HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Fabrication and characterization of semiconducting and ferromagnetic nanostructures on crystallized Al2O3 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_abstract.pdf, 論文内容の要旨

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

学 位 論 文 内 容 の 要 旨

博士の専攻分野の名称　博士（工学）　氏名　崎田 晋哉

学 位 論 文 題 名

Fabrication and characterization of semiconducting and ferromagnetic nanostructures on crystallized Al_2O_3 layers

（結晶化 Al_2O_3 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などによると、トップダウン型微細加工技術により実現されてきた半導体デバイスのスケーリング則には限界が来るこ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デバイスの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。一例として、希少金属を含む高価な半導体ウェハを不要とし、より安価な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。触媒や中間層を用いることで非晶質のガラス基板に半導体ナノ構造を形成するといった研究が行われてきたが、依然としてナノ構造の形状の均一性に課題がある。

一方、電子のスピンを活用するスピントロニクス分野の研究では、製造プロセスにおいて、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、ナノオーダーのデバイスにおいては、活性領域におけるプラズマプロセスによる欠陥生成などデバイス特性を劣化させるダメージが発生することが問題となる。我々は原子レベルで積み上げていく、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を行っている。我々の 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 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わかっている。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 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を得ている。従って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気的に絶縁する必要がある。

本研究では結晶化 Al_2O_3 膜を基板に堆積し、その Al_2O_3 膜上に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。Al_2O_3 膜は高誘電体材料であり、原子層堆積 (ALD) 法により堆積した Al_2O_3 薄膜は熱処理により結晶化することが可能である。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 Al_2O_3 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イヤの形成と評価、② Si (111) 基板上に形成した Al_2O_3 結晶化膜上の強磁性 MnAs ナノクラスタの形成と磁気特性評価を実施した。

本論文は第 1 章から第 6 章までで構成されている。以下に各章の要旨を示す。

第 1 章は、本研究の背景と目的について示すと共に、各章の概要を説明する。

第 2 章は、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、本研究で取り扱う強磁性体 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する。

第 3 章は、本研究で扱う Al_2O_3 に焦点を当て、バルク Al_2O_3 の結晶化過程や、ALD 法により堆積した薄膜 Al_2O_3 の熱処理について説明する。

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用いて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する。この研究では, 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る。ガラス基板上に Al_2O_3 膜を堆積した試料を用いて AlGaAs の成長を行ったところ、六角柱状、三角錐状のナノ構造、さらに多結晶構造が形成された。この試料に対して X 線回折と断面透過電子顕微鏡による構造評価を行ったところ、非晶質のガラス基板を用いているにも関わらず AlGaAs (111)A または B 面が支配的に形成されていたことが判明した。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し、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た。

第 5 章は、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す。まず透過電子顕微鏡による単結晶 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 MnAs ナノクラスタの c 軸は基板の ⟨111⟩ 方向と一致したが、面内では規則性のない回転が発生した。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考えられる。磁気力顕微鏡により、複数の結晶粒が連結した MnAs ナノクラスタ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が判明した。最後に、このような連結した MnAs ナノクラスタに電極を設けた試料を用意し、電気特性の評価を行ったところ、一定の温度帯で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た。

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る。