

高効率薄膜微結晶シリコン太陽電池の開発

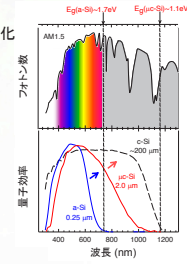
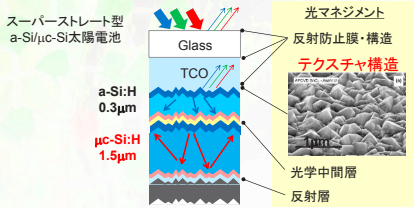
High-efficiency thin-film microcrystalline silicon solar cells

齋 均

産業技術総合研究所 太陽光発電工学研究センター

薄膜Si太陽電池の課題 - 高効率化

- アモルファスSi (a-Si:H) 電池の高安定化
- 微結晶Si ($\mu\text{c-Si:H}$) 電池の高電流化
- ✓ 光マネジメント(テクスチャetc.)技術による高 J_{SC} 化 → 高効率化
- ✓ 膜質・界面品質向上による高 V_{OC} 化・高FF化



テクスチャ開発における課題

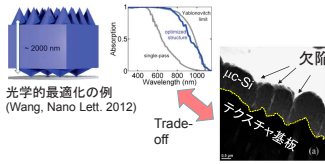
光学的最適解 ≠ デバイス最適解

$$Eff. = J_{SC} \times V_{OC} \times FF$$

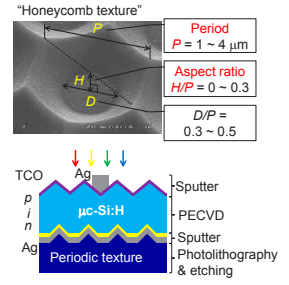
光吸収 × 電荷輸送(膜質)

膜質 × 内蔵電界

膜質 × 抵抗



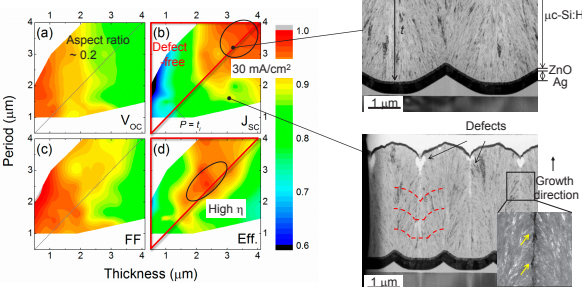
ハニカムテクスチャによる系統的検討



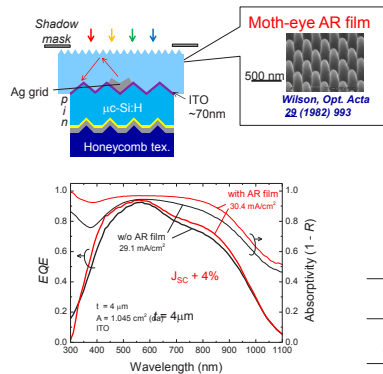
光マネジメント技術の開発

ハニカムテクスチャによる系統的検討(1-3)

高品質 $\mu\text{c-Si:H}$ 成長の条件: $P > t$ ($H/P \sim 0.2$)



反射防止フィルムの適用



- (1) 光入射媒質の屈折率(n)の変調による反射防止効果を広帯域化
 - (2) 金属電極で反射した光の再取り込み
- ⇒ ハニカムテクスチャとの相乗効果

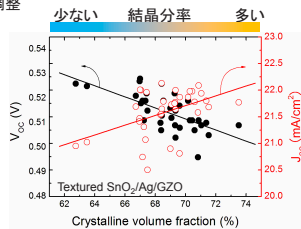
| AR | V_{OC} V | J_{SC} mA/cm ² | FF | Eff. % |
|------|------------|-----------------------------|-------|--------|
| w/o | 0.480 | 29.1 (da) | 0.682 | 9.5 |
| with | 0.481 | 30.4 (da) | 0.678 | 9.9 |

da: designated area

高 V_{OC} 化・高FF化技術の開発

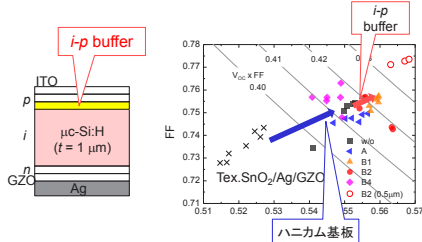
結晶化率の制御

- (i) $\mu\text{c-Si:H}$ の結晶体積率は製膜条件で制御可
- J_{SC} と V_{OC} (FF)のバランス調整 ($\Delta J_{SC} \Leftrightarrow \Delta V_{OC}$)
- 高 V_{OC} 型に調整



界面制御

- i/p界面での再結合抑制
- ⇒ a-Si:H-likeな層の挿入 (低パワー密度、低水素希釈)



高効率セルの開発

| Area cm ² | t μm | V_{OC} V | J_{SC} mA/cm ² | FF | Eff. % | Remarks |
|----------------------|------|------------|-----------------------------|-------|--------|-------------------------------------|
| EPFL da 1.04 | 1.8 | 0.549 | 26.55 | 0.733 | 10.69 | Superstrate [4] |
| aa 1.0 | 2 | 0.51 | 24 | 0.72 | ~9.0 | Commercial substrate |
| da 1.05 | 1.8 | 0.521 | 28.17 | 0.716 | 10.5 | HC(P=2.5μm), IOH [3] |
| da 1.05 | 1.8 | 0.523 | 28.22 | 0.732 | 10.81 | HC(P=2.5μm), ITO, AR, (i)μc-Si [5] |
| AIST Δ | | +0.4% | +0.2% | +2.2% | | |
| da 1.05 | 1.7 | 0.542 | 27.44 | 0.738 | 10.97 | HC(P=2μm), i-p buff., thin (i)μc-Si |
| Δ | | +3.6% | -2.8% | +0.8% | | |

世界最高効率11% $\mu\text{c-Si:H}$ 単層セル

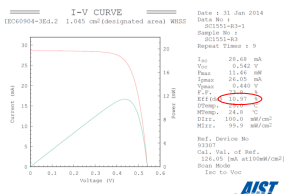
結論

サブストレート型(nip) $\mu\text{c-Si:H}$ セルの開発

- ハニカムテクスチャ:適切な周期と膜厚の関係により大幅な高 J_{SC} 化・高効率化
- モスアイフィルムによる反射損失低減可能 ⇒ $J_{SC}(da) > 30.4 \text{ mA/cm}^2$
- (i) $\mu\text{c-Si:H}$ / ITO膜界面の反射防止効果の広帯域化
- (ii) 電極反射光の再取り込み(シャドウロス低減)
- i-p界面へのバッファ層挿入 ⇒ 高 V_{OC} 化・高FF化
- $\mu\text{c-Si:H}$ 層結晶化率・膜厚調整
- 世界最高となる**発電効率11%**を実現

今後の取り組み

□ タンデム型・スーパーストレート型への展開



謝辞



RCPVTの皆様
(評価・標準チーム 荻川様、志村様、佐々木様)
PVTECの皆様
AIST-NPPの関係者の皆様

参考文献

- [1] H. Sai et al., Appl. Phys. Lett. **101**, 173901 (2012); doi: 10.1063/1.4761956
- [2] H. Sai et al., Appl. Phys. Lett. **102**, 053509 (2013); doi: 10.1063/1.4790642
- [3] H. Sai et al., Appl. Phys. Express **6**, 104101 (2013); http://dx.doi.org/10.7567/APEX.6.104101
- [4] S. Hänni et al., Prog. Photovolt: Res. Appl. **21**, 821-826 (2013); DOI: 10.1002/pp.2398
- [5] Solar cell efficiency tables (version 43), Prog. Photovolt: Res. Appl. **22**, 1-9 (2014); DOI: 10.1002/pp.2452