

論文内容の要旨

博士論文題目

Research on SiGe crystal growth on Si substrate using AlGe paste
AlGe ペーストを用いた Si 基板上への SiGe の結晶成長に関する研究

氏名 鈴木 紹太

(論文内容の要旨)

III-V 族多接合太陽電池は、最も効率の良い太陽電池として知られているが、製造コストが高いために広く使用されてない。高コストの主な原因のひとつは、III-V 族太陽電池の成長に用いるゲルマニウム (Ge)、ガリウムヒ素 (GaAs) 基板にある。基板の低コスト化のためにシリコン (Si) 基板へシリコンゲルマニウム (SiGe) バッファ層を形成し III-V 族太陽電池層との格子を整合させる手法が検討されている。

本研究では、アルミニウムゲルマニウム (Al-Ge) 混合ペーストのスクリーン印刷法と短時間のアニール処理により、非真空下で Si 基板上へ単結晶の SiGe 層を液相成長させる方法に着目し研究を行った。Al-Ge ペーストを用いた SiGe 成長プロセスについての解析、および形成される SiGe 層の厚みと Ge 濃度を向上させることを目的としてアニールガス雰囲気と温度による影響を調査した。

アニール中の in-situ XRD 測定により、Al-Ge ペースト層が液相化し Si を溶解する過程と、冷却中の凝固により単結晶の SiGe 層が成長する過程が確認され、原料の液相化と SiGe の形成、Al-Ge が完全凝固する温度が確認された。形成された SiGe 層の分析により Si 基板上に成長していることが示された。

SiGe 層の厚みと Ge 濃度を制御するために、昇温中のガス雰囲気と温度プロファイルを変化させた検討を行った。SiGe 形成後の分析の結果から、酸素含有雰囲気では、Al-Ge ペースト中の Al 粉末の表面の酸化により粉末形状が保持され、Al-Si-Ge 液相形成のための反応が抑制されることが確認された。温度プロファイルについてはピーク温度を上げることで SiGe 層の厚みが増加するが保持時間による影響は小さいことが示された。

本プロセスについて、計算状態図からの考察と熱力学平衡計算によるシミュレーションの検討を行った。結果として、実験結果から得られた SiGe 層の膜厚と SiGe 層中の Ge 濃度プロファイル変化を予測できることが示された。

以上の結果より SiGe 層の厚みと Ge 濃度は、Al-Ge ペーストの配合やアニール条件によって制御できる可能性が示された。本研究で得られた知見をもとに、SiGe 層の厚み制御や Ge 濃度の高濃度化を実現することで、太陽電池基板としての実用化へと繋がることが期待される。

(論文審査結果の要旨)

鈴木紹太氏は、アルミニウムゲルマニウム(Al-Ge)混合ペーストのスクリーン印刷法と短時間のアニール処理により、非真空下でシリコン(Si)基板上へ単結晶のシリコンゲルマニウム(SiGe)層を液相成長させる方法に着目し研究を行った。III-V 族太陽電池成長のためのゲルマニウム (Ge) 基板の代替基板としての使用を見込み、SiGe 層の厚みと Ge 濃度を向上させることを目的として研究に取り組んだ。

本論文は、上記の背景と目的を述べた第 1 章から、総括を述べた第 6 章までの全 6 章から構成されている。第 2 章では、実験試料の作製装置と評価装置について示している。

第 3 章では、Al-Ge ペーストを塗布した Si 基板を加熱及び冷却しつつ XRD 測定を行うことで、本研究で用いた方法における基本的な成長過程を評価している。それにより、Al-Ge ペースト原料による Al-Ge 液相化温度の違いと、冷却により SiGe 層が形成される過程から反応が終了する過程までを明らかにしている。

第 4 章では、SiGe 層の厚みと Ge 濃度を向上させるためのパラメータとしてアニール雰囲気と温度プロフィールに着目して検討を進めた。アニール中の雰囲気に酸素が含まれることで、ペースト中の Al 粉末の表面が酸化され、液相化の反応と SiGe 層の形成が抑制されることを明らかにした。また、ピーク温度を上げることで Si を溶融する量が増加し、SiGe 層の膜厚を大きくすることが可能であることを示した。

第 5 章では、実験により得られた結果をもとに、熱力学計算による計算状態図と熱力学平衡計算による凝固シミュレーションを行うことで、形成される SiGe 層の厚みと Ge 濃度プロファイルを予測する取り組みを行った。シミュレーションにより得られた SiGe 層の厚みと Ge 濃度プロファイルは、実験の値と相関があることが示された。これにより、制御パラメータを変更することで、SiGe 層の厚みと Ge 濃度を予測し制御できる可能性を示した。

以上より、本論文の要点は、Al-Ge ペーストを使用した簡易な液相成長手法において、SiGe 層の形成過程を解析し本質的理解を深めた点、SiGe 層の厚みと Ge 濃度を増加させるための条件を明らかにした点である。これらの知見は、Ge 基板代替の低コスト III-V 族太陽電池用基板としての実現に大きく貢献することが期待され工学的に高い価値を有すると考えられる。よって審査員一同は、本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。