

平成8年度

半導体故障物理研究委員会成果報告書

「LSIの信頼性設計・評価用TEG（エレクトロマイグレーション、ホットキャリア評価用TEGについて）」

平成9年3月

平成8年度 半導体故障物理研究委員会成果報告書

目 次

序 文

平成8年度 半導体故障物理研究委員会構成表

第1章 半導体信頼性評価TEG	1
1.1 TEGの種類	1
1.2 TEGを用いた信頼性評価〔1〕	4
1.3 エレクトロマイグレーションとホットキャリア評価のTEG	5
第2章 エレクトロマイグレーション評価TEG	7
2.1 エレクトロマイグレーション概要	7
2.2 エレクトロマイグレーション評価TEGの構造	16
2.2.1 評価対象とエレクトロマイグレーションに関する主要パラメータ	16
2.2.2 評価の種類とTEG構造	17
2.2.3 配線形状に関する要因	20
2.2.4 ビア・プラグ構造に関する要因	23
2.2.5 電極パッドに関する要因	25
2.2.6 配線材質に関する要因	26
2.2.7 一般的な要因	28
2.3 信頼性評価方法	29
2.3.1 評価技術の変遷	29
2.3.2 エレクトロマイグレーション評価方法	32
2.4 最近の動向	42
2.4.1 W プ ラ グ	42
2.4.2 ビアの信頼性	47
2.4.3 エレクトロマイグレーションと応力	51

第3章	ホットキャリア評価TEG	53
3.1	ホットキャリア劣化メカニズム	53
3.1.1	nチャネルMOSFETの場合	53
3.1.2	pチャネルMOSFETの場合	55
3.2	TEGの構造及び作成方法	62
3.2.1	ホットキャリア評価用TEG構造	62
3.2.2	TEG作製におけるプロセスの影響	68
3.2.3	TEG構造パラメータ	73
3.3	信頼性評価方法	74
3.3.1	試験方法	74
3.3.2	測定方法	77
3.3.3	劣化解析方法	82
3.4	最近の動向	90
第4章	あとがき	93

序 文

近年、半導体の微細加工技術や多層メタル配線技術等の開発がますます向上し、半導体集積回路の高集積化・高性能化・低消費電力化が著しく進展し、新たな需要分野を喚起しております。

このような技術により集積されたU L S Iの信頼性を確保するためには、U L S Iの設計・製造プロセス段階で信頼性を作り込むことが重要な手法になりました。

そのために、半導体故障物理の研究がますます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、研究所、大学などから半導体故障物理の専門家にお集まりいただき、研究会を組織致しまして、平成7年度及び8年度の2ヵ年にわたり「V L S Iの信頼性設計・信頼性評価T E G」に関して内外の学協会の研究会、シンポジウム等の文献調査及び解析を致しました。

ここに、平成7年度と8年度の成果を取りまとめました。本中間報告書が広く関係方面のご参考になり、活用されることを心から期待致します。

なお、本事業の遂行に当たり、「半導体故障物理研究委員会」の木村忠正委員長を始め、委員の皆様の多大なご尽力に対して厚くお礼申し上げます。

平成 9 年 3 月

財団法人 日本電子部品信頼性センター
理事長 高 木 昇

第 1 章 半導体信頼性評価 T E G

第 1 章 半導体信頼性評価 T E G

半導体デバイスの開発過程で用いられる T E G (Test Element Group) とは、製品の開発段階で製品では評価できない特定の要素部分を抽出して評価するために設計されるテストパターンを指す。現在の超 L S I は、微細化・高集積化により実際の製品で内部の素子の特性や信頼性を個別に評価することは不可能な状況にある。そこで、各要素を効率良く高精度に評価するために、各開発段階での評価目的に合った T E G パターンを個別に設計し評価に用いている。現在の超 L S I の開発では、開発期間や開発コストを削減するために、T E G をいかに有効に活用するかということの重要性が増している。

T E G は、あくまで評価の為の一つの手段であったので、これまでは信頼性評価の観点で T E G をテーマにとり上げて詳しく論じるケースは少なかった。しかし、本報告書では改めてこれを見直し、T E G という切り口から信頼性要素技術の中のエレクトロマイグレーションとホットキャリアの二つの場合について調査することとした。はじめに T E G についての概要を述べ、続いてエレクトロマイグレーションとホットキャリアの T E G について解説する。

1.1 T E G の種類

T E G は、大きく分けるとプロセス開発やプロセスモニターの為のプロセス用 T E G と信頼性評価のための T E G に分けられる。前者は主にプロセスの実力やバラツキを評価するためのもので、後者は信頼性を評価する目的のものである。プロセスを評価するものには種類が多く、材料の特性から電気的特性、形状パラメータや歩留りを調べるものなどを含む。信頼性評価 T E G には、故障メカニズムの究明や信頼性予測のパラメータを求めるものから、個々の製品の品質を代表して評価する為のものもある。

通常これらの T E G は、その用途が明確に分離されている訳ではなく、プロセス用と信頼性評価用を兼ねて設計されるものも多い。

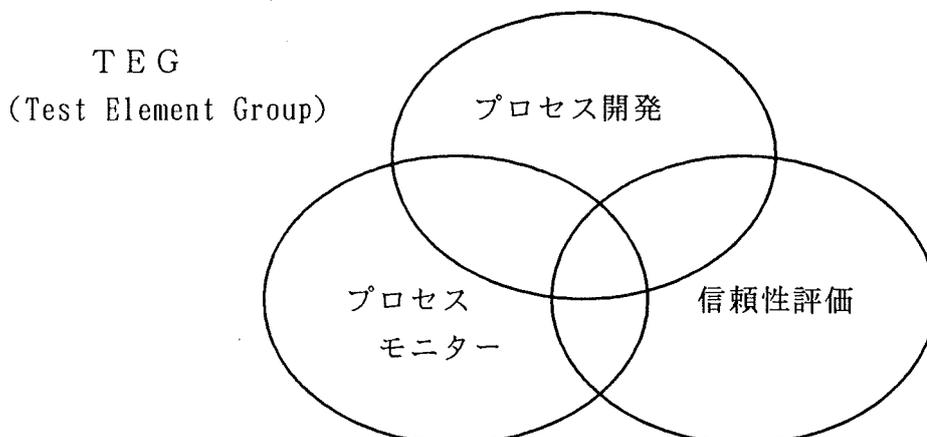


図1.1.1 T E G の用途分類

プロセス用に使われる T E G には、評価目的に応じて以下のようなものがある。

加工精度

- ・線幅（ライン&スペース）寸法
- ・コンタクト／ビア形状
- ・段差部のステップカバレッジ
- ・多層配線
- ・ゲート酸化膜／層間絶縁膜／LOCOS 形状
- ・ドレイン（ソース）とゲートのオーバーラップ

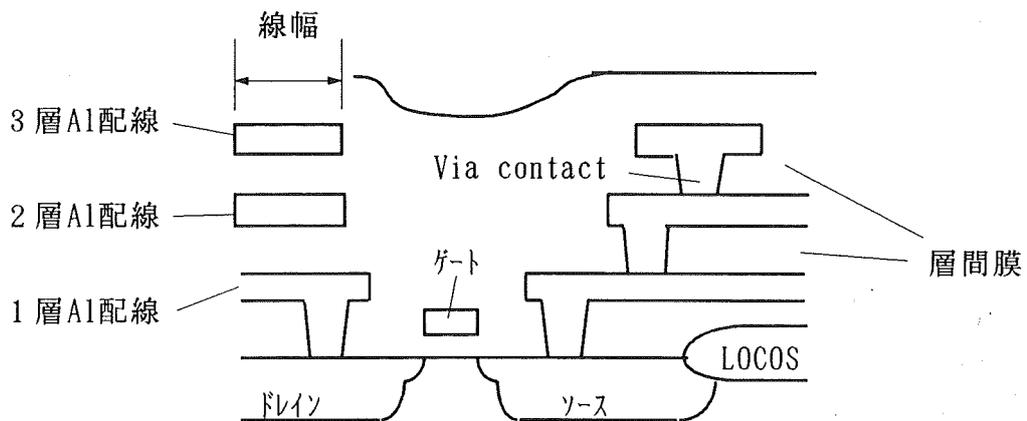


図1.1.2 MOSデバイスの構造

物性／電気的特性

- | | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> ・耐圧 ・絶縁抵抗（層間など） ・シート抵抗 ・コンタクト・ビア抵抗 ・キャリア濃度 ・ライフタイム ・V_{th} | <ul style="list-style-type: none"> ・移動度 ・C-V 特性 ・C-t 特性 ・界面準位 ・不純物プロファイル ・分光特性 ・h_{fe} |
|---|--|

モジュール評価

- ・ NAND, NORゲート等の論理回路
- ・メモリセル
- ・センスアンプ
- ・各種入出力回路
- ・サンプルホールド回路
- ・差動アンプ
- ・リングオシレータ

総合評価

（製品レベル）

- ・歩留検証
- ・論理回路機能
- ・集積度／チップサイズ

これに対し、信頼性評価、確認を目的に設計されるTEGには以下の様なものがある。

要素技術	<ul style="list-style-type: none"> ・ホットキャリア評価用TEG ・エレクトロマイグレーション / ストレスマイグレーション評価用TEG ・酸化膜経時破壊 (TDDDB) 評価用TEG ・ソフトエラー評価用TEG ・Wafer ESD 評価用TEG
モジュール評価	<ul style="list-style-type: none"> ・入出力セル (ESD / ラッチアップ)
総合評価	<ul style="list-style-type: none"> ・長期信頼性 ・初期故障率 ・パッケージ信頼性 (耐湿性TEG, アルミ腐蝕, はんだリフロークラック, メタルスライド評価用TEG)

次に、これらのTEGを製品の開発経過と照らし合わせたときの位置付けを示す。研究・開発段階では、比較的小規模でプロセス要素毎に用途が限定された多種類のTEGが使われるが、開発が進むにつれて複数のプロセス要素を組み合わせたモジュールの形態を経て、高集積化・大規模化された総合的なTEGに集約されていく。また、量産段階になると工程管理用のTEGが製品と同じウエーハ内に配置され、ウエーハ状態でその特性や信頼性パラメータが評価される。

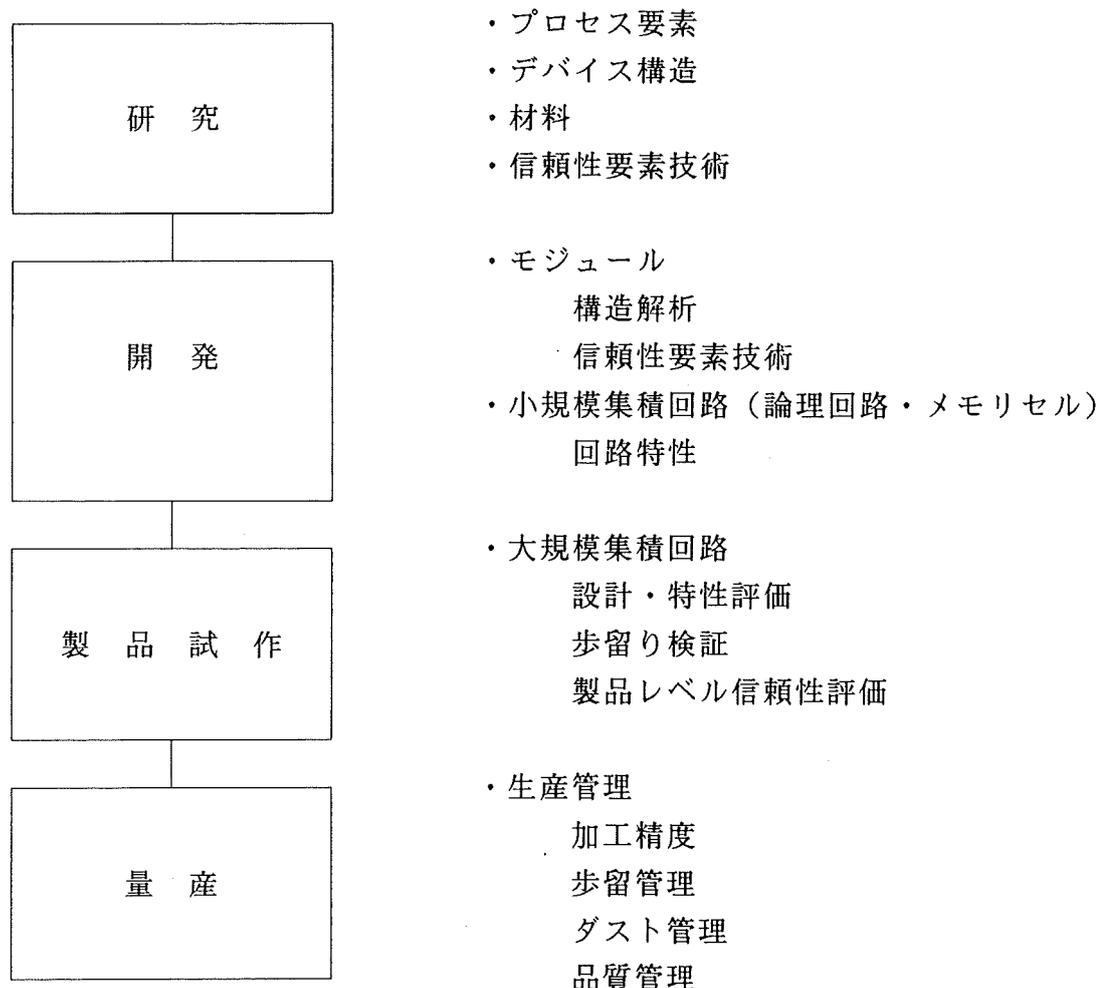


図1.1.3 開発過程とTEG

1. 2 T E Gを用いた信頼性評価 [1]

微細化半導体集積回路の信頼性を向上させるには、大規模集積回路自体のみの評価では、問題点を絞り込むことが困難であり、時には非効率・コストアップにつながる。そのために、プロセス要素ごとの評価素子T E Gを用い、各部分構造の信頼性を向上させる設計が重要である。T E Gを用いた信頼性評価より、

- ・各部分構造の信頼性阻害要因、メカニズムは？
- ・要素の反応速度、故障に至るのか？
- ・どのメカニズムが全原因中の大きな比率を占めるのか？

を検討する。その結果、抜本的な対策、高信頼性化プロセス技術を確立するとともに、設計ルール（回路設計，パターン設計，構造設計，プロセス設計）へ織り込む。

T E Gを用いた信頼性評価の主な目的は、以下に示す3点である。

- 1) プロセス要素ごとの信頼性評価を実施し、故障メカニズムを究明するとともに高信頼性化をはかる。
- 2) 加速試験を実施し、故障原因を早期に検出する。
- 3) デザインルールの信頼性を評価する。

文献

- [1] 和田哲明「微細化プロセスの設計信頼性向上（T E Gを用いた信頼性評価）」
National technical Report Vol.36, No.4(Aug.1990)

1. 3 エレクトロマイグレーションとホットキャリア評価のTEG

今回の報告書では、特にエレクトロマイグレーションとホットキャリアの現象を評価する為のTEGについて詳細に論じている。エレクトロマイグレーションとホットキャリアは、プロセスの超微細化により製品の長期信頼性に影響を及ぼす最も重要な要素の一つと位置付けられているものであり、TEGを用いた評価手法やメカニズムの解明など、研究成果も数多く報告されている。

今回の目的であるTEGの観点でこの2つを比較してみると、エレクトロマイグレーションは評価精度の向上や評価時間短縮を目的として、TEGの構造や設計手法に焦点をあてたものが多いのに対し、ホットキャリアではTEGを用いた評価方法に重点を置いて報告されているものが多いのが特長である。

第2章以降では、これら2つのテーマについて

1. 故障メカニズムと故障モード
2. TEGの構造と設計パラメータ
3. TEGを用いた信頼性評価方法
4. 研究の動向

の観点から、「TEGを用いた信頼性評価」についてまとめた結果を報告する。