

## 審査の結果の要旨

氏名 武田 清大

本論文は「A Study on Low Power VLSI Design Using Fine Grained Leakage Control」と題し、6つの章から構成されている。半導体技術の微細化に伴い、スイッチング動作を伴わなくても回路が消費するリーク電力の増加がVLSIの設計において深刻な問題となっている。システムが待機状態にある時はVLSI全体をリーク電力の小さいスリープ状態にする手法が広く利用されているが、さらなるリーク電力の増加にともない、動作時においてもVLSIの非動作部を検出し、スリープ制御を細粒度化することでリーク電力をさらに削減する手法が求められている。しかし、スリープ制御の細粒度化には、リーク制御回路の追加による回路面積の増加、スリープ制御時のオーバーヘッドによる電力削減効率の低下、という問題がある。本論文では、スリープ状態を実現する回路技術としてパワーゲーティング回路と基板バイアス回路に焦点を当て、面積増加の最小化手法、および複数のスリープモードを用いたスリープ制御の最適化により電力削減効率を向上する手法を提案することで、従来の問題を解決している。

第1章「Introduction」では、本論文の背景と目的、および本論文の構成を述べている。近年のリーク電力の増加に起因した、動作時におけるリーク電力削減に対する要求、およびスリープ制御の細粒度化による動作時リーク電力の削減の可能性について述べるとともに、制御の細粒度化を実現するための課題を論じている。

第2章「Fine Grained Leakage Control」では、本論文で検討するリーク電力制御回路技術であるパワーゲーティング回路と基板バイアス回路の動作原理を説明した後、これらの回路技術において制御単位を細粒度化した際に発生する2つの問題、つまり、リーク制御技術の適用による回路面積の増加問題、および、スリープ制御にともなうエネルギーオーバーヘッドがもたらすリーク電力削減効率の低下問題の詳細を述べている。また、オーバーヘッドの削減を目的とした従来手法である、複数スリープモードを用いたスリープ制御法の問題点についても述べている。

第3章「**Sleep Transistor Optimization for Power Gating**」では、パワーゲーティング回路における面積増加を抑制するために、回路遅延制約を満たす最小のスリープトランジスタサイズを求める手法を提案している。この手法は、入力ベクトルを考慮した放電タイミングと非線形放電特性とを用いた遅延時間解析法、および、その遅延解析を反復的に用いたサイズ決定法からなる。**ISCAS'85** ベンチマーク回路の設計に提案手法を適用する評価実験を行ったところ、提案手法では遅延制約を満たしたうえで従来法に比べて面積を削減できることが分かり、提案するスリープトランジスタサイズ決定手法の有効性を明らかにしている。

第4章「**Static Sleep Depth Control considering Temporal Activity**」では、従来の複数スリープモードを用いたスリープ制御法の問題点であるモード追加によるオーバヘッド削減のために、追加モード数を1つに限定し、アプリケーションに応じてスリープ深度を制御する **Static Sleep Depth Control** を提案している。パワーゲーティング回路と基板バイアス回路をそれぞれ用いて **32-bit Parallel Prefix Adder** を設計し、提案手法を適用して **SPEC2006** ベンチマークにある複数アプリケーションを実行した場合のリーク削減効率を評価した。その結果、アプリケーションごとに適切なスリープ深度を選択することで追加モード数を1つに限定しても従来法と同程度のリーク削減効率を達成できることを明らかにしている。

第5章「**Stepwise Sleep Depth Control**」では、リーク電力削減効率の高いスリープモードを適用する制御法として、非動作状態の経過時間に応じて段階的に深いスリープモードを適用する **Stepwise Sleep Depth Control** 手法、および、提案手法の制御パラメータをアプリケーションの特徴に合わせて最適化する手法を提案している。4章と同様の評価環境で提案手法によるリーク削減効率を評価し、段階的に深いスリープモードを適用することで、単一スリープモードを用いた場合には削減できない短いアイドル時間のリーク電力も削減できることを明らかにしている。

第6章「**Conclusion**」では、以上の成果を要約している。

以上を要するに、本論文は **VLSI** におけるリーク電力の削減を目的とし、細粒度なリーク制御の実現における課題を解決する回路設計およびリーク制御最適化手法を提案しその有効性を明らかにしたもので、非常に意義がある研究であり、その成果は工学的に貢献するところが大きいと考えられる。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。