

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第4883637号  
(P4883637)

(45) 発行日 平成24年2月22日 (2012. 2. 22)

(24) 登録日 平成23年12月16日 (2011. 12. 16)

(51) Int. Cl.	F I
G 1 1 B 7/0065 (2006. 01)	G 1 1 B 7/0065
G 1 1 B 7/135 (2012. 01)	G 1 1 B 7/135 Z
G O 3 H 1/04 (2006. 01)	G O 3 H 1/04

請求項の数 8 外国語出願 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2007-266682 (P2007-266682)
(22) 出願日	平成19年10月12日 (2007. 10. 12)
(65) 公開番号	特開2008-123657 (P2008-123657A)
(43) 公開日	平成20年5月29日 (2008. 5. 29)
審査請求日	平成22年9月17日 (2010. 9. 17)
(31) 優先権主張番号	06122230.3
(32) 優先日	平成18年10月13日 (2006. 10. 13)
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)
(31) 優先権主張番号	06123657.6
(32) 優先日	平成18年11月8日 (2006. 11. 8)
(33) 優先権主張国	欧州特許庁 (EP)

(73) 特許権者	501263810 トムソン ライセンシング Thomson Licensing フランス国, 92130 イッシー レ ムーリノー, ル ジャンヌ ダルク, 1-5 1-5, rue Jeanne d' A rc, 92130 ISSY LES MOULINEAUX, France
(74) 代理人	100115864 弁理士 木越 力
(72) 発明者	ガボル サルワシユ ハンガリー国 1038 ブダペスト コ パニヤ・ウトツア 60

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アポダイゼーション・フィルタを有するホログラフィック・ストレージ・システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

参照光および物体光のコリニア・スプリット開口構成を備えた、ホログラフィック・ス  
トレージ媒体への書き込みを行う装置において、

前記装置は、前記参照光の偏光を変更するリング状の半波長板と、前記物体光および前  
記参照光の光路を分離する偏光ビーム・スプリッタとを有し、

前記参照光のためのアポダイゼーション・フィルタが、前記ホログラフィック・ストレ  
ージ媒体の前の前記参照光の別個の光路中に配置されていることを特徴とする、前記装置  
。

【請求項 2】

前記アポダイゼーション・フィルタの透過率が、カット・オフ半径を中心とする内径か  
ら外径の範囲において、緩やかな減少を有する、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記カット・オフ半径はナイキスト開口の 0.67 ~ 1.27 倍の間である、請求項 2  
記載の装置。

【請求項 4】

前記緩やかな減少の範囲は、前記ナイキスト開口の 10.8 % ~ 21.6 % の間である  
、請求項 2 または 3 に記載の装置。

【請求項 5】

前記緩やかな減少が一次関数、二次関数、または、ガウス関数のうちの 1 つを有する、

請求項 2 ~ 4 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 6】

前記アポダイゼーション・フィルタは、4 f システムのフーリエ平面内に位置する、請求項 1 ~ 5 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 7】

前記参照光の偏光を変更する中間物体平面内のリング状の半波長板をさらに有する、請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載の装置。

【請求項 8】

参照光および物体光のコリニア・スプリット開口構成を用いてホログラフィック・ストレージ媒体への書き込みを行う方法であって、

リング状の半波長板で、前記参照光の偏光を変更するステップと、

偏光ビーム・スプリッタで、前記物体光および前記参照光の光路を分離するステップと

、  
前記ホログラフィック・ストレージ媒体の前の前記参照光の別個の光路中に配置されたアポダイゼーション・フィルタで、前記参照光をアポタイズするステップと、  
を有する、前記方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、ホログラフィック・ストレージ媒体の読み出しおよび／または書き込みをするための装置に関し、より具体的にはアポダイゼーション・フィルタを有するホログラフィック・ストレージ媒体の読み出しおよび／または書き込みをするための装置に関する。

【背景技術】

【0002】

ホログラフィック・データ・ストレージにおいて、デジタル・データは、2つのコヒーレント・レーザ光の重畳によって作成される干渉パターンを記録することによって格納される。一方の光、いわゆる「物体光(object beam)」は、空間光変調器によって変調され、記録される情報を搬送する。第2の光は、参照光(reference beam)として機能する。干渉パターンにより、ストレージ材料の特定の特性が変更される。この特性の変更は、干渉パターンのローカル強度に依存する。記録されたホログラムの読み出しは、記録の際と同様の条件を用いて参照光をホログラムに照射することによって行われる。これにより、記録された物体光が再構築される。

【0003】

ホログラフィック・データ・ストレージの1つの利点は、データ容量の増加である。従来の光学ストレージ媒体とは異なり、単に数少ないレイヤーでなく、ホログラフィック・ストレージ媒体のボリュームが情報の保存に使用されることである。ホログラフィック・データ・ストレージの別の利点は、例えば、2つの光の間の角度の変更や、シフト多重化の使用などにより、同一のボリュームに複数のデータを格納することができることにある。さらに、単一のビットを格納する代わりに、データはデータ頁(data pages)として格納される。通常、データ頁は、明暗パターンのマトリックス、即ち、複数のビットを符号化する、2次元的な二値配列(アレイ)またはグレイ値の配列(アレイ)からなる。これにより、記録密度の向上に加え、データ・レートの向上が達成される。データ頁は、空間光変調器(SLM: spatial light modulator)によって物体光上にインプリントされ、検出器アレイによって検出される。

【0004】

同軸構成(coaxial arrangement)を有するホログラフィック・ストレージ・システムにおいては、参照光および物体光は単一のスプリット開口を使用する。さらに、双方の光は、同一のSLMによって変調される。この情報は、多重化フーリエ・ホログラムの形態で格納される。反射型同軸ホログラフィック・ストレージ・システムの場合、記録の間に参照光と物体光とを結合させ、読み出しの間に再構築された物体光が

10

20

30

40

50

ら参照光を離脱させることは困難である。欧州特許第E P 1 6 2 4 4 5 1号に開示されているように、いわゆるコリニア構成 ( c o l l i n e a r   a r r a n g e m e n t ) の選択性を高めるために、参照光も画素化される。物体光および参照光は、同一のS L Mを用いて変調される。この構成は、ホログラフィック・オプティカル・システムの物体平面および画像平面が物体領域および参照領域にスプリットされているいわゆるスプリット開口構成としても知られている。検出器の平面である画像平面において、参照画素は、シャープな画像を形成し、ブロックされる。同様の透過型、同軸スプリット開口システムが米国特許第6, 1 0 8, 1 1 0号に開示されている。

#### 【0005】

読み出しの間、参照光は部分的に画像ゾーン内に回折する。これは図1に描かれており、図1は、物体光の無い、回折した参照光のモデルを示している。データ画素は全てオフになっている。図1のパートa)は、リニア・スケーリングを使用し、パートb)は、対数スケーリングを使用している。この回折ノイズの発生する理由は、光学システムのローパス・フィルタの挙動である。光学システムの射出瞳は、高周波数成分をシャープにカットする。このシャープなカットにより、参照光が検出器表面上に広がる。これは、参照光回折ノイズに対する画像パターンの十分なS N ( s i g n a l - t o - n o i s e ) 比を達成するためには、高回折効率が必要であることを意味する。従来のセットアップ(構成)では、参照光のエネルギーの大体0.1%が画像領域に回折される。実用的に許容される回折効率である $10^{-6} \sim 10^{-5}$ では、これは、回折ノイズの合計エネルギーが数倍(通常は50~500倍)再構築されたデータ・パターンの合計エネルギーよりも大きくなることを意味する。図1より分かるように、画像サークルの中間部でS N比は良好であり、外縁部に近づくにつれてS N比は悪くなる。低エラー・レートを達成するために、高い回折効率が必要であり、これは、ホログラフィック・ストレージ材料に強い屈折率の格子が記録されることを要する。

#### 【0006】

結果として、コリニア構成は非常に良好な選択性を有するが、そのS N比は限られている。さらなる詳細については、Horimai et al.著「Collinear holography」、Appl. Opt. Vol. 44, 2575-2579およびHorimai et al.著「High-density recording storage system by Collinear holography」Proc. SPIE 6187, 618701を参照されたい。S N比が限定される結果としてデータ密度が材料のダイナミック・レンジによって限定されたままととなる。なぜならば、十分に高い回折効率を有する多数のホログラムの多重化を実行することができないからである。

#### 【0007】

ノイズ発生の主要因は、高周波数成分のシャープなカットである。従って、物体空間開口数 ( o b j e c t   s p a c e   n u m e r i c a l   a p e r t u r e )、換言すれば、フーリエ平面フィルタの半径を増大させることによって、高周波数成分がシャープにカットされたままでは、十分な効果が得られない。表1は、フーリエ平面フィルタの複数の異なる半径での、参照光の合計パワーによって分割された画像領域内のノイズの合計パワーを示している。表において、各半径は、以下のように定義されるナイキスト開口 ( N y q u i s t   a p e r t u r e ) に関連して与えられる。

$$D_N = f \times \quad / \text{画像サイズ}$$

#### 【0008】

ここで、 $f$ はフーリエ対物レンズの焦点距離である。波長は、ストレージ材料において測定される。 $1.6$ の因数によってフィルタの半径を $0.67 \times D_N$ から $1.07 \times D_N$ に増加させたものは、ノイズが当初の値の $1/30$ に減少することが分かるであろう。 $= 267 \text{ nm}$ (材料の屈折率は、 $n = 1.5$ )、 $f = 7 \text{ mm}$ 、および画素サイズ $12 \mu\text{m}$ のシステムでは、直径が $249 \mu\text{m}$ から $398 \mu\text{m}$ に増加することを意味する。しかしながら、ノイズは、依然として再構築された物体光と同程度の大きさであり、十分ではない。さらに、この解決法には、物体空間内のより大きな開口数N Aを有する良好なレンズ・

10

20

30

40

50

システムが必要になるという欠点がある。

【表 1】

FPフィルタ 半径/ $D_N$	ノイズ比
0.67	4.58E-04
0.73	3.10E-04
0.80	2.03E-04
0.87	1.16E-04
0.93	5.87E-05
1.00	2.43E-05
1.07	1.29E-05
1.13	2.24E-05
1.20	4.70E-05
1.27	8.59E-05

表 1：フーリエ平面フィルタの複数の異なる半径での、参照光の合計パワーによって分割された画像領域内のノイズの合計パワー

【0009】

Kimura 著「Improvement of the optical signal-to-noise ratio in common-path holographic storage by use of a polarization-controlling media structure」、Opt. Lett., Vol. 30, 2005においては、参照光から発せられるノイズを抑制する偏光方法が開示されている。この解決法によれば、再構築された物体光および参照光が直交偏光される。参照光によって発生したノイズは、偏光フィルタによって抑制される。この解決法は、ホログラフィック・ストレージ材料の頂部および底部に四分の一波長板を用いた複雑なホログラフィック・ストレージ媒体構造を必要とする。偏光に基づく抑制効率は、開口数  $NA$  に依存する。抑制は、開口数  $NA$  が小さい場合のみに適切に機能する。しかしながら、高データ密度ストレージのためにフーリエ平面において大きな開口数  $NA$  が必要である。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0010】

本発明の目的は、同軸構成を用いたホログラフィック・ストレージ媒体の読み出しおよび/または書き込みをするための装置において参照光回折ノイズを低減するためのさらなる解決法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明によれば、この目的は、ホログラフィック・ストレージ媒体の読み出しおよび/または書き込みをするための装置であって、参照光および物体光、または再構築された物体光のコリニア・スプリット開口構成を有し、参照光のためのアポダイゼーション・フィルタを含む装置によって達成される。アポダイゼーションとは、例えば、開口のエッジに対する減衰を強めて開口のエッジをソフトにすることにより、光学システムの開口の振幅透過率を変更することを意味する。読み出しの間に参照光回折ノイズが同軸スプリット開口ホログラフィック構成の画像領域に生じる。このノイズは、光学システムの伝達関数の限られた帯域幅により発生し、これにより、参照光の画素が物体領域に広げられる。アポダイゼーション・フィルタが使用されているときには、参照光の回折ノイズの大きさは2桁分程軽減される。アポダイゼーションによって参照光回折ノイズが低減されている場合

には、アポダイゼーション無しに記録されたホログラムの場合と比べて、記録されたホログラムの回折効率が数百分の1でも、ノイズ比が同じ信号を発生させることができる。これにより、ホログラムの記録中に得ることが必要な屈折率の変化が小さくなり、アポダイゼーション無しの値の $1/20 \sim 1/30$ となる。換言すれば、データ密度が $20 \sim 30$ の因数によって増加する上、ホログラフィック・ストレージ材料の飽和レベルが同一に維持される。さらに、改良されたホログラフィック・ストレージ材料の発達により、高いM#を有する場合、即ち、ダイナミック・レンジが高い場合、アポダイゼーションによる必要なエネルギーの低減により、ホログラフィック・ストレージ材料の非リニアなドメインが回避される。これにより、書き込み時間が短くなる。

#### 【0012】

10

好ましくは、アポダイゼーション・フィルタの透過率は、カット・オフ半径の周りの内径から外径の範囲で緩やかに減少する。緩やかな減少は、一次関数、二次関数、または、ガウス関数のいずれかに従うものである。勿論、他の関数を使用することもできる。透過率の緩やかな減少により、参照光の各画素が広がるが、参照光回折ノイズを検出器上の再構築された物体光の領域からの長い距離に閉じ込める。シミュレーションでは、緩やかな減少の範囲は、ナイキスト開口 $D_N$ の $5.4\% \sim 27\%$ の間にあり、カット・オフ半径がナイキスト開口の $0.67 \sim 1.27$ 倍の間にある。

#### 【0013】

アポダイゼーション・フィルタは、 $4f$ システムのフーリエ平面に位置するとよい。これには、アポダイゼーション・フィルタが光路に対して非常に簡単に調節できるという利点がある。さらに、アポダイゼーション・フィルタがフーリエ平面に位置するとき、アポダイゼーション効果が全ての画素に対して対称となる。結果として再変換された画像は均質である。フィルタがフィルタ平面からシフトされたとすると、アポダイゼーションの効果は、中央の画素と、物体平面の近傍の画素とで異なるものとなるであろう。これは、再変換された画像において、均質でないフィルタがかけられた画素が発生することとなる。

20

#### 【0014】

好ましくは、物体光および参照光は、少なくとも部分的に別個の光路を有し、アポダイゼーション・フィルタは、参照光の別個の光路に配置される。このように、アポダイゼーション・フィルタは、参照光のみに作用し、エラー・レートを増加させるような物体光のアポダイゼーションが回避される。

30

#### 【0015】

物体光および参照光を分離するために、装置が参照光の偏光を変更するリング状の半波長板と、偏光ビーム・スピリッタとを有することが好ましい。半波長板は、物体光の偏光には影響を与えることなく、物体光および参照光は、異なる偏光を有する。従って、偏光ビーム・スピリッタを用いて物体光および参照光は容易に分離される。

#### 【0016】

装置が参照光の偏光を変更するための中間物体平面内のリング状の半波長板をさらに有するとよい。このようにすることにより、参照光および物体光が同一の偏光を有し、光学システムの残りの部分で従来のコリニア・スプリット開口構成を使用することができる。

40

#### 【0017】

より良好な理解のために、図面を参照して、以下、本発明をより詳細に説明する。本発明がこの例示的な実施の形態に限定されるものではなく、本発明の範囲を逸脱することなく、特定の特徴事項を、適宜、組み合わせ、さらに/または、変更することもできることが理解できよう。

#### 【発明を実施するための最良の形態】

#### 【0018】

図2は、反射型の同軸スプリット開口ホログラフィック・ストレージ・システム1の従来の構成を簡略化したものを示している。書き込みの間、物体領域3と参照領域4に分けられた位相空間光変調器(SLM)2は、入射した光線(図示せず)から、書き込み光(

50

物体光 20 および参照光 21) を発生させる。SLM 2 上の物体領域 3 および参照領域 4 の構成は、図 3 に示されている。検出器の表面上で構成は同じである。書き込み光 20、21 は、対物レンズ 7 によってホログラフィック・ストレージ媒体 8 に集光される前に、偏光ビーム・スプリッタ (PBS: polarization beam splitter) ・キューブ 5 および四分の一波長板 6 を通過する。読み出しの間、ホログラフィック・ストレージ媒体は、参照光 21 のみによって照射される。このようにして、再構築された物体光 30 が得られ、これは、ホログラフィック・ストレージ媒体 8 の反射層 81 によって反射され、対物レンズ 7 によって平行光になるようにコリメートされる。参照光 21 もまた、反射層 81 によって反射され、対物レンズ 7 によって平行光になるようにコリメートされる。書き込み光 20、21 および読み出し光 (再構築された物体光 30 および反射した参照光 31) は、四分の一波長板 6 による直交偏光がある。従って、PBS キューブ 5 は、読み出しビーム 30、31 を検出器 9 に向かって屈折させる。検出器 9 の物体領域 10 の周りの光ストップ 11 は、反射された参照光 31 をブロックし、この反射された参照光 31 が検出器表面に到達しないようにする。空間周波数伝達関数のシャープなカットを有する光学システムの帯域幅が限られているため、反射された参照光 31 は、検出器 9 の物体領域 10 に広がる。ホログラフィック・ストレージ材料のダイナミック・レンジが限られているため、複数のホログラムがホログラフィック・ストレージ材料の同一のボリュームに多重化された場合、参照回折ノイズの強度は、再構築された物体光 30 の強度よりも 1 ~ 2 桁程大きくなる。これにより、SN 比が非常に小さい構成となる。

【0019】

図 4 は、本発明に係るコリニア・スプリット開口ホログラフィック・ストレージ・システムの第 1 の光学構成を示している。この構成は、追加の 4f リレー・システム 40 を含む。第 1 のフーリエ・レンズ 41 は、物体光 20 および参照光 21 をフーリエ平面内に変換する。第 2 のフーリエ変換レンズ 43 は、物体光 20 および参照光 21 を中間平面内に変換する。4f システム 40 のフーリエ・レンズ 41、43 の間の共通焦平面に位置するのは、特別の、いわゆるアポダイゼーション、または、フィルタ 42 (アポダイゼーション・フィルタとも呼ばれる) である。従来の構成のシャープなカットとは異なり、アポダイゼーション・フィルタ 42 は、緩やかに物体光 20 および参照光 21 のフーリエ変換の高周波数成分を抑制する。このように緩やかに抑制することにより、画素が広がるが、検出器 9 上の物体領域 10 から大きな距離に回折ノイズが閉じ込められる。Joseph W. Goodman 著、Fourier Optics, McGraw-Hill International Editions, pp152-154 も参照されたい。

【0020】

図 5 は、アポダイゼーション・フィルタ 42 の径方向の座標  $r$  の関数としてのアポダイゼーション・フィルタ 24 の透過率曲線を示している。比較のため、一点鎖線によって半径  $r_{cut}$  を有する単純な開口の透過率曲線を示す。アポダイゼーション・フィルタ 42 のエッジにおいて、内径  $r_{cut} - r_{apod}$  から開始して外径  $r_{cut} + r_{apod}$  に至るまで、透過率は、100% ~ 0% にリニアに減少する。勿論、この一次 (リニア) アポダイゼーション関数は、一例に過ぎない。例えば、放物線型、ガウス型など、他のタイプの透過率曲線も同様に使用することができる。単純なりニア・アポダイゼーション・フィルタ 42 を使用すると、回折ノイズは当初の値の  $1/200 \sim 1/800$  にまで低減される。この際、フィルタ半径が若干増加するだけである。シミュレーションの結果が以下の表 2 に示されている。

【表 2】

FPフィルタ 半径/ $D_N$	アポダイゼーション 無し	$D_N$ の-5.4%~+5.4% にアポダイゼーション	$D_N$ の-10.8%~+10.8% にアポダイゼーション
0.67	4.58E-04	2.07E-06	5.18E-07
0.73	3.10E-04	1.44E-06	3.63E-07
0.80	2.03E-04	9.22E-07	2.40E-07
0.87	1.16E-04	5.58E-07	1.61E-07
0.93	5.87E-05	2.86E-07	9.26E-08
1.00	2.43E-05	1.37E-07	5.95E-08
1.07	1.29E-05	8.79E-08	4.33E-08
1.13	2.24E-05	1.20E-07	4.48E-08
1.20	4.70E-05	2.15E-07	6.38E-08
1.27	8.59E-05	3.56E-07	9.06E-08

表 2：(FPフィルタの後の)参照光の合計のパワーによって分割される物体領域の中のノイズの合計パワー

【0021】

図6は、フーリエ平面および中間物体平面12内の参照光回折ノイズに対する複数の異なるアポダイゼーション・フィルタ42の効果を示している。上段は、アポダイゼーション・フィルタの透過を概略的に示している。中段は、フィルタがかけられた参照光21のフーリエ平面画像を示している。下段は、中間物体平面12におけるフィルタがかけられた参照光21を示している。各パートa)、b)、c)は、それぞれ、半径 $r_{cut} = 0.67 \times D_N$ の周りの $D_N$ の $\pm 0\%$ 、 $D_N$ の $\pm 5.4\%$ 、 $D_N$ の $\pm 10.8\%$ のアポダイゼーションを示す。アポダイゼーションが使用されたとき、参照光21の画像は、よりクリアに視認できる。モデル計算の際には、フーリエ平面の中心での高密度ピークを取り除くために、いわゆる「三相位相振幅(Ternary Phase-Amplitude)」変調が使用された。これは、ホワイ画素が2つの異なる位相を有し、ランダムな空間位相分布を有することを意味している。ホワイ画素の前半の位相は0であり、ホワイ画素の他方の半分の位相は $\pi$ である。従って、フーリエ変換された画像の中心における平均強度は存在しない。さらなる詳細については、L. Domjan et al.著「Ternary phase-amplitude modulation with twisted nematic liquid crystal displays for Fourier-plane light homogenization in holographic data storage」Optik Vol. 113(2002), pp382-390を参照されたい。

【0022】

$r_{cut} = 124.5 \mu m$ でセットアップされた単一のホログラム・シミュレーションの結果を以下の表3に示す。表の最初の行は、リファレンスとして挙げたものであり、エネルギーの「単位量(unit amount)」と結果として得られるSN比、シンボル・エラー・レート(SER: symbol error rate)、およびビット・エラー・レート(BER: bit error rate)が示されている。表の第2行、第3行より明らかなように、エネルギーを増加させることにより、SERが減少し、エネルギーを減少させることにより、悪い結果が生じる。リファレンスのノイズは、再構築された物体光のエネルギーに相当する。表の最後の2行は、参照光21のアポダイゼーションにより、シンボル・エラー・レートが低減され、結果として、ビット・エラー・レートが低減されることを示している。この際、アポダイゼーションにより使用されるエ

エネルギーが少なくなり、ホログラフィック・ストレージ材料のダイナミック・レンジをより良好に使用することが可能となる。なお、シミュレーションにおいて、物体光 20 にフィルタをかけるためにアポダイゼーションは使用されていない。

【表 3】

	SNR	SER	BER
アポダイゼーション無し $2 \times r_{out} / DN = 0.67$	1.15	25.4%	3.91%
アポダイゼーション無し 2倍以上のエネルギー	2.17	5.7%	0.72%
アポダイゼーション無し 1/4のエネルギー	0.67	67.9%	13.0%
アポダイゼーション ( $D_N$ の 10.8%) 1/4のエネルギー	2.21	4.0%	0.50%
アポダイゼーション ( $D_N$ の 10.8%) 1/20のエネルギー	2.19	4.2%	0.52%

表 3：SN比および各エラー・レートに対するアポダイゼーションの影響

【0023】

図 4 の光学構成においては、アポダイゼーションは、物体光 20 および参照光 21 の両方に適用される。しかしながら、物体光 21 のアポダイゼーションは、読み出し画質を若干低下させる。図 7 は、この欠点を克服する本発明に係るコリニア・スプリット開口ホログラフィック・ストレージ・システムの第 2 の光学構成を示している。この構成においては、参照光 21 は、物体光 20 とは独立してアポダイズされる。SLM2 は、S 偏光されたビームによって照射される。PBS キューブ 13 は、S 偏光された物体光 20 をフーリエ・レンズ 16 に向かって反射する。このレンズ 16 のフーリエ平面に位置しているのは、四分の一波長板を有する反射型フーリエ・フィルタ 17 である。フーリエ変換され、フィルタがかけられ、反射した物体光 20 は、再びフーリエ・レンズ 16 および PBS キューブ 13 を通過する。フーリエ・レンズ 16 は、フィルタがかけられた物体光 21 を中間物体平面 12 内に再変換する。SLM2 の参照領域 4 に位置するのは、リング状の半波長板 14 である。従って、参照光 21 は、半波長板 14 の後、P 偏光される。P 偏光された参照光 21 は、PBS キューブ 13 を通過し、標準的な 4f フーリエ変換、再変換システム 40 に入る。このシステム 40 は、2 つのフーリエ・レンズ 41、43 からなる。アポダイゼーション・フィルタ 42 は、この 4f システム 40 の内側（共通）焦平面に位置する。物体光 20 および参照光 21 は、独立した光路を通り、アポダイゼーション・フィルタ 42 は、参照光に対してのみ作用する。4f システムの後方焦平面に配置されているのは、四分の一波長板を有するリング状のミラー 18 である。従って、反射された参照光 21 は S 偏光される。4f システム 40 は、反射された、S 偏光された参照光 21 を PBS キューブ 13 を介して中間物体平面 12 上に撮像する。中間物体平面 12 における参照光 21 の領域において、別のリング状半波長板 15 が存在する。この半波長板 15 は、S 偏光された参照光 21 を P 偏光された参照光 21 に変換する。従って、アポダイズされた参照光 21、そして、独立してフーリエ・フィルタがかけられた物体光 20 は、中間物体平面 12 の後に同じ偏光を有する。この構成の残りの部分は、図 2 に示す光学構成と同様に作用する。



## 【 0 0 2 4 】

本発明に係るコリニア・スプリット開口ホログラフィック・ストレージ・システムの第3の光学構成が図8に例示されている。再び、参照光21は、物体光20とは独立してアポダイズされる。物体光20および参照光21の分離は、図7に示すものと同様である。この構成においては、アポダイゼーション・フィルタ42は、反射型フィルタであり、四分の一波長板を含む。

## 【 0 0 2 5 】

図7および図8の実施の形態においては、折り畳まれた4fシステムが物体アーム内に配置されている。この場合、ミラーおよび四分の一波長板がフーリエ・レンズ16の後方焦平面内に配置されている。さらに、透過型フーリエ・フィルタが反射型フーリエ・フィルタ17によって置き換えられている。

## 【 0 0 2 6 】

上述した実施の形態においては、透過型SLM2が使用される。勿論、この解決法は、反射型SLMを用いても機能する。この場合、1つ以上のPBSキューブがSLMの照射のために設けられる必要がある。

## 【図面の簡単な説明】

## 【 0 0 2 7 】

【図1】図1は、画像領域内への参照光回折のモデルを示す図である。

【図2】図2は、反射型コリニア・スプリット開口ホログラフィック・ストレージ・システムの従来の構成を描いた図である。

【図3】図3は、SLMまたは検出器の参照領域および物体領域の構成を示す図である。

【図4】図4は、本発明に係るコリニア・スプリット開口ホログラフィック・ストレージ・システムの第1の光学構成を示す図である。

【図5】図5は、アポダイゼーション・フィルタの透過率曲線を示す図である。

【図6】図6は、フーリエ平面および中間物体平面における参照光回折ノイズに対する複数の異なるアポダイゼーション・フィルタの影響を示す図である。

【図7】図7は、本発明に係るコリニア・スプリット開口ホログラフィック・ストレージ・システムの第2の光学構成を示す図である。

【図8】図8は、本発明に係るコリニア・スプリット開口ホログラフィック・ストレージ・システムの第3の光学構成を示す図である。

## 【符号の説明】

## 【 0 0 2 8 】

- 1     ホログラフィック・ストレージ・システム
- 2     位相空間光変調器 ( S L M )
- 5     偏光ビーム・スプリッタ・キューブ
- 6     4分の1波長板
- 7     対物レンズ
- 8     ホログラフィック・ストレージ媒体
- 9     検出器
- 10    物体領域
- 11    光ストップ
- 12    中間物体平面
- 13    PBSキューブ
- 14    半波長板
- 15    半波長板
- 16    フーリエ・レンズ
- 17    反射型フーリエ・フィルタ
- 18    リング状ミラー
- 20    物体光
- 21    参照光

10

20

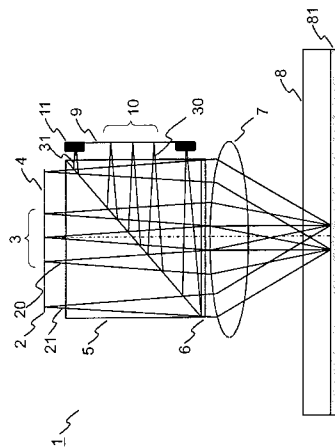
30

40

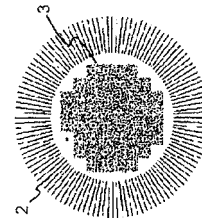
50

- 3 0 物体光
- 3 1 参照光
- 4 0 4 f リレー・システム
- 4 1 第 1 のフーリエ変換レンズ
- 4 2 アポタイゼーション・フィルタ
- 4 3 第 2 のフーリエ変換レンズ
- 8 1 反射層

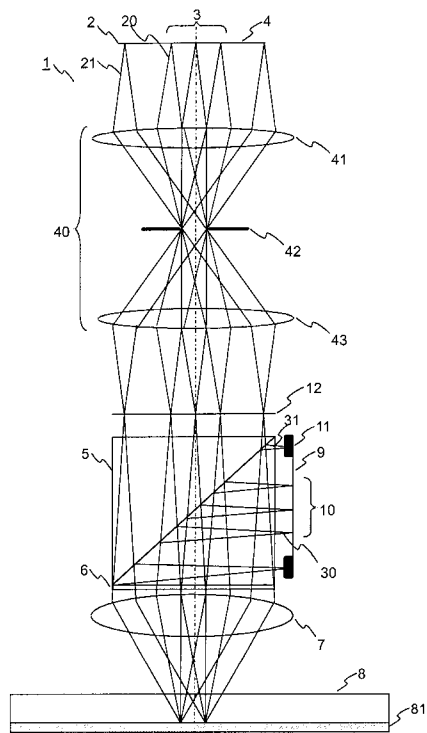
【図 2】



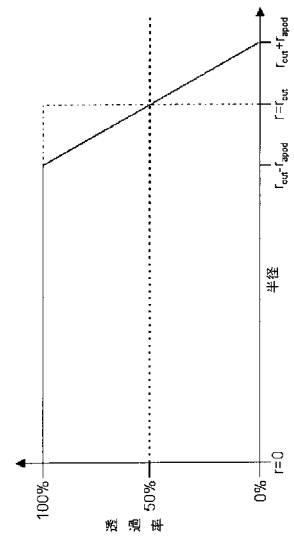
【図 3】



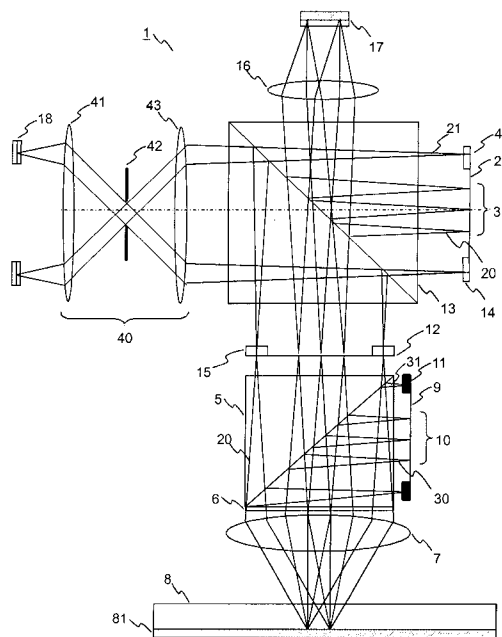
【図 4】



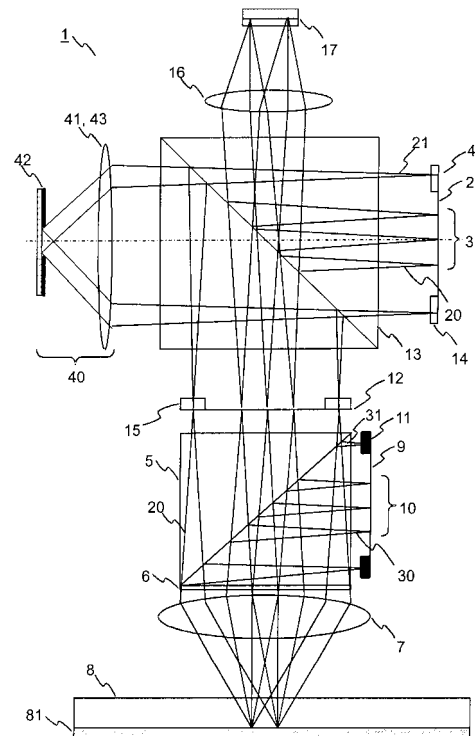
【図 5】



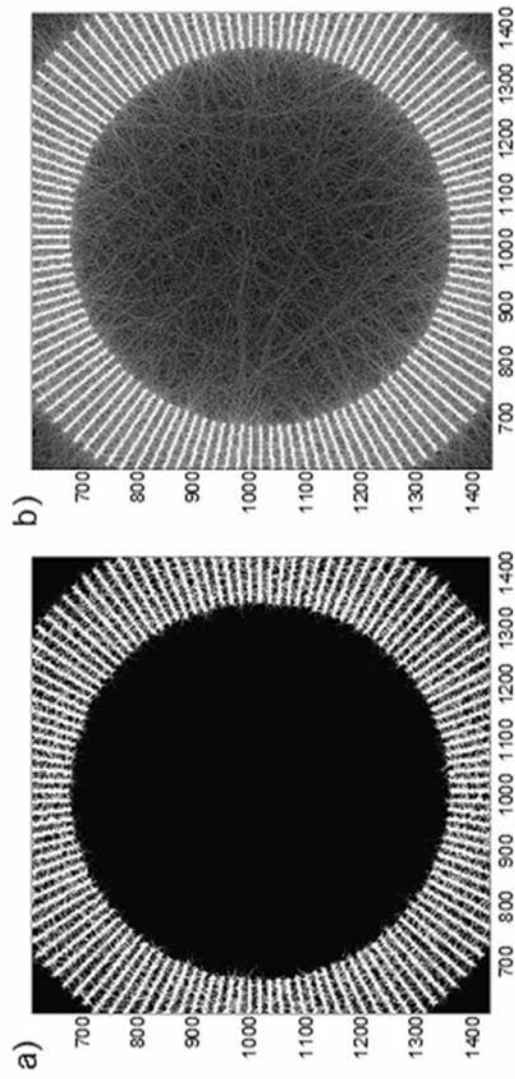
【図 7】



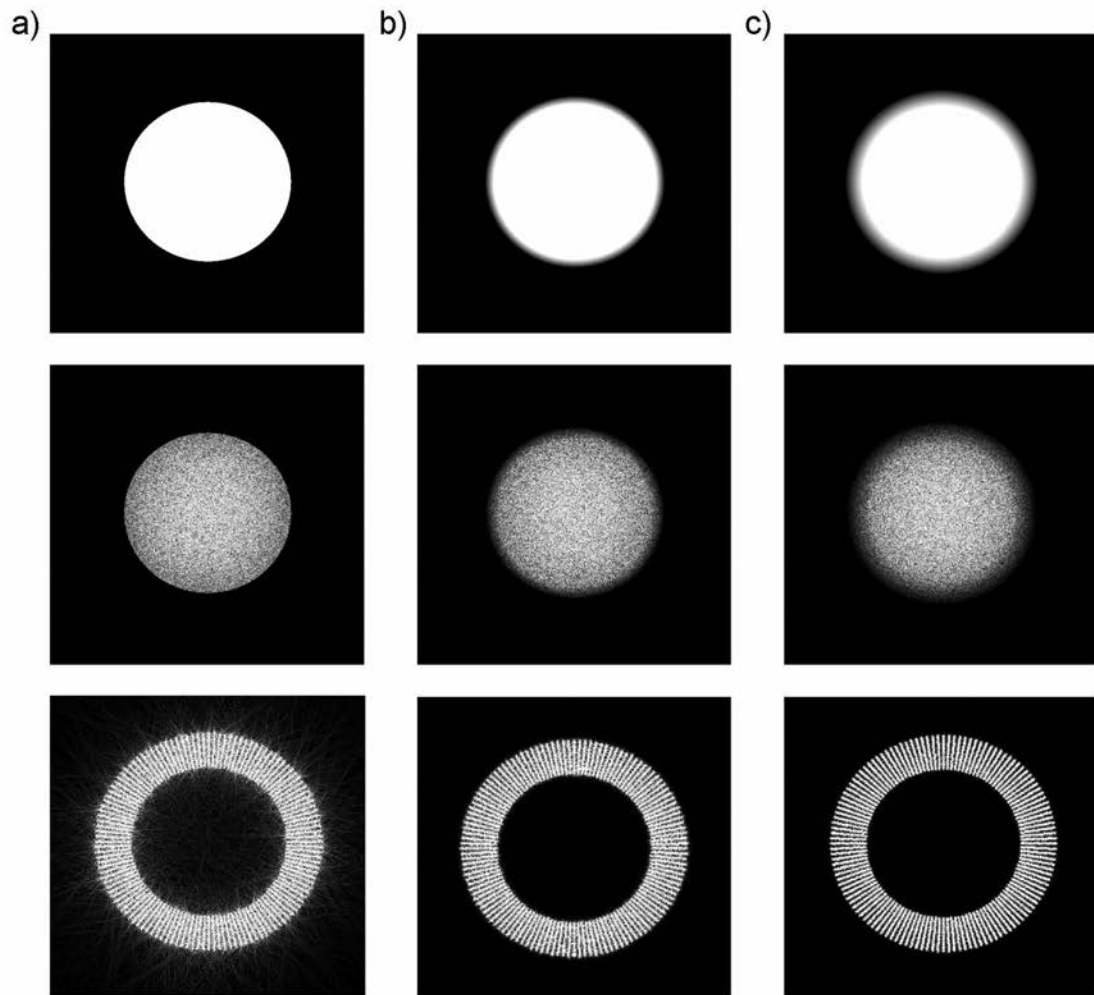
【図 8】



【図 1】



【図 6】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 バンコ クリスチアン  
ハンガリー国 8400 アイカ フオ・ウート 38
- (72)発明者 カルパティ ゾルタン  
ハンガリー国 7626 ペーチ タボル・ウトツァ 6
- (72)発明者 サボルチ カウトニ  
ハンガリー国 1112 ブダペスト ゴーヨミ・ウート 40 / ビー

審査官 早川 卓哉

- (56)参考文献 国際公開第2004/102541(WO, A1)  
特表2007-502501(JP, A)  
特開2006-194969(JP, A)  
特開2006-039134(JP, A)  
特開2001-330732(JP, A)  
欧州特許第1914734(EP, B1)  
米国特許第7804631(US, B2)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)  
G11B7/0065  
G11B7/12-7/22  
G03H1/00-5/00