

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6250535号
(P6250535)

(45) 発行日 平成29年12月20日 (2017.12.20)

(24) 登録日 平成29年12月1日 (2017.12.1)

(51) Int. Cl.	F I
GO3H 1/26 (2006.01)	GO3H 1/26
GO2B 5/18 (2006.01)	GO2B 5/18
GO2B 5/32 (2006.01)	GO2B 5/32
GO3H 1/04 (2006.01)	GO3H 1/04

請求項の数 36 (全 37 頁)

(21) 出願番号	特願2014-514051 (P2014-514051)	(73) 特許権者	507230267
(86) (22) 出願日	平成24年6月6日 (2012.6.6)		シーリアル テクノロジーズ ソシエテ
(65) 公表番号	特表2014-519060 (P2014-519060A)		アノニム
(43) 公表日	平成26年8月7日 (2014.8.7)		SEEREAL TECHNOLOGIE
(86) 国際出願番号	PCT/EP2012/060684		S S. A.
(87) 国際公開番号	W02012/168293		ルクセンブルグ大公国 ムンスバッハ エ
(87) 国際公開日	平成24年12月13日 (2012.12.13)		ルー5366, ル プリンシパル, 21
審査請求日	平成27年5月11日 (2015.5.11)		2
(31) 優先権主張番号	102011076945.5	(74) 代理人	100076428
(32) 優先日	平成23年6月6日 (2011.6.6)		弁理士 大塚 康德
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)	(74) 代理人	100112508
(31) 優先権主張番号	102011051213.6		弁理士 高柳 司郎
(32) 優先日	平成23年9月22日 (2011.9.22)	(74) 代理人	100115071
(33) 優先権主張国	ドイツ (DE)		弁理士 大塚 康弘

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 薄型体積格子スタックを積層生成する方法及び装置、並びにホログラフィックディスプレイのビームコンバイナ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

露光光の事前設定可能な波長 (λ) に対して感光する少なくとも1つの感光性の層を有する記録媒体 (AZM) において、少なくとも1つの体積格子 (VG) を、露光により積層生成するための方法であって、

干渉を生成可能なコヒーレント光の少なくとも2つの波面 (WF1、WF2) により、各体積格子 (VG) を前記記録媒体 (AZM) において生成するステップと、

前記記録媒体 (AZM) において、事前設定可能な深さ (z) と事前設定可能な角度 (2θ) とにおいて事前設定可能な干渉コントラスト ($V(z)$) で前記波面 (WF1、WF2) を重ね合わせるステップと、

前記記録媒体 (AZM) の前に配置されており、光源 (LS) によって生成されるコリメートされた波動場 (PW) によって照明される、マスタ格子 (G) によって、前記コリメートされた波動場 (PW) を回折することによりコヒーレント光の前記少なくとも2つの波面 (WF1、WF2) を生成するステップと、

前記記録媒体 (AZM) における体積格子 (VG) の屈折率変調と透明度変調との少なくともいずれかの深さ (z) 及び厚さを、光伝播方向 (z) において、干渉する波面 (WF1、WF2) の空間的コヒーレンス度と時間的コヒーレンス度との少なくともいずれか (Γ) の深さ別の制御により、制御するステップと、

を有し、

前記記録媒体 (AZM) の事前設定可能な深さの範囲における前記干渉コントラスト (

$V(z)$ の事前設定可能な深さに応じたプロファイルを生じさせる振幅格子 (AG) と位相格子 (PG) との少なくともいずれかが、前記マスタ格子 (G) を照明する前記光源 (LS) の面に配置される、

ことを特徴とする方法。

【請求項 2】

前記マスタ格子 (G) の下流側に、前記マスタ格子 (G) において前記コリメートされた波動場 (PW) の回折により得られると共にさらに下流側へ伝播する前記波動場 (WF1、WF2) の間に、前記光伝播方向 (z) において相対的に横方向のオフセット ($s(z)$) (せん断) が存在し、前記せん断が、前記照明する波動場 (PW) の予め定められた複素値の空間コヒーレンス関数と時間コヒーレンス関数との少なくともいずれか (Γ) によって、干渉する前記波動場 (WF1、WF2) の前記干渉コントラスト ($V(z)$) の事前設定可能な深さに応じたプロファイルを引き起こす、

ことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

干渉する前記波動場 (WF1、WF2) は、同一の前記コリメートされた波動場 (PW) の、前記マスタ格子 (G) における回折の異なる回折次数により得られる、

ことを特徴とする請求項 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記記録媒体 (AZM) の前記事前設定可能な深さ (z) に存在する前記干渉コントラスト ($V(z)$) は、前記体積格子 (VG) の角度選択性 ($\eta(\theta)$) と波長選択性 ($\eta(\lambda)$) との少なくともいずれかを制御することを可能とするとともに当該体積格子 (VG) の当該角度選択性 ($\eta(\theta)$) と波長選択性 ($\eta(\lambda)$) との少なくともいずれかのサイドピークを事前設定可能な方式で抑制することを可能とする、アポダイゼーション関数に一致する事前設定可能な屈折率変調と透明度変調との少なくともいずれかの形式で、前記記録媒体 (AZM) において前記体積格子 (VG) を生成する、

ことを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 5】

マスタ格子 (G) を照明する前記光源 (LS) の面 (E) に配置される前記振幅格子 (AG) と前記位相格子 (PG) は、振幅分布と位相分布との少なくともいずれか又はアポダイゼーション関数を用いて重ね合わされた振幅分布と位相分布との少なくともいずれかを表す複素値の光学的透明度関数を有する光学素子である、

ことを特徴とする請求項 2 から 4 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 6】

事前設定可能な深さ (z) において生成可能な前記体積格子 (VG) の角度選択性 ($\eta(\theta)$) と波長選択性 ($\eta(\lambda)$) との少なくともいずれかが、2 乗 $\sin c$ 関数、2 乗余弦関数、2 乗ガウス関数、又は 2 乗近似矩形関数の形状を有するアポダイゼーション関数を用いて調整される、

ことを特徴とする請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 7】

事前設定可能な深さ (z) において生成可能な前記体積格子 (VG) の角度選択性 ($\eta(\theta)$) が前記体積格子の厚さにより制御可能であるか、前記記録媒体 (AZM) が少なくとも 2 つの体積格子 (VG) を当該記録媒体 (AZM) に記録することを可能とする事前設定可能な厚さ (D) を有するかの少なくともいずれかであり、前記体積格子 (VG) は、前記光伝播方向に順次又は交互に配置される、

ことを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 8】

複数の事前設定可能な深さ (z) において生成可能な複数の体積格子 (VG) は、特定の事前設定可能な光波長 (λ) に対して、回折により当該波長の光のみに影響を与えるために、それぞれが設計される、

ことを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 9】

動的に制御可能な振幅格子と位相格子との少なくともいずれかを前記光源 (LS) の面 (E) に配置することにより、前記記録媒体 (AZM) における前記露光光の強度変調の深さアポダイゼーションと深さ分離との少なくともいずれかが、動的に制御される、
ことを特徴とする請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 10】

前記記録媒体 (AZM) における前記体積格子 (VG) の前記屈折率変調 ($n_1(z)$) のプロファイルは、前記マスタ格子 (G) を照明する前記光源 (LS) の面 (E) において、振幅分布と位相分布との少なくともいずれかによる複素振幅の事前設定可能な調整によって定められる、
ことを特徴とする請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の方法。

10

【請求項 11】

前記マスタ格子 (G) は、照明される面が前記体積格子 (VG) 用の前記記録媒体 (AZM) の表面の一部である表面プロファイル格子、又は当該表面と一致するような表面プロファイル格子の形式で提供される、
ことを特徴とする請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 12】

マスタ格子 (G) を照明する光源 (LS) の面 (E) において位相分布と振幅分布との少なくともいずれかの非対称性を導入することにより、前記記録媒体 (AZM) において、前記屈折率変調 ($n_1(z)$) の非対称形プロファイルが生成される、
ことを特徴とする請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の方法。

20

【請求項 13】

前記記録媒体 (AZM) は開始剤を有し、前記露光光の一定光部分が前記記録媒体 (AZM) の前記開始剤を活性化するのに用いられる、
ことを特徴とする請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 14】

切り替え可能な体積格子 (VG) の生成のために、光学的又は電氣的にアドレス指定可能な材料が前記記録媒体 (AZM) として用いられる、
ことを特徴とする請求項 1 から 13 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 15】

平面波から平面波、平面波から球面波の再構成構造を有する前記体積格子 (VG) が生成される、
ことを特徴とする請求項 1 から 14 のいずれか 1 項に記載の方法。

30

【請求項 16】

反射光が非反射光と構造的に干渉しえなくなるように、前記露光光の空間的コヒーレンス特性と時間的コヒーレンス特性とのすくなくともいずれか (Γ) が選択される、
ことを特徴とする請求項 1 から 15 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 17】

マスタ格子 (G) を照明する光源 (LS) の面 (E) に、連続的かつ周期的に変動する周期を有する位相格子 (PG) が配置される、
ことを特徴とする請求項 1 から 16 のいずれか 1 項に記載の方法。

40

【請求項 18】

事前設定された方向において事前設定された角度範囲と波長範囲との少なくともいずれかを偏向させるために前記記録媒体 (AZM) において少なくとも 2 つの位相シフトされた体積格子 (VG1、VG2) が生成されるか、前記記録媒体 (AZM) における深さ (z) において体積格子 (VG) がずらされるように当該体積格子 (VG) が生成されるか、の少なくともいずれかであり、前記体積格子のそれぞれは光パルスの遷移時間差を補償するために異なる波長に作用する、
ことを特徴とする請求項 1 から 17 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 19】

50

前記記録媒体 (A Z M) の事前設定された深さ (z) における事前設定された形状と厚さでの体積格子 (V G) の記録が、前記記録媒体において表面から内側に向かって開始剤を化学的又は光学的に使い尽くすことによって達成される、

ことを特徴とする請求項 1 から 18 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 20】

前記記録媒体の伝達関数が非線形である場合、前記屈折率変調 ($n_1(z)$) の事前設定されたプロファイルを得るために前記干渉コントラスト ($V(z)$) が変更される、

ことを特徴とする請求項 1 から 19 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 21】

前記記録媒体 (A Z M) における前記屈折率変調 ($n_1(z)$) の深さ分離と深さアポダイゼーションとの少なくともいずれかが、前記露光光の時間的コヒーレンス度 (Γ) のうなり関数を用いて生成され、時間的コヒーレンス度 (Γ) の前記うなり関数は、前記露光光において、前記光源 (L S) の少なくとも 2 つの分離されたスペクトル範囲を用いて生成される、

ことを特徴とする請求項 1 から 20 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 22】

時間的コヒーレンス度 (Γ) の前記うなり関数の包絡線は、前記光源 (L S) のスペクトル分布の区分の形状により定められる、

ことを特徴とする請求項 21 に記載の方法。

【請求項 23】

事前設定可能な干渉コントラスト ($V(z)$) が、入射波面と、前記記録媒体 (A Z M) の出力側の面に直接隣接して配置される方向別の反射媒体から反射されるその反射波面 (P W) との重ねあわせにより前記記録媒体 (A Z M) において生成される、

ことを特徴とする請求項 1 から 22 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 24】

複製による体積格子 (V G) の生成のために、少なくとも 1 つの制御可能な P D L C 格子がマスタ格子 (G) として使用される、

ことを特徴とする請求項 1 から 23 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 25】

少なくとも 1 つの金属干渉フィルタ、透過型又は反射型誘電体層スタック、固定又は可変ファブリペロー干渉フィルタ、透過型又は反射型体積格子、又は変形分光計が、前記露光光のためのスペクトルフィルタとして使用される、

ことを特徴とする請求項 1 から 24 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 26】

事前設定された距離における長手方向において制限されたサイズを有すると共に対称型アポダイゼーションプロファイルを有する体積格子 (V G) が、前記記録媒体 (A Z M) における前記干渉コントラスト ($V(z)$) の事前設定されたうなりの区分を用いて生成される、

ことを特徴とする請求項 1 から 25 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 27】

入射波 (P W) と、前記記録媒体 (A Z M) の射出面に直接接触して配置される反射面から反射される反射波との間で干渉が生じるように、前記記録媒体 (A Z M) において生成可能な干渉コントラスト ($V(z)$) の横方向幅における干渉する波面の伝播方向の間の角度 (θ) により生じる光路差 (O P D) の影響が無効化される、

ことを特徴とする請求項 1 から 26 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 28】

事前設定可能な厚さを有した少なくとも 2 つの体積格子 (V G 1、V G 2) を有し、光変調器 (S L M) の画素 (R G B 1、R G B 2) により放射される光を重ねあわせるために供される記録媒体 (A Z M) を有するビームコンバイナの製造方法であって、

前記方法は、請求項 1 から 27 のいずれか 1 項に記載の方法を用いて、前記記録媒体 (

10

20

30

40

50

A Z M)において、前記体積格子 (V G 1、V G 2) を生成するステップを有する、
ことを特徴とする方法。

【請求項 2 9】

前記体積格子 (V G 1、V G 2) は、事前設定可能な幅とプロファイルとの少なくとも
いずれかを有する角度選択性 (η (θ)) を有する、
ことを特徴とする請求項 2 8 に記載の方法。

【請求項 3 0】

前記ビームコンバイナは、光伝播方向において順次配置される 2 つの体積格子スタック
(V G S 1、V G S 2) をさらに有し、前記体積格子スタックのそれぞれは、原色 (R G
B) に対して事前設定可能な厚さを有した 3 つの偏光選択性及び波長選択性の体積格子 (V G 1、V G 2、V G 3、V G 4、V G 5、V G 6) を有し、前記 2 つの体積格子スタック (V G S 1、V G S 2) は、別の事前設定可能な厚さを有するスペーサ層 (S) により分離される、

ことを特徴とする請求項 2 8 又は 2 9 に記載の方法。

【請求項 3 1】

光伝播方向に見て前記ビームコンバイナ (B C) の後に開口絞りが備えられる場合、ス
ペーサ層 (S) を含む体積格子スタック (V G S 1、V G S 2) の全体の厚さが、事前設
定された値を超えず、3 原色 (R G B) の全てと、前記体積格子スタック (V G S 1、V
G S 2) の 6 つの体積格子 (V G 1、V G 2、V G 3、V G 4、V G 5、V G 6) の全て
に対して、0. 1 ° 未満の再構成構造の角度許容差が維持される、

ことを特徴とする請求項 2 8 から 3 0 のいずれか 1 項に記載の方法。

【請求項 3 2】

データ又は安全特徴を記録するために請求項 1 から 2 7 のいずれか 1 項に記載の方法を
実行する方法であって、

前記データ又は安全特徴を体積格子 (V G) の形式で記録媒体 (A Z M) への記録中に
、角度多重と波長多重との少なくともいずれかに加え、深さ (z) 多重が実現され、又は
、

角度選択性 (η (θ)) と波長選択性 (η (λ)) との少なくともいずれかのサイドブ
ークが抑制されるように、前記角度選択性 (η (θ)) と波長選択性 (η (λ)) との少
なくともいずれかのプロファイルが事前設定可能である、

ことを特徴とする方法。

【請求項 3 3】

光源 (L S) と光線分割器手段 (G) とを用いて、露光により記録媒体 (A Z M) にお
いて少なくとも 1 つの体積格子 (V G) を積層生成する装置であって、前記記録媒体 (A
Z M) は露光光の事前設定可能な波長 (λ) に対して感光する少なくとも 1 つの感光層を
有し、

前記光線分割器手段 (G) は、マスタ格子であり、光源 (L S) によって放射された前
記露光光が、前記マスタ格子 (G) における回折によって、干渉を発生させることができ
るコヒーレント光の少なくとも 2 つの波面 (W F 1、W F 2) に分割可能であるように、
設計され、前記記録媒体 (A Z M) の前に配置され、前記光源 (L S) により生成される
コリメートされた波動場で照明され、

前記体積格子 (V G) のそれぞれは、干渉を発生させることができるコヒーレント光の
前記少なくとも 2 つの波面 (W F 1、W F 2) により、前記記録媒体 (A Z M) において
生成可能であり、

干渉を発生させることができるコヒーレント光の前記少なくとも 2 つの波面 (W F 1、
W F 2) は、前記記録媒体 (A Z M) 中で、事前設定可能な角度 (2θ)、事前設定可能
な深さ (z) において、事前設定可能な干渉コントラスト (V (z)) で重ね合わせるこ
とができ、

前記記録媒体 (A Z M) における体積格子 (V G) の屈折率変調と透過度変調との少な
くともいずれかの深さ (z) 及び厚さは、光伝播方向 (z) において、干渉する前記波面

10

20

30

40

50

の空間的コヒーレンス度と時間的コヒーレンス度との少なくともいずれか（Γ）を深さ別に制御することにより制御可能であり、

前記記録媒体（AZM）の事前設定可能な深さの範囲における前記干渉コントラスト（V（z））の事前設定可能な深さに応じたプロファイルを生じさせる振幅格子（AG）と位相格子（PG）との少なくともいずれかが、前記マスタ格子（G）を照明する前記光源（LS）の面に配置される、

ことを特徴とする装置。

【請求項 3 4】

前記光線分割器手段（G）は、回折格子又は表面プロファイル格子を有する、

ことを特徴とする請求項 3 3 に記載の装置。

10

【請求項 3 5】

請求項 1 から 2 7 のいずれか 1 項に記載の方法を実行することを特徴とする請求項 3 3 又は 3 4 に記載の装置。

【請求項 3 6】

少なくとも 2 つの体積格子（VG1、VG2）を有する記録媒体（AZM）を有するホログラム要素を生成する方法であって、請求項 1 から 2 7 のいずれか 1 項に記載の方法を用いて前記ホログラム要素を生成するステップを有する、

ことを特徴とする方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

20

【0001】

本発明は、薄型体積格子スタックを積層生成する方法及び装置に関する。更に、本発明は、ホログラフィックディスプレイのビームコンバイナに関する。

【背景技術】

【0002】

回折光学素子（DOE）は、ホログラフィック直視型ディスプレイの製造時に特別な役割を果たしている。事前設定可能な厚さを有する透明な膜の形で通常提供されるこれらの素子は、大面積光変調器（SLM）などの像生成デバイスから入射する光線に対して、屈折を通じてではなく、回折効果を通じて影響を与える。そのため、投影型ディスプレイとは異なり、光路中の光伝播方向に見て SLM の下流側に配設され且つレンズ、プリズムなどの光屈折素子を含むのが好ましい、光線に影響を与える素子の合計の厚さを非常に薄く抑えることが可能である。

30

【0003】

しかし、観察者の 3 次元画像感覚を発生させるために必要である、SLM の画素により放射される光に対して影響を与えることができるのは、例えば大面積の層スタックの形で SLM の下流側に配設される多数の膜状 DOE だけである。また、そのような構成では、技術上の理由により、例えば接着によって個別の膜を順次接合するのではなく、1 つの連続する媒体として複数の積層を生成することが望まれる。これは、順次接合された層スタックでは、例えば収縮によって、異なる層で個別の平面素子の互いに対する位置が変化するというリスクがあるからである。

40

【0004】

SLM の画素により放射された光の方向に対して回折効果によって波長別に影響を与えるために使用される構造は、表面格子又は体積格子でありうる。体積格子は、通常、露光光の波長と比較して厚い媒体に記録される 3 次元格子構造であると理解されている。体積格子は、連続する 1 つの媒体中の複数の層において複数の格子を生成できるという利点を有し、一方で、表面格子は、記録媒体又は記録材料の片面又は両面のみに配設可能である。

【0005】

リソグラフィから明らかなように、記録媒体を感光させる露光光を特定の深さに集束することによって、例えばフォトレジストのような透明で感光性の記録媒体に 3 次元構造を

50

生成することができる。そのような方法は、例えば特許文献1に記載されている。この場合、回折格子などの機能の上で異なる構造を記録媒体のそれぞれ異なる層に順次生成できる。しかし、ここでは、照明の強さが記録媒体中の特定の層の感度閾値のみを超えるように、その照明の強さを制御しなければならない。

【0006】

しかしながら、DOEは回折格子であるのが好ましいため、記録媒体に異なる角度で入射する2つの光波の影響によって1回の工程で格子を記録することが重要である。そのような方法は、例えばホログラフィックディスプレイ画面の製造に関連して特許文献2に記載されており、そこでは、1つの記録媒体の異なる層に複数の体積格子を生成でき、それらの体積格子がそれぞれ異なる波長の光に割り当て可能であるか、又は波長の異なる光に対する複数の体積格子が1つの層の中に順次配置される。1つの課題は、露光光の2つの光波の間で確実に干渉を発生できるようにすることであり、ここでは、それは入射光線の反射によって実現される。

【0007】

特許文献3に記載されるように、感光性記録媒体に特定の角度で入射する平行光束と、全内部反射によって記録媒体の射出面で発生する光束とのコヒーレントな重ね合わせを利用して、体積格子構造が生成される。ここでは、記録媒体は回動プリズムの射出面に隣接して配設され、プリズムを回転させることより光束の干渉角度を事前設定可能である。これにより、回折光の波長に応じて、体積格子の回折効率を連続可変制御できる。更に、複数の波長に対して回折効率が同一の高い値を示し、その結果、矩形関数に類似する効果が得られるように、記録中にプリズムを回転させることにより、生成される体積格子の構造に影響を与えることができる。プロファイル面における入射露光光波の反射によって他の体積格子プロファイルを生成でき、この場合、プロファイル面は、例えば入射平行光束を収束光束又は発散光束に変換しうる。しかし、記録媒体の表面積がプリズムの射出面積によって規定されてしまうため、大面積記録媒体で体積格子を生成することは難しい課題の1つである。

【0008】

体積格子を記録する場合、X次元とY次元との少なくともいずれかにおける変調、すなわち、例えば記録媒体の表面と平行な変調に加えて、Z次元（すなわち、例えば記録媒体の表面に対して垂直な方向、または、より一般的に言えば、再構成に使用される波動場の伝播方向に沿った方向）における屈折率プロファイルの長手方向変調又は形状である、体積格子の深さ別アポダイゼーションの問題が非常に重要である。回折時に光波が例えば回折次数のサイドピークを特に抑制し、更に一般的に言えば、制御可能な角度選択性及び波長選択性を示す体積格子を、この方法によって記録することができる。このような方法は、非特許文献1に記載されており、そこでは、コヒーレント照明の間、非常に大まかな推定において、Z次元の屈折率変調の包絡線が例えばガウスプロファイルを示すように、感光性ガラスから製造された記録媒体において、2つの外面の双方からの侵入深度を浅くしたインコヒーレント光による予備露光によって、後にコヒーレント照明に利用可能な屈折率変調が深さ別に減少される。

【0009】

このようにして記録された体積格子に、続いて、例えばZ次元のアポダイゼーション関数として、短波UV放射により生成される吸収プロファイルが重ね合わされる。しかし、この吸収手法では、厚い記録媒体において、複数の薄い体積格子層に、個別の長手方向アポダイゼーションプロファイルを与えることはできない。従来の技術の一例であるこの方法によれば、例えば短波UV放射であるインコヒーレントな予備露光に使用される波長の吸収係数を α とすると、 $I_0 \times e^{-\alpha z}$ に比例する片側吸収プロファイル又は両側吸収プロファイルにより生成されたアポダイゼーション関数しか生成することができない。従って、屈折率変調のアポダイゼーション関数として、指数関数的に減少する関数のみを利用可能である。そのため、生成可能なアポダイゼーションプロファイルの範囲は、記録媒体の外面から内側に向かって連続的に減少する若干の関数に限定される。更に、予備露光に

10

20

30

40

50

よって単純なアポダイゼーションプロファイル以上のものを生成できるようにするためには、異なる波長にそれぞれ異なる吸収係数を与えなければならない。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0010】

【特許文献1】 米国特許出願公開第2010/099051号明細書

【特許文献2】 独国特許第19704740号明細書

【特許文献3】 米国特許第7792003号明細書

【特許文献4】 国際公開第2010/149587号

【特許文献5】 国際公開第2010/149588号

【特許文献6】 国際公開第2010/149588号

【非特許文献】

【0011】

【非特許文献1】 J. M. Tsui等、「Coupled-wave analysis of apodized volume gratings」、Optics Express、第12巻、第26号、6642ページ

【非特許文献2】 Kostuk等、「Analysis and design of holographic solar concentrators」、Proc. SPIE、2008年、第7043巻、704301～704301-8ページ

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

従って、ここでの本発明の目的は、大面積記録媒体の事前設定可能な深さにおいて体積格子を生成し、それにより、1つの記録媒体において種々の角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかを有する複数の格子のスタックを生成し、又は、記録媒体の事前設定可能な深さにおいて異なる角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかを有する複数の体積格子を重ね合わせるための方法及び装置を提供することである。更に、生成可能な格子構造の種々のアポダイゼーションプロファイルによって、角度と波長との少なくともいずれかに固有の回折効率に特に影響を与えることを可能にすることが望まれる。

【課題を解決するための手段】

【0013】

本発明によれば、この目的は請求項1の特徴により達成される。本発明の更なる好適な実施形態及び発展形態は、従属請求項に定義される。

【0014】

本発明に係る方法は、記録媒体において、露光によって少なくとも1つの体積格子を積層生成するのに有用である。記録媒体は、露光光の波長を含む事前設定可能な波長範囲に対して感光する少なくとも1つの感光層を有する。少なくとも部分的にコヒーレントな光の干渉、一般には波動場を発生することができる少なくとも2つの波面により、前記波動場が記録媒体中の事前設定可能な深さにおいて、事前設定可能な角度において、そして事前設定可能な干渉コントラストで、干渉することにより、各体積格子が記録媒体において生成される。記録媒体中の体積格子の屈折率変調と透明度変調との少なくともいずれかの深さ及び厚さは、干渉する波面の空間的コヒーレンス度と時間的コヒーレンス度との少なくともいずれかの深さによる制御によって、光伝播方向において影響を受ける。

【0015】

本発明によれば、干渉を発生させることができるコヒーレント光の少なくとも2つの波面が、記録媒体中の事前設定可能な深さにおいて、事前設定可能な角度において、そして事前設定可能な干渉コントラストで、干渉することにより、そして、その結果として、適用可能であれば時間平均で、事前設定可能な干渉コントラストの領域で記録媒体の露光に十分な光の強さが実現されることによって、記録媒体の事前設定可能な深さにおいてのみ1つ又は複数の体積格子を記録することが可能である。干渉する波面の空間的コヒーレン

10

20

30

40

50

ス度と時間的コヒーレンス度との少なくともいずれかの深さ別制御は、この場合、例えば露光光の特性を制御することにより達成される。

【0016】

本発明に係る方法は、記録媒体が変動する表面プロファイル又は厚さを示す場合に適用可能であるのが特に好ましい。例えば記録媒体が光重合体又は重クロム酸ゼラチン（DCG）である場合、記録媒体の生成中にそのような変動が起こりうる。記録媒体の中に体積格子が埋め込まれている場合、格子が記録媒体の滑らかな側から、すなわち、例えば平坦な面を有する基板に装着されている側から記録されるのであれば、表面の凹凸は格子自体に影響を及ぼすことも、体積格子を記録する処理に影響を及ぼすこともない。その場合、再構成中に、すなわち体積格子の使用中に、記録媒体の他方の側の表面プロファイルを、浸漬によって、例えば適切な屈折率を有する油膜又は接着材料によって平坦にすることができる。使用される油膜又は接着材料は、後に生成される層を滑らかな面と接合する材料を形成する。あるいは、凹凸を含む表面プロファイルが近表面屈折率プロファイルに変わるように、滑らかな面を有する隣接層により凹凸を含む表面プロファイルを幾分圧縮することも可能であるが、平坦であるために均一な屈折率を示す他方の面から体積格子が埋め込み露光されるので、この近表面屈折率プロファイルは記録処理には影響を与えない。このように圧力を加えることによって平坦にされる表面プロファイルの場合、体積格子の使用前に、浸漬による層剥離及び埋め込みを実施するのが好ましい。

【0017】

例えば、一方の側から、すなわち傷のない滑らかな面から記録媒体を横切るように入射する2つの波動場が事前設定可能なボリューム、すなわち事前設定された深さ範囲 Δz で強め合う干渉を発生するために重ね合わされる処理だけで、透過型体積格子を記録媒体に記録できる。例えば、この深さ範囲は、傷のある記録媒体のボリューム領域、すなわち、例えば屈折率プロファイルの変調又は表面プロファイルの変調を示す領域には干渉パターンが記録されないように干渉する波動場の空間的コヒーレンスと時間的コヒーレンスとの少なくともいずれかを適切に変調させることによって選択可能である。言い換えれば、ホログラフィック光学素子の記録中、表面に近い位置の傷の影響を排除できる。これは、感光した後は浸漬によって埋め込むことができない記録媒体を使用する場合に特に好ましい。例えば、記録媒体の化学成分が浸漬液又は接着剤と反応することにより、記録媒体が作用しなくなるということも起こりうる。露光後、記録媒体を更に処理することが可能であれば、浸漬液又は接着剤の使用は通常問題ない。これは、例えば光学接着剤と記録媒体の化学感光系との間で起こりうる化学反応が記録後にのみ発生するからである。

【0018】

実現可能な実施形態は、遠心コーティング又は噴霧コーティングによって基板に塗布され、基板に面する側にのみ滑らかな面を有する光重合体、フォトレジスト及び他の記録媒体を含む。記録媒体は、ここで開示される方法により基板側から露光可能であり、記録媒体の変形した表面の側は、媒体の反応閾値より相当に低いことが可能であるインコヒーレントな一定光部分によって照明されるだけである。しかし、これは必須ではない。フォトレジストが使用される場合、一定光部分と媒体の反応閾値との比は、例えばポジ型フォトレジストが使用されるか又はネガ型フォトレジストが使用されるかに応じて設定可能である。従って、例えば基板面に対して垂直にアポダイズされる格子をフォトレジストに記録することが可能であり、フォトレジストの現像処理中に、アポダイズされた格子が基板上に残るように、傷のある面の側から（例えば遠心コーティング処理中に傷がつく）フォトレジストを浸食することが可能である。露光線量に2値で反応しないフォトレジストを選択することにより、適用可能な多様なアポダイゼーション関数が実現される。

【0019】

従来の技術を代表する方法とは異なり、本発明の一実施形態によれば、マスタ格子で回折される1つの波動場の回折次数である2つの波動場の干渉によって体積格子を生成できる。それらの波動場がマスタ格子を通過した後、回折された波動場は、マスタ格子までの距離の関数である干渉コントラストで干渉する。この干渉コントラストは、マスタ格子を

照明する露光光の波動場のコヒーレンス特性により規定される。露光光の空間的コヒーレンス関数と時間的コヒーレンス関数との少なくともいずれかにより表されるコヒーレンス特性は、光源の特性により規定される。コヒーレンス特性は、光源のスペクトル分布及び光源の形状、すなわち光源が点光源であるか又は振幅格子と位相格子との少なくともいずれかの形の複雑な透明度関数を有するインコヒーレントな面光源であるかに応じて決まる。従って従来の技術とは異なり、記録媒体の横方向幅、従って体積格子の横方向幅は、実質的にマスタ格子の横方向幅及び照明に対するマスタ格子の光学的配置により規定される。

【0020】

実質的にコリメートされた波動場を有する光源により照明されるマスタ格子の下流側には、マスタ格子で回折されず、更に下流側へ伝播する波動場と、回折された波動場との間に光伝播方向に相対的横方向オフセット $s(z)$ (せん断) が存在する。このせん断は、照明波動場の事前設定された複素値の空間的コヒーレンス関数と時間的コヒーレンス関数との少なくともいずれか Γ によって、干渉する波動場の干渉コントラスト $V(z)$ の事前設定可能な深さに応じたプロファイルを形成させる。

10

【0021】

マスタ格子で回折され、干渉する波動場の 2 乗絶対値は、光伝播方向にマスタ格子の下流側に配設された感光性記録媒体の、光度が感度閾値を超え、その結果、光の振幅と位相との少なくともいずれかに影響を与える体積格子を生成する領域において、透明度と屈折率との少なくともいずれかの変化を発生させる光度を表す。

20

【0022】

しかし、記録媒体は、この格子を物理的処理の中で永久的に固定できるような性質でなければならない。

【0023】

このため、通常使用される記録媒体は、例えば光重合過程を開始させる感光性重合開始剤を含む光重合体である。

【0024】

しかし、固定されず、動的に急速に変化するアポダイズ格子又は干渉パターンを使用できるのが好ましい用途もある。例えば、光学的に、または事前設定可能な角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかを有する超音波を利用することによって再構成可能であり、且つ急速に変化できるアポダイズ超音波干渉パターン、すなわち超音波格子を生成できるように、先に説明した通り、超音波波動場を含む何らかの種類の波動場を重ね合わせることも可能である。

30

【0025】

重ね合わされる 2 つの波面が、光源により放射され、光伝播方向に見て記録媒体の上流側に配設されているマスタ格子で回折される 1 つのコリメート波動場の異なる回折次数を表すことによって、それらの波面の干渉を確実に発生させることができる。このコリメート波動場は、事前設定可能な空間的コヒーレンスと時間的コヒーレンスとの少なくともいずれかを有する。これにより、相対的に単純な構造である光路によって定義通りの露光光分布を生成することが可能である。

40

【0026】

一般に複素値関数を有するマスクに加えて、光源の平面に統計的散乱素子、例えば回転拡散板が配設される。この素子は、光源の平面における空間的分布の位相値を脱相関する。

【0027】

記録媒体の特定の深さにおける干渉コントラスト $V(z)$ は、2 つの干渉する波動場の伝播方向の座標の関数であるそれらの波面の横方向オフセット $s(z)$ (せん断) によって決まる。記録媒体の事前設定可能な深さ領域で生成される干渉コントラスト $V(z)$ の事前設定可能なプロファイルは、光源の平面に配置された振幅格子と位相格子との少なくともいずれかの形状の関数である。この点に関して、横方向オフセット $s(z)$ (せん断

50

）は、詳細には、マスタ格子で回折された波動場が0次回折の非回折部分を含めてそれぞれ異なる角度で伝播し、その結果、距離 z が長くなるにつれて互いに対して横方向に徐々に大きくずれていくものと理解される。異なる回折次数は異なる相互せん断を示す。

【0028】

記録媒体の事前設定可能な深さに干渉コントラスト $V(z)$ が存在するため、アポダイゼーション関数 $n_1(z)$ に対応する事前設定可能な屈折率変調と透明度変調との少なくともいずれかの形で記録媒体に体積格子を生成でき、これにより、体積格子の角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかを事前設定可能に制御できると共に、体積格子の角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかのサイドピークを事前設定可能に抑制することができる。アポダイゼーション関数 $n_1(z)$ は、屈折率変調の包絡線に対応する。例えば $1/0.5\mu\text{m}^{-1}$ の高い空間周波数を有する干渉パターンは、1つ又は複数の相当に低い空間周波数、すなわち、例えば $1/5\mu\text{m}^{-1}$ によって変調される。

10

【0029】

これは、方向選択性と波長選択性との少なくともいずれかに関して事前に設定された回折特性を有するように露光光の特性を選択することにより、格子の形状を修正できることを意味する。

【0030】

均質な記録媒体を2つの互いにコヒーレントな波に暴露することによって生成された透過型体積格子では、記録媒体における吸収をすべて無視すれば、屈折率変調の包絡線は矩形関数である。従来のこの体積格子の露光の場合、回折効率の角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかは、 sinc 関数の2乗の形状を有する。

20

【0031】

コリメートされるべきであり、且つマスタ格子を照明する光源の平面が、振幅格子と位相格子との少なくともいずれか、振幅分布と位相分布との少なくともいずれか、アポダイゼーション関数と重ね合わされた振幅格子と位相格子との少なくともいずれか、またはアポダイゼーション関数と重ね合わされた振幅分布と位相分布との少なくともいずれかを表す複素数値の光学的透明度関数を有するように、従来の体積格子の露光と比較して修正されたコヒーレンス関数が生成されるのが好ましい。

【0032】

角度選択性 $\eta(\theta)$ と波長選択性 $\eta(\lambda)$ との少なくともいずれかに事前設定可能なプロファイルが与えられるべきである場合、光源の平面に配設される格子のスリットの振幅関数と位相関数との少なくともいずれかは、前記プロファイルが実現されるような形状、すなわち、例えば同一の形状を有するように選択されなければならない。

30

【0033】

屈折率変調 $n_1(z)$ の包絡線が例えば矩形関数である場合、角度選択性 $\eta(\theta)$ と波長選択性 $\eta(\lambda)$ との少なくともいずれかは、2乗 sinc 関数に対応するプロファイルを有する。この関数は矩形関数のフーリエ変換の2乗絶対値である。

【0034】

空間的コヒーレンス、従って、干渉パターンの包絡線が光源の平面に配設された格子の単一のスリットのフーリエ変換により定義されるとしても、また、角度選択性又は波長選択性が屈折率変調 $n_1(z)$ の包絡線のフーリエ変換に比例し、従って、光源自体の平面における個別のスリットの一般的には複素数値である透過度関数に比例するとしても、フーリエ変換のみによって割り当てを精密に計算することは一般に不可能である。

40

【0035】

例えば、現在の高い開口数 NA 、記録媒体における吸収、現在の記録媒体及び現在の記録構造に関して露光量を屈折率シフトに変換するための伝達関数を考慮に入れて修正を実行すること、すなわち光源の平面における一般に複素数値である透過度関数のそれぞれ対応する解釈を取得することは可能である。従って、例えば、記録されるべき体積格子の角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかを最適化するために、光源の個別のスリットに対して特定の伝達関数を選択することは可能である。

50

【0036】

透過型体積格子と反射型体積格子との少なくともいずれかにおいて、屈折率変調の包絡線は、ガウス分布、ハミングウィンドウ又はカイザーベッセルウィンドウの形状を有することも可能である。これにより、角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかのサイドピークは著しく減少する。

【0037】

例えば、異なる再構成構造の角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかが互いにごく近い場合、そのようにサイドピークを減少させるのが好ましい。これにより、表現される物体空間に角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかのサイドピークによってゴースト像が出現するという事態は回避される。

10

【0038】

透過型体積格子と反射型体積格子との少なくともいずれかにおいて、露光に使用される波動場のコヒーレンスを適切に選択することにより、屈折率変調の包絡線を特定の形状にすることができる。

【0039】

その結果、光源の平面に配設された複素振幅格子と複素位相格子との少なくともいずれかと、マスタ格子の下流側の干渉コントラスト $V(z)$ との間に次の関係が適用される。

－干渉コントラスト $V(z)$ の深さ z は格子周期により規定される。

－関数 $V(z)$ の幅は格子周期の数により規定される。

－関数 $V(z)$ の形状は、光源の平面に配設された振幅格子と位相格子との少なくともいずれかの個別の格子周期の形状により規定される。

20

【0040】

従って、事前設定可能な深さに生成できる体積格子の角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかの形状を光伝播方向における屈折率変調 $n_1(z)$ の事前設定可能なプロファイルによって設定可能であり、このプロファイルは、2乗 sinc 関数、2乗余弦関数、2乗ガウス関数又は2乗近似矩形関数の形状を有するアポダイゼーション関数である。

【0041】

このプロファイルは、光源の平面に配設された格子の振幅プロファイルと位相プロファイルとの少なくともいずれかに直接対応する。

30

【0042】

記録媒体が線形伝達関数を有する場合、屈折率変調 $n_1(z)$ のプロファイルは、体積格子が記録されるべき領域における干渉コントラスト $V(z)$ のプロファイルに対応する。記録媒体の伝達関数が非線形である場合、例えば sinc 関数の絶対値又は2乗絶対値に対応する屈折率変調 $n_1(z)$ を取得するために、干渉コントラスト $V(z)$ が修正されなければならない。

【0043】

アポダイゼーション関数 $n_1(z)$ の実現可能な好適な実施形態は、例えば関数 $\text{sinc}(a(z-z_0)) / (a(z-z_0))^{n/m}$ に比例する。なお、変調は sinc 関数の絶対値、2乗絶対値又はべき乗 n/m (n, m は整数である) に依存するか、あるいは $\text{sinc}(a(z-z_0)) / (a(z-z_0))$ に依存し、位相位置は $\text{sinc}(a(z-z_0)) / (a(z-z_0))$ の符号に応じて選択される。

40

【0044】

これは、屈折率の変調が sinc 関数の零点では0であること及び誘電体層の位相が sinc 関数の負の値の範囲では sinc 関数の正の値の範囲と比較して π だけ、すなわち1周期の $1/2$ だけずれるように選択されることを意味する。この好適な実施形態は、例えば透過型体積格子、反射型体積格子及び誘電体層スタックに適用可能である。

【0045】

アポダイゼーション関数 $n_1(z)$ として使用される記録媒体における干渉コントラスト $V(z)$ の包絡線と、例えば光源 LS の平面における単色場分布の複素数値マスキング

50

$a(x, y) * e^{i\phi(x, y)}$ との精密な相関は、実際に使用される光学系に依存し、更に、例えば照明光学系の開口数NAにも依存する。開口数NAが高い場合、関数 $a(x, y) * e^{i\phi(x, y)}$ 及び $n_1(z)$ は、例えばフーリエ変換FTには対応しなくなる。一般に、 $n_1(z)$ は、記録媒体の平面における非位相脱相関光源LSの回折パターンによって取得される。スペクトルに関して広帯域である光源LSの場合、これは個別のスペクトル線の重ね合わせの形で同様に適用される。

【0046】

体積格子の露光中に使用されるアポダイゼーション関数は、記録媒体の深さzに沿った有効吸収の影響、従って現在のzに依存する光線比のドリフト、すなわち吸収によって発生している現在のzに依存する干渉コントラストのドリフトを補償するように選択可能である。

10

【0047】

しかし、事前設定可能な深さに生成可能な体積格子の角度選択性は、生成されるべき特定の体積格子の厚さを変化させることによって制御可能である。

【0048】

これは体積格子の一般的な特性である。すなわち、その格子で回折される「有効」光の回折部分の角度範囲は、光伝播方向の体積格子が厚くなるほど小さくなる。

【0049】

例えば露光によって記録媒体に2つの体積格子を記録できるようにするためには、記録媒体は事前設定可能な厚さでなければならない。それらの格子は、光伝播方向に見て、すなわちZ座標に沿って順次又は交互に配設される。これは、例えば2つの異なる光波長に対応する2つの体積格子を生成するように、特性の異なる体積格子を交互に記録できることを意味する。この点に関して、光伝播方向は、1つの波面の伝播の方向又は光（露光光又は有効光）の干渉する波面が伝播する方向であると定義される。

20

【0050】

事前設定可能な深さに生成可能な体積格子を、事前設定可能な1つの光波長に合わせて設計することができ、従って、好ましくは、回折によってその波長の光に影響を与える光のみのために設計することができる。

【0051】

従って、体積格子の幾何学的構造と、回折によって格子と反応する光波長との間には直接の関係が成り立っている。他の波長は体積格子により抑制されるか又は影響を受けない。

30

【0052】

本発明に係る方法では、記録媒体における露光光の強さ変調の深さアポダイゼーションと深さ分離との少なくともいずれかを動的に制御できる。

【0053】

この制御は、光源の平面に配設され且つ記録処理中に振幅特性と位相特性との少なくともいずれかを修正可能である格子の形状にそれら2つの特性が直接依存することによって可能である。これは、例えば光路に配設された移動位相板を利用することによっても周期的に実行可能である。

40

【0054】

記録媒体における体積格子の屈折率変調のプロファイルは、光源の平面の複素振幅を事前設定可能に静的に又は動的に調整することにより規定できる。

【0055】

好適な一実施形態において、照明される面が体積格子用の記録媒体の表面の一部であるか又はその表面と一致するような表面プロファイル格子の形でマスタ格子が提供される。

【0056】

別の好適な実施形態では、マスタ格子は体積格子の形で設計される。これは、例えば格子に入射する光の波長と比較して格子周期が相対的に大きい場合に光路中のマスタ格子の下流側で0次回折及びそれより1つ高い回折次数のみが生成されるという利点を更に有す

50

る。

【0057】

本発明に係る方法の1つの特徴は、大面積記録媒体に体積格子を生成できることである。これは、1つには、干渉を発生可能な光による照明に必要とされるマスタ格子をほぼ同一の大きさの表面プロファイル格子の形で製造できるからである。しかし、小さなマスタ格子を2次元で接合する（タイル化）することによっても、大面積体積格子を生成することが可能である。このように、例えば20インチ以上の画面サイズを有するホログラフィック直視型ディスプレイに使用するための大面積コヒーレント光学フィルタを実現することが可能である。

【0058】

格子の同相接合、すなわち格子周期のほぼ連続した拡張は、本発明に係る方法の発展形態を表す。これは、例えば格子が同相でタイル化された場合にタイル化格子で位相ずれをまったく示さない回折パターンを利用することによって実行可能である。位相外れで接合された格子セグメントにおける位相ずれは、回折パターンの中で例えば鮮鋭な黒い線として見えるようになる。照明された2つの格子セグメントの間の重複領域は、例えば均一に半分だけ照明される。

【0059】

光源の平面に位相分布と振幅分布との少なくともいずれかの非対称性を導入することにより、記録媒体において、干渉コントラスト変調又は屈折率変調の非対称形プロファイルを生成できる。

【0060】

これが可能であるのは、光源の平面における位相分布と振幅分布との少なくともいずれかと、記録媒体における光伝播方向の屈折率変調のプロファイルとが直接対応しているからである。例えば特定の用途で要求されるような有効光の高い回折次数の抑制を実現するために、記録媒体における干渉コントラスト変調又は屈折率変調の事前設定可能な非対称形プロファイルを提供できる。

【0061】

従って、例えば、非対称性を生じさせるために光源の平面で鋸歯形表面プロファイル位相格子を使用することが可能である。

【0062】

記録媒体において体積格子を生成するために、例えば表面プロファイル格子における回折の0次回折及び1次回折の干渉を使用する代わりに、0次回折及び2次回折又は他の回折次数を使用することも可能である。

【0063】

これは、特定の回折次数の回折効率を最大限にし、その他の回折次数の回折効率を最小限にするようにマスタ格子を特別に設計することによって実現される。

【0064】

記録媒体は開始剤を含むことも可能であり、その場合、露光光の一定光部分を記録媒体の開始剤の活性化又は非活性化に使用できる。

【0065】

そのような媒体の一例は光熱屈折（PTR）ガラスであり、体積格子の記録前に両面をUV放射で予備露光することにより、光伝播方向にガウス屈折率プロファイルを生成できる。

【0066】

しかし、切り替え可能体積格子を生成できるようにするために、記録媒体は光学的又は電氣的に制御可能な材料であることも可能である。

【0067】

適切な媒体は例えばLC層を含む。これにより、印加電圧を変化させることによって体積格子の回折効率を制御することが可能になる。

【0068】

生成可能な体積格子における回折によって、事前設定可能な固定的な形態又は切り替え可能な形で種々の再構成構造（平面波／平面波、平面波／球面波など）を実現できる。

【0069】

従って、例えば平面波を収束球面波に変換し、その結果視野レンズの効果を示す体積格子を生成することが可能である。そのような視野レンズは、例えば裸眼立体ディスプレイ又はホログラフィックディスプレイで使用可能である。更なる光学的機能を実現するために、本発明に係る方法によって記録媒体に1つ以上の更なる体積格子を記録又は生成できる場合、露光後の記録媒体は複数の光学的機能を実現でき、1つの構成要素としてそのようなディスプレイに組み込まれることが可能である。

【0070】

記録媒体に体積格子が記録されている間、露光光の空間的コヒーレンス特性と時間的コヒーレンス特性との少なくともいずれかを事前設定可能に選択することにより反射を抑制できる。これにより、記録中の反射は実際には阻止されないが、このような方法をとることによって、反射された光部分と反射されなかった光部分との間で強め合う干渉が起らなくなるので、記録媒体の露光に関する感度閾値を超えることはない。

【0071】

記録媒体の表面から内側に向かって開始剤を化学的又は光学的に使い尽くすことによっても、記録媒体の指定の深さに事前に設定された形状及び厚さの体積格子を記録することができる。

【0072】

本発明に係る方法とは異なり、この方法の場合、例えば記録媒体の一方の面からのみ化学的消尽が可能であるので、融通性には欠ける。そのため、この方法では、一般に1つの格子、すなわちこの例では記録媒体の片方の面のすぐ下に配置される格子を記録することしかできない。

【0073】

本特許の発展形態として、例えば照明手段の中心にある層にコヒーレンスがまったく又はごくわずかしき存在しないように、すなわち干渉コントラスト $V(z)$ が低くなるように空間的コヒーレンスが修正されている光によって照明を実行することにより、記録媒体中の開始剤を光学的に使い尽くすことも可能である。活性化エネルギーを必要とする光重合体が存在するので、例えば露光光の一定光部分の強さと比較して局所的に4倍に増加される強さを利用して、この層で局所的に開始剤を使い尽くすことができる。可能な限り統計的である位相シフトが露光光に与えられる場合、記録媒体に格子構造は記録されないが、開始剤の濃度は低下する。例えば、記録媒体の中央深さ範囲に、体積格子を記録するために使用可能な開始剤濃度が残る。そこで、体積格子は記録媒体の厚さと比較して相当に薄い有効層厚さを有する。この方法は、例えば高い回折次数を示さない事前設定された角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかを生成するためにも使用可能である。

【0074】

体積格子の厚さを記録媒体の層厚さのごく一部に制限することができる別の方法は、スペクトル分布 $I(\lambda)$ 、すなわち光源の時間的コヒーレンスに基づく。

【0075】

先に説明したように、干渉を発生可能である2つの波面の空間的コヒーレンスの絶対値 $|\mu_{12}(s)|$ 及び事前設定可能な横方向オフセットを事前設定可能に設計するのと同じ方法により、2つの干渉する波面の時間的コヒーレンス及び事前設定可能な長手方向オフセットによって、高い干渉コントラスト $V(z)$ 及びZ次元の干渉コントラスト $V(z)$ の包絡線の特定して調整されたプロファイルを有する事前設定可能な狭い領域を形成することも可能である。

【0076】

言うまでもなく、例えば空間的コヒーレンスの絶対値 $|\mu_{12}(z)|$ 又は適合する空間的コヒーレンスと時間的コヒーレンスとの組み合わせに基づいて生成される上記のような干渉パターン及び他の干渉パターンを、記録媒体中の開始剤を消尽させるため又は後の

10

20

30

40

50

露光に備えて開始剤を活性化するため、すなわち開始剤に必要な活性化エネルギーを供給するために使用することも可能である。

【0077】

マイケルソン白色光干渉計から周知であるように、コヒーレンスは、2つの干渉計の光線の光路の長さが $3\mu\text{m}$ 未満の差で均衡している場合、すなわち光路差(OPD)が $3\mu\text{m}$ 以下である場合に限り、白色光の大きなスペクトル幅によって発生する。

【0078】

2つの波面の光路の光路長が慎重に均等化されていても、干渉する波面の一方が他方の波面に対して傾斜している場合、白色光干渉計において、干渉コントラストはピークを示し且つ干渉コントラストは $\text{OPD}=0$ の交差線の周囲で傾斜が大きいほど急激な側方への減少を示すことがわかる。これは、傾斜が局所光路差の変化に影響を与えるために起こる。光源のスペクトル濃度 $S(\lambda)$ は振動信号部分のフーリエ変換によって得られるので、この効果は、例えば光源のスペクトル濃度を判定するために利用される。

【0079】

更に、このことは、例えばDOEの露光に使用され且つ例えば体積格子の形で記録媒体に記録されるが、十分に広いスペクトル幅を有する放射に基づく従来の2光線の干渉の場合、Z次元にアポダイゼーションを導入できるが、同時にX-Y平面に影響が及ぶことも意味する。言い換えれば、これは、例えば2つの波面が相対的に 60° 傾いている場合、十分に高い干渉コントラスト $V(z)$ は深さ方向、すなわちZ次元に例えば $10\mu\text{m}$ に制限されるべきであり且つ十分に広いスペクトル帯域幅を有する従来の2光線の干渉によって、干渉パターンが横方向及び傾斜軸に対して垂直な方向の双方で $\pm 6\mu\text{m}$ の大きさに限られてしまうことを意味する。従って、この方法は、横方向の広がりのごくわずかな体積格子にのみ適用可能である。しかし、本発明の目的は、例えば20インチ画面の大きさのディスプレイに対して体積格子を生成することであった。

【0080】

しかし、照明に使用される放射が広いスペクトル幅を有している場合であっても、十分に高い干渉発生能力を備えた領域の横方向幅を相当に拡張することができる。

【0081】

深さ方向、すなわちZ次元に高い干渉コントラスト $V(z)$ を有する領域の広がり小さく抑える一方で、高い干渉コントラストを有する領域の横方向への広がりを拡張するために、時間的コヒーレンスをほとんど含まない干渉パターンを生成するのに適する少なくとも2つの実施可能な方法又は何らかの可能性がある。

【0082】

かなり単純に実施できる方法は、入射波面と、その波面を反射するミラーとを利用して反射ホログラムを生成するものであり、このミラーは可能な限り記録媒体の層に近接して配置されるべきである。この方法は特許文献3に記載されている。これにより形成される干渉パターンの包絡線、従って屈折率変調 $n_1(z)$ のアポダイゼーション関数は、半sinc(half sinc)関数に比例する。しかし、特許文献3は、組み合わせ格子の所望の矩形に近い波長選択性を取得するためには、各々が半sinc形状の屈折率変調を示す2つの反射ホログラムを組み合わせること、すなわち各々が半sinc形状の干渉コントラストで記録される2つの反射ホログラムを組み合わせることが必要であると教示する(特許文献3、図5A～図5Dを参照)。

【0083】

干渉する2つの波面の角度が相当に大きい場合でも、ミラーを使用することにより、ミラーに直接装着されるか又は例えば反射支持膜上に配設される記録媒体に、相当に大きな横方向広がり、すなわち大きさを事前設定可能である横方向広がりを与えることができる。これは、干渉する波面と反射面との光路差が常に0であることに基づく。深さ方向では、すなわちZ次元では、入射波面と反射波面との光路差は、入射角が大きくなるほど、従って反射角が大きくなるほど大きくなる。これは、特許文献3に記載される方法を使用した場合、ごく限られた範囲でしか干渉コントラスト $V(z)$ の長手方向分布関数を選択で

10

20

30

40

50

きないことを意味する。更に、干渉する波面の入射角と反射角とが同一であるので、再構成構造は、反射面と平行なブラッグ格子平面に限定される。

【0084】

しかし、特許文献3の制限を大幅に抑制することができるいくつかの方法がある。実施可能な範囲拡大方法の1つは、光源のスペクトル濃度 $S(\lambda)$ の周期性を利用する。これにより、時間的コヒーレンスの周期性、すなわち周期及びプロファイルを事前設定可能なビートが発生する。これはウィーナー・ヒンチンの定理に基づく。従って、ミラーと記録媒体との間の距離を、例えば記録されるミラー面に存在する干渉コントラストの半 sinc 関数ではなく、例えば続くビートの部分、すなわち全 sinc 関数であるように事前設定可能に選択できる。例えば、このビートを発生するために、光源の2つのわずかに異なるスペクトル範囲が使用される。これにより処理ステップの数が少なくなるので、2つの半 sinc 関数を記録する場合に必要なと考えられる2つの体積格子を同相で、すなわちモジュロ 2π 位相シフトなしで組み合わせるという困難な作業は不要になる。

10

【0085】

時間的コヒーレンスのビート関数を使用して、記録媒体における屈折率分布 $n_1(z)$ の深さアポダイゼーションが可能である。ビート周波数は、使用される光源の少なくともわずかに分離されたスペクトル範囲（例えば、2つの範囲であるが、通常は2つ以上のスペクトル範囲）の距離により規定される。ビートの包絡線は、光源のスペクトル分布の各区分の形状により定められる。例えば、2つのわずかに分離された矩形関数をセクションとして使用することが可能であるが、屈折率分布 $n_1(z)$ の深さアポダイゼーションを規定するために、すなわち事前設定可能に定義するために、2つのわずかに分離されたガウス関数も使用可能である。

20

【0086】

更に実施可能な範囲拡大方法は、例えば反射ホログラムを利用して発生させることができる、記録に使用される波面の方向別反射に基づく。これは、例えば、1つの回折次数の最大反射のみを示すように設計された表面プロファイル格子又は体積格子であると考えられる。しかし、非常に融通性に優れた露光セットアップに有用である反射型液晶格子を使用することも可能である。これにより、入射角が反射角と同一であるという制限を克服できる。従って、生成される体積格子の再構成構造は、反射面と平行なブラッグ格子平面に制限されなくなる。

30

【0087】

入射角が反射角と同一であることが設計の自由度を大幅に制限する反射型体積格子の単純な再構成構造を考慮して、この制限を排除すれば、反射型体積格子の全再構成構造パラメータ範囲を自在に利用できる。その場合、記録される体積格子の厚さを記録媒体の厚さのごく一部にまで減少させること、記録媒体において特定の Z 平面を選択すること及び露光光の時間的コヒーレンス特性を使用することにより屈折率分布 $n_1(z)$ の特定の深さアポダイゼーションプロファイルを選択することが可能になる。

【0088】

反射型体積格子を構成に装着する方法より容易である透過型体積格子の形のフラットホログラフィック3Dディスプレイのサンドイッチ構造によっても、例えば、軸上効果を有し、軸上平面波を軸外れ平面波に変換する第1の透過型体積格子と、軸外れ平面波を軸上球面波に変換する第2の透過型体積格子とを備える組み合わせ視野レンズの実現のような複素波動場の別の複素波動場への数多くの変換が可能になる。従って、体積格子の厚さを記録媒体の厚さのごく一部にまで減少させること、記録媒体における特定の Z 平面を選択すること及び屈折率分布 $n_1(z)$ の特定の深さアポダイゼーションプロファイルを選択することを可能にする透過型体積格子の実現は、反射型体積格子より好ましい。

40

【0089】

更に、マスタ格子を使用すると、透過型体積格子を容易に再生できる。それらの格子は、例えばDOEなどの表面プロファイル格子、ブレード格子、2値位相格子、多段位相格子、例えば可変デューティファクタ及び固定ウェブ幅又は固定溝幅を有するサブ1位相

50

格子であると考えられる。1組の角度を「選択」できる多層構造である偏光に依存する液晶格子（PDL CG）、又は特許文献4に記載され、連続的に変化する回折角度を生成でき、回折効率は例えば約0.5であり且つ2つの回折次数しかないのが好ましいLCGなどの制御可能な格子は、例えば可撓性構造に適している。

【0090】

複製のためのマスタ格子として体積格子を使用可能である。2光線の干渉パターンが透過されるべき場合、記録媒体で十分な干渉コントラストを得るのに有用な回折効率を有するように体積格子を容易に設計できる。マスタ体積格子の回折効率は、例えば $\eta = 0.4 \sim \eta = 0.6$ の範囲に設計できる。

【0091】

距離 z に応じて、0次回折及び1次回折の波面の2つのパラメータ、すなわち、屈折率分布 $n_1(z)$ の所望の深さアポダイゼーションを実現するために使用可能である横方向オフセット $s(z)$ （せん断）の絶対値及び長手方向オフセットOPD(z)の絶対値は、複製に使用されるマスタ格子Gの下流側で変化する。

【0092】

長手方向オフセットOPD(z)の絶対値に依存し、特定の露光セットアップに課される必要条件を満たすのに適する干渉コントラストを取得するために、特別に適応させたスペクトルフィルタが使用されなければならない。スペクトルフィルタは、数例を挙げただけでも、金属干渉フィルタ(MIF)、透過型又は反射型誘電体層スタック、固定又は可変ファブリーペロー干渉フィルタ、反射型又は透過型体積格子及び変形分光系などである

【0093】

例えば、非常に高い可撓性を有するスペクトルフィルタを次のように実現できる。スペクトル分離された光源の光を拡張するために、格子分光計が使用される。これは、例えば、ターゲット平面において100nm、10nm又は1nmのスペクトル範囲を10mmの大きさを有するようにスペクトル分離することによって、すなわちスペクトル範囲を拡張することによって実行可能である。分光系では、この平面は、スペクトル分布に対応する強さ分布を記録する光検出器を一般に提供する平面と同一である。更に、この平面に固定強度フィルタ又は可変強度フィルタを配設できる。例えば、個別のスペクトル範囲を特定して変調するために、すなわちスペクトル濃度 $S(\lambda)$ を変化させるために、デジタルマイクロモータデバイス(DMD)を更に含むSLMを使用できる。実際のパルス形成の用途から、すなわち短いレーザーパルスを形成する用途から、スペクトル割り当て位相変調SLMを使用することも知られている。一般に、光源のスペクトル分離光は複素数値SLMを照明する。

【0094】

可変深さアポダイゼーションを伴う反射型体積格子の生成に関して説明したのと同様に、半sinc関数又はガウス関数を回避し且つ対称型アポダイゼーション関数を露光するために第2のビートセグメント又はそれ以降のビートセグメントを特定して使用するのに十分な大きさとなるように、マスタ格子と記録媒体との間の距離を選択することができる。露光光のスペクトル部分を選択することにより、例えば対称形アポダイゼーション関数を特徴とする2つの領域の間に、例えば暴露時間を適切に選択したならば記録媒体の活性化エネルギーを常に下回る十分に低い干渉コントラスト $V(z)$ であることを特徴とする十分に広い領域を生成することも可能である。従って、Z次元が常に10 μm に制限される個別の体積格子を例えば100 μm の厚さの記録媒体の中に順次又は異なる深さレベルで記録することも可能である。

【0095】

深さ分離と深さアポダイズ体積格子との少なくともいずれかを生成するために空間的コヒーレンスの絶対値 $|\mu_{12}(s)|$ を使用すると、複雑さは軽減されるが、その代わりに、光源のスペクトル分布 $I(\lambda)$ に対して時間的コヒーレンス特性を利用することも実現可能である。更に、空間的コヒーレンス及び時間的コヒーレンスという2つの方法を組

10

20

30

40

50

み合わせると、生成可能な体積格子の多様性を更に増すことができる。

【0096】

以上説明した方法を適用可能な用途は、事前設定可能な厚さを有する少なくとも2つの体積格子を備える記録媒体を含み且つ光変調器の画素により放射される光を重ね合わせるために使用されるビームコンバイナである。そのようなビームコンバイナは、例えば大画面のホログラフィック直視型ディスプレイを実現する上で主要な構成要素である。ビームコンバイナの機能原理及び適用分野は、例えば特許文献5に開示されており、そこで詳細に説明される実施形態は、ビームコンバイナをホログラフィック直視型ディスプレイに適用するために実現可能である。そこで、この点に関しては特許文献5を参照する。

【0097】

先に説明した方法で生成される体積格子は、幅が事前設定可能であり、更には任意にプロファイルが事前設定可能である角度選択性を示す。そのような角度選択性は、ビームコンバイナが直視型ディスプレイで使用される場合に高い回折次数を抑制し且つ特定の回折次数の光のみを観察者の目に向かって透過させるために特に必要である。

【0098】

ビームコンバイナの特定の一実施形態は、各々が事前設定可能な厚さを有する6つの体積格子と、例えば異なる事前設定可能な厚さを有する中間層とから成る層スタックを備える。このことは、例えば特許文献5の図6～図8及び図10に示される。そこで提供される体積格子Vg1、Vg2、Vg3及びVg4は、言うまでもなく1つの記録媒体に記録可能である。

【0099】

そのような構成では、光変調器のRGB画素により放射された光線を、例えば特許文献6にも記載されているように位相変調光変調器における複素数値の2層符号化に必要とされる1つの光線に組み合わせることができる。

【0100】

光伝播方向に見てビームコンバイナの下流側に開口絞りが配設される場合、体積格子スタック全体の厚さは事前設定値を超えてはならない。

【0101】

事前設定値を超えると、ビームコンバイナにより放射された光線が発散し、その結果、一部の光線が開口絞りにより抹消されてしまうため、光の損失が起こると考えられる。

【0102】

このように、体積格子及び重ね合わせアポダイゼーション関数を適切に設計することにより、三原色(RGB)のすべて及びビームコンバイナの6つの体積格子のすべてに対して再構成構造の角度許容差を $<0.1^\circ$ に維持できる。この角度許容差は、ホログラフィックディスプレイデバイスにおいてそのような光学素子を適用する時に重要である。

【0103】

先に説明した方法のもう1つの可能な適用用途は、ホログラム要素と、太陽光を電力に変換するエネルギー変換装置とを有する太陽電池パネルである。この場合、ホログラム要素は、記録媒体及び少なくとも2つの体積格子を備え、ホログラム要素は、太陽電池パネルに当たる太陽光が複数の異なる方向から入射していても太陽光をエネルギー変換装置に向かっ

【0104】

て誘導できるように設計され且つ太陽電池パネルに配置される。従来の技術では、太陽電池パネルの効率を向上する目的で入射太陽光の角度スペクトルと波長スペクトルとの少なくともいずれかを修正するために、互いに重ね合わせて配置され且つ各々が1つの体積格子を備える複数の記録媒体を備える体積格子スタックが太陽電池と組み合わせて使用される。互いに重ね合わせて配置され、短波部分及び長波部分を2つの異なる方向へ、すなわち異なるスペクトル感度を有する太陽電池に向かって回折する2つの体積格子を有する太陽電池パネルは、例えば非特許文献2に記載されている。積層処理によって複数の個別の体積格子からそのような層スタックを製造する場合、個別の層の非常に高い位置決め精度を維持することは極めて困難である。

【0105】

そこで、本発明に係る方法の主な利点は、均質な記録媒体に多重ホログラムの形で、すなわち各々が事前設定された厚さを有する複数の体積格子から成るスタックの形でホログラム要素を形成できることである。

【0106】

可能な限り高い効率で太陽光を回収し且つ電力に変換することが求められるので、積層構造を有するホログラム要素は、少なくとも1つの事前設定された角度選択性と少なくとも1つの事前設定された波長選択性との少なくともいずれかを示すことができる。

【0107】

ホログラム要素は、事前設定された角度範囲でホログラム要素に入射した光をホログラム要素の射出面に続いて、好ましくは射出面の直後に配置された透明板の中へ透過させるように設計される。

10

【0108】

一実施形態では、透明板を通過した後、光は二次元配列されたエネルギー変換装置に直接入射するか又は例えば集光器を介して入射する。エネルギー変換装置は少なくとも1つの太陽電池を備える。

【0109】

別の実施形態では、透明板を光導波管の形で設計することができ、光は、全内部反射によって導波管の縁部又は側面に向かって誘導される。この場合、光導波管として作用する透明板をコプレーナ型又はくさび型に形成できる。

20

【0110】

そこで、光導波管として作用する透明板の縁部に沿って、少なくとも1つのエネルギー変換装置又は少なくとも1つの太陽電池素子を配設できる。しかし、光導波管として作用する透明板の縁部から集光器を介してエネルギー変換装置又は太陽電池へ光を誘導することも可能である。

【0111】

しかし、エネルギー変換装置又は太陽電池素子の上流側の光学素子の変形機能と変換機能との少なくともいずれかを修正することにより、入射光の使用可能な角度範囲と太陽電池パネルのスペクトル感度範囲との少なくともいずれかを拡張することもできる。

【0112】

入射光の使用可能角度範囲を拡張するように作用するのは、マイクロプリズムと少なくとも1つの拡散面との少なくともいずれかから成る少なくとも1つの上流側構成であることも可能である。

30

【0113】

深さが増すにつれて徐々に変化可能な事前設定された拡散特性を透明板に持たせることによっても、入射光の使用可能角度範囲を拡張できる。

【0114】

これに対し、太陽電池パネルのスペクトル角度範囲は、量子ドットを実現することにより、あるいは例えばエネルギー変換装置又は太陽電池の上流側に配設された光学素子に蛍光物質又は発光物質を添加することにより拡張可能である。

40

【0115】

太陽電池素子から反射された光が太陽電池素子に向かって逆反射されるように、ホログラム要素がレンズの機能を実現してホログラム要素が集光器として機能することができるように、又はその両方となるように、ホログラム要素を設計することも可能である。

【0116】

最後に、事前設定された波長の光のみを事前設定されたスペクトル感度を有するエネルギー変換装置又は太陽電池に向かって誘導するように、ホログラム要素を設計することも可能である。

【0117】

更に可能な別の方法は、事前設定された露光エネルギー閾値を超えた場合にのみ、潜在

50

格子を形成し始め、水化学処理の中で潜在格子が位相限定体積格子に変換されるように、化学的に変化した感応性試薬を利用して改質される重クロム酸ゼラチン（DCG）から製造された記録媒体にホログラム要素を記録する。従って、埋め込み体積格子を生成する方法を重クロム酸ゼラチンから成る記録媒体にも適用できる。厚いDCG膜に、高い屈折率変調 n_1 を有する薄い体積格子を生成できる。太陽電池パネルと太陽光集光器との少なくともともいずれかの場合、これにより、角度選択性範囲及び波長選択性範囲を広くできるので、使用可能角度範囲又は使用可能波長範囲を拡張できるという利点がある。

【0118】

更に、先に説明した方法は、データ又は安全特徴を記録するためにも使用可能である。この場合、データ又は安全特徴を体積格子の形で記録媒体に記録している間、角度分割多重化及び波長分割多重化に加えて深さに依存する多重化（Z分割多重化）も実現される。

10

【0119】

これは、記録媒体の1つの層における角度別符号化及び波長別符号化に加えて、記録媒体の種々の層でデータ又は安全特徴も符号化できることを意味する。既に述べた通り、この符号化は記録媒体の限られた領域内で可能であるのが好ましく、記録媒体の表面から事前設定可能な距離で、すなわち記録媒体の事前設定可能な深さで可能であるのが好ましい。

【0120】

既に説明したように、角度選択性と波長選択性との少なくともともいずれかのプロファイルは事前設定可能であるので、露光中に角度選択性と波長選択性との少なくともともいずれかのサイドピークを抑制することが特に可能である。

20

【0121】

本発明の方法はこのような特徴を有するため、提供される記録容量が大きいばかりでなく、データ又は安全特徴は、はるかにフェイルセーフに符号化及び復号化される。

【0122】

記録される個別のデータセット又は安全特徴ごとに角度選択性と波長選択性との少なくともともいずれかのプロファイルを個別に事前設定可能であるので、個別のデータセットのそれぞれ異なる角度選択性と波長選択性との少なくともともいずれかによって符号化及び復号化は実現される。そのため、データセットの個別の角度選択性と波長選択性とを適切に多重化することによって、記録媒体におけるデータ記録密度を増加させることができる。

30

【0123】

レーザードップラー流速計（LDA）は、先に説明した方法の更に別の適用例として有用であり、その場合、方法は、試料中の測定レベルの長手方向シフトを実現するために利用可能である。この用途の重要な特徴は、特に、測定される試料の深い位置で格子平面を動的にシフトできることである。

【0124】

先に説明した方法の更なる適用例は3D光顕微鏡測定に関し、この場合、試料における長手方向分解能を改善でき、先の場合と同様に格子平面の動的シフトが有用であると判明している。

【0125】

最後に、深さ分解能を改善し且つ試料中で重ね合わされた超音波に対する音の強さの深さ範囲を封じ込めるために、方法を超音波検査に適用することも可能である。

40

【0126】

これは、本発明に係る方法が光波に関連する用途に限定されず、干渉の可能性を含む他の波伝播過程にも好適に適用可能であることを意味する。

【0127】

本発明の装置の態様に関しては、先に挙げた目的は、請求項56記載の特徴により達成される。本発明に係る装置は、露光によって少なくとも1つの体積格子を記録媒体に積層生成するために使用される。本発明に係る装置は、光源及び光線分割器手段を備える。記録媒体は、露光光の事前設定可能な波長に対して感光する少なくとも1つの感光層を有す

50

る。光線分割器手段は、光源により放射された露光光が干渉を発生可能であるコヒーレント光の少なくとも2つの波面に分割可能であるように設計され且つ配設される。各体積格子は、干渉を発生可能であるコヒーレント光の少なくとも2つの波面により記録媒体に生成可能である。干渉を発生可能であるコヒーレント光の少なくとも2つの波面を記録媒体において事前設定可能な角度、事前設定可能な深さ及び事前設定可能な干渉コントラストで重ね合わせることができる。干渉する波面の空間的コヒーレンス度と時間的コヒーレンス度との少なくともいずれかを深さ別に制御することにより、記録媒体における体積格子の屈折率変調と透明度変調との少なくともいずれかの深さ及び厚さを光伝播方向に制御することができる。

【0128】

本発明に係る装置は、請求項1～30のいずれか1項に記載の方法を実現するのに特に適する。方法のこの面に関する教示を理解する当業者には本発明に係る装置を発展させることは自明であるので、繰り返しを避けるために、先の説明を参照する。詳細には、本発明に係る装置は、少なくとも2つの体積格子を備える記録媒体を含み、請求項1～30のいずれか1項に記載の方法を使用して形成されるホログラム要素を形成するために使用可能である。

【0129】

光線分割器は回折格子を備えるのが好ましく、この回折格子は、表面プロファイル格子の形で設計可能であると考えられ、先の説明の中ではマスタ格子と呼ばれていた格子である。

【0130】

本発明の教示を具現化し、更に発展させるいくつかの可能性がある。この目的のために、請求項1の従属特許項を参照すると共に、添付の図面を含めて以下の本発明の好適な実施形態の説明を参照する。本発明の好適な実施形態及び添付の図面の説明と関連させて、教示の一般に好ましい物理的形態及びその発展形態が説明される。

【図面の簡単な説明】

【0131】

【図1a】、

【図1b】、

【図1c】 a) 点光源、b) 周期振幅格子を有する光源及びc) 周期位相格子を有する光源の使用例並びにマスタ格子に比例するシフト距離に対する干渉コントラストの依存性を示す図。

【図2】 急速に回転可能な基板上の、格子周期が角度に応じて変化する環状格子を示す図。

【図3】 2光線の干渉パターンを隣接して配設された記録媒体で複製するマスタ格子の形の構成を示す図。

【図4】 6つの体積格子及びスペーサ層から成る層スタックを備えるビームコンバイナを示す図。

【図5a】 各々が放物線形集光器と組み合わされ且つ透明板の形のカバーガラスを備える太陽電池の2次元配列を示す図。

【図5b】 頂上部に配設され且つ太陽電池に到達できる光線の角度範囲を拡張する働きをするホログラムを備える図5aに示されるのと同じ配列を示す図。

【図6a】、

【図6b】、

【図6c】 ホログラム要素から入射する入射光を縁部の1つへ誘導し、それにより、a) 太陽電池を直接照明するか又はb) 又はc) 放物線形集光器を介して照明する光学導波管としての機能に注目して透明板を示す図。

【図7a】、

【図7b】 量子効率を向上させるために量子ドット、あるいは発光物質又は蛍光物質（図中、ドットにより示される）をそれぞれ添加されているa) 透明板及びb) 放物線形集光

10

20

30

40

50

器を有する太陽電池パネルを示す図。

【発明を実施するための形態】

【0132】

すべての図面において同一の又はそれに相当する部分は同様の図中符号により示される。

【0133】

図1b及び図1cは、露光によって記録媒体AZMに少なくとも1つの体積格子VGを積層生成する方法を実現するために使用される一般的な構成を示す。記録媒体AZMは、露光光の事前設定可能な波長に対して感光する少なくとも1つの感光層を備える。各体積格子は、干渉を発生可能なコヒーレント光の少なくとも2つの波面WF1、WF2により記録媒体に生成され、それらの波面は、記録媒体において事前設定可能な深さ、事前設定可能な角度及び事前設定可能な干渉コントラストで重ね合わされる。記録媒体AZMにおける体積格子VGの屈折率変調と透明度変調との少なくともいずれかの深さ z 及び厚さは、光伝播方向に干渉する波面WF1、WF2のコヒーレンスの光伝播方向の空間的コヒーレンス度と時間的コヒーレンス度 Γ との少なくともいずれかを深さ別に制御することにより影響を受ける。

【0134】

光源LSによりコリメーションレンズLを介して、ほぼコリメートされた平面波動場PWによって照明されるマスタ格子Gの下流側では、更に下流側に向かって伝播し、マスタ格子Gにより回折される波動場WF1、WF2の間に、光伝播方向に相対的に横方向のオフセット $s(z)$ （せん断）が現れる。この横方向オフセット $s(z)$ （せん断）は、照明平面波動場PWの事前設定された複素数値空間的コヒーレンス関数と時間的コヒーレンス関数との少なくともいずれか Γ によって、干渉波動場の干渉コントラスト $V(z)$ の事前設定可能な深さプロファイルを発生させる。

【0135】

この場合、干渉する波動場WF1、WF2は、光伝播方向に見て記録媒体AZMの下流側に配設されたマスタ格子Gで起こる光源LSにより放射された同一のコリメート波動場PWの回折のそれぞれ異なる回折次数である。

【0136】

図1aを参照すると、点光源LSにより放射された光は、光伝播方向に点光源LSに続いて配置されたレンズLによりコリメートされる。これにより、平面波PWは、光路に沿って更に下流側に配設されたマスタ格子Gに入射する。マスタ格子Gの格子定数に従って、本例に示されるように2つの平面波動場WF1、WF2がマスタ格子の下流側へ伝播するように、入射平面波は角度 θ だけ回折される。それらの波動場は正の1次回折+1DO及び負の1次回折-1DOに対応し、従って、互いに対して 2θ の角度を有する。

【0137】

マスタ格子で回折された波動場の回折次数+1DO及び-1DOは、 $z=0$ から最大深さまで広がり且つ z が増加するにつれて小さくなる三角形の形状を有する重複領域で干渉することが可能である。単色点光源Point-LSが使用される場合、これは、重複領域全体にわたり一定の干渉コントラスト $V(z)=1$ で起こる。しかし、マスタ格子Gの代わりに他の光線分割器、例えば光変調器SLMに表される格子を使用することができる。

【0138】

図1aの水平方向のハッチングは、マスタ格子Gで回折される平面波動場WF1、WF2の伝播角度 θ に応じて決まる特定の格子定数を有する体積格子を記録媒体AZM中の重複領域、例えばマスタ格子Gから距離 z_1 をおいた位置から始まる深さ範囲Dの中の各点に記録できることを示す。この構成では、干渉コントラストは長手方向に、すなわちZ軸に沿って変化しないので、マスタ格子Gからの距離 z_1 に記録された体積格子は、長手方向にも均一の形態を有する。

【0139】

10

20

30

40

50

図1b及び図1cは、平面Eに配設され、複素数値の周期振幅分布又は非周期振幅分布と複素数値周期位相分布との少なくともいずれか又は非周期位相分布を一般に有する光源LSの形状が干渉コントラスト $V(z)$ に与える影響を示す。記録媒体AZMの特定の深さにおける干渉コントラスト $V(z)$ は、一方では、2つの干渉波動場WF1、WF2の伝播方向に見たZ座標の関数である波動場WF1、WF2の横方向オフセット $S(z)$ （せん断）に依存することがわかるが、他方、記録媒体AZMの事前設定可能な深さ範囲に生成される干渉コントラスト $V(z)$ の事前設定可能なプロファイルは、光源LSの平面Eにおける振幅分布と位相分布との少なくともいずれかの形状の関数である。

【0140】

従って、記録媒体AZMの事前設定可能な深さ z に現れる干渉コントラスト $V(z)$ が、体積格子VGの角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかを事前設定可能に制御すること及び体積格子VGの角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかのサイドピークを事前設定可能にすべて抑制することを可能にするアポダイゼーション関数に対応する事前設定可能な屈折率変調と透明度変調との少なくともいずれかの形で体積格子を記録媒体AZMに生成することは可能である。

【0141】

これを実現するためには、コリメートされるべきであり且つマスタ格子Gを照明する光源LSの平面Eが振幅格子と位相格子との少なくともいずれか、振幅分布と位相分布との少なくともいずれか、アポダイゼーション関数が重ね合わされた振幅格子と位相格子との少なくともいずれか、あるいはアポダイゼーション関数が重ね合わされた振幅分布と位相分布との少なくともいずれかを表す複素数値光学透明度関数を有することが必要である。

【0142】

図1bは、平面EにおいてX次元に関して周期的な振幅分布を有する単色の空間的にインコヒーレントの光源LS（周期 $A-L S$ ）が使用される場合を示す。この場合、 $s(z) = 0$ のせん断距離及び $V(z) = 1$ のコントラストで干渉が起こり、また、光源（周期 $A-L S$ ）の平面Eに配設された振幅格子AGのデューティファクタが小さく且つ透過率が低い状態で、マスタ格子Gの背後の設計せん断距離、すなわち所期の深さ z_1 で、例えば干渉コントラスト $V(z) = 0.8$ の干渉が起こる。設計せん断距離を約2倍にすると、例えば $V(z_2) = 0.4$ の干渉コントラストを有する干渉が起こる。

【0143】

これは、この種の光源LSの場合、マスタ格子Gで回折された2つの波動場WF1、WF2の重ね合わせによる干渉コントラストがマスタ格子Gからの距離 z に依存すること及び光源LSの平面Eにおける複素コヒーレンス関数 Γ によって干渉コントラストを制御可能であることを意味する。

【0144】

図1cは、周期位相分布を有する単色の空間的にインコヒーレントの光源LS（周期 $P-L S$ ）が使用される場合を示す。この場合、設計せん断距離、すなわちマスタ格子Gの背後の所期の深さで、例えば $V(z_1) = 1$ を有する干渉が起こる。この干渉を起こさせるために、光源LSの平面Eに配設される位相格子PGは、位相格子PGが平面波PWによって照明された場合、位相格子PGの下流側へ高い回折効率で伝播する正の1次回折+1DO及び負の1次回折-1DOのみが主に現れるように設計されなければならない。

【0145】

このようにして、干渉コントラスト $V(z)$ が該当する領域でのみ記録媒体AZMの感度閾値を超えるように適切に感光される十分に厚い記録媒体AZMの事前設定可能な深さ z に、事前設定可能な厚さの体積格子VGを生成できる。

【0146】

光源LSの平面Eで使用される位相格子PGの周期及び使用されるコリメーションレンズLの開口数は、共に、設計せん断距離、すなわち平面内の深さアポダイズ体積格子VGを配置又は記録可能な位置を規定する。従って、光源LSの周期又は平面Eに配設される位相格子PGの周期を適切に選択することにより、あるいはそれらのパラメータを変更す

10

20

30

40

50

ることにより、深さアポダイズ体積格子V GのZ位置を簡単に選択することが可能である。

【0147】

光源L Sの平面Eで使用される振幅格子A G又は位相格子P Gの振幅と位相との少なくともいずれかが例えば2値である場合、すなわち、格子の個別のスリットが矩形関数により記述される場合、設計せん断距離の周辺の干渉コントラストV (z)のプロファイルは2乗sinc関数に対応する。

【0148】

従って、体積格子V Gの記録媒体A Z Mが問題のZ領域に配置される場合、2乗sinc関数に対応する屈折率変調n1 (z)を長手方向次元zで発生させることが可能である。この屈折率変調n1 (z)は、ここでは深さアポダイゼーションと呼ばれる。このようにして記録された体積格子V Gは、矩形関数に類似し且つサイドピークをまったく示さない角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかを有する。

【0149】

光源L Sの平面Eに配設される格子A G又はP Gのスリットの振幅関数と位相関数との少なくともいずれかをどのように選択するかで、深さz又はせん断距離s (z)に応じてマスタ格子Gの下流側に現れる干渉コントラストV (z)のプロファイルが決まる。

【0150】

角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかに角度別回折効率と波長別回折効率との少なくともいずれかの関数 $\eta(\theta)$ 又は $\eta(\lambda)$ のプロファイルが与えられるべきである場合、光源L Sの平面Eに配設された格子A G又はP Gのスリットの振幅関数と位相関数との少なくともいずれかは、それらのプロファイルの形状を与えられなければならない。これは、光源L Sの適切な特性を選択することにより、体積格子V Gの回折効率に課される必要条件を満たすように深さアポダイゼーションをモデル化できる単純な相関である。

【0151】

干渉コントラストV (z)のプロファイル、従って記録された体積格子V Gの屈折率変調n1 (z)のプロファイル、すなわち記録媒体A Z Mに記録された体積格子V Gのアポダイゼーション関数n1 (z)は、光源L Sの平面Eに配設された格子A G又はP Gのスリットの振幅関数と位相関数との少なくともいずれかのフーリエ変換の2乗絶対値に比例する。

【0152】

干渉コントラストV (z)のプロファイルを計算するために、光源L Sの平面Eに配設された格子の1つのスリットの回折パターンを、使用されるスリットの数Nのデルタくし型関数によって畳み込む。これは、光源L Sの平面Eに配設された格子の格子周期、従って、体積格子V Gが記録された深さ層zが同一のままであっても、使用されるスリットの数が多いほど、Z次元における干渉コントラストV (z)の分布が密になることを意味する。

【0153】

従って、記録媒体A Z Mの特定の深さに生成される体積格子において、事前設定可能な深さzに生成可能である体積格子V Gの角度選択性関数と波長選択性関数との少なくともいずれか $\eta(\theta)$ 又は $\eta(\lambda)$ の形状を光伝播方向の屈折率変調n1 (z)の事前設定可能なプロファイルに重ねて制御できる。この屈折率変調は干渉コントラストV (z)に対応し、上述のプロファイルは、例えば2乗sinc関数、余弦関数、ガウス関数又は近似矩形関数の形のアポダイゼーション関数を表す。

【0154】

記録媒体A Z Mが線形伝達関数を有する場合、屈折率変調n1 (z)のプロファイルは、体積格子V Gが記録される領域における干渉コントラストV (z)のプロファイルに対応する。記録媒体A Z Mの伝達関数が非線形である場合、例えば2乗sinc関数に対応する屈折率変調n1 (z)を取得するために、干渉コントラストV (z)は適切に修正さ

10

20

30

40

50

れなければならない。

【0155】

一般に、すべての体積格子に関して、体積格子の厚さを変化させることにより、事前設定可能な深さ z に生成可能である体積格子VGの角度選択性 $\eta(\Theta)$ を更に制御できる。

【0156】

記録媒体AZMに複数の体積格子VGを記録できるようにするために、記録媒体AZMは、例えば光伝播方向に順次又は交互に配置できる少なくとも2つの体積格子を収容するのに十分な事前設定可能な厚さDを有していなければならない。

【0157】

有効光の事前設定可能な光波長 λ に対して、深さ分離と深さアポダイゼーションとの少なくともいずれかによって事前設定可能な深さ z に生成可能である体積格子VGを設計できる。これは、それらの体積格子が回折によって、その波長の光又は有効光にのみ影響を与えるのが好ましいということを意味する。

【0158】

記録媒体AZMにおける露光光の強さ変調、すなわち干渉コントラスト $V(z)$ の事前設定可能な深さアポダイゼーションと事前設定可能な深さ分離との少なくともいずれかは、例えば格子を実現するプログラム可能光変調器(SLM)の形で、光源LSの平面Eに動的に制御可能な振幅格子と位相格子との少なくともいずれかAG又はPGを配置することによっても動的に設定可能である。

【0159】

周期光源LSとして、例えば位相SLM、すなわち空間位置に応じて空間光変調器と相互に作用する光の光路長又は局所位相を修正できる空間光変調器(SLM)、あるいは複素数値SLM、すなわち空間位置に応じて空間光変調器と相互に作用する光の光路長又は局所振幅及び局所位相を修正できる空間光変調器を使用可能である。これにより、図1cに示されるZ次元の高い干渉コントラスト $V(z)$ を示す狭い領域を変化させ、特にその領域を事前設定可能な速度でカバーすることが可能になる。

【0160】

また、例えば連続的且つ周期的に変化する周期を有する位相格子PGを光源LSの平面Eに配設することが可能である。この位相格子は、部分的に照明され且つ高速で移動することが可能である。例えば、位相格子は、図2に示されるように円形の基板SUBの上に配置された円環KGであることが可能である。位相格子は反射モード又は透過モードのいずれかで動作可能である。

【0161】

このようにして干渉コントラスト $V(z)$ を動的に制御可能であることは図1b及び図1cに示される。図2を参照すると、振幅格子と位相格子との少なくともいずれかAG又はPGは、円環KGの形で設計され、モータ(図示せず)により駆動される回転軸Wに取り付けられた円形の基板SUBの上に配置される。

【0162】

格子周期は、例えば 0° から 180° までの角度範囲で増加し、 180° から 360° の範囲で減少することが可能である。軸Wに取り付けられた基板SUBが回転すると、図1cに示されるような高い干渉コントラスト $V(z)$ を有する領域の深さ z が格子基板の回転角度 ϕ と同期して変化するので、高速深さスキャンが可能になる。ステッピングモータ又は同期モータが使用される場合、その次に配置される測定構成の検出器信号によって、深さレベル z を精密に且つ時間的に固定して割り当てることが可能になる。

【0163】

例えば1次回折+1DO及び-1DOの最大限の回折効率を実現するように、円形の基板SUBの上に配置された振幅格子又は位相格子KGのプロファイル深さ又はエッチング深さを最適化できる。半径方向格子を有する円板を光源LSの平面Eに配設することが可能であり、この平面は拡散板(図示せず)を更に収容できる。拡散板及び格子は互いに相対的に移動される。

【0164】

測定又は測定値積分の時間ウィンドウに対して周期 Λ を有する固定格子を想定できるように、格子周期の信号検出及び変化を同期させることが可能であるのが好ましい。使用される拡散板（図示せず）は、例えば格子を支持している円板より一桁速い速度で回転可能である。

【0165】

本発明に係る方法の1つの利点は、特に複数の深さ分離体積格子又は交互配置体積格子VGを有する大面積体積格子構造も実現可能なことである。

【0166】

その場合、例えば大面積プロファイル格子の形でマスタ格子Gが設けられ、マスタ格子の照明される面は、体積格子VGの記録媒体AZMの面の一部であるか又は記録媒体AZMの面と同一である。これは、必要に応じて体積格子構造を部分領域又はタイルから構成できることを意味する。

10

【0167】

光源LSの平面Eに位相分布と振幅分布との少なくともいずれかの非対称性が導入されるように、記録媒体AZMの屈折率変調 $n_1(z)$ の非対称形プロファイルを生成できる。これは、位相分布と振幅分布との少なくともいずれかの非対称性が干渉コントラストV(z)の形状に直接反映されるからである。

【0168】

記録媒体AZMの特定の深さzで干渉コントラストV(z)の相応して非対称のプロファイルを生成するために、光源LSの平面Eにおいて鋸歯形の表面プロファイルを有する位相格子を使用できる。

20

【0169】

記録媒体AZMに体積格子VGを生成するために、マスタ格子Gにおける露光光の回折の0次回折及び1次回折の干渉を使用する代わりに、0次回折及び2次回折の干渉又は他の回折次数の干渉を使用することも可能である。回折次数が高い光は大きな角度 θ で伝播するので、この方法により、体積格子VGの格子定数に影響を与えることができる。しかし、この方法を実行可能にするためには、記録に必要とされる回折次数のみが強調され、他の回折次数は抑制されるようにマスタ格子Gを設計する必要がある。

【0170】

30

記録媒体AZMは開始剤を含むことも可能であり、その場合、記録媒体の開始剤を活性化するために露光光の一定光部分を使用できる。そのような媒体の例はBayfol HX又は光熱屈折(PTR)ガラスであるが、体積格子の記録前に双方の面をUV放射で予備暴露することによって、光伝播方向に事前設定可能な屈折率プロファイル $n_1(z)$ を生成できる。

【0171】

あるいは、例えばポリマー分散液晶(PDLC)層、すなわちLC層と硬化可能なポリマーとの組み合わせなどの電氣的に制御可能な材料を、切り替え可能体積格子を生成するための記録媒体として使用可能である。従って、生成可能な体積格子の回折効率を電氣的に誘導される液晶の再配向によって制御できる。

40

【0172】

生成可能な体積格子を適切に設計することにより、種々の再構成構造（平面波／平面波、平面波／球面波など）を事前設定された固定的な形態又は切り替え可能な形で実現できる。

【0173】

例えば、平面波を収束球面波に変換し、その結果、視野レンズの効果を示す体積格子VGを生成することが可能である。そのような視野レンズは、例えば裸眼立体ディスプレイ又はホログラフィックディスプレイで使用可能である。更なる光学的機能を実現するために本発明に係る方法によって記録媒体AZMに1つ以上の更なる体積格子VGを記録又は生成できる場合、露光後の記録媒体AZMは、複数の光学的機能を実現でき、1つの構成

50

要素としてディスプレイに組み込まれることが可能である。

【0174】

記録媒体 A Z M に体積格子 V G が記録されている間、露光光の空間的コヒーレンス特性と時間的コヒーレンス特性との少なくともいずれかを事前設定可能に選択することにより反射を抑制できる。光源 L S のスペクトル帯域幅及び光源平面 E における複素格子は、それに合わせて適切に設計されなければならない。これにより、記録中の反射は実際には阻止されないが、このような方法をとることによって、反射された部分と反射されなかった部分との間で強め合う干渉は起こらなくなるので、記録媒体の露光に関する感度閾値を超えることはない。

【0175】

以上説明した干渉方法に代わる方法として、記録媒体 A Z M 中の開始剤を表面から内側に向かって化学的又は光学的に消尽させることにより、記録媒体 A Z M の事前に設定された深さ z に事前に設定された形状及び厚さの体積格子 V G を記録することが可能である。しかし、その場合、生成可能な深さ分離体積格子 G の数は少なくなり、実際、体積格子の数は 1 つの格子に実質的に限定される。更に、体積格子の形状に関する設計可能範囲もごく狭められてしまう。

【0176】

反射型体積格子を構成に装着する方法より容易な透過型体積格子の形のフラットホログラフィック 3 D ディスプレイのサンドイッチ構造によっても、例えば軸上平面波を軸外れ平面波に変換する第 1 の透過型体積格子と、軸外れ平面波を軸上球面波に変換する第 2 の透過型体積格子とを備える軸上効果を示す組み合わせ視野レンズの実現のような複素波動場の別の複素波動場への数多くの変換が可能である。従って、体積格子の厚さを記録媒体の厚さのごく一部まで減少させること、記録媒体中の特定の Z 平面を選択すること且つ屈折率分布 $n_1(z)$ の深さアポダイゼーションの特定のプロファイルを選択することを可能にする透過型体積格子の実現は、反射型体積格子より好ましい。

【0177】

更に、マスタ格子を使用すると、透過型体積格子を容易に再生可能である。透過型体積格子は、例えば D O E などの表面プロファイル格子、ブレード格子、2 値位相格子、多段位相格子、例えば可変デューティファクタ及び固定ウェーブ幅又は固定溝幅を有するサブ 1 位相格子であると考えられる。例えば、1 組の角度を「選択」できる多層構成である偏光に依存する液晶格子 (P D L C G)、又は連続的に変化する回折角度を生成でき、回折効率 B W G は、例えば約 0.5 であり且つ 2 つの回折次数しかないのが好ましい L C G などの制御可能な格子は、可撓性構造に適している。

【0178】

例えば複製のためのマスタ格子としても体積格子を使用可能である。2 光線の干渉パターンが透過されるべき場合、記録媒体で十分な干渉コントラスト $V(z)$ を実現するのに有用な回折効率を有するように体積格子を容易に設計できる。マスタ体積格子の回折効率は、例えば $\eta = 0.4 \sim \eta = 0.6$ の範囲に入るように設計可能である。図 3 は、2 光線の干渉パターンを複製するために使用可能な構成を示す。複製されるマスタ体積格子 M G は、基板 S U B の射出側面に配置される。

【0179】

図 3 に示されるように、複製のためのマスタ体積格子 M G からの距離 z に応じて、すなわち記録媒体 A Z M 中の深さ z に応じて変化する入射平面波 P W の 0 次回折及び 1 次回折 0 D O 及び + 1 D O の波面の 2 つのパラメータ、すなわち共に記録媒体 A Z M 中の屈折率分布 $n_1(z)$ の所望の深さアポダイゼーションを実現するために使用可能である横方向オフセット $s(z)$ (せん断) の絶対値及び長手方向オフセット O P D (z) の絶対値がある。干渉コントラスト $V(z)$ に対する露光光の空間的コヒーレンスの寄与は横方向オフセット $s(z)$ (せん断) による影響を受けるが、干渉コントラストに対する露光光の時間的コヒーレンスの寄与は長手方向オフセット O P D (z) の影響を受ける。図 3 には、2 つの異なる Z 値に対して波面の横方向オフセット $s(z)$ (せん断) 及び長手方向オ

10

20

30

40

50

フセットOPD (z) が示される。

【0180】

長手方向シフトOPD (z) の絶対値に依存し、特定の露光セットアップの必要条件を満たすのに適する干渉コントラストを取得するために、露光光に対して特定して適応させたスペクトルフィルタが使用されなければならない。スペクトルフィルタは、ごくわずかな例を挙げただけでも、金属干渉フィルタ (フィルタ、MIF)、透過型又は反射型誘電体層スタック、固定ファブリペロー干渉フィルタ又は可変ファブリペロー干渉フィルタ、反射型又は透過型体積格子及び変形分光計などであると考えられる。

【0181】

以下に説明する本発明に係る方法の実施形態は、事前設定可能な厚さに少なくとも2つの体積格子を有する記録媒体AZMを含み且つ光変調器SLMの画素により放射された光を重ね合わせるために使用されるビームコンバイナに関する。

10

【0182】

そのようなビームコンバイナは、例えば大画面のホログラフィック直視型ディスプレイを実現する上で主要な構成要素である。ビームコンバイナの機能原理及び適用分野は、例えば特許文献5に開示されており、そこで詳細に説明される実施形態は、そのようなビームコンバイナをホログラフィック直視型ディスプレイに適用するために実現可能である。そこで、この点に関しては、特許文献5を参照する。

【0183】

先に説明した方法により生成される体積格子VGは、幅が事前設定可能であり、更には任意にプロファイルが事前設定可能である角度選択性を示す。そのような角度選択性は、ビームコンバイナが直視型ディスプレイで使用された場合に高い回折次数を抑制し且つ特定の回折次数の光のみを観察者の目に向かって透過させるために特に必要である。

20

【0184】

図4は、例えばホログラフィックディスプレイで使用可能である光変調器SLMの2つの隣接するRGB画素RGB1及びRGB2に対する上記のようなビームコンバイナBCの例示的な一実施形態を示す。

【0185】

ビームコンバイナは、各々が事前設定可能な厚さを有する3つ1組の2つの体積格子群VG1、VG2、VG3及びVG4、VG5、VG6から成る層スタックVGS1、VGS2と、それとは異なる事前設定可能な厚さを有する中間層Sとを備える。

30

【0186】

光の損失を避けるために、例えば光伝播方向に見てビームコンバイナBCの下流側に開口絞り (図示せず) が配設される場合、体積格子スタック全体の厚さは事前設定値を超えてはならない。

【0187】

ホログラフィックディスプレイで使用される場合、3原色 (RGB) のすべて及び6つの体積格子VG1～VG6のすべてに対して再構成構造の角度許容差を0.1°未満に維持することが更に必要である。

【0188】

40

図4は、光変調器SLMの2つの隣接するRGB変調器セルRGB1、RGB2により放射された変調光を組み合わせるビームコンバイナBCを示す。そのような構成は、例えばSLMの複素数値2相符号化によるホログラフィック再構成に必要とされる。

【0189】

2つのRGB変調器セルRGB1、RGB2により放射される光は、図中にはTEとして示される同一の偏光を有するが、図中に $\phi 1$ 及び $\phi 2$ として示されるように、光の位相は異なる。光は、各々が3原色RGBのうち1つの原色にのみ影響を与える3つの波長選択体積格子VG1、VG2、VG3を備える第1のスタックVGS1に入射する。更に、これらの格子は偏光選択性を有し、例えばTM偏光を伴う光にのみ影響を与える。そこで、図4を参照して説明すると、上の光線RGB1を下の光線RGB2に向かって偏向する

50

ために、上の光線RGB1は、光伝播方向に続いて配置されている $\lambda/2$ 波長板QWPによりTM偏光光線に変換される。第1の格子スタックVGS1の体積格子VG1、VG2、VG3は、この光線を下の光線RGB2に向かって特定の角度だけ回折するが、第2のTE偏光光線RGB2は回折せずに通過させる。

【0190】

光伝播方向に見て第1の格子スタックVGS1の次にスペーサ層Sが配置される。スペーサ層Sの厚さは、上の光線RGB1がビームコンバイナの下半分の下光線RGB2と組み合わせられるように第1の格子スタックVGS1の偏向角度に応じて選択される。光伝播方向に続いて配置された格子スタックVGS2は、同様に各々が3つの原色のうち1つの原色の光及びTM偏光の光のみに影響を与える3つの波長選択体積格子VG4、VG5、VG6を備える。格子スタックVGS2は、上の変調器セルRGBにより放射された光線が光軸と平行になるように偏向するが、下の変調器セルRGB2により放射された光線は影響を受けない。

10

【0191】

このようにして、2つの光線は組み合わせられ又は重ね合わされ、同一の方向に伝播し続ける。光線は、位相 ϕ 及びTE偏光であるか又はTM偏光であるかに関してのみ異なる。従って、2つの位相値 ϕ_1 及び ϕ_2 が重ね合わされるので、2つの光線は光変調器SLMの複素変調値Cを表す。2つの光線は互いに垂直な偏光方向を有するので、組み合わせ後の光線の偏光平面は元の偏光平面に対して45°回転されている。光伝播方向に更に下流側に配設された偏光子Pは、この偏光方向を有する光のみを通過させ、上の光線RGB1の部分に配設された開口絞りASは、上の変調器セルから放射された光線RGB1の偏向されなかった迷光を遮断する。

20

【0192】

本実施形態において、回折効率 $\eta(\theta)$ の大きな角度選択性を実現するために、2つの格子スタックVGS1及びVGS2の体積格子は非常に薄くなければならない。実現される幅は1°から2°の範囲である。

【0193】

従来の方法を使用した場合、6つの体積格子を有するそのようなビームコンバイナを一度に1つの記録媒体AZMに記録することは現在不可能である。従来技術を使用した場合、例えば6つの体積格子層を個別に記録し、後に、6つの体積格子層を積層処理することによって組み合わせ、1つの光学素子を形成しなければならない。この処理によって起こりうる機械的応力が個別の体積格子の格子構造を変化させないように組み合わせを実行しなければならない、これを実現することは非常に困難である。

30

【0194】

本発明に係る方法によって生成されるホログラム要素HBの別の好適な用途は、太陽電池パネルSMの改良、特に使用可能な角度スペクトルと波長スペクトルとの少なくともいずれかの拡張に関する。

【0195】

図5aは、太陽電池パネルSMの太陽電池素子SZの2次元配列を示す。各太陽電池素子SZは、放物線形集光器Kと組み合わせられ且つ透明板PLの形のカバーガラスを備える。図5bは、頂上部に配設され且つ太陽電池素子SZを透過できる光線の角度範囲を拡張する働きをするホログラム要素HBを有する図5aに示されるのと同じ配列を示す。この展開図では、図中でホログラム要素HBを明瞭に示すために、ホログラム要素HBは透明板PLから分離しているように示されている（同じことが図7aにも当てはまる）。完成後の太陽電池パネルSMでは、ホログラム要素HBは、通常透明板に装着され、例えば透明板に重ねて貼り付けられる。このようなホログラム要素HBは、事前設定された角度別回折効率を有する個別の体積格子VGを例えば積層処理によって接合させた積層構造を通常有する。複数の受け入れ角度構造の1つとして、例えば50°と60°の角度組み合わせを使用できる。広い角度範囲とスペクトル範囲との少なくともいずれかを実現できるようにするために、スタックの個別の体積格子VGの厚さを例えば3~10 μm の範囲内

40

50

にすべきである。

【0196】

積層処理の費用を低減するために、1つの層のみ、すなわちホログラム要素のみを備える記録媒体A Z Mに本発明に係る方法を使用して、格子スタック又はホログラム要素H Bの個別の体積格子V Gを記録できる。例えば、この技術により、例えば光重合体の形の記録媒体A Z Mの1つの層に、事前設定された厚さを有する複数の回折視野レンズを配列することができ且つ／又は特定の体積格子V Gの層における屈折率分布 $n_a(z)$ のアポダイゼーションによって角度スペクトル $\eta(\theta)$ の側波帯を抑制することができる。

【0197】

図5 a及び図5 bに示される構成を透過モード以外のモードで動作させることも可能である。図6 a～図6 cに示されるように、透明板P Lの形のカバーガラスは光導波管としても使用可能であり、導波管は、ホログラム要素H Bから放射され、事前設定された角度で導波管に入射した入射光を全内部反射によって光導波管の縁部に向かって誘導する。光導波管のこの縁部では、エネルギー変換装置又は太陽電池素子S Zが直接照明される（図6 a）か又は放物線形反射集光器Kを介して照明される（図6 b及び図6 c）。ホログラム要素H Bは、太陽電池により使用可能な入射太陽光放射の角度スペクトルと波長スペクトルとの少なくともいずれか $\eta(\theta)$ 又は $\eta(\lambda)$ の許容度を改善することによってエネルギー変換装置又は太陽電池パネルS Mの効率の改善にも影響を与える。太陽電池パネルS M全体の向きを実際の太陽の位置に合わせて動かす必要がないのが好ましく、太陽電池パネルS Mを静止位置に取り付けるだけで十分である。

【0198】

透過型体積格子V Gの代わりに、反射型体積格子を使用することも可能である。その場合、体積格子は透明板P Lの底面に配設される（図示せず）。格子として、例えば透過型表面プロファイル格子又は反射型表面プロファイル格子を使用可能である。

【0199】

一般に、表示装置の照明装置で光制御又は光誘導のために使用される技術的方法は、どのような種類であっても太陽電池パネルS Mに使用可能である。これは、例えば光受け入れ角度を拡大するためのマイクロプリズム、又はマイクロプリズムと組み合わせても使用される拡散面の構成に関する。体積材料の光散乱効果も利用できる。この場合、例えば、材料の拡散効果がZ次元に増加するように、放射の侵入深さに応じて拡散効果の勾配を発生させることができる。このように、透明コプレーナ板P Lにおける全内部反射によって伝播の条件を満たし且つ縁部のうち1つに向かって誘導されるように、入射光の角度範囲を修正することができる。

【0200】

もう1つの実施可能な方法は、透明板P Lにおける全内部反射の条件を更に正しく満たすこと又はエネルギー変換に使用される太陽電池素子S Zのスペクトル感度に適応させることを目的として拡散効果と周波数変換効果とを組み合わせる。例えば、透明板P Lと集光器Kとの少なくともいずれかの材料に量子ドットを添加することが可能である。蛍光性不純物又は発光性不純物を添加することによって、透明板又は集光器に使用される材料の量子効率を改善することも可能である。このことは、透過モードで動作される透明板P L及び透明板P Lの縁部に沿って配設された集光器Kの各々に関して図7 a及び図7 bのドットにより示される。

【0201】

例えば、集光器Kの前方に配設されるのであれば、エネルギー変換装置又は太陽電池素子S Zにより反射された光を元のエネルギー変換装置又は太陽電池素子S Zに向かって誘導するために、波長別反射特性を有するホログラム要素H Bも使用可能である。更に、例えば軸外れモードで動作される回折レンズの形で集光器Kを実現できるように、ホログラム要素H Bの体積格子V Gにレンズ機能を持たせることも可能である。最後に、太陽電池パネルS Mで使用される種々のスペクトル特性を有するエネルギー変換装置又は太陽電池素子S Zが電池のスペクトル特性に整合する入射光の部分によってのみ励起されるように

、本発明に係るホログラム要素HBの方向修正特性と波長修正特性との少なくともいずれかを設計することが可能である。

【0202】

本発明に係る方法の更なる適用用途には、データ又は安全特徴の記録があり、その場合、記録媒体に体積格子の形でデータ又は安全特徴が記録されている間、角度分割多重化及び波長分割多重化に加えて深さに依存する多重化（Z分割多重化）も実現される。

【0203】

体積格子の角度選択性と波長選択性との少なくともいずれか $\eta(\theta)$ 又は $\eta(\lambda)$ のプロファイルは事前設定可能であるので、角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかのサイドピークを有効に抑制できる。

10

【0204】

角度選択性と波長選択性との少なくともいずれか $\eta(\theta)$ 又は $\eta(\lambda)$ のプロファイルは記録される個別のデータ集合又は安全特徴に対して異なるように事前設定可能であるので、個別のデータ集合のそれぞれ異なる角度選択性と波長選択性との少なくともいずれかによって符号化及び復号を実現できる。従って、これらの用途では欠陥は大幅に起こりにくくなる。

【0205】

本発明に係る方法は、レーザードップラー流速計（LDA）、3D光顕微鏡検査及び超音波検査にも適用可能である。

【0206】

20

LDAの場合、運動粒子から入射する拡散光の周波数が判定される。干渉パターン格子周期がわかっているので、運動粒子の速度を判定することが可能である。一般に、これは図1aに示されるような構成を使用して実行可能であり、その測定範囲は、波動場WF1及びWF2が干渉するマスタ格子Gの下流側の重複領域の深さ（Z次元）全体に及ぶ。

【0207】

しかし、Z次元の長さが図1aに示される構成における長さより相当に短い試料の場合、測定平面を実現し且つ測定平面を長手方向に移動させるためには、図1cに示される構成を使用すると有利である。拡散光の場所の特定、従って速度測定を、従来のようにコヒーレントに高いコントラストで照明されるボリュームの広がりと比較してZ次元の広がりがわずかに $1/100 \sim 1/1000$ であるようなボリュームに限定することができる。従って、Z次元の測定の長手方向空間分解能を著しく改善できる。

30

【0208】

3D光顕微鏡検査の場合、超微細構造の表面プロファイルを測定するためにストライプパターン投影方法が使用される。干渉コントラストがZ次元で大きな広がりを有する場合、非常に深い構造を除き、単なる表面プロファイルでは問題は起こらない。

【0209】

しかし、ストライプパターン投影は、蛍光顕微鏡検査でも空間分解能を向上するために使用される。この場合、「構造光」という用語が使用される。空間分解能の向上を可能にするためには、格子を変位させながら少なくとも3回の撮影を実行することが必要である。検出器カメラで見ることができる画像は、構造照明のストライプを含む。そこで、位相シフトアルゴリズムを利用して解析を実行できる。例えば5位相アルゴリズムが使用される場合、物体平面における照明パターンとして使用される振幅格子を個別の画像の間で $\lambda/4$ ずつ移動させながら5回の撮影を実行しなければならない。X次元及びY次元の双方で空間分解能を向上するために、すなわち物体のXY平面で空間周波数を検出するために、複数の方向に、例えば各方向で1つずつストライプパターンを生成しなければならない。

40

【0210】

試料の長手方向分解能又は軸方向分解能を改善するために本発明に係る方法を3D顕微鏡検査に適用する場合、図1cに示されるような構成において好ましくは正弦曲線上のストライプパターンを生成するのが好都合である。マスタ格子Gの下流側で干渉する波動場

50

WF 1 及び WF 2 の空間的コヒーレンスの伝播によって、前記ストライプパターンの Z 次元の広がりとは異なり、本発明の方法は点像強度拡散関数 (PSF) を更に減少させる。そこで、顕微鏡の照明光路中の対物レンズは、例えば図 1 c の格子 G の下流側に配置される。

【0211】

構造照明に適用される場合、図 1 b 及び図 1 c に示される深さ分離と深さアポダイズとの少なくともいずれかの体積格子 VG を生成する方法は、概して構造波動場を生成する方法であると考えることができる。「構造サウンディング」に適用される場合、超音波を試料中で重ね合わせる場合の深さ分解能及び音の強さの深さ範囲の制限を改善するために、超音波検査又は超音波顕微鏡検査でも、この方法を使用可能である。

10

【0212】

超音波顕微鏡検査の場合、結果として得られる点像強度拡散関数 PSF の次元を縮小するために、超音波波動場の空間的コヒーレンスの準備を使用可能である。本発明に係る方法を使用すると、音源の平面で適切な複素数値透明度関数を選択することにより、深い位置で発生する超音波干渉パターンが Z 次元で大幅に制限されるように、超音波試験のための位相シフトストライプ投影を拡張することが可能である。この場合、深さ識別のために Z 次元で超音波干渉パターンを動的に変位させることができると共に、位相シフトのために Z 次元に対して垂直な方向への動的変位も可能である。

20

【0213】

超音波顕微鏡検査では、動的深さスキャンのために拡散板の移動も利用できる。拡散板は例えば油の中に埋め込まれ、数 μm 程度の大きさで横方向に移動することが可能である。

【0214】

更に、「フェイズドアレイ」を使用することも効果的である。例えば 1 次元 piezo 変換器 (PZT) 又は 2 次元 PAT アレイを使用できる。それらのアレイは、音源の平面で静止位相部分及び固定位相部分を生成できる。

【0215】

本発明は、先に説明された実施形態及び用途に限定されるべきではなく、最も広い意味で、記録媒体に体積格子構造を形成し且つ位置決めするために使用できる。

30

【0216】

一般に、本発明に係る方法に従って時間的コヒーレンス関数及び空間的コヒーレンス関数 Γ をモデル化する方法は、特に特定の用途に必要なとされる体積格子の生成に関して、干渉パターンの深さ場所特定 (深さ識別) と深さアポダイゼーションとの少なくともいずれかに使用可能である。一方では、それらの格子は位相シフト体積格子である。

【0217】

裸眼立体ディスプレイ及びホログラフィック 3D ディスプレイの場合、例えば特定の空間方向に伝播する光がその角度範囲と波長範囲との少なくともいずれかに関して透過され且つ明確に制限されることが好ましいといえる。従って、角度範囲 (又は波長範囲) を特定して除外するために、すなわちそれらの範囲を重要でない方向に、すなわち観察者に影響を及ぼさない方向に偏向するために、複数の体積格子を使用することが可能である。

40

【0218】

別の種類のフィルタは、例えば 2 つの体積格子から構成される視野レンズに代表される。視野レンズの第 1 の非常に薄型の体積格子 VG 1 は、例えば $\pm 2^\circ$ の角度範囲を含めて格子表面に直角に入射した光を $\eta > 0.8$ の回折効率で 45° 回折し、第 1 の格子より著しく厚い第 2 の体積格子 VG 2 は、例えば $\pm 0.5^\circ$ の小さな角度範囲を含めて 45° の角度で入射した光を光軸に向かって回折し、光軸に集束する。

【0219】

本発明に係る指向性フィルタの方法は、例えば光をまっすぐに透過させる間にフィルタ処理が望まれる場合に、2 つの薄い一般に $n_1(z)$ アポダイズされた体積格子 VG 1 及

50

びVG2を深さ z_1 及び z_2 にそれぞれ生成することによって実現され、それらの体積格子は、例えば $\pm 2^\circ$ の角度範囲を含めて直角に入射した光を例えば $\eta > 0.8$ の回折効率で 45° 回折する。それらの体積格子は、互いに対して π だけ位相がずれている。

【0220】

2つの体積格子から成るこの特別の構成は、位相シフト π を伴う複合体積格子であると考えことができ、この構成により、例えば光軸に沿って又は他の何らかの設計方向に沿って非常に狭い角度範囲（又は波長範囲）を伝播させることが可能である。この場合、すぐ隣接する角度範囲又は波長範囲は、重要ではない空間方向へ回折される。

【0221】

幾何学的構造に応じて、例えばマスタ格子G及び記録媒体AZMの相対的な横方向位置又は軸方向位置を変化させることにより、あるいは非常に小さな照明角度を導入することにより、個別の露光の間で位相シフトを実現できる。導入されるべきこの非常に小さな追加角度は、格子周期及びマスタ格子Gと記録媒体AZMとの間の距離によって決まる。

10

【0222】

Z次元に分離され且つ位相シフトされている、3つ以上の格子を含めた体積格子を生成する原理は、多数の空間回折関数を実現するために適用可能である。

【0223】

他方、本発明に係る方法により、深さ z の方向に変位される種々の波長に対する体積格子を生成することも可能である。

【0224】

20

例えば時間的に厳密に限定された光パルスを形成できるようにするためには、異なる波長の間で遷移時間差をすべて補償することが必要である。

【0225】

本発明に係る方法によれば、異なる波長範囲を回折する体積格子をそれぞれ異なる深さ z に記録できるので、この修正のための体積格子スタックの下流側で起こる遷移時間差を補償するように個別の波長範囲に対して特定して遷移時間差を導入することができ、設計仕様に従って光パルスを形成することが可能になる。

【0226】

最後に、以上説明した実施形態及び用途は、特許請求される教示を例示することを目的として提示されたにすぎないと解釈されるべきであり、特許請求される教示は上記の実施形態及び用途に限定されない。

30

【図 1 a】

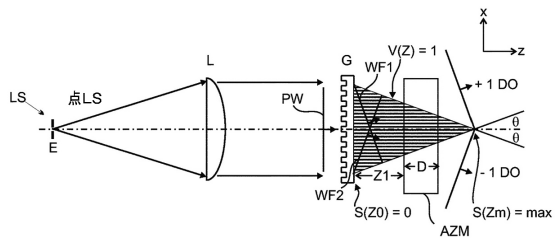


Fig. 1a

【図 2】

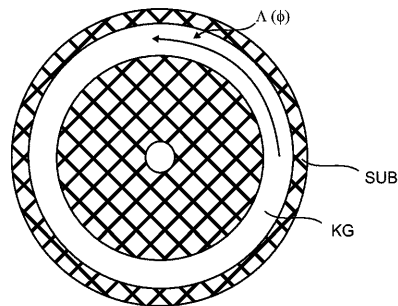


Fig. 2

【図 1 b】

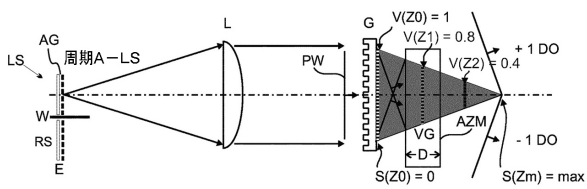


Fig. 1b

【図 1 c】

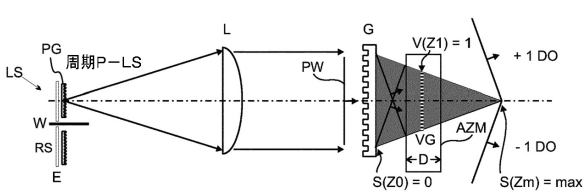


Fig. 1c

【図 3】

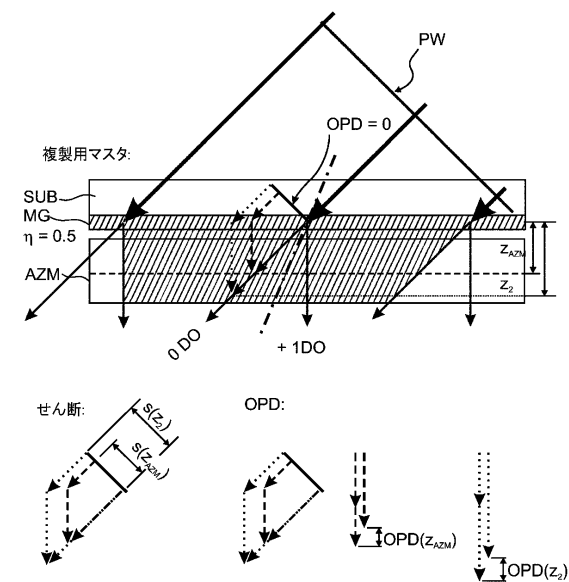


Fig. 3

【図 4】

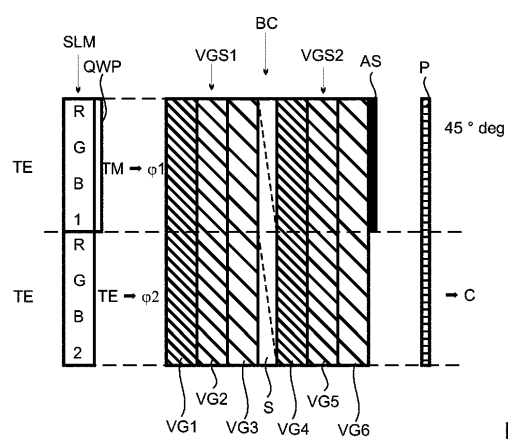


Fig. 4

【図 5 a】

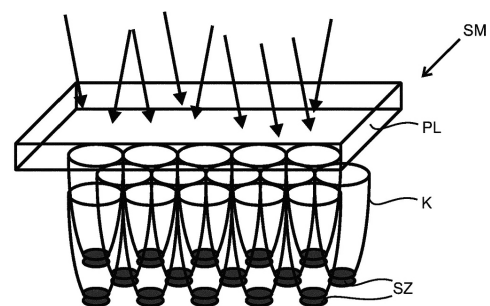


Fig. 5a

【図 5 b】

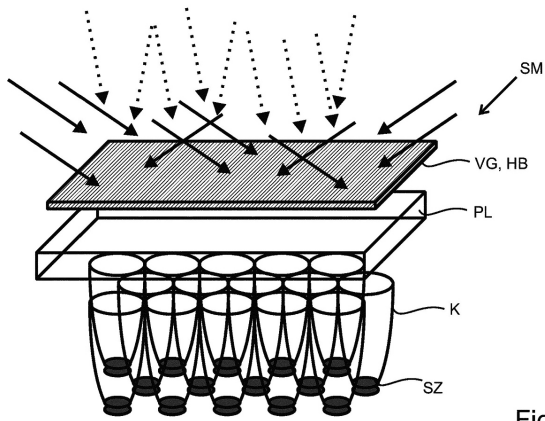


Fig. 5b

【図 6 a】

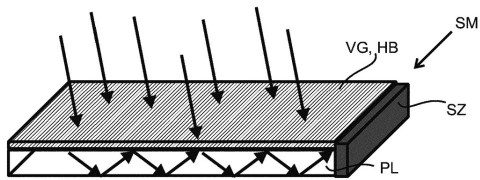


Fig. 6a

【図 6 b】

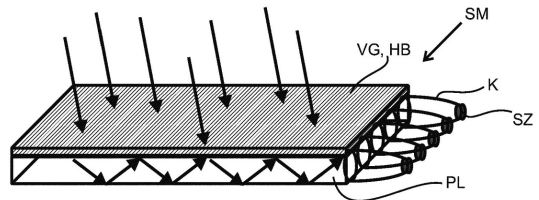


Fig. 6b

【図 6 c】

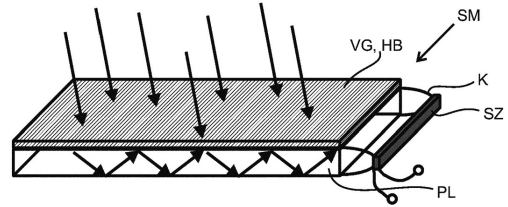


Fig. 6c

【図 7 a】

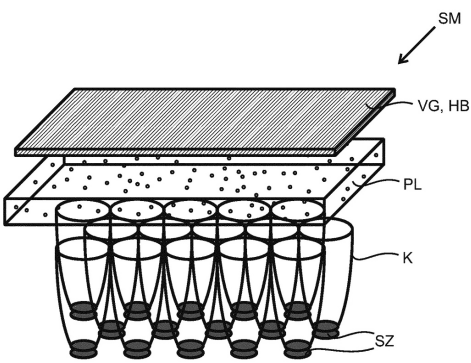


Fig. 7a

【図 7 b】

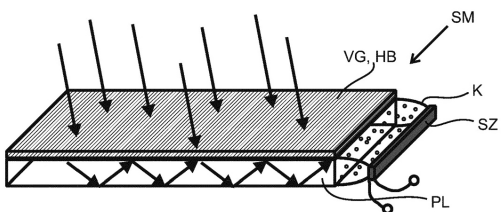


Fig. 7b

フロントページの続き

(31)優先権主張番号 102011084379.5

(32)優先日 平成23年10月12日(2011.10.12)

(33)優先権主張国 ドイツ(DE)

(31)優先権主張番号 102012101299.7

(32)優先日 平成24年2月17日(2012.2.17)

(33)優先権主張国 ドイツ(DE)

(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 100170667

弁理士 前田 浩次

(72)発明者 フエッテラー, ゲラルド

ドイツ国 ドレスデン 01309, ツィンマーシュトラッセ 25

審査官 加藤 昌伸

(56)参考文献 特開2002-156519(JP, A)

特開平06-230377(JP, A)

特開平03-048883(JP, A)

特開平05-181403(JP, A)

特開2001-215863(JP, A)

特開昭64-068784(JP, A)

特開平04-212105(JP, A)

特開平03-188481(JP, A)

特開2010-176765(JP, A)

米国特許第05153670(US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G03H 1/00 - 5/00