

Syslogic White Paper

Evaluation von Flash basierten Speichermedien für
den Einsatz in der Industrie

1. Einleitung

- 1.1 Welche Faktoren spielen mit bei der Speicherevaluation
- 1.2 Die Anforderungen an folgende Punkte müssen definiert sein

2. Funktionsweise von NAND basierten Speichern

- 2.1 Einleitung
- 2.2 Der Aufbau von NAND basierten Speichernedien
- 2.3 Der Aufbau von Flash-Modulen
- 2.4 Die Funktion von NAND-Zellen
- 2.5 So wird die Lebensdauer von Speichermedien gemessen

3. Die unterschiedlichen NAND-Flash-Technologien

- 3.1 Die Unterschiede zwischen SLC-, MLC-, TLC-und 3D-NAND
- 3.2 Pseudo Single Level Cell – das Beste, was man aus MLC machen kann
- 3.3 Pseudo Single Level Cell – nicht zu verwechseln mit Fastpage Mode

4. Die Alterung von NAND-Speichern

- 4.1 Verschiebung der Schwellenspannung
- 4.2 Risse in der Oxidschicht
- 4.3 Programm Disturb und Read Disturb beeinflussen die Haltbarkeit der Daten
- 4.4 Der Einfluss von NAND-Shrinks auf die Alterung

5. So werden NAND-Flash-Speicher für die Industrie tauglich gemacht

- 5.1 Error Correction Code
- 5.2 Garbage Collection
- 5.3 Wear Leveling
- 5.4 Write Abort Handling

6. Zusammenfassung

1 Einleitung

Die Anzahl vernetzter Geräte in der Industrie steigt und steigt – das Industrial Internet of Things (IIoT) wird gerade Realität. Gemäß aktuellen Studien wird sich der IIoT-Markt in den nächsten fünf Jahren verdoppeln. Entsprechend wird die Nachfrage nach allen Komponenten steigen, die zur Realisierung des IIoT notwendig sind. Dazu gehören auch Speichermedien – und diesbezüglich sind vor allem kompakte NAND Flash basierte Speicher auf dem Vormarsch.

NAND Flash basierte Speicher, umgangssprachlich Flash-Speicher genannt, bieten nicht nur dank ihrer kompakten Bauweise Vorteile gegenüber Harddisks, sondern auch wegen ihrer Resistenz gegenüber Schocks und Vibrationen. Zudem können sie im Vergleich zu Harddisks die Geschwindigkeit eines Systems positiv beeinflussen. NAND Flash basierte Speicher mit Fixed BOM (Bill of Material) bieten Industrieunternehmen zudem hohe Sicherheit bezüglich Systemkompatibilität.

Auf der anderen Seite haben NAND basierte Speicher einen großen Nachteil, sie altern und lassen nur eine beschränkte Anzahl Schreib- und Löschkzyklen zu. Was bedeutete das für die Industrie? Sind Flash-Speicher überhaupt für Industrieforderungen geeignet? Wie sieht es in Sachen Zuverlässigkeit und Langlebigkeit aus? Wie wähle ich aus der Fülle von angebotenen Flash-Speichern das richtige Produkt aus?

Dieses White Paper behandelt die wichtigen Punkte zu NAND Flash basierten Speichern und dient als Grundlage für die Speicherevaluation.

1.1 Welche Faktoren spielen mit bei der Speicherevaluation?

Anforderungen wie die benötigte Speicherkapazität, der Temperaturbereich oder die Vibrationsresistenz werden durch die jeweilige Anwendung klar vorgegeben. Andere Anforderungen verlangen eine genaue Analyse unter Berücksichtigung der Gesamtbetriebskosten (Total Cost of Ownership). Das wird insbesondere klar, wenn man die Lebensdauer einer Produktionsmaschine mit der von IT-Equipment vergleicht. Entsprechend lohnt es sich in der Industrie, in Speicher zu investieren, die sowohl langlebig als auch lange und unverändert verfügbar sind. Denn sowohl ein ungeplanter Feldausfall als auch die Qualifizierung eines neuen Speichers, wenn der ursprünglich verwendete nicht mehr erhältlich ist, sorgen schnell für hohe Kosten.

Es gibt weitere Aspekte, die bei der Evaluation industrieller Flash-Speicherkarten zu beachten sind. Dieses White Paper erklärt die Alterungserscheinungen von NAND-Zellen und die Messwerte, welche Hersteller von Flash-Speichern verwenden, um die Lebensdauer des Speichermediums (Endurance) oder die Lebensdauer gespeicherter Daten (Retention) von Flash-Speichern anzugeben. Die internen Mechanismen eines NAND-Flash-Speichers zu verstehen, ist die Voraussetzung, um eine bedarfsgerechte Speicherevaluation zu machen.

1.2 Die Anforderungen an folgende Punkte müssen definiert sein

Es gibt eine breite Auswahl an Flash-Speicher-Technologien, die heute am Markt erhältlich sind. Dazu gehören TLC (Tripple Level Cell), MLC (Multi Level Cell), SLC (Single Level Cell), pSLC (Pseudo Single Level Cell) und 3D NAND. Um für eine spezifische Anwendung die richtige Technologie zu wählen, muss man sich über folgende Punkte im Klaren sein:

- Vorausgesetzte Lese- und Schreibgeschwindigkeit
- Benötigte Endurance (Lebensdauer von Speichermedien)
- Benötigte Retention (Lebensdauer gespeicherter Daten)
- Datensicherheit im Fall eines Stromausfalls
- Temperatur- und Vibrationsbeständigkeit
- Langzeitverfügbarkeit des gewählten Produkts

2 Die Funktionsweise von NAND basierten Speichern

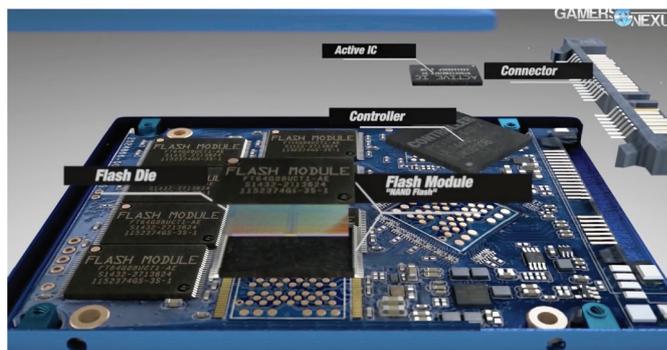
2.1 Einleitung

NAND steht für NOT-AND, dies bezieht sich auf die Logik des NAND-Gatters. Bei NAND basierten Speichern handelt es sich um nicht flüchtige Speicher. Das heisst, dass gespeicherte Daten erhalten bleiben, unabhängig davon, ob das Speichermedium am Strom angeschlossen ist oder nicht.

2.2 Der Aufbau von NAND-basierten Speichermedien

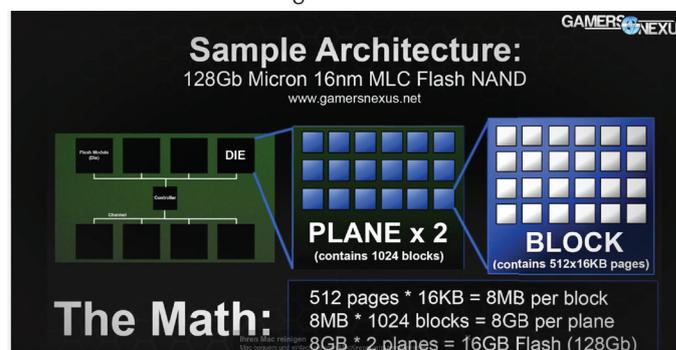
NAND basierte Speichermedien bestehen unabhängig ihres Formfaktors (z.B. 2.5", Compact Flash, SD Card, micro SD Card oder M.2) aus folgenden Komponenten:

- Flash-Modul – das eigentliche Speichermodul
- Flash-Controller – das Hirn des Speichermediums
- Active IC – Schaltkreise
- Schnittstelle – über die sich das Speichermedium ansteuern lässt



2.3 Der Aufbau von Flash-Modulen

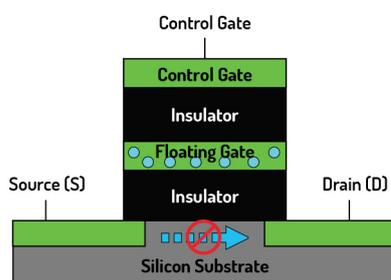
Die Flash-Module wiederum setzen sich wie folgt zusammen. Die NAND-Zelle ist der kleinste Bestandteil eines Speichers. Die Zellen werden zu Pages zusammengefasst, die Pages zu Blocks, die Blocks zu Planes und die Planes zu Dies. Ein Die ist das eigentliche Speichermodul (wie unter Punkt 2.2 aufgeführt), das vom Flash-Controller angesteuert wird.



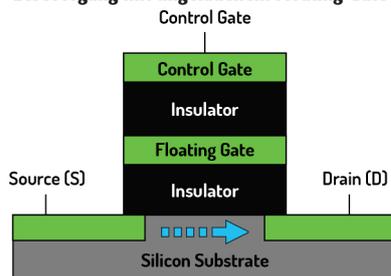
2.4 Die Funktion von 2D-NAND-Zellen

Bei Flash-Speichern werden Informationen in NAND-Zellen gespeichert. Eine NAND-Zelle funktioniert mittels eines Transistorkanals (Source–Drain) und zwei Gates, einem Control Gate und einem Floating Gate. Das Floating Gate ist mittels einer Oxidschicht von Control Gate und Transistorkanal isoliert. Werden mittels Programmiervspannung Elektronen durch die Oxidschicht hindurch in das Floating Gate gedrückt (Tunneleffekt), werden sie dort permanent gehalten, auch ohne Spannung. Die Oxidschicht verhindert also, dass die Elektronen wieder abfließen.

Lesevorgang mit geladenem Floating Gate



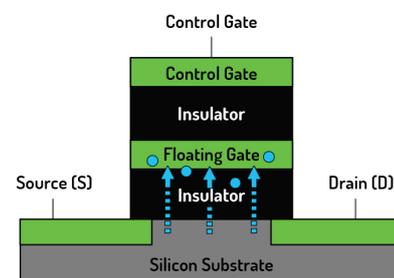
Lesevorgang mit ungeladenem Floating Gate



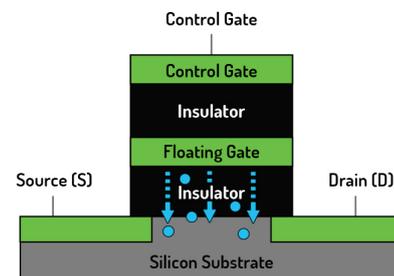
Zum Auslesen der Speicherzelle wird eine Lesespannung an den Transistor gelegt und der Strom, der zwischen Source und Drain fließt, gemessen. Ist das Floating Gate geladen, es befinden sich also viele Elektronen im Floating Gate, wird der Zustand Null ausgelesen. Das, weil kein Strom zwischen Source und Drain fließt (Abbildung oben).

Mittels Löschspannung können die Elektronen wieder freigesetzt werden. Befinden sich also wenig Elektronen im Floating Gate, wird der Zustand Eins ausgelesen, weil Strom zwischen Source und Drain fließt (Abbildung unten).

Beschreiben eines NAND



Löschen eines NAND



Zum Beschreiben einer Speicherzelle wird eine hohe Spannung am Control Gate angelegt. Dadurch werden Elektronen von der Oxidschicht ins Floating Gate gedrückt (Abbildung oben). Diesen Effekt nennt man Tunneleffekt, weil die Elektronen die Oxidschicht durchqueren, um ins Floating Gate zu gelangen.

Zum Löschen der Speicherzelle wird eine hohe Spannung an der Oxidschicht angelegt. Dadurch werden die Elektronen vom Floating Gate in die Oxidschicht gedrückt. Wie beim Schreibvorgang kommt hier der Tunneleffekt zum Tragen.

2.5 So wird die Lebensdauer von Speichermedien gemessen

Zwei Maßeinheiten werden von Herstellern verwendet, um die Lebensdauer eines Flash-Speichers anzugeben.

TBW (Terabytes Written)

Gibt die Gesamtmenge der Daten in Terabyte an, die während der Lebensspanne eines SSD-Speichers geschrieben werden können, bis der statistische Verschleißausfall eintritt.

DWPD (Drive Writes Per Day)

Gibt die Datenmenge an, die jeden Tag während der Garantiezeit innerhalb der spezifizierten Voraussetzungen auf ein Speichermedium geschrieben werden kann.

TBW sagt aus, wie viele Daten über die Lebenszeit insgesamt geschrieben werden können. DWPD gibt an, wie viele Daten innerhalb der Garantiezeit pro Tag maximal geschrieben werden können. Das Problem dabei ist, dass man auf die Angaben des Herstellers angewiesen ist. Die Vergleichbarkeit ist dabei sehr schwierig. Ob die angegebenen Werte eine Aussagekraft für die eigene Anwendung haben, ist oftmals ungewiss. Der Wert hängt extrem von der Belastung während des Tests ab. Die verschiedenen Belastungsarten werden durch die Standardisierungsorganisation JEDEC (Joint Electron Device Engineering Council) vorgegeben. Allerdings machen viele Hersteller keine Angaben, nach welcher Vorgabe sie ihre Flash-Speicher testen. Entsprechend lassen sich die Angaben unterschiedlicher Hersteller oft nur sehr schwer vergleichen.

3. Die unterschiedlichen NAND-Flash-Technologien

3.1 Die Unterschiede zwischen SLC-, MLC-, TLC- und 3D-NAND

Die Entwicklung hin von SLC- zu MLC- und TLC-Speichern – und schließlich zu 3D-Speichern ist stark vom Consumer-Markt getrieben. Grundsätzlich geht es darum, immer mehr Speicherkapazität auf immer kleinerem Raum zur Verfügung zu stellen, und damit den Preis pro Megabyte Speicherkapazität zu senken. Durch die wachsende Speicherdichte wird die NAND-Flash-Technologie auch bei großen Speicherkapazitäten preislich zunehmend eine Konkurrenz zu Harddisks. Auf der anderen Seite leiden durch die hohe Speicherdichte die Langlebigkeit und Zuverlässigkeit der NAND basierten Speichermedien. Heute unterscheidet man folgende Technologien

Bei SLC-NAND (Single Level Cell) wird pro NAND-Zelle nur ein Bit gespeichert. Je nachdem, ob zwischen Source und Drain (siehe 2.3) Strom fließt oder nicht, wird der Zustand 0 oder 1 ausgelesen.

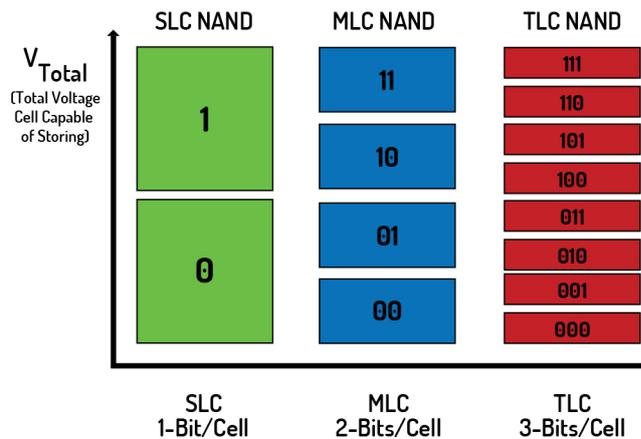
Bei MLC-NAND (Multi Level Cell) und eMLC (Enterprise) werden pro NAND-Zelle zwei Bits gespeichert, es können also vier verschiedene Ladungszustände pro NAND ausgelesen werden. Zudem trifft man oft den Begriff eMLC (Enterprise) an. Die eMLC-Speicher unterscheiden sich hauptsächlich in puncto Programmierung. Mittels Controller werden gemäß den Herstellern die möglichen Schreib- und Löszyklen erhöht. Wie erfolgreich das umgesetzt wird und ob sich eMLC tatsächlich von MLC-Speichern abheben, darüber gibt es verschiedene Ansichten.

Bei TLC-NAND (Triple Level Cell) werden pro NAND-Zelle drei Bits gespeichert, es können also acht verschiedene Ladungszustände pro NAND ausgelesen werden.

Bei 3D-NAND werden planare NAND-Zellen (wie bei SLC, MLC oder TLC) vertikal übereinander gestapelt, um eine nochmals höhere Speicherdichte zu erreichen. Heutige 3D-NAND-Speicher bauen auf MLC- oder TLC-NAND auf. Sie werden auch als V-NAND oder 3D-V-NAND (Vertical) bezeichnet. Durch die kürzeren Verbindungen zwischen den Speicherzellen (Stapeltechnik) können die Speicherkapazität und die Speichergeschwindigkeit erhöht und der Stromverbrauch reduziert werden.

Im Consumer-Markt werden heute vorwiegend TLC-Speicher eingesetzt. Weil sie drei Bit pro NAND speichern und wegen dem großen Produktionsvolumen bieten sie niedrige Kosten bei hoher Speicherkapazität. Allerdings ist die Haltbarkeit der gespeicherten Daten bei TLC-Speichern begrenzt. Es müssen acht verschiedene Ladungsniveaus unterscheidbar sein, um drei Bits zu lesen – schon geringe Alterungserscheinungen machen das unmöglich. Entsprechend lassen SLC am meisten Lese- und Schreibzugriffe pro NAND zu, weil sie nur zwei Ladungszustände unterscheiden müssen. Außerdem sind die gespeicherten Daten bei SLC am haltbarsten (Retention).

3D-NAND werden zunehmend im Consumer-Bereich eingesetzt. Für Industrieanwendungen spielen sie aktuell noch keine Rolle.

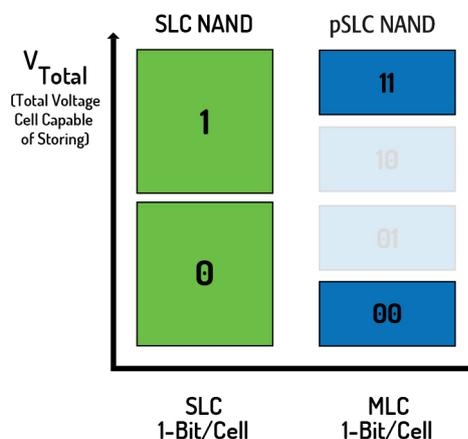


SLC-, MLC- oder TLC-NAND – ein, zwei oder drei Bits pro NAND.

3.2 Pseudo Single Level Cell – das Beste, was man aus MLC machen kann

Weniger Spannungsniveaus machen die gespeicherten Informationen also weniger verletzbar. Entsprechend sind sogenannte pSLC-Speicher (Pseudo Single Level Cell) ein kommerziell als auch technologisch interessanter Kompromiss. Die pSLC-Technologie nutzt die kosteneffizienten MLC-NAND für nur zwei unterschiedliche Ladungszustände. Entsprechend ist sie bedeutend schneller als normale MLC-NAND-Speicher und erhöht die möglichen P/E Cycles (Program/Erase) von 3000 auf 20000. Gleichzeitig steigt die Endurance der Speichermedien um das Sechsfache, während der Preis pro gespeichertes Bit sich nur verdoppelt.

Möglich wird die hohe Anzahl an P/E Cycles durch die einfachere Zuordnung der Ladungszustände. Einerseits, weil nur zwei Zustände zu unterscheiden sind (anstelle von vier bei MLC), andererseits weil der Unterschied zwischen den Spannungsniveaus deutlich größer ist als bei MLC. Um die Spannungsunterschiede zwischen den Ladungszuständen zu vergrößern, muss der Speicherhersteller allerdings die Firmware anpassen. Zudem sind spezielle MLC-NAND nötig, welche die pSLC-Technologie unterstützen.



pSLC nutzt MLC NAND, speichert allerdings nur ein Bit pro Zelle.

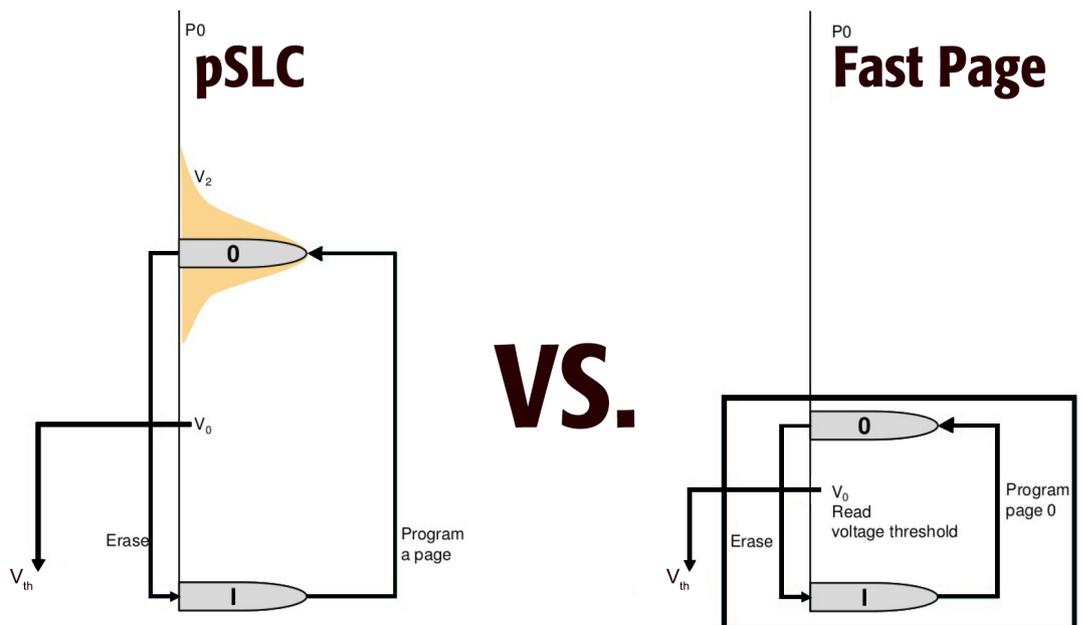
3.3 Fast Page Mode ist nicht pSLC

Neben Pseudo SLC gibt es zudem den Fast Page Mode (Auch MLC+ oder Turbo Mode genannt). Die beiden Technologien sind nicht zu verwechseln, obwohl auch im Fast Page Mode ein MLC NAND mit nur einem Bit beschrieben wird.

Der Vorteil des Fast Page Mode liegt wie der Name schon sagt, vor allem in der Geschwindigkeit. Lese- und Schreibgeschwindigkeit werden zu Lasten der Speicherkapazität erhöht. Sämtliche MLC-NAND-Speicher können im Fast Page Mode betrieben werden, ohne dass Anpassung an der Firmware nötig werden. Der Nachteil ist, dass die Lebensdauer (Endurance) der einzelnen Flash-Zelle (NAND) gegenüber herkömmlich genutzten MLC-Speichern nur unwesentlich höher ist. Zwar werden im Fast Page Mode nur zwei Ladungszustände abgespeichert, doch ist der Unterschied der Spannungsniveaus gleich klein wie bei vier Ladungszuständen. Entsprechend kommen die erwähnten Nachteile von MLC-NAND zum Tragen: Fehleranfälligkeit durch schwierige Zuordnung der Spannungsniveaus, beschränkte Schreib- und Lesezyklen, daher beschränkte Lebensdauer.

Weil die verschiedenen Technologien je nach Hersteller unterschiedlich benannt werden, ist es nicht einfach den Überblick zu behalten. Entsprechend vorsichtig sollte man bei der Evaluation vorgehen. Begriffe wie iSLC, turbo mode, MLC+, eMLC oder SuperMLC hört man am Markt. Oft handelt es sich dabei lediglich um MLC-Speicher, die im Fast Page Mode betrieben werden.

Es gibt nur eine Handvoll spezialisierter Unternehmen wie Cactus Technologies, die tatsächlich die pSLC-Technologie (größere Spannungsunterschiede und damit höhere Lebensdauer) einsetzen.



pSLC unterscheidet deutlich größere Spannungsunterschiede als der Fast Page Mode.

4. Die Alterung von NAND-Speichern

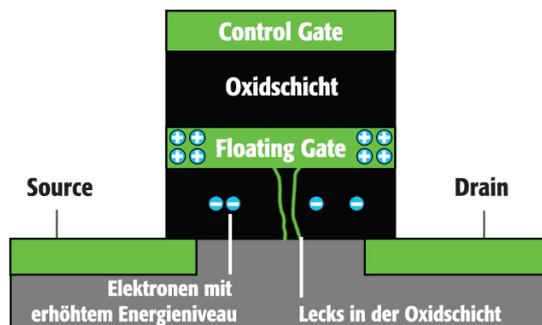
4.1 Verschiebung der Schwellenspannung

Es gibt hauptsächlich zwei Arten von Verschleiß, eine davon ist die Verschiebung der Schwellenspannung. Jedes Mal, wenn die Programmierspannung angelegt und der Tunneleffekt generiert wird, beschleunigt ein starkes elektrisches Feld Elektronen in Richtung der Oxidschicht. Einige dieser Elektronen werden in der Oxidschicht gefangen, anstatt diese zu passieren. Damit verschiebt sich auf Dauer die Schwellwertspannung, bis die Zelle nicht mehr lesbar ist

4.2 Risse in der Oxidschicht

Der zweite Alterungseffekt sind Risse, die sich mit der Zeit in der Oxidschicht bilden. Über diese kann Ladung abfließen und die NAND-Zelle verliert langsam das gespeicherte Bit. Hohe Temperaturen beschleunigen diesen Effekt zusätzlich. Insbesondere gegen Ende des Lebenszyklus einer NAND-Zelle nimmt die Retention (Fähigkeit, Informationen zu bewahren) extrem ab. Man kann sowohl bei einem Single-Level-Cell-NAND (SLC) wie bei einem Multi-Level-Cell-NAND (MLC) ursprünglich von einer Retention von 10 Jahren ausgehen. Am Ende des Lebenszyklus sinkt sie aber auf nur mehr ein Jahr. Dieser Punkt ist bei MLC nach 3000 P/E Cycles erreicht, bei SLC erst nach 100 000 P/E Cycles.

Zusätzlich negativ auf die Retention wirken sich extreme Temperaturen aus. Auch hier sind MLC NAND wesentlich empfindlicher als SLC NAND. Zwar gibt es auch MLC-NAND-Speicher für den erweiterten Temperaturbereich, doch werden diese nur gescreent. Bei SLC hingegen gibt es Speicher, die über speziell für den erweiterten Temperaturbereich ausgelegte Speichermodule verfügen.



Die Verschiebung der Schwellenspannung und Risse in der Oxidschicht lassen Speicherzellen altern, was Endurance und Retention negativ beeinflusst.

4.3 Program Disturb und Read Disturb beeinflussen die Haltbarkeit der Daten

Der Rückschluss, dass Daten vor allem dann langfristig sicher seien (Retention), wenn möglichst wenig gelöscht und wiederbeschrieben wird, trifft nur teilweise zu. Zwar schreiten die Alterungserscheinungen weniger schnell voran, doch auch ein Datenträger, der hauptsächlich gelesen wird, altert.

Bei jedem Schreiben werden die Zellen in der Umgebung der zu programmierenden Zelle gestresst, d.h., sie weisen eine leicht erhöhte Spannung auf (Program Disturb). Auch das Lesen führt zu Stress (Read Disturb). Hier sind es die benachbarten Pages, die Ladung ansammeln. Mit der Zeit erhöht sich in diesen Zellen das gespeicherte Potenzial und es kommt zu Lesefehlern, die nach dem Löschen des Blocks wieder verschwinden.

Der Effekt ist durch die niedrigere Spannung beim Lesen geringer als beim Schreiben, doch auch hier tauchen Bit-Fehler auf, die vom Fehlerkorrekturverfahren (Error Correcting Code, ECC) ausgeglichen und durch ein Löschen des Blocks gelöst werden müssen (Siehe 5.1). Zu bedenken ist dabei: Der Effekt ist besonders stark bei Anwendungen, die immer wieder dieselben Daten lesen. Auch im Inneren eines Speichers, der nur gelesen wird, müssen daher im Rahmen der Fehlerkorrektur regelmäßig Blöcke gelöscht und Pages geschrieben werden.

4.4 Der Einfluss von NAND-Shrinks auf die Alterung

Je größer die Chip-Fläche ist, desto mehr Platz bleibt für die NAND-Flash-Zellen. Das ermöglicht eine dicke Oxidschicht, welche deutliche Ladungszustände, leitend oder nichtleitend, garantiert. Wie unter 4.1 und 4.2 erwähnt, nutzen sich alle NAND-Zellen ab und die Oxidschicht zersetzt sich. Je dicker die Oxidschicht ist, desto langsamer schreitet dieser Prozess voran. Entsprechend haben große NAND Shrinks eine höhere Lebensdauer als kleine.

Die Produktion von NAND-Flash-Zellen ist sehr aufwändig. Weltweit gibt es nur eine Handvoll Firmen (Samsung, Toshiba, Sandisk, Micron, Intel, SK Hynix), die NAND-Flash-Zellen herstellen. Abhängig vom Hersteller sind verschiedene Shrinks an NAND-Zellen verfügbar.

Die Speicherdichte der Flash-Speicher nimmt wegen des steigenden Kostendrucks stetig zu. Gleichzeitig nimmt die Größe und damit die Qualität der NAND-Zellen ab. Aktuell haben die größten erhältlichen Toshiba A-Grade-NAND-Zellen noch eine Größe von 43nm. Dabei handelt es sich um die langlebigsten NAND-Zellen auf dem Markt – aber auch um die teuersten. Neben den 43nm-SLC-NAND bieten die Hersteller SLC-NAND in den Größen 32, 24, 21 und 14nm. Zwischen der Lebensdauer der größten 43nm-NAND und der kleinsten 14nm-NAND liegen Welten. Die 14nm-NAND sind sogar kleiner als die 15nm-NAND, welche aktuell für MLC-Speicher (Multi Level Cell) im Consumer-Bereich eingesetzt werden.

5 So werden NAND-Flash-Speicher für die Industrie tauglich gemacht

Mittels ausgeklügelter Controller und Firmware gelingt es den Herstellern von Flash-Speichern, die Zuverlässigkeit und Langlebigkeit der Speicher positiv zu beeinflussen. Die technologiebedingten Nachteile, beschränkte P/E Cycles und die Verblassung der gespeicherten Daten, werden durch clevere Controller-Funktionen wesentlich entschärft. Dadurch werden NAND basierte Speicher für viele Industrieanwendungen tauglich gemacht. Nachfolgend werden die wichtigsten Funktionen erklärt.

5.1 Error Correction Code

Bit-Fehler werden korrigiert, dann wird der Block bei dem der Fehler aufgetreten ist, kopiert und anschließend gelöscht.

5.2 Garbage Collection

Die Garbage Collection (Müllsammlung) hat die Aufgabe freie Blöcke zu generieren. Dazu ist es notwendig, noch nicht vollständig leere Blöcke auf dem Flash-Speicher zu überprüfen und gegebenenfalls durch umverteilen der Daten frei zu machen, damit diese gelöscht und anschließend wieder beschrieben werden können. Dieser Vorgang ist wichtig für die Leistung des Flash-Speichers, da beim Löschvorgang im Dateisystem Dateien nur für ungültig erklärt, jedoch nicht physikalisch gelöscht werden. Die eigentlichen Daten bleiben in der Speicherzelle erhalten. Die Garbage Collection räumt sozusagen auf. Dieser Vorgang läuft zumeist im Hintergrund ab, um Auswirkungen auf die Speichergeschwindigkeit gering zu halten.

5.3 Wear Leveling

Wear Leveling sorgt dafür, dass Flash-Zellen gleichmäßig abgenutzt werden, indem Schreibzugriffe gleichmäßig auf die Flash-Zellen verteilt werden. Weil bereits die Abnutzung einzelner Flash-Zellen zu Datenfehlern führen kann, beeinflusst Wear Leveling die Lebensdauer eines Speichers maßgeblich. Hersteller von industriellen Flash-Speichern integrieren in ihren Flash-Controllern eine Kombination aus statischem und dynamischem Wear Leveling. Das heißt, dass einerseits Schreibzugriffe auf die am wenigsten abgenutzten Zellen verteilt werden. Andererseits sorgt das Wear Leveling dafür, dass statische Daten, die nicht oder selten geändert werden, von Zeit zu Zeit verschoben werden. Dadurch wird sichergestellt, dass sämtliche Flash-Zellen am Wear Leveling teilnehmen, was die Retention stark verbessert.

5.4 Write Abort Handling

Von Write Abort spricht man, wenn während eines Schreibvorgangs die Stromzufuhr unterbrochen wird, beispielsweise wegen eines Stromausfalls. Wird die Stromzufuhr nicht mittels einer Batterie oder eines Supercap überbrückt, gehen die Daten, die gerade geschrieben werden, verloren. Wichtig ist allerdings, dass die Firmware und die Metadaten des Flash-Speichers durch solche Zwischenfälle nicht beschädigt werden. Daher haben industrielle Flash-Speicher in der Regel eine Sicherheitsschaltung integriert, welche Firmware und Metadaten im Fall eines Stromunterbruchs schützt.

6 Zusammenfassung

Wer für Industrieapplikationen Flash-Speicher evaluiert, ist gut bedient, wenn er die Parameter kennt, welche Endurance und Retention beeinflussen (Siehe Punkt 1.2). Syslogic vertreibt ausschließlich Flash-Speicher von ausgewiesenen Industriespezialisten. Besonders beliebt für anspruchsvolle Anwendungen sind die Speicher von Cactus Technologies. Das taiwanische Unternehmen hat sich voll und ganz der Industrie verschrieben. Das vollständige Produktportfolio bietet sowohl SLC- als auch pSLC- und MLC-Speicher (Single Level Cell, Pseudo Single Level Cell und Multi Level Cell).

Hochwertige A-Grade NAND und clevere Firmware

Das Produktportfolio von Cactus Technologies bildet nicht nur die unterschiedlichen Flash-Technologien ab, sondern auch eine Vielzahl an Formfaktoren wie Compact Flash, CFast, SD- und microSD Card, 2.5" Disk oder M.2. Damit bietet Cactus Technologies für fast alle Industrieanwendungen den richtigen Speicher.

Allen Cactus Speichern gemein sind hochwertige A-Grade-NAND sowie ausgeklügelte und vielfach bewährte Flash-Controller und Firmware. Die Speicher von Cactus Technologies gehören zu den langlebigsten Flash-Speichern am Markt. Sie werden weltweit von namhaften Unternehmen in Märkten wie Automation, Railway, Automotive oder Healthcare eingesetzt. Cactus bietet als eines von wenigen Unternehmen Speicher, welche vom Hersteller für -45 bis $+90^{\circ}$ qualifiziert sind. Zudem übernimmt Cactus für seine Kunden die spezifischen Branchenzertifizierungen. Sei es ISO/TS16949 für Automotive- oder EN50155 für Railway-Anwendungen.

Lange und unverändert erhältlich

Neben der Robustheit und Langlebigkeit entscheiden sich Kunden vor allem wegen der Verfügbarkeit für Produkte von Cactus. Das Unternehmen bietet eine Verfügbarkeit ihrer Produkte über mehrere Jahre. Möglich wird das durch eine sorgfältige Bauteilbeschaffung. Zudem unterhält Cactus ein eigenes Lager, um auch über den Produktionszeitraum hinaus auf Bauteile zurückzugreifen. Bestes Beispiel für die langfristige Verfügbarkeit von Cactus Speichern ist die 203 Serie, die Cactus seit 2005 fast unverändert im Programm hat.

Neben einer langen Verfügbarkeit bieten sämtliche Cactus Speicher eine Fixed BOM (Bill of Material). Damit garantiert Cactus, dass Produkte innerhalb einer Serie vollkommen identisch sind, dass also die gleiche Firmware und die gleichen Flash-Bausteine verwendet werden. Cactus verhindert dadurch erfolgreich, dass innerhalb einer Serie Kompatibilitätsschwierigkeiten auftreten.

Werden doch einmal Anpassungen notwendig, ändert Cactus die Artikelnummer und informiert seine Kunden frühzeitig mittels PCN (Product Change Notification). Dadurch sind diese in der Lage, die geänderten SSD-Speicher zu testen, bevor sie die Speicher in ihren Geräten verbauen.

Gewissenhafte Evaluation verhindert Ärger, Kosten und Imageverlust

Grundsätzlich kann man sagen, dass Flash basierte Speichermedien heute nicht mehr aus der Industrie wegzudenken sind. Studien gehen davon aus, dass der Anteil von Flash-Speichern dank Entwicklungen wie IIoT (Industrial Internet of Things) und Industrie 4.0 weiterhin steigen wird.

Achtet man bei der Speicherevaluation auf die Kennwerte aus diesem White Paper, lassen sich jede Menge Ärger und damit verbundene Folgekosten vermeiden. Bei der großen Zahl an Anbietern lohnt es sich, einen zu berücksichtigen, der Erfahrungen im Industrieumfeld vorweisen kann.

Welche Technologie sich am besten eignet, hängt sehr stark von der jeweiligen Anwendung ab. Die nachfolgende Aufstellung zeigt nochmals kurz die wichtigsten Unterschiede auf.

Product Grade Selector

Product Grade	Industrial	OEM	Commercial
NAND Types	SLC Single Level Cell	pSLC Pseudo SLC	MLC Multi Level Cell
Bit/Cell	1	1	2
Endurance Cycles	100K / 80K / 50K	20K	3K
Reliability	● ● ● ● ●	● ◀	●
Data Retention	● ● ● ● ●	● ◀	●
Life Cycle	● ● ● ● ●	● ●	● ●
Locked-BOM	✓	✓	✓
Cost	\$\$\$\$	\$\$\$	\$\$