

R-24-RS-01

平成24年度

故障物理研究委員会研究成果報告書

— パワー半導体信頼性、ばらつきと信頼性
及び中性子線ソフトエラー —

平成25年3月

一般財団法人 日本電子部品信頼性センター

序 文

3年で4倍の高集積化が達成されるという微細化技術進展のムーアの法則が維持される（More Moore）一方、3次元デバイス等の微細化技術以外とは異なる視点（More Than Moore）での高集積化が進んでいます。また、省電力の要請に伴う、変換効率の高いSi以外のパワー半導体の開発が進展しています。

このような技術により開発された半導体の信頼性を確保するためには、半導体の設計・製造プロセスの開発段階で信頼性を作り込むことが重要となっています。そのためには、各種故障モード及び故障メカニズムを解明し、早急に対策を立てていく必要があります。半導体故障物理の研究が益々重要視されるようになってまいりました。

このような背景において、当センターでは、かねてより半導体メーカー、研究所、大学などから故障物理の専門家にお集まりいただき、研究会を組織して、最新半導体デバイスで問題となる信頼性問題について調査・研究を進めてまいりました。

本年は、これまでの調査の継続として最先端 CMOS LSI で注目されている「ばらつきと信頼性問題」について、ばらつきの要因や信頼性への影響に注目し、調査研究を行いまとめました。また、CMOS の微細化に伴い問題視されている「中性子線による CMOS LSI のソフトエラー」についての調査研究を行いまとめています。さらに、最近注目されている「パワー半導体の信頼性」についても、はじめて委員会で取り上げ、検討を進めその中間報告をまとめています。本報告書が広く関係方面のご参考になり、活用されることを期待致します。

なお、本事業の遂行に当たり、「故障物理研究委員会」の木村 忠正委員長を始め、委員の皆様のご多大なご尽力に対し、深謝致します。

平成25年3月

一般財団法人 日本電子部品信頼性センター
理事長 斎藤 昇三

平成 24 年度故障物理研究委員会成果報告書

目 次

序文

平成 24 年度故障物理研究委員会委員構成表

まえがき	1
I ばらつきと信頼性問題	
1. LSI のばらつきと信頼性 (概論).....	2
1.1 序	2
1.2 ばらつきの要因と分類	3
1.3 ランダムドーパント変動(RDF)による閾値電圧ばらつき	6
1.4 配線の電氣的パラメータのばらつき.....	7
1.5 あとがき.....	8
II ソフトエラーの歴史と最近の発見	
1. はじめに	10
2. ソフトエラーの歴史	10
3. ソフトエラー発生機構.....	11
3.1 重粒子線侵入による電荷発生、収集機構.....	11
3.2 中性子線による電荷発生機構	12
3.2.1 高エネルギー中性子線による電荷発生機構	13
3.2.2 熱中性子線による電荷発生機構	14
4. ソフトエラー発生メカニズム.....	15
4.1 DRAM のソフトエラー	15
4.2 SRAM のソフトエラー	15
4.3 ロジック系	16
5. 測定方法	17
5.1 重粒子による SEU の場合	17
5.2 中性線ソフトエラーの評価.....	19
5.2.1 高エネルギー中性子線	19
5.2.2 熱中性子線	20
6. デバイスのソフトエラーのトレンド.....	20
6.1 DRAM と SRAM.....	20
6.2 フラッシュメモリ	22
6.3 ロジック	23
7. 熱中性子線の影響	23
8. 実動作(フィールド)試験	27
8.1 IBM のフィールド実験	27
8.2 Cypress 社のフィールド実験	28
8.3 富士通のフィールド試験.....	29
8.4 ソニーのフィールド実験	30
8.5 フランス(マルセール大学)の実験.....	30

8.6	インテルの実験	31
8.6.1	実験	31
8.6.2	実験結果	32
9.	まとめ	34
III パワー半導体の信頼性		
III-1	GaN 系パワー半導体の信頼性	36
1.	はじめに	36
1.1	GaN 系が注目される背景	36
1.2	他材料との比較	36
1.3	GaN デバイスの特徴(2DEG の形成について)	37
2.	実用化に向けての課題	40
2.1	ノーマリーオフ化	40
2.1.1	障壁層の薄層化	41
2.1.2	ゲート部への負イオン注入導入	41
2.1.3	p 型ゲート構造	42
2.1.4	分極効果の回避	43
2.1.5	トンネル電流注入	43
2.2	電流カラプス	44
2.2.1	光応答による評価	45
2.2.2	KFM による表面ポテンシャルの評価	47
2.2.3	表面パッシベーション膜による電流カラプスの抑制	48
3.	GaN デバイスの信頼性問題	49
3.1	ショットキーコンタクトおよびオーミックコンタクトの安定性	50
3.2	ホットエレクトロンによる劣化	50
3.2.1	ホットエレクトロンの発生について	50
3.2.2	ホットエレクトロンの発生箇所について	50
3.2.3	ホットエレクトロンの振る舞い	51
3.2.4	ホットエレクトロンによるデバイス劣化の条件	52
3.3	キャリアトラッピング	52
3.4	逆ピエゾ効果によるひずみ生成	52
3.5	絶縁膜の信頼性	53
4.	むすび	55
III-2.	SiC 系パワー半導体の信頼性	
1.	SiC デバイス	57
2.	SiC の結晶構造	57
3.	SiC デバイスの信頼性問題: 順方向電圧劣化	58
4.	積層欠陥	60
5.	抵抗劣化のメカニズム	61
6.	積層欠陥の拡張原因	62
7.	まとめ	63
	あとがき	65

まえがき

故障物理研究委員会の課題は、故障物理という LSI の信頼性の基礎についての調査研究が主ですが、委員会委員に日本を代表する主要 LSI 関連企業の現場で活躍している方々を中心に、大学、研究機関の方がメンバーとして加わっています。現場、製品の信頼性に直接従事している企業の方々が故障物理の調査研究に携わることで、机上の空論ではない、プロセス、設計、製品と密接に結びついた LSI の故障を、物理的、化学的、数学的基礎から考えるとともに、試験方法、プロセス、市場での故障、新材料や新デバイス構造などの信頼性の問題に関連付けた調査研究を行ってきました。その成果を、RCJ 信頼性シンポジウムにおけるセミナー、RCJ 成果報告書、その他の機会に発表してきましたが、少しでも、日本における半導体デバイスの信頼性向上に貢献できたのではないかと考えています。また、かつての委員の多くの方々が、現在、学会等において中心的立場で活躍していることも大変嬉しいことです。今後とも、引き続きのご支援をお願いいたします。

平成 24 年度は、現在 CMOS LSI の故障物理の分野でホットな話題となっている“ばらつきと信頼性問題”を継続して取り上げ、調査研究を行い、その調査結果をまとめました。また、急激な微細化の進展に伴い、SRAM の中性子線によるソフトエラーについても、昨年に引き続き調査研究を行い、最新成果を追加して報告内容の改定を行いました。

更に、昨年から調査を開始したパワー半導体の信頼性について、中間報告をまとめました。Si 以外の GaN 系デバイスと SiC 系デバイスについて、利点、欠点、現状技術の状況、信頼性問題などについてまとめました。調査を開始して初めての報告ですので、まだ十分の内容とは言えませんが、今後さらに調査を行い、内容を充実させていく予定です。

一般財団法人日本電子部品信頼性センター (RCJ) 故障物理研究委員会は、今年度は委員会発足から、36 年目に当たり、長い歴史を持つ委員会です。これも、賛助会員、RCJ、信頼性に携わる多くの方々からのご支援とともに、これまで、故障物理研究委員会に参加していただいた多くの有能な委員の方々のお陰であり、あらためて厚く御礼申し上げます。