

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	酸化ガリウム系混晶の薄膜成長とヘテロ接合界面の物性評価に関する研究
Title(English)	Thin-film growth and evaluation of heterojunction properties of Ga ₂ O ₃ based solid solutions
著者(和文)	若林 諒
Author(English)	Ryo Wakabayashi
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11158号, 授与年月日:2019年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:大友 明,原 正彦,一杉 太郎,神谷 利夫,吉本 護
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11158号, Conferred date:2019/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		若林 諒	
			氏名	職名		
論文審査 審査員	審査員	主査	大友 明	教授	吉本 護	教授
		審査員	原 正彦	教授		
			一杉 太郎	教授		
			神谷 利夫	教授		

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は「酸化ガリウム系混晶の薄膜成長とヘテロ接合界面の物性評価に関する研究」と題し、7章よりなっている。

第1章「序論」では、大きな省エネ効果が期待されているワイドギャップ半導体を用いたパワーデバイスの開発について工業的および学術的観点からまとめ、現在の課題について述べている。耐電圧性能・コストの両面から他のワイドギャップ半導体に比べて優れている β 型酸化ガリウム (β -Ga₂O₃) について、課題となっている高移動化に向けてヘテロ接合界面設計の鍵となる β -Ga₂O₃系混晶に着目し、その薄膜成長指針やヘテロ接合界面設計に資する物性値を得ることの重要性について述べ、本研究の目的と意義を明らかにしている。

第2章「酸素ラジカル支援パルスレーザー堆積法による β -(Al_xGa_{1-x})₂O₃薄膜の成長」では、混晶薄膜の成長に向けた薄膜成長手法として酸素ラジカル支援パルスレーザー堆積 (PLD) 法が有効であることを明らかにしている。酸素ガスを酸素源として用いる従来の PLD 法では、高温成長時の還元反応に由来する成長速度の低下や組成制御性の悪化が問題となっている。酸素ラジカルを酸素源に使用することで、高温でも還元反応を抑制し、それらの問題を解決できること、さらには高品質 β -(Al_xGa_{1-x})₂O₃薄膜の成長が可能であることを明らかにしている。

第3章「 β -(Al_xGa_{1-x})₂O₃混晶薄膜のエネルギーバンド構造」では、 β -(Al_xGa_{1-x})₂O₃/ β -Ga₂O₃ヘテロ接合界面におけるエネルギーバンド構造を明らかにしている。まず、電子分光法による評価において必要となる試料の表面平坦性について検討している。複数の単酸化物から原料供給を行う打ち分け法を適用することで粒状構造を抑制しつつ、表面マイグレーションの促進につながる劈開面 (100) を成長面に選択することで、表面が平坦な β -(Al_xGa_{1-x})₂O₃薄膜の成長が可能であることを明らかにしている。電子分光法により同界面がタイプ I のバンドオフセットを有し、かつ大きな伝導帯バンドオフセット比 (≥ 4) をもつことを明らかにしている。

第4章「全率固溶 β -(Al_xGa_{1-x})₂O₃薄膜のエピタキシャル成長」では、全率固溶体 β -(Al_xGa_{1-x})₂O₃の非平衡薄膜成長に有効な基板表面処理法と同固溶体の物性値について明らかにしている。まず、酸素プラズマ処理を行うことで、理想的な二次元成長モードによりホモエピタキシャル成長が進行することを見出している。この表面処理法を適用することで溶解度ギャップの組成範囲でも単相の β -(Al_xGa_{1-x})₂O₃薄膜が得られること、バンドギャップが 4.51 eV ($x=0$) から 6.91 eV ($x=1$) まで増大することを見出している。また $x=0.5$ 付近で格子定数やバンドギャップの組成依存性に屈曲点が現れることに着目し、そのことが β -gallia型構造における Al と Ga の占有位置の選択性に起因すると述べている。

第5章「MgO (100) 基板上への導電性 Ga₂O₃系薄膜成長と電気特性評価」では、 β -Ga₂O₃混晶薄膜の電気特性を評価する上で絶縁性基板 MgO (100) が有効であることを明らかにしている。基板と薄膜の酸素配列構造の類似性に由来する特殊なエピタキシャル関係により、結晶性、表面平坦性、導電率のいずれにおいても、汎用絶縁性基板である α -Al₂O₃ (0001) 基板上の薄膜に比べて高い特性が得られることを見出している。

第6章「 β -(Al_xGa_{1-x-y}Sc_y)₂O₃三元混晶薄膜の成長と物性評価」では、三元混晶がヘテロ接合界面のコヒーレンシー向上に有効であると述べている。 β -(Ga_{1-y}Sc_y)₂O₃では、 β -(Al_xGa_{1-x})₂O₃よりもヘテロ原子の同一組成においてバンドギャップの増分が大きいこと、前者では Al 組成の増加とともに結晶格子が収縮するのに対して後者では Sc 組成の増加とともに膨張することを見出している。これらの知見から β -(Al_xGa_{1-x-y}Sc_y)₂O₃三元混晶薄膜が特定の組成において β -Ga₂O₃と完全に格子整合し、コヒーレントなヘテロ接合界面を実現できることを明らかにしている。

第7章「総括」では、本研究で得られた成果をまとめ、その学術的および工業的意義を明らかにしている。これを要するに本論文は、組成制御性、表面平坦性、成長面依存性、基板表面処理法の観点から β -Ga₂O₃系混晶の薄膜成長を検討した成果であり、物性評価において問題となる各要因に対して有効な薄膜成長手法を示すとともに、ヘテロ接合界面設計に必要な物性値を明らかにすることに成功している。以上は薄膜成長法やデバイス設計の指針を示すなど工学上および工業上貢献するところが大きい。よって本論文は博士 (工学) の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意: 「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容