

# Photothermal Common-path Interferometryを用いたMoth eyeコーティングの吸収率測定

三尾研究室 M2 柳光 孝紀

# 目次

- 背景
  - レーザーと熱
  - Moth eye構造
- 原理
  - Photothermal Common-path Interferometry
- 実験方法
- 結果
- まとめ
- 今後の展望

# 背景

# 背景

・高出力かつ高品質なレーザーが求められている領域

・重力波検出器

干渉計で重力波検出

散射雑音:  $1/\sqrt{(\text{光源の強度})}$

雑音低減

・波長変換

非線形光学結晶に  
高強度レーザー入射

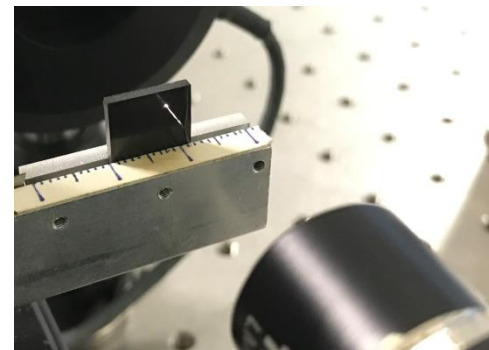
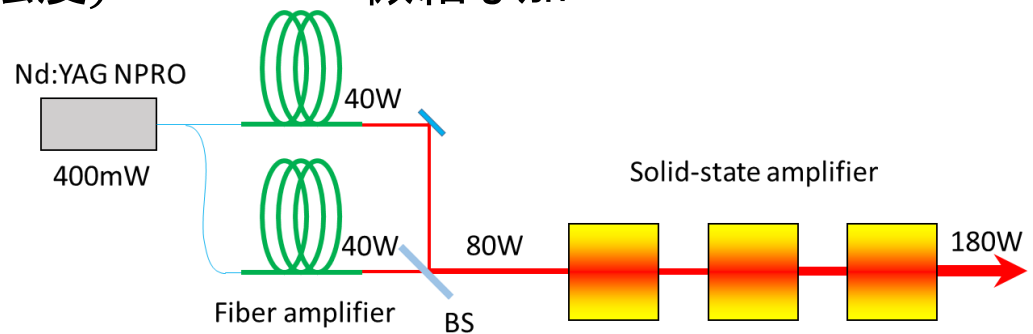
➡ 波長変換

高品質な波長変換

・レーザー加工

加工の難しい材料への

微細な加工



# 背景

- ・ハイパワーレーザーを使う上での素子による光吸収の問題

光を吸収 → 熱影響(熱破壊、熱レンズ効果、熱複屈折効果)

↑  
ビームの質に悪影響

コーティングによる光吸収が問題

AR(Anti Reflection), HR(High Reflection)

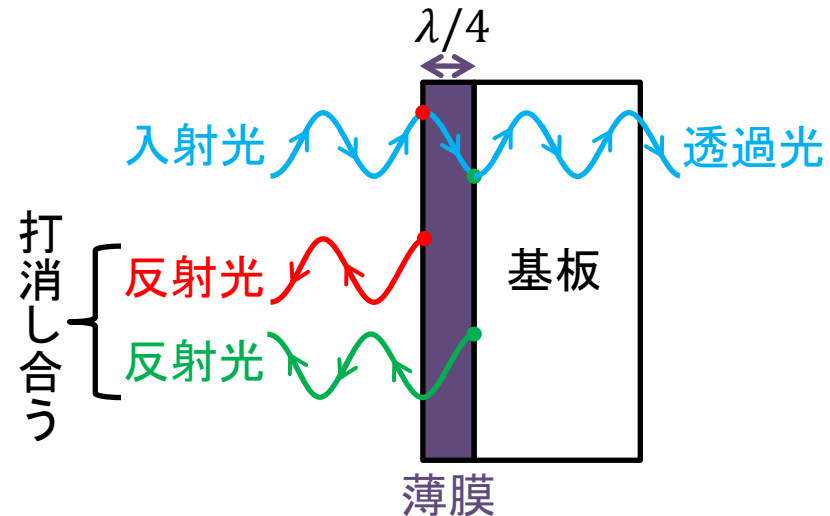
特に、ARコーティングで問題

薄膜内で大きな光吸収



薄膜を使わない低反射構造: Moth eye構造

Moth eye構造表面での光吸収を考える



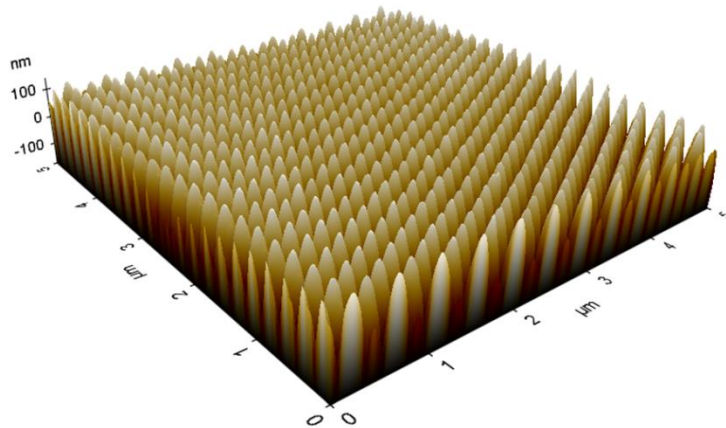
薄膜によるARコーティング

# 背景

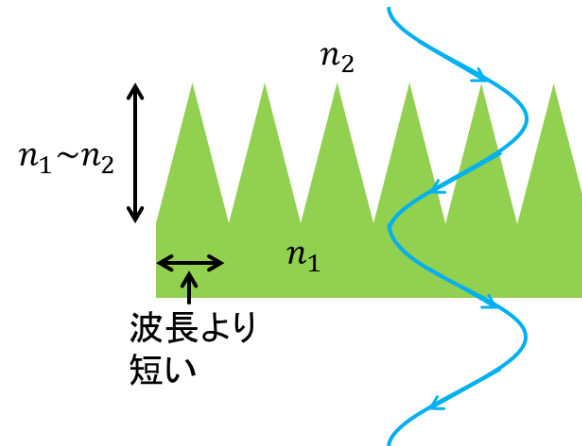
## ▪ Moth eye構造とは

Moth eye構造 : 蛾の目からヒントを得た低反射構造

界面での屈折率がゆるやかに変化 **➡** 低反射率



Moth eye構造の表面



低反射の仕組み

先行研究:

The Optical Properties of 'Moth Eye'  
Antireflection Surfaces

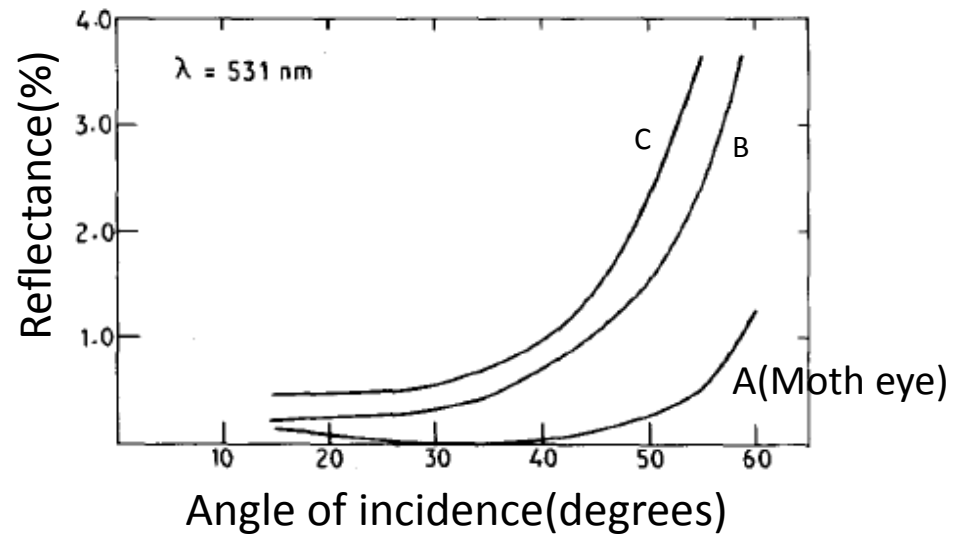
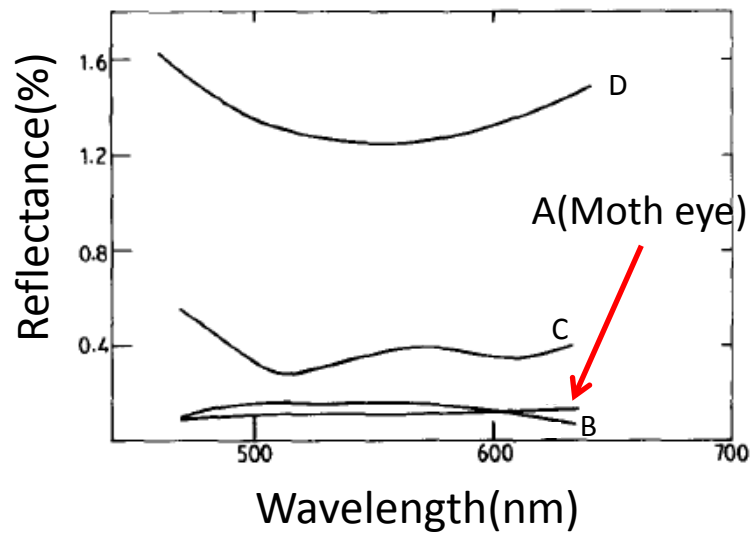
市販のARコーティングと  
反射率を比較



# 背景

## ・先行研究

市販のARコーティングと反射率を比較した結果



A: Moth eye, B: 多層膜ARコーティング, C: 屈折率分布ガラス, D: MgF<sub>2</sub>コーティング

➡ Moth eye構造は市販のARコーティングに置き換えられ得る

# 背景

## ・本研究の目的

Moth eye構造：基板を直接加工した低反射構造

表面に特殊な構造 → ロス(吸収・散乱)は増加する可能性が高い

本研究では  
Moth eye構造の吸収率を定量的に評価

↓  
ハイパワーレーザー用の光学素子に  
Moth eye構造は吸収の面で有効かどうか評価

Moth eye構造と誘電体多層膜を利用した  
ARコーティングの吸収率を比較

Photothermal Common-path Interferometry(PCI)で測定



# 原理

# 原理

## ・Photothermal Common-path Interferometry(PCI)の原理

PCI:「光吸収のみ」を測定可能

pump光 (高出力) を試料に入射

光吸収 → 温度上昇  
→ 屈折率分布 → 熱レンズ

probe光 (低出力) を熱レンズ部分に通す  
ビームの一部が熱レンズで変化

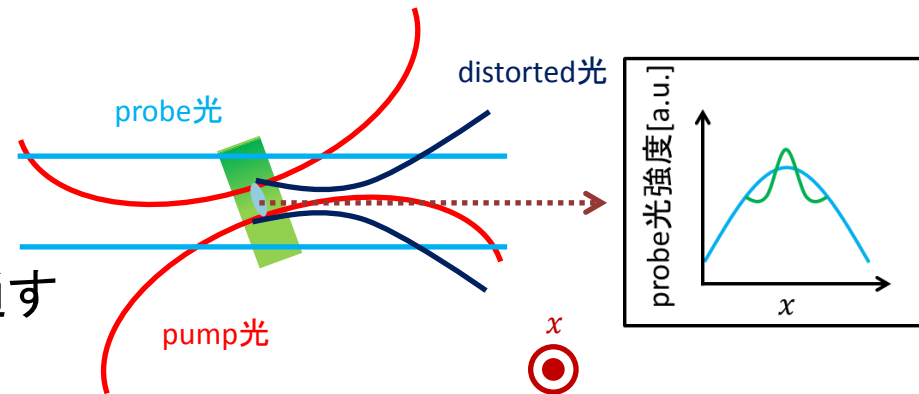
電場  $E(x, y, z)$

$$\rightarrow E \exp(-i\varphi(x, y, z)) \approx \underbrace{E}_{\text{probe光}} - \underbrace{i\varphi E}_{\text{distorted光}}$$

distorted光のレイリーレンジは小さい

→ 短い伝搬でGouy位相が  $\pi/2$  へ

→ probe光とdistorted光とが干渉 → 干渉縞発生！



# 原理

## ・Photothermal Common-path Interferometry(PCI)の原理

干渉縞の変化はdistorted光に比例



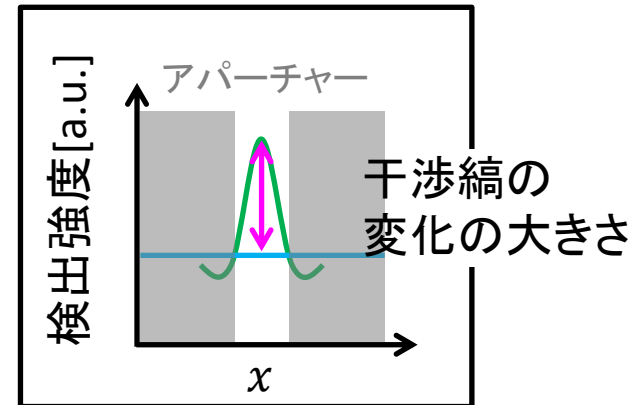
吸収率 $A$ 、pump光強度、probe光強度に比例

参照試料との比較で吸収率 $A$ が求まる

干渉縞の変化:アパーチャーで  
干渉信号のみ取り出す

$$A = \alpha \times \frac{1}{(\text{pump光強度})} \times \frac{(\text{干渉縞の変化})}{(\text{probe光強度})}$$

$\alpha$ : 比例定数



# 実験方法

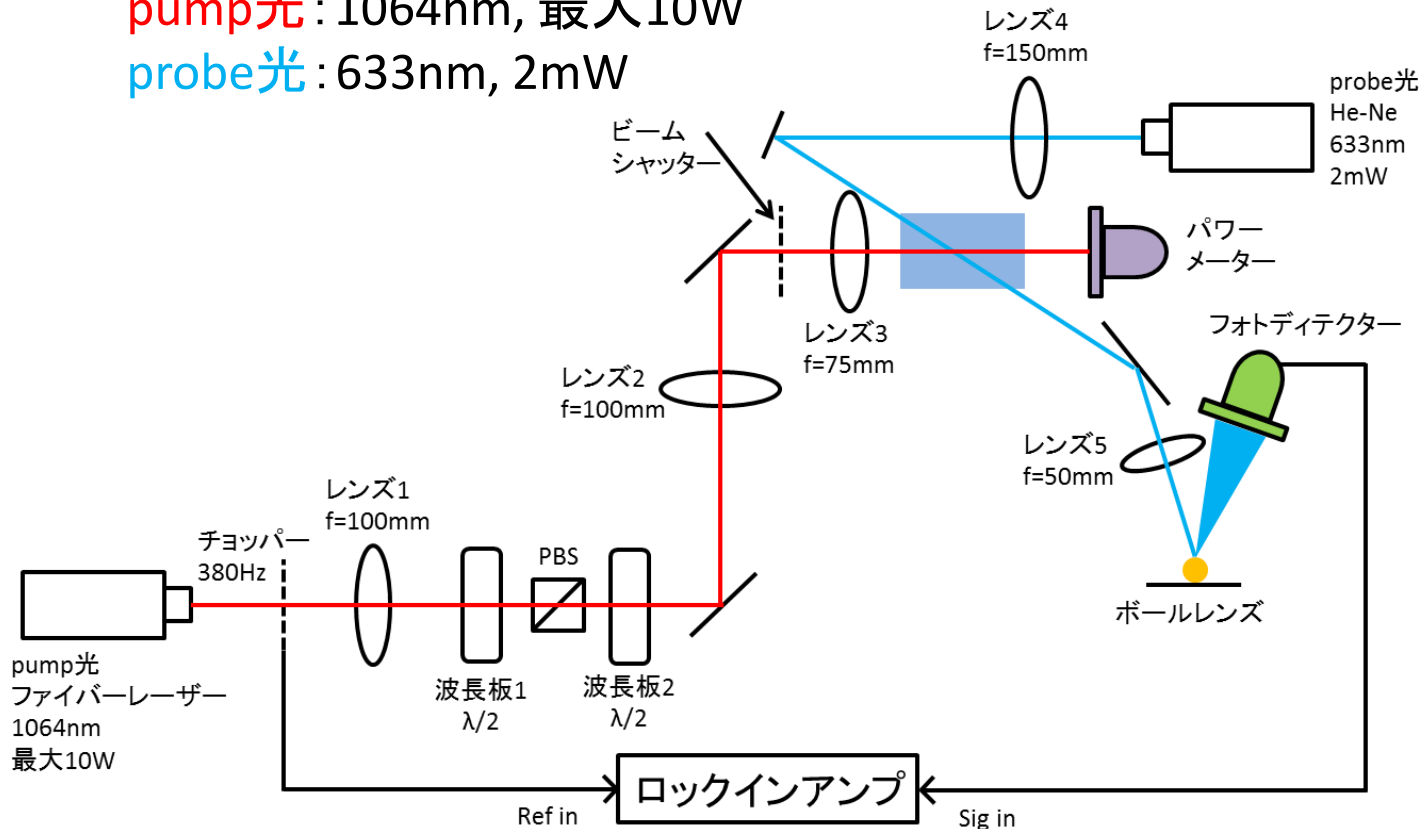
# 実験方法

## 測定方法

- 実験系(Stanford Photo Thermal Solutions社の Photo Thermal Systemを購入)

pump光: 1064nm, 最大10W

probe光: 633nm, 2mW



# 実験方法

## ・測定方法

干渉縞の変化: probe光強度より $10^{-5}$ だけ小さい

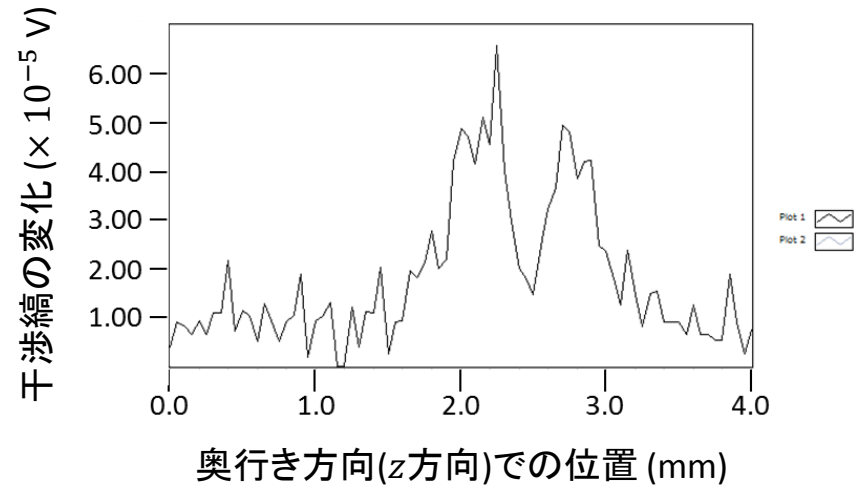
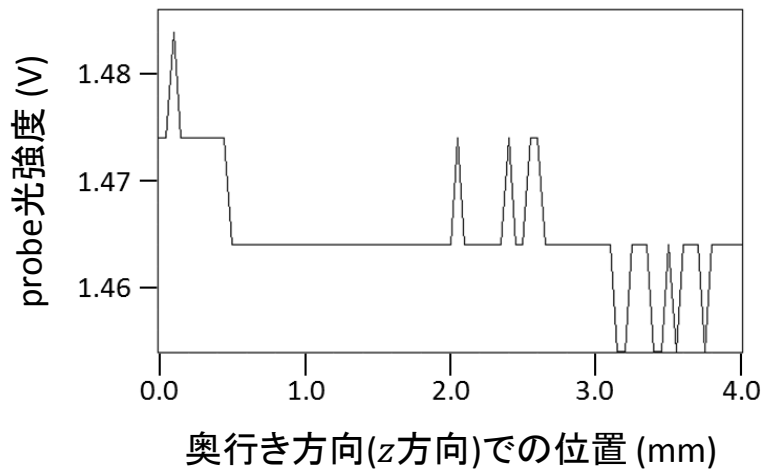
そのために・・・ロックイン検出

pump光: チョッパーでチョップ  
(380Hz)



熱レンズが380Hzでオンオフ

干渉縞の変化をロックインアンプで  
ロックイン検出



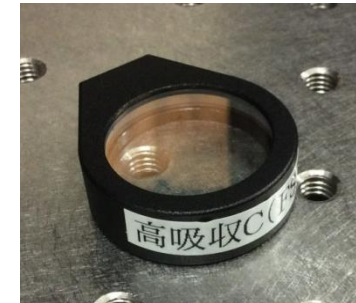
# 実験方法

## ・測定試料

基板はすべて石英

### ・比例定数 $\alpha$ 参照用

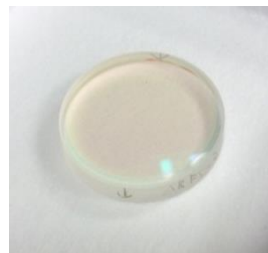
○Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>をコーティングした石英(吸収率が0.02)



### ・Moth eye構造と誘電体多層膜を利用したARコーティングの吸収率の比較用試料

○基板に直接Moth eye加工を施した試料

○誘電体多層膜ARコーティングをもつ試料  
(2種類)



# 結果

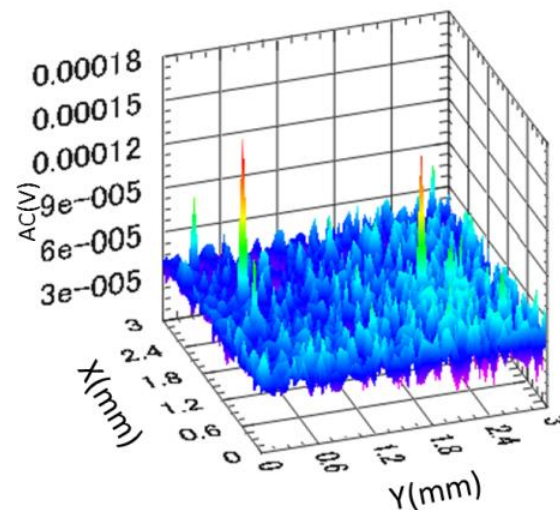


# 結果

## ・吸収率の値

面内分布のデータには汚れ等による  
大小のピーク

上位25%のデータ  
下位25%のデータ  
を除去



面内分布のデータ

吸収率の測定結果

| 試料                    | 吸収率( $\times 10^{-5}$ ) | Moth eyeとの比 |
|-----------------------|-------------------------|-------------|
| 基板に直接Moth eye加工を施した試料 | 0.098                   | 1           |
| 誘電体多層膜ARコーティングをもつ試料A  | 7.4                     | 75.5        |
| 誘電体多層膜ARコーティングをもつ試料B  | 5.1                     | 52.0        |

↳ **Moth eye構造の方が数10分の1小さい**

要因: 材質の違い

ARコーティング: 誘電体多層膜、Moth eye構造: 石英

# 結果

## ▪ Moth eye構造の吸収率

Moth eye有とMoth eye無とを比較

○基板に直接Moth eye加工を施した試料

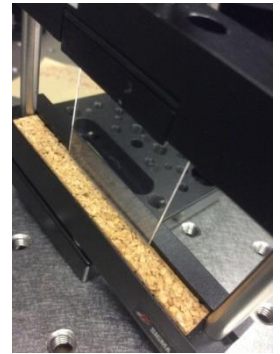
vs

○基板のみの試料

○Moth eye加工を施した樹脂を  
コーティングした試料

vs

○Moth eyeの無い樹脂をコーティングした試料



# 結果

## ▪ Moth eye構造の吸収率

Moth eye有とMoth eye無とを比較

○基板に直接Moth eye加工を施した試料

vs

○基板のみの試料

○Moth eye加工を施した樹脂を  
コーティングした試料

vs

○Moth eyeの無い樹脂をコーティングした試料



緑: 石英  
茶色: 樹脂

# 結果

- Mothe eye有とMothe eye無の吸収率の測定結果

| 試料                     | 吸収率( $\times 10^{-5}$ ) |
|------------------------|-------------------------|
| 基板に直接Mothe eye加工を施した試料 | 0.098                   |
| 基板のみの試料                | 0.057                   |

| 試料                           | 吸収率( $\times 10^{-5}$ ) |
|------------------------------|-------------------------|
| Mothe eye加工を施した樹脂をコーティングした試料 | 220                     |
| Mothe eyeの無い樹脂をコーティングした試料    | 97                      |



Mothe eye有の方がMothe eye無より2倍ほど大きい

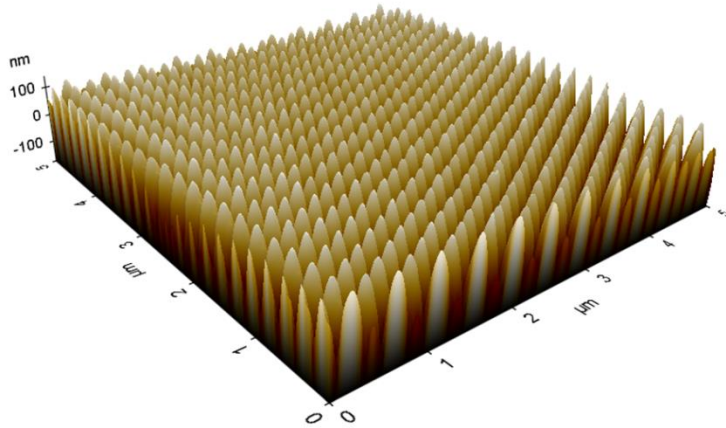
この要因について考察

表面積の比に着目して比較

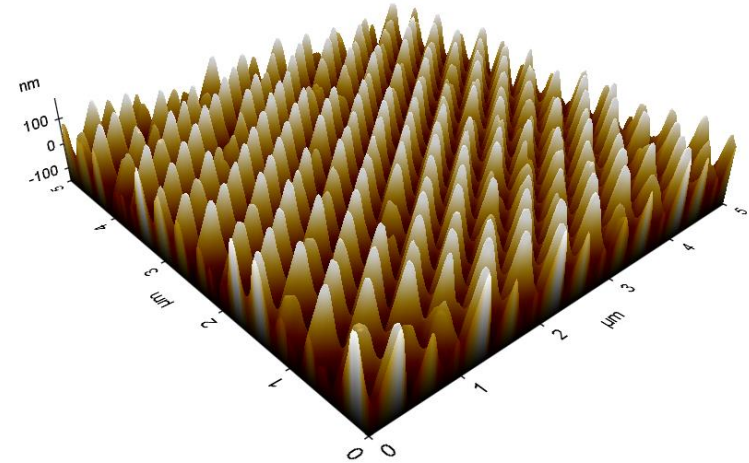
# 結果

- Moth eye構造の吸収率が決まる要因を考察

原子間力顕微鏡(AFM)での観察結果



基板に直接Moth eye加工を施した試料



Moth eye加工を施した樹脂をコーティングした試料

Moth eye構造：表面積が増加

AFMのデータから表面積を導出

# 結果

- Moth eye構造の吸収率が決まる要因を考察

吸収率の比と表面積の比とを比較

| 試料                    | 吸収率の比 | 表面積の比 |
|-----------------------|-------|-------|
| 基板に直接Moth eye加工を施した試料 | 1.72  | 2.39  |
| 基板のみの試料               |       |       |

| 試料                          | 吸収率の比 | 表面積の比 |
|-----------------------------|-------|-------|
| Moth eye加工を施した樹脂をコーティングした試料 | 2.25  | 2.09  |
| Moth eyeの無い樹脂をコーティングした試料    |       |       |

関連性は特に見られない

# まとめ

# まとめ

## ・結果の考察

基板に直接Moth eye加工を施した試料は  
吸収率が市販のARコーティングより2桁小さい

一方、Moth eye有とMoth eye無の比較では、  
Moth eye有の方がMoth eye無の2倍の大きさに留まった

Moth eye構造の光学吸収は初めて測定されたデータ



ハイパワーレーザー用の光学素子として  
Moth eye構造は吸収の面で有利である



# まとめ

## ・結果の考察

Moth eye構造の吸収率 : Moth eye構造の表面積との関連は見られない



AFMで測定したデータと仕様書には乖離

| 試料                          | データの参照元 | 突起の高さ(nm) | 突起間隔(nm) | 表面積の比 |
|-----------------------------|---------|-----------|----------|-------|
| 基板に直接Moth eye加工を施した試料       | AFM     | 193       | 247      | 2.39  |
|                             | 仕様書     | 350       | 250      | 3.41  |
| Moth eye加工を施した樹脂をコーティングした試料 | AFM     | 201       | 351      | 2.09  |
|                             | 仕様書     | 350       | 350      | 2.74  |

仕様書の値で表面積を計算



3.41倍、2.74倍

この値については  
今後さらに考察する必要がある

# 今後の展望

# 今後の展望

pump光は1064nmのみ → 他の波長をpump光として使用

Moth eye構造の試料は  
2種類のみ

突起の高さ、突起間隔による  
影響はよくわからない

材質または形状を同じくした  
複数の試料を用意し比較

→ 各試料の反射率、透過率を  
測定し、突起の高さ、突起間隔と  
波長との関係を見出す

AFMで形状を測定できていない可能性 → 正確に測定できるよう工夫

Moth eye構造は散乱が起こりやすい構造 → 散乱を測定

Moth eye構造での光学吸収  
のメカニズムを考察

→ 電場分布のシミュレーション



Moth eyeの光学的性質を明らかにしていけば、活躍できる領域も広がる