

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 24 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><b>1. 高品質・高均質 Si 多結晶インゴットの成長技術の開発：</b> 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、昨年度は【第二段階】の研究を行った。 <b>【第二段階】矩形インゴットの多結晶組織制御技術の開発</b> 新規キャスト装置を用いて、矩形インゴットの多結晶組織制御技術を開発する。特に、インゴットの成長初期段階に効率的に dendrite 成長を発現させる手法を開発する。</p> <p><b>2. Si の融液成長メカニズムの研究：</b> その場観察装置を用いた研究では、原子的にスムーズな {111} 固液界面と、原子的にラフな固液界面における成長挙動の違いを解明する。また、結晶粒界の形成メカニズムおよび粒界性格と欠陥発生との相関について解明する。</p>
--

2. 研究の実施状況

<p><b>1. 高品質・高均質 Si 多結晶インゴットの成長技術の開発：</b> <b>【第二段階】矩形インゴットの多結晶組織制御技術の開発</b> 新規キャスト装置を用いて、矩形インゴットの成長実験を行った。成長初期の冷却条件（ルツボ底の温度および温度勾配、水冷管の位置）をパラメータとして、dendrite 成長が効率的に発現する条件を検討した。図 1 は、本研究により作製した Si 多結晶インゴットの底部から、実用サイズ基板（156mm 角）を切り出し、多結晶組織を観察した結果である。</p> <p align="center">(a) dendrite なし      (b) dendrite 有      (c) dendrite 有</p>  <p align="center">50 mm</p> <p>図 1 本研究により作製した Si 多結晶インゴットの底部組織の比較(156mm 角)。</p>
---

図1(a)は成長初期にデンドライト成長を発現させなかったインゴットで、(b)および(c)は成長初期にデンドライト成長を発現させたインゴットである。成長初期の冷却条件を制御することにより、デンドライト成長を発現させることに成功し、図1(b)(c)に示されるように、結晶粒が大きく粒界密度が低いSi多結晶インゴットが得られるようになった。最終年度は、本実用サイズ基板を用いて太陽電池の高効率化を実現する。

**2. Siの融液成長メカニズムの研究：**

ファセット面とラフ面の固液界面形状に関する研究では、不純物の局所偏析に及ぼす固液界面形状の影響について解明した。ラフ面の成長においては、固液界面の融液側に負の温度勾配が形成されると、固液界面形状が平坦からジグザグ状の界面に変化し、ジグザグ界面の谷部分に不純物が局所偏析することを明らかにした。一方、平坦な界面で成長するファセット面の成長では、不純物の局所偏析が起こらないことを示した。

次に、Si多結晶の結晶核の配向性に及ぼすSi融液（結晶）/ルツボ間の界面エネルギーの影響に関する研究を行った。図2左はSi結晶の成長形を<100>および<110>方向から観察した結果である。本実験より、Si融液から核形成—成長により形成する結晶粒は{111}面に囲まれた八面体形状であることがわかった。図2右はこのような形状の結晶粒がルツボ底で形成する際、どの方位に配向しやすいかを計算した結果である。Si/ルツボ間の界面エネルギーを制御することにより、{111}配向または{100}配向のSi多結晶が得られることが示唆された。

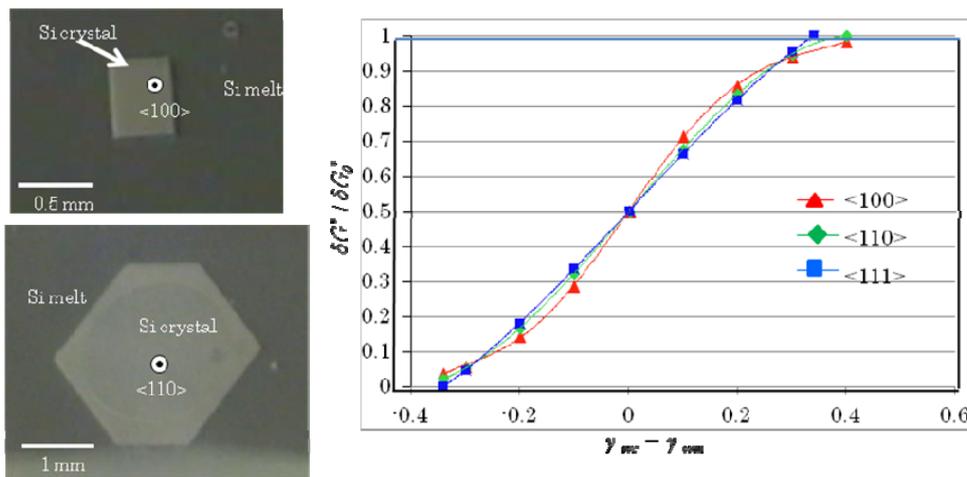


図2 Si結晶の成長形の観察（左）およびルツボ壁における結晶核の配向性に及ぼす界面エネルギーの影響（右）。

3. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 8 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 8 件                  1) K. Fujiwara, K. Maeda, H. Koizumi, J. Nozawa, S. Uda,                  "Effect of silicon/crucible interfacial energy on orientation of multicrystalline silicon ingot in unidirectional growth", Journal of Applied Physics 112, 113521 (2012). <b>ISSN:</b> 0021-8979                  2) I. Brynjulfson, K. Fujiwara, N. Usami, L. Arnberg,                  "Growth velocity and grain size of multicrystalline solar cell silicon", Journal of Crystal Growth 356, 17-21 (2012). <b>ISSN:</b> 0022-0248                  3) X. B. Yang, K. Fujiwara, R. Gotoh, K. Maeda, J. Nozawa, H. Koizumi, S. Uda,                  "Crystal and faceted dendrite growth of silicon near (100)", Acta Materialia 60, 3259-3267 (2012). <b>ISSN:</b> 1359-6454                  4) X. B. Yang, K. Fujiwara, N. V. Abrosimov, R. Gotoh, J. Nozawa, H. Koizumi, A. Kwasniewski, S. Uda,                  "The critical growth velocity for planar-to-faceted interfaces transformation in SiGe crystals", Applied Physics Letters 100, 141601 (2012). <b>ISSN:</b> 0003-6951                  5) M. Arivanandhan, R. Gotoh, T. Watahiki, K. Fujiwara, Y. Hayakawa, S. Uda, M. Konagai,                  "The impact of Ge codoping on the enhancement of photovoltaic characteristics of B-doped Czochralski grown Si crystal", Journal of Applied Physics 111, 043707 (2012). <b>ISSN:</b> 0021-8979                  6) M. Forster, E. Fourmond, F. E. Rougieux, A. Cuevas, R. Gotoh, K. Fujiwara, S. Uda, M. Lerniti,                  "Boron-oxygen defect in Czochralski-silicon co-doped with gallium and boron", Applied Physics Letters 100, 042110 (2012). <b>ISSN:</b> 0003-6951                  7) R. Gotoh, K. Fujiwara, X. B. Yang, H. Koizumi, J. Nozawa, S. Uda,                  "Formation mechanism of cellular structures during unidirectional growth of binary semiconductor Si-rich SiGe materials", Applied Physics Letters 100, 021903 (2012). <b>ISSN:</b> 0003-6951                  8) K. Fujiwara,                  "Crystal Growth Behaviors of Silicon during Melt Growth Processes", International Journal of Photoenergy, 169829 (2012). <b>ISSN:</b> 1110-662X</p> <p>(掲載済み一査読無し) 計 0 件                   (未掲載) 計 0 件</p>
<p>会議発表 計 4 件</p>	<p>専門家向け 計 4 件                  1) K. Fujiwara, H. Koizumi, J. Nozawa, S. Uda, " Crystal growth mechanisms of silicon during melt growth processes", 京都, 9 月 25 日-9 月 27 日, 2012 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2012).                  2) K. Fujiwara, " Crystal growth behaviors of silicon during melt growth processes", 広州(中国), 10 月 19 日-10 月 21 日, 2nd New Energy Forum (NEF-2012).                  3) 藤原航三、小泉晴比古、野澤純、宇田聡, "Si 多結晶インゴットの配向性に及ぼす界面エネルギーの影響", 9 月 17 日-9 月 19 日, 松山, 日本金属学会 2012 年秋期(第 151 回)大会                  4) 藤原航三、Xinbo Yang、前田健作、小泉晴比古、野澤純、宇田聡, "融液成長における Si 結晶の成長形・平衡形および Si 多結晶の配向性", 11 月 9 日-11 月 11 日, 福岡, 第 42 回結晶成長国内会議</p> <p>一般向け 計 0 件</p>
<p>図書 計 0 件</p>	

様式19 別紙1

<p>産業財産権 出願・取得状 況  計0件</p>	<p>(取得済み) 計0件  (出願中) 計0件</p>
<p>Webページ (URL)</p>	<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、 <a href="http://www.imr.tohoku.ac.jp/ge/public/interview/index.html">http://www.imr.tohoku.ac.jp/ge/public/interview/index.html</a> ・研究業績、宇田研究室ホームページ、<a href="http://www.uda-lab.imr.tohoku.ac.jp/">http://www.uda-lab.imr.tohoku.ac.jp/</a></p>
<p>国民との科 学・技術対話 の実施状況</p>	<p>第82回東北大学金属材料研究所夏期講習会(場所:東北大学金属材料研究所、実施日:平成24年7月25日-27日)、大学生-大人、約60名、研究所主宰の講習会において、Siの融液成長に関する実習を行った。</p>
<p>新聞・一般雑 誌等掲載 計0件</p>	
<p>その他</p>	

4. その他特記事項

特に該当なし

## 実施状況報告書(平成24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	91,100,000	17,700,000	17,200,000	0
間接経費	37,800,000	27,330,000	5,310,000	5,160,000	0
合計	163,800,000	118,430,000	23,010,000	22,360,000	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	17,700,000	0	17,700,000	17,700,000	0	0
間接経費	0	5,310,000	0	5,310,000	3,920,780	1,389,220	0
合計	0	23,010,000	0	23,010,000	21,620,780	1,389,220	0

## 3. 当該年度の執行額内訳

(単位:円)

	金額	備考
物品費	15,360,294	ハイスピードマイクロスコープ、テラー、石英ルツボ、原料Si、 切断機、Si基板、実験室エアコン、その他消耗品類
旅費	404,530	研究打ち合わせ1回、国内会議3回、国際会議2回
謝金・人件費等	0	
その他	1,935,176	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	17,700,000	
間接経費計	3,920,780	
合計	21,620,780	

## 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
エアコン	室内温度調整用	1	627,900	627,900	2012/5/18	東北大学
ポリSi	11N Sナゲット	1	535,500	535,500	2012/6/25	東北大学
切断機	ME-300型	1	1,438,500	1,438,500	2012/8/20	東北大学
ハイスピードマイク ロスコープ	VW-9000	1	2,992,500	2,992,500	2012/9/14	東北大学
透明石英ルツボ	箱型	1	504,000	504,000	2012/9/13	東北大学
ポリSi	11N Sナゲット	1	535,500	535,500	2012/9/28	東北大学
石英角ルツボ	200x200x258(外 形)	1	1,253,700	1,253,700	2012/10/5	東北大学
DCインバーターテ ラー	RKE2200B1-V	1	954,030	954,030	2012/10/30	東北大学
石英角ルツボⅢ	200x200x258(外 形)・溝なし	1	1,050,000	1,050,000	2012/11/13	東北大学
石英角ルツボⅢ	200x200x258(外 形)・溝なし	1	879,900	879,900	2013/1/25	東北大学