

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	Low-temperature growth of Ge nanowires for electron device application
著者(和文)	SIMANULLANGMAROLOP
Author(English)	Marolop Simanullang
出典(和文)	学位:博士(学術), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9570号, 授与年月日:2014年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小田 俊理,波多野 睦子,浅田 雅洋,宮本 恭幸,河野 行雄, Kaustav Banerjee
Citation(English)	Degree:Doctor (Academic), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9570号, Conferred date:2014/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

# 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名		Marolop Dapot Krisman Simanullang	
		氏名	職名		氏名	職名
論文審査 審査員	主査	小田 俊理	教授	審査員	河野 行雄	准教授
	審査員	波多野 睦子	教授		Kaustav Banerjee	UC Santa Barbara 教授
		浅田 雅洋	教授			
		宮本 恭幸	教授			

## 論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は” Low-temperature growth of Ge nanowires for electron device application” (電子デバイス用 Ge ナノワイヤの低温成長に関する研究) と題し、英文 8 章からなる。

第 1 章 “Introduction” 「序論」では、本研究の背景と目的を述べている。リソグラフィ技術の進展により CMOS 集積回路はこれまで 50 年間にわたって高集積化、高性能化を果たしてきたが、加工寸法が 10nm 以下になると、従来のトップダウン技術での加工には限界があると指摘し、ボトムアップ技術による半導体ナノワイヤが有望であると述べている。特にゲルマニウム(Ge)ナノワイヤは電子及び正孔移動度が大きく、Vapor-Liquid-Solid (VLS) CVD 法によれば結晶成長温度も低いので、種々の電子デバイス応用に適していると述べている。しかし、Ge ナノワイヤの研究は Si ナノワイヤと比較して少なく、ナノワイヤ径が変化してテーパー状に形成する事、触媒としての金が拡散すること、Ge 表面の自然酸化膜が大气中で不安定であることなどが問題であると指摘している。そして、本研究の目的は VLS-CVD 法による Ge ナノワイヤの結晶成長機構を解明し、電子デバイス応用に適した Ge ナノワイヤの結晶成長法を開拓する事であると述べている。

第 2 章 “Experimental method” 「実験方法」では、Ge ナノワイヤの結晶成長、電気特性測定用デバイス作製、構造及び特性評価に用いた実験装置と測定の原理について述べている。

第 3 章 “Germanium nanowire growth” 「Ge ナノワイヤの成長」では、まず触媒核としての金微粒子について述べている。金微粒子と Si 基板が形成する合金の融点 (共晶温度) がナノスケールになるとバルクの状態と比べて低温になることを示し、ナノ金微粒子の場合、バルク共晶温度より低温で Ge ナノワイヤの成長が可能であると述べている。さらに Si, Ge および Si 酸化膜上への Ge ナノワイヤの成長を行い、基板表面とナノワイヤ成長の関係性を述べている。

第 4 章 “Effect of temperature and precursor partial pressure” 「温度および原料ガス分圧の効果」では、基板温度と Ge ナノワイヤの密度、形状との関係について述べている。また原料ガスである GeH<sub>4</sub> の分圧の効果についても述べている。Ge ナノワイヤの成長は、一定温度の場合と、高温から低温に変調する場合の両方について調べている。テーパー構造の形成の原因は、基板温度が高く触媒に依らず直接 CVD 堆積が起こることであると述べている。まっすぐな均一粒径のナノワイヤは、基板温度が低く GeH<sub>4</sub> 分圧が高い場合と、比較的高温で GeH<sub>4</sub> の分圧が低い時に形成できたと述べている。

第 5 章 “Mechanism of Ge nanowire growth” 「Ge ナノワイヤの成長機構」では、AuGe 共晶微粒子の大きさと形成された Ge ナノワイヤの寸法 (長さおよび直径) の関係を述べている。基板温度を下げると Ge ナノワイヤの直径が小さくなることを指摘している。この現象は、Gibbs-Thompson 効果により説明出来ると述べている。260℃という低温の結晶成長温度と、Au 超微粒子の直径を精密に制御することにより、今まで報告されたことのない直径 3nm という世界で最も細い Ge ナノワイヤを形成する事に成功したと述べている。

第 6 章 “Microscopic study of Ge nanowires” 「Ge ナノワイヤの微細構造評価」では、透過型電子顕微鏡を用いて、Ge ナノワイヤの微細構造を観察した事について述べている。一定温度および温度変調法により低温で形成された、均一径およびテーパー状 Ge ナノワイヤの金粒子の拡散、欠陥、結晶性の違いについて評価したと述べている。そして、260℃で形成された Ge ナノワイヤでは金粒子の拡散の影響を抑えることが出来たと述べている。

第 7 章 “Fabrication and characteristics of Ge nanowires devices” 「Ge ナノワイヤデバイスの作製と評価」では、まず原子層堆積法により形成した Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜および HfO<sub>2</sub> 膜による Ge ナノワイヤ表面のパッシベーションについて述べている。HfO<sub>2</sub> 膜の場合、局所的な結晶化の問題が発生したが、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜の場合良好な電気特性を得ることが出来たと述べている。

第 8 章 “Conclusions and Future Work” 「結論と今後の課題」では、これまでの結果と考察を総括し、最後に、Ge ナノワイヤを電子デバイスに応用するために残された課題について述べている。

以上を要するに、本論文では、VLS-CVD 技術による Ge ナノワイヤの作製について検討を行い、原料ガスの分圧を精密に制御し、金微粒子の大きさを最適化することにより、260℃という低温で、直径 3nm という世界で最細の Ge ナノワイヤの成長に成功し、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 膜が表面パッシベーション膜として優れていることを示して Ge ナノワイヤの電子デバイス応用への道を拓いたもので学術上貢献するところが大きい。よって、我々は本論文が博士 (学術) の学位論文として十分な価値があると認める。