

# ナノオーダーの周期構造による光制御 技術を用いた光学素子の作製とLED 及びレーザーの照明応用

三重大学 大学院工学研究科 電気電子工学専攻  
オプトエレクトロニクス研究室

光制御・ライティンググループ(元垣内グループ)

准教授 元垣内 敦司(もとがいと あつし)

# 本日の発表内容

- **ナノオーダーの周期構造による光制御技術を用いた光学素子の作製**
  - 電子線描画によるものづくり
  - 回折と表面プラズモン共鳴について
  - シーズとなる研究成果
    - 回折レンズ
    - 表面プラズモンセンサー
- **LED及びレーザーの照明応用**
  - 測光量測定技術
  - 植物栽培用LED光源の評価とLED照明を用いた植物栽培
- **光技術に関する地域貢献活動**
- **最後に**

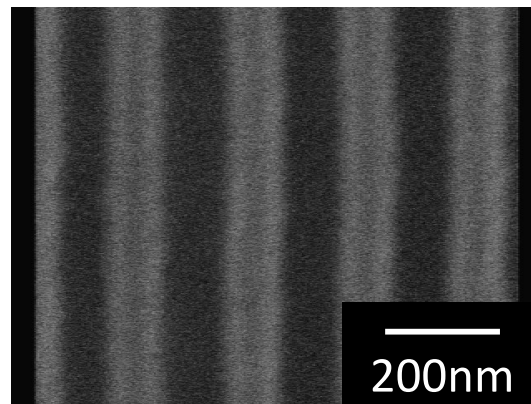
## ナノオーダーの周期構造による光制御技術を用いた光学素子の作製

# ナノテクで光を制御する

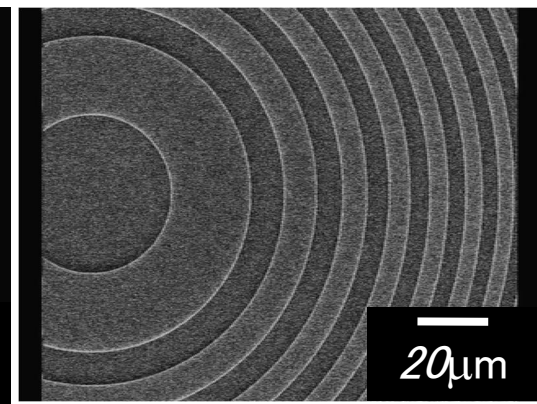
- キーワードは、**ものづくり、周期構造、ナノ、電子線描画**
- **電子線描画装置でナノ構造を作製し、新しい機能を持つ光学素子を実現する**
  - － 表面プラズモンを利用した屈折率センサー、高性能偏光フィルター、白色発光体、短波長可視光・近紫外光用バンドパスフィルターの開発
  - － 周期構造を用いた焦点分布制御型回折レンズの開発



電子線描画装置



金属回折格子構造

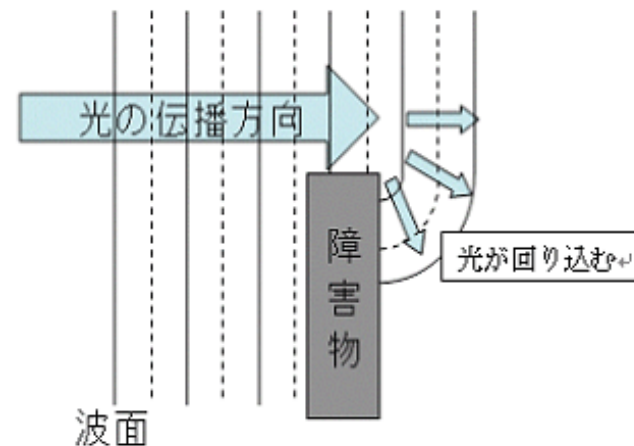
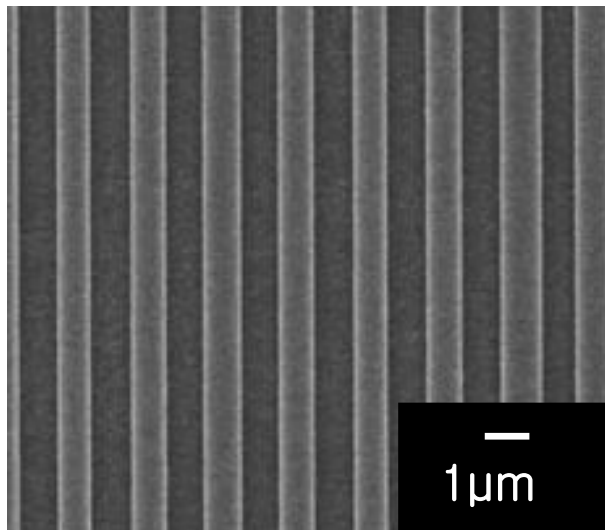


誘電体回折格子を用いた円形回折レンズ<sup>4</sup>

# 光の回折

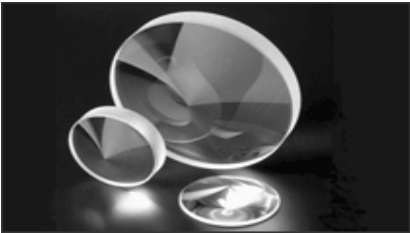
## ■ 障害物の裏側に光が回りこむ現象

- 障害物の裏側に光が回りこむことは、ホイヘンスの原理で説明可能。
- 明暗の縞は、光の干渉現象による。

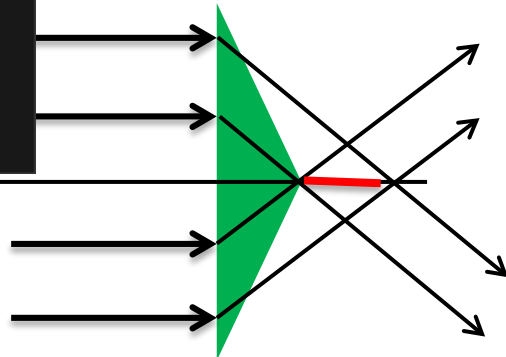


# 焦点分布制御型回折レンズ

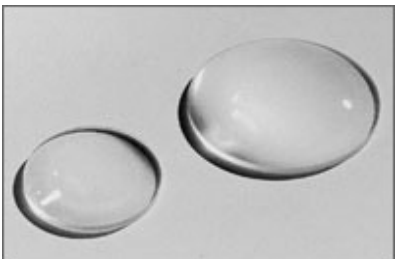
アキシコンレンズ



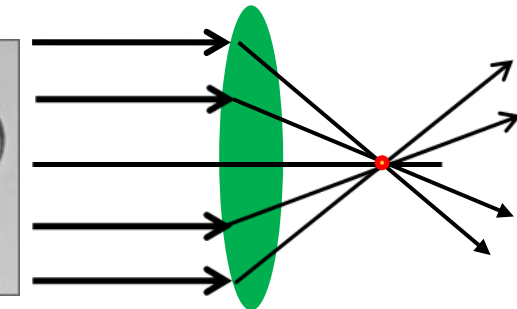
頂角によって焦点深度を制御



凸レンズ

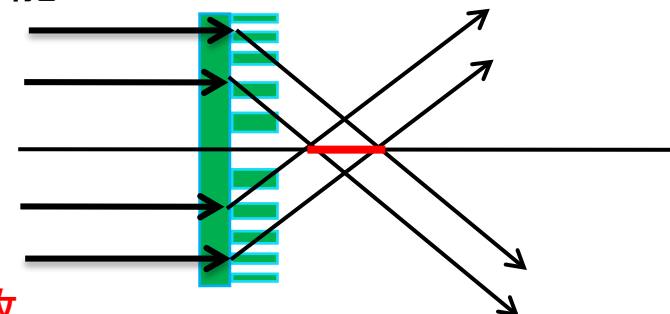
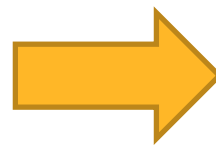


レンズの曲率半径と屈折率で焦点距離を制御



## ■ アキシコンレンズ+凸レンズ=焦点分布制御型回折レンズ

- 電子線リソグラフィ技術により容易に作製が可能
- ナノインプリントにより大量生産、大面積化が可能
- レンズの構造の高さを抑えることにより薄型化が可能



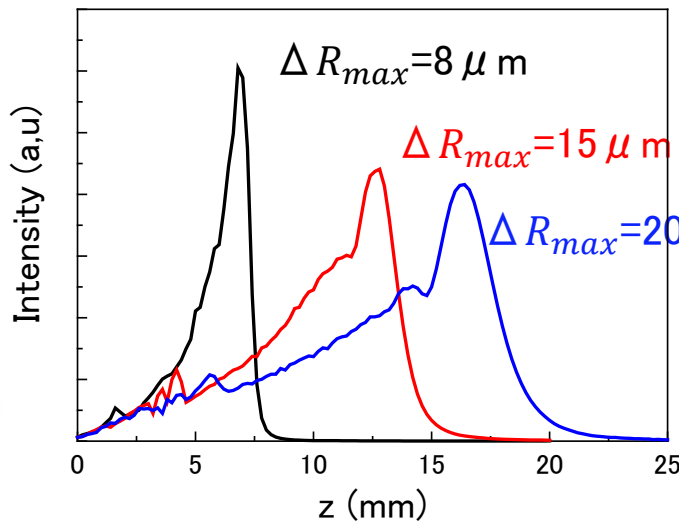
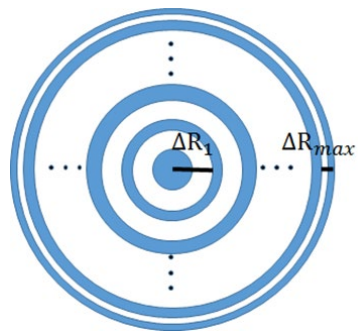
2つのレンズ機能を1枚のガラス基板で実現

焦点分布制御型回折レンズ

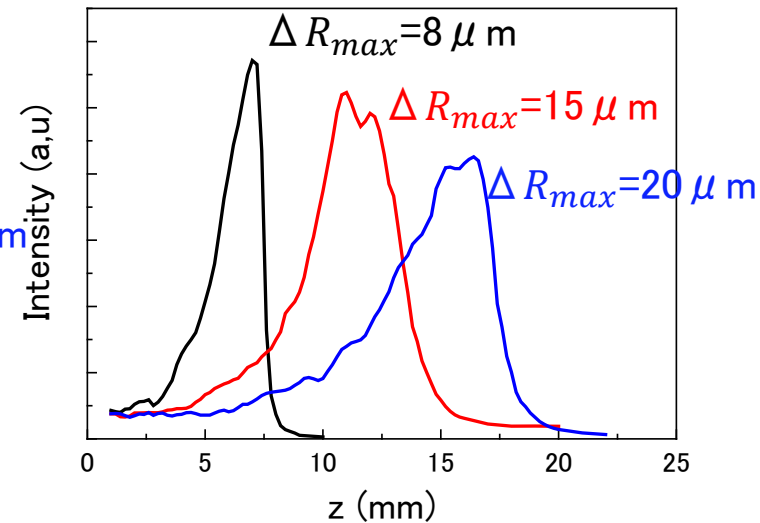
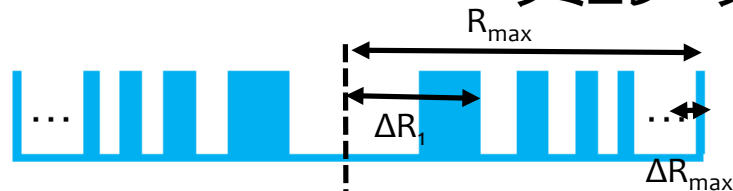
	アキシコンレンズ	凸レンズ	焦点分布制御型回折レンズ
焦点	円錐面の頂角の大きさに焦点深度を制御	レンズの曲率半径と屈折率で焦点距離を制御	周期構造により焦点深度、焦点距離を同時に制御

# 光強度測定結果(z方向, x=0 mm)

中央部の輪帯間隔 $\Delta R_1=30\mu\text{m}$



シミュレーション結果

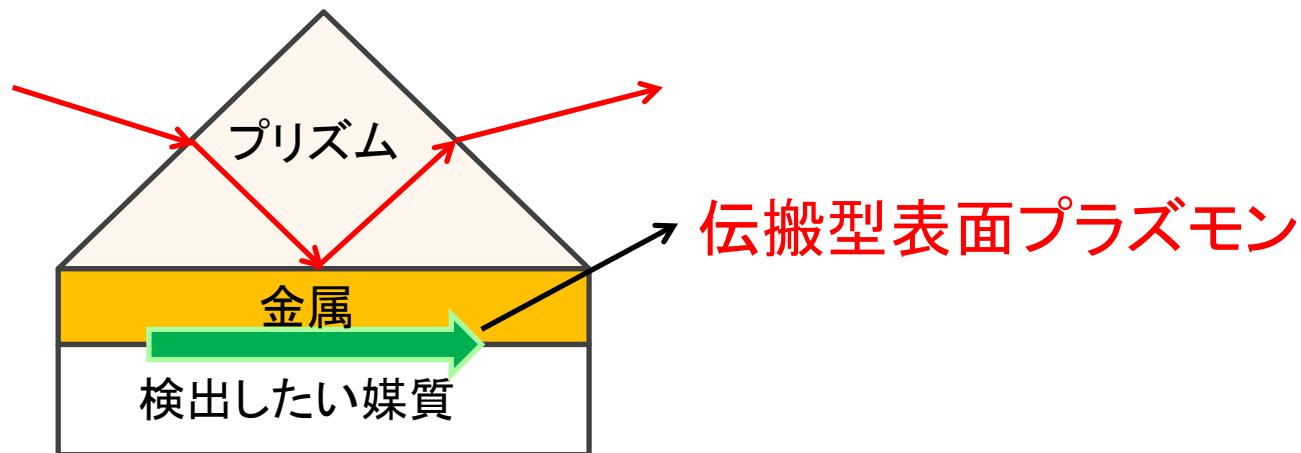


測定結果

- どの構造でも測定結果とシミュレーション結果のピークの位置がほぼ一致
- 構造を変えることでピーク位置とピーク幅の変化を確認
- 構造を変えることで焦点分布を制御できることを確認
  - レーザー加工やレーザー顕微鏡などに応用可能

# 表面プラズモンとは

- 金属表面での自由電子の集団的振動を**表面プラズモン**という。
- 金属に光が当たると、金属表面の自由電子はその影響を受けて、光の電界振動と金属の集団的振動が共鳴(**表面プラズモン共鳴**)して、**表面プラズモンと結合した電磁波**(表面電磁波)のことを**表面プラズモンポラリトン**という。(以下、表面プラズモンと呼ぶ。)
- 一般的に表面プラズモンを励起する方法として、全反射減衰法が利用されており、プリズムと金属薄膜からなるKretschmann配置が知られている。

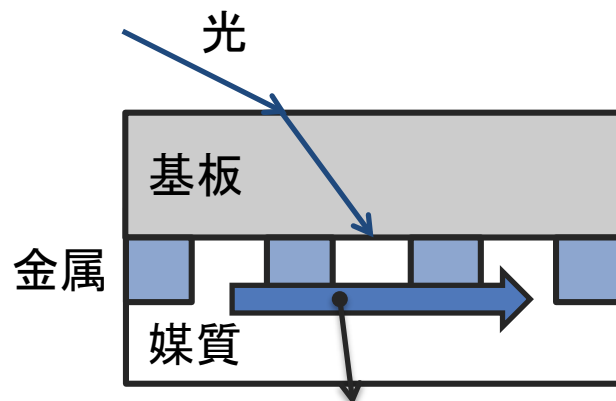


Kretschmann配置

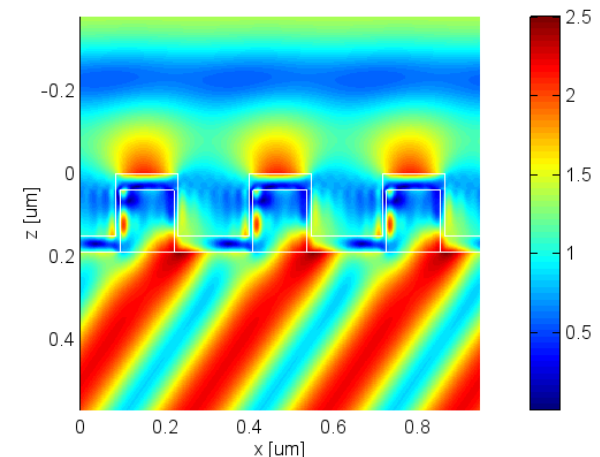


# 表面プラズモンセンサー

- 伝搬型表面プラズモンを用いた表面プラズモンセンサー
  - 金属表面に接触している媒質のセンシングが可能(環境計測などに応用可能)
  - 屈折率変化を高感度に測定可能(屈折率計に応用可能)
- 回折格子法
  - 金属回折格子において、格子に光を入射したときに起こる回折を利用して表面プラズモンを励起させる方法
  - プリズムを用いた方法に比べ、小型化、表面プラズモンの励起条件を選びやすい
- 金属ナノスリットで表面プラズモン共鳴が発生すると光の異常透過現象が発生
  - 元垣内他、特許第6534114号 光学装置の製造方法及び光学装置



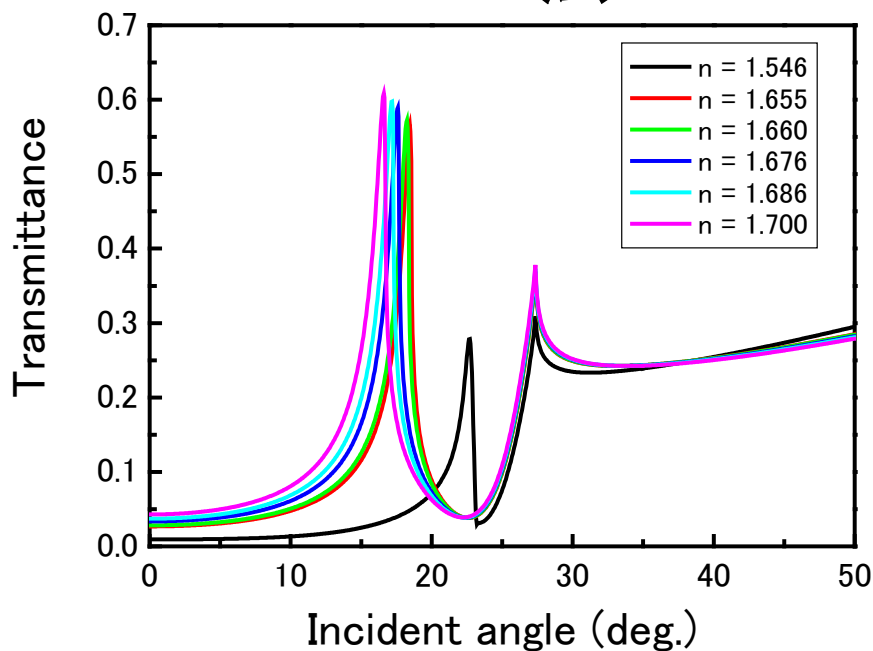
表面プラズモンポラリトン



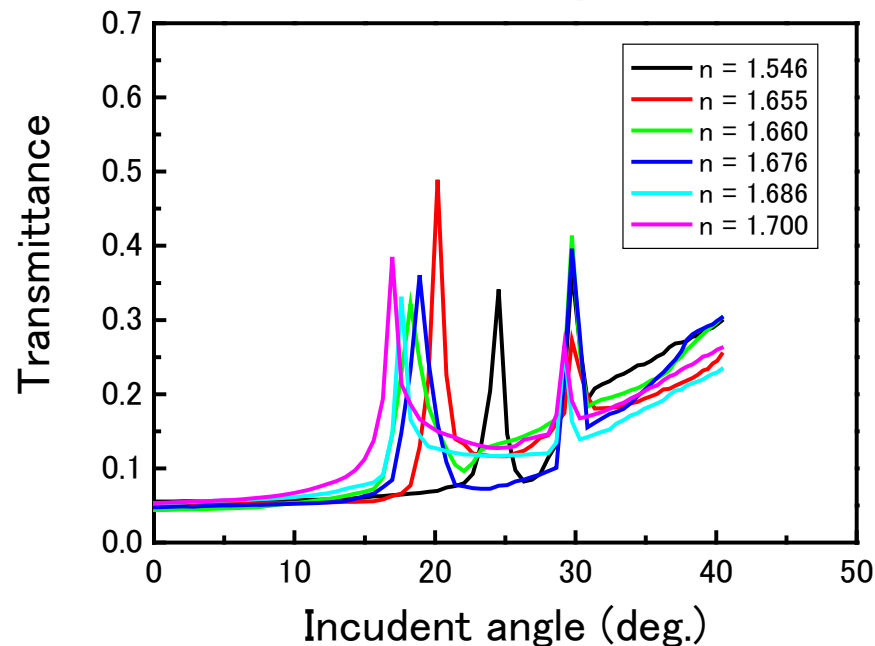
金属回折格子による異常透過現象。

# 周期300nmの金属回折格子を用いた表面プラズモンセンサー

## RCWA法



## 実験結果



- 2-4ジクロロトルエン ( $n=1.55$ )、1ブロモナフタレン ( $n=1.65$ )、1ヨードナフタレン ( $n=1.70$ )などで測定
  - 屈折率に依存しないピーク
  - 屈折率に依存するピーク ⇒ このピークを使ってセンシングをする

## LED及びレーザーの照明応用

# 所有している測光技術装置など(照明に関する評価装置)

- **色彩輝度計**
  - 輝度 ( $\text{cd}/\text{m}^2$ )
  - 色度 (光源色)
- **照度計**
  - 照度 ( $\text{lx}$ )
- **分光色差計**
  - 物体色
  - 分光反射率
- **LED全光束測定用積分球 ( $\text{lm}$ )**
- **LED配光測定装置**
  - 光度分布の測定
  - H29.3に三重県工業研究所に譲渡
- **分光放射照度計**
  - 分光放射照度 ( $\text{W}/\text{m}^2/\text{nm}$ )



色彩輝度計



分光色差計

# 次世代LED照明光源の研究開発 光技術を通して地域に貢献

## LEDの植物工場への応用

- 植物育成に適したLED光源を開発する。
- 現在、伊賀市内の企業と生物資源学研究所と3者で共同研究実施中

## その他の開発実績

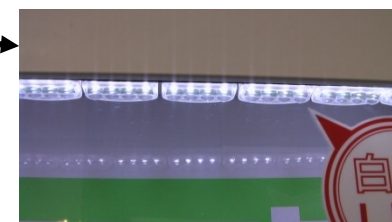
- 伊勢形紙とLEDを組み合わせた感性系照明
- 自動販売機用白色LED照明



LED電球を用いたサラダ菜の栽培



伊勢形紙と組み合わせたLED照明

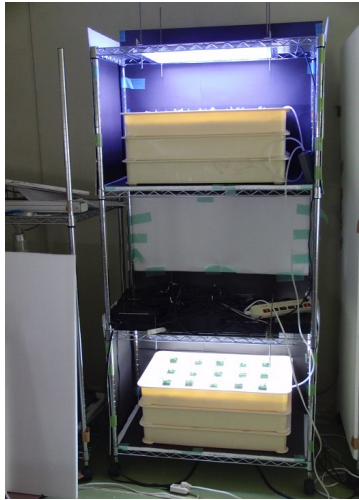


自動販売機への白色LED照明応用

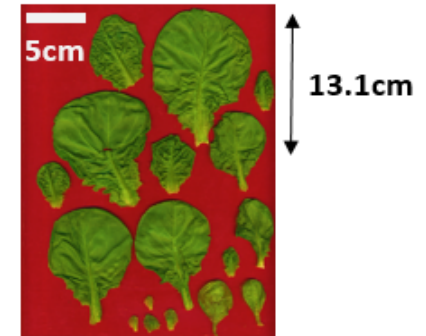
# LED照明機器を用いた植物栽培

- サラダ菜の葉の成長過程
  - 青色と赤色の光量子束密度のバランスが重要

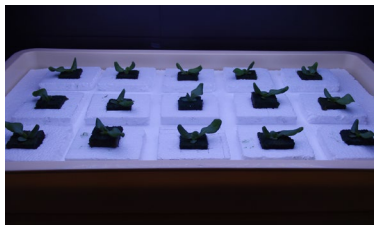
➤ B 100% G 100% R 100%



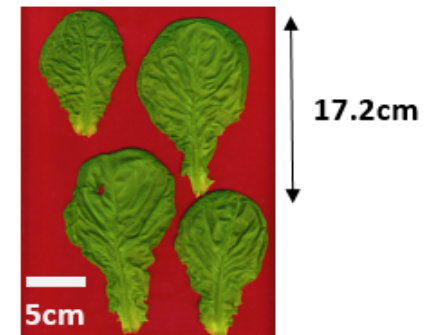
B 100% G 100% R 100%



➤ B 20% G 100% R 100%



B 20% G 100% R 100%



4日目

15日目

## 光技術に関する地域貢献活動と最後に

# 光技術に関する地域貢献活動

- **平成29年度より光技術による地域貢献活動を行っています。**
  - 三重大学地域貢献活動 「光技術による産学官の連携と地域産業の振興」
    - 次世代自動車エレクトロフォトンクス研究会の立ち上げ(会員募集中)
    - 近畿地方や秋田県との広域連携活動
    - 光やあかりに関する各種啓蒙活動
  - 詳細は、意見交換会で



# 最後に

- ナノ構造を駆使したデバイス作りは、今までできなかったことができる可能性を秘めている。
- 電子線リソグラフィを用いたデバイス作りは事業化までのハードルが高そうに見えるが、一度形が決まり製品化に目途がつけば、フォトリソグラフィやナノインプリント技術を利用することで、コストを下げるができる。
- できるだけニーズにシーズが寄り添う形での産学連携を考えます。
- LED照明はすでに大学での基礎研究から企業の開発レベルに達しているので、レーザー照明などポストLED照明を考える時期である。
- 照明器具の測定の支援は、引き続き行います。