

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

¹産業技術総合研究所 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産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター

⁴コマツNTC(株)

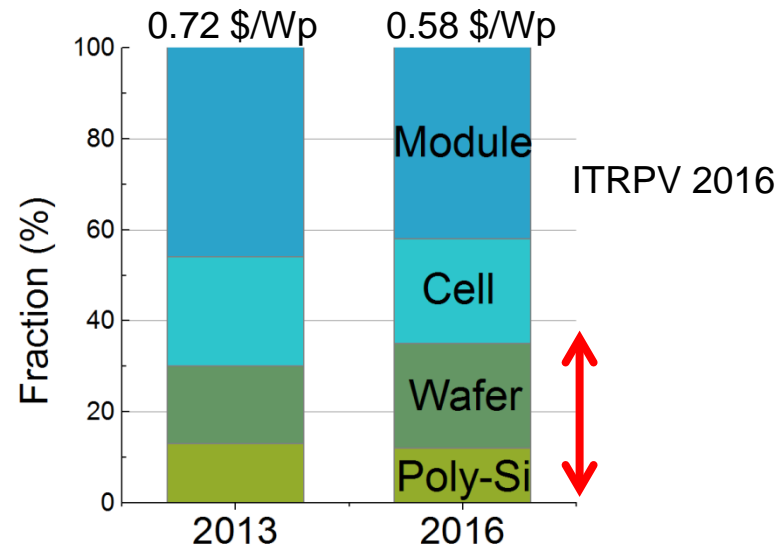
齋 均^{1,3}、海汐 寛史^{1,2}、松井 卓矢^{1,3}、布村 正太^{1,3}、
高遠 秀尚³、河津 知之⁴、松原 浩司^{1,3}

概要

1. はじめに
2. 極薄ウェーハの光吸収の検討
 J_{SC} 期待値
3. 極薄a-Si:H/c-Siへテロ接合セル
 V_{OC} 期待値
 SHJセルの発電特性
4. まとめ

1.1. c-Siウエーハの薄型化 Toward thinner wafers

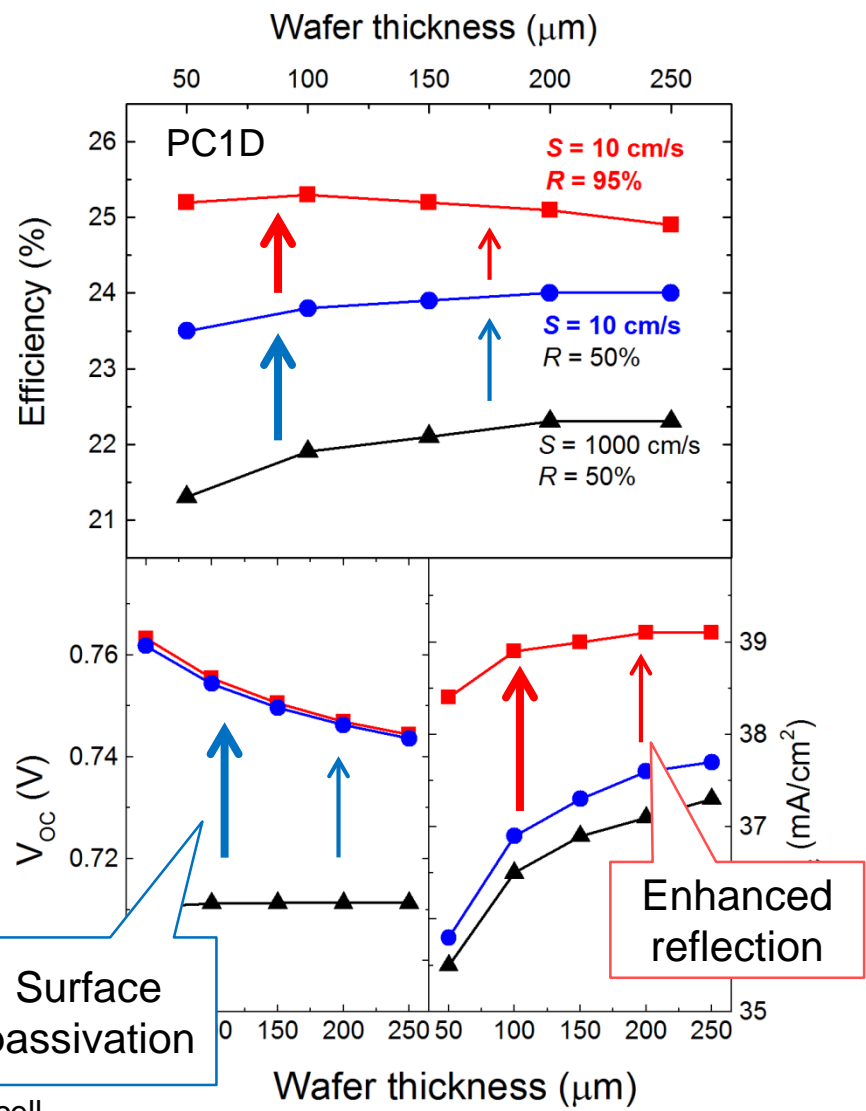
■ Module cost breakdown: wafer-related



■ Improved rear passivation & reflection: Al-BSF → PERC etc.

Thinner wafers

- Lower cost
- Higher η



Al-BSF: Al back surface field, PERC: passivated emitter rear cell

1.2. 薄型・高効率c-Si太陽電池 high- η c-Si cells

■ Re-assessment of η limit

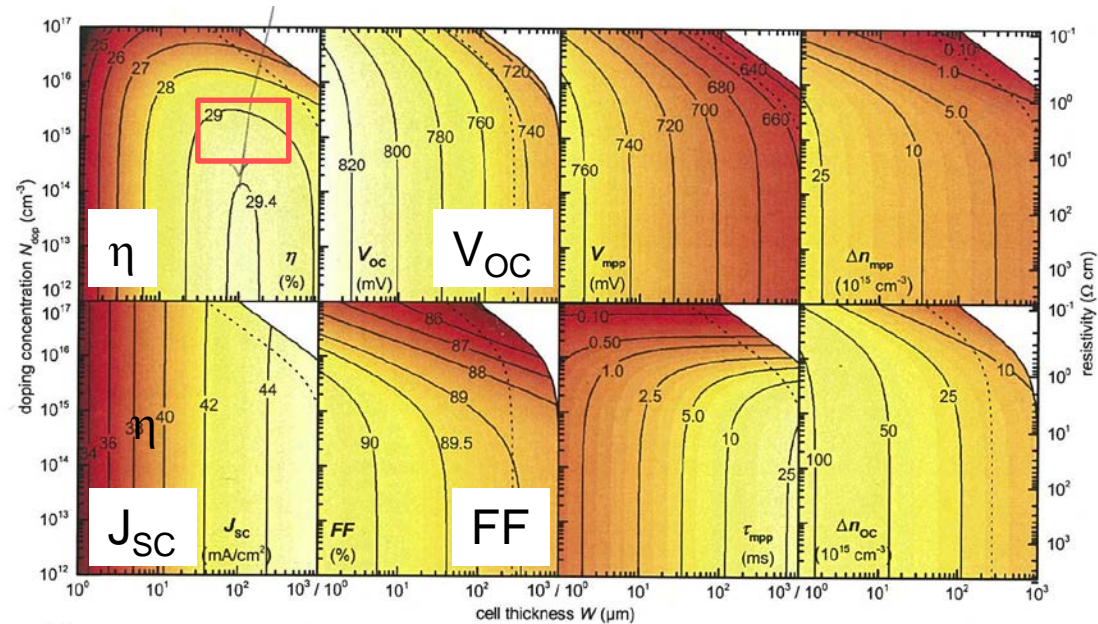
A. Richter et al., IEEE JPV 3, 1184 (2013).

Intrinsic Si

- $\eta \sim 29.4\%$ at $110 \mu\text{m}$

n-type Si (2 ~ 10 Ωcm)

- $\eta \sim 29\%$ for **50 ~ 300 μm**
- Trade-off: $J_{sc} \downarrow$ $V_{oc} \uparrow$



■ Experimental data (thin wafers)

Cell type	t (μm)	V_{oc} (V)	η	Institution
SHJ	98	0.750	24.7%	Panasonic ^[1]
Epi-IBC	35	0.687	21.2%	Solexel ^[2]
SHJ	50	0.753 ^{local}	N.A.	ASU ^[3]

SHJ: silicon heterojunction, IBC: interdigitated back contact

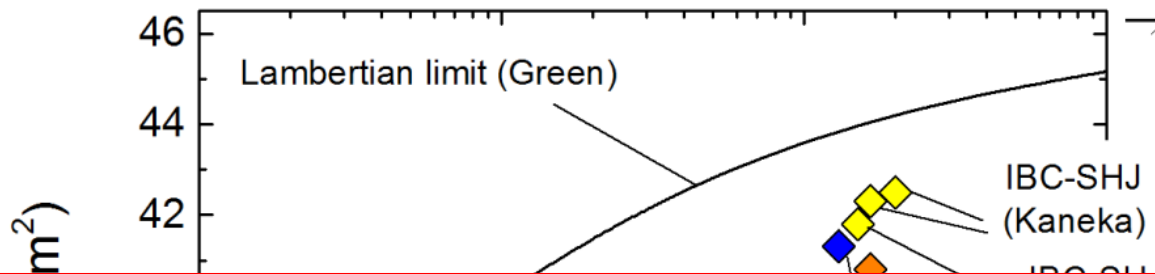
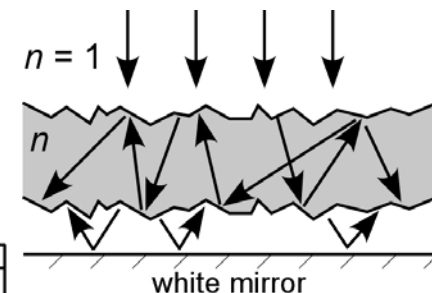
[1] Taguchi et al, IEEE JPV. 4, 96 (2014).

[2] Moslehi et al., PV Asia Pacific Conf. (2012)

[3] Herasimenka et al., APL. 103, 053511 (2013).

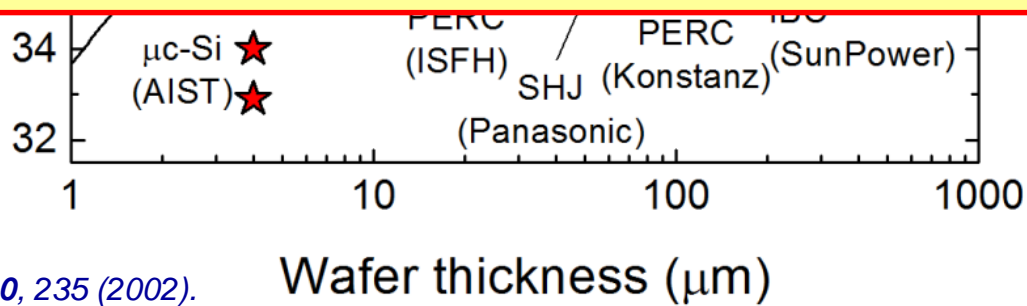
1.3. 薄型ウェーハと光閉じ込め Light trapping

■ Theory (Lambertian limit) & experimental data



$t < 100 \mu\text{m}$ を視野に、ウェーハ(発電層)薄型化が太陽電池特性(V_{OC} , J_{SC})に及ぼす影響を検証し、極薄セルの可能性を**実験的に**明らかにする。

今回: J_{SC} および V_{OC} の期待値(iJ_{SC} , iV_{OC})を中心に議論

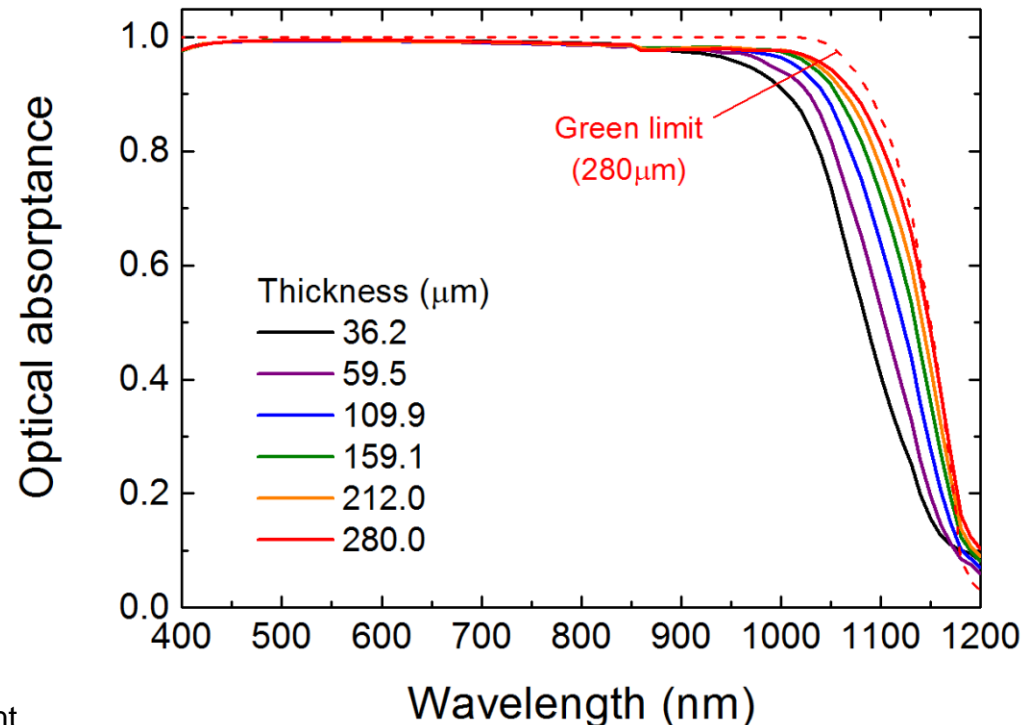
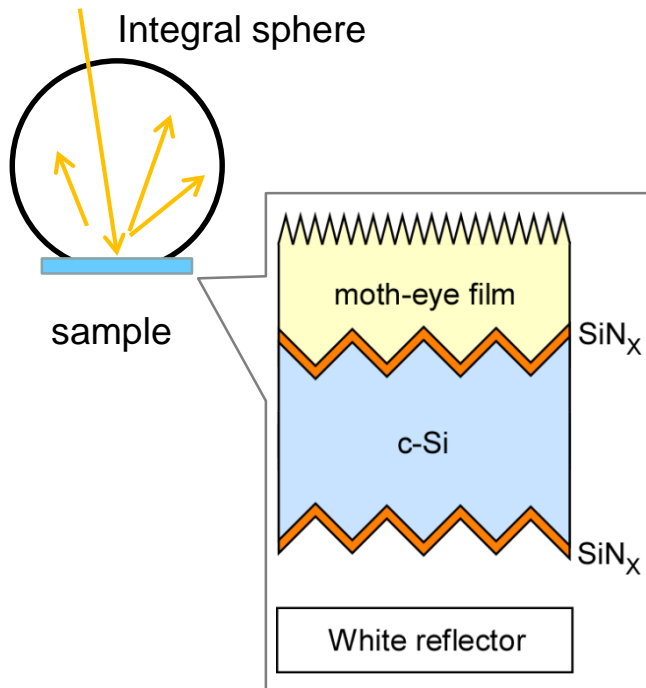


M. A. Green, *Prog. Photovolt.* **10**, 235 (2002).
 K. Yoshikawa et al., *Nature Energy* **2**, 17032 (2017).
 Kaneka press release, http://www.kaneka.co.jp/kaneka-e/images/topics/1473811995/1473811995_101.pdf
 K. Masuko et al., *IEEE J. Photovolt.* **4**, 1433 (2014). B. Terheiden et al., *Phys. Status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

2.1. 極薄ウェーハの光吸収評価 – implied J_{SC}

- Dummy cell: random pyramid + ARC + rear reflector
- Thickness: 30 ~ 300 μm^{\times} , controlled by grinding
- Optical abs. \rightarrow implied J_{SC} (iJ_{SC})

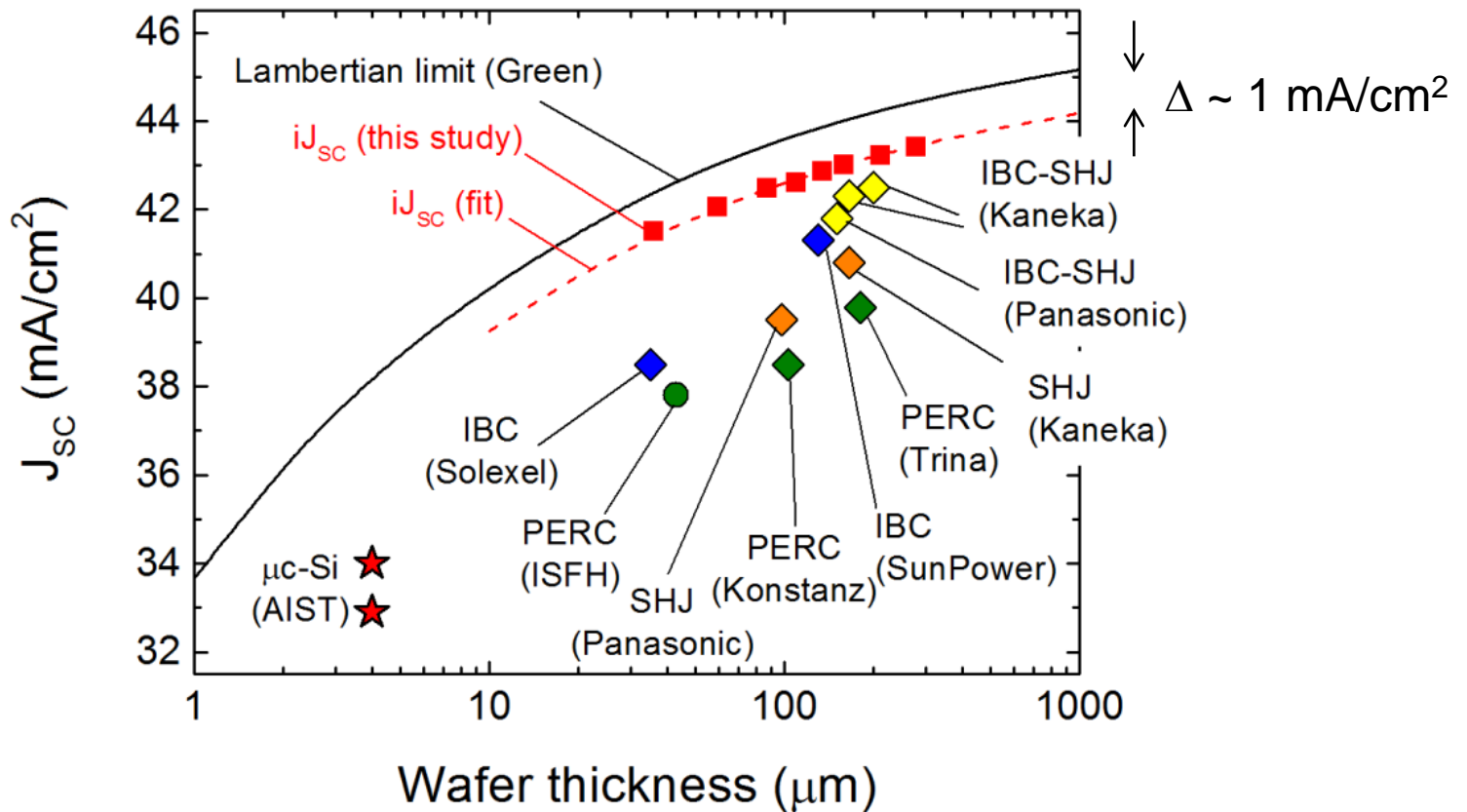
$$\text{Implied } J_{SC} = q \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \text{Abs}(\lambda) I_{AM1.5}(\lambda) d\lambda$$



\times average thickness which is determined by wafer weight

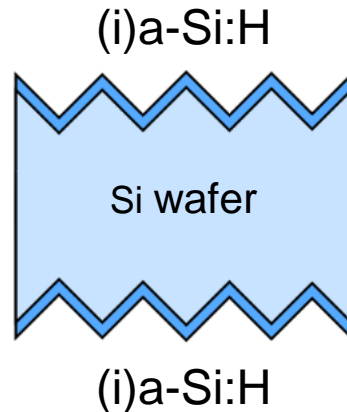
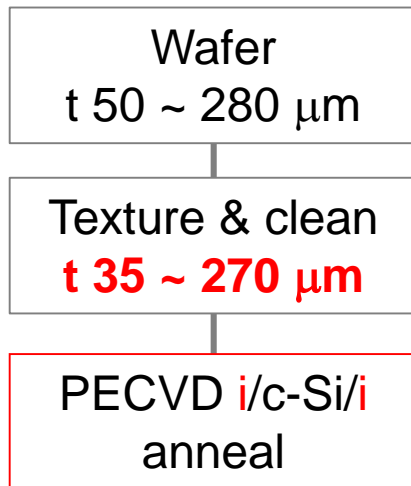
2.2. J_{SC} の期待値 (implied J_{SC})

- Lambertian-like behavior down to $t \sim 30 \mu\text{m}$, with $\sim \Delta 1 \text{ mA/cm}^2$.
- $\Delta J (= iJ_{SC} - J_{SC})$ increases with decrease in wafer thickness.

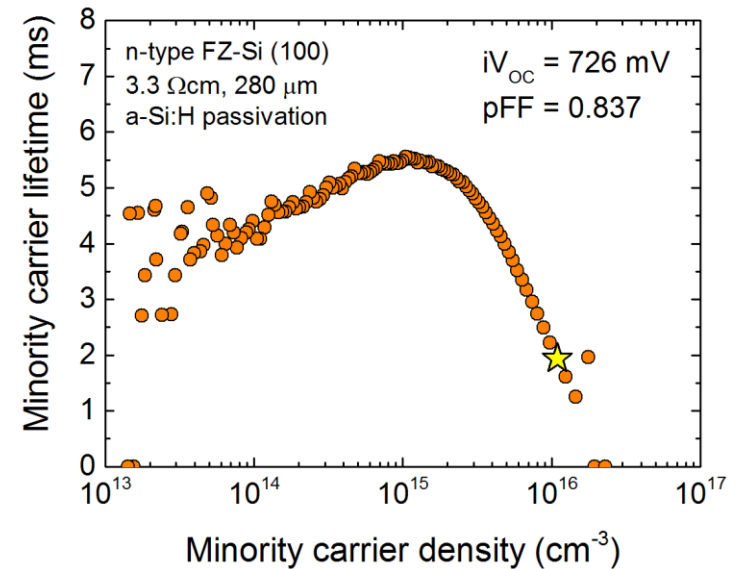


3.1. 薄型SHJセル: implied V_{OC}

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



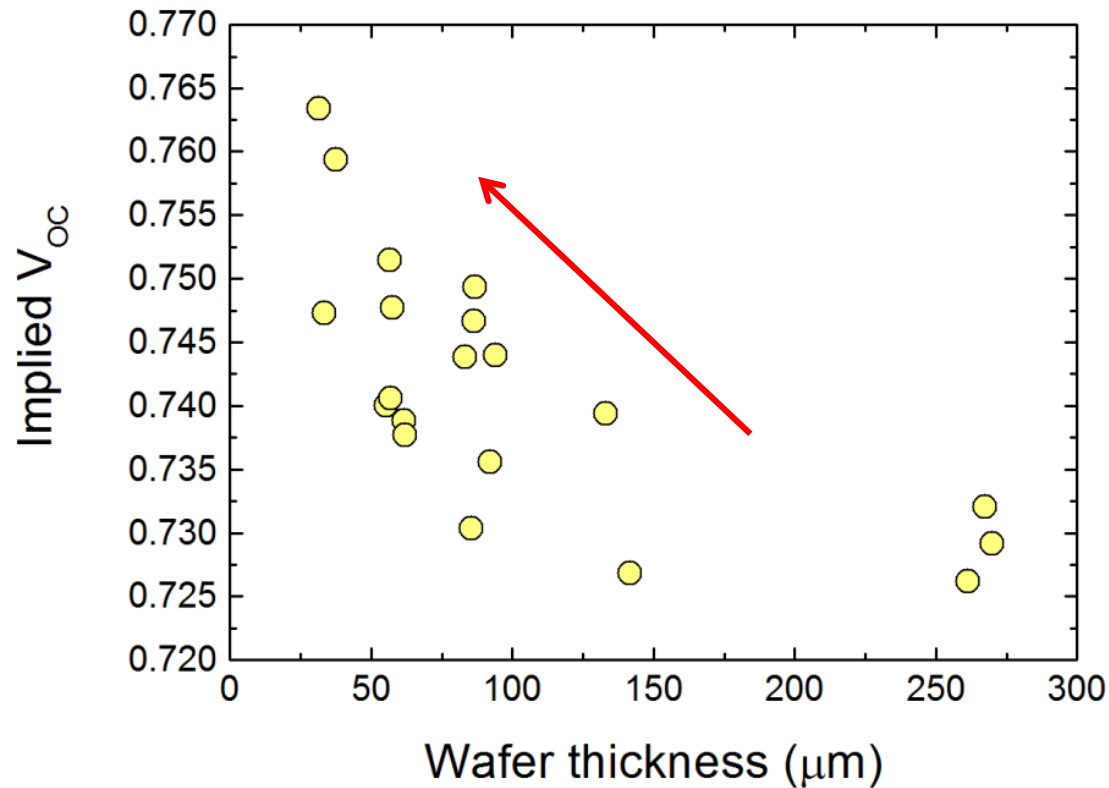
$$\text{Implied } V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left\{ \frac{\Delta p (N_D + \Delta n)}{n_i^2} \right\}$$



QSSPC: quasi-steady state photo-conductance decay

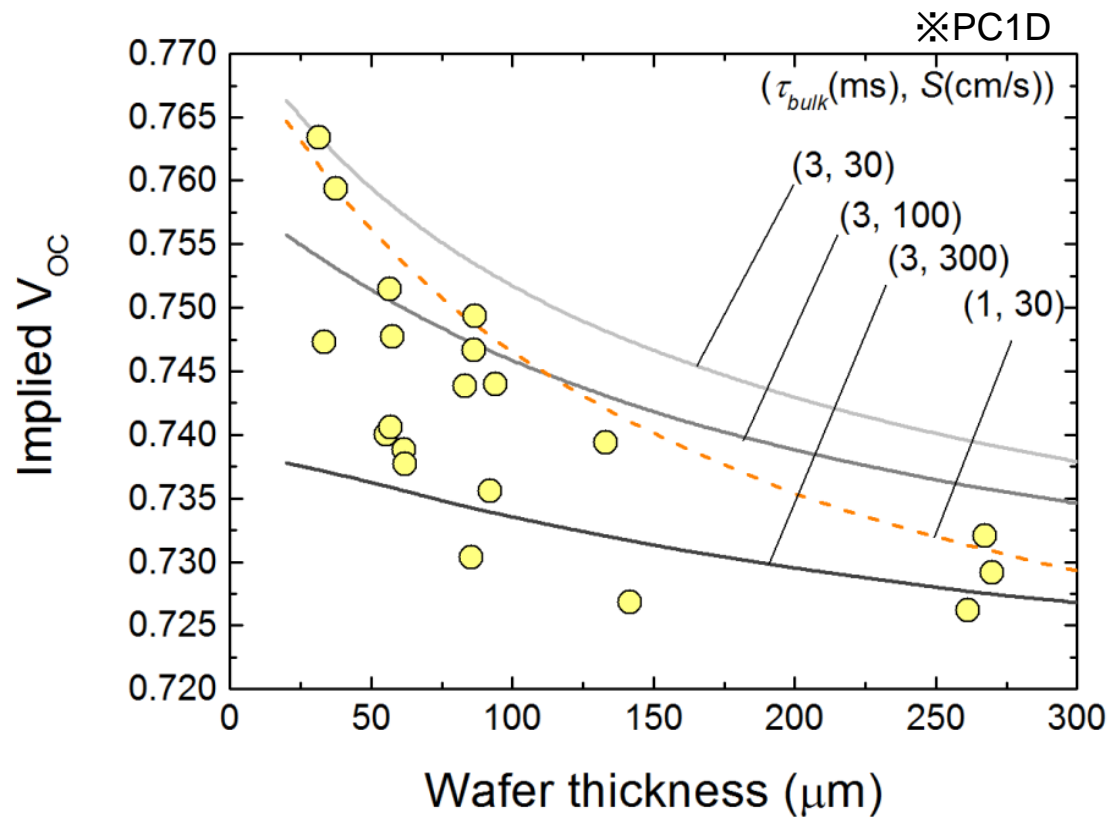
3.2. iV_{OC} のウェーハ厚依存性

- $iV_{OC} > 0.760 \text{ V}$ for $t < 50 \mu\text{m}$ ($> 0.750 \text{ V}$ for $< 100 \mu\text{m}$)
- Wafer thickness $\leftrightarrow iV_{OC}$



3.2. iV_{OC} のウェーハ厚依存性

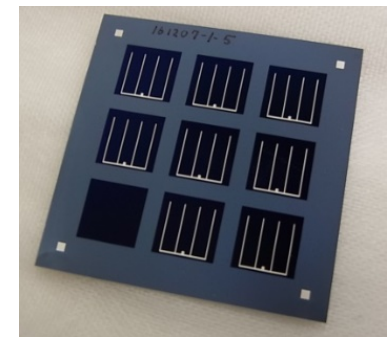
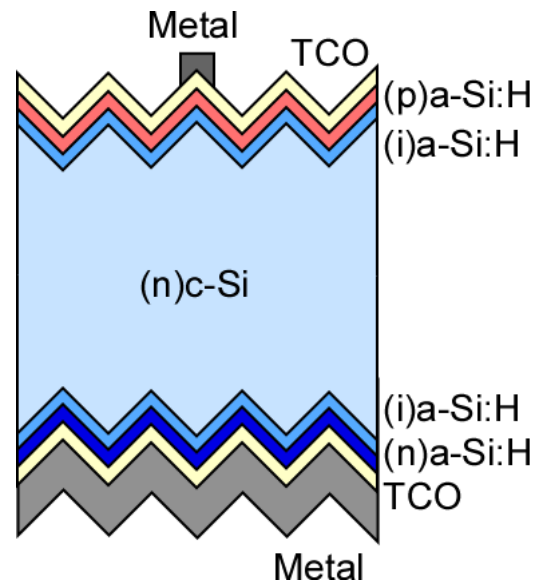
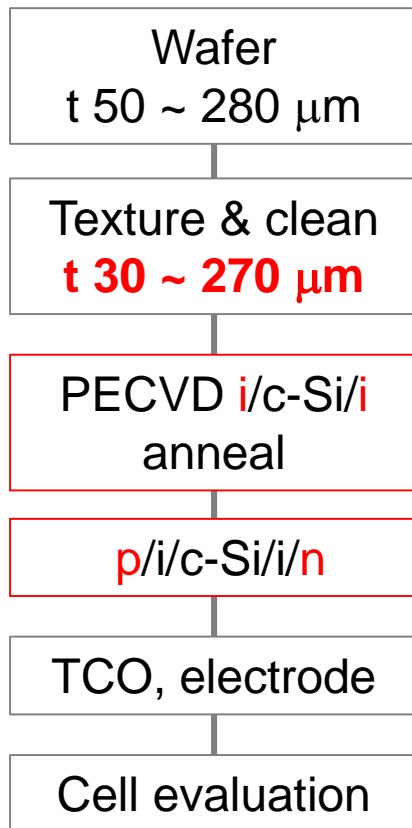
- Matched with a curve for $\tau_{bulk} > 1$ ms and $S < 30$ cm/s
 ⇒ iV_{OC} enhancement by using thinner wafers was confirmed.



*S: surface recombination velocity

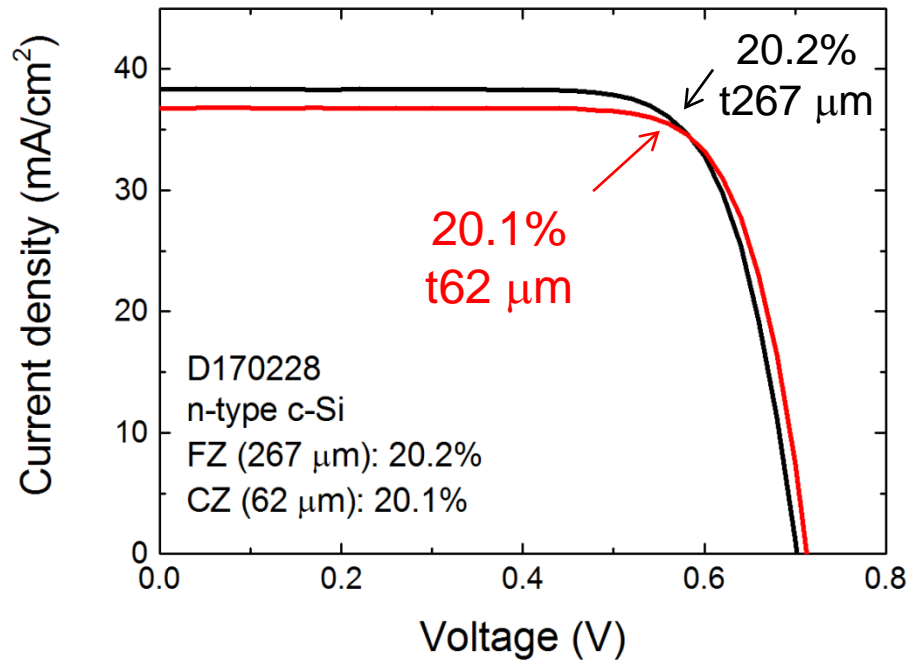
3.3. 薄型ウェーハを用いたSHJセル

- n-type, 1~3 Ωcm , CZ&FZ
- SHJ cell (SP-ITO, small area)



3.4. SHJセル 発電特性

- SHJ cell with $t < 50 \mu\text{m}$ was successfully processed.
- $\eta(62 \mu\text{m}) = 20.1\%$, **~99%** of $\eta(267 \mu\text{m})$ in the same run.



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*

*Best result: 21.0%

まとめ

- 極薄ウェーハ ($t = 30 \sim 300 \mu\text{m}$) を用いた結晶シリコン太陽電池の可能性を実験的に検証
- 疑似セル (アルカリテクスチャ + ARC + 反射): 実験的に得られた光吸収量は Lambertian limit と類似の挙動。 $\Delta iJ_{\text{SC}} \sim 1 \text{ mA/cm}^2$ 。
- i/c-Si/i 構造: 実験的に得られた iV_{OC} はウェーハ厚減少とともに増加し、その挙動は理論予想に合致。 $iV_{\text{OC}} > 0.760\text{V}$ を確認。
- SHJセル: 極薄ウェーハ ($t < 50 \mu\text{m}$) の SHJセル 実現。 $t = 62 \mu\text{m}$ での効率保持率 $> 99\%$ 。

< 今後 >

- iJ_{SC} と J_{SC} 、 $iV_{\text{OC}}(\text{max})$ と V_{OC} の差異に関する検討
- ワイヤスライス薄型ウェーハの検討 (今回は研削により薄型ウェーハを作製)

< 謝辞 >



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構