

K 3 ダイナミックレンジ圧縮ホログラムメモリ ～フォトリフラクティブ結晶のダイナミックレンジ圧縮特性～

鈴木 雅也[†] 土田 恵一^{†*} 大河 正志[†] 関根 征士[†]

[†]新潟大学工学部 ^{†*}長岡高専

1.はじめに

今日の高度情報化社会において、情報量は今後ますます増加することが予想される。情報量が増加するにしたがって多量の情報を記録でき、ほしい情報を高速に検索する必要性が増すことから、記録密度の向上や、情報検索の高速化がメモリには望まれている。その条件を満たす記録媒体として、ホログラムがあげられる。本研究室では、ホログラムを用いた光情報検索システム⁽¹⁾について研究されている。本システムでは、並列処理が可能であることから情報検索の高速化が期待でき、ホログラムは今後期待されるメモリ媒体である。

2.ホログラムメモリ

光情報検索システムは、図1のような構成となっている。ホログラムアレイとは、フーリエ変換ホログラムがホログラム記録乾板にマトリクス状に配置されているものであり、それぞれ2進情報が記録されている。ホログラムアレイにレーザ光を照射すると、それぞれの再生像はレンズの焦点面である空間光変調器(以下 SLM)上に現れる。ここで、SLM はデータマスクとして用いられている。そして、再生光の一部は SLM を透過後出力面である光検出部に達しそこで光電変換され、電圧の有無で情報検索を行う。

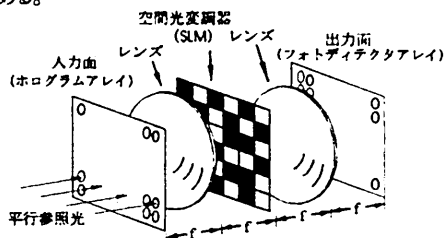


図1 情報検索システム光学系

フーリエ変換ホログラムは記録時に情報光を集光させるため、多量の情報を微小面積に記録できるという利点がある。一方、出力面での光強度が低いと出力電圧が小さいため、情報検索が困難となる。つまり、ホログラムの再生光強度をできるだけ強くする必要があり、そのため光源を強くしたり、ホログラムの回折効率の向上が必要となる。今後の情報量の増大に伴い、単位面積により多くの情報を記録する、つまりホログラムの大きさを小さくしていく必要性が増す。しかし、ホログラムの大きさが小さくなるにしたがって相対的に再生光強度が低下する。この低下を緩和するため、回折効率の向上が重要な問題となる。

3.ダイナミックレンジ圧縮フーリエ変換ホログラム

回折効率の向上の方法の一つとして、ホログラムの感光材料の感光特性に注目する。感光特性とは、横軸に露光量、縦軸に強度透過率をとった特性で、ある光強度の範囲では線形である。この線形な部分を用いて露光を行えば、回折効率の高いホログラムができることが期待される。しかし、フーリエ変換ホログラムは、記録時に情報光を空間周波数に変換して感光材料に記録するため、空間周波数により光強度の強弱の差、つまりコントラスト比が大きくなるという欠点が存在する。この欠点から、ホログラム作成時、露光を感光材料の感光特性の線形な部分におさめることができないため、非線形な部分でノイズが発生し、回折効率の低下をまねくと考えられる。そこで、情報光のコントラスト比を低くすることにより、露光を感光特性の線形な部分におさめることが可能となり、非線形に起因するノイズが減少するためホログラムの回折効率の向上が期待される。情報光のコントラスト比を低下する方法を次に示す。

4.フォトリフラクティブ効果を利用した2波混合

フォトリフラクティブ (photorefractive 以下 PR) 効果とは、結晶に光を入射することにより局所的に屈折率が変化する現象である。PR 効果を起こす結晶を PR 結晶と呼ぶ。PR 結晶には $\text{Bi}_{12}\text{SiO}_{20}$, BaTiO_3 , LiNO_3 等がある。その中から、本研究は、比較的光強度が弱くても PR 効果の大きい BaTiO_3 結晶を用いることとした。

PR 結晶に2波光を入力すると、一方の光は他方の光からエネルギーの一部を受け、その光強度は増加する。また、その増幅率は入射光強度により異なり、入射光強度が弱くなるほど増幅率は高くなる。ここで、増幅率 G は次式で与えられる。

$$G = \frac{I_s + I_p}{I_s + I_p e^{-\gamma L}} \quad (1)$$

(1)式で I_s は信号光強度、 I_p はポンプ光強度、 γ は結合係数、 L は PR 効果の作用長である。ただし、結晶中の損失は無視している。

(1)式より信号光の光強度の弱い部分は強い部分と比較してより多く増幅されるため、入射前と比較して信号光の出力はコントラスト比が低下し、ダイナミックレンジが圧縮される。

以下に2波混合を行う際の重要なパラメータについて検討した。

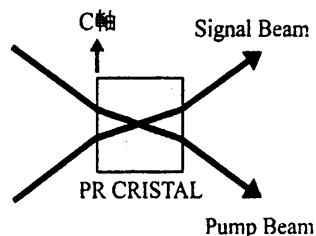


図2 2波混合

4-1 結合係数

結合係数とは、信号光がポンプ光とどの程度の作用があるかを示す値で、高いほど低い光強度でもPR効果が起こる。圧縮が行われるには、G が正となる必要があり、このため(1)式より、 γ は正であること、結晶表面の反射や内部での散乱等による結晶の損失率の値よりも高いことが必要である。これが満たされなければ、結晶に入射した光は増幅せず圧縮が行われない。結合係数は光が結晶に入射する角度などにより変化し、次式のようにあらわされる。

$$\gamma = \frac{-2\pi}{n\lambda \cos \theta} n_o^2 n_e^2 r_{42} E^s \sin \alpha \sin 2\alpha \quad (2)$$

ここで、 λ は波長、 θ は2波のなす角度、 n_o 、 n_e はそれぞれ常光線、異常光線の屈折率、 α は結晶中に生成される干渉縞の波数ベクトルとC軸とのなす角度、 E^s は結晶内の飽和空間電場、 r_{42} は BaTiO₃ 結晶の主たる電気光学定数である。また、 n は

$$\frac{1}{n^2} = \frac{\cos^2 \alpha}{n_o^2} + \frac{\sin^2 \alpha}{n_e^2}$$

であらわされる。(2)式より α が 90° ~180° のとき γ が正となり、特に α が約 125° の時に γ が最大となることがわかった。

4-2 最大圧縮の条件

(1)式を用いて、情報光のコントラスト比が最小になる条件を計算して求めた。図3に圧縮前の情報光のコントラスト比が1000のとき、圧縮後の結合係数の違いによるコントラスト比の変化を示している。この図において、横軸は信号光とポンプ光強度の比 (Signal to Pump Ratio 以下 SPR)、縦軸は圧縮後のコントラスト比を示している。この図より、結合の強さが高くなるほどより高く圧縮が行われることが分かるが、その反面、最大圧縮の条件時のSPRが小さくなり、ポンプ光に対して信号光強度が弱くなる。ホログラム作成時、信号光は参照光と干渉させるため、ポンプ光は不要となる。ポンプ光が信号光に対して強いとレーザ光の損失が多くなるため、この場合はホログラム作成には不適である。そこで、ポンプ光強度をなるべく低くし、なお十分に圧縮が行われる条件である信号光強度をポンプ光強度と同程度とすると、 γL が10と20を比較してほぼ同程度の圧縮が行われる。従って、この条件下で γL が10~20の範囲でホログラムを作成すればよいことがわかった。

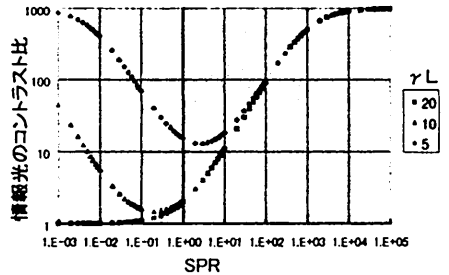


図3 圧縮率

4-3 圧縮後の波形

情報光を圧縮することにより画像がどのような変化があるかを検討した。情報光をフーリエ変換し空間周波数スペクトル分布を2乗して光強度分布にし、この光強度を信号光強度として(1)式に代入して、これをフーリエ逆変換した。フーリエ変換を行う理由は、本実験では、信号光は広げられ平行光にした後、情報をのせそれをレンズにより集光させてPR結晶に入射させる。これは光を広げて平行光にしないとPR結晶が0.5mm角と小さく、信号光に情報を入力することを考慮すると困難であるからである。図4は、4-2でほぼ最大に圧縮される条件である、結合係数10、SPRを1とした時の入力波形と出力波形を示す。ただし、数値計算の誤差が多少含まれている。図4の場合、出力は情報光の空間周波数の高い部分の光強度が弱いためその部分がより多く増幅されるため、入力波形のエッジの部分が増幅されているのが分かる。また、出力波形はノイズが認められる。ノイズが小さいのでメモリとして用いる場合にはノイズの影響はあまりないと思われる。

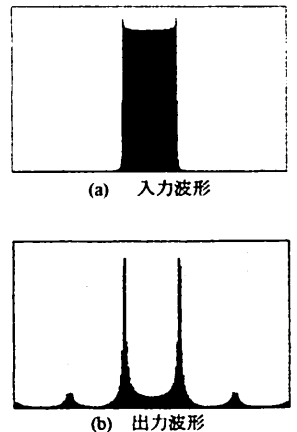


図4 波形

5.まとめ

PR 効果を利用したダイナミックレンジ圧縮の最適な条件について数値解析を行ってきた。ダイナミックレンジ圧縮を行う条件は結合の強さ γL を10~20、SPR=1の場合がホログラム作成には適当である。今後は4章で述べてきた特性を実験的に確認していくことが課題である。

6.参考文献

- (1)羽鳥雅章,“空間光変調器を用いた光情報検索システムの動作実験,”電子情報通信学会論文誌 C-1
- (2)富田康生、北山研一訳,“フォトリラクティブ非線形光学,”丸善