

有機非線形光学高分子の集積フォトニクス デバイスへの応用に関する研究

Application of nonlinear optic polymers to integrated photonic devices

研究代表者 大阪大学工学部助手 裏 升吾
Research Associate, Faculty of Engineering, Osaka University
Shogo Ura

A novel integrated-optic focal-spot intensity modulator comprising an electrooptic (EO) phase-distribution modulator and a focusing grating coupler (FGC) in an EO polymer planar waveguide on a Si substrate is proposed and demonstrated. The integrated phase-distribution modulator is made up of three-finger top electrodes and a planar bottom electrode sandwiching the waveguide. The FGC couples the guided wave to a beam focused on a point in free space. The intensity distribution of the focused spot is modulated by altering the wavefront of the guided wave. The device was designed and fabricated with an active polymer p-NAN-PVA (p-nitroaniline n-polyvinyl alcohol). An extinction ratio of the focal-spot intensity was higher than 3 dB at a modulation voltage of 30 V for 3-mm-long electrodes. The frequency response was measured to be flat over 2 MHz. The EO effect induced by poling showed no significant relaxation over 300 h in an unconditioned room (20-30°C).

研究目的

有機非線形光学材料は、その大きな非線形光学定数、高速応答性などの点で最近注目され、光メモリ記録密度向上のための第2高調波発生デバイスや超高速光通信用変調器等への応用に向けて、種々の材料が研究、開発されている。デバイス構成においては効率面から導波型が望ましく、材料の薄膜化が必要となる。非線形光学材料をドーブした高分子材料を基板上にコーティングする方法は、結晶育成法に比較して薄膜化が容易、任意の基板を選択可能、大面積導波路の可能性、電界印加配向処理による線形および非線形光学定数の制御可能性という特長を有する。

本研究の目的は、有機非線形光学高分子の電気光学 (EO) 効果を利用した集積

フォトニクスデバイスを構成し、その有用性と問題点を明かにし、材料開発の方向性を示すとともに、デバイス実用化のための知見を得、可能性を探ることである。

研究経過

EO高分子を用いた集積フォトニクスデバイスの例として、光集積集光スポット変調デバイスを提案して具体的に検討した。これは光メモリヘッドの小型安定化における画期的改善策として検討を続けている光集積ピックアップへの応用を考えたもので、EO変調素子を集積化することで集光スポットの強度分布を変調し、書込み可能光ディスクヘッドへ対応させようとするものである。

デバイス構成を図1に示す。Si基板上の

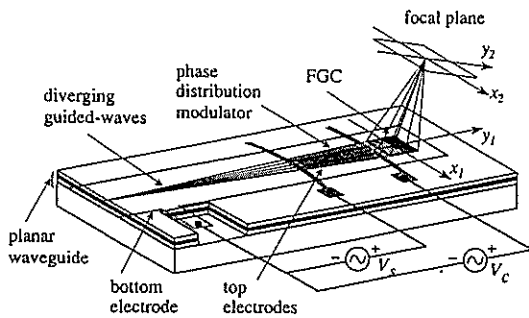


図1 光集積集光スポット変調デバイスの構成

EO高分子薄膜導波路に位相分布変調素子(PDM)と集光グレーティングカップラ(FGC)を集積して構成する。PDMは上下電極でEO高分子導波路を挟み込んでおり、上側電極は2分割3指電極である。端面結合で励振された導波光はPDMを経てFGCにより空間中の一点に集光される。

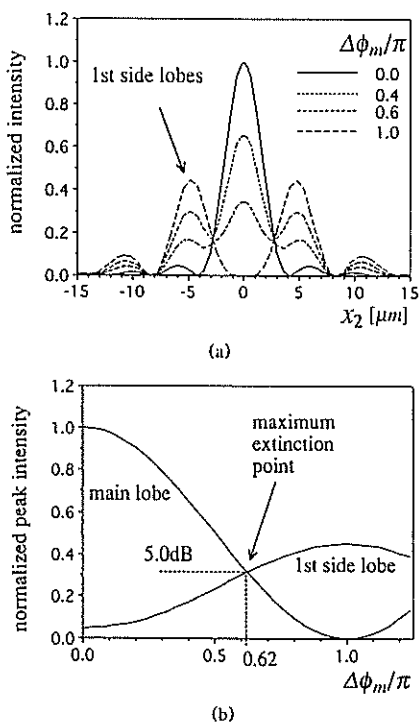


図2 集光スポット強度分布 (a) およびピーク強度 (b) の導波光位相差依存性

その際、PDMの上側電極の片方に交調電圧を印加すると、その下の部分の屈折率が変化し、その部分を伝搬する導波光の位相が変化し、位相差 $\Delta\phi_m$ が生じる。その結果、FGCから空間中に回折される光波のFGC開口上での波面が変化し、焦点面における集光スポット強度分布が変化する。伝搬方向と垂直方向の強度分布の $\Delta\phi_m$ 依存性を図2に示す。 $\Delta\phi_m=0.62\pi$ のときに最大消光比5 dBが得られる。

実際にデバイスを作製し、基本特性を評価した。表1および図3に作製したデバイスのパラメータおよび作製プロセスを示す。Si基板を熱酸化してSiO₂絶縁層を設け、Au/Cr下側電極を蒸着した。RFスパッタによりSiO₂光バッファ層を、プラズマCVDによりSi-Nグレーティング層を堆積させた。電子ビームレジストを塗布し、FGCパターンを電子ビーム直接描画法を用いて描画し、RIEによりSi-N層に転写した。EO高分子p-NAn-PVA溶液をスピンコートした。膜厚は0.6 μ mであり、使用波長0.82 μ mに対し単一モード導波路となる。レジストOEBR1010を上側光バッファ層として用い、Auを蒸着した。上側電極パターン

表1 デバイスの作製パラメータ

	layers	materials	n_f	t_f [μ m]
Waveguide (TM ₀ mode $N_{eff}=1.58$)	upper cladding	OEBR100	1.50	2.20
	core	p-NAn-PVA	1.62 (1.68)*	0.60
	grating	Si-N	1.80	0.12
	lower cladding	SiO ₂ sputtered	1.46	1.93
Phase modulator	top electrode	Au, $L_m=3.0$ mm, fan-out shape		
	bottom electrode	Au/Cr, 2.0mm x 11.5mm		
	electric insulator	SiO ₂ thermal-oxidized, 1.47 μ m		
FGC	groove depth	0.12 μ m		
	focal length	5.0mm		
	output angle	30°		
	aperture	1.0mm x 1.0mm		
	grating periods	0.62 - 0.83 μ m		
FWHM of focus	3.7 μ m			
Light Source	$\lambda=0.82\mu$ m, Laser Diode			

* n_{TM} after poling

をフォトリソグラフィにより作製した。E O効果を発現させるために高分子側鎖の配

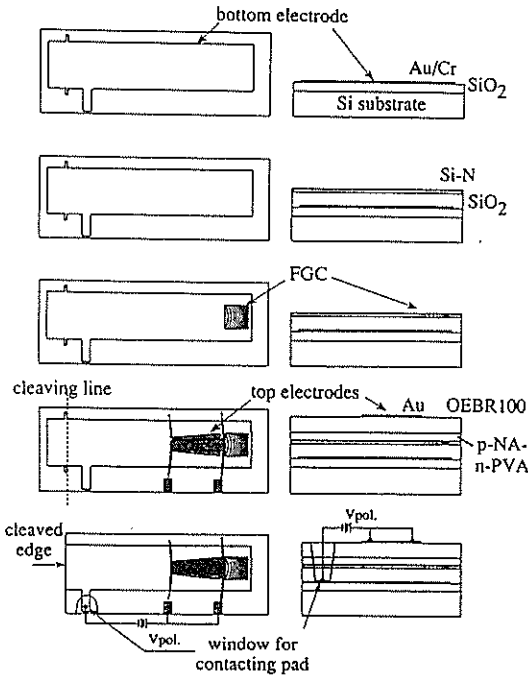


図3 作製プロセス

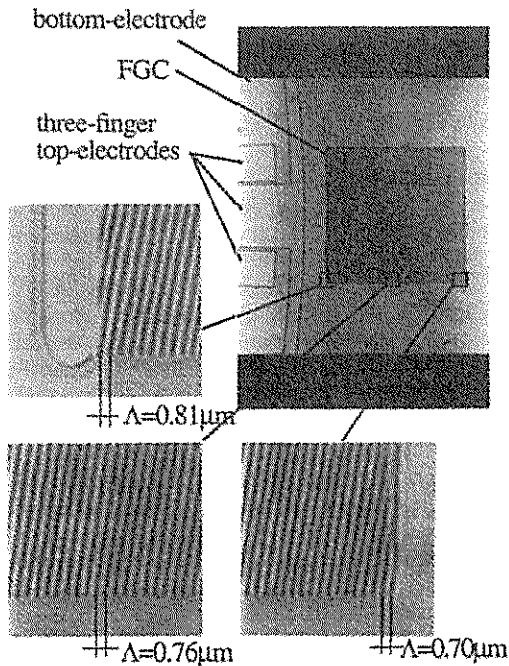
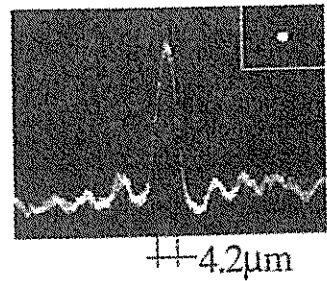


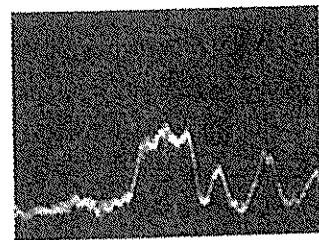
図4 作製したFGCおよびPDM電極の一部の顕微鏡拡大写真

向処理を行った。すなわち、p-NAn-PVAのガラス転移温度である115℃をわずかに超える120℃雰囲気中で上下電極間に400Vの電圧を30min印加して側鎖であるp-NA分子を配向させた。電圧印加のまま室温まで冷却して配向状態を定着させた。図4に作製したFGCとPDMの一部の顕微鏡写真を示す。

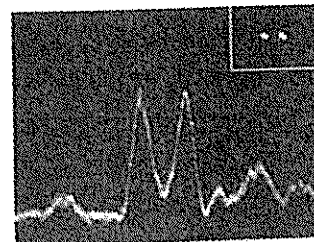
作製したデバイスの特性を評価した。半導体レーザからの光を端面結合により TM_0 モード発散導波光に結合させ、FGCの焦点面における集光強度分布をCCDセンサで観測した。図5に得られた光強度分布を示す。(a)はPDMに変調電圧を加えないと



(a)



(b)



(c)

図5 FGC焦点面における光強度分布 PBMに印加した電圧はそれぞれ (a) 0V (b) 30V (c) 54V

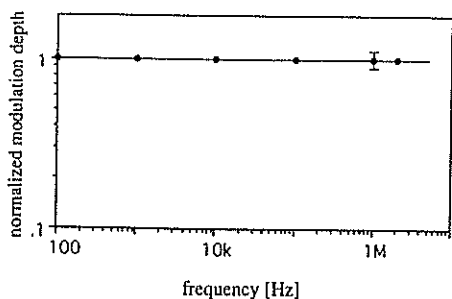


図6 変調深さの周波数特性

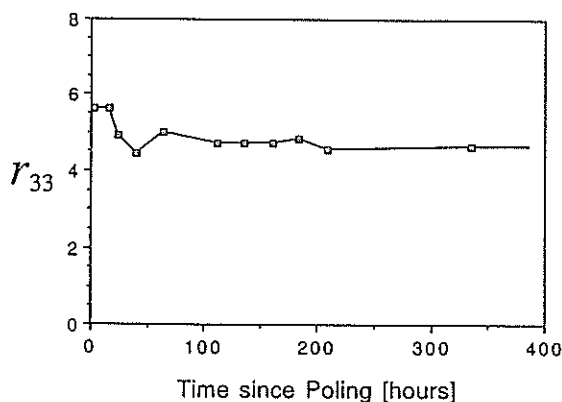


図7 EO係数 r_{33} の経時変化

きで、単一スポットとなっている。半値全幅は回折限界値 $3.7\mu\text{m}$ に近い $4.2\mu\text{m}$ が得られた。PDMに印加する変調電圧を大きくしていくにしたがって、予想どおり、主ローブが減退し、両サイドの副ローブが成長していくことが確認できた。印加電圧およびデバイス構造から、作製したEO高分子コアのEO係数 r_{33} は 6.1pm/V と見積もられた。図6に変調深さの周波数特性を示す。手持ちの装置の限界である 2MHz までフラットな特性が得られた。配向により発現するEO効果は配向緩和により減少する。そこで、EO係数の経時変化を調べた。デバイスは電圧無印加状態で室温($20\sim 30^\circ\text{C}$)で放置され、ときどきEO係数 r_{33} を測定した。測定結果を図7に示す。初期緩和後は 300h 以上にわたり緩和は観測されなかった。

研究成果

有機非線形光学高分子の集積フォトニクスデバイスへの応用を検討した。本研究で得られた成果は以下のとおりである。

1. EO高分子プレーナ導波路を平板下電極と扇状3指上側電極で構成した位相分布変調素子(PDM)を考案した。
2. Si基板上にPDMとFGCを集積して構成する集光スポット光強度変調光集積デバイスを提案した。
3. 光機能高分子p-NAN-PVAをコア層としたデバイスを設計し、電子ビーム直接描画法を含むプレーナプロセスで作製した。
4. スポット光強度変調実験を行い、強度変調深さ 3dB 以上を確認した。また、測定範囲($\sim 2\text{MHz}$)においてフラットな周波数特性を確認した。室温では 300h 以上にわたって配向緩和は見られなかった。

今後の課題と発展

1. 微小スポットサイズの実現

作製したFGCは開口数が比較的大きくスポット径が大きい。光ディスク書込みに応用するためにはより大きな開口数が必要となる。そのためにはより一層の薄膜の均一性、制御性が要求される。

2. 安定で高性能な高分子材料の開発

より大きなEO係数が望まれる。室温では配向緩和は見られなかったが、民生用機器への応用を考慮すると、より安定な材料を探索する必要がある。

3. 情報処理用集積デバイスへの応用

他の集積フォトニクスデバイスの可能性を探るため、レーザプリンタヘッド用機能性FGCを検討中である。

発表論文リスト

M. Oh, S. Ura, T. Suhara, H. Nishihara, "Integrated-optic focal-spot intensity modulator using electrooptic polymer waveguide", *IEEE J. Lightwave Technol.*, **12**, pp.1569-1576 (1994).