

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	ワイドバンドギャップ結晶基板における内部応力と表面性状の制御に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	小山浩司
Author(English)	Koji Koyama
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12194号, 授与年月日:2022年9月22日, 学位の種別:課程博士, 審査員:舟窪 浩,吉本 護,松田 晃史,片瀬 貴義,和田 裕之
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12194号, Conferred date:2022/9/22, 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

(博士課程)

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		小山 浩司	
論文審査 審査員		氏 名	職 名		氏 名	職 名	
	主査	舟窪 浩	教授	審査員	和田 裕之	准教授	
	審査員	吉本 護	教授				
		松田 晃史	准教授				
		片瀬 貴義	准教授				

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、「ワイドバンドギャップ結晶基板における内部応力と表面性状の制御に関する研究」と題し、和文で全6章より構成されている。

第1章「序論」では、本研究の背景として、近年のエネルギー問題解決に向けたワイドバンドギャップ (WBG) 結晶基板に寄せられる期待、WBG 結晶基板の結晶構造、各種物性、および WBG 結晶基板創製プロセスを概説し、WBG 結晶基板の内部応力と表面性状が機能性薄膜成長に与える影響について述べ、それらの化学的および物理的側面からの制御の重要性を示し、本研究の目的及び意義を明らかにしている。

第2章「ワイドバンドギャップ結晶基板の種々の特性評価：実験および評価の手法と原理」では、WBG 結晶基板の特性評価に用いた分析手法や装置を取り上げ、GaN 結晶基板の内部応力の制御の研究に用いる横型ハイドライド気相成長装置に取り付けた in-situ 反り測定装置の測定原理、およびサファイア結晶基板の内部応力評価に用いる X 線応力測定装置の測定原理について述べている。また、表面性状の制御に関する研究に用いる各種研磨法の装置と研磨条件、および表面性状の評価に用いる原子間力顕微鏡 (AFM)、白色干渉顕微鏡、カソードルミネッセンス装置、および走査透過型電子顕微鏡 (STEM) の手法と原理について述べている。

第3章「サファイア結晶基板の内部応力と表面性状の制御」では、GaN 結晶成長に用いる超短パルスレーザを用いたサファイア結晶基板の内部改質処理の手法と原理について述べ、X 線応力測定法を用いて内部改質処理により導入された応力を評価し、サファイア結晶基板表面に引っ張り応力が発生していることを明らかにしている。また、研磨パッドの特性がサファイア結晶基板の化学的機械研磨 (CMP) に与える影響について調べ、重回帰分析法を用いて研磨パッドの各種特性が研磨レートに与える影響を評価した結果、表面積率が研磨レートに大きな影響を与え、研磨スラリーが十分に供給されていれば研磨レートは表面積率に反比例することを明らかにしている。これにより従来経験的に選定されてきた研磨パッドの定量的な評価に資する提案ができたと述べている。

第4章「ダイヤモンド結晶基板の内部応力と表面性状の制御」では、異種基板上のダイヤモンド結晶成長において、予め異種基板上に針状ダイヤモンドマイクロニードルの配列を作製し、その上へのダイヤモンド膜堆積を行う際、熱膨張係数差に起因する膜内の内部応力をマイクロニードル内のクラック発生により低減するプロセスを述べている。ここでは、内部応力低減に適したサファイア基板上ダイヤモンドマイクロニードルの形状制御に関して研究している。サファイア基板上ダイヤモンド薄膜とホール配列パターンを持つ上層 Ni 薄膜との間の熱化学反応を用いて作製されるダイヤモンドマイクロニードルの形状において、Ni 膜厚やプロセス温度の最適化により、高いアスペクト比を実現できることを述べている。また Ni/ダイヤモンド界面での物質移動を考慮したマイクロニードルの形成機構を提案している。さらに、ダイヤモンド結晶基板の酸化クロム砥粒を用いた研磨による表面性状制御に関して調べ、機械研磨で導入されたダイヤモンド結晶基板表面下の加工変質層の除去に酸化クロムスラリーを用いた CMP が有効であることを明らかにしている。CMP 後のダイヤモンド表面の断面 STEM 像分析において、最表面まで格子像が観察され、また AFM 表面分析で原子ステップ構造が観察されたことから、CMP で加工変質層が有効に除去されたと述べている。

第5章「GaN 結晶基板の内部応力と表面性状の制御」では、第3章で述べた内部改質サファイア結晶基板上での GaN 膜成長による GaN 結晶基板の作製に与える影響について研究している。その結晶膜成長では結晶成長初期の反りが抑制されたことから、GaN 膜中のマイクロクラックの発生が抑制された可能性を述べている。すなわち、サファイア結晶基板への内部改質処理により生じた引っ張り応力が、その上の GaN 結晶成長における成長初期、および冷却工程で発生する内部応力を緩和する可能性を指摘している。また、GaN 結晶基板の N 面の表面性状制御のために、酸性ダイヤモンドスラリーを用いた

機械研磨の研究を行い、GaN 結晶基板の N 面の加工変質層を低減し、平滑な面を仕上げるためには pH が 1.8 の酸性ダイヤモンドスラリーを用いた機械研磨が有効であることを見出している。機械研磨においても化学的作用を付与し、機械的作用を減少させることで表面性状を制御できることを明らかにしている。

第 6 章 「結論」では、本研究で得られた成果を総括している。

以上を要するに本論文は、薄膜電子デバイスに広く応用されているダイヤモンドなどの WBG 結晶基板の内部応力と表面性状の化学的および物理的側面から制御する基盤要素技術を確立することをめざしたものである。その結果、WBG 基板特有の内部および表面における制御手法について独自に提案・確立しており、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で作成してください。