

## 審査の結果の要旨

論文提出者氏名 名倉 徹

本論文は「A Study on Power Line Noise Reduction in Large Scale Integration (半導体集積回路における電源ノイズ低減に関する研究)」と題し英文で記述されており、大規模集積回路 (LSI) の微細化、高密度化にともない深刻化しつつあるオンチップ電源線雑音の低減手法について研究したもので、六章より構成されている。

第一章は Introduction(序論)であり研究の背景と目的を述べている。LSI の微細化のロードマップを用いて、電源電圧の低下、電源電流の増加、動作速度の高速化等により、抵抗による電圧降下とともにインダクタンス成分による電源雑音がますます深刻化しつつあることを述べ、本研究では電源電流の時間変化率 ( $di/dt$ ) の低減を主眼にしている理由を述べるとともに、本論文の構成について述べている。

第二章は「Comparison of Stubs and Decoupling Capacitance for Noise Reduction (電源雑音低減効果に対するスタブとデカップリング容量との比較検討)」と題し、LSI チップ上の電源雑音低減に対してスタブ構造と通常のデカップリング容量構造との面積効率の理論的比較検討を行っている。クロック周波数に対して4分の1波長の長さを持つスタブの等価回路モデルを用いて、抵抗ロスを考慮したインピーダンス特性を理論的に求め、数値解析を用いてスタブの性能を通常のデカップリング容量と比較している。回路シミュレーションを用いてモデル LSI 回路の雑音低減に適用した場合の効果について両者を評価した結果、将来のより高速動作に適用するほどスタブが雑音低減効果において優れていることを示している。

第三章は「Experiments for Power Supply Noise Reduction using Stubs (スタブを用いた電源雑音低減実験)」と題し、オンチップおよびオンボードにおいてスタブを用いて電源雑音の低減実験を行った結果について述べている。オンチップスタブ試験のために試作したテストチップの構成、テスト回路構成、実験結果とともに、オンボードにオフチップスタブを配した場合の電源雑音の低減実験についても述べ、雑音スペクトルの特徴、雑音振幅の動作周波数特性、低周波雑音成分等について実験結果を分析している。分析評価した結果より、第二章に予測したように、現在の LSI においてオンチップスタブはデカップリング容量に比較して優位とはならないが、オフチップスタブの解析結果を総合すると将来においてスタブが相対的に優位となることを実験的に示している。

第四章は「An On-chip  $di/dt$  Detector for Power Supply (電源用オンチップ  $di/dt$  検出回路)」と題し、チップ上で電源電流の時間変化率 ( $di/dt$ ) を直接検出するための回路について提案している。回路の基本構成を述べた後、回路構成要素である相互インダクタ、増幅回路、出力バッファについて述べ、解析モデルを用いた設計手順について説明している。テストチップを試作評価した結果、本検出回路が予想通りの動作をすることを確認するとともに、その改善のための指針についての述べている。さらに本検出回路を利用して、LSI チップの発生する電磁雑音を一定値以下に保つよう LSI チップの動作モードを制御するための負帰還回路方式についても提案・評価している。

第五章は「Feedforward Active Substrate Noise Canceling Technique using Power Supply  $di/dt$  Detector (電源  $di/dt$  検出回路を利用した基板雑音のフィードフォワード能動キャンセル技術)」と題し、第四章で提案した電源電流の時間変化率検出回路を用いて LSI チップの基板雑音を能動的に相殺す

るフィードフォワード回路方式について提案している。基板雑音を能動的に相殺するための回路方式の基本構成について述べた後、実験的検証のためのテストチップの構成とテストチップを用いて行った実験結果を述べている。実験結果から、本フィードフォワード方式によって約30%の基板雑音低減が達成されたこと、さらにフィードフォワード回路の位相特性とゲインを最適化することで50%以上の基板雑音の低減が可能であることを示している。

第六章は「Conclusions（結論）」であり本論文の研究成果をまとめている。

以上、本論文は大規模集積回路の電源雑音および基板雑音を低減するための方法として、スタブを用いた受動回路方式と、電流変化率検出回路を用いたフィードフォワード能動回路方式を提案し、テストチップを用いた実証実験によりその有効性を示したもので電子工学の発展に寄与する点が少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格したものと認められる。