

課題番号	GR016
------	-------

先端研究助成基金助成金(最先端・次世代研究開発支援プログラム) 実施状況報告書(平成 25 年度)

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名	太陽電池用高品質・高均質シリコン多結晶インゴットの成長技術の開発
研究機関・ 部局・職名	東北大学・金属材料研究所・准教授
氏名	藤原航三

1. 当該年度の研究目的

<p>1. 高品質・高均質 Si 多結晶インゴットの成長技術の開発： 最終目標である「高品質・高均質 Si 多結晶インゴットの実現」へ向けた【第一段階】～【第三段階】の研究計画の中で、平成 25 年度は【第三段階】の研究を行った。 【第三段階】高品質高均質インゴットおよび高効率太陽電池の開発 【第二段階】までの研究開発および融液成長メカニズムの基礎研究の結果に基づき、インゴット全体に渡り多結晶組織が制御された 200mm 角の矩形インゴットを実現する。</p> <p>2. Si の融液成長メカニズムの研究： その場観察実験により、結晶粒界および双晶界面が固液界面形状や固液界面不安定化に及ぼす影響を解明する。また、結晶成長過程における結晶粒界の発展挙動を明らかにする。</p>
--

2. 研究の実施状況


<p>1. 高品質・高均質 Si 多結晶インゴットの成長技術の開発： 【第三段階】高品質高均質インゴットおよび高効率太陽電池の開発 新規キャスト装置を用いて、矩形インゴットの成長および太陽電池特性評価を行った。前年度に、インゴット底部で dendritic 成長を効率的に発現させる条件を明らかにした。この条件を用いて 200mm 角のインゴットを成長し（図 1 左）、実用サイズの 156mm 角基板を切り出して太陽電池特性を調べたところ、市販の多結晶太陽電池と同程度の 15%~16% の変換効率が得られた。この多結晶基板の結晶組織観察および不純物評価を行ったところ、カーボンを含んだ不純物が多く存在していることが明らかとなり、これが太陽電池の効率向上を妨げる主要因であることが分かった。そこで、成長炉内で不純物が混入するのを防ぐために、離型剤の焼成方法および原料融解時の温度条件の検討を徹底的に行った。図 1(右)は改善後のインゴットである。改善前(図 1 左)は、インゴット表面に金属光沢がないが、改善後のインゴットは明らかに表面に光沢があり、不純物量の混入が極端に抑えられたことが分かる。このインゴットから小面積(15mm 角)基板を切り出し太陽電池特性を評価したところ、18% 近傍の変換効率が得られた。現在、本インゴットから 156mm 角の実用サイズ基板を切り出し、太陽電池を試作している。</p>	<div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-bottom: 5px;"> 2013年1月 2014年3月 </div> 
---	---

図 1 成長初期の冷却条件を制御して作製した

2. Siの融液成長メカニズムの研究：

固液界面形状に及ぼす粒界性格の影響を明らかにした。図2はΣ3、Σ27およびランダム粒界を含む結晶の固液界面形状を観察した結果である。Σ3粒界以外の粒界では、固液界面に溝が形成されるがΣ3粒界では溝が形成されないことが分かった。固液界面に溝が形成されると、結晶成長中に不純物が局所的に濃縮することが示唆された。さらに、2つの粒界が衝突して新たな粒界が形成するメカニズムや、双晶界面が固液界面の不安定化に及ぼす影響を解明した。

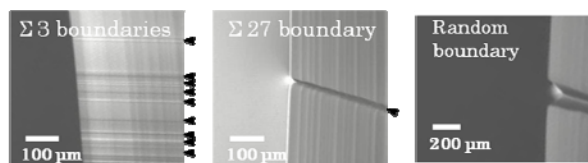


図2 Σ3、Σ27およびランダム粒界を含んだ結晶の固液界面形状。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計6件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計4件 1) K. Fujiwara, M. Ishii, K. Maeda, H. Koizumi, J. Nozawa, S. Uda, "The effect of grain boundary characteristics on morphology of the crystal/melt interface of multicrystalline silicon", Scripta Materialia 69, 266-269 (2013). ISSN: 1359-6462 2) W. Pan, K. Fujiwara, S. Uda, "Evaluation of crystalline silicon solar cells by current-modulating four-point-probe method", Applied Physics Letters 103, 043903 (2013). ISSN: 0003-6951 3) M. Arivanandhan, R. Gotoh, K. Fujiwara, S. Uda, Y. Hayakawa, M. Konagai, "Grown-in microdefects and photovoltaic characteristics of heavily Ge co-doped Czochralski-grown p-type Silicon crystals", Scripta Materialia 69, 686-689 (2013). ISSN: 1359-6462 4) M. Arivanandhan, R. Gotoh, K. Fujiwara, S. Uda, Y. Hayakawa, M. Konagai, "Germanium-doped Czochralski silicon: a novel material for solar cells", Physica Status Solidi C 10, 1746-1749 (2013). DOI:10.1002/pssc.201300394</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計0件</p> <p>(未掲載) 計2件 1) X. B. Yang, K. Fujiwara, K. Maeda, J. Nozawa, H. Koizumi, S. Uda, "Crystal growth and equilibrium crystal shapes of silicon in the melt", Progress in Photovoltaics: Research and Applications 22, 547-580 (2014). 2) K. Fujiwara, M. Tokairin, W. Pan, H. Koizumi, J. Nozawa, S. Uda, "Instability of crystal/melt interface including twin boundaries of silicon", Applied Physics Letters, (2014), accepted.</p>
<p>会議発表 計7件</p>	<p>専門家向け 計5件 1) K. Fujiwara, M. Ishii, K. Maeda, H. Koizumi, J. Nozawa, S. Uda, "Crystal/melt interface morphology at grain boundaries of multicrystalline silicon", ワルシャワ (ポーランド), 8月11日-8月16日, 17th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-17). 2) K. Fujiwara, "Analysis of silicon solidification by in-situ techniques", カールスルーエ (ドイツ), 9月18日-9月20日, Workshop on polycrystalline growth of Si - new insights from experiment and modeling. 3) 藤原航三, "Siの融液成長に関する研究", 5月31日, 東京, 第34回本多記念研究奨励賞 贈呈式並びに記念講演 4) 藤原航三, "シリコンの一方凝固過程における不純物偏析", 6月28日, 仙台, 日本結晶成長学会 バルク成長分科会第88回研究会 5) 藤原航三, 石井雅也, 前田健作, 小泉晴比古, 野澤純, 宇田聡, "Si多結晶の一方凝固過程における固液界面形状に及ぼす結晶粒界の影響", 11月6日-11月8日, 長野, 第43回結晶成長国内会議</p>

様式19 別紙1

	<p>一般向け 計2件</p> <p>1) 藤原航三, "実用太陽電池の高効率化へ向けた Si 多結晶の融液成長に関する研究", 11月14日, 仙台, 東北大学金属材料研究所 低炭素社会基盤材料融合研究センター (LC-IMR) 第4回ワークショップ「低炭素社会に向けた材料科学」</p> <p>2) 藤原航三, "Si 多結晶インゴットの組織制御技術の開発", 12月9日, 仙台, 第2回「太陽光と光電変換機能」さきがけ領域公開シンポジウム</p>
図書 計0件	
産業財産権 出願・取得状況 計1件	<p>(取得済み) 計0件</p> <p>(出願中) 計1件</p> <p>1) 発明の名称: Si 多結晶インゴットの製造方法、発明者: 藤原航三、権利者: 東北大学、出願年月日: 2013年4月15日、出願番号: 特願 2013-085169、国内出願</p>
Webページ (URL)	<p>・金研学びの勧め vol.1、東北大学金属材料研究所ホームページ、 http://www.imr.tohoku.ac.jp/ge/public/interview/index.html</p> <p>・研究業績、宇田研究室ホームページ、http://www.udalab.imr.tohoku.ac.jp/</p>
国民との科学・技術対話の実施状況	<p>きんけん一般公開 2013 (場所: 東北大学金属材料研究所、実施日: 平成 25 年 10 月 12 日-13 日)、小学生-大人、約 3,000 名、金属材料研究所一般公開において Si の融液成長に関する展示を行った。</p>
新聞・一般雑誌等掲載 計1件	<p>1) 日経産業新聞「シリコン結晶の品質評価 太陽電池向け 東北大が新手法」(2013年9月2日)</p>
その他	

4. その他特記事項

受賞

第34回 本多記念研究奨励賞 (本多記念会) を受賞した。(2013年5月)

実施状況報告書(平成25年度) 助成金の執行状況

本様式の内容は一般に公表されます

1. 助成金の受領状況(累計)

(単位:円)

	①交付決定額	②既受領額 (前年度迄の 累計)	③当該年度受 領額	④(=①-②- ③)未受領額	既返還額(前 年度迄の累 計)
直接経費	126,000,000	108,800,000	17,200,000	0	0
間接経費	37,800,000	32,640,000	5,160,000	0	0
合計	163,800,000	141,440,000	22,360,000	0	0

2. 当該年度の収支状況

(単位:円)

	①前年度未執 行額	②当該年度受 領額	③当該年度受 取利息等額 (未収利息を除 く)	④(=①+②+ ③)当該年度 合計収入	⑤当該年度執 行額	⑥(=④-⑤) 当該年度未執 行額	当該年度返還 額
直接経費	0	17,200,000	0	17,200,000	17,200,000	0	0
間接経費	1,389,220	5,160,000	0	6,549,220	6,549,220	0	0
合計	1,389,220	22,360,000	0	23,749,220	23,749,220	0	0

3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	10,697,647	石英ルツボ、原料Si、Si基板、Arガス、石英トレー、その他消耗品類
旅費	1,145,378	研究打ち合わせ4回、国内会議5回、国際会議2回
謝金・人件費等	3,531,442	研究員給与など
その他	1,825,533	装置修理、論文英文校閲、Si結晶スライス(外注)など
直接経費計	17,200,000	
間接経費計	6,549,220	
合計	23,749,220	

4. 当該年度の主な購入物品(1品又は1組若しくは1式の価格が50万円以上のもの)

物品名	仕様・型・性能 等	数量	単価 (単位:円)	金額 (単位:円)	納入 年月日	設置研究機関 名
石英ルツボ	200mm×200mm×260mmL 側 面厚み:7mmt 底厚:10mmt 溶 融石英 溶接構造 全面透明焼 仕上げ	1	596,400	596,400	2013/4/26	東北大学
石英ルツボ	200mm×200mm×260mmL 側 面厚み:7mmt 底厚:10mmt 溶 融石英 溶接構造 全面透明焼 仕上げ	1	2,833,950	2,833,950	2013/6/7	東北大学
4深針測定装置測 定架台	K503RX150(160口 試料台)	1	556,500	556,500	2013/6/25	東北大学
4深針抵抗測定用 ソフト	W32-2400MRX-R	1	522,900	522,900	2013/6/27	東北大学
石英トレー	GE214 16×24× 11 1.5t (11Z25787A)	1	622,650	622,650	2013/7/4	東北大学
PTFE角型容器	VM-105 (T/#9500-M)	1	897,750	897,750	2013/9/4	東北大学