



国立大学法人

東京農工大学

Tokyo University of Agriculture and Technology

メタサーフェス・メタレンズで 超小型原子時計・センサを実現する

大学院工学研究院

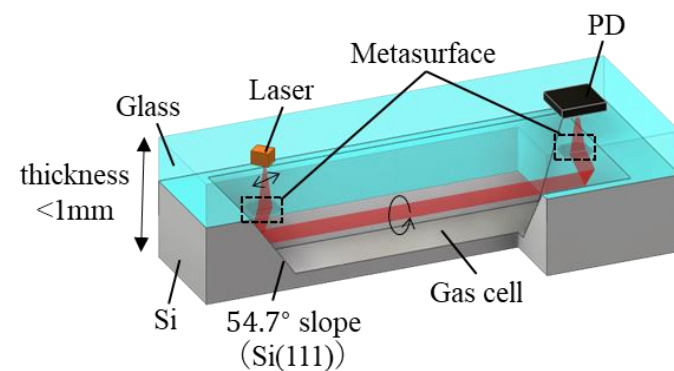
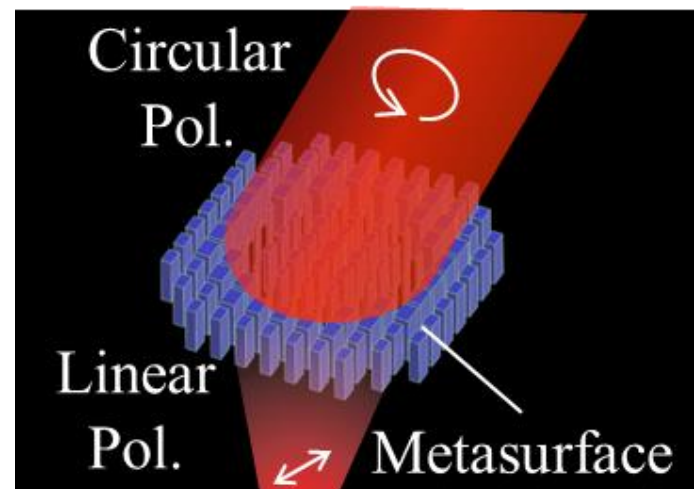
先端機械システム部門

准教授 岩見 健太郎

2023年 9月 7日

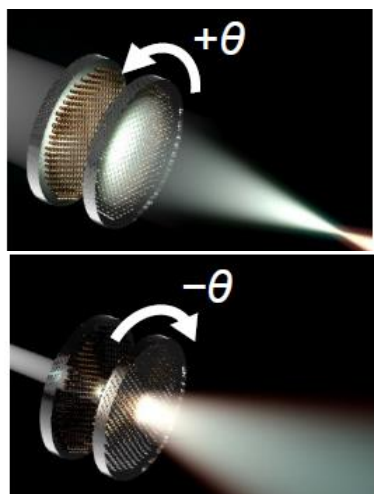
新技術の概要

- 従来は不可能であった、**複数の光学素子を1つに統合**するメタサーフェス技術を実現した。
- 超小型原子時計をはじめ、**光学式センサ・量子センサ等マイクロ光学セル**を利用する**幅広い用途**へ応用が見込める。

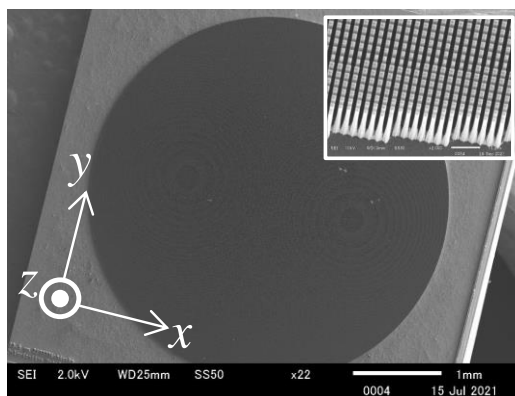


はじめに：メタサーフェスとは

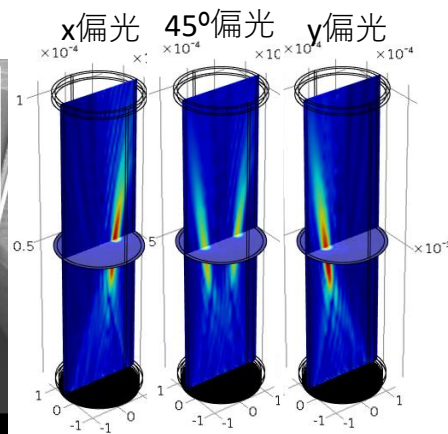
- 波長未満の大きさの構造体により光の透過率・位相・偏光・波面を制御する技術
- 極薄の光学素子（レンズ、偏光素子、ホログラフィなど）に利用



可変焦点メタレンズ



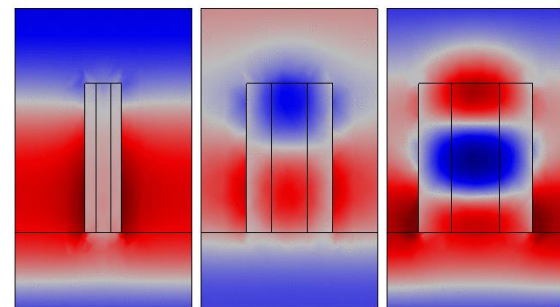
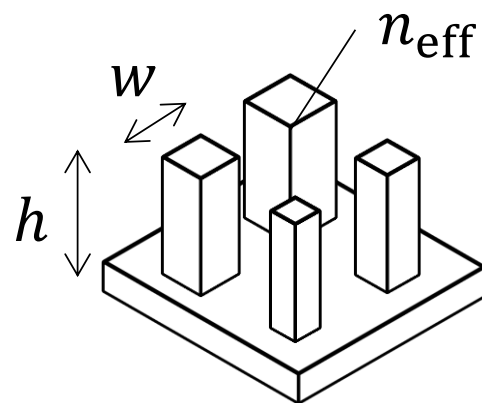
偏光分離メタレンズ



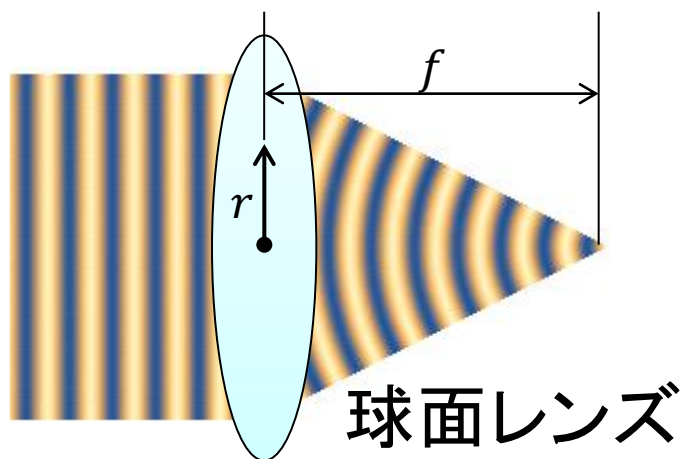
ホログラフィ動画

メタサーフェスの原理

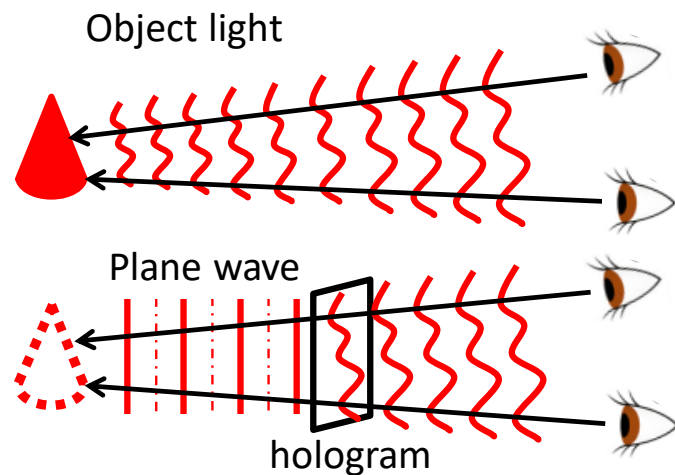
- 波長未満の周期で誘電体の柱状導波路を配置
- 柱の太さにより透過光の位相を制御し波面形状を変換



柱の太さと位相



球面レンズ



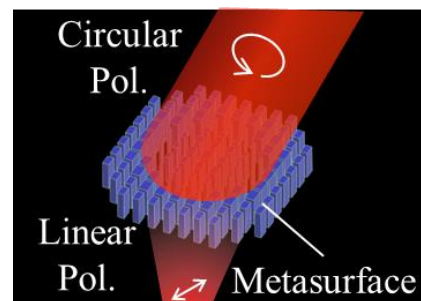
波面変換とホログラフィ

メタサーフェスでなにができるか

- 位相制御と波面制御 (位相格子)
偏光, レンズ, ホログラフィ,
構造化照明
- 偏光制御 (異方性メタ原子)
ベクトルビーム, 軌道角運動量,
光学活性
直線偏光分離、円偏光分離
- 光物性スペクトル制御
透過率、反射率、吸収率、輻射率
- 電磁場増強と局在化・非線形光学効果

位相格子・偏光素子としての応用に着目

複合メタサーフェス

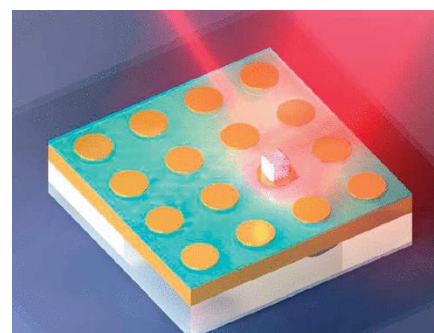


Ponrapee et al.,
応物春2023
17p-A305-2

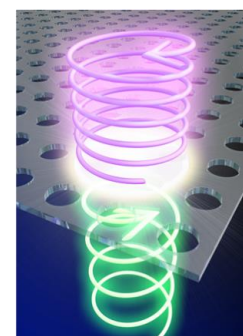
トップハットレンズ



嶋谷 et al.,
応物春2023
17p-A305-2



Liu, et al.,
Nano Lett. **10** 2342 (2010)

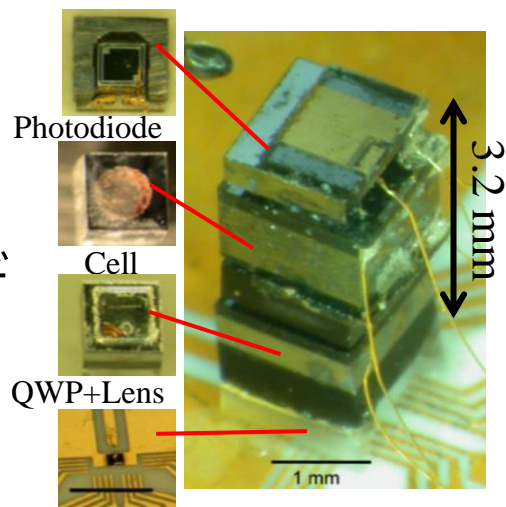


Konishi, et al.,
Optica **7** 855 (2020)

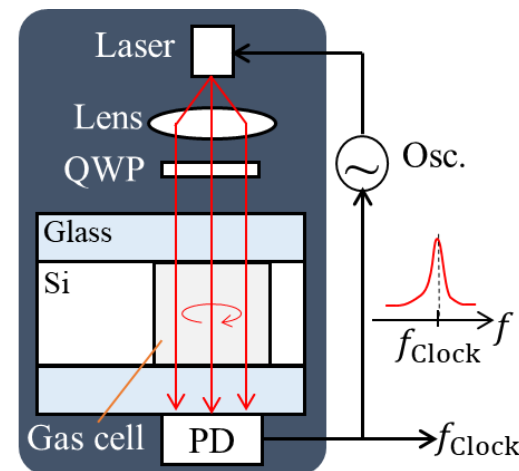
従来技術と問題点：小型原子時計

▶ 小型原子時計の必要性と現状

- 高速度通信のための高精度時刻同期
- 高精度ナビゲーションのための位置推定
- CPT共鳴方式により小型化が進行しているが、透過型光学セルを採用しており携帯デバイスには大きい
- 組み立てコストが高い



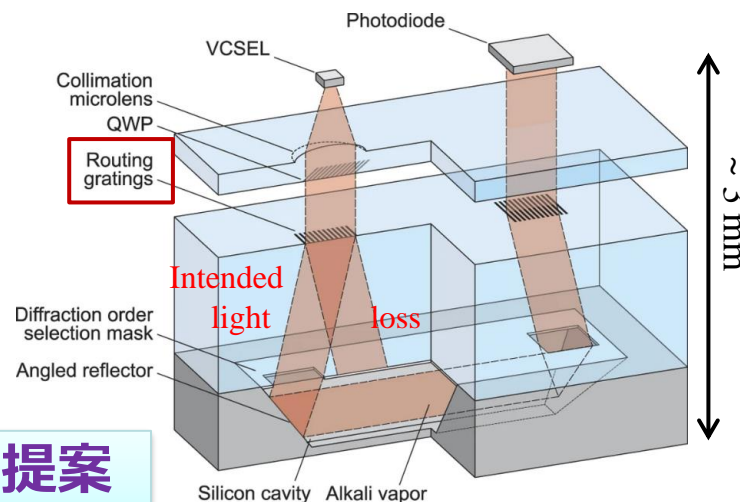
Laser P. Cash et al., EFTF 2018



CSAC structure w/ transmission-type gas cell

▶ 先行研究：反射型構成による小型化

- Si (111)面と回折格子の利用
- 片面実装による小型化・低コスト製造
- ±1次光の片方 (50%) がロスになる
- 外部にコリメータと1/4波長板必要



Chutani, et al., *Scientific reports* 5.1 (2015): 1-12.

メタサーフェスを用いた反射型原子時計を提案

提案技術の特徴・従来技術との比較

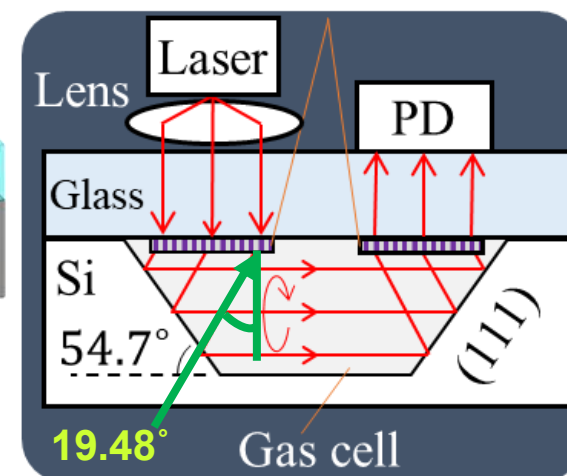
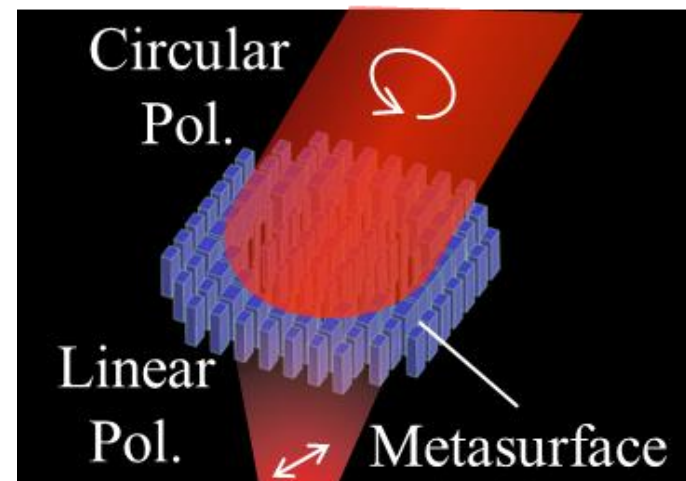
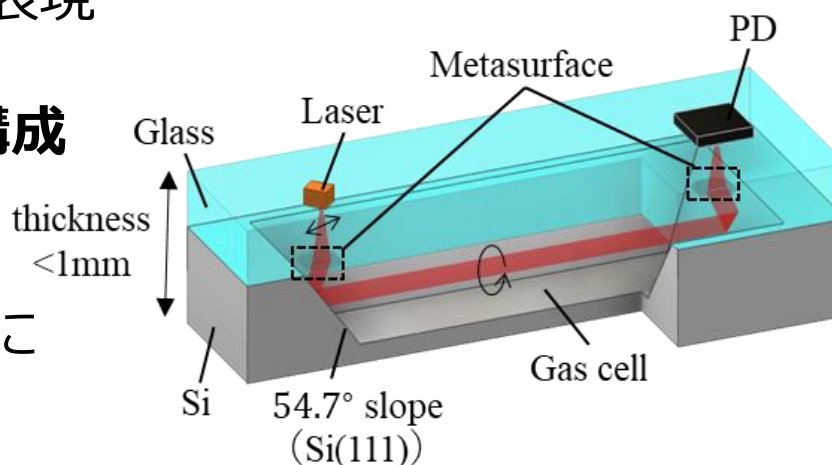
メタサーフェス集積原子時計の提案

➤ 多機能集積型メタサーフェス

- コリメータレンズ + プリズム + 1/4波長板の異種要素を1枚の極薄光学素子に統合
- 各要素の位相分布を重畳してメタサーフェスとして表現

➤ 提案する反射型ガスセル構成

- 光源、光検出器を片面実装でき、ウェハレベルパッケージングに対応（低コスト化）



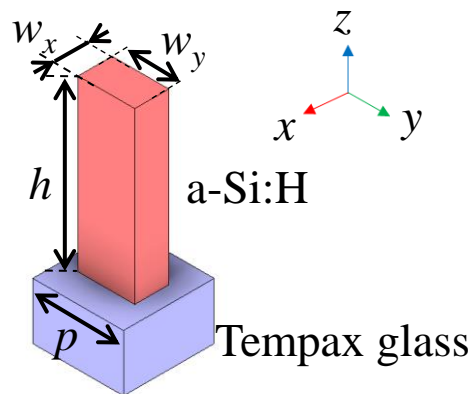
今回はプリズムと QWPの2機能集積化を実証

P. Ponrapee et al., Transducers 2023

従来技術との比較

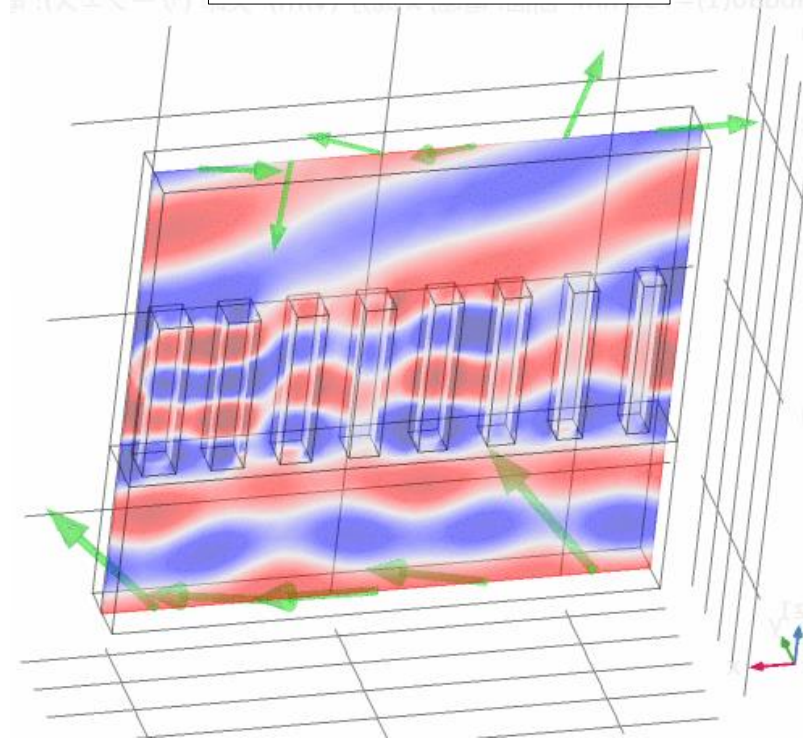
- 従来技術の問題点であった、 ± 1 次回折光の発生による**50%の光学損失を**、回折方向を1方向に限定することで**解消**。
- 回折格子・波長板・ポリメータレンズがそれぞれ別の光学部品で構成され大型化していたものを、メタサーフェスの技術より**1枚の素子に統合**、**小型化**。
- 原子時計を例として、厚さ1mm未満の低背部品としての実現を目指す。

プリズムと1/4波長板を統合したメタサーフェスの設計



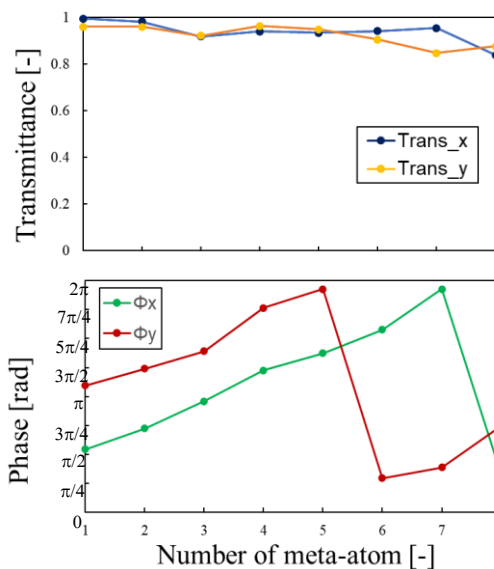
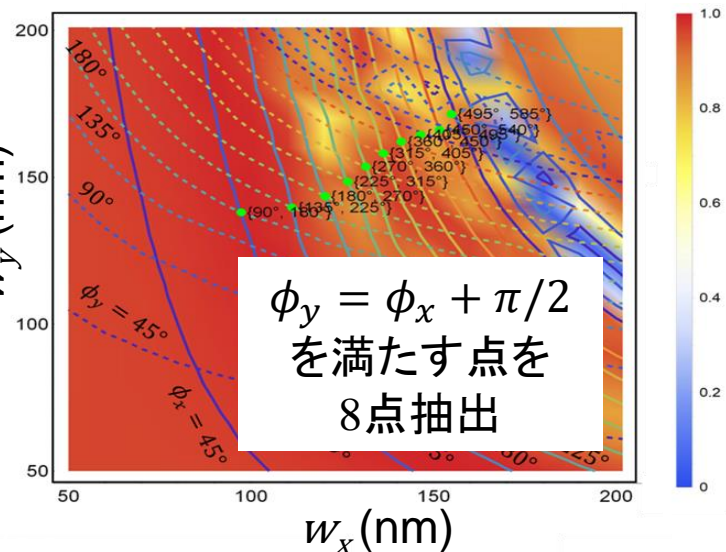
- $\lambda = 795 \text{ nm}$
- $p = 298 \text{ nm}$
- $h = 750 \text{ nm}$
- $\phi_y = \phi_x + 90^\circ$
- $\phi_x = \{90^\circ, 135^\circ, \dots, 405^\circ\}$

8 pillars for a supercell



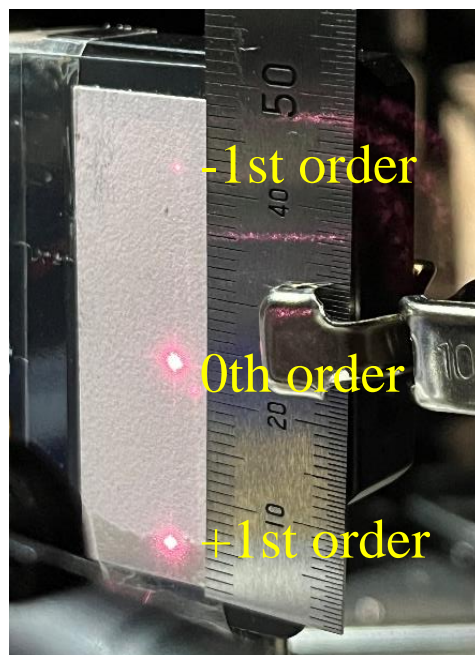
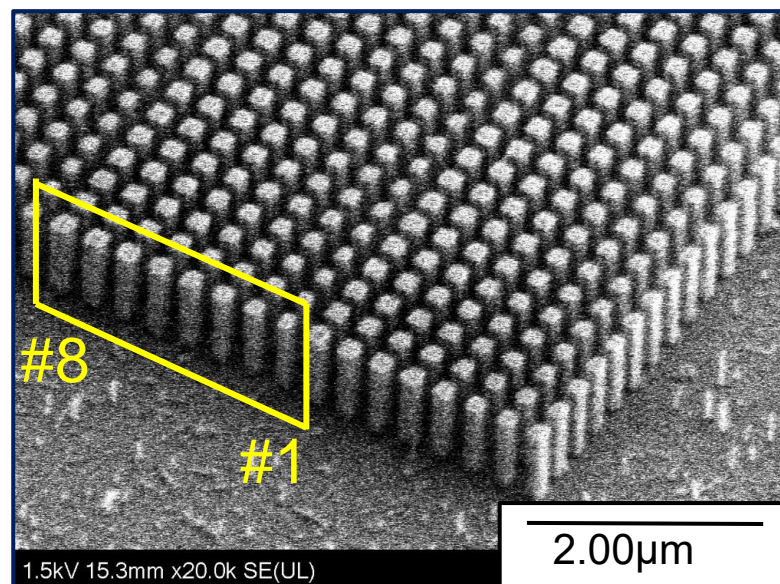
92.6% Diffraction efficiency

P. Ponrapee et al., Transducers 2023



製作・測定結果

電子線リソグラフィと反応性イオンエッチングによる製作



+ 1 次回折光の回折効率と偏光度の測定結果

+1 st diffraction efficiency	59.5% (92% in simulation)
Diffraction angle	19.24°
Transmittance	93.9%
DoCP	86.9%
DoP	99.4%

- 従来の回折格子(50%) を超える59.5%の回折効率を得られた。
- 製造工程を最適化し、設計効率92.6%を目指す。

P. Ponrapee et al., Transducers 2023

本技術の特徴

本技術の特色は、

- 多機能統合光学素子（レンズ、プリズム、偏光素子）の製作技術

と、それを応用した

- 超小型反射光学セルの製作技術

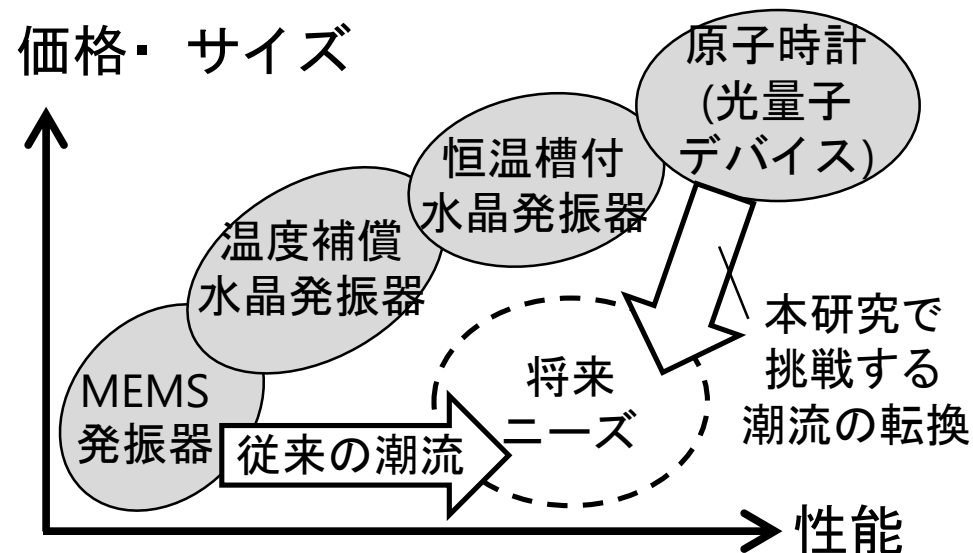
である。

→ **光学式センサ・量子センサ等のマイクロ光学デバイスや、マイクロ光学セルを用いる幅広い応用分野に応用が期待**

想定される用途

光学セルを利用する例

- 原子時計
- 原子ジャイロ
- 原子磁力計
- バイオセンサ
- 非分散赤外（NDIR）ガスセンサ
- 量子センサ（円二色性、光学活性計測）



多くの分野で「最高性能・最高級品」である光センサ・デバイスを小型低コスト化することを目指す

実用化に向けた課題

- 0次光（透過光）成分がまだ大きいのが、製造工程の最適化で解決できると考えている。
- Siとの接合技術、VCSEL・PDのマウント技術は今後獲得する必要がある。
- ガスセルの封止とCPT共鳴発生、原子時計動作達成を早急に確立する必要がある。
- 電子ビーム以外の高効率製造技術の確立も課題。

企業への期待

- 当技術は可視光・赤外光へも展開可能であり、具体的ニーズを有する企業との共同研究を希望。
- 高性能光センサ・デバイスの小型化・低コスト化を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 光学素子、光学セル、分析装置、及び光学素子の設計方法
- 出願番号 : 出願済み、未公開
- 出願人 : 国立大学法人東京農工大学、
国立研究開発法人情報通信研究機構
- 発明者 : 岩見 健太郎、原 基揚、
矢野 雄一郎、井戸 哲也

お問い合わせ先

東京農工大学
先端産学連携研究推進センター

Tel 042-388-7550

Fax 042-388-7553

e-mail suishin@ml.tuat.ac.jp



MORE
SENSE

Tokyo University of
Agriculture and Technology

