

研究速報

光学活性と磁気光学特性を有するプラスチックによる 偏光方向維持型光アイソレータの検討

塚本 享*・武藤 真三*・二瓶 栄輔**・小池 康博**

* 山梨大学工学部電子情報工学科 〒400 甲府市武田 4-3-11

** 慶応大学理工学部応用化学科 〒223 横浜市港北区日吉 3-14-1

(1993年10月14日受付, 1993年12月28日受理)

Polarization-Maintaining Optical Isolator Using Transparent Plastics with Optical Activity and Magneto-optical Property

Tohru TSUKAMOTO,* Shinzo MUTO,* Eisuke NIHEI** and Yasuhiro KOIKE**

* Faculty of Engineering, Yamanashi University, 4-3-11, Takeda, Kofu 400

** Faculty of Science and Technology, Keio University,
3-14-1, Hiyoshi, Kohoko-ku, Yokohama 223

(Received October 14, 1993; Accepted December 28, 1993)

In the copolymers of methylmethacrylate (MMA) and benzyl-methacrylate (BzMA) doped with (S)-(-)-1, 1, 2-triphenyl-1, 2-ethanediol (TPED), a rotatory angle increased with increasing the TPED concentration and the Verdet constant increased with increasing the BzMA composition. A new plastic optical isolator which keeps the light beam polarization, was tested using this TPED-doped poly (MMA-BzMA) rod. The isolation of about 20 dB was obtained though the insertion loss was high due to the light scattering caused by the dopant molecules.

1. はじめに

最近, 高分子 (プラスチック) をベースにした光機能素子の開発研究¹⁻⁵⁾ が精力的に進められている. その理由は, 高分子自身やドープ材料のもつ種々の光物性が容易に引き出せる上に, 材料が安価, 軽量, 成形性に富み, 素子作成が容易などの無機材料にはない多くの利点を有することにある. このような背景から, 筆者らも種々のプラスチック光機能素子^{1,3)} に関する研究を行っているが, 本論文では, これまでほとんどなされていない旋光性プラスチックによる光機能素子化を試みた. すなわち, 光学活性と磁気光学効果の2種類の旋光性を有するプラスチック試料の作成とその光アイソレータへの応用⁶⁻⁸⁾ について基礎的検討を行った. 一般に, 本論文のようなプラスチック光機能素子は近赤外波長 1.3~1.55 μm 帯の光通信用などには応用できないが, 短波長半導

体レーザーなどによる次世代光情報処理システム化などに対して有用な資料を与えると考えられるので, その結果についてここに報告する.

2. 旋光性プラスチック試料の作成

2.1 光学活性プラスチックの作成

光学活性材料を水や有機溶媒に溶かすと旋光性を示すことはよく知られているが, ここでは光学活性材料として (S)-(-)-1, 1, 2-triphenyl-1, 2-ethanediol (以後, TPED と略す) を用い, これをモノマーのメタクリル酸メチル (MMA) に溶かした後少量の重合開始剤を加えて重合させる方法で, 直径約 1 cm, 長さ数~6 cm のロッド状旋光性プラスチック試料を作成した. 波長 $\lambda=441\text{ nm}$ におけるこの TPED ドープ PMMA の旋光性の測定結果を Fig. 1 に示す. 同図より, プラスチック中においても TPED 濃度に比例して旋光回転角が

増加することが明らかである。また、TPED 濃度が 20 wt.% 以下の時には伝搬損失は 3 dB/cm 以下であり、これらが旋光性プラスチックとして利用できることが確かめられた。しかし、TPED 濃度をそれ以上にすると TPED が析出し始めるので、光学用には適さなくなる。

Fig. 2 はこの TPED ドープ PMMA における旋光能 α (deg·wt%⁻¹·cm⁻¹) の分散特性を示したものである。測定結果は、波長を λ (nm) で表すと、次のセルマイヤの式

$$\alpha = -0.026 + \frac{1.13 \times 10^5}{\lambda^2 - 59500} \quad (1)$$

で近似できた。

さらに大きな旋光能をもつ透明プラスチック試料を得るには、相溶性のよい他の光学活性材料のドープやキラル基を側鎖にもつ高分子の合成などが有効と考えられる。

2.2 プラスチックの磁気光学特性の制御

ポリスチレンやポリベンジルメタクリル酸はポリメタクリル酸メチル (PMMA) などと比較すると相対的に大

きな反磁性フェラーデー効果を示すが、これは高分子ユニット内のフェニル基の有無が関係する⁶⁾。それゆえ、メタクリル酸メチル (MMA) とメタクリル酸ベンジル (BzMA) の共重合体 Poly (MMA-BzMA) を作ると、重合比によって磁気光学特性 (例えばベルデ定数値など) の制御が可能と考えられる。そこで、熱重合法によって Poly (MMA-BzMA) のロッド状試料を作成し、文献 6) と同様な方法でそのベルデ定数の測定を行った。波長 $\lambda=488$ nm における結果を **Fig. 3** に示す。同図より、このランダム共重合体のベルデ定数は BzMA の割合に比例して増加し、 $V=0.028\sim 0.06$ min·Oe⁻¹·cm⁻¹ の範囲で制御できることが明らかである。

また、**Fig. 4** には MMA : BzMA = 80 : 20 試料におけるベルデ定数 V (min·Oe⁻¹·cm⁻¹) の波長依存性を示した。この結果から近似的な分散曲線を求めると、波長 λ (nm) として

$$V = -0.0037 + \frac{7.82 \times 10^4}{\lambda^2 - 50300} \quad (2)$$

を得た。

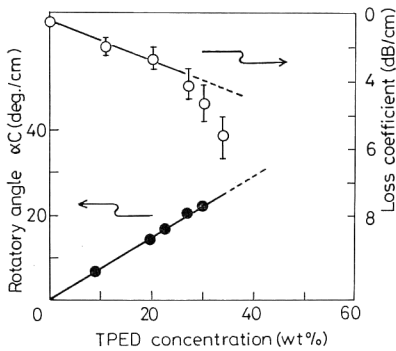


Fig. 1 Rotatory angle and propagation loss coefficient in TPED-doped PMMA.

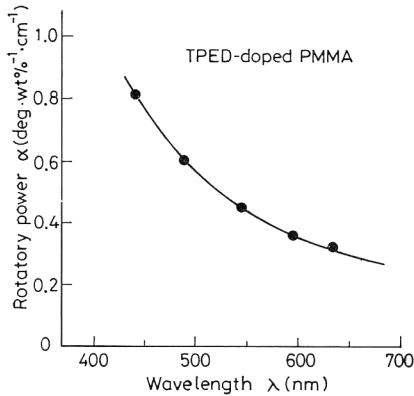


Fig. 2 Rotatory power in TPED-doped PMMA vs. wavelength.

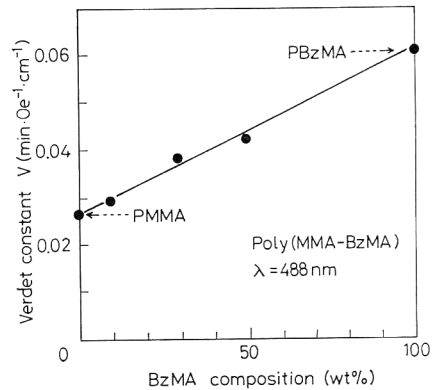


Fig. 3 Verdet constant in poly (MMA-BzMA) rod as a function of the BzMA composition.

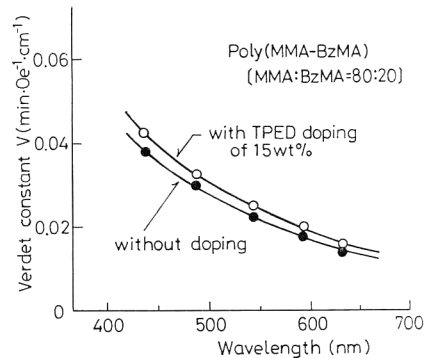


Fig. 4 Verdet constant in poly (MMA-BzMA) vs. wavelength.

3. 偏光方向維持型光アイソレータへの応用

光の伝搬方向と印加磁界方向を z 方向とすると、本論文のような延伸をしていない旋光性プラスチックのテンソル誘電率は

$$\epsilon = \epsilon_0 \begin{bmatrix} n^2 & j\gamma & 0 \\ -j\gamma & n^2 & 0 \\ 0 & 0 & n^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

と表せる。ここで、 ϵ_0 は真空の誘電率、 n は屈折率、 $j = \sqrt{-1}$ であり、また、 γ は旋光性の大きさを示す定数で、光学活性による旋光性プラスチックの場合、

$$\gamma = n\alpha C l / 2\pi, \quad (C \text{ は濃度}) \quad (4)$$

磁気旋光性プラスチックの場合、

$$\gamma = nVH\lambda / 2\pi, \quad (H \text{ は印加磁界強度}) \quad (5)$$

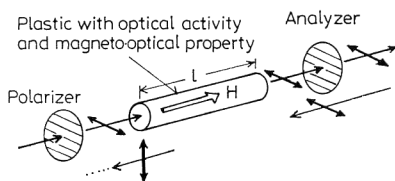
与えられる。

このような旋光性プラスチック中を z 方向に伝搬する光の直交電場 E_x , E_y は式(3)の非対角項を介して結合するので、光モード変換器や光アイソレータの構成が可能となる。以下ではその中の偏光方向維持型光アイソレータに関する基礎的検討を行った。

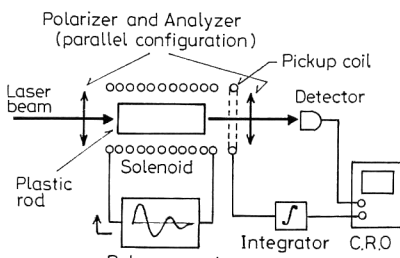
Fig. 1 と Fig. 3 の結果から明らかだが、TPED ドープの Poly (MMA-BzMA) は光学活性と磁気光学特性の双方の旋光性を有することになる。そこで、TPED の濃度 C , 印加磁界強度 H と向き, 試料長 l を調整して、式(4), (5)から求まる偏波面の回転角 θ が

$$\theta = \alpha C l = -VHl = \pi/4 \quad (6)$$

になるようにすると、Fig. 5(a)のような偏光方向を維持した光アイソレータが構成できる。例えば、Fig. 1 の結果を基にして伝搬損失係数が 3 dB/cm 以下となるような TPED を 14 wt% ドープした Poly (MMA-BzMA) ロッド状試料を用いるとき、Fig. 1 の旋光特性と Fig. 4 のベルデ定数値によって式(6)の条件を満たす試料長は $l = 4.2$ cm, 印加磁界強度は $H = 15.7$ kOe となる。このような磁界強度を永久磁石で得ることは困難なので、ここではソレノイドに Fig. 5(b) のような

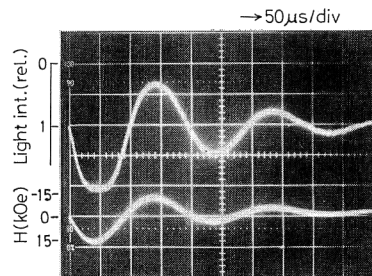


(a) Basic structure of optical isolator

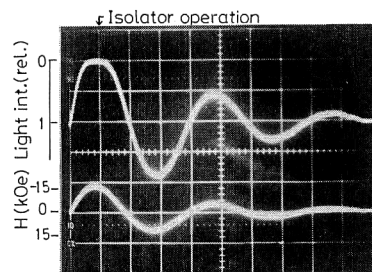


(b) Experimental setup

Fig. 5 Plastic optical isolator with a fixed direction of the linear polarization. (a) basic structure, (b) experimental setup.



(a) for forward magnetic field



(b) for backward magnetic field

Fig. 6 Waveforms of the pulse magnetic field (lower trace) and the detected light signal (upper trace). (a) for forward magnetic field, (b) for backward magnetic field.

Table 1 Properties of plastic optical isolator using TPED-doped poly (MMA-BzMA).

| Material | TPED-doped poly (MMA-BzMA) (MMA : BzMA = 80 : 20) TPED-14wt% $\alpha = 10.7 \text{ deg} \cdot \text{wt}\%^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ $V = 0.041 \text{ min} \cdot \text{Oe}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$ $l = 4.2 \text{ cm}, 10 \text{ mm}^{\phi}$ |
|----------------|--|
| Wavelength | $\lambda = 441 \text{ nm}$ |
| Magnetic field | $H = 15.7 \text{ kOe}$ |
| Isolation | 19.5 dB |
| Insertion loss | 16 dB |

パルス電流を流し、第一ピークでその値を得るようにした。このとき観測された透過光強度変化を Fig. 6 に示す。同図より、順、逆方向磁界の第一ピークで偏光方向維持型光アイソレータ動作が得られていることが明らかである。結果を Table 1 に示したが、アイソレーションとしては約 20 dB を得た。しかし、ドーブ材料による伝搬損失 (約 12 dB) に加えて、無反射コーティングをしていない試料端面でのフレネル損や端面研磨精度などが影響して挿入損は 15 dB を越す値となった。低損失でかつ旋光能とベルデ定数の大きな試料の作成が今後の課題である。

4. む す び

光学活性と磁気光学特性の双方を有する透明プラスチックの作成と光学素子応用について検討した。その結果、高分子ユニット内にフェニル基をもつプラスチックに光学活性材料をドーブする方法で、このような旋光性プラスチックが作成でき、かつ、その旋光能やベルデ定数がある範囲で調整できることが明らかにされた。このような旋光性プラスチックを用いると光モード変換器や光アイソレータが構成できるが、本論文ではその中の偏光方向維持型光アイソレータの構成を試みた。その結果、挿入損失は大きいもののアイソレーション 20 dB をもつ偏光方向維持型光アイソレータの基本的動作を確認することができた。現在、別の材料による低損失旋光性プラスチックの作成などについて検討しているが、それが図れば、薄膜導波路にしたときの相反、非相反

モード変換が z 方向への磁界印加だけで得られるので、これまで報告されている無機磁性薄膜を用いた薄膜導波路型光アイソレータ^{7,8)} に比べてより構造の単純なものが実現できる可能性がある。それについては後日報告したい。

文 献

- 1) S. Muto, A. Ichikawa, K. Okuda, M. Kawai and H. Ito: "Preparation of birefringent plastic optical material," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **26**(1987) L264-L265.
- 2) Y. Koike: "High-bandwidth graded-index polymer optical fibre," *Polymer*, **32** (1991) 1737-1745.
- 3) S. Muto: "Fiber dye lasers and sensors using fluorescent dye-doped plastic fibers," *Proc. the 2nd Int. Conf. POFs and Their Applications (Hague, 1993)* pp. 149-152.
- 4) P. Kaczmarek, J.P. Van de Gabelle, P.E. Lagasse and R. Meynart: "Design of an integrated electro-optic switch in organic polymer," *IEE Proc.*, **136**, Pt. J, 3 (1989) 152-158.
- 5) T. Miyazaki, T. Watanabe and S. Miyata: "Highly efficient second harmonic generation in p-nitroaniline/poly (lactone) system," *Jpn. J. Appl. Phys.*, **27** (1988) L1724-L1725.
- 6) S. Muto, S. Ichikawa, T. Nagata, A. Matsuzaki and H. Ito: "Magneto-optical property of transparent plastic material," *J. Appl. Phys.*, **66** (1989) 3912-3913.
- 7) J. Castera and G. Hepner: "Isolator in integrated optics using the Faraday and Cotton-Mouton effects," *IEEE Trans. Magn.*, **MAG-13** (1977) 1583-1585.
- 8) Y. Miyazaki, K. Taki and Y. Akao: "Waveguide type optical isolator using Faraday and Cotton-Mouton effects in Bi-substituted YIG thin films," *Mem. Fac. Eng., Nagoya Univ.*, **33** (1981) 42-57.