

## 最近の技術から

# 有機ファイバーを用いた高速高効率な光スイッチ

神 原 浩 久

NTT 光エレクトロニクス研究所 〒243-01 厚木市森の里若宮 3-1

## 1. はじめに

有機材料は、その三次非線形光学効果を利用すると、広い波長範囲において高速な光スイッチに適用することが可能である。それゆえ、従来より有機材料の高効率化を目指した開発が精力的に進められており、高分子系のポリジアセチレンなどでは石英ガラスに比べて4桁大きな非線形性が達成されたことも報告されている<sup>1)</sup>。しかしながら、有機光スイッチを高効率に動作させるためには、材料自体の高非線形性獲得はもちろん必要であるが、有機材料が加工性に優れることに着目し、媒質形態を種々工夫することにより媒質としての非線形性を増強させることも有効な手段の一つであると考えられる<sup>2-4)</sup>。本稿では低分子系材料からなる溶液媒質を光カーシャッターに適用し、媒質の形態をキャピラリやファイバー構造にすることで従来に比べてゲート光パワーを大幅に低減した最近の筆者らの研究をまとめて報告する。

## 2. 光カーシャッターの構成

光スイッチにはいくつかの構成が知られているが、このうち、光カーシャッターは構成が簡便であるという特長を有している。光カーシャッターにおいては、プローブ光透過率  $T$  は次式のように表すことができる。

$$T \propto n_{2B}[\text{Kerr}]^2 L^2 (P_g/D^2)^2 \quad (1)$$

ここで、 $n_{2B}[\text{Kerr}]$  はカーリー定数、 $L$  は媒質長、 $P_g$  はゲート光パワー、 $D$  はビームのスポットサイズである。したがって、式(1)から同じ値のプローブ光透過率を得ようとすると、

$$P_g \propto n_{2B}[\text{Kerr}]^{-1} L^{-1} D^2 \quad (2)$$

なる関係のあることが導かれる。すなわち、より低いゲート光パワーでスイッチングを実現させるためには、(1)高非線形媒質の選定、(2)媒質の長尺化による相互作用長の増大、(3)ビームの小スポット化による光密度の向上が有効であることが示される。以下、この方針に基づいて、長尺化・小スポット化の可能なキャピラリやファイバーに高非線形媒質を封入して導波路を作製し、高

速スイッチングの高効率化を図った実験結果について述べる。

## 3. 高効率な高速スイッチングの実現

光カーシャッターの光学系は、ゲート光に波長 1.064  $\mu\text{m}$  のナノ秒 YAG レーザーおよび波長 0.70  $\mu\text{m}$  のナノ秒色素レーザー、プローブ光に波長 0.98  $\mu\text{m}$  および 0.81  $\mu\text{m}$  の半導体レーザーを用いて構成した。検出器には光電子増倍管を用いた<sup>2-4)</sup>。

### 3.1 高非線形媒質の選定

種々の低分子系溶液についての光カーシャッター特性を調べることにより高非線形性を示す媒質を探査した。DEANST [4-(*N,N*-ジエチルアミノ)- $\beta$ -ニトロスチレン] が溶媒への溶解性に優れることから溶液としての高い効率を示し<sup>2)</sup>、ゲート光パワーを 1/2.3 に低減させることができた。

### 3.2 媒質の長尺化

中空のガラスキャピラリに DEANST 溶液を封入して相互作用長を増大させた。図 1 に位相変化量  $\pi/9$  を得るのに必要なゲート光パワーの媒質長依存性を示す<sup>2)</sup>。ガラスセルの場合と対照的に、キャピラリではビームの小スポットが長距離にわたり保持されることから、式(2)に従ってゲート光パワーは媒質長に反比例して減少した。長さ 100 mm のキャピラリでは、1 mm 長のガラスセルに比べてゲート光パワーが 1/75 に低減された。

### 3.3 ビームの小スポット化

ビームの小スポット化はキャピラリのコア径を小さくすることにより行った。前述 3.2 項でのコア径 125  $\mu\text{m}$  を 10  $\mu\text{m}$  へと小さくしたところ、ゲート光パワーは 10 W にまで低減できることが確認された<sup>2)</sup>。前述 3.2 項よりも 2 衍の低パワー駆動が実現できたことになる。

### 3.4 ファイバー導波路の適用

キャピラリよりも長尺・小コア径のファイバーを用いることによってさらに低パワーでの駆動が達成された。

(a) 高い透過率を有する溶液の選定：長尺なファイバーでは溶媒自体の吸収も無視しえなくなる。

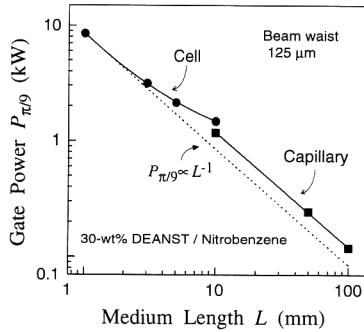


図1 DEANST 溶液での位相変化量  $\pi/9$  を得るのに必要なゲート光パワー  $P_{\pi/9}$  の媒質長依存性。点線で表した  $P_{\pi/9} \propto L^{-1}$  からのずれは、セルではビーム広がり、キャピラリでは結合損等が原因である。

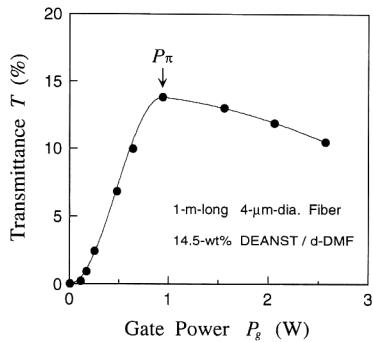


図2 プローブ光透過率のゲート光パワー依存性。図中の矢印はゲート光の  $1/2$  波長パワーを示す。

DEANST を種々の有機溶媒に溶かして吸収損失を測定した結果、重水素化 DMF(d-DMF) 溶媒の適用により近赤外領域での吸収を有効に避けることができた<sup>3)</sup>。DEANST を d-DMF に 14.5 wt% 溶かした溶液においては、吸収損失が  $1.4 \text{ dB/m}$  ときわめて小さくなつた。

(b) シングルモード伝搬の実現： 溶液の屈折率が溶質の濃度を変えることにより精密に制御できることを利用し、溶液を封入するコア部の屈折率がシングルモード条件を満たす値になるように DEANST の濃度を調整した。モードパターンの観察をも実際に行ったところ、溶液濃度  $14.0 \sim 17.0 \text{ wt\%}$  の範囲がシングルモード伝搬領域であることが判明した<sup>3)</sup>。この濃度範囲の中で最大の透過率を示した 14.5 wt% 溶液をファイバーに封入することとした。

(c) 光カーシャッターへの適用： 媒質長が  $1 \text{ m}$  でコア径が  $4 \mu\text{m}$  のファイバー導波路を用いて光カーシャッター実験を行った様子を図2 に示す<sup>3)</sup>。図はプローブ光透過率をゲート光パワー（導波光パワー）の関数で表

しているが、ゲート光の  $1/2$  波長パワーはキャピラリ導波路の場合よりもさらに  $1/5$  下の  $0.94 \text{ W}$  と  $1 \text{ W}$  を切る低い値であることがわかった。動作パワーが  $1 \text{ W}$  以下に低減されたことは、半導体レーザー駆動も可能になることを示唆する。

### 3.5 スイッチング速度の見積もり

DEANST 溶液自体の応答速度はピコ秒オーダーであることが確認されているが<sup>2)</sup>、長尺なファイバーでは群速度分散の影響によりスイッチング速度が制限される。溶液ファイバーの群遅延分散をフーリエ変換相互干渉法<sup>5)</sup>で測定したところ  $0.26 \text{ ps/nm}\cdot\text{m}$  となりスイッチング速度は  $22 \text{ ps}$  であることが見積もられた<sup>3)</sup>。この値はゲート光とプローブ光の波長差を数十 nm に近付ければ、数ピコ秒にまで高速化されることを意味している。

## 4. まとめ

有機材料を光カーシャッターに適用し、半導体レーザー等の小型レーザーによって駆動可能なレベルにまで高効率化を実現した経緯について述べた。ゲート光パワーは、高非線形媒質の選定により  $1/2.3$ 、媒質の長尺化により  $1/75$ 、ビームの小スポット化により  $1/100$ 、そして、ファイバーの適用により  $1/10$  であるから、 $1/2.3 \times 1/75 \times 1/100 \times 1/10 \approx 10^{-5}$  となり、従来の二硫化炭素を  $1 \text{ mm}$  のガラスセルに封入した場合に比べて  $5/5$  枝も低減されたことがわかった。スイッチング速度は導波路構造の場合でもピコ秒オーダーと高速であることも判明した。今後、有機材料は加工性の利点を活かし、ここで示したキャピラリやファイバー導波路のみならず、薄膜導波路においても高効率にスイッチングすることが期待される。また、光カーシャッター型のほかにも方向性結合器などの光スイッチが検討されているが、これらの低パワー駆動化もさらに進展をみせるであろう。

## 文 献

- 1) C. Sauteret, J.-P. Hermann, R. Frey, F. Pradère, J. Ducuing, R. H. Baughman and R. R. Chance : Phys. Rev. Lett., **36** (1976) 956.
- 2) H. Kanbara, H. Kobayashi, K. Kubodera, T. Kurihara and T. Kaino : IEEE Photon. Technol. Lett., **3** (1991) 795.
- 3) H. Kanbara, M. Asobe, K. Kubodera, T. Kaino and T. Kurihara : Appl. Phys. Lett., **61** (1992) 2290.
- 4) H. Kanbara, H. Kobayashi, T. Kaino, T. Kurihara, N. Ooba and K. Kubodera : J. Opt. Soc. Am. B, **11** (1994) 2216.
- 5) K. Naganuma, K. Mogi and H. Yamada : Opt. Lett., **15** (1990) 393.

(1995年3月3日受理)