

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-210410

(P2010-210410A)

(43) 公開日 平成22年9月24日(2010.9.24)

(51) Int.Cl.  
G01B 11/25 (2006.01)

F1  
G01B 11/25

テーマコード(参考)  
2F065

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2009-56756(P2009-56756)  
(22) 出願日 平成21年3月10日(2009.3.10)  
特許法第30条第1項適用申請有り 2009年度精密  
工学会春季大会学術講演会講演論文集 平成21年2月  
25日発行

(71) 出願人 504013775  
学校法人 埼玉医科大学  
埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷38  
(74) 代理人 100090387  
弁理士 布施 行夫  
(74) 代理人 100090398  
弁理士 大淵 美千栄  
(72) 発明者 吉澤 徹  
埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷38 学校  
法人埼玉医科大学内  
(72) 発明者 若山 俊隆  
埼玉県入間郡毛呂山町毛呂本郷38 学校  
法人埼玉医科大学内  
Fターム(参考) 2F065 AA53 FF04 FF09 GG02 GG06  
HH06 JJ03 JJ26 LL13 LL41  
MM16

(54) 【発明の名称】 三次元形状測定装置

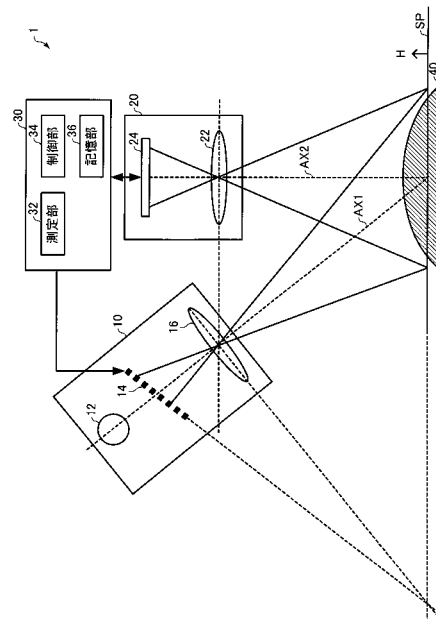
(57) 【要約】

【課題】 精度の高い測定を行うことが可能な三次元形状測定装置及び三次元形状測定方法を提供すること。

【解決手段】 測定対象物40の三次元形状を測定する三次元形状測定装置1において、

パターン素子14の格子パターンを測定対象物40に対して投影する投影部10と、測定対象物40に投影された格子パターンを撮像する撮像部20とを含み、前記格子パターンを基準面SPに対して投影した場合に基準面SP上において等間隔なパターンが形成されるように、前記格子パターンの間隔を不等間隔としたことを特徴とする。

【選択図】 図1



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

測定対象物の三次元形状を測定する三次元形状測定装置において、格子パターンを前記測定対象物に対して投影する投影部と、前記測定対象物に投影された格子パターンを撮像する撮像部とを含み、前記格子パターンを基準面に対して投影した場合に基準面上において等間隔なパターンが形成されるように、前記格子パターンの間隔を不等間隔としたことを特徴とする三次元形状測定装置。

**【請求項 2】**

請求項 1 において、前記投影部は、格子パターンを有するパターン素子と、投影レンズとを含み、前記格子パターンを、前記投影レンズを介して前記測定対象物に対して投影することを特徴とする三次元形状測定装置。

10

**【請求項 3】**

請求項 2 において、前記パターン素子と前記投影レンズと前記基準面とが、シャインブルークの条件を満たすように配置されたことを特徴とする三次元形状測定装置。

**【請求項 4】**

請求項 1 において、前記投影部は、光源からの光を前記測定対象物に対して走査する走査部を含み、前記光源からの光が前記測定対象物を走査する際に、前記光源の光強度を制御することにより、前記基準面上において等間隔のパターンとなるような格子パターンを前記測定対象物に対して投影することを特徴とする三次元形状測定装置。

20

**【請求項 5】**

請求項 1 において、光源からの光を前記測定対象物に対して走査する走査部を含み、前記光源からの光が前記測定対象物を走査する際に、走査速度を制御することにより、前記基準面上において等間隔のパターンとなるような格子パターンを前記測定対象物に対して投影することを特徴とする三次元形状測定装置。

30

**【請求項 6】**

格子パターンを測定対象物に対して投影し、投影された格子パターンを撮像し、撮像された格子パターンから前記測定対象物の三次元形状を測定する三次元形状測定方法において、前記格子パターンを基準面に対して投影した場合に基準面上において等間隔なパターンが形成されるように、前記格子パターンの間隔を不等間隔としたことを特徴とする三次元形状測定方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】**

40

**【0001】**

本発明は、測定対象物の三次元形状を測定する三次元形状測定装置及び三次元形状測定方法に関する。

**【背景技術】****【0002】**

従来から、三次元形状測定方法として、格子パターン投影法が知られている（例えば、特許文献 1）。

**【0003】**

図 7 に格子パターン投影法による従来の三次元形状測定装置の構成例を示す。投影部は、光源 2 と格子 3 と投影レンズ 4 から構成され、光源 2 からの光が格子 3 を照射する。図

50

8に示すように、格子3は、正弦波状の光強度分布をもつ等間隔な格子パターンLPを有し、その格子パターンLPが投影レンズ4を介して測定対象物5に投影される。撮像部は、撮影レンズ6とCCDなどのイメージセンサ7から構成され、測定対象物5に投影された格子パターン(変形格子パターン)を、投影部による投影方向とは異なる方向から撮像する。そして撮像された画像の各画素について、基準面SPからの高さを求め、測定対象物5の三次元形状を測定する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2006-275529号公報

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

図3(A)は、図7に示す従来の三次元形状測定装置において、等間隔な格子パターンを基準面SPに投影した場合に、撮像部によって撮像された基準面SP上における格子パターン像の画像である。図3(A)を見ると、画像右側では格子パターンの間隔が広く、画像左側では格子パターンの間隔が狭くなっていることがわかる。これは、縞画像解析を行った場合、基準面が傾いていることとなり、基準面の傾き補正が必要となる。すなわち、従来の三次元形状測定装置では、投影された格子パターンの間隔が基準面上において等間隔でないために補正を行う必要があり、補正時の誤差により形状測定の精度が低下する

20

【0006】

本発明は、本発明は、以上のような課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、精度の高い測定を行うことが可能な三次元形状測定装置及び三次元形状測定方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

(1)本発明は、測定対象物の三次元形状を測定する三次元形状測定装置において、格子パターンを前記測定対象物に対して投影する投影部と、前記測定対象物に投影された格子パターンを撮像する撮像部とを含み、前記格子パターンを基準面に対して投影した場合に基準面上において等間隔なパターンが形成されるように、前記格子パターンの間隔を不等間隔としたことを特徴とする。

30

【0008】

本発明によれば、基準面の傾き補正をすることなく精度の高い形状測定を行うことができる。

【0009】

(2)また本発明に係る三次元形状測定装置では、前記投影部は、格子パターンを有するパターン素子と、投影レンズとを含み、前記格子パターンを、前記投影レンズを介して前記測定対象物に対して投影することを特徴とする。

40

【0010】

本発明によれば、基準面の傾き補正をすることなく精度の高い形状測定を行うことができる。

【0011】

(3)また本発明に係る三次元形状測定装置では、前記パターン素子と前記投影レンズと前記基準面とが、シャインブルークの条件を満たすように配置されたことを特徴とする。

【0012】

本発明によれば、基準面上における格子パターンのコントラストを均等に高くすること

50

ができ、精度の高い形状測定を行うことができる。

【0013】

(4) また本発明に係る三次元形状測定装置では、前記投影部は、光源からの光を前記測定対象物に対して走査する走査部を含み、前記光源からの光が前記測定対象物を走査する際に、前記光源の光強度を制御することにより、前記基準面上において等間隔のパターンとなるような格子パターンを前記測定対象物に対して投影することを特徴とする。

【0014】

本発明によれば、基準面の傾き補正をすることなく精度の高い形状測定を行うことができる。

10

【0015】

(5) また本発明に係る三次元形状測定装置では、光源からの光を前記測定対象物に対して走査する走査部を含み、前記光源からの光が前記測定対象物を走査する際に、走査速度を制御することにより、前記基準面上において等間隔のパターンとなるような格子パターンを前記測定対象物に対して投影することを特徴とする。

【0016】

本発明によれば、基準面の傾き補正をすることなく精度の高い形状測定を行うことができる。

20

【0017】

(6) また本発明は、格子パターンを測定対象物に対して投影し、投影された格子パターンを撮像し、撮像された格子パターンから前記測定対象物の三次元形状を測定する三次元形状測定方法において、前記格子パターンを基準面に対して投影した場合に基準面上において等間隔なパターンが形成されるように、前記格子パターンの間隔を不等間隔としたことを特徴とする。

【0018】

本発明によれば、基準面の傾き補正をすることなく精度の高い形状測定を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

30

【0019】

【図1】本実施形態の三次元形状測定装置の構成の一例を示す図。

【図2】本実施形態の液晶格子の格子パターンについて説明するための図。

【図3】基準面上における格子パターン像の画像を示す図。

【図4】変形例について説明するための図。

【図5】変形例について説明するための図。

【図6】変形例について説明するための図。

【図7】従来の三次元形状測定装置の構成の一例を示す図。

【図8】従来の三次元形状測定装置における格子パターンについて説明するための図。

【発明を実施するための形態】

40

【0020】

以下、本実施形態について説明する。なお、以下に説明する本実施形態は、特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではない。また本実施形態で説明される構成の全てが、本発明の必須構成要件であるとは限らない。

【0021】

1. 構成

図1は、本実施形態の三次元形状測定装置の構成の一例を示す図である。

【0022】

三次元形状測定装置1は、投影部10と、撮像部20と、制御装置30とを備える。投影部10を構成する各光学素子は、光軸AX1上に配置され、撮像部20を構成する各光

50

学素子は光軸 A X 2 上に配置される。なお、光軸 A X 1 と光軸 A X の交わる点を基準面 S P の原点としている。

【 0 0 2 3 】

投影部 1 0 は、光源部 1 2、液晶格子 1 4 (パターン素子の一例)、投影レンズ 1 6 を含む。光源部 1 2 は、ハロゲンランプ等の光源とコンデンサレンズから構成され、光源からの光を液晶格子 1 4 に照射する。

【 0 0 2 4 】

液晶格子 1 4 は、格子パターンを液晶により形成するパターン素子である。本実施形態の液晶格子 1 4 は、画素が縦方向に連続し、横方向に分離したパターン (横方向にピッチを持つパターン) で構成されている。また液晶格子 1 4 は、液晶ドライバを備え、制御装置 3 0 からの制御信号により格子ピッチを変化させる制御、格子パターンの位相を変化させる制御、格子パターンの強度分布を変化させる制御を行うことができる。

10

【 0 0 2 5 】

投影レンズ 1 6 は、液晶格子 1 4 の格子パターンを測定対象物 4 0 に対して投影するためのレンズである。

【 0 0 2 6 】

撮像部 2 0 は、撮影レンズ 2 2、CCD イメージセンサ 2 4 を含む。CCD イメージセンサ 2 4 は、測定対象物 4 0 に投影された格子パターン (変形格子パターン) の像を撮影レンズ 2 2 を介して撮像し、画像データを制御部 3 0 に出力する。

【 0 0 2 7 】

本実施形態では、図 2 に示すように、液晶格子 1 4 の格子パターン L P の間隔 (周期、ピッチ) を不等間隔として、格子パターン L P を基準面 S P に投影した場合に基準面 S P 上において等間隔な格子パターンの像が形成されるようにしている。すなわち、正弦波状の光強度をもつ格子パターンの周期を空間的に変化させた格子パターンとしている。図 2 に示す例では、左側にいくにつれ格子パターン L P の間隔 (周期) を狭くし、右側にいくにつれ格子パターン L P の間隔 (周期) を広くしている。このようにすると、基準面 S P 上において等間隔な格子パターンの像を形成することができ、基準面 S P の傾き補正をすることなく精度の高い形状測定を行うことができる。

20

【 0 0 2 8 】

また、本実施形態では、図 1 に示すように、液晶格子 1 4 と、投影レンズ 1 6 と、基準面 S P とが、シャインブルーク (Scheimpflug) の条件を満たすように配置されている。すなわち、液晶格子 1 4、投影レンズ 1 6、基準面 S P を、それぞれ被写体面、レンズ主面、像面とした場合に、それら 3 者を延長した面が 1 軸で交わるように、液晶格子 1 4 を傾けて配置している。このようにすると、基準面 S P 上における格子パターン像のコントラストを全面にわたって均等に高くすることができ、精度の高い形状測定を行うことができる。

30

【 0 0 2 9 】

図 3 ( B ) に、本実施形態の三次元形状測定装置 1 において、格子パターン L P を基準面 S P に投影した場合に、撮像部 2 0 によって撮像された基準面 S P 上における格子パターン像の画像を示す。図 3 ( B ) を見ると、図 3 ( A ) に示す従来例と比較して、基準面 S P 上における格子パターン像の間隔が等間隔になっていることがわかる。

40

【 0 0 3 0 】

また、図 3 ( A ) に示す従来例をみると、画像右側ではピントが合っているが左側ではピントがぼけている。このため、格子パターン像のコントラストが一様でなくなり、画像左側では測定の精度が低下する。一方、図 3 ( B ) を見ると、格子パターン像の全面にわたって均等に高いコントラストとなっていることがわかる。

【 0 0 3 1 】

再び図 1 を参照すると、制御装置 3 0 は、測定部 3 2、制御部 3 4、記憶部 3 6 を含む。測定部 3 2 や制御部 3 4 の機能は、各種プロセッサ (CPU、DSP 等) のハードウェアや、記憶部 3 6 に格納されたプログラムにより実現できる。記憶部 3 6 は、測定部 3 2

50

や制御部 34 のワーク領域となるものであり、その機能は、RAM や ROM などにより実現できる。

【0032】

制御部 34 は、液晶格子 14 の格子パターンを制御する。すなわち格子パターンを制御するための制御信号を生成して、生成した制御信号を液晶格子 14 の液晶ドライバに対して送信する処理を行う。また制御部 34 は、撮像部 20 を制御する処理を行う。

【0033】

測定部 82 は、撮像部 20 によって撮像された画像データに基づき測定対象物 40 の三次元形状の測定値を算出する。すなわち、液晶格子 14 の格子パターンの位相を順次シフトさせて撮像した画像データからその初期位相分布  $(x, y)$  を求め、求めた位相分布  $(x, y)$  に対して位相接続処理（アンラッピング処理）を行い、連続した初期位相分布  $(x, y)$  を求める。このようにして求めた位相分布  $(x, y)$  より、三角測量の原理を用いて基準面 SP からの高さ H への変換を行い、測定対象物 40 の高さ分布  $H(x, y)$  を求める。

10

【0034】

なお、格子パターンの位相シフト量を  $0$ 、 $\pi/2$ 、 $\pi$ 、 $3\pi/2$  とした 4 ステップ法の場合には、各画素  $(x, y)$  における輝度をそれぞれ  $I_0(x, y)$ 、 $I_1(x, y)$ 、 $I_2(x, y)$ 、 $I_3(x, y)$  とすると、各画素における位相分布  $(x, y)$  は、次式により求めることができる。

20

【0035】

【数 1】

$$\phi(x, y) = \tan^{-1} \frac{I_3(x, y) - I_1(x, y)}{I_0(x, y) - I_2(x, y)} \quad (1)$$

【0036】

2. 変形例

なお、本発明の適用は上述した実施例に限定されず、種々の変形が可能である。

【0037】

例えば、本実施形態では、液晶格子（パターン素子）を用いて格子パターンを測定対象物に対して投影する場合について説明したが、光源からの光を測定対象物に対して走査させるとともに光源の光強度或いは走査速度を制御することにより格子パターンを測定対象物に対して投影するようによい。

30

【0038】

例えば、図 4 に示す例では、投影部 10 は、光源部 13 と、可動ミラー 15 を含む。光源 13 は、レーザーダイオード等の光源とコリメートレンズから構成される。レーザー光の強度は、制御部 34 により制御される。光源から放射されたレーザー光はコリメートレンズによって平行光とされ、可動ミラー 15 に導かれる。そして光源部 13 からのレーザー光は可動ミラー 15 で反射されて測定対象物 40 に向かって進む。可動ミラー 15 は、MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) ミラー（MEMS 光スキャナ）から構成され、制御部 34 からの制御信号によって 2 次元方向に駆動する。可動ミラー 15 として MEMS ミラーを用いることにより、装置を小型化することができ、また装置の消費電力を低減することができる。なお、可動ミラー 15 として、ガルバノミラーや、DMD (Digital Micromirror Device) などを用いるようにしてもよい。なお、DMD は米国テキサス・インスツルメンツ社の商標である。

40

【0039】

図 5 に示すように、可動ミラー 15 を、水平軸 AH 回りに所定角度範囲内で共振（振動）させつつ、垂直軸 AV 回りに回転させるように駆動することで、光源部 13 からのレーザー光 LL を基準面 SP（及び測定対象物 40）上を走査線 S に沿って走査させることができる。ここで、レーザー光 LL を 1 回走査させる際に、可動ミラー 15 の垂直軸 AV 回

50

りの回転角度の増加（或いは時間経過）に伴って、レーザー光LLの強度を周期的に変化させることで、格子パターンを測定対象物40上に投影することができる。

【0040】

また、図4に示す例において、レーザー光LLの強度を変化させる周期が不等間隔となるように制御することで、基準面SP上において等間隔となるような格子パターンの像を形成することができる。

【0041】

例えば、図4において、光源部13からのレーザー光を矢印Aに示す方向に走査する場合には、図6(A)に示すように、可動ミラー15の垂直軸AV回りの回転角度の増加に伴って、レーザー光の強度を変化させる周期が短くなるように制御している。この場合、周波数変調された電圧を光源に印加するようにすればよい。このようにすると、基準面SP上において等間隔な格子パターンの像を形成することができ、基準面SPの傾き補正をすることなく精度の高い形状測定を行うことができる。

10

【0042】

また、図4に示す例において、レーザー光LLを1回走査させる際に、レーザー光LLの強度を変化させずに、可動ミラー15の垂直軸AV回りの角速度（走査角速度）を周期的に変化させることで、格子パターンを測定対象物40上に投影するようにしてもよい。

【0043】

例えば、図4において、光源部13からのレーザー光を矢印Aに示す方向に走査する場合には、図6(B)に示すように、時間経過に伴って、可動ミラー15の垂直軸AV回りの角速度を変化させる周期が短くなるように制御することで、基準面SP上において等間隔な格子パターンの像を形成することができる。

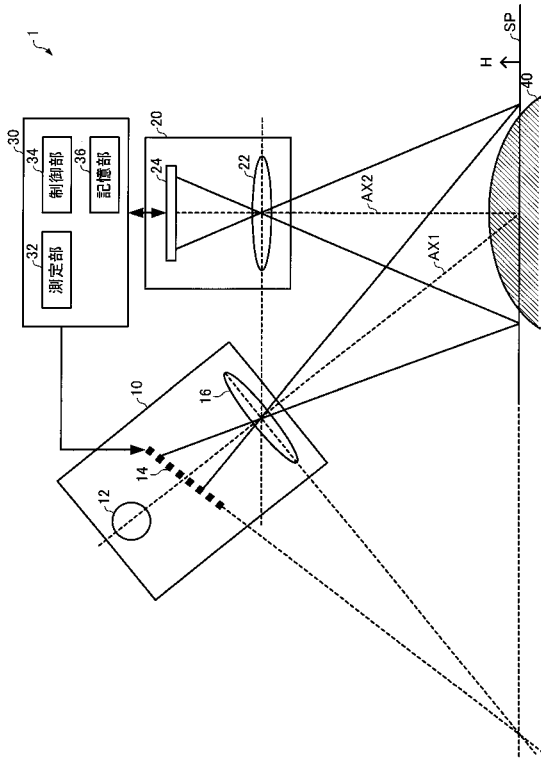
20

【符号の説明】

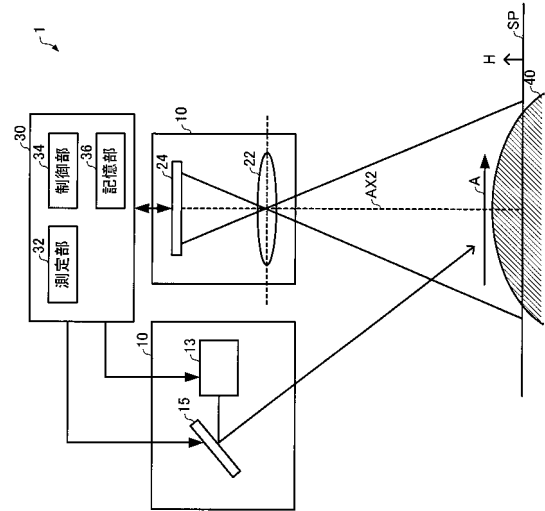
【0044】

1 三次元形状測定装置、10 光源部、14 液晶格子、16 投影レンズ、20 撮像部、22 撮影レンズ、24 CCDイメージセンサ、30 制御装置、32 測定部、36 記憶部、40 測定対象物

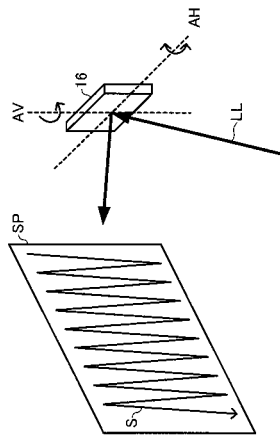
【 図 1 】



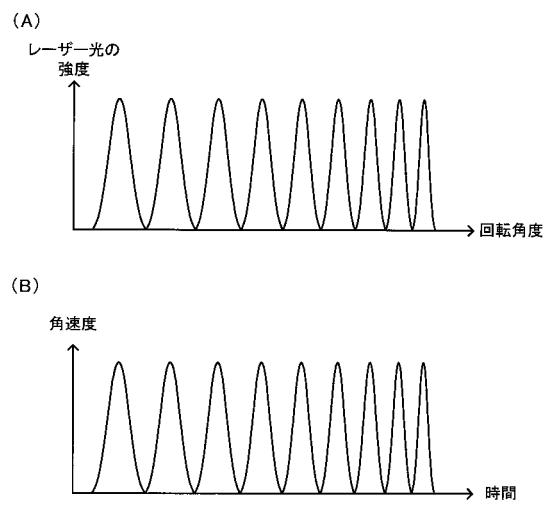
【 図 4 】



【 図 5 】

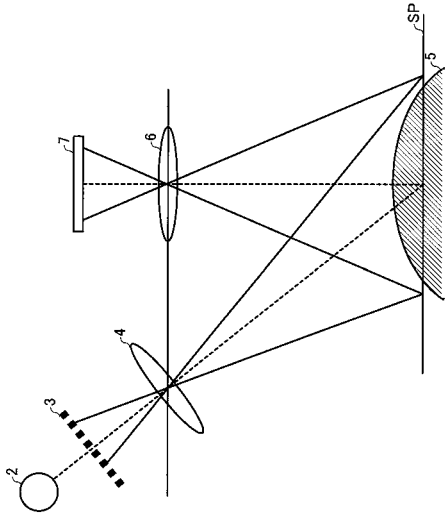


【 図 6 】

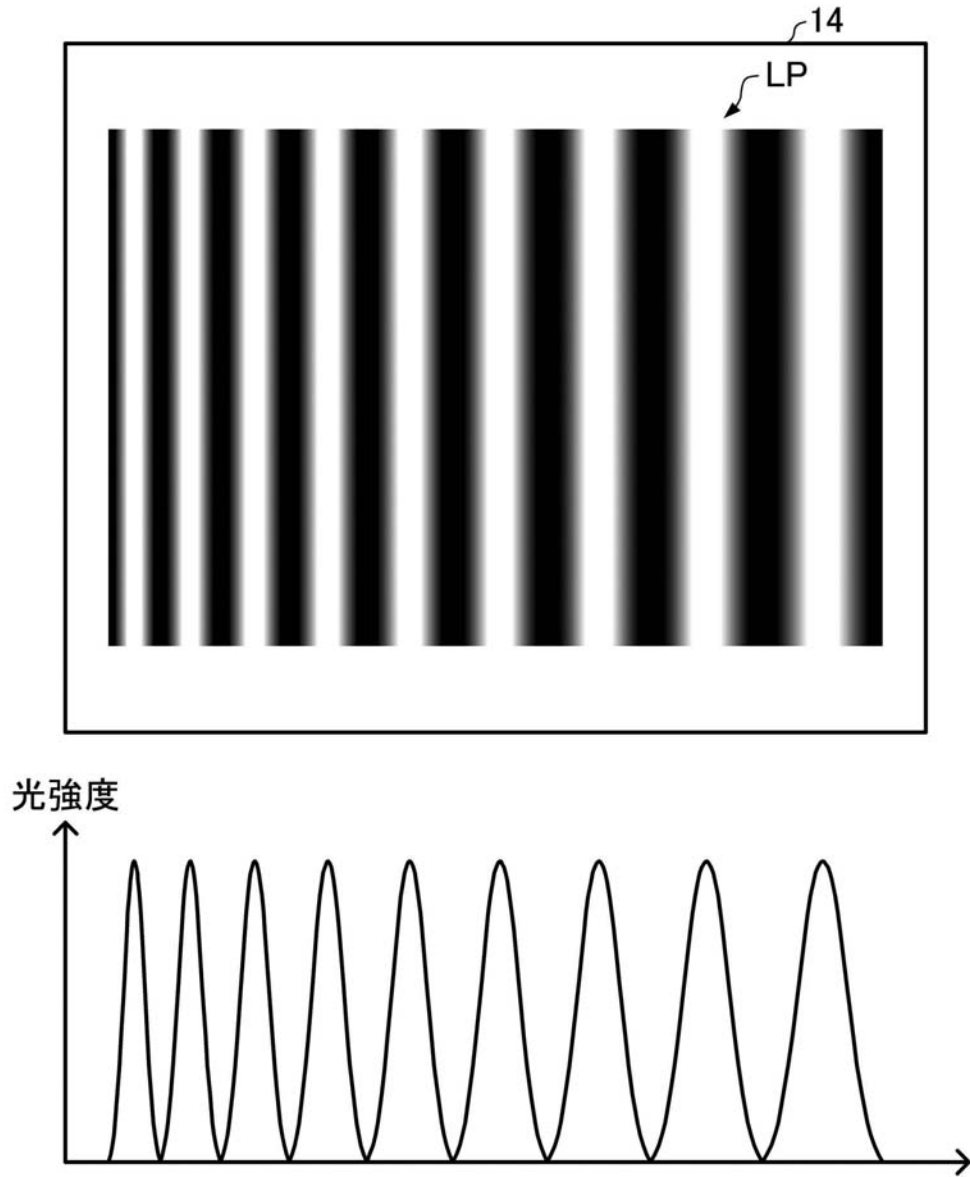




【 図 7 】



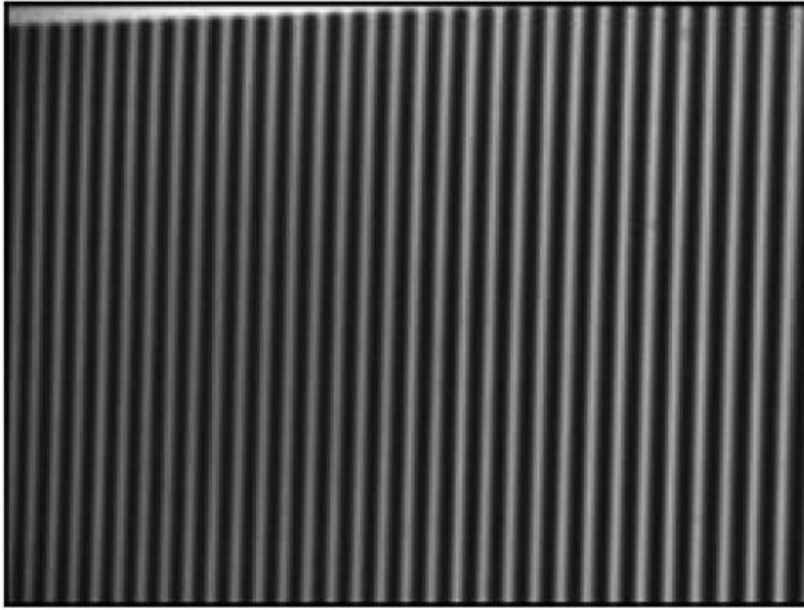
【 図 2 】



【図3】

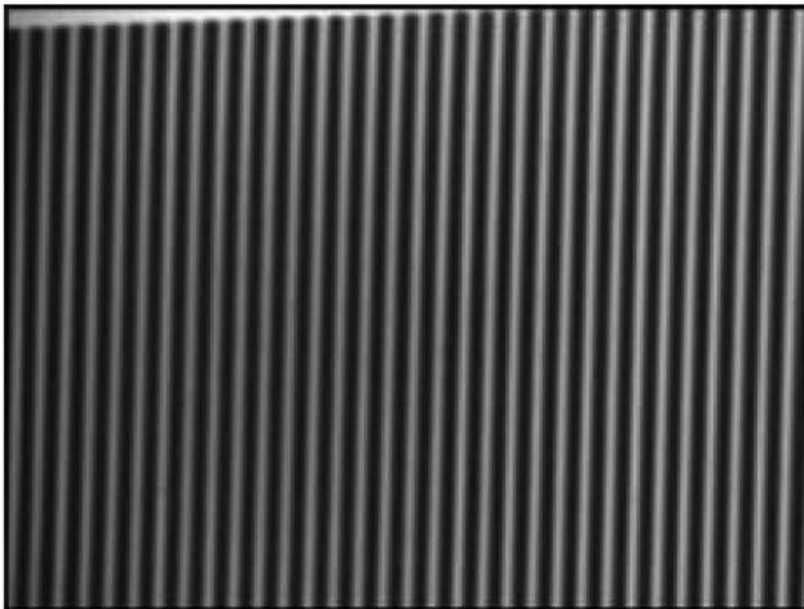
(A)

従来例



間隔狭い ←————→ 間隔広い

(B)



【 図 8 】

