

R-9-RS-01

平成9年度

故障物理研究委員会 成果報告書

——最新フラッシュメモリ技術の信頼性——

平成10年3月

財団法人 日本電子部品信頼性センター

目 次

序文

| | |
|---|-----|
| 1. まえがき | 1 |
| 2. フラッシュメモリ技術 | 2 |
| 2.1 半導体不揮発メモリの分類 | 2 |
| 2.2 フラッシュメモリの構造と動作 | 3 |
| 2.2.1 メモリセル構造 | 3 |
| 2.2.2 メモリセルの動作 | 4 |
| 2.2.3 メモリICの基本構造と動作 | 7 |
| 2.3 フラッシュメモリの電気的特性 | 9 |
| 3. フラッシュメモリの信頼性 | 11 |
| 3.1 フラッシュメモリの高信頼化の動向 | 11 |
| 3.2 フラッシュメモリの故障モードと故障要因 | 14 |
| 3.2.1 概要 | 14 |
| 3.2.2 故障モードとその要因 | 15 |
| 3.3 SILC発生機構 | 21 |
| 3.3.1 SILC現象の特徴 | 21 |
| 3.3.2 SILC発生機構 | 24 |
| 3.4 層間膜及びパッシベーション膜の影響 | 29 |
| 3.4.1 データリテンション(Data retention)への影響 | 30 |
| 3.4.2 エンデュランス(Endurance)への影響 | 41 |
| 3.5 トンネル酸化膜の影響 | 45 |
| 3.5.1 酸化膜と酸窒化膜 | 45 |
| 3.5.2 シリッチ酸化膜 | 46 |
| 3.5.3 高品質絶縁膜への検討例 | 48 |
| 4. フラッシュメモリに関する文献調査 | 50 |
| 4.1 セル構造と動作 | 50 |
| 4.1.1 まえがき | 50 |
| 4.1.2 文献調査 | 52 |
| 4.2 プロセス | 62 |
| 4.2.1 まえがき | 62 |
| 4.2.2 文献調査 | 62 |
| 4.3 酸化膜の信頼性 | 68 |
| 4.3.1 まえがき | 68 |
| 4.3.2 文献調査 | 69 |
| 4.4 フラッシュメモリ関連文献リスト | 90 |
| 5. あとがき | 103 |

序 文

近年、半導体の微細加工技術や多層金属配線技術等の開発が益々向上し、半導体集積回路の高集積化・高機能化・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ULSIの信頼性を確保するためには、ULSI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な手法になってきました。そのためには、各種故障モード及び故障機構を解明し、対策を立てていく必要があります。そのため、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、特にフラッシュメモリに関わる信頼性の基本問題に着目し、内外の文献調査及び解析を進めてまいりました。

ここに、平成9年度の成果を取りまとめました。調査・解析の途中段階で必ずしも十分にまとめられておりませんが、本中間報告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、「半導体故障物理研究委員会」の木村 忠正委員長を始め、委員の皆様のご多大なご尽力に対し、深謝致します。

平成10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 まえがき

携帯情報通信機器の発展にともない、フラッシュメモリーがデータメモリーとして使われています。1984年に舛岡らにより提案されて以来、不揮発性、電気的書き換え可能という機能と、高集積性、低コストという経済性を合わせ持つメモリーとして、急速に開発、製品化が進みました。この間、種々のセル技術の開発が行われ、縮小化とともに高性能化が進められてきました。

ユーザ側の要求もますます高くなってきています。データの書き換え回数要求は 10^5 回あるいは 10^6 回以上にもなり、データ保持期間も10年以上と非常に高い値が要求されています。フラッシュメモリーでは、酸化膜を通した基板シリコンと浮遊ゲート間の電子のやりとりでデータの書換えを行うために、電子電流を流す酸化膜の劣化という問題が信頼性の重要な点の一つです。一方、単一電源と低電圧動作が強く求められ、そのためには酸化膜を薄くする必要がありますが、薄くすると今度は浮遊ゲートに注入され蓄積された電子の自然放出(データの保持)という酸化膜リークが問題となります。また、縮小化はすでに現在の技術や物理的限界の近くまで来ているとの見方もあり、集積度を増すためには、多値化技術、SON膜やその他の新しい絶縁膜の開発が必要と考えられています。このように、フラッシュメモリーの将来は、今後、携帯情報通信機器などのデータメモリーに対する厳しい要求を満たすような高性能化を達成しつつ、どこまで高信頼性を維持できるかにかかっています。

現在、フラッシュメモリーに替わる新しいFeRAM (ferroelectric random access memory), MRAM (magnetic random access memory)などの研究が盛んになっています。これらは、まだ開発段階にありますが、フラッシュメモリーの特徴である不揮発性、高集積性が可能で、かつ、データの書き換え速度が約100倍速くDRAM (dynamic random access memory)並にできる、消費電力が小さいなどの特徴を持っています。この例をとっても、不揮発メモリの小型高性能化要求が益々高まってゆくことが分かります。

以上のような観点と興味から、平成9年度の故障物理研究委員会では、フラッシュメモリーの信頼性を課題に取り上げました。時間の制約もあり、今年度は、酸化膜の劣化の物理とプロセス依存性に焦点を当てて文献調査を行いました。完成された報告書とはいえ不十分な点が多々ありますが、この報告書が少しでもフラッシュメモリーを扱っている研究者、技術者の参考になればと期待します。