

# BaTiO<sub>3</sub>位相共役鏡を用いたファブリペロ型フィードバック光学系

Fabry-Perot Type Optical Feedback using BaTiO<sub>3</sub> Phase Conjugation Mirrors .

伊 藤 雅 英\*・黒 田 和 男\*・小 倉 馨 夫\*

Masahide ITOH, Kazuo KURODA and Iwao OGURA

## 1. は じ め に

光学的なアナログ画像処理は2次元的な並列処理が可能であるため、計算機を用いたデジタル処理と比較して、高速化が可能である。しかしながら光学素子の吸収や散乱のため光量が減衰し、多段の処理を行うのは困難である。レーザーは光の増幅作用があり、とくに利得が高く口径の大きい金属蒸気レーザーで報告があるが<sup>1)</sup>、増幅率の制御が困難なこと、装置が巨大であることなどの欠点がある。本研究では、photorefractive効果による光増幅機能を利用し、フィードバック系を組むことにより非線形演算をおこなう。

BaTiO<sub>3</sub>はphotorefractive効果が大きいため、レーザー光のコヒーレントな増幅、位相共役波の発生などを高効率におこなうことができる<sup>2)</sup>。ここでは4光波混合の配置を用い、利得をもった位相共役鏡(PCM)を2つ

構成し、フィードバックループを構成する。また、位相共役波は時間反転の波であるため、これを用いてフィードバック系を構成すると、レンズ等の結像素子を用いることなく、共役面に物体の像を作ることができ、アライメントが容易となる。

## 2. 実 験

BaTiO<sub>3</sub>にはphotorefractive効果をもたらす電気光学常数として $r_{33}$ と $r_{42}$ がある。ここでは $r_{42}$ を用いる配置で実験をおこなった(図1)。結晶の大きさは5mm×5mm×7mmでc軸の方向に長い四角柱である。光源はアルゴンイオンレーザー(波長488nm, 出力160mW)で、偏光は電界が水平方向である直線偏光( $\phi$ 偏光)でもちいた。ポンプ光と信号光の角度を一定( $\theta=30^\circ$ )にして、結晶を回転し、4光波混合での位相共役波の反射率を測定した。図2に結果を示す。また、結晶とポンプ光の角度を固定して( $\phi=30^\circ$ )、信号光の入射角度を変化した時の反射率も測定した(図3)。横軸は結晶中にできている干

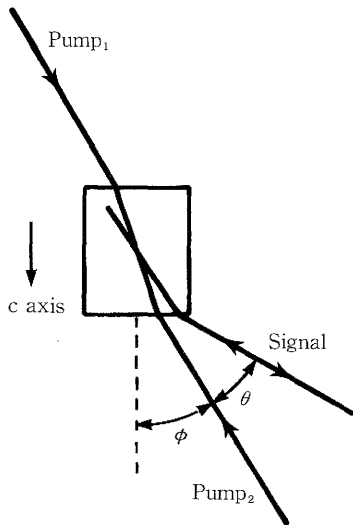


図1 位相共役鏡の反射利得の測定配置

\*東京大学生産技術研究所 第1部

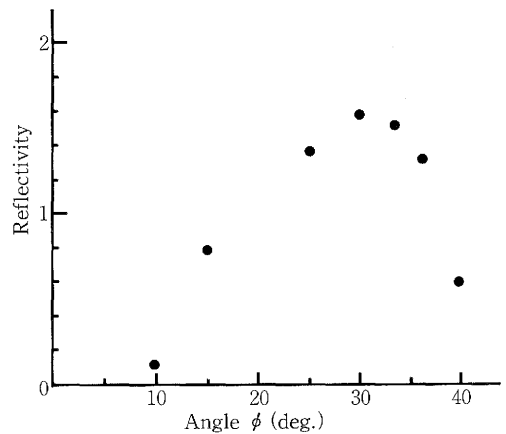


図2 ポンプ光と信号光の角度一定( $\theta=30^\circ$ )のときの位相共役波の反射率の結晶角度依存性

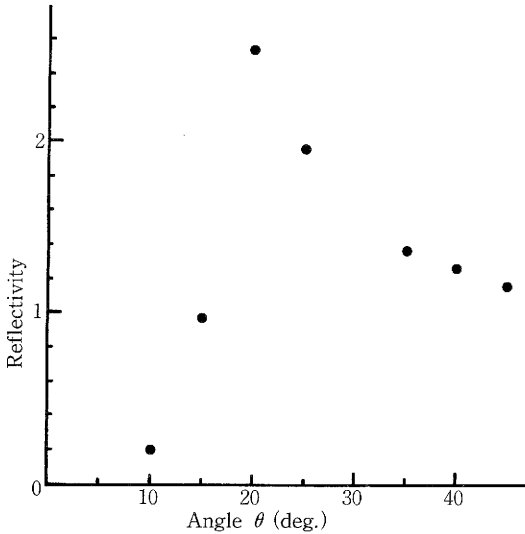


図3 結晶とポンプ光の角度一定 ( $\phi = 30^\circ$ ) のときの位相共役波の反射率の信号光の入射角度依存性

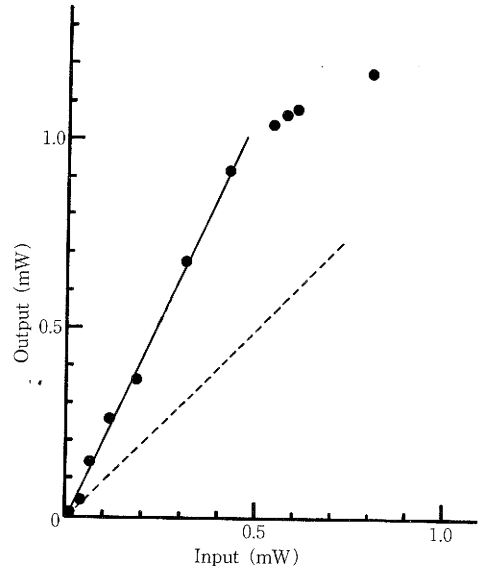


図4 入力光と反射出力光の関係、点線は利得1 (反射率100%)

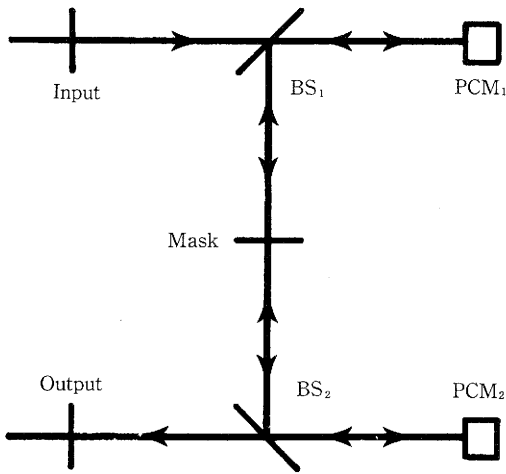


図5 光フィードバック光学系

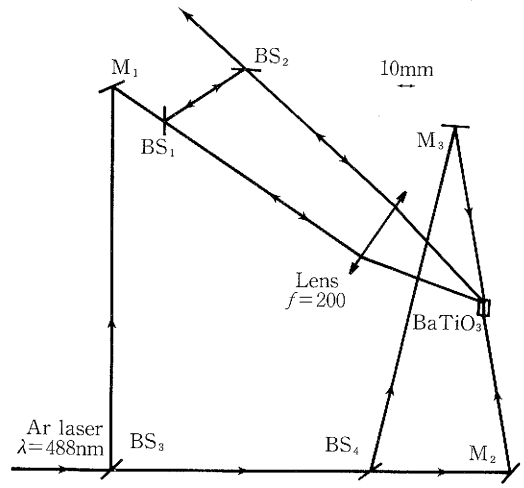


図6 実験光学系

渉縞のピッチに相当し、最も反射率が大きかったのは  $\theta = 20^\circ$  ( $0.4\mu\text{m}$ ピッチ) で反射利得は2.6 (260%)であった。また、信号光の強度を変化して利得の飽和を測定したものが図4である。実線の傾きが小信号利得にあたり、入射強度が0.5mW付近で飽和が始まっている。また、点線は利得1 (反射率100%)を表す。

フィードバック系の構成を図5に示す。PCM<sub>1</sub>にビームスプリッターを通して入射した光は、反射増幅されてPCM<sub>2</sub>に入射する。2つのPCMはビームスプリッターによって結合していて、フィードバックループが構成され

る。PCM<sub>1</sub>は入射面の共役面であるマスク面に入射面の共役像を作り、PCM<sub>2</sub>はこの共役像の共役像を出射面に作る。これは入射面の実像である。マスク面では2つのPCMによって作られる像は互いに位相共役の関係であるが、進行方向も反対であるので、完全に同一のものとなる。

実際の光学系の配置を図6に示す。BaTiO<sub>3</sub>は1個しかないで、2つのPCMを兼ねる。ポンプ光は共通で信号光はポンプ光の空間的に異なる個所を利用し、位相共役波を発生する。したがって、上記の最適な条件を使用

することができず、反射率はかなり低くなっていると思われる。図7は入射信号光と出力光の関係で、ほぼ線形に変化している。一方2つのビームスプリッターの間に減衰器を挿入した場合、ほぼ2乗で出力が低下する(図8)。

3. 考 察

図5のフィードバック系について解析をおこなう。 $r_1, t_1$ はBS<sub>1</sub>の反射率と透過率, $r_{p1}, \phi_{p1}$ はPCM<sub>1</sub>の反射率および位相シフトを表す。添字の2も同じである。また $T_m$ および $\phi_m$ はマスクの透過率および位相シフトである。BS<sub>1</sub>から入力面およびマスク面までの距離、および、BS<sub>2</sub>から出力面およびマスクまでの距離が等しい場合を考える。光を複素振幅で $P=A \exp(i\phi)$ と書くと、マスク面で下向きに進む波は $n$ をフィードバックの回数として、

$$P_{n+1}^* = A_n r_1^2 r_{p1} T \exp[i\{(\phi_1 + \phi_m) + (\phi_1 - \phi_2)(n - 1)\}] \quad (1)$$

となる。星印は入射面と位相共役な波を表し、マスク面では下向きに進む波は常に共役波である。それに対して上向きに進む波はその共役波であるので入射像と同じになる。上向きに進む波は、

$$P_n = A_n^* r_2^2 r_{p2} T \exp\{-in(\phi_1 - \phi_2)\} \quad (2)$$

となる。出力面では、

$$P_n = r_1 t_1 r_2 t_2 r_{p1} r_{p2} T (r_1^2 r_2^2 r_{p1} r_{p2} T^2)^{n-1} \times \exp[i\{-(\phi_1 + \phi_2)n - \phi_m\}] \quad (3)$$

となる。等比数列の和をとって、

$$P = \frac{r_1 t_1 r_2 t_2 r_{p1} r_{p2} T \exp(-i\phi_m)}{1 - r_1^2 r_2^2 r_{p1} r_{p2} T^2 \exp(-i(\phi_1 - \phi_2))} \quad (4)$$

となる。観測される強度は、

$$I = \frac{(r_1 t_1 r_2 t_2 r_{p1} r_{p2} T)^2}{1 - 2r_1^2 r_2^2 r_{p1} r_{p2} T^2 \cos(\phi_1 - \phi_2) + (r_1^2 r_2^2 r_{p1} r_{p2} T^2)^2} \quad (5)$$

となる。本実験の場合PCMの反射利得が系のロスよりかなり小さかったため、式(5)の分母の第2項および第3項は無視できる。そのため、分子の減衰器の透過率 $T$ の2乗の項が支配的となり、実験のような結果が得られたと思われる。

フィードバック系を十分な利得で用いるためには、①2つの信号光の入射角度を最適化する、②複数の結晶を用いることにより、位相共役波の発生と利得発生部分を分離する、などが考えられ、今後このような方向で実験を行っていく。

4. ま と め

BaTiO<sub>3</sub>のphotorefractive効果による利得を持った位相共役波の発生を利用した光演算を目的とし、位相共役鏡としての基礎特性を測定した。4光波混合の配置を用

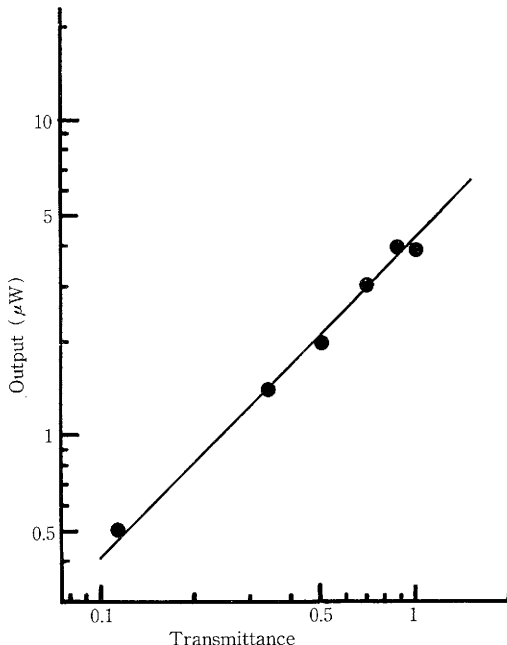


図7 減衰器をループの外に置いたときの出力

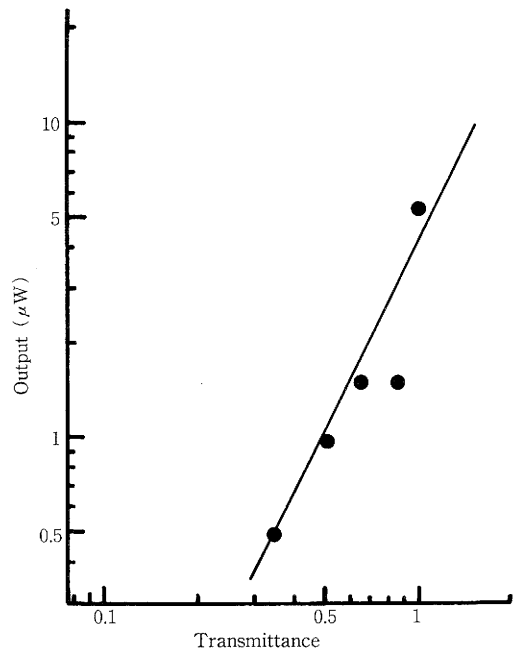


図8 減衰器をループ内に置いたときの出力

## 研 究 速 報

い、ポンプ光、信号光、結晶方位の反射利得依存性を測定し、最大反射率として260%を得た。また、位相共役鏡2つをビームスプリッターで結合しフィードバックループを構成した。ループの外と内に減衰器を挿入した際の出力特性を測定し、非線形性を確認した。

フィードバック系にさまざまな位相演算子や遅延素子を導入することにより、微分、積分回路を構成することができる。また、こうした時間的な演算ばかりではなく、光の並列性を利用して、空間的なインターコネクションをホログラムなどでおこなうことにより、デジタル計算機による画像処理装置の前処理装置としての画像演算を

おこなう可能性がある。

本研究の一部は平成元年度本所選定研究費の援助によりおこなわれた。ここに感謝の意を表します。

(1989年8月23日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 黒田和男, 志村努, “液晶TV画像の銅レーザーによるアクティブ投影”, 光学, 18, No. 5 (1989) 258-259
- 2) P. Günter and J.-P. Huignard eds., “Photorefractive Materials and Their Applications I”, Topics in Applied Physics **Vol. 61**, (Springer-Verlag Berlin Heiderberg 1988)

