

平坦型光閉じ込め基板の開発と 薄膜シリコン太陽電池への応用

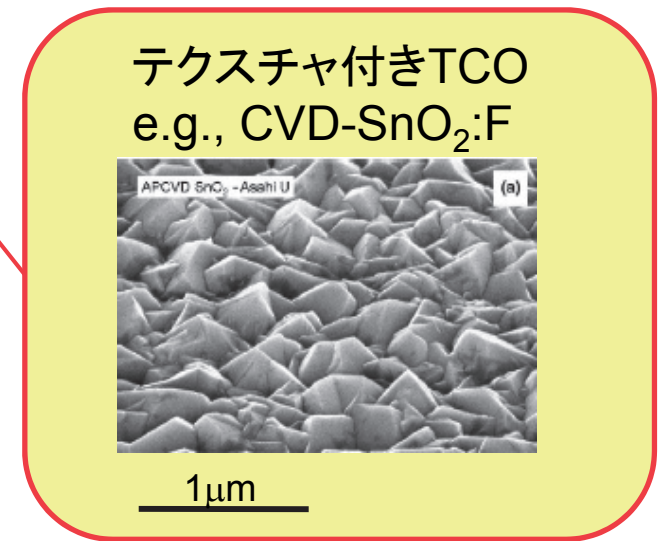
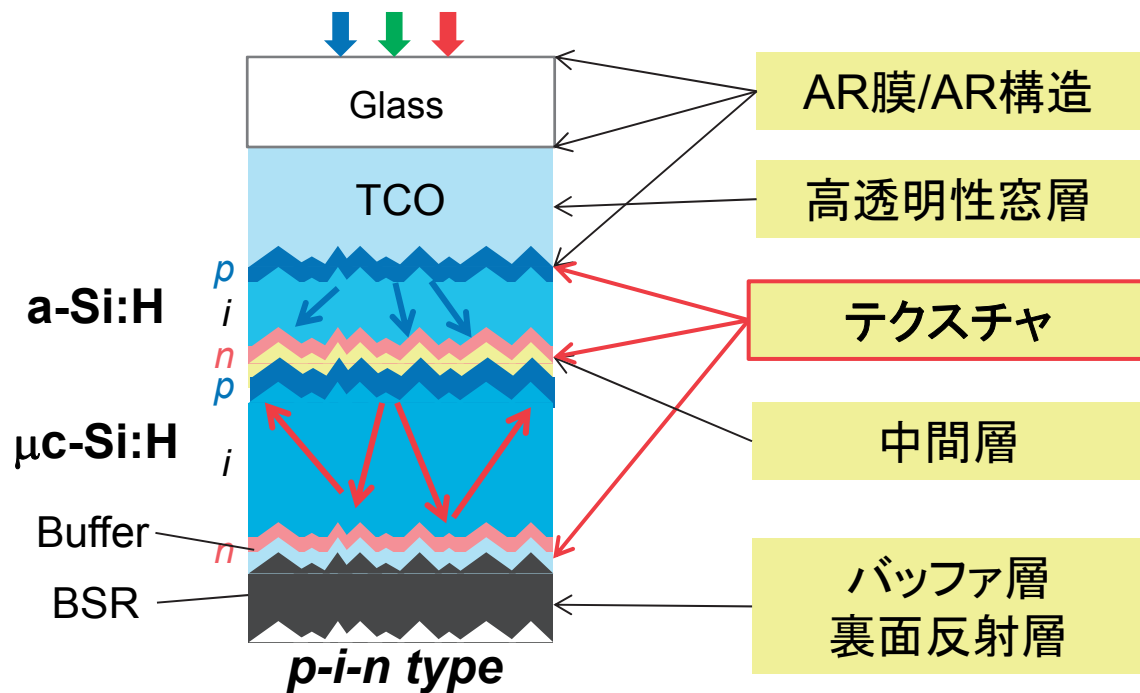
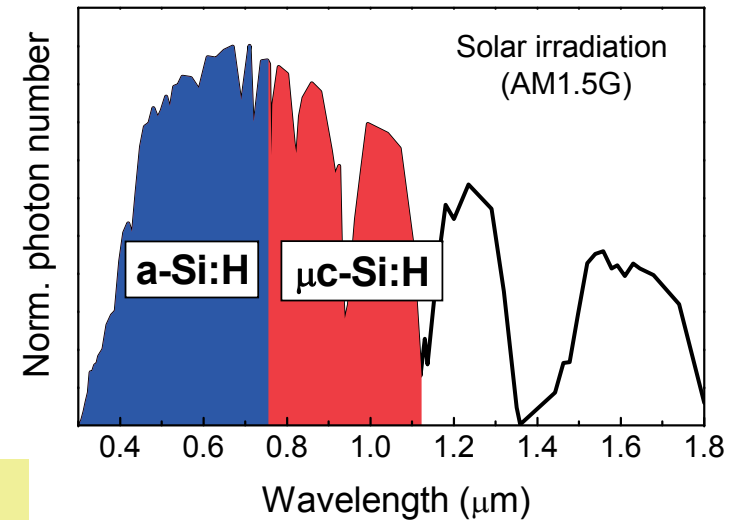
太陽光発電工学研究センター
先進産業プロセス・低コスト化チーム

齋 均

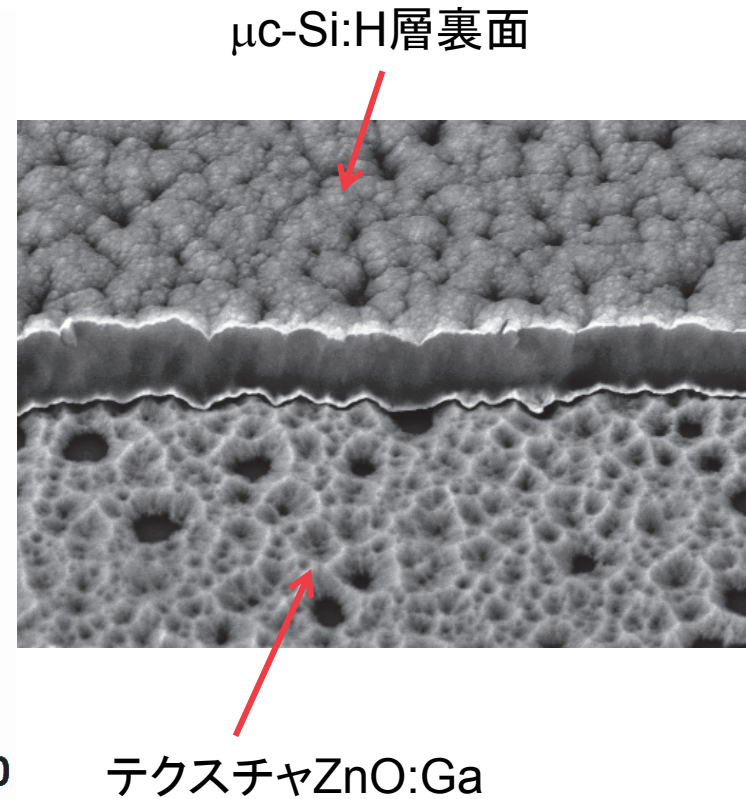
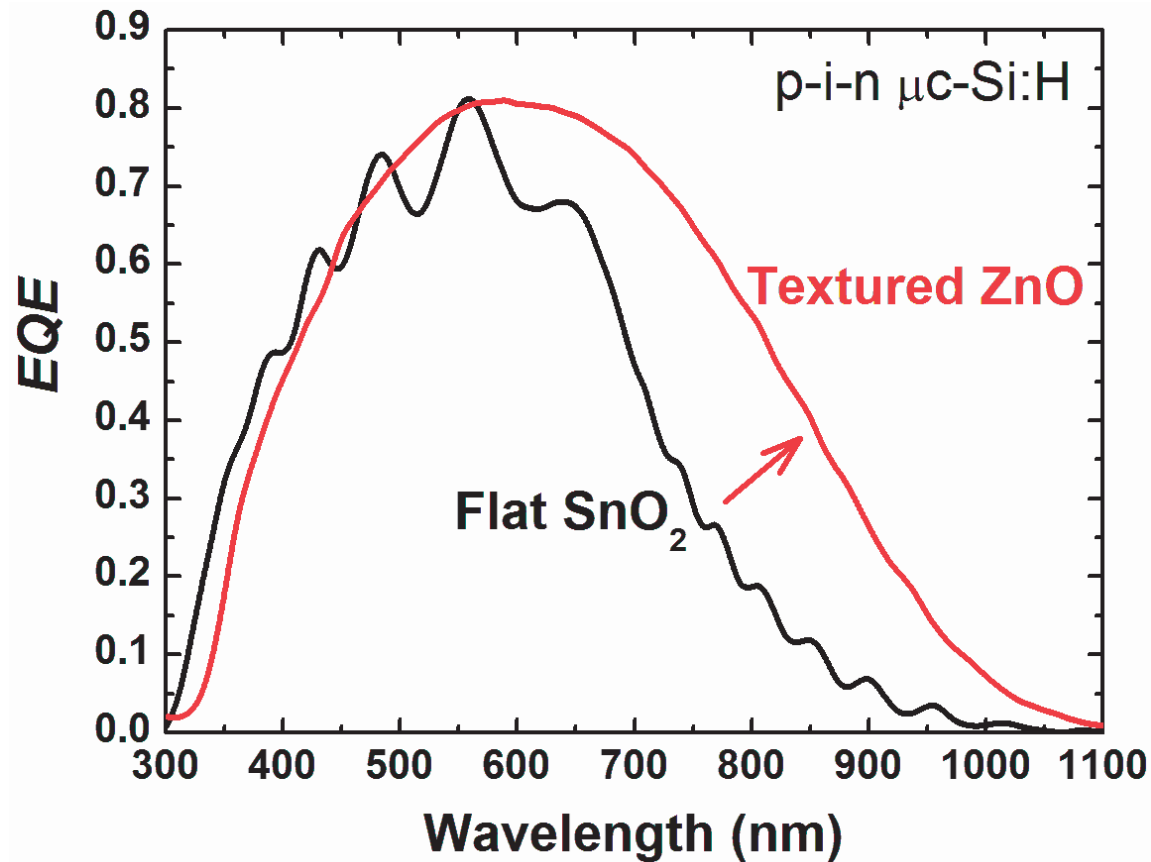
1. 研究背景とコンセプト
2. 基板作製
3. 太陽電池への適用
4. まとめ

薄膜シリコン太陽電池における光マネジメント

- 反射抑止・光閉じ込め(光吸収/電流の増大)
 - 電流整合(多接合電池での電流最大化)
- 特に $\mu\text{c-Si:H}$ の高電流化が課題。

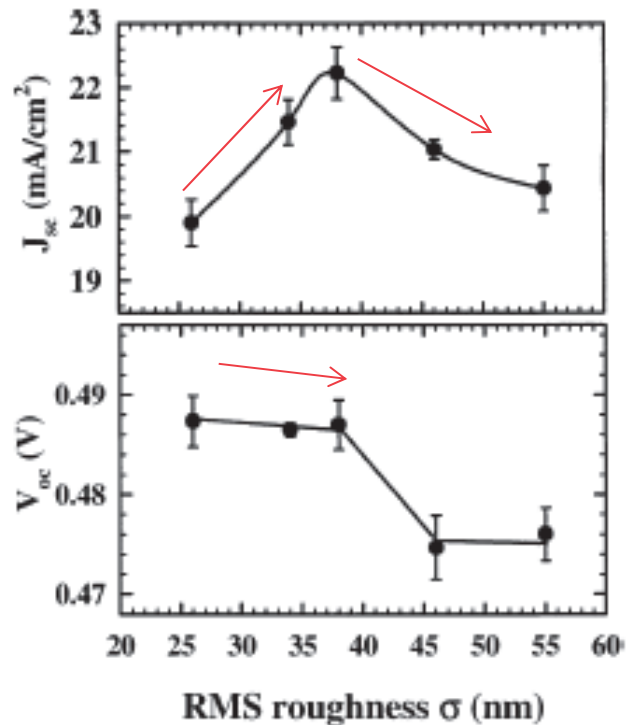


テクスチャによる光電流増加効果

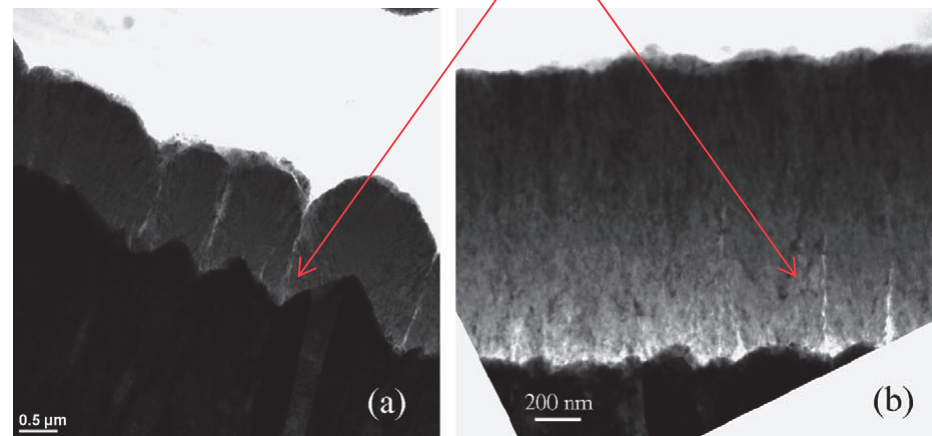


テクスチャ導入におけるトレードオフ

J_{sc} Trade-off V_{oc} & FF



“クラック”、膜が疎な部分:
シャントパス、ポスト酸化



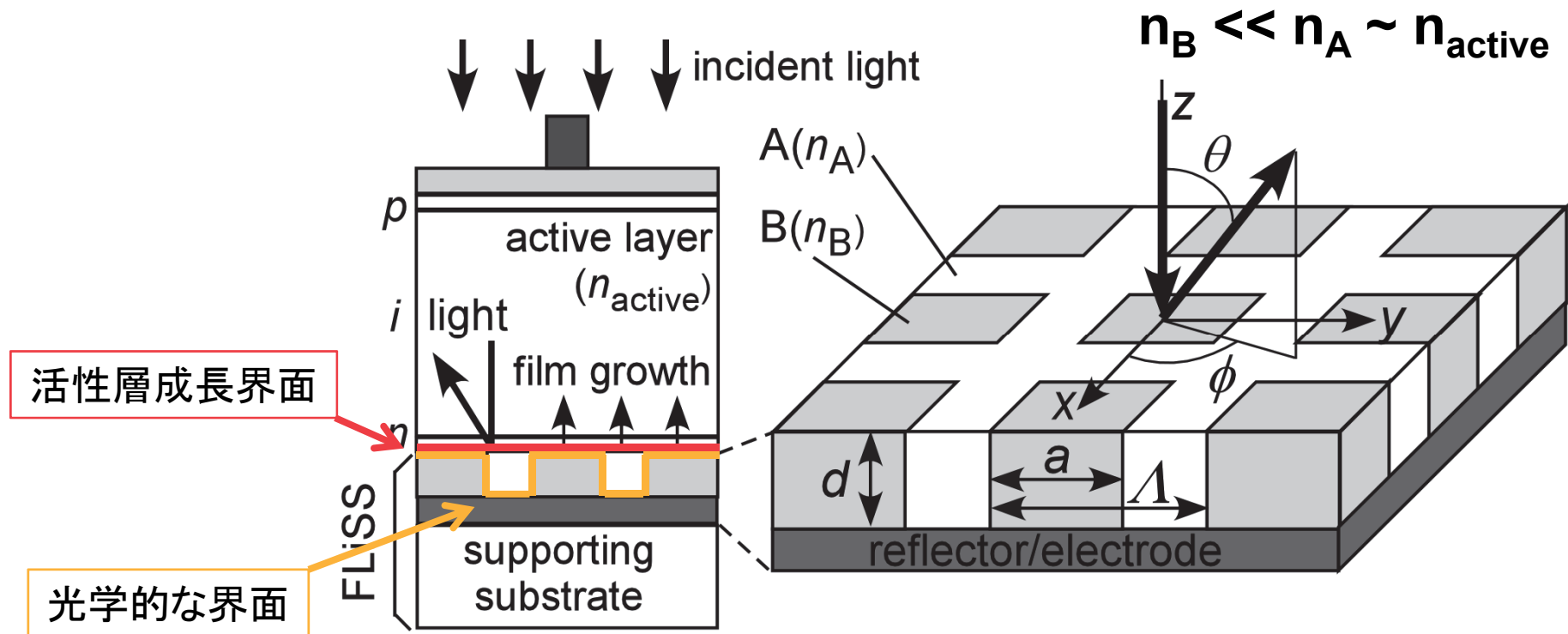
過度のテクスチャは薄膜シリコン内部に
欠陥を誘起し太陽電池の性能を低下させる。

Nasuno, *JJAP* **40** (2001) L303.
Matsui, *JNCS* **299-302** (2002) 1152.
Smets, *APL* **92** (2008) 033506.
Python, *SOLMAT* **93** (2009) 1714.

平坦化光散乱基板

Flattened Light Scattering Substrate (FLiSS)

「**構造的には平坦**」だが「**光学的にはテクスチャを有する**」構造



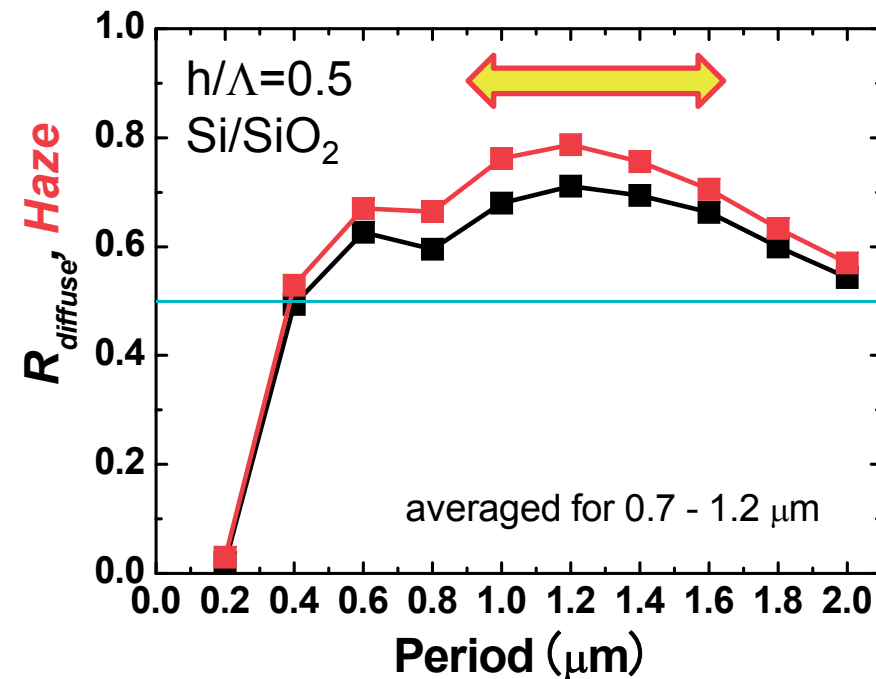
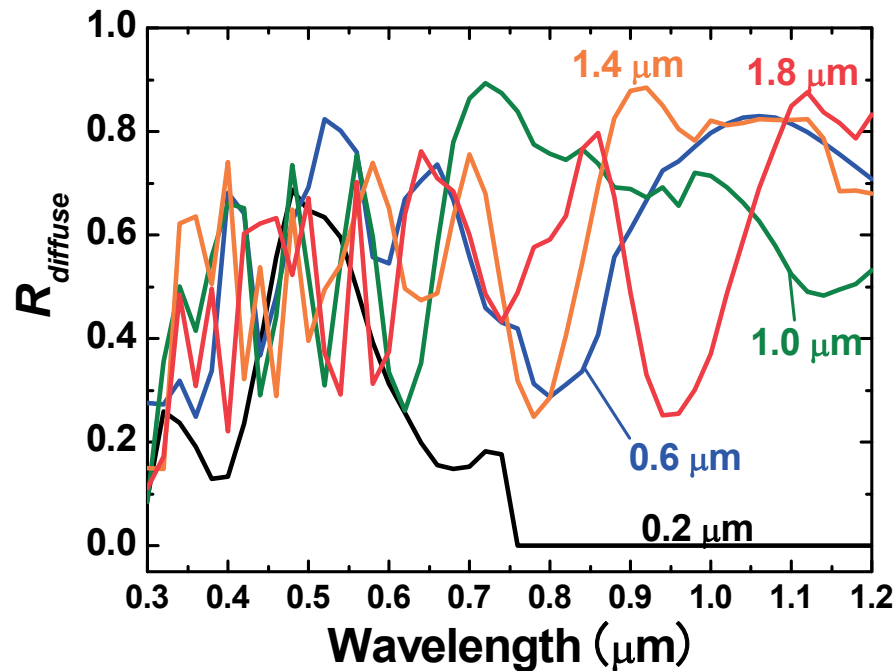
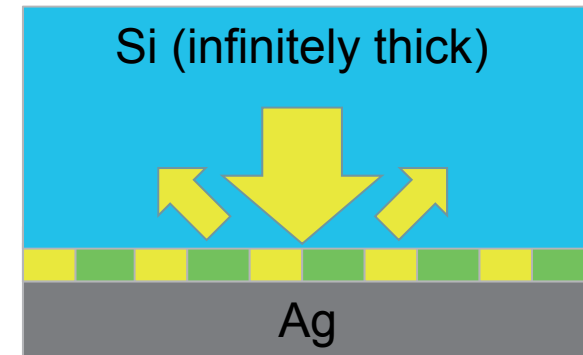
活性層成長界面

光学的な界面

大きな屈折率差 Δn を持つ異種材料が適切に分散した複合材料 \rightarrow 膜成長界面と光学界面を分離

光学設計

方法	RCWA (電磁界解析)
解析モデル	Siと接した2D回折格子
媒質A / B	Si ($n \sim 3.7$) / SiO ₂ ($n \sim 1.45$)
変数	周期(Λ), 高さ(h)



平坦化光散乱基板の作製

	材料	n	$E_g(\text{eV})$
活性層	$\mu\text{c-Si:H}$	3.7	1.1
A	“dead” (n)a-Si:H	3.7	1.7
B	ZnO:Ga	2.1	3.5

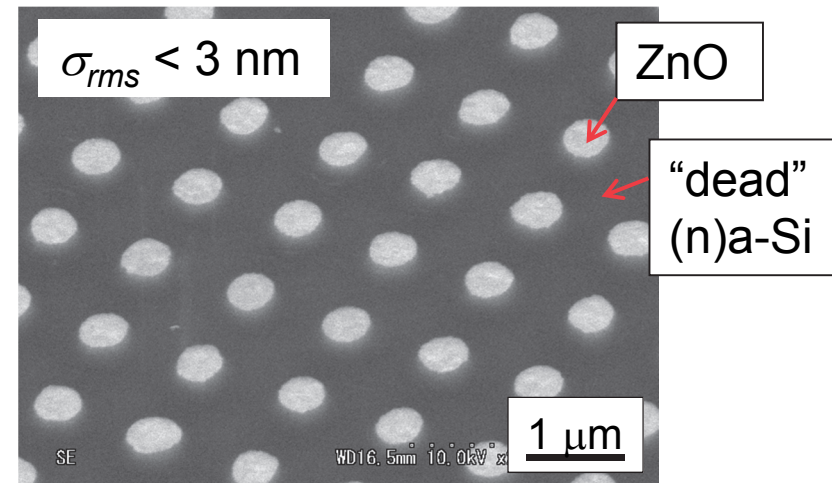
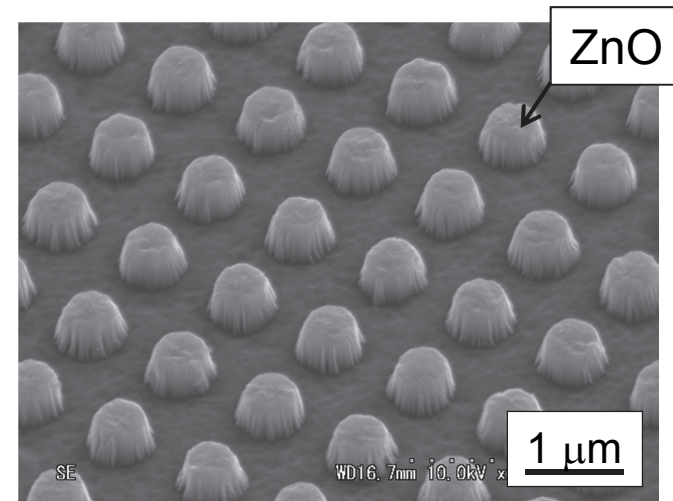
(1) Patterning of material B



(2) Deposition of material A



(3) Flattening by CMP



反射スペクトルと角度依存性

実験

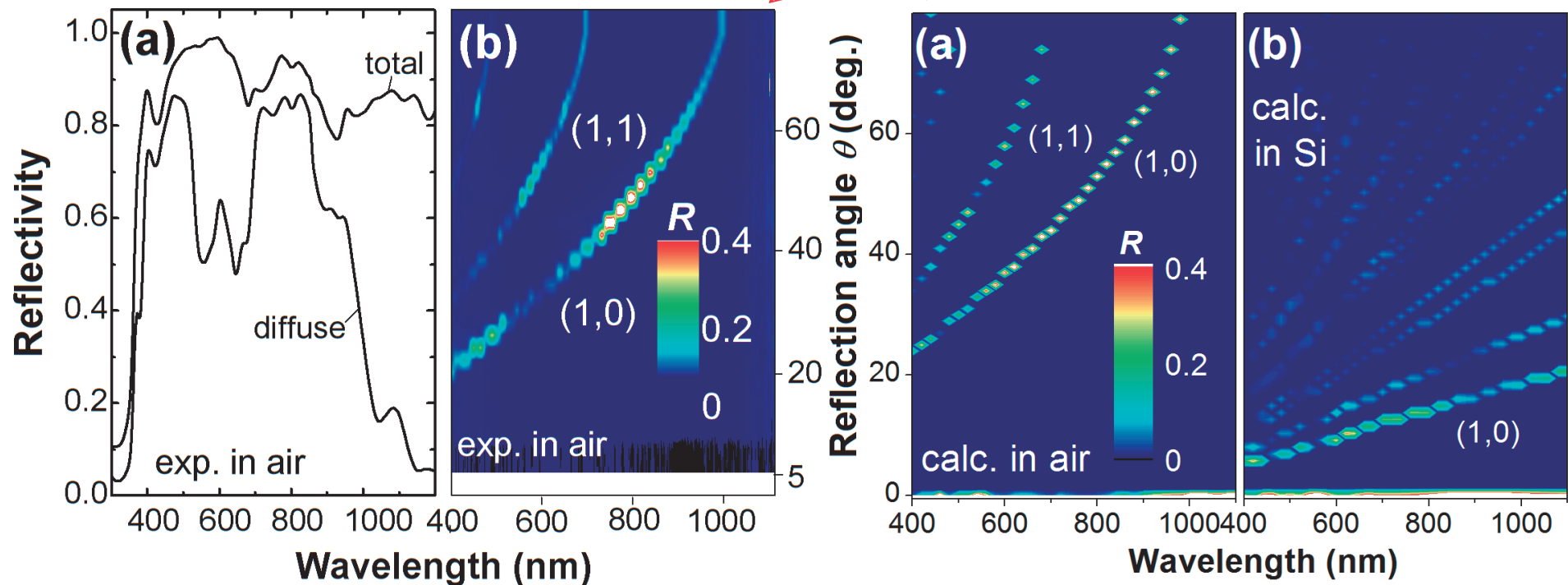
空气中

光学解析

ZnO grating on Ag (w/o flattening)

ARS in Air

ARS in Si

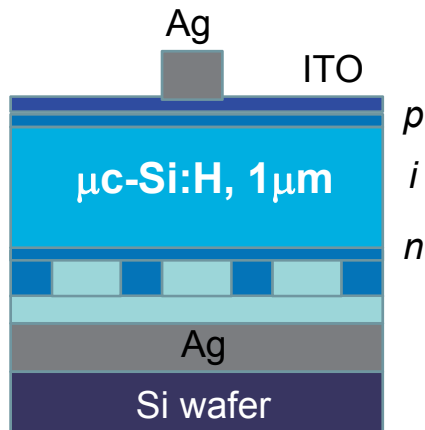


実験と解析結果が良く一致
(空气中の散乱)



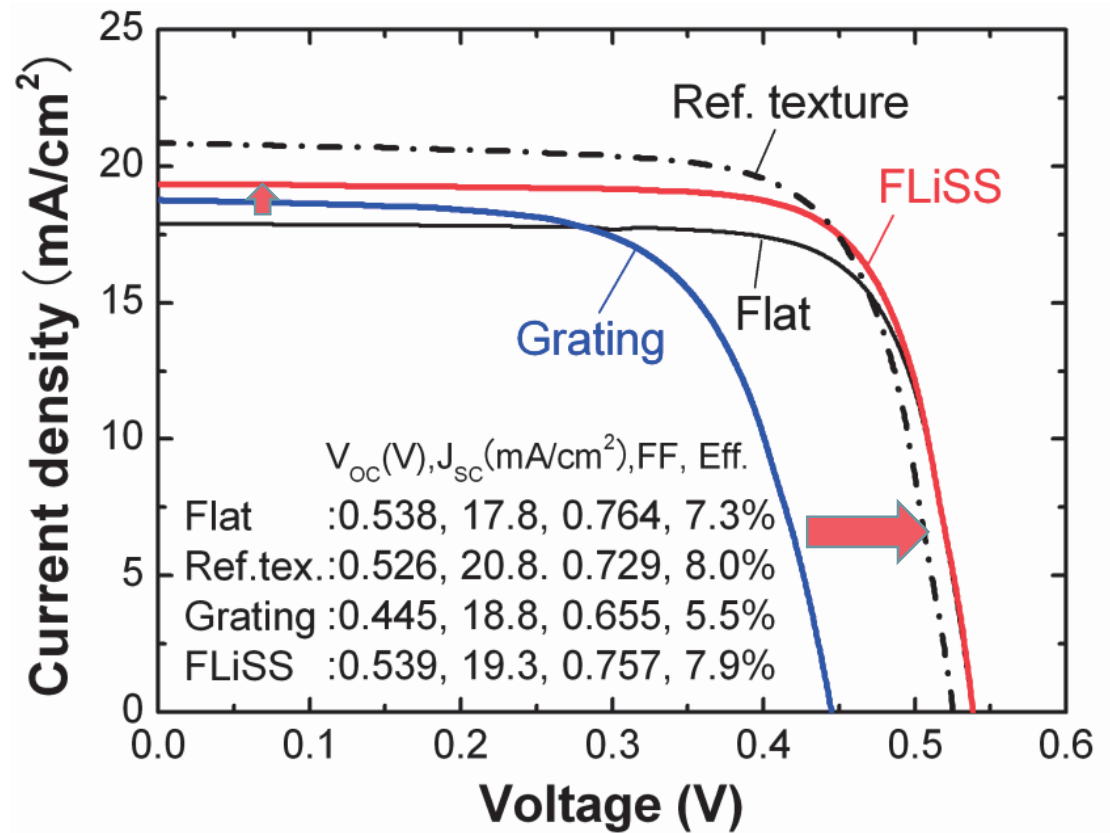
実際のデバイス(Si中)で
良好な光散乱が期待できる

μc-Si:H太陽電池



V_{OC}, FF : 平坦基板と同等
 J_{SC} : 明瞭な増加

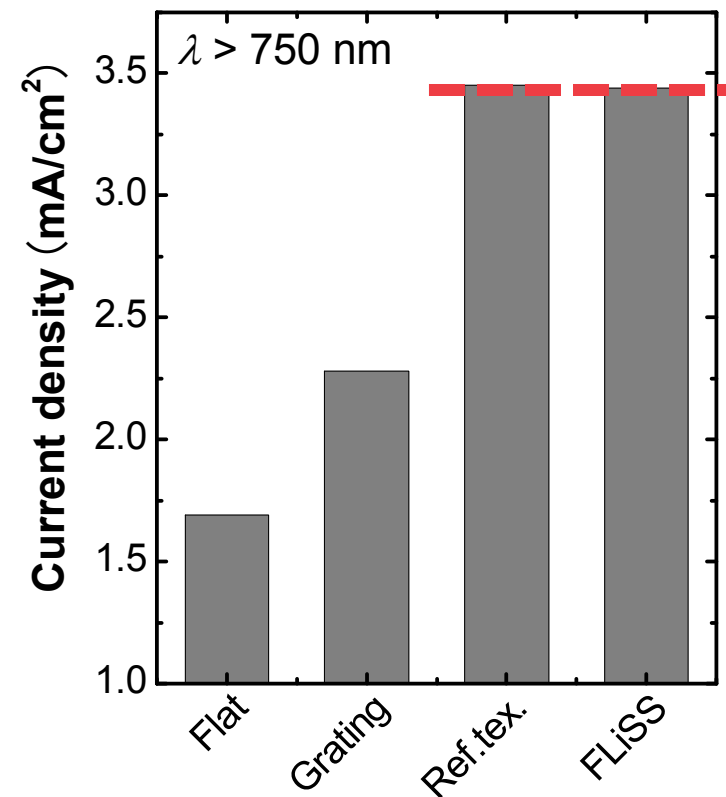
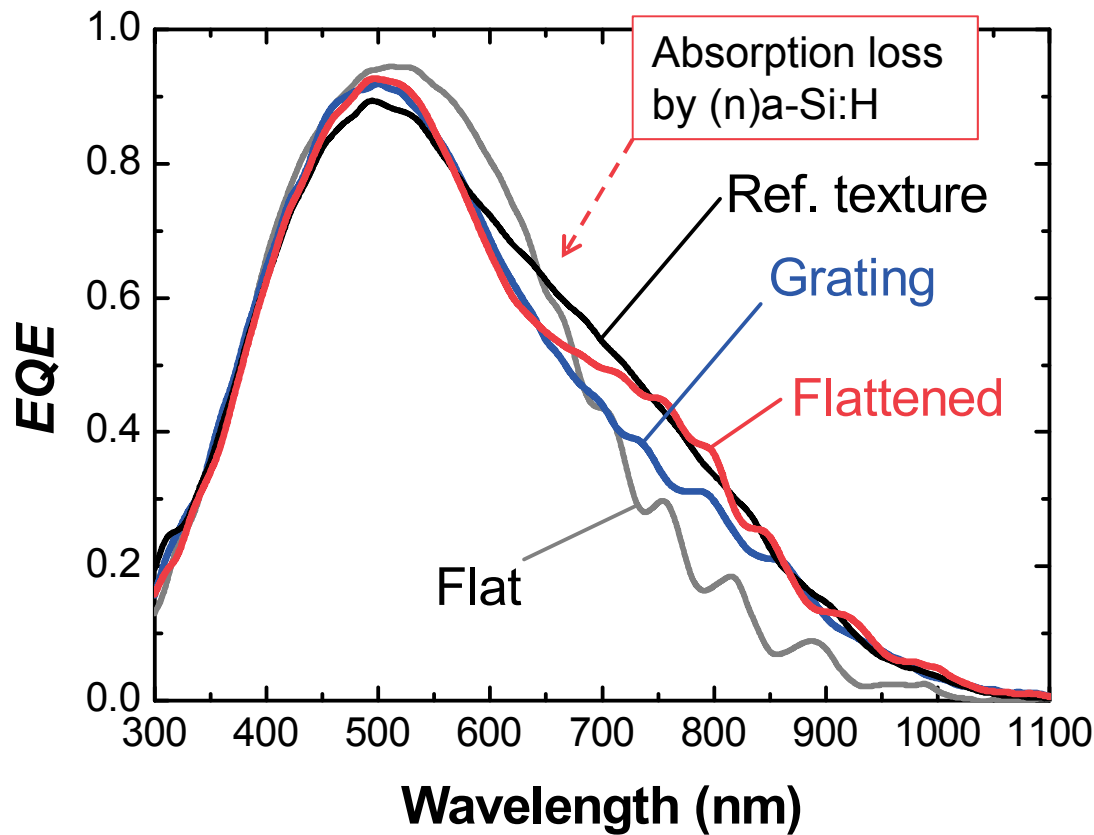
基板	σ_{rms} (nm)
Flat	< 10
Grating (w/o flattening)	100
FLiSS	< 3
Ref. texture	35



Sai et al., APL 98 (2011)113502.

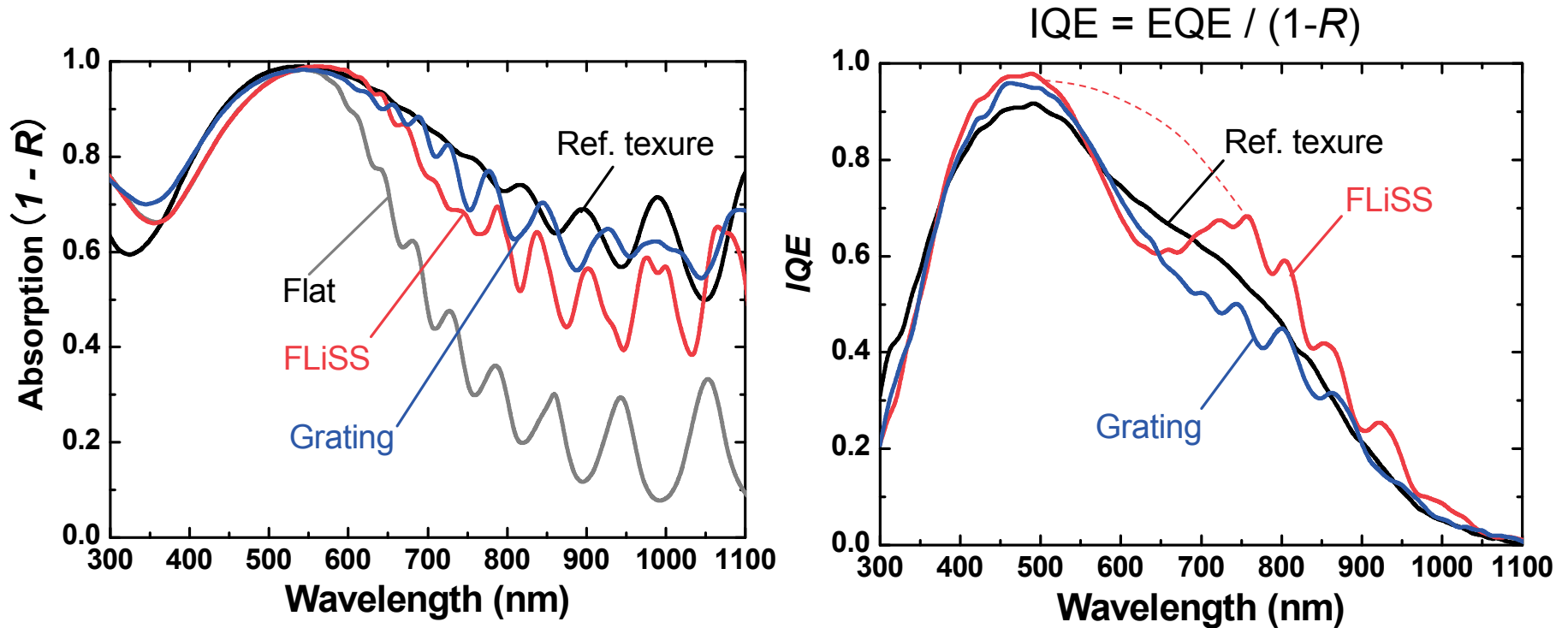
EQE

- FLISSを用いることにより、近赤外域での EQEが大幅に向上
- 未平坦化回折格子ではEQEが低い(過度のテクスチャで $\mu\text{c-Si:H}$ に欠陥が発生).



Sai et al., *APL* **98** (2011)113502.

光吸収損失



	IQE	要因	対策・改善策
VIS (550 – 650 nm)	↘	埋込a-Si:H層の吸収	タンデム化 構造・材料最適化
NIR	↗	高反射Ag層(鏡面)	構造・材料最適化

まとめ

- 平坦型光散乱基板(FLiSS)の提案と実証試験
- FLiSSにより V_{OC} ・FFを損ねることなく J_{SC} を向上可能

今後の展開

- 格子形状・材料の改善、非周期構造への展開
- a-Si/ μ c-Siタンデム太陽電池への適用
- 等価な基板を安価に実現する方法の検討

謝辞 本研究は**NEDO**の委託を受けて実施した。
試料作製の一部は**AIST NPPP**の支援を受け、また光学解析の一部は
東北大金森准教授の協力を受けて実施した。