



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Fabrication and characterization of semiconducting and ferromagnetic nanostructures on crystallized Al ₂ O ₃ layers [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	崎田, 晋哉
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第12186号
Issue Date	2016-03-24
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/61698
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Shinya_Sakita_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 崎田 晋哉

審査担当者 主 査 准教授 原 真二郎

 副 査 教 授 橋詰 保

 副 査 教 授 本久 順一

学位論文題名

Fabrication and characterization of semiconducting and ferromagnetic nanostructures on crystallized
Al₂O₃ layers

(結晶化 Al₂O₃ 膜上の半導体及び強磁性体ナノ構造の作製と評価に関する研究)

半導体技術ロードマップ等によれば、トップダウン型微細加工技術で実現されてきた半導体素子の微細化には限界が来るとが予想されており、従来技術の延長にない全く異なった方法による機能素子実現が課題となっている。結晶成長をナノ領域に制限することで所望のナノ構造を自在に作製する、いわゆるボトムアップ型作製技術が、種々の半導体ナノエレクトロニクス素子の試作により、次世代の作製技術として近年注目を浴びている。例えば、希少金属を含む高価な半導体ウェハを不要とし、触媒や中間層を用いることで、より安価な非晶質ガラス基板上に半導体のナノ構造を形成する研究が行われているが、ナノ構造の形状均一性制御に課題が残る。

また電子のスピンを活用するスピントロニクス分野の素子作製プロセスにおいても、薄膜堆積後、微細加工技術により所望の形状に加工するトップダウン型加工技術が用いられている。しかし、ナノオーダーの素子では、プラズマプロセスによる活性領域の欠陥生成等、素子特性を劣化させるダメージの発生が問題となる。これを解決する作製手法として、原子レベルで結晶を積み上げる、いわゆるボトムアップ型形成手法により、良好な結晶性を持つ強磁性 MnAs ナノクラスタを作製する研究が報告されている。本手法による MnAs ナノクラスタは、NiAs 型六方晶構造の a 軸方向に磁化容易軸方向を持つ結晶磁気異方性と、ナノクラスタの長軸方向に磁化容易軸方向を揃えて設計し、形状磁気異方性を併せ持つことが特徴であり、MnAs ナノクラスタの磁化方向の制御が可能である。MnAs ナノクラスタを接合した横型プレーナ磁気抵抗 (MR) 素子では、最大で 300% という非常に高い MR 変化が得られることが理論計算により予測されている。先行研究では、半絶縁性 GaAs (111)B 基板上に MnAs ナノクラスタを作製する際に、反応性の高い Mn 原子が半絶縁性半導体基板に拡散し、Mn ドープによる p 型層が形成され、基板へのリーク電流の原因となるとの知見が得られている。故にボトムアップ形成手法による MnAs ナノクラスタを用いた素子の実現には、半導体基板と素子の間にリーク電流防止膜を導入し、半導体基板と素子を電氣的に絶縁する必要がある。

本研究では、非晶質 Al₂O₃ 膜の結晶化と、それを中間層として半導体及び強磁性体ナノ構造を形成することで課題の解決を図る。Al₂O₃ 膜は絶縁体材料であり、原子層堆積 (ALD) 法により堆積した Al₂O₃ 薄膜は熱処理により結晶化可能である。本研究では、希少金属を含まない Si および非晶質ガラス基板上におけるナノエレクトロニクス素子実現の基盤となるボトムアップ型作製技術の確立を目指して、① 結晶化 Al₂O₃ 膜を中間層として用いた、非晶質ガラス基板上の半導体ナノワ

ワイヤの形成と評価、② Si (111) 基板上に形成した結晶化 Al_2O_3 膜上の強磁性 MnAs ナノクラスタの形成と磁気特性評価を実施している。

第 1 章は、本研究の背景と目的について示すと共に、各章の概要を説明している。第 2 章では、有機金属気相成長 (MOVPE) 法の基本的な成長プロセスや成長炉について述べ、本研究で扱う強磁性体 MnAs ナノクラスタを形成するために用いた選択成長法の基本的な成長特性を説明している。第 3 章は、本研究で扱う Al_2O_3 に焦点を当て、パルク Al_2O_3 の結晶化過程や、ALD 法により堆積した薄膜 Al_2O_3 の熱処理についての先行研究を説明している。第 4 章は、ALD 法により堆積した Al_2O_3 を結晶化する技術を本研究に適用し、それにより非晶質ガラス基板上に GaAs/AlGaAs 系の半導体ナノワイヤを成長する研究について記述している。本研究では、ガラス基板上に堆積した Al_2O_3 膜を熱処理により結晶化し、結晶化 Al_2O_3 膜をガラス基板上への成長の中間層として用いている。その試料を基板として用いて AlGaAs の成長を行ったところ、六角柱状、三角錐状のナノ構造及び、多結晶構造が形成された。この試料に対して X 線回折と透過電子顕微鏡による断面構造評価を行ったところ、非晶質のガラス基板を用いたにも関わらず {111} 面が支配的な AlGaAs ナノ構造が形成されたことを明らかにしている。続いて、 Al_2O_3 膜の結晶化技術と AlGaAs バッファ成長の技術の組み合わせによりガラス基板上にナノワイヤを形成する実験により、ガラス基板に半導体ナノワイヤを形成する技術として結晶化 Al_2O_3 膜を中間層として用いる技術の有用性を示している。第 5 章では、単結晶 Si (111) 基板上に成膜した絶縁体 Al_2O_3 膜上の MnAs ナノクラスタの MOVPE 選択成長について詳細に記している。まず透過電子顕微鏡による Si (111) 基板上の Al_2O_3 膜の結晶性の評価を行った。続いて、結晶化 Al_2O_3 膜上に選択成長により形成した MnAs ナノクラスタの構造評価を行った。成長した六方晶 MnAs ナノクラスタの c 軸は基板の $\langle 111 \rangle$ 方向と一致したが、面内では規則性のない回転が発生している。これは MnAs ナノクラスタの下地の Al_2O_3 膜が多結晶化していることに起因していると報告している。さらに磁気力顕微鏡により、複数の MnAs ナノクラスタを連結した構造の磁区を観察したところ、複雑な多磁区構造が形成されていることを明らかにした。最後に、このような連結 MnAs ナノクラスタ構造に 2 端子の電極を設けた試料を用意し電気特性評価を行った結果、特定の狭い温度域で磁気ランダムテレグラフノイズと呼ばれる 2 つの離散的な電気抵抗値の変動を観測している。第 6 章は、以上の研究結果をまとめ、本研究を通しての展望について述べている。

これを要するに、著者は、単結晶 Si (111) 及び非晶質ガラス基板上における絶縁体 Al_2O_3 膜の結晶化技術と、それを用いた半導体及び強磁性体ナノ構造の作製と評価に関する新知見を得たものであり、半導体ナノテクノロジー及びスピントロニクス分野の発展に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める。