

論文題目

# 強誘電体周期分極反転構造を用いた 電気光学変調器に関する研究

集積光電子デバイス領域

(栖原研究室)

井上 敏之

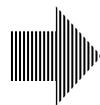
# 第1章 序論

# 第1章 序論

## 研究の背景

強誘電体LiNbO<sub>3</sub>・LiTaO<sub>3</sub> …… 優れた非線形光学・電気光学(EO)特性

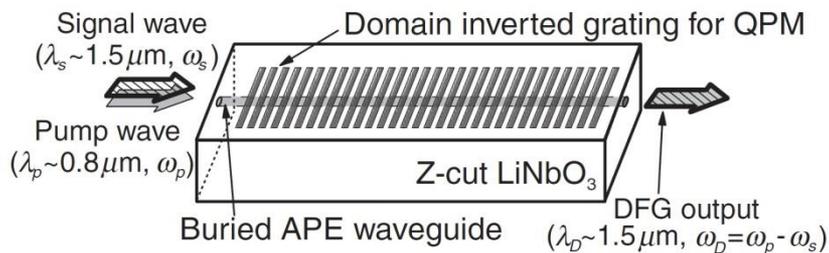
LiNbO<sub>3</sub>・LiTaO<sub>3</sub>  
周期分極反転構造



擬似位相整合非線形光学  
波長変換デバイス等への応用

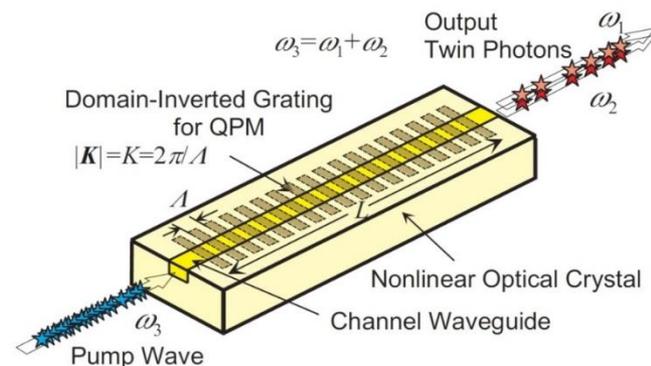
## 導波路型擬似位相整合非線形光学波長変換デバイス

### 光通信応用のための 差周波発生デバイス



M. Fujimura *et al.*, Jpn. J. Appl. Phys., vol.43, pp.L1543-L1545, 2004.

### 将来の量子情報通信への応用を目指した 光子対発生デバイス

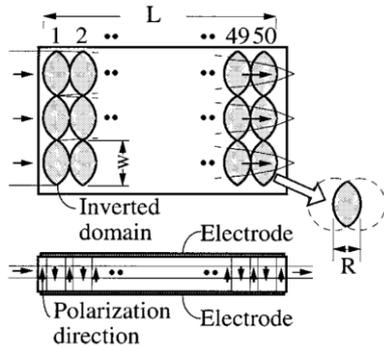


T. Suhara, Laser & Photon. Rev., vol.3, pp.370-393, 2009.

# 第1章 序論

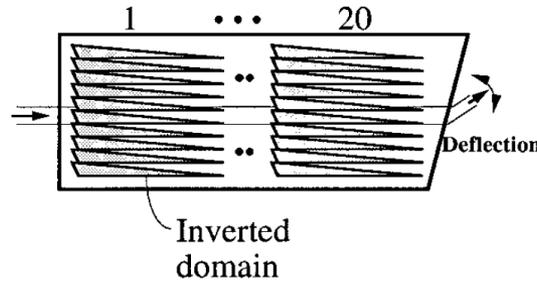
## 周期分極反転構造を用いた電気光学デバイス

### シリンドリカルレンズ

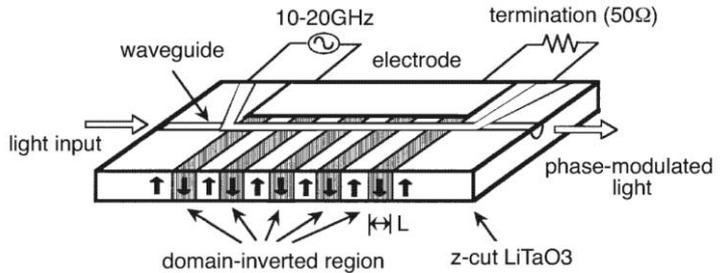


M. Yamada *et al.*, Appl. Phys. Lett., vol. 69, pp. 3659-3661, 1996.

### 光偏向器

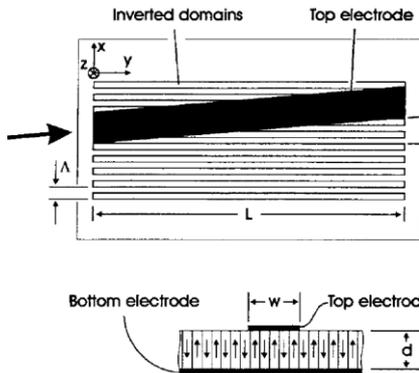


### 擬似速度整合光位相変調器



H. Murata *et al.*, Electron. Lett., vol. 36, pp. 1459-1460, 2000.

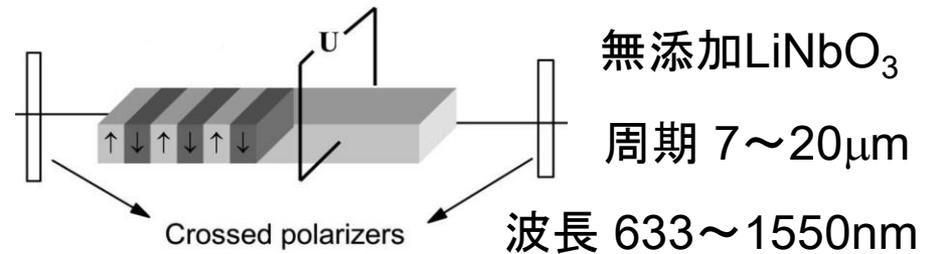
### ブラッグ偏向型光変調器



無添加LiNbO<sub>3</sub>  
 周期 8~70μm  
 波長 407~1064nm

H. Gnewuch *et al.*, IEEE Photon. Technol. Lett., vol. 10, pp. 1730-1732, 1998.

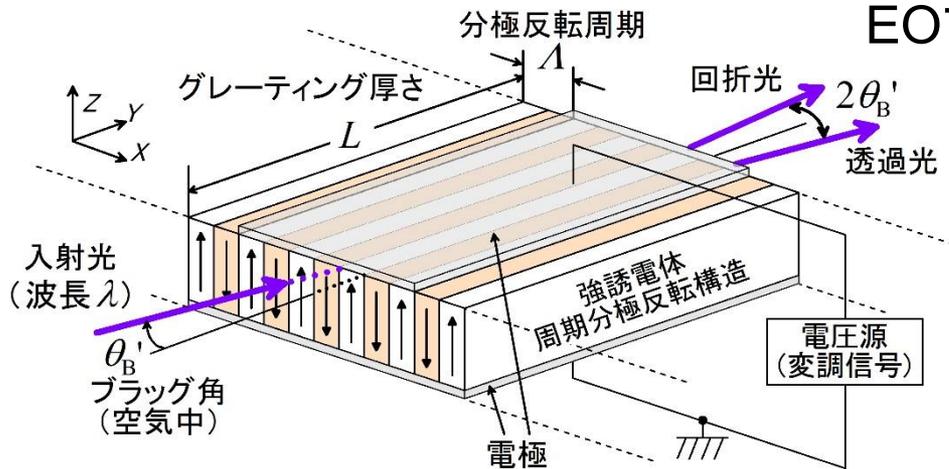
### 偏光変換型光変調器



X. Chen *et al.*, Opt. Lett., vol.28, pp.2115-2117, 2003.

# 第1章 序論

## 電気光学ブラッグ偏向型光変調器

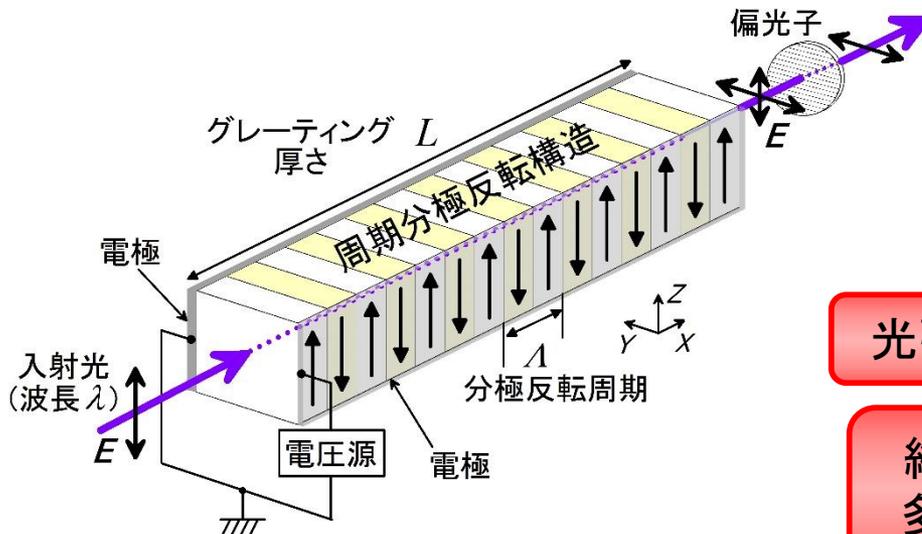


EOブラッグ偏向型光変調器を多数配列した  
1次元空間光変調器の実現

応用

レーザディスプレイ  
レーザ描画装置

## 電気光学偏光変換型光変調器



高効率変調  
鋭い波長選択性  
コンパクト・インライン構成

光強度変調や狭帯域波長フィルタへの応用

縦続接続することにより波長選択変調や  
多波長変調がインライン構成で実現可能

### 問題点・解決すべき課題

無添加LiNbO<sub>3</sub>デバイスでは高パワー・短波長光変調時に光損傷(光誘起屈折率変化)が顕著に生じ変調特性が劣化する



無添加LiNbO<sub>3</sub>と比較して高い光損傷耐性を示すMgO添加LiNbO<sub>3</sub>を変調器に使用

MgO添加LiNbO<sub>3</sub>への周期10 $\mu$ m以下の分極反転構造の作製は無添加LiNbO<sub>3</sub>と比較して非常に困難

- ・ 電圧印加分極反転時の結晶加熱が必要
- ・ 分極反転貫通時のリーク電流抑制のための絶縁層の装荷が必要
- ・ 電圧印加条件の最適化が必要

## 本研究の目的

強誘電体周期分極反転構造を用いた電気光学変調器

MgO添加LiNbO<sub>3</sub>短周期分極反転構造作製技術の確立

新たなMgO添加LiNbO<sub>3</sub>短周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の実証

- ・ 電気光学ブラッグ偏向型光変調器を多数配列した一次元空間光変調器の最適設計法の検討
- ・ 電気光学ブラッグ偏向型光変調器の短波長光変調特性の評価
- ・ 一次元空間光変調器のプロトタイプ of 作製・評価

新たなMgO添加LiNbO<sub>3</sub>短周期分極反転構造を用いた電気光学偏光変換型光変調器の実証

- ・ 電気光学偏光変換型光変調器の短波長光変調特性の評価

## 第2章

周期分極反転構造を用いた

電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の設計

# 第2章 周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の設計

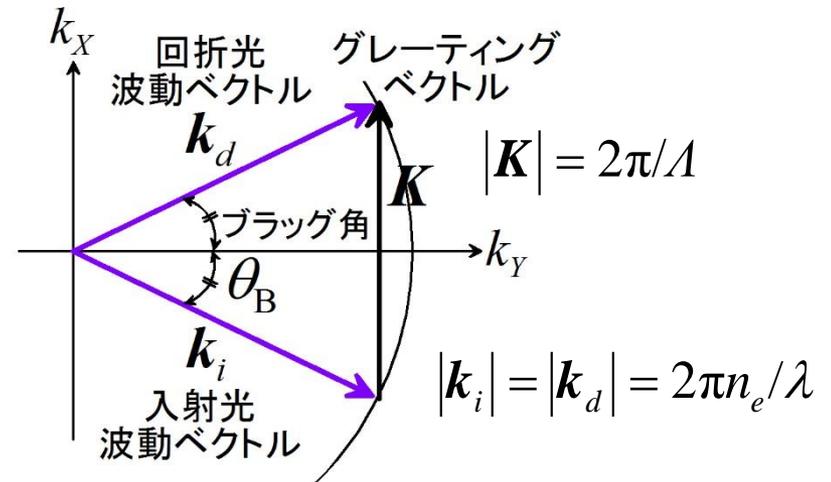
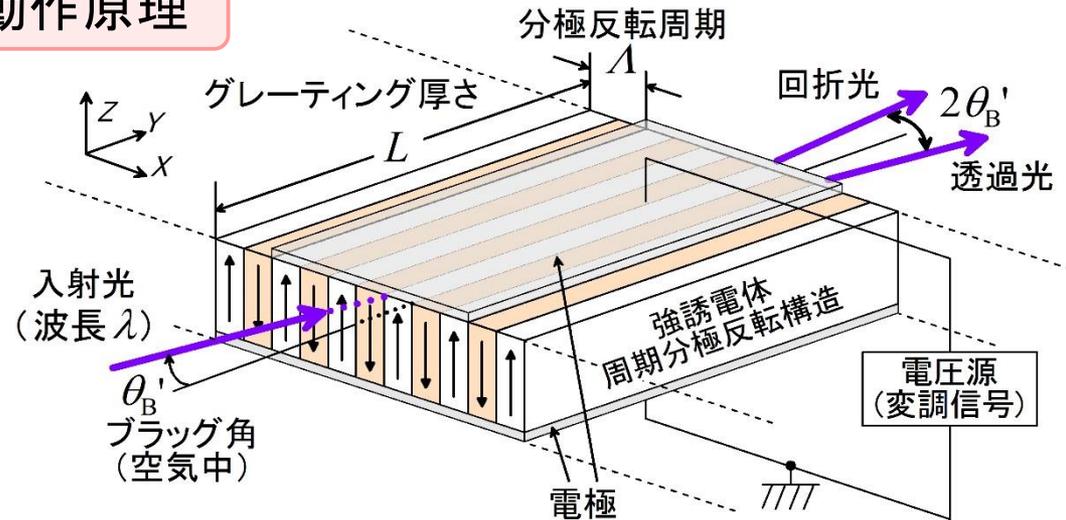
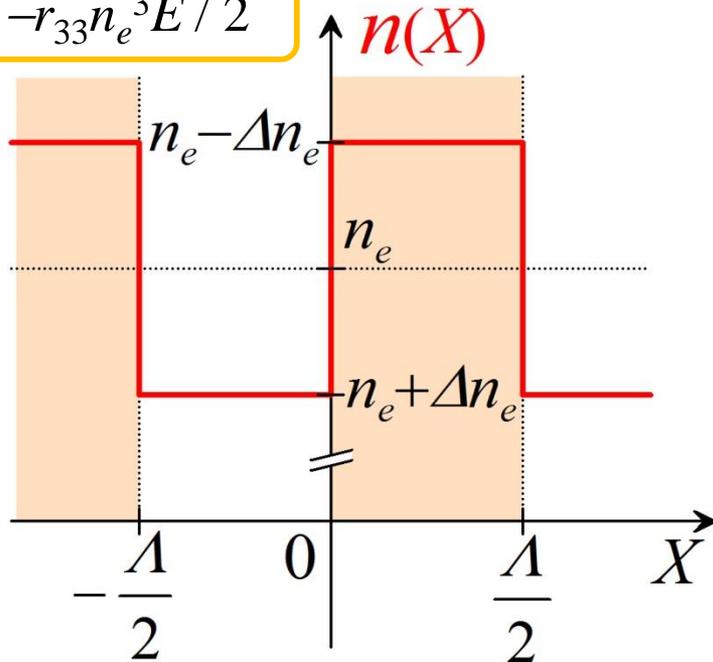
## EOブラッグ偏向型光変調器の動作原理

周期分極反転構造のZ方向に一様電界を印加



EO効果により  
屈折率グレーティング形成

$$\Delta n_e = -r_{33} n_e^3 E / 2$$



結晶中:  $\theta_B = \text{Sin}^{-1}(\lambda/2n_e\Lambda)$

空気中:  $\theta_B' = \text{Sin}^{-1}(\lambda/2\Lambda)$

## 第2章 周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の設計

### モード結合理論を用いた理論解析

#### モード結合方程式

$$\frac{d}{dY} a(Y) = -j\kappa b(Y) \exp(-j2\Delta Y)$$

$$\frac{d}{dY} b(Y) = -j\kappa a(Y) \exp(+j2\Delta Y)$$

$a(Y), b(Y)$  : 入射光, 回折光の振幅

$\kappa$  : 結合係数

$2\Delta$  : Y方向位相不整合量

#### ブラッグ回折型となるための条件

$$Q = |2\Delta_2 L| \cong 2\pi\lambda L / n_e \Lambda^2 > 10$$

$\lambda$  : 入射光波長  $L$  : グレーティング厚さ

$n_e$  : 異常屈折率  $\Lambda$  : 分極反転周期

#### 回折効率 ( $2\Delta=0$ )

$$\eta = \frac{|b(L)|^2}{|a(0)|^2} = \sin^2(\kappa L) = \sin^2(2Lr_{33}n_e^3 E / \lambda)$$

$r_{33}$  : 電気光学定数  $E$  : 印加電界

印加電界を変化させることにより  
透過光・回折光パワーの変調が可能

最大回折効率( $\eta=100\%$ )を  
得るために必要な印加電界

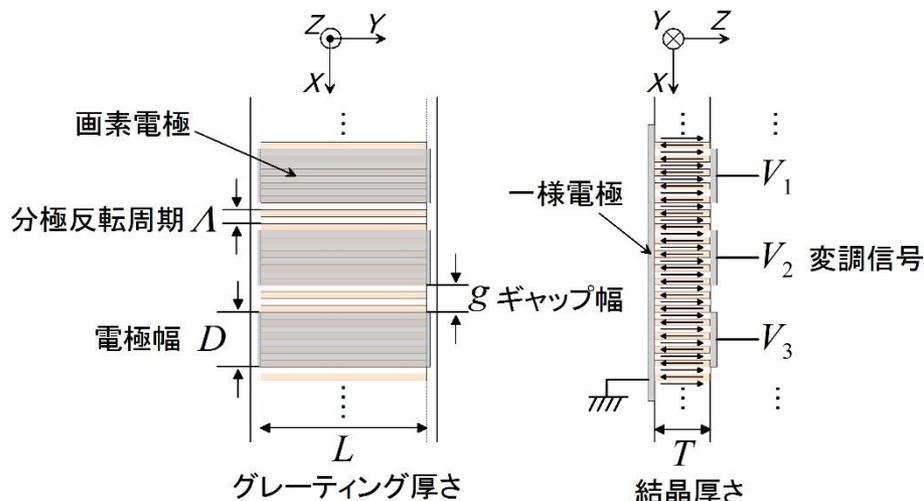
$$E_{\eta \max} = \pi\lambda / 4Lr_{33}n_e^3$$

#### 角度受容幅

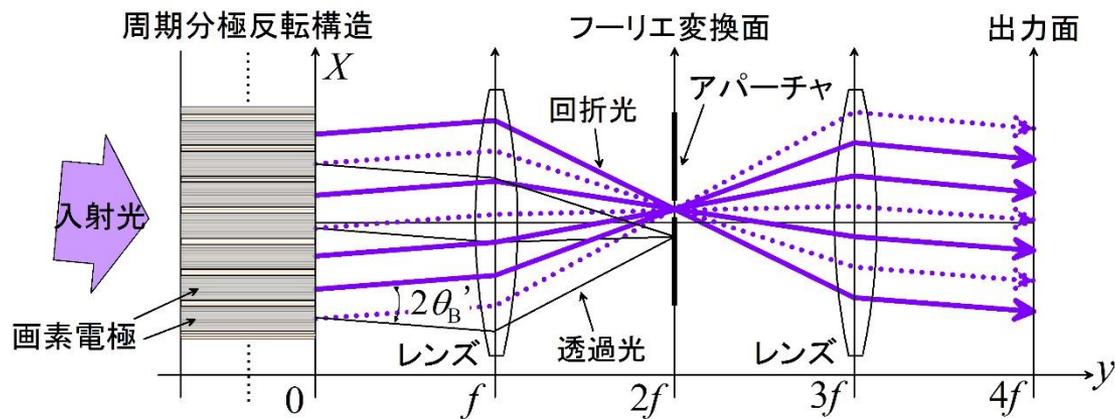
結晶中:  $2\Delta\theta \cong \Lambda/L$

空气中:  $2\Delta\theta' \cong \text{Sin}^{-1} [n_e \sin(\Lambda/L)]$

## EOブラッグ偏向型一次元空間光変調器の構成



- EOブラッグ偏向型光変調器を一次元方向に多数配列
- 周期分極反転構造に画素電極を必要な画素数だけ装荷
- それぞれの画素電極に変調信号を与える



- 再回折光学系を用いてフーリエ変換面で透過光と回折光を分離
- 出力面で透過光/回折光強度パターンを得る

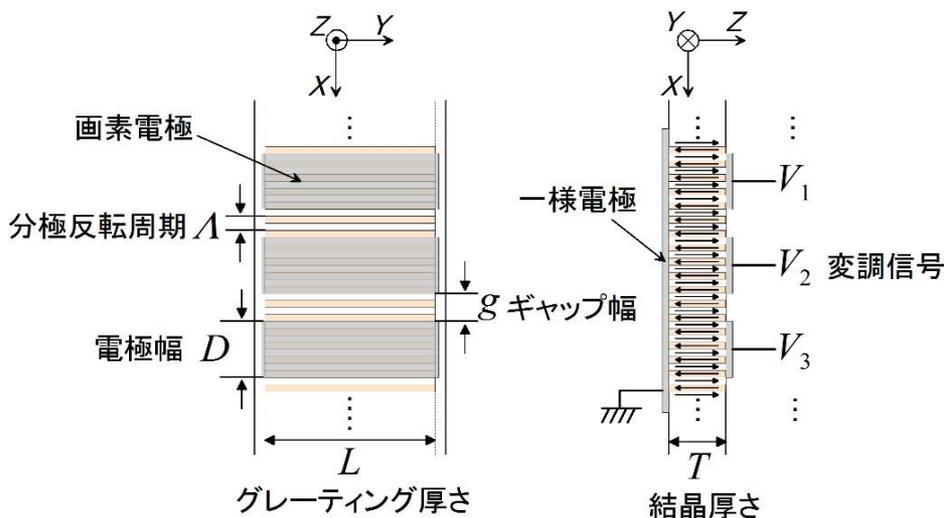
## 第2章 周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の設計

### 一次元空間光変調器の特性予測

- ① 隣接画素電極間で絶縁破壊を生じさせないための条件

$$g > \frac{E_{\eta \max}}{E_B} T = \frac{\pi \lambda}{4n_e^3 r_{33} E_B} \frac{T}{L}$$

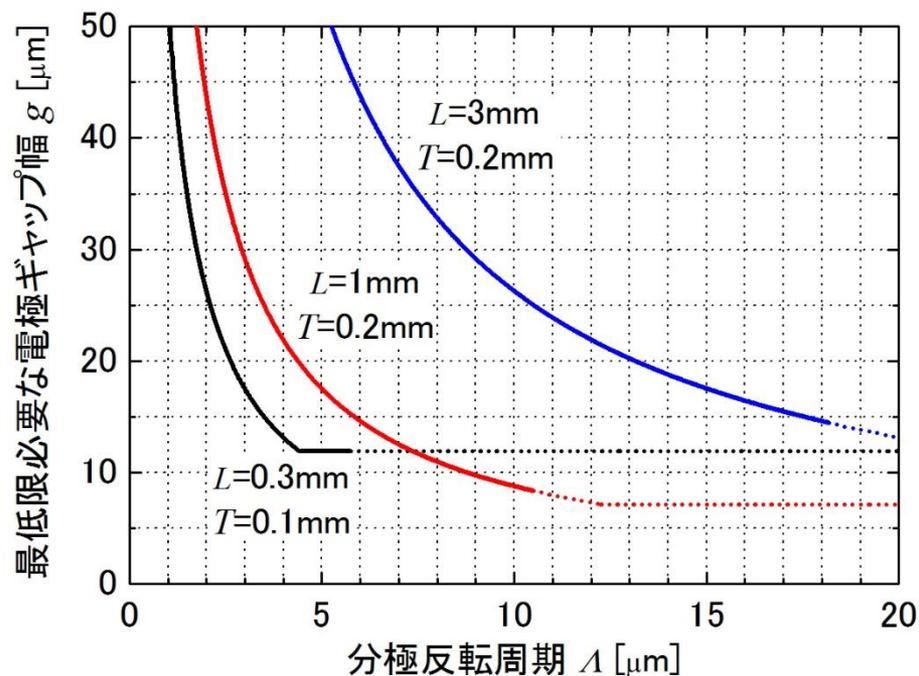
$E_B$ : 電極ギャップ間における絶縁破壊電界



### 最低限必要な画素電極ギャップ幅 $g$

- ② ある画素で生じた回折光が隣接画素で再び回折しない条件

$$g > L \tan \theta_B \cong \lambda L / 2n_e \Lambda$$



MgO添加LiNbO<sub>3</sub>,  $\lambda=405\text{nm}$ ,  $E_B=20\text{kV/mm}$

# 第2章 周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の設計

## 一次元空間光変調器の特性予測

- ① 入射光と回折光がグレーティング領域の大部分で空間的に重なるための条件

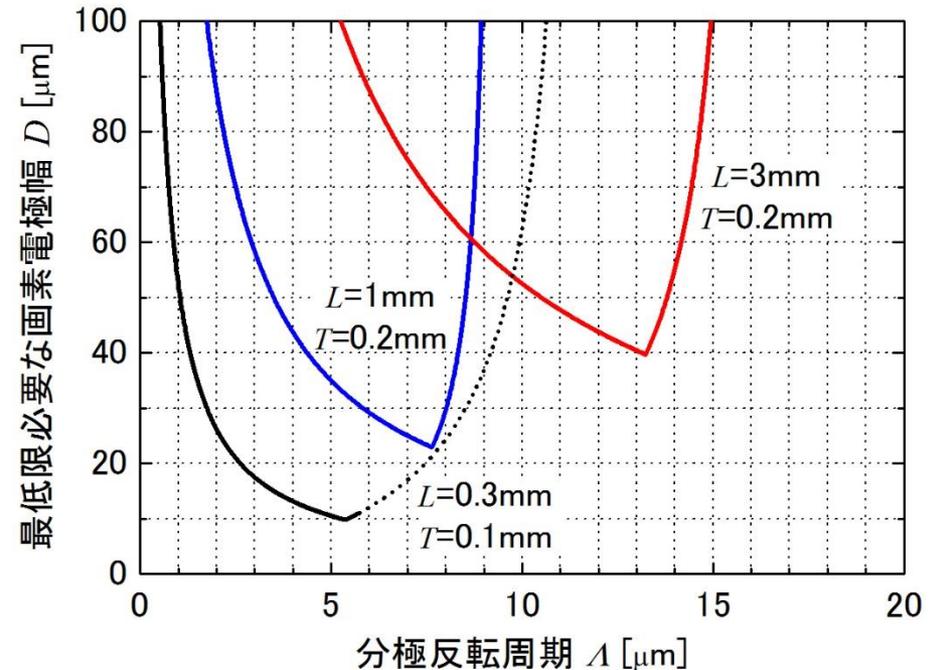
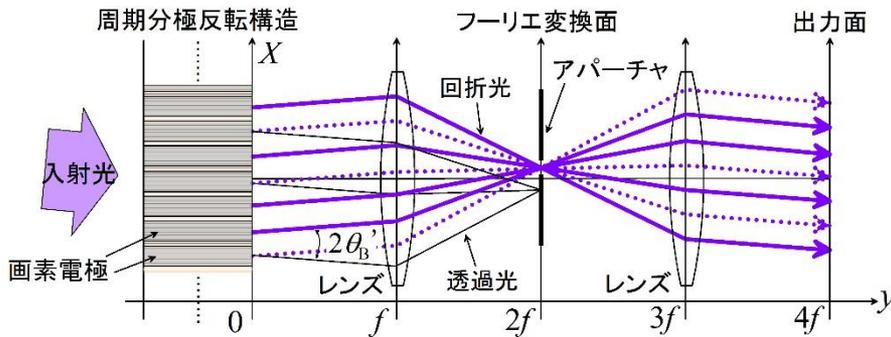
$$D > L \tan 2\theta_B \cong \lambda L / n_e A$$

## 最低限必要な画素電極幅 $D$

- ② フーリエ変換面で透過光と回折光を分離するための条件

$$f \sin 2\theta_B' > \lambda f / D + \lambda f / g$$

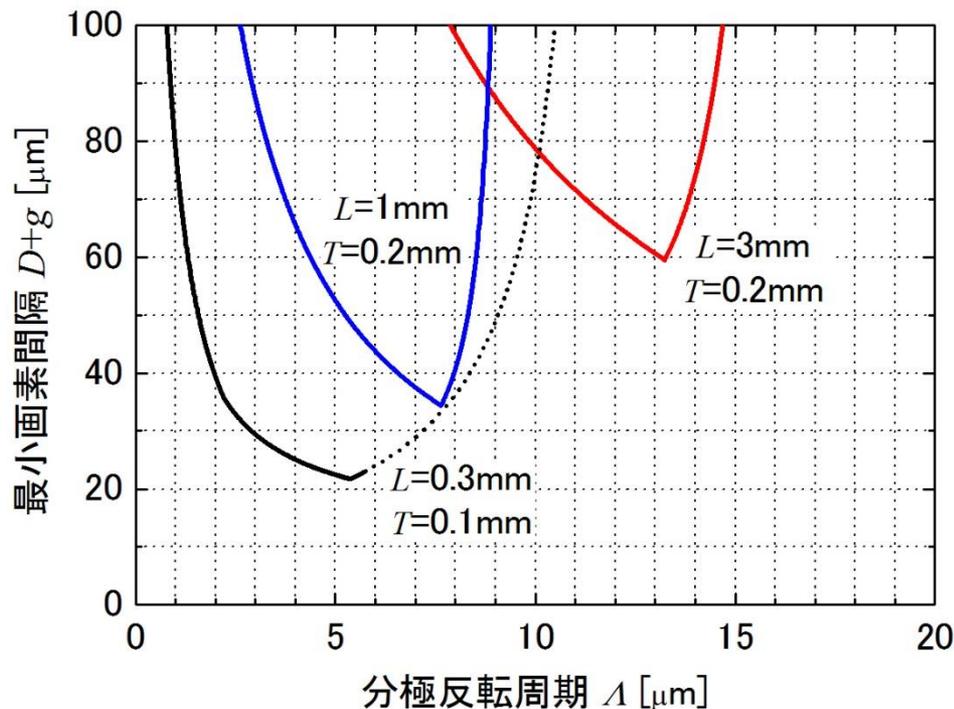
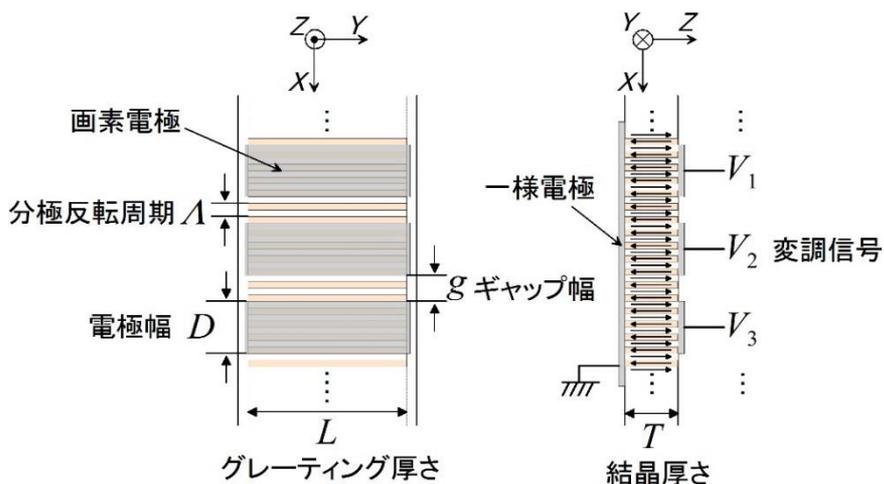
$$D > \frac{gA}{g - A}, \quad g > A$$



MgO添加LiNbO<sub>3</sub>,  $\lambda=405\text{nm}$

一次元空間光変調器の特性予測

最小画素間隔 $D+g$ の分極反転周期依存性



MgO添加LiNbO<sub>3</sub>,  $\lambda=405\text{nm}$ ,  $E_B=20\text{kV/mm}$

画素電極幅・電極ギャップ幅の条件について考察し  
一次元空間光変調器の最適設計法を示した

## 第3章

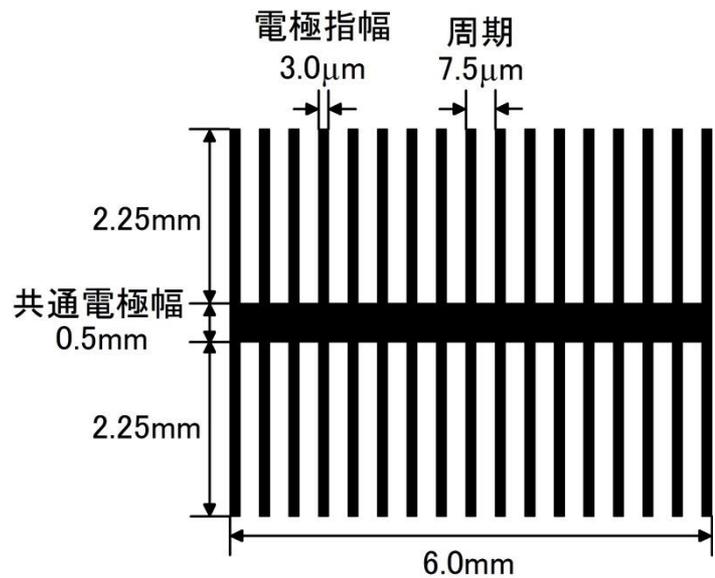
MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を用いた  
電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の  
作製・評価

MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造の作製

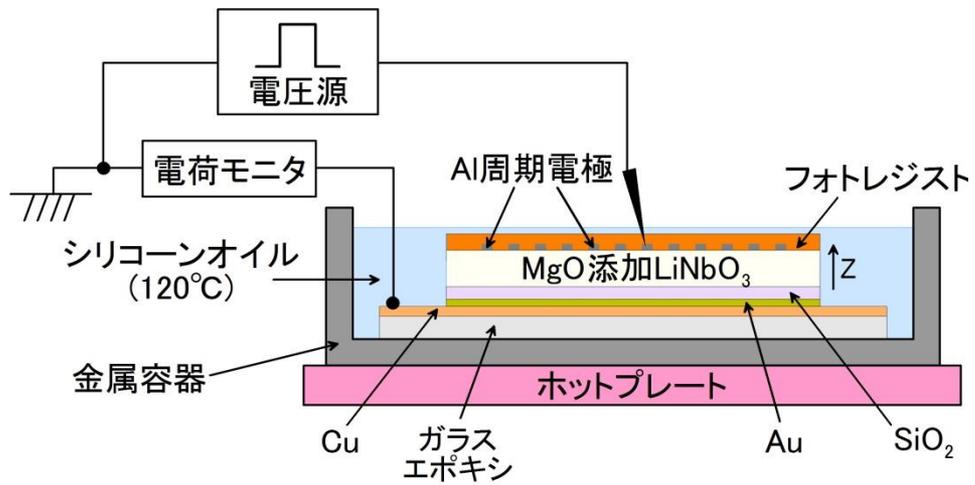
絶縁液中結晶加熱電圧印加により

0.2mm<sup>t</sup> Z-cut MgO(5 mol%)添加LiNbO<sub>3</sub>に周期7.5μmの分極反転構造を作製

- ・ フトリソグラフィによりAl周期電極を形成
- ・ Al周期電極上にフォトレジストをオーバーコート
- ・ リーク電流抑制のための絶縁層としてSiO<sub>2</sub>をスパッタ堆積
- ・ 絶縁液中で結晶を120°Cに加熱した状態で電圧印加



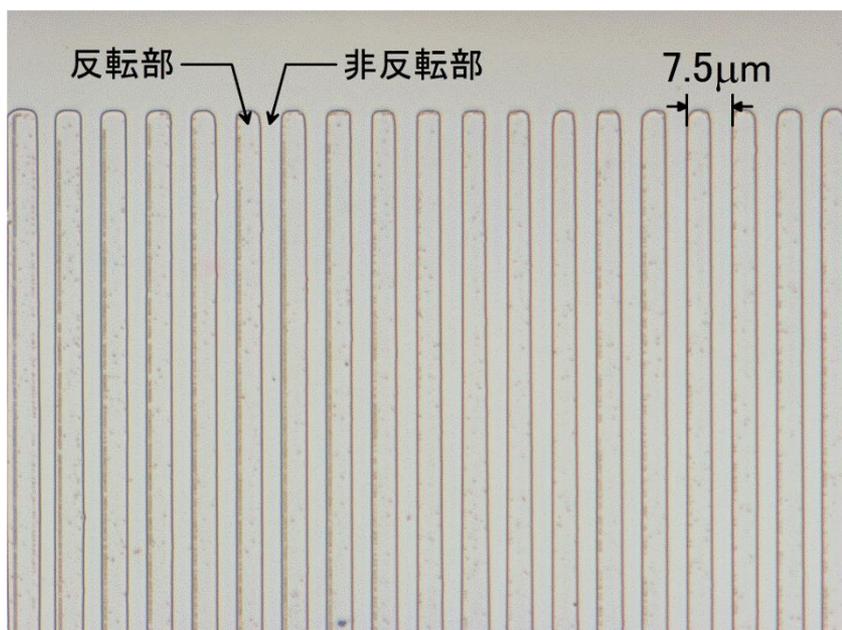
楕形周期電極



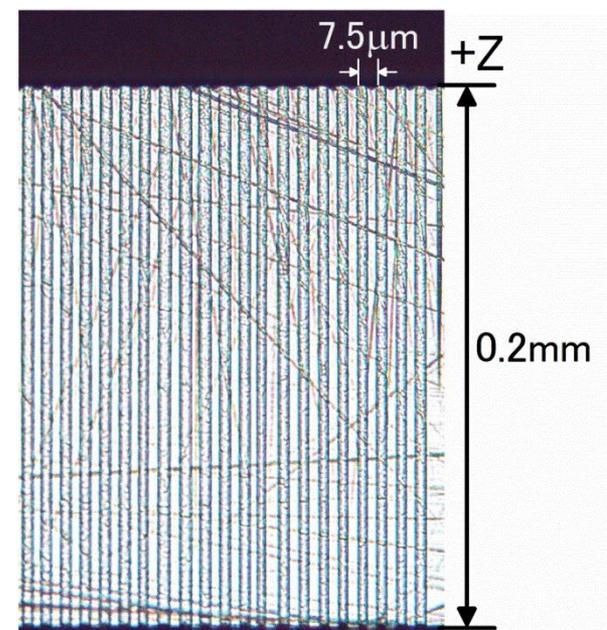
周期7.5 $\mu$ m分極反転構造作製条件

印加電圧 0.70 kV (単一パルス)

結晶に与えた電荷量 30  $\mu$ C ( $2P_S S = 23 \mu$ C)



+Z面



結晶断面

フッ硝酸エッチング後顕微鏡写真

4.5 $\times$ 6.0 mm<sup>2</sup>の領域全体に高品質な周期分極反転構造を作製できた

MgO添加LiNbO<sub>3</sub>短周期分極反転構造の作製

絶縁液中結晶加熱電圧印加により

0.2mm<sup>t</sup> Z-cut MgO(5 mol%)添加LiNbO<sub>3</sub>に周期3.0μmの分極反転構造を作製



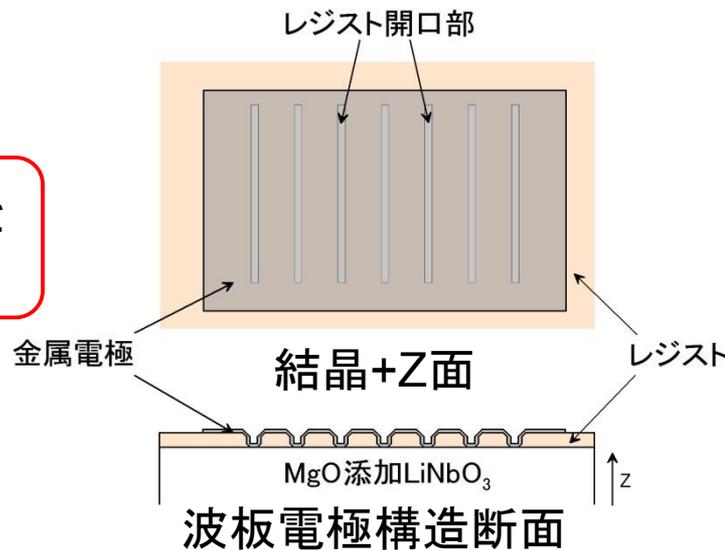
電極先端のみにしか分極反転構造が得られなかった

無添加LiNbO<sub>3</sub>において短周期分極反転構造の作製実績がある波板電極構造を採用

波板電極構造の形成

高アスペクト比・低duty比波板電極に電圧を印加すると結晶中に高い電界コントラストが得られる

膜厚が比較的厚く絶縁性に優れたレジストとしてPMMA(ポリメチルメタクリレート)を用いた



### 第3章

## MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を用いた電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器の作製・評価

### 短周期分極反転構造作製手順

0.2 mm<sup>t</sup> Z-cut MgO(5mol%)添加LiNbO<sub>3</sub>の+Z面上に  
電子ビーム描画によりレジストグレーティング形成  
(レジスト厚さ 1.2 μm, 周期 3.6 μm, 1.0 × 1.0 mm<sup>2</sup>)



レジストグレーティング上にAl電極を堆積



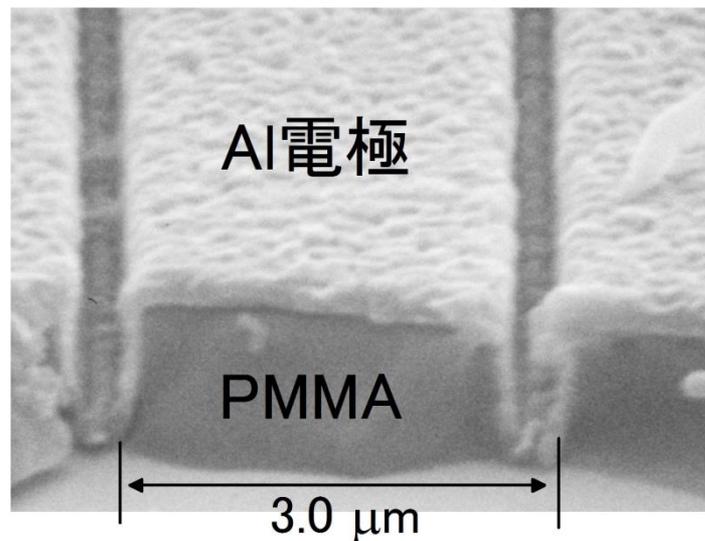
リーク電流抑制のための絶縁層として  
-Z面上にSiO<sub>2</sub>をスパッタ堆積



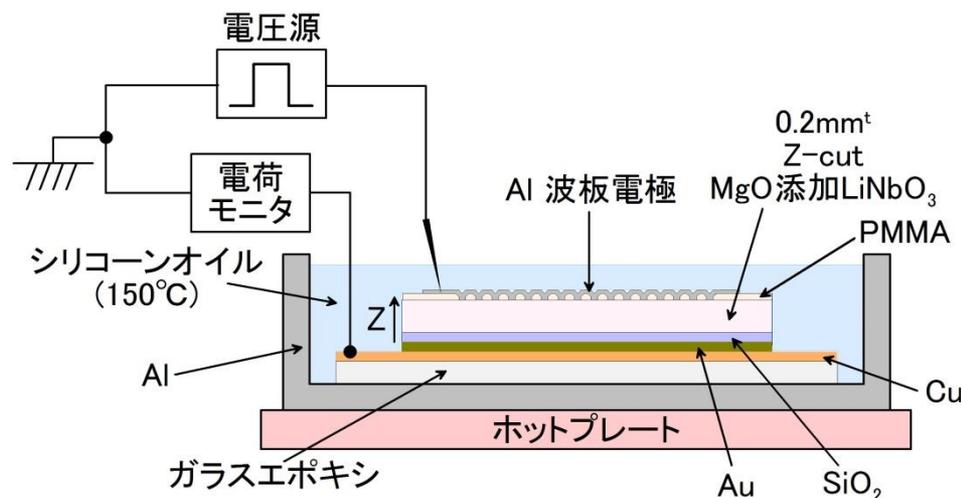
Au一様電極を堆積



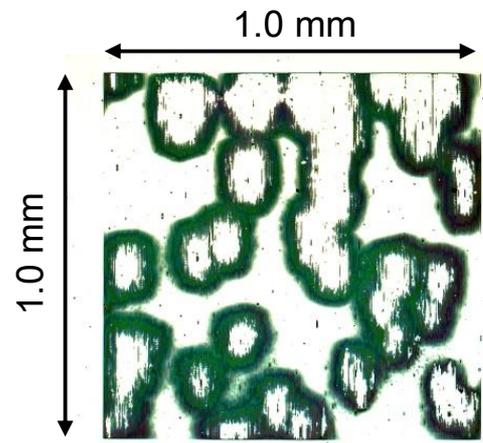
- ・ 絶縁液中で結晶を150°Cに加熱
- ・ 結晶に与える電荷量が1.0 μC (2P<sub>S</sub>S = 0.80 μC)に達するまで単一パルス電圧(<1sec)を印加



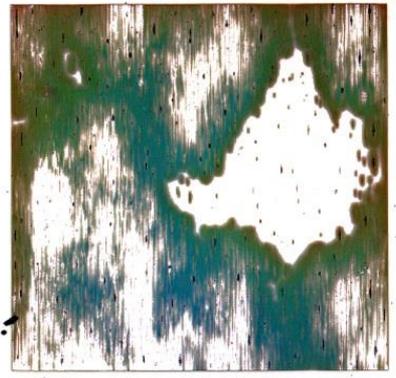
波板電極断面SEM写真



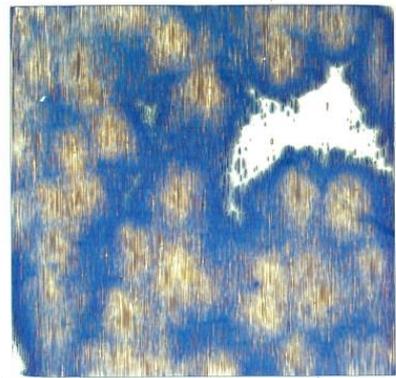
電圧印加前の結晶加熱時間と得られる周期分極反転構造の均一性の関係



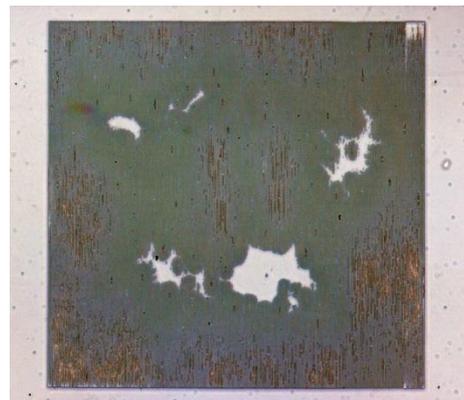
加熱時間 2時間



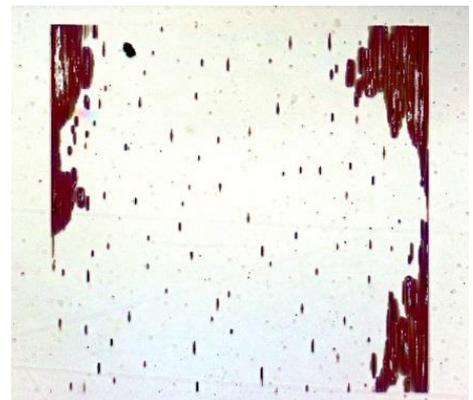
6時間



9時間



12時間



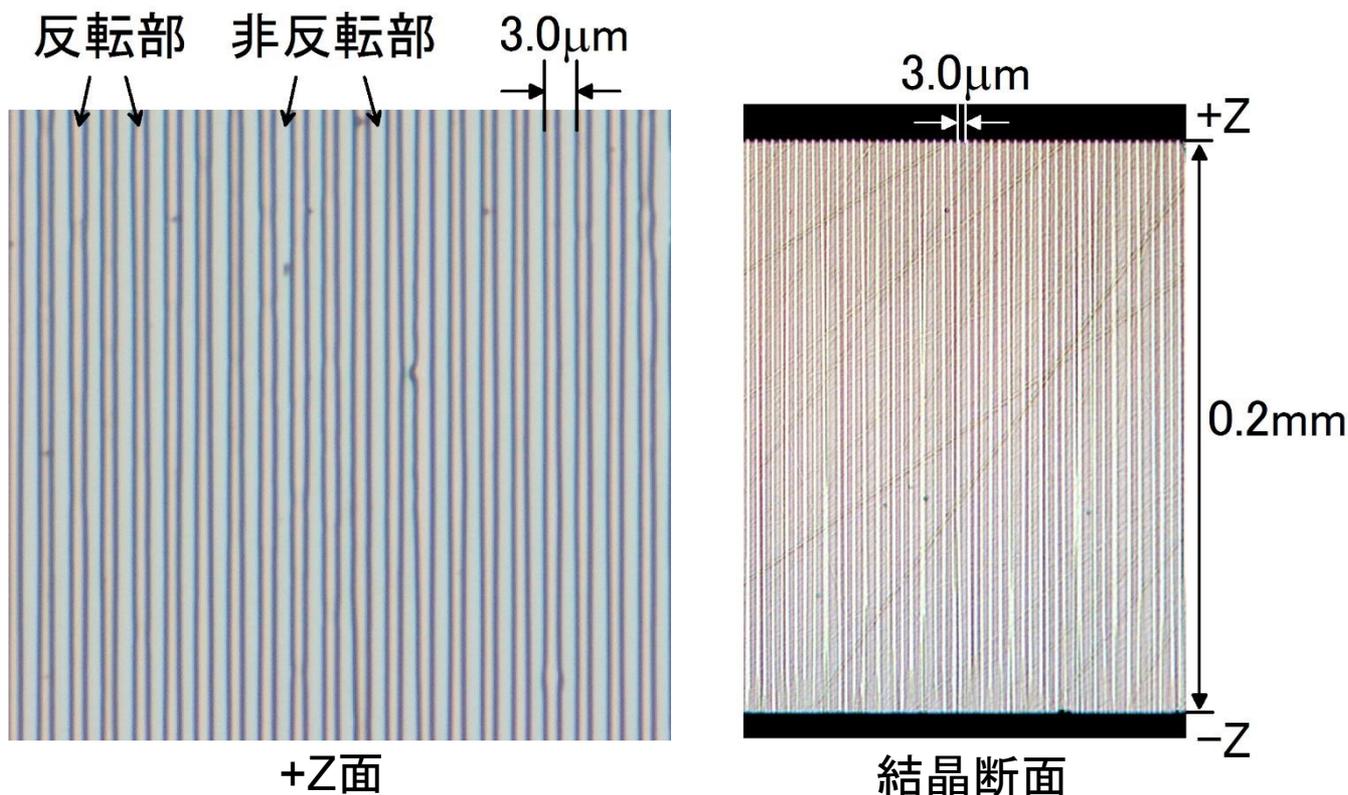
24時間

分極反転周期 3.0 μm  
結晶加熱温度 150°C  
印加電圧 1.0 kV

結晶を150°Cで12時間加熱してから電圧印加を行うことにより均一性の高い周期分極反転構造を形成できることを独自に見出した

周期3.0 $\mu\text{m}$ 分極反転構造作製条件

印加電圧 1.2 kV (150°C 12時間加熱後に電圧印加)

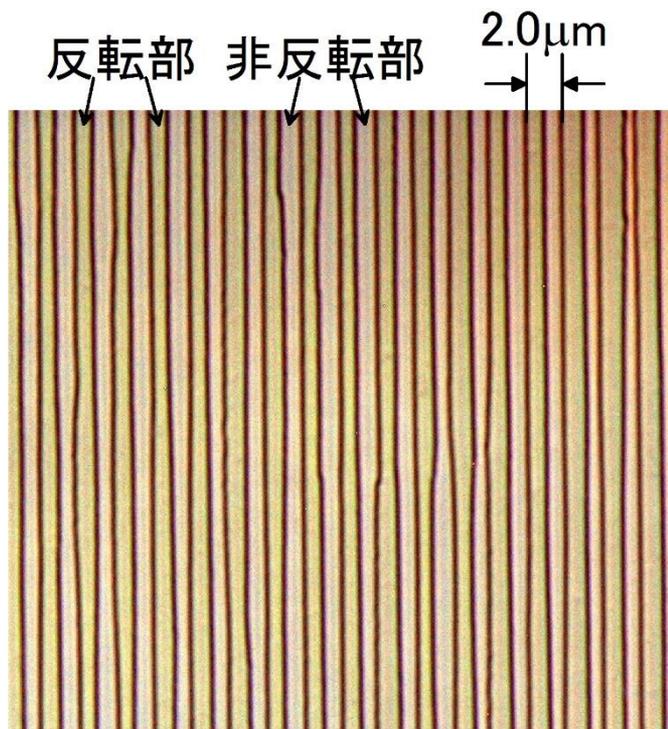


フッ硝酸エッチング後顕微鏡写真

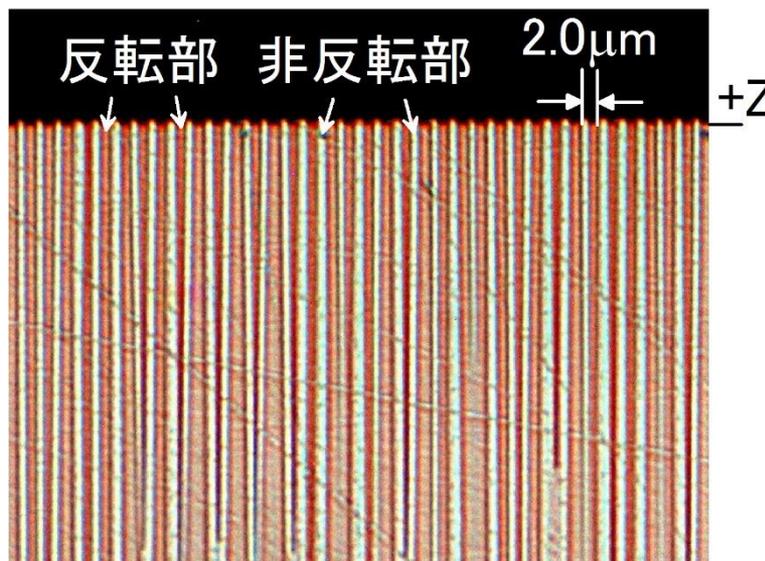
1.0 × 1.0 mm<sup>2</sup>の領域全体に高品質な周期分極反転構造を作製できた

周期2.0 $\mu\text{m}$ 分極反転構造作製条件

印加電圧 1.5 kV (150°C 12時間加熱後に電圧印加)



+Z面



結晶断面

フッ硝酸エッチング後顕微鏡写真

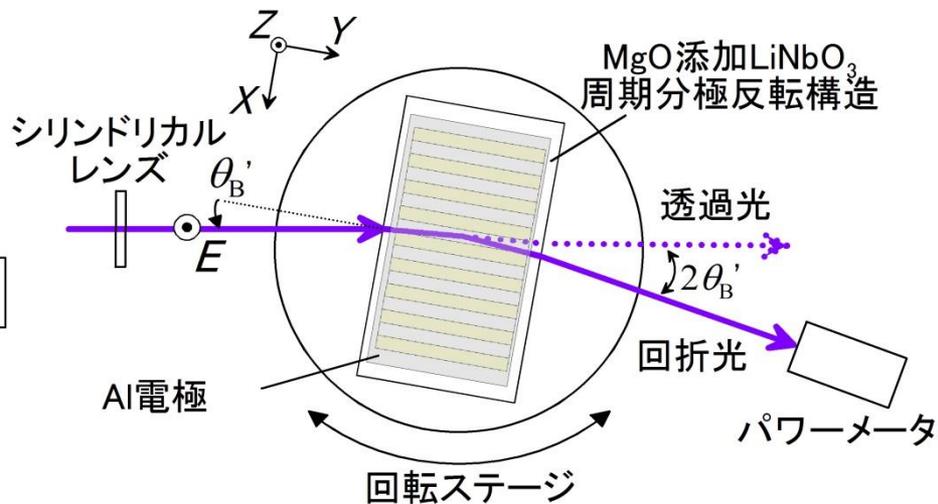
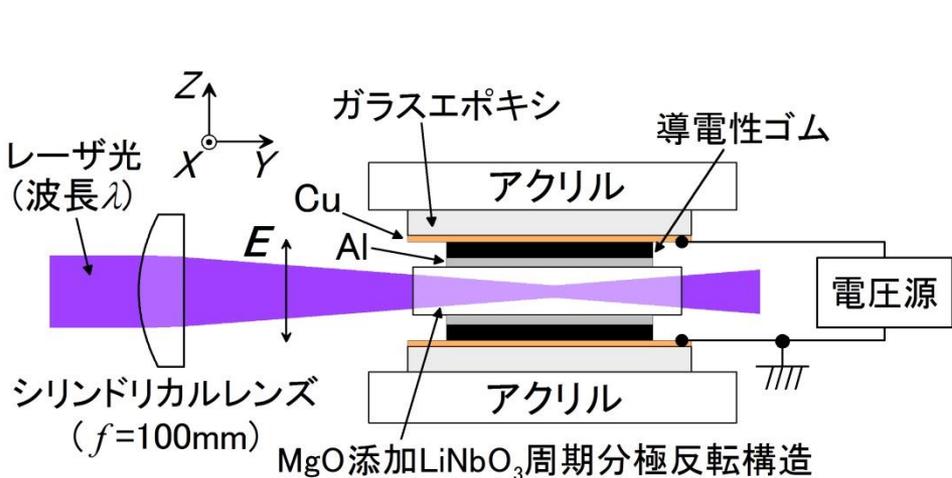
+Z面から深さ50 $\mu\text{m}$ の領域に周期分極反転構造を作製できた

### EOブラッグ偏向型光変調器の作製

MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造の±Y面を端面研磨し  
±Z面にAl一様電極を堆積

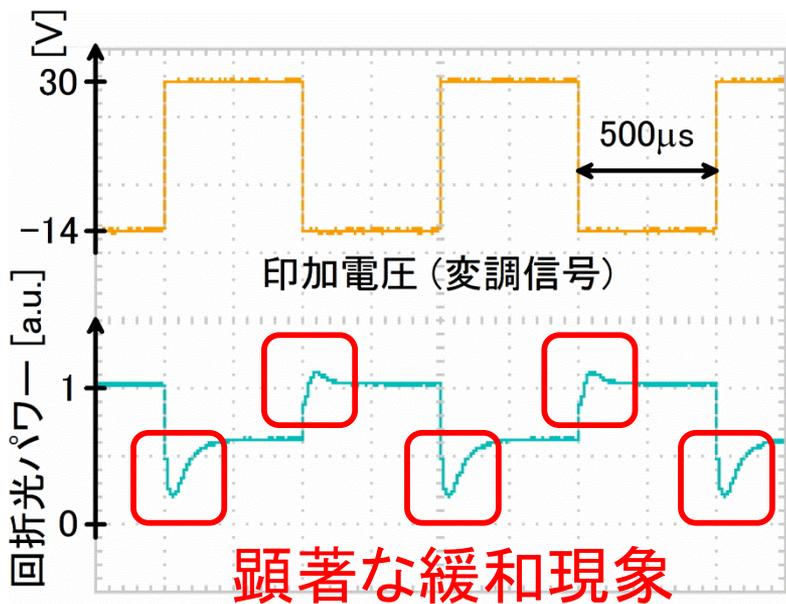
### 変調実験光学系

- ・ レーザ光(波長 $\lambda$ )を異常光としてブラッグ角で結晶に入射
- ・ 印加電圧を変化させることにより透過光/回折光パワーを変調
- ・ パワーメータを用いて透過光/回折光パワーを測定

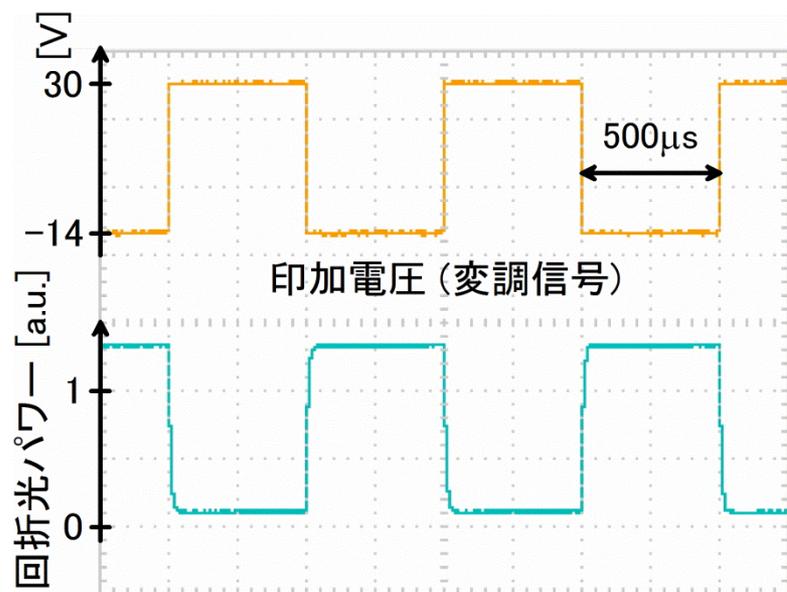


緩和現象の低減

GaNレーザー( $\lambda=405\text{nm}$ )を光源として  
矩形電圧を変調器に印加し、透過光・回折光パワーを変調



結晶アニーリングをしなかったデバイス

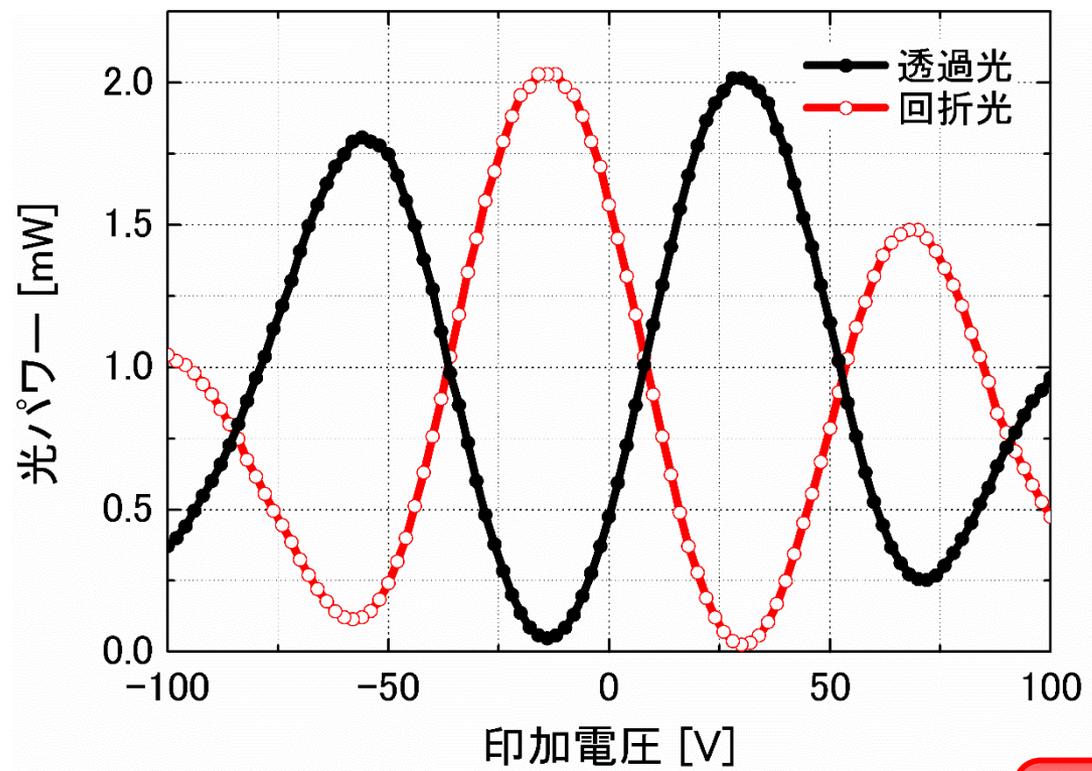


分極反転後結晶アニーリングを  
施したデバイス  
(酸素雰囲気, 600°C, 2時間)

周期分極反転構造作製後の結晶アニーリングが  
緩和現象の低減に有効であることを独自に見出した

透過光・回折光パワーの印加電圧依存性

GaN半導体レーザ ( $\lambda=405\text{nm}$ )を光源として  
電圧印加時の透過光・回折光パワーを測定



印加電圧 30Vのとき  
透過光パワー最大  
回折光パワー最小  
(ゼロ点オフセット)

印加電圧 -14Vのとき  
回折光パワー最大  
透過光パワー最小

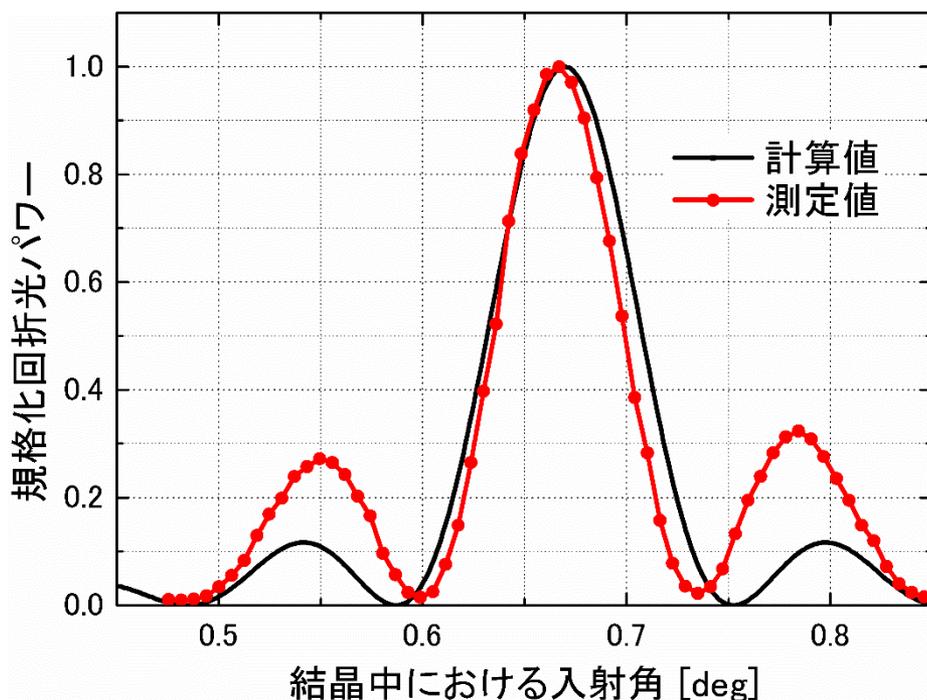
最大回折効率  
**97%**

分極反転周期 $\Lambda=7.5\mu\text{m}$   
グレーティング厚さ $L=4.5\text{mm}$

測定値が理論値100%とほぼ一致し  
高回折効率を得られた

## 変調器の角度選択性

GaNレーザ ( $\lambda=405\text{nm}$ )を光源として  
最大回折効率が得られる電圧(-14V)を印加した状態で  
回折光パワーのレーザ光入射角依存性を調べた



分極反転周期  $\Lambda=7.5\mu\text{m}$   
グレーティング厚さ  $L=4.5\text{mm}$

ブラッグ角 (測定値)  $0.67^\circ$   
角度受容幅 (測定値)  $0.07^\circ$

作製した周期分極反転構造が高い均一性を有していることを確認できた

## EOブラッグ偏向型光変調器の紫外光変調特性

紫外He-Cdレーザ( $\lambda=325\text{nm}$ )を光源として  
矩形電圧により透過光・回折光パワーを変調

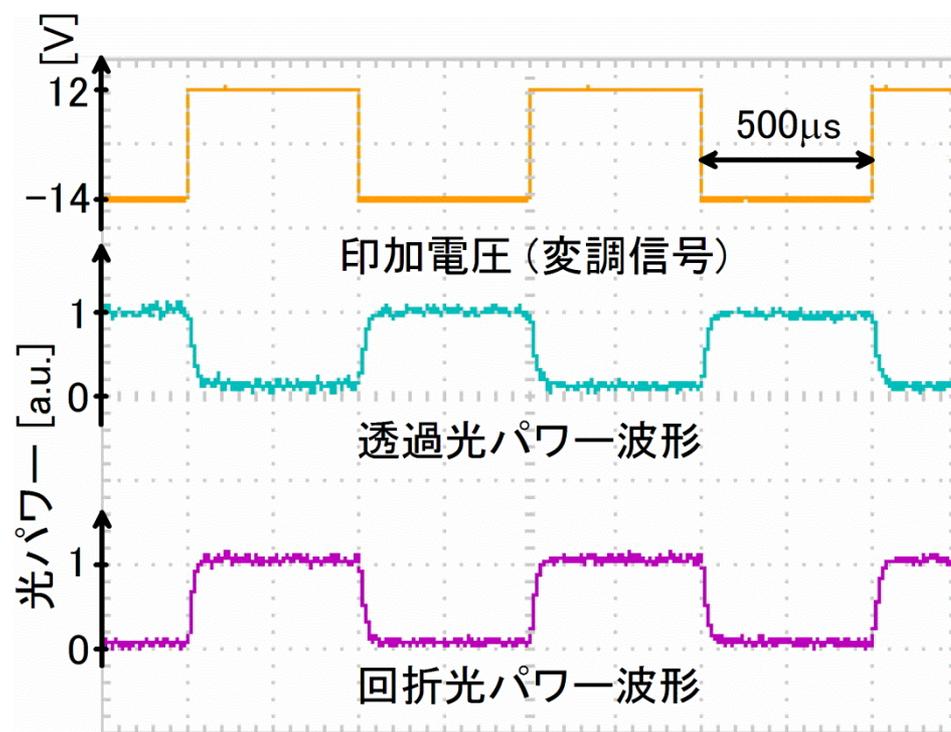
分極反転周期 $\Lambda=7.5\mu\text{m}$   
グレーティング厚さ $L=4.5\text{mm}$

変調信号(矩形電圧)

周波数	1kHz
Duty	50%
High	12V
Low	-14V

透過光消光比 1/7

回折光消光比 1/8

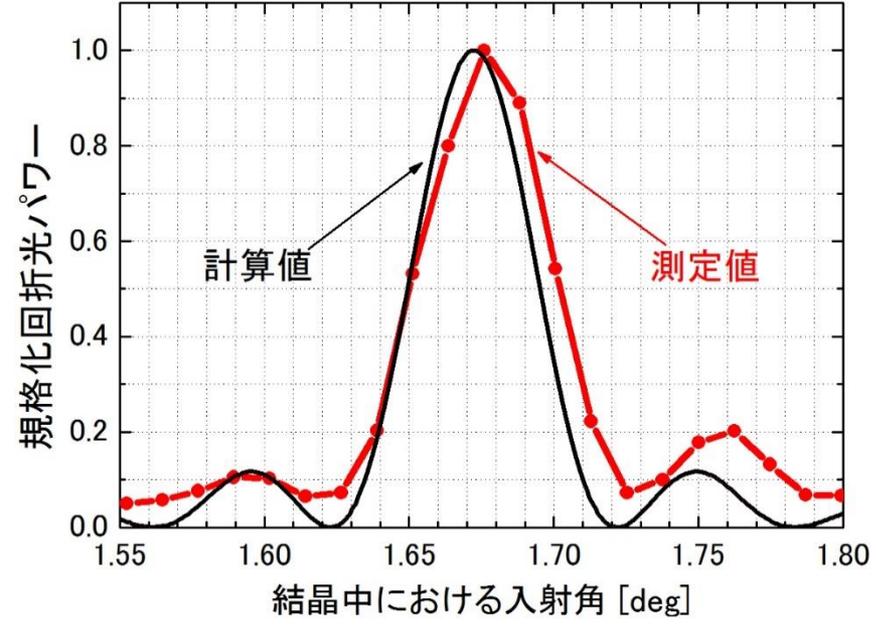
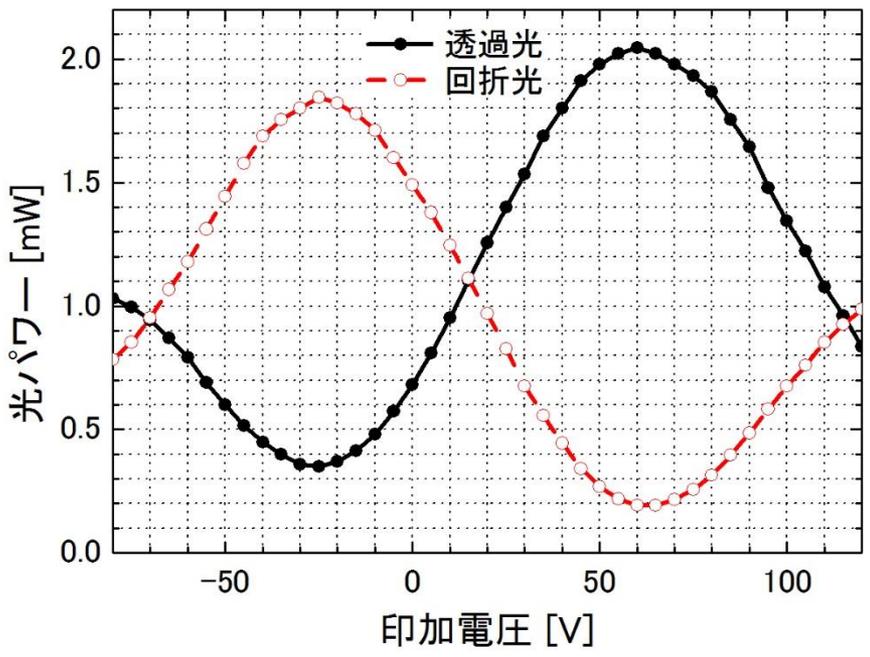


紫外光源を用いた変調実験においても  
EOブラッグ偏向型光変調器の基本動作が確認できた

短周期分極反転構造を用いたEOブラッグ偏向型光変調器の変調特性

分極反転周期 $\Lambda=3.0\mu\text{m}$  グレーティング厚さ $L=3.0\text{mm}$

透過光・回折光パワーの印加電圧依存性 回折光パワーのレーザ光入射角依存性

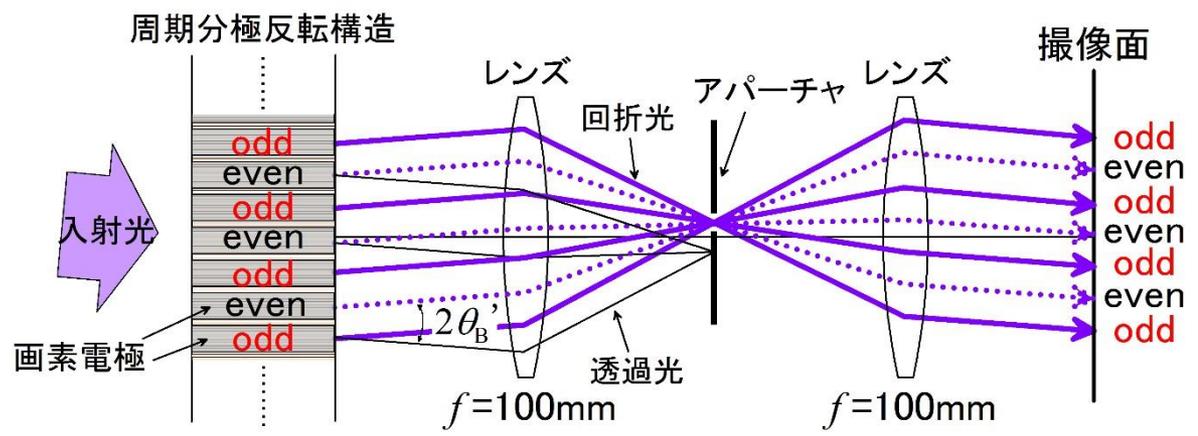


オフセット電圧 55V  
最大回折効率 82%

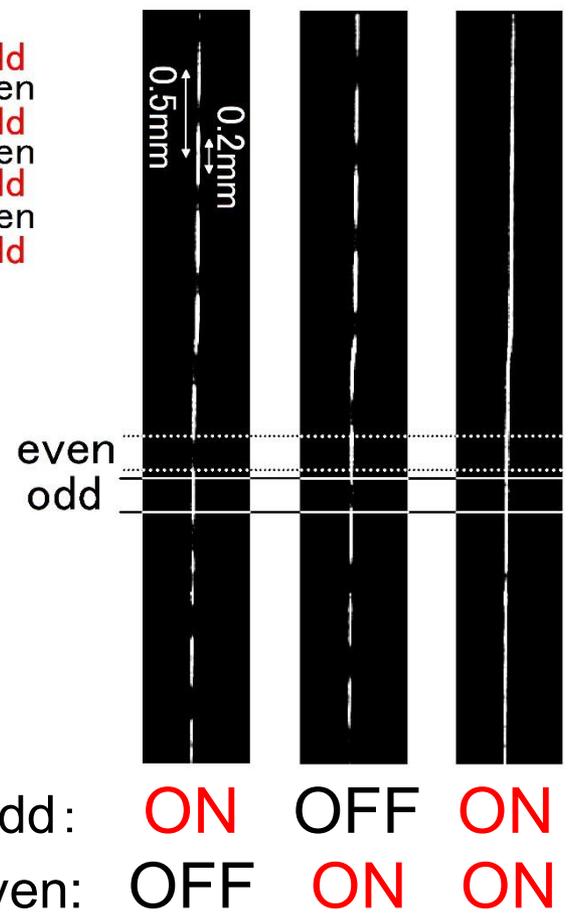
ブラッグ角 (測定値) 1.68°  
角度受容幅 (測定値) 0.05°

短周期分極反転構造を用いたEOブラッグ偏向型光変調器を実証した

EOブラッグ偏向型一次元空間光変調器のプロトタイプの作製・評価



回折光強度パターン



- ・ 周期分極反転構造に画素電極を装荷
- ・ 奇数番目(odd)・偶数番目(even)同士を連結
- ・ 再回折光学系を用いて透過光と回折光を分離
- ・ CCDカメラで回折光強度パターンを撮像

$\Lambda=7.5\mu\text{m}$   $L=4.5\text{mm}$   $\lambda=405\text{nm}$   
 画素電極幅  $D=200\mu\text{m}$  ギャップ間隔  $g=50\mu\text{m}$

一次元空間光変調器の基本動作を確認できた

## 第4章

周期分極反転構造を用いた

電気光学偏光変換型光変調器の設計

# 第4章 周期分極反転構造を用いた電気光学偏光変換型光変調器の設計

## EO偏光変換型光変調器の動作原理

LiNbO<sub>3</sub>・LiTaO<sub>3</sub>に  
Y方向電界E<sub>y</sub>を印加



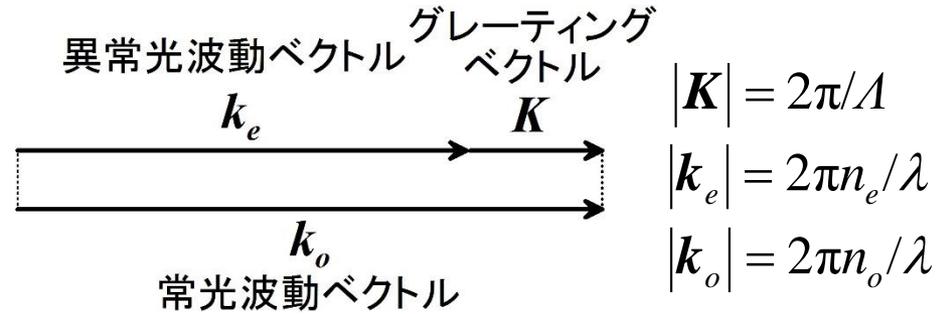
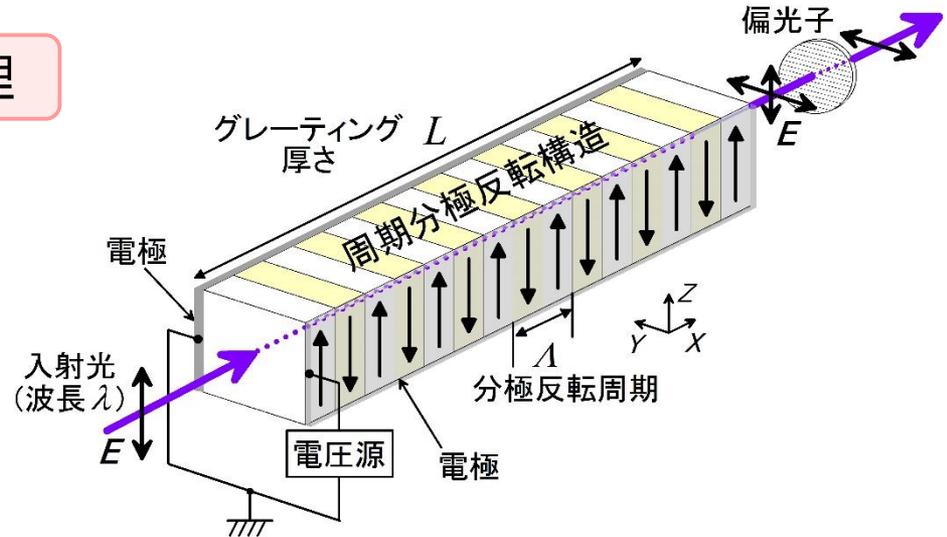
- EO効果により屈折率楕円体の主軸が回転
- 比誘電率テンソルに非対角成分が生じる

$$[\epsilon + \delta\epsilon] = \begin{bmatrix} \epsilon_{11} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{22} & \delta\epsilon_{23} \\ 0 & \delta\epsilon_{23} & \epsilon_{33} \end{bmatrix}$$

$$\delta\epsilon_{23} = -n_e^2 n_o^2 r_{51} E_y$$

n<sub>o</sub>: 常屈折率 n<sub>e</sub>: 異常屈折率

r<sub>51</sub>: EO定数



必要な分極反転周期

$$\Lambda = \lambda / (n_o - n_e)$$

常光・異常光間のモード結合が生じる

# 第4章 周期分極反転構造を用いた電気光学偏光変換型光変調器の設計

## モード結合理論を用いた理論解析

### モード結合方程式

$$\frac{d}{dX} a(X) = -j\kappa b(X) \exp(-j2\Delta X)$$

$$\frac{d}{dX} b(X) = -j\kappa a(X) \exp(+j2\Delta X)$$

$a(X), b(X)$ : 常光, 異常光の振幅

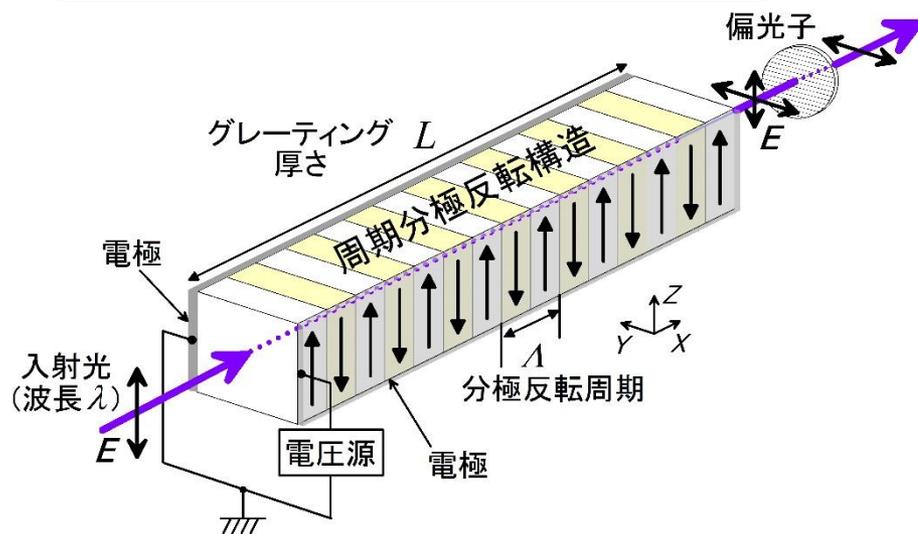
$\kappa$ : 結合係数

$2\Delta$ : 位相不整合量

変換効率( $2\Delta = 0$ )

$$\eta = \sin^2(\kappa L) = \sin^2\left(\frac{2Lr_{51}\sqrt{n_e^3 n_o^3}}{\lambda} E_y\right)$$

印加電界を変化させることにより  
偏光子通過後の光強度を変調できる



最大変換効率( $\eta = 100\%$ )  
を得るために必要な印加電界

$$E_{\eta \max} = \frac{\pi\lambda}{4Lr_{51}\sqrt{n_e^3 n_o^3}}$$

## 第5章

MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を用いた  
電気光学偏光変換型光変調器の作製・評価

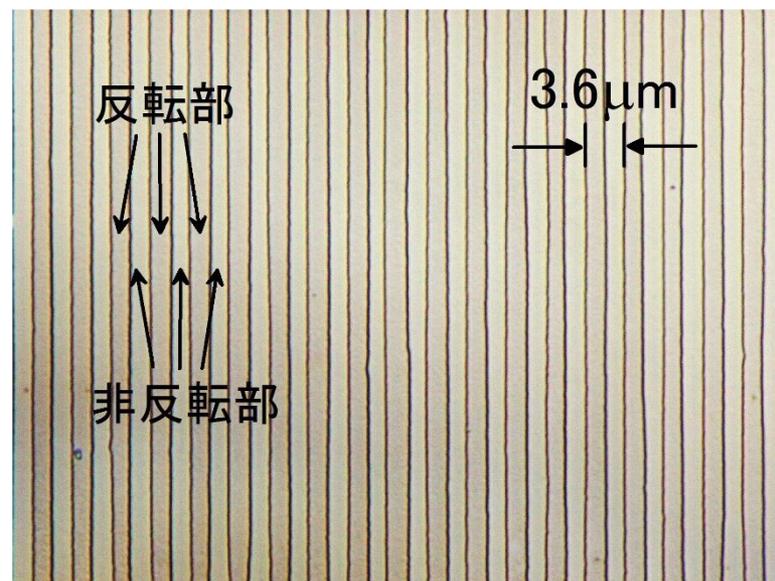
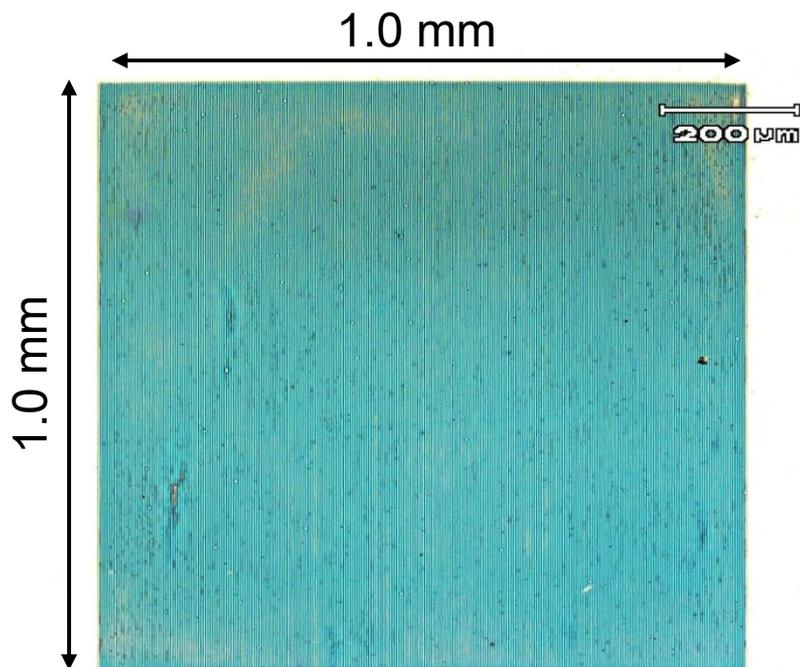
## 第5章

# MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を用いた電気光学偏光変換型光変調器の作製・評価

## MgO添加LiNbO<sub>3</sub>短周期分極反転構造の作製

紫色レーザー光( $\lambda = 407\text{nm}$ )を変調するために分極反転周期を $3.6\mu\text{m}$ とした

印加電圧  $0.90\text{ kV}$  (単一パルス)



フッ硝酸エッチング後+Z面顕微鏡写真

$1.0 \times 1.0\text{ mm}^2$ の領域全体に高品質な周期分極反転構造を作製できた

# 第5章

## MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を用いた電気光学偏光変換型光変調器の作製・評価

### 複合外部共振器型GaNレーザの構成

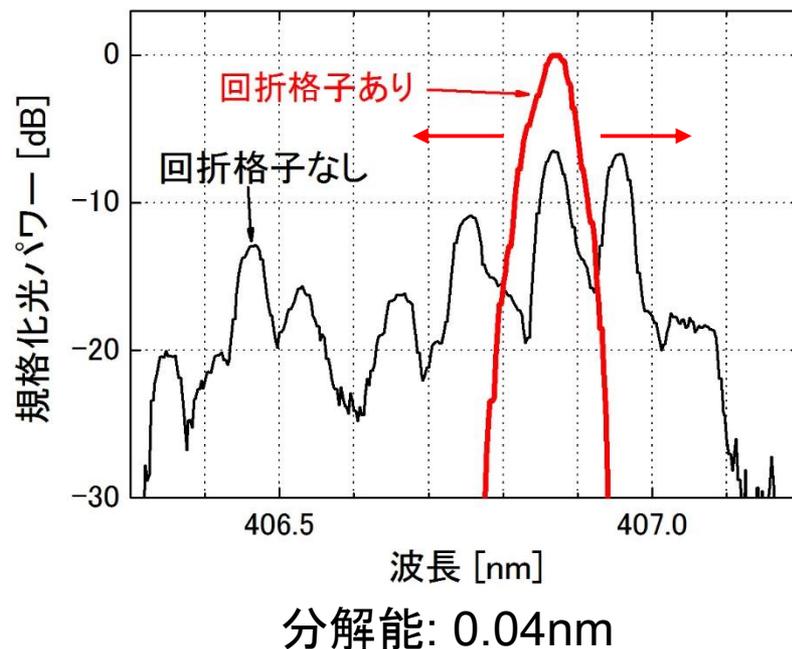
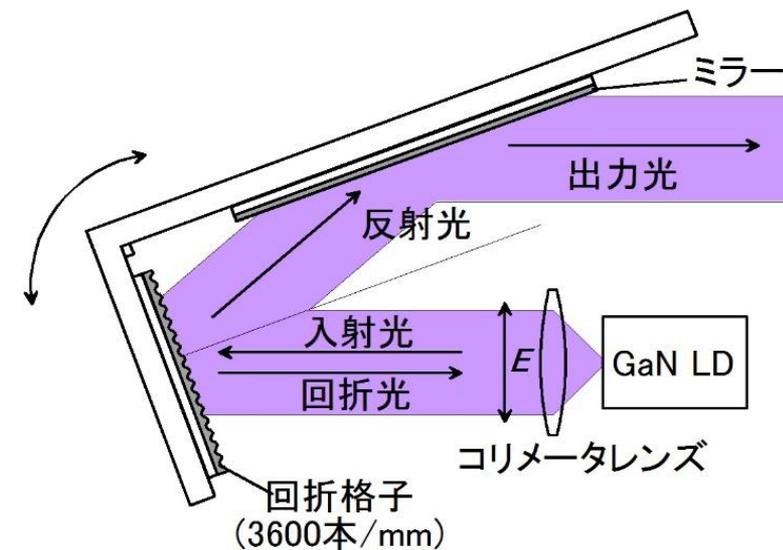
GaNレーザが多モード発振しておりスペクトル幅が変調器の波長受容幅(0.6nm)よりも広い

▶▶▶ 高効率を得ることができない

- ・ 回折格子を用いて限られた波長範囲の光のみをレーザ本体に帰還させることにより狭いスペクトル幅の出力光が得られる
- ・ 回折格子の角度を変化させることにより発振波長を変化させることができる

- ・ スペクトル幅 < 0.04 nm (半値全幅)
- ・ 波長可変範囲 1.5 nm

レーザ光のスペクトル幅を狭くすることができた



## 第5章

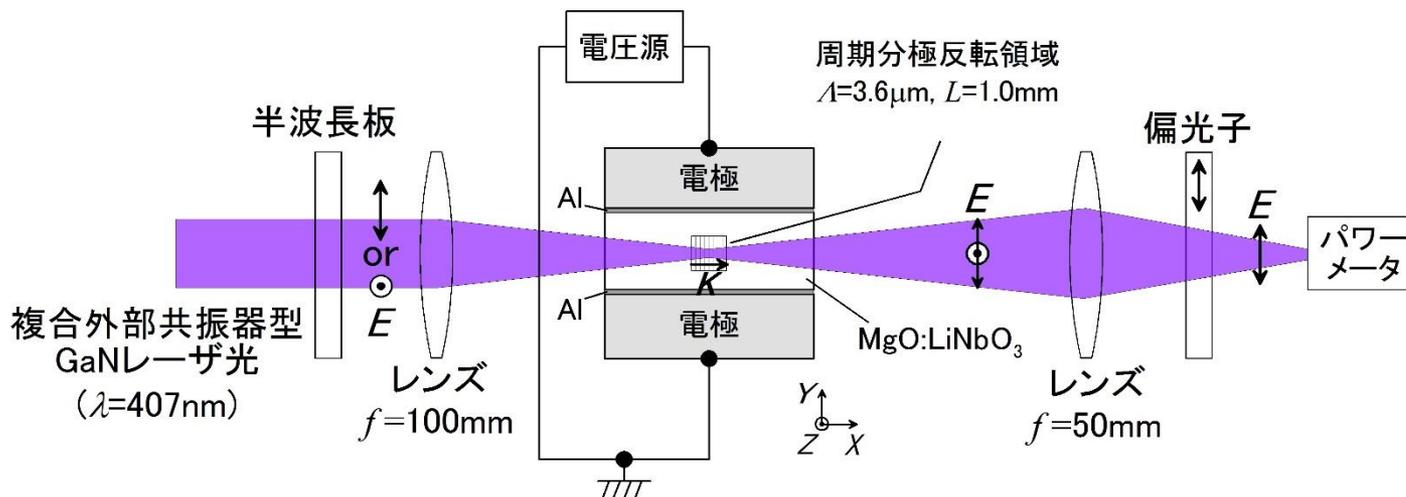
# MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を用いた電気光学偏光変換型光変調器の作製・評価

### EO偏光変換型光変調器の作製

- ・ 作製したMgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造の±Y面にAl電極を堆積し±X面を端面研磨
- ・ デバイスのサイズは2.3mm(Y方向)×5mm(X方向)

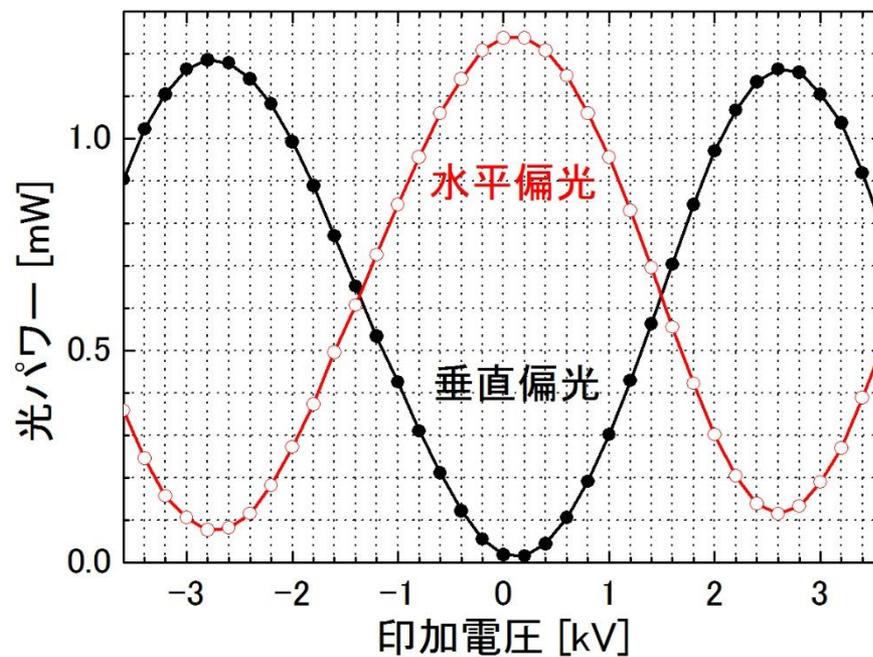
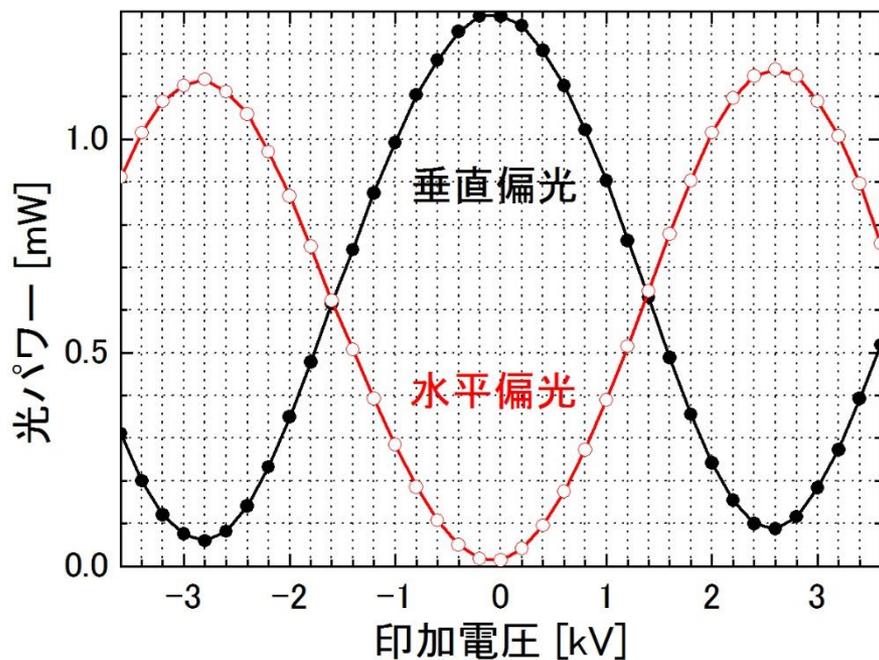
### 変調実験光学系

- ・ 複合外部共振器型GaNレーザ光の偏光を半波長板で回転させ常光(水平偏光)/異常光(垂直偏光)として結晶に入射
- ・ 出力光の垂直/水平偏光パワーを偏光子とパワーメータを用いて測定



垂直/水平偏光パワーの印加電圧依存性

入射光波長 406.8nm



垂直偏光

入力

水平偏光

**89%**

最大変換効率

**91%**

2.6 kV (1.1 kV/mm)

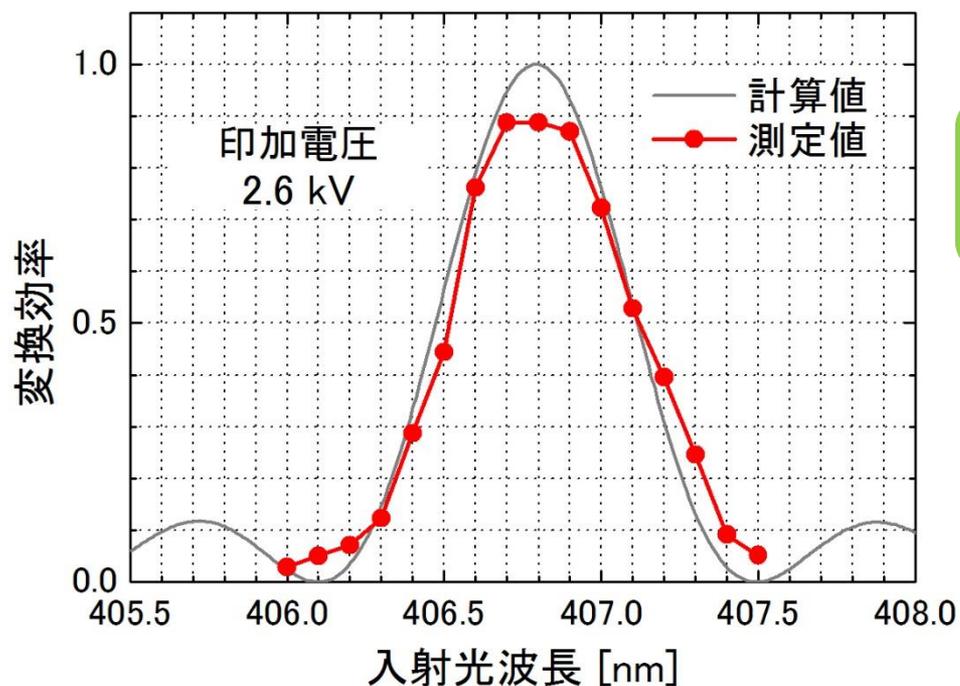
必要電圧(電界)

2.6 kV (1.1 kV/mm)

EO偏光変換型光変調器を用いた短波長光の高効率変調を実証した

変換効率の入射光波長依存性

回折格子の角度を調整することにより入射光波長を406.0~407.5nmの範囲で変化させて測定を行った



最大変換効率を得られる2.6kVを印加し垂直偏光(異常光)を入力

波長受容幅(半値全幅)

**0.7 nm (測定値)**

**0.6 nm (計算値)**

入力: 垂直偏光

作製した周期分極反転構造が高い均一性を有していることを確認できた

## 第6章 結論

## 第6章 結論

### 第2章

- ・モード結合理論を用いてEOブラッグ偏向型光変調器の理論解析を行った
- ・一次元空間光変調器の最適設計法を示した

### 第3章

- ・MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を作製し  
周期3 $\mu\text{m}$ の分極反転構造作製技術を確立した
- ・MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を用いたEOブラッグ偏向型光変調器  
およびEOブラッグ偏向型一次元空間光変調器を初めて実証した
- ・変調時に緩和現象が生じることが分かり分極反転構造形成後の  
結晶アニーリングが緩和現象の低減に有効であることを見出した

### 第4章

モード結合理論を用いてEO偏光変換型光変調器の理論解析を行った

### 第5章

MgO添加LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造を用いたEO偏光変換型光変調器による  
短波長光の高効率変調を初めて実証した

# 研究業績

## 1. 原著論文・・・6件(うち本人第1著者 4件)

- [1] T. Inoue and T. Suhara, "Electrooptic Bragg deflection modulator using periodically poled MgO:LiNbO<sub>3</sub>," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 23, no. 17, pp. 1252-1254, September 2011.
- [2] M. Fujimura, E. Kitado, T. Inoue and T. Suhara, "MgO:LiNbO<sub>3</sub> waveguide quasi-phase-matched second-harmonic generation devices fabricated by two-step voltage application under UV light," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 23, no. 18, pp. 1313-1315, September 2011.
- [3] M. Okazaki, T. Chichibu, S. Yoshimoto, T. Inoue and T. Suhara, "Electrooptic Bragg deflection modulator for UV laser light using periodically poled MgO:s-LiTaO<sub>3</sub>," IEEE Photonics Technology Letters, vol. 23, no. 22, pp.1709-1711, November 2011.
- [4] 井上敏之, 栖原敏明, "MgO:LiNbO<sub>3</sub>周期分極反転構造電気光学ブラッグ偏向型一次元空間光変調器," 電子情報通信学会論文誌C, vol. J96-C, no. 4, pp. 47-54, April 2013. **論文賞受賞**
- [5] T. Inoue and T. Suhara, "Fabrication of MgO:LiNbO<sub>3</sub> domain inverted structures with short period and application to electro-optic Bragg deflection modulator," IEICE Transactions on Electronics, vol. E97-C, no. 7, pp. 744-748, July 2014.
- [6] T. Inoue and T. Suhara, "High-performance electro-optic polarisation conversion type modulator for short-wavelength light using periodically poled MgO:LiNbO<sub>3</sub>," Electronics Letters, vol. 50, no. 22, pp.1622-1624, October 2014.

## 2. 国際会議発表・・・7件(うち本人発表 4件)

## 3. 国内学会・研究会・シンポジウム等における発表・・・12件(うち本人発表 5件)

## 4. 受賞・・・2件

- [1] T. Inoue, The 18th Microoptics Conference (MOC) Student Award, October 2013.
- [2] 井上敏之, 栖原敏明, 電子情報通信学会平成25年度論文賞, 2014年6月.