

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2008～2010

課題番号：20500051

研究課題名（和文） 故障励起関数に基づく欠陥検出向きテスト生成法に関する研究

研究課題名（英文） Defect-oriented test generation based on fault excitation functions

研究代表者

高橋 寛 (HIROSHI TAKAHASHI)

愛媛大学・理工学研究科・教授

研究者番号：80226878

研究成果の概要（和文）：

ディープサブミクロンプロセスで製造された高性能LSIに対して、テストコストを低減でき、かつ、多様な欠陥に対して有効なテストCADツールの開発が求められている。本研究では、縮退故障、ブリッジ故障、完全オープン故障、遷移故障、抵抗性ブリッジ故障、および抵抗性オープン故障に対する故障励起関数を提案した。次に、故障励起関数に基づく欠陥検出向けテスト生成法および故障診断法をそれぞれ提案した。ISCAS ベンチマーク回路に対する評価実験結果から、従来法に対して良好な検出率および良好な診断分解能が得られることを示した。

研究成果の概要（英文）：

Under the high-performance LSI fabricated with deep submicron technology, the development of test-CAD tools is necessary to reduce the test cost and to improve the quality for various defects. In this study, we propose fault excitation functions for stuck-at fault, bridging faults, complete disconnected open faults, transition faults, resistive bridging faults, and resistive open faults. We also propose a defect-oriented test generation method based on the fault excitation functions and a fault diagnosis method by using the fault excitation functions. The experimental results for ISCAS benchmark circuits demonstrated that the proposed methods can achieve the better fault coverage and the smaller diagnostic resolutions compared with the existing methods.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	1,000,000	300,000	1,300,000
2010年度	1,000,000	300,000	1,300,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・計算機システム・ネットワーク

キーワード：ディペンダブルコンピューティング，ブリッジ故障，オープン故障，
欠陥検出向きテスト

1. 研究開始当初の背景

次世代の携帯電話や家庭用デジタル機器に搭載される高性能LSIのディープサブミクロン設計では，設計期間に比べて，故障検査（被検査回路の故障の有無を判定することおよび被検査回路の故障の位置を指摘すること）にかかる時間的，費用的なコストが大幅に増加する．これらの高性能LSIに対する信頼性確保のためのテストコストの増大が極めて深刻な問題となっている．特に，微細化にともなって，これまで研究が進められていた縮退故障モデル（信号線の論理値が0または1に固定する故障）だけではなく，ブリッジ故障モデル（2本の信号線が抵抗性の結合をする故障），オープン故障モデル（信号線が断線する故障）などの多様な欠陥に対する故障検査法の開発が強く望まれていた．

2. 研究の目的

次世代の高性能LSIのディープサブミクロン設計においては，テストコストを低減でき，かつ，多様な欠陥に対して正確に検査するテストCADツールが必要不可欠となっている．そこで，本研究では，テスト記憶容量およびテスト印加時間等のテスト装置の制限がある中で，各種故障モデル（縮退故障モデル，ブリッジ故障モデルおよびオープン故障モデル）を高効率・高確率で検出できる「故障励起関数に基づく故障検査法」の開発を目的としている．

（1）静的な故障に対する欠陥検出テストのためのテストパターン選択法：論理反転を起こす欠陥として縮退故障，完全オープン故障，およびブリッジ故障に対する故障励起関数

を提案し，評価尺度に基づくテストパターン選択法を提案する．既存のN回検出テスト集合と同じテストパターン数で，より多くの完全オープン故障およびブリッジ故障を検出できる欠陥検出向けテスト集合を生成できることが期待された．

（2）動的な故障に対する欠陥検出テストのためのテストパターン選択法：遅延変動を起こす欠陥として遷移故障，抵抗性ブリッジ故障，および抵抗性オープン故障に対する故障励起関数を提案し，評価尺度に基づくテストパターン選択法を提案する．既存のN回検出テスト集合と同じテストパターン数で，より多くの抵抗性オープン故障および抵抗性ブリッジ故障を検出できる欠陥検出向けテスト集合を生成できることが期待された．

（3）故障励起関数を利用した故障診断法を提案する．提案法によって，既存の微小遅延故障診断法の診断分解能と比べてより小さな診断分解能を得られることが期待された．

3. 研究の方法

（1）静的な故障に対する欠陥検出テストのためのテストパターン選択法：これまでに，欠陥検出を目的とするテスト生成法としては，多重検出テスト集合（N回検出テスト集合）が提案されている．N回検出テスト集合は，個々の単一縮退故障に対して異なるN個のテストパターンが生成されている．N回検出テスト集合が欠陥に対して有効であると考えられている理由は，ある信号線の縮退故障に対して複数個のテストパターンを生成することによって，その信号線に関連するブリッジ故障などが偶然検出されることであ

る。しかしながら、検出回数 N の値が増加すれば、それに伴ってテストパターン数は増加する傾向にあるが、検出回数 N の値が増加するに伴って必ずしも欠陥検出率が向上することは保証されない。

そこで、本研究では、欠陥によって生じた論理反転（静的な故障）に対する欠陥検出テストのためのテストパターン選択法を提案する。本研究で扱う故障モデルは、縮退故障、ブリッジ故障、および完全オープン故障である。

まず、各々の故障モデルに対する故障励起条件を考慮したテストパターンの評価を行うために故障励起関数、および故障励起関数に従ってテストパターンに対して欠陥検出確率を計算する手法を提案した。次に、テストパターン毎に計算された欠陥検出確率に基づいて、与えられたテストパターン集合からより多くの故障モデルを検出可能なテストパターンを選択する手法を提案した。

(2) 動的な故障に対する欠陥検出テストのためのテストパターン選択法：微小な遅延故障を生じる欠陥としては、抵抗性オープン故障および抵抗性ブリッジ故障などの動的な故障が考えられる。これらの動的な故障は、故障信号線とその隣接信号線間の信号変化の極性が故障励起に影響を与える。

そこで、これまでに提案されたパターン選択法においては陽に考慮されていなかった故障の励起条件を考慮した故障励起関数を新たに導入し、抵抗性オープン故障および抵抗性ブリッジ故障に対する欠陥検出テストを高精度化できるテストパターン選択法を提案した。具体的には以下の手法を提案した。

①抵抗性オープン故障および抵抗性ブリッジ故障に対する故障励起関数を新たに導入し、故障励起関数に基づくメトリック（故障励起率）を提案した。

②テストパターンによって活性化された故障信号線を含む経路長を評価する活性化経路評価関数に基づくメトリック（活性化平均経路長）を提案した。

③故障励起率および活性化平均経路長に基づくメトリック（欠陥検出確率）に基づいてテストパターンを選択する手法を提案した。

提案法の概要を図1に示す。入力情報は、既存の N 回検出テスト集合、回路情報、および欠陥検出テスト集合のテストパターン数の上限である。出力情報は、提案法によって既存の N 回検出テスト集合から選択された欠陥検出テスト向きテスト集合である。

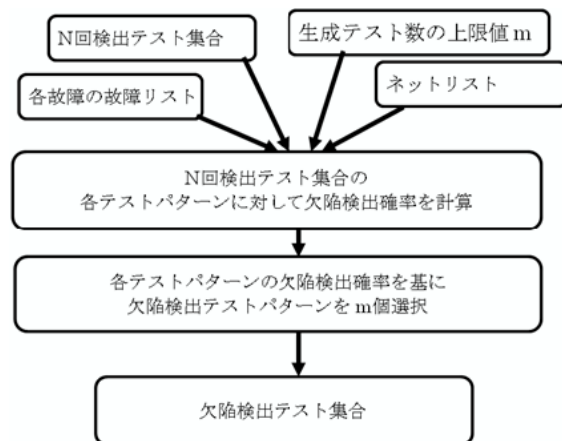


図1 提案法の概要

(3) 故障励起関数を利用した故障診断法：配線の微細化に伴って、抵抗性オープン故障によって生じた微小な遅延故障が問題となっている。抵抗性オープン故障は2パターンテストによって検出可能であるが、故障の影響による遅延変動は微小であるため、従来の遷移故障診断法は適用できない。

そこで、本研究では、テストパターンによって検出可能な最小付加遅延を考慮した診断用遅延故障シミュレーションを利用した故障診断法を提案した。診断用遅延故障シミュレーションでは、最終変化時刻を考慮した演算を行うことでタイミングを考慮した遅

延故障シミュレーションを行っている。さらに、抵抗性オープン故障に対する故障励起関数を導入することによって、故障候補を削減する故障診断法を提案した。

4. 研究成果

(1) 成果（静的な故障に対する欠陥検出テストのためのテストパターン選択法）：静的な故障（縮退故障，ブリッジ故障，完全オープン故障）を統一的に扱うことができる故障励起関数に基づく欠陥検出確率を提案し，テストパターン毎に静的故障に対する有効性を評価できるようになった。さらに，欠陥検出確率を利用したテストパターン選択法をテストCADツールとしてコンピュータ上に実装し，米国電気電子学会(IEEE)で認定されているベンチマーク回路に適用した評価実験を行った。評価実験から，提案手法によって，既存の10回検出テストパターン集合と同じテスト数で，より多くの欠陥を検出する欠陥検出テスト集合を生成できることを示した。

(2) 成果（動的な故障に対する欠陥検出テストのためのテストパターン選択法）：動的な故障（縮退故障，抵抗性ブリッジ故障，抵抗性オープン故障）を統一的に扱うことができる故障励起関数および活性化経路評価関数に基づく欠陥検出確率を提案し，テストパターン毎に動的故障に対する有効性を評価できるようになった。さらに，欠陥検出確率を利用したテストパターン選択法をテストCADツールとしてコンピュータ上に実装した。評価実験から，提案手法によって，既存の2回検出テスト集合と同じテスト数で，タイミング不良の原因となる故障をより多く検出する欠陥検出テスト集合を生成できることを示した。c2670回路において，抵抗性ブリッジ故障および抵抗性オープン故障によって生じる付加遅延量を変動させて，それぞれ

のテスト集合に対する故障検出率を求めた結果を図2および図3にそれぞれ示している。図から，提案法で選択された欠陥検出テスト集合は，テストパターン数が同数の2回検出テスト集合に比べて，より多くの微小な遅延故障を検出可能であることがわかる。また，抵抗性ブリッジ故障に対しては，12回検出テスト集合の3分の1のテストパターン数によってほぼ同等の抵抗性ブリッジ故障検出率を得ている。

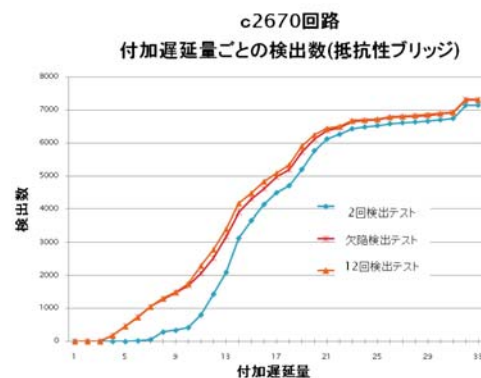


図2 抵抗性ブリッジ故障検出数の変化

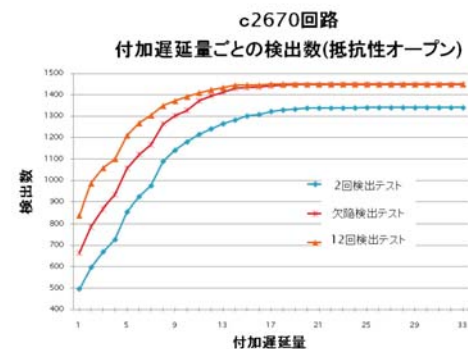


図3 抵抗性オープン故障検出数の変化

(3) 成果（故障励起関数を利用した故障診断法）：故障励起関数を利用した抵抗性オープン故障診断法をテストCADツールとしてコンピュータ上に実装した。抵抗性オープン故障回路に対する故障診断結果は，既存の微小遅延故障に対する故障診断法に比べて故障候補数を減少することができた。提案法では，

故障励起関数を利用することによって、短い処理時間で、より小さな診断分解能を得ることができる。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 2 件)

①古谷博司, 酒井孝郎, 樋上喜信, 高橋 寛, “欠陥検出テストのためのテストパターン選択”, 電子情報通信学会技術研究報告(DC), vol. 110, no. 413, pp. 45-50, 2011 査読無

②Hiroshi Takahashi, Yoshinobu Higami, Yuzo Takamatsu, Koji Yamazaki, Toshiyuki Tsutsumi, Hiroyuki Yotsuyanagi, Masaki Hashizume,

“A Method for Diagnosing Resistive Open Faults with Considering Adjacent Lines”, Proc. IEEE 10th International Symposium on Communications and Information Technologies, pp. 609-614, 2010 査読有

[学会発表] (計 7 件)

① 高橋 寛, 樋上喜信, 酒井孝郎, “活性化経路評価関数に基づくパターン選択”, 平成 23 年度電子情報通信学会総合大会, p. 122, 2011 年 3 月 16 日, 東京都市大学

②高橋 寛, 樋上喜信, 古谷博司, “欠陥検出確率を利用した 2 パターンテスト生成法”, 平成 22 年度電気関係学会四国支部連合大会, p. 90, 2010 年 9 月 25 日, 愛媛大学

③高橋 寛, 樋上喜信, 酒井孝郎, “伝播経路評価関数を利用したテストパターン選択法”, 平成 22 年度電気関係学会四国支部連合大会, p. 89, 2010 年 9 月 25 日, 愛媛大学

④高橋 寛, 樋上喜信, 大野智志, 山岡弘典, “LOC テストに対応したブリッジ故障シミュレータの高精度化”, 平成 22 年度電気関係学会四国支部連合大会, p. 103, 2010 年 9 月 25

日, 愛媛大学

⑤高橋 寛, 樋上喜信, 大野智志, 山岡弘典, “LOC テストに対応したブリッジ故障シミュレータ”, 平成 21 年度電気関係学会四国支部連合大会, p. 126, 2009 年 9 月 26 日, 愛媛大学

⑥高橋 寛, 樋上喜信, 古谷博司, “欠陥考慮 2 パターンテストについて”, 平成 21 年度電気関係学会四国支部連合大会, p. 121, 2009 年 9 月 26 日, 愛媛大学

⑦ 高橋 寛, 樋上喜信, 和泉太佑, 相京隆, 高松雄三, “欠陥検出向けテストパターンの一選択法”, 平成 20 年度電気関係学会四国支部連合大会, p. 133, 2008 年 9 月 27 日, 徳島大学

[その他]

ホームページ等

<http://larissa.cs.ehime-u.ac.jp/~takamatu/site1/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

高橋 寛 (HIROSHI TAKAHASHI)

愛媛大学・大学院理工学研究科・教授

研究者番号 : 80226878

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし