

光異性化型材料を用いたデュアルホログラムメモリー

江 上 力

Dual Hologram Memory Using Photo-Isomeric Materials

Chikara EGAMI

The dual nature of photo-isomeric polymers allows us to write both quasi-permanent and erasable holographic gratings in the same storage medium. We can realize the recording of two holograms (surface relief hologram and third-order nonlinear optical hologram) that have different types of information. Two types of information can be readout in the polarization interferometry.

Key words: dual hologram, photo-isomeric polymer, surface relief grating, nonlinear susceptibility

近年、レーザー光源の高出力・小型化に加えて、フォトポリマー等有機材料技術の飛躍的な進歩により、ホログラムメモリーやそれを使った計測・情報処理技術が再び注目されている。なかでも光異性化型の有機色素を側鎖に含む高分子膜を用いた表面レリーフホログラムについての研究が盛んである¹⁻⁴⁾。このタイプの材料では、比較的低い光エネルギーで、表面レリーフ型の位相グレーティングを形成できる。また、レリーフ構造の形成に現像処理が不要で、一度形成した構造は加熱・光照射に対して比較的安定な性質をもつ。本稿では、上記表面レリーフホログラムに加えて、有機色素が示す三次の非線形光学特性をホログラム記録に利用し、同一媒体の表面と内部に異なる情報を多重記録し、独立再生することが可能なデュアルタイプのホログラムメモリーを紹介する。

1. デュアルホログラムメモリーの現状

デュアルタイプのホログラムメモリーとしては、古くから、サーモプラスチックを誘電体結晶上へ積層化するものがよく知られている⁵⁾。内部の誘電体部を書き換え可能なRAMとして、表面の高分子部を追記型のRとして使用する。しかし、このタイプのホログラム媒体は、異種材料を組み合わせるため作製が困難、現像・定着処理が必要、RAM部からの情報とR部からの情報の独立再生が困難、などの欠点をもつ。また、近年の有機材料技術の進歩により、可逆的なフォトフラクティブ効果と非可逆的

なフォトクロミック効果を組み合わせることで、情報を多重化するタイプのものなども提案されている^{6,7)}。この場合も、印加電界が必要、記録・再生に複数の波長が必要、などの欠点をもつ。ただし、いずれの方式でも、R部とRAM部に記録された情報を同時再生することで、画像合成や位相物体検出等の画像比較を行うことができる。

ここでは、このような異種材料を組み合わせる方法や複数波長を利用する方法ではなく、同一材料・単一光源で2つの異なる記録機構を利用して準安定なR部とRAM部を形成し、記録情報の比較を行うホログラムメモリーを提案する。以下では、この記録・再生方法について述べる。詳細な実験条件は省略させていただくので、文献3)等を参照願いたい。

2. 表面レリーフホログラムの記録

アゾベンゼン誘導体等の光異性化型色素を側鎖部に含む有機高分子材料では、共鳴波長領域の空間的な強度変調光に応じて、表面が凹凸状に変化するレリーフホログラムが形成可能なことはよく知られている³⁻⁵⁾。本実験では、アゾベンゼン誘導体を側鎖部に含むウレタン-ウレア共重合体を使用した³⁾。図1は、ともにs偏光した二光束の強度干渉露光により形成したレリーフ型グレーティングの一例である。このグレーティングは、高分子のガラス転移点温度(T_g)以下での加熱や光照射に対して比較的安定な特性をもつため、R型のホログラムとして利用できる。レリーフ

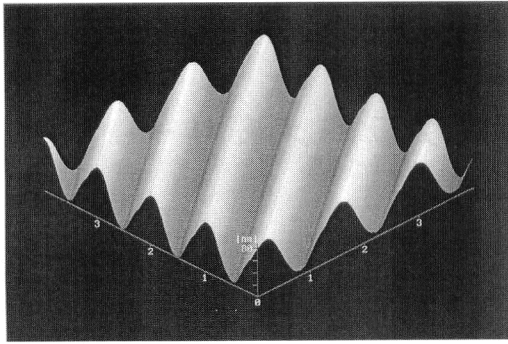


図1 二光束干渉露光により形成したレリーフ型グレーティングのAFM画像。

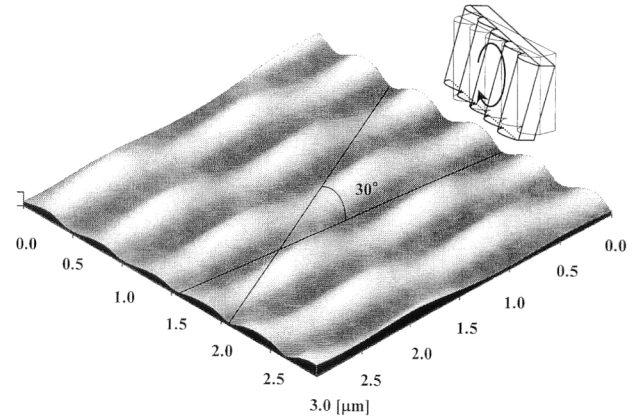


図3 格子ベクトル多重により記録した表面レリーフグレーティング。

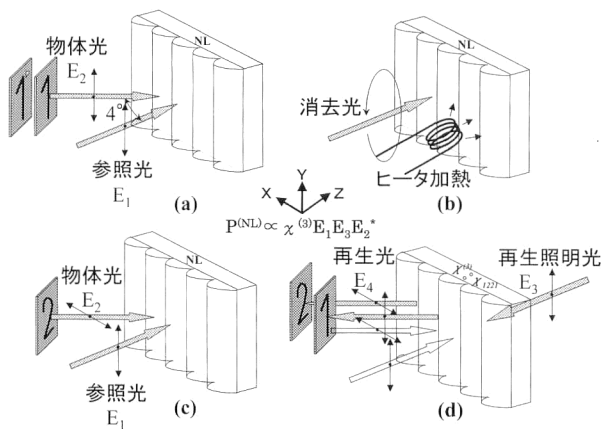


図2 デュアルプログラムメモリの記録・再生光学系。

型プログラムの記録は図2(a)の偏光配置にて実行した。この場合、共鳴波長領域では含まれる有機色素により、表面と同じ情報が三次非線形光学定数の空間的な変化として膜内部にも記録される。等方性媒質では非線形感受率 $\chi^{(3)}$ の独立なテンソル成分： χ_{1122} 、 χ_{1212} 、 χ_{1221} が存在し、それらの和は χ_{1111} に等しいため、s偏光での再生時には χ_{2222} (= χ_{1111})成分が、p偏光での再生時には χ_{1212} 成分が誘起されたとみなすことができる。

デュアルプログラムとしての利用では、表面と異なる情報を新たに内部記録するために、表面レリーフ作製時に記録された非線形プログラムをいったん消去しなければならない。そこで、内部に誘起された非線形プログラムが加熱や光照射に対してさほど堅牢でない性質を利用する。表面と内部に同じ画像情報を記録した媒体を T_g 付近で加熱するか、あるいは円偏光を照射するかにより、内部の非線形成分のみを消去することができる(図2(b)参照)。加熱では内部情報を完全に消去することができるが、アドレス的な消去が難しい。反面、円偏光照射ではアドレス的な消去はできるが、別途波長板等の光学素子が必要となる。円偏光

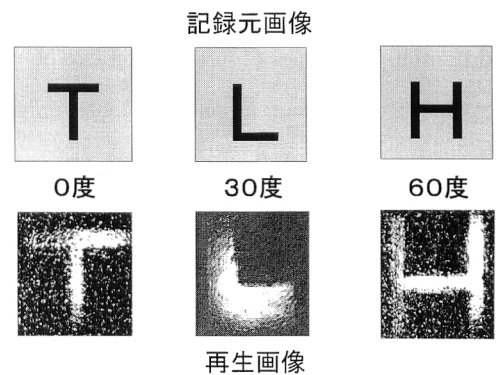


図4 格子ベクトル多重により記録した表面レリーフプログラムの再生画像。

の照射は、必ずしも一度形成された非線形性の空間的变化を消去し、完全に等方的な媒質へ回帰させるものではない。しかし、光照射によりアゾ分子の配向緩和を促進し、面内のマクロな異方向性がほぼゼロとみなせる程度にまで非線形性の空間依存を緩和させることができる。

ここで、プログラム媒体を面内回転し新たな画像1'の情報をもつ空間的な強度変調光を上書き照射すると、あらかじめ記録した表面レリーフプログラムに新たなレリーフプログラムを格子ベクトル多重により記録することもできる。図3は、格子ベクトルを30度回転させ、表面レリーフグレーティングを重ね書きしたときのAFM (atomic force microscopy) 画像である。実際に格子ベクトル多重により表面レリーフプログラムを0度、30度、60度で多重記録・再生した画像が図4である。それぞれほぼ独立に記録・再生可能なことがわかる。これにより、複数の元画像を蓄えることで、異種画像間での比較演算を実行することもできる。

3. 内部非線形プログラムの記録

第2段階として、画像1の情報の表面レリーフ構造をも

つ等方的なホログラム媒体内部に、異なる画像2の情報を記録する。表面と内部に記録した情報を独立再生するために、後に $\chi^{(3)}$ のテンソル性を利用する。そのために、参照光と物体光のなす角度をできるだけ小さくしたコリニアな光学配置をとり(実験では約4度)、 $\chi^{(3)}$ の z 成分を無視できるほど小さくする。

加えて、内部ホログラムの記録時には、表面レリーフホログラムの再生劣化をできる限り低減しなければならない。そこで、再生劣化の影響が少ない、空間的強度が一定な偏光ホログラム記録を利用する。実際、表面レリーフ形成後、空間的に強度の一定な偏光変調光を重ね書きしても、レリーフの振幅が数パーセント減少する程度で形状に大きな変化はみられなかった。

$\chi^{(3)}$ のテンソル性と記録光が偏光変調光であるという2つの性質を有効に利用するために、実験では、参照光と物体光をsとpの直交する直線偏光にセットする(図2(c)参照)。これにより、表面レリーフホログラムにはさほど影響を与えずに、膜内部に非線形ホログラムを記録する。再生光照射時には χ_{1221} 成分や $\chi_{2211}(=\chi_{1122})$ 成分が誘起されたとみなすことができる。

4. 記録情報の再生

膜表面には画像1の情報をもつレリーフホログラムが、膜内部には画像2の情報をもつ非線形ホログラムがそれぞれ記録されている。ここで、参照光と対向するs偏光の再生照明光を入射させると、膜表面からはこの光と同じs偏光成分の光が回折される。同時に、膜内部からはそれと直交するp偏光成分の光が回折される。s偏光した再生光の照射に対しテンソルの対称性を満たすのは上記2テンソル成分中の χ_{1221} 成分のみで、おのずとこれを満足する電界成分、すなわちp偏光のみが回折再生される。図5(a)は表面ホログラムからの再生光で、図5(b)は内部ホログラムからの再生光である。このようなタイプのデュアルホログラムから発生した光は互いに直交する電界成分をもつため、検光子により容易に分離・合成することができる。

従来型のデュアルホログラムでは再生光の強度干渉を利用した計測が主であったが、このタイプのデュアルホログ

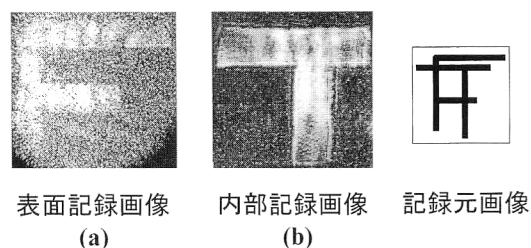


図5 デュアルホログラムメモリーからの再生画像。

ラムでは偏光干渉を利用できるのも特徴のひとつである。これにより画像の論理演算が容易に実現できる。元画像の再生劣化を極力抑えた追記画像再生が可能のため、長い時間スケールでの実時間干渉計測への応用も期待される。ここで紹介したデュアルホログラムの研究が多少でも関連技術者への興味となれば幸いである。

文 献

- 1) D. Y. Kim, L. Li, X. L. Jiang, V. Shivshankar, J. Kumar and S. K. Tripathy: "Polarized laser induced holographic surface relief gratings on polymer films," *Macromolecules*, **28** (1995) 8835-8839.
- 2) C. J. Barrett, A. L. Natansohn and P. L. Rochon: "Mechanism of optically inscribed high-efficiency diffraction gratings in azo polymer films," *J. Phys. Chem.*, **100** (1996) 8836-8842.
- 3) Y. Aoshima, C. Egami, Y. Kawata, O. Sugihara, M. Tsuchimori, O. Watanabe, Y. Che, H. Fujimura and N. Okamoto: "Two-way holographic image storage in photosensitive polymers," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **40** (2001) 1619-1623.
- 4) 渡辺 修: "近接場光による超高密度光記録", *光学*, **31** (2002) 745-751.
- 5) A. A. Akaev, S. B. Gurevich and K. M. Zhumaliev: *Holographic Memory* (Allerton Press, New York, 1998) pp. 76-82.
- 6) S. J. Strutz and L. M. Hayden: "Quasipermanent photochemical gratings in a dual use photorefractive polymer composite," *Appl Phys. Lett.*, **74** (1999) 2749-2751.
- 7) K. D. Harris, R. Ayachitula, S. J. Strutz, L. M. Hayden and R. J. Twieg: "Dual-use chromophores for photorefractive and irreversible photochromic applications," *Appl. Opt.*, **40** (2001) 2895-2901.

(2003年4月9日受理)