

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7557051号  
(P7557051)

(45)発行日 令和6年9月26日(2024.9.26)

(24)登録日 令和6年9月17日(2024.9.17)

(51)国際特許分類	F I
G 0 2 B 21/00 (2006.01)	G 0 2 B 21/00
G 0 2 B 21/06 (2006.01)	G 0 2 B 21/06
G 0 2 B 21/26 (2006.01)	G 0 2 B 21/26
G 0 2 B 21/36 (2006.01)	G 0 2 B 21/36
G 0 3 H 1/04 (2006.01)	G 0 3 H 1/04

請求項の数 19 (全43頁) 最終頁に続く

(21)出願番号	特願2023-515160(P2023-515160)	(73)特許権者	523079082
(86)(22)出願日	令和3年9月6日(2021.9.6)		キュービクセル カンパニー リミテッド
(65)公表番号	特表2023-540762(P2023-540762 A)		CUBIXEL CO., LTD.
(43)公表日	令和5年9月26日(2023.9.26)		大韓民国 05006 ソウル クアンジン-グ ナンドン-ロ 209 302ホ
(86)国際出願番号	PCT/KR2021/012003		(セジョン ユニヴァーシティ デヤン
(87)国際公開番号	WO2022/055194	(74)代理人	100147485
(87)国際公開日	令和4年3月17日(2022.3.17)		弁理士 杉村 憲司
審査請求日	令和5年3月3日(2023.3.3)	(74)代理人	230118913
(31)優先権主張番号	10-2020-0114666		弁護士 杉村 光嗣
(32)優先日	令和2年9月8日(2020.9.8)	(74)代理人	100225543
(33)優先権主張国・地域又は機関	韓国(KR)		弁理士 上原 真
		(72)発明者	キム テグン
			大韓民国 08090 ソウル ヤンチョ

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 スキャンミラーとトランスレーションステージとを使用したフライングオーバービームパターン  
タンスキャンニングホログラム顕微鏡装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

光源から分割された第1ビーム及び第2ビームのうち、前記第1ビームの位相を変調して第1レンズを通じて第1球面波に変換し、前記第2ビームを第2レンズを通じて第2球面波に変換した後、前記第1及び第2球面波を干渉させてスキャンビームを形成するスキャンビーム生成部と、

物体に対する前記スキャンビームのスキャン位置を水平及び垂直方向に制御するように、入射された前記スキャンビームを水平方向に制御して投射部に伝達するスキャンミラーと、前記投射部の後端から前記物体を垂直方向に移動させるトランスレーションステージと、を含むスキャン部と、

複数のレンズ系と対物レンズとを含み、前記スキャン部から伝達されたスキャンビームを前記物体が位置した対物面に投射する投射部と、

前記物体から反射または蛍光された後、再び前記対物レンズを通過したビームを検出する集光部と、を含み、

前記対物面に投射されるスキャンビームは、  
前記スキャンミラーに結ばれる前記第1及び第2球面波の各焦点位置及び錐角の条件によって、前記対物面で収束する球面波と平面波との干渉構造(第1パターン)、前記対物面で発散する球面波と平面波との干渉構造(第2パターン)、前記対物面で発散する2つの球面波間の干渉構造(第3パターン)、そして、前記対物面で収束する球面波と発散する球面波との干渉構造(第4パターン)のうち何れか1つのパターンで決定される、フライ

ングオーバービームパターンスキヤニングホログラム顕微鏡装置。

【請求項 2】

前記投射部は、

前記スキヤン部と前記対物面との間に順次配された第 1 レンズ系、第 2 レンズ系及び前記対物レンズを含み、

前記第 1 レンズ系の入射瞳は、前記スキヤンミラーに位置する、請求項 1 に記載のフライングオーバービームパターンスキヤニングホログラム顕微鏡装置。

【請求項 3】

前記条件が第 1 条件である場合、前記第 1 及び第 2 球面波は、それぞれ対物面に対して平面波及び収束する球面波になって、前記対物面に投射されたスキヤンビームは、前記対物面で収束する球面波と平面波との干渉構造を有し、

10

前記第 1 条件は、

第 1 球面波の焦点位置は、前記第 1 レンズ系の入射瞳の位置と同一であり、第 2 球面波の焦点位置は、前記第 1 レンズ系の入射瞳の位置と同じか、より前端に位置し、第 1 及び第 2 球面波の錐角 ( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ) は、 $\theta_2 < \theta_1$  を満足する条件である、請求項 2 に記載のフライングオーバービームパターンスキヤニングホログラム顕微鏡装置。

【請求項 4】

前記条件が第 2 条件である場合、前記第 1 及び第 2 球面波は、それぞれ対物面に対して平面波及び発散する球面波になって、前記対物面に投射されたスキヤンビームは、前記対物面で発散する球面波と平面波との干渉構造を有し、

20

前記第 2 条件は、

第 1 球面波の焦点位置は、前記第 1 レンズ系の入射瞳の位置と同一であり、第 2 球面波の焦点位置は、前記第 1 レンズ系の入射瞳の位置と同じか、より後端に位置し、第 1 及び第 2 球面波の錐角 ( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ) は、 $\theta_2 > \theta_1$  を満足する条件である、請求項 2 に記載のフライングオーバービームパターンスキヤニングホログラム顕微鏡装置。

【請求項 5】

前記条件が第 3 条件である場合、前記第 1 及び第 2 球面波は、それぞれ対物面に対していずれも発散する球面波になって、前記対物面に投射されたスキヤンビームは、前記対物面で発散する 2 つの球面波間の干渉構造を有し、

前記第 3 条件は、

第 1 球面波の焦点位置は、前記第 1 レンズ系の入射瞳よりも後端に位置し、第 2 球面波の焦点位置は、第 1 球面波の焦点位置よりも後端に位置し、第 1 及び第 2 球面波の錐角 ( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ) は、 $\theta_2 > \theta_1$  を満足する条件である、請求項 2 に記載のフライングオーバービームパターンスキヤニングホログラム顕微鏡装置。

30

【請求項 6】

前記条件が第 4 条件である場合、前記第 1 及び第 2 球面波は、それぞれ対物面に対して収束する球面波及び発散する球面波になって、前記対物面に投射されるスキヤンビームは、前記対物面で収束する球面波と発散する球面波との干渉構造を有し、

前記第 4 条件は、

第 1 球面波の焦点位置は、前記第 1 レンズ系の入射瞳よりも前端に位置し、第 2 球面波の焦点位置は、前記第 1 レンズ系の入射瞳よりも後端に位置し、第 1 及び第 2 球面波の錐角 ( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ) は、 $\theta_2 < \theta_1$  である同時に下記の数式を満足する条件である、請求項 2 に記載のフライングオーバービームパターンスキヤニングホログラム顕微鏡装置。

40

$$|\theta_2 - \theta_1| < \frac{1}{2} |\theta_2 + \theta_1|$$

【請求項 7】

前記第 1 レンズ系は、伝達されたスキヤンビームを前記第 2 レンズ系に伝達し、前記第

50

1 及び第 2 レンズ系は、下記の数式の条件を満足する、請求項 3 に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

$$|\theta_1 + \theta_s| \leq |\theta_1^r|,$$

$$|\theta_2 + \theta_s| \leq |\theta_1^r|$$

$$|r_{sph1}| \leq |f_1 \alpha_1^r|$$

$$|r_{sph2}| \leq |f_1 \alpha_1^r|$$

10

ここで、 $\theta_1$  及び  $\theta_2$  は、第 1 及び第 2 球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$  は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $\theta_1^r$  は、第 1 レンズ系の受光角、 $f_1$  は、第 1 レンズ系の有効焦点距離、 $\alpha_1^r$  は、第 1 レンズ系の前焦点面の収束角、 $r_{sph1}$  及び  $r_{sph2}$  は、第 1 レンズ系の入射瞳面での第 1 及び第 2 球面波の半径を示す。

20

#### 【請求項 8】

前記第 1 レンズ系は、伝達されたスキャンビームを前記第 2 レンズ系に伝達し、前記第 1 及び第 2 レンズ系は、下記の数式の条件を満足する、請求項 4 に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

$$|\theta_1 + \theta_s| \leq |\theta_1^r|,$$

$$|\theta_2 + \theta_s| \leq |\theta_1^r|$$

$$|r_{sph1}| \leq |f_1 \alpha_1^r|$$

$$|r_{sph2}| \leq |f_1 \alpha_1^r|$$

30

ここで、 $\theta_1$  及び  $\theta_2$  は、第 1 及び第 2 球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$  は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $\theta_1^r$  は、第 1 レンズ系の受光角、 $f_1$  は、第 1 レンズ系の有効焦点距離、 $\alpha_1^r$  は、第 1 レンズ系の前焦点面の収束角、 $r_{sph1}$  及び  $r_{sph2}$  は、第 1 レンズ系の入射瞳面での第 1 及び第 2 球面波の半径を示す。

40

#### 【請求項 9】

前記第 1 レンズ系は、伝達されたスキャンビームを前記第 2 レンズ系に伝達し、前記第 1 及び第 2 レンズ系は、下記の数式の条件を満足する、請求項 5 に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

50

$$|\theta_1 + \theta_s| \leq |\theta_1^r|,$$

$$|\theta_2 + \theta_s| \leq |\theta_1^r|$$

$$|r_{sph1}| \leq |f_1 \alpha_1^r|$$

$$|r_{sph2}| \leq |f_1 \alpha_1^r|$$

10

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $\theta_1^r$ は、第1レンズ系の受光角、 $f_1$ は、第1レンズ系の有効焦点距離、 $\alpha_1^r$ は、第1レンズ系の前焦点面の収束角、 $r_{sph1}$ 及び $r_{sph2}$ は、第1レンズ系の入射瞳面での第1及び第2球面波の半径を示す。

#### 【請求項10】

前記第1レンズ系は、伝達されたスキャンビームを前記第2レンズ系に伝達し、前記第1及び第2レンズ系は、下記の数式の条件を満足する、請求項6に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

20

$$|\theta_s - \theta_1| \leq |\theta_1^r|,$$

$$\theta_2 + \theta_s \leq \theta_1^r$$

$$r_{sph1} \leq f_1 \alpha_1^r$$

$$r_{sph2} \leq f_1 \alpha_1^r$$

30

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $\theta_1^r$ は、第1レンズ系の受光角、 $f_1$ は、第1レンズ系の有効焦点距離、 $\alpha_1^r$ は、第1レンズ系の前焦点面の収束角、 $r_{sph1}$ 及び $r_{sph2}$ は、第1レンズ系の入射瞳面での第1及び第2球面波の半径を示す。

#### 【請求項11】

40

第1球面波と対応した前記対物面での平面波の半径と、前記第2球面波と対応した前記対物面での収束する球面波の半径は、いずれも下記の数式のように、前記対物レンズの視野の半径よりも小さいか、同じである、請求項7に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

$$\left| (\theta_1 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|, \quad \left| (\theta_2 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|$$

50

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $F_{obj}$ は、前記対物レンズの前焦点面で視野の半径、 $f_0$ は、前記対物レンズの有効焦点距離、 $f_1$ 及び $f_2$ は、第1及び第2レンズ系の有効焦点距離を示す。

【請求項12】

第1球面波と対応した前記対物面での平面波の半径と、前記第2球面波と対応した前記対物面での発散する球面波の半径は、いずれも下記の数式のように、前記対物レンズの視野の半径よりも小さいか、同じである、請求項8に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

$$\left| (\theta_1 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}| \quad \left| (\theta_2 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|$$

10

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $F_{obj}$ は、前記対物レンズの前焦点面で視野の半径、 $f_0$ は、前記対物レンズの有効焦点距離、 $f_1$ 及び $f_2$ は、第1及び第2レンズ系の有効焦点距離を示す。

【請求項13】

前記第1球面波に対応した前記対物面での発散する球面波の半径と、前記第2球面波と対応した前記対物面での発散する球面波の半径は、いずれも下記の数式のように、前記対物レンズの視野の半径よりも小さいか、同じである、請求項9に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

$$\left| (\theta_1 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}| \quad \left| (\theta_2 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|$$

20

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $F_{obj}$ は、前記対物レンズの前焦点面で視野の半径、 $f_0$ は、前記対物レンズの有効焦点距離、 $f_1$ 及び $f_2$ は、第1及び第2レンズ系の有効焦点距離を示す。

【請求項14】

前記第1球面波に対応した前記対物面での収束する球面波の半径と、前記第2球面波と対応した前記対物面での発散する球面波の半径は、いずれも下記の数式のように、前記対物レンズの視野の半径よりも小さいか、同じ条件を満足する、請求項10に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

$$\left| (\theta_1 - \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}| \quad \left| (\theta_2 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|$$

30

40

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $F_{obj}$ は、前記対物レンズの前焦点面で視野の半径、 $f_0$ は、前記対物レンズの有効焦点距離、 $f_1$ 及び $f_2$ は、第1及び第2レンズ系の有効焦点距離を示す。

【請求項15】

50

前記第 1 及び第 2 レンズ系の光学的不変性は、下記の数式のように、前記対物レンズの光学的不変性よりも大きいか、同じである、請求項 1.1 から請求項 1.4 のうち何れか一項に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

$$I_1 \geq I_{obj}, I_2 \geq I_{obj}$$

ここで、 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_{obj}$  は、それぞれ第 1 レンズ系、第 2 レンズ系及び対物レンズの光不変性を示す。

【請求項 1.6】

前記集光部は、

前記第 2 レンズ系と前記対物レンズとの間に配されて、前記第 2 レンズ系を通過したビームを前記対物レンズに伝達し、前記物体から反射して、再び前記対物レンズを通過したビームを外部に反射させる光分割器と、

前記光分割器から反射させたビームを入射される第 3 レンズ系と、

前記第 3 レンズ系を通過したビームを検出する光検出器と、を含み、

前記光検出器の検出面のサイズは、下記の数式を満足する、請求項 2 に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

$$\left| \frac{\theta_s f_1 f_3}{f_2} \right| \leq |F_{pd}| \text{ または } \left| \frac{F_o f_3}{f_0} \right| \leq |F_{pd}|$$

ここで、 $F_{pd}$  は、前記光検出器の検出面のサイズ、 $\theta_s$  は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $f_1$  ないし  $f_3$  は、第 1 ないし第 3 レンズ系の有効焦点距離、 $f_0$  は、前記対物レンズの有効焦点距離、 $F_o$  は、前記対物レンズの前焦点面で視野の半径を示す。

【請求項 1.7】

前記集光部は、

前記第 1 レンズ系と前記第 2 レンズ系との間に配されて、前記第 1 レンズ系を通過したビームを前記第 2 レンズ系に伝達し、前記物体から反射して、前記対物レンズを通じて前記第 2 レンズ系を通過したビームを外部に反射させる光分割器と、

前記光分割器から反射させたビームを入射される第 3 レンズ系と、

前記第 3 レンズ系を通過したビームを入射される第 4 レンズ系と、

前記第 4 レンズ系を通過したビームを検出する光検出器と、を含み、

前記光検出器の検出面のサイズは、下記の数式を満足する、請求項 2 に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

$$\left| \frac{\theta_s f_1 f_4}{f_3} \right| \leq |F_{pd}| \text{ または } \left| \frac{F_o f_2 f_4}{f_0 f_3} \right| \leq |F_{pd}|$$

ここで、 $F_{pd}$  は、前記光検出器の検出面のサイズ、 $\theta_s$  は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $f_1$  ないし  $f_4$  は、第 1 ないし第 4 レンズ系の有効焦点距離、 $f_0$  は、前記対物レンズの有効焦点距離、 $F_o$  は、前記対物レンズの前焦点面で視野の半径を示す。

【請求項 1.8】

前記集光部は、

前記第 2 レンズ系と前記対物レンズとの間に配されて、前記第 2 レンズ系を通過したビームを前記対物レンズに伝達し、前記物体から反射して、再び前記対物レンズを通過したビームを外部に反射させる光分割器と、

前記光分割器から反射させたビームを入射される第 3 レンズ系と、

前記第 3 レンズ系を通過したビームを入射される第 4 レンズ系と、

前記第 4 レンズ系を通過したビームを検出する光検出器と、を含み、

前記光検出器の検出面には、前記対物レンズの対物面にある像の空間周波数変換された光の分布が生成され、前記光検出器の検出面のサイズは、下記の数式を満足する、請求項 2 に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

$$\left| 0.1f_4 NA_{eff} \right| \leq \left| F_{pd} \right|$$

10

ここで、 $F_{pd}$  は、前記光検出器の検出面のサイズ、 $f_4$  は、前記第 4 レンズ系の有効焦点距離、 $NA_{eff}$  は、前記対物面に伝達されたビームの有効開口数であり、対物面に伝達された第 1 球面波の開口数 ( $NA_1$ ) と第 2 球面波の開口数 ( $NA_2$ ) との差 ( $NA_{eff} = |NA_1 - NA_2|$ ) と定義される。

20

#### 【請求項 19】

前記集光部は、

前記第 1 レンズ系と前記第 2 レンズ系との間に配されて、前記第 1 レンズ系を通過したビームを前記第 2 レンズ系に伝達し、前記物体から反射して、前記対物レンズを通じて前記第 2 レンズ系を通過したビームを外部に反射させる光分割器と、

前記光分割器から反射させたビームを入射される第 3 レンズ系と、

前記第 3 レンズ系を通過したビームを検出する光検出器と、を含み、

前記光検出器の検出面には、前記対物レンズの対物面にある像の空間周波数変換された光の分布が生成され、前記光検出器の検出面のサイズは、下記の数式を満足する、請求項 2 に記載のフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

30

$$\left| 0.1f_3 NA_{eff} \right| \leq \left| F_{pd} \right|$$

ここで、 $F_{pd}$  は、前記光検出器の検出面のサイズ、 $f_3$  は、前記第 3 レンズ系の有効焦点距離、 $NA_{eff}$  は、前記対物面に伝達されたビームの有効開口数であり、対物面に伝達された第 1 球面波の開口数 ( $NA_1$ ) と第 2 球面波の開口数 ( $NA_2$ ) との差 ( $NA_{eff} = |NA_1 - NA_2|$ ) と定義される。

40

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【技術分野】

##### 【0001】

本発明は、スキャンミラーとトランスレーションステージとを使用したフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置に係り、より詳細には、高速で高解像度のスキニングホログラム顕微鏡を具現することができるフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置に関する。

##### 【背景技術】

50

## 【0002】

従来の光スキャニングホログラム顕微鏡は、干渉計を用いてフレネルゾーンプレート ( Fresnel zone plate ) の空間分布を有するビームパターンを形成し、該形成したビームパターンを対物レンズを通じて対物面で高解像度のフレネルゾーンパターン ( Fresnel zone pattern ) で形成して物体に投射し、物体が置かれている対物板を機械的な方法で動く方式で物体をスキャンする。そして、物体から再び反射または蛍光されたビームを集光レンズのフーリエ面で集光する方式で物体のホログラムを獲得する。

## 【0003】

しかし、このような従来の方式は、対物板を機械的な方法で動くことによって、ホログラム獲得速度が遅いだけでなく、生体のような流体のホログラムを獲得し難かった。

10

## 【0004】

本発明の背景となる技術は、大韓民国登録特許第1304695号 ( 2013.09.06 公告 ) に開示されている。

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

## 【0005】

本発明は、高速で高解像度のスキャニングホログラム顕微鏡を具現することができるスキャンミラーとトランスレーションステージとを使用したフライングオーバービームパターンスキャニングホログラム顕微鏡装置を提供するところにその目的がある。

20

## 【課題を解決するための手段】

## 【0006】

本発明は、光源から分割された第1ビームの位相を変調して第1レンズを通じて第1球面波に変換し、第2ビームを第2レンズを通じて第2球面波に変換した後、前記第1及び第2球面波を干渉させてスキャンビームを形成するスキャンビーム生成部；物体に対する前記スキャンビームのスキャニング位置を水平及び垂直方向に制御するように、入射された前記スキャンビームを水平方向に制御して投射部に伝達するスキャンミラーと、前記投射部の後端から前記物体を垂直方向に移動させるトランスレーションステージと、を含むスキャン部；複数のレンズ系と対物レンズとを含み、前記スキャン部から伝達されたスキャンビームを前記物体が位置した対物面に投射する投射部；及び前記物体から反射または蛍光された後、再び前記対物レンズを通過したビームを検出する集光部；を含み、前記対物面に投射されるスキャンビームは、前記スキャンミラーに結ばれる前記第1及び第2球面波の各焦点位置及び錐角の条件によって異なるパターンを有するフライングオーバービームパターンスキャニングホログラム顕微鏡装置を提供する。

30

## 【0007】

また、前記対物面に投射されるスキャンビームは、前記スキャンミラーに結ばれる前記第1及び第2球面波の各焦点位置及び錐角の条件によって、前記対物面で収束する球面波と平面波との干渉構造 ( 第1パターン )、前記対物面で発散する球面波と平面波との干渉構造 ( 第2パターン )、前記対物面で発散する2つの球面波間の干渉構造 ( 第3パターン )、そして、前記対物面で収束する球面波と発散する球面波との干渉構造 ( 第4パターン ) のうち何れか1つのパターンで決定される。

40

## 【0008】

また、前記投射部は、前記スキャン部と前記対物面との間に順次配された第1レンズ系、第2レンズ系及び前記対物レンズを含み、前記第1レンズ系の入射瞳は、前記スキャンミラーに位置しうる。

## 【0009】

また、前記条件が第1条件であれば、前記第1及び第2球面波は、それぞれ対物面に対して平面波及び収束する球面波になって、前記対物面に投射されたスキャンビームは、前記対物面で収束する球面波と平面波との干渉構造を有し、前記第1条件は、第1球面波の焦点位置は、前記第1レンズ系の入射瞳の位置と同一であり、第2球面波の焦点位置は、

50

前記第 1 レンズ系の入射瞳の位置と同じか、より前端に位置し、第 1 及び第 2 球面波の錐角 ( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ) は、 $\theta_2 < \theta_1$  を満足する条件である。

【0010】

また、前記条件が第 2 条件であれば、前記第 1 及び第 2 球面波は、それぞれ対物面に対して平面波及び発散する球面波になって、前記対物面に投射されたスキャンビームは、前記対物面で発散する球面波と平面波との干渉構造を有し、前記第 2 条件は、第 1 球面波の焦点位置は、前記第 1 レンズ系の入射瞳の位置と同一であり、第 2 球面波の焦点位置は、前記第 1 レンズ系の入射瞳の位置と同じか、より後端に位置し、第 1 及び第 2 球面波の錐角 ( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ) は、 $\theta_2 < \theta_1$  を満足する条件である。

【0011】

また、前記条件が第 3 条件であれば、前記第 1 及び第 2 球面波は、それぞれ対物面に対していずれも発散する球面波になって、前記対物面に投射されたスキャンビームは、前記対物面で発散する 2 つの球面波間の干渉構造を有し、前記第 3 条件は、第 1 球面波の焦点位置は、前記第 1 レンズ系の入射瞳よりも後端に位置し、第 2 球面波の焦点位置は、第 1 球面波の焦点位置よりも後端に位置し、第 1 及び第 2 球面波の錐角 ( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ) は、 $\theta_2 < \theta_1$  を満足する条件である。

【0012】

また、前記条件が第 4 条件であれば、前記第 1 及び第 2 球面波は、それぞれ対物面に対して収束する球面波及び発散する球面波になって、前記対物面に投射されるスキャンビームは、前記対物面で収束する球面波と発散する球面波との干渉構造を有し、前記第 4 条件は、第 1 球面波の焦点位置は、前記第 1 レンズ系の入射瞳よりも前端に位置し、第 2 球面波の焦点位置は、前記第 1 レンズ系の入射瞳よりも後端に位置し、第 1 及び第 2 球面波の錐角 ( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ) は、 $\theta_2 < \theta_1$  である同時に下記の数式を満足する条件である。

【0013】

$$|\theta_2 - \theta_1| < \frac{1}{2} |\theta_2 + \theta_1|$$

【0014】

また、前記第 1 条件に対応して、前記第 1 レンズ系は、伝達されたスキャンビームを前記第 2 レンズ系に伝達し、前記第 1 及び第 2 レンズ系は、下記の数式の条件を満足するフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置：

【0015】

$$|\theta_1 + \theta_2| \leq |\alpha_1^*|$$

$$|\theta_2 + \theta_1| \leq |\alpha_1^*|$$

$$|r_{sph1}| \leq |f_1 \alpha_1^*|$$

$$|r_{sph2}| \leq |f_1 \alpha_1^*|$$

【0016】

10

20

30

40

50

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $\theta_1^*$ は、第1レンズ系の受光角、 $f_1$ は、第1レンズ系の有効焦点距離（effective focal length）、 $\alpha_1$ は、第1レンズ系の前焦点面の収束角、 $r_{sph1}$ 及び $r_{sph2}$ は、第1レンズ系の入射瞳面での第1及び第2球面波の半径を示す。

10

## 【0017】

また、前記第2条件に対応して、前記第1レンズ系は、伝達されたスキャンビームを前記第2レンズ系に伝達し、前記第1及び第2レンズ系は、下記の数式の条件を満足することができる。

## 【0018】

$$|\theta_1 + \theta_s| \leq |\theta_1^*|,$$

$$|\theta_2 + \theta_s| \leq |\theta_1^*|$$

$$|r_{sph1}| \leq |f_1 \alpha_1|$$

$$|r_{sph2}| \leq |f_1 \alpha_1|$$

20

## 【0019】

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $\theta_1^*$ は、第1レンズ系の受光角、 $f_1$ は、第1レンズ系の有効焦点距離、 $\alpha_1$ は、第1レンズ系の前焦点面の収束角、 $r_{sph1}$ 及び $r_{sph2}$ は、第1レンズ系の入射瞳面での第1及び第2球面波の半径を示す。

30

## 【0020】

また、前記第3条件に対応して、前記第1レンズ系は、伝達されたスキャンビームを前記第2レンズ系に伝達し、前記第1及び第2レンズ系は、下記の数式の条件を満足することができる。

40

## 【0021】

50

$$|\theta_1 + \theta_s| \leq |\theta_1^*|,$$

$$|\theta_2 + \theta_s| \leq |\theta_1^*|$$

$$r_{sph1} \leq f_1 \alpha_1^*$$

$$r_{sph2} \leq f_1 \alpha_1^*$$

10

## 【 0 0 2 2 】

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $\theta_1^*$ は、第1レンズ系の受光角、 $f_1$ は、第1レンズ系の有効焦点距離、 $\alpha_1^*$ は、第1レンズ系の前焦点面の収束角、 $r_{sph1}$ 及び $r_{sph2}$ は、第1レンズ系の入射瞳面での第1及び第2球面波の半径を示す。

20

## 【 0 0 2 3 】

また、前記第4条件に対応して、前記第1レンズ系は、伝達されたスキャンビームを前記第2レンズ系に伝達し、前記第1及び第2レンズ系は、下記の数式の条件を満足することができる。

## 【 0 0 2 4 】

$$|\theta_s - \theta_1| \leq |\theta_1^*|,$$

$$\theta_2 + \theta_s \leq \theta_1^*$$

$$r_{sph1} \leq f_1 \alpha_1^*$$

$$r_{sph2} \leq f_1 \alpha_1^*$$

30

## 【 0 0 2 5 】

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $\theta_1^*$ は、第1レンズ系の受光角、 $f_1$ は、第1レンズ系の有効焦点距離、 $\alpha_1^*$ は、第1レンズ系の前焦点面の収束角、 $r_{sph1}$ 及び $r_{sph2}$ は、第1レンズ系の入射瞳面での第1及び第2球面波の半径を示す。

40

## 【 0 0 2 6 】

また、前記第1条件に対応して、第1球面波と対応した前記対物面での平面波の半径と、前記第2球面波と対応した前記対物面での収束する球面波の半径は、いずれも下記の数式のように、前記対物レンズの視野 ( f i e l d o f v i e w ) の半径よりも小さいか、同じである。

50

【 0 0 2 7 】

$$\left| (\theta_1 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|, \quad \left| (\theta_2 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|$$

【 0 0 2 8 】

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $F_{obj}$ は、前記対物レンズの前焦点面で視野の半径、 $f_0$ は、前記対物レンズの有効焦点距離、 $f_1$ 及び $f_2$ は、第1及び第2レンズ系の有効焦点距離を示す。

10

【 0 0 2 9 】

また、前記第2条件に対応して、第1球面波と対応した前記対物面での平面波の半径と、前記第2球面波と対応した前記対物面での発散する球面波の半径は、いずれも下記の数式のように、前記対物レンズの視野の半径よりも小さいか、同じである。

【 0 0 3 0 】

$$\left| (\theta_1 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|, \quad \left| (\theta_2 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|$$

20

【 0 0 3 1 】

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $F_{obj}$ は、前記対物レンズの前焦点面で視野の半径、 $f_0$ は、前記対物レンズの有効焦点距離、 $f_1$ 及び $f_2$ は、第1及び第2レンズ系の有効焦点距離を示す。

【 0 0 3 2 】

また、前記第3条件に対応して、前記第1球面波に対応した前記対物面での発散する球面波の半径と、前記第2球面波と対応した前記対物面での発散する球面波の半径は、いずれも下記の数式のように、前記対物レンズの視野の半径よりも小さいか、同じである。

30

【 0 0 3 3 】

$$\left| (\theta_1 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|, \quad \left| (\theta_2 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|$$

【 0 0 3 4 】

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $F_{obj}$ は、前記対物レンズの前焦点面で視野の半径、 $f_0$ は、前記対物レンズの有効焦点距離、 $f_1$ 及び $f_2$ は、第1及び第2レンズ系の有効焦点距離を示す。

40

【 0 0 3 5 】

また、前記第4条件に対応して、前記第1球面波に対応した前記対物面での収束する球面波の半径と、前記第2球面波と対応した前記対物面での発散する球面波の半径は、いずれも下記の数式のように、前記対物レンズの視野の半径よりも小さいか、同じ条件を満足することができる。

【 0 0 3 6 】

50

$$\left| (\theta_1 - \theta_2) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|, \quad \left| (\theta_2 + \theta_1) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|$$

## 【0037】

ここで、 $\theta_1$  及び  $\theta_2$  は、第1及び第2球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$  は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $F_{obj}$  は、前記対物レンズの前焦点面で視野の半径、 $f_0$  は、前記対物レンズの有効焦点距離、 $f_1$  及び  $f_2$  は、第1及び第2レンズ系の有効焦点距離を示す。

10

## 【0038】

また、前記第1及び第2レンズ系の光学的不変性（optical invariance）は、下記の数式のように、前記対物レンズの光学的不変性よりも大きいか、同じである。

## 【0039】

$$I_1 \geq I_{obj}, \quad I_2 \geq I_{obj}$$

20

## 【0040】

ここで、 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_{obj}$  は、それぞれ第1レンズ系、第2レンズ系及び対物レンズの光不変性を示す。

## 【0041】

また、前記集光部は、前記第2レンズ系と前記対物レンズとの間に配されて、前記第2レンズ系を通過したビームを前記対物レンズに伝達し、前記物体から反射して、再び前記対物レンズを通過したビームを外部に反射させる光分割器と、前記光分割器から反射させたビームを入射される第3レンズ系、及び前記第3レンズ系を通過したビームを検出する光検出器と、を含み、前記光検出器の検出面のサイズは、下記の数式を満足することができる。

30

## 【0042】

$$\left| \frac{\theta_s f_1 f_2}{f_2} \right| \leq |F_{pd}| \quad \text{または} \quad \left| \frac{F_0 f_3}{f_0} \right| \leq |F_{pd}|$$

## 【0043】

ここで、 $F_{pd}$  は、前記光検出器の検出面のサイズ、 $\theta_s$  は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $f_1$  ないし  $f_3$  は、第1ないし第3レンズ系の有効焦点距離、 $f_0$  は、前記対物レンズの有効焦点距離、 $F_0$  は、前記対物レンズの前焦点面で視野の半径を示す。

40

## 【0044】

また、前記集光部は、前記第1レンズ系と前記第2レンズ系との間に配されて、前記第1レンズ系を通過したビームを前記第2レンズ系に伝達し、前記物体から反射して、前記対物レンズを通じて前記第2レンズ系を通過したビームを外部に反射させる光分割器と、前記光分割器から反射させたビームを入射される第3レンズ系、前記第3レンズ系を通過したビームを入射される第4レンズ系、及び前記第4レンズ系を通過したビームを検出する光検出器と、を含み、前記光検出器の検出面のサイズは、下記の数式を満足することが

50

できる。

【0045】

$$\left| \frac{\theta_s f_1 f_4}{f_3} \right| \leq |F_{pd}| \quad \text{または} \quad \left| \frac{F_0 f_2 f_4}{f_0 f_3} \right| \leq |F_{pd}|$$

【0046】

ここで、 $F_{pd}$ は、前記光検出器の検出面のサイズ、 $\theta_s$ は、前記スキャン部のスキャンミラーでのスキャン角、 $f_1$ ないし $f_4$ は、第1ないし第4レンズ系の有効焦点距離、 $f_0$ は、前記対物レンズの有効焦点距離、 $F_0$ は、前記対物レンズの前焦点面で視野の半径を示す。

10

【0047】

また、前記集光部は、前記第2レンズ系と前記対物レンズとの間に配されて、前記第2レンズ系を通過したビームを前記対物レンズに伝達し、前記物体から反射して、再び前記対物レンズを通過したビームを外部に反射させる光分割器と、前記光分割器から反射させたビームを入射される第3レンズ系と、前記第3レンズ系を通過したビームを入射される第4レンズ系、及び前記第4レンズ系を通過したビームを検出する光検出器と、を含み、前記光検出器の検出面には、前記対物レンズの対物面にある像の空間周波数変換された光の分布が生成され、前記光検出器の検出面のサイズは、下記の数式を満足することができる。

20

【0048】

$$\left| 0.1 f_4 NA_{eff} \right| \leq |F_{pd}|$$

【0049】

ここで、 $F_{pd}$ は、前記光検出器の検出面のサイズ、 $f_4$ は、前記第4レンズ系の有効焦点距離、 $NA_{eff}$ は、前記対物面に伝達されたビームの有効開口数 (Numerical Aperture) であり、対物面に伝達された第1球面波の開口数 ( $NA_1$ ) と第2球面波の開口数 ( $NA_2$ ) との差 ( $NA_{eff} = |NA_1 - NA_2|$ ) と定義される。

30

【0050】

また、前記集光部は、前記第1レンズ系と前記第2レンズ系との間に配されて、前記第1レンズ系を通過したビームを前記第2レンズ系に伝達し、前記物体から反射して、前記対物レンズを通じて前記第2レンズ系を通過したビームを外部に反射させる光分割器と、前記光分割器から反射させたビームを入射される第3レンズ系、及び前記第3レンズ系を通過したビームを検出する光検出器と、を含み、前記光検出器の検出面には、前記対物レンズの対物面にある像の空間周波数変換された光の分布が生成され、前記光検出器の検出面のサイズは、下記の数式を満足することができる。

40

【0051】

$$\left| 0.1 f_3 NA_{eff} \right| \leq |F_{pd}|$$

50

## 【 0 0 5 2 】

ここで、 $F_{pd}$ は、前記光検出器の検出面のサイズ、 $f_3$ は、前記第3レンズ系の有効焦点距離、 $NA_{eff}$ は、前記対物面に伝達されたビームの有効開口数であり、対物面に伝達された第1球面波の開口数 ( $NA_1$ ) と第2球面波の開口数 ( $NA_2$ ) との差

$$(NA_{eff} = |NA_1 - NA_2|) \text{ と定義される。}$$

## 【 発明の効果 】

## 【 0 0 5 3 】

本発明によれば、対物レンズを通じて対物面で高解像度のフレネルゾーンパターンをスキニングビームパターンで形成し、当該パターンが物体上を飛び回るスキャン ( f l y i n g - o v e r s c a n ) を行いながら、物体から反射したビームを対物レンズを通じて光検出器の検出面でイメージングすることにより、高速で高解像度のスキニングホログラム顕微鏡を具現することができる。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 5 4 】

【 図 1 】 本発明の第1実施形態によるフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置を示す図面である。

【 図 2 】 図1の C A S E 1 による干渉構造を対物面に形成するためのスキャンビーム生成部の第1及び第2球面波の生成条件を示す図面である。

【 図 3 A 】 レンズ系を一般光学系及びアプラナティック光学系にそれぞれモデリングしたものを示す図面である。

【 図 3 B 】 レンズ系を一般光学系及びアプラナティック光学系にそれぞれモデリングしたものを示す図面である。

【 図 4 】 本発明の第2実施形態によるフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置を示す図面である。

【 図 5 】 図4の C A S E 2 による干渉構造を対物面に形成するためのスキャンビーム生成部の第1及び第2球面波の生成条件を示す図面である。

【 図 6 】 本発明の第3実施形態によるフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置を示す図面である。

【 図 7 】 図6の C A S E 3 による干渉構造を対物面に形成するためのスキャンビーム生成部の第1及び第2球面波の生成条件を示す図面である。

【 図 8 】 本発明の第4実施形態によるフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置を示す図面である。

【 図 9 】 図8の C A S E 4 による干渉構造を対物面に形成するためのスキャンビーム生成部の第1及び第2球面波の生成条件を示す図面である。

【 図 1 0 】 図1に示された集光部の変形例を示す図面である。

【 図 1 1 】 図1に示された集光部の変形例を示す図面である。

【 図 1 2 】 図1に示された集光部の変形例を示す図面である。

## 【 発明を実施するための形態 】

## 【 0 0 5 5 】

以下、添付した図面を参照して、本発明の実施形態について当業者が容易に実施できるように詳しく説明する。しかし、本発明は、さまざまな異なる形態として具現され、ここで説明する実施形態に限定されるものではない。そして、図面で本発明を明確に説明するために、説明と関係のない部分は省略し、明細書の全体にわたって類似した部分については、類似した図面符号を付ける。

## 【 0 0 5 6 】

明細書の全体において、ある部分が、他の部分と「連結」されているとする時、これは、「直接連結」されている場合だけでなく、その中間に他の素子を挟んで「電氣的に連

10

20

30

40

50

結」されている場合も含む。また、ある部分が、ある構成要素を「含む」とする時、これは、特に反対される記載のない限り、他の構成要素を除くものではなく、他の構成要素をさらに含むことを意味する。

【0057】

以下、添付した図面を参照して、本発明の実施形態について当業者が容易に実施できるように詳しく説明する。しかし、本発明は、さまざまな異なる形態として具現され、ここで説明する実施形態に限定されるものではない。そして、図面で本発明を明確に説明するために、説明と関係のない部分は省略し、明細書の全体にわたって類似した部分については、類似した図面符号を付ける。

【0058】

明細書の全体において、ある部分が、他の部分と「連結」されているとする時、これは「直接連結」されている場合だけではなく、その中間に他の素子を挟んで「電氣的に連結」されている場合も含む。また、ある部分が、ある構成要素を「含む」とする時、これは、特に反対される記載のない限り、他の構成要素を除くものではなく、他の構成要素をさらに含むことを意味する。

【0059】

本発明は、フライングオーバービームパターンスキヤニングホログラム顕微鏡装置に関するものであって、スキヤンビーム生成部から生成されたビームをスキヤン対象となる物体に投射し、物体から反射または蛍光された光を集光して光検出器に伝達する光学系構造を提案する。

【0060】

このような本発明は、対物レンズを通じて対物面で高解像度のフレネルゾーンパターンをスキヤニングビームパターンで形成して、当該パターンが物体上を飛び回るスキヤンを行い、スキヤニングビームパターンが照射された物体から再び反射または蛍光されたビームを対物レンズを通じて光検出器の検出面でイメージングすることにより、スキヤン対象体である物体の像を形成させ、光検出器の検出面で像の光度を空間的に集積する。

【0061】

このような本発明は、大きく第1ないし第4実施形態(CASE 1~4)を含むが、それぞれの実施形態は、対物面(物体が位置した面)に入るビームの形態によって区別される。

【0062】

第1及び第2実施形態(CASE 1、CASE 2)は、対物面に球面波と平面波とが干渉されて入る形態である。但し、第1実施形態は、収束する球面波と平面波とで形成されたスキヤンビームが対物面に印加され、第2実施形態は、発散する球面波と平面波とで形成されたスキヤンビームが対物面に印加される。

【0063】

そして、第3及び第4実施形態(CASE 3、CASE 4)は、対物面に球面波と球面波が干渉されて入る形態である。但し、第3実施形態は、発散する2つの球面波によって形成されたスキヤンビームが対物面に印加され、第4実施形態は、収束する球面波と発散する球面波とで形成されたスキヤンビームが対物面に印加される。このような4種の実施形態は、スキヤンビーム生成部での第1及び第2球面波の生成条件によって異なるように決定される。

【0064】

以下、本発明の実施形態によるフライングオーバービームパターンスキヤニングホログラム顕微鏡装置を図面を通じてさらに具体的に説明する。

【0065】

図1は、本発明の第1実施形態によるフライングオーバービームパターンスキヤニングホログラム顕微鏡装置を示す図面である。

【0066】

図1のように、本発明の第1実施形態によるフライングオーバービームパターンスキヤ

10

20

30

40

50

ニングホログラム顕微鏡装置 100 は、大きくスキャンビーム生成部 110、スキャン部 120、投射部 130 及び集光部 140 を含む。このような基本構造は、残りの第 2 ないし第 4 実施形態でも適用される。

【0067】

まず、スキャンビーム生成部 110 は、光源から分割された第 1 及び第 2 ビームのうち、第 1 ビームを周波数遷移させて第 1 レンズ 115 を通じて第 1 球面波に変換し、第 2 ビームを第 2 レンズ 116 を通じて第 2 球面波に変換した後、第 1 及び第 2 球面波を干渉させてスキャンビームを形成する。

【0068】

スキャンビーム生成部 110 は、光源を第 1 及び第 2 ビームに分割して第 1 及び第 2 球面波を生成後、生成された 2 つのビームを再び結合するマッハツェンダー干渉計の構造を使用する。

10

【0069】

スキャンビーム生成部 110 は、光源、第 1 ミラー (M1)、第 1 光分割器 111、周波数遷移手段 112、第 2 及び第 3 ミラー (M2、M3)、第 1 及び第 2 ビーム拡大器 113、114、第 1 及び第 2 レンズ 115、116、そして、干渉手段 117 を含む。

【0070】

光源は、電磁波を発生させる部分である。光源は、電磁波の発生が可能なレーザ発生器、LED (light emitting diode)、コヒーレンス長 (coherence length) が短いハロゲン光のように可干渉性 (Coherence) が低いビームなどの多様な手段を含みうる。以下、光源をレーザ発生器として具現したものを代表例示とする。

20

【0071】

光源から出力されたビームは、第 1 ミラー (M1) に伝達された後、反射して第 1 光分割器 111 に入力される。

【0072】

第 1 光分割器 111 は、入射されるビームを第 1 ビームと第 2 ビームとに分離して、第 1 ビームを位相変調手段 112 (音響 - 光変調器) に伝達し、第 2 ビームを第 3 ミラー (M3) に伝達する。すなわち、第 1 光分割器 111 で第 1 ビームの経路に沿うビームは、位相変調手段 112 に伝達され、第 2 ビームの経路に沿うビームは、第 3 ミラー (M3) に伝達される。

30

【0073】

ここで、第 1 光分割器 111 は、光ファイバーカプラー (optical fiber coupler)、ビームスプリッタ (beam splitter)、幾何位相レンズ (geometric phase lens) などで構成され、自由空間を導波してビームを外部に伝達する方式で具現可能である。ここで、幾何位相レンズなど共軸上 (in-line) でビームを分割することができる手段を用いる場合、共軸上で第 1 ビームと第 2 ビームとに分割することができる。以下、それぞれの光分割器をビームスプリッタとして具現したものを仮定する。

【0074】

40

位相変調手段 112 は、第 1 ビームを周波数遷移させた後、第 2 ミラー (M2) に伝達する。位相変調手段 112 は、関数発生器 (図示せず) から発生した周波数を用いて、第 1 ビームの周波数を ほど遷移させて第 2 ミラー (M2) に伝達することができる。ここで、位相変調手段 112 は、音響光変調器 (acousto-optic modulator)、電子光変調器 (electro-optic modulator) を含んだ電気信号によって光の位相を変調する多種の変調器として具現可能である。

【0075】

第 2 ミラー (M2) から反射した第 1 ビームは、第 1 ビーム拡大器 113 によって拡張された後、第 1 レンズ 115 に伝達される。第 3 ミラー (M3) から反射した第 2 ビームは、第 2 ビーム拡大器 114 によって拡張された後、第 2 レンズ 116 に伝達される。ビ

50

ーム拡大器は、コリメーターとして具現可能である。

【0076】

第1レンズ115は、第1ビーム拡大器113と干渉手段117との間に位置し、拡張された第1ビームを第1球面波(spherical wave)に変換して干渉手段117に伝達する。すなわち、第1レンズ115は、第1ビームの空間分布を変調して第1ビームから第1球面波を生成する。

【0077】

第2レンズ116は、第2ビーム拡大器114と干渉手段117との間に位置し、拡張された第2ビームを第2球面波に変換して干渉手段117に伝達する。すなわち、第2レンズ116は、第2ビームの空間分布を変調して第2ビームから第2球面波を生成する。

10

【0078】

生成された第1及び第2球面波は、干渉手段117を通過しながら互いに干渉されてスキャン部120に伝達される。干渉手段117は、ビームスプリッタとして具現可能である。

【0079】

干渉手段117は、第1レンズ115を通過した第1ビーム(第1球面波)と第2レンズ116を通過した第2ビーム(第2球面波)とを互いに重畳し、干渉させてフレネルゾーンパターンの干渉パターンを有するスキャンビームを形成する。

【0080】

このように、スキャンビーム生成部110は、光源から分離された第1ビームと第2ビームとを第1及び第2球面波に変換後、干渉手段117を通じて互いに重畳させてスキャンビームを形成し、該形成したスキャンビームをスキャン部120に伝達する。

20

【0081】

次は、図1に示されたスキャン部の構成をさらに詳しく説明する。

【0082】

スキャンビーム生成部110で生成した第1及び第2球面波の間に発生した干渉パターン(スキャンビーム)は、スキャン部120に入射される。スキャン部120に入射されたビームは、スキャンミラー121(x-スキャンミラー)を経て投射部130の第1レンズ系131に伝達される。

【0083】

30

スキャン部120は、物体に対するスキャンビームのスキャニング位置を水平及び垂直方向に制御するように、スキャンビーム生成部110の後端に設けられて物体をx方向にスキャンするためのスキャンミラー121と投射部130の後端に設けられて物体をy方向にスキャンするためのトランスレーションステージ(translation stage)122とを含む。

【0084】

スキャンミラー121は、スキャンビーム生成部110から入射されるスキャンビームを水平方向に制御して投射部130に伝達する。トランスレーションステージ122は、投射部130の後端でスキャンビームを入射される物体を直接垂直方向に移動させて、スキャンビームを通じた物体のy方向スキャンも可能にする。

40

【0085】

このようなトランスレーションステージ122は、物体が置かれる対物板をy軸方向に移動可能に具現したものであって、移動する対物板に該当する。このようなトランスレーションステージ122は、スキャンミラー121と物理的に離れているが、物体に対するビームのスキャニング位置を制御する手段に該当するので、スキャンミラー121と共にスキャン部120の構成要素として含まれる。

【0086】

このように、スキャン部120は、スキャンミラー121とトランスレーションステージ122とを用いて物体を基準にスキャンビームを水平方向(x方向)と垂直方向(y方向)とに制御する。

50

## 【 0 0 8 7 】

本発明の実施形態において、スキャン部 1 2 0 は、ミラースキャナーを使用する。ミラースキャナーは、物体を y 軸を中心に x 方向（左右方向）にスキャンする x - スキャンミラー 1 2 1 を有する。本発明の場合、スキャン部がミラースキャナーに限定されるものではなく、これと類似した手段または公知の他のスキャン手段が使われることもある。

## 【 0 0 8 8 】

スキャン部 1 2 0 は、電子処理部（図示せず）内のスキャン制御部（図示せず）からスキャン制御信号を受けで動作する。スキャン制御部（図示せず）は、スキャン部 1 2 0 のスキャン位置を制御するためのスキャン制御信号を発生させる。ここで、スキャン制御信号は、スキャンミラー 1 2 1 及びトランスレーションステージ 1 2 2 を水平方向及び垂直方向にそれぞれ制御するための水平スキャン信号及び垂直スキャン信号を含みうる。

10

## 【 0 0 8 9 】

この際、水平スキャン信号は、水平方向（x 軸方向）に対してスキャン位置を既定の距離単位ずつ順に移動させるための信号であって、任意距離単位のスキャン移動のための周期（T）を有している。トランスレーションステージ 1 2 2 を垂直方向に動く信号である垂直スキャン信号は、任意の y 位置に対する x 軸方向の水平スキャン動作が完了すれば、次の y 位置に対する水平スキャン動作を可能にするトランスレーションステージ制御信号であって、その周期は、水平スキャン信号よりも大きい。

## 【 0 0 9 0 】

このような制御信号に対応して、スキャンミラー 1 2 1 の回転によって第 1 球面波と第 2 球面波との光軸が回転し、光軸が回転したスキャンビームパターンは、投射部 1 3 0 の第 1 レンズ系 1 3 1 に伝達される。

20

## 【 0 0 9 1 】

ここで、回転していない基準光軸と回転した光軸との間の半角をスキャン角（ $\theta_s$ ）と称する。例えば、スキャンミラー 1 2 1 の面が、z 軸方向を眺める状態でスキャンミラー 1 2 1 が回転した角度を意味する。

## 【 0 0 9 2 】

スキャン部 1 2 0 は、スキャンミラー 1 2 1 を用いて第 1 及び第 2 球面波間の干渉ビーム（スキャンビーム）を投射部 1 3 0 に伝達して第 1 レンズ系 1 3 1 に入力させる。

30

## 【 0 0 9 3 】

投射部 1 3 0 は、スキャン部 1 2 0 と対物面との間に順次配された第 1 レンズ系 1 3 1、第 2 レンズ系 1 3 2 及び対物レンズ 1 3 3 を含み、スキャン部 1 2 0 から伝達されたスキャンビームを物体が位置した対物面に投射する。

## 【 0 0 9 4 】

このような投射部 1 3 0 は、対物レンズ 1 3 3 を通じて対物面で高解像度のフレネルゾーンパターンをスキャンビームパターンで形成してパターンが物体上を飛び回るスキャンを行う。

## 【 0 0 9 5 】

集光部 1 4 0 は、スキャンビームが照射された物体から反射または蛍光された後、再び対物レンズ 1 3 3 を通過したビームを検出する。この際、集光部 1 4 0 は、第 3 レンズ系 1 4 2 及び光検出器 1 4 3（フォトディテクター；photo detector）を含む。集光部 1 4 0 は、物体から反射したビームを対物レンズ 1 3 3 を通じて光検出器 1 4 3 の検出面でイメージングして物体の像を形成させ、検出面にイメージングされた像の光度を空間的に集積して集光する。ここで、検出面は、イメージングされた像の焦点面だけではなく、イメージングされた像の脱焦点された面に位置しても良いということはいうまでもない。

40

## 【 0 0 9 6 】

集光部 1 4 0 は、光検出器 1 4 3 の検出面で像の光度を光の総和に比例する電気信号を生成する方式で集光して検出することができる。集光部 1 4 0 の構造は、多様な実施形態

50

を有することができるが、図1のように、第2レンズ系132と対物レンズ133との間に配される第2光分割器141、そして、その後端にそれぞれ配される第3レンズ系142及び光検出器143を含んで構成することができる。

【0097】

物体から反射または蛍光されたビームは、対物レンズ133を通じて第2光分割器141に入り、このビームは、第2光分割器141を通じて反射して上端の第3レンズ系142及び光検出器143に伝達される。

【0098】

集光部140のさらに多様な構造については、再び後述する。また、集光部の多様な構造は、第1ないし第4実施形態にいずれも適用可能である。

【0099】

以下、図1、図4、図6、図8を通じて本発明の第1ないし第4実施形態を詳しく説明する。

【0100】

本発明の実施形態において、対物面に投射されるスキャンビームのパターンは、スキャンミラー121に結ばれる第1及び第2球面波の各焦点位置と錐角の条件とによって互いに変わり、これにより、本発明は、第1ないし第4実施形態に区分される。

【0101】

このような第1ないし第4実施形態別にスキャンミラー121に結ばれる第1及び第2球面波の生成条件が、それぞれ異なり(図2、図5、図7、図9)、これにより、実際の対物面に入るビームの形態も変わる(図1、図4、図6、図8)。

【0102】

図1の第1実施形態の場合、収束する球面波と平面波とが対物面に入り、図4の第2実施形態は、発散する球面波と平面波とが対物面に入り、図6の第3実施形態は、発散する2つの球面波が対物面に入り、図8の第4実施形態は、収束する球面波と発散する球面波とが対物面に入る。

【0103】

したがって、本発明の実施形態において、対物面に投射されるスキャンビームは、スキャンミラー121に結ばれる第1及び第2球面波の各焦点位置と錐角の条件とによって、4種の干渉構造のうち何れか1つに決定されることが分かる。

【0104】

具体的に、対物面に投射される最初の干渉構造は、対物面に対して収束する球面波と平面波との干渉構造(第1パターン;図1のCASE 1)であり、二番目の干渉構造は、発散する球面波と平面波との干渉構造(第2パターン;図4のCASE 2)である。また、三番目の干渉構造は、発散する2つの球面波間の干渉構造(第3パターン;図6のCASE 3)であり、四番目の干渉構造は、収束する球面波と発散する球面波との干渉構造(第4パターン;図8のCASE 4参照)である。

【0105】

次は、CASE 1ないしCASE 4をそれぞれ具現するためのスキャンビーム生成部110の球面波の生成条件をより具体的に説明する。

【0106】

[CASE 1] 収束する球面波と平面波との干渉パターン

【0107】

図2は、図1のCASE 1による干渉構造を対物面に形成するためのスキャンビーム生成部の第1及び第2球面波の生成条件を示す図面である。

【0108】

第1実施形態(CASE 1)において、第1及び第2球面波は、それぞれ対物面に対して平面波及び収束する球面波になって、対物面に投射されたスキャンビームは、対物面で収束する球面波と平面波との干渉構造を有する。

【0109】

10

20

30

40

50

このように、CASE 1の場合、対物面に対して収束する球面波と平面波とが干渉されたビームのパターンを物体スキャンのためのスキャンビームパターンで使用する構造であって、対物レンズの分解能と同じか、低いが、対物面で物体が位置する深さ領域が大きくなることを特徴とする。

【0110】

このために、スキャンビーム生成部110は、図2に示された焦点距離及び錐角の条件で第1球面波及び第2球面波を生成する。

【0111】

図2を参照すれば、CASE 1で第1球面波の焦点位置は、第1レンズ系131の入射瞳の位置と同一であり、第2球面波の焦点位置は、第1レンズ系131の入射瞳の位置と同じか、より前端に位置する。また、それと同時に第1球面波の錐角( $\theta_1$ )は、下記のように第2球面波の錐角( $\theta_2$ )よりも大きいか、同じ条件を有する。

【0112】

【数1】

$$\theta_1 \geq \theta_2$$

【0113】

ここで、もちろん、第1及び第2球面波のそれぞれの焦点位置及び錐角は、スキャンビーム生成部110に含まれた第1及び第2レンズ115、116の各焦点距離などの仕様によって決定される。

【0114】

投射部130は、スキャン部120から伝達された光軸が回転した第1球面波と第2球面波とを対物レンズ133に伝達し、対物レンズ133は、伝達された第1球面波と第2球面波とを対物レンズ133の対物面に伝達する。

【0115】

この際、第1レンズ系131の入射瞳(entrance pupil)は、スキャンミラー121のスキャン面に位置する。

【0116】

2つの球面波によるスキャンビームは、スキャンミラー121を通じて第1レンズ系131に伝達される。第1レンズ系131は、伝達されたスキャンビームを第2レンズ系132に伝達する。ここで、第2レンズ系132の入射瞳は、第1レンズ系131の出射瞳(exit pupil)と同じ位置になるように位置することが望ましい。第2レンズ系132は、スキャンビームを対物レンズ133に伝達する。対物レンズ133は、伝達されたスキャンビームを対物面に投射する。この際、対物レンズ133の入射瞳の位置は、第2レンズ系132の出射瞳の位置のような場所に位置させることが望ましい。

【0117】

物体が位置した対物面には、前述した構造を有する第1及び第2レンズ系131、132によって平面波に変換された第1ビームと、収束する球面波に変換された第2ビームと、が互いに重畳される。この際、スキャン部120のスキャンングによって平面波である第1ビームと球面波である第2ビームとの重畳で形成された干渉パターンであるフレネルゾーンパターンは、物体上を飛び回りながら物体をスキャンする。

【0118】

ここで、分解能の低下を防ぐために、対物面で平面波のサイズ(extent)が収束する球面波のサイズよりも大きいことが望ましく、そのためには、第1レンズ系131の入射瞳で第1球面波の錐角( $\theta_1$ )は、第2球面波の錐角( $\theta_2$ )よりも大きいか、同じに

する( $\theta_1 \geq \theta_2$ )。

10

20

30

40

50

## 【 0 1 1 9 】

また、図 2 に示した第 1 及び第 2 球面波の焦点位置及び錐角の条件（第 1 条件）に加えて、それに対する従属条件で第 1 及び第 2 レンズ系 1 3 1、1 3 2 は、下記の数式 2 を満足することが望ましい。

## 【 0 1 2 0 】

## 【数 2】

$$|\theta_1 + \theta_s| \leq |\theta_1^*|,$$

$$|\theta_2 + \theta_s| \leq |\theta_1^*|$$

$$|r_{sph1}| \leq |f_1 \alpha_1^*|$$

$$|r_{sph2}| \leq |f_1 \alpha_1^*|$$

10

## 【 0 1 2 1 】

ここで、 $\theta_1$  及び  $\theta_2$  は、第 1 及び第 2 球面波の錐角（収束半角）、 $\theta_s$  は、スキャン部 1 2 0 のスキャンミラー 1 2 1 でのスキャン角、 $\theta_1^*$  は、第 1 レンズ系の受光角、 $f_1$  は、第 1 レンズ系 1 3 1 の有効焦点距離、 $\alpha_1^*$  は、第 1 レンズ系 1 3 1 の前焦点面の収束角、 $r_{sph1}$  及び  $r_{sph2}$  は、第 1 レンズ系 1 3 1 の入射瞳面での第 1 及び第 2 球面波の半径を示す。

20

## 【 0 1 2 2 】

ここで、第 1 レンズ系 1 3 1 の入射瞳のサイズと受光角とによって対物面に投射される平面波と球面波とのサイズは制限されるが、これによるホログラムの分解能の低下及び視野低下を防ぐために、スキャン部 1 2 0 のスキャンミラー 1 2 1 でのスキャン角（ $s$ ）、各球面波の収束半角（ $\theta_1$ 、 $\theta_2$ ）、第 1 レンズ系 1 3 1 の入射瞳面での各球面波の半径（ $r_{sph1}$ 、 $r_{sph2}$ ）は、前記の数式 2 を満足することが望ましい。

30

## 【 0 1 2 3 】

ここで、レンズ系を構成した各パラメータに対する定義は、以下の図 3 を参照すれば良い。本発明の実施形態に含まれたそれぞれの光学系は、図 3 A または図 3 B の形態でモデリングされる。

## 【 0 1 2 4 】

図 3 A 及び図 3 B は、レンズ系を一般光学系及びアプラナティック（aplanatic）光学系にそれぞれモデリングしたものを示す図面である。

40

## 【 0 1 2 5 】

まず、図 3 A の場合、レンズ系を一般光学系のカーディナル点（cardinal point）とカーディナル面（cardinal plane）とでモデリングしたものであり、図 3 B は、アプラナティック光学系のカーディナル点とカーディナル面とでモデリングしたものである。

## 【 0 1 2 6 】

50

第1レンズ系131と第2レンズ系132とを図3Aまたは図3Bのカーディナル点と面とでモデリングすれば、第1レンズ系131に対する入射瞳の半径は、 $r_1$ 、有効焦点距離は、 $f_1$ 、受光角は、 $\theta_1$ であり、第1レンズ系131の前焦点面で視野の半径は、 $F_1$ 、収束角は、 $\alpha_1$ と定義される。

【0127】

同様に、第2レンズ系132に対する入射瞳の半径は、 $r_2$ 、有効焦点距離は、 $f_2$ 、受光角は、 $\theta_2$ であり、第2レンズ系132の前焦点面で視野の半径は、 $F_2$ 、収束角は、 $\alpha_2$ と定義される。

10

【0128】

第1レンズ系131は、スキャン部120から伝達された第1球面波と第2球面波とを第2レンズ系132に伝達するが、この際、第1球面波と第2球面波とを位相歪曲なしに伝達するために、第2レンズ系132の入射瞳は、第1レンズ系131の出射瞳と同じ位置であることが望ましい。

20

【0129】

第2レンズ系132は、第1レンズ系131から伝達された第1球面波と第2球面波とを第2光分割器141を通じて対物レンズ133に伝達する。この際、第1球面波と第2球面波とを位相歪曲なしに伝達し、第1球面波が対物レンズの対物面に平行光で入射させるために、対物レンズ133の入射瞳は、第2レンズ系132の出射瞳と同じ位置であることが望ましい。

【0130】

ここで、対物レンズ133の入射瞳の半径は、 $r_0$ 、有効焦点距離は、 $f_0$ 、受光角は、 $\theta_0$ であり、対物レンズ133の前焦点面で視野の半径は、 $F_0$ 、収束角は、 $\alpha_0$ と定義される。

30

【0131】

第1レンズ系131、第2レンズ系132及び対物レンズ133を通過した第1球面波は、対物レンズ133の対物面で平面波になるが、この際、スキャンによる分解能の低下を防ぐために、平面波の半径は、対物レンズ133の視野の半径と同じか、小さいことが望ましく、これは、下記の数式3のように表現される。

40

【0132】

【数3】

$$\left| (r_1 + \theta_1) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|$$

【0133】

ここで、 $r_1$ は、第1球面波の収束半角、 $\theta_1$ は、スキャン角、 $F_{obj}$ は、対物レンズ

50

1 3 3 の前焦点面で視野の半径、 $f_0$  は、対物レンズ 1 3 3 の有効焦点距離、 $f_1$  及び  $f_2$  は、第 1 及び第 2 レンズ系の有効焦点距離を示す。

【 0 1 3 4 】

また、第 1 レンズ系 1 3 1、第 2 レンズ系 1 3 2 及び対物レンズ 1 3 3 を通過した第 2 球面波は、対物レンズ 1 3 3 の対物面で収束する球面波になるが、この際、スキャンによる分解能の低下を防ぐために、対物面で収束する球面波の半径は、対物レンズ 1 3 3 の視野の半径と同じか、小さいことが望ましく、これは、下記の数式 4 のように表現される。

【 0 1 3 5 】

【数 4】

$$\left| (\theta_2 + \theta_1) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|$$

10

【 0 1 3 6 】

ここで、 $\theta_2$  は、第 2 球面波の収束半角を示し、残りのパラメータは、前記数式 3 と同一である。

【 0 1 3 7 】

このように、CASE 1 を具現するためには、数式 2 の条件と共に数式 3 と数式 4 との条件を満足しなければならない。

20

【 0 1 3 8 】

すなわち、第 1 球面波と対応した対物面での「平面波」の半径と第 2 球面波と対応した対物面での「収束する球面波」の半径は、いずれも対物レンズ 1 3 3 の視野の半径 ( $F_{obj}$ ) よりも小さいか、同じでなければならない。

【 0 1 3 9 】

ここで、第 1 及び第 2 レンズ系 1 3 1、1 3 2 は、対物レンズ 1 3 3 の分解能と視野角とに最大限符合するスキャンビームを伝達できるように、第 1 及び第 2 レンズ系 1 3 1、1 3 2 の光学的不変性は、対物レンズ 1 3 3 の光学的不変性よりも大きいか、同じである下記の数式 5 の条件をさらに満足することが望ましい。

30

【 0 1 4 0 】

【数 5】

$$I_1 \geq I_{obj}, I_2 \geq I_{obj}$$

【 0 1 4 1 】

ここで、 $I_1$ 、 $I_2$ 、 $I_{obj}$  は、それぞれ第 1 レンズ系 1 3 1、第 2 レンズ系 1 3 2 及び対物レンズ 1 3 3 の光不変性を示す。

40

【 0 1 4 2 】

50

この際、各レンズ131、132、133が、1次主面近似によるレンズ系モデルである場合、

$$I_1 = r_1 \tan \theta_1^* = F_1 \tan \alpha_1^*, I_2 = r_2 \tan \theta_2^* = F_2 \tan \alpha_2^*, I_{obj} = r_0 \tan \theta_0^* = F_0 \tan \alpha_0^*$$

であり、近軸近似モデルである場合、 $I_1 = r_1 \theta_1^* = F_1 \alpha_1^*, I_2 = r_2 \theta_2^* = F_2 \alpha_2^*, I_{obj} = r_0 \theta_0^* = F_0 \alpha_0^*$ であり、アプラナティックレンズ系である場合、

$$I_1 = r_1 \sin \theta_1^* = F_1 \sin \alpha_1^*, I_2 = r_2 \sin \theta_2^* = F_2 \sin \alpha_2^*, I_{obj} = r_0 \sin \theta_0^* = F_0 \sin \alpha_0^*$$

である。ここで、レンズ系が自由空間に存在するものとしたが、屈折率がnである媒質内に存在する場合、前記光学的不変性は、n倍になることはいうまでもない。

10

【0143】

[CASE 2] 発散する球面波と平面波との干渉パターン

【0144】

図4は、本発明の第2実施形態によるフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置を示す図面であり、図5は、図4のCASE 2による干渉構造を対物面に形成するためのスキャンビーム生成部の第1及び第2球面波の生成条件を示す図面である。

20

【0145】

図4のように、本発明の第2実施形態によるフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置200は、大きくスキャンビーム生成部210、スキャン部120、投射部130及び集光部140を含む。図1と同じ符号を有する構成要素についての重複説明は、省略する。

【0146】

前述したように、第2実施形態の場合も、装置の基本構造は、第1実施形態と同一であるが、生成されるスキャンビームパターンは異なる。すなわち、スキャンビーム生成部210の第1及び第2レンズ215、216を通じて導出された第1及び第2球面波の条件が異なり、その原理は、次の通りである。

30

【0147】

第2実施形態(CASE 2)において、第1及び第2球面波は、それぞれ対物面に対して平面波及び発散する球面波になって、対物面に投射されたスキャンビームは、対物面で発散する球面波と平面波との干渉構造を有する。

【0148】

このように、CASE 2の場合、対物面に対して発散する球面波と平面波とが干渉されたビームのパターンを物体スキニングのためのスキャンビームパターンで使用する構造であって、対物レンズの分解能と同じか、高い分解能を有することを特徴とする。

【0149】

このために、スキャンビーム生成部210は、図5のような焦点距離及び錐角の条件で第1球面波及び第2球面波を生成する。

40

【0150】

図5の場合、第1球面波の焦点位置は、第1レンズ系131の入射瞳の位置と同様に位置させ、第2球面波の焦点位置は、第1球面波の焦点位置よりも長くして、第1レンズ系131の入射瞳と同じか、より後端に位置させ、それと同時に第1及び第2球面波の錐角( $\theta_1, \theta_2$ )は、 $\theta_1 \geq \theta_2$ を満足させる。

50

## 【 0 1 5 1 】

2つの球面波によるスキャンビームは、スキャン部120を通じて第1レンズ系131に伝達される。第1レンズ系131は、伝達されたスキャンビームを第2レンズ系132に伝達する。第2レンズ系132の入射瞳は、第1レンズ系131の出射瞳と同じ位置になるように位置する。第2レンズ系132は、スキャンビームを対物レンズ133に伝達する。対物レンズ133は、伝達されたスキャンビームを対物面に投射する。この際、対物レンズ133の入射瞳の位置は、第2レンズ系132の出射瞳の位置のような場所に位置させる。

## 【 0 1 5 2 】

物体が位置した対物面には、前述した構造を有する第1及び第2レンズ系131、132によって、平面波に変換された第1ビームと、発散する球面波に変換された第2ビームと、を重畳させる。この際、スキャンミラーのスキャンングによって平面波である第1ビームと球面波である第2ビームとの重畳で形成された干渉パターンであるフレネルゾーンパターンは、対象体を飛び回りながら物体をスキャンする。

10

## 【 0 1 5 3 】

ここで、分解能の低下を防ぐために、対物面で第1ビームである平面波のサイズが発散する球面波のサイズよりも大きいことが望ましく、そのためには、前記数式1のように、第1球面波の錐角( $\theta_1$ )は、第2球面波の錐角( $\theta_2$ )よりも大きい、同じ条件を満足することが望ましい。

## 【 0 1 5 4 】

このような第2実施形態(CASE 2)の残りの条件(数式2ないし数式5)は、前記第1実施形態(CASE 1)と同様に適用される。

20

## 【 0 1 5 5 】

但し、このような第2実施形態において、第1レンズ系131、第2レンズ系132及び対物レンズ133を通過した第1球面波は、対物レンズ133の対物面で平面波になり、第1レンズ系131、第2レンズ系132及び対物レンズ133を通過した第2球面波は、対物レンズ133の対物面で発散する球面波になる。

## 【 0 1 5 6 】

したがって、このような第2実施形態の場合、数式3、数式4の意味は、第1球面波と対応した対物面での「平面波」の半径と第2球面波と対応した対物面での「発散する球面波」の半径は、いずれも対物レンズ133の視野の半径( $F_{obj}$ )よりも小さいか、同じでなければならないことを意味する。

30

## 【 0 1 5 7 】

[CASE 3] 発散する球面波と発散する球面波との干渉パターン

## 【 0 1 5 8 】

図6は、本発明の第3実施形態によるフライングオーバービームパターンスキャンングホログラム顕微鏡装置を示す図面であり、図7は、図6のCASE 3による干渉構造を対物面に形成するためのスキャンビーム生成部の第1及び第2球面波の生成条件を示す図面である。

## 【 0 1 5 9 】

図6のように、本発明の第3実施形態によるフライングオーバービームパターンスキャンングホログラム顕微鏡装置300は、大きくスキャンビーム生成部310、スキャン部120、投射部130及び集光部140を含む。図1と同じ符号を有する構成要素についての重複説明は、省略する。

40

## 【 0 1 6 0 】

前述したように、第3実施形態の場合も、装置の基本構造は、第1実施形態と同一であるが、生成されるスキャンビームパターンは異なる。すなわち、スキャンビーム生成部310の第1及び第2レンズ315、316を通じて導出された第1及び第2球面波の条件が異なり、その原理は、次の通りである。

## 【 0 1 6 1 】

50

第3実施形態(CASE 3)において、第1及び第2球面波は、それぞれ対物面に対していずれも発散する球面波になって、対物面に投射されたスキャンビームは、対物面で発散する2つの球面波間の干渉構造を有する。

【0162】

このように、CASE 3の場合、対物面に対して発散する球面波と球面波が干渉されたビームのパターンを物体スキニングのためのスキャンビームパターンで使用する構造であって、深度領域が増大することが特徴である。

【0163】

このために、スキャンビーム生成部310は、図7に示された焦点距離及び錐角の条件で第1球面波及び第2球面波を生成する。

【0164】

図7の場合、第1球面波の焦点位置は、第1レンズ系131の入射瞳よりも後端に位置し、第2球面波の焦点位置は、第1球面波の焦点位置よりも長くして、第1球面波の焦点位置よりもさらに後端に位置する。また、それと同時に第1及び第2球面波の錐角( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ )は、 $\theta_1 \geq \theta_2$ を満足する条件を有する。

【0165】

2つの球面波によるスキャンビームは、スキャン部120を通じて第1レンズ系131に伝達される。第1レンズ系131は、伝達されたスキャンビームを第2レンズ系132に伝達する。第2レンズ系132の入射瞳は、第1レンズ系131の出射瞳と同じ位置になるように位置する。第2レンズ系132は、スキャンビームを対物レンズ133に伝達する。対物レンズ133は、伝達されたスキャンビームを対物面に投射する。この際、対物レンズ133の入射瞳の位置は、第2レンズ系132の出射瞳の位置のような場所に位置させる。

【0166】

物体が位置した対物面には、前述した構造を有する第1及び第2レンズ系131、132によって発散する球面波に変換された第1ビームと、発散する球面波に変換された第2ビームと、を重畳させる。この際、スキャンミラーのスキニングによって球面波である第1ビームと球面波である第2ビームとの重畳で形成された干渉パターンであるフレネルゾーンパターンは、対象体上を飛び回りながら物体をスキャンする。

【0167】

ここで、分解能の低下を防ぐために、対物面で第1ビームである球面波のサイズが第2ビームである球面波のサイズよりも大きいことが望ましく、そのためには、前記数式1のように、第1球面波の錐角( $\theta_1$ )は、第2球面波の錐角( $\theta_2$ )よりも大きいか、同じ条件を満足することが望ましい。

【0168】

このような第3実施形態(CASE 3)の残りの条件(数式2ないし数式5)は、前記第1実施形態(CASE 1)と同一である。また、ここで、第1球面波と第2球面波とを位相歪曲なしに伝達し、第1球面波を対物レンズの対物面に球面波に入射させるために、対物レンズ133の入射瞳は、第2レンズ系132の出射瞳と同じ位置であることが望ましい。

【0169】

但し、このような第3実施形態の場合、第1レンズ系131、第2レンズ系132及び対物レンズ133を通過した第1球面波は、対物レンズ133の対物面で「発散する球面波」になる。また、第1レンズ系131、第2レンズ系132及び対物レンズ133を通過した第2球面波も、対物レンズ133の対物面で「発散する球面波」になる。

【0170】

10

20

30

40

50

したがって、第3実施形態の場合、数式3、数式4の意味は、第1球面波と対応した対物面での「発散する球面波」の半径と第2球面波と対応した対物面での「発散する球面波」の半径は、いずれも対物レンズ133の視野の半径( $F_{obj}$ )よりも小さいか、同じでなければならないことを意味する。

【0171】

[CASE 4] 収束する球面波と発散する球面波との干渉パターン

【0172】

図8は、本発明の第4実施形態によるフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置を示す図面であり、図9は、図8のCASE 4による干渉構造を対物面に形成するためのスキャンビーム生成部の第1及び第2球面波の生成条件を示す図面である。

10

【0173】

図8のように、本発明の第4実施形態によるフライングオーバービームパターンスキニングホログラム顕微鏡装置300は、大きくスキャンビーム生成部410、スキャン部120、投射部130及び集光部140を含む。図1と同じ符号を有する構成要素についての重複説明は、省略する。

【0174】

前述したように、第4実施形態の場合も、装置の基本構造は、第1実施形態と同一であるが、生成されるスキャンビームパターンは異なる。すなわち、スキャンビーム生成部410の第1及び第2レンズ415、416を通じて導出された第1及び第2球面波の条件が異なり、その原理は、次の通りである。

20

【0175】

第4実施形態(CASE 4)において、第1及び第2球面波は、それぞれ対物面に対して収束する球面波と発散する球面波とになって、対物面に投射されたスキャンビームは、対物面で収束する球面波と発散する球面波との干渉構造を有する。

【0176】

このように、CASE 4の場合、対物面で収束する球面波と発散する球面波とが干渉されたビームのパターンを物体スキニングのためのスキャンビームパターンで使用する構造であって、分解能を対物レンズの分解能よりも増大させることが特徴である。

【0177】

このために、スキャンビーム生成部410は、図9に示された焦点距離及び錐角の条件で第1球面波及び第2球面波を生成する。

30

【0178】

図9の場合、第1球面波の焦点位置は、第1レンズ系131の入射瞳よりも前端に位置させ、第2球面波の焦点位置は、第1レンズ系131の入射瞳よりも後端に位置させる。また、それと同時に第1及び第2球面波の錐角( $\theta_1$ 、 $\theta_2$ )は、 $\theta_2 < \theta_1$ を満足させる。

【0179】

2つの球面波によるスキャンビームは、スキャン部120を通じて第1レンズ系131に伝達される。第1レンズ系131は、伝達されたスキャンビームを第2レンズ系132に伝達する。第2レンズ系132の入射瞳は、第1レンズ系131の出射瞳と同じ位置になるように位置する。第2レンズ系132は、スキャンビームを対物レンズ133に伝達する。対物レンズ133は、伝達されたスキャンビームを対物面に投射する。この際、対物レンズ133の入射瞳の位置は、第2レンズ系132の出射瞳の位置のような場所に位置させる。

40

【0180】

物体が位置した対物面には、前記構造の第1及び第2レンズ系131、132によって「収束する球面波」に変換された第1ビームと、「発散する球面波」に変換された第2ビームと、を重畳させる。この際、スキャンミラーのスキニングによって球面波である第1ビームと球面波である第2ビームとの重畳で形成された干渉パターンであるフレネルゾ

50

ーンパターンは、対象体上を飛び回りながら物体をスキャンする。

【0181】

この際、分解能の低下を防ぐために、対物面で第1ビームである球面波のサイズが第2ビームである球面波のサイズよりも大きいことが望ましい。そのためには、下記の数式6のように、第1球面波の錐角( $\theta_1$ )と第2球面波の錐角( $\theta_2$ )との差の絶対値が、第1球面波の錐角( $\theta_1$ )と第2球面波の錐角( $\theta_2$ )との和の絶対値の1/2よりも小さいことが望ましい。

【0182】

【数6】

$$|\theta_2 - \theta_1| < \frac{1}{2} |\theta_2 + \theta_1|$$

10

【0183】

また、図8に示した2つの球面波の焦点位置及び錐角の条件(第4条件)に加えて、それに対する従属条件で、第1及び第2レンズ系131、132は、下記の数式7を満足しなければならない。

【0184】

【数7】

$$|\theta_2 - \theta_1| \leq |\theta_1^*|,$$

$$\theta_2 + \theta_1 \leq \theta_1^*$$

$$r_{sph1} \leq f_1 \alpha_1^*$$

$$r_{sph2} \leq f_1 \alpha_1^*$$

20

【0185】

ここで、 $\theta_1$ 及び $\theta_2$ は、第1及び第2球面波の錐角(収束半角)、 $\theta_s$ は、スキャンミラー121でのスキャン角、 $\theta_1^*$ は、第1レンズ系131の受光角、 $f_1$ は、第1レンズ系131の有効焦点距離、 $\alpha_1^*$ は、第1レンズ系131の前焦点面の収束角、 $r_{sph1}$ 及び $r_{sph2}$ は、第1レンズ系131の入射瞳面での第1及び第2球面波の半径を示す。

30

【0186】

第1レンズ系131の入射瞳のサイズと受光角による対物面に投射される2つの球面波のサイズ制限による分解能の低下及び視野低下を防ぐために、第1レンズ系131の入射瞳面での第1及び第2球面波の半径( $r_{sph1}$ 、 $r_{sph2}$ )は、数式7を満足することが望ましい。

【0187】

第1レンズ系131は、スキャン部120から伝達された第1球面波と第2球面波とを第2レンズ系132に伝達するが、この際、第1球面波と第2球面波とを位相歪曲なしに伝達するために、第2レンズ系132の入射瞳は、第1レンズ系131の出射瞳と同じ位置であることが望ましい。

40

50

## 【 0 1 8 8 】

第2レンズ系132は、第1レンズ系131から伝達された第1球面波と第2球面波とを第2光分割器141を通じて対物レンズ133に伝達する。この際、第1球面波と第2球面波とを位相歪曲なしに伝達し、第1球面波を対物レンズの対物面に球面波に入射させるために、対物レンズ133の入射瞳は、第2レンズ系132の出射瞳と同じ位置であることが望ましい。

## 【 0 1 8 9 】

また、このような第4実施形態において、第1レンズ系131、第2レンズ系132及び対物レンズ133を通過した第1球面波は、対物レンズ133の対物面で収束する球面波になる。この際、スキャンによる分解能の低下を防ぐために、球面波の半径は、対物レンズ133の視野の半径と同じか、小さいことが望ましく、これは、下記の数式8のように表現される。

10

## 【 0 1 9 0 】

## 【数8】

$$\left| (\theta_1 - \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|$$

## 【 0 1 9 1 】

ここで、 $\theta_1$ は、第1球面波の収束半角、 $\theta_s$ は、スキャン角、 $F_{obj}$ は、対物レンズ133の前焦点面で視野の半径、 $f_0$ は、対物レンズ133の有効焦点距離、 $f_1$ 及び $f_2$ は、第1及び第2レンズ系の有効焦点距離を示す。

20

## 【 0 1 9 2 】

また、第1レンズ系131、第2レンズ系132及び対物レンズ133を通過した第2球面波は、対物レンズ133の対物面で「発散する球面波」になるが、この際、スキャンによる分解能の低下を防ぐために、対物面で発散する球面波の半径は、対物レンズ133の視野の半径よりも小さいか、同じであることが望ましく、これは、下記の数式9のように表現される。

## 【 0 1 9 3 】

## 【数9】

$$\left| (\theta_2 + \theta_s) \frac{f_0 f_1}{f_2} \right| \leq |F_{obj}|$$

30

## 【 0 1 9 4 】

ここで、 $\theta_2$ は、第2球面波の収束半角を示し、残りの要素は、前記数式3と同一である。

40

## 【 0 1 9 5 】

したがって、第4実施形態の場合、第1球面波と対応した対物面での「収束する球面波」の半径と第2球面波と対応した対物面での「発散する球面波」の半径は、いずれも対物レンズ133の視野の半径( $F_{obj}$ )よりも小さいか、同じでなければならない。

## 【 0 1 9 6 】

第4実施形態の場合も、数式5のように、第1及び第2レンズ系131、132の光学的不変性は、対物レンズ133の光学的不変性よりも大きいか、同じ条件を有する。

## 【 0 1 9 7 】

一方、図1、図4、図6、図8のあらゆる実施形態において、第1レンズ系と第2レンズ系は、一般的なレンズ、平凸(Plano-convex)レンズ、ダブレット(d o

50

ublet)、複合アクロマティックダブルット (achromatic doublet) として具現可能であるだけでなく、スキャンによる光軸歪曲を最小化するために、テレセントリックレンズ系であることが望ましい。

【0198】

これにより、第1レンズ系と第2レンズ系は、米国登録特許第4,482,217号の Plossl型対眼レンズで構成され、テレセントリックレンズで構成することができる。それだけでなく、第1レンズ系は、複合スキャンレンズ (compound scan lens)、第2レンズ系は、複合チューブレンズ (compound tube lens) で構成することができる。

【0199】

次は、第1ないし第4実施形態に共通して適用可能な集光部の構造を図1を参照してより詳しく説明する。図1の第1実施形態の発明に示された集光部の構成は、第2ないし第4実施形態も、共通適用可能なので、以下、図1を代表例示として説明する。

【0200】

[集光部]空間面集光法

【0201】

図1を参照すれば、スキャンビーム生成部120から生成されたスキャンビームパターンは、対物レンズ133を通じて高解像度のフレネルゾーンパターンに変更されて、スキャンミラーの回転によって指定されるスキャン位置で物体を照射する。照射されたビームパターンは、物体から反射して対物レンズ133に伝達される。対物レンズ133は、反射したビームを第2光分割器141を通じて第3レンズ系142に伝達する。

【0202】

このように、図1の集光部140は、第2光分割器141、第3レンズ系142、光検出器143を含み、空間面集光を行う。

【0203】

第2光分割器141は、第2レンズ系132と対物レンズ133との間に配されて、第2レンズ系132を通過したビームは、対物レンズ133に伝達し、物体から反射して再び対物レンズ133を通過したビームは、第3レンズ系142に反射させる。光検出器143は、第3レンズ系142を通過したビームを検出し、フォトディテクターとして具現可能である。

【0204】

第3レンズ系142は、光分割器141から反射させたビームを入射されて光検出器143に伝達する。ここで、第3レンズ系142の入射瞳の半径は、 $r_3$ 、有効焦点距離は、

$f_3$ 、受光角は、 $\theta_3^r$ であり、第3レンズ系142の前焦点面で視野の半径は、 $F_3$ 、収束

角は、 $\alpha_3$ と定義される。

【0205】

対物レンズ133と第3レンズ系142は、スキャンミラーの回転によって指定されるスキャン位置でフレネルゾーンプレートが照射された対象体の像を光検出器143の検出面方向に生成させる。この際、対物レンズ133が無限補正された (infinite corrected) 対物レンズである場合、第3レンズ系142の入射瞳の位置は、対物レンズ133の入射瞳の位置と同じであることが望ましい。第3レンズ系142の出射瞳の位置には、スキャンビームパターンによって照射された物体の像が形成される。

【0206】

ここで、像が形成される位置に光検出器143の検出面が位置することが望ましく、光検出器143の検出面のサイズは、スキャンングによって、スキャンビームが照射する全

10

20

30

40

50

領域から反射したビームの検出面での像のサイズと同じか、大きいことが望ましく、照射領域は、対物レンズ 1 3 3 の視野を越えることができない。

【 0 2 0 7 】

したがって、図 1 に示された集光部 1 4 0 の構造で、光検出器 1 4 3 の検出面のサイズ ( $F_{pd}$ ) は、下記の数式 1 0 を満足することが望ましい。

【 0 2 0 8 】

【 数 1 0 】

$$\left| \frac{\theta_0 f_1 f_3}{f_2} \right| \leq |F_{pd}| \text{ または } \left| \frac{F_0 f_3}{f_0} \right| \leq |F_{pd}|$$

10

【 0 2 0 9 】

ここで、 $\theta_0$  は、スキャン部 1 2 0 のスキャンミラー 1 2 1 でのスキャン角、 $f_1$  ないし  $f_3$  は、第 1 ないし第 3 レンズ系 1 3 1、1 3 2、1 4 2 の各有効焦点距離、 $f_0$  は、対物レンズ 1 3 3 の有効焦点距離、 $F_0$  は、対物レンズ 1 3 3 の前焦点面で視野の半径を示す。

【 0 2 1 0 】

光検出器 1 4 3 は、検出面で像の光度の総和に比例する電気信号を生成して電子処理部 (図示せず) に伝達する。電子処理部 (図示せず) は、光検出器 1 4 3 から検出された電気信号を処理して物体のホログラムを生成する。

20

【 0 2 1 1 】

各構造による電子処理部 (図示せず) は、異なることができ、これは、本出願人による既出願特許である出願番号第 1 0 - 2 0 1 2 - 0 0 0 2 1 2 1 号を参照することができる。

【 0 2 1 2 】

例えば、電子処理部 (図示せず) は、ヘテロダイン検出器、A/D コンバータ、信号処理部、保存部、そして、スキャン制御部を含みうる。ヘテロダイン検出器は、光検出器から伝達された電気信号と関数発生器から生成された周波数を有するヘテロダイン変調信号とを用いて同位相出力信号及び四分位相出力信号を生成することができる。

30

【 0 2 1 3 】

A/D コンバータは、同位相信号と四分位相信号とを各チャンネルを通じて入力されてデジタル信号に変換する。変換されたデジタル電流信号は、スキャン手段のスキャン位置と共に信号処理部に提供される。信号処理部は、変換されたデジタル信号から対象物 (物体) の複素数ホログラムを生成し、保存部は、生成された複素数ホログラムを保存する。そして、スキャン制御部は、対象物の任意位置に対するホログラム処理が完了する度にスキャン手段のスキャン位置を変更させる制御信号を生成してスキャン部 1 2 0 に伝達する。

【 0 2 1 4 】

図 1 において、検出面の位置は、第 3 レンズ系 1 4 2 の出射瞳の位置であって、物体の上面であることが望ましいが、検出面の位置は、必ずしもこれに限定されるものではなく、上面前後に位置しうることはいうまでもない。この場合にも、検出面のサイズは、数式 1 0 を満足することが望ましい。

40

【 0 2 1 5 】

一方、本発明の実施形態は、図 1 のように、ベストモード (Best mode) で第 1 レンズ系 1 3 1 と第 2 レンズ系 1 3 2 とを用いてスキャンビームを伝達すると説明したが、図 1 において、第 1 レンズ系 1 3 1 と第 2 レンズ系 1 3 2 なしにスキャン部 1 2 0、第 2 光分割器 1 4 1、対物レンズ 1 3 3、第 3 レンズ系 1 4 2 で構成できるということはいうまでもない。このような構造の場合、検出面のサイズは、数式 1 1 を満足することが望ましい。

【 0 2 1 6 】

50

【数 1 1】

$$|\theta_3 f_3| \leq |F_{pd}| \quad \text{または} \quad \left| \frac{F_0 f_3}{f_0} \right| \leq |F_{pd}|$$

【0 2 1 7】

本発明の実施形態は、図 1 のように、ベストモードで対物レンズ 1 3 3 と第 3 レンズ系 1 4 2 とを用いて物体の像を検出面に生成するものとしたが、第 3 レンズ系 1 4 2 なしに  
10 対物レンズ 1 3 3 のみで検出面に物体の像を形成できるということはいうまでもない。

【0 2 1 8】

また、本発明の実施形態は、ベストモードで第 2 光分割器 1 4 1 を第 2 レンズ系 1 3 2 と対物レンズ 1 3 3 との間に位置させた。しかし、本発明が、必ずしもこれに限定される  
ものではなく、以下の図 1 0 ないし図 1 2 のような変形された構造（総 3 種）を追加的に  
提案することができる。

【0 2 1 9】

図 1 0 ないし図 1 2 は、図 1 に示された集光部の第 1 ないし第 3 変形例をそれぞれ示す  
図面である。もちろん、このような図 1 0 ないし図 1 2 に示された集光部の変形構造も、  
本発明の第 1 ないし第 4 実施形態にいずれも適用可能な構造に該当する。

【0 2 2 0】

まず、図 1 0 の第 1 変形例の場合、集光部 1 5 0 は、第 2 光分割器 1 5 1、第 3 レンズ  
系 1 5 2、第 4 レンズ系 1 5 3、光検出器 1 5 4 を含む。この際、図 1 とは異なって、第  
2 光分割器 1 5 1 を第 1 レンズ系 1 3 1 と第 2 レンズ系 1 3 2 との間に位置させ、第 3 レ  
ンズ系 1 5 2 と第 4 レンズ系 1 5 3 とを用いて光検出器 1 5 4 の検出面に像を形成する。  
20

【0 2 2 1】

すなわち、第 2 光分割器 1 5 1 は、第 1 レンズ系 1 3 1 と第 2 レンズ系 1 3 2 との間に  
配されて、第 1 レンズ系 1 3 1 を通過したビームを第 2 レンズ系 1 3 2 に伝達し、物体か  
ら反射して対物レンズ 1 3 3 を通じて第 2 レンズ系 1 3 2 を通過して受信されたビームを  
第 3 レンズ系 1 5 2 に再び反射させる。

【0 2 2 2】

第 3 レンズ系 1 5 2 は、光分割器から反射させたビームを入射されて第 4 レンズ系 1 5  
3 に伝達する。第 4 レンズ系 1 5 3 は、第 3 レンズ系 1 5 2 を通過したビームを入射され  
て光検出器 1 5 4 に伝達する。そうすると、光検出器 1 5 4 は、第 4 レンズ系 1 5 3 を通  
過したビームを検出する。  
30

【0 2 2 3】

ここで、もちろん、第 3 及び第 4 レンズ系 1 5 2、1 5 3 の入射瞳の半径は、 $r_3$ 、 $r_4$ 、  
有効焦点距離は、 $f_3$ 、 $f_4$ 、受光角は、 $\theta_3^*$ 、 $\theta_4^*$  であり、それぞれの前焦点面で視野の半径  
は、 $F_3$ 、 $F_4$ 、収束角は、 $\alpha_3^*$ 、 $\alpha_4^*$  と定義される。  
40

【0 2 2 4】

このような図 1 0 のような集光部 1 5 0 の構造で、光検出器 1 5 4 の検出面のサイズ（  
 $F_{pd}$ ）は、下記の数式 1 2 を満足することが望ましい。

【0 2 2 5】

【数 1 2】

10

20

30

40

50

$$\left| \frac{\theta_s f_1 f_4}{f_3} \right| \leq |F_{pd}| \quad \text{または} \quad \left| \frac{F_0 f_2 f_4}{f_0 f_3} \right| \leq |F_{pd}|$$

## 【0226】

ここで、 $F_{pd}$ は、光検出器154の検出面のサイズ、 $\theta_s$ は、スキャン部120のスキャンミラー121でのスキャン角、 $f_1$ ないし $f_4$ は、第1ないし第4レンズ系132、132、152、153の有効焦点距離、 $f_0$ は、対物レンズ133の有効焦点距離、 $F_0$ は、対物レンズ133の前焦点面で視野の半径を示す。

10

## 【0227】

前述した図1及び図10に開示された集光部140、150の場合、空間面集光技法を利用した方式を示す。これとは異なって、以下の図11及び図12に開示された集光部160、170は、空間周波数面集光法を用いる方式に該当する。

## 【0228】

[集光部]空間周波数面集光法

## 【0229】

まず、図11の第2変形例の場合、集光部160は、第2光分割器161、第3レンズ系162、第4レンズ系163、光検出器164を含み、図1とは異なって、第3レンズ系と光検出器との間に第4レンズ系が追加されたことが分かる。

20

## 【0230】

スキャンビーム生成部120から生成されたスキャンビームパターンは、対物レンズ133を通じて高解像度のフレネルゾーンパターンに変更されて、スキャンミラーの回転によって指定されるスキャン位置で物体を照射する。照射されたビームパターンは、物体から反射して対物レンズ133に伝達される。

## 【0231】

すなわち、第2光分割器161は、第2レンズ系131を通過したビームを対物レンズ133に伝達し、物体から反射して再び対物レンズ133を通過したビームを反射させて第3レンズ系162に伝達する。第3レンズ系162は、それを伝達されて第4レンズ系163に伝達し、第4レンズ系163は、伝達されたビームを光検出器164の検出面に伝達する。

30

## 【0232】

この際、対物レンズ133の出射瞳と第3レンズ系162の入射瞳とを同じ面に位置させ、第3レンズ系162の出射瞳を第4レンズ系163の入射瞳と同じ位置に位置させ、光検出器164の検出面を第4レンズ系163の出射瞳に位置させることが望ましい。すなわち、対物レンズ133、第3レンズ系162、第4レンズ系163を共焦点システム (a f o c a l s y s t e m) に位置することが望ましい。

## 【0233】

このような光検出構造を有する光検出器164の光検出面には、対物レンズ133の対物面にある像の空間周波数変換された光の分布が生成される。

40

## 【0234】

この際、光検出器の検出面のサイズ ( $F_{pd}$ ) は、下記の数式13のように、対物面に伝達されたスキャンビームの有効開口数と第4レンズ系163の焦点距離との積の0.1倍よりも大きいか、同じであることが望ましい。

## 【0235】

## 【数13】

$$\left| 0.1 f_4 NA_{eff} \right| \leq \left| F_{pd} \right|$$

## 【 0 2 3 6 】

ここで、 $f_4$ は、第4レンズ系163の有効焦点距離であり、 $NA_{eff}$ は、対物面に伝達されたビームの有効開口数であって、対物面に伝達された第1球面波の開口数 ( $NA_1$ ) と第2球面波の開口数 ( $NA_2$ ) との間の差 ( $NA_{eff} = |NA_1 - NA_2|$ ) と定義される。

10

## 【 0 2 3 7 】

この際、 $NA_1 = \sin(\Omega_1)$ であり、 $NA_2 = \sin(\Omega_2)$ あるが、 $\Omega_1$ 、 $\Omega_2$ は、それぞれ対物面から眺めたビームの発散角 (divergence angle) であって、正の発散を有する発散する球面波の場合、正数である発散角であり、負の発散を有する収束する球面波の場合は、負数である発散角であり、平面波の場合は、0である。

20

## 【 0 2 3 8 】

図1の第1実施形態 (CASE 1) の場合、第1球面波は、対物面で平面波になるの  
で、 $NA_1 = 0$ であり、第2球面波は、対物面で収束する球面波なので、  
である。

$$NA_2 = -\sin\left(\frac{f_2 r_{sph2}}{f_0 f_1}\right)$$

## 【 0 2 3 9 】

図4の第2実施形態 (CASE 2) では、第1球面波は、対物面で平面波になるので、  
 $NA_1 = 0$ であり、第2球面波は、対物面で発散する球面波なので、  
ある。

$$NA_2 = \sin\left(\frac{f_2 r_{sph2}}{f_0 f_1}\right)$$

## 【 0 2 4 0 】

図6の第3実施形態 (CASE 3) では、第1球面波は、対物面で発散する球面波に  
なるので、  
 $NA_1 = \sin\left(\frac{f_2 r_{sph1}}{f_0 f_1}\right)$ であり、第2球面波は、対物面で発散する球面波なので、  
 $NA_2 = \sin\left(\frac{f_2 r_{sph2}}{f_0 f_1}\right)$ である。

40

## 【 0 2 4 1 】

50

図8の第4実施形態 (CASE 4) では、第1球面波は、対物面で収束する球面波に

なるので、 $NA_1 = -\sin\left(\frac{f_2' r_{sph1}}{f_0 f_1}\right)$ であり、第2球面波は、対物面で発散する球面波なので、 $NA_2 = \sin\left(\frac{f_2' r_{sph2}}{f_0 f_1}\right)$ である。

10

【0242】

次に、図12の第4変形例の場合、集光部170は、第2光分割器171、第3レンズ系172、光検出器173を含む。この際、図1とは異なって、第2光分割器171が、第1レンズ系131と第2レンズ系132との間に位置する。

【0243】

スキャンビーム生成部120から生成されたスキャンビームパターンは、対物レンズ133を通じて高解像度のフレネルゾーンパターンに変更されて、スキャンミラーの回転によって指定されるスキャン位置で物体を照射する。照射されたビームパターンは、物体から反射して対物レンズ133に伝達される。

【0244】

対物レンズ133は、反射したビームを第2レンズ系132を通じて第2光分割器171に伝達する。第2光分割器171は、伝達されたビームを再び反射させて第3レンズ系172に伝達し、第3レンズ系172は、それを伝達されて光検出器173の検出面に伝達する。

20

【0245】

この際、対物レンズ133の出射瞳と第2レンズ系132の入射瞳とを同じ面に位置させ、第2レンズ系132の出射瞳を第3レンズ系172の入射瞳と同じ位置に位置させ、光検出器164の検出面を第3レンズ系172の出射瞳に位置させることが望ましい。すなわち、対物レンズ133、第2レンズ系132、第3レンズ系172を共焦点システムに位置することが望ましい。

30

【0246】

このような光検出構造を有する光検出器173の光検出面には、対物レンズ133の対物面にある像の空間周波数変換された光の分布が生成される。

【0247】

この際、光検出器の検出面のサイズ ( $F_{pd}$ ) は、下記の数式14のように、対物面に伝達されたスキャンビームの有効開口数 ( $NA_{eff}$ ) と第3レンズ系172の焦点距離 ( $f_3$ ) との積の0.1倍よりも大きいことが望ましい。

【0248】

【数14】

$$|0.1f_3 NA_{eff}| \leq |F_{pd}|$$

40

【0249】

50

このような構造で、図1の第1実施形態 (CASE 1) の場合、第1球面波は、対物面で平面波になるので、 $NA_1 = 0$  であり、第2球面波は、対物面で収束する球面波なので、

$$NA_2 = -\sin\left(\frac{f_2 r_{sp2}}{f_0 f_1}\right) \text{である。}$$

## 【0250】

10

図4の第2実施形態 (CASE 2) では、第1球面波は、対物面で平面波になるので、

$NA_1 = 0$  であり、第2球面波は、対物面で発散する球面波なので、  
 $NA_2 = \sin\left(\frac{f_2 r_{sp2}}{f_0 f_1}\right)$  である。

## 【0251】

図6の第3実施形態 (CASE 3) では、第1球面波は、対物面で発散する球面波に

なるので、  
 $NA_1 = \sin\left(\frac{f_2 r_{sp1}}{f_0 f_1}\right)$  であり、第2球面波は、対物面で発散する球面波なので、  
 $NA_2 = \sin\left(\frac{f_2 r_{sp2}}{f_0 f_1}\right)$  である。

## 【0252】

図8の第4実施形態 (CASE 4) では、第1球面波は、対物面で収束する球面波に

なるので、  
 $NA_1 = -\sin\left(\frac{f_2 r_{sp1}}{f_0 f_1}\right)$  であり、第2球面波は、対物面で発散する球面波なので、  
 $NA_2 = \sin\left(\frac{f_2 r_{sp2}}{f_0 f_1}\right)$  である。

## 【0253】

一方、図1の構造を例とすれば、物体が蛍光体である場合、二色性ミラー (dichroic mirror) を第2光分割器141の代わりに使用することができる。二色性ミラーは、スキャン部120と蛍光体との間に配されて、スキャン部120によって入射された干渉ビームを透過させて蛍光体に伝達し、蛍光体から入射された蛍光されたビームを反射させて光検出器164に伝達することができる。二色性ミラーは、光伝達手段であって、蛍光体をスキャンする過程で蛍光体から発散された蛍光されたビームを光検出器に伝達する。二色性ミラーは、スキャン部と蛍光体との間に設定角度に斜めに配される。二色性ミラーは、波長によって選別的に光を反射するように設計されるミラーであって、本実施形態の場合、干渉ビームは透過させ、蛍光ビームは反射させるように設計される。すなわち、二色性ミラーは、スキャン部によって入射された干渉ビームを透過させて蛍光体に伝達し、蛍光体から入射された蛍光されたビームを反射させて光検出器に伝達す

40

50

る。このように、二色性ミラーは、干渉ビームの波長は透過させ、蛍光体によって蛍光されたビームの波長は反射させるように具現される。ここで、もちろん、干渉ビームと蛍光ビームのそれぞれの波長範囲は、あらかじめ知っている値に該当する。

【0254】

これによれば、蛍光体をスキャニングするための干渉ビーム（干渉パターン）は、二色性ミラーを透過して蛍光体に伝達される。また、スキャニング中に蛍光体から発散される蛍光ビームは、二色性ミラーに到達する直ちに反射して第3レンズ系を通じて光検出器に伝達される。

【0255】

以上のような本発明によれば、対物レンズを通じて対物面で高解像度のフレネルゾーンパターンをスキャニングビームパターンで形成し、当該パターンが物体上を飛び回るスキャンを行いながら、物体から反射したビームを対物レンズを通じて光検出器の検出面でイメージングすることにより、高速で高解像度のスキャニングホログラム顕微鏡を具現することができる。

10

【0256】

本発明は、図面に示された実施形態を参考にして説明されたが、これは、例示的なものに過ぎず、当業者ならば、これにより多様な変形及び均等な他実施形態が可能であるという点を理解できるであろう。したがって、本発明の真の技術的保護範囲は、特許請求の範囲の技術的思想によって決定されねばならない。

20

30

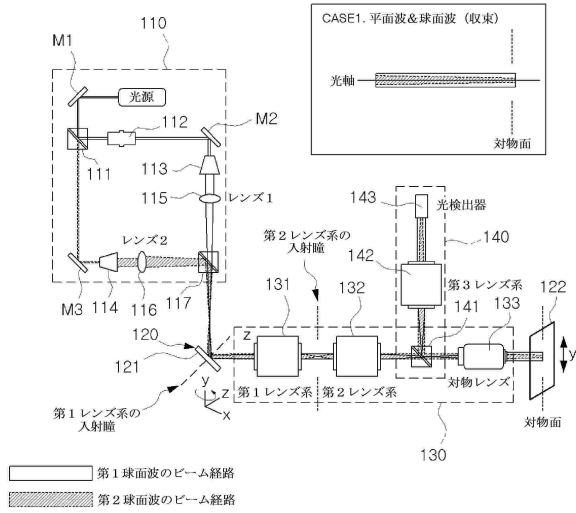
40

50

【図面】

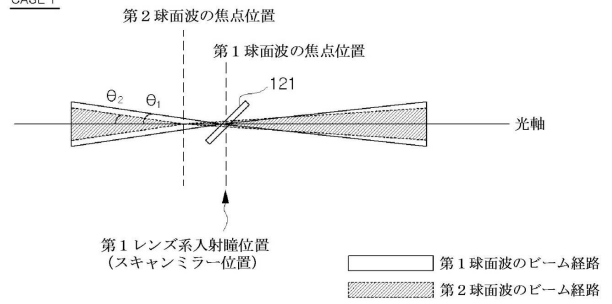
【図 1】

100



【図 2】

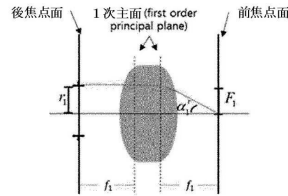
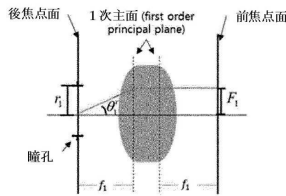
CASE 1



10

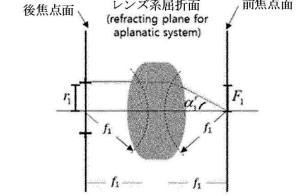
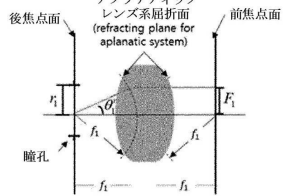
【図 3 A】

一般光学系カーディナル点と面モデル



【図 3 B】

アプラナティック光学系カーディナル点と面モデル



20

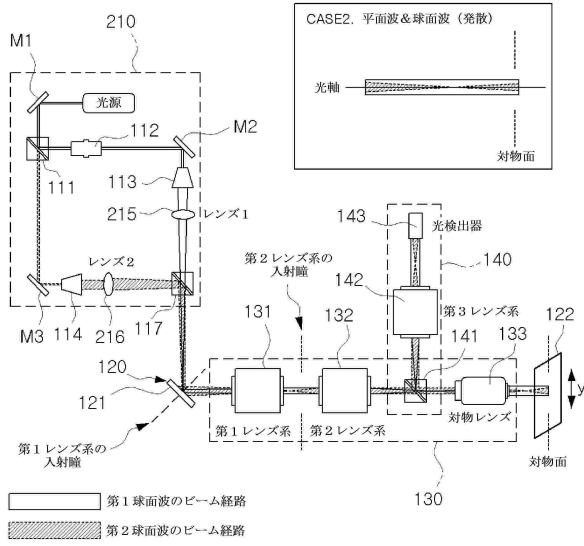
30

40

50

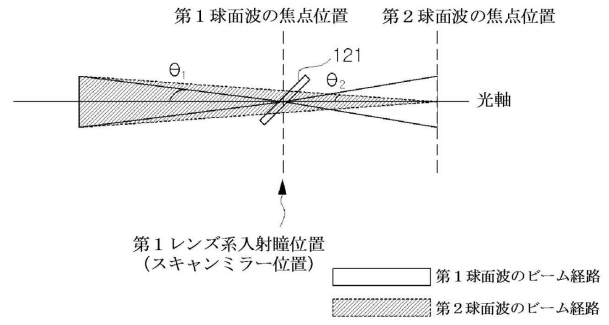
【図4】

200



【図5】

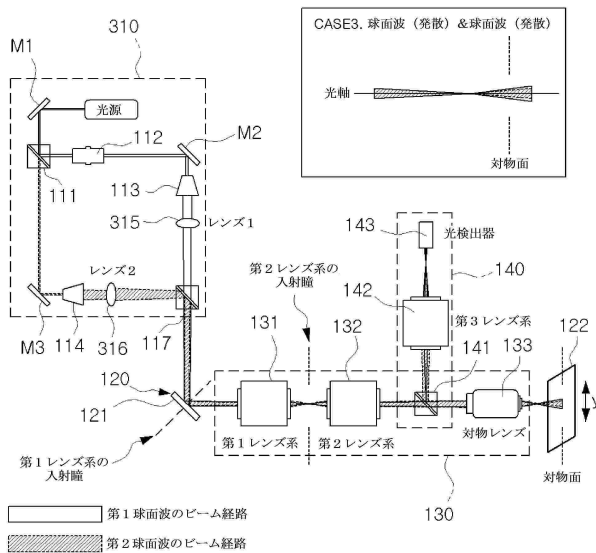
CASE 2



10

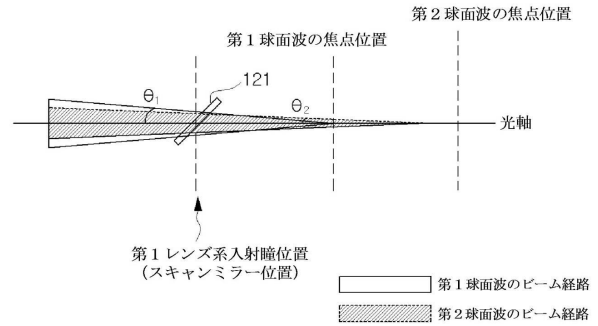
【図6】

300



【図7】

CASE 3



20

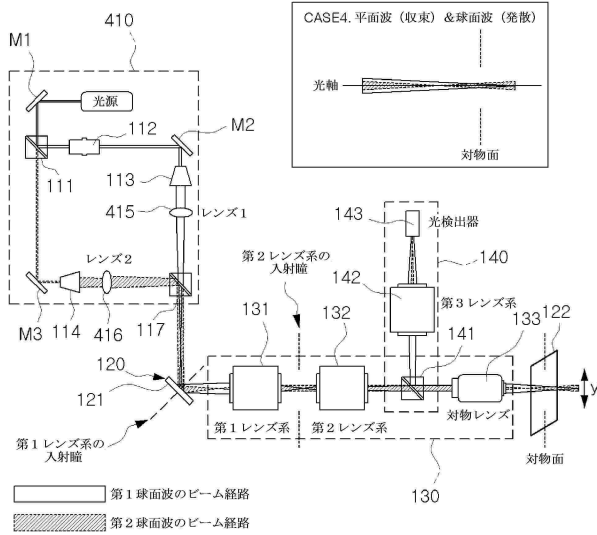
30

40

50

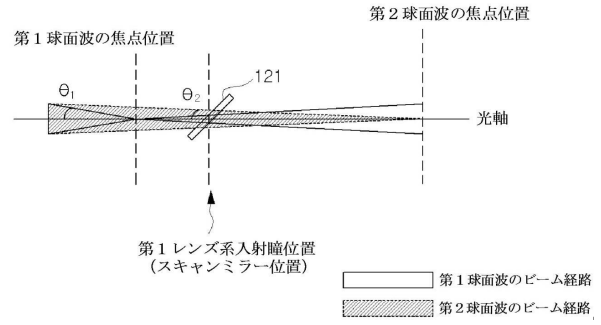
【図 8】

400



【図 9】

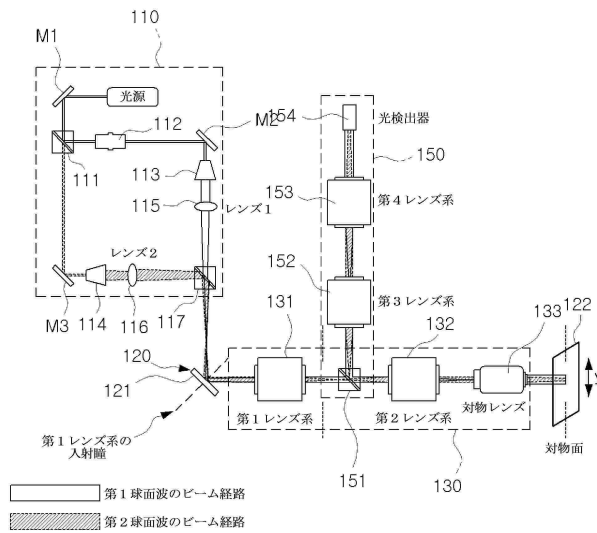
CASE 4



10

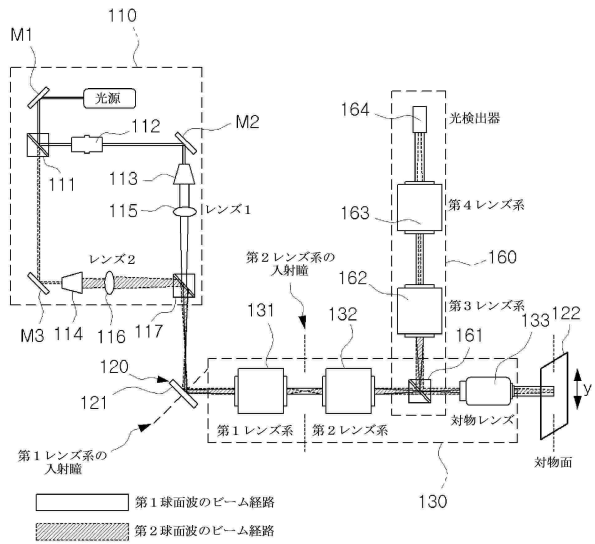
【図 10】

100



【図 11】

100



20

30

40

50



## フロントページの続き

(51)国際特許分類

G 0 3 H 1/22 (2006.01)

F I

G 0 3 H 1/22

ン - グ モクトンセオ - ロ 4 0 0 1 0 2 1 - 8 0 5

(72)発明者

キム テウォン

大韓民国 1 2 8 2 0 キョンギ - ド クァンジュ - シ オポ - ウブ セマル - ギル 1 6 7 ボン - ギル  
7 - 2 2 1 0 2 - 4 0 1

(72)発明者

リム スンレム

大韓民国 0 7 7 3 0 ソウル カンソ - グ チョロクマル - ロ 3 4 - ギル 3 3 - 5 ナンバー 5 0 1

(72)発明者

キム キョンボム

大韓民国 0 1 1 8 0 ソウル カンプク - グ ソルメ - ロ 1 0 - ギル 1 7 2 0 1 ホ

(72)発明者

リ ウンチュン

大韓民国 0 4 9 3 3 ソウル クァンジン - グ ナンドン - ロ 5 0 - ギル 3 9 1 0 1 - 2 0 1

(72)発明者

イム ドンフアン

大韓民国 0 5 0 0 9 ソウル クァンジン - グ ナンドン - ロ 1 7 1 4 0 1 ホ

審査官

森内 正明

(56)参考文献

中国特許出願公開第 1 0 5 2 0 4 3 1 1 ( C N , A )

中国特許出願公開第 1 0 7 8 3 5 0 7 4 ( C N , A )

韓国公開特許第 1 0 - 2 0 1 3 - 0 0 8 1 1 2 7 ( K R , A )

韓国登録特許第 1 0 - 1 5 2 3 1 7 3 ( K R , B 1 )

韓国登録特許第 1 0 - 1 8 3 0 7 8 5 ( K R , B 1 )

(58)調査した分野

(Int.Cl., D B 名)

G 0 2 B 2 1 / 0 0 - 2 1 / 3 6

G 0 3 H 1 / 0 0 - 5 / 0 0