HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Growth and Spin Transport in InAs Nanowires [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	崔, 志欣
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第11755号
Issue Date	2015-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/58829
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/2.1/jp/
Type	doctoral thesis
File Information	Zhixin_Cui_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　崔 志欣

学　位　論　文　題　名

Growth and Spin Transport in InAs Nanowires
（InAs ナノワイヤの成長とスピン輸送）

半導体デバイスの微細化技術は近年物理的な限界を迎えつつある。そのため、今後のハードウェアの高性能化と低消費電力化をしていく上で、微細化技術にはとらわれない新しい動作原理を持つ半導体デバイスが必要である。その中で、電子や原子核の持つ磁気的なエネルギーのスピンを制御することで、エレクトロニクスに付加機能を持たせ高性能化を図る分野、スピントロニクスが期待されている。スピントロニクスの発展は強大磁気抵抗効果が発見されたことから始まり、現在スピントロニクスがハードディスクや磁気メモリへ実用化された。また、本来磁場に関する物理量であるスピンはスピン軌道相互作用によって電場によって制御出来る事が知られている。この現象を利用し、論理素子としては S. Datta、B. Das が提案した Spin-FET(Spin Field Effect Transistor) を初め、多くの研究者がデバイスの実用化を試みている。このデバイスの実現には、有効な半導体スピン輸送チャンネル材料が重要である。近年、半導体ナノワイヤと呼ばれる一次元量子細線材料は注目を浴びている。特に、数十ナノメートルの直径を有する InAs ナノワイヤは一次元に電子を閉じ込めることで、高い電気伝導特性を持たせうるだけでなく、スピン散乱の抑制により長距離のスピン輸送が期待でき、従来の二次元構造デバイスでは実現できない新たな機能の創出が期待される。そのため、本研究では、InAs ナノワイヤをスピン輸送チャンネル材料として提案し、分子線エピタキシー法 (MBE: Molecular Beam Epitaxy) でスピントロニクスに適したナノワイヤの成長方法を研究した。また、電気デバイスを作製し、シングル InAs ナノワイヤにおけるスピン伝導特性を評価した。

本論文は第 1 章から第 6 章まで構成されている。

第 1 章では本研究の背景、目的について述べたうえで、本論文の構成を記した。第 2 章では、MBE 装置で VLS 法による InAs ナノワイヤ成長に関する理論背景を概観し、⟨111⟩ 結晶方位を持っている InAs ナノワイヤの成長を初め、成長プロセスを考察した。第 3 章では、ナノワイヤ構造に依存する電気伝導特性を考察するために、普通の ⟨111⟩ 結晶方位の InAs ナノワイヤの特性と InAs/InP core/shell 構造のナノワイヤの特性をバックゲートナノワイヤ FET で比較した。そして、極低温における、低磁場での磁気コンダクタンス効果である弱局在と半弱局在について解説した。それで、InAs/InP core/shell 構造のナノワイヤデバイスで外部電界による弱局在から半弱局在への変化の観測実験について説明した。この実験結果により、core/shell 構造のナノワイヤでは普通のナノワイヤより良好なスピン伝導特性を持っていることがわかった。

第 4 章では、まず InAs ナノワイヤにおける Rashba 効果と Dresselhaus 効果を利用するために、⟨110⟩ 結晶方位を持っている InAs ナノワイヤの利点を概説した。また、パラジウム (Pd) という触媒金属を利用し、MBE 装置で VLS 法による ⟨110⟩ 結晶方位の InAs ナノワイヤの成長について説明した。それで、走査型電子顕微鏡と透過型電子顕微鏡の観察により、ナノワイヤの ⟨110⟩ 結晶方位の確認とモフォロジー分析を行った。第 5 章では、成長した ⟨110⟩ 結晶方位の InAs ナノ

ワイヤ伝導特性の確認を行った。まず、同じバックゲート FET 構造のデバイスを作成し、従来の ⟨111⟩ の InAs ナノワイヤの電子移動度と比較し、より良好な伝導特性を持っていることがわかった。その理由を解析するために、⟨111⟩ 結晶方位と ⟨110⟩ 結晶方位の InAs ナノワイヤ成長原理を概説した。⟨111⟩ ナノワイヤの場合では、InAs ナノワイヤと金属触媒間の界面が {111} 界面であり、Zinc-blende (ZB) 結晶構造の ⟨111⟩ 方向と Wurzite (WZ) 結晶構造の ⟨0001⟩ 方向の結晶エネルギーの差が小さいため、ZB と WZ 結晶構造が混ざりやすくなる。WZ 結晶構造は ZB より 30 ~ 90 meV 大きいので、バンドの不連続の原因となり、伝導特性に影響を与える。一方、⟨110⟩ ナノワイヤの場合では、結晶界面は非 {111} 界面であるため、完全に ZB 結晶構造で成長することができる。そのため、⟨111⟩ ナノワイヤのようなバンドの不連続性がなく、優れた伝導特性が持っている。そして、バックゲート FET 構造での伝導特性評価が不十分ため、シングルナノワイヤホール測定デバイスの作製プロセスを概説した。このホールデバイスを利用し、⟨110⟩ 結晶方位の InAs ナノワイヤ伝導の温度依存性を調べた。キャリア密度の温度依存性から、キャリアがナノワイヤの表面に蓄積していることを確認した。ホール移動度の温度依存性により、ラフネス散乱と表面イオン不純物散乱が散乱の要因であることを説明した。

第 6 章では、以上の結論をまとめた。電子スピン輸送チャンネル材料として InAs ナノワイヤを提案した。適切なナノワイヤを成長して、ナノワイヤ構造と結晶方位の観点から評価し、スピン輸送に応用する可能性を示せた。