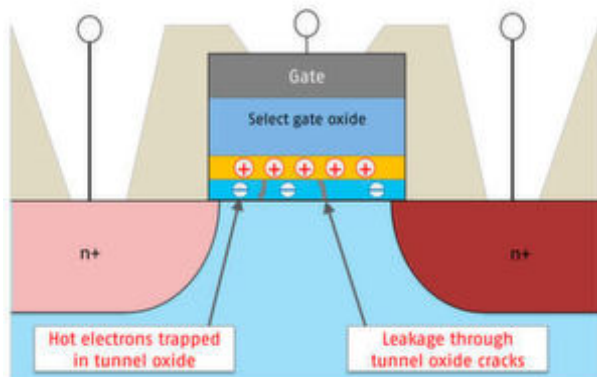


Alterung und Retention von Flash

Data Care Management für industrielle Anwendungen

02.03.17 | Autor / Redakteur: Ulrich Brandt * / [Sebastian Gerstl](#)

NAND flash wear out damages



Eine alternde Zelle: In der Tunneloxidschicht sammeln sich Elektronen, wodurch sich allmählich die Schwellwertspannung verschiebt. Risse im Tunneloxid schaffen Leckstrompfade, durch die Ladung abfließen kann. Die Lesefehler nehmen zu, bis der gesamte Block als „Bad Block“ ausgemustert werden muss. (Bild: swissbit)

Flash-Speicher verfällt mit zunehmenden Alter. Wie schnell, ist von unterschiedlichen Faktoren abhängig. Sorgfältiges Data Care Management kann die Lebenszeit und Zuverlässigkeit aber enorm verlängern.

Flash-Speicher wird durch die Benutzung verbraucht. Wie schnell dies geschieht, ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Die Verwendung von Elektronikkomponenten mit erweitertem Temperaturbereich und robuste Verarbeitung sind typische Anforderungen für Speicherkomponenten im industriellen Einsatz. Noch wichtiger aber ist meist, dass die Medien über längere Zeit Daten zuverlässig erhalten.

Geht es um die Langlebigkeit, ist die aktive Mithilfe des Controllers gefragt: Die interne Arbeitsweise ist entscheidend dafür, wie lange ein Flash-Speicher beschreibbar bleibt und wie lange er keine Daten verliert.

Um dies nachvollziehen zu können, muss man verstehen, wie Flash-Speicher altern.

Schleichender Verfall im Flash-Speicher

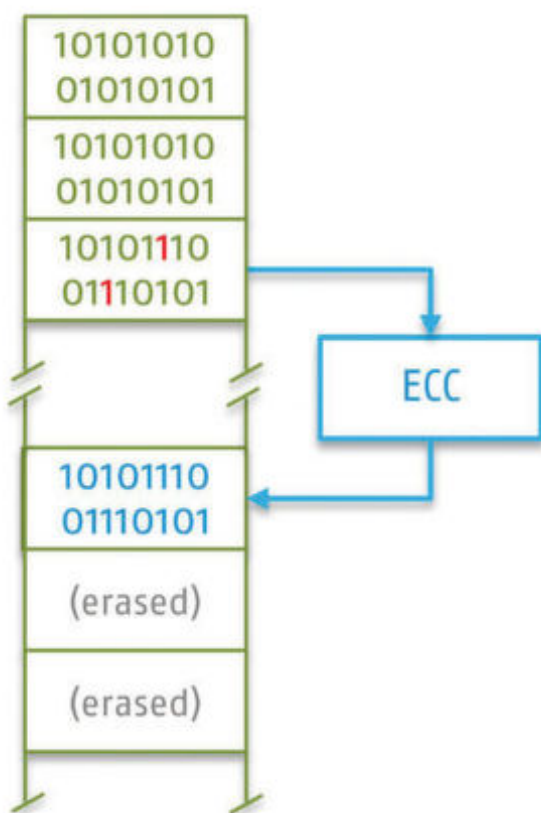
Zellen eines NAND-Flashs überstehen nur eine begrenzte Zahl von Löschungen. Die Löschspannung erzeugt einen Tunneleffekt, durch den die Elektronen aus dem Floating Gate oder Charge Trap Layer, in dem sie gespeichert sind, herausgezogen werden. Über viele Löszyklen sammeln sich dabei auch in der Oxidschicht Elektronen mit erhöhtem Energieniveau an. Damit verschiebt sich auf Dauer die Schwellwertspannung, bis die Zelle nicht mehr lesbar ist.

Ein weiterer Alterungseffekt: Es entstehen leitende Pfade durch die Oxidschicht. Dadurch verliert die Zelle allmählich ihren Ladungszustand und damit das gespeicherte Bit. Dieser Effekt verstärkt sich durch hohe Temperaturen: Untersuchungen an einem

25-nm-MLC-NAND haben gezeigt, dass die Retention nach fünf Jahren bei 55 °C auf ca. 75 % fällt. Bei 85 °C fällt sie unter 10 %. Der Effekt wird zudem mit der Zeit immer stärker, je mehr sich die Zelle ihren maximalen Programmier-/Lösch-Zyklen (P/E-Zyklen) nähert.

Die Auswirkung auf die Retention ist gewaltig: Kann man sowohl bei einem Single-Level-Cell- wie bei einem Multi-Level-Cell-NAND ursprünglich von einer Retention von zehn Jahren ausgehen, liegt sie am Ende des Lebenszyklus nur noch bei einem Jahr. Dieser Punkt ist beim MLC nach 3000 P/E-Zyklen erreicht, beim SLC erst nach 100.000 P/E-Zyklen. Auch deshalb ist SLC in besonders anspruchsvollen Anwendungen so beliebt.

Stress beim Lesen und Datenpflege



Data Care Management gegen schleichenden Datenverlust: Im Hintergrund werden alle beschriebenen Blöcke gelesen und im Falle zu vieler Bitfehler kopiert, repariert und neu geschrieben. (Bild: swissbit)

Bezogen auf die Retention lässt sich sagen, dass Daten vor allem dann langfristig sicher sind, wenn möglichst wenig gelöscht und wiederbeschrieben wird. Doch es wäre falsch anzunehmen, dass ein Datenträger, der hauptsächlich gelesen wird, nicht 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 Potential 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. 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.

Die Bits in Form von Ladungsunterschieden in NAND-Zellen sind also permanent vom Verschwinden bedroht. Hersteller von Flash-Medien, die für Anwendungen in Maschinen, Industrieanlagen oder Fahrzeugen geeignet sein sollen, setzen deshalb auf Prozesse zum Erhalt der gespeicherten Daten. Eine Kombination verschiedener Mechanismen wie ECC Monitoring, Read Disturb Management und Auto Read Refresh stellt sicher, dass sämtliche gespeicherten Daten überwacht und falls nötig aufgefrischt werden. Damit lassen sich Systemausfälle schon im Vorfeld verhindern. Datenintegrität soll ohne Beteiligung der Hostapplikation garantiert werden, deshalb verlaufen diese Prozesse autonom innerhalb der Speicherkarte.

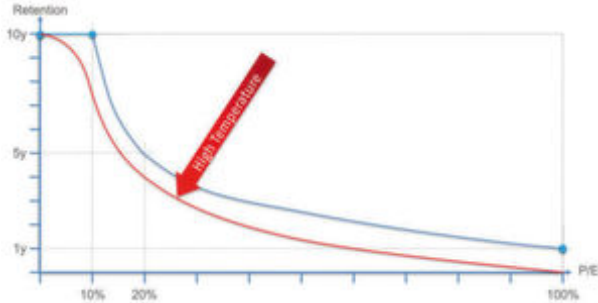
Zunächst dient die Fehlerkorrektur (ECC) als Auslöser, dass im Fall gehäufter Bitfehler beim Lesen der betroffene Block neu geschrieben und der fehlerhafte gelöscht wird. Dieser Mechanismus bedingt aber die Leseanfrage der Hostapplikation. Schleichende Korruption länger nicht gelesener Daten bleibt hier unbehandelt. Fortschrittliches Data Care Management sucht daher unabhängig von Anfragen durch die Applikationen nach potenziellen Fehlern. Dazu werden im Hintergrund alle beschriebenen Seiten inklusive Firmware und Zuordnungstabelle des FTL (Flash Translation Layer) gelesen und aufgefrischt.

Für diesen Prozess gibt es verschiedene Trigger. So kann er durch eine festgelegte Zahl des wiederholten Einschaltens ausgelöst werden, wobei der Prozess möglichst verzögert startet, um keinen Boot-Vorgang zu stören. Ein anderer Trigger ist abhängig von der Zahl durchgeführter P/E-Zyklen; am Anfang der Lebensdauer wird der Refresh nur selten gestartet, bei zunehmenden P/E-Zyklen verkürzt sich das Intervall zwischen den Refreshläufen immer mehr.

Um den Folgen des Read-Disturb-Effekts entgegenzuwirken, ist auch die gelesene Datenmenge ein Hinweis für den Controller, Daten in frische Blöcke umzukopieren. Ganz wichtige Auslöser sind Lesewiederholungen. Read-Retry-Mechanismen können Bits, die auf den ersten Versuch nicht erkannt wurden, durch eine schrittweise

Erhöhung der Schwellwertspannung doch noch lesen. Dies gleicht Fehler aus, die durch Temperaturunterschiede beim Schreiben und Lesen zustande kommen, wird aber auch als Warnzeichen verstanden, da ja sowohl Alterungserscheinungen als auch der Read-Disturb-Effekte Lesefehler verursachen.

Mehr Effizienz für industriellen Flash-Speicher



Die Haltbarkeit von Flash-Speichern nimmt bei höheren Temperaturen deutlich ab. Spezialisierte Hersteller wie Swissbit bieten Medien an, in denen eine Reihe von Mechanismen den Verfallserscheinungen entgegen wirken. (Bild: swissbit)

Es wurden die Alterungserscheinungen erklärt und wie man gegen das „Verblässen“ der Daten vorgeht. Es wurde bereits klar, dass hierzu eine Reihe interner Vorgänge nötig sind und es sind bei Weitem nicht alle. Garbage Collection, das Konsolidieren verstreuter Daten, um ganze Blöcke freizustellen, oder das Wear Leveling, die Lastverteilung zur gleichmäßigen Abnutzung der Zellen. Das sind nur zwei weitere Beispiele für Prozesse, die Lese-, Löscho- und Schreibaktivitäten verursachen.

Eine weitere interessante Herausforderung für Hersteller, die besonders langlebige Flash-Speichermedien anbieten wollen: WAF (Write Amplification Factor) oder deutsch Schreibverstärkung. Er gibt das Verhältnis zwischen den vom Host kommenden Anwenderdaten und der tatsächlich in den Flash geschriebenen Menge an Daten wieder. Er ist ein Maß für die Effizienz der Arbeit eines Flash-Controllers. Die Schreibverstärkung zu reduzieren, ist einer der Schlüssel für längere Lebensdauer. Der Unterschied zwischen sequenziellen und zufälligen Zugriffen oder die Größe der Dateiblöcke im Verhältnis zu Seiten und Blockgrößen sind Faktoren, die den WAF beeinflussen.

Die Funktionsweise von Flash-Speichern ist der Grund für diese Zusammenhänge: Seiten innerhalb eines Blocks müssen nacheinander beschrieben und Blöcke als Ganzes gelöscht werden. Das Mapping zwischen logischer und physischer Adresse bezieht sich im Standardverfahren auf Blöcke. Sehr effizient ist dies bei sequenziellen Daten, weil dann die Seiten eines Blocks hintereinander weg geschrieben werden. Anwendungsbeispiel: kontinuierlich gesammelte Videodaten. Bei Random-Daten

werden hingegen Seiten in vielen verschiedenen Blöcken geschrieben, bei jedem internen Umschreiben muss pro Page unter Umständen ein ganzer Block gelöscht werden. Die Folge: hoher WAF, sinkende Lebensdauer.

Für nicht sequenzielle Daten ist daher Page-based Mapping besser geeignet, das heißt, die Firmware sorgt dafür, dass Daten verschiedenen Ursprungs sequenziell in Seiten eines Blocks abgelegt werden können. Die Zahl der Löschungen sinkt – positiv für die Lebensdauer – und die Schreibleistung steigt. Nachteil dieser Methode ist die größere FTL-Zuordnungstabelle (Flash Translation Layer), doch dies kann mit einem integrierten DRAM ausgeglichen werden.

Effizienz erhöhen

Vielen nicht bewusst: Auch der Nutzungsgrad des Datenträgers treibt die Schreibverstärkung in die Höhe. Warum? Je mehr Daten auf einem Flash-Medium gespeichert sind, desto häufiger muss die Firmware Bits „umschauen“. Auch hier ist Page-based Mapping klar im Vorteil.

Einige Hersteller nutzen hier auch eine weitere Stellschraube: Over Provisioning. Dabei geht es um einen Bereich des Flashs, der nur für die internen Aktivitäten reserviert ist. Üblicherweise sind das 7 % – der Unterschied bei Gigabyte-Angaben zwischen dem binären und dem dezimalen Wert. Werden statt 7 %, 12 % des Datenträgers als Over Provisioning reserviert, hat das einen erstaunlichen Effekt: Bei ansonsten gleicher SSD hat ein Modell mit 12 % Overprovisioning eine 80 % höhere Endurance.

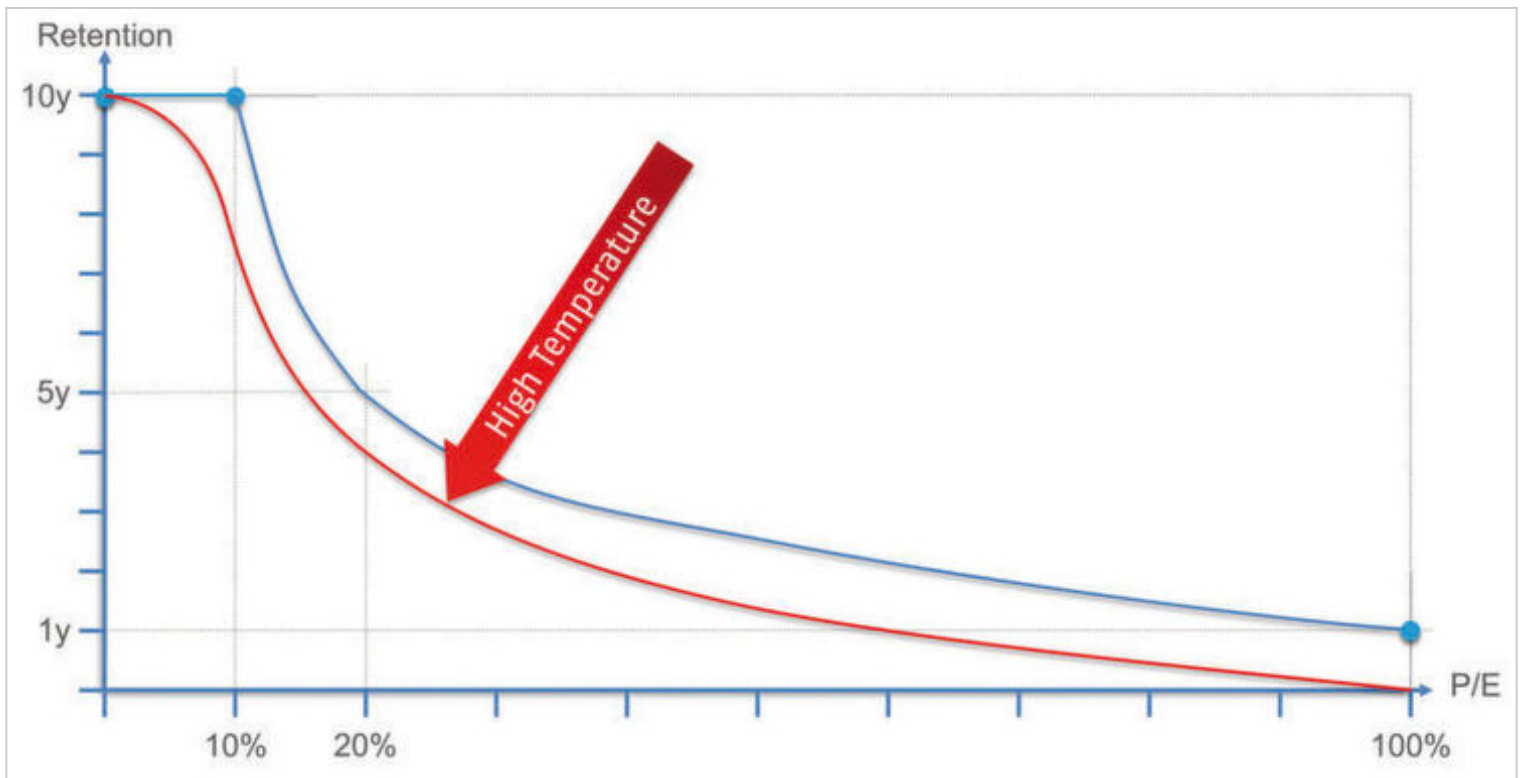
In Kombination mit einem DRAM ist der Unterschied dann noch deutlicher: Bei einem Endurance-Vergleich zwischen zwei vom MLC-NAND-Chip her gleichen SSDs erreichte das Swissbit-Modell F-60 durabit mit 60 GB und integriertem DRAM einen 6,6-fach höheren Wert als das Modell F-50 mit 64 GB und ohne zusätzlichem DRAM. Bei den Versionen 240 GB/265 GB war der Wert sogar 10-mal höher. (Verglichen wurden die TBW (Terabyte Written) bei Anwendung der Enterprise Workload. Das bedeutet, die insgesamt über die Lebenszeit geschriebene Datenmenge in TB mit der anspruchsvollsten von der Standardisierungsorganisation JEDEC definierten Beanspruchung.)

Hochwertige Komponenten und gute Verarbeitung sollten selbstverständlich sein für einen industrietauglichen Flash-Speicher. Wenn es um die Lebensdauer und die zuverlässige Datenspeicherung geht, hängt sehr viel davon ab, was der Controller macht. Mit fortschrittlicher Firmware schafft es Swissbit, Memory Cards und SSDs deutlich langlebiger zu machen und den unvermeidlichen Alterungserscheinungen entgegenzuwirken. Danach sollten Entwickler und Hersteller fragen, wenn in der eigenen Applikation Haltbarkeit wichtig ist.

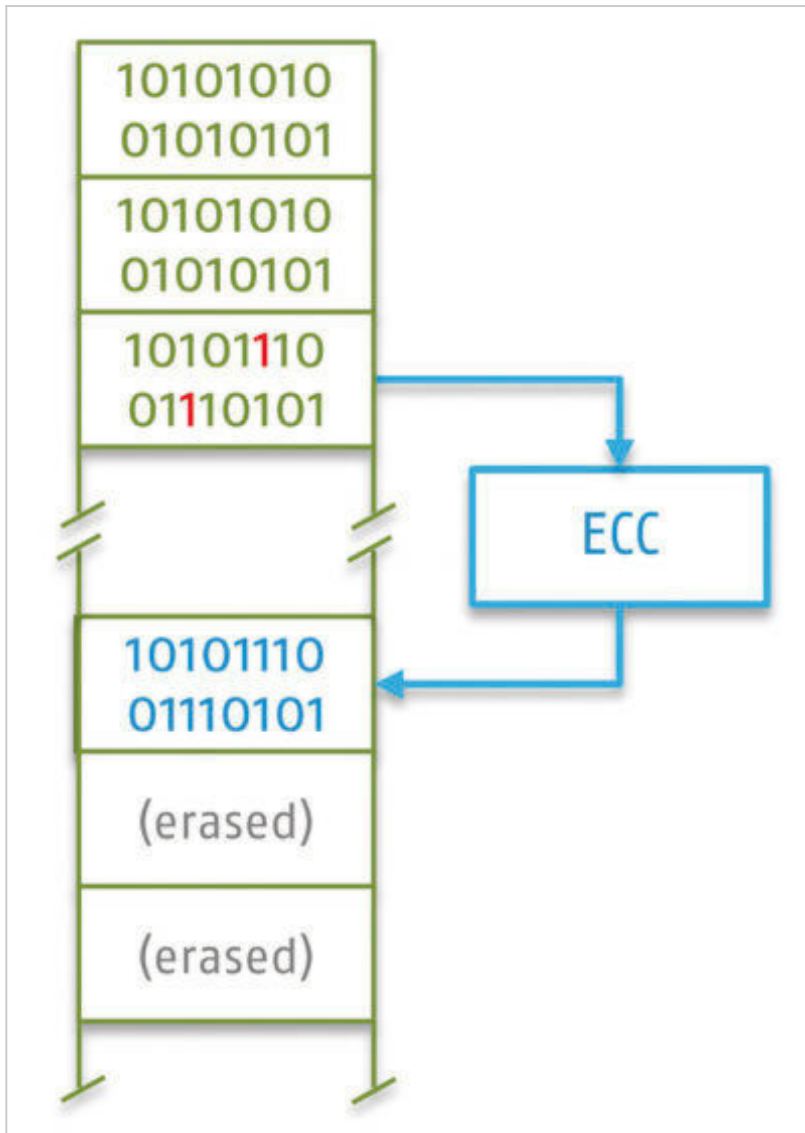
*Ulrich Brandt ist Marketingdirektor der swissbit AG.

Dieser Beitrag ist urheberrechtlich geschützt.
Sie wollen ihn für Ihre Zwecke verwenden?
Infos finden Sie unter www.mycontentfactory.de.

Dieses PDF wurde Ihnen bereitgestellt von <http://www.elektronikpraxis.vogel.de>



Die Haltbarkeit von Flash-Speichern nimmt bei höheren Temperaturen deutlich ab. Spezialisierte Hersteller wie Swissbit bieten Medien an, in denen eine Reihe von Mechanismen den Verfallserscheinungen entgegen wirken. (swissbit)



Data Care Management gegen schleichenden Datenverlust: Im Hintergrund werden alle beschriebenen Blöcke gelesen und im Falle zu vieler Bitfehler kopiert, repariert und neu geschrieben. (swissbit)