

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4124396号
(P4124396)

(45) 発行日 平成20年7月23日 (2008.7.23)

(24) 登録日 平成20年5月16日 (2008.5.16)

(51) Int. Cl.		F I	
GO3H	1/04	(2006.01)	GO3H 1/04
GO2B	5/18	(2006.01)	GO2B 5/18
GO2B	5/32	(2006.01)	GO2B 5/32
HO1S	3/00	(2006.01)	HO1S 3/00
HO1S	5/125	(2006.01)	HO1S 5/125

請求項の数 10 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2000-312715 (P2000-312715)	(73) 特許権者	503360115
(22) 出願日	平成12年10月12日 (2000.10.12)		独立行政法人科学技術振興機構
(65) 公開番号	特開2001-236002 (P2001-236002A)		埼玉県川口市本町4丁目1番8号
(43) 公開日	平成13年8月31日 (2001.8.31)	(74) 代理人	100108671
審査請求日	平成16年11月2日 (2004.11.2)		弁理士 西 義之
(31) 優先権主張番号	特願平11-359815	(72) 発明者	細野 秀雄
(32) 優先日	平成11年12月17日 (1999.12.17)		神奈川県大和市鶴間2786-4-212
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(72) 発明者	平野 正浩
			東京都世田谷区松原5-5-6
		(72) 発明者	猿倉 信彦
			愛知県岡崎市電美南2-3-1明大寺住宅
			6-403
		(72) 発明者	河村 賢一
			神奈川県相模原市東林間3-8-2メゾン
			イースト203

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ホログラムの製造方法および装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

パルス幅が900~10フェムト秒、ピーク出力が1GW以上で、フーリエ限界またはそれと近似できるフェムト秒レーザーを光源とし、該レーザーからのパルス光をビームスプリッターにより二つに分割し、二つのビームを光学遅延回路を介して時間的に制御し、かつ微小回転する反射面が平面のミラーと凹面のミラーを用いて空間的に制御し、ホログラムを記録する基材表面または基材内部に、二つのビームの集光スポットを時間的および空間的に合致させ、かつ、エネルギー密度100GW/cm²以上で集光して高密度エネルギー照射させることによって、一つのパルス光で透明材料、半導体材料、または金属材料に不可逆的にホログラムを記録することを特徴とする二ビームレーザー干渉露光法によるホログラムの製造方法。

【請求項2】

空気非線型性に基づくフェムト秒レーザー光の三倍高調波ないし三倍和周波を用い、二つのビームの時間的、空間的合致度を検出することを特徴とする請求項1に記載のホログラムの製造方法。

【請求項3】

ミラーの位置を、ミラー面に垂直方向、入射ビームに対して平行および垂直方向に微移動させることにより、光学路長を変化させ、光学遅延回路とすることを特徴とする請求項1に記載の二ビームレーザー干渉露光法によるホログラムの製造方法。

【請求項4】

エネルギー密度を、アブレーションが起こる閾値直下に設定することにより、該基材の表面形状を平坦に保ち、該基材そのものの屈折率変調を伴わせて表面型ホログラムを形成することを特徴とする請求項 1 記載の二ビームレーザー干渉露光法によるホログラムの製造方法。

【請求項 5】

シリカガラスまたはゲルマニウム添加シリカガラスを基材とし、エネルギー密度を、光誘起構造変化が起こる閾値以上、アブレーションが起こる閾値以下に設定することにより、光誘起構造変化に伴う体積変化による表面型ホログラムを形成することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の二ビームレーザー干渉露光法によるホログラム製造方法。

10

【請求項 6】

請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の方法で製造した表面型ホログラムの表面凹凸を拡大するために化学エッチングを行うことを特徴とするホログラム製造方法。

【請求項 7】

対向して該基材に入射する二ビームの集光合致位置を、光学遅延回路およびミラーで制御することによって、該基材内のホログラムの深さ位置を変化させ、深さ方向に複数のホログラムを埋め込むことにより多層ホログラム記録媒体を形成することを特徴とする請求項 1 記載の二ビームレーザー干渉露光法によるホログラムの製造方法。

【請求項 8】

該基材は、露光時に真空中に置かれることを特徴とする請求項 1 記載の二ビームレーザー露光法によるホログラムの製造方法。

20

【請求項 9】

複数のレーザーパルス光によって同じかまたは異なるホログラムを製造し、それぞれのパルス光で製造されたホログラムを重ね合わせることを特徴とする請求項 1 記載の二ビームレーザー干渉露光法によるホログラム製造方法。

【請求項 10】

フェムト秒レーザー光源、該レーザーからのパルスビームを二つに分割するためのビームスプリッター、パルス光の集光合致位置を時間的に制御するための光学遅延回路および空間的に制御するための反射面が平面のミラーと凹面のミラーと該ミラーを微回転するための機構からなる光学系からなり、レーザービームをガウス型に整形し、ホログラム形成の閾値を低下させるアパーチャ制御素子を付加したことを特徴とする請求項 1 記載の方法に用いる二ビームレーザー干渉露光法によるホログラム製造装置。

30

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、ホログラム、特に、表面積および厚さが微小で、埋め込みが可能であり、回折効率が大きく、多岐の基材に記録可能なホログラムを効率的に作成するための方法および装置、ならびに該ホログラムを応用した製品に関する。

【0002】

【従来の技術およびその課題】

40

フェムト秒レーザーでは、 $1\text{TW}(10^{12}\text{W})/\text{cm}^2$ に達する高エネルギー密度を得ることができる。こうした高エネルギー密度光を材料に照射した場合、高密度の電子が短時間に励起される。励起電子のエネルギーは、1ナノ秒以内に、材料中のイオンの振動エネルギーに変換される。振動エネルギー密度がある閾値を超えると、イオンは、材料から離脱し、材料はアブレーションされる。材料内部でアブレーションが生じると小さな空孔が出来、この結果、局所的に材料の実効的な屈折率が変化する。これがマイクロアブレーションと呼ばれる現象である。この場合、材料が破壊される、すなわち、アブレーションが起こる閾値よりエネルギー密度がやや小さい場合には、材料は破壊されるまでに至らず、原子配列構造変化を起こし、それに伴って屈折率変化が生じることになる。

【0003】

50

小さい面積のスポットに集光したピークエネルギーの高いフェムト秒レーザーを石英ガラス、BK7光学ガラス、プラスチック（アクリル）、石英結晶、サファイヤなどの透明結晶に照射することにより、該材料をアブレーションさせ、その結果、微細穴を作成したり、非線形屈折率効果を利用して内部に微小空孔を形成したり、あるいは、該材料の原子配列構造変化により屈折率の変化を起こさせることが知られている。

【0004】

例えば、E.N.Glezer and E.Hazur:Appl.Phys.Lett.71,882,(1997) およびK.Miura,J.Qie,H.Inoue,T.Mitsuya and K.Hirano:Appl.Phys.Lett.71,3329,(1997)には、石英ガラスなど非晶質中の任意の場所の屈折率を増加させて光導波路を形成できることが報告されている。また、特開平1-267861号公報は、ガラス材料にマーキングを形成する方法を開示している。また、フェムト秒レーザーを透明材料に照射する手段によりスポットを多数個、規則的に作成して回折格子を作ることがなされていた。

10

【0005】

しかし、こうした回折格子の作成方法は、実用素子および装置に適用するには、非常に効率が悪い。また、内部に屈折率変化を生じさせることのできる材料は限られており、特に、ダイヤモンド結晶に関しては、これまで、この方法では屈折率の変化は達成されていない。

【0006】

チタンサファイヤレーザーの実用化により、コヒーレンス性の高いフェムト秒レーザー光が得られるようになった。これまで、フェムト秒レーザーをダイヤモンドなどの薄膜材料に照射した際に、リップルパターンや干渉によって生じたと思われるニュートンリングが、該材料中に記録されていることが報告され(A.M.Ozkan et al:Appl.Phys.Lett.,75,3716,(1999))、フェムト秒レーザー光の可干渉性が示唆されているものの、これらの微細構造が形成される原因は、明確にはなっていない。また、チタンサファイヤレーザー光の持つコヒーレンスを積極的に利用する試みはこれまでになされていない。

20

【0007】

従来、ホログラムは、主として、コヒーレンス性の高い、連続光を出力するガスレーザーを用い、光感光性有機物または無機化合物を記録母体として、二ビーム露光光学系により作成されている。しかし、こうしたガスレーザーは、エネルギー密度が低いため、記録に時間がかかり、感光性の良い材料しか使えないなどの課題があった。時間を短縮するために、ルビーレーザーなどのパルスレーザーが用いられることもあるが、この場合でも、記録基材として、光感光性材料が必要である。また、この方法では、一つのプロセスで、埋め込み型のホログラムを作成したり、表面積が約100 μ m径以下の微小ホログラムを作成することが困難であった。

30

【0008】

【課題を解決するための手段】

フェムト秒レーザーは、ホログラム記録が可能なほど、可干渉性が保てるか否かは明確ではなかった。そのためもあって、これまで、二ビームレーザー露光装置の開発は報告されていない。加えて、たとえば、100フェムト秒のパルス光は、距離に換算して、30 μ mしか持続しておらず、また、集光スポットサイズは、エネルギー密度を高くするために約100 μ m径にする必要がある。さらに、高密度パルス光は、材料中を伝播中に材料の非線形光学効果によりコヒーレンス性が劣化することが予測される。

40

【0009】

本発明は、これらの条件に対応して、従来行われていた感光性材料を用いたレーザービームによる照射法に替えて、フェムト秒レーザーを用いた二ビームホログラム露光法を開発し、フェムト秒のパルス光の持つ高エネルギー密度とコヒーレンス性の特徴を利用して、本来は光感光性を持たない透明有機、無機材料、半導体材料、または金属材料に、一つのパルス光から分岐した一対のパルス光で、ホログラムを記録できる方法を実現したものである。

【0010】

50

すなわち、本発明は、パルス幅が900～10フェムト秒、ピーク出力が1GW以上で、フーリエ限界またはそれと近似できるフェムト秒レーザーを光源とし、該レーザーからのパルス光をビームスプリッターにより二つに分割し、二つのビームを光学遅延回路を介して時間的に制御し、かつ微小回転する反射面が平面のミラーと凹面のミラーを用いて空間的に制御し、ホログラムを記録する基材表面または基材内部に、二つのビームの集光スポットを時間的および空間的に合致させ、かつ、エネルギー密度100GW/cm²以上で集光して高密度エネルギー照射させることによって、一つのパルス光で透明材料、半導体材料、または金属材料に不可逆的にホログラムを記録することを特徴とする二ビームレーザー干渉露光法によるホログラムの製造方法である。

【0011】

パルス幅は、好ましくは、500～50フェムト秒、ピーク出力は、好ましくは、10GW以上で、より好ましくは、フーリエ限界パルスと近似されるフェムト秒レーザーを光源とする。エネルギー密度は、好ましくは、1TW/cm²以上で集光する。例えば、100フェムト秒は、基材の屈折率を1.5として、空間距離20μmに対応するので、ホログラムの総厚さは、10μm以下になる。光学遅延回路により、二つのビームの光路長を変化させ、ホログラム記録深さ位置を制御できるし、パルス時間幅を変えることにより、ホログラム総厚さを調整することができる。

【0012】

チタンサファイヤレーザー光は、フーリエ限界パルスをほぼ実現しており、非常にコヒーレンスが高い。こうした光は、可干渉性があり、一度、二つのビームにスプリットした光を、コヒーレンスを劣化させることなく、再び、時間的および空間的に一致させた場合、偏光面が平行であるときには、暗部と明部のコントラストのはっきりした干渉パターンを生じるので、好ましくは偏光面を平行にして、材料で決まる閾値を、明部と暗部のエネルギー密度の間に設定すれば、上記のマイクロエクスプロージョンあるいは材料の原子配列構造変化により、干渉パターンを、表面の凹凸パターンあるいは、屈折率の変化として記録できる。

【0013】

本発明のホログラムの製造方法においては、下記の各手段を採用できる。平面ミラーと凹面ミラーの位置を、ミラー面に垂直方向、入射ビームに対して平行および垂直方向にマイクロノギスなどにより微移動させることにより、光学路長を変化させ、光学遅延回路と

【0014】

二つのフェムト秒レーザービームが、空間的および時間的に一致していることを検出するためには、BBO結晶など非線型光学結晶からの和周波が用いられる。すなわち、衝突点が、結晶内部で、空間的および時間的に一致した時には、非線型光学効果により、照射レーザー光の和周波が発生する。二つのビームを、BBO結晶内で空間的に一致させた後、和周波の強度が最大になるように、光学遅延回路に微調節して、時間的な一致をとることが出来る。非線型光学効果を生じる材料として、BBOなどの結晶を用いた場合、位相整合を取る必要があり、二つのビーム角度に制限があり、ビーム角度を大きくすることが出来ない。

【0015】

空気は三次の光学非線型を有しており、BBOなどの結晶に替わって、二つのビーム衝突位置の空間的、時間的な一致の有無を検出するための材料として用いることが出来る。波長266nmの約3倍の800nmのフェムト秒レーザーを用いた場合、空気の3次非線型係数に基づいて、三倍波ないし三倍和周波(波長:266nm)が発生する。三倍波ないし三倍和周波の強度は光強度の三乗に比例する。二つのビームが、衝突・干渉した場合、干渉により明部強度が、単独ビームに比較して、4倍になるので、三倍波ないし三倍和周波は64倍の強さとなり、時間的、空間的一致の有無を高感度に検出することができる。空気の三次非線型性をを用いた場合には、ビーム間の角度に対する制約を除くことが出来る。

10

20

30

40

50

【0016】

エネルギー密度を、アブレーションが起こる閾値直下に設定することにより、該基材の表面形状を平坦に保ち、該基材そのものの屈折率変調を伴わせて表面型ホログラムを形成することができる。

【0017】

シリカガラス、特に、ゲルマニウム含むシリカガラスでは、比較的低いエネルギー密度のレーザー照射により、光誘起構造変化が生じ、その結果、3%程度体積が収縮する。この現象を利用すれば、エネルギー密度を、光誘起構造変化が起こる閾値以上、アブレーションが起こる閾値以下に設定することにより、レーザー誘起構造変化に伴う体積変化による表面レリーフ型ホログラムを形成することが出来る。更に、構造変化した部分と変化していない部分の間には、酸溶液でのエッチング速度に差があるので、表面レリーフ型ホログラムを記録した材料を、酸溶液でエッチングすれば、表面レリーフの深さを増大でき、ホログラム回折効率を高めることが出来る。

10

【0018】

同方向から入射する二つのビームの該基材への入射位置および角度を調整することにより、該基材の深さ方向の位置および表面面積が調整された透過型ホログラムを形成することができる。

【0019】

空気中から基材に照射されたレーザー光の一部は、空気と該基材の屈折率の差に基づき、基材表面で反射され、その結果、表面での光吸収や、反射光との相互作用により、より多くのエネルギーが基材に吸収され、基材表面のアブレーションが生じやすくなる。基材の屈折率との差が小さい屈折率を持つ溶液中に、基材を浸す、あるいは該溶液を基材の表面に塗布することにより、基材表面での反射を低減でき、基材表面のアブレーションを生じにくくすることが出来る。基材表面に反射防止膜を形成することによっても、同様な効果が得られ、表面形状の平坦なホログラムを得ることが出来る。

20

【0020】

対向して該基材に入射する二ビームの集光の合致位置および集光スポットのサイズを光学遅延回路およびミラーにより制御して、該基材内部に設定することにより、基材内部に埋め込まれ、深さ方向の位置および表面面積が調整され、さらに、レーザーパルスの時間幅を制御することにより、ホログラム総厚さが調整された埋め込み型反射型体積ホログラムを形成することができる。この際、基材中を伝播中に、フェムト秒のバルス光は、材料の非線形性に基づいて、コヒーレンスが劣化するので、非線形性の小さな基材を用いるか、エネルギー密度を可能な限り小さくすることにより、埋め込み深さを大きくすることができる。

30

【0021】

対向して該基材に入射する二ビームの集光合致位置を、光学遅延回路および集光レンズで制御することによって、該基材内のホログラムの深さ位置を変化させ、深さ方向に複数のホログラムを埋め込むことにより多層ホログラム記録媒体を形成することができる。

【0022】

該基材として、反転対称性のない透明結晶またはガラスを用いて、該材料の温度を調整し、電場を印加しながら、擬位相整合したドメイン反転型格子を形成することができる。

40

【0023】

該基材として、石英、ガラス、サファイヤ、 LiNbO_3 、 LiTaO_3 、 ZrO_2 、 CaF_2 、ダイヤモンド、またはアクリル樹脂から選ばれる可視光に対して透明な材料、あるいはシリコン、 Ge 、 GaAs 、 AlN 、 InP 、 GaN 、 ZnS 、 ZnSe 、 ZnO 、 SiC 、またはそれら間の混晶から選ばれる半導体材料を用いて、表面レリーフ型ホログラム、表面型ホログラム、または体積ホログラムを形成することができる。

【0024】

該基材として、金、銀、白金、銅、ニッケル、クロム、アルミニウム、カドミウム、タンタル、または金属シリコンから選ばれる金属材料あるいはシリコン、 Ge 、 GaAs 、 A

50

1 N, I n P, G a N, Z n S, Z n S e, Z n O, S i C、またはそれら間の混晶から選ばれる半導体材料を用いて、表面レリーフ型ホログラムを形成することができる。

【 0 0 2 5 】

ホログラムを記録する材料としては、従来、光感光性有機物または無機化合物が用いられており、材料の制約が多かった。本発明による製法では、高密度エネルギーによる基材のアブレーションまたは原子配列構造変化による不可逆的記録であり、ほとんど全ての材料を使用することができる。また、一度不可逆的に記録されたホログラムは、長時間安定に持続し、基材そのものの原子配列構造変化が起こる程度にまで、加温しない限り、消滅することはない。

【 0 0 2 6 】

該基材は、好ましくは、露光時に真空中に置くことができる。真空中に置くことによって、アブレーションによって発生する微粒子、微粉末が基材表面に付着することがなく、清浄な表面を保つことができる。また、埋め込み型ホログラムにおいては、平坦な表面が保たれる。

【 0 0 2 7 】

本発明は、上記の方法により製造された可視光に対して透明な化合物、半導体、または金属表面に不可逆的に形成されたホログラムを提供する。

【 0 0 2 8 】

さらに、本発明は、ダイヤモンド、アルミナ、サファイヤ、または $A l_2 O_3$ 、 $S i O_2$ の両者あるいは一方を含む組成からなるガラスをレーザー媒体として、エキシトン、バンド間遷移に由る固有発光、固有欠陥による発光、または添加不純物による発光を用い、本発明の製造方法で得られたホログラムを回折格子とした分布ブラック反射型 (D B R) または分布帰還型 (D F B) レーザーを提供する。すなわち、上記母体中に屈折率の高い導波路を形成し、その内部に発光センターを作りこみ、さらに該導波路の両端部に、埋め込み型ホログラムを作成することにより D F B または D F B レーザーを作成できる。

【 0 0 2 9 】

さらに、本発明は、フェムト秒レーザー光源、該レーザーからのパルスビームを二つに分割するためのビームスプリッター、パルス光の集光合致位置を時間的に制御するための光学遅延回路および空間的に制御するための平面ミラーと凹面ミラーと該ミラーを微回転するための機構からなる光学系からなることを特徴とする上記の方法に用いる二ビームレーザー干渉露光法によるホログラム製造装置である。この装置には、レーザービームをガウス型に整形し、ホログラム形成の閾値を低下させるアパーチャー制御素子を付加することができる。

【 0 0 3 0 】

二ビームレーザー露光装置は、ミクロンスケールで、位置が制御できる光学系が必要であり、それに対応できる高精度の位置制御性をもつ装置として、本発明は、精細な制御が可能な光学遅延回路、微回転できる平面ミラーと凹面ミラー、および二ビームの集光合致の有無を検出できる機能を併せ持つ光学系により、二つのビームをホログラムを記録する基材上または基材内部に集光して、時間的および空間的に、二つの集光スポットを合致させることを可能としたものである。

【 0 0 3 1 】

さらに、平面ミラーと凹面ミラーなどの反射光学部品で装置を構成し、レンズ等の透過光学部品を可能な限り使用しない光学系を用いて、コヒーレンスの劣化を防ぐことを可能とし、さらに、二ビームの干渉性を良くするために、それぞれの光路のミラーの配置と数を調整して、ビームの偏光面を平行としたものである。

【 0 0 3 2 】

【発明の実施の形態】

図 1 は、本発明の二ビームレーザー干渉露光法によりホログラムを製造する方法および装置の光学系を示す概念図である。フェムト秒レーザー光源から照射されたレーザービームは、平面ミラー M 1 により反射され、ビームスプリッターとして用いるハーフミラー H F

10

20

30

40

50

1で、ビームB1とビームB2に分けられる。ビームB1は、平面ミラーM2と凹面ミラーM3で反射され、基材S1の表面または内部に集光する。凹面ミラーM3の替わりに、平面ミラーM3'と肉厚の薄いレンズL1を用いても良い。ビームB2は、平面ミラーM4、平面ミラーM5で反射され、さらに凹面ミラーM6で反射され、基材S1の表面または内部に集光される。凹面ミラーM6の替わりにレンズL2と平面ミラーM6'を用いてもよい。

【0033】

実線で示す光学パスは、透過型ホログラムを作成する場合であるが、反射型ホログラムを作成する場合は、太い点線で示す光学系を用いて、凹面ミラー6で反射したビームB2を平面ミラーM7および平面ミラーM8によって、基材S1の内部に集光させる。凹面ミラーM6に替えて、レンズL2と平面ミラーM6'を用いてもよい。なお、図1に細い点線で示す様に、He-Neレーザー光を平面ミラーM9で反射させ、基材S1に照射し、その反射光からホログラムの形成プロセスをモニターするようにしてもよい。

10

【0034】

平面ミラーM4と平面ミラーM5は、光学遅延回路として機能する。すなわち、平面ミラーM4および平面ミラーM5をマイクロノギスで、1ミクロンのオーダーで微動させ、ビームB1とビームB2の相対的な光路長差を調整して、二ビームの集光スポットの時間的な一致を行う。凹面ミラーM3、凹面ミラーM6、または平面ミラーM8をマイクロノギスを用いて微回転させ、二ビームの集光位置を空間的に一致させる。レンズL1およびL2は、コヒーレンスの劣化を防ぐため、可能な限り肉薄で、焦点距離の長いものが好ましい。この配置では、基材S1でのビームの偏光面は平行である。作成された回折格子のフリッジ間隔、レンズ機能を持たせた時の焦点距離などの光学パラメーターは、従来の連続光を用いた二ビームレーザー干渉露光法で得られるものと同様に求められる。

20

【0035】

基材S1は、X-Yステージ上に置き、マイクロノギスを用いて微動させ、基材S1の指定の位置に、微小面積のホログラムを記録する。本発明の製造方法においては、一つのパルスレーザー光で、ホログラムを記録できるので、複数のパルス光を時系列的に基材に照射すれば、ホログラムを多重に記録できる。パルス間で、基材を固定しておけば、ホログラムは空間的に重なり合う。また、基材を回転させれば、形成された重なり合うホログラムは、お互いに、該角度だけ回転する。

30

【0036】

また、レーザーパルスごとに、XおよびY方向に基材を移動させ、基材の広い表面領域にわたって、ホログラムを作製することが出来る。露光時間は、非常に短いので、基材S1を連続的に移動させても良い。特に、圧電素子などを用い、二つのパルス光の照射間に、基材をフリッジ間隔の半分の距離を移動させたときには、一つのパルス光で記録されたホログラムに比較して、実質的にフリッジ間隔が半分のホログラムが形成できる。波長800nmのフェムト秒レーザーを用いた場合、透過型ホログラムにおける最小フリッジ間隔は、400nmであるので、この方法により、フリッジ間隔が200nmまでのホログラムを形成できる。フリッジ間隔を小さくするためには、波長の短いフェムト秒レーザーを用いても良い。

40

【0037】

レーザーは、好適には、再生増幅チタンサファイヤレーザーで、発振中心波長は、約800nm、パルス幅は約100フェムト秒、パルスエネルギーは、約1mJ/パルスで、ピーク出力に換算すると、約10GWとするとよい。集光スポットサイズは、好適には、約100μm径で、ピークエネルギーに換算すると、約100TW/cm²とするとよい。

【0038】

図2は、ビームB1とビームB2のパルス光の集光合致位置の時間的制御を示す概念図である。例えば、100フェムト秒は真空中距離にして30μmに対応する。言い換えれば、光は30μmの長さしか存在していない。また、レーザー波長が0.8μmであると、100フェムト秒のパルス光には約40個の山谷が含まれているにすぎない。したがっ

50

て、ビーム B 1 とビーム B 2 の光路差を $30 \mu\text{m}$ 以下にしないと二つのビームは空間的に同じ光路を伝播しても決して重なりあわないことになる。すなわち、時間的に一致しない。ビーム B 1、ビーム B 2 が時間的に合致しない場合は、それぞれ図 2 の (A)、(C) のように図示され、時間的に合致した場合は、(A)、(B) のように図示される。

【0039】

図 3 は、ビーム B 1 とビーム B 2 のパルス光の集光合致位置の空間的制御を示す概念図である。図示のようにビーム B 1 とビーム B 2 が空間において交差した集光点において、図 2 の (A)、(B) で示すように、パルス光が時間的にも一致した場合、二つの光は干渉する。干渉明部の光エネルギー密度が基材の記録閾値を越えたとき干渉パターンが屈折率変調として記録される。

10

【0040】

本発明の製造方法において、表面に集光させた場合には、表面に凹凸のある表面レリーフ型のホログラムおよび基材の屈折率変調による表面ホログラムを形成できる。また、内部に干渉縞が出来るように集光を制御した場合には、埋め込み型の体積ホログラムを形成できる。

【0041】

本発明の製造方法により得られたホログラムは、光情報通信、光メモリー技術分野における回折格子などとして有用であり、具体的な用途としては、表面レリーフ型ホログラムを用いた光波長分波素子、光偏向素子などの光学素子、またはその素子を用いた光学装置、または、体積ホログラムを用いた埋め込み型光波長分波素子、光偏向素子、光波長出力均一化素子、光分散回復素子などの光学素子、またはそれらの素子を用いた光学装置が例示される。

20

【0042】

また、装飾、マーキング、または偽造防止のための表面レリーフ型ホログラム、または体積ホログラムが例示される。さらには、多層ホログラム記録媒体および擬位相整合 (QPM) による高調波発生素子、およびその素子を用いた装置が例示される。

【0043】

さらに、本発明のダイヤモンド、サファイヤ、アルミナ、 Al_2O_3 、 SiO_2 の両者あるいは一方を含む組成からなるガラスを媒体とし、固有発光、固有欠陥または添加不純物の発光を利用し、本発明の方法で得られたホログラムを反射または偏向素子とした分布ブラック反射型 (DBR) または分布帰還型 (DFB) レーザー素子およびその素子を用いた装置が例示される。

30

【0044】

【実施例】

実施例 1

図 1 に示す二ビームレーザー干渉露光光学系を用い、大気中で透過型ホログラムを記録した。平面ミラー M3' とレンズ L1 および平面ミラー M6' とレンズ L2 の組み合わせを用いた。ホログラムを記録する基材 S1 は、大きさ $10 \times 10 \times 1 \text{mm}$ のサファイヤの単結晶を用いた。このサファイヤ単結晶の c 面に垂直にレーザービームを入射した。レーザー出力は、約 1mJ / パルスとし、ビーム B1 を 0.7mJ 、ビーム B2 を 0.3mJ とし、それぞれのビームを約 $100 \mu\text{m}$ 径に集光し、1 パルス光でホログラムを記録した。さらに、ガウス分布にレーザービームを整形するために、アパーチャー制御素子 A1 を光路に挿入することにより、ホログラムを記録するのに必要なビーム B1 および B2 のエネルギーを 5 分の 1 に低減できた。

40

【0045】

図 4 に示すように、ビーム B1 とビーム B2 のなす角度は、 10 度および 30 度の二つのケースで露光し、図 5 に示すように、それぞれ $1.5 \mu\text{m}$ および $3 \mu\text{m}$ の格子フリッジ間隔を得た。格子フリッジ間隔 d は、レーザー波長 λ として 800nm 、 n として空気の値である 1 を用い、 $d = n \cdot \lambda / 2 \sin \theta$ で与えられる値と一致した。また、AFM の測定から、表面レリーフ型のホログラムであることが確認できた。ホログラムを形成し

50

た面積は、約 $50 \mu\text{m}$ 径であった。また、1パルス光での記録が可能のため、XYステージを時間的に連続移動させ、一つのサンプルにホログラムをパルス光の繰り返し数まで記録できた。

【0046】

この実施例で得られた回折格子11に、He-Neレーザー ($\lambda = 633 \text{ nm}$) を照射した時のスクリーン12に投影された回折パターン13を図6に示す。高次の回折光が見られ、1次回折光の強度は、約20%であり、この回折格子をいろいろな回折光学部品に応用可能なことが実証できた。

【0047】

実施例2

実施例1と同じ二ビームレーザー干渉露光光学系を用いて、金薄膜に表面レリーフ型ホログラムを記録した。ガウス分布にレーザービームを整形するために、アパーチャー制御素子A1を光路に挿入した。ガラス上に真空蒸着で作成した厚さ約 250 nm の金薄膜をホログラムを記録する基材とした。ビーム整形後での、ビームB1は、 0.13 mJ 、ビーム2は、 0.07 mJ であった。二つのビームのなす角度は20度であった。得られた回折格子のフリンジ間隔は、レーザー波長 λ として 800 nm 、 n として空気の値である1を用い、 $d = n \cdot \lambda \cdot \sin \theta / 2$ で与えられる値と一致した。

【0048】

実施例3

実施例1と同じ二ビームレーザー干渉露光光学系を用いて、シリカガラス膜に表面レリーフ型ホログラムを記録した。材料として、Si単結晶上に熱酸化で作製した SiO_2 薄膜 (膜厚: 114 nm) を用いた。ビームB1、B2は、それぞれ、エネルギー強度 $25 \mu\text{J}$ で、材料表面に、約 $100 \mu\text{m}$ 径に集光した。二つのビームのなす角度は90度で、計算上の格子間隔は 580 nm である。図7に、得られた回折格子のAFM像を示す。このAFM像から、溝深さ $2 \sim 3 \text{ nm}$ 、溝間隔 580 nm の表面レリーフ型ホログラムが形成されていることが確認できた。溝の深さは、シリカガラス膜厚の $2 \sim 3\%$ で、シリカガラスでの光誘起構造変化に伴う収縮率とほぼ一致した。図8に、このホログラムを化学エッチングする工程を概念的に示す。化学エッチングは、1%フッ酸溶液で、5分間行った。図9に、エッチング後のホログラムのAFM像を示す。このAFM像から、溝の深さが $18 \sim 20 \text{ nm}$ に深くなり、高いアスペクト比を持った回折格子が得られたことが確認できた。

【0049】

実施例4

図10は、この実施例の方法の概念を示すものである。図10に示すように、実施例1と同じ二ビームレーザー干渉露光光学系を用いて、溶液中に浸したシリカガラスにホログラムを記録した。溶液には、水、弗化水素水溶液、アセトン、エタノール、メタノール、塩酸水溶液、硝酸水溶液のうちのいずれか一つを用いた。ビームB1、B2のエネルギー強度は、それぞれ $400 \mu\text{J}$ で、二つのビームの衝突位置は、基材内部に設定した。大気中で、同じ条件で、レーザー光を照射したときには、基材の表面にアブレーションによるダメージが発生したが、溶液中に基材を浸した場合には、基材の表面は平坦で、基材内部のみに回折格子が形成できた。特に、1%フッ酸水溶液の場合には、シリカガラス中に、加工歪が検出されなかった。

【0050】

実施例5

図11は、この実施例の方法の概念を示すものである。図11に示すように、チタンサファイヤレーザー (波長: 800 nm 、パルス幅: 100 femtosecond 、繰り返し周波数: 10 Hz) のパルス光をビームスプリッターで、二つのビーム、B1、B2に分離した後、大気中で衝突させた。ビームの強度は、それぞれ 0.75 mJ とした。B1とB2のビーム角度は $0 \sim 180$ 度の間で変化させた。ミラーM1, M2およびレンズL1, L2を微調整して、二つのビームを空間的に一致させた後、光学遅延回路を用いて、二つのビーム

10

20

30

40

50

を時間的に一致させた。衝突後のパルス光は分光器を用いて分光した。いずれのビーム角度の場合も、二つのビームが、空間的、時間的に一致した時には、一致しないときに比較して、著しく高強度の三倍高調波が観測され、本方式が、二つのフェムト秒パルスビームの空間的、時間的一致の有無の検出に有効であることがわかった。本方式は、フェムト秒パルス時間幅の測定などにも有効である。

【 0 0 5 1 】

実施例 6

実施例 1 と同じ二ビームレーザー干渉露光光学系を用いて、ダイヤモンドに埋め込み型ホログラムを記録した。ガウス分布にレーザービームを整形するために、アパーチャー制御素子 A 1 を光路に挿入した。ホログラムを記録する基材 S 1 は、天然ダイヤモンド（タイプ I I a、S A W N カット、光学吸収端：220 nm）で、基材の大きさは、3 × 3 × 0.5 mm であった。ビーム B 1 は、0.14 mJ、ビーム B 2 は、0.06 mJ で、両ビームを基材 S 1 の内部の位置に約 100 μm 径に集光した。ビーム B 1 とビーム B 2 がなす角度が 10 度の場合で、基材 S 1 の表面より約 1 μm の深さに、約 3 μm のフリンジ間隔を持つ埋め込み型ホログラムを形成できた。

【 0 0 5 2 】

A F M の測定から、表面は平坦であった。回折格子の形成部のラマン散乱から、グラファイト状のカーボンが形成できていることが確認できた。He - Ne レーザーを照射した場合の回折効率は約 20 % であった。以上の結果から、このホログラムをいろいろな埋め込み型の回折光学素子として応用可能なことが実証できた。また、このホログラムが、偽造防止用のホログラムとしても応用可能なことが実証できた。

【 0 0 5 3 】

実施例 7

実施例 1 の二ビームレーザー干渉露光光学系に実施例 5 の二ビーム一致検出方法を組み込み、Si 基板を熱酸化したシリカガラス膜にホログラムを記録した。ビーム B 1, B 2 の強度は、それぞれ 20 μJ で、二つのビームの角度は、158 度で、基材の表面に約 100 μm 径に集光した。図 12 に示す A F M 像から、溝間隔：430 nm の回折格子が記録されていることを確認した。

【図面の簡単な説明】

【図 1】図 1 は、本発明の二ビームレーザー露光法によるホログラムの製造方法および装置における光学系を示す概念図。

【図 2】図 2 は、ビーム B 1 とビーム B 2 のパルス光の集光合致位置の時間的制御を示す概念図。

【図 3】図 3 は、ビーム B 1 とビーム B 2 のパルス光の集光合致位置の空間的制御を示す概念図。

【図 4】図 4 は、実施例 1 の二つのレーザービームの基材への入射角度を示す概念図。

【図 5】図 5 は、実施例 1 により記録された回折格子のパターンを示す拡大平面図。

【図 6】図 6 は、実施例 1 により記録された回折格子による He - Ne レーザーの回折パターンを示す拡大平面図。

【図 7】図 7 は、実施例 3 により記録された回折格子の A F M 像を示す図面代用写真である。

【図 8】図 8 は、実施例 3 のホログラムを化学エッチングする工程の概念図である。

【図 9】図 9 は、実施例 3 のエッチング後のホログラムの A F M 像を示す図面代用写真である。

【図 10】図 10 は、実施例 4 の方法の概念図である。

【図 11】図 11 は、実施例 5 の方法の概念図である。

【図 12】図 12 は、実施例 7 のホログラムの A F M 像を示す図面代用写真である。

【符号の説明】

A 1 アパーチャー制御素子

M 1, M 2, M 4, M 5, M 7, M 8 平面ミラー

10

20

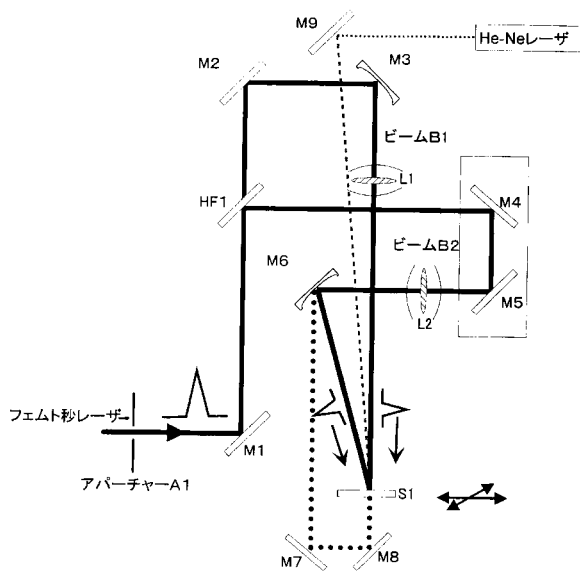
30

40

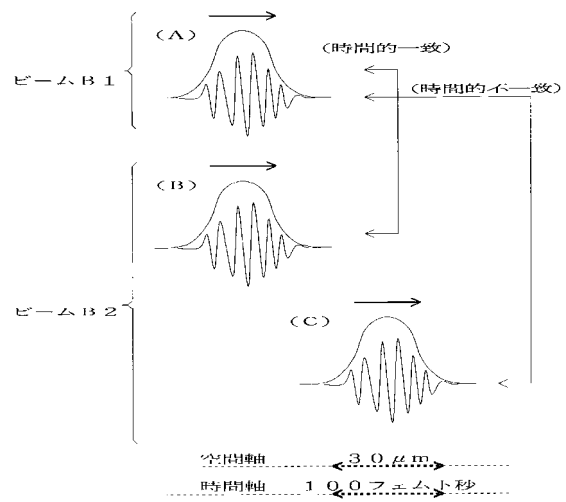
50

- M 3 , M 6 凹面ミラー
- H F 1 ハーフミラー
- L 1 , L 2 レンズ
- S 1 基材
- 1 1 回折格子
- 1 2 スクリーン
- 1 3 回折パターン

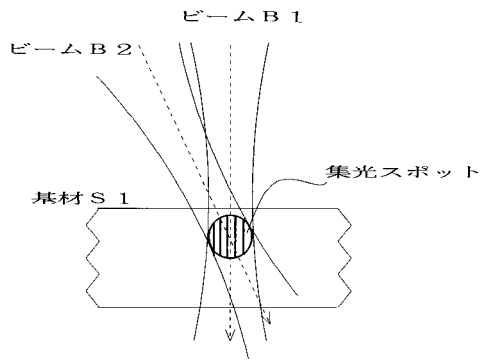
【 図 1 】



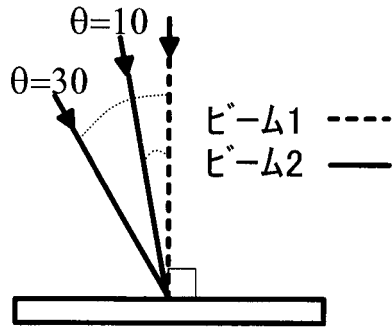
【 図 2 】



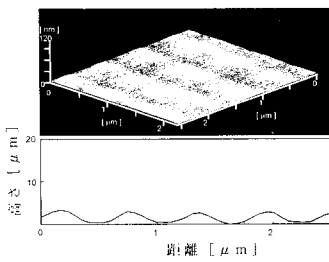
【図3】



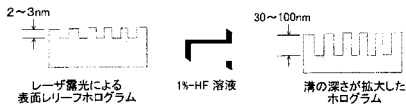
【図4】



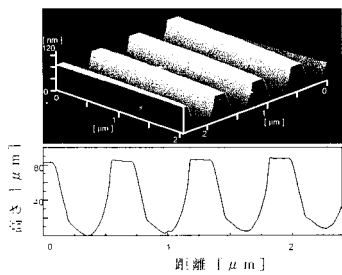
【図7】



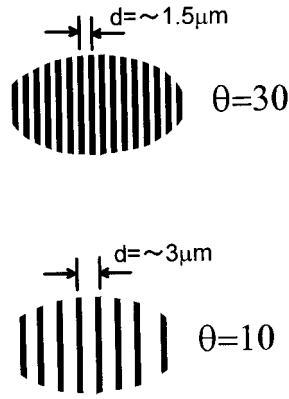
【図8】



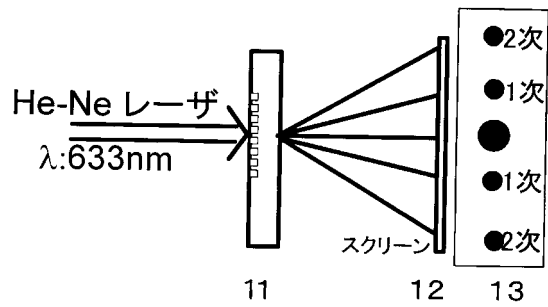
【図9】



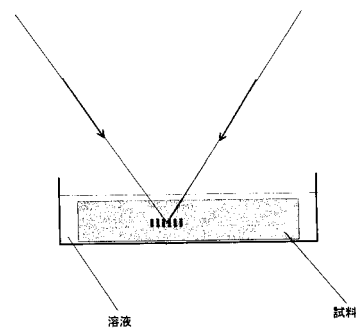
【図5】



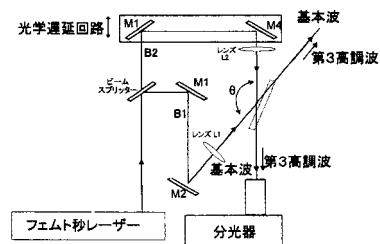
【図6】



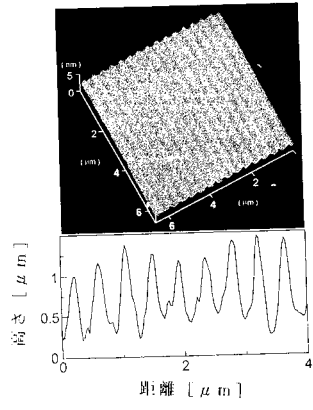
【図10】



【図11】



【図 12】



フロントページの続き

審査官 杉山 輝和

- (56)参考文献 特開平 7 - 9 8 4 8 4 (J P , A)
特開平 1 1 - 2 3 1 1 5 1 (J P , A)
特開平 7 - 6 3 9 3 9 (J P , A)
特開 2 0 0 0 - 3 3 2 6 3 (J P , A)
PHILLIPS H M, SAUERBREY R A, Excimer-laser-produced nanostructures in polymers, Opt Eng, 米国, 1 9 9 3 年 1 0 月, Vol.32, No.10, Page.2424-2436
BARRY N P, DAINTY J C, DOWLING K, FRENCH P M W, HYDE S C W, JONES R, Novel Ultrafast Tuneable Solid State Lasers for Real-World Applications Including Medical Imaging, Proc SPIE Int Soc Opt Eng, 米国, 1 9 9 7 年, Vol.3176, Page.304-313

(58)調査した分野(Int.Cl., D B 名)

G03H 1/00 - 5/00
G02B 5/32
H01S 3/00
H01S 5/125