

氏名	ゆん じょん ちよる <b>尹 鍾鐵</b>
学位(専攻分野)	博士 (工学)
学位記番号	博 甲 第 7 2 3 号
学位授与の日付	平成 26 年 9 月 25 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工芸科学研究科 設計工学専攻
学位論文題目	<b>An Analytical Model for Saturation Drain Current Including the Higher Order Effect of Source and Drain Series Resistance in Sub-20 nm MOSFETs</b> (20nm MOSFET におけるソース・ドレイン抵抗の高次効果を含む解析飽和ドレイン電流モデル)
審査委員	(主査)教授 小林和淑 准教授 廣木 彰 教授 吉本昌広 関西大学大学院理工学研究科システム理工学専攻電気電子情報工学分野教授 大村泰久

## 論文内容の要旨

本学位申請論文は、20 nm 以下の MOSFET のデバイス設計に対するソース・ドレイン直列抵抗の効果を含むドレイン電流解析モデルについて論じている。論文は全 6 章から成り立っている。

第 1 章では、本研究の意義と背景が述べられている。20 nm 以下の MOSFET のデバイス設計では、デバイス用途に対応した、デバイスタイプ、すなわち、High performance (HP) 、Low Operation Power (LOP) 、Low Standby Power (LSTP) の設計、また、性能要求を満たすための新規材料である高移動度チャネル材料や高誘電率絶縁膜の解析、さらに、Planar Bulk に代わる Ultra Thin Body Fully-Depleted Silicon On Insulator (UTB FD SOI)、Multi Gate (MG) などの新規構造の解析が必要であることが示されている。このデバイス設計を支援するモデリング技術として、これらの効果を含む高精度なモデルが必要である、特に、ソース・ドレイン直列抵抗の効果を含むドレイン電流解析モデルが必要不可欠であることが示されている。

第 2 章では、ソース・ドレイン直列抵抗の効果を含む MOSFET ドレイン電流の解析モデルについて述べられている。まず、MOSFET 真性部のドレイン電流解析モデルと物理パラメータが論じられている。20 nm 以下の MOSFET 解析に必要な、高移動度チャネル材料、高誘電率絶縁膜、量子効果と物理パラメータとの関係が明確に述べられている。MOSFET の構造変化に伴うデバイス設計パラメータと物理パラメータとの関係が示されている。次に、ソース・ドレイン直列抵抗の高次効果を含む解析モデルが導出されている。4 次項までの係数とモデルパラメータとの関係が、新規に導出された。また、高次項を成分分解し、その物理的意味とデバイス設計パラメータとの関係を初めて明らかにしている。

第 3 章では、20 nm 以下の MOSFET に対して、ソース・ドレイン直列抵抗の効果によるデバイス特性低下が論じられている。半導体技術ロードマップ (ITRS) で予測されたデバイスパラメータを用いて、Planar Bulk から UTB FD SOI、MG への構造変化によるデバイス特性低下が計算されている。まず、電源電圧に対するオーバードライブ電圧の割合が計算されている。その結果、この割合は年々低下しているが、構造が UTB FD SOI、さらには、MG と変化することにより、一時的に回復していることが示されている。次に、しきい値電圧の構造変化による効果を除き、ソース・ドレイン抵抗の効果だけを見るために、ソース・ドレイン抵抗の効果を含むオーバードライブ電圧の割合が計算されている。その結果、この割合の低下は構造変化による回復を示さず、ソース・ドレイン

抵抗によるデバイス特性劣化がデバイス設計において重要課題であることが明らかにされている。

第4章では、20 nm 以下の MOSFET に対して、ソース・ドレイン直列抵抗の効果によるドレイン電流の低下が論じられている。本研究で導出したソース・ドレイン直列抵抗の高次効果を含む解析モデルを用いて、ゲート長が 32 から 18 nm の Planar Bulk MOSFET に対して、飽和ドレイン電流、および、その低下率が計算されている。さらに、この低下率における高次項の割合、および、その成分分解が計算されている。その結果、ゲート長が短くなるに従って、飽和ドレイン電流は増加するが、ソース・ドレイン直列抵抗による低下率も増大していることが示されている。ゲート長の低下に従って、低下率に占める高次項の割合が増大していることが示され、高次効果を含む解析が重要であることが示唆されている。成分分解において、第1成分、すなわち、チャンネル抵抗に対するソース抵抗の割合が主成分であることが明らかにされ、デバイス設計への指針が示されている。

第5章では、20 nm 以下の MOSFET の構造変化に対して、ソース・ドレイン直列抵抗の効果によるドレイン電流の低下が論じられている。Bulk、SOI、MG MOSFET の構造において、HP、LOP、LSTP のデバイスタイプ別に、飽和ドレイン電流の低下率および成分分析が行われている。その結果、Bulk から SOI および MG への構造変化に関して、HP ではチャンネル抵抗に対するソース抵抗の割合が支配的であり、LOP では電源電圧に対するオーバードライブ電圧の割合が支配的であり、LSTP ではチャンネル抵抗に対するソース抵抗の割合および電源電圧に対するオーバードライブ電圧の割合の両者が支配的であることが示されている。

第6章では、各章で得られた結果をまとめ、本研究の結論を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本学位申請論文は、20 nm 以下の MOSFET のデバイス設計に対するソース・ドレイン直列抵抗の効果を含むドレイン電流解析モデルについて論じており、以下の3点が明らかにされた。

(i) ソース・ドレイン直列抵抗の高次効果を含むドレイン電流解析モデルを新規に導出した。高次効果として4次項までの係数とモデルパラメータとの関係を明らかにした。また、高次項の係数を成分分解し、その物理的意味とデバイス設計パラメータとの関係を初めて示した。この成果は、デバイスモデリングの観点から、ソース・ドレイン直列抵抗の高次効果を初めて扱ったモデルであり、その新規性と独創性が十分に評価される。

(ii) 本モデルを 20 nm 以下の Bulk MOSFET に適応し、ゲート長の低下に従って、ドレイン電流の低下率に占める高次項の割合が増大していることを示し、高次効果を含む解析が重要であることを明らかにした。また、成分分解により、チャンネル抵抗に対するソース抵抗の割合が低下率の主成分であることを示した。この成果は、デバイス解析の観点から、解析手法の独創性と応用技術の有用性が十分に評価される。

(iii) Bulk から SOI および MG への構造変化に関して、HP ではチャンネル抵抗に対するソース抵抗の割合、LOP では電源電圧に対するオーバードライブ電圧の割合、LSTP ではチャンネル抵抗に対するソース抵抗の割合および電源電圧に対するオーバードライブ電圧の割合の両者が支配的であることを示した。この成果は、デバイス設計の観点から、有用な設計指針を示しており、その応用価値は十分に評価される。

以上より、本研究の成果は、提案されたソース・ドレイン直列抵抗の高次効果を含むドレイン電流解析モデルの新規性およびデバイス開発・デバイス設計への有用性を示したもので、工学的観点からも十分に評価される。

本学位論文の基礎となった学術論文は下記の3件であり、そのいずれも審査のある論文誌に掲載さ

れた学術論文で、申請者が筆頭著者である。

- [1] 尹 鍾鐵, 中出 育成, 廣木 彰, 井上 史貴, 富山 賢司, 20nm MOSFET におけるソース・ドレイン抵抗の電気特性パラメータへの影響, 電気学会論文誌 C, Vol.131, No.11, pp.1833-1837 (2011)
- [2] JongChul Yoon, Akira Hiroki, and Kazutoshi Kobayashi, Higher-Order Effect of Source-Drain Series Resistance on Saturation Drain Current in Sub-20nm Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors, Japanese Journal of Applied Physics, 51, pp.111101-1 - 111101-5 (2012)
- [3] JongChul Yoon, Akira Hiroki, and Kazutoshi Kobayashi, Structural Dependence of Source-and-Drain Series Resistance on Saturation Drain Current for Sub-20 nm Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistors, Japanese Journal of Applied Physics, 52, pp.071302-1 - 071302-5 (2013)

以上の検討結果から、本論文の内容には十分な新規性と独創性および高い工学的価値があると認められ、本論文を博士論文として十分な内容を備えていると判定する。