

建物壁に適した無彩色太陽電池の 高効率化かつ低価格化

東京科学大学 物質理工学院

准教授 和田 裕之

特定教授 近藤 道雄

2026年6月25日

新技術説明会
New Technology Presentation Meetings!

無彩色(白色)太陽電池: 想定される用途

建物壁面への太陽電池の設置

利点:

- ・電気代の低減、売電による利益
- ・災害時電源の確保
- ・環境推進のイメージ向上

C. Ballif, et al. Nature Energy, 3 (2018) 438.

V. H. L. Caer, et al. International Patent 045141A2 (2013).

J. Escarre, et al. IEEE 42nd PVSC, (2015) 179.

欠点:

太陽電池の色が**黒色**(イメージ、景観条例)

→ **白色系(グレー)**太陽電池

→ 発電低効率、高コスト等の課題

東京科学大学エネルギー棟



カーボンニュートラル(2050年)

→ 直ぐに対応が必要

→ 設置面積拡大

→ 屋根だけでなく、**壁面にも**

太陽電池の白色化



J. Nicolas et al. Energy Procedia, 122 (2017) 175.

G. Steinke et al. 19. Status-Seminar 'Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt' ETH-Zürich (2016).

従来技術とその問題点、新技術の特徴・従来技術との比較

従来技術

光学薄膜(真空蒸着)

- ・観察色の角度依存(干渉膜)
- ・低発電効率(白=全可視光の反射)

・高価格(装置コスト、運転費用)

・サイズの制約(チャンバーサイズ)

新技術①

新規光学薄膜

- ・観察色の角度依存性を低減
- ・高発電効率を維持

新技術②

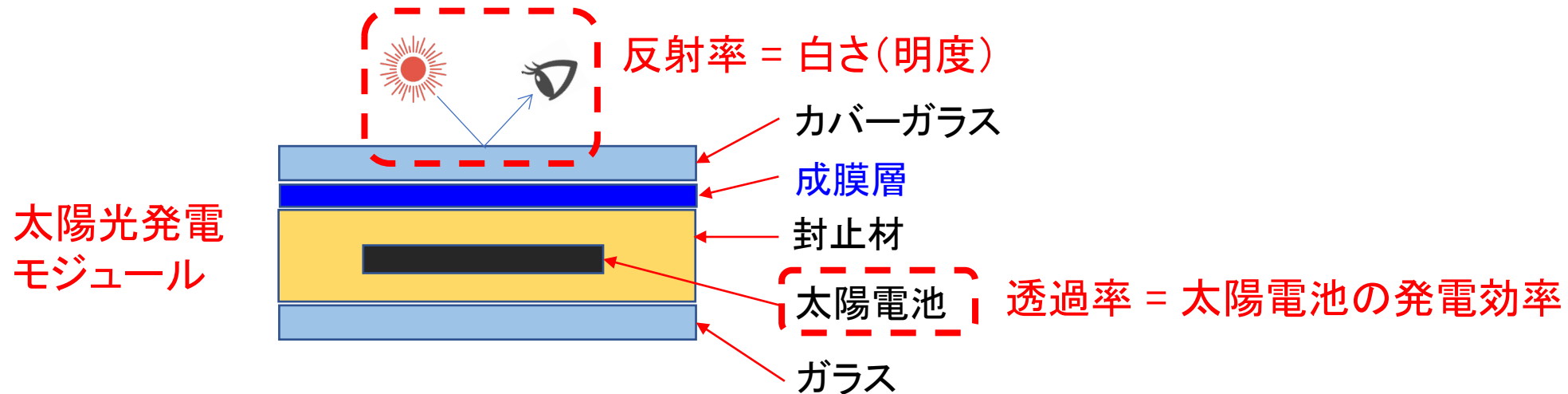
マイカ顔料(スプレー塗布)

- ・低価格
- ・大面積化が容易
- ・曲面も可能

解決手段

目標: 太陽光発電効率の損失が小さく、低コストで、高意匠性の太陽光発電モジュールの実現

成膜層の光学特性の重要性



アプローチ

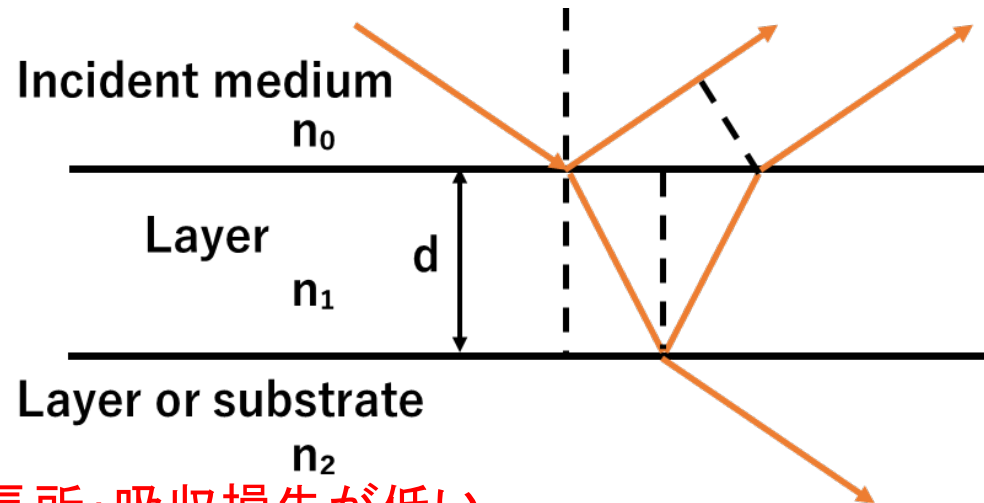
- ・光学薄膜(新技術①): 様々な色、優れた角度安定性(本技術)
- ・マイカ顔料(新技術②): 小片マイカ上の光学薄膜、スプレー塗布、寸法自由度(大型・曲面等)および低コスト
- ・テクスチャ構造: 光散乱
- ・セルロース素材: 光散乱、環境に優しい素材

新技術① 光学薄膜(角度安定性・高効率)

誘電体多層膜

光の干渉の利用

パラメータ: 屈折率 n_i / 膜厚 d / 層数 N



長所: 吸収損失が低い

短所: 入射角の変化による色変化

(CD・DVDディスクの裏面)

既往研究

白色モジュールの色



可視光全域で反射



発電効率損失: 40%



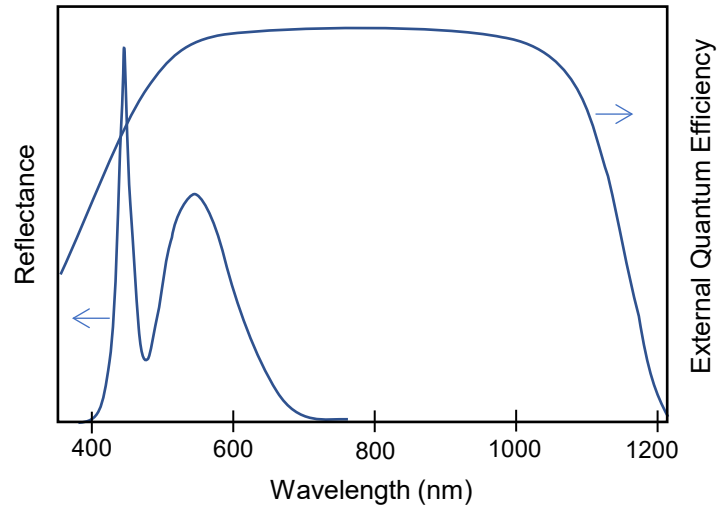
発電効率損失の低減が必要

Anishkumar Soman et al, Solar Energy 181 (2019) 1.

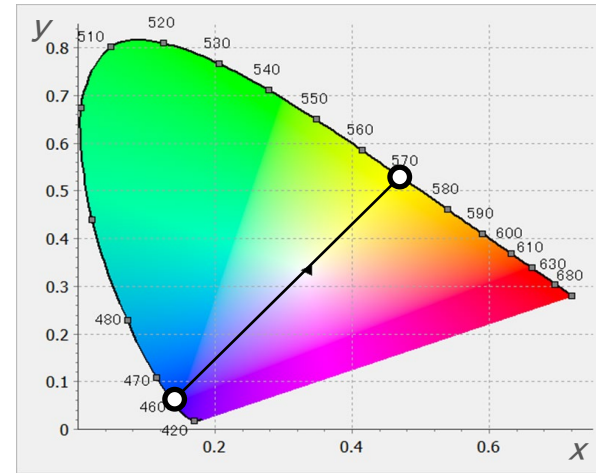
光学薄膜設計

目標光学特性

反射率と太陽光発電効率（概念図）



色度図



白色: $(x, y) = (0.33, 0.33)$

青 + 黄 $\neq$ 全可視光



白

青と黄以外の光: 発電用に使用

光学設計

反射率や色などの**目標値**を設定



膜厚と層数の**変化**

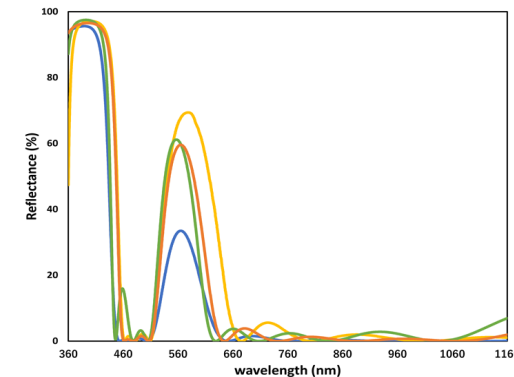


膜構造の取得

Optilayer (ソフトウェア)

$$MF_{conv \text{ or } col} = \left\{ \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(\frac{T_j - T'_j}{DT_j} \right)^2 \right\}^{1/2}$$

$$MF^2 = w_{conv} MF_{conv}^2 + w_{col} MF_{col}^2$$



新技術説明会
New Technology Presentation Meetings!



Institute of
SCIENCE TOKYO

設計条件 (I)

シミュレーションターゲット

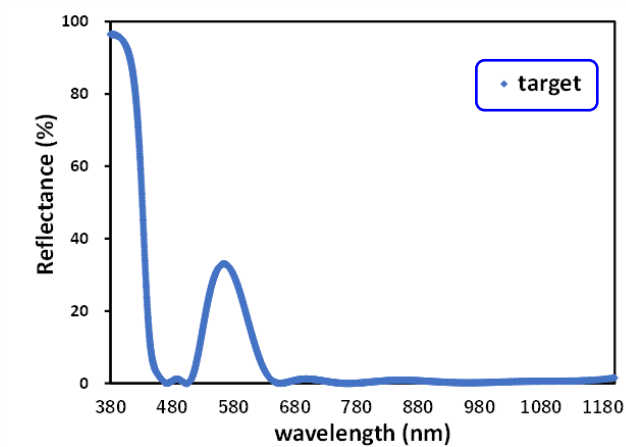
光源: D65

入射角 $0 \sim 30^\circ$

色の目標: = 1

角度	タイプ	ターゲット
0°	(x, y)	(0.33, 0.33)

反射スペクトルの目標: = 1 (入射角: 0°)



材料

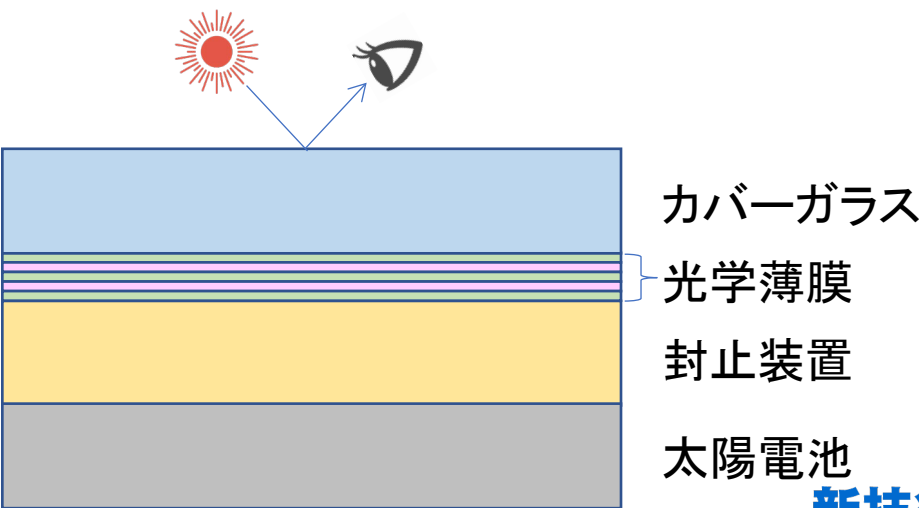
高屈折率: TiO_2

低屈折率: SiO_2

入射媒体: ガラス (N-BK7)

基板: ガラス (N-BALF5) $\div$ EVA

モジュールの構造



新技術説明会

New Technology Presentation Meetings!

Institute of

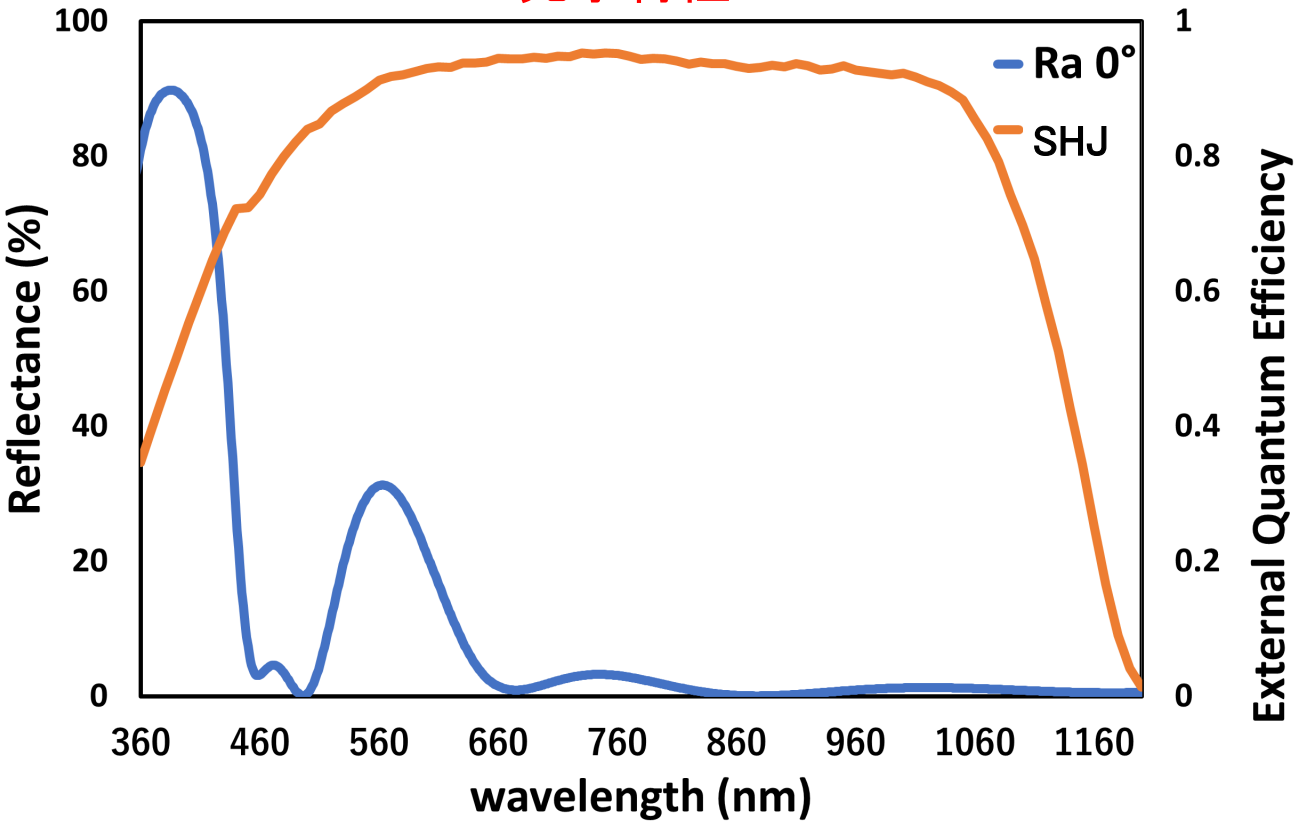
SCIENCE TOKYO

結果: 光学特性

膜構造

Layer	Physical thickness (nm)	Materials
Incident medium		Glass (N-BK7)
1	31.7	TiO ₂
2	48.5	SiO ₂
3	48.6	TiO ₂
4	20.9	SiO ₂
5	60.7	TiO ₂
6	44.9	SiO ₂
7	35.2	TiO ₂
8	365.9	SiO ₂
9	19.9	TiO ₂
substrate		Glass (N-BALF5)
total	676.8	

光学特性

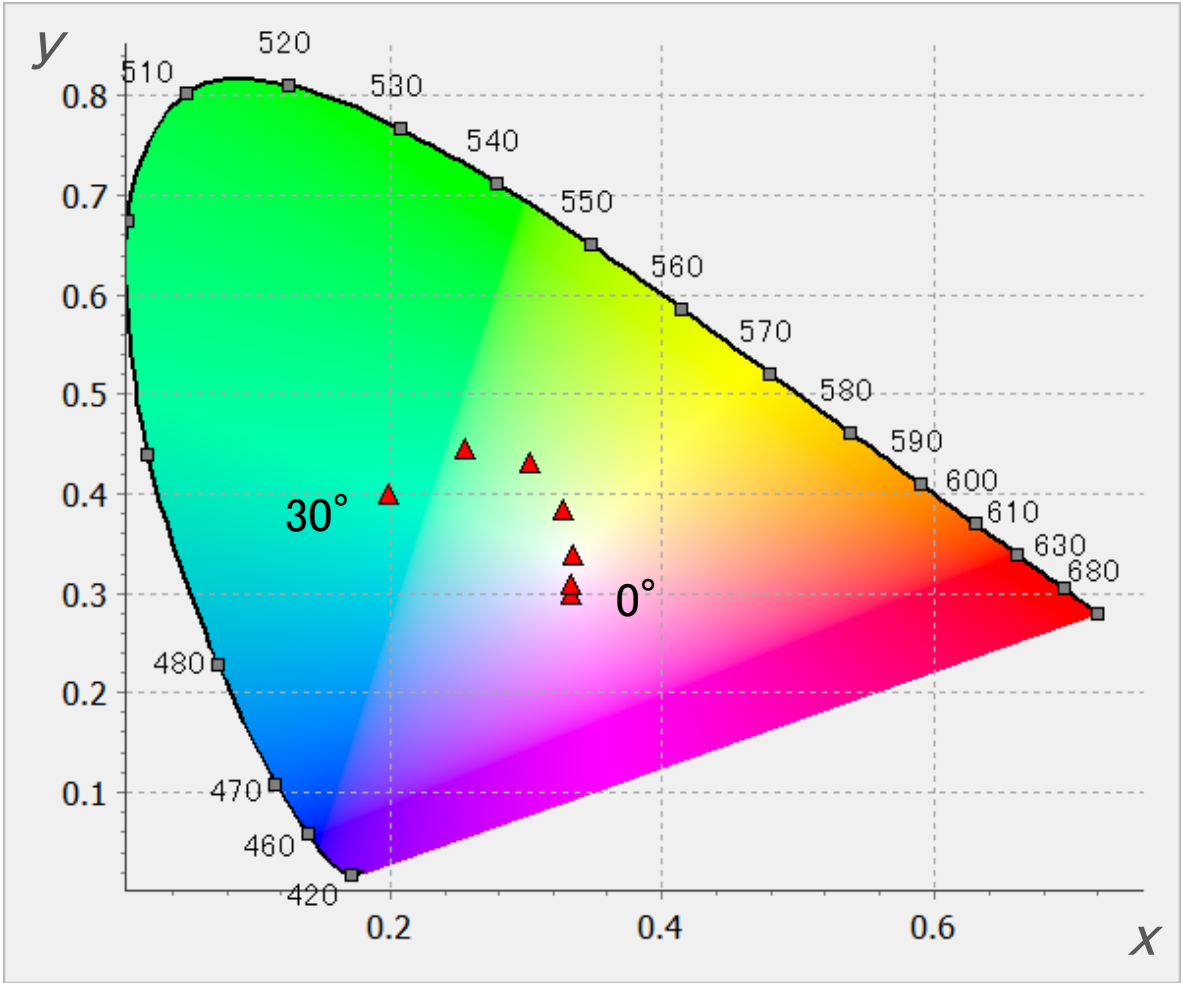


推定発電効率損失: 8.6 %

二つの反射ピークをもつ光学薄膜

色の入射角度依存性

色度図

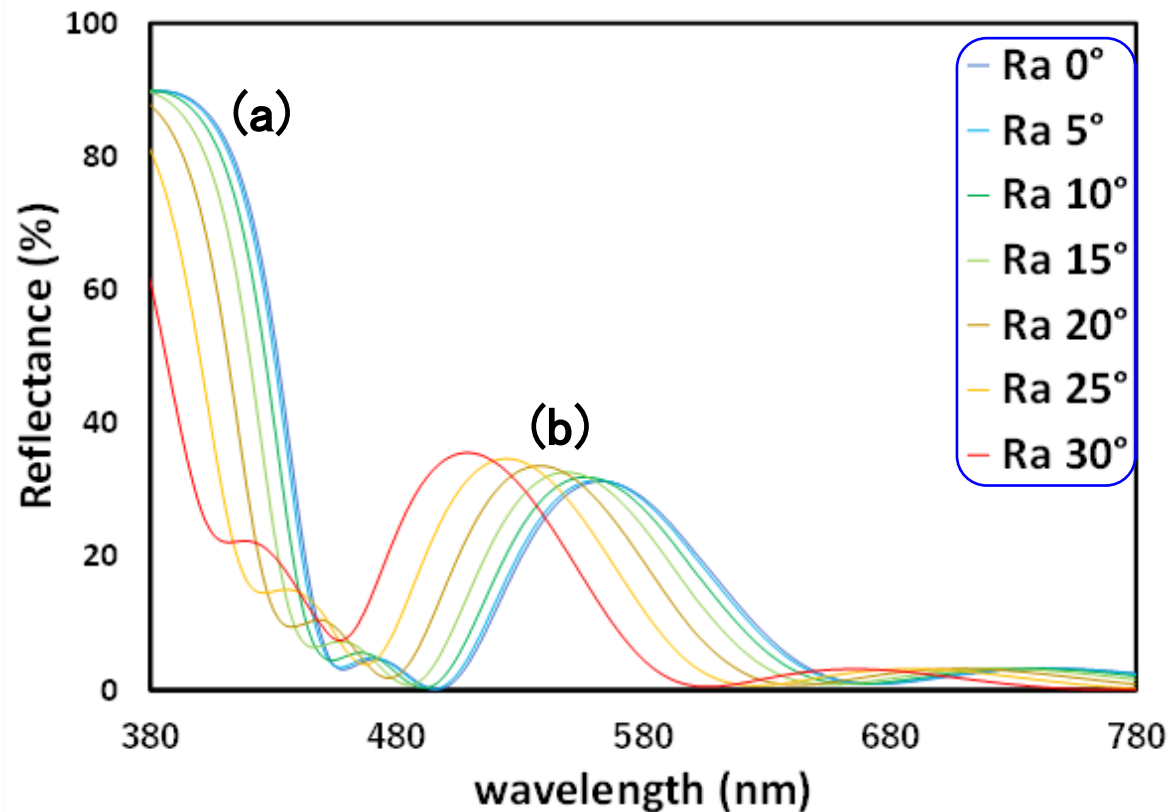


Angle(deg.)	(x, y)	Luminous reflectance LY(%)
0	(0.332, 0.299)	19.6
5	(0.333, 0.309)	19.7
10	(0.333, 0.338)	20.1
15	(0.327, 0.383)	20.4
20	(0.302, 0.431)	20.2
25	(0.254, 0.444)	18.9
30	(0.198, 0.399)	16.2

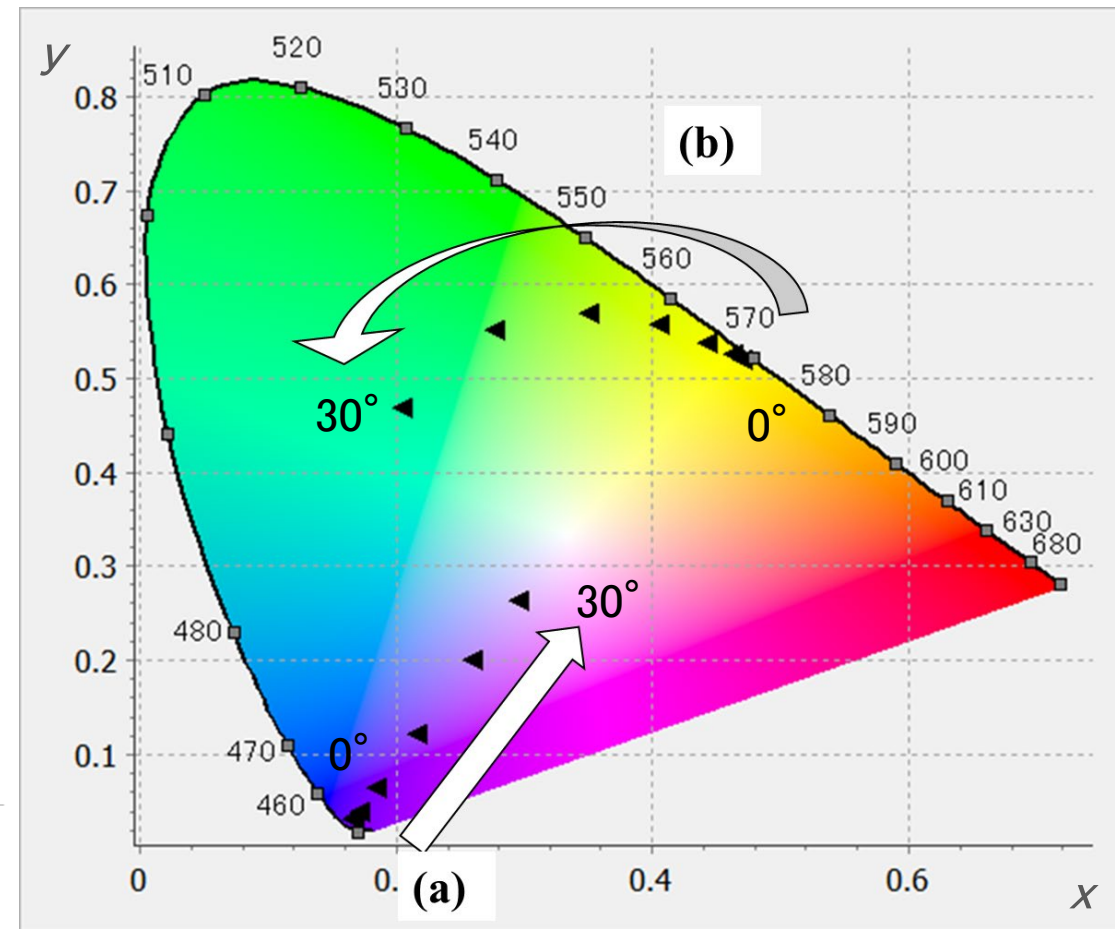
入射角の増加：白色から緑色への変化

ピーク分離

光学特性



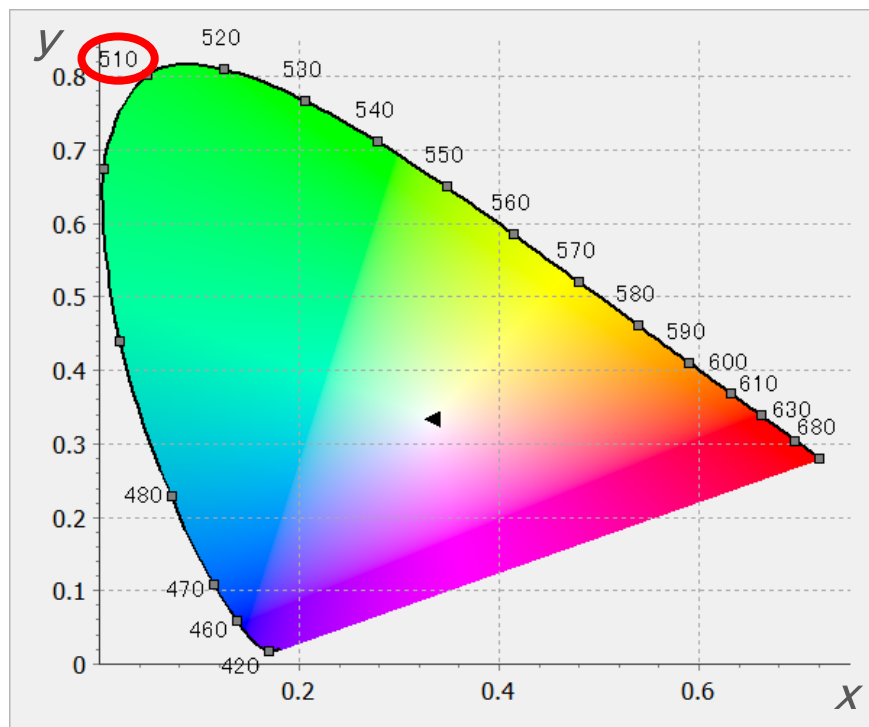
色度図



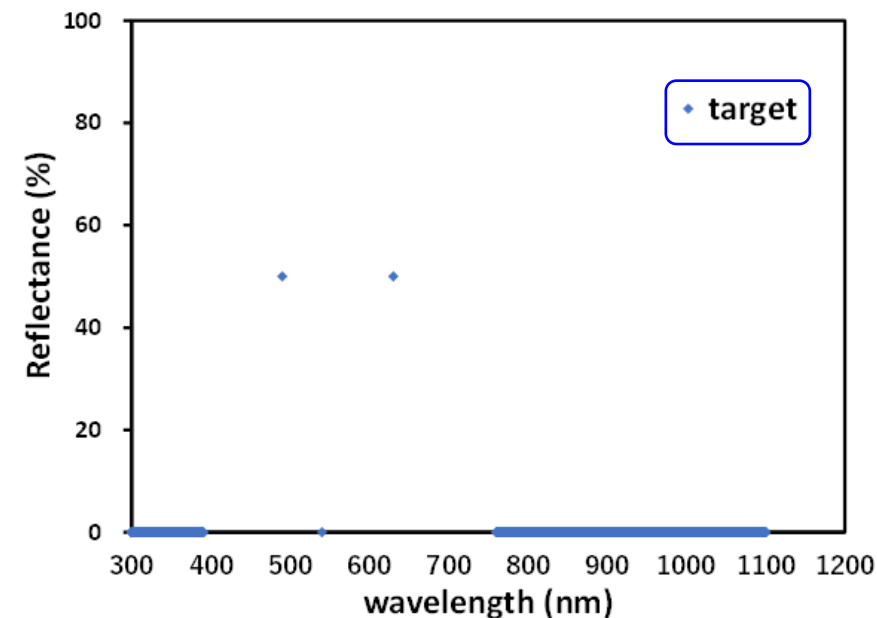
色度図における**ピーク(a)の望ましくない変化**: 紫外線領域へのブルーシフトに起因
(ブルーシフト: 入射角増加による正常な現象)

設計条件(II)

色度図



反射スペクトルの目標



2つの反射ピークの設定

- ・ブルーシフト後も可視光領域を維持
- ・色度図上で510nmの左右両側

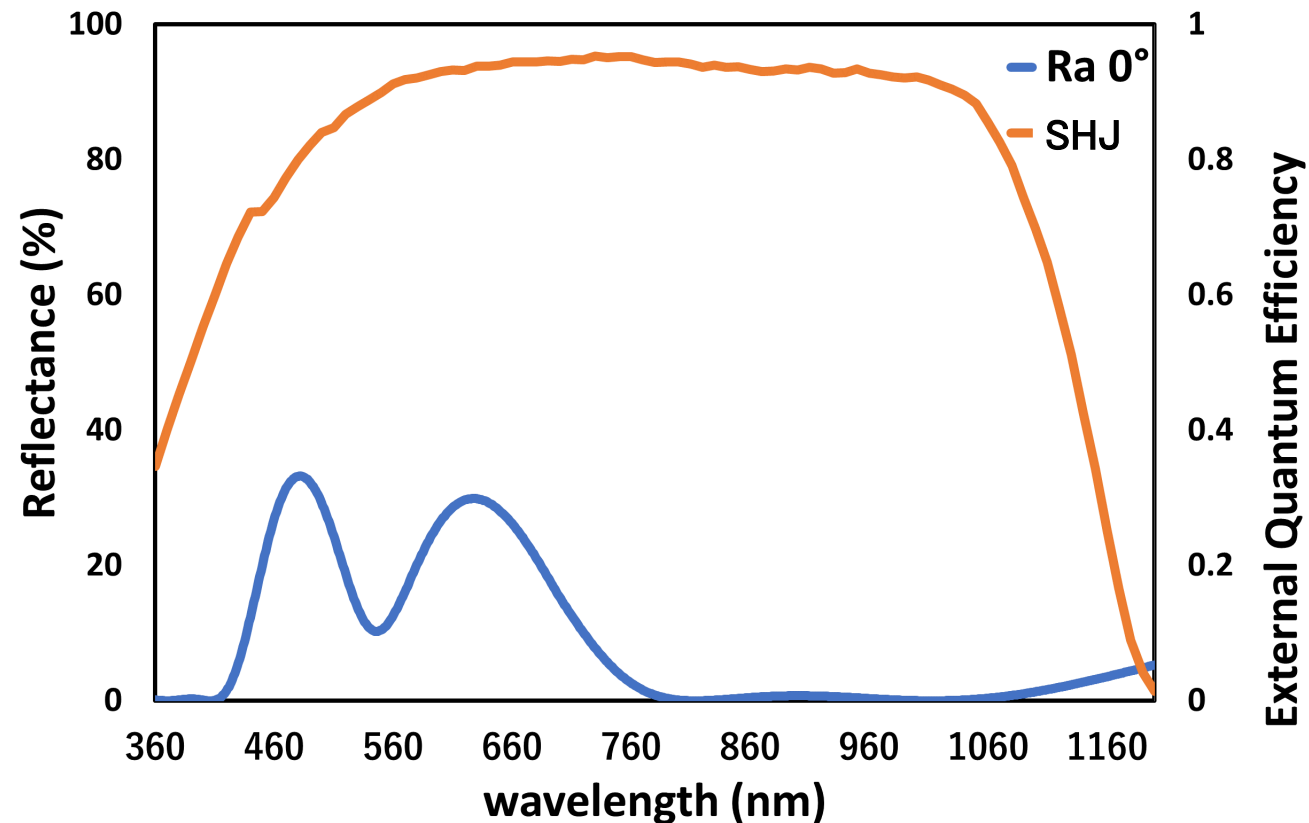
角度	タイプ	ターゲット
0°	(x, y)	(0.33, 0.33)
0°	Ly.	20%.
30°	(x, y)	(0.33, 0.33)

結果: 光学特性

薄膜構造

Layer	Physical thickness (nm)	Materials
Incident medium		Glass (N-BK7)
1	13.5	TiO ₂
2	26.5	SiO ₂
3	26.0	TiO ₂
4	40.4	SiO ₂
5	17.5	TiO ₂
6	42.8	SiO ₂
7	19.4	TiO ₂
8	52.5	SiO ₂
9	10.1	TiO ₂
10	166.9	SiO ₂
11	25.7	TiO ₂
12	29.8	SiO ₂
13	16.6	TiO ₂
14	52.9	SiO ₂
15	27.6	TiO ₂
16	18.6	SiO ₂
17	20.4	TiO ₂
substrate		Glass (N-BALF5)
total	608.0	

光学特性



H. Sai et al, Progress in Photovoltaics, 27 (2019) 1061.

推定発電効率損失: 10.5 %

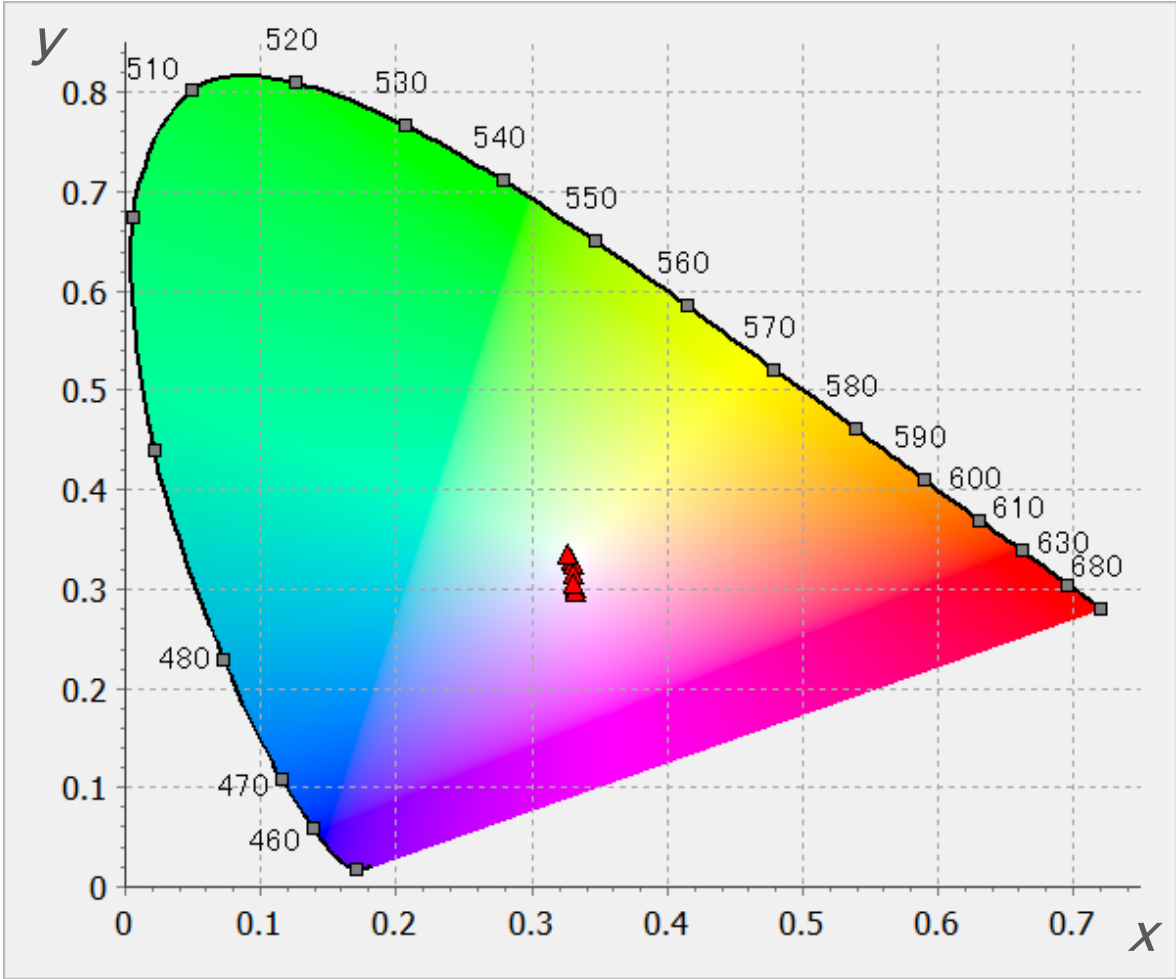
色度図上で510nmの左右に2つの反射ピークをもつ光学薄膜

L. Adachi et al. Jpn. J. Appl. Phys. 62 (2023) SK1010-1-13.

Copyright (2023) The Japan Society of Applied Physics

色の入射角度依存性

色度図



角度(度)	(x, y)	LY(%)
0	(0.330, 0.329)	20.0
5	(0.330, 0.325)	20.1
10	(0.331, 0.314)	20.5
15	(0.332, 0.302)	21.3
20	(0.333, 0.297)	22.8
25	(0.331, 0.306)	24.9
30	(0.325, 0.335)	27.3

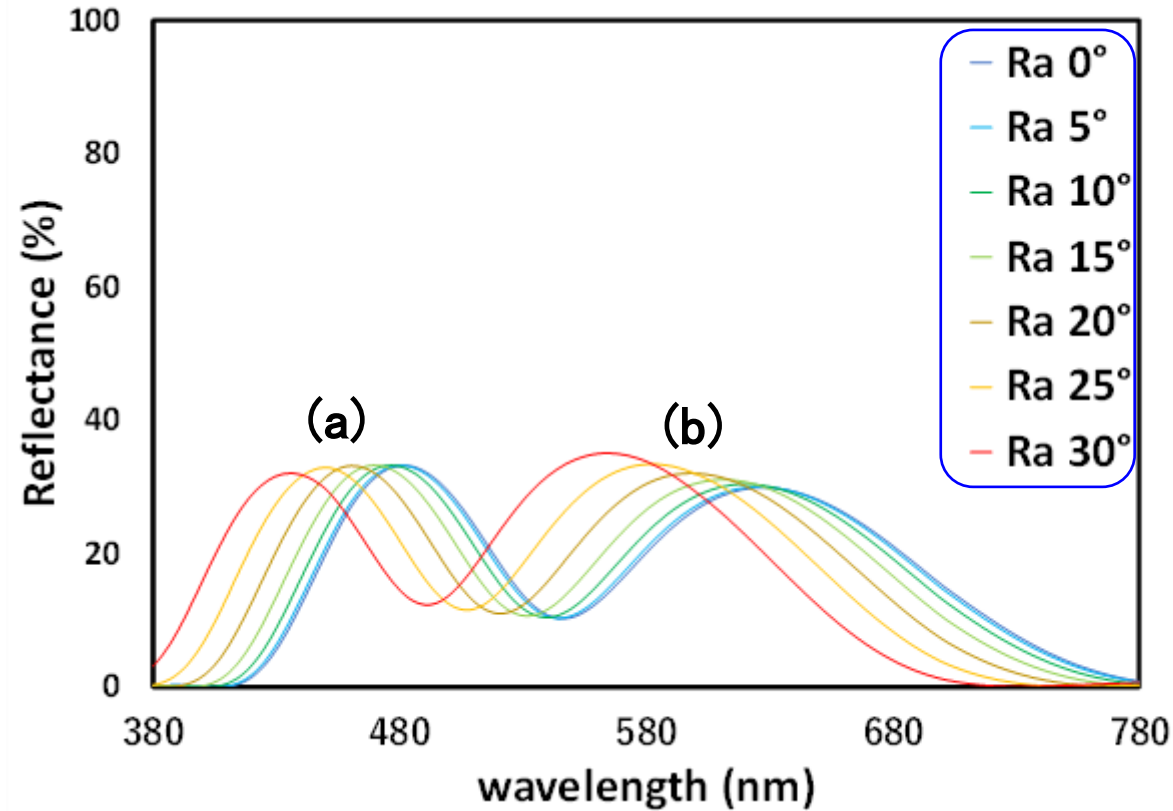
入射角が30° まで増加しても色が一定

L. Adachi et al. Jpn. J. Appl. Phys. 62 (2023) SK1010-1-13.

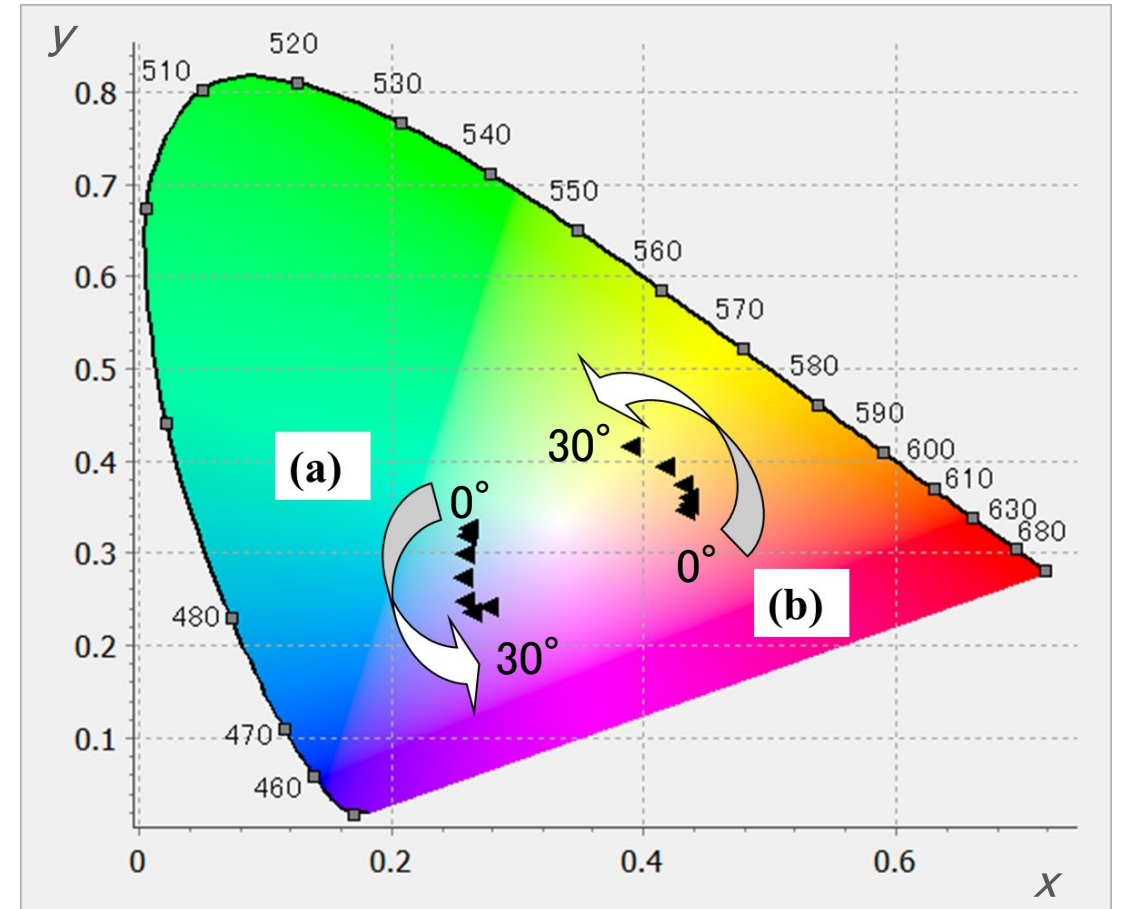
Copyright (2023) The Japan Society of Applied Physics

ピーク分離

光学特性



色度図



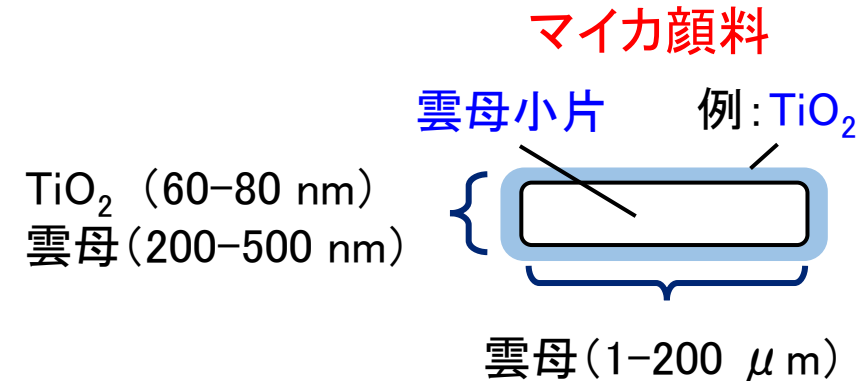
角度許容差が大きい理由: 2つの反射ピークのブルーシフトの相殺

マイカ顔料

- ・酸化物でコーティングされたマイカ小片
- ・高輝度、高彩度
- ・自動車、化粧品などに使用

着色方法

- ・三層構造(TiO_2 、マイカ、 TiO_2)
 - 光学多層膜と同等
 - 屈折率の差による光学干渉で発色



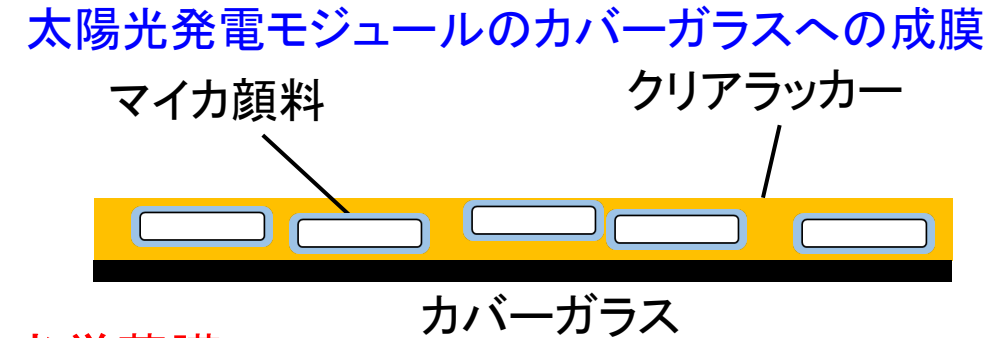
G. Pfaff and P. Reynders, Chem. Rev. 99 (1999) 1963.

F. Suzuki et al. Journal of the Society of Inorganic Materials, 11 (2004) 377.

マイカ顔料塗布(寸法自由度と低コスト)

利点

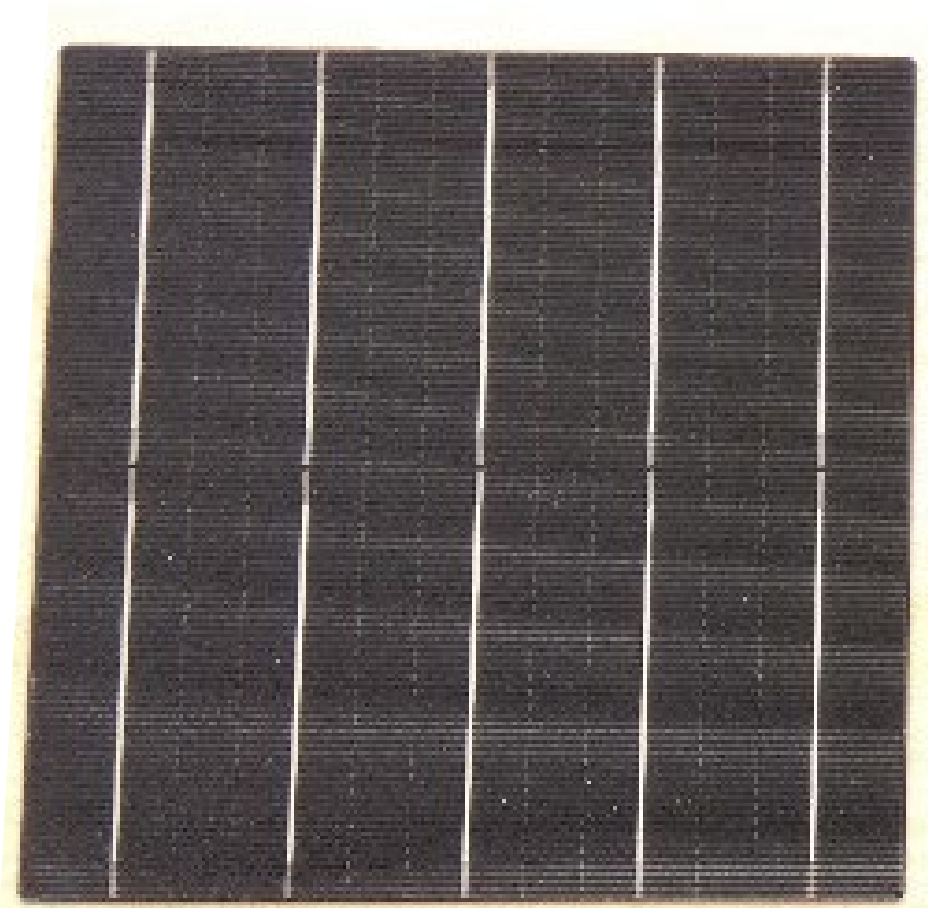
- ・低コスト材料
- ・吸収なし
- ・マイカ顔料小片: **カバーガラス上に整列** = カバーガラス上の**光学薄膜**
- ・ **スプレー塗布**による**低コスト成膜**の形成
光学薄膜の問題解決: 真空チャンバーのサイズによる制約(**大面積**成膜)、形状による制約(**曲面**成膜)、高コストな真空プロセス(**低コスト化**)
- ・マイカ顔料の色の変更
⇒ 白色以外の様々な色の着色が可能
- ・高耐久性



G. Pfaff and P. Reynders, Chem. Rev. 99 (1999) 1963.

F. Suzuki et al. Journal of the Society of Inorganic Materials, 11 (2004) 377.

従来の太陽電池



本技術：白色太陽電池



壁に適した色調

新技術説明会

New Technology Presentation Meetings!

Institute of

SCIENCE TOKYO



企業との共願なし

特願2021-200963：基本特許（新規マイカ顔料の高効率・角度許容モジュール）

特願2022-102066：周辺特許（テクスチャ構造/コア特許の実施例追加と数値限定）

特願2022-197411：周辺特許（テクスチャ構造の実施例追加と数値限定）

特願2025 出願済：基本特許（更なる高効率化のための技術）

- ・ 更なる多色化
- ・ 屋外実証試験
- ・ 長期信頼性の更なる確認
- ・ 特許の海外展開
- ・ 塗装量産パートナー企業様 等

社会実装への道筋

時期	取り組む課題や明らかにしたい原理等	社会実装への取り組みについて
基礎研究	・ マイカ顔料を用いた高効率白色太陽電池の作製が完了	
現在	・ 更なる高効率化を推進	展示会出展 塗装量産パートナーの探索
1 年後	・ 屋外実証試験 ・ 長期信頼性試験 ・ 特許の海外移行	展示会出展
2 年後	—	起業
4 年後	—	自立的なキャッシュフローの確立

- ・ 将来的な新規ビジネスのパートナー
- ・ 屋外実証試験の実施
- ・ 特許の海外展開の協力
- ・ 塗装量産パートナー 等

- ・本技術は、エネルギー・カーボンニュートラル分野において、幅広い業種企業様と
水平展開できるため、新規ビジネスを立ち上げることが可能
- ・各企業様のニーズに合ったコンサルティングが可能
- ・本技術の導入においては、可能な範囲での技術指導が可能

2020年8月～2023年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO): 太陽光発電主力電源化推進技術開発／太陽光発電の新市場創造技術開発／壁面設置太陽光発電システム技術開発／壁面設置太陽電池モジュール(非開口部、開口部)の開発: 壁面設置太陽電池モジュールの高性能化技術開発

2024年5月～2026年3月

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO): NEDO先導研究プログラム／エネルギー・環境新技術先導研究プログラム／易分解・軽量高剛性・低環境負荷サステナブルPVモジュール開発: 易分解太陽電池モジュールの設計、分解技術の開発とLCA評価

謝辞: 新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)

カネカ株式会社

産業技術総合研究所

東京科学大学 (Science Tokyo)
産学共創機構技術プロモーション室

T E L 03-5734-3817
e-mail consult@cim.isct.ac.jp