

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) 実績報告書

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. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

2. 収支の状況

(単位:円)

	交付決定額	交付を受け た額	利息等収入 額	収入額合計	執行額	未執行額	既返還額
直接経費	126,000,000	126,000,000	0	126,000,000	126,000,000	0	0
間接経費	37,800,000	37,800,000	0	37,800,000	37,800,000	0	0
合計	163,800,000	163,800,000	0	163,800,000	163,800,000	0	0

3. 執行額内訳

(単位:円)

費目	平成22年度	平成23年度	平成24年度	平成25年度	合計
物品費	1,122,450	89,242,941	15,360,294	10,697,647	116,423,332
旅費	0	420,230	404,530	1,145,378	1,970,138
謝金・人件費等	0	0	0	3,531,442	3,531,442
その他	0	314,379	1,935,176	1,825,533	4,075,088
直接経費計	1,122,450	89,977,550	17,700,000	17,200,000	126,000,000
間接経費計	187,000	27,143,000	3,920,780	6,549,220	37,800,000
合計	1,309,450	117,120,550	21,620,780	23,749,220	163,800,000

4. 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
電気炉	ISUZU社製 電気炉 /VDS-64R	1	999,600	999,600	2011/3/29	東北大学
透明石英るつぼ	箱型(20×10×10 mm)	1	504,000	504,000	2011/6/9	東北大学
DCインバーターテラー	キャスター付き	1	954,030	954,030	2011/6/15	東北大学
透明石英るつぼ	箱型(20×10×10 mm)	1	504,000	504,000	2011/6/24	東北大学
ポリSi	11N Sナゲット	1	535,500	535,500	2011/8/2	東北大学
分析走査電子顕微鏡	EBSID装置付き	1	29,925,000	29,925,000	2011/8/30	東北大学
透明石英るつぼ	箱型(20×10×10 mm)	1	504,000	504,000	2011/9/22	東北大学
透明石英るつぼ	箱型(20×10×10 mm)	1	504,000	504,000	2011/11/22	東北大学
デンドライト利用キャスト成長装置	2ゾーン加熱式	1	46,662,000	46,662,000	2011/12/28	東北大学
高機能縦型顕微鏡炉	るつぼ移動機構付き	1	6,999,300	6,999,300	2012/3/6	東北大学
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
透明石英ルツボ	箱型	1	504,000	504,000	2012/9/13	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
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
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
石英トレイ	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

5. 研究成果の概要

本プロジェクトでは、Si多結晶太陽電池で変換効率18%を達成することを最終目標として、Siの融液成長メカニズムの解明と太陽電池用Si多結晶インゴットの成長技術開発を行った。独自に開発した装置により、約1,400°CのSi融液から結晶が成長する過程を直接観察し、Si結晶の成長形、デンドライト成長メカニズム、固液界面不安定化メカニズム、固液界面における不純物分布、固液界面形状に及ぼす粒界性格の影響など多くの現象を解明した。この基礎研究を基に、太陽電池用Si多結晶インゴットの独創的結晶成長技術を発展させ、変換効率18%を実現し得るSi多結晶インゴットが得られた。本技術が大型・実用化へと発展していけば、国外の競争相手に対して大きなアドバンテージを有することとなる。

課題番号	GRO16
------	-------

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) 研究成果報告書

本様式の内容は一般に公表されます

研究課題名 (下段英語表記)	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
	Development of crystal growth method for high-quality multicrystalline Si ingot for solar cells
研究機関・部局・ 職名 (下段英語表記)	東北大学・金属材料研究所・准教授
	Institute for Materials Research (IMR), Tohoku University/Associate Professor
氏名 (下段英語表記)	藤原航三
	Kozo Fujiwara

研究成果の概要

(和文): 本プロジェクトでは、結晶粒方位、粒サイズ、結晶粒界などの多結晶組織が精密制御された Si 多結晶インゴットの実現を目指し、Si の融液成長メカニズムの解明と太陽電池用 Si 多結晶インゴットの成長技術開発を行った。独自に開発した実験装置により、約 1400°C の Si 融液から結晶が成長する過程を直接観察し、Si の固液界面で生じる多くの現象を基礎的に解明した。この基礎研究を基に、本研究で開発を進めている「デンドライト利用キャスト法」を改良し、本方法によって組織制御された太陽電池用 Si 多結晶インゴットが得られることが示された。本方法が実用化されれば太陽電池の低コスト化・高効率化に大きく貢献する技術となる。

(英文): The aim of this study is to realize a structure-controlled multicrystalline silicon ingot (mc-Si) for solar cells. For this purpose, we studied melt growth mechanisms of silicon and developed a novel crystal growth technology of mc-Si ingot. We directly observed crystal growth processes of Si and clarified a lot of phenomena occurring at melt growth processes. Based on these fundamental findings, we have developed a growth method of structure-controlled mc-Si ingots. Using the dendrites grown in the initial stage of casting, an mc-Si ingot with large oriented grains was obtained. The proposed concept using dendrite growth is very promising for obtaining high-quality mc-Si ingots suitable for solar cells.

様式21

1. 執行金額 163,800,000 円
(うち、直接経費 126,000,000 円、 間接経費 37,800,000 円)

2. 研究実施期間 平成23年2月10日～平成26年3月31日

3. 研究目的

世界の全太陽電池生産量の 50%以上を占めているシリコン(Si)多結晶太陽電池のエネルギー変換効率は 15-18%であり、理論限界値(約 30%)の半分程度にしか至っていない。エネルギー変換効率の改善には、基板材料である Si 多結晶の「高品質化」を実現しなければならない。本研究では、結晶粒方位、粒サイズ、結晶粒界、転位などの多結晶組織が精密制御された Si 多結晶の実現を目指し、インゴット成長技術を開発することを目的とし、以下の 2 つの課題を設定して研究を行った。

(1) Si の融液成長メカニズムの解明

(2) 高品質・高均質 Si 多結晶インゴットの成長技術の開発

(1)の課題では、Si の融液成長過程で生じる様々な現象を学術的に解明し、多結晶の融液成長メカニズムの学理を構築するとともに多結晶組織の制御法に対する指針を得ることを目的とした。

(2)の課題では、(1)の基礎研究で得られた知見を基に、多結晶組織が制御された高品質・高均質 Si 多結晶インゴットの新規結晶成長技術を開発し、実用サイズの太陽電池(156mm 角基板)で従来の多結晶太陽電池を越える特性を得ることを目的とした。

4. 研究計画・方法

(1) Si の融液成長メカニズムの解明: 独自に開発したその場観察装置を用いて、融液成長過程に生じる様々な現象を基礎的に解明するとともに、インゴット成長技術開発への指針を得る。

(2) 高品質・高均質 Si 多結晶インゴットの成長技術の開発: 【第一段階】から【第三段階】の開発目標を定めて研究を遂行した。【第一段階】では、研究代表者らが発案した「デンドライト利用キャスト法」を将来的に実用化へ展開することを見据えて、矩形インゴットの成長が可能な新規キャスト装置を導入する。【第二段階】では、新規キャスト装置を用いて多結晶インゴットの成長実験を行い、成長初期に効率的にデンドライト成長を発現させる方法および一方向成長過程における欠陥導入を抑制する方法を開発する。【第三段階】では、多結晶組織が制御されたインゴットを実現し、実用サイズ基板(15.6cm 角基板)で従来の多結晶太陽電池を越える特性を実現する。

5. 研究成果・波及効果

(1) Si の融液成長メカニズムの解明: Si 多結晶インゴットの多結晶組織制御に関わる多くの現象が基礎的に解明され、結晶成長学の発展およびインゴット成長技術開発に対して有用な知見が得られた。

①成長初期の結晶粒の配向性に関する研究: インゴットの成長では、窒化ケイ素を塗布した石英ルツボ底面で結晶粒の核形成—成長が

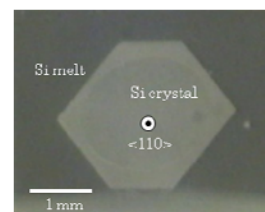


図1 Si 結晶の成長形の観察。

起こる。この結晶粒の配向性の制御が可能か否かを検討した。図1に示すように、Si結晶の成長形は、{111}面で囲まれた正八面体の形状となることが明らかとなった。この形状の結晶がルツボ底面で核形成する際の配向性に及ぼすルツボ/Si間の界面エネルギーの影響を計算した結果(図2)、 $\langle 111 \rangle$ もしくは $\langle 100 \rangle$ に配向することが示唆されたが、窒化ケイ素を塗布した石英ルツボでは $\langle 111 \rangle$ 配向の多結晶しか得られないことが明らかとなった。実際に、平衡状態に近い条件で多結晶インゴットを成長すると $\langle 111 \rangle$ 配向した多結晶インゴットが得られた(図2右)。

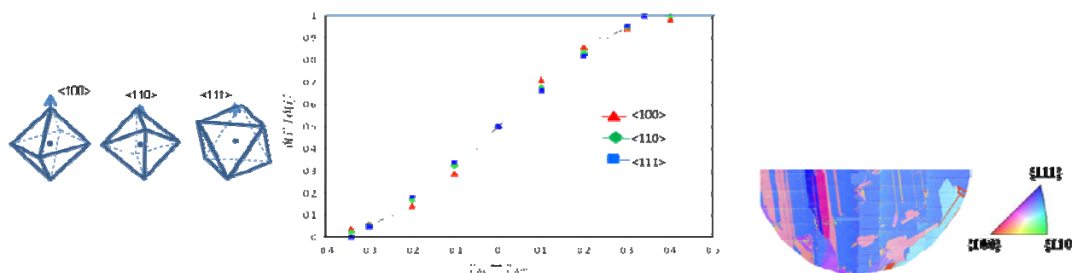


図2 核形成時における自由エネルギー変化に及ぼすルツボ/Si界面エネルギーの影響と平衡状態で作製した多結晶インゴットの配向性。

②デンドライト成長に関する研究:成長初期にデンドライト成長を発現させることを特徴とする「デンドライトキャスト法」においては、デンドライト成長に関する基礎的理解が不可欠である。本研究では、デンドライトの成長速度がデンドライト結晶に含まれる双晶間隔に大きく依存することを実験と理論により明らかにした(図3)。また、過冷度度によりデンドライトの優先成長方位を制御できることを明らかにした。

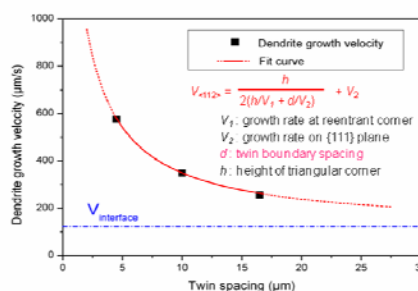


図3 デンドライトの成長速度と双晶間隔の関係。

③結晶成長界面の形状制御に関する研究:インゴットの一方方向成長過程では、固液界面で欠陥の導入や結晶粒の核形成や不純物偏析が起こると考えられるため、固液界面形状を制御することは非常に重要である。本研究では、ミクروسケールで固液界面を観察することにより、界面形状の決定メカニズムを解明した。図4に示すように、固液界面は成長条件によって平坦な界面を形成する場合と、ジグザグ状のファセット界面を形成する場合があることがわかった。理論計算により、凝固潜熱の吐き出し量が多くなると固液界面の融液側に局所的に負の温度勾配が形成され、界面不安定化が起こり、平坦な界面がファセット界面へと変化することが明らかとなった。

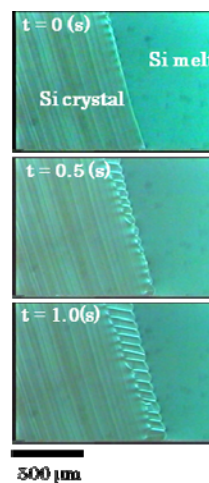


図4 固液界面形状変化の観察結果。

④一方向成長過程における不純物偏析と界面形状の関係に関する研究: インゴットの成長において、不純物の局所偏析は太陽電池の特性を悪化させる要因の一つである。本研究では、粒内の不純物偏析がなぜ起こるかを明らかにするため、Ge を含んだ Si 融液からの一方向成長過程を観察し、固液界面形状と不純物偏析の関係を明らかにした。ファセット界面で結晶が成長する場合(図 5 上)、ファセットの谷部分に Ge が偏析するが、平坦な界面のまま成長させると(図 5 下)、Ge の局所偏析は起こらなかった。不純物の局所偏析を無くすためには、固液界面をミクロスケールで平坦な形状のまま成長させなければならないことが明確になった。

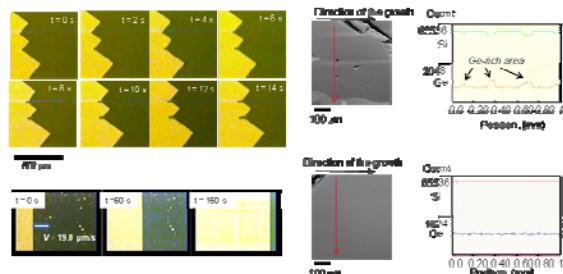


図 5 Ge を含んだ Si 融液からの一方向成長過程における界面形状と EDX による組成分析結果。
(上)ファセット界面で成長する場合、(下) 平坦な界面で成長する場合。

⑤結晶粒界性格と固液界面形状の関係に関する研究: 多結晶インゴットでは、粒内だけでなく結晶粒界においても不純物が局所偏析することが報告されているが、この原因については明らかとなっていなかった。本研究では、結晶粒界が固液界面形状に及ぼす影響を明らかにし、不純物偏析の原因を解明した。図 6 に示すように、 $\Sigma 3$ 粒界では固液界面の形状は平坦であるが、 $\Sigma 27$ 粒界やランダム粒界においては、固液界面に溝が形成されることが明らかとなった。溝が固液界面に形成されると、溝部分に不純物が偏析される。不純物の粒界偏析を抑制するためには、粒界部分における溝の形成が起こらない条件でインゴットを成長する必要がある。本研究では、粒界部分における溝の形成を抑制する方法も明らかにしている。

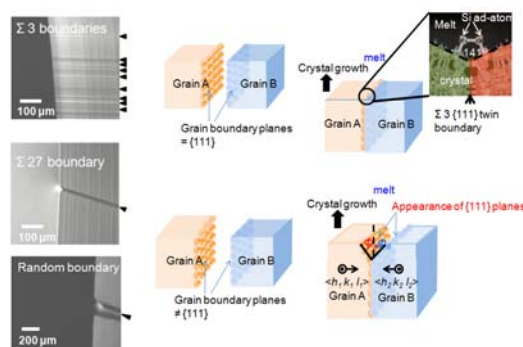


図 6 結晶粒界と固液界面形状の関係の観察結果および、粒界において溝が形成されるメカニズム。

以上のように、Si の融液成長メカニズムに関しては、非常に多くの現象が学術的に明らかとなり結晶成長の学術的発展に大きく寄与する成果が得られた。この分野において世界的に大きくリードしており、国際会議・ワークショップにおいて招待講演を行った。

(2)高品質・高均質 Si 多結晶インゴットの成長技術の開発: インゴットの成長初期にデンドライト成長を発現させる「デンドライト利用キャスト法」を矩形インゴットの成長に適用し、多結晶組織が制御された高品質・高均質 Si 多結晶インゴットを作製し、本結晶により従来の多結晶太陽電池を超える特性を得ることに成功した。

①新規結晶成長装置の開発: 図 7 に示す新規キャスト成長装置を開発した。本装置は、インゴットの成長初期にデンドライト成長を発現させるために、ルツボ底面を強制冷却できる機構を有しており、20cm 角の矩形インゴットを作製することができる。



図 7 新規キャスト成長装置。

②組織制御された Si 多結晶インゴットの成長: 新規キャスト装置を用いて、成長初期のルツボ底面の冷却条件を系統的に変化させて実験を繰り返した結果、図 8 に示すように、成長初期にデンドライト成長を発現させる条件を確立し、インゴット底部において結晶粒が大きな多結晶組織が得られるようになった(図 8(c))。

さらに、一方向成長過程における固液界面形状を制御し、欠陥導入や不純物の局所偏析を抑制する方法を開発することに成功し(特願 2013-085169)、図 9(右)に示すように表面が金属光沢を示す(不純物による汚染が極力抑制された)矩形の多結晶インゴットが得られるようになった。

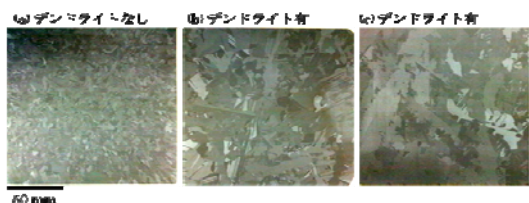


図 8 本技術により作製した Si 多結晶インゴット底部 (成長初期) の組織の比較。(a)成長初期にデンドライト成長を発現させなかった結晶。(b)(c)成長初期にデンドライト成長を発現させた結晶。



図 9 本技術により作製した 20cm 角の Si 多結晶インゴット。

③太陽電池特性評価: 図 10 は Si 多結晶基板中の抵抗率の不均一性(横軸)と太陽電池変換効率(縦軸)の関係を示している。多結晶組織を制御して基板の均質性を高めることにより、18%を超える変換効率を得られた。

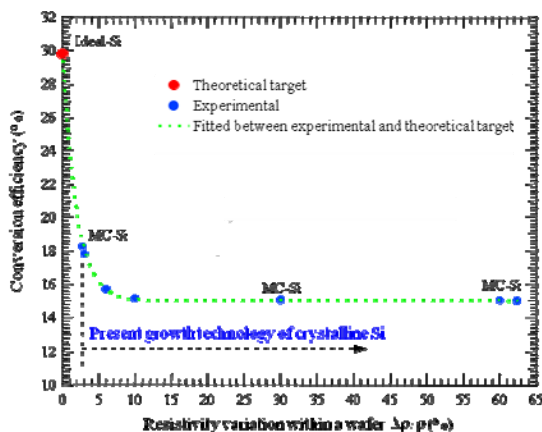


図 10 Si 多結晶基板抵抗率の均一性と変換効率の関係。

以上、本課題で取り組んでいる「デンドライト利用キャスト法」は研究代表者らが開発し(国内・米国特許取得済)、本プロジェクトで多結晶組織の精密制御を目指して発展させている(新特許出願済)。本方法は、太陽電池用 Si 多結晶インゴットの組織制御を可能とする有力な方法であり、本方法が実用化されれば太陽電池の低コスト化・高効率化に大きく貢献する技術となる。

6. 研究発表等

<p>雑誌論文 計 20 件</p>	<p>(掲載済み一査読有り) 計 18 件</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) X. Yang, K. Fujiwara, K. Maeda, J. Nozawa, H. Koizumi and S. Uda, " Dependence of Si faceted dendrite growth velocity on undercooling ", Appl. Phys. Lett. 98, Art. No. 012113 (2011). 2) X. Yang, K. Fujiwara, K. Maeda, J. Nozawa, H. Koizumi and S. Uda, " Dependence of Si-faceted dendrite growth orientation on twin spacing and undercooling ", Cryst. Growth Des., 11, 1402-1410 (2011). 3) Kozo Fujiwara, Raira Gotoh, Xinbo Yang, Haruhiko Koizumi, Jun Nozawa and Satoshi Uda, " Morphological transformation of a crystal-melt interface during unidirectional growth of silicon", Acta Materialia 59, 4700-4708 (2011). 4) Mukkannan Arivanandhan, Raira Gotoh, Kozo Fujiwara, Tetsuo Ozawa, Yasuhiro Hayakawa, and Satoshi Uda, "The impact of Ge codoping on grown-in O precipitates in Ga-doped Czochralski-silicon ", Journal of Crystal Growth 321, 24-28 (2011). 5) Kentaro Kutsukake, Takuro Abe, Noritaka Usami, Kozo Fujiwara, Kohei Morishita, and Kazuo Nakajima , " Formation mechanism of twin boundaries during crystal growth of silicon", Scripta Materialia 65, 556-559(2011). 6) Kentaro Kutsukake, Takuro Abe, Noritaka Usami, Kozo Fujiwara, Ichiro Yonenaga, Kohei Morishita, and Kazuo Nakajima , " Generation mechanism of dislocations and their clusters in multicrystalline silicon during two-dimensional growth", Journal of Applied Physics 110, Art. No. 083530 (2011). 7) 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). ISSN: 0021-8979 8) I. Brynjulfsen, K. Fujiwara, N. Usami, L. Arnberg, "Growth velocity and grain size of multicrystalline solar cell silicon", Journal of Crystal Growth 356, 17-21 (2012). ISSN: 0022-0248 9) 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). ISSN: 1359-6454 10) 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). ISSN: 0003-6951 11) 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). ISSN: 0021-8979 12) 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). ISSN: 0003-6951 13) 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). ISSN: 0003-6951 14) K. Fujiwara, "Crystal Growth Behaviors of Silicon during Melt Growth Processes", International Journal of Photoenergy, 169829 (2012). ISSN: 1110-662X
------------------------	---

	<p>15) 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</p> <p>16) 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</p> <p>17) 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</p> <p>18) 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 (掲載済み一査読無し) 計 0 件</p> <p>(未掲載) 計 2 件</p> <p>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).</p> <p>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 20 件</p>	<p>専門家向け 計 18 件</p> <p>1) Xinbo Yang、藤原航三、宇田聡、“Si ファセットデンドライトの成長速度に及ぼす双晶間隔および過冷却度の影響”，第 58 回応用物理学関係連合講演会，神奈川工科大学(厚木市)，2011 年 3 月 24-27 日，応用物理学会。</p> <p>2) 後藤頼良、藤原航三、宇田聡，“その場観察装置を用いた SiGe 結晶成長におけるファセット的セル成長の観察”，第 58 回応用物理学関係連合講演会，神奈川工科大学(厚木市)，2011 年 3 月 24-27 日，応用物理学会。</p> <p>3) 藤原航三、“シリコン結晶の融液成長メカニズムの解明-太陽電池用シリコン多結晶インゴットの高品質化へ向けて-”，日本化学会第 91 回春季年会，神奈川大学（横浜市），2011 年 3 月 28 日，科学技術振興機構 J S T ・日本化学会 ・日本化学連合。</p> <p>4) X. Yang, K. Fujiwara, S. Uda, " Dependence of Si faceted dendrite growth velocity on twin spacing and undercooling ", シンガポール，2011 年 6 月 26 日－7 月 1 日，The 6th Biennial International Conference on Materials for Advanced Technologies (ICMAT2011).</p> <p>5) 後藤頼良、藤原航三、宇田聡，“ SiGe 結晶成長におけるファセット的セル成長機構の解析 ” 2011 年 8 月 29 日－9 月 2 日，山形，第 72 回応用物理学会学術講演会</p> <p>6) 藤原航三，“ Si ファセットデンドライトの成長メカニズム ”(受賞記念講演)，2011 年 11 月 3 日-5 日，つくば，第 41 回結晶成長国内会議</p> <p>7) 藤原航三、後藤頼良、Xinbo Yang、小泉晴比古、野澤純、宇田聡，“ Si の一方向成長過程における成長界面の形状変化 ” 2011 年 11 月 3 日－5 日，つくば，第 41 回結晶成長国内会議</p> <p>8) 藤原航三、Xinbo Yang、小泉晴比古、野澤純、宇田聡，“Si<110>デンドライトの成長メカニズム”，2011 年 11 月 7 日－9 日，沖縄，日本金属学会 2011 年秋期(第 149 回)大会</p> <p>9) 楊新波、藤原航三、宇田聡，“ Dependence of Si faceted dendrite growth velocity on twin spacing and undercooling ”, 11 月 7 日－9 日，沖縄，日本金属学会 2011 年秋期(第 149 回)大会</p> <p>10) K. Fujiwara, H. Koizumi, J. Nozawa, S. Uda, " Crystal growth mechanisms of silicon during melt growth processes", 京都，2012 年 9 月 25 日－9 月 27 日，2012 International Conference on Solid State Devices and Materials (SSDM 2012).</p>

	<p>11) K. Fujiwara, " Crystal growth behaviors of silicon during melt growth processes", 広州 (中国), 2012年10月19日-10月21日, 2nd New Energy Forum (NEF-2012).</p> <p>12) 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", 2012年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</p> <p>13) 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", 2012年11月9日-11月11日, 福岡, 第42回結晶成長国内会議</p> <p>14) K. Fujiwara, M. Ishii, K. Maeda, H. Koizumi, J. Nozawa, S. Uda, " Cryatal/melt interface morphology at grain boundaries of multicrystalline silicon ", ワルシャワ (ポーランド), 2013年8月11日-8月16日, 17th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (ICCGE-17).</p> <p>15) K. Fujiwara, "Analysis of silicon solidification by in-situ techniques ", カールスルーエ(ドイツ), 2013年9月18日-9月20日, Workshop on polycrystalline growth of Si - new insights from experiment and modeling.</p> <p>16) 藤原航三, "Si の融液成長に関する研究", 2013年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</p> <p>17) 藤原航三, "シリコンの一方向凝固過程における不純物偏析", 2013年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</p> <p>18) 藤原航三, 石井雅也, 前田健作, 小泉晴比古, 野澤純, 宇田聡, "Si 多結晶の一方向成長過程における固液界面形状に及ぼす結晶粒界の影響", 2013年11月6日-11月8日, 長野, 第43回結晶成長国内会議</p> <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", 2013年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", 2013年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>
<p>図書</p> <p>計0件</p>	
<p>産業財産権 出願・取得 状況</p> <p>計1件</p>	<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>
<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、 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.uda-lab.imr.tohoku.ac.jp/</p>
<p>国民との科学・技術対話の実施状況</p>	<p>1) 東北大学片平まつり、2011年10月8日-9日、小学生～大人、約2,000人、一般向けの研究所公開において、Si 結晶の展示、およびSi の結晶成長過程のムービーを紹介した。</p> <p>2) 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: 2012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>3) 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: 2013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>

様式21

新聞・一般 雑誌等掲 載 計1件	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, 11面)
その他	

7. その他特記事項

2011年11月 第28回日本結晶成長学会論文賞（日本結晶成長学会）を受賞

2013年5月 第34回本多記念研究奨励賞（本多記念会）を受賞