

# 論文審査の結果の要旨

氏名 徳本 有紀

AlN や GaN などに代表される III 族窒化物薄膜は、その成膜用基板として、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$ 基板が最もよく用いられているが、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$ 基板の上に堆積させた III 族窒化物薄膜中には高密度な貫通転位が存在することが知られている。本論文は、 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3(0001)$ 基板の上に堆積させた AlN 薄膜をモデル材料として用い、この AlN 薄膜の貫通転位を利用したナノ細線の作製についてまとめられている。

本論文は全 5 章から構成され、第 1 章は転位の構造・特性の説明、転位の材料物性制御への応用例など、本研究の背景や目的について記述されている。

第 2 章は、AlN 薄膜貫通転位の配列様式と形成メカニズムとの関係について調べた結果をまとめている。AlN 薄膜貫通転位の構造および組織を高分解能透過型電子顕微鏡 (HRTEM) により観察し、AlN 薄膜が亜結晶粒からなり、薄膜貫通転位は隣接する亜結晶粒同士の傾角を補償するように導入され、小傾角粒界を形成しているということを見出している。この結果から、AlN 薄膜貫通転位の形成と、薄膜成長粒が基板に対して微小な角度だけ回転した状態で堆積するという、“モザイク成長”と呼ばれる薄膜成長様式との相関性を示している。この研究は、微小な傾角を有する亜結晶粒界を形成する転位配列の HRTEM 観察を行うことにより、これまで薄膜全体の平均的な値しか報告されてこなかった亜結晶粒界の傾角について、局所的な値を算出しているという点、および、転位配列と薄膜成長様式(モザイク成長)との関係を実験的に明らかにしているという点で意義のあるものと考えられる。

第 3 章においては、AlN/ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  界面を作製し、HRTEM 観察および格子静力学法による構造最適化計算を行うことにより、AlN/ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  界面における原子構造およびその緩和挙動を解析し、安定な緩和構造を決めている支配的な因子を調べている。その結果、AlN/ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  界面においては、界面原子の配位数や界面距離が、界面構造を安定化させる要素であることを見出している。さらに、第 2 章で AlN 薄膜貫通転位の起源であることを明らかにした“モザイク成長”が起こった場合の AlN/ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  界面構造への影響を検討し、AlN/ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  界面構造とモザイク成長との関連について考察している。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  基板に対して AlN 薄膜成長粒の回転が生じた場合、界面構造を不安定化させる要素として、界面の Al 原子を取り囲むアニオン副格子のひずみを挙げている。 $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  基板に対する AlN 薄膜成長粒の回転角度が微小な場合は、界面構造を安定化させる要素および不安定化させる要素の変化が小さいため、AlN 薄膜成長時に回転の自由度が生じ、この回転の自由度が、モザイク成長および薄膜貫通転位形成の起源となっていると結論付けている。この研究は、AlN/ $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$  界面における界面構造を安定化させる要素を抽出し、界面構造とモザイク成長との関係について新しい知見を見出している点で意義のあるものと考えられる。

第4章においては、AlN 薄膜貫通転位を利用し、特異な物性の発現が期待できる金属元素である Mn を添加することによるナノ細線の作製について述べられている。高密度な貫通転位を含む AlN 薄膜試料表面に Mn を蒸着し、熱処理を施すことにより、転位芯近傍に Mn を偏析させることに成功している。走査透過型電子顕微鏡(STEM)を用いた電子エネルギー損失分光法(EELS)による元素マッピングの結果、添加した Mn が AlN の Al サイトを置換しており、特に、転位芯近傍の引っ張りひずみの存在する領域に優先的に偏析していることを明らかにしている。この結果から、Al と比較してイオン半径の大きい Mn が、転位芯近傍の応力場との相互作用により偏析したというメカニズムを提唱している。さらに、Mn を添加した AlN 薄膜貫通転位に沿った一方向導電性の発現も確認している。この研究は、薄膜貫通転位を特異な物性の起源として利用したデバイス開発の可能性を示すものである。

第5章では本研究の総括が述べられている。

以上のように、本論文は、AlN 薄膜貫通転位を利用して一方向導電性を発現させることに成功しており、薄膜貫通転位の材料物性制御への応用に対して大きな進展を与えるものと判断できる。

なお、本論文の第2章は、柴田直哉博士、溝口照康博士、杉山正和博士、霜垣幸浩博士、Jung-Seung Yang 氏、山本剛久博士、幾原雄一博士、第3章は、溝口照康博士、佐藤幸生博士、柴田直哉博士、山本剛久博士、幾原雄一博士との共同研究であるが、論文提出者が主体となって実験及び解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士(科学)の学位を授与できると認める。