

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 青山智胤

本論文は、ルツボを使わずに試料を融解、凝固結晶化させる無容器プロセッシング技術によりシリコンに代表される半導体の球状結晶の育成を目標とした論文であり、6章により構成されている。

第1章は序論であり引き上げ法によって育成するシリコン結晶の大型化の限界と、それに替わる球状単結晶の有用性を述べ、球状単結晶の育成から見た無容器プロセスの意義とその方法論を述べている。すなわち様々な無容器プロセッシング手法の中から電磁浮揚法を採り上げたことの意味とその有効性ならびにCO<sub>2</sub>レーザー照射の併用といった同手法をシリコン等の半導体に適用するための実験上の問題点を述べている。

第2章は同手法の有用性の立証と実験手法の確立を目的にシリコン融液の過冷却と凝固核の生成に関する実験手法と同手法による実験結果を述べている。すなわちシリコン等の半導体では液体と固体では放射率が大きく異なるため、通常の放射温度計を用いた非接触温度計測では過冷度を過大に見積もる危険性が多く、したがって過冷度を正確に求めるには固液共存状態において放射率を補正することが有効であることを示し、同手法により求めたSi-Ge二元合金における最大過冷度の組成依存性が核生成の古典論による解析と良く一致することを述べている。

第3章は浮遊液滴の自由振動の解析によるシリコン融液の表面張力の測定について述べている。すなわち温度測定と並ぶ無容器プロセッシングにおける基本的な計測技術である浮遊液滴の表面観察に対してフォトダイオード法が有効であることを示している。

第4章は過冷したSiおよびGeの融液からの結晶成長挙動について述べている。すなわちSiでは過冷度は成長界面形態の違いから領域I(0 K~100 K)、II(100 K~210 K)、III(210 K~)に分けられ、領域Iでは薄板状の結晶、領域IIでは粗なファセットデンドライト、領域IIIでは微細なファセットデンドライトとなること、特に領域Iにおける薄板状の結晶の板面方位は<111>であることを、

Si ウェファーを種結晶とした種付け実験により示している。また過冷度と成長速度の関係が領域 I、領域 II のいずれにおいても成長端の形状を回転放物面とするデンドライト成長モデルで良く表されることから、薄板状結晶からファセットデンドライトへの成長界面形態の変化は、従来いわれているような沿面成長から連続成長への変化といった成長様式の遷移ではなく、薄板状結晶の成長端面の形態不安定化によるものとの仮説を立てている。そしてこの仮説から薄板状結晶の板厚と成長端面の曲率半径の 2 倍との比が 1 以上になった場合に薄板状結晶の成長端に形態不安定が生ずるというクライテリオンをたて、{111} 面を特異面とするスパイラル成長モデルによる板面に垂直な方向の成長速度の計算から、薄板状結晶からファセットデンドライトへの成長界面形態の変化が生ずる臨界の過冷度は液滴の大きさに依存すること、すなわち小さな液滴ほど臨界の過冷度は増加することを導き、直径 5mm の液滴では 100 K と、実験値と良く合った値を導いている。また Ge においても Si と同様、過冷度は成長界面形態から領域 I(0 K~85 K)、II(85 K~180 K)、III(180 K~)に分けられることを述べている。

第 5 章は無容器プロセッシングにより球状単結晶を育成する手法について述べている。すなわち前章で示した領域 I で現れる薄板状の結晶を種結晶として成長させれば浮揚液滴をそのまま単結晶にすることができると考え、直径 5mm の浮揚液滴に対して領域 I の過冷度で種付けを行い、結晶化に伴う体積膨張による小さなき裂とき裂先端の応力集中を緩和するために生じた変形双晶を除けば巨視的には単結晶が得られることを示している。そして電磁浮揚法では困難であるが直径が 2~3mm の液滴を浮揚させることができればき裂も双晶もない結晶を得られるとし、ドロップチューブ等の実験手段が有効なことを述べている。

第 6 章は総括である。

以上、本論文はシリコンに代表される半導体材料における過冷度と凝固界面形態の関係を明らかにし無容器プロセッシングによる球状単結晶の育成条件を明らかにする等、過冷凝固、結晶成長に寄与するところが大きい。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。