

薄膜シリコン太陽電池への化学機械研磨の適用と 光閉じ込め効果の解析

齋 均

(独)産総研 太陽光発電研究センター シリコン新材料チーム

謝辞

共同研究者

金森 義明 准教授(東北大学)

松井 卓矢、鯉田 崇、賈 海軍、増田 淳 (以上産総研)

本研究は新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託を受けて実施されたものであり、関係各位に感謝致します。

研究背景

テクスチャ構造による光閉じ込め

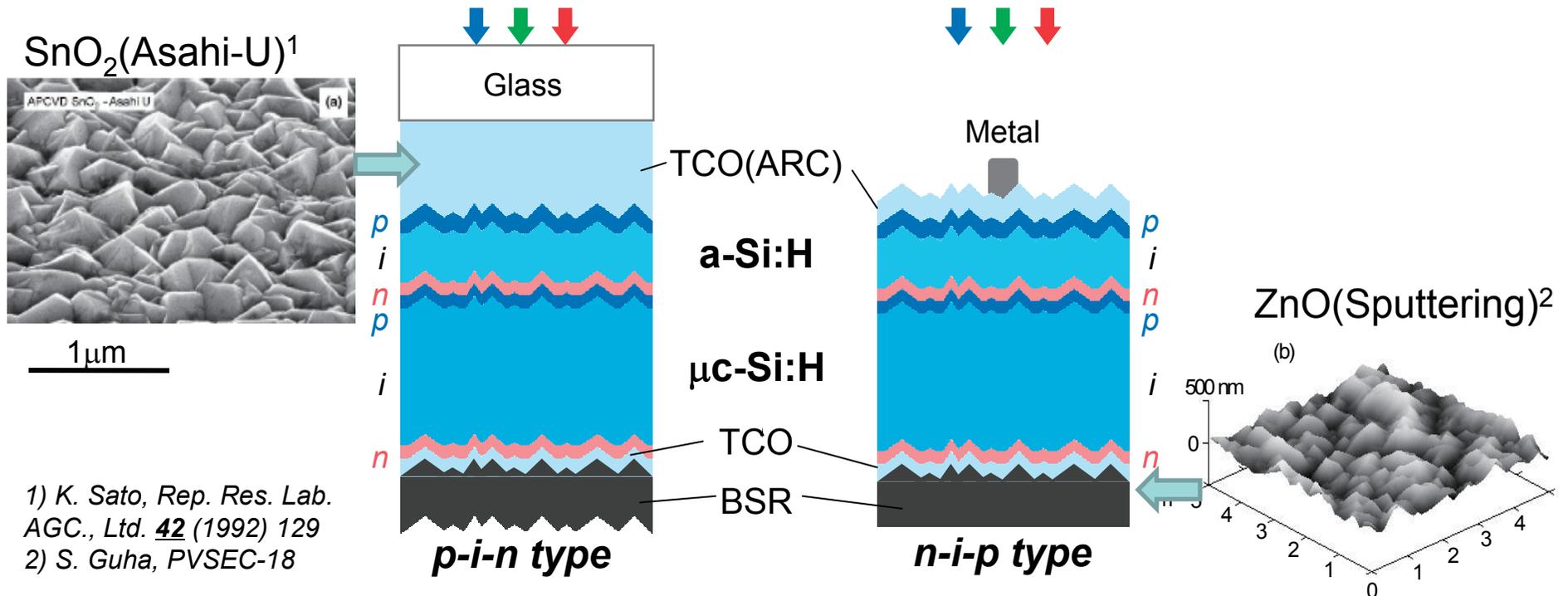
- 光散乱による光路長増大
- 屈折率マッチングによる反射低減

通常は表裏両面にテクスチャが形成

Q. 表面、裏面の寄与はどの程度？

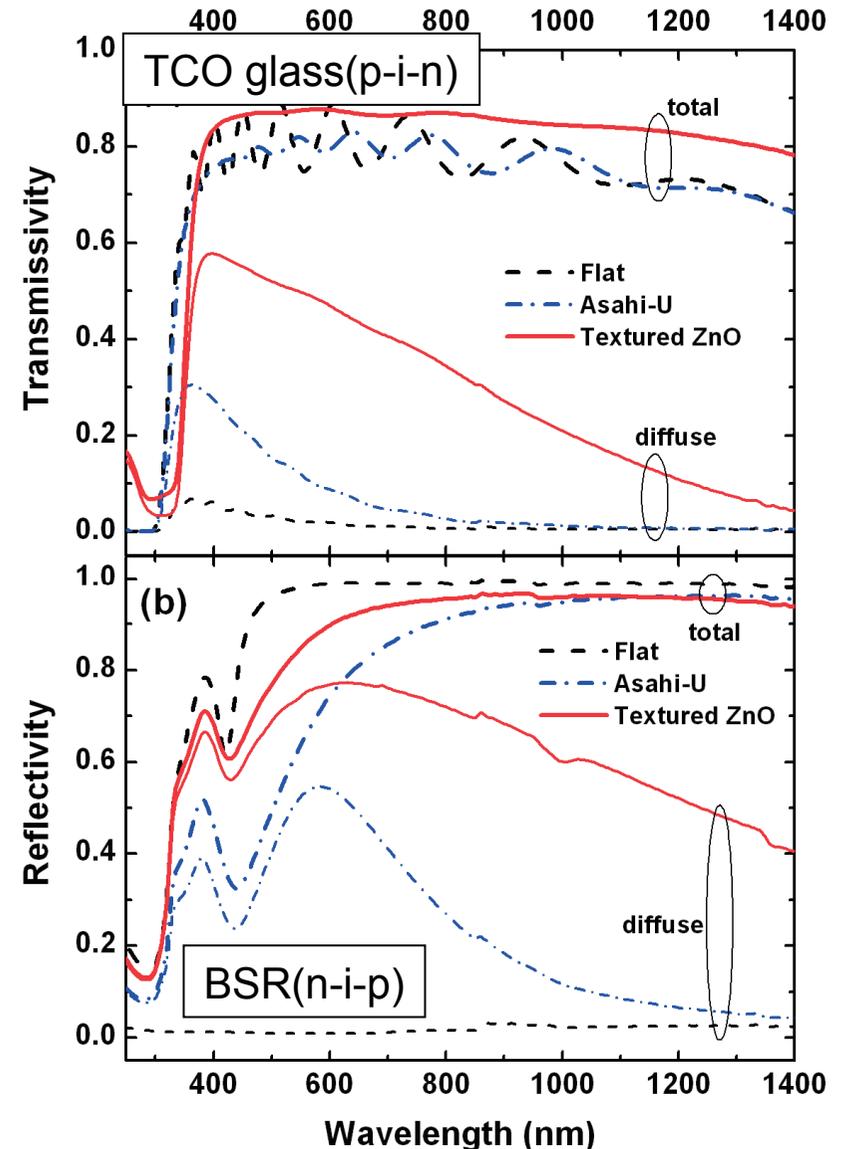
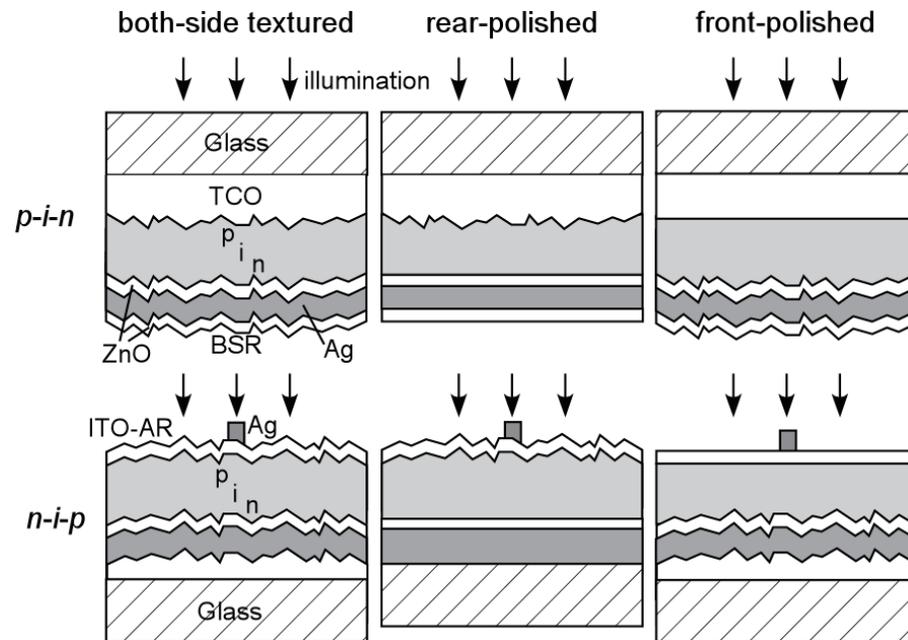
片面側だけにテクスチャを持つ
太陽電池の作製・評価

表／裏面テクスチャの役割を**実デバイス上**で定量化し、光閉じ込め構造の更なる改善に向けた指針を得る。



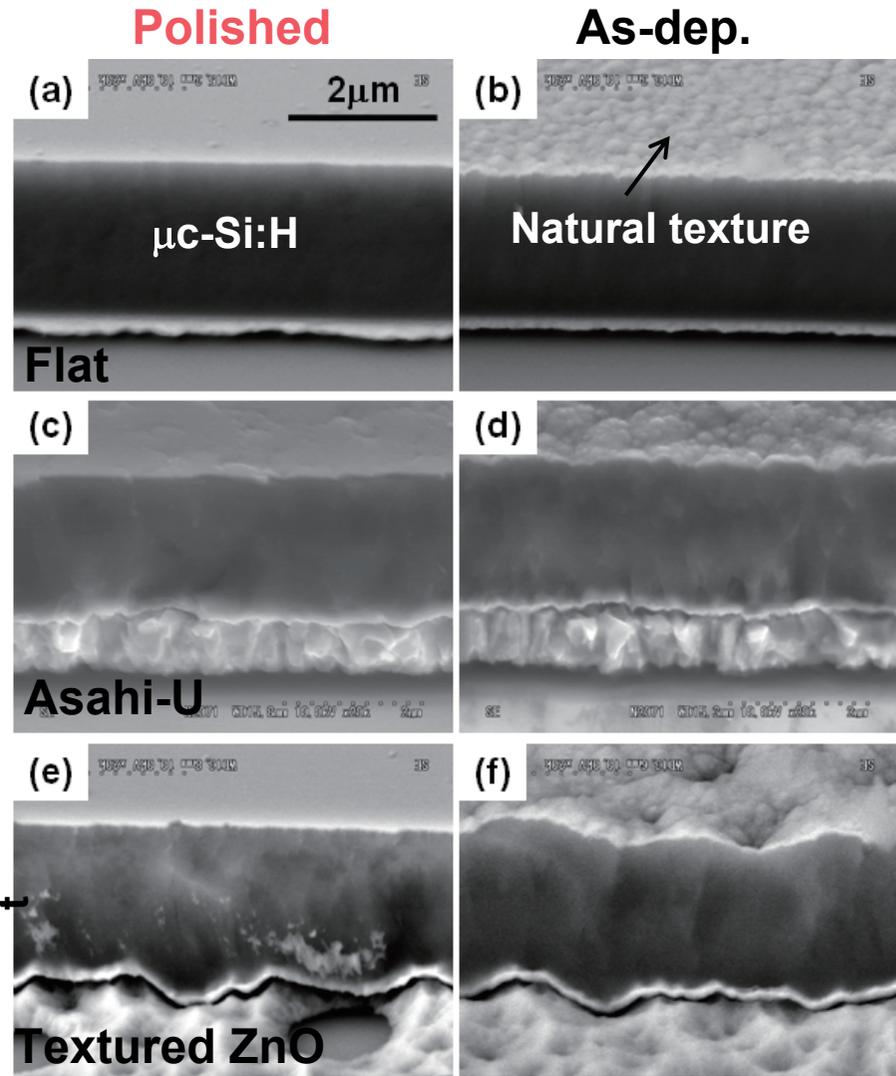
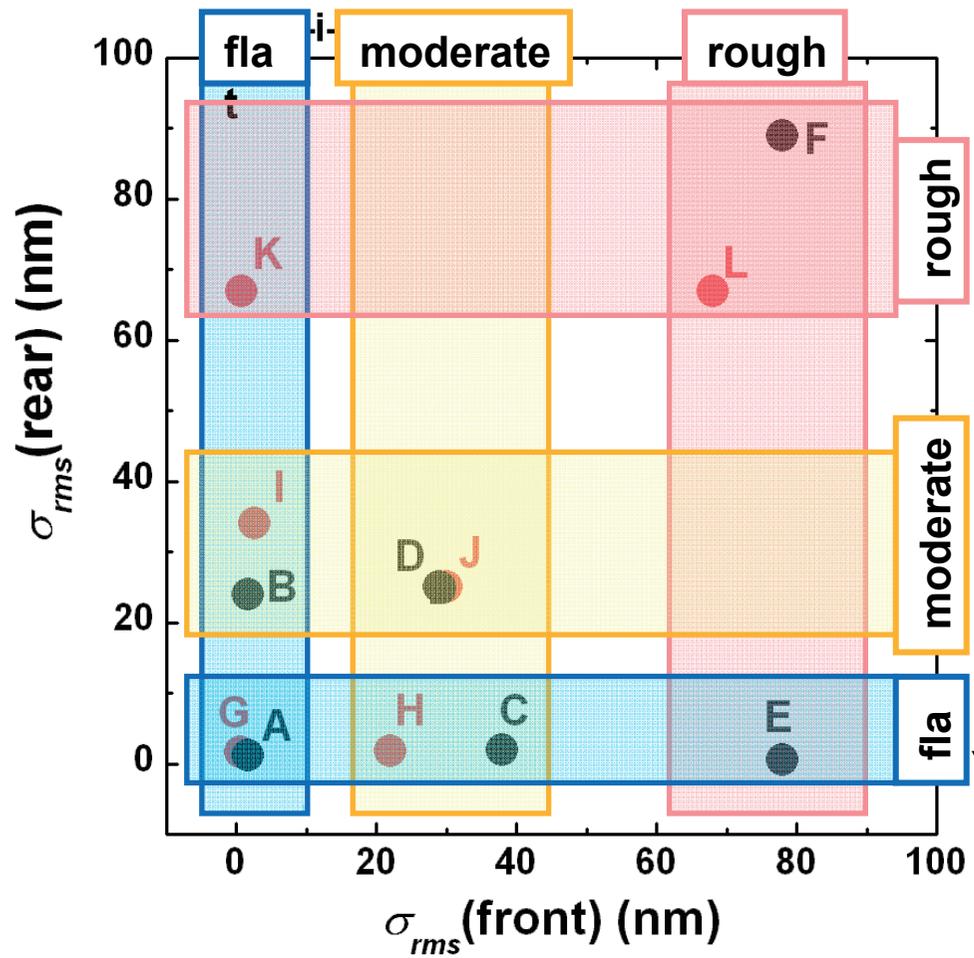
実験

- 構造 : *p-i-n* & *n-i-p* $\mu\text{c-Si:H}$
- 基板 : 平坦 $\text{SnO}_2\text{:F}$ or ガラス ($\sigma_{rms} < 2 \text{ nm}$)
Asahi-U (30 nm)
テクスチャZnO:Ga (70 nm)
- 製膜 : RF-PECVD ($\text{SiH}_4 + \text{H}_2$)
- 研磨 : 化学機械研磨(CMP)
- 膜厚 : 2 μm (研磨有無に依らず)

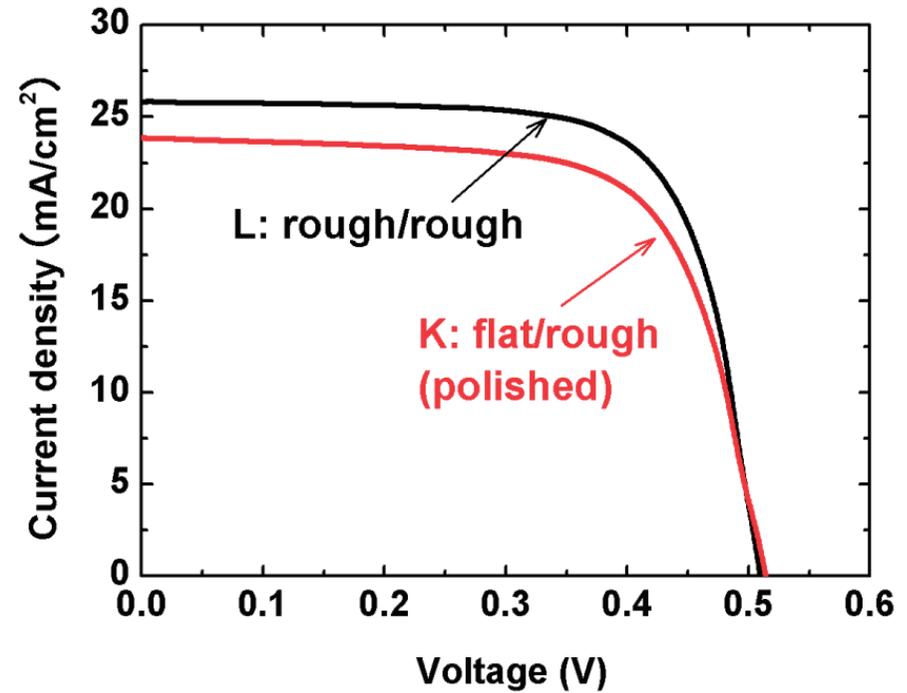
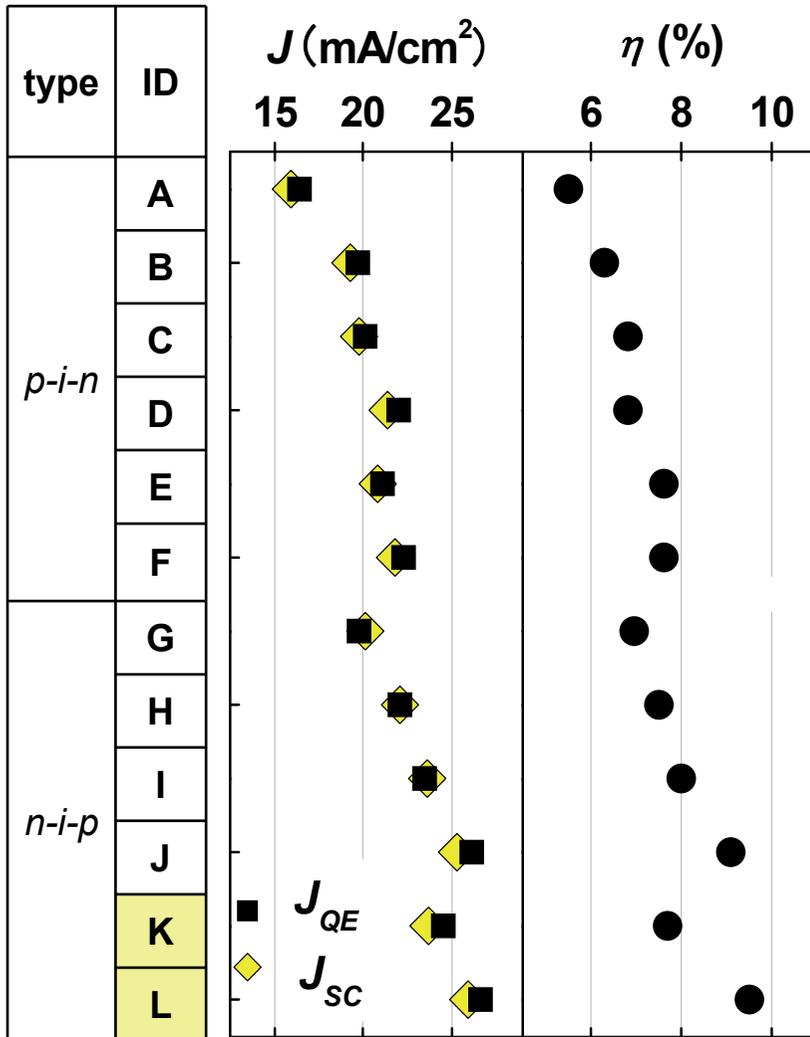


太陽電池：表裏テクスチャ

構造 基板 CMP有無
 2 x 3 x 2 = 12サンプル (A-L)

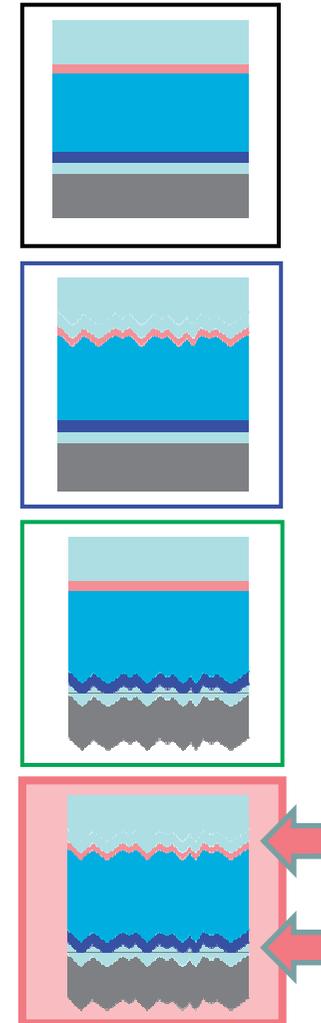
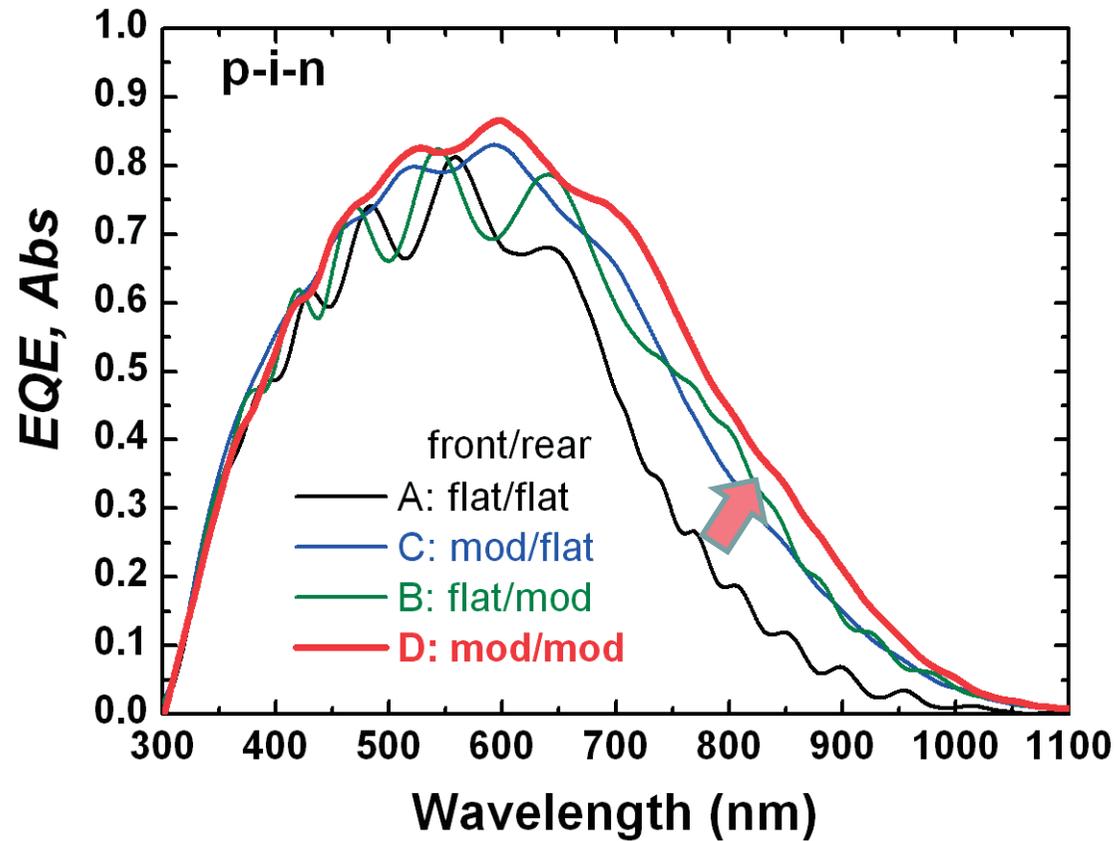


太陽電池: J , η



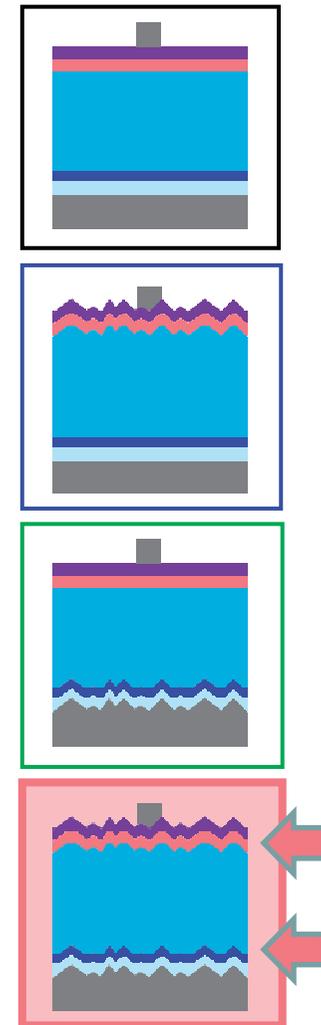
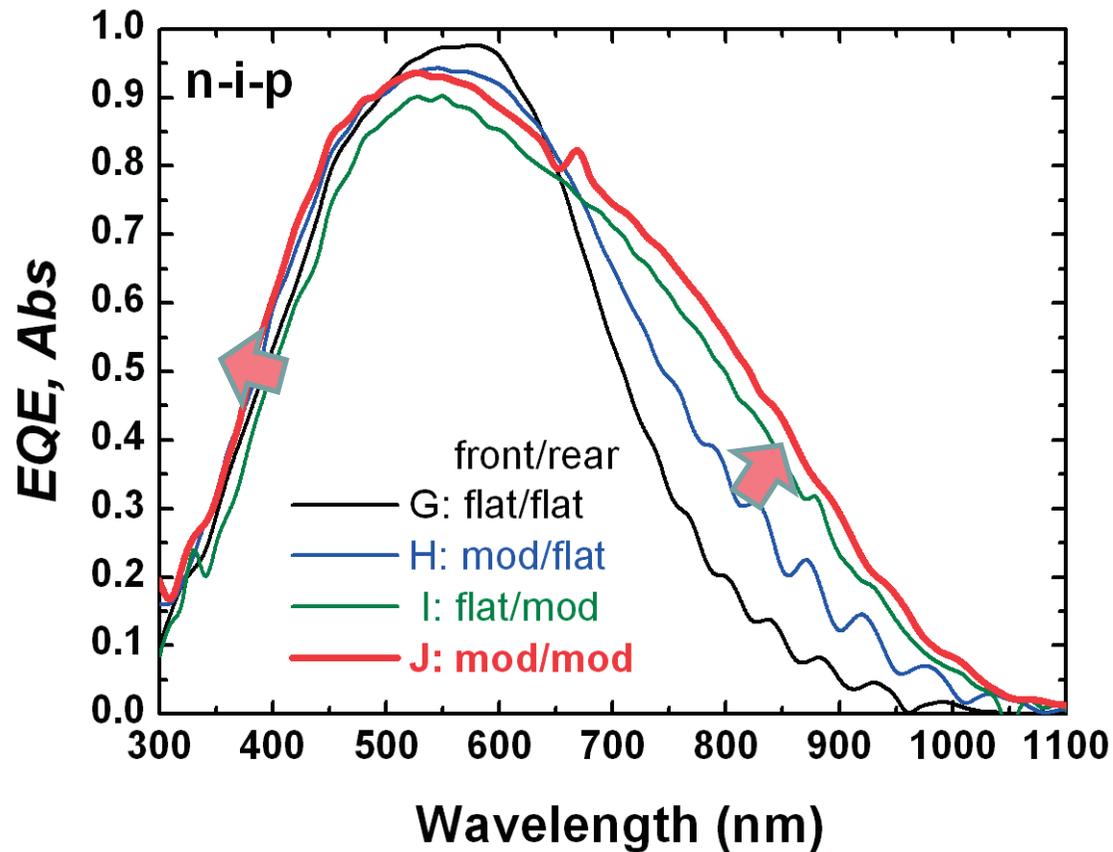
- CMP処理を行っても良好なJ-V特性、発電効率が得られる。
- 光閉じ込め効果の評価が可能

EQE: *p-i-n*



- 全波長帯でEQE向上: 両面テクスチャで光閉じ込め向上
ただし、両面 < (表面 + 裏面)

EQE (*n-i-p*)

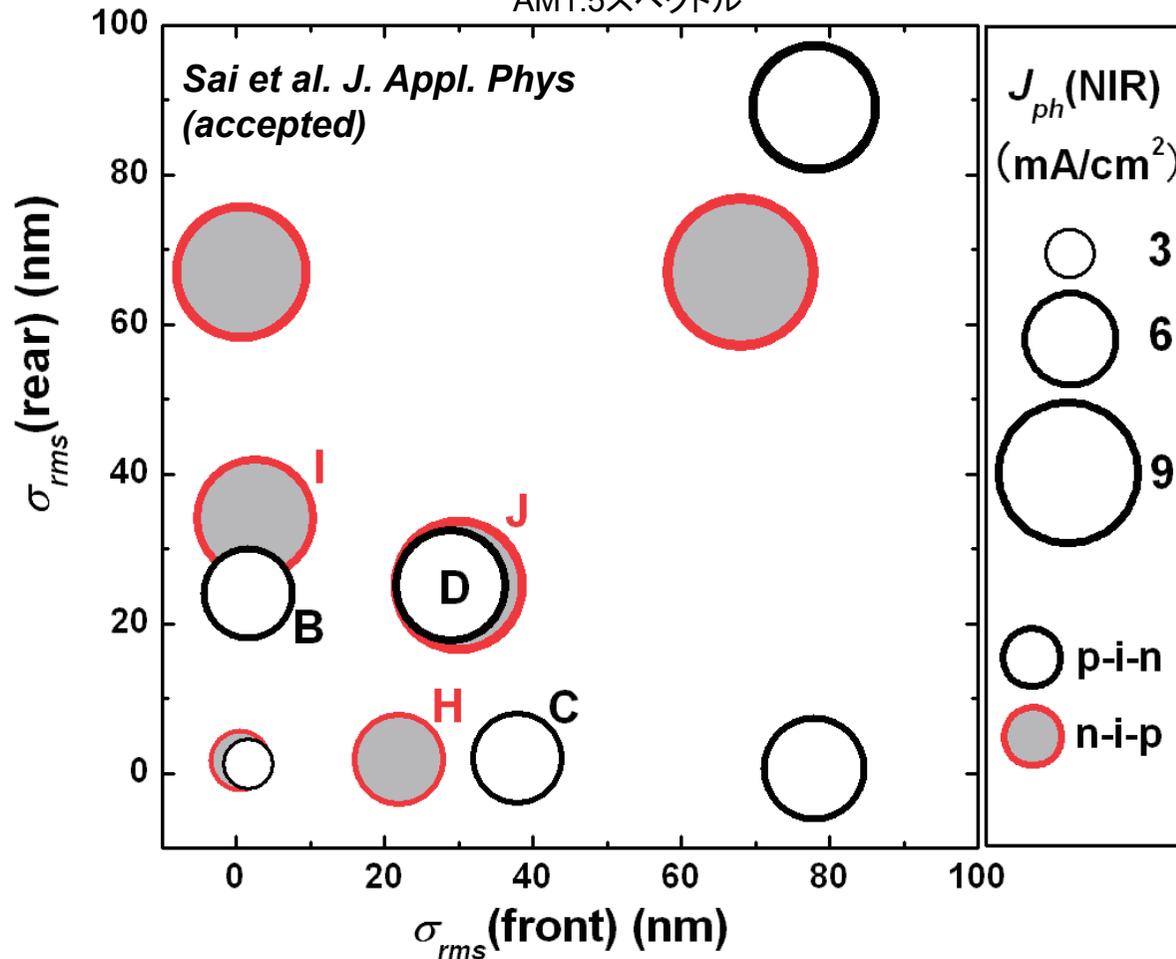


- 全波長帯でEQE向上: 両面テクスチャで光閉じ込め向上
ただし、両面 < (表面 + 裏面)

表/裏面テクスチャと赤外感度

$$J_{ph}(\text{NIR}) = q \int \text{EQE}(\lambda) I_{\text{solar}}(\lambda) d\lambda \quad (700 - 1150 \text{ nm})$$

AM1.5スペクトル



■ σ_{rms} の増加
→ $J_{ph}(\text{NIR})$ の増加

■ 裏面 ≥ 表面
特にn-i-pで顕著

p-i-nとn-i-pの差は
何故生じるか？

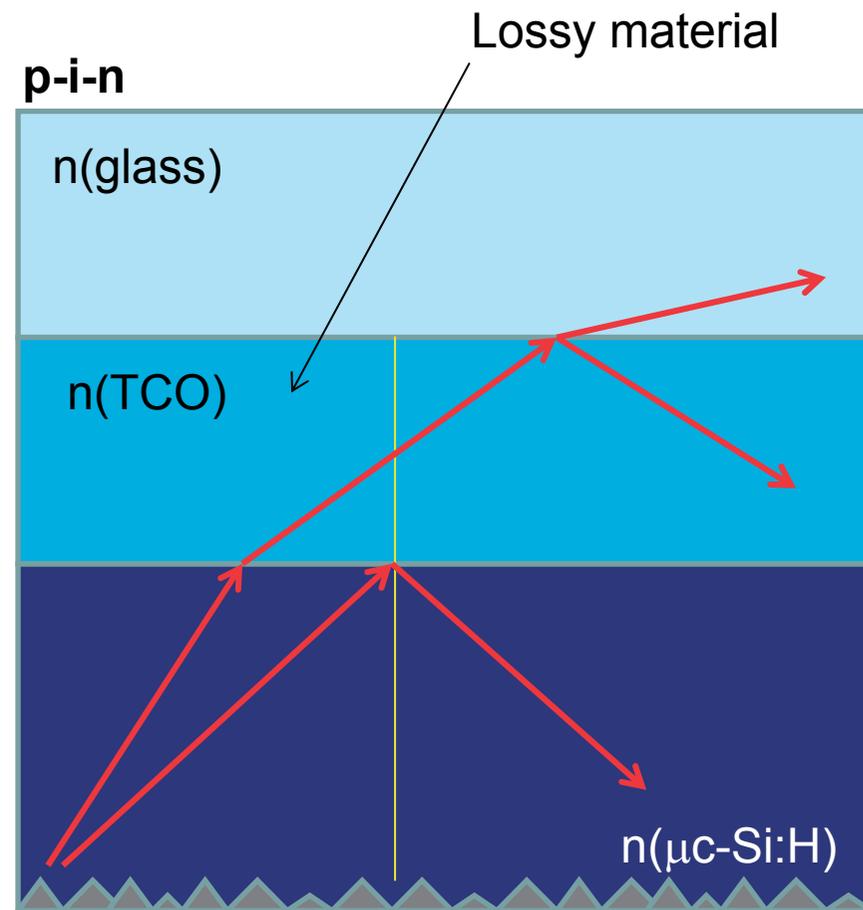
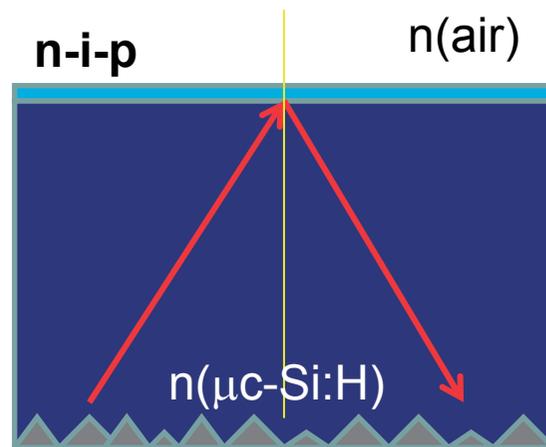
TCO厚さによる光学挙動の変化

内部全反射の臨界角

- Si/air : 16° (半球の4%)
- Si/TCO: $27 \sim 32^\circ$ (11 ~ 15%)

TCOが波長に対してごく薄い場合:

- 表面にテクスチャが無くても、内部全反射により光が閉じ込められる。
- TCO層での光吸収が小さい。



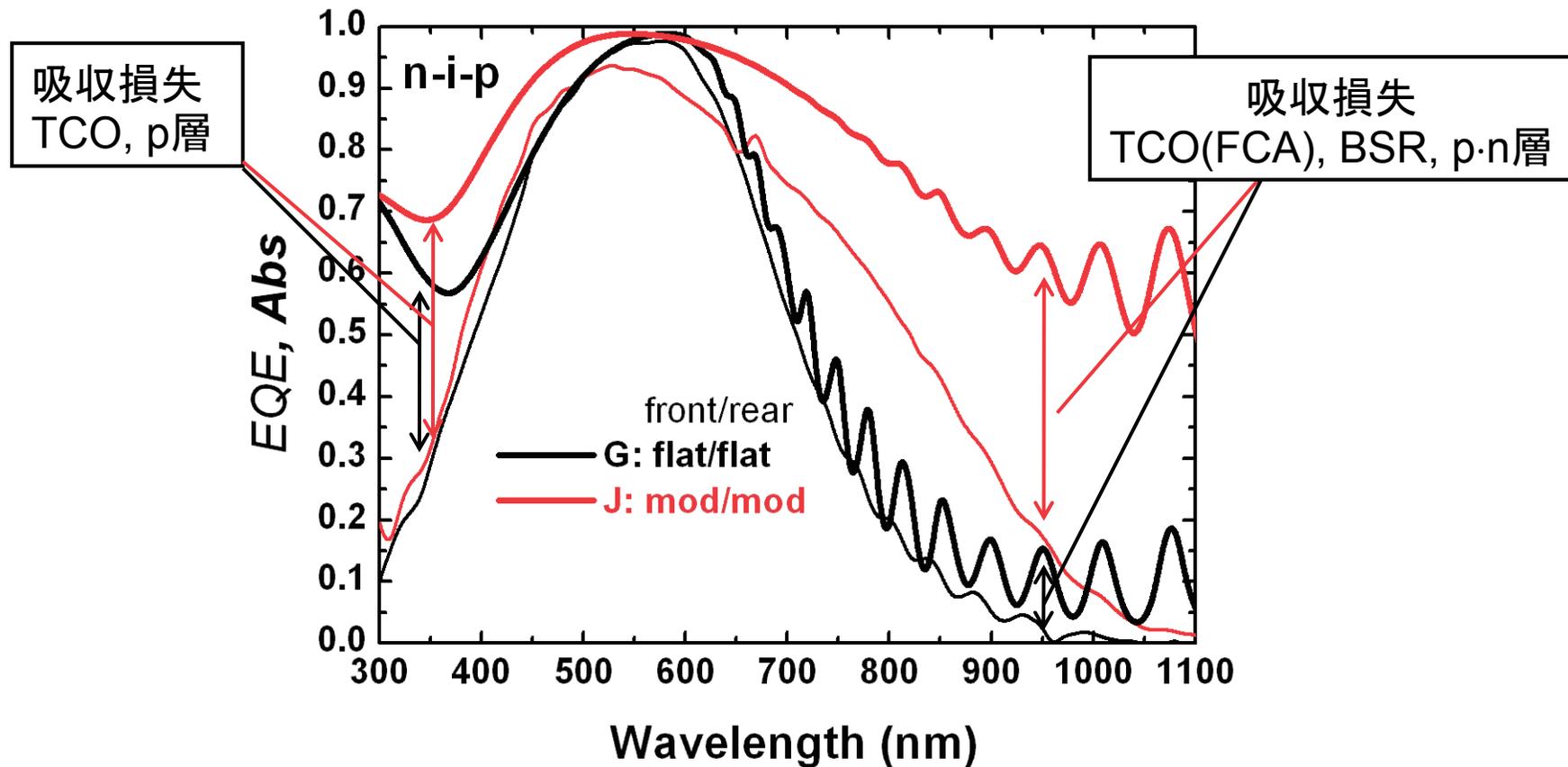
吸収損失

吸収スペクトルとEQE

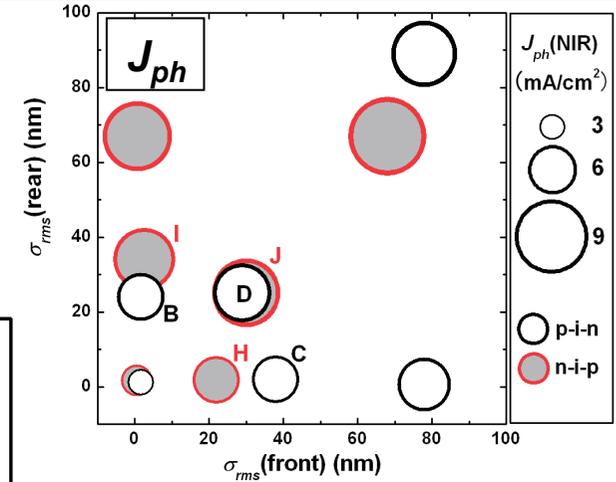
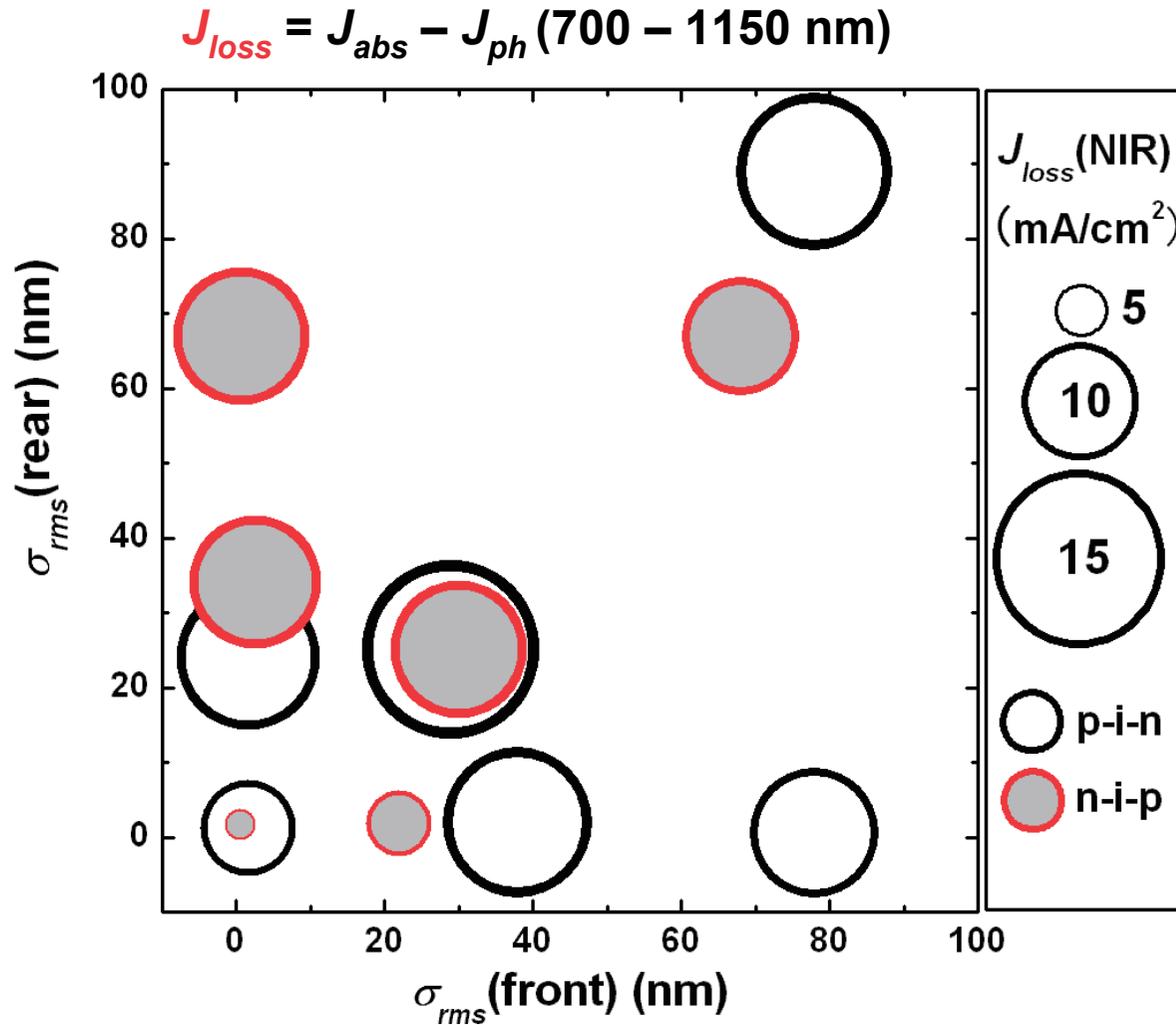
→吸収損失に相当する電流密度 J_{loss} を算出

$$J_{abs} = q \int Abs(\lambda) I_{solar}(\lambda) d\lambda$$

$$J_{loss} = J_{abs} - J_{ph}$$



表/裏面テクスチャと吸収損失



- テクスチャ
→ $J_{loss} \text{ (NIR)}$ の増加
- $p-i-n > n-i-p$
→ 表面TCOの吸収
- $n-i-p$ の J_{loss}
→ 裏面テクスチャで増加
- σ_{rms} と J_{loss} の関係は
単純ではない。
→ 形状による効果

まとめ

微結晶シリコン太陽電池(厚さ $2\mu\text{m}$)の光閉じ込めについて、実デバイス上で表／裏面テクスチャの寄与の切り分けを試みた。

Tex.	p-i-n		n-i-p		望まれる形状と特性
	J_{ph}	J_{loss}	J_{ph}	J_{loss}	
Front	↑	↑	↑	↑	細かな凹凸 + 大きな凹凸 (AR効果、効果的な光散乱、高透過率)
Rear	↑	↑	↑	↑	大きな凹凸 (効果的な光散乱、高反射率)
Both	↑	↑	↑	↑	

TIR

□ 光散乱に加え、表面TCO・裏面BSRの吸収損失抑制が重要