

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	
Title(English)	A study of electrical interface properties in nanowire MOSFETs based on mobility and low-frequency noise characterizations
著者(和文)	小山将央
Author(English)	Masahiro Koyama
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第9854号, 授与年月日:2015年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:岩井 洋,片岡 好則,名取 研二,筒井 一生,若林 整,角嶋 邦之,Simon Deleonibus,Mika?l Cass?
Citation(English)	Degree:, Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第9854号, Conferred date:2015/3/26, 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	小山 将央		
論文審査 審査員		氏名	職名		氏名	職名
	主査	岩井 洋	教授		若林 整	教授
	審査員	片岡 好則	特任教授	審査員	角嶋 邦之	准教授
		名取 研二	特任教授		Simon Deleonibus (学外)	Professor
		筒井 一生	教授		Mikaël Cassé (学外)	Professor

論文審査の要旨 (2000 字程度)

本論文は、“A study of electrical interface properties in nanowire MOSFETs based on mobility and low-frequency noise characterization” (邦題「移動度および低周波ノイズ測定によるナノワイヤトランジスタの電氣的界面特性の研究」) と題し、英文 6 章で構成されている。

第 1 章 “Introduction” では、まず集積回路スケールに伴う最近の問題点が示され、その解決手段として、フィン、トライゲート、ナノワイヤなどのマルチゲート MOSFET 構造の導入が重要であることが述べられている。しかし、マルチゲート構造はチャネル表面がエッチングによって形成されるので、電気特性がそのエッチングダメージ、面方位、歪などの状態によって影響を受けやすく、表面の評価が重要であることが述べられている。MOSFET のチャネル表面特性の解析には低周波ノイズ (LFN) 測定法が有用な手段であるが、マルチゲート構造での LFN 自身に関して Fin 膜厚/ワイヤ径の微細化に伴い、量子閉じ込め効果やチャネル面方位、歪効果、high-k ゲート酸化膜の効果が、LFN 自身にどのような影響を及ぼすかは必ずしも明確とはなっていないことが説明されている。本論文の目的はナノワイヤ MOSFET を中心に明確になっていない LFN 特性を明らかにし、チャネル表面の状態が MOSFET にどのような影響を与えるかを明らかにすることであることが述べられている。

第 2 章 “Nanowire MOSFETs fabrication” では、本研究で用いられた Silicon-on-insulator (SOI) ベースの Ω -gate 型ナノワイヤトランジスタの作製法および技術詳細が記述されている。

第 3 章 “Measurement methods” では、トランジスタの基本性能を示すキャリア輸送特性、および LFN の発生機構と解析に用いられるモデル、特にキャリア数揺らぎと移動度揺らぎの相関モデル (CNF+CMF) が説明されている。

第 4 章 “Carrier transport characterizations” では、各種キャリア輸送特性の評価結果が示されている。まず、最も基礎的なドレイン電流特性によってトランジスタ性能が比較され、ナノワイヤ構造の短チャネル効果への高い耐性、また歪み効果による駆動電流の大幅な増幅が確認されている。次に、キャリア移動度の評価では実効移動度および Y-function 法から算出された低電界移動度が議論され、短チャネル領域 (最短ゲート長: 17nm) までのナノワイヤトランジスタについて特性評価に成功している。大きな移動度劣化が生じる短チャネル領域においても、歪み効果の導入によって移動度を向上可能である事が示されている。

第 5 章 “Low-frequency noise characterizations” では、LFN 測定による各種評価結果が示されている。まず、ノイズパワースペクトル密度の周波数特性およびドレイン電流依存性の測定結果では、従来幅広型からナノワイヤ領域までの全トランジスタにおいて CNF+CMF モデルに基づく特性評価が可能である事が示されており、モデル中のパラメータ抽出によってトランジスタのサイズ (チャネル幅、ゲ

ート長)および付加技術パラメータ(チャネル表面処理、チャネル方向、歪み効果)の詳細な評価と比較が行われている。また、酸化膜中のトラップ密度算出結果から、従来幅広型からナノワイヤへの構造変化による界面特性の大きな変化は生じず、歪み効果およびチャネル面方位等のパラメータも界面特性を大きく劣化させる要因では無い事が明らかにされている。トラップ密度の値はHfベースのhigh-k/金属ゲート構造を用いた幅広型およびFin型トランジスタの従来報告値と同等であり、HfSiON/TiNゲート構造を持つナノワイヤトランジスタでは初めて値を報告している。また、チャネル上面と側壁面それぞれのトラップ密度への寄与についても議論を行っている。更に、現行のCMOS技術ノード(ゲート長20nm程度)と同程度に微細化されたナノワイヤについて国際半導体技術ロードマップ(ITRS)で定められる1/f LFNパワースペクトル密度の要求値を比較し、この値を実際に満足する事が示されている。

第6章“Summary and conclusions”では、本研究で得られた結果をまとめ、本研究で用いられたHfSiON/TiNゲート構造を持つナノワイヤトランジスタにおいて、チャネル面方位の差異や側壁面のエッチング、および歪み効果は界面特性を大きく変化させる要因ではない事が明らかにされている。

以上を要するに、本論文は、次世代型ナノワイヤトランジスタにおいて酸化膜/チャネル界面の電気的特性をLFN測定により評価し、適用可能な1/f CNF+CMFモデルに基づいた詳細な解析により、歪み導入ナノワイヤトランジスタにおいても良質な界面特性が保たれたままトランジスタ性能向上が実現される、などの多くの重要な知見を明らかにしたものであり、工学および工業上貢献するところが大きい。よって我々は、本論文が博士(工学)の学位論文として十分価値あるものと認める。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」は、東工大リサーチポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。