



可変利得を有する液晶光変調による インコヒーレント光の増幅

間 多 均

帝京大学理工学部 〒320 宇都宮市長岡町 1189-4

(1990年2月2日受付, 1990年4月16日受理)

Amplification of Incoherent Light by Liquid Crystal Light Modulation with Variable Gain

Hitoshi MADA

School of Science and Engineering, Teikyo University,
1189-4, Nagaoka-Cho, Utsunomiya 320

(Received Feb. 2, 1990; Accepted April 16, 1990)

Amplification of incoherent light has been demonstrated using a liquid crystal light modulator operated in the twisted nematic mode. We obtained the maximum gain of 5 times experimentally. The maximum possible gain in this device can be estimated as 80 dB.

1. 序 論

光コンピュータを構成するための各種デバイスが提案報告されてきている。それらの中で、従来のコンピュータに近いアーキテクチャを考える場合には、基本デバイスを多段接続して使用することとなる。このように多段の演算や処理を実行する場合、光の損失や演算に伴う減衰を補わなければならない。そのためには必要な場所で信号としての光の増幅が必要となる。

コヒーレント光の増幅はレーザー物質¹⁾や位相共役鏡²⁾を利用した方式が報告されているが、実用的なデバイスとしての使用は困難である。一方、インコヒーレント光の増幅は素子構成として3端子素子構造とすることで容易に実現できる可能性がある³⁾。

光の増幅は単に増幅作用のみならず、ファンアウトの増加や信号の波形整形などの付加的な機能をももたらす。本速報では、ねじれネマティック (TN) 液晶光変調器を用いたインコヒーレント光の増幅について実験した結果を報告する。ここで提案する光増幅は外部回路により利得を可変とすることができ、光の損失等を必要に応じて細かく調整できる利点をもつ。

2. 動作原理

本研究では電氣的な帰還を有する単純な3端子素子構造の光増幅素子を取り上げた。光増幅を実現する光学系を Fig. 1 に示す。図中の TNLC は TN モードで動作させる液晶光変調器である。また P および A はそれぞれ直線偏光子と直線検光子を意味する。液晶を透過したバイアス光 I_B の一部と入力光 I_i は光導電体 PC により液晶の印加電圧としてフィードバックされる。出力側には入力光が出力されないように偏光板 A_0 を挿入してある。そのため、入力光はそれと直交する直線偏光でなければならない。

Fig. 1 の光学系の定常状態は、Fig. 2 のようにグラフ上で求めることができる。偏光板を平行ニコルとすれば、液晶印加電圧が0のとき光は透過せず、透過率 T は0となる。液晶の印加電圧を上げると、ある閾値 V_{th} より高い電圧で透過率は単調に増え、最後に飽和する。

簡単のため、単調増加曲線を次式のように直線で近似する。

$$T = \alpha(V_{LC} - V_{th}) \quad (1)$$

ただし V_{LC} は液晶にかかる電圧である。係数 α は液晶

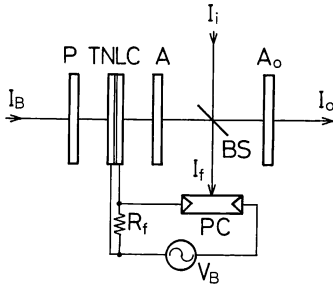


Fig. 1 Optical system for amplification using in this experiment. Input light I_i is linearly polarized. The abbreviations are: P, polarizer; A, analyzer; A_o , analyzer to cut the input light; TNLC, liquid crystal light modulator; BS, beam splitter; PC, photoconductor; V_B , electric bias.

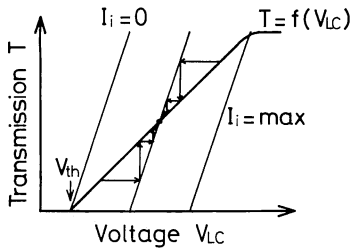


Fig. 2 Transmission as a function of voltage for the TN liquid crystal cell through parallel polarizer and analyzer. Solid lines correspond to the constraint imposed by the external circuit for increasing optical power.

材料およびその厚さにより決まる定数である。入力光と液晶を透過した光の一部は帰還光 I_r として PC に入力される。

$$I_r = (I_B T + I_i) / 2 \quad (2)$$

さらに簡単のため、PC の抵抗は暗時の抵抗を R_d とし、かつ照射光強度に比例して減少すると仮定する。

$$R_{PC} = R_d - \gamma I_r \quad (3)$$

ここで γ は PC 材料で決まる定数である。したがって液晶にかかる電圧は、液晶の抵抗 R_{LC} と外付けの可変抵抗 R_f の並列抵抗を R として

$$V_{LC} = \frac{R}{R + R_{PC}} V_B \quad (4)$$

となる。この式(2)~(4)が Fig. 2 の直線群を表す。系の定常状態は式(1)の直線とこの直線群の交点で与えられる。

一方これらの式を解くことによっても定常状態が得られる。条件として液晶の閾値電圧を

$$\frac{R}{R + R_d} V_B = V_{th} \quad (5)$$

と設定する。入力光は直接出力されないように直線偏光を使用し、出力側には検光子 A。が挿入されているので出力強度 I_o は $I_B T / 2$ となる。式(3)の第2項は第1項に比べて小さいとすると I_o は次のようになる。

$$I_o = \frac{1}{\{4(R + R_d)^2 / \alpha R V_B \gamma I_B\} - 2} I_i$$

$$= \frac{1}{\{4(R + R_d) / \alpha V_{th} \gamma I_B\} - 2} I_i \quad (6)$$

この式は入出力光の関係が線形となることを意味し、分母が1と0の間の値のときは増幅となり、1以上では減衰となる。増幅の領域で R_f を小さくすると利得が増えることになり、外部回路により可変増幅器となる。

Fig. 1 の帰還系は正帰還となっているが、帰還利得は1以下であり発振はせず、Fig. 2 に示したようにこの系の解の状態(図中の黒丸)は安定となる。

3. 実験結果および考察

実験で使用した液晶光変調器は、厚さ $9 \mu\text{m}$ のセルにネマティック液晶としてメルク社製 ZLI-1565 を注入した。またバイアス電圧は周波数 1 kHz の正弦波を用いた。使用した光は波長 633 nm の He-Ne レーザー光である。実験では PC に並列抵抗を挿入し、常に条件式(5)を満たすようにした。

得られた入出力特性を Fig. 3 に示す。外付け可変抵抗 R_f が 1 k Ω から 440 Ω までの変化で増幅度を1から5倍まで変化させることができた。入出力光強度はフォトダイオードで受けた光による電圧変化を基準にしてプロットしてある。Fig. 3 の入出力特性は直線性がよくない。この原因としては PC の光照射による抵抗

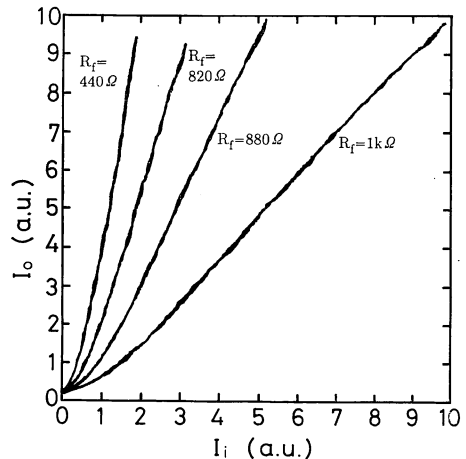


Fig. 3 Experimental results of input-output properties.

値変化の非線形性と、TN 液晶における透過率の電圧依存性 (T - V 特性) の非線形性である。とくに低入力側での直線性の悪化は液晶の T - V 特性を直接反映しているためと考えられる。この点については偏光板の性質とともに、液晶の動作モードも合わせて検討する必要がある。TN モードではなく、スーパーツイステッド複屈折モード⁴⁾ やハイブリッド電界効果 (HFE) モード⁵⁾ を利用することで直線性の改良が期待できる。

本実験では 5 倍までの増幅が得られたが、増幅度は式 (6) の係数で与えられる。したがって

$$4(R+R_0)/\alpha V_{th}\gamma I_B \quad (7)$$

が 2~3 で 1 倍から無限大までの増幅が可能である。バイアス光強度 I_B は他の変数と独立な変数であるため、本実験の増幅度が 1 の状態で I_B を 1.5 倍とすることにより増幅度は無限大となる。このことは Fig. 2 の直線と T - V 特性が一致することを意味する。実際には T - V 特性は飽和特性であるため増幅度は無限大とはならず、有限の値 (最大で出力は $I_B/2$) となる。そのため、増幅度を大きくするには I_B をなるべく大きくしなければならず、式 (7) からわかるように大きな暗抵抗をもち γ の小さい PC を使用し、 α が小さく閾値の低い液晶材料および動作モードを用いるのがよい。HFE モードでは α は 1/10 程度となり、また V_{th} も TN モードと比べて 1/10 以下となる。さらに γ を 1/2 とすると、本実験の抵抗定数およびバイアス光強度 1 mW で約 10000 倍の増幅が得られることとなる。

4. 結 論

一般に使用されている TN 液晶を用いることにより、外部回路で利得を可変にできるインコヒーレント光の増幅素子を実験的に実現した。本実験では約 5 倍の増幅が得られたが、液晶の動作モードを HFE モードとし、より特性のよい液晶と PC を用いることで 80 dB 程度の増幅が可能となることが明らかとなった。また、反射型の光変調器とすることでこの素子の 2 次元化も容易に行える³⁾。

実験で用いた増幅素子は偏光板を 90° 回転させることにより T - V 特性が反転し、インバータ増幅ができる。ただし、この方式では利得を上げるのが困難である。さらに条件によってはカオスが生じる場合がある。

増幅器として重要な応答特性に関しては検討しておらず、今後研究を進める予定である。

文 献

- 1) 黒田和男, 志村 努: “銅蒸気レーザーによる画像のコヒーレント光増幅”, 応用物理, **58** (1989) 1616.
- 2) A. Yariv, S. K. Kwong and K. Kyuma: “Demonstration of all-optical associative holographic memory,” Appl. Phys. Lett., **48** (1986) 1114.
- 3) 間多 均: “光多値論理デバイス: 2次元化の検討”, 光学, **16** (1987) 491.
- 4) T. J. Scheffer: “A new highly multiplexable liquid crystal display,” Appl. Phys. Lett., **45** (1984) 1021.
- 5) W. P. Bleha, L. T. Lipton, J. Grinberg, P. G. Reif, D. Casasent, H. B. Boom and B. V. Markevitch: “Application of the liquid crystal light valve to real-time optical data processing,” Opt. Eng., **17** (1978) 371.