

氏名 井上 万輝

主論文審査の要旨

《本文》

半導体製造技術の微細化に伴う NRE (Non-Recurring Expense, 開発費) 高騰により、高付加価値の製品を低コストで開発する LSI 設計の仕組みが必須となっている。その解決策として、SoC (System on a Chip) 上にリコンフィギャラブルロジックを搭載するプログラマブル SoC に期待が寄せられている。しかしながら、プログラマブル SoC 向けリコンフィギャラブルロジックには、性能、テスト効率、信頼性に関して克服すべき課題がある。本論文では、これら 3 つの課題を個々または相互に解決する手段を提示するとともに、これら解決策の関係性について論じている。

本論文は全 6 章から構成されている。

第 1 章では、本論文の研究背景と目的が述べられている。

第 2 章では、最も一般的なアイランドスタイル型 FPGA について説明する。そして、従来の FPGA の問題点を明確にし、またそれらの関係性を述べた後、本論文の主旨を以下のように位置づけている。

- ・粒度可変論理セル向け配線構造の提案
- ・テスト容易化配線構造の開発とそのテスト手法の提案
- ・故障検出手法と故障回避手法の開発

第 3 章では、FPGA の性能改善を目的に、粒度可変論理セル (VGLC) をベースとした配線構造の提案している。VGLC は算術演算と論理演算の両方を効率よく実装できる論理セルである。そして、この VGLC に適した配線構造を新たに開発することで、FPGA の性能改善を図っている。具体的には、VGLC と外部配線間のインターフェースとして LCB (Local Connection Block) を実装し、そのアーキテクチャについて検討している。提案 LCB 構造に対するベンチマーク実装評価の結果、VGLC ベースの FPGA に対して LCB を実装することで平均 4%面積を削減することができ、LCB の有効性を確認している。

第 4 章では、FPGA のテスト効率改善を目的とし、テスト容易化配線構造の開発とそれに対するテスト手法を提案している。従来の FPGA 構造は非常に複雑な構造をしているためテストが困難であったが、提案する配線構造は規則的で非常にシンプルな構造をしているためテストが容易となる。加えてその規則的な構造に着目したテスト手法を導入し、実際にテストを行い評価したところ、わずか 5 回のコンフィギュレーションで外部配線部分のテスト網羅率 100%を達成することができ、配線構造の規則性とそれに合わせたテスト手法の効果を実証している。

第 5 章では、ハードエラーに対する高信頼化を目的とし、故障検出手法と故障回避手法を提案している。故障検出は前章で提案したテスト手法をベースとし、故障検出精度を改善するためにいくつかのテストパターンを追加している。また、故障回避で CAD ツールによる回避とアーキテクチャによる回避の 2 通りの方法を検討している。故障

検出の評価を行い、最良条件の場合わずか6回のコンフィギュレーションで故障位置を正確に判別できている。また、CAD ツールを用いて故障を回避した場合は遅延値の低下がほとんど見られないことを確認する一方、アーキテクチャによる回避では性能劣化が見られたものの、数サイクルでの故障回避が可能であることを示している。

最後に、本論文で得られた研究成果を第6章で総括し、冒頭で掲げた3つの課題を同時に満たすことができることを明らかにする。

以上のように、本論文の内容は、プログラマブル SoC 向けリコンフィギュラブルロジックに関する新たな技術を提案し、その有効性を実証しており、工学的に価値が高いものと判断される。また、これらの研究成果の主要部は、審査付き学術雑誌論文 4 編、審査付き国際会議論文 8 編として公表されている。よって本審査委員会は、本論文が博士（工学）の学位授与に値する論文であると判断した。

【学位審査報告書の3、論文審査の結果の要旨のみを記入】

審査委員会は、学位論文提出者に対して当該論文の内容ならびに関連分野の事項について試問を行った。その結果、学位論文提出者は、当該の研究分野及び関連分野について十分な知識と理解力を示し、研究遂行能力を有していると判断した。また、外国語に関しては、論文業績の中で 6 編の国際会議での発表が示されており、十分なレベルの能力があると認めた。本論文は専攻の学位審査基準を満たしており、以上の結果に基づいて、審査委員会は最終試験を合格と判定した。

| | | | | |
|------|------------|-------------|-----|----------|
| 審査委員 | 情報電気電子工学専攻 | 先端情報通信工学講座 | 教授 | 氏名 末吉 敏則 |
| 審査委員 | 情報電気電子工学専攻 | 先端情報通信工学講座 | 教授 | 氏名 趙 華安 |
| 審査委員 | 情報電気電子工学専攻 | 機能創成エネルギー講座 | 教授 | 氏名 中村 有水 |
| 審査委員 | 情報電気電子工学専攻 | 先端情報通信工学講座 | 准教授 | 氏名 飯田 全広 |
| 審査委員 | 情報電気電子工学専攻 | 先端情報通信工学講座 | 准教授 | 氏名 久我 守弘 |