

# 澆液るつぽを用いたPVセル用CZシリコン単結晶の品質向上

福田 哲生<sup>1</sup>、堀岡 佑吉<sup>2</sup>、藤原 航三<sup>3</sup>、棚橋 克人<sup>1</sup>、沙拉木江 司馬依<sup>1</sup>、白澤 勝彦<sup>1</sup>、高遠 秀尚<sup>1</sup>

<sup>1</sup>産業技術総合研究所 再生可能エネルギー研究センター 太陽光チーム

<sup>2</sup>FTB研究所株式会社

<sup>3</sup>東北大学 金属材料研究所 先端エネルギー材料理工共創研究センター

## 研究の目的

我々は、シリコン単結晶を基板とした太陽光発電セルの変換効率向上とコストダウンのため、新たな結晶成長技術を開発している。

図1(a)のような従来のCZ法による単結晶シリコン成長技術を改良し、(b)のように、るつぽ径の75%の口径を持つ大口徑CZシリコン単結晶の成長技術を目指している。

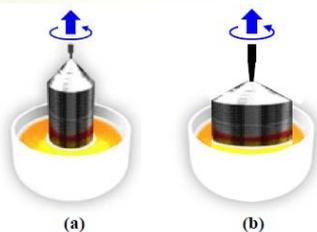


図1. 従来のCZ成長(a)、本研究のCZ成長(b).

## 実験方法

### 1. 大口徑結晶成長のメリットの検討

従来の結晶成長方法と比較することによって、大口徑の結晶成長のメリットを机上計算で明らかにした。

### 2. 実験

東北大学金属材料研究所の小形CZ結晶成長装置(以後小型CZ炉と略す)、および内径165 mmφの通常シリカるつぽおよび澆液るつぽ<sup>1), 2)</sup>を用いて、従来口径~大口徑までの結晶成長実験を行い、不純物濃度の測定を開始した。

## 結果

### 1. 大口徑結晶成長のメリットの検討結果

直径600 mmφのるつぽを用いると仮定し、図2のように従来の成長法から215 mmφの長尺インゴット(a)を、本研究の成長法から口径比75%の450 mmφインゴット(b)を得たとし、両者の重量収率を計算した。その結果表1に示すように、断面サイズ156.75 × 156.75 mmのブロックの単位時間当たりの収率が、大口徑成長では従来の2倍となった。

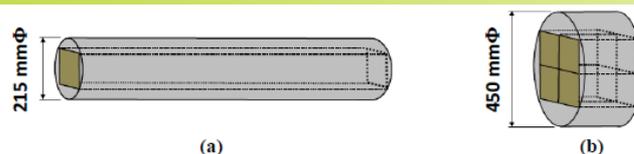


図2. 従来のCZ方法によるインゴット(a)と本研究のCZ方法によるインゴット(b).

表1. 従来のCZ方法と本研究のCZ方法における収率の検討.

	従来の結晶成長方法	本研究の結晶成長方法
結晶の断面積	1.0	4.4 = (450/215) <sup>2</sup>
結晶の長さ	1.0	0.23 = 1/4.4
取得可能なインゴット長さ (a)	1.0	0.92 = 0.23 × 4
結晶成長速度	1.0	0.5 小形CZ炉を用いた実験より
結晶成長時間 (b)	1.0	0.46 = 0.23/0.5
単位時間当たりの重量収率 (a) / (b)	1.0	2.0

### 2. 実験結果

内径165 mmφの通常シリカるつぽおよび澆液るつぽ<sup>1), 2)</sup>を小型CZ炉にそれぞれ装着し、口径70 mmφ(口径比42%)および120 mmφ(口径比73%)の結晶を成長した。これらの写真と酸素濃度分布を図3(a)、(b)に示す。図において(a)が通常るつぽを用いた通常口径の結晶、(b)が澆液るつぽを用いた大口徑成長である。

この結果から、大口徑成長においても直径が安定して制御されており、澆液るつぽを用いれば大口徑の結晶成長に何ら問題が無いことが分かる。

酸素濃度は結晶の成長軸方向にも半径方向にも一定であることが望ましいが、この点においても大口徑結晶は優れていることが一目でわかる。ただし通常口径結晶(a)より明らかに高酸素濃度であるので、今後はこれを下げることが課題である。

## 考察

### 1. 大口徑結晶成長のメリット

表1の結果は、原料多結晶の融解時間、クラウン成長時間などの現実的要因を考慮していない。これらを含めると収率は従来の1.5倍程度になると考えている。

### 2. 実験結果の考察

大口徑結晶成長では、融液表面の大部分を結晶で覆うため酸素の蒸発が抑制され、この結果実行偏析係数が1に近づくので成長軸方向に一定濃度になると考えられる。酸素濃度を下げするために、るつぽ回転数(現在8 rpm)を下げるなどの検討を行う。また炭素、ドーパント濃度分布の測定と検討も行う。

### 3. 澆液るつぽで大口徑結晶成長が可能な理由

大口徑結晶を成長する際は、るつぽ壁の温度を下げて融液表面の固化温度(約1400°C)領域を、中心からるつぽ壁に向かって広げなければならない。しかしこれはるつぽ壁からの融液凝固を起こし易くなり、結晶成長が阻害される。

澆液るつぽの場合融液とるつぽ壁との相互作用が殆んど無いため、融液はるつぽ壁まで乱流状態であると予想される。従って、るつぽ壁の温度を低下させても凝固しにくいと考えられ、大口徑結晶の成長を阻害する要因がないと考えている。

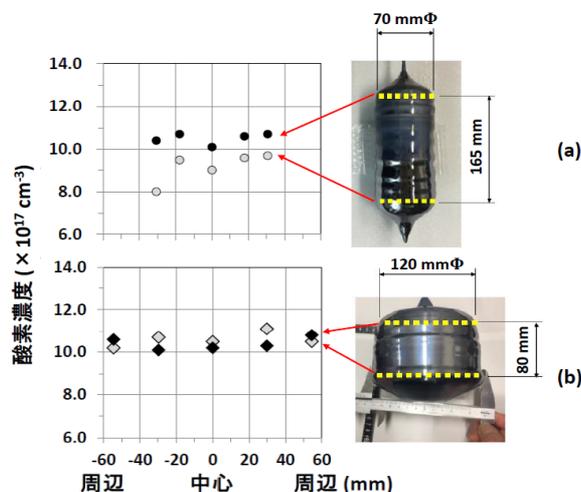


図3. 通常のCZ成長法による結晶と酸素濃度(a)、本研究のCZ成長法による大口徑結晶と酸素濃度(b).

## 結論

- 大口徑結晶成長では、単位時間当たりの重量収率が通常成長の場合より1.5倍に増える予想される。
- 澆液るつぽでは、大口徑結晶の安定した成長が可能である。

## 参考文献

- JP-4854814, 特願 2017-034069, 特願 2017-069022 など。
- T. Fukuda, Y. Horioka, N. Suzuki, M. Moriya, K. Tanahashi, S. Simayi, K. Shirasawa and H. Takato, J. Crystal Growth 438 (2016), pp. 76 – 80.