

# モルフォ蝶に学ぶ「明るく・広角・虹色なし」の光拡散シート

大阪大学 大学院工学研究科 物理学系専攻  
准教授 齋藤 彰

2024年1月30日

# 従来技術（採光窓・光拡散シート） と その問題点

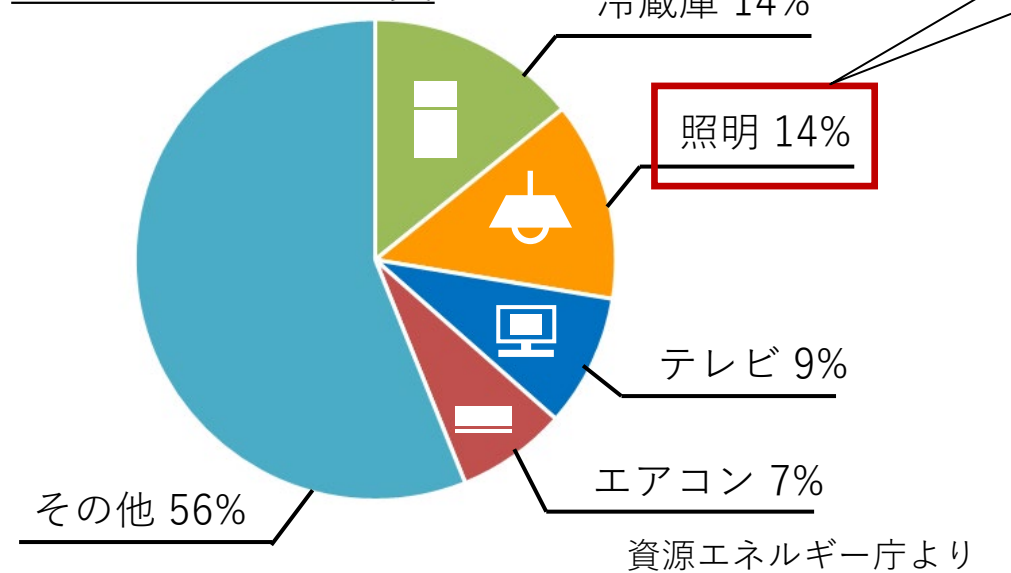
透過光を拡散させる素材には、

- ① 高透過率
- ② 広い角度で拡散
- ③ 色分散が小（虹色にならない）
- ④ 防汚

が必要。だが、  
全てを並立する材料は、無い（p.3～p.5）

エコ・省エネ

家庭内の電力消費



削減したい

採光窓



理想3条件

① 高透過率  
(明るい)

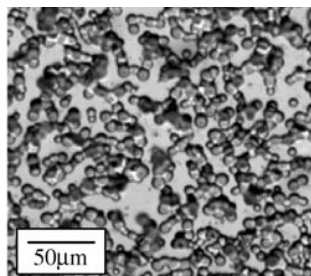
② 広い角度



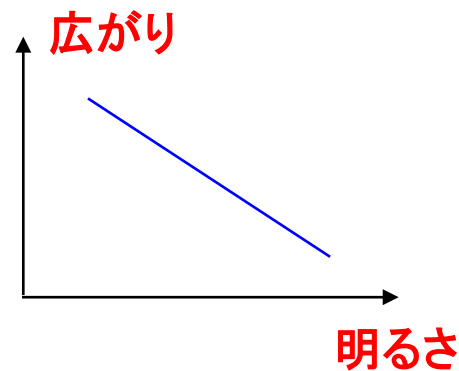
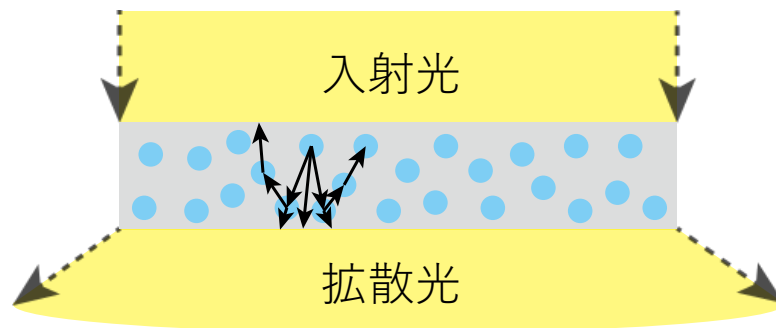
トレードオフ  
(並び立たず)

③ 虹色なし

従来その1. ビーズ埋込フィルム  
→ 「多重散乱」で光拡散



G. H. Kim & J. H. Park, *Appl. Phys. A* **86**, 347–351 (2007).



# 光を大きく曲げるには

## その2. 屈折

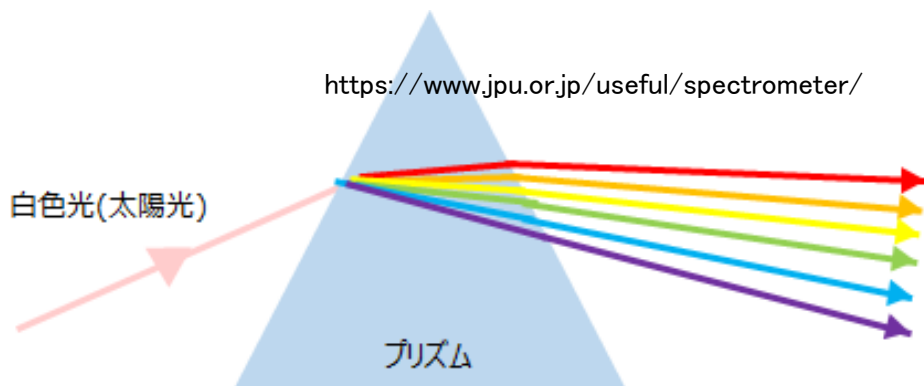
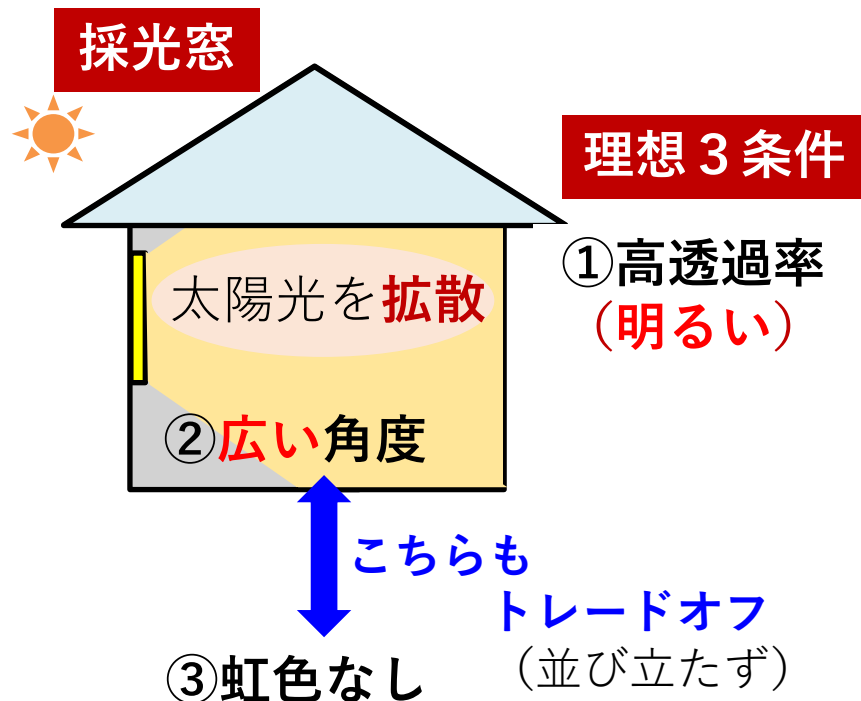


図1 プリズムによる分光



## その3. 回折格子(CD型)

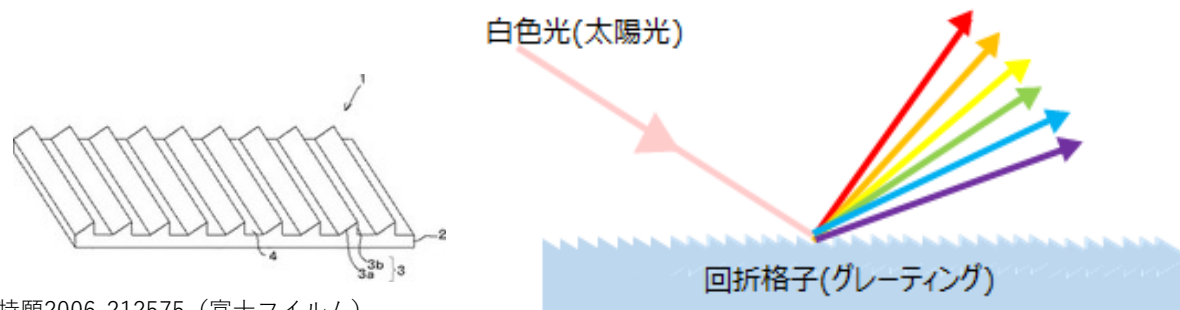
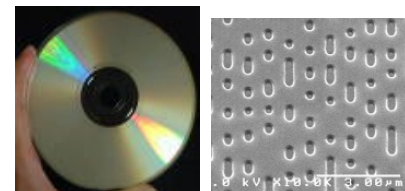


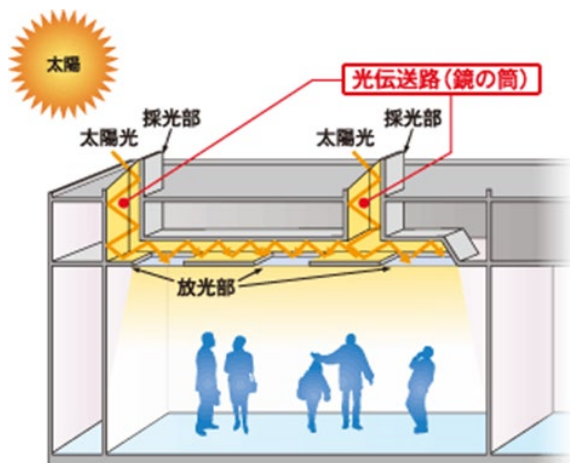
図2 回折格子による分光



特願2006-212575 (富士フイルム)

# 太陽光を室内に取り込むには？

## その4. 光伝送方式(光ダクト)



### ▶ 実施例



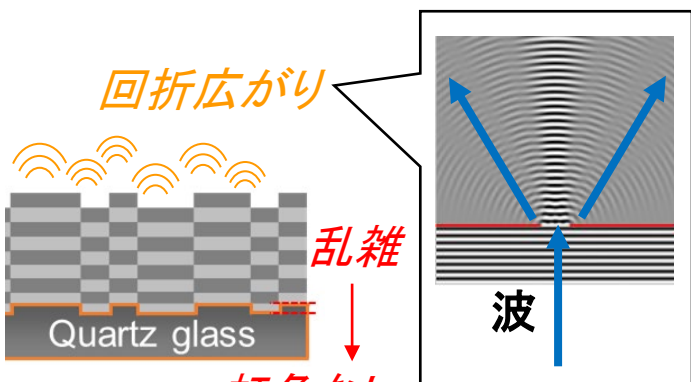
住友スリーエム HPより

## ▶ デメリット

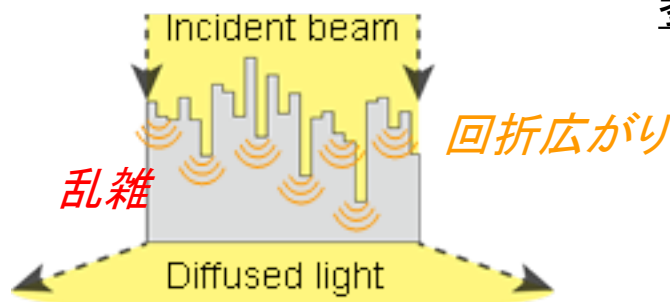
☹️ 設備が大規模

そこで…

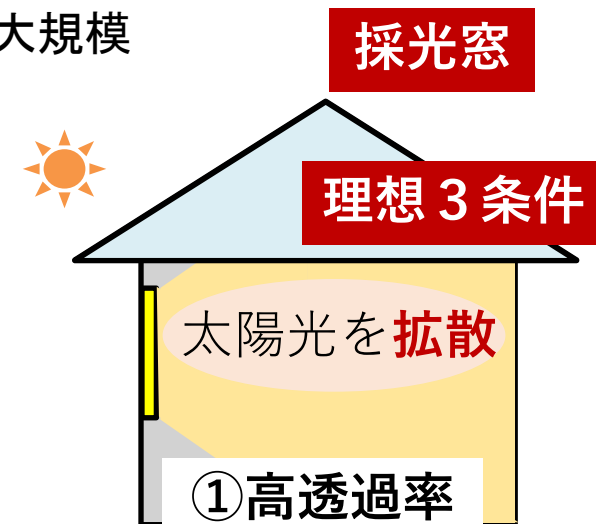
モルフォ原理(反射)を透過に転用できぬか？



多層 → 反射大(明るい)



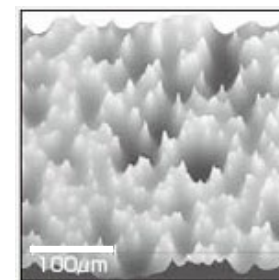
0層 → 透過大(明るい)



太陽光を**拡散**

- ① **高透過率**  
(明るい)
- ② **広い角度**
- ③ **虹色なし**

参考: すりガラス



広がらない  
回折でなく  
屈折  
(凹凸が大)

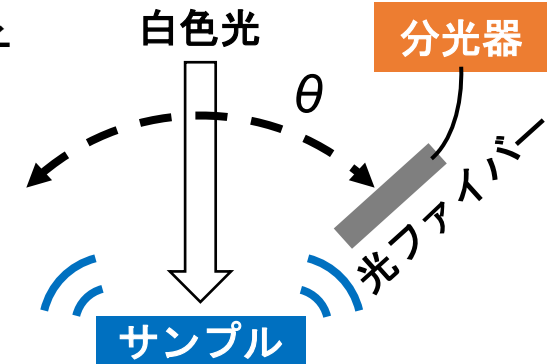
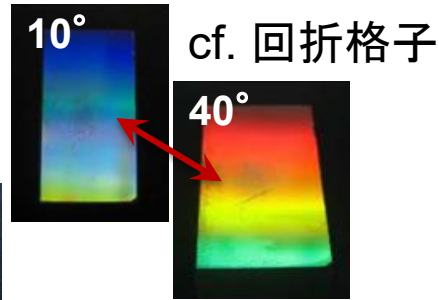
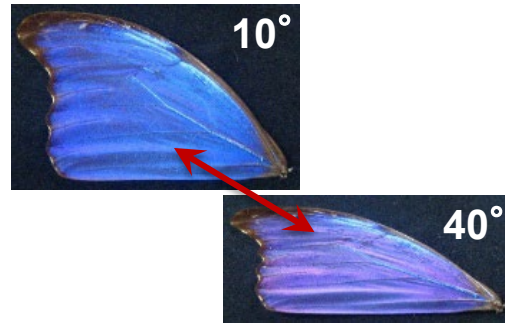
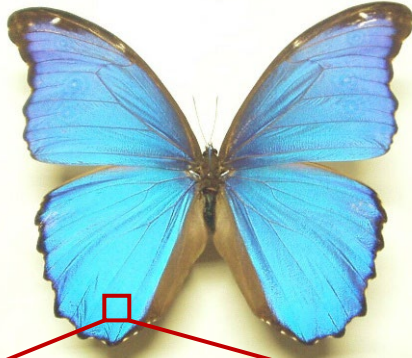
## 新技術の特徴・従来技術との比較

- 従来技術と異なり、**屈折や散乱**でなく、**回折広がり**の原理による拡散に成功。
- 従来は並立しない、①**高透過率**、②**広角**、③**色分散**が小（虹色でない）、④**防汚**の並立が可能になった。
- 本技術により、「明るく・広角で・虹色にならず・防汚も備えた」、省エネ型の光拡散シートの実現が期待される。

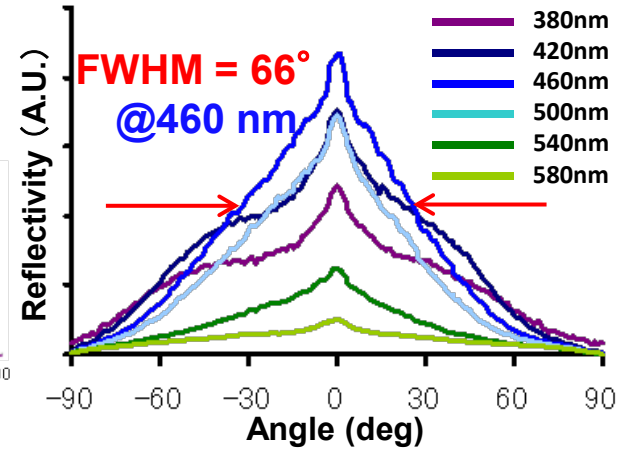
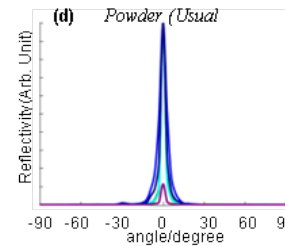
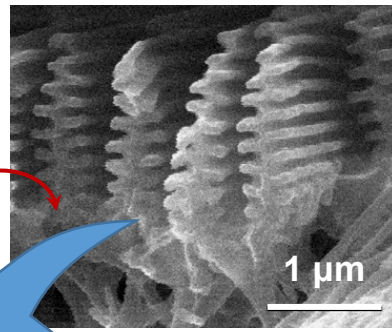
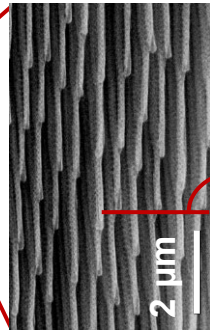
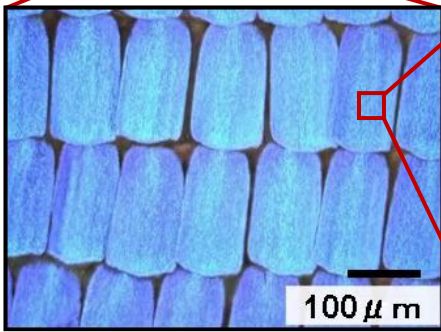
## 新技術の特徴

- 発想の源は、モルフォ蝶の青い輝き (p.8~11)  
→ バイオミメティクス (生物模倣工学)  
のひとつの典型的な例。
- 既存の窓に貼ることでそのまま適用可能。
- 拡散光の広がり方向 (異方性) 制御も可能。

*Morpho didius*

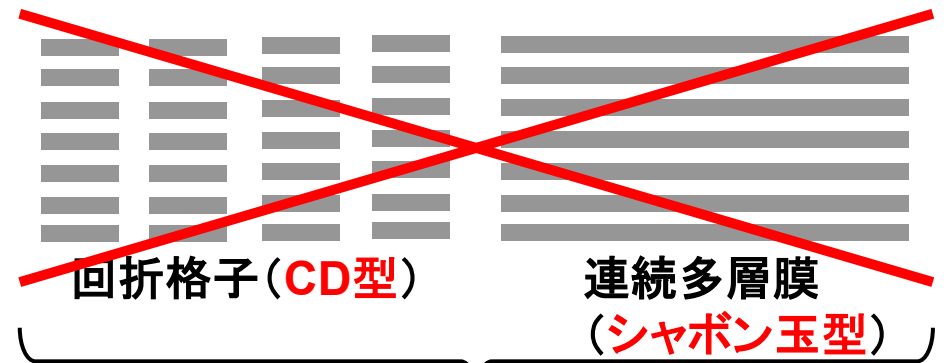
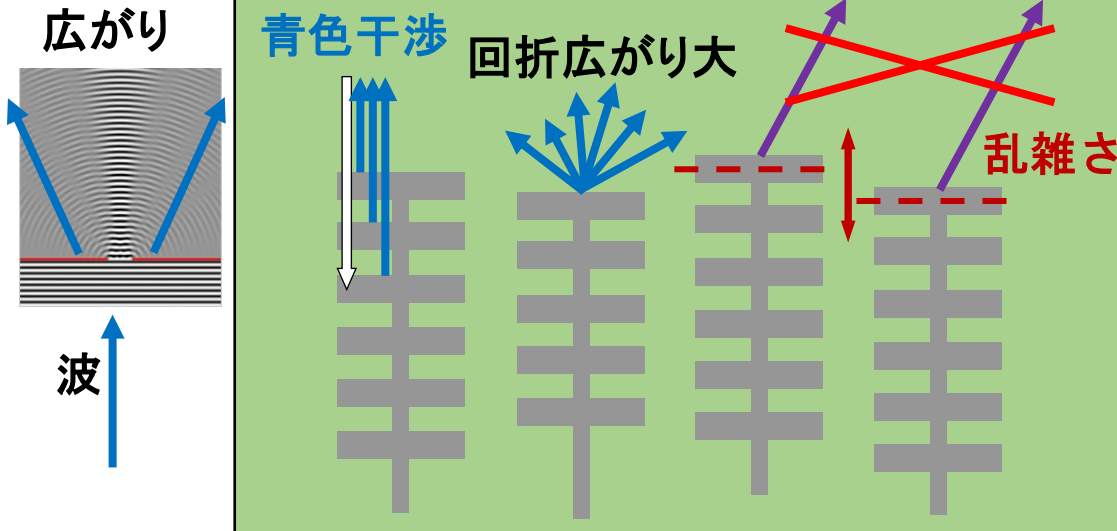


干渉色ながら広角に青い



規則性・乱雑さの共存

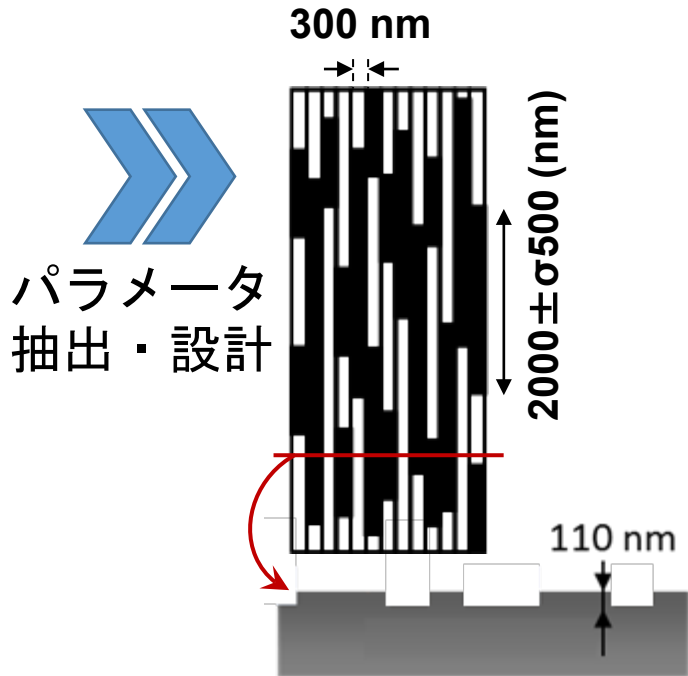
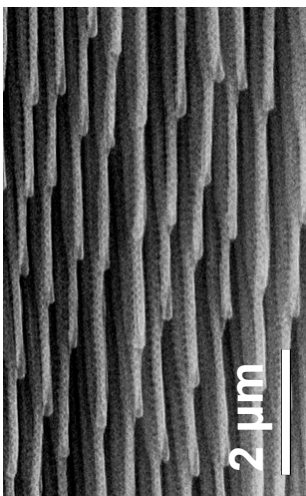
他色の干渉防止



どちらもでない(虹色でないので)



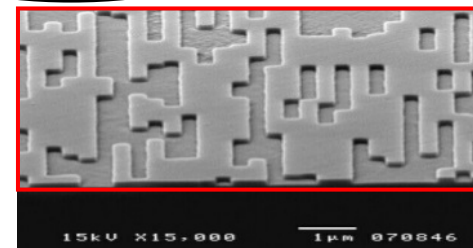
モルフォ蝶の  
上面構造



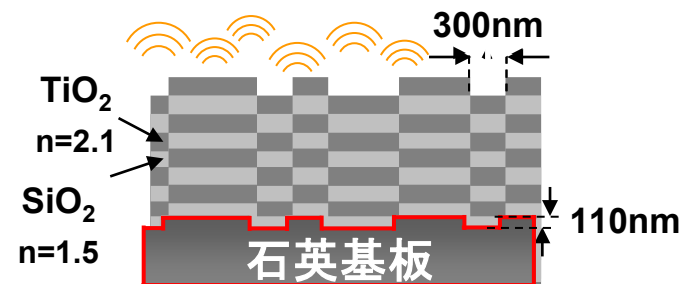
半導体技術

規則性

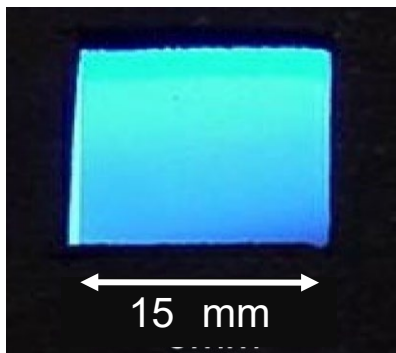
乱雑さ 石英基板



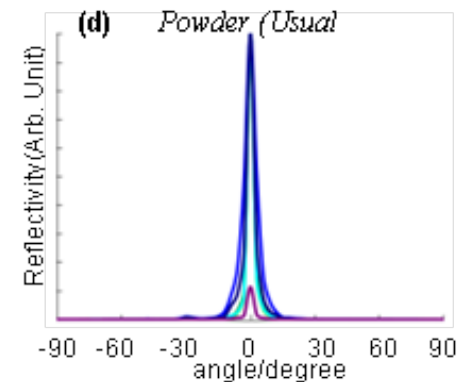
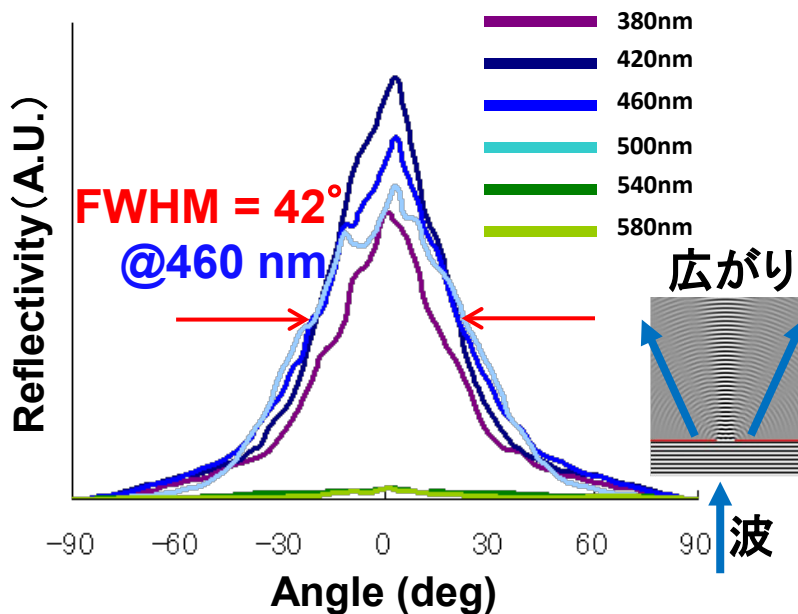
多層膜蒸着



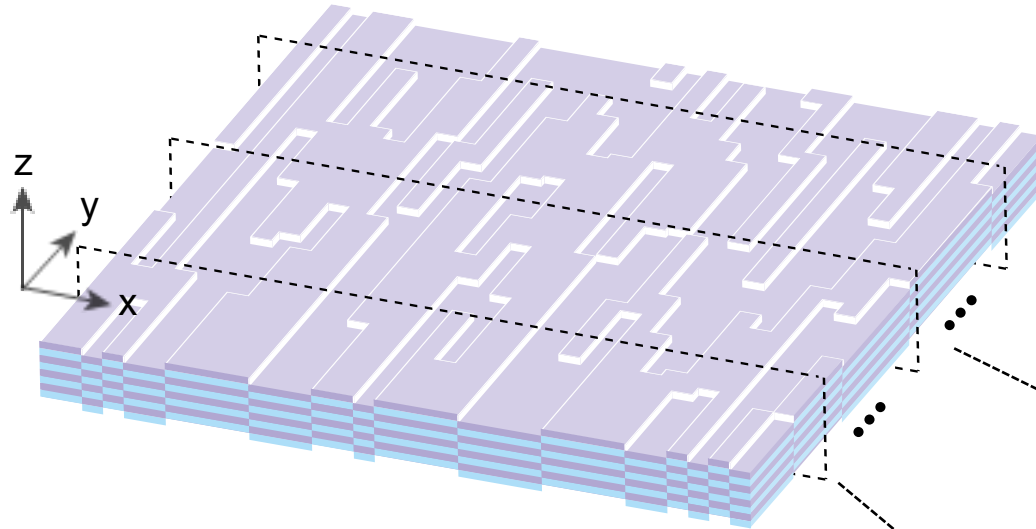
A. Saito et al., *Proc. SPIE* (2004).



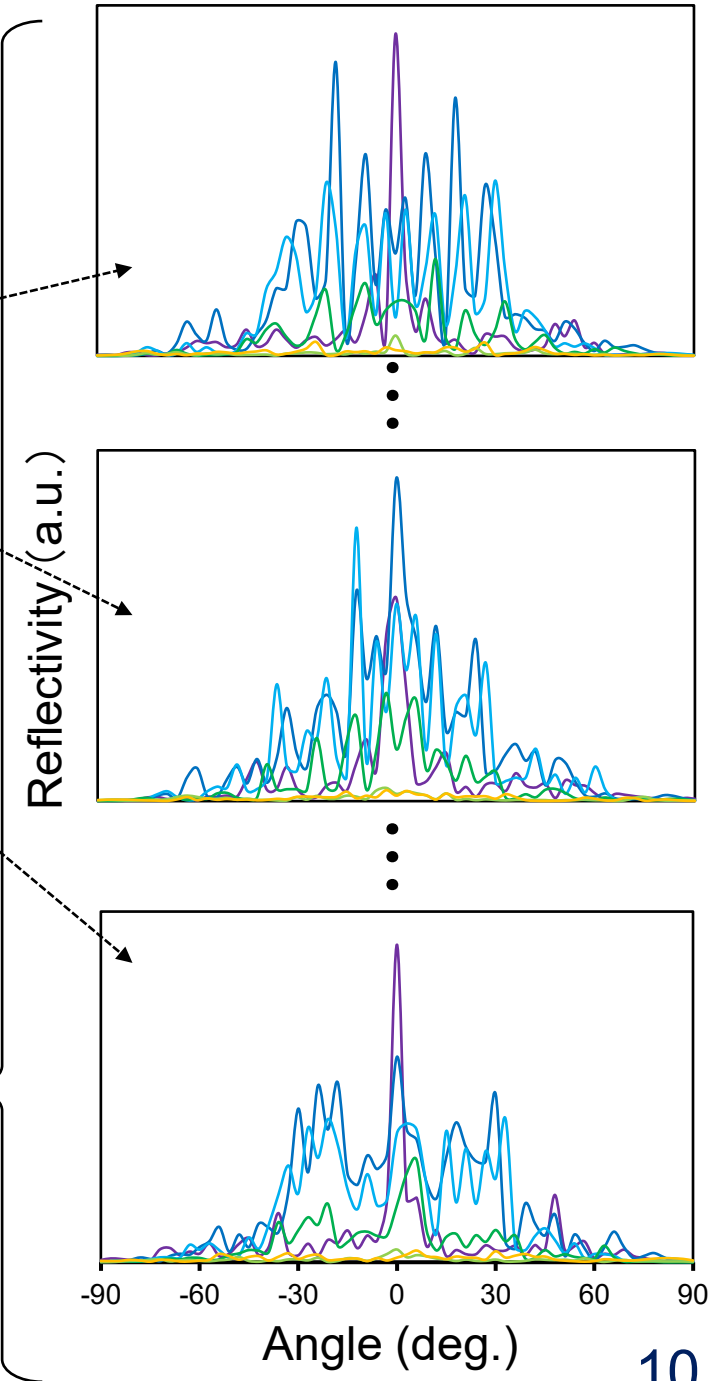
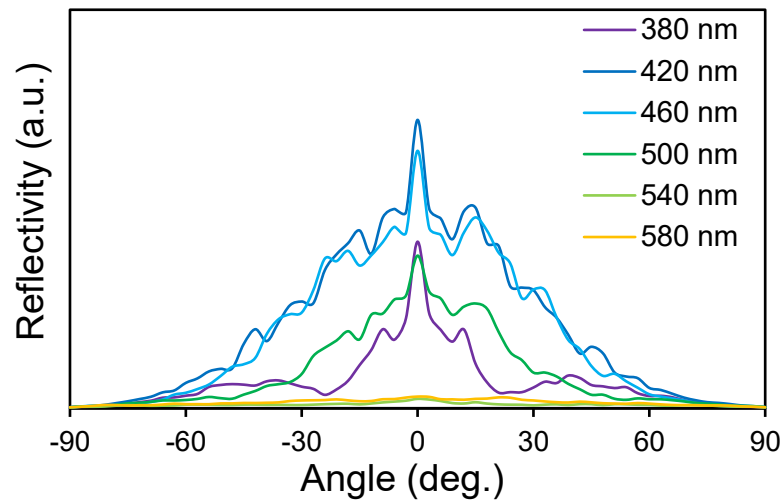
✓ モルフォ発色の再現に成功



K. Yamashita, A. Saito et al., *J.J.A.P.* **59**, 052009 (2020).



二段高さ+2D乱雑さ=多様な異種断面  
それらが集まると、滑らかなモルフォ特性に。



# 構造色 : 幅広く使えそう

## ➤ 利点 構造色

- ・ 色素で不可能な**光輝色**
- ・ (化学変化なし) **無退色**
- ・ (合成色素なし) **環境負荷 = 低**
- ・ **省材料** (材質1-2種で多様な発色)
- ・ **軽・薄・コンパクト**
- ・ 人工構造色 → **耐熱・耐火性・強度**
- ・ (反射なので) **エネルギー不要**  
でも角度で色が変わる...

5000万年前の化石



M. E. McNamara et al., Proc Royal Soc. B, 279, 1114 (2012).

ポスター・  
インク

企業or 製品ロゴ

セキュリティ

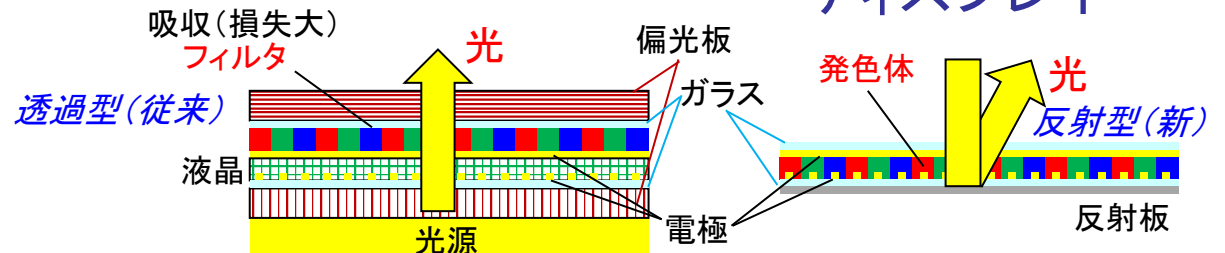
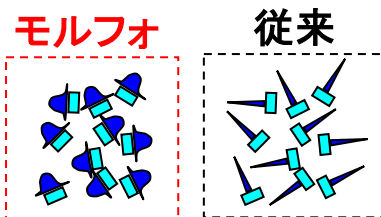


- ### モルフォ発色
- ・ 広視野の**単色**
  - ・ 高い**反射率**

装飾 /  
表示

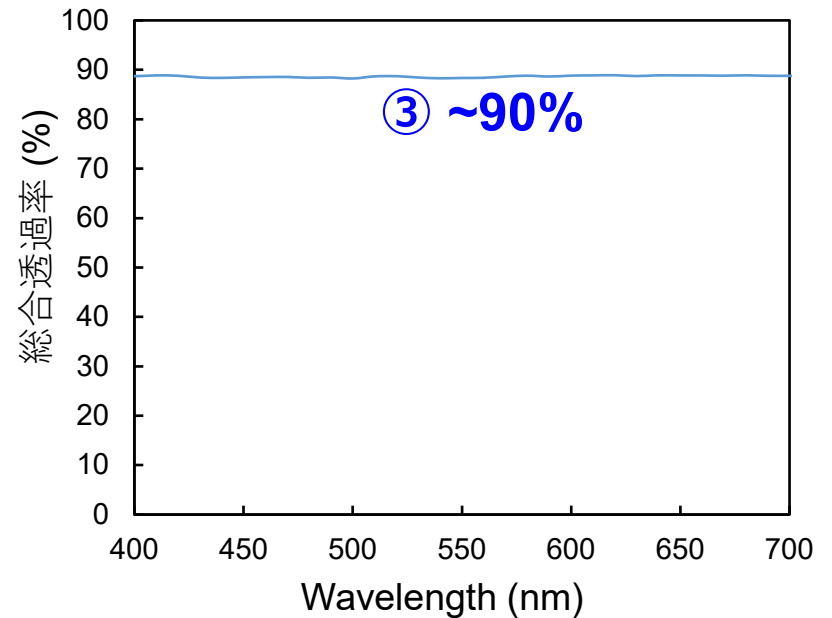
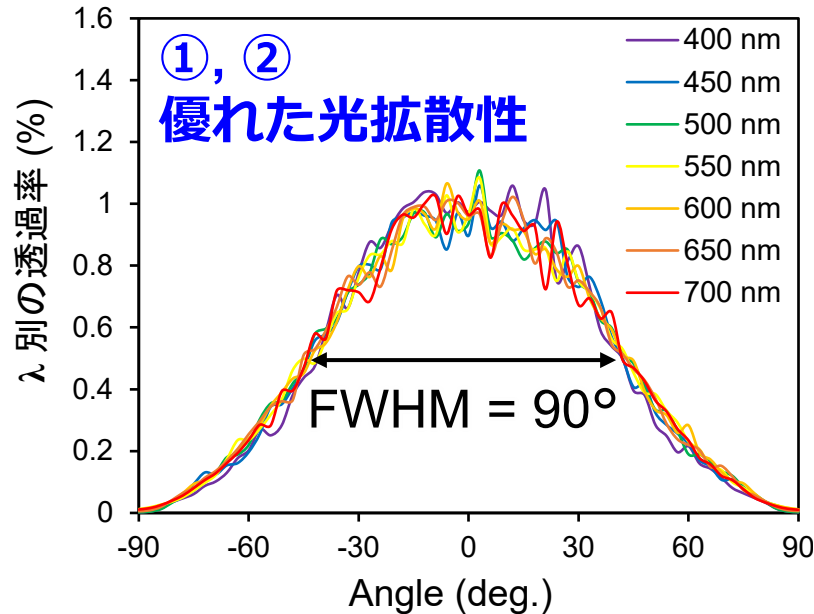
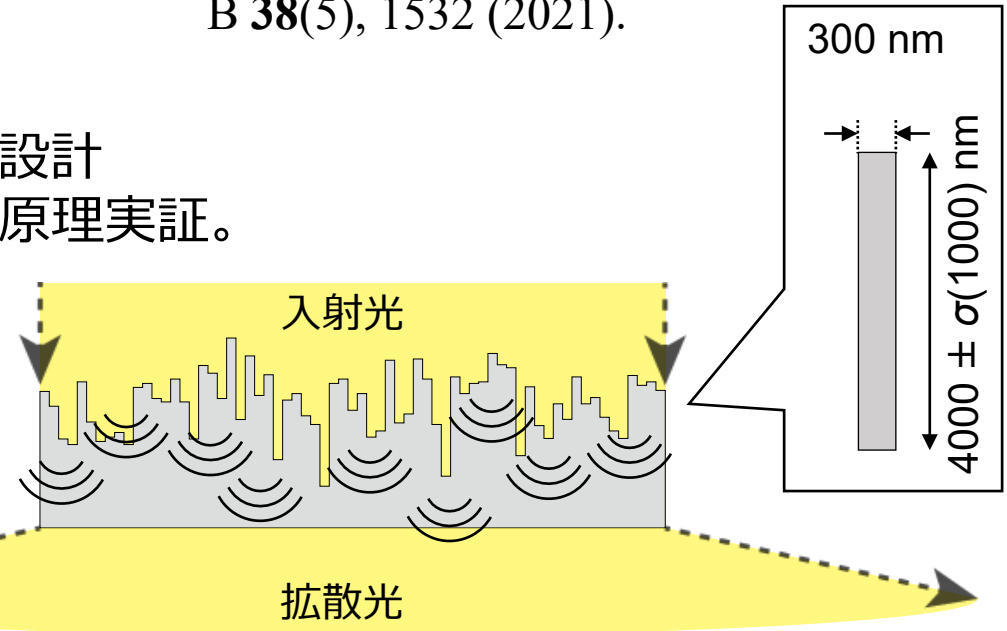
化粧品  
(粉体)

塗装 /  
繊維、etc.



FDTDシミュレーションで、設計  
→ 原理実証。

- ① ナノ幅の柱  
→ 広角（回折広がり）
- ② 乱雑  
→ 虹色なし
- ③ 多重散乱なし（入射面だけ）  
→ 高透過率（明るい）



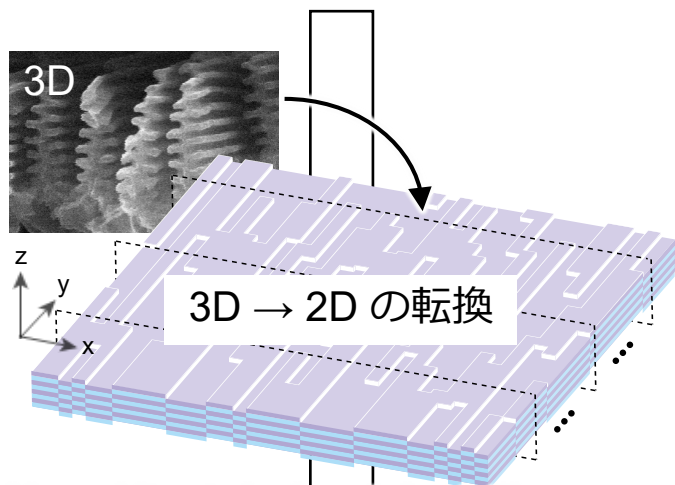
参考：新聞、動画など  
→ 検索「採光窓+阪大」

Youtube: テレビ東京【理系通信】  
NHK 視点・論点 (2021.9.22)

# 3D → 2Dへの簡易化をここでも (設計)

## 元の構造 :

乱雑高さ (3D)

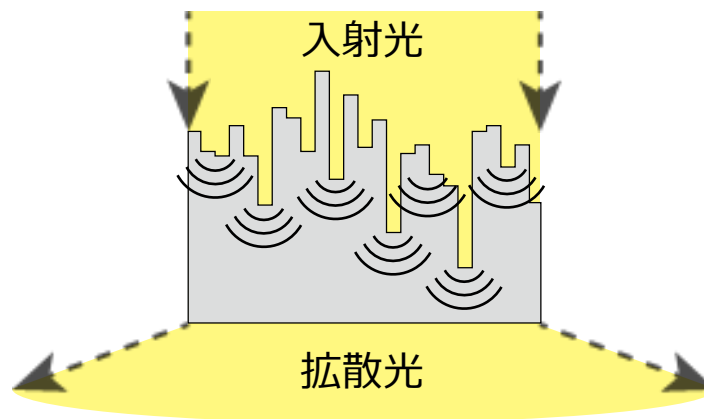


K. Yamashita et al., *Jpn. J. Appl. Phys.* **59**, 052009 (2020).

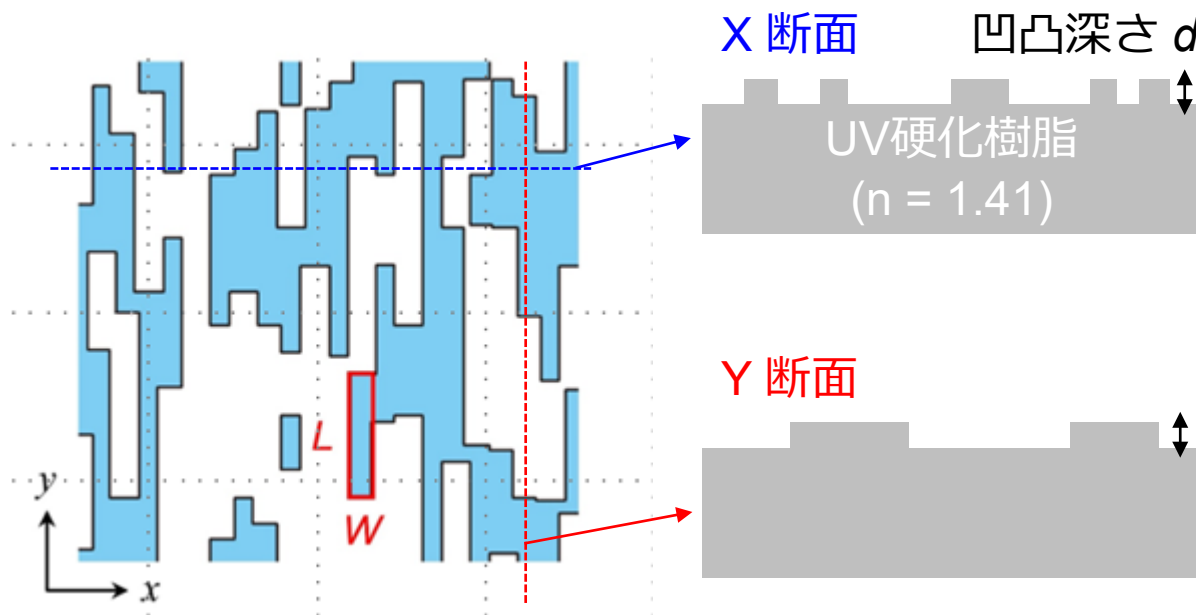
## 簡易化構造 :

乱雑幅 (2D)

- 構造パラメータ調整  
→ 最適化
- X/Y方向で独立  
→ 等方・異方性の制御



( $W$ : 一定幅,  $L \leftrightarrow \sigma$ : 分布関数 (正規分布))

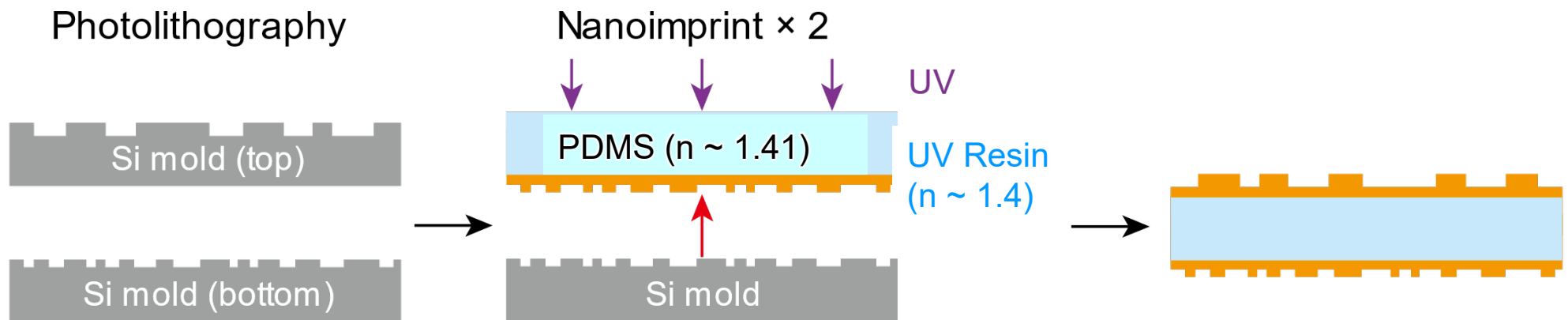
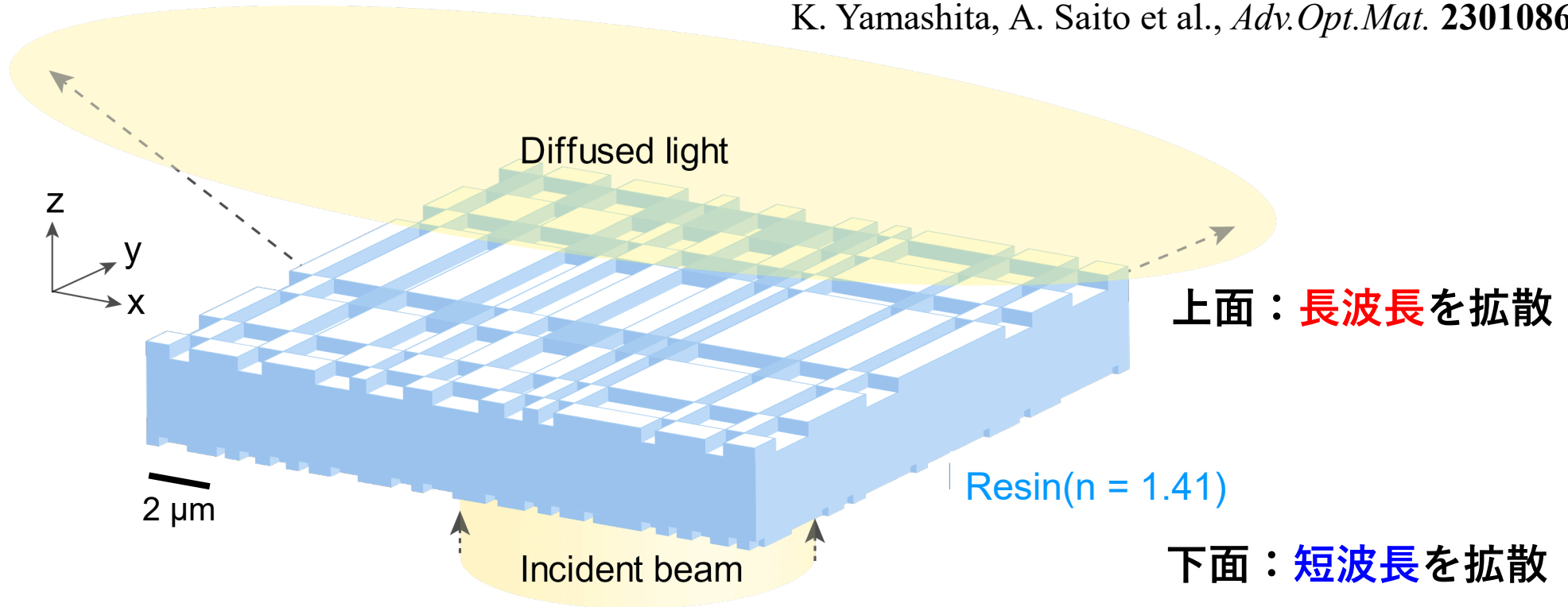


→ FDTD計算で構造最適化

# 作製プロセス

K. Yamashita, A. Saito et al., *Opt. Express* **29**, 30927–30936 (2021).

K. Yamashita, A. Saito et al., *Adv. Opt. Mat.* **2301086** (2023).

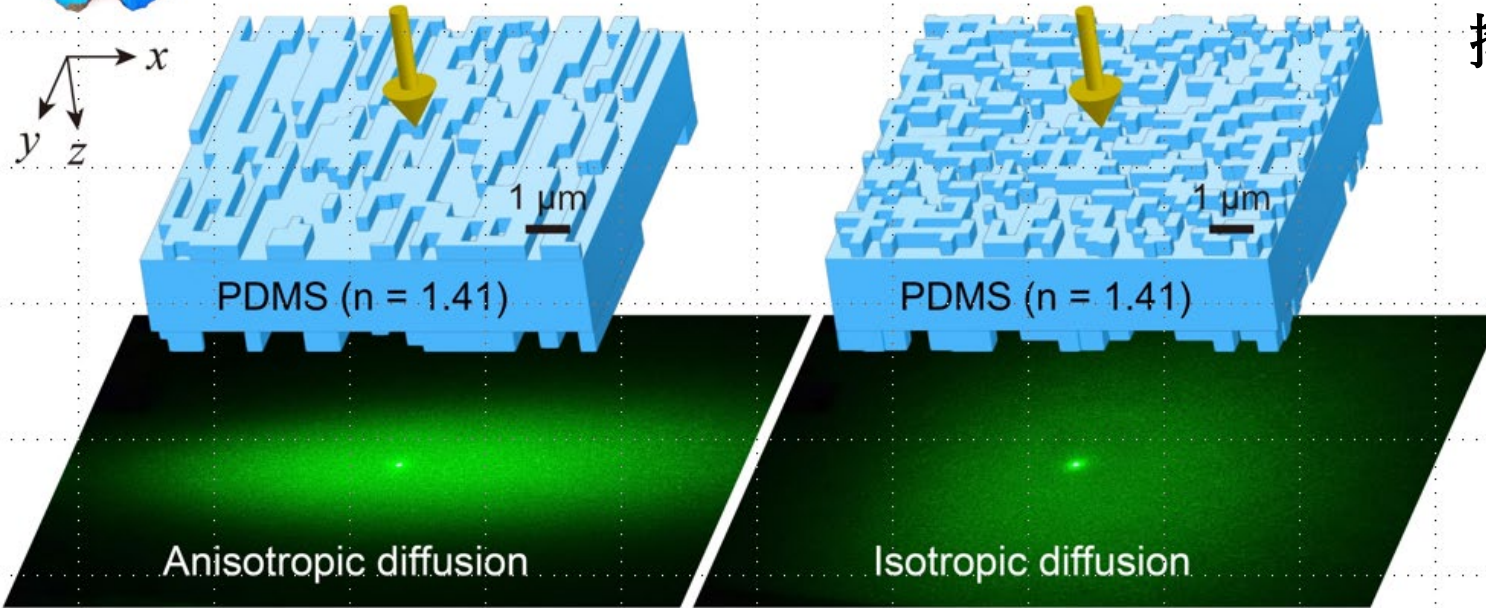


# 拡散の異方性制御も実証

K. Yamashita, A. Saito et al., *Adv.Opt.Mat.* **2301086** (2023).

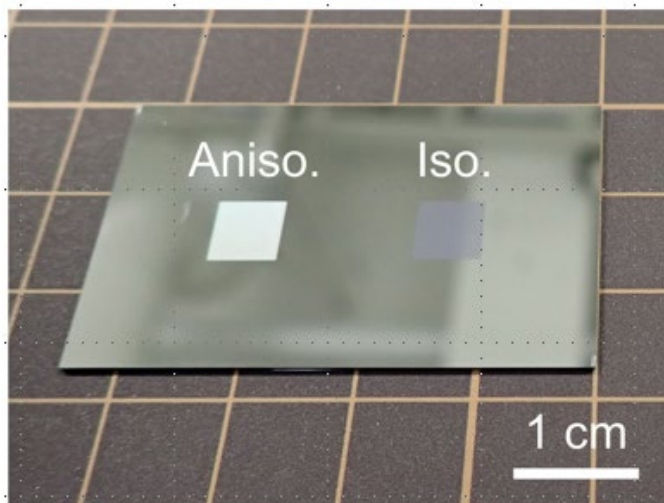


## Morpho-type optical diffuser



撥水性も付与  
(防汚)

プロセス

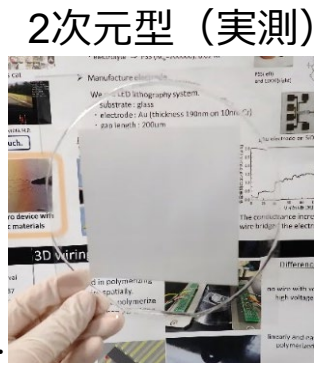


Nanoimprint



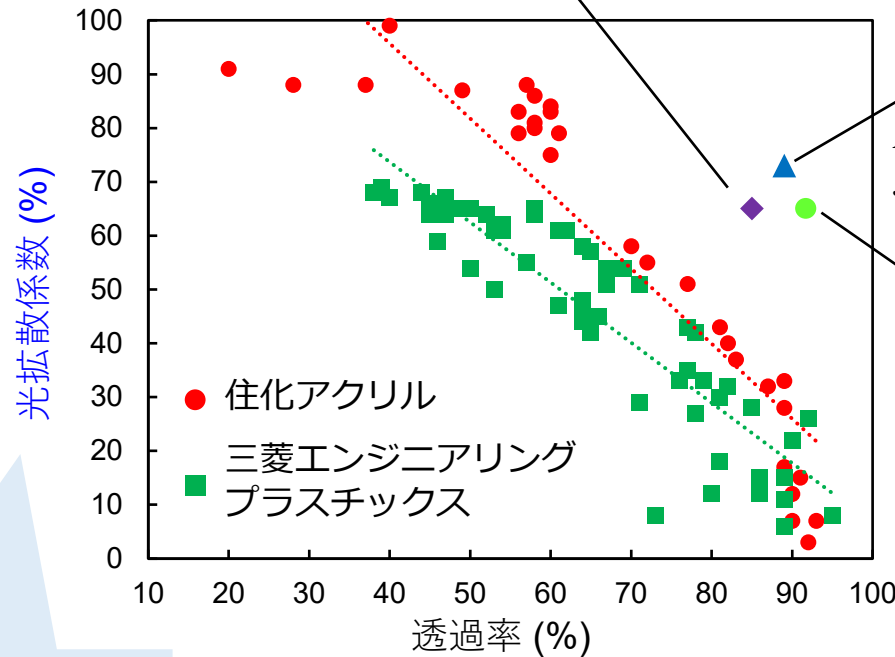
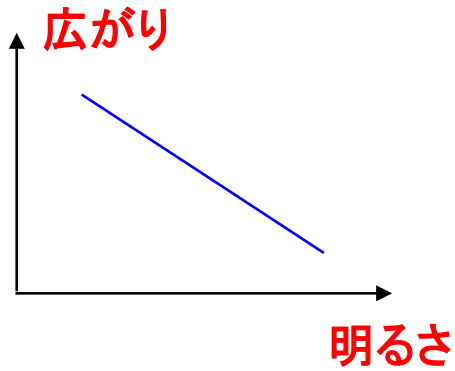
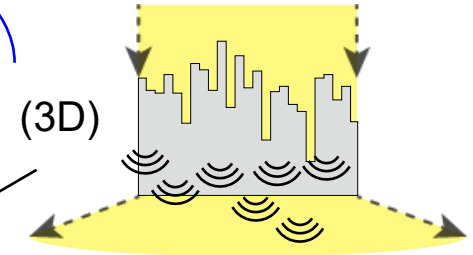
# 従来型との性能比較

K. Yamashita, A. Saito et al.,  
*Opt. Express* **29**, 30927–30936 (2021).



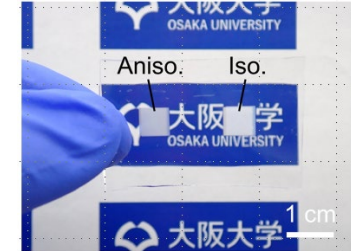
K. Yamashita,  
A. Saito et al.,  
*Jpn. J. Appl. Phys.*  
**59**, 052009 (2020).

理想構造



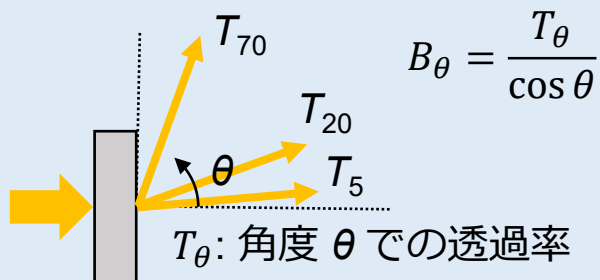
A. Saito, K. Yamashita et al.,  
*J. Opt. Soc. Am. B* **38**(5), 1532 (2021).

改良型 (実測)



K. Yamashita, A. Saito et al.,  
*Adv. Opt. Mat.* **2301086** (2023).

$$\text{光拡散係数} = \frac{(B_{20} + B_{70})/2}{B_5} \times 100$$



トレードオフを打破する高性能を達成。  
(設計値にはまだ劣る)



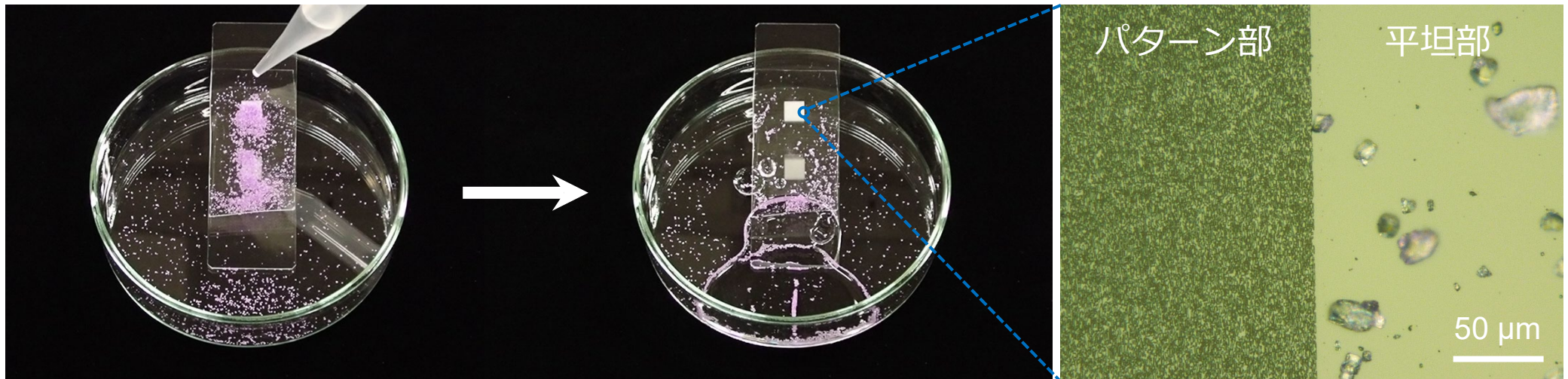
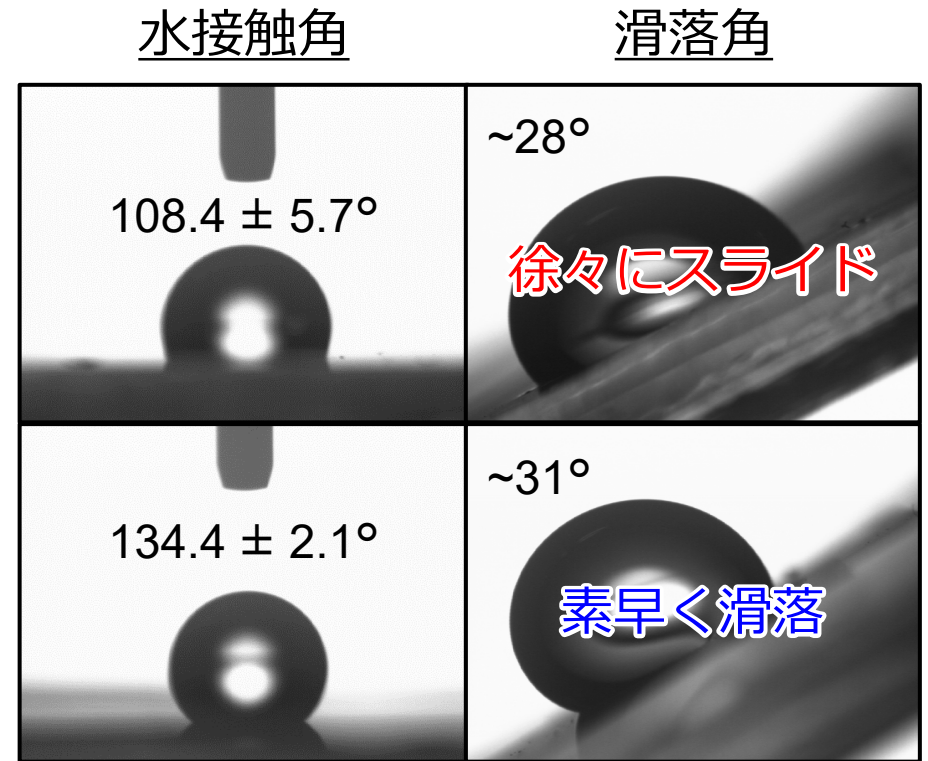
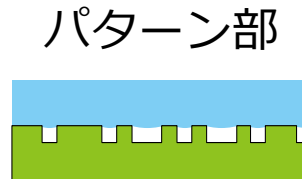
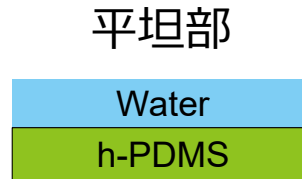
# 防汚特性の評価

接触角／滑落角測定

ロータス効果により撥水性が大幅に向上

自浄作用

汚染粒子（カラーサンド）が流水で容易に除去できた



# 防汚特性の評価 (cf. ホログラフィック)

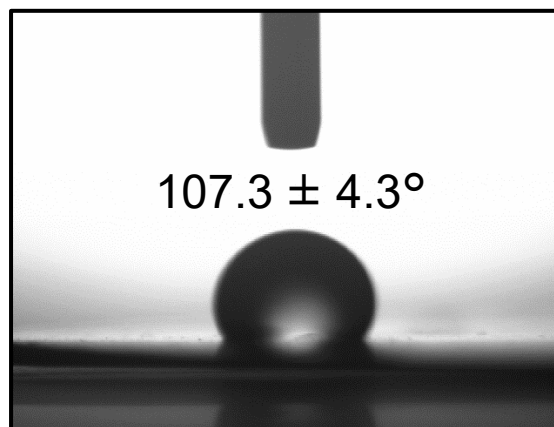
## 接触角／滑落角測定

ロータス効果はなく**撥水性なし**

## 自浄作用

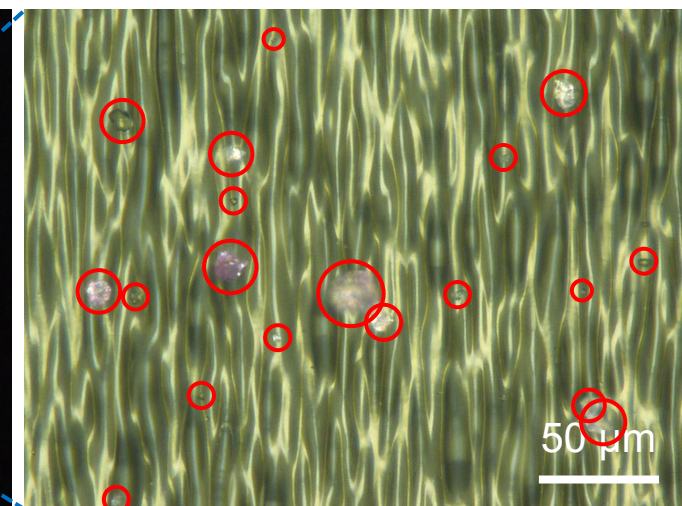
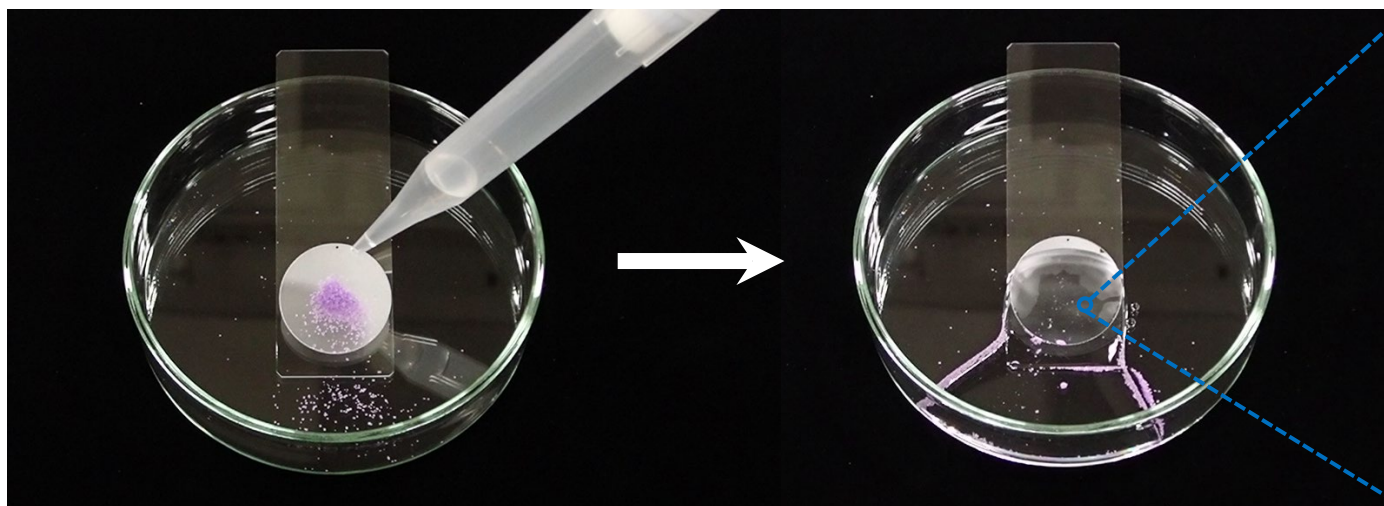
汚染粒子（カラーサンド）は**流水**  
で除去できず、**圧縮空気を当てても付着したまま**

水接触角



滑落角

垂直に傾けても  
滑落せず



# 他のディフューザーとの性能比較

ディフューザーの種類		透過率	拡散性 (FWHM)	異方性の制御	防汚特性
体積型	従来	<50%	>80°	×	○
	新規	<80%	>40°	△	○
表面起伏型	ホログラフィック		~80°		
	すりガラス型	>85%	<20°	○	×
	新規		<60°		
	モルフォ型	~90%	~80°	○	○

モルフォ型ディフューザーは

- ホログラフィックディフューザーに匹敵する**優れた光学性能**
- **防汚特性（自浄作用）**

**を両立**し、これまでになかった革新的なディフューザーとなり得る

## 想定される用途

- 採光窓に限らず、
- 照明(次ページ)に大きな期待。特に工芸・美術、  
で現在、効果を検証中。
- 上記に加え、手術・診断、精密加工技術、 など、  
「自然な陰影」を要求される場面は多い。
- 多様な撮影現場に役立つ期待。

実は：照明における大問題：

まずカラーレンダリング（演色性 = 色の再現性）

Goal: 全対象で本来の色が、  
天空光下のように再現  
→ 太陽の特性と同じ光源を

**SORAA** (創業者：中村修二)

<https://www.soraa.com/jp/>

LEDスペクトル

普及型青色LED: 明るいけど、赤色不足

→ 紫色励起LED: 全可視域で太陽光の  
演色性を可能に = 照明の変革

→ さらに、もう1つのピース:

LED本体に加え、「拡散」という灯体に固有の問題。

A. Saito et al., *Jpn. J. Appl. Phys* (2022) 61, SD0801.

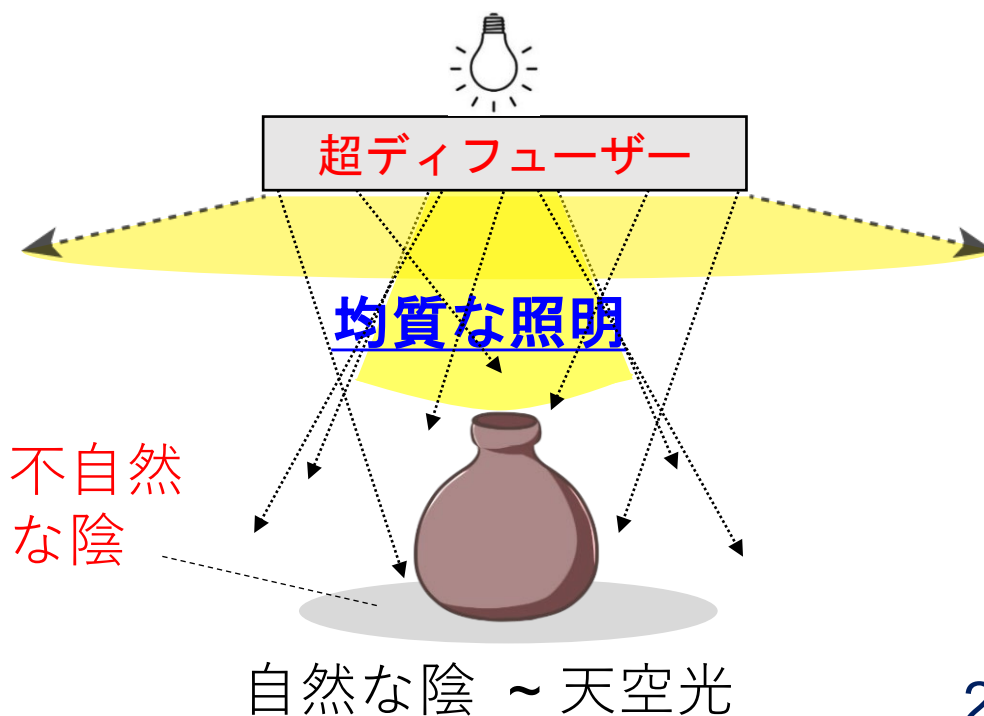
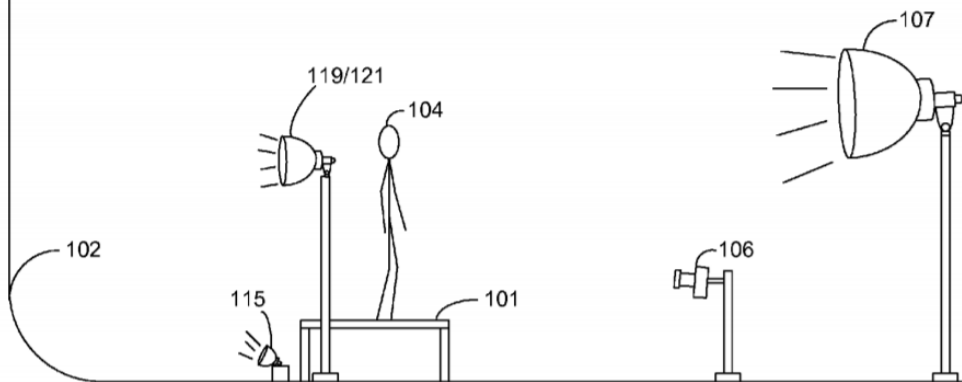
## 普遍的な撮影風景



## 撮影照明の現状 (ムラのない均質照明が重要)

- ・ **反射板**で光束拡大  
→ 大掛かりな設営
- ・ **拡散板** → 透過率の低下、拡散不足、  
カラーレンダリング

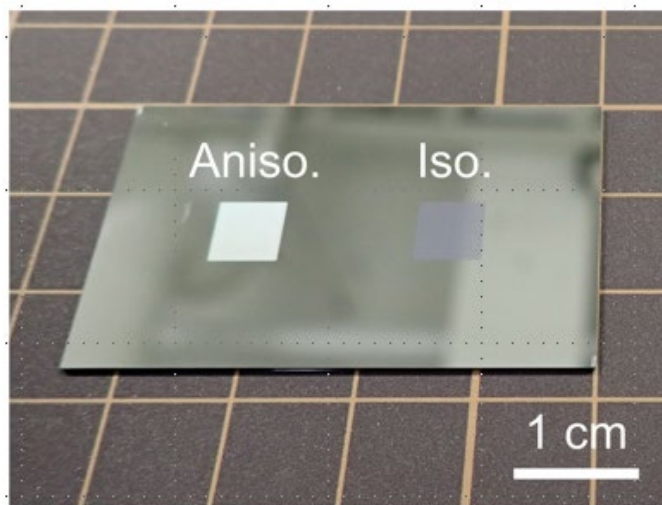
Amazonのライティング特許  
J. D. Sawatzky et al., "Studio Arrangement,"  
U.S. Patent 8,676,045, 2014.



## 実用化に向けた課題

- 現在、フォトリソグラフィで30cm基板まで開発済み（次ページ）。しかし、さらなる大面積化が未解決。
- 今後、ナノインプリントをさらに進め、大面積化を試みる。
- 実用化に向けて、〇〇の精度を〇〇まで向上できるように技術を確立する必要もあり。

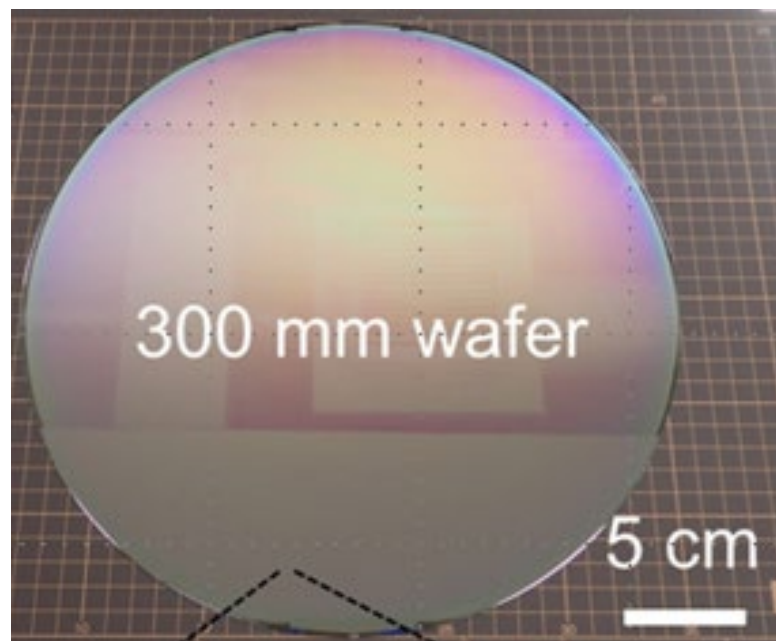
## プロセス



→  
Nanoimprint



## 同デザインのまま、大面積も



K. Yamashita, A. Saito et al., 22nd *NNT*,  
*Boston*, (2023).

by フォトリソ (ただし要精密  
= KrF stepper (前は i-線 stepper) )



# 企業への期待

- 異方性の変更や、諸般の設計は、FDTDの計算技術で克服できるであろう。
- 大面積化やナノ加工の技術を持つ、企業との共同研究を希望。
- 照明を中心に、光拡散シートの潜在的な応用範囲はまだ一部しか見出されていない。光を「明るく、広く、色を変えず」広げ、「広がり形状を制御、防汚もできる」用途を広げたい。

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : ディフューザ
- 出願番号 : 特願2022-170153
- 出願人 : 国立大学法人大阪大学
- 発明者 : 齋藤 彰、山下 和真

# 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](mailto:tenjikai@uic.osaka-u.ac.jp)**