九州大学学術情報リポジトリ
Kyushu University Institutional Repository

高効率化に向けた太陽電池用多結晶シリコン結晶育成過程に関する研究

中野, 智

https://doi.org/10.15017/1441346

出版情報：九州大学, 2013, 博士（工学）, 論文博士
バージョン：
権利関係：全文ファイル公表済

（様式３）

氏　　名　：中野　智

論文題名　：高効率化に向けた太陽電池用多結晶シリコン結晶育成過程に関する研究

区　　分　：乙

論　文　内　容　の　要　旨

本論文は，太陽電池で主に使用されている多結晶シリコン太陽電池に着目し，高効率化と低コスト化を目指して，太陽電池の変換効率低下の要因となる転位等の欠陥や代表的な不純物である酸素の低減を目的とした．このため，数値解析を用いて，結晶中の酸素濃度分布，転位密度分布，残留応力分布について検討を行った．以下に，本研究で得られた知見を章ごとにまとめる．

第 1 章 序 論

現在のエネルギー・環境問題を概観しながら，研究背景について述べた．また，太陽電池の変換効率低下の要因となる転位等の欠陥，酸素や炭素，鉄などの不純物との関係について述べた．さらに，今まで報告されてきた研究成果について述べ，今後の課題を示した．これを受けて，課題解決に向けた本研究の目的，および本論文の構成を提示した．

第 2 章 計算方法

本研究の数値計算に用いた一方向性凝固炉内を構成する各部材間の熱輸送は，熱伝導，熱輻射，融液対流による熱伝達が主である．そこで，本研究ではすべての炉内構造物の熱伝導，熱輻射および融液対流を考慮した，2 次元非定常総合伝熱解析を行った．本章では，2 次元非定常総合伝熱解析の計算方法と計算モデル，物性値，境界条件などについて述べた．

第 3 章 酸素濃度分布に対する加熱方法の影響

酸素は，太陽電池の変換効率を低下させる代表的な不純物の１つであり，積層欠陥や転位の源となる．そこで太陽電池用多結晶シリコン結晶内の酸素濃度の低減を目的に，ヒーター位置，およびヒーター電力が結晶中の酸素濃度にどのような影響を及ぼすかに着目し，数値計算による解析を行った．その結果，結晶中の酸素濃度は，横加熱方法（坩堝側方ヒーターによる加熱）を用いた場合の方が，上部加熱方法（坩堝上方ヒーターによる加熱）を用いた場合より低濃度になることが確認された．これは，横加熱方法を用いた場合，酸素が溶出する坩堝壁面近傍の融液対流の向きが鉛直上向きとなり，坩堝壁面から溶出した酸素の融液自由表面への輸送が促進され，酸素蒸発量が増加し，結晶中の酸素濃度が低減するためであるということが確認された．

第 4 章 酸素濃度分布に対する坩堝回転の影響

高効率な太陽電池の作製には，結晶中の酸素濃度の制御が重要である．そこで太陽電池用多結晶シリコン結晶内の酸素濃度の低減を目的に，坩堝回転を用いて対流を変化させ，同時に坩堝壁面からの酸素の溶出量，および融液表面からの酸素の蒸発量の制御により，坩堝回転が融液中の酸素濃度に与える影響について検討した．その結果，坩堝回転数の増加によって，結晶中の酸素濃度が高濃度になることを確認した．これは坩堝を回転させた場合，融液表面における酸素の蒸発流束の減少のほうが，坩堝壁面近傍における酸素の溶出流束の減少よりも大きくなるためである．この現象は, 坩堝を回転させることによって発生するコリオリ力が, 半径方向, 周方向の流速と相互作用し，半径方向の流速に影響を及ぼすが，成長方向の流速とは相互作用しないために，成長方向の流速には影響を及ぼさないことが原因である．これにより，酸素の輸送はより拡散支配に近づき，酸素の濃度境界層が厚くなり，坩堝壁面からの酸素の溶出流束，および融液表面からの酸素の蒸発流束ともに減少するが，蒸発流束の減少量の方が大きくなることを確認した．

第 5 章 転位密度解析

転位は少数キャリアの再結合中心となるため，太陽電池の変換効率低下の主な要因である．本研究では，結晶表面における熱輻射，および坩堝壁面での熱伝導による結晶内温度の不均一分布と，それにより生じる熱応力と転位，および残留応力との関係に着目した．本章では，転位密度解析の計算方法と計算モデル，物性値，境界条件などについて述べた．

第 6 章 転位密度・残留応力に関する考察

転位はセルの変換効率を低下させ，残留応力は結晶育成中や切断時の破砕の原因となる．このため，転位密度，残留応力の制御は，高効率太陽電池の作製にとって重要である．本章では，結晶育成時に生成される転位の密度，および残留応力と結晶からの熱流出量の相関について，数値解析を用いて検討した．その結果，上部加熱方法を用いた場合のほうが，横加熱方法を用いた場合より転位密度，残留応力ともに減少することを確認した．結晶中の熱エネルギーの変化量と，転位密度分布は大きく関係しており，結晶中の熱エネルギーの急激な変化によって転位は増殖すると考えられる．上部加熱方法を用いることで，結晶表面における熱の流入量が増加し，結晶底面からの熱の流出による結晶中の熱エネルギーの急激な変化が減少するため，転位密度が減少すると考えられる．

第 7 章　総括

本章では，本研究の結論を述べた．