

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5530927号
(P5530927)

(45) 発行日 平成26年6月25日(2014.6.25)

(24) 登録日 平成26年4月25日(2014.4.25)

(51) Int.Cl.

F 1

G03H 1/26 (2006.01)
G03H 1/08 (2006.01)G03H 1/26
G03H 1/08

請求項の数 17 (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2010-517410 (P2010-517410)
 (86) (22) 出願日 平成20年7月25日 (2008.7.25)
 (65) 公表番号 特表2010-534859 (P2010-534859A)
 (43) 公表日 平成22年11月11日 (2010.11.11)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2008/059765
 (87) 國際公開番号 WO2009/016105
 (87) 國際公開日 平成21年2月5日 (2009.2.5)
 審査請求日 平成23年7月21日 (2011.7.21)
 (31) 優先権主張番号 102007036127.2
 (32) 優先日 平成19年7月27日 (2007.7.27)
 (33) 優先権主張国 ドイツ (DE)

(73) 特許権者 507230267
 シーリアル テクノロジーズ ソシエテ
 アノニム
 S E E R E A L T E C H N O L O G I E
 S S. A.
 ルクセンブルグ大公国 ムンスバッハ エ
 ルー 5365, パルク ダクティヴィテ
 シルダール, 6 ビー
 (74) 代理人 100076428
 弁理士 大塚 康徳
 (74) 代理人 100112508
 弁理士 高柳 司郎
 (74) 代理人 100115071
 弁理士 大塚 康弘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ホログラフィック再構成装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ホログラムとしてシーンを再構成する方法であつて、
 前記シーンは、ソフトウェア手段によって平行なセクション層により物点に分割され、
 前記物点は、システム制御器手段により、前記セクション層内に規定される格子に従つて選択され、物点のグループを形成するように組み合わされ、

計算機生成ホログラム (CGH) は、物点のグループ毎に計算され、光源手段により放射されるコヒーレント光により照明される光変調器手段上で符号化され、

再構成手段は、物点のグループの各 CGH から前記物点を再構成したものを生成し、個々の前記 CGH を加算することにより前記生成された物点を再構成したものをインコヒーレントに重畠し、それにより前記シーンを単一のホログラムとして再構成したものが観察者の眼の位置の平面において可視になり、

前記システム制御器手段は、前記物点のデータ記録を格納する格納手段を備え、
 前記システム制御器手段は、前記格子に従い前記セクション層内の物点を選択することと、前記シーンを再構成したものの可視解像度に基づいて物点のグループを形成するよう物点を組み合わせることとの双方を実行し、

前記システム制御器手段は、
 - 前記眼の位置から様々な距離に前記セクション層を生成し、前記物点が互いに近接して位置するため、該物点の相互距離がそのセクション層について前記シーンを再構成したものの前記可視解像度よりも小さくなるように、格子を各セクション層の内部に規定し、

- 相互距離が前記シーンを再構成したものの前記可視解像度より大きい前記各セクション層の物点を組み合わせて物点のグループを形成し、前記可視解像度及び前記物点の複素値を特徴付ける前記グループの前記物点間の横方向距離を含む前記データ記録から前記物点のグループの前記 C G H を計算する
ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記システム制御器手段内の計算ユニットは、
実際の前記眼の位置から前記シーンの前記各セクション層までの距離と、観察者の実際の眼の瞳孔の直径とに基づいて、該眼の分解能力よりも大きく、前記セクション層内の前記物点のピッチを決定する基になる、前記各セクション層での物点密度を計算することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。 10

【請求項 3】

個々の前記物点を再構成したものをインコヒーレントに重畳する処理は順次実行され、これにより、前記観察者の眼は、前記個々の物点を再構成したものの強度の和にわたり前記物点を再構成したものの前記強度を時間的に平均化することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 4】

個々の前記物点を再構成したものをインコヒーレントに重畳する処理は同時に実行され
、
複数の光変調器及び複数の再構成手段は、複数の前記物点を再構成したものを同時に生成し、前記観察者の眼の位置においてそれらをインコヒーレントに重畳することを特徴とする請求項 1 に記載の方法。 20

【請求項 5】

前記シーンを再構成したものの前記可視解像度は、前記光変調器手段の分解能に適応されることを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 6】

ホログラムとしてカラーシーンを再構成する方法であって、
前記カラーシーンは、前記システム制御器手段内のソフトウェア手段により異なる色成分に分割され、
前記カラーシーンの再構成は、光の波長が異なる少なくとも 2 つの単色再構成から構成され、
物点への前記シーンの分割と、物点のグループを形成するための前記物点の組み合わせと、単色 C G H の計算とが、色成分毎に別個に実行される
ことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。 30

【請求項 7】

3 原色の波長毎に異なる格子ピッチが規定され、異なる最小距離が前記物点の前記データ記録において前記システム制御器手段内の計算ユニットにより前記物点のグループに対して規定されるか、または、

同一の格子ピッチが 3 原色の波長毎に規定され、同一の最小距離が前記物点の前記データ記録において前記計算ユニットにより前記物点のグループに対して規定される
ことを特徴とする請求項 6 に記載の方法。 40

【請求項 8】

前記 3 原色の前記波長に対して前記物点がそれ以上別個の点として分解されえないよう
に、前記計算ユニットは、前記シーンの前記物点のピッチを規定することを特徴とする請求項 7 に記載の方法。

【請求項 9】

前記 3 原色の前記波長に対して前記物点が別個の点として分解されうるよう、前記計算ユニットは、物点のグループ内の前記物点の前記距離を規定することを特徴とする請求項 7 に記載の方法。

【請求項 10】

前記分割されたシーンの各物点は、前記物点のグループのうちの1つに対して一度だけ選択されることを特徴とする請求項1又は6に記載の方法。

【請求項11】

前記シーンを再構成したものの前記可視解像度は、前記再構成手段の結像特性に適応されることを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項12】

前記再構成手段の前記結像特性は、シミュレーションによるか又は測定曲線に基づいて求められることを特徴とする請求項11に記載の方法。

【請求項13】

前記物点のグループは、前記光変調器手段上で1次元又は2次元のいずれかに符号化されることを特徴とする請求項1に記載の方法。 10

【請求項14】

ホログラムとしてシーンを再構成する装置であって、

光源手段により放射されるコヒーレント光を用いて照明され、前記シーンの物点のグループの計算機生成ホログラム(CGH)が符号化される光変調器手段と、

物点のグループの各CGHから前記物点を再構成したものを生成し、個々の前記CGHを加算することにより前記生成された物点を再構成したものをインコヒーレントに重畠し、前記シーンを单一のホログラムとして再構成したものを観察者の眼の位置の平面において可視にする再構成手段と、

セクション層により、当該セクション層内の規定の格子に従って選択され、物点のグループを形成するために組み合わされる物点に前記シーンを分割し、前記物点のデータ記録を格納するための格納手段を具備するシステム制御器手段と 20

を備え、

前記システム制御器手段は、

- 前記物点が互いに近接するため、それらの相互距離が前記各セクション層に対する前記シーンを再構成したものの可視解像度より小さい格子を常に用いて、前記眼の位置から様々な距離に前記セクション層を生成し、

- 物点のグループを形成するために、相互距離が前記シーンを再構成したものの前記可視解像度より大きい前記各セクション層のそれら物点を組み合わせ、前記可視解像度及び前記物点の複素値を特徴付けるそのグループの前記物点間の横方向距離を含む前記データ記録から各物点のグループの前記CGHを計算するように更に設計されることを特徴とする装置。 30

【請求項15】

少なくとも1人の観察者の実際の眼の位置に関する情報と、その観察者の眼の瞳孔の実際の大きさに関する情報と、を検出する位置ファインダを備えることを特徴とする請求項14に記載の装置。

【請求項16】

再構成される前記シーンの実際の輝度値又は再構成空間内の周辺光の実際の輝度値を検出するセンサを具備する位置ファインダを備え、前記輝度値は前記眼の瞳孔の実際の直径を判定するために使用されることを特徴とする請求項14に記載の装置。 40

【請求項17】

請求項1から13のいずれか1項に記載の方法を実行するホログラムとしてシーンを再構成する装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、多くの物体を含む3次元シーンのホログラフィック再構成を生成する装置に関する。シーンのホログラムを計算し且つ符号化できるようにするために、シーンは個々の物点に分割され、それらは、光変調器手段において計算機生成ホログラム(CGH)の形態で表現される物点のグループを形成するように組み合わされる。個々の再構成は、コ 50

ヒーレント光及び再構成手段を使用して物点のグループ毎に生成され且つ重畳され、それにより観察者は、眼の位置から時間的に平均化されスペックルパターンが減少したシーンを見る。更に本発明は、スペックルパターンが減少されるようにシーンのホログラフィック再構成を生成する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

本発明は、3次元シーンの複素波面がコヒーレントなレーザ光を用いるホログラフィを使用してリアルタイム又はほぼリアルタイムに記録及び再構成されるようにする装置に関する適用可能である。その場合、再構成は観察者ウィンドウとも呼ばれる可視領域から見られる。制御可能な素子を有する光変調器手段は、シーンの複素値を用いて入射するコヒーレント光の波面を変調するために設けられる。

10

【0003】

新規な方法が適用可能であるホログラフィックディスプレイの特定の種類は、例えば特許文献1、特許文献2又は特許文献3等の本出願人により出願された先行文献から周知である。それらにおいて、ホログラム計算は以下に基づいて実行される。符号化及びホログラフィック再構成のために、3次元シーンは、各々がシーンの多くの物点を含むセクション層にスライスされる。物点は表面及び全ての表面の和として3次元シーンの双方の特徴を表す。それらは、光変調器手段の複数の制御可能な素子に複素値として書き込まれる（又はそのような素子において符号化される）ため、各物点は光変調器手段上で別個の領域を形成する。そのような別個の領域は、この物点のサブホログラムと呼ばれる。サブホログラムは、焦点においてこの1つの物点を再構成するホログラフィックに符号化されたレンズ関数におおよそ対応する。複素値の絶対値、すなわち振幅はサブホログラム全体にわたりほぼ一定であり、その大きさは物点から画面までの軸方向距離及び物点の強度に依存する。サブホログラムにおける複素値の位相分布は、焦点距離が物点から光変調器手段又は画面までの軸方向距離に依存するレンズの関数におおよそ対応する。コヒーレント光が光変調器を通過する際、サブホログラムの制御可能な素子に書き込まれる複素値は光の振幅及び/又は位相を変更する。物点は変調光により再構成可能である。サブホログラムの外側では、この物点は光変調器手段において値「0」を有する。シーンの全符号化ホログラムは個々のサブホログラムの複素値を加算することにより生成される。

20

【0004】

30

シーンのホログラフィック再構成は、再構成手段により可視領域と光変調器手段との間に広がる再構成空間内に生成される。シーンの符号化ホログラムにより放射される波面は可視領域において重畳されるため、再構成された物点は眼の位置から可視領域内に見える。再構成は重畳波面に基づいて生成され、シーンの個々の透視図は、時分割多重処理又は空間分割多重処理において観察者の各眼に対して生成される。この場合、その透視図の視差は異なるが、脳により单一のホログラフィック3D表現として知覚される。

【0005】

3次元シーンの再構成を観察する場合、観察者は、シーンのホログラムが直接符号化され且つ画面として使用される光変調器手段を見ることができる。これは直視構成と呼ばれる。あるいは、観察者は、画像又は光変調器手段上で符号化されるホログラム値の変換のいずれかが投影される画面を見ることができる。これは投影器構成と呼ばれる。観察者の眼の位置は、位置ファインダにより周知の態様で検出される。この位置ファインダは、ソフトウェア手段により格納手段及び計算ユニットと結合され且つシステム制御器手段と結合される。また、格納手段は、ルックアップテーブルの形態のデータ記録において、CGHを計算するために必要な物点の情報を提供する。

40

【0006】

光変調器手段が離散的な記録のみを可能とするため、シーンの物点はホログラム計算のために離散的に走査される。ある特定の符号化方法は、走査点の位置において走査シーンと完全に一致する再構成の生成を可能にする。しかし、物理的再構成の結果、再構成された強度の勾配は走査点間においても連続する。これらの位置において、シーン内の強度勾

50

配からのずれが示される。これにより再構成においてスペックルパターンが発生し、従って、ホログラフィック表現の品質が低下する。これは、ホログラムが物点のランダム位相を用いて計算される場合に特に当てはまる。一般に、スペックルパターンは、統計的に不規則に分散された位相差を有する複数の光波の干渉によりランダムに分散された強度極小及び強度極大を有する空間構造として形成される粒状の干渉パターンとして説明可能である。これらスペックルパターンは再構成シーンの知覚品質を実質的に低下させる。

【0007】

一般に、スペックルパターンは3次元シーンの再構成中の時間的平均化及び/又は空間的平均化により減少可能である。観察者の眼は眼に対して提示される複数の再構成を常に平均化する。この場合、これら再構成の各々は異なるスペックルパターンを有する。シーンの物点が異なるランダム位相を示す場合、スペックルパターンは、例えばランダムであり且つ異なる。平均化の影響により、観察者は最小限にされたスペックルパターンを知覚する。スペックルパターンを減少するための時間的平均化は、例えば非特許文献1において説明されている。シーンの異なるホログラムは順次計算及び表示される。この場合、シーンの個々の物点は変動する相対位相差を用いて重畳される。従って、眼は、干渉の影響、すなわちスペックルパターンを時間的に平均化する。しかし、各ホログラムが常に全ての物点に対して計算されるため、この方法を用いて複数のホログラムを計算する必要性により生じるより大きな計算負荷を受け入れる必要がある。これは、再構成シーンのリアルタイム表現における実質的な欠点である。更に、スイッチング時間がより短い安価な光変調器手段がホログラフィック表現のために必要とされる。そのような装置はまだ市販されていない。

【0008】

更に、ホログラフィックディプレイにおいてシーンを再構成する場合、人間の眼の分解能力を考慮する必要がある。シーン内の平面が観察者により個々の点の集合としてではなく連続平面として知覚されることを保証するために、シーンを物点に数学的に分割する場合、この平面又はセクション層において隣接する物点間の臨界距離を超えてはならない。しかし、互いに近接した物点間で発生する干渉は特に、除去する必要のあるスペックルパターンに大いに寄与する。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0009】

【特許文献1】欧州特許第1,563,346 A2号公報

【特許文献2】独国特許出願公開第10 2004 063 838 A1号公報

【特許文献3】独国特許出願公開第10 2005 023 743 A1号公報

【非特許文献】

【0010】

【非特許文献1】Donghyun Kim, 'Reduction of coherent artifacts in dynamic holographic three-dimensional displays by diffraction-specific pseudorandom diffusion'

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明の目的は、計算負荷を増加することなくシーンのホログラフィック再構成におけるスペックルパターンの発生が広く抑制されるように、シーンの計算機生成ホログラム(CGH)を計算及び符号化する処理を設計することである。同時に、対応して設計されたホログラフィック再構成装置において、シーンのホログラフィック表現は一般に高品質で可視となる。

【課題を解決するための手段】

【0012】

本発明と関連して使用される3次元シーンのホログラム計算及びホログラフィック再構

10

20

30

40

50

成の一般的な方法は、従来技術において説明される。これは、シーンが物体から構成され、従って物点から構成されることに基づく。シーンを再構成するために種々の手段が提供される。この手段は、システム制御器手段に一体化されるか又はシステム制御器手段と対話する。それらは、物点が選択され且つ物点のグループを形成するために組み合わされることを可能にし、それにより、物点のグループは計算され且つ個々の C G H として表現される。種々の手段の対話により、物点のグループの個々の再構成の光波面の重畠が達成されるため、観察者は眼の位置においてシーンの合成再構成を見る。

【 0 0 1 3 】

この原理に基づいて、目的は、格子に従うセクション層内の物点の選択及び物点のグループを形成するための物点の組み合わせの双方がシーンの再構成の可視解像度に依存してシステム制御器手段により実行される装置を使用して本発明に従って解決される。システム制御器手段によるシーンの再構成の可視解像度への適応を達成するために、

- 各セクション層において、格子は、セクション層内の隣接する物点が観察者により別個の点として分解されないピッチを用いて物点に対して規定され、

- 観察者により別個の点として分解可能な各セクション層の物点は、物点のグループを形成するために組み合わされる。

【 0 0 1 4 】

上記を実行するために、スライスされたシーンの各物点が再構成のために選択される。従って、各物点を物点のグループに一度だけ割り当てること、並びにその結果、計算及び符号化する必要のある物点のグループのホログラムを減少することが達成されるのが好ましい。スペックルパターンの発生の減少に加えて、一般に計算時間が短縮される。

【 0 0 1 5 】

本発明によると、シーンの再構成の可視解像度を人間の眼の分解能力に適応させることが提案される。眼の分解能力は、エアリー関数 $2*j1(r-r0)/(r-r0)$ により示される。式中、 $r0 = (x0, y0)$ は物点の座標であり、 $r-r0$ はセクション層におけるこの座標までの距離であり、 $j1$ はベッセル関数である。エアリー関数を実現できるようにするために、装置は、少なくとも 1 人の観察者の実際の眼の位置に関する情報及びその観察者の眼の瞳孔の実際の大きさに関する情報を検出する位置ファインダを備える。更に装置は、実際の眼の位置からシーンの各セクション層までの距離及び観察者の実際の眼の瞳孔の直径に基づいて、各セクション層における物点のピッチを判定するためにシステム制御器手段により使用される物点密度を計算する計算ユニットを備える。

【 0 0 1 6 】

あるいは、実際の瞳孔の直径は輝度値に基づいて求められ、その場合、位置ファインダは、再構成シーンの実際の輝度値又は再構成空間内の周辺光の実際の輝度値を検出するセンサを備える。

【 0 0 1 7 】

本発明によると、シーンの再構成の可視解像度は、再構成手段の結像特性に更に適応可能である。この目的のため、シミュレーションによるか又は測定曲線に基づいて再構成手段の結像特性を求めることが提案される。この点において、異なるセクション層への光源の結像に対する点広がり関数は、適切な光学ソフトウェアを用いて算出されるか又は実験的に求められる再構成手段と光変調器手段上で符号化されるレンズとの組み合わせを使用して判定可能である。特に、可視解像度を特徴付ける物点間の横方向距離は、シミュレーション又は測定曲線から取得され、格納手段内の各データ記録に格納される。システム制御器手段が、観察者の実際の眼の位置及び再構成手段の分解能の双方に依存してセクション層内の物点を選択し、物点のグループを形成するためにそれらを組み合わせることが更に実行される。

【 0 0 1 8 】

本発明に係る装置は、システム制御器手段が光変調器手段上で C G H を符号化する処理と、その後シーンの物点のグループを再構成する処理とを制御するように更に設計される。このために、物点のグループは光変調器手段上で 2 次元に符号化される。しかし、物点

10

20

30

40

50

のグループは光変調器手段上で1次元に符号化されてもよい。

【0019】

本発明の目的は、ホログラムとしてシーンを再構成する方法によっても解決される。この場合、前記方法の処理ステップは、主に装置の上述の手段を用いて実行される。方法は、システム制御器手段が格子に従うセクション層内の物点の選択及びシーンの再構成の可視解像度に依存して物点のグループを形成するための物点の組み合わせの双方を実行することを特徴とする。このために、システム制御器手段は、

- 各セクション層において、セクション層内の隣接する物点が観察者により別個の点として分解されないピッチを用いて物点に対する格子を規定し、

- 物点のグループを形成するために、観察者により別個の点として分解可能な各セクション層の物点を組み合わせる。

【0020】

個々の再構成のインコヒーレントな重畠の処理ステップが順次実行可能であるため、観察者の眼は、個々の再構成の強度の和にわたり再構成の強度を時間的に平均化する。しかし、個々の再構成のインコヒーレントな重畠を同時に実行することも可能である。このために、光変調器手段は、CGHが同時に符号化される複数の光変調器を具備する。これらのCGHに基づいて、相互に異なるスペックルパターン及び光波面を有する複数の個々の再構成は、同時に生成され且つ対応する数の再構成手段を用いて観察者の眼の位置において重畠される。

【0021】

更に、シーンの再構成の可視解像度は光変調器手段の分解能に適応可能である。

【0022】

本発明の一実施形態において、ホログラムとしてカラーシーンを再構成する方法が説明される。方法において、カラーシーンは、システム制御器手段内のソフトウェア手段により異なる色成分に分割され、シーンのカラー再構成は、光の異なる波長の少なくとも2つの異なる単色再構成から構成され、物点へのシーンの分割、物点のグループを形成するための物点の組み合わせ及び単色CGHの計算は、色成分毎に別個に実行される。

【0023】

方法の一実施形態において、3原色が使用される場合、異なるピッチが3原色の波長毎に規定され、異なる最小距離がセクション層内の格子に対する物点のデータ記録において計算ユニットにより物点のグループに対して規定される。意味のある別の処理ステップにおいて、同一の格子ピッチが3原色の波長毎に規定され、同一の最小距離が物点のデータ記録において計算ユニットにより物点のグループに対して規定される。

【0024】

シーンのカラー再構成に対する別の処理ステップにおいて、シーンの物点のピッチは計算ユニットにより小さく規定されるため、3原色の波長に対して、物点はそれ以上別個の点として分解されない。更に、満たさるべき第2の基準を形成する物点のグループ内の物点間の最小距離は計算ユニットにより大きく規定されるため、3原色の波長に対して、物点は別個の点として分解される。

【0025】

上述の機能を特徴とするホログラフィック再構成装置においてシーンの計算機生成ホログラム(CGH)を計算及び符号化することは、従来技術と比較して以下の利点を有する：

- シーンのホログラフィック再構成におけるスペックルパターンの発生が広く抑制される。

【0026】

- 各物点は、計算において一度だけ使用される。

【0027】

- 順次表現を特徴とする実施形態において、順次計算及び表示する必要のある单一ホログラムが少ない。

10

20

30

40

50

【0028】

- 計算能力及び速度に対する要求が軽減される。

【図面の簡単な説明】

【0029】

添付の図面に関連して、実施形態を使用して本発明を以下に更に詳細に説明する。

【図1】それ以上別個の点として分解されない2つの物点に対するエアリー関数の振幅曲線を示す図である。

【図2】弱め合う干渉及び強め合う干渉に対する計算された強度、並びにこれら物点のインコヒーレントな重畳に対する計算された強度を示す図である。

【図3】図1及び図2に従う物点距離を使用して、ランダム位相を用いて計算された物点の平面シーンの再構成のシミュレーションを示す図である。 10

【図4】図2の2つの物点間の4倍の距離に対する類似の重畳を示す図である。

【図5】図4に従う物点距離を使用して、ランダム位相を用いて計算された物点の平面シーンの再構成のシミュレーションを示す図である。

【図6】16個の個別の再構成が生成され且つインコヒーレントに重畳された再構成のシミュレーションを示す図である。

【図7】本発明に係るホログラフィックディスプレイの主要な構成要素を示す概略図である。

【発明を実施するための形態】

【0030】

20

本発明に係るホログラフィック再構成装置は、少なくとも1つの光変調器手段、1つの再構成手段及び1つの光源手段を具備する。これらは別個のユニットであってもよく、又は1つのユニットに組み合わされてもよい。更に、計算を実行し且つソフトウェア手段を使用してホログラフィック再構成装置内での処理を協調するための複数の格納手段及び計算ユニットを具備するシステム制御器手段が提供される。シーン全体を代表する2つの物点の例を主に用いて、本発明に係る処理を説明する。

【0031】

上述のように、光源手段により放射されたコヒーレント光の回折により、干渉極大及び干渉極小の外乱がシーンの個々の物点の間に発生する。観察者はスペックルパターンとして周知である粒状構造の外乱としてそれらを知覚する。本発明はスペックルパターンを除去する。本発明において、シーンの再構成の可視解像度は、眼の分解能力、再構成手段の結像特性又は光変調器手段の分解能に適応される。この点において、シーンの物点は2つの基準を満たす必要があり、実施形態の説明においてそれらを更に詳細に説明する。 30

【0032】

観察者は自身の眼の瞳孔を用いて再構成を見る。瞳孔は回折限界開口の関数を有する。眼の瞳孔などの円形開口の場合、一般に、眼の分解能力及び物点の振幅曲線はエアリー関数

$$2 * j1(r - r0) / (r - r0)$$

により説明される。式中、 $r0 = (x0, y0)$ は物点の座標であり、 $r - r0$ はシーンのセクション層におけるこの座標までの距離であり、 $j1$ はベッセル関数である。他の制限要因が再構成手段により与えられないと仮定すると、観察者はエアリーディスクとして物点を知覚する。このエアリーディスクは、 $Bd = 1.22 D/dp$ の直径を有する。式中、 D は実際の眼の位置の平面と各セクション層との間の距離であり、 D は光の波長であり、 dp は眼の瞳孔の直径である。位置 $r0a$ 及び $r0b$ に位置する2つの物点の相互距離が $r0b = r0a - 1.22 D/dp$ の場合、それらは別個の点として分解可能である。その場合、一方の物点に対する関数 $J1(r - r0a) / (r - r0a)$ の最大値は、他方の物点に対する関数 $J2(r - r0b) / (r - r0b)$ の第1の最小値と一致する。 40

【0033】

図1は、 $1.0 D/dp$ の距離に位置する2つの物点の振幅曲線を示す。振幅は明確に重なり合い、2つの点は観察者の眼により別個の点として分解されない。2つの物点のエアリ

50

ーディスクが互いにに対して近接に位置し且つ重なり合う場合、2つの物点の相対位相は、結果として得られるこれら物点のインコヒーレントな再構成に実質的な影響を及ぼす。従って、顕著な強度極大が強め合う干渉と共に発生し、顕著な強度極小が弱め合う干渉と共に発生する。

【0034】

図2は、弱め合う干渉及び強め合う干渉に対する計算された強度、並びに1つの位置における図1の物点のインコヒーレントな重畠に対する計算された強度を示す。インコヒーレントな重畠は、平面シーンに対する期待値とおおよそ一致する。互いに隣接する物点に対して上記の距離を有する格子内の3つ以上の物点がとられる場合、これら物点の生成される再構成はほぼ一定の強度を有する連続平面を形成する。コヒーレントな重畠の一般例において、強度は、2つの物点の相対位相に依存して弱め合う干渉及び強め合う干渉の極端な例の間のどこかに存在する。その反対に、複数の物点のコヒーレントな重畠による干渉は、スペックルパターンを発生させる場合がある。図7を参照すると、観察者は、観察者ウインドウVWとも呼ばれる可視領域内に存在する眼の位置APからシーンの再構成を見る。通常、この観察者ウインドウVWは眼の瞳孔より若干大きい。異なる物点OPから観察者ウインドウVWまでの光の光路長の違いは、発生する干渉の種類に関係する。しかし、この光路長の違いは、観察者ウインドウVW内の眼の瞳孔の位置に依存して変動する。そのため、眼が観察者ウインドウVW内で移動すると異なる干渉が発生することがある。極端な場合、干渉の種類は強め合う干渉から弱め合う干渉に又はその逆に変化することがある。ここで、観察者が観察者ウインドウVW内の任意の眼の位置APから高品質で再構成を観察できるようにするために、強め合う干渉と弱め合う干渉との間の差が極僅かである必要がある。

10

20

【0035】

図3は、図1及び図2に従う物点距離を使用して、ランダム位相を用いて計算された物点の平面シーン、すなわち2次元構成の再構成のシミュレーションを示す。この結果、均一に明るい表面の代わりに、スペックルパターンの外乱が見られる。このスペックルパターンは、2つの物点の干渉により引き起こされる。観察者が観察者ウインドウ内で移動した場合、スペックルパターンの外観は変化する。

【0036】

スペックルパターンの外乱がなく均一に明るく照明された表面を実現するためには、シーンの再構成の可視解像度が眼の分解能力、あるいは例えば再構成手段の分解能又は結像特性のいずれかに適応される必要がある。

30

【0037】

異なる物点のエアリーディスクがある特定の距離に位置する場合、より小さい第2の極大のみが干渉する。その結果、弱め合う干渉と強め合う干渉との間又は物点のエアリーディスクのインコヒーレントな重畠の間には僅かな差しかない。

【0038】

物点のグループを形成するために充分に離れた距離に位置する2つの隣接する物点が選択される場合、スペックルパターンは更に減少される。そこで、図4は、2つの物点間の4倍の距離、すなわち $r_{0a} - r_{0b} = 4.0 \times D/d_p$ に対する強度の重畠を示す。図4において、強め合う干渉及び弱め合う干渉に対する強度値、並びに2つの物点のインコヒーレントな重畠に対する強度値は殆ど差を示さない。従って、2つの物点は再構成において明確に別個の2つの点として知覚される。

40

【0039】

図5は、図4に従う物点距離を使用して、ランダム位相を用いて計算された物点の2次元構成の再構成のシミュレーションを示す。物点は個別の点として明確に分解される。物点間の相互距離がより大きいため、スペックルパターンは発生しない。

【0040】

しかし、図5に示すような単一ホログラムでは連続表面が表示されない。図5に示すような物点距離を用いるが、物点を移動した複数の再構成の重畠が必要である。この移動の

50

ために、物点の2次元構成は、最初に図1に示すように1.0 D/dpの距離を用いて使用される。これら物点は、図4に示すように4.0 D/dpの最小距離を有するように異なる物点のグループに割り当てられる。その後、ホログラムは各物点のグループから計算され、光変調器手段上で符号化される。

【0041】

図6の写真は、16個の個別の再構成が16個の単一ホログラムに基づいて生成され且つインコヒーレントに重畠された再構成のシミュレーションを示す。図5に示すホログラムがこのシミュレーションに使用された。このため、格子は、セクション層を表す範囲に対して、水平方向及び垂直方向の双方において1.0 D/dpのピッチを有する物点に対して規定された。物点は16個の物点のグループを形成するために組み合わされた。物点のグループにおいて、物点は、水平方向及び垂直方向の双方において4.0 D/dpの最小距離を有する。16個のホログラムは、これら16個の物点のグループに基づいて計算された。16個のホログラム全ての再構成が、それらの強度に関してインコヒーレントに重畠された。これは、合成強度を取得するために個々の再構成の強度が加算されたことを意味する。その結果、均一な輝度で照明され且つ図3より実質的に少ないスペックルパターンを示す再構成平面が得られる。

【0042】

図7の概略図は、本発明に係るホログラフィックディスプレイの主要な構成要素を直視型ディスプレイの形態で示す。この図において、LQは光源手段であり、RMは再構成手段であり、SLMは光変調器手段であり、SMはシステム制御器手段であり、SEは物点OPを有する複数のセクション層のうちの1つであり、VWは観察者ウィンドウであり、APは観察者ウィンドウVW内の眼の位置である。セクション層は観察者ウィンドウVWから距離Dの位置にあり、眼の瞳孔は直径dpを有するものとして示される。観察者が眼の位置APから再構成シーンを見る再構成空間は、観察者ウィンドウVWからSLMまで広がる。2つの物点は、セクション層において互いにに対して非常近接して描かれているため、観察者により別個の点として分解されない。他の2つの物点はより大きな相互距離に位置し、双方は1つの物点のグループに属する。

【0043】

複数の実施形態を使用して、本発明を以下に詳細に説明する。本発明の第1の実施形態において、シーンの再構成の可視解像度が観察者の眼の分解能力に適応される方法を示す。第1の処理ステップにおいて、システム制御器手段は、シーンのセクション層内の水平列及び垂直列の交差点の格子を規定する。格子のピッチは観察者の実際の眼の位置に依存する。固定距離がその眼の位置とセクション層との間に与えられる。その場合、観察者は固定位置に位置する必要がある。あるいは、距離は位置ファインダにより検出される。更に、観察者の眼の瞳孔の大きさは計算のために既知である必要がある。このため、眼の瞳孔の標準的な直径が処理に使用されるか、あるいは眼の瞳孔の実際の直径が位置ファインダ又は専用センサにより検出されて格納手段に格納される。眼の瞳孔の実際の大きさを判定するために使用可能な別の装置は、センサが再構成されるシーンの実際の輝度値又は再構成空間内の周辺光の実際の輝度値を検出し、計算ユニットにこの値を送信するように設計される。計算ユニットはその情報から瞳孔の大きさを計算する。次に、個々のCGHを計算できるようにするため、各セクション層の格子のピッチ及び物点間の最小距離は、システム制御器手段によりこの値に適応される。

【0044】

シーンの各セクション層から眼の位置までの距離及び眼の瞳孔の直径に基づいて、システム制御器手段の構成要素である計算ユニットは、眼の分解能力より大きい物点密度を計算する。この物点密度に基づいて、システム制御器手段は各セクション層内の隣接する物点のピッチを規定する。いずれの方向においても、格子列は平行であり且つ互いにに対して同一距離を有する。しかし、個々のセクション層と観察者の眼の位置との間の距離が異なるため、ピッチは個々のセクション層で異なる。

【0045】

10

20

30

40

50

1つのセクション層の隣接する格子位置における物点は、眼からこのセクション層までの規定の軸方向距離に関して、水平方向及び垂直方向の双方において別個の点として分解されないような横方向距離を有する。この場合、複数の隣接する点は連続平面として知覚される。従って、本発明の第1の基準は物点密度に関して満たされる。再構成される物点に対する特性情報は、システム制御器手段の格納手段内のデータ記録に格納され、ソフトウェア手段はそこから特性情報を検索できる。

【0046】

第2の処理ステップにおいて、再構成において明確に別個の物点を見られるようにするために、本発明の第2の基準に従って物点密度を減少する必要がある。従って、格納データによるとセクション層までの規定の軸方向距離に位置する観察者により別個の点として明確に知覚される相互距離を有する当該セクション層の物点は、物点のグループを形成するため組み合わされる。

10

【0047】

本発明に係る装置において、計算機生成ホログラム（CGH）は物点のグループ毎に計算され、更なる処理ステップにおいて光源手段により放射されるコヒーレント光により照明される光変調器手段上で符号化される。光変調器手段は、入射するコヒーレント光の波面の変調のために、制御可能な素子、例えば規則的に配置された画素を具備する。1次元符号化の場合は、例えば2つ、3つ又は4つの物点のグループが形成され、2次元符号化の場合は、例えば4つ、9つ又は16個の物点のグループが形成され、対応するホログラムが計算される。生成される個別の再構成の数は対応して多くなる。

20

【0048】

ホログラフィック装置の再構成手段は、各物点のグループの個々の再構成を生成する。システム制御器手段が再構成をインコヒーレントに重畳するため、シーンの単一のホログラフィック再構成は、観察者の実際の眼の位置の平面において可視になる。

【0049】

眼の位置における個々の再構成のインコヒーレントな重畳は順次実行可能である。個々の再構成は高速で重畳されるため、観察者の眼は、個々の再構成の強度の和にわたり再構成の強度を時間的に平均化する。あるいは、個々の再構成のインコヒーレントな重畳は同時に実行され、その場合、複数の光変調器及び複数の再構成手段は複数の再構成を同時に生成し、観察者の眼の位置においてそれらをインコヒーレントに重畳する。上述の2つの基準を満たすシーンの物点は、再構成される際にスペックルパターンを全くか又は殆ど示さない。いずれの場合においても、観察者は、実際の眼の位置からスペックルが殆どない状態でシーン全体の平均化された再構成を見る。

30

【0050】

本発明の第2の実施形態において、シーンの再構成の可視解像度は再構成手段の分解能に適応される。これは、眼の瞳孔の影響の代わりに、光学再構成系の瞳孔の影響又はその結像品質が考慮されることを意味する。この場合、光学再構成系は再構成手段の構成要素である。例えば、光源の空間範囲、SLM上で符号化された値の非理想的表現又は光学再構成系における収差が原因となって、個々の物点が拡大されて再構成される場合もある。その場合、物点の可視解像度は眼の瞳孔の回折限界サイズにより規定されない。そのような場合、再構成装置全体により実際に再構成される物点が単に別個の点としてではなく連続表面として知覚されるように最初の物点密度を選択する必要がある。

40

【0051】

このため、例えば、ホログラフィック再構成のために設けられた光学再構成系を有するSLMまでの様々な距離における単一の物点の再構成に対する少なくとも1つの測定曲線は、1つの処理ステップにおいて確立され且つ格納手段に格納される。オプションとして、物点の特徴を示し且つその測定曲線から計算されるパラメータが格納手段に格納されてもよい。システム制御器手段は、その測定曲線の幅及び長さに基づいて物点密度を判定し、観察者の実際の眼の位置に依存してシーンの物点に対する格子を規定する。第1の実施形態に対して前述したように、次に物点密度を減少する必要がある。このため、規定の相

50

互距離を有する物点が選択され、別個の点として分解されるように物点のグループを形成するためには組み合わせられる。光変調器手段上での符号化及び個々の物点のグループの再構成は、本発明の第1の実施形態に対して説明した処理と同様に実行されるが、再構成手段の結像品質を考慮して実行される。本実施形態の特定の変形において、S L M から様々な距離にある物点の再構成に対する測定曲線は、再構成装置の特性のシミュレーションにより置き換えられる。

【0052】

本発明の第3の実施形態によると、シーンの再構成の可視解像度は光変調器手段の分解能に適応可能である。シーンの再構成は観察者ウィンドウ内の眼の位置から可視である。観察者ウィンドウの大きさは、光変調器手段の分解能に依存する：

$$vw_{h,v} = D / p_{h,v}$$

式中、Dは観察者の眼と光変調器手段との間の距離であり、pは波長であり、p_{h,v}は画素ピッチ、すなわち水平(h)方向又は垂直(v)方向における2つの画素間の距離である。2つの画素は複素値数が符号化される光変調器手段の制御可能な素子である。一般に、観察者ウィンドウは矩形形状を有する。観察者ウィンドウが水平方向又は垂直方向のいずれか又は双方において眼の瞳孔の直径dpより小さい場合、シーンの可視解像度は、眼の瞳孔の分解能力ではなく観察者ウィンドウの範囲により判定される。観察者ウィンドウが双方の寸法において眼の瞳孔の直径より小さい場合、2つのsinc関数の積がエアリー関数の代わりに使用される。例えば：

$$sinc(D / vw_{h,v})sinc(D / vw_{v,h})$$

その場合、本発明に係る装置及び対応する方法は、その解像度に一致するように同様に変更される必要がある。

【0053】

本発明の第4の実施形態において、ホログラムとしてカラーシーンを再構成する装置及び方法が提供される。カラーシーンは、システム制御器手段内のソフトウェア手段により提供された色の異なる成分に分割される。シーンのカラー再構成は光の異なる波長の少なくとも2つの単色再構成から生成される。物点へのシーンの分割、物点のグループを形成するための物点の組み合わせ、並びに単色CGHの計算及び符号化は、本発明の第1の実施形態の説明に従って色成分毎に別個に実行される。

【0054】

再構成処理を実行できるようにするために、計算ユニットは、物点のデータ記録において使用される原色の波長毎に物点のグループに対して異なる格子ピッチ及び異なる最小距離を規定する。計算及び処理を簡略化するために、本処理ステップの変形によると、物点のデータ記録において計算ユニットにより同一の格子ピッチが3原色の波長毎に規定され且つ同一の最小距離が物点のグループに対して規定される。このために、第1の基準として、シーンの物点のピッチは、使用される原色の波長に対して物点がそれ以上別個の点として分解されないように、計算ユニットにより小さく規定されることが好ましい。物点のグループ内の物点間の距離が計算ユニットにより大きく規定されるため、3原色の波長に対して物点が別個の点として分解される場合、処理の第2の基準が満たされる。カラーシーンの再構成の解像度が、例えば眼の分解能力に適応されるため、シーンの再構成においてスペックルパターンの数の減少が達成される。本発明に係るホログラフィック再構成装置は、透過型又は反射型ホログラフィックディプレイの形態で設計可能であり、1人の観察者又は複数の観察者に対応できる。

10

20

30

40

【図1】

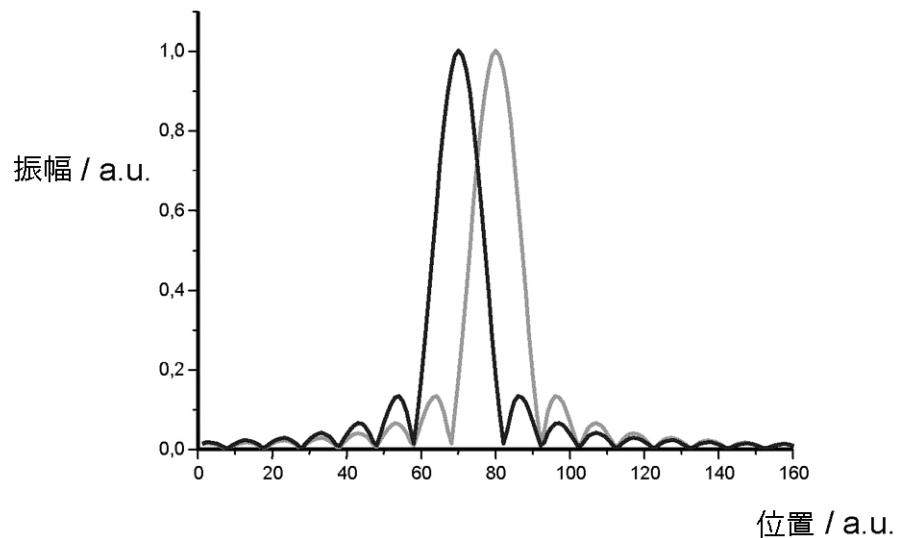


Fig. 1

【図2】

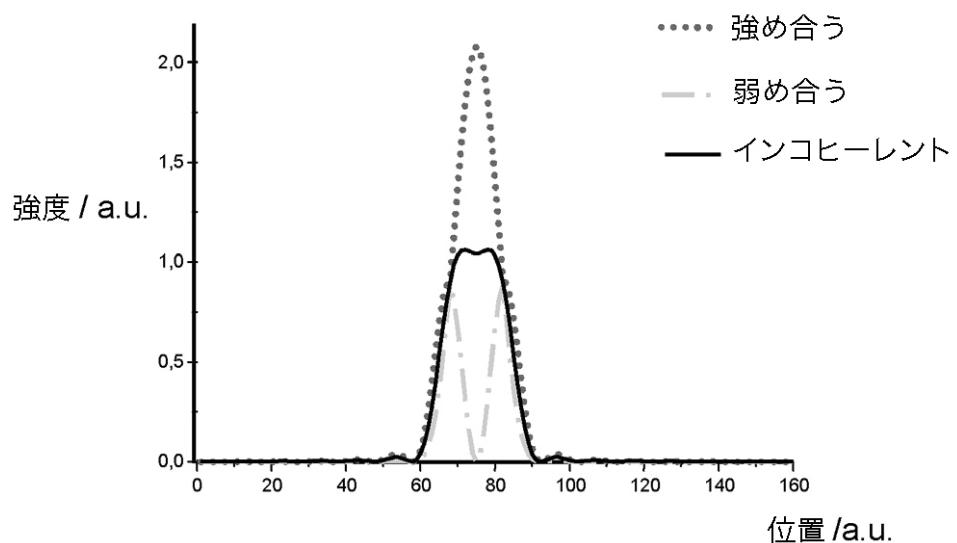


Fig. 2

【図3】

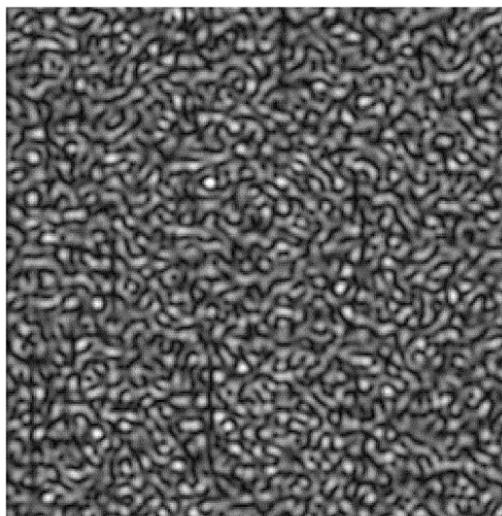


Fig. 3

【図4】

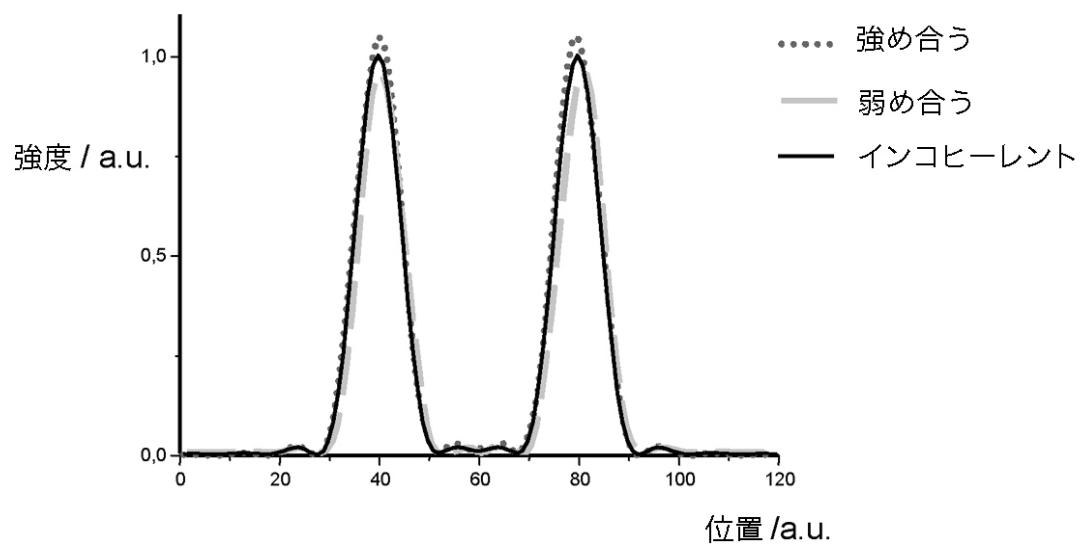


Fig. 4

【図5】

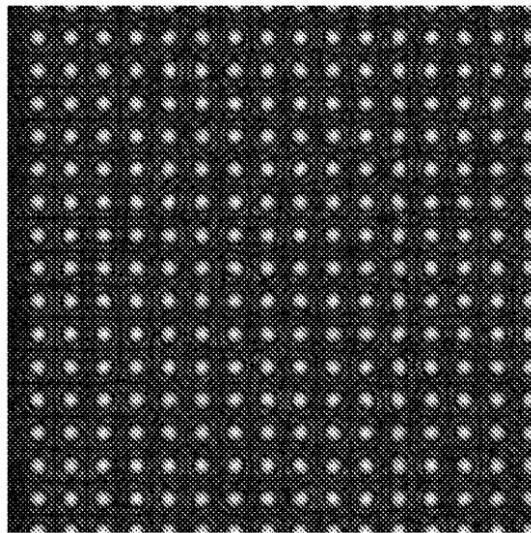


Fig. 5

【図6】

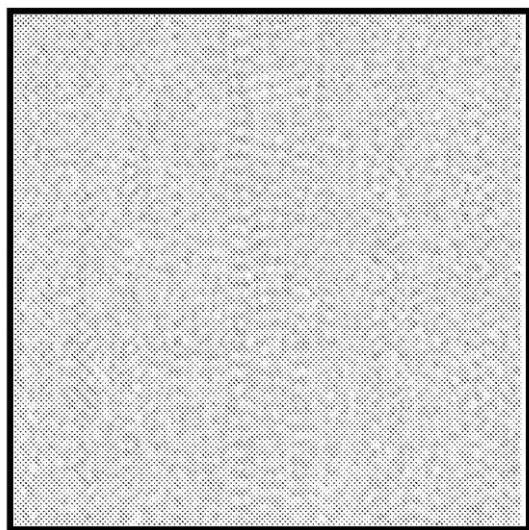


Fig. 6

【図7】

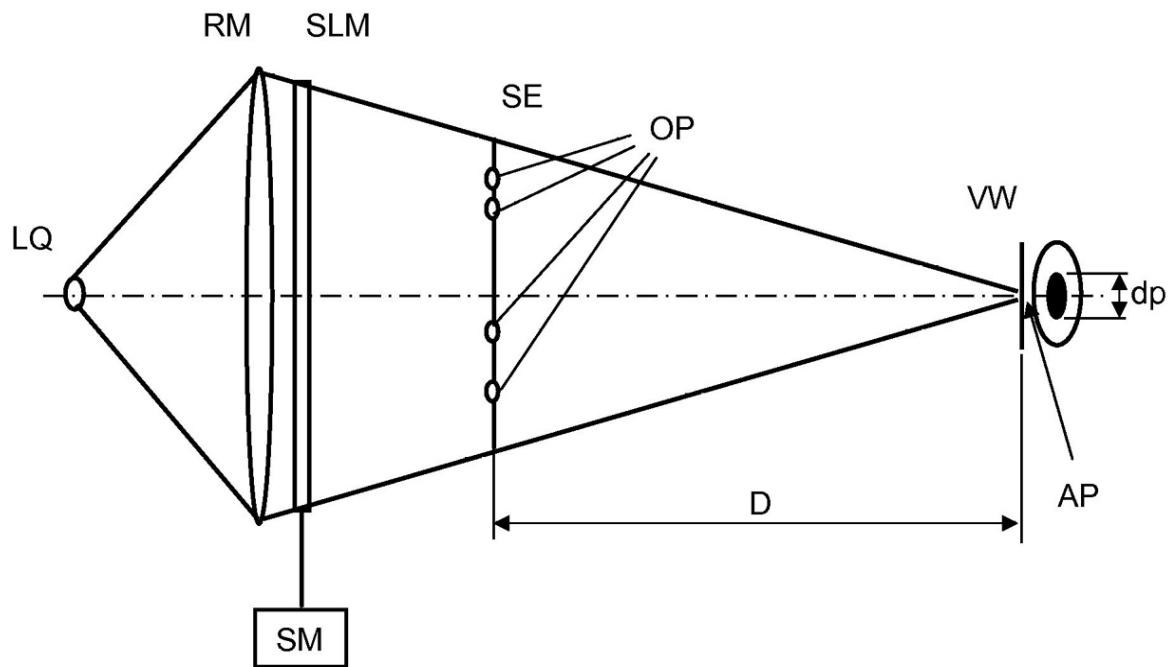


Fig. 7

フロントページの続き

(74)代理人 100116894
弁理士 木村 秀二

(74)代理人 100130409
弁理士 下山 治

(74)代理人 100148345
弁理士 駒木 寛隆

(72)発明者 ライスター, ノルベルト
ドイツ国 ドレスデン 01279, ヘルマンシュテッター シュトラーセ 23

審査官 井海田 隆

(56)参考文献 特開平6-110371(JP, A)
特表2002-532771(JP, A)
特開平10-288939(JP, A)
国際公開第2006/066919(WO, A1)
国際公開第2007/071391(WO, A2)
特表2004-517354(JP, A)
特開平11-316539(JP, A)
特表2008-525832(JP, A)
特表2009-520998(JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G 03 H 1 / 26

G 03 H 1 / 08