

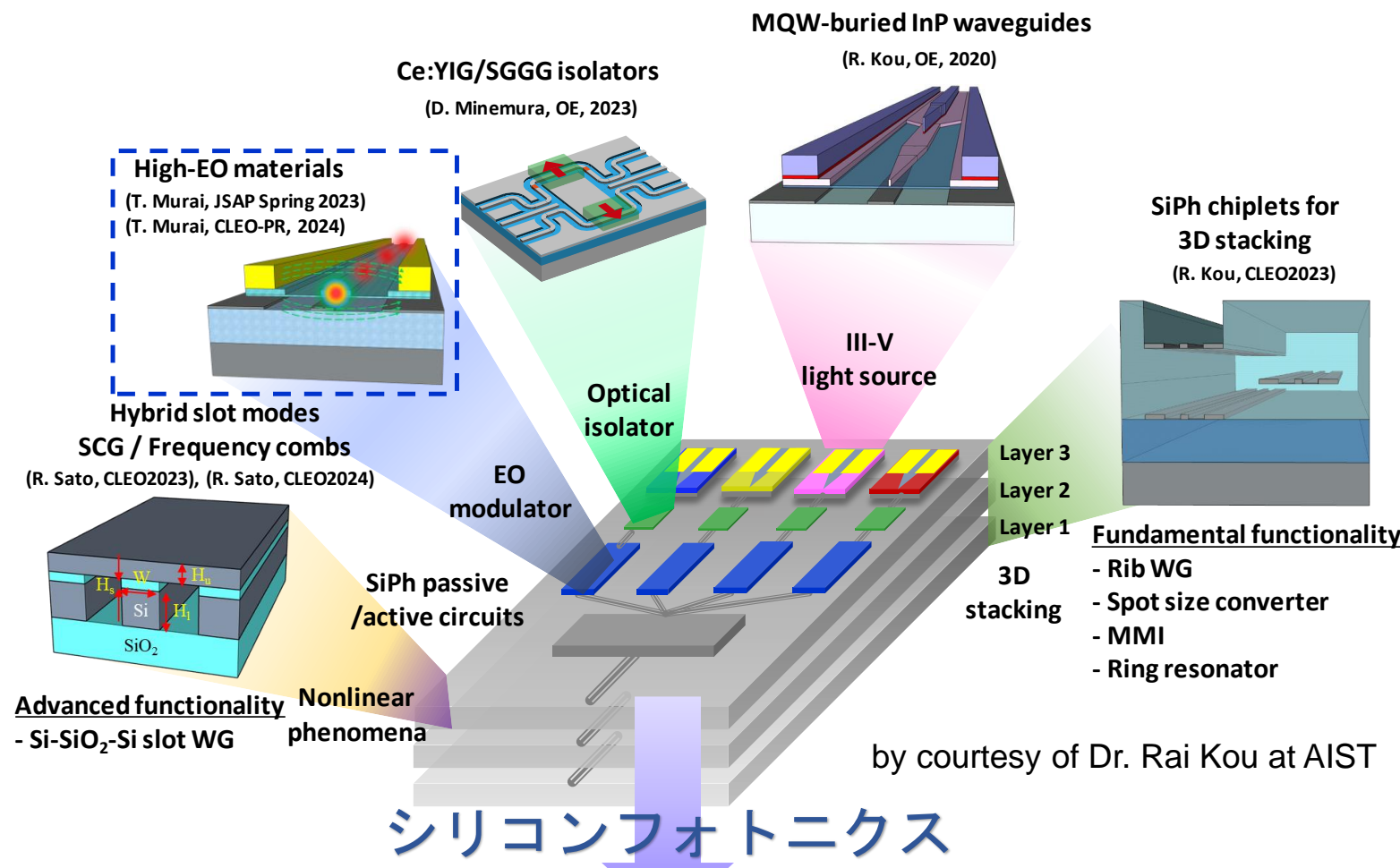
# 強誘電体薄膜の剥離・転写技術を用いた光メモリスタの開発

学術研究院環境生命自然科学学域 応用化学専攻

近藤 真矢 (E-mail: s-kondo@okayama-u.ac.jp, 086-251-8069)

## Background

### 光集積回路 (異種材料集積による光チップレット化)

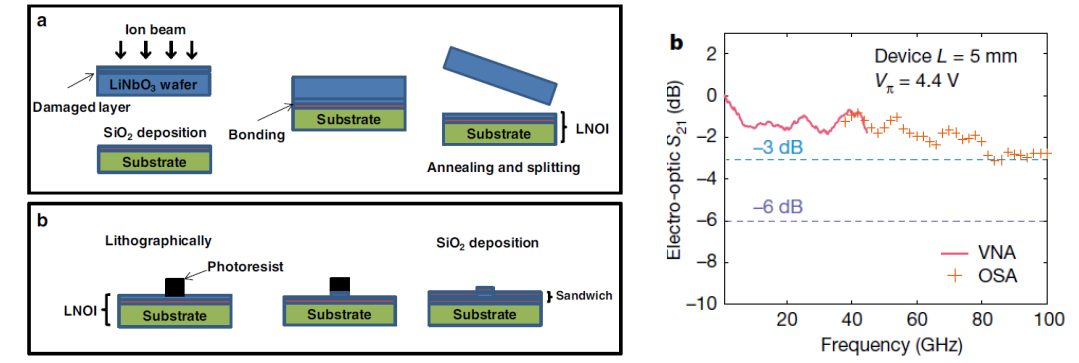


### 強誘電体薄膜を用いた光変調器 (電気光学 (Electro-Optic: EO) デバイス) の開発が期待

1. 高速通信向け高速光変調器
2. ニューロモルフィック・コンピューティングに必要な**光メモリスタ** (記憶する抵抗器)

## 従来手法

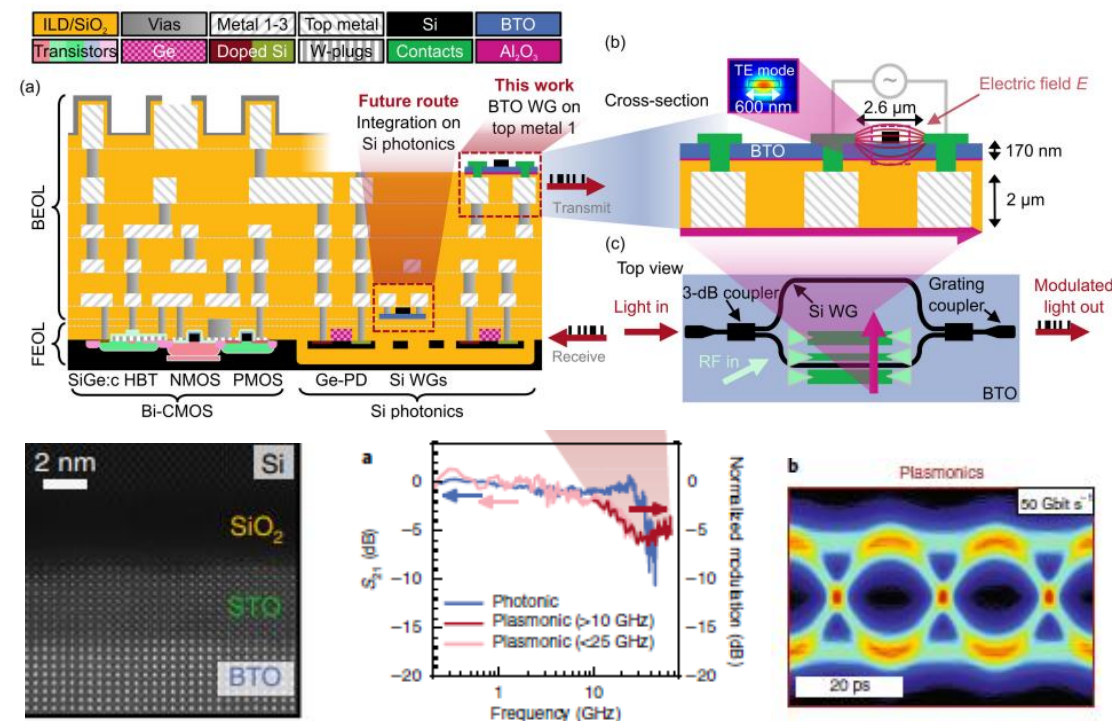
### 単結晶LiNbO<sub>3</sub>ウェハを加工 (ボンディング)



D. Sun et al., *Light Sci. Appl.* **9**, 197 (2020). C. Wang et al., *Nature* **562**, 101 (2018).

### Wide-broadband, low-optical loss, power-efficient

### Siウェハ上へ直接薄膜を堆積 (by IBM Zurich)



E. Felix et al., *J. Light. Technol.* **37**, 1456 (2019). A. Stefan et al., *Nat. Mater.* **18**, 42 (2019).

優れた特性の一方、産業化は困難

### 生体ニューラルネットワーク

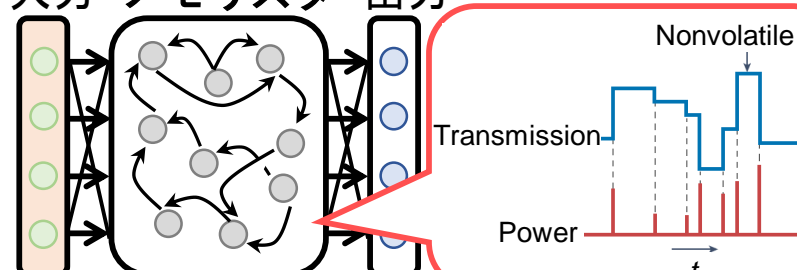
#### 生体の脳・神経機能



わずかな電力 (~20W) で高度な機能と動作

### 人工ニューラルネットワーク

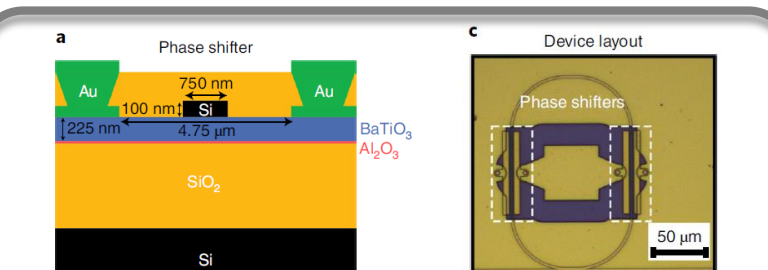
#### 入力 メモリスタ 出力 光メモリスタの一例



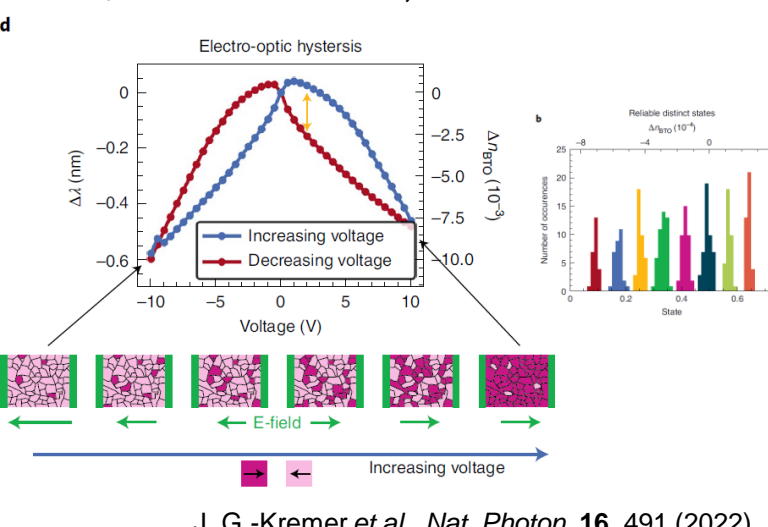
メモリ/演算の機能 脳型の学習

### ◆強誘電体BaTiO<sub>3</sub> (BTO) を

### 用いた光メモリスタの先行研究



低消費電力・低損失, 3bit級動作の実証



J. G.-Kremer et al., *Nat. Photon.* **16**, 491 (2022).

## 高記憶密度の光メモリスタの開発⇒“ノイマン型”コンピュータを超える“脳型”コンピュータの実現

各種材料の光メモリスタの性能比較\* \*デバイス構造に依存するので改善可能

材料	動作速度	消費電力	サイズ (μm <sup>2</sup> )	挿入損失	耐久性
MEMS	4 kHz	10 μJ	400	1 dB	> 30回
伝導キャリア	1 Hz	30 pJ	315	2 dB	> 30回
磁性体	1 MHz	100 nJ	8000	2.5 dB	> 7回
相変化材料	1-10 MHz	4 nJ-10 μJ	1-500	> 0.4 dB	5×10 <sup>5</sup> 回
<b>強誘電体</b>	<b>&gt; 1 MHz</b>	<b>30 pJ</b>	<b>&gt; 20000*</b>	<b>&gt; 0.07 dB</b>	<b>&gt; 300回*</b>

### 課題

- ✓ 簡便な手法で高度な機能の付与
- ✓ 薄膜特有の構造を生かせる手法



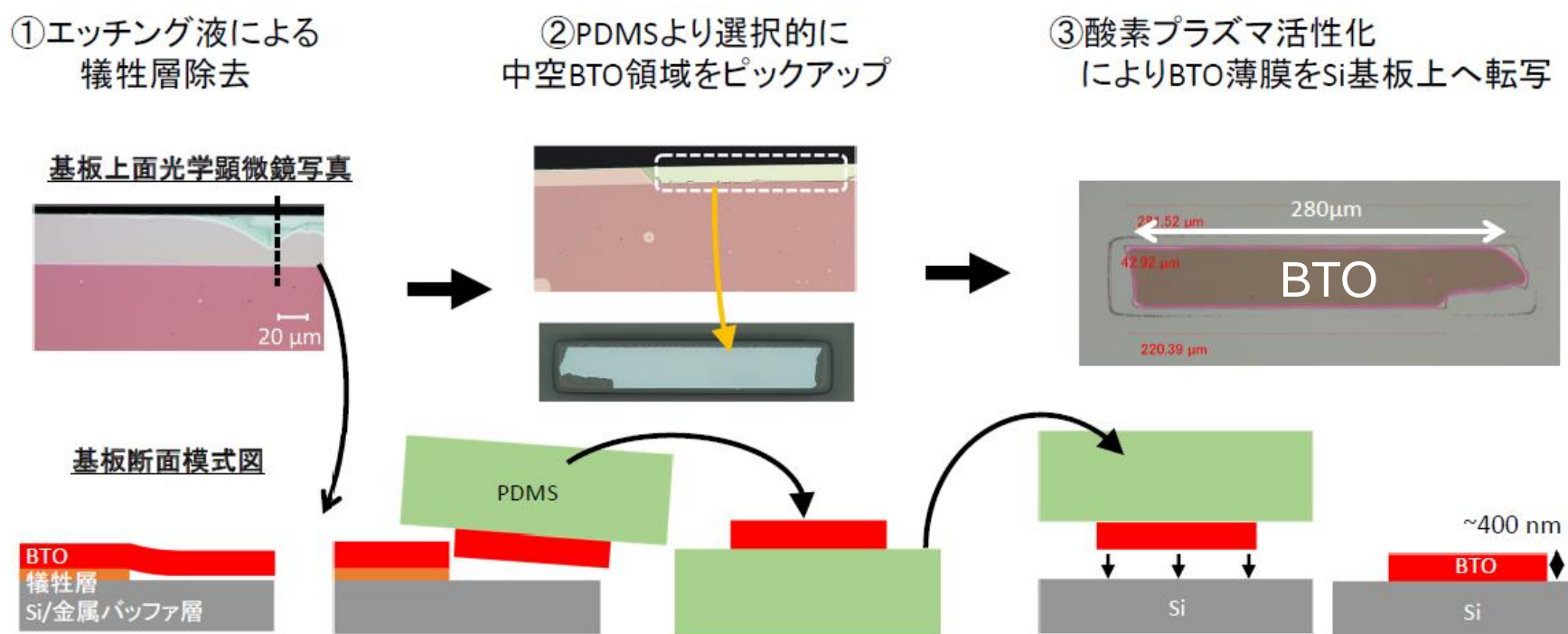
OKAYAMA UNIVERSITY

共同研究者: 村井 俊哉, 高 磊 (産総研) / 山田 智明 (名古屋大学)



# 本研究で提案する新たな手法

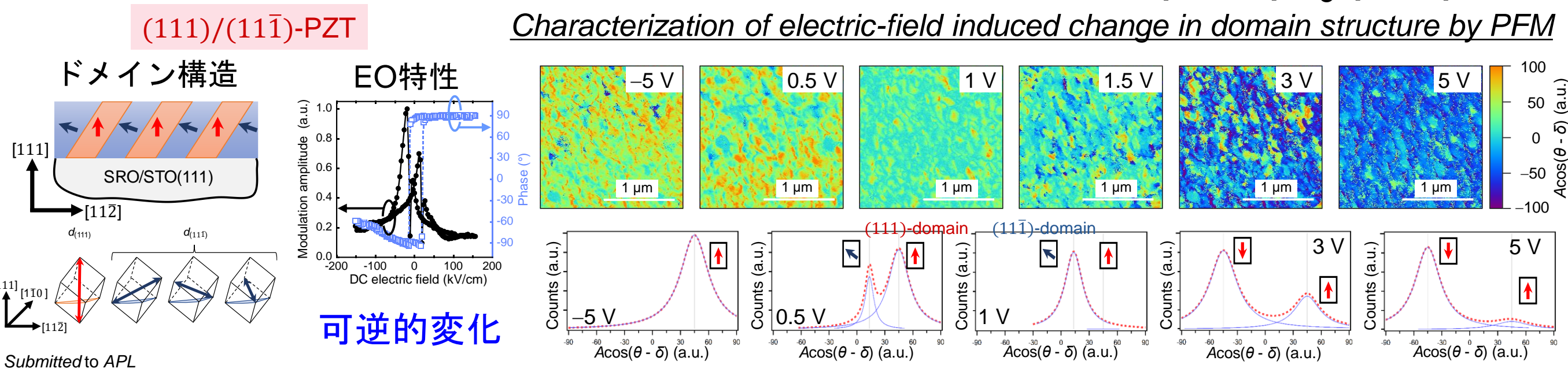
産総研グループが開発しているμ-トランスファープリンティング (剥離・転写) 技術



- 本手法の優位性
- ✓単結晶上の高配向・高結晶性のエピタキシャル薄膜を利用できる
  - ✓単結晶上で発現する高機能をデバイスに用いることができる
  - ✓小面積をピックアップして使うので、量産が可能

\*ポリジメチルシロキサン (PDMS)

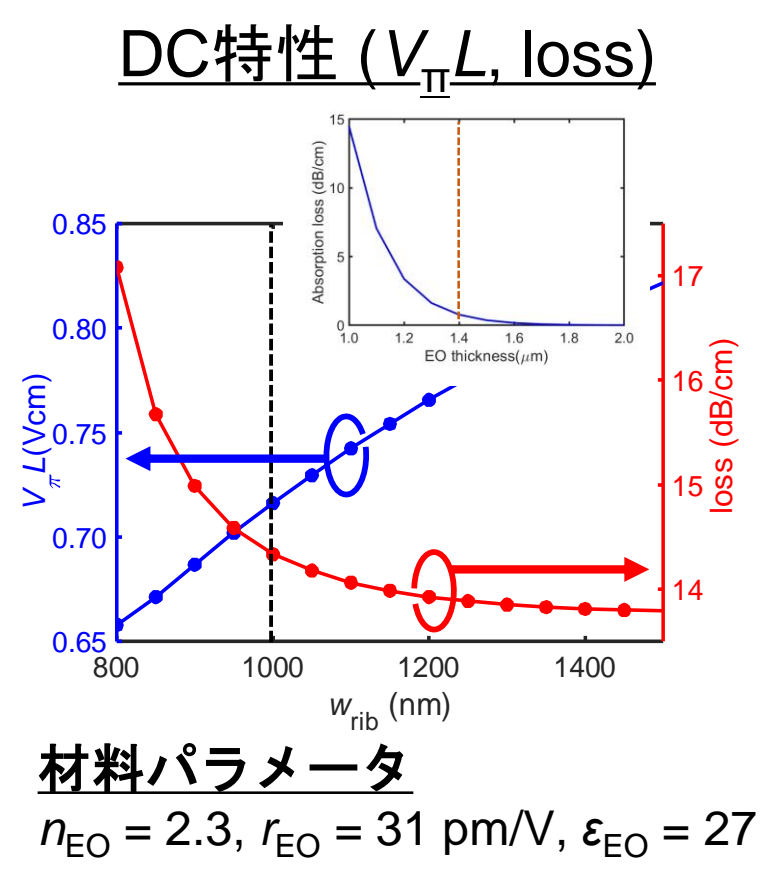
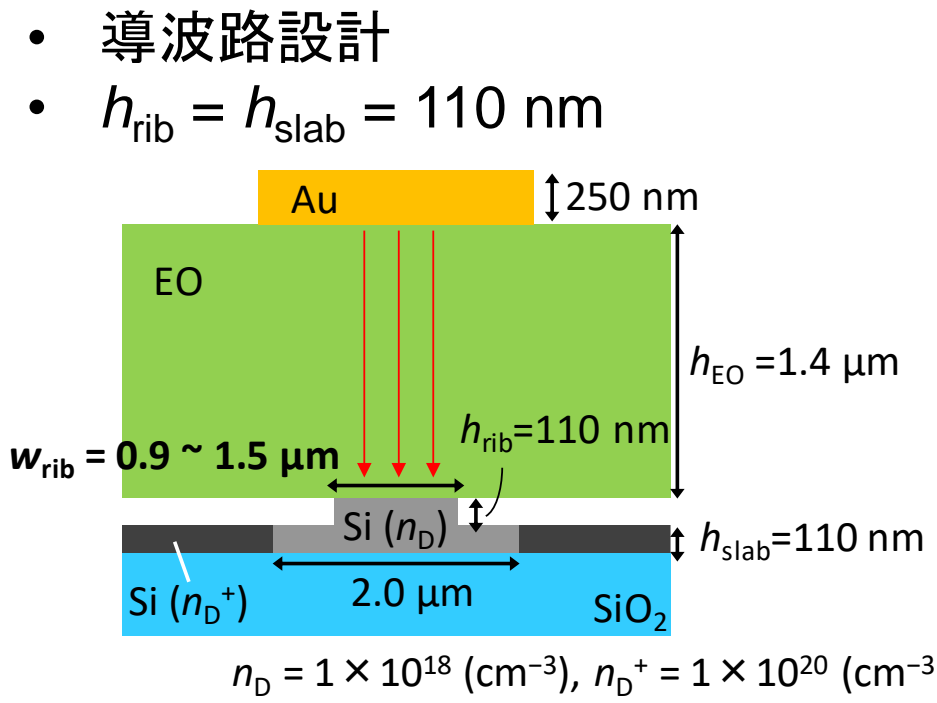
## 本研究で用いる薄膜の構造: 強弾性ドメインを有するPb(Zr, Ti)O<sub>3</sub> (PZT) 薄膜



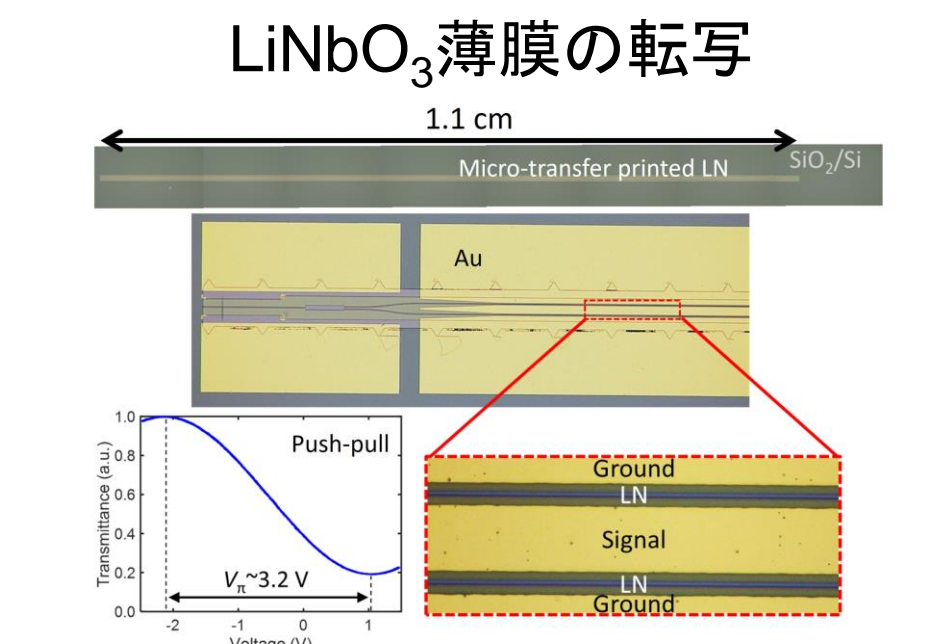
電界に対して多様なドメイン構造の変化⇒光メモristaに適した多値動作が期待

## 共同研究による取り組み

### 導波路断面構造の設計



## 剥離・転写テスト

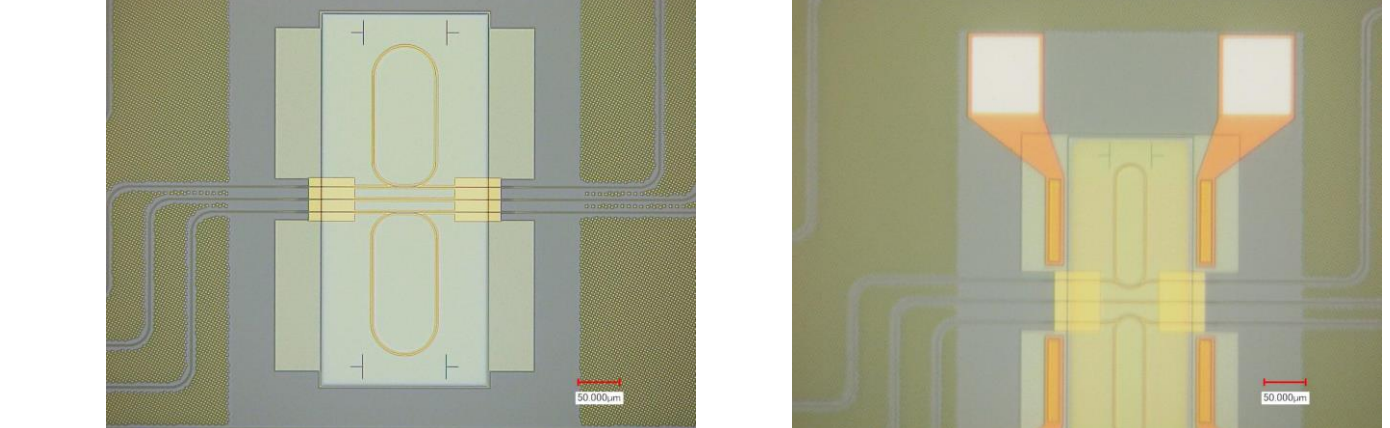


エッチング液中のPZT薄膜の剥離の様子

薄膜の剥離・転写条件を最適化し、実際に導波路構造に集積しデバイスの動作試験を行う

- 導波路幅は  $w_{rib} = 1000 \text{ nm}$  に決定
- $V_{\pi}L = 0.72 \text{ Vcm}$ ,  $\text{loss} = 14 \text{ dB/cm}$  (@  $w_{rib} = 1000 \text{ nm}$ )
- 金属吸収  $\sim 1 \text{ dB/cm}$  + 導波路損失  $13 \text{ dB/cm}$

## 設計した導波路構造の試作例



## 今後の予定

