

氏名(本籍)	イプトナー カロリン (ドイツ)				
学位の種類	博士(工学)				
学位記番号	博甲第6424号				
学位授与年月日	平成25年3月25日				
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当				
審査研究科	数理物質科学研究科				
学位論文題目	<b>Growth and strain investigation of directional-solidified silicon ingots</b> (一方向凝固シリコン結晶の成長と歪評価)				
主査	筑波大学教授	理学博士	関口隆史		
副査	筑波大学教授	博士(工学)	末益崇		
副査	筑波大学准教授	博士(工学)	深田直樹		
副査	九州大学教授	工学博士	柿本浩一		
副査	物質・材料研究機構特別研究員	工学博士	原田博文		

### 論文の内容の要旨

現在一般的に使われているシリコン太陽電池は、一方向凝固法により成長した多結晶インゴットを加工したウエハから製造されている。これは、低価格で比較的高い効率が実現されるからである。しかしながら多結晶シリコン太陽電池は、単結晶のものに比べて、効率が2%以上低いのが現状である。低価格で単結晶に匹敵するウエハを得るために、2008年に種結晶を使った一方向凝固法(あるいは鑄造法; seed cast法)が提案され、研究が進んでいる。本研究では、このseed cast法で成長した擬単結晶“mono-like (ML)”の特徴を明らかにすることを目的とした。10cm径の石英のつぼを用いて、種のない多結晶(mc)と種を使った擬単結晶(ML)を様々な成長条件で育成し、その特徴を評価した。とくに残留ひずみと転位密度を調べ、(1)単結晶化の影響、(2)電気炉の温度履歴、がどのように結晶の品質に関わっているかを明らかにした。

第1章では、太陽電池用シリコン結晶成長の変遷を概観し、現状での多結晶シリコンと単結晶シリコンの成長を比較した。さらにこの論文の目的を述べている。

第2章は弾性論の基礎、第3章はシリコン中の拡張欠陥について概説した。

第4、5章は実験法であり、4章は結晶成長法、5章は歪や拡張欠陥の評価法を述べている。

結果と討論は、第6章から10章にまとめている。第6章は成長した結晶のリストを示した。

第7章では残留歪と転位の分布を議論した。とくに、典型的な4つの結晶を用いて、多結晶と擬単結晶における、両者の特徴を議論した。第8章では、成長した結晶の温度履歴、特に冷却過程が、残留歪に及ぼす影響について論じている。第9章では、残留歪分布を結晶の熱履歴から説明することを試み、シミュレーションを行った。ここで、残留歪は、ある温度範囲の冷却速度をさげることで低減することが可能であり、歪分布の特徴も定性的に説明できた。さらに、結晶の凝固から冷却に至る過程で、速度を変更した点における温度変化の大きさが、歪の大きさに大きく影響することを明らかにした。第10章では、石英坩堝に塗布する離型剤の影響を調べている。

第11章は本研究のまとめであり、種を使った一方向凝固法シリコン結晶において、多結晶と単結晶の違い、冷却速度、離型剤、それぞれの要素が結晶の質に及ぼす影響を総括した。さらに、今後の課題を明示した。

本研究では、結晶育成条件を様々に変えて、種を使った一方向凝固法シリコン結晶成長を行い、22個のインゴットを得た。この結果をもとに、擬単結晶化や、冷却速度、離型剤等の要素が結晶に及ぼす影響を総括した。本研究は、種を使った一方向凝固法の成長条件を最適化する指針を提示しており、これによって、シリコン擬単結晶の品質が向上し、太陽電池の効率が上昇することが期待される。

### 審 査 の 結 果 の 要 旨

本研究は、一方向凝固法により、多結晶 (mc) と種を使った擬単結晶 (ML) シリコンを成長させ、インゴット中の残留ひずみと転位密度を評価して、太陽電池用高品質擬単結晶の成長に必要な結晶成長条件を提案した。さらに、結晶の温度履歴によって、どのように残留ひずみや転位密度が変化するかを、実験とシミュレーションによって明らかにした。本研究は、種を使った一方向凝固法を向上させるために有益な知見を与えるだけでなく、結晶の熱履歴と、応力、残留ひずみ、転位密度との関係を半定量的に説明することに成功した。

以上の理由から、本論文は博士論文として十分と判断された。

平成 25 年 2 月 20 日、数理物質科学研究科学学位論文審査委員会において審査委員の全員出席のもと、著者に論文についての説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、審査委員全員によって、合格と判定された。

上記の論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士 (工学) の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。