



Title	Multi-Scale Characterization of Crystalline Properties in Thick AlN Epitaxial Films Grown on Trench-Patterned Templates
Author(s)	Dinh, Khan Thanh
Citation	大阪大学, 2014, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/50542
rights	
Note	やむを得ない事由があると学位審査研究科が承認したため、全文に代えてその内容の要約を公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

Abstract of Thesis

Name (DINH THANH KHAN)	
Title	Multi-Scale Characterization of Crystalline Properties in Thick AlN Epitaxial Films Grown on Trench-Patterned Templates (周期溝加工テンプレート上エピタキシャルAlN厚膜のマルチスケール結晶構造評価)
<p>Abstract of Thesis</p> <p>AlN has been extensively investigated for realizing high-performance deep ultraviolet optoelectronic devices because of its wide bandgap energy of 6.2 eV. Due to the difficulty of growing large-area bulk AlN substrates, epitaxial growth of thick AlN films on α-Al₂O₃ substrates using hydride vapor phase epitaxy is one of promising substitutes. Recently, the use of trench-patterned templates fabricated on α-Al₂O₃ substrates has been shown to remarkably improve the crystalline quality of AlN films. Using trench-patterned templates gives rise to epitaxial lateral overgrowth (ELO) and the formation of nano-scale voids in AlN films, which probably influences the microscopic residual strain distribution (MRSD) in the films. Furthermore, because of the complicated growth mechanism of the AlN films on trench-patterned templates, including ELO at the terrace, nucleation at the trench, and merging of the grown crystals, there is likely a variation of the microscopic crystalline morphology (MCM) such as domain texturing, lattice tilting fluctuation (LTF) and strain fluctuation (SF) in local regions of the films, which is still unclear at present. The aim of this thesis is firstly to propose a methodology for the crystal microstructure analysis such as MRSD and MCM in thick AlN films grown on trench-patterned templates. Then, by understanding such crystal microstructure properties, the mechanisms behind the generation of strain distribution and crystallographic evolution of the films can be clarified to propose a practical growth process for thick high crystalline quality AlN films. In order to achieve this aim, multi-scale characterization from nanometer to millimeter scales was carried out. X-ray microdiffraction (XRMD) with a submicron beam size was performed in combination with transmission electron microscopy (TEM) observation and X-ray diffraction (XRD) with a sub millimeter beam size. Finite element method (FEM) was also used to simulate the strain distribution in the films. The MRSD in the cross-section of the thick AlN films throughout the growth direction was successfully mapped using position-dependent XRMD measurements. The results show that nano-scale voids triggered by the trench-patterned templates are effective in relaxing the strain in the directions perpendicular to the trench direction, which is also confirmed by the FEM simulation. Analysis for strain components obtained from appropriate diffractions also revealed the variation in twisting of AlN crystal domains about the c-axis along the growth direction. Position-dependent XRMD measurements for the film surface show that the MCM in the thick AlN films is highly anisotropic with several submicron crystal domains tilted toward each other in the $[11\bar{2}0]$ direction, perpendicular to the trench, and periodically arranged in this direction corresponding to the periodicity in trench-patterned template. Microscopic LTF and SF were precisely and quantitatively determined and these are mainly attributed to the elastic relaxation of strain gradually varied along the growth direction as well as inhomogeneous distribution and morphology of dislocations in the films. An anisotropy in the macroscopic curvature of the films in the $[11\bar{2}0]$ and $[11\bar{0}0]$ directions was observed by XRD and this is closely related to the anisotropy in MCM of the films as clarified by XRMD. The present study demonstrates the effectiveness of multi-scale characterization for revealing crystal structure properties of the thick AlN films grown on the trench-patterned templates, which leads to further improvement of crystalline quality of the films.</p>	

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏 名 (DINH THANH KHAN)			
論文審査担当者	(職)	氏 名	
	主 査	教 授	酒 井 朗
	副 査	教 授	糸 崎 秀 夫
	副 査	教 授	岡 本 博 明

論文審査の結果の要旨

本研究においては、次世代深紫外発光素子用のワイドギャップ半導体基盤材料である窒化アルミニウム（AlN）エピタキシャル結晶の微細構造およびその構造制御に関わる学理が明らかにされた。サファイア（Al₂O₃）基板およびAlN／Al₂O₃基板表面の周期溝テンプレート上に形成されたAlNエピタキシャル厚膜結晶中には、成長中に誘起される選択横方向成長によって、周期的なナノスケールのボイド構造が形成される。それらのナノボイドは膜中の微視的残留歪分布に影響を及ぼすと同時に、周期溝テンプレート上の特異な結晶成長機構が、局所領域におけるドメイン化、格子面傾斜揺らぎ、歪揺らぎ等の微視的結晶形態を誘発する。本研究では、こうした微視的な歪と結晶形態を明らかにするため、高輝度放射光を用いたサブマイクロメートルサイズの微小X線プローブによる位置依存X線マイクロ回折法（XRMD）が開発された。結晶の局所領域からの回折を可能とするXRMDと、巨視的スケールでの回折ツールである通常のX線回折法、さらには結晶中格子欠陥に対するナノスケール観察手法である透過電子顕微鏡法を有機的に併用することによって、ナノからミリスケールに渡るマルチスケール構造解析評価が実践された。また、有限要素法による歪シミュレーションを用いて、結晶成長時に格子不整や熱膨張不整で誘発される応力に対するAlN結晶の構造応答機構が解析され、実験結果との整合性が検証された。本論文においては、XRMDによる断面膜厚方向3次元歪分布の定量計測の結果、AlNエピタキシャル厚膜中には格子不整合歪が支配的であり、周期ナノボイドがその歪を効果的に緩和する機能があることを明らかにしている。同時に、歪緩和の一機構である、基底面内におけるAlNドメインの微小回転現象の直接的検出にも成功している。AlNの微視的結晶形態は、テンプレートの溝構造に準拠した高い異方性と周期性を有し、観測された格子面傾斜・歪揺らぎには、結晶成長時の弾性的歪緩和と転位導入による塑性的歪緩和が関与している。巨視的に観測されるAlNの格子湾曲は、微視的に観測される格子面傾斜と強く相関しており、その面傾斜揺らぎが巨視的格子湾曲を抑制する効果が新たに見いだされた。以上、本論文は、窒化物半導体エピタキシャル結晶に対するマルチスケール構造解析評価技術の有効性を実証し、微細構造形成に関わる結晶学的知見を与えると同時に、同結晶の更なる高品質化に貢献するものであり、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。