

強誘電体の 微細加工とデバイス応用

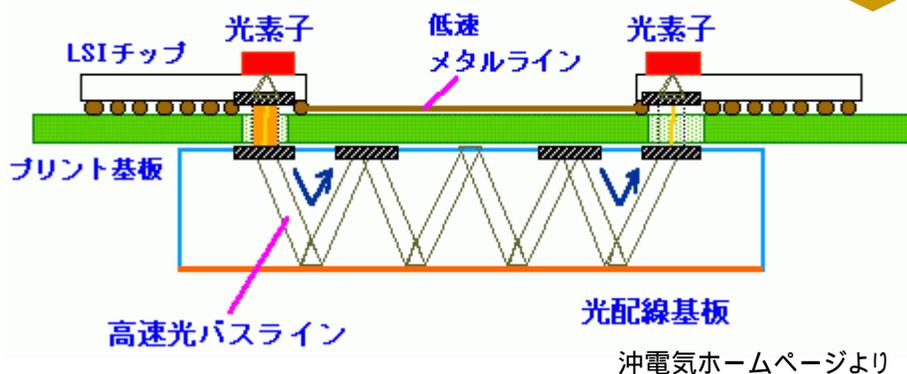
岡村 総一郎

演算・記憶素子科学講座

奈良先端科学技術大学院大学 物質創成科学研究科

研究背景

プロセッサの処理能力の向上とメモリの大容量化が、コンピュータシステムの飛躍的な性能向上をもたらしてきたが、その結果、LSI間を接続する配線のスピードがシステム全体の性能を制限する、いわゆる『**配線ボトルネック問題**』が新たな課題として捉えられるようになってきた。



各LSI間を光通信でつなぐ
「**光配線**」が提案されている。

光配線や高速光通信ネットワークのための
小型・超高速光スイッチの開発が望まれている。

フォトニック結晶

Photonic Crystals (PhCs)とは何か?

屈折率の周期的変調(光の波長程度のピッチ)

特徴

- フォトニックバンドギャップ¹⁾を持つ
- 異方性散乱

応用

- ・ Add & Drop機能付導波路²⁾
- ・ 小型レーザー
- ・ 高性能光ファイバー
- ・ スーパープリズム³⁾



フォトニック結晶は次世代の光学デバイス用材料として大きな注目を集めている。

1) E. Yablonovitch, *Phys. Rev. Lett.*, **58** (1987) 2059.

2) S. Noda, A. Chutinan and M. Imada, *Nature*, **407** (2000) 608.

3) S. Y. Lin *et al.*, *Opt. Lett.*, **21** (1996) 1771.

フォトニック結晶の課題

従来型フォトニック結晶では、
その特性は構造と用いる材料の屈折率で決まる。

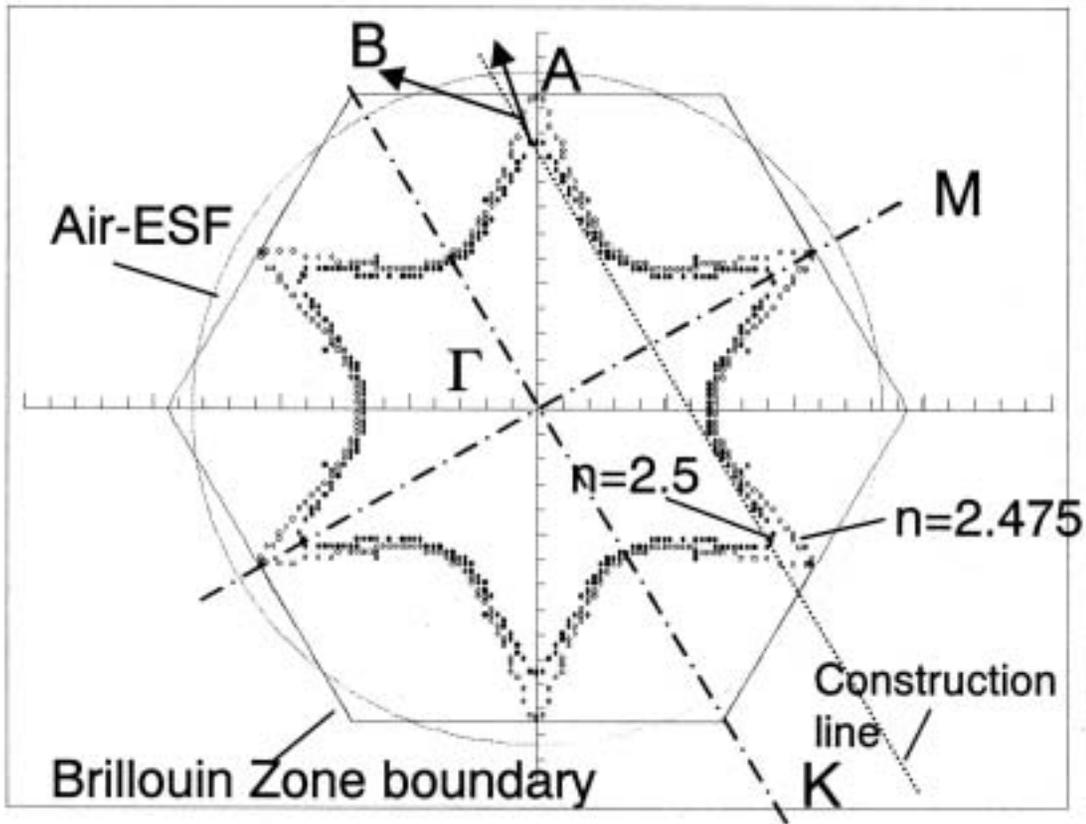


通常は、作製した後にその特性を変化させることはできない。

チューナブルな
フォトニック結晶を実現できれば、
その応用範囲を拡大することができると期待される。

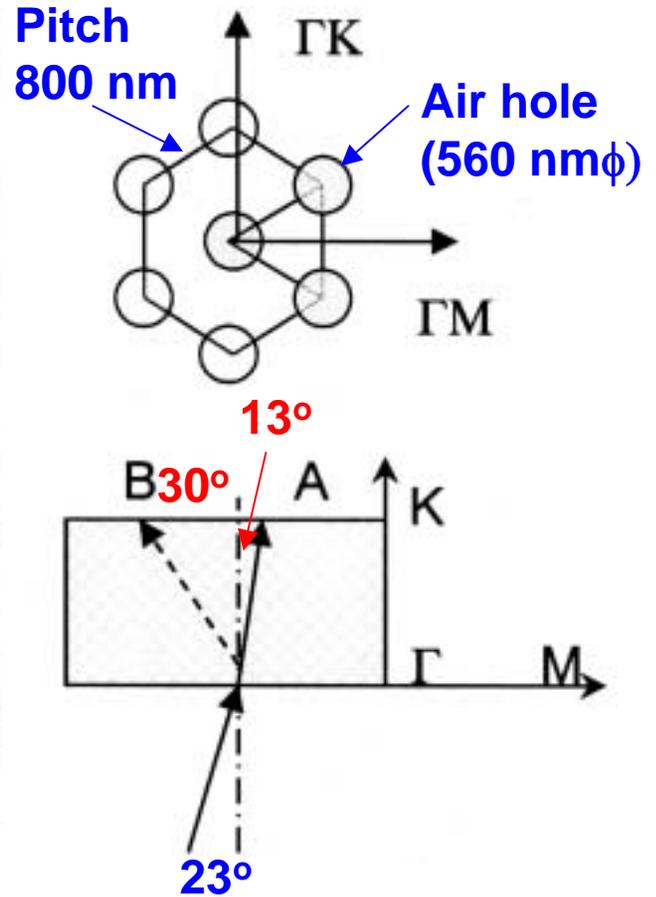
屈折率可変型フォトニック結晶

仮定 $n : 2.5 \rightarrow 2.475$ (1% decrease)

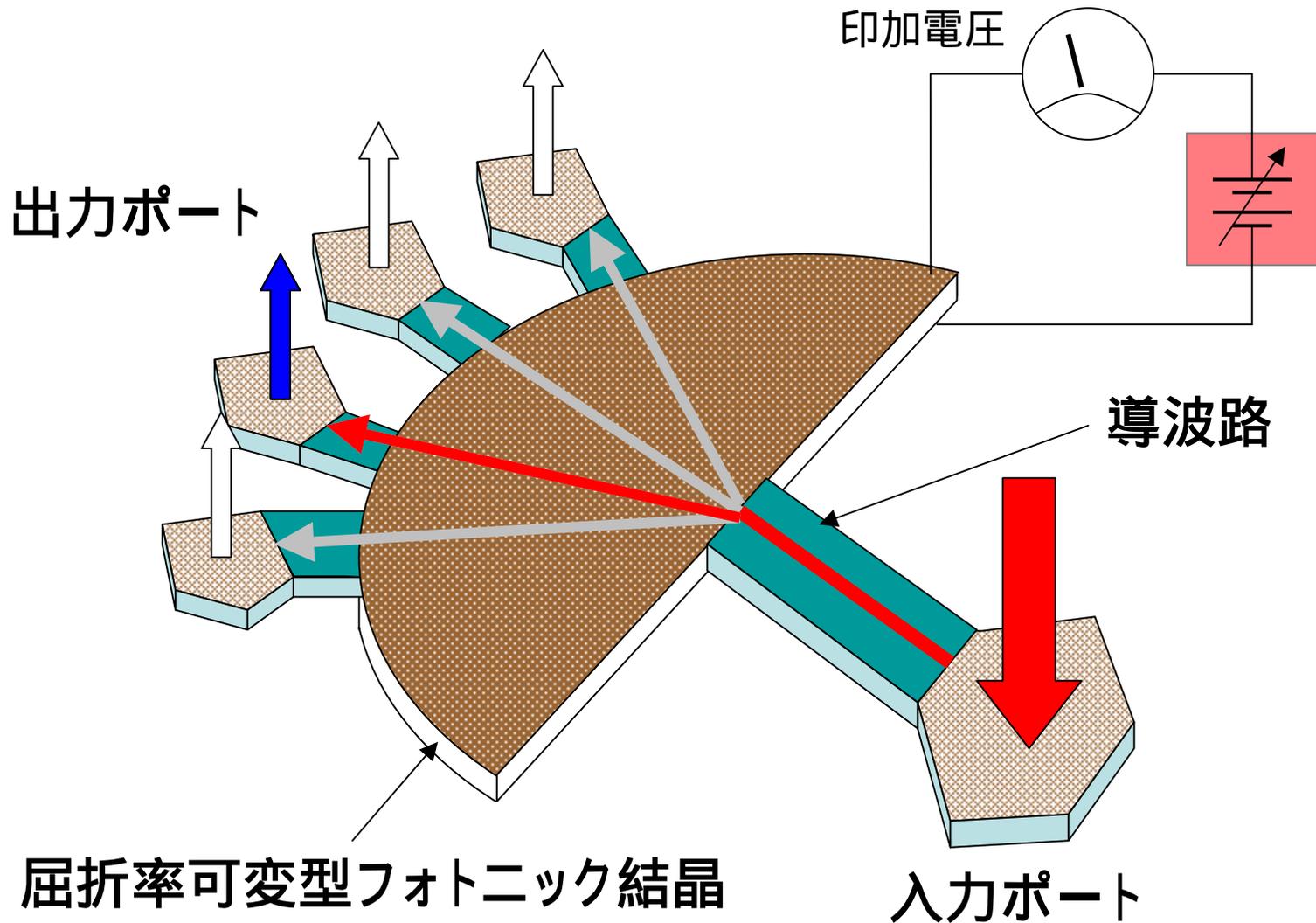


$\lambda = 1.55 \mu\text{m}$

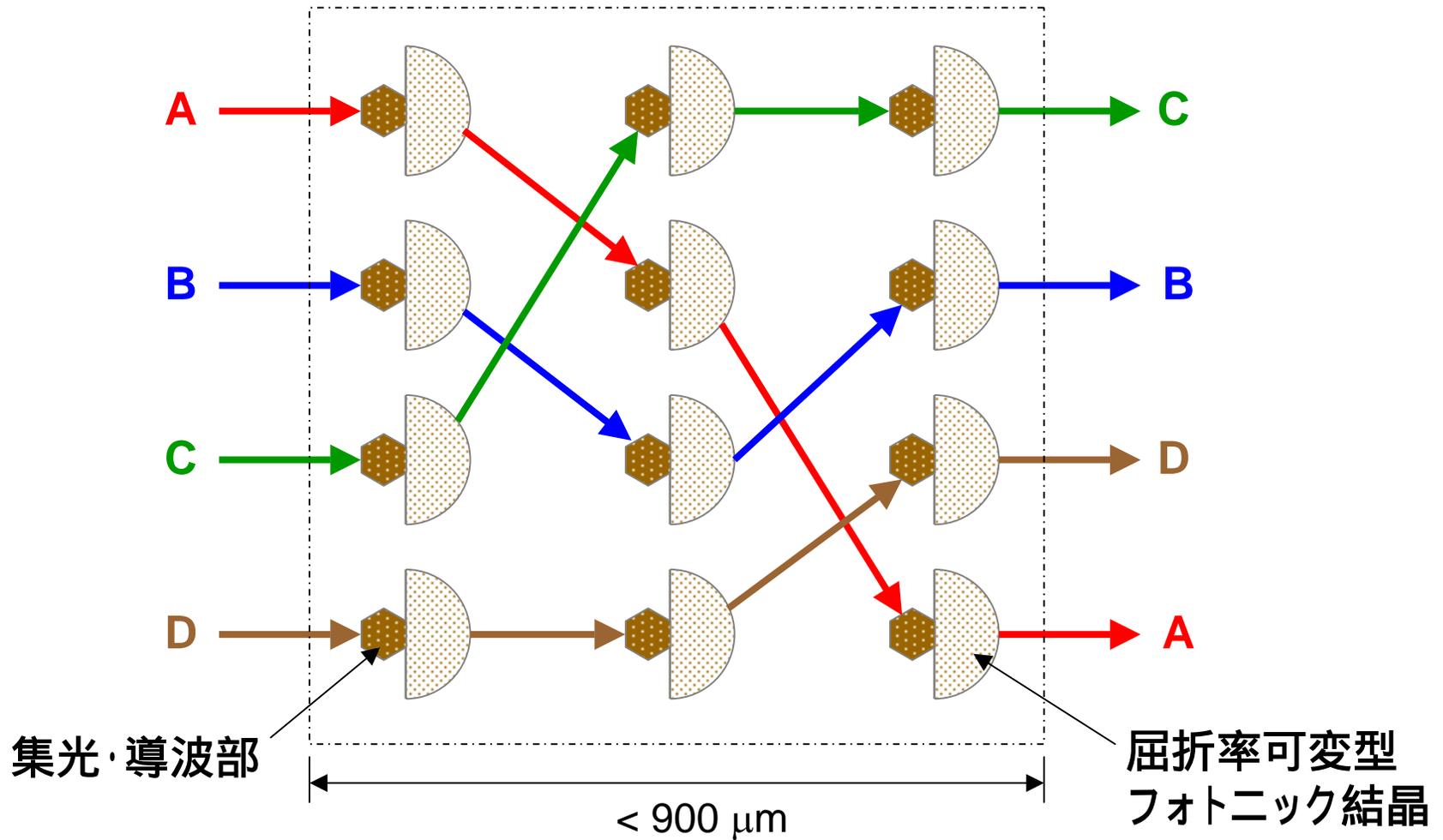
2D-structure



ハブ型光ディストリビュータ



光クロスネットワーク



1 × 1 mm²以下のサイズで4 × 4の超高速・超小型光クロススイッチが実現可能。

研究課題

ハブ型光ディストリビュータを実現するには、

- ◆ 1%の屈折率変化をもたらす材料の探索
- ◆ その材料のナノメートルオーダーの微細加工

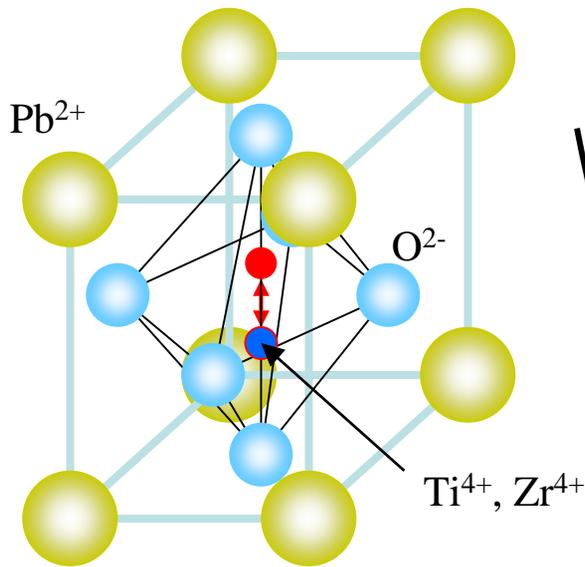


強誘電体材料に着目

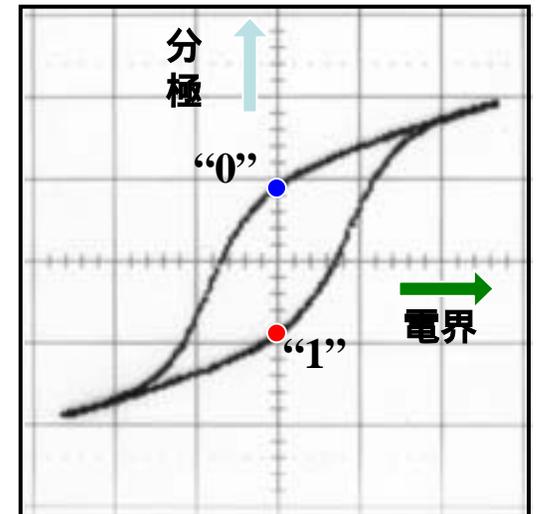
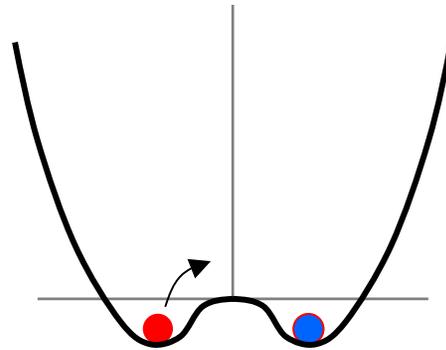
強誘電性発現の原理

強誘電体とは、
「自発分極が存在し、その向きが外部電界により反転可能」と定義される物質

強誘電体 { 配列型
 変位型



ペロブスカイト型酸化物強誘電体
Pb(Zr,Ti)O₃ (PZT)



印加電界に対し、分極の変化がヒステリシス特性を示す

強誘電体の持つ機能と応用

● 強誘電性

➡ 不揮発性半導体メモリー (FeRAM)

● 圧電性

➡ アクチュエータ, SAWデバイス

● 焦電性

➡ 赤外線センサー

● 非線形光学効果

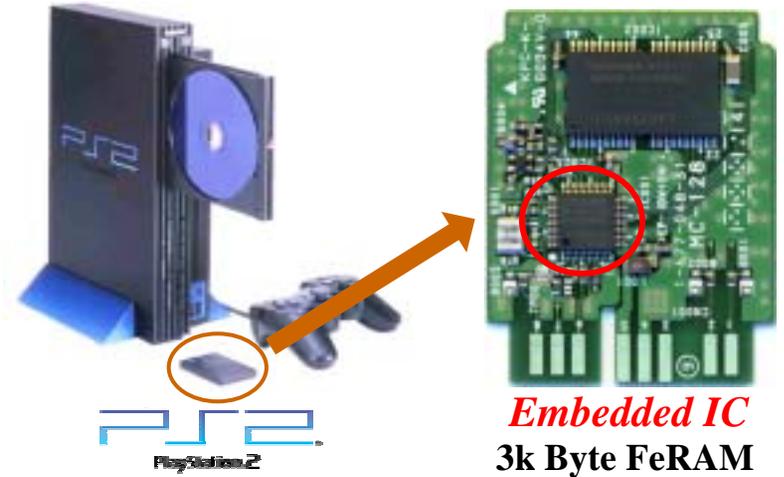
➡ 高調波発生器 (SHG)

● 電気光学効果

➡ 光スイッチ

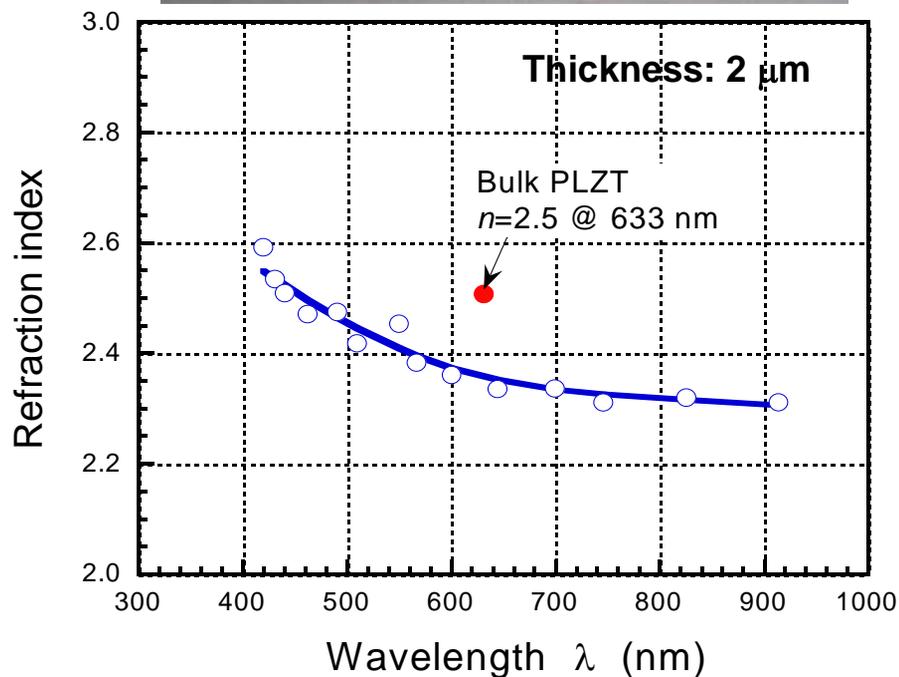
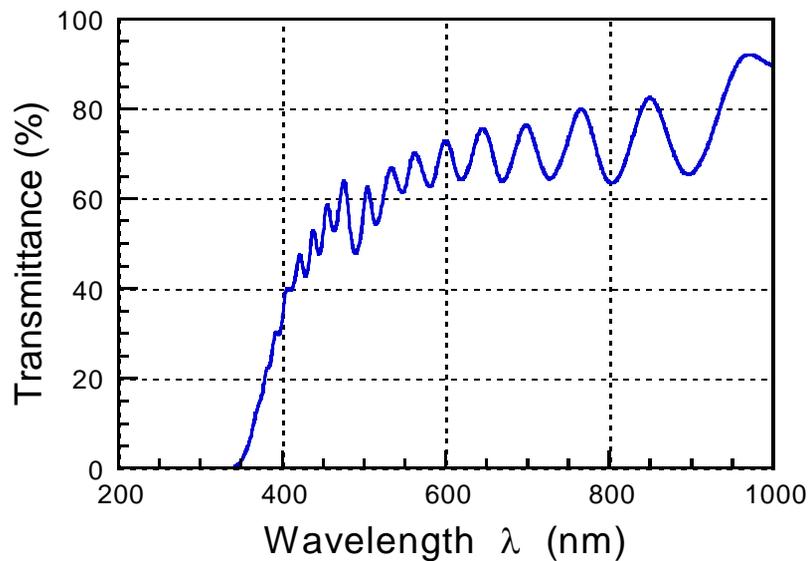
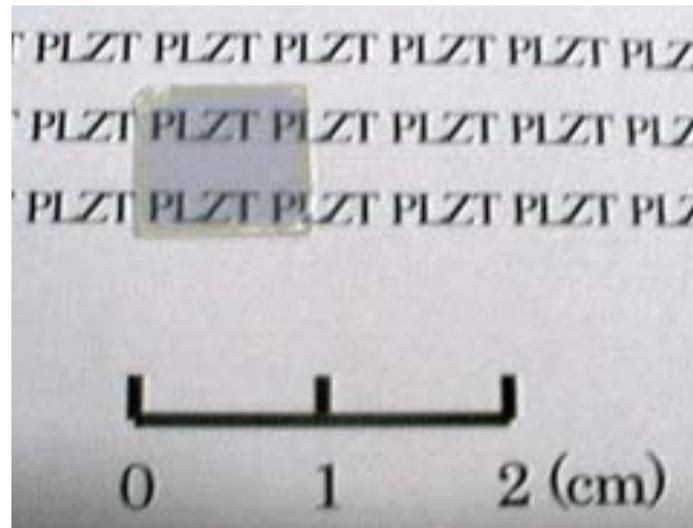
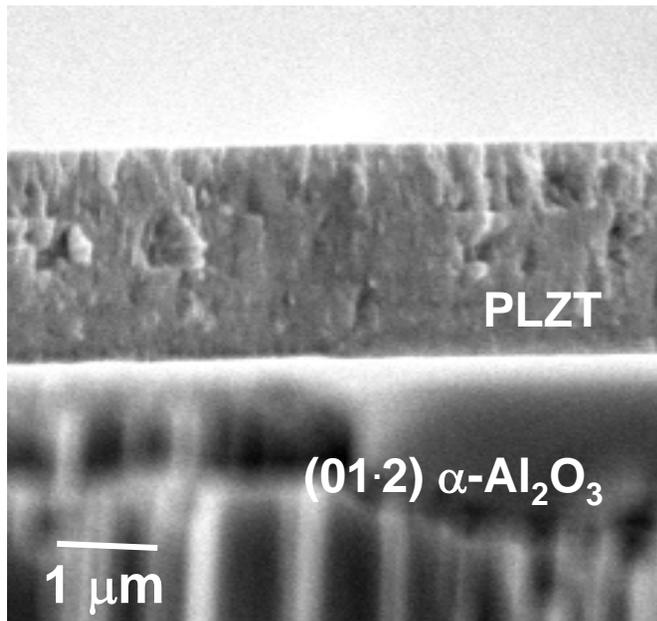
● 高誘電率

➡ 積層セラミックコンデンサ

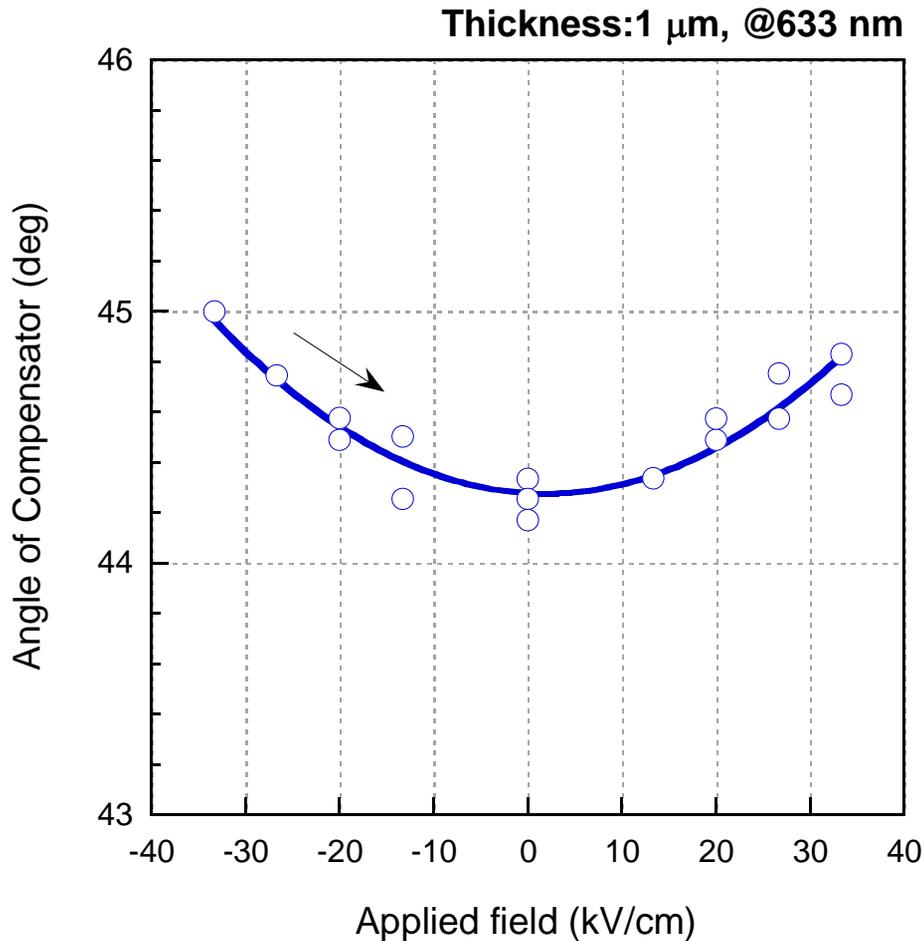


非接触ICカード

(Pb,La)(Zr,Ti)O₃膜の光学特性



屈折率1%変化の可能性



$$\Delta n = -\frac{1}{2}n^3RE^2$$

$|\Delta n|=0.025$ を達成するのに必要な電界

$$E = \sqrt{\frac{2|\Delta n|}{n^3R}} = 8.9 \text{ MV/m} = 89 \text{ kV/cm}$$

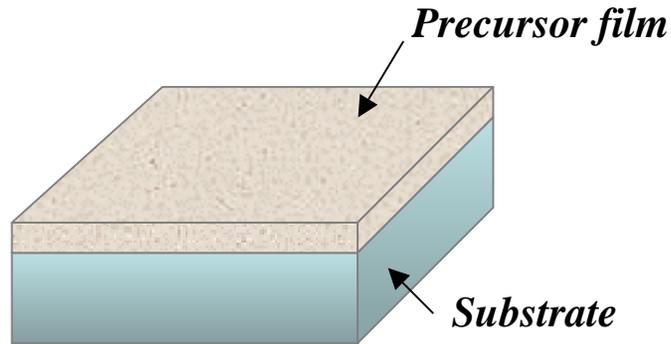
フォトニック結晶の厚さを1 μm とすると

$$V = Ed = 8.9 \text{ V}$$

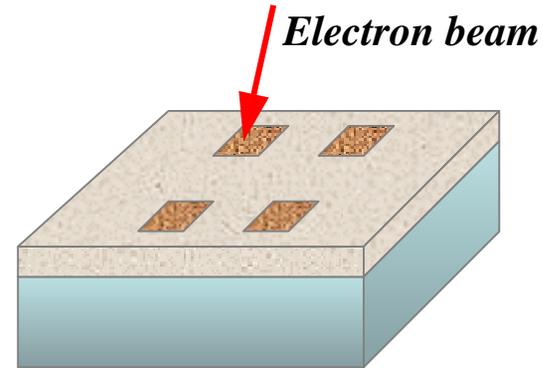
1 μm 厚のPLZTフォトニック結晶に8.9 Vの電圧を印加することで、1%の屈折率変化が期待できる。

➡ Kerr Constant $R=0.4 \times 10^{-16} \text{ m}^2/\text{V}^2$

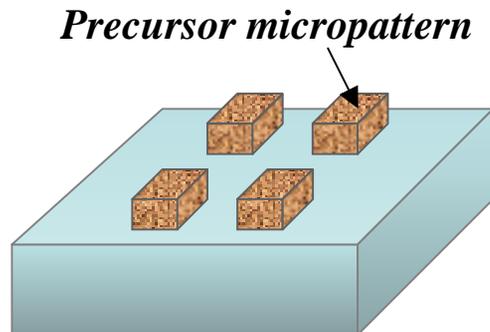
電子線誘起反応微細加工プロセス



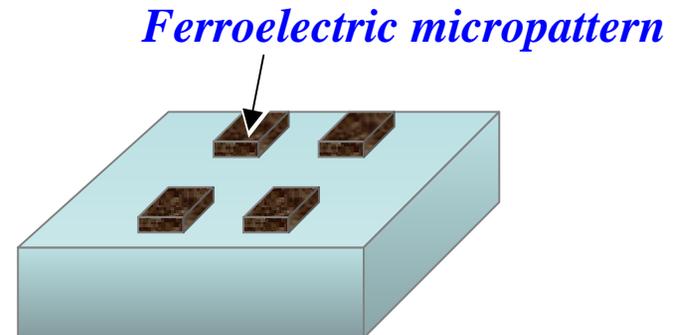
Formation of Precursor Films



Electron Beam Irradiation

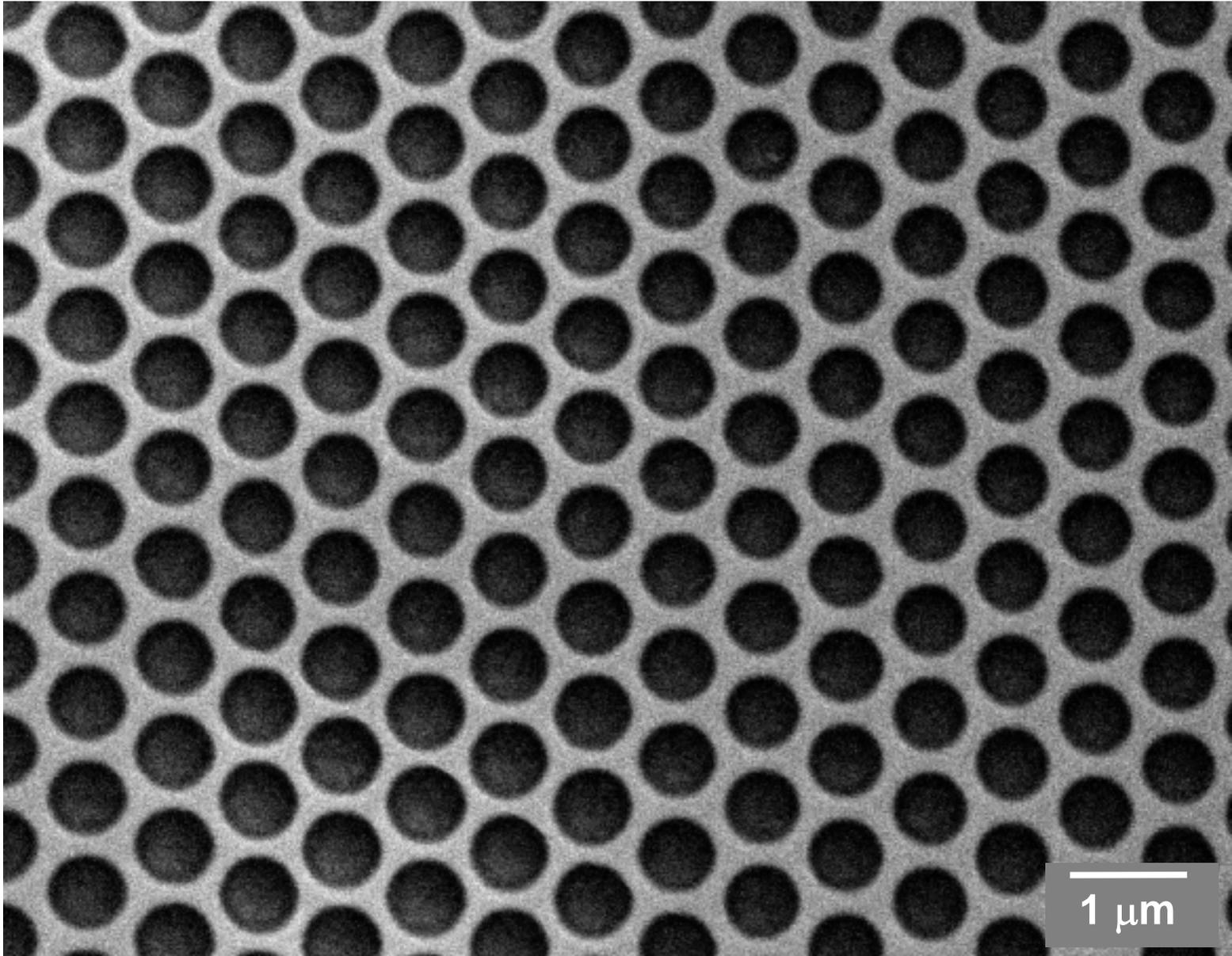


Development
(in organic solvent)



Heat-Treatment
(Calcination, Sintering)

作製されたフォトニック結晶

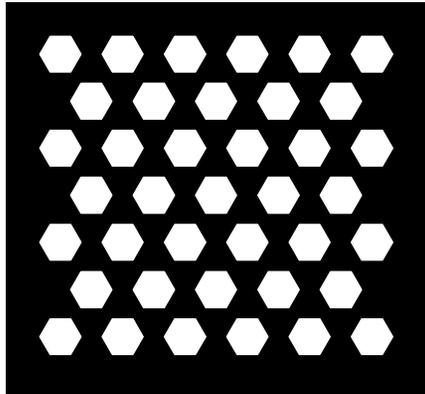


熱処理に伴うパターン収縮

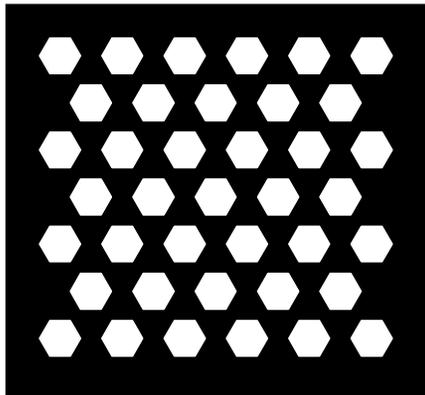
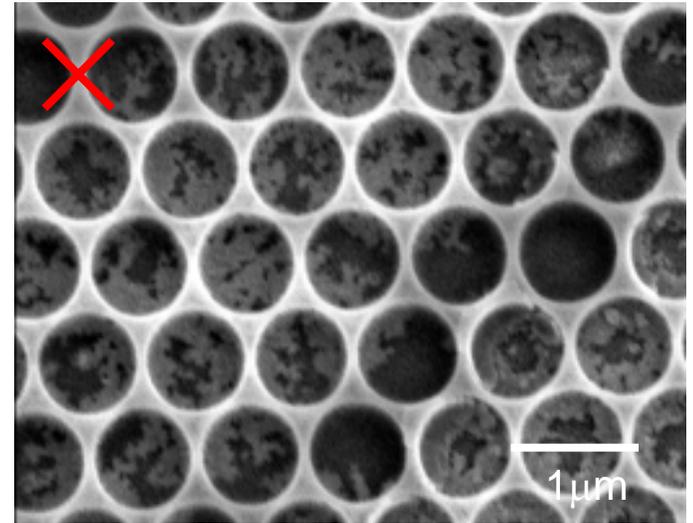
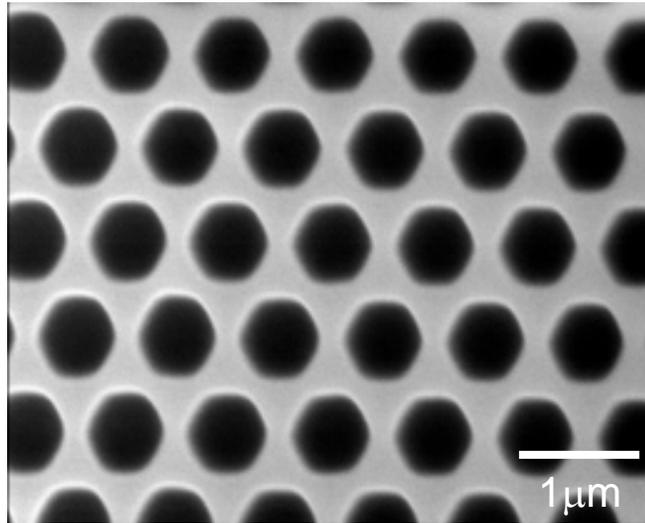
Drawing pattern

Before sintering

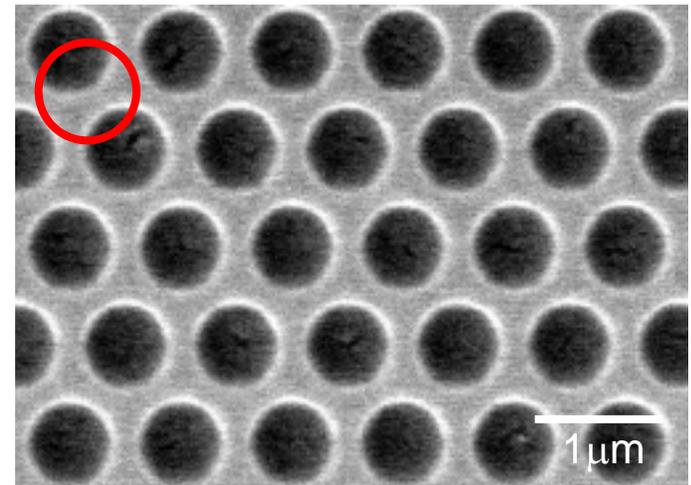
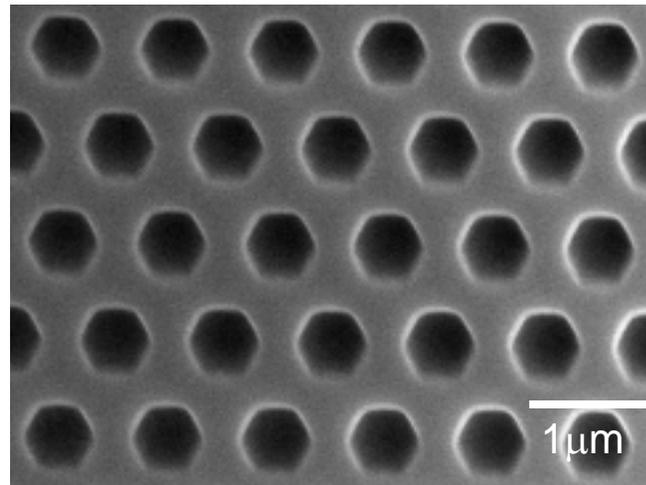
After sintering



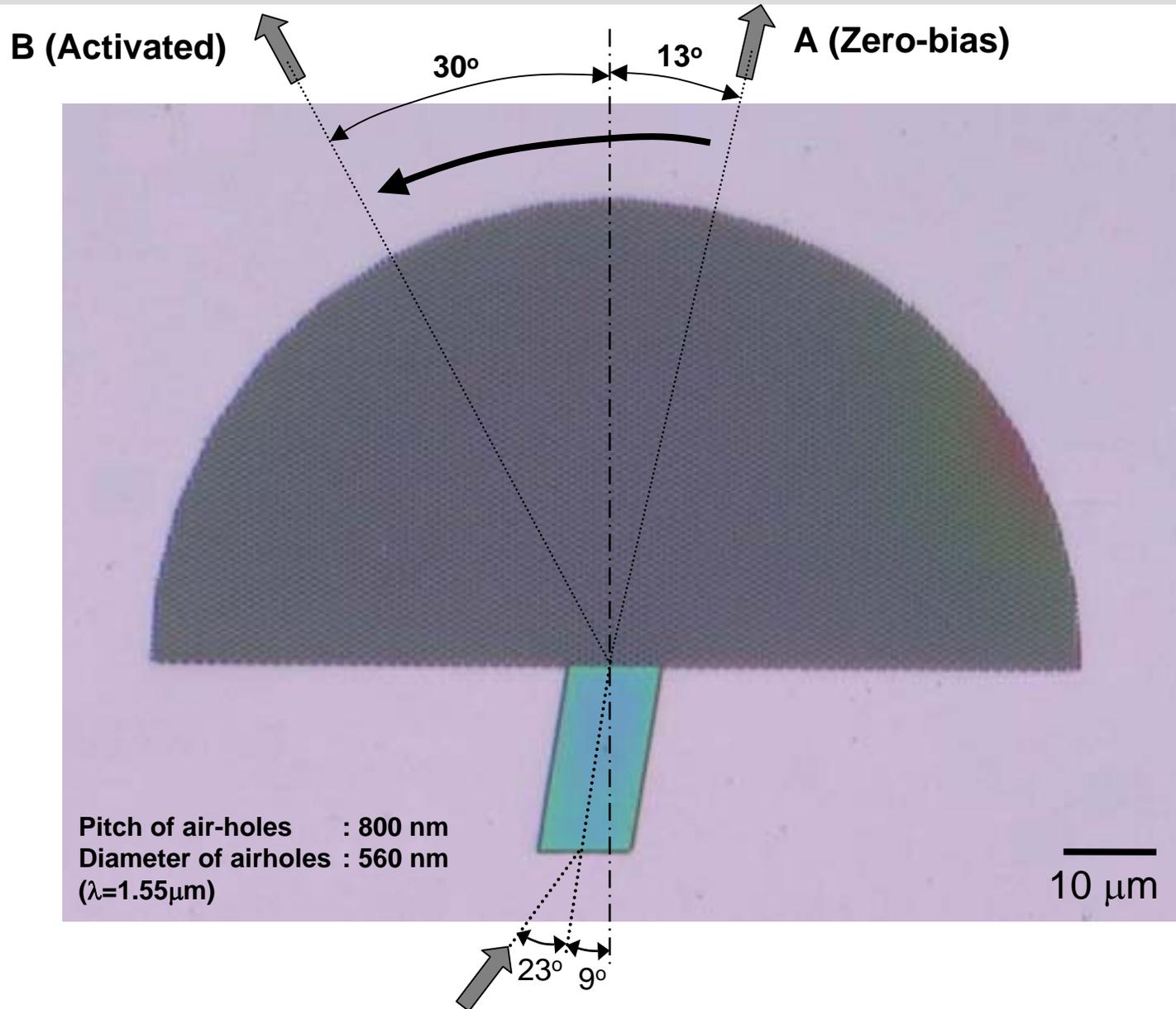
直径560 nmの円に内接する六角形



直径400 nmの円に内接する六角形



動作予測



まとめ

小型・超高速光スイッチを目指したハブ型光ディストリビュータの開発

二つの課題

◆ 1%の屈折率変化

➡ PLZTを用いることで、厚さ1 mmの結晶に対し8.9 Vの電圧印加で達成可能

◆ ナノスケールオーダーの微細加工

➡ 電子線誘起反応プロセスにより、設計通りのパターン作製可能

今後の課題は、光の結合部と上下方向の閉じ込め

強誘電体のような古くから知られている材料であっても、微細加工により新しい応用が拓ける。