

Title	全可観測な環境での論理回路のテスト容易化設計に関する研究
Author(s)	温, 暁青
Citation	大阪大学, 1993, 博士論文
Version Type	VoR
URL	<a href="https://doi.org/10.11501/3065910">https://doi.org/10.11501/3065910</a>
rights	
Note	

*Osaka University Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	おん 温 ぎょう 暁 せい 青
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 10739 号
学位授与年月日	平成5年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当 工学研究科応用物理学専攻
学位論文名	全可観測な環境での論理回路のテスト容易化設計に関する研究
論文審査委員	(主査) 教授 樹下 行三  (副査) 教授 一岡 芳樹 教授 豊田 順一 教授 増原 宏 教授 志水 隆一 教授 中島 信一 教授 興地 斐男 教授 後藤 誠一 教授 岩崎 裕 教授 山本 稔

### 論文内容の要旨

集積回路の高信頼化において、回路の故障検査および故障診断は、重要な役割を果たしており、大規模回路に対しても迅速かつ効率的な故障検査および診断手法の確立が強く望まれている。本論文は、回路内のすべてのゲートの出力線が観測できる環境における、テスト容易化論理回路の構成法とそのテスト手法についての研究成果をまとめたものであり、9章から構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的について述べている。

第2章では、本研究で対象とする論理回路の基本概念、および論理回路のテスト手法とテスト容易設計法について述べている。

第3章では、全可観測な環境を実現する電子ビームプロービング技術と、全可観測な環境におけるテスト容易化設計の必要性について述べている。

第4章では、全可観測な環境でのテスト容易な組合せ回路である $k$ -UCP回路の概念と故障検査について述べている。 $k$ -UCP回路は否定ゲートと $k$ 入力の基本論理ゲートで構成される。 $k$ -UCP回路においては、長さ $k+1$ のテスト系列ですべての縮退故障を検出ことができ、長さ $k(k+1)+1$ のテスト系列ですべてのスタック・オープン故障を検出することができる。さらに $k$ -UCP回路の拡張として、 $k$ -R回路を提案している。

第5章では、組合せ回路を $k$ -UCP回路に変換する手法について述べている。この変換において付加ゲート数を最小にすることはNP完全問題なので、本論文ではヒュリスティックな手法を用いてその解決を試みている。ベンチマーク回路による実験結果により、 $k$ 入力NANDまたはNORゲートからなる回路を $k$ -UCP回路に変換するためのオーバーヘッドが少ないことを示している。

第6章では、全可観測な環境での順序回路のテスト容易化設計として、 $k$ -UCP順序回路および $k$ -UCPスキャン回路を提案している。いずれの型の順序回路においても、その組合せ回路部分は $k$ -UCP回路として実現されている。しかし、通常の順序回路においては、 $k$ -UCP回路に変換された組合せ回路部分に矛盾なく所要のテストベクトルを繰り返し印加することは一般に困難であり、場合によっては不可能になる。 $k$ -UCP順序回路においては、回路内のフリップ・フロップの入力側にゲートを挿入することにより、また $k$ -UCPスキャン回路においてはスキャンパスの作り方を工夫することにより、組合せ回路部分に対するテストベクトルの繰り返し印加を可能にしている。それぞれの回路においては、長さ $3(k+1)$ および $k+1$ のテスト系列ですべての縮退故障がテストできることを示している。

第7章では、テスト容易な順序回路への変換方法について述べている。スキャンパスを持ち、かつ、組合せ回路部分が $k$ 入力NANDまたはNORゲートのみを含む順序回路を $k$ -UCP スキャン回路に変換する実験をベンチマーク回路を用いて行い、その結果少ないオーバーヘッドで変換出来ることを示している。

第8章では、まず $k$ -UCP回路をCMOSで実現するものとして、そのスタック・オープン故障の診断手法について考察している。 $k$ -UCP回路にテスト系列を印加するとき、故障ゲートの出力線および他のいくつかの信号線に異常系列が現われる。これらの異常系列の位置と基本系列と異なる異常系列のビットの位置を用いて故障診断を行う手法を示している。また、一般の論理回路の故障診断にも適用できる電子ビームテストに基づくガイドド・プローブ法による2段階の故障診断法を提案している。第1段階では、最上位層にある信号線のみを観測点の候補とし、高速な観測点決定手法を用いて被疑部分回路を効率よく絞り込む。第2段階では、下位層にある信号線をコストの高いフォークスドイオンビームで露出させる必要があるので、平均観測回数が最小となる観測点決定手法を提案し、その結果回路全体の故障診断を効率よく行うことができることを示している。

第9章では、本研究のまとめと今後の課題について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

集積回路の普及と共に開発期間の短縮および高信頼化への要求が高まっているが、回路の大規模化と高機能化は、故障検査および故障診断を困難にしている。この一つの原因は、観測点が外部出力端子のみであり、少ない観測点から多くの素子を持つ内部状態を推測しなければならない所にある。集積回路の内部を直接観測する手法として、電子ビームテストなどを用いる手法が知られている。そのためには、短いテスト系列を用いることが要求されている。本論文でいう全可観測な環境とは、論理回路のすべてのゲート素子の出力が観測可能であることを意味しており、電子ビームテストなどを用いることをモデル化したものである。

本論文は、このような全可観測な環境という背景のもとに、論理回路の故障検査および故障診断手法について理論的な検討を行ったものであり、そのテスト容易化設計法とともに、容易化設計された回路に対する故障検査および故障診断手法についてまとめたものであり、その主な成果を要約すると次のとおりである。

- (1)  $k$ -UCP回路なる概念を定義し、全可観測な環境で故障検査及び故障診断容易な新しい論理回路のクラスを提案している。
- (2) 組合せ回路においては、 $k$ -UCP回路は最短長のテスト系列を与える回路となることが証明され、縮退故障に対してはテスト系列の長さは、 $k+1$ である。スタック・オープン故障に対しては、長さ $k(k+1)$ のテスト系列が与えられている。
- (3) 順序回路については、縮退故障を対象に、スキャンパスを持つものと、そうでない一般的な場合の2通りについてテスト容易化設計手法を提案し、そのテスト系列は最短ではないが、それに十分近いものが得られることが示されている。
- (4) ベンチマーク回路を用いてテスト容易化設計に関する本手法を適用して設計することにより生ずる付加ゲートを評価している。一般の回路に対しては必ずしも少ない付加ゲート数ではないが、ASICでよく用いられるゲートアレー論理回路のようにファンインの等しい回路に対しては数パーセント程度の付加ゲートになることが示されており、その実用性は高い。
- (5) 全可観測な環境での、組合せ回路の故障診断手法が示されており、故障診断のために必要な観測回数は対象観測点数の対数に比例する大きさでよいことが、実験的に示されており、大規模回路に対しても故障診断が可能であることを示している。

以上のように、本論文は、全可観測な環境におけるテスト容易な論理回路の特徴、性質および構成法とそれに対するテスト手法について論じたものであり、集積回路の高信頼化技術として、応用物理学、特に計算機工学、集積回路工学に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。