

## 論文審査の要旨および学識確認結果

報告番号	甲 第 号	氏 名	坂井 秀男
論文審査担当者：	主査	慶應義塾大学准教授	博士（工学） 石黒 仁揮
	副査	慶應義塾大学教授	博士（工学） 黒田 忠広
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 内田 建
		慶應義塾大学准教授	博士（工学） 中野 誠彦
		慶應義塾大学教授	博士（工学） 松本 佳宣
(論文審査の要旨)			
<p>学士（工学）、修士（工学）坂井秀男君提出の学位請求論文は「FinFET の高周波回路用の素子特性評価と E 級電力増幅器設計への応用」と題し、5 章から構成されている。</p> <p>近年、大規模集積回路に使用される Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect-Transistor (MOSFET) の高速化や微細化、低電力動作に限界が生じ、20 nm 世代以降では新しいチャネル構造を持つトランジスタが必要とされている。3 次元チャネル構造を持つ Fin 型 FET (FinFET) は、高速動作、高集積化、漏れ電流対策に適しているとされ、商用のプロセッサに適用され始めている。しかし、FinFET で設計された回路はロジックやメモリが主であり、アナログ回路に対する適用例はまだ少数である。将来、デジタル回路だけでなく、無線通信部等のアナログ回路も FinFET で設計される可能性は高く、高周波アナログ回路へ FinFET を応用する研究の重要性が増している。</p> <p>本研究は、FinFET を使用したアナログ回路設計を通して、デバイス構造が回路性能に与える影響を評価し、FinFET の適した使用方法を提案することを目的としている。そのために、単体素子の特性を評価できる FinFET を試作し、アナログ回路設計で重要なパラメータとなる高周波特性、フリッカ雑音、デバイス寿命を決めるホットキャリア特性の測定を行っている。さらに、得られた素子特性に基づき、無線通信用送受信機で重要な回路ブロックである E 級電力増幅器の設計および高周波シミュレーションによる性能評価を行っている。</p> <p>第 1 章は序論であり、従来の集積回路で使われてきたプレーナ形 MOSFET が抱える問題点を指摘した上で、3 次元チャネル構造を持つ FinFET の近年の研究動向を述べている。</p> <p>第 2 章では、FinFET の特徴およびデバイスモデルが説明され、高精度特性評価のために本研究で実際に試作した FinFET の製造プロセスについて述べられている。</p> <p>第 3 章では、アナログ回路設計で必須となる FinFET の特性パラメータとして、高周波特性、フリッカ雑音特性、ホットキャリア特性の実測結果を提示し考察している。高周波特性評価では、新規に考案した校正パターンにより、3 次元構造を持つ FinFET の高精度な周波数特性の抽出を可能とした。フリッカ雑音特性に関しては、通常の Common-double-gate- (CDG-) FinFET の評価に加え、新規構造の Independent-double-gate- (IDG-) FinFET の評価を行い、両者の回路設計に与える影響を考察している。ホットキャリア特性評価では、ストレス印加時間による閾値電圧のシフトに関して、特にアナログ回路で重要となる FinFET の Fin 数依存性に着目して実測を行っている。総チャネル幅と閾値電圧シフト量の素子間バラツキの関係を明らかにし、第 4 章における電力増幅器の設計につなげている。</p> <p>第 4 章では、3 章で構築した高精度デバイスモデルを用いて、ギガヘルツ帯域で使用できる無線通信用の低電圧・高効率 E 級電力増幅器が設計されている。寄生容量および寄生抵抗が増幅器の性能に与える影響が論じられ、素子構造の最適化に関する議論がなされている。また、送信回路の中で最も消費電力が大きく、トランジスタに加わる電圧ストレスも大きい E 級電力増幅器の信頼性を検証するため、ホットキャリア特性の結果を用いた回路寿命に関する議論がなされている。</p> <p>第 5 章にて本研究を総括している。</p> <p>以上要するに、本研究は FinFET を用いたアナログ回路設計において必要となる、高精度素子特性評価およびその回路設計への応用を可能とするもので、工業上、工学上寄与するところが少なくない。よって、本論文の著者は博士（工学）の学位を受ける資格があるものと認める。</p>			
学識確認結果	<p>学位請求論文を中心にして関連学術について上記審査会委員および総合デザイン工学特別研究第 2（スマートデバイス・システム工学専修）科目担当者で試問を行い、当該学術に関し広く深い学識を有することを確認した。</p> <p>また、語学（英語）についても十分な学力を有することを確認した。</p>		