

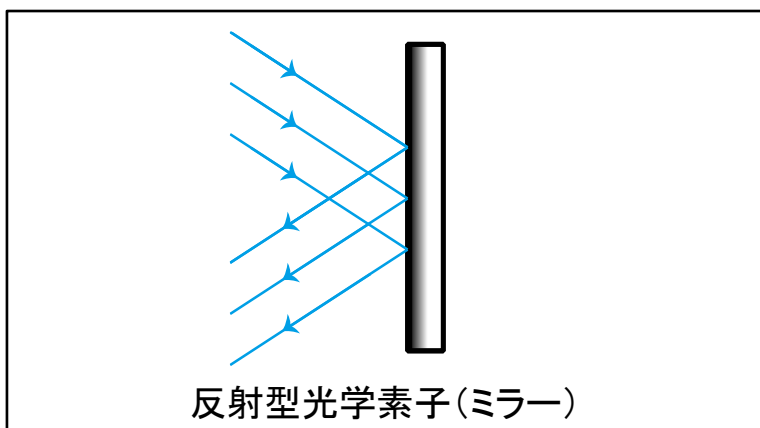
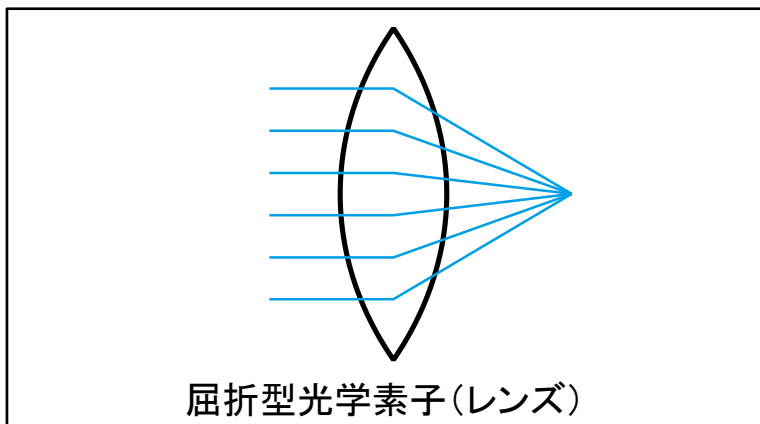
円偏光選択性を特徴とする 液晶ホログラフィック光学素子

大阪大学大学院 工学研究科 電気電子情報通信工学専攻
講師 吉田 浩之

2023年2月2日

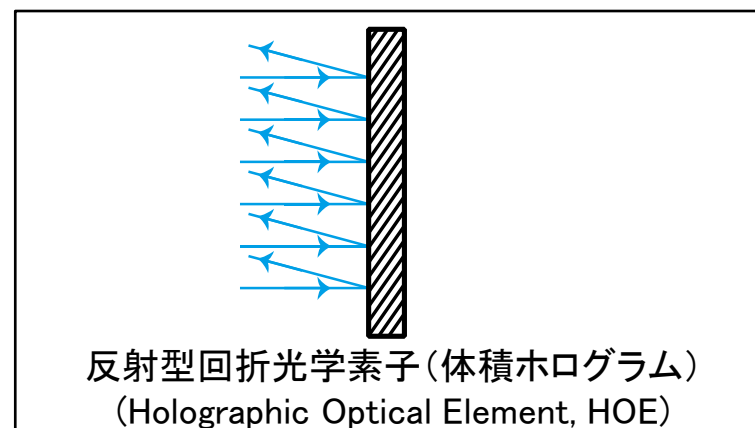
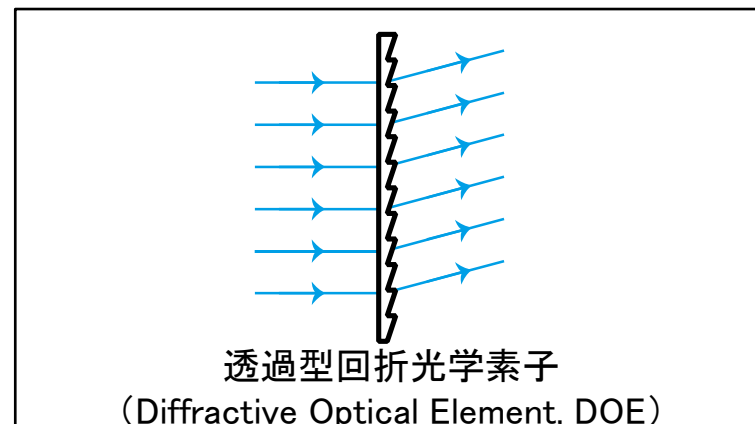


研究背景：回折光学素子



従来のレンズやミラー

- ・簡便に実現、扱いやすい
- ・大きい、厚い



回折(波が拡がり、重なり合う現象)で光を制御

- ・設計によってさまざまな機能
- ・波長選択性をもつ
- ・薄い、軽量

回折光学素子の応用例：導波路型ディスプレイ



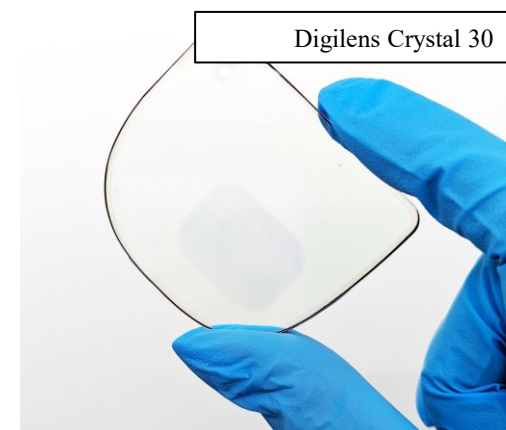
Microsoft HoloLens 2

<https://japan.cnet.com/article/35154097/2/>



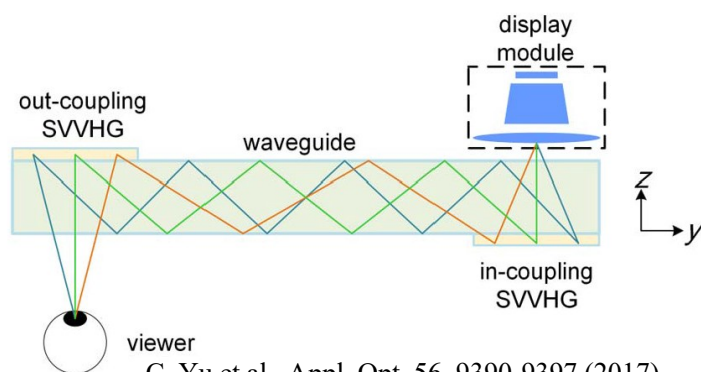
MagicLeap 2

<https://japan.cnet.com/article/35184832/>



Digilens Crystal 30

www.digilens.com/optics



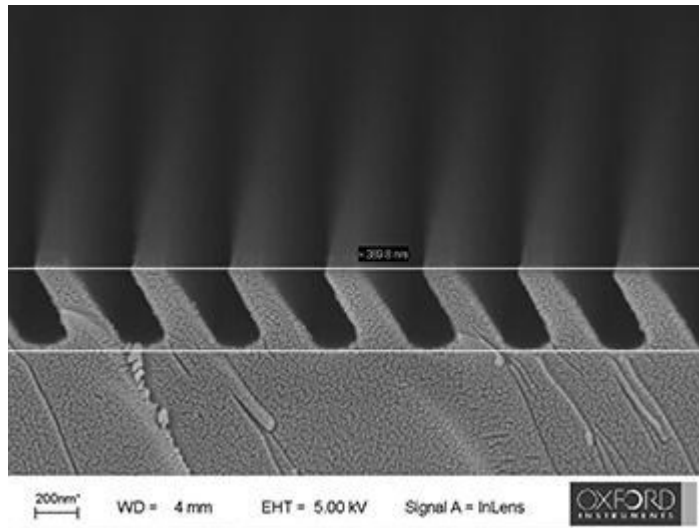
C. Yu et al., Appl. Opt. 56, 9390-9397 (2017).

- メガネフレームに取り付けられたディスプレイの画像を高屈折率の導波路にて同行し、眼の前で取り出す
- 半透過型で光を大きく偏向する光結合器を用いる
- 複数の技術が存在するが、明確な勝者は決まっていない
(ベンチャー多数)
- 表面レリーフグレーティング (surface relief gratings)
- 体積ホログラム (volume holograms)

液晶を用いた反射型ホログラフィック光学素子を提供

従来技術とその問題点

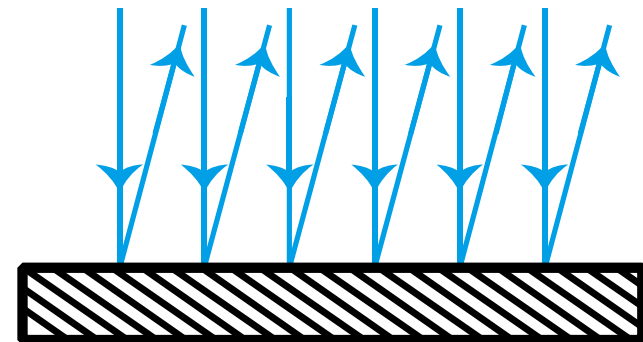
AR/VR応用に向けた大偏向角のホログラフィック光学素子には、表面レリーフグレーティングや体積ホログラム等があるが、コスト・大面積化・光学特性に関し問題があり、未だ開発途上である。



<https://plasma.oxinst.com/blog/2020/srg-manufacturing-quality-augmented-reality-headsets>

表面レリーフグレーティング

微細・周期的な溝を
ガラス基板に形成する



体積ホログラム

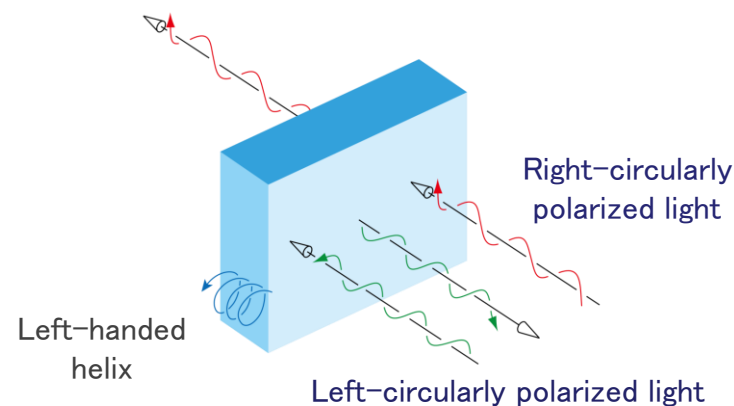
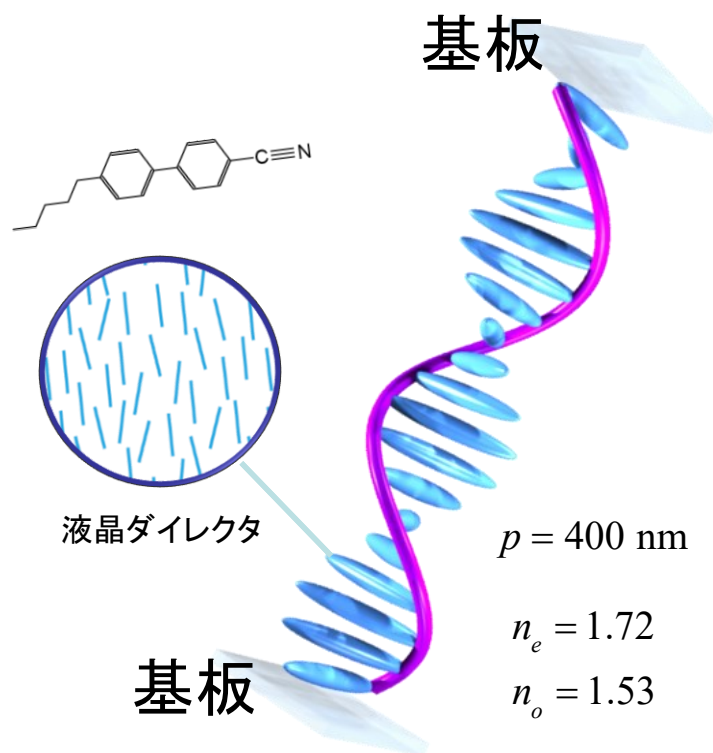
微細・周期的な屈折率分布をフォトポリマーの膜厚方向に形成する

新技術の特徴・従来技術との比較

- 液晶の自己組織化構造を利用した、新しいホログラフィック光学素子を実現した。
- 本素子は以下の特徴をもつ。
 - 特定の波長の光を反射し、設計に応じて偏向・集光などの回折機能を示す
 - 円偏光対して回折オン・オフの選択性を示す
- 液晶を基板に塗布成膜することで作製できるため、コスト・大型化の観点でも有利である。

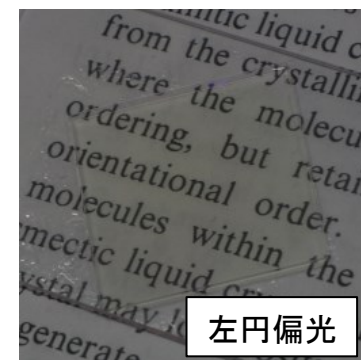
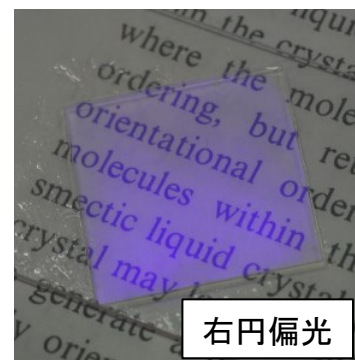


コレステリック液晶の利用



Selective reflection(選択反射):
螺旋と同じ巻き方向の円偏光が $n_o p - n_e p$ の
波長範囲においてブラッグ反射される

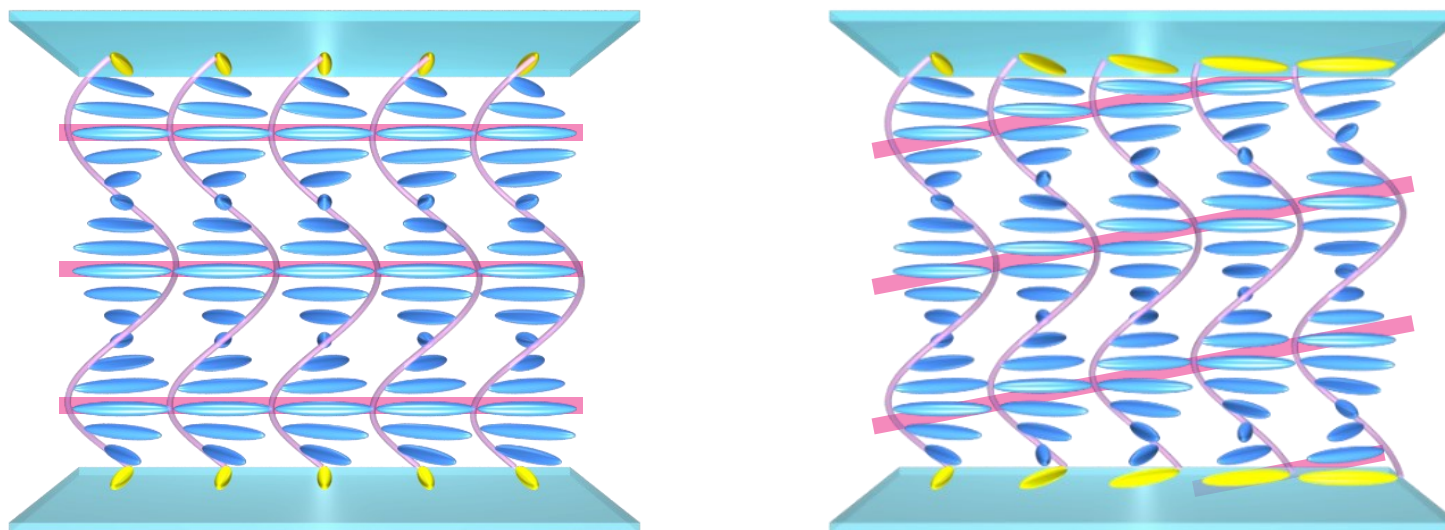
- コレステリック液晶
- 分子の平均的な配向方向(ダイレクタ)が螺旋構造を形成する
 - 屈折率: 1.5~1.7程度
 - 螺旋周期は数100 nm - μm
 - 選択反射を示す



2枚のガラス基板に挟んだ
右巻き螺旋構造のコレステリック液晶の選択反射の例

コレステリック液晶は螺旋周期構造のもち、光をブラッグ反射する

提案技術: コレステリック液晶 + 配向パターンニング



従来のコレステリック液晶素子 提案したコレステリック液晶素子

- 通常、コレステリック液晶は基板上で一様配向している
- 基板上で液晶分子の配向方向をパターンニングすることを考案

Nature Photonics **10**, 389 (2016)

基板上の配向方位を制御することで、反射面が傾斜する

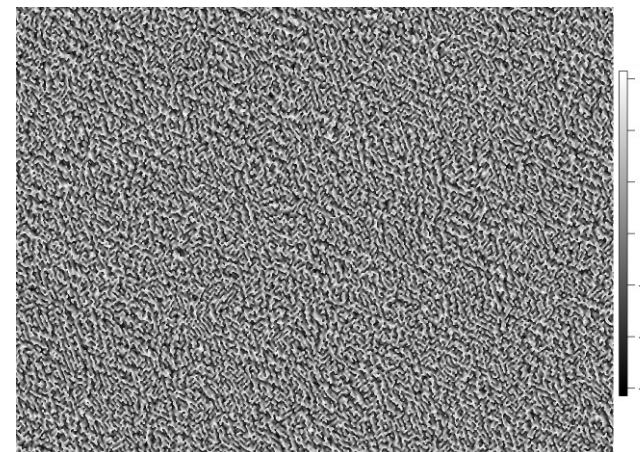
コンピュータ生成ホログラム



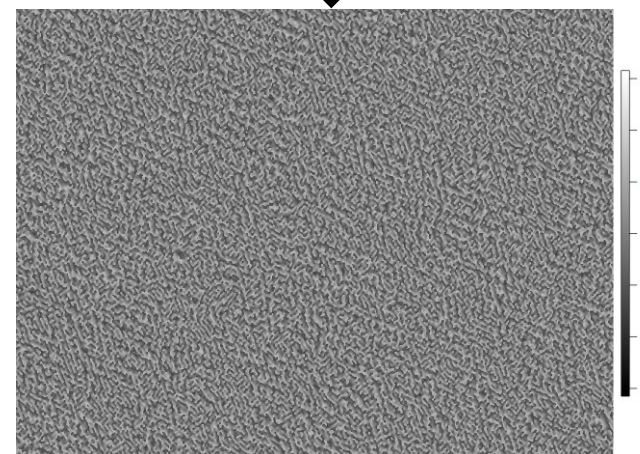
ターゲット像: 大阪大学ワニ博士



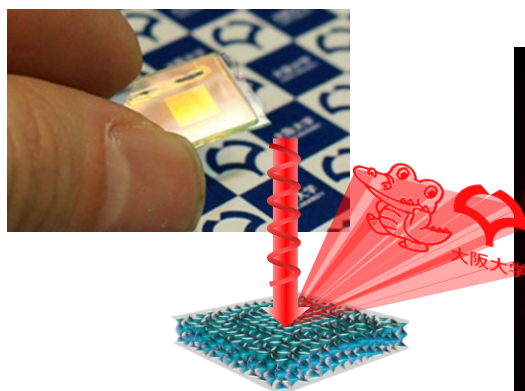
PCで位相パターンを計算
(ここではGerchberg-Saxton アルゴリズムを使用)



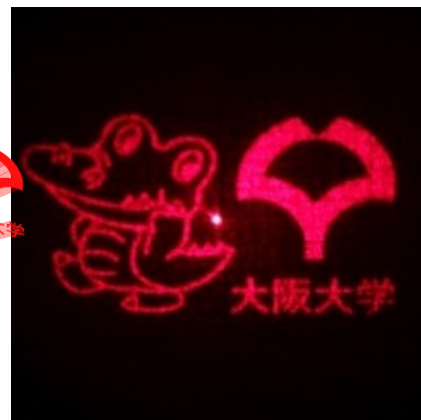
位相分布 ($0 - 2\pi$ rad.)



必要な配向分布 ($-\pi/2 - \pi/2$ rad.)



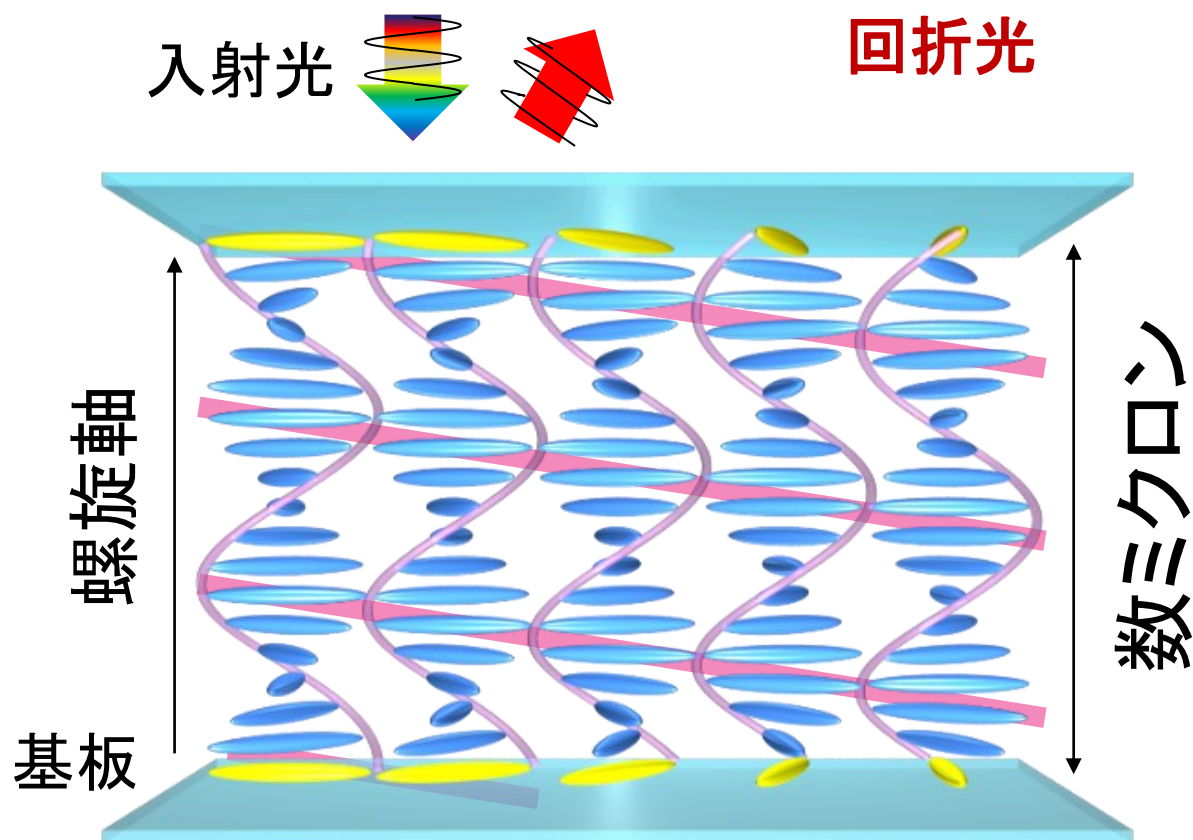
Sci. Rep. 7, 16470 (2017)



再生像

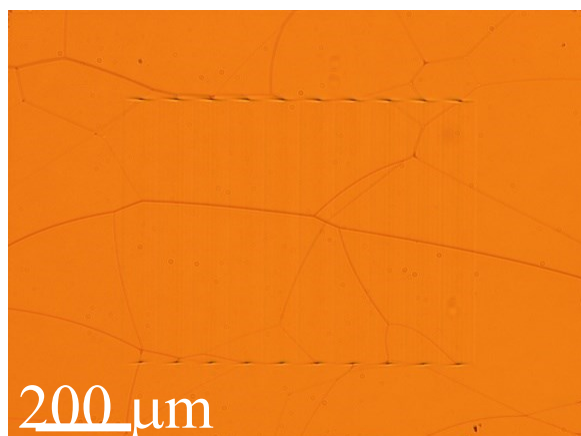
PC上の設計より、ブラッグ反射光について任意の波面を再生可能

反射型偏向素子(ブレード回折格子)

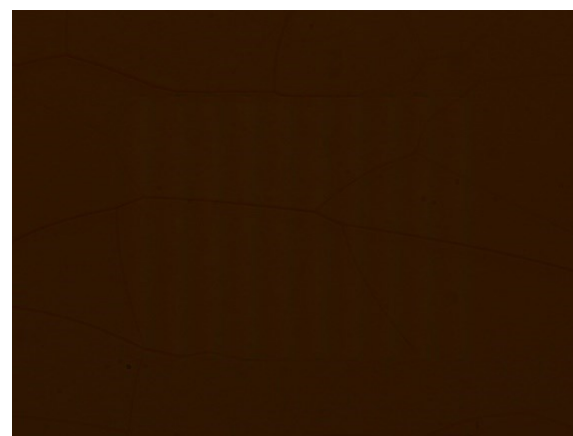


最も実用的な素子の一つが反射型偏向素子(ブレード回折格子)光を特定の報告に反射・回折する

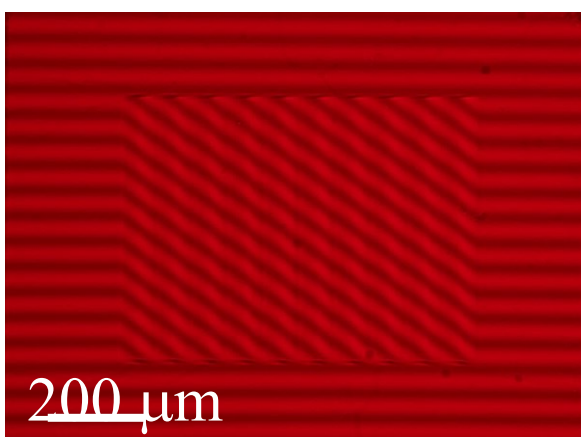
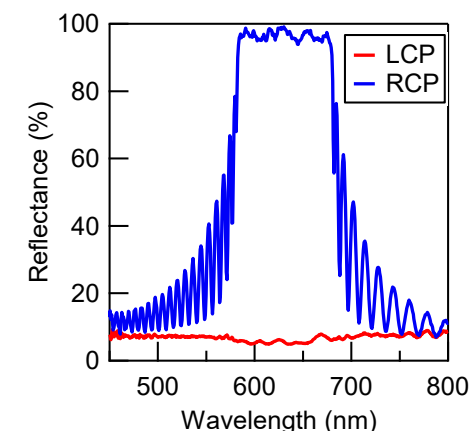
顕微観察評価



右円偏光入射



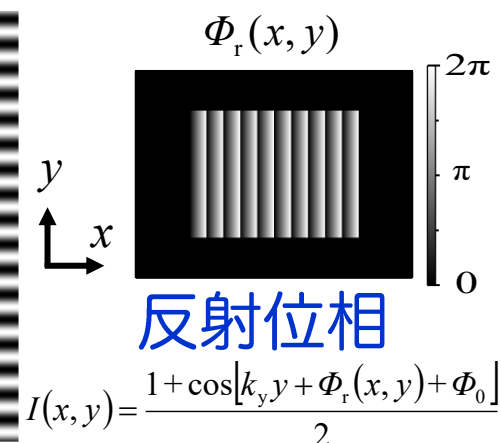
左円偏光入射



干渉系 ($\lambda = 632 \text{ nm}$)

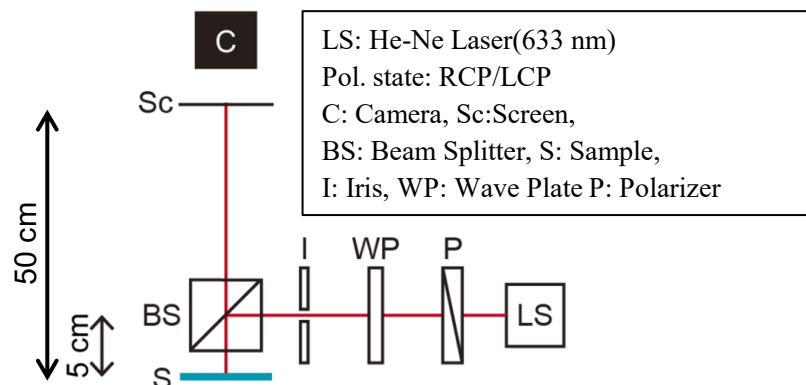


シミュレーション



光学組織は一様配向の組織とあまり変わらないが
干渉像より、波面が配向パターンニングにより傾いていることを示している

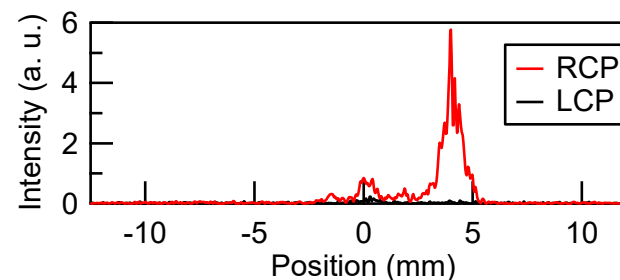
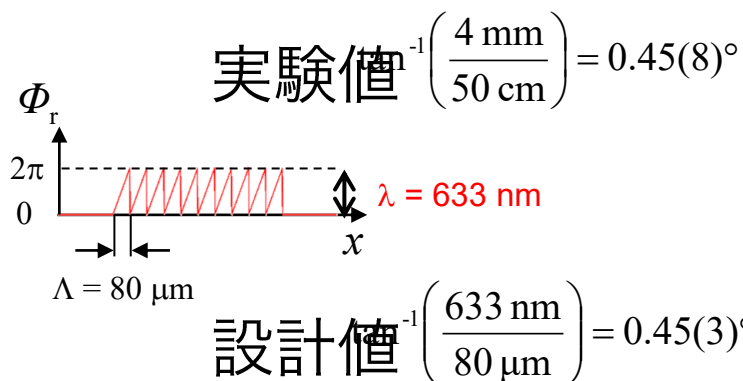
反射スポットからの反射角評価



RCP入射時



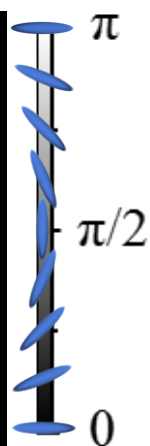
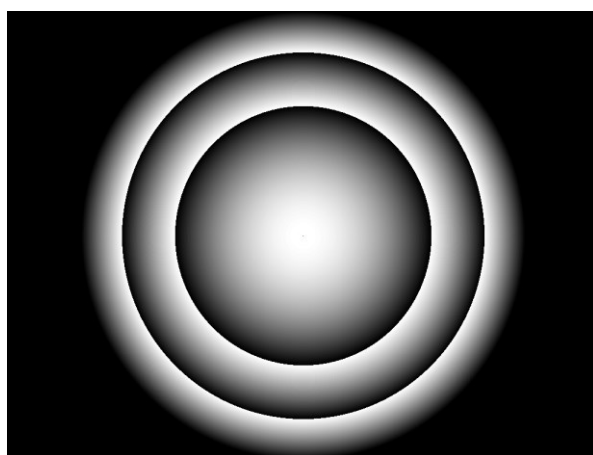
LCP入射時



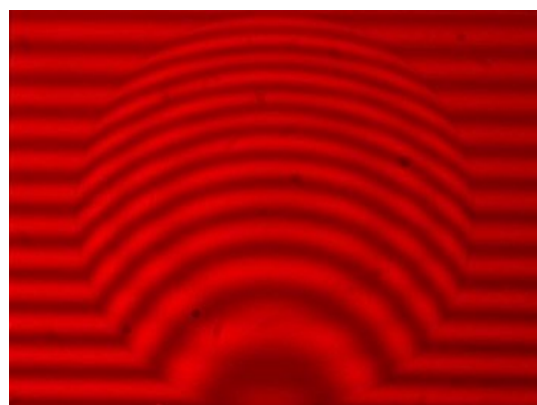
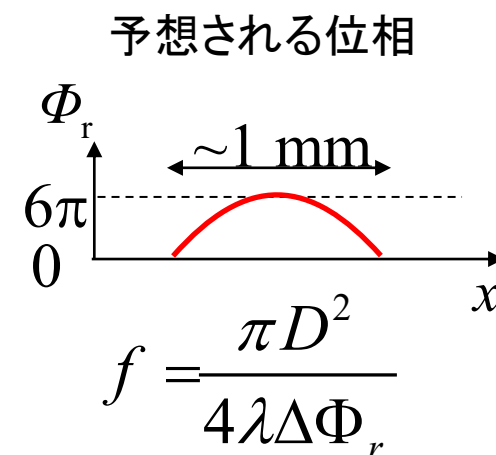
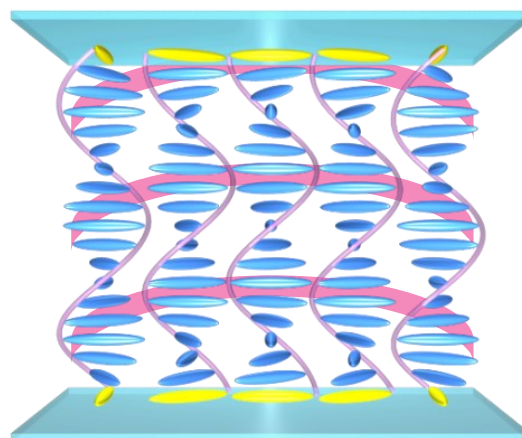
- セルの法線方向から約4 mm離れた位置に光パターン領域からの反射スポットが出現
- RCP-LCPのコントラスト比は63:1と高い円偏光選択性
- 反射角の実験値と設計値は良い一致を示した

設計通りの反射光の偏向を確認、反射・偏光は円偏光選択制を示した
最新の試作では>90度の回折を示す素子を実現している

コレステリック液晶を用いた反射型レンズ素子



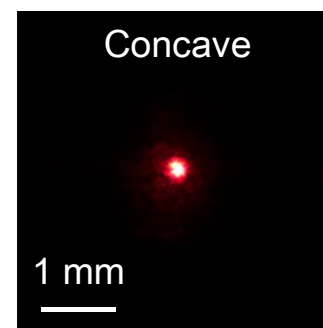
放物プロファイル



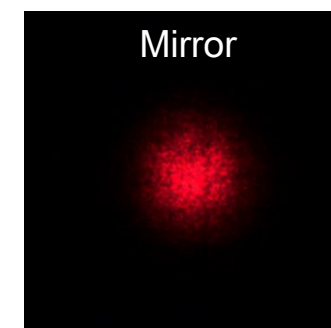
干渉顕微鏡像 ($\lambda \sim 633 \text{ nm}$)



シミュレーション



反射レーザースポット
(表面)



反射レーザースポット
(参照平面鏡)

パターンを基板上で放物状に変化させることで、集光効果が得られる

想定される用途

- 本技術は新しい偏光依存型の回折光学素子としてAR/VR、HUDなどの光学系に適用できると期待される。
- また、波長選択制、偏光選択制を利用し、液晶スイッチと組み合わせることで、透明ディスプレイなどへの応用も考えられる。



実用化に向けた課題

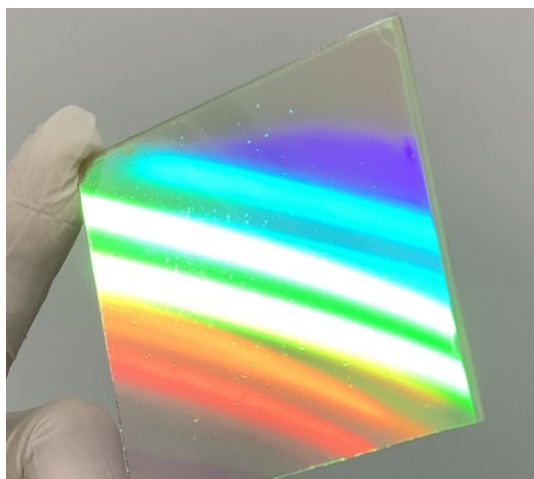
- 本技術は新しい光学素子であり、様々な光学系に適用し、その有効性を検証するフェーズにきていると考えられる。
- 研究室では素子の試作を行っているが、本素子を搭載した光学システムに関する研究は今後、検討する予定である。

実用化にむけて光学系の試作による評価および課題の明確化が重要である。



企業への期待

- 本技術の提供する回折光学素子の応用を検討されている企業との共同研究を希望。
- MTA等によるサンプル提供の可能性あり。
- 本技術は汎用的な回折光学素子であり、様々な光学機能を実現できるため、必要な仕様等を議論し試作するパートナーシップを期待。



□50mm大型反射偏向素子



AR光学系を用いた実験

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : 光学素子
 - 出願番号 : 特願2020-559117
 - 出願人 : 国立大学法人大阪大学
 - 発明者 : 吉田浩之
-
- 発明の名称 : 反射構造体、機器、
及び反射構造体の製造方法
 - 出願番号 : 特願2015-113793
 - 登録番号 : 6434140(日本)、15/579,158 (US)、
16803395.9(EP)
 - 出願人 : 国立大学法人大阪大学
 - 発明者 : 吉田浩之



お問い合わせ先

大阪大学

共創機構 イノベーション戦略部門 知的財産室

<TEL> 06-6879-4861

<e-mail> tenjikai@uic.osaka-u.ac.jp

