

## 高品質・低価格な太陽電池用モノシリコン結晶の育成に成功

～新たな鑄造法を開発 価格競争力のある太陽電池産業の復興に期待～

配布日時：平成27年10月27日14時  
国立研究開発法人 物質・材料研究機構

### 概要

1. 国立研究開発法人物質・材料研究機構（以下NIMS） 国際ナノアーキテクトニクス研究拠点（MANA） ナノエレクトロニクス材料ユニットの関口隆史グループリーダーと、国立大学法人九州大学 応用力学研究所の柿本浩一教授らの研究チームは、高品質低価格のモノシリコン<sup>[1]</sup> 育成法を開発しました。



写真：新しい鑄造法で育成した50cm角のモノシリコンインゴット

2. 今回得られた成果は、シングルシードキャスト法という新しい鑄造法<sup>[2]</sup>です。従来の鑄造法に比べ結晶の品質を飛躍的に向上することができ、シリコン太陽電池の効率化が期待されます。
3. 現在、太陽電池の主流であるシリコン系太陽電池では、変換効率が20%に達しており、今後の開発では、付加価値を高めるために、20%を上回る変換効率が求められています。しかし、従来の鑄造多結晶シリコンではこの目標値を実現することが不可能であり、一方、半導体用の無転位単結晶シリコンでは価格競争に勝ち残れないため、多結晶シリコン、半導体用単結晶シリコンに代わる第3のシリコン材料の開発が望まれていました。
4. 研究グループは、この問題を解決するため、種結晶を使ったシリコンの鑄造法「シングルシードキャスト法」を新たに開発し、結晶の品質が良く不純物の少ない単結晶シリコン（モノシリコン）インゴットを育成することに成功しました。新開発した鑄造法は、るつぼの中でシリコンを溶解し、小さな種結晶<sup>[3]</sup>から単結晶を成長させる技術で、半導体シリコン単結晶の作成法に比べて、原料コストも製造コストも下げることができます。さらに、この方法で育成した結晶を用いて試作した太陽電池の変換効率は最大で18.7%を記録しました。これは、同時に評価した半導体用無転位単結晶（CZシリコン<sup>[4]</sup>）ウエハの18.9%に迫るものです。今後、結晶欠陥と不純物の影響をさらに抑えることで、CZシリコンの変換効率を上回ることが期待されます。
5. また、現在の設備では50cm角のインゴットまで成長が可能であり、現実の生産ラインへ組み込むことができるようになりました。今後、今回開発された技術や、その派生技術が日本の太陽電池製造メーカーに移転され、価格競争力のある太陽電池産業が復興することが期待されます。
6. 本研究は、NEDO プロジェクト「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」の一環として行われました。本研究成果は、Solid State Phenomena 誌の2015年9月20日発行号（Vol. 242）にて掲載され、10月28日の平成27年度NEDO新エネルギー成果報告会で発表されます。

## 研究の背景

日本の太陽電池産業を振興させるには、価格競争力のある結晶シリコン太陽電池技術を開発することが必要不可欠です。この目的のもとに、2010年度より、NEDOプロジェクト「太陽光発電システム次世代高性能技術の開発」が開始され、高品質低価格単結晶シリコン（モノシリコン）の育成を柱とした太陽電池技術の研究が推進されました。

現在、高品質高価格の太陽電池としては、半導体シリコン単結晶（CZシリコン）を使って、変換効率20%を超える製品が製造されています。一方、汎用の低価格太陽電池には、mc-Siと呼ばれる多結晶シリコンが使われ、変換効率も16から18%と、変換効率が1割から2割低いものが主流となっています。そこで、NEDOプロジェクトの柱として、CZシリコンと多結晶シリコンの両者の長所を兼ね備えた、低価格高品質のウエハ製造技術の開発を進めてきました。

## 研究内容と成果

本研究グループは今回、シングルシードキャスト法と呼ばれる、鑄造による高品質低価格単結晶シリコン（モノシリコン）の育成技術の開発に成功しました（図1）。鑄造法とは、高温で溶解したシリコンをるつぼの中で固化させるもので、半導体材料として用いるCZ法やFZ法と違って、結晶育成中に監視する必要がないため人件費が省けるなど製造コストが節約できます。今回研究グループが採用したシングルシード法という鑄造法は、種結晶をるつぼ底全面に敷くのではなく、中心に置いた一つの種結晶から単結晶を成長するもので、原料コストを抑えることができます。また、これまでの結晶成長技術を結集して、鑄造を行う電気炉の熱分布と温度管理に結晶成長を任せられるよう電気炉内部の構造を新たに設計することで、高品質低価格なモノシリコン結晶の育成に成功しました。（図2）

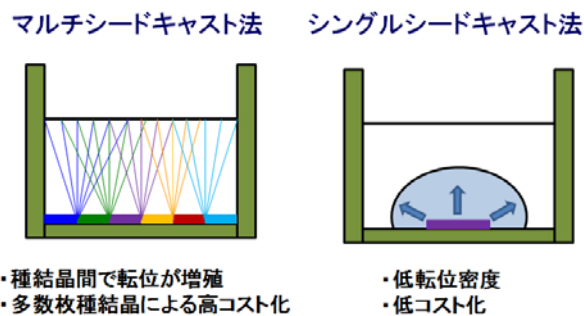


図1. 開発したシングルシードキャスト法の特徴

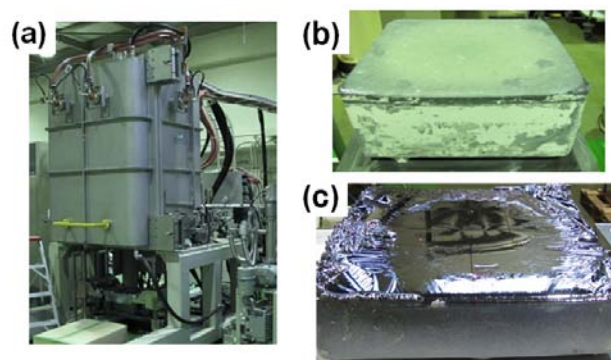


図2. (a) 結晶成長炉の外観、(b) 通常の鑄造シリコン結晶（不純物により表面が緑白色）、(c) シングルシードキャスト法で育成したモノシリコン結晶（表面が銀色）

さらに、鑄造法の欠点であった、炭素、窒素、酸素などの軽元素不純物の混入を極限まで抑えることによって、CZシリコン結晶に迫る結晶品質を実現することができました。成長した結晶から、モノシリコンウエハを切り出し、太陽電池を製造し、変換効率を検証しました。その結果、キャリア寿命465マイクロ秒、変換効率18.7%の値を得ました。これは、参照としてCZシリコン単結晶から製造した電池の18.9%に迫る

ものであり、更なる最適化によって、CZシリコンを超える変換効率が期待できます。

これは、モノシリコン中に含まれる酸素不純物の濃度が、CZシリコンに比べ低いことが原因と考えられます。CZシリコン結晶では、酸素濃度が通常20ppm程度含まれており、これが酸素析出物として存在し、太陽光によってできたキャリアの寿命を下げるため、効率が抑えられますが、我々は鑄造モノシリコン中の酸素濃度を、6ppm程度に下げること成功し、酸素析出物の影響がなくなることで、CZ並の変換効率が実現できました。更に、酸素析出を促進する炭素不純物濃度や転位密度を下げることに成功しました。これによって3000個/cm<sup>2</sup>程度の転位が存在していても、高い変換効率が実現されています。

本研究成果を生み出したのは、キャスト法にこれまで培われてきた単結晶育成技術を応用したことによります。日本における半導体、特にシリコン材料の、結晶成長技術と結晶欠陥制御技術の賜物です。

## 今後の展開

この研究成果を採用することにより、太陽電池製造で劣勢にあった日本の企業も、低価格低品質の外国製太陽電池に対抗する製品を製造販売することができるようになると期待されます。さらには、太陽電池だけでなく、シリコンを使ったパワーデバイス開発に成果を応用して、ワイドギャップ材料に比肩する高性能シリコン素子の開発に資することが期待されます。

## 掲載論文

題目：50 cm size Seed Cast Si ingot growth and its characterization

著者：Takashi Sekiguchi<sup>1</sup>, Yoshiji Miyamura, Hirofumi Harada, Karolin Jiptner, Jun Chen, Ronit R. Prakash, Satoshi Nakano, Bing Gao and Koichi Kakimoto

雑誌：Solid State Phenomena Vol. 242,

掲載日時：2015年9月20日発行号

## 用語解説

[1] モノシリコン：単結晶シリコンのことであるが、狭義には転位を含む単結晶を指す。半導体用無転位単結晶と区別される。

[2] 鑄造法：るつぼの中で材料を加熱溶解し、冷却固化させて結晶を育成する方法。

[3] 種結晶：単結晶育成のための種とすべき単結晶。

[4] CZシリコン：引き上げ法（チョクラルスキー；Czochralski法）によって成長した、無転位単結晶シリコン。半導体製造に使われる。酸素不純物を20ppm程度含む。

**本件に関するお問い合わせ先**

(研究内容に関すること)

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 MANA ナノエレクトロニクス材料ユニット  
グループリーダー 関口 隆史 (せきぐち たかし)

E-mail: Sekiguchi.takashi@nims.go.jp

TEL: 029-860-4297

URL: <http://www.nims.go.jp/clebic/>

国立大学法人 九州大学 応用力学研究所

教授 柿本 浩一 (かきもと こういち)

TEL: 092-583-7741

(報道・広報に関すること)

国立研究開発法人 物質・材料研究機構 企画部門 広報室

〒305-0047 茨城県つくば市千現 1-2-1

TEL: 029-859-2026, FAX: 029-859-2017

E-mail: [pressrelease@ml.nims.go.jp](mailto:pressrelease@ml.nims.go.jp)