 に入る。

30

40

【 0 2 0 4 】

物体光は偏光板 P 1 で波長板の高速軸 6 3 を透過する偏光方向と同じ偏光のみが透過し、コリメートされ被写体 6 を透過する。その後、偏光板 P 2 で垂直偏光のみが透過し、ビームスプリッタ B S を透過し、一体型 C C D カメラ 3 に入る。

【 0 2 0 5 】

一体型 C C D カメラ 3 には、波長選択アレイデバイス 6 1、偏光子アレイ 5 9 が貼り付けられる。物体光及び参照光は、波長選択アレイデバイス 6 1 で各波長に応じたフィルタを透過し、その後、物体光は偏光子アレイ 5 9 で波長板の低速軸 6 4 に平行な偏光と高速軸 6 3 に平行な偏光として透過し、それぞれの偏光方向と同じ偏光方向を持つ参照光と干

50

渉する。そして、その干渉強度を撮像素子（ＣＣＤカメラ３）で取り込む。

【 0 2 0 6 】

図４０は、実施の形態６に係るさらに他のデジタルホログラフィ装置１１の構成を示す模式図である。図４１は、デジタルホログラフィ装置１１に設けられた位相シフト波長選択素子６６の構成を説明するための模式的斜視図である。図４２は、デジタルホログラフィ装置１１における偏光状態の変化を説明するための図である。前述した構成要素と同一の構成要素には同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。

【 0 2 0 7 】

図４０は、２波長を用いて並列位相シフトデジタルホログラフィを実現する光学系を示している。図４１は、位相シフトアレイデバイス６９・波長選択アレイデバイス６７・偏光子７１が一体になったＣＣＤカメラ３の構造を示している。また、図４２は、各時点での偏光状態を示している。

10

【 0 2 0 8 】

偏光ビームスプリッタＰＢＳで反射する光は垂直偏光となり、透過する光は水平偏光となる。光源６５ａから出る波長１の光及び光源６５ｂから出る波長２の光は垂直方向から－４５度傾いている偏光である。光源６５ａから出た光はハーフミラーＨＭで反射され、次のハーフミラーＨＭで参照光と物体光に分けられる。光源６５ｂから出た光はミラーＭで反射され、ハーフミラーＨＭを透過した後、次のハーフミラーＨＭで参照光と物体光に分けられる。参照光はコリメートされ、ミラーＭ、偏光ビームスプリッタＰＢＳで反

20

【 0 2 0 9 】

一体型ＣＣＤカメラ３は、波長選択フィルタアレイ、偏光子アレイ、撮像素子で構成される。物体光及び参照光は、波長選択アレイデバイス６７で各波長に応じたフィルタを透過し、位相シフトアレイデバイス６９で物体光は水平偏光のため位相遅れなしに透過し、参照光は垂直偏光のため１に対する１／４波長板７０ａ、２に対する１／４波長板７０ｂの配置された画素を透過する際、位相が／２遅れる。その後、偏光子７１を透過するとき物体光と参照光が干渉する。そして、その干渉強度を撮像素子（ＣＣＤカメラ３）

30

【 0 2 1 0 】

図４３は、実施の形態６に係るさらにもう１つの他のデジタルホログラフィ装置１ｍの構成を示す模式図である。図４４は、デジタルホログラフィ装置１ｍに設けられた位相シフト波長選択素子７４の構成を説明するための模式的斜視図である。図４５は、デジタルホログラフィ装置１ｍにおける偏光状態の変化を説明するための図である。

【 0 2 1 1 】

３波長を用いて並列位相シフトデジタルホログラフィを実現する光学系を図４３に示す。位相シフトアレイデバイス７７・波長選択アレイデバイス７５・偏光子７１の一体型ＣＣＤカメラ３の構造を図４４に示す。また、各時点での偏光状態を図４５に示す。２波長の場合と異なる点は、光源６５ｃ（ＬＡＳＥＲ３）の追加、波長選択アレイデバイス７５の変更（波長３に対応するフィルタの追加）、位相シフトアレイデバイス７７の変更（３に対する１／４波長板ＱＷＰ３の追加）である。

40

【 0 2 1 2 】

偏光ビームスプリッタＰＢＳで反射する光は垂直偏光となり、透過する光は水平偏光となる。光源６５ａ（ＬＡＳＥＲ１）から出る波長１の光及び光源６５ｂ（ＬＡＳＥＲ２）から出る波長２の光及び光源６５ｃ（ＬＡＳＥＲ３）から出る波長３の光は垂直方向から－４５度傾いている偏光である。光源６５ａ（ＬＡＳＥＲ１）から出た光はハーフミラーＨＭで反射され、次のハーフミラーＨＭで参照光と物体光に分けられる。光源６５

50

した後、次のハーフミラーHMで参照光と物体光に分けられる。光源65c(LASER3)から出た光はミラーMで反射され、ハーフミラーHMを透過し、さらにもう一つハーフミラーHMを透過した後、次のハーフミラーHMで参照光と物体光に分けられる。参照光はコリメートされ、ミラーM、偏光ビームスプリッタPBSで反射し、垂直偏光となり一体型CCDカメラ3に入る。物体光はコリメートされ物体を透過し、さらに偏光ビームスプリッタPBSを透過し、水平偏光となり一体型CCDカメラ3に入る。

【0213】

一体型CCDカメラ3には、波長選択アレイデバイス75、偏光子71、位相シフトアレイデバイス77が貼り付けられる。物体光及び参照光は、波長選択アレイデバイス75で各波長に応じたフィルタを透過し、位相シフトアレイデバイス77で物体光は水平偏光のため位相遅れなしに透過し、参照光は垂直偏光のため1に対する1/4波長板、2に対する1/4波長板、3に対する1/4波長板の配置された画素を透過する際、位相が/2遅れる。その後、偏光子71を透過するとき物体光と参照光が干渉する。そして、その干渉強度をCCDカメラ3で取り込む。

10

【0214】

なお、本実施の形態は、分光計測に適用することもできる。複数波長を同時に使用することにより、瞬時3次元構造かつ分光画像計測、および3次元動画像かつ分光画像計測が可能になる。波長の選び方は任意である。

【0215】

例えば3波長1、2、3を同時に使用すると、被写体の1、2、3のそれぞれの波長に対する3次元形状とその波長の反射率あるいは吸収率の分布が同時に計測できる。X線、ガンマ線、紫外光、可視光、赤外光、テラヘルツ光、マイクロ波、ミリ波、電波など種々の波動を利用することが可能である。この方法では、被写体の3次元構造と機能の分布の瞬時計測が可能となる。

20

【0216】

(実施の形態7)

実施の形態7では、波長板アレイデバイス80と偏光子83とを備えたデジタルホログラフィ装置を説明する。

図46は、実施の形態7に係るデジタルホログラフィ装置1nの構成を示す模式図である。前述した構成要素と同一の構成要素には、同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。デジタルホログラフィ装置1nは、光源ユニット48を備えている。光源ユニット48は、垂直偏光成分と水平偏光成分とを有するレーザー光をレンズを介して偏光ビームスプリッタPBS1に向かって照射する。垂直偏光成分は、偏光ビームスプリッタPBS1によって反射され、ミラーMおよび他のミラーMにより反射されて被写体6に照射され、被写体6によって反射されて物体光(散乱光)になり、偏光ビームスプリッタPBS2により反射されて垂直偏光でCCDカメラ3に入射する。水平偏光成分は、偏光ビームスプリッタPBS1を透過し、さらに他のミラーMによって反射されて参照光として偏光ビームスプリッタPBS2を透過して水平偏光でCCDカメラ3に入射する。

30

【0217】

図47は、デジタルホログラフィ装置1nに設けられた波長板アレイデバイス80と偏光子83とCCDカメラ3との構成を示す模式図である。CCDカメラ3の撮像面13には、偏光子83と波長板アレイデバイス80とがこの順番に貼り付けられている。

40

【0218】

図48は、波長板アレイデバイス80と偏光子83との構成を示す模式図である。波長板アレイデバイス80は、4分の1波長板81aと2分の1波長板81bとを交互に市松模様に配置して構成されている。各波長板の1個が、撮像素子の1画素に対応するように、各波長板の寸法が設定されている。4分の1波長板81aの高速軸の方向と、2分の1波長板81bの高速軸の方向とは同一であり、4分の1波長板81aの低速軸の方向と、2分の1波長板81bの低速軸の方向とは同一である。図48に示す例では、高速軸が垂

50

直方向に向いており、低速軸が水平方向に向いている例を示している。偏光子 83 の偏光方向は、垂直方向から角度 θ 傾いている。角度 θ は、0 度、90 度、180 度、および 270 度以外であればよい。

【0219】

CCDカメラ 3 の撮像面には、1/4 波長板 81a を透過した物体光及び参照光とが干渉した第 1 干渉縞と、1/2 波長板 81b を透過した物体光及び参照光とが干渉した第 2 干渉縞とが記録される。

図 49 は、実施の形態 7 に係る他のデジタルホログラフィ装置 1o の構成を示す模式図である。前述した構成要素と同一の構成要素には、同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。デジタルホログラフィ装置 1o は、被写体から異なる 2 つの距離における 2 枚の干渉縞画像を単一露光で記録するデジタルホログラフィの計測アルゴリズムを用いるときの光学系の実現例であり、光源ユニット 48 を備えている。光源ユニット 48 は、水平偏光成分を有するレーザ光をレンズを介してビームスプリッタ BS1 に向かって照射する。

ビームスプリッタ BS1 を透過したレーザ光は、ミラー M により反射されて被写体 6 を透過し、物体光（散乱光）となって、ビームスプリッタ BS2 により反射される。

ビームスプリッタ BS1 により反射されたレーザ光は、他のミラー M によって反射され、参照光としてビームスプリッタ BS2 を透過する。

物体光と参照光との干渉光は、偏光板 82 を透過する。偏光板 82 は、水平偏光のみを通すように設定する。干渉光は、波長板アレイデバイス 80 および偏光子 83 を透過して CCDカメラ 3 に到達する。波長板アレイデバイス 80 および偏光子 83 を透過することによって 2 種類のホログラムを同時に記録できる。

【0220】

実施の形態 7 に示す構成によれば、並列位相シフトデジタルホログラフィと、被写体から異なる 2 つの距離における 2 枚の干渉縞画像を単一露光で記録するデジタルホログラフィとの双方の計測アルゴリズムを適用できるカメラができるので、計測対象に応じてより適したシステムにより計測することができる。

【0221】

また、光エネルギーを有効に利用したコンパクトなデジタルホログラフィ装置を得ることができ、顕微鏡等の広い用途に適用することができる。

【0222】

（実施の形態 8）

図 50 は、実施の形態 8 に係るデジタルホログラフィ装置 1p の構成を示す模式図である。前述した構成要素と同一の構成要素には、同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。デジタルホログラフィ装置 1p は、被写体から異なる 2 つの距離における 2 枚の干渉縞画像を単一露光で記録するデジタルホログラフィの計測アルゴリズムを用いるときの光学系の実現例であり、光源ユニット 48 を備えている。光源ユニット 48 は、垂直偏光成分を有するレーザ光をレンズを介してビームスプリッタ BS1 に向かって照射する。

ビームスプリッタ BS1 を透過したレーザ光は、ミラー M により反射されて被写体 6 を透過し、物体光（散乱光）となって、ビームスプリッタ BS2 により反射される。

ビームスプリッタ BS1 により反射されたレーザ光は、他のミラー M によって反射され、参照光としてビームスプリッタ BS2 を透過する。

物体光と参照光との干渉光は、偏光板 82 を透過する。偏光板 82 は、垂直偏光のみを通すように設定する。干渉光は、1/4 波長板アレイ 84 を透過して CCDカメラ 3 に到達する。1/4 波長板アレイ 84 を透過することによって 2 種類のホログラムを同時に記録できる。

【0223】

図 51 は、デジタルホログラフィ装置 1p に設けられた 1/4 波長板アレイ 84 と CCDカメラ 3 との構成を示す模式図である。CCDカメラ 3 の撮像面には、1/4 波長板ア

10

20

30

40

50

レイ 8 4 が貼り付けられている。

【 0 2 2 4 】

図 5 2 は、1 / 4 波長板アレイ 8 4 の構成を示す模式図である。1 / 4 波長板アレイ 8 4 は、互いに直交する第 1 高速軸 8 6 a および第 1 低速軸 8 6 b を有する第 1 波長板素子 8 5 と、第 1 高速軸 8 6 a に平行な第 2 低速軸 8 8 b および第 1 低速軸 8 6 b に平行な第 2 高速軸 8 8 a を有する第 2 波長板素子 8 7 とを交互に配置している。このように、1 / 4 波長板アレイ 8 4 では、隣り合う画素で高速軸と低速軸とが直交する。第 1 波長板素子 8 5 と第 2 波長板素子 8 7 とは、同一の波長板の向きを 90 度異ならせて配列することにより構成することができる。第 1 波長板素子 8 5 の寸法は、撮像素子の 1 画素に対応するように設定することができる。

10

【 0 2 2 5 】

ここで、高速軸とは、波長板において、入射光が位相遅延せず、透過する軸をいう。低速軸とは、高速軸に直交し、その入射光が位相遅延し、透過する軸をいう。具体例として、1 / 4 波長板の場合、低速軸を透過した光の位相は、高速軸を透過した光の位相に対して $\pi/2$ ラジアン (90 度) 遅延する。

【 0 2 2 6 】

CCD カメラ 3 の撮像面には、第 1 波長板素子 8 5 を透過した物体光及び参照光とが干渉した第 1 干渉縞と、第 2 波長板素子 8 7 を透過した物体光及び参照光とが干渉した第 2 干渉縞とが記録される。

【 0 2 2 7 】

実施の形態 8 に用いられるアレイデバイスは、製作がより容易である。そのため、アレイデバイスの作製精度がより高く、計測精度の向上が期待できる。

20

【 0 2 2 8 】

図 5 0 の実施形態において偏光板 8 2 は、水平偏光のみを通すように設定し、さらに水平偏光成分を有するレーザ光を用い、他の構成は同一の構成の装置でも実施可能である。

【 0 2 2 9 】

実施の形態 8 では、垂直偏光成分を有するレーザ光を使用する例を示したが、本発明はこれに限定されず、水平偏光を有するレーザ光を使用しても本発明を実現することができる。

【 0 2 3 0 】

(実施の形態 9)

図 5 3 は、実施の形態 9 に係るデジタルホログラフィ装置 1 q の構成を示す模式図である。前述した構成要素と同一の構成要素には、同一の参照符号を付している。従って、これらの構成要素の詳細な説明は省略する。デジタルホログラフィ装置 1 q は、光源ユニット 4 8 を備えている。光源ユニット 4 8 は、垂直偏光成分を有するレーザ光をレンズを介してビームスプリッタ B S 1 に向かって照射する。ビームスプリッタ B S 1 を透過したレーザ光は、2 枚のミラー M により反射されて、被写体 6 に照射され、被写体 6 によって反射されて物体光 (散乱光) になる。物体からの散乱光は、偏光板 8 2 を通って垂直偏光となった後、ビームスプリッタ B S 2 により反射される。ビームスプリッタ B S 1 により反射された光は、参照光として他のミラー M で反射され、そのままビームスプリッタ B S 2 を透過する。その後、物体光と参照光との干渉光は、1 / 4 波長板 9 1 を通る。1 / 4 波長板 9 1 の高速軸と低速軸とは、偏光子アレイデバイス 8 9 の偏光を通す方向と同じになるように設定する。干渉光は、偏光子アレイデバイス 8 9 を通って CCD カメラ 3 に到達し、1 / 4 波長板 9 1 と偏光子アレイデバイス 8 9 とにより 2 種類のホログラムを同時に記録できる。

30

40

図 5 4 はデジタルホログラフィ装置 1 q に設けられた偏光子アレイデバイス 8 9 と CCD カメラ 3 との構成を示す模式図であり、図 5 5 は偏光子アレイデバイス 8 9 の構成を示す模式図である。

CCD カメラ 3 の撮像面には、偏光子アレイデバイス 8 9 とが貼り付けられている。偏光子アレイデバイス 8 9 には、第 1 偏光方向を有する第 1 偏光子 9 0 a と、第 1 偏光方向に

50

直交する第2偏光方向を有する第2偏光子90bとが交互に配置されている。図55に示す例では、第1偏光子90aの第1偏光方向は、垂直方向に対して45度傾いた方向であり、第2偏光子90bの第2偏光方向は、垂直方向に対して-45度傾いた方向である。このように、偏光子アレイデバイス89では、隣り合う画素で透過する偏光が直交する。第1偏光子90aの寸法は、第1偏光子90aが撮像素子の1画素に対応するように設定されている。第2偏光子90bの寸法も、同様である。

CCDカメラ3の撮像面では、第1偏光子90aを透過した物体光及び参照光とが干渉した第1干渉縞と、第2偏光子90bを透過した物体光及び参照光とが干渉した第2干渉縞とが記録される。

実施の形態9によれば、偏光子アレイデバイス89の1枚構成であるので、実施の形態7の波長板アレイデバイス80および偏光子83の構成のように位置あわせが不要である。また、並列位相シフトデジタルホログラフィと被写体から異なる2つの距離における2枚の干渉縞画像を単一露光で記録するデジタルホログラフィの双方の計測アルゴリズムを適用できるカメラができるので、計測対象に応じてより適したシステムで計測できる。

【0231】

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。

【0232】

図53の実施形態において偏光板82を、水平偏光のみを通すように設定し、さらに水平偏光成分を有するレーザ光を用い、他の構成は同一の構成の装置でも実施可能である。実施の形態9では、垂直偏光成分を有するレーザ光を使用する例を示したが、本発明はこれに限定されず、水平偏光を有するレーザ光を使用しても本発明を実現することができる。

【産業上の利用可能性】

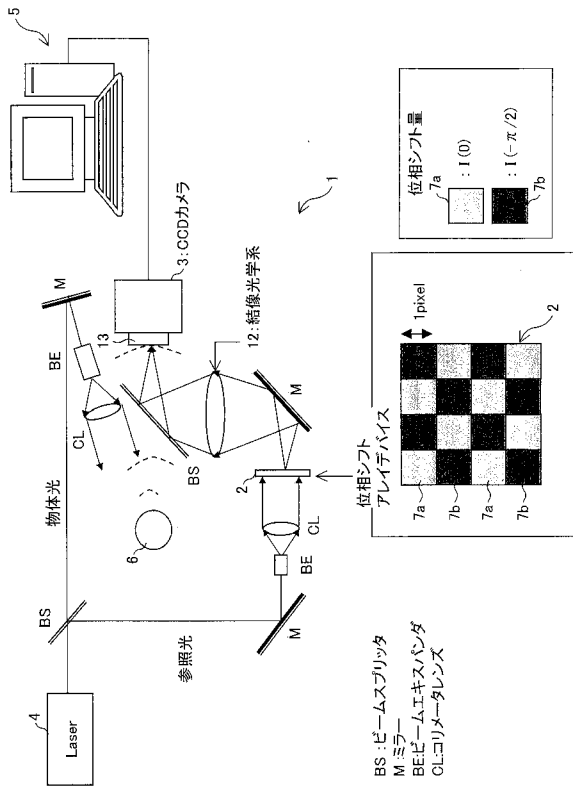
【0233】

本発明は、物体光と参照光とが干渉した干渉縞に基づいて被写体の再生像を生成するデジタルホログラフィ装置に適用することができる。

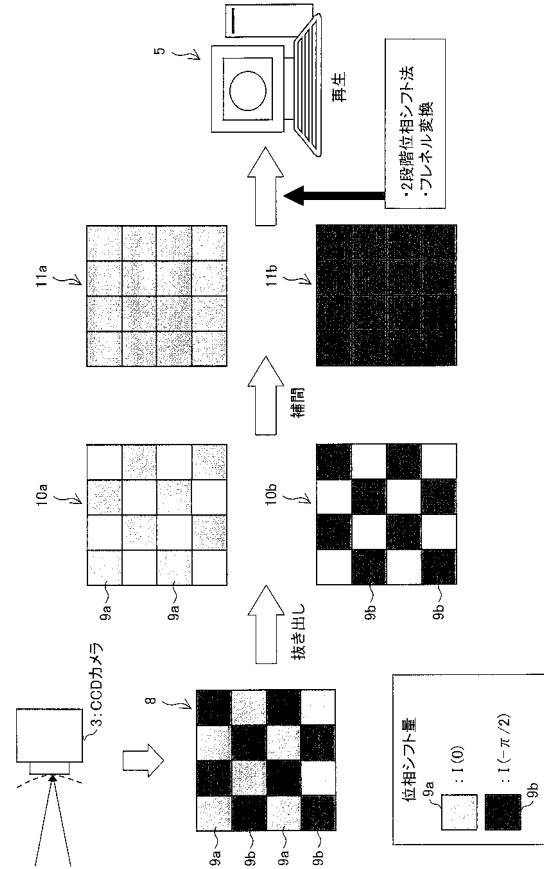
10

20

【図1】



【図2】

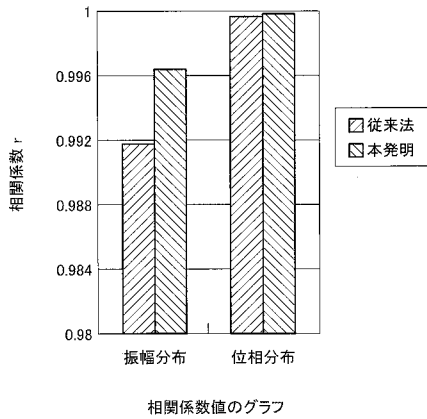


【図4】

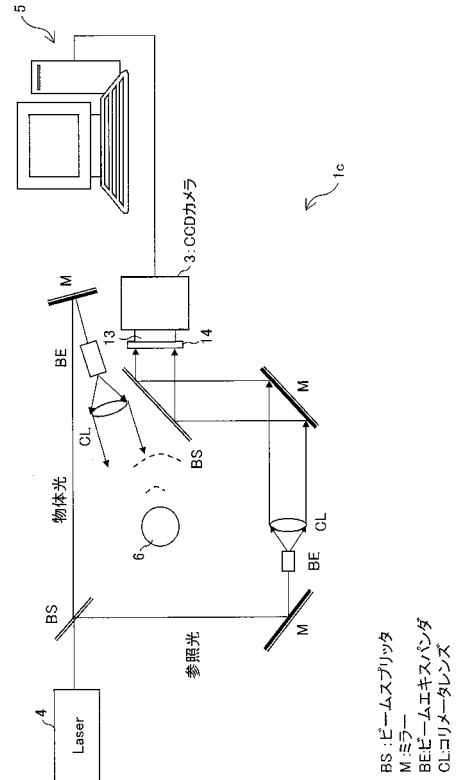
相関係数値

| | 振幅分布 | 位相分布 |
|-----|----------|----------|
| 従来法 | 0.991722 | 0.999676 |
| 本発明 | 0.996347 | 0.999800 |

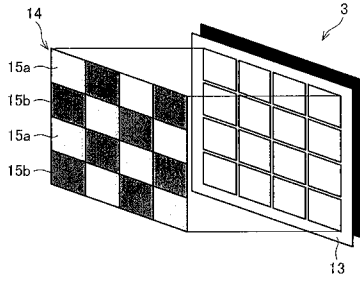
【図5】



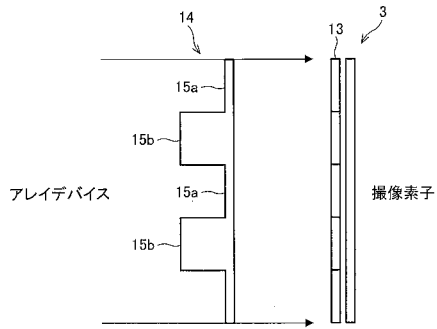
【図6】



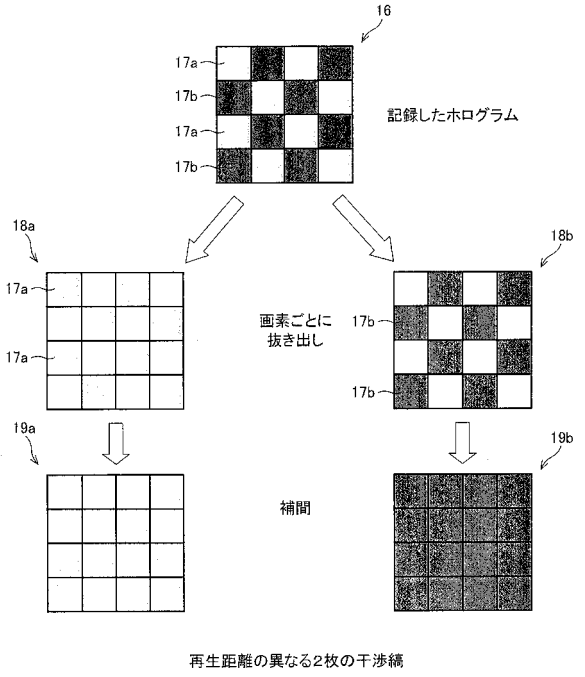
【 図 7 】



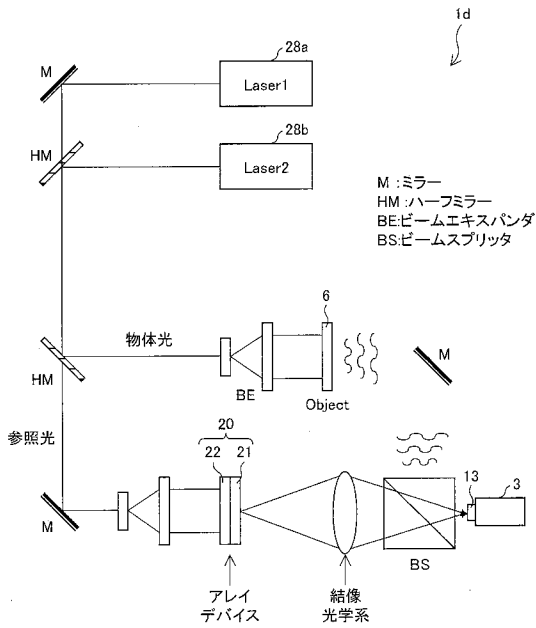
【 図 8 】



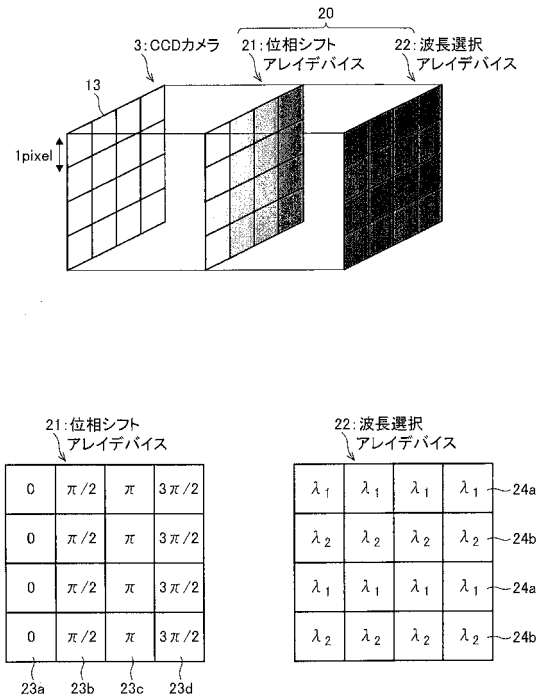
【 図 9 】



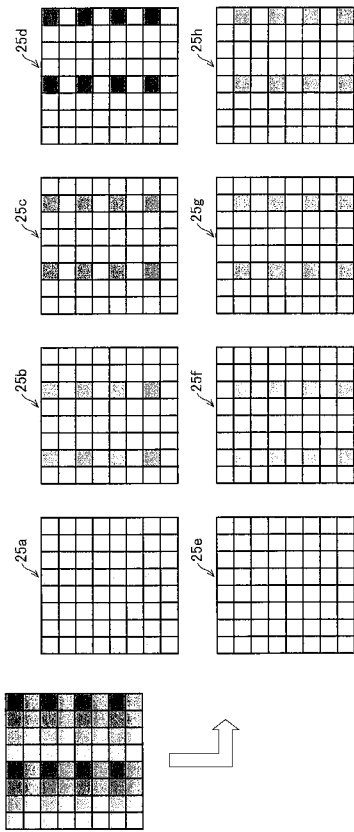
【 図 1 1 】



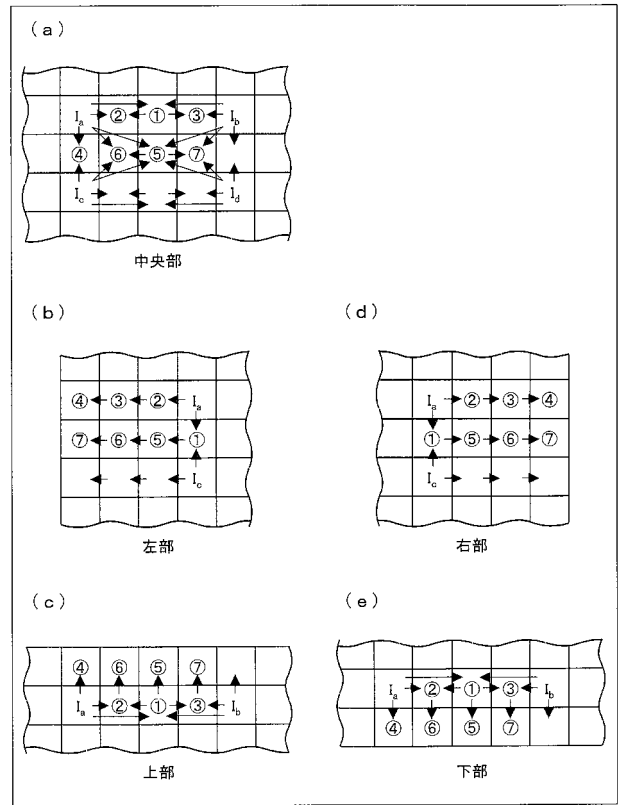
【 図 1 2 】



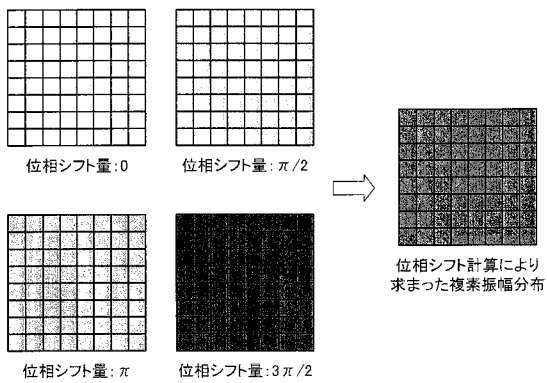
【 図 1 3 】



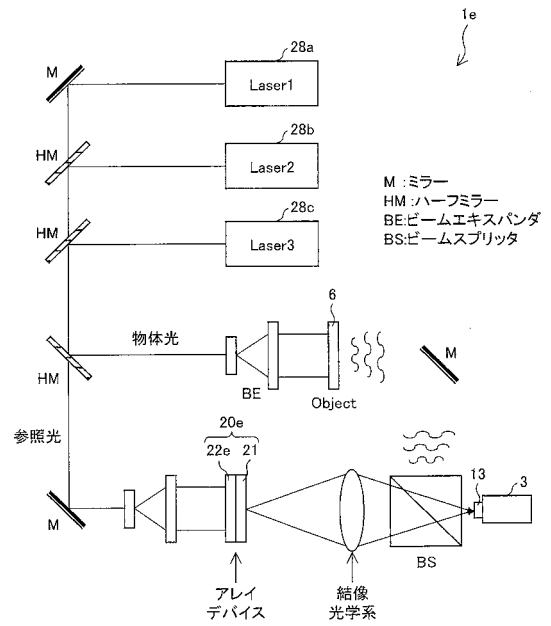
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】

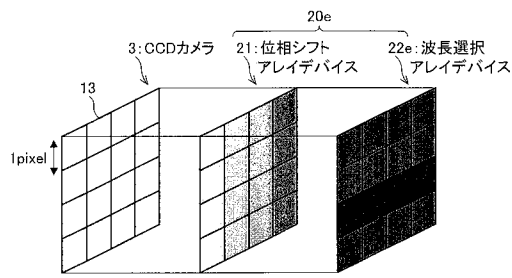


【 図 1 7 】



M : ミラー
 HM : ハーフミラー
 BE : ビームエキスパンダ
 BS : ビームスプリッター

【 図 1 8 】



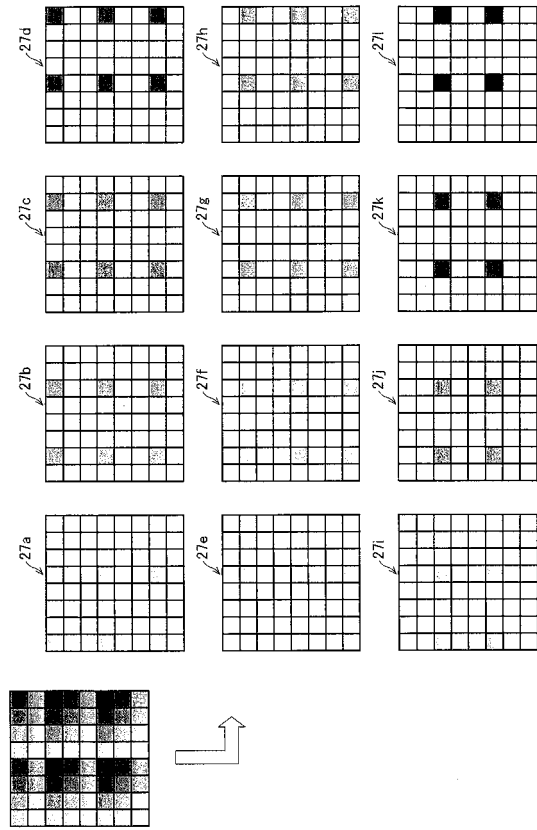
21: 位相シフトアレイデバイス

| | | | |
|-----|---------|-------|----------|
| 0 | $\pi/2$ | π | $3\pi/2$ |
| 0 | $\pi/2$ | π | $3\pi/2$ |
| 0 | $\pi/2$ | π | $3\pi/2$ |
| 0 | $\pi/2$ | π | $3\pi/2$ |
| 23a | 23b | 23c | 23d |

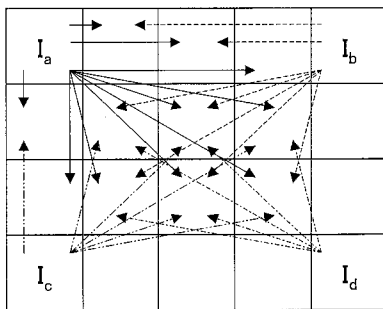
22: 波長選択アレイデバイス

| | | | | |
|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| λ_1 | λ_1 | λ_1 | λ_1 | 26a |
| λ_2 | λ_2 | λ_2 | λ_2 | 26b |
| λ_3 | λ_3 | λ_3 | λ_3 | 26c |
| λ_1 | λ_1 | λ_1 | λ_1 | 26a |

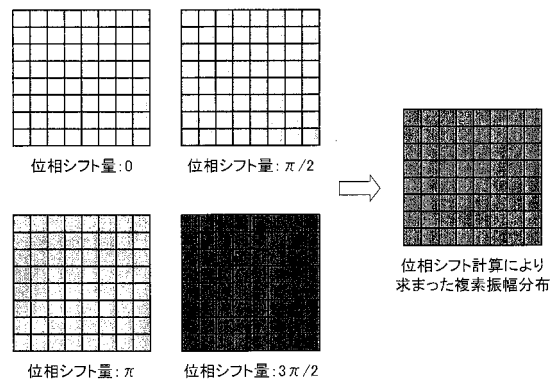
【 図 1 9 】



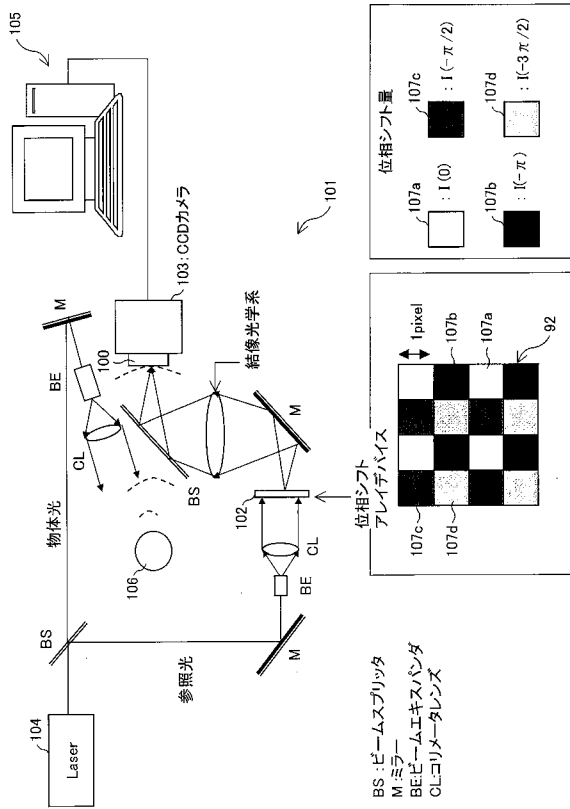
【 図 2 0 】



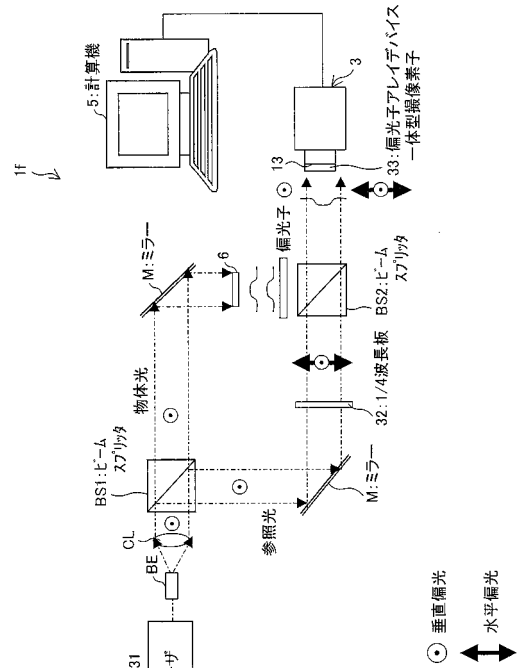
【 図 2 1 】



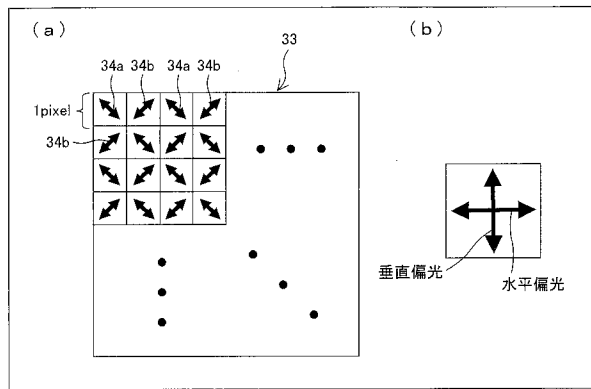
【図 2 3】



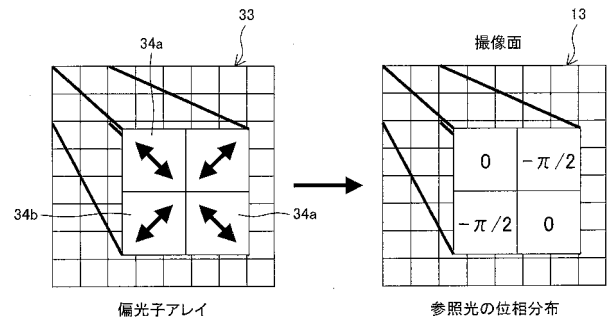
【図 2 4】



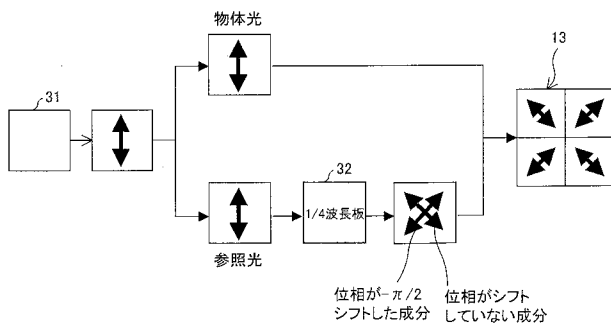
【図 2 5】



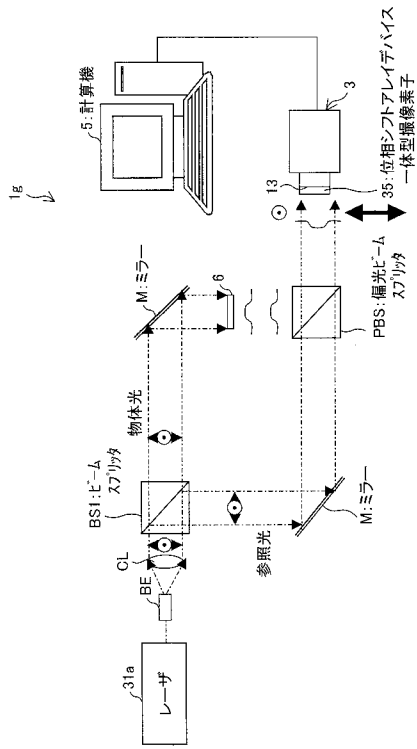
【図 2 7】



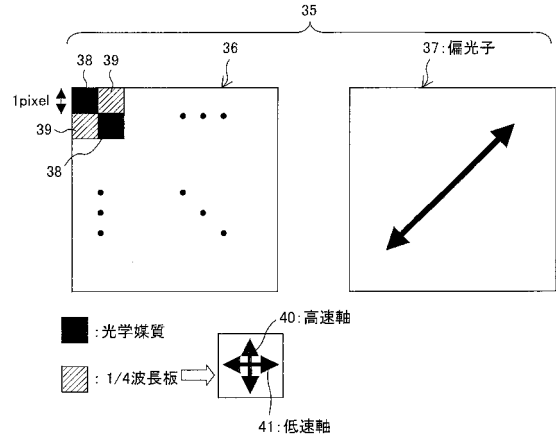
【図 2 6】



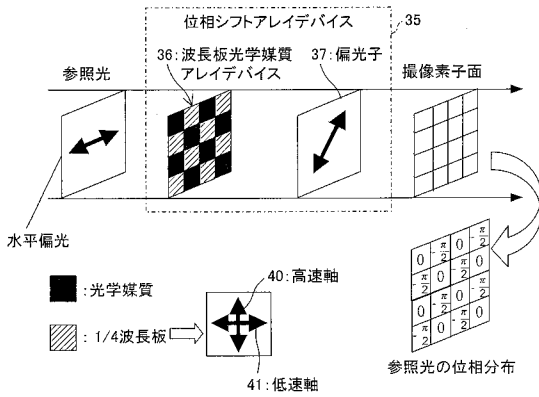
【 図 2 8 】



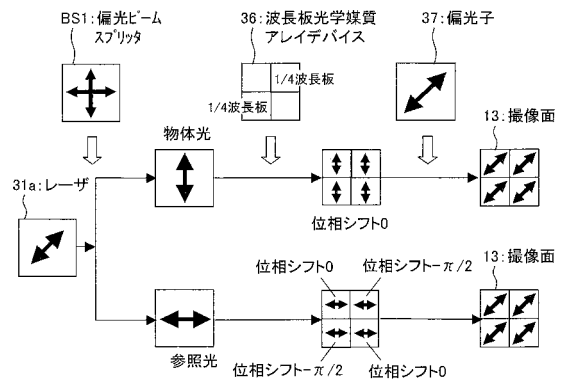
【 図 2 9 】



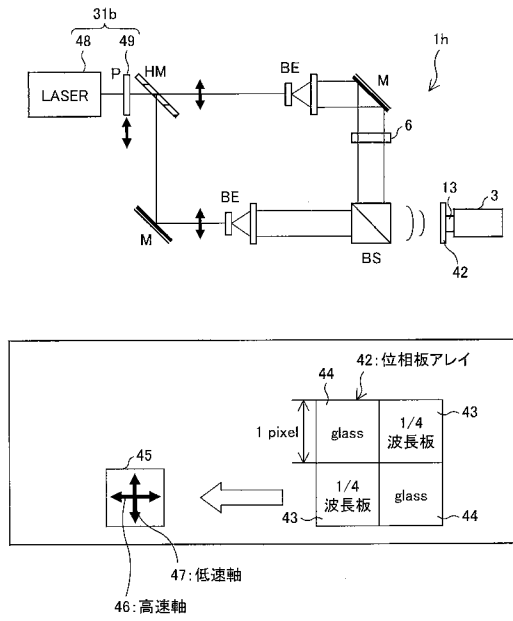
【 図 3 0 】



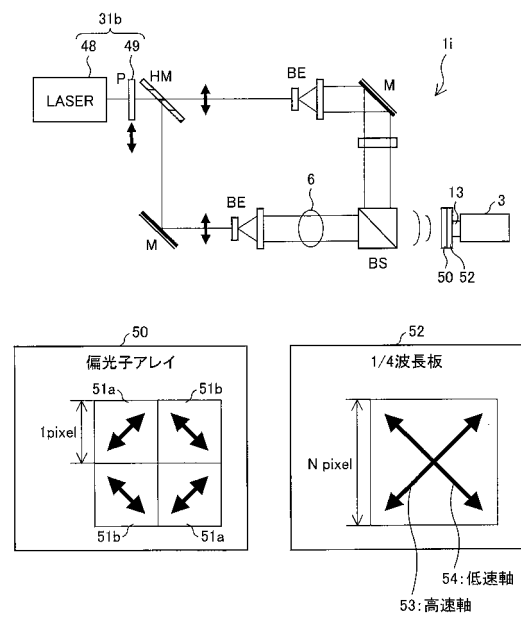
【 図 3 1 】



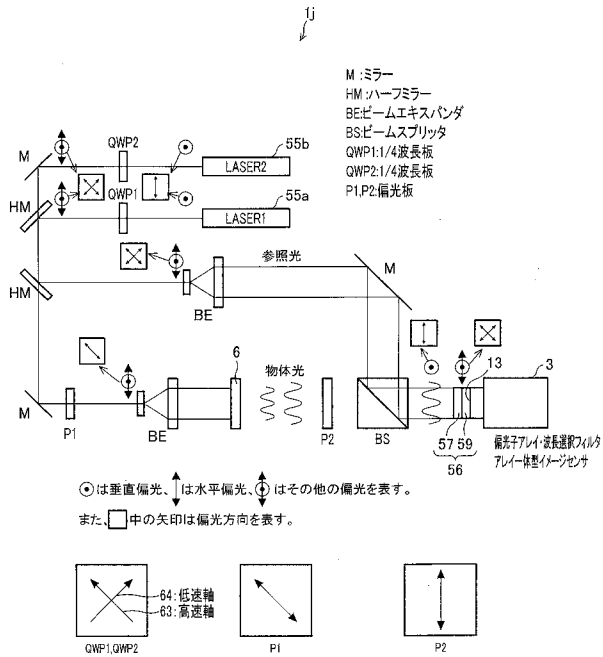
【図32】



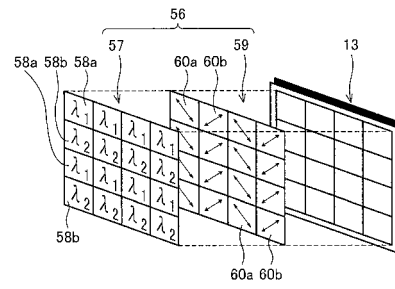
【図33】



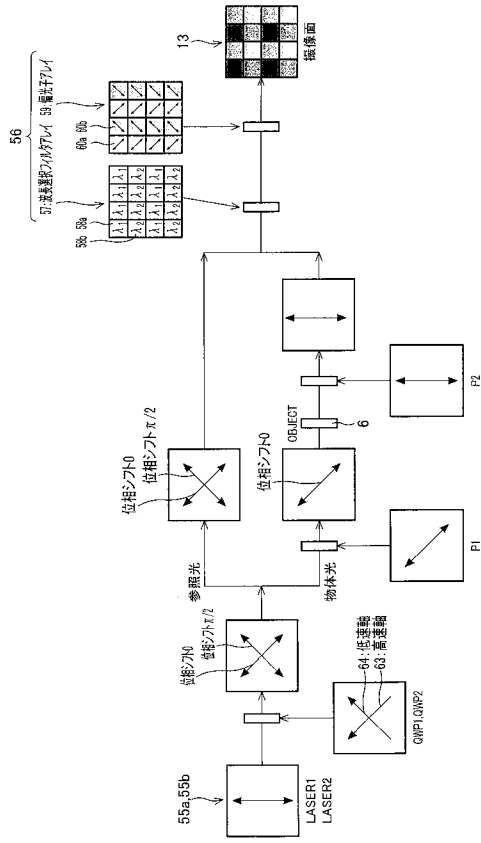
【図34】



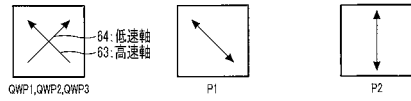
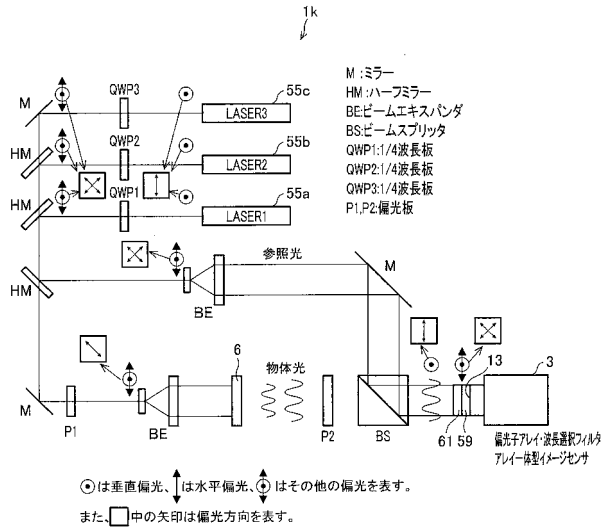
【図35】



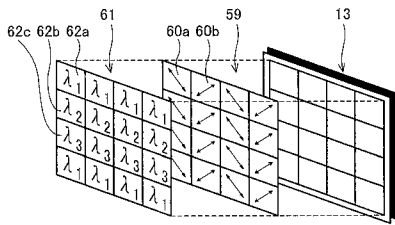
【 図 3 6 】



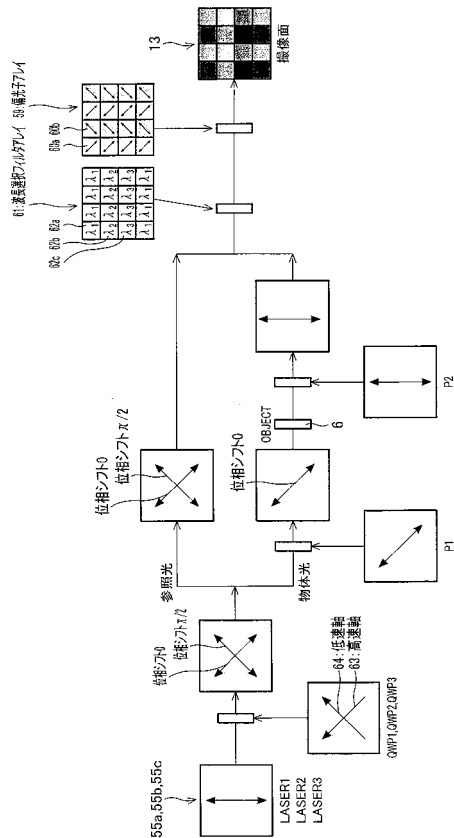
【 図 3 7 】



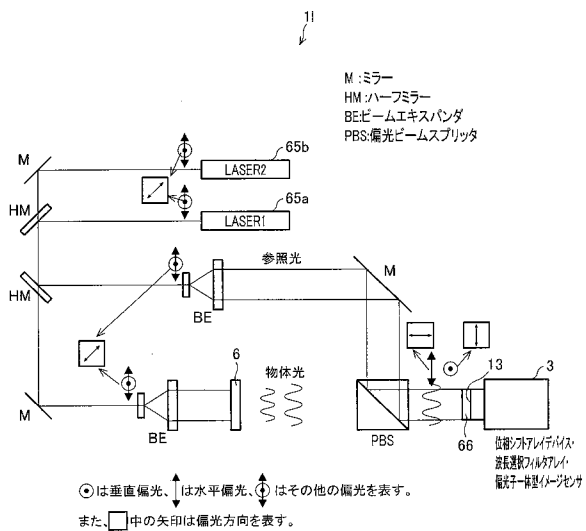
【 図 3 8 】



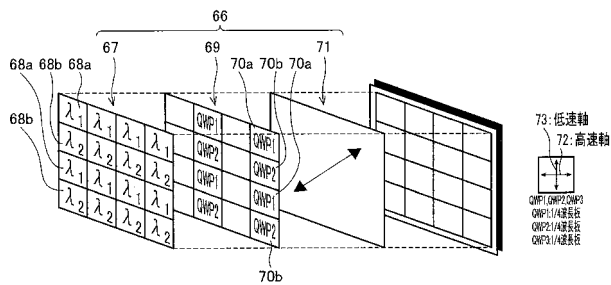
【 図 3 9 】



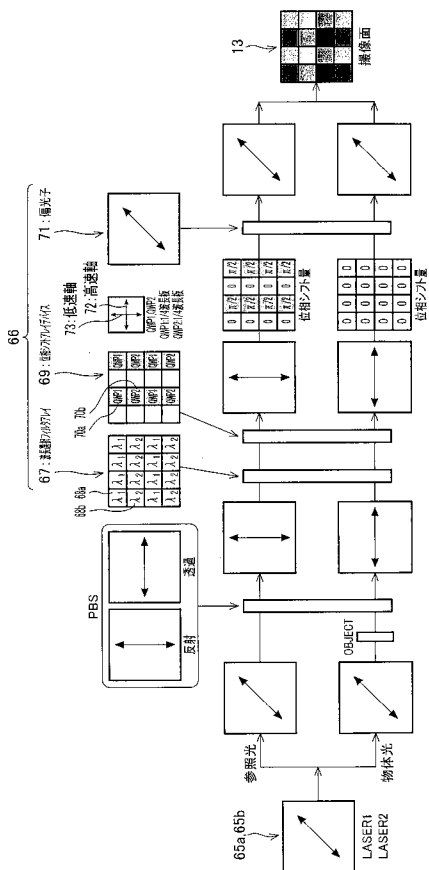
【図40】



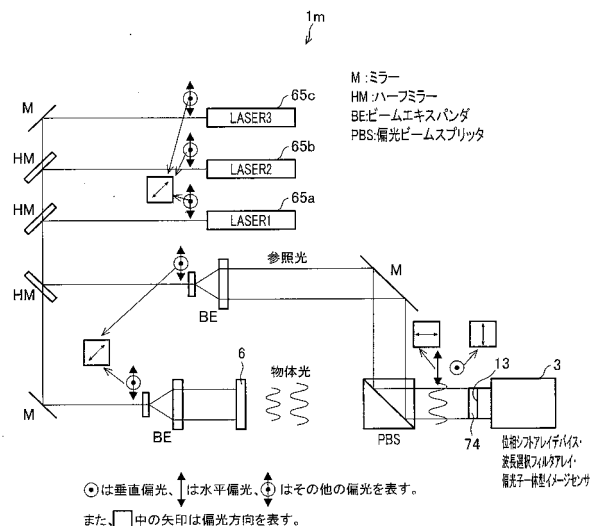
【図41】



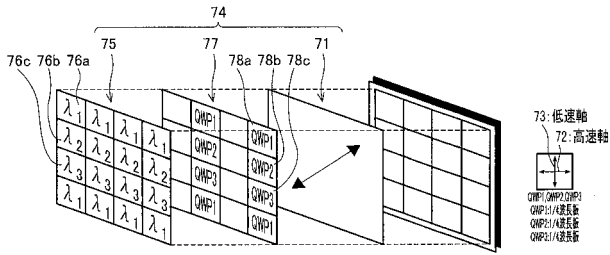
【図42】



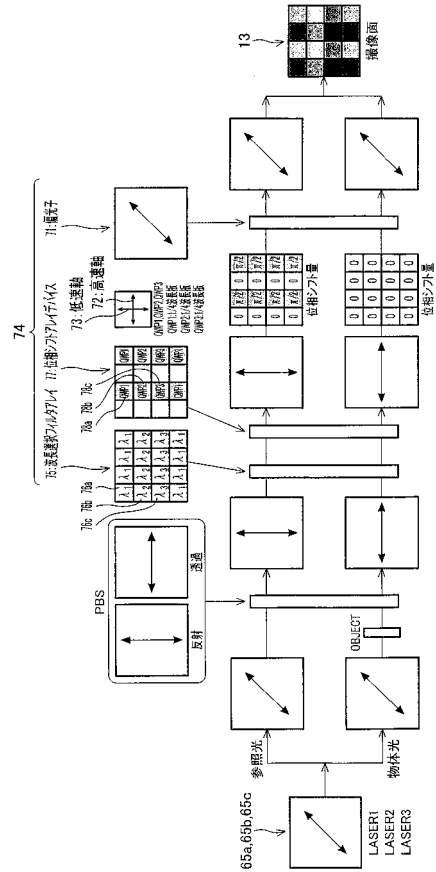
【図43】



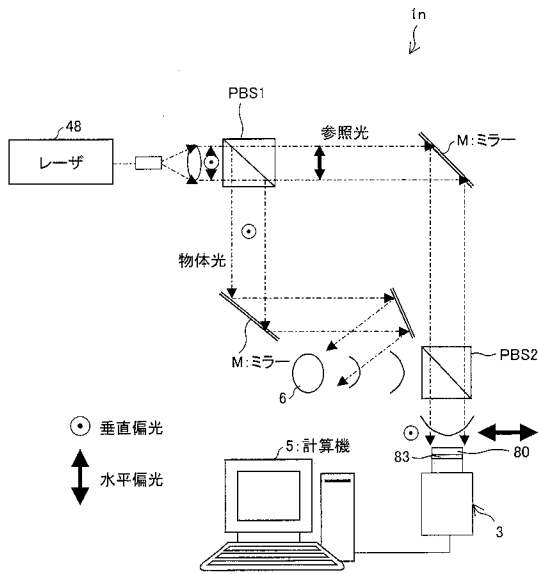
【図44】



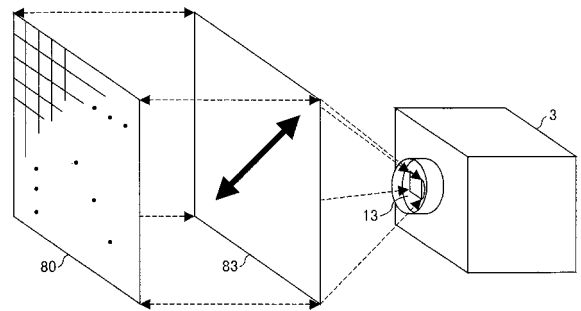
【図45】



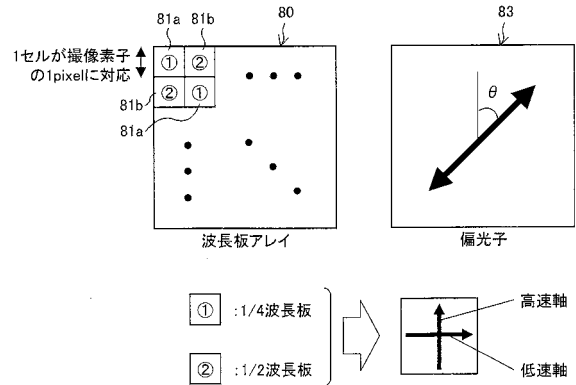
【図46】



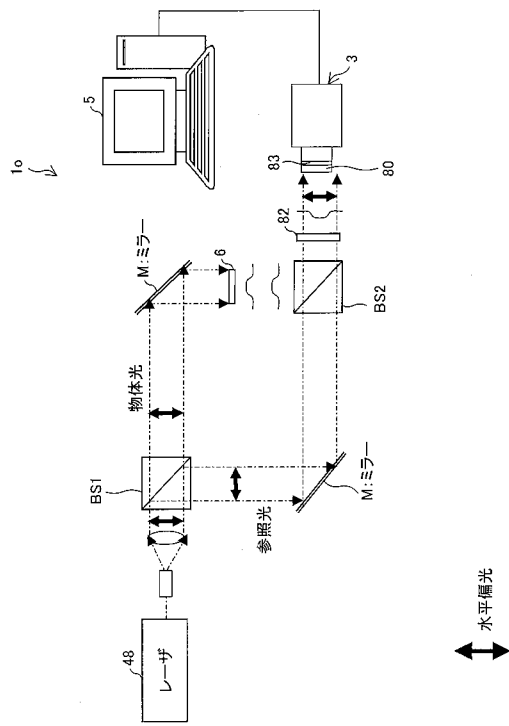
【図47】



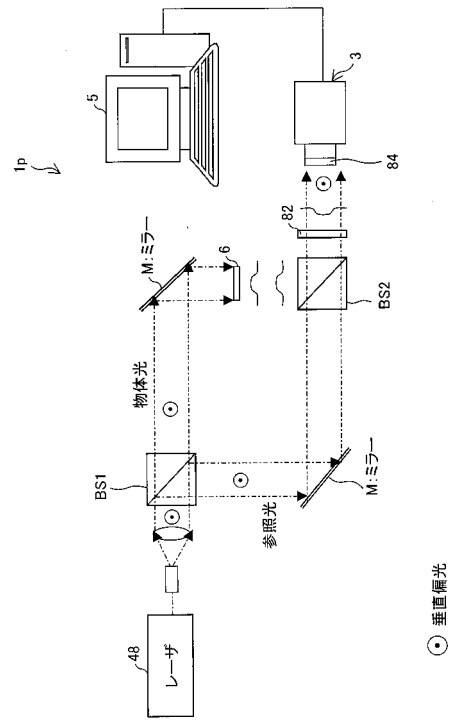
【図48】



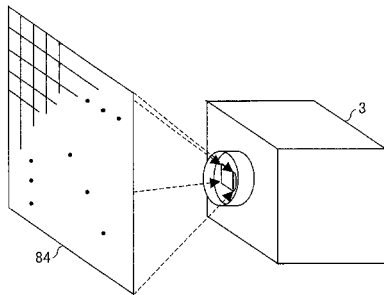
【図 49】



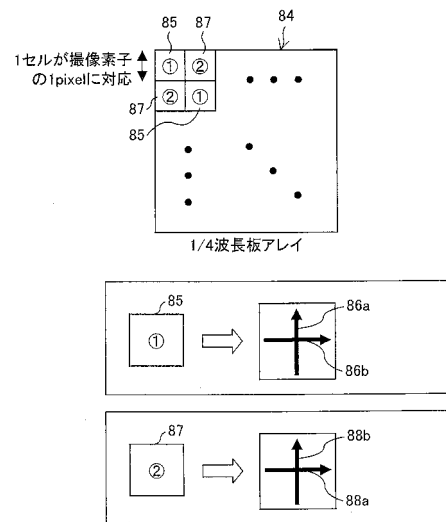
【図 50】



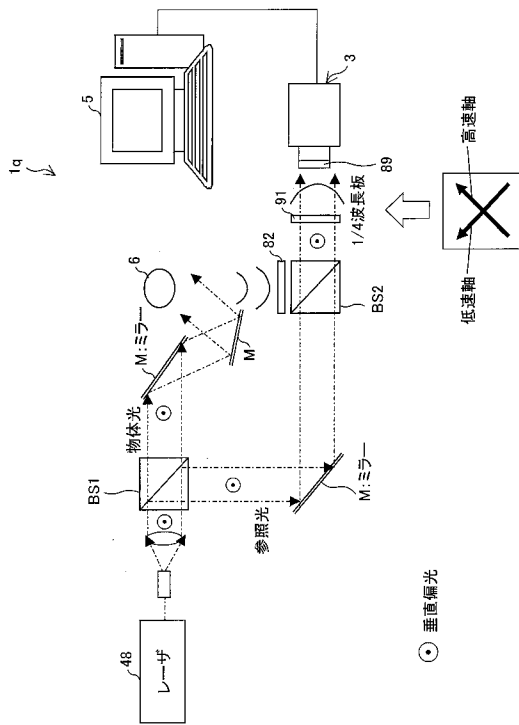
【図 51】



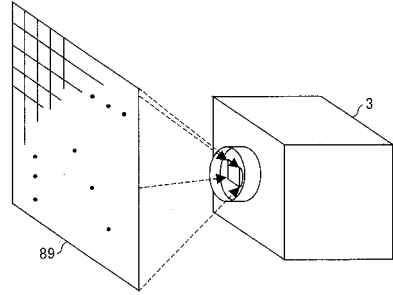
【図 52】



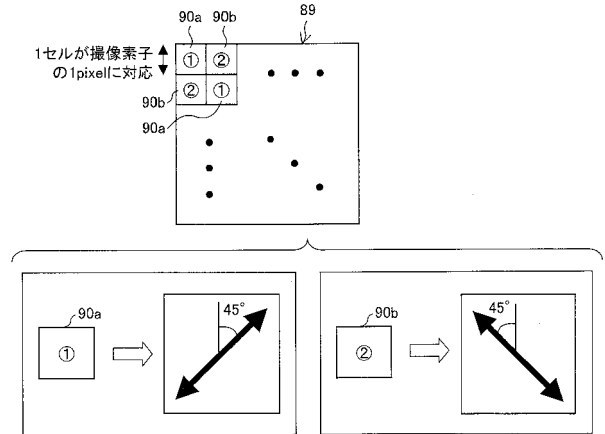
【 図 5 3 】



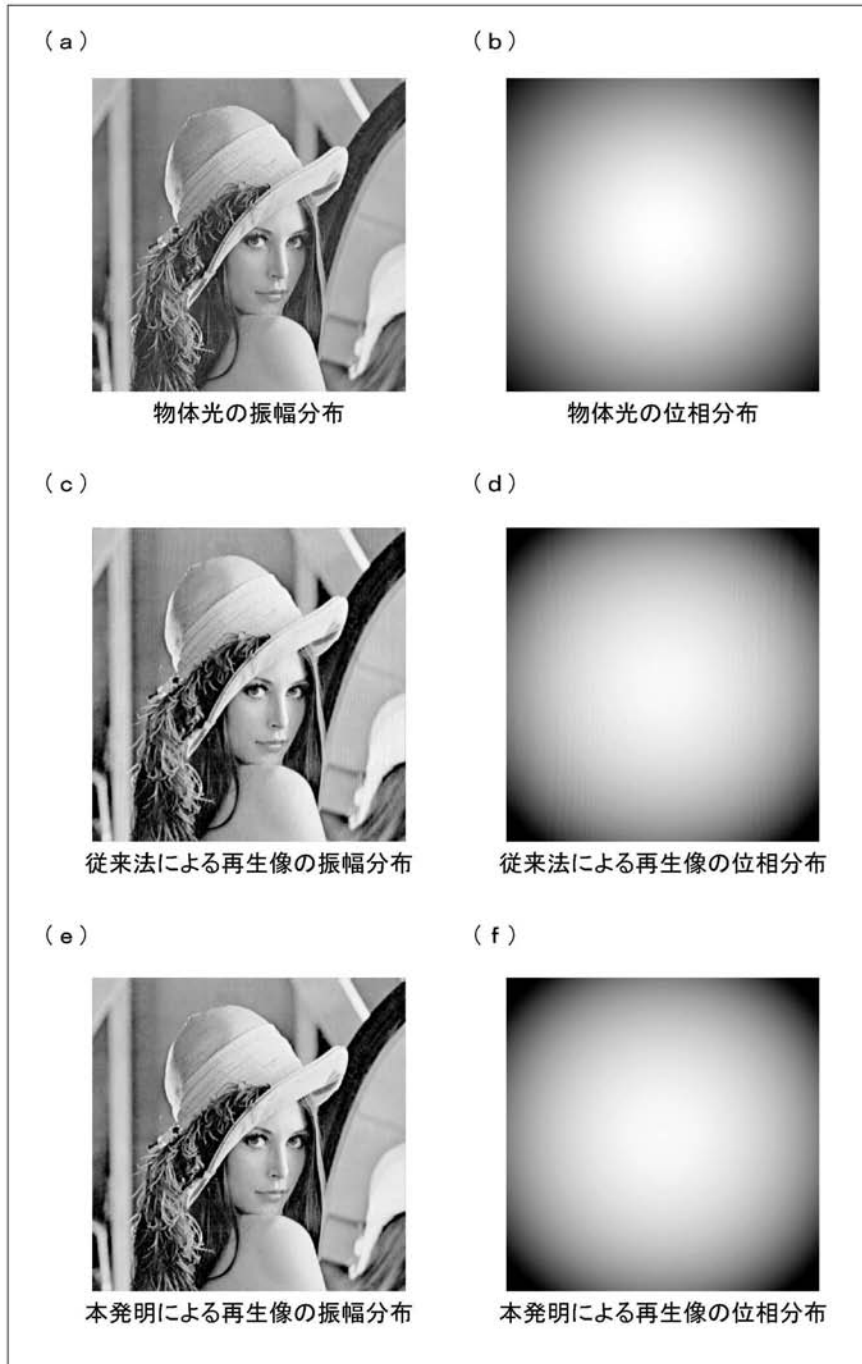
【 図 5 4 】



【 図 5 5 】



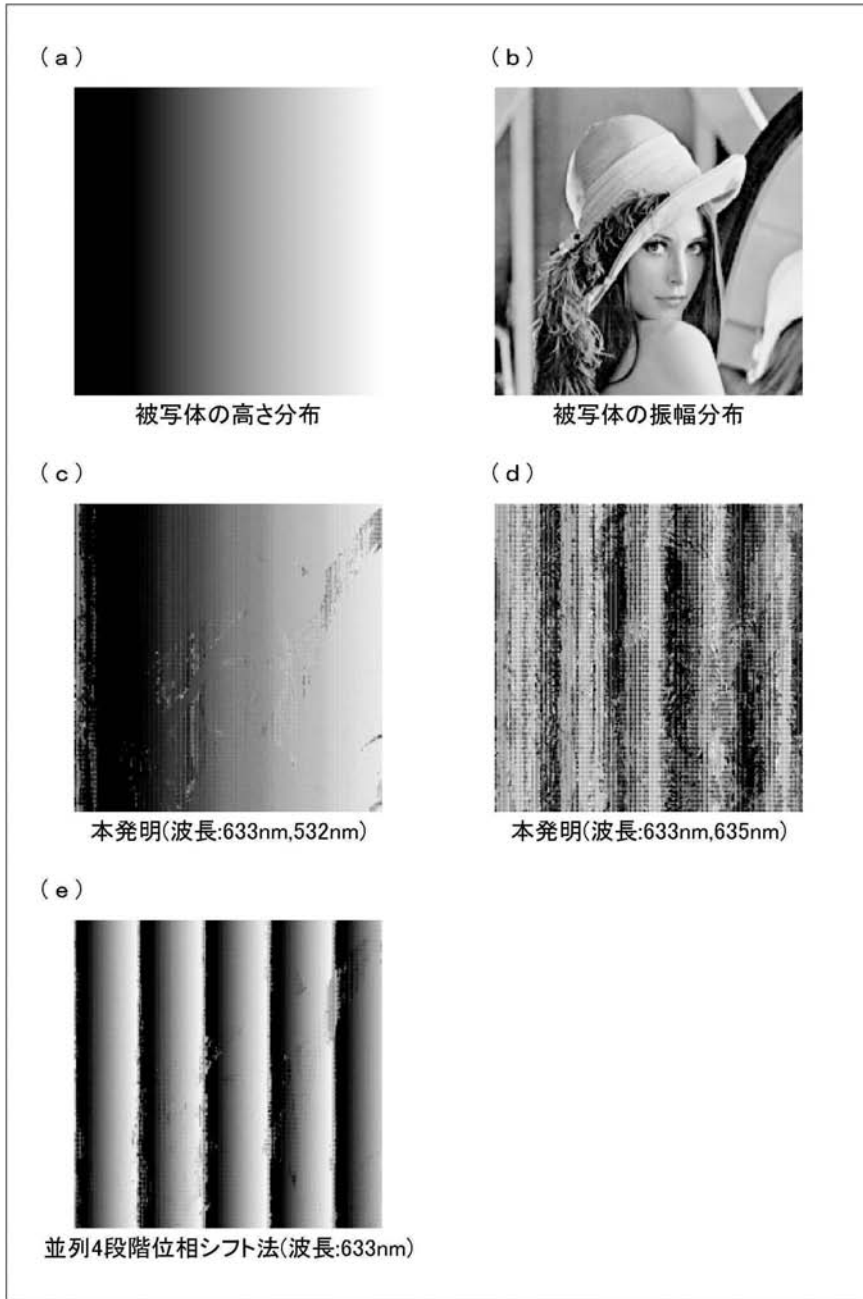
【 図 3 】



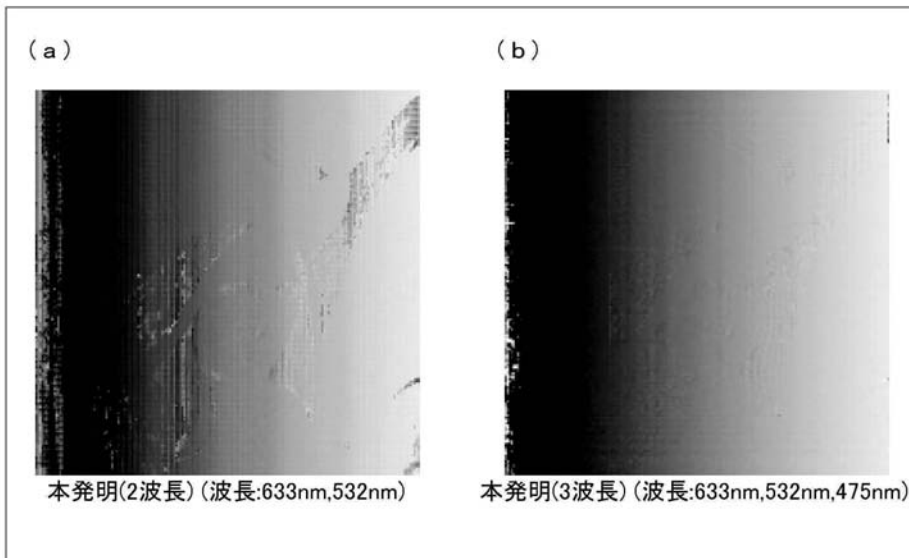
【 図 1 0 】



【 図 1 6 】



【図 2 2】



【手続補正書】

【提出日】平成21年4月17日(2009.4.17)

【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】

光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源と、

前記光源から出射された光を、その進行方向に垂直な平面上において互いに位相が異なる 2 種類の参照光に分割する位相シフト素子と、

前記位相シフト素子によって分割された 2 種類の参照光と前記被写体から放射または透過または散乱または反射または回折された物体光とがそれぞれ干渉した 2 種類の干渉縞が記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された 2 種類の干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項 2】

前記位相シフト素子は、前記光源から出射された光の進行方向に垂直な平面上において

格子状に配置された２種類の領域を有するアレイデバイスである請求項１記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項３】

前記撮像手段は、ＣＣＤカメラまたはＣＭＯＳイメージセンサーカメラであり、

前記２種類の領域は、前記撮像手段の各画素に対応して配置されている請求項２記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項４】

前記位相シフト素子は、位相シフト計測手段の基準となる位相を有する参照光と、その参照光と０からラジアンの間のある値分位相が異なる参照光とに前記光を分割する請求項１記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項５】

前記光源は、第１方向に偏光した光を出射し、

前記位相シフト素子によって分割された２種類の参照光の一方は第２方向に偏光し、前記参照光の他方は第３方向に偏光し、

前記物体光と前記２種類の参照光とを透過させる偏光子アレイデバイスをさらに備え、

前記偏光子アレイデバイスは、前記第２方向に偏光した参照光の一方と前記物体光の前記第２方向への正射影成分とを透過させる第１領域と、前記第３方向に偏光した参照光の他方と前記物体光の前記第３方向への正射影成分とを透過させる第２領域とを有している請求項１記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項６】

前記偏光子アレイデバイスは、前記撮像手段と一体に構成されている請求項５記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項７】

前記位相シフト素子は、 $1/4$ 波長板である請求項５記載のデジタルホログラフィ装置

。

【請求項８】

前記光源は、第１方向偏光成分と第２方向偏光成分とを有する直線偏光を出射し、

前記物体光を第１方向偏光成分の光に変換し、前記光源から出射された光を第２方向偏光成分の光に変換する偏光ビームスプリッタをさらに備え、

前記位相シフト素子は、前記第２方向偏光成分の光を、その進行方向に垂直な平面上において互いに位相が異なる２種類の参照光に分割する波長板光学媒質アレイデバイスと、前記物体光の第３方向偏光成分と前記２種類の参照光の第３方向偏光成分と透過させる偏光子とを有している請求項１記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項９】

前記位相シフト素子は、前記撮像手段と一体に構成されている請求項８記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項１０】

前記波長板光学媒質アレイデバイスは、前記第２方向偏光成分の光を透過させる光学媒質と、前記第２方向偏光成分の光を位相をシフトさせて透過させる $1/4$ 波長板とを有している請求項８記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項１１】

光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源と、

前記物体光に基づいて、互いに光路差が異なる第１光路物体光及び第２光路物体光を生成し、前記光源から出射された光に基づいて、互いに光路差が異なる第１光路参照光及び第２光路参照光を生成する光路差生成素子と、

前記光路差生成素子によって生成された第１光路物体光及び第１光路参照光が干渉した第１干渉縞と、前記光路差生成素子によって生成された第２光路物体光及び第２光路参照光が干渉した第２干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第１干渉縞と第２干渉縞とに基づいて前記被写体の再生像を生

成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項 1 2】

前記光路差生成素子は、前記物体光及び前記光源から出射された光の進行方向に垂直な平面上において格子状に配置された 2 種類の領域を有するアレイデバイスである請求項 1 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 1 3】

前記撮像手段は、CCDカメラまたはCMOSイメージセンサーカメラであり、
前記 2 種類の領域の一方は、前記物体光及び前記光源から出射された光に基づいて、前記第 1 光路物体光及び前記第 1 光路参照光をそれぞれ生成し、
前記 2 種類の領域の他方は、前記物体光及び前記光源から出射された光に基づいて、前記第 2 光路物体光及び前記第 2 光路参照光をそれぞれ生成する請求項 1 2 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 1 4】

前記アレイデバイスは、物体光と参照光とに対して屈折率が等しい光学媒質によって形成されており、
前記 2 種類の領域の一方の厚みと前記 2 種類の領域の他方の厚みとは、互いに異なっている、請求項 1 2 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 1 5】

前記アレイデバイスは、入射する物体光および参照光に対して第 1 屈折率を有する第 1 光学媒質と、前記物体光および参照光に対して第 2 屈折率を有する第 2 光学媒質とによって形成されており、
前記第 1 屈折率と前記第 2 屈折率とは、互いに異なっており、
前記第 1 および第 2 光学媒質は、同じ厚みを有している請求項 1 2 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 1 6】

第 1 方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、
前記物体光と前記光源ユニットから出射された第 1 方向偏光成分の光とを位相をシフトさせて透過させる第 1 領域と、前記物体光と前記光源ユニットから出射された第 1 方向偏光成分の光とを透過させる第 2 領域とを有する位相シフト素子と、
前記第 1 領域を位相をシフトさせて透過した前記物体光と前記光とが干渉した第 1 干渉縞と、前記第 2 領域を透過した前記物体光と前記光とが干渉した第 2 干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、
前記撮像面に記録された第 1 及び第 2 干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項 1 7】

前記位相シフト素子の第 1 領域は位相板または波長板によって構成されており、第 2 領域は光学的等方性媒質によって構成されており、
前記位相シフト素子は、前記第 1 領域と前記第 2 領域とを格子状に配置して構成されている請求項 1 6 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 1 8】

前記位相シフト素子は、前記撮像手段と一体に構成されている請求項 1 6 記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 1 9】

第 1 方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、
前記出射した第 1 方向偏光成分の光から参照光を分離する分離手段と、
前記第 1 方向に対して + 45 度傾いた第 1 偏光子と、 - 45 度傾いた第 2 偏光子とを交

互に配置した偏光子アレイデバイスと、

前記第1方向に対して+45度傾いた高速軸と、-45度傾いた低速軸とを有する位相シフト素子と、

前記第1偏光子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第1干渉縞と、前記第2偏光子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第2干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第1及び第2干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項20】

前記位相シフト素子は、位相板または波長板である請求項19記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項21】

前記偏光子アレイデバイスと前記位相シフト素子とは、前記撮像手段と一体に構成されている請求項19記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項22】

互いに異なる第1波長及び第2波長をそれぞれ有する第1波長光及び第2波長光をそれぞれ出射し、前記出射した第1波長光及び第2波長光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するためにそれぞれ設けられた第1光源及び第2光源と、

前記第1光源及び第2光源からそれぞれ出射された第1波長光及び第2波長光を、第1位相及び前記第1波長に対応する第1位相第1波長参照光と、前記第1位相と異なる第2位相及び前記第1波長に対応する第2位相第1波長参照光と、前記第1位相及び前記第2波長に対応する第1位相第2波長参照光と、前記第2位相及び前記第2波長に対応する第2位相第2波長参照光とに、前記第1波長光及び第2波長光の入射方向に垂直な平面上において分割する位相シフト波長選択素子と、

前記位相シフト波長選択素子によって分割された第1位相第1波長参照光、第2位相第1波長参照光、第1位相第2波長参照光、及び第2位相第2波長参照光と、前記被写体から放射または透過または散乱または反射または回折された物体光とがそれぞれ干渉した第1位相第1波長干渉縞、第2位相第1波長干渉縞、第1位相第2波長干渉縞、及び第2位相第2波長干渉縞が記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第1位相第1波長干渉縞、第2位相第1波長干渉縞、第1位相第2波長干渉縞、及び第2位相第2波長干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項23】

前記位相シフト波長選択素子は、前記第1波長光及び第2波長光の入射方向に垂直な第1方向に沿ってストライプ状にそれぞれ配置されて、前記第1位相に対応する第1位相領域と前記第2位相に対応する第2位相領域とを有する位相シフトアレイデバイスと、

前記第1波長光及び第2波長光の入射方向に垂直な方向であって前記第1方向に交差する方向に沿ってストライプ状にそれぞれ配置されて、前記第1波長を有する光を透過する第1波長領域と前記第2波長を有する光を透過する第2波長領域とを有する波長選択アレイデバイスとを有する請求項22記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項24】

前記撮像手段は、CCDカメラまたはCMOSイメージセンサーカメラであり、

前記第1及び第2位相領域、並びに前記第1及び第2波長領域は、前記撮像手段の各画素に対応して配置されている請求項23記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項25】

前記位相シフト波長選択素子は、前記第1及び第2位相と異なる第3位相に対応する第3位相領域と、

前記第1及び第2及び第3位相と異なる第4位相に対応する第4位相領域とをさらに有している請求項23記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 26】

前記第1及び第2波長と異なる第3波長を有する第3波長光を出射し、前記第1、第2、及び第3波長光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた第3光源をさらに備える請求項22記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 27】

前記第1及び第2および第3波長と異なる第4波長を有する第4波長光を出射し、前記第1、第2、第3及び前記4波長に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた第4光源をさらに備える請求項26記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 28】

前記第1光源及び第2光源からそれぞれ出射される第1波長光及び第2波長光は、第1方向偏光であり、

前記位相シフト波長選択素子は、前記第1波長光が入射されて前記第1位相に対応する高速軸と前記第2位相に対応する低速軸とを有する第1(1/4)波長板と、前記第2波長光が入射されて前記高速軸と前記低速軸とを有する第2(1/4)波長板と、前記第1波長光を透過させる第1波長領域と前記第2波長光を透過させる第2波長領域とを配置した波長選択アレイデバイスとを有しており、

前記高速軸に平行な偏光を透過させる高速軸透過領域と、前記低速軸に平行な偏光を透過させる低速軸透過領域とを有する偏光子アレイをさらに備える請求項22記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 29】

前記波長選択アレイデバイスと前記偏光子アレイとは、前記撮像手段と一体に構成される請求項28記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 30】

前記第1光源及び第2光源からそれぞれ出射される第1波長光及び第2波長光は、第1方向偏光であり、

前記位相シフト波長選択素子は、前記第1波長光を透過させる第1波長領域と、前記第2波長光を透過させる第2波長領域とを配置した波長選択アレイデバイスと、前記第1位相に対応する高速軸と前記第2位相に対応する低速軸とを有して前記第1波長光に対応する第1(1/4)波長板と、前記第1位相に対応する高速軸と前記第2位相に対応する低速軸とを有して前記第2波長光に対応する第2(1/4)波長板とを配置した位相シフトアレイデバイスと、前記第1方向偏光成分を透過させる偏光子とを有している請求項22記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 31】

前記位相シフト波長選択素子は、前記撮像手段と一体に構成されている請求項30記載のデジタルホログラフィ装置。

【請求項 32】

入射した光を透過させ、位相シフト計測手段の基準となる位相を有する光を形成する第1領域と、

入射した光を透過させ、前記基準となる位相よりも位相がシフトされた光を形成するために位相板または波長板によって構成された第2領域とを備え、

前記第1領域と前記第2領域とを格子状に配置したことを特徴とする位相板アレイ。

【請求項 33】

第1方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、

前記出射した第1方向偏光成分の光から参照光を分離する分離手段と、

1/4波長板と1/2波長板とを交互に配置した波長板アレイデバイスと、

前記第1方向に対して傾斜する偏光子と、

前記 1 / 4 波長板を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第 1 干渉縞と、前記 1 / 2 波長板を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第 2 干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第 1 及び第 2 干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項 3 4】

第 1 方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、

前記出射した第 1 方向偏光成分の光から参照光を分離する分離手段と、

互いに直交する第 1 高速軸および第 1 低速軸を有する第 1 波長板素子と、前記第 1 高速軸に平行な第 2 低速軸および前記第 1 低速軸に平行な第 2 高速軸を有する第 2 波長板素子とを交互に配置した波長板アレイデバイスと、

前記第 1 波長板素子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第 1 干渉縞と、前記第 2 波長板素子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第 2 干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第 1 及び第 2 干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【請求項 3 5】

第 1 方向偏光成分の光を出射し、前記出射した光に基づいて被写体から放射または透過または散乱または反射または回折される物体光を供給するために設けられた光源ユニットと、

前記出射した第 1 方向偏光成分の光から参照光を分離する分離手段と、

第 1 偏光方向と異なる方向に高速軸と低速軸を持つ 4 分の 1 波長板と、

前記 4 分の 1 波長板の高速軸または低速軸に平行な第 2 偏光方向を有する第 1 偏光子と、前記第 2 偏光方向に直交する第 3 偏光方向を有する第 2 偏光子とを交互に配置した偏光子アレイデバイスと、

前記第 1 偏光子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第 1 干渉縞と、前記第 2 偏光子を透過した前記物体光及び前記参照光とが干渉した第 2 干渉縞とが記録される撮像面を有する撮像手段と、

前記撮像面に記録された第 1 及び第 2 干渉縞に基づいて前記被写体の再生像を生成する再生像生成器とを備えたことを特徴とするデジタルホログラフィ装置。

【 国際調査報告 】

| INTERNATIONAL SEARCH REPORT | | International application No. PCT/JP2008/071246 |
|--|---|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER 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) G03H1/22 | | |
| 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 1996-2009 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2009 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2009 | | |
| Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) | | |
| C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| X | JP 2006-98705 A (Sony Corp.), 13 April, 2006 (13.04.06), Par. No. [0026]; Figs. 2, 3 (Family: none) | 32 |
| X | JP 2005-141033 A (Asahi Glass Co., Ltd.), 02 June, 2005 (02.06.05), Claims; Par. No. [0018]; Fig. 1 & US 2006/193235 A1 & EP 1681585 A1 & WO 2005/45484 A1 & KR 2006/132559 A & CN 1860386 A | 32 |
| A | JP 2005-283683 A (Japan Science and Technology Agency), 13 October, 2005 (13.10.05), Full text; all drawings (Family: none) | 1-35 |
| <input 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 16 February, 2009 (16.02.09) | | Date of mailing of the international search report 24 February, 2009 (24.02.09) |
| Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office | | Authorized officer |
| Facsimile No. | | Telephone No. |

| 国際調査報告 | | 国際出願番号 PCT/J P 2008/071246 | | | | | | | | | |
|---|--|---|---------|-----------|------------|-------------|------------|-------------|------------|-------------|------------|
| A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. 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. G03H1/22 | | | | | | | | | | | |
| 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>1971-2009年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2009年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2009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 | 1971-2009年 | 日本国実用新案登録公報 | 1996-2009年 | 日本国登録実用新案公報 | 1994-2009年 |
| 日本国実用新案公報 | 1922-1996年 | | | | | | | | | | |
| 日本国公開実用新案公報 | 1971-2009年 | | | | | | | | | | |
| 日本国実用新案登録公報 | 1996-2009年 | | | | | | | | | | |
| 日本国登録実用新案公報 | 1994-2009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) | | | | | | | | | | | |
| 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 請求の範囲の番号 | | | | | | | | | |
| X | JP 2006-98705 A (ソニー株式会社) 2006.04.13, 段落[0026], 図 2, 3 (ファミリーなし) | 32 | | | | | | | | | |
| X | JP 2005-141033 A (旭硝子株式会社) 2005.06.02, 特許請求の範囲, 段落[0018], 図 1 & US 2006/193235 A1 & EP 1681585 A1 & WO 2005/45484 A1 & KR 2006/132559 A & CN 1860386 A | 32 | | | | | | | | | |
| A | JP 2005-283683 A (独立行政法人科学振興機構) 2005.10.13, 全文全 図 (ファミリーなし) | 1-35 | | | | | | | | | |
| <input 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。 | | | | | | | | | |
| * 引用文献のカテゴリー 「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 「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 「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) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願 | | の日後に公表された文献 「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 「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 「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 「&」同一パテントファミリー文献 | | | | | | | | | |
| 国際調査を完了した日 16.02.2009 | | 国際調査報告の発送日 24.02.2009 | | | | | | | | | |
| 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) 堀井 康司 | 20 3713 | | | | | | | | |
| | | 電話番号 03-3581-1101 | 内線 3271 | | | | | | | | |

フロントページの続き

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

(72)発明者 田原 樹

日本国京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地 国立大学法人京都工芸繊維大学内

(72)発明者 若松 健

日本国京都府京都市左京区松ヶ崎橋上町1番地 国立大学法人京都工芸繊維大学内

Fターム(参考) 2H149 AA28 BA02 BA04 DA04 DA05 DA12 FC09

2K008 AA08 CC00 FF03 FF27 HH01 HH12 HH13 HH14 HH24

(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。