

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	表面修飾ポリマー基板上におけるZnO薄膜の結晶成長と物性に関する研究
Title(English)	Study on crystal growth and properties of ZnO thin films on surface-modified polymer substrates
著者(和文)	大賀友瑛
Author(English)	Tomoaki Oga
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12403号, 授与年月日:2023年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:吉本 護,舟窪 浩,真島 豊,和田 裕之,松田 晃史
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第12403号, Conferred date:2023/3/26, 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

(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		大賀 友瑛	
論文審査 審査員		氏 名		職 名		氏 名	職 名
	主査	吉本 護		教授		松田 晃史	准教授
	審査員	舟窪 浩		教授	審査員		
		真島 豊		教授			
		和田 裕之		准教授			

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、” Study on crystal growth and properties of ZnO thin films on surface-modified polymer substrates” (表面修飾ポリマー基板上における ZnO 薄膜の結晶成長と物性に関する研究) と題し、英文で全 7 章より構成されている。

第 1 章「General introduction」では、本研究の背景として、近年注目を集めるポリマー基板を用いたフレキシブル電子デバイスの工学的重要性を述べるとともに、ポリマー基板表面の平坦化などの物理的表面修飾、あるいは有機官能基付加による親水化処理や酸化物等緩衝層導入などの化学的表面修飾による、ポリマー基板上における導電性 ZnO 薄膜の結晶成長と特性向上に関する研究を概説し、ポリマー基板上に低温で高品質 ZnO 薄膜を堆積するためのポリマー基板表面の制御の重要性を述べて、本研究の目的及び意義を明らかにしている。

第 2 章「Experiment」では、本研究で使用したポリマー表面の修飾手法、酸化物薄膜作成手法、および試料評価手法の原理と装置概要を述べている。また、薄膜の結晶構造評価に用いた X 線回折(XRD)装置、および光学・電気特性の評価方法について述べている。

第 3 章「Crystal growth and properties of ZnO thin films on nanoimprinted polymer substrates」では、熱ナノインプリント法により原子レベルの表面平坦性を付与したシクロオレフィンポリマー(COP)基板上での ZnO 薄膜の結晶成長と特性について述べている。ZnO 薄膜の合成では、高さ約 0.3 nm の原子ステップパターンを転写した超平坦な表面を有する COP 基板(ステップ COP 基板)上に室温でパルスレーザ堆積(PLD)成長させている。ステップ COP 基板上の ZnO 薄膜の表面形状は基板の影響を反映して原子レベルで平坦であると述べている。ステップ COP 基板上に成長した ZnO 薄膜は(0001)配向の結晶成長を示し、表面未処置基板に比べて結晶性および配向性の向上を見出している。さらにステップ COP 基板上に成長した ZnO 薄膜では可視光透過率の改善と電気抵抗率の減少を見出している。

第 4 章「Crystal growth and properties of ZnO and other oxide thin films on polymer substrates surface-treated with vacuum UV light irradiation」では、真空紫外(VUV)光の照射により表面平坦性の改善および親水性官能基を付与した COP 基板上での ZnO 薄膜の結晶成長および特性について述べている。ZnO 薄膜は、VUV 光照射処理された COP 基板上に室温で PLD 成長させている。堆積された ZnO 薄膜の表面形状は平坦であり、(0001)配向の結晶成長を示し、結晶性および配向性の向上を見出している。また、VUV 光処理した COP 基板上に成長した ZnO 薄膜の電気抵抗率は、未処理基板上に成長した薄膜に比べて約 40%小さくなり、結晶性の改善による電気特性の向上を明らかにしている。

第 5 章「Effect of insertion of oxide buffer layer onto polymer substrates on crystal growth and properties of ZnO thin films」では、酸化物緩衝層の導入を施した COP 基板上での ZnO 薄膜の結晶成長および特性について述べている。非晶質、多結晶、および単結晶性のそれぞれの緩衝層を持つ COP 基板上に、室温で PLD により ZnO 薄膜を成長させている。非晶質 Al₂O₃ 緩衝層上に成長した ZnO 薄膜の表面粗さは約 0.7 nm と平坦であることを明らかにしている。非晶質酸化物緩衝層上では、ZnO 薄膜の(0001)配向の結晶成長が促進されることを見出している。非晶質 Al₂O₃ 緩衝層上に成長した ZnO 薄膜の電気抵抗率は、未処理 COP 基板上に成長した薄膜よりも約 30%低下していることを述べている。また、テープでへき開・剥離した β-Ga₂O₃ 単結晶シート緩衝層を付けた COP 基板上の ZnO 薄膜はエピタキシャル成長することを見出し、結晶配向度も大幅に改善されることを見出している。さらに β-Ga₂O₃ 単結晶緩衝層上に成長した ZnO 薄膜の電気抵抗率は本研究で作製されたポリマー基板上の ZnO 薄膜の中で最も低い値を示したことを述べている。

第 6 章「Effect of combinations of physical and chemical surface modifications of polymer substrates on crystal growth and properties of ZnO thin films」では、物理的および化学的表面処理を組み合わせる表面修飾した COP 基板上での ZnO 薄膜の結晶成長および特性について述べている。

熱ナノインプリントによる原子ステップのある表面超平坦化後に非晶質 Al_2O_3 緩衝層の堆積を行った COP 基板上に、PLD により室温で ZnO 薄膜を成長させている。この基板上に堆積した ZnO 薄膜の表面粗さは約 0.2 nm と非常に小さく、また、COP 基板上の原子ステップ形状を反映して、明瞭な原子ステップ形状を有していることを見出している。また得られた ZnO 薄膜は、(0001) 配向の結晶成長を示し、配向性と結晶性が向上したことを見出している。次に、本研究で得られた、COP ポリマー基板の表面修飾手法を用いて、COP 基板上の高導電性薄膜の作製をめざして Al ドープ ZnO (AZO) 薄膜を作製した結果を述べている。原子ステップのある表面超平坦化後に非晶質 Al_2O_3 緩衝層の堆積を行った COP 基板上に、PLD 法で室温堆積した AZO 薄膜の電気抵抗率は $2.8 \times 10^{-4} \text{ } \Omega \text{ cm}$ と低い値を示し、可視光領域の透過率は約 90%以上であることを述べている。

第 7 章「General conclusions」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、ポリマー基板を用いたフレキシブル電子デバイスの作製において重要な役割を果たすポリマー基板上高導電性 ZnO 薄膜の結晶成長において、ポリマー基板表面の物理的および化学的な表面修飾の影響を系統的に明らかにし、低温で優れた電気・光学特性を有する高結晶性・高配向性の ZnO 薄膜作製のための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、ポリマー基板表面制御における物理的・化学的修飾手法について独自に提案し、高導電性酸化物薄膜を結晶成長させる手法を確立しており、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で作成してください。