

## 超高速電気光学ポリマー変調器を目指した光導波路作製

九州大学 先導物質化学研究所  
横山 士吉

インターネットをはじめとする情報通信の発展は、高度なコミュニケーションの実現、物流に代わる作業効率の向上、および情報集約・配信拠点の高速・大容量化を実現してきている。さらに、情報処理技術においてもクロック周波数による高速化が限界に達していることからマルチコア化が進み、多数のコア間的高速データ伝送速度を達成するためにチップ内での光通信も検討されている。このような次世代光情報通信技術の中で高性能電気光学(EO)ポリマーの開発が大きな注目を集めている。その理由として極めて優れた光機能性を有する高分子系材料に関する報告が相次いでなされ、そのデバイス性能が飛躍的に向上していることが上げられる。

高性能 EO ポリマーの特徴は、高速光変調器として実用化が進んでいる無機材料の光学性能を大きく超えていることにある。さらに光デバイス集積技術によって飛躍的な高速応答と低電力動作の光スイッチングデバイスの実現が可能となる。図 1 は当研究室で開発を進めている EO ポリマーの電気光学特性を示しており、ニオブ酸リチウム( $r_{33}=32\text{pm/V}$ )の光学特性を大きく超える性能を達成している。

本講演では、開発が活発化している超高速・低消費電力の光スイッチングデバイスの実現に向けた電気光学(EO)ポリマーの応用に関して、材料基盤技術や光導波路を中心としたポリマーデバイス(図 2)の作製について研究成果を述べる。

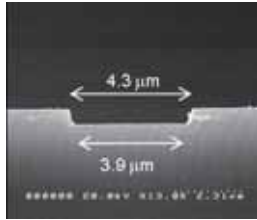


図 2 光デバイスを目指したリッジ型光導波路の作製。

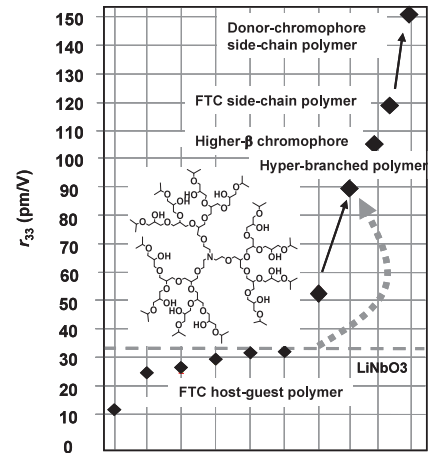


図 1 当研究室で開発を進めている電気光学(EO)ポリマーの光学特性。

## 超高速電気光学ポリマー変調器を 目指した光導波路作製

横山 士吉  
九州大学 先端物質化学研究所

Institute for Materials Chemistry and Engineering  
Kyushu University

## Optical interconnection

Intercontinental	Inland	Metro	Board	LSI chip
~1000km	~400km	400~0.1km		0.01~0.00001km
WAN / 10-40Gb/s Wide Area Network (ULH, LH)		MAN / 100GbE Metropolitan Area Network (ISP, LAN, SAN)		VSR Very Short Reach
				Replacing copper infrastructure

← Glass fiber (1.55μm)

← FTTH, Free space →

← Polymer optical fiber (650nm) →

← Polymer WG →

**•Optical Modulators**  
**Electro-optic Integration**

- Ultra-high speed (~100Gbps)
- Low operating voltage
- High stability

**•Photons rather than Electronics**

- Require more storage
- Access to key information
- High speed inter-processor communications
- Connecting multi-core microprocessors with RAM and storage

## Why are electro-optic materials interesting?

L. Dalton@UW

**Societal Impact:**  
 ▶ Central to transduction of signals between electrical and optical domains;  
**Key to the Next Great Thing: Photonic/Electronic Integration**  
 — Impacts Computing, Telecommunications, Transportation, Security, Medicine, Entertainment.

**Intellectual Merit:**  
 ▶ Requires high order—essentially an issue of “crystal engineering”.  
 If we can “nano-engineer” EO materials from first principles, we have defined the “designer toolset” for nanotechnology.  
**Critical for organic photovoltaics, electronics, light emitting displays, etc.**

## Polymer periodic pattern for photonic crystal applications

**Advanced applications:**  
High-speed low-voltage EO modulator

**Soft lithography**

Nanoimprinting

Optical multilayer film

S. Xu et al., *Opt. Lett.*, 35, 309 (2010).  
 A. Inoue et al., *Opt. Commun.*, 283, 2935 (2010).  
 K. Sakaki et al., *Opt. Mater.*, 32, 543 (2010).  
 X. Xu et al., *Eur. Phys. J. D.*, 55, 691 (2009).  
 S. Inoue et al., *Elect. Lett.*, 45, 1087 (2009).

## EO Modulators: $\chi^2$ Materials and Components

Exploit exceptional polymer  $r_{33}$  for better modulator performance

Property	Polymer (1.3 μm)	Polymer (1.5μm)	LiNbO <sub>3</sub>
$r_{33}$	130 pm/V	60 pm/V	32 pm/V
Speed	>100 Gps	>100 Gps	40 Gps
Power	< 1 V	< 1 V	~ 10 V
$n^2r/e$	~100	~100	6
Stability	85 °C	85 °C	90 °C
Optical loss	0.7 dB/cm	0.2 dB/cm	0.2 dB/cm

## 電気光学ポリマーの高性能光学特性

Donor-chromophore side-chain polymer

Bi-chromophores polymer

Higher-β chromophore

Hyper-branched polymer

FTC side-chain polymer

FTC host-guest polymer

EO熱初期緩和 (85°C): 3%以下

EO効率の向上

高濃度・高分散ホストゲスト系

### EO Operation

Light In → Modulating Electronic Field → Light Out

Electro-Optic Modulation:  $n^2 = n_0^2 + \chi^2 E$

- Applied voltage changes refractive index
- Generally in the order of  $2 \times 10^{-4}$
- Refractive Index
  - 0 → 1.7
  - 1 → 1.7002
- Measured  $r_{33}$  in pm/V

Legend: Poled Polymer (orange), Waveguide (pink), Electrode (yellow)

### シングルモード光導波路の設計(BMP)と製作

Design parameters:  $n_{SiO_2} = 1.46$ ,  $n_{Si} = 3.85$ ,  $4.0 \mu m$  width.

Layout: Tail 11.1mm, S-Bend 2.9mm, Arm 22mm, S-Bend 2.9mm, Tail 11.1mm. Total 50mm.

SEM images show waveguide width of  $4.3 \mu m$  and  $3.9 \mu m$ .

Material stack: Si,  $SiO_2$ , Polymer,  $SiO_2$ .

### EOポリマーの光導波路製作

Layer structure: Electrode, Cladding, Core (EO polymer), Cladding, Electrode.

Materials: UFC170A, EO polymer,  $SiO_2$ , UV15LV, Ground Au.

Thickness:  $2-4 \mu m$ .

Experimental setup: Laser → Optical fiber → Waveguide → Detector.

※光導波路の電気光学特性評価  $\chi^2 n$  の評価

### ポリマー光変調器の実現に向けた要求課題

光変調器製作プロセス

- 電極
- クラッド
- ポリマー/コア
- $SiO_2$  MZ/クラッド
- 電極

要求: 高屈折率, 低光損失, 高導電性素子導入, 電線配向, 高 $T_g$ /耐熱性

・光変調器製作プロセスへEOポリマーを組み込む

ポリマー光変調器の実現

- 無機デバイス(実用)
  - 要求定義
    - 電光係数(電気光学特性)  $r = 150-200$  pm/V @  $1.31, 1.55 \mu m$
    - 導波路伝搬損失  $< 1.5$  dB/cm @  $1.31, 1.55 \mu m$
    - 熱安定性:  $\Delta n/n < 10\%$  @  $85^\circ C$  for 2000 hrs
    - 光安定性:  $\Delta n/n < 10\%$  @  $1.55 \mu m, 70^\circ C, 50$  mW for 2000 hrs
- ポリマーデバイス(実証)
  - 開発、実証
  - 光導波路の設計、作製、評価
  - 高精度な電気光学定数の評価
  - LN変調器をベースとしたEOポリマー変調器の試作
  - 要求定義-材料開発へのフィードバック

### 光導波路：ハード材料からポリマー材料 (エレクトロニクスの壁)

共同研究開発センター  
フォトリソグラフィ:  $SiO_2, SiN$  ( $n \sim 2$ ) (無機クリーン材料)

九州大学  
フォトリソグラフィ: 光導波路用ポリマー電気光学ポリマー  $n=1.7$  (有機系機能材料)

プロセス: I. レジスト塗布, II. 光パターン転写, III. ドライエッチング

電子デバイス作製環境

- 無機・半導体材料
- ×有機・ポリマー材料

・ウエットプロセス: 基板、レジスト共通材料

・九大: 有機・ポリマー材料専用

### Yokoyama Research Group

Dr. K. Yamamoto (Assis. Prof.) Collaborations

Dr. S. Inoue (Assis. Prof.)

Dr. X. Piao (Post Doc.)

Dr. A. Inoue (Post Doc.)

Dr. X. Zhang (Post Doc.)

Graduated students

Y. Mori

F. Yu

Y. Koishi

K. Murata

K. Koyama

H. Nakaya

謝辞 (財)北九州産業学術推進機構 共同研究開発センター 九州地区ナノテクノロジー拠点ネットワーク

Partnership with DENSO and NICT

NOVEL CARBON RESOURCE SCIENCES Cool-Based Eco-Innovations