

極薄ウェーハを用いた a-Si:H/c-Siヘテロ接合型太陽電池の検討

齋 均^{1,3}、海汐 寛史^{1,2}、松井 卓矢^{1,3}、布村 正太^{1,3}、高遠 秀尚³、河津 知之⁴、松原 浩司^{1,3}

¹産総研 太陽光発電研究センター 先進プロセスチーム、²筑波大学

³産総研 再生可能エネルギー研究センター、⁴コマツNTC(株)

研究の目的

結晶シリコン(c-Si)太陽電池では、発電コスト低減のためにシリコンウェーハの薄型化が志向されている。一方、a-Si:H/c-Siヘテロ接合太陽電池(SHJセル)は、(i)a-Si:H層による良好な表面パッシベーションにより両面電極型で25%以上^[1,2]の高い発電効率が実現されている。表面再結合が抑制できるSHJセルのような高効率セル構造では、ウェーハの薄型化は体積に比例するバルク再結合損失を低減できるため、光閉じ込め技術を援用することで発電効率の向上に寄与すると期される。しかし実験的検証は十分ではない。本研究では、ウェーハの薄型化がc-Si太陽電池、特にSHJセルの特性に及ぼす影響について基礎的知見を得ることを目的に、厚さを広範に変化させたウェーハを用いたセルの光吸収量や電気特性の挙動を調べた。

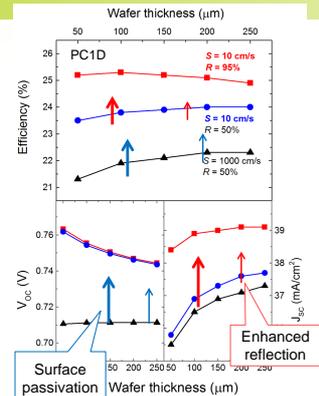


Fig. 1. Wafer-thickness dependence of c-Si solar cell parameters (PC1D simulation).

極薄ウェーハの光吸収評価(iJ_{SC})

- Dummy cell: Random pyramid + ARC + Mirror
- Optical absorption → implied J_{SC} (iJ_{SC})

$$\text{Implied } J_{SC} = q \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \text{Abs}(\lambda) I_{AM1.5}(\lambda) d\lambda$$

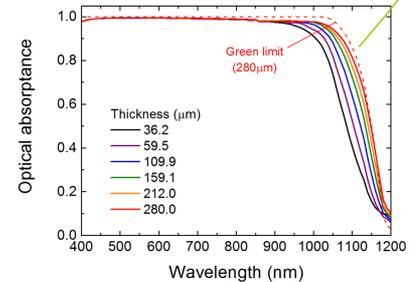
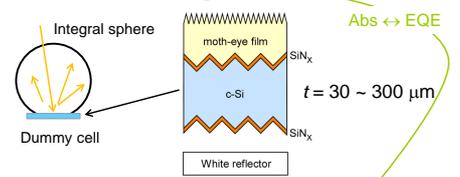


Fig. 2. Measured optical absorbance of dummy c-Si cells and an ideal Lambertian absorption curve [3].

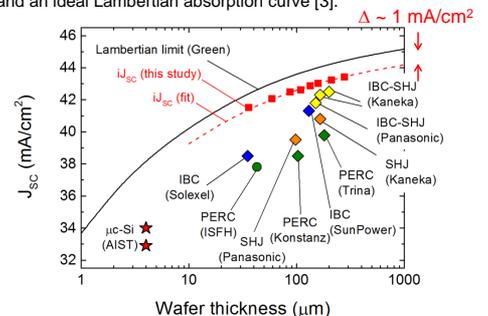


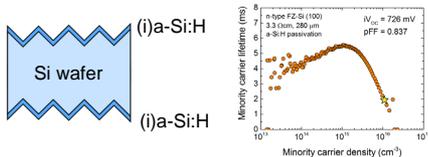
Fig. 3. Comparison of iJ_{SC} obtained in this study and experimental J_{SC} in literatures. [1-11]

- Dummy cells show Lambertian-like behavior from t30 to t300 μm, with ~ Δ1 mA/cm².
- ΔJ (= iJ_{SC} - J_{SC}) tends to increase with decrease in wafer thickness.

薄型ウェーハのiV_{OC}評価

- n-type, 1~3 Ωcm, CZ&FZ
- i/(n)c-Si/i : iV_{OC} evaluation with QSSPC

$$\text{Implied } V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left\{ \frac{\Delta p(N_D + \Delta n)}{n_i^2} \right\}$$



- iV_{OC} > 0.750 V for t < 100 μm.
- Max. iV_{OC} > 0.760 V for very thin wafers.

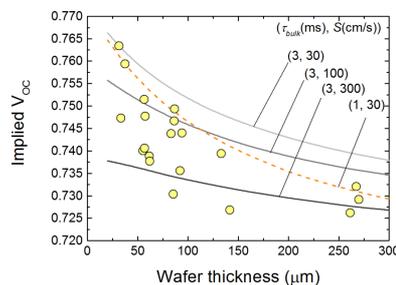


Fig. 4. iV_{OC} of i/(n)c-Si/i structures as function of wafer thickness.

薄型ウェーハを用いたSHJセルの作製と評価

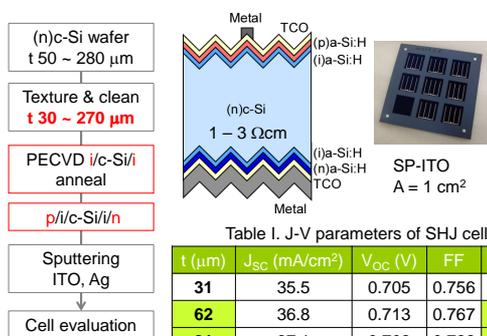


Table 1. J-V parameters of SHJ cells.

t (μm)	J _{SC} (mA/cm ²)	V _{OC} (V)	FF	Eff. (%)
31	35.5	0.705	0.756	18.9
62	36.8	0.713	0.767	20.1
91	37.1	0.708	0.762	20.0
267	38.4	0.702	0.751	20.2

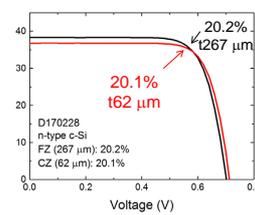


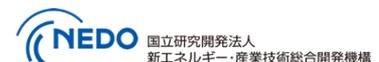
Fig. 5. J-V curves of SHJ cells.

- SHJ process capable to thin wafers (~ t30 μm).
- Similar efficiencies in the range of t60 ~ 270 μm.

結論

- 一般的な光閉じ込め構造により、極薄ウェーハ(t < 50 μm)でもLambertian限界に近い光吸収量が確保可能。→ 寄生吸収損失の抑制が高J_{SC}実現のカギ。
- 薄型化によるiV_{OC}向上を系統的に調査。極薄ウェーハでiV_{OC} > 0.760 Vを確認。
- t60 μmで厚板ウェーハと同等の発電効率を確認。(効率の改善余地大) ウェーハ厚 60 μm程度までは、厚板と同等効率のSHJセルが実現可能と考えられる。

謝辞



参考文献

- [1] M. Taguchi *et al.*, IEEE J. Photovolt. **4**, 96 (2014).
- [2] D. Adachi *et al.*, Appl. Phys. Lett. **107**, 233506 (2015).
- [3] M. A. Green, Prog. Photovolt. **10**, 235 (2002).
- [4] K. Yoshikawa *et al.*, Nature Energy **2**, 17032 (2017).
- [5] Kaneka press release, http://www.kaneka.co.jp/kaneka-e/images/topics/1473811995/1473811995_101.pdf
- [6] K. Masuko *et al.*, IEEE J. Photovolt. **4**, 1433 (2014).
- [7] B. Terheiden *et al.*, Phys. Status Solidi A **212**, 13 (2015).
- [8] W. Deng *et al.*, Energy Procedia **92**, 721 (2016).
- [9] J. H. Petermann *et al.*, Prog. Photovolt. **20**, 1 (2012).
- [10] M. A. Green *et al.*, Prog. Photovolt. **25**, 3 (2017).
- [11] H. Sai *et al.*, Appl. Phys. Lett. **106**, 213902 (2015).