
¹Dieses Werk steht unter der Creative-Commons-Lizenz „Namensnennung 4.0 International“. Um eine Kopie dieser Lizenz zu sehen, besuchen Sie <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

Inhaltsverzeichnis

- 1 Einleitung
- 2 Grundlagen
- 3 Factory Bad Blocks
- 4 Grown Bad Blocks
- 5 3D NAND
- 6 Zusammenfassung

1 Einleitung

Dieses Dokument betrachtet die Entstehung von „Bad Blocks“ bei NAND-Flash und die Auswirkungen auf die Zuverlässigkeit des Speichermediums. Dabei sind die Funktionstests im gesamten Temperaturbereich beim Hersteller des Flashes sowie beim Hersteller des Speichermediums ein Garant, um Frühausfälle zu vermeiden. Während der Lebensdauer des Speichermediums sind wiederum die Fähigkeiten der Firmware für die Zuverlässigkeit von großer Bedeutung.

2 Grundlagen

NAND-Flash ist im Vergleich zu anderen elektrischen Speichern wie NOR-Flash oder DRAM sehr preisgünstig. Dies liegt unter anderem daran, dass bei NAND-Flash nicht jedes einzelne Bit fehlerfrei sein muss. Entsprechend hoch fällt die Ausbeute („Yield“) bei der Herstellung aus. So wird bei 128 Gbit NAND-Flash typischerweise eine Ausbeute von über 90 % erreicht. Folglich wird für NAND-Flash zwingend eine Fehlerkorrektur benötigt, um Bitfehler korrigieren zu können. Während bei NOR-Flash und DRAM Bitfehler so selten auftreten, dass für die meisten Applikationen auf die optionale Fehlerkorrektur verzichtet wird, sind harte Bitfehler bei NAND-Flash bereits seit der Produktion vorhanden.

3 Factory Bad Blocks

- 2 Nach der Produktion der Flash-Bausteine werden dieser getestet. Die ersten Tests werden bereits auf Wafer-Level, also vor dem Zerteilen des Wafers in einzelne Dies vorgenommen.
- 2 Dabei kommen verschiedene Testmuster und Temperaturen zur Anwendung. Idealerweise wird hier bereits der gesamte Temperaturbereich mit einem Schreib-/Lesetest abgedeckt.
- 3 Da sich Halbleiter-Herstellungsprozesse im Nanometer-Bereich bewegen, sind Fehlerstellen unvermeidlich (Gitterfehler, Toleranzen bei der Lithografie, Positionierungsfehler, Staub, ...). Sofern sich diese Fehler in aktiven Bereichen des Dies befinden und in Erscheinung treten, so äußern sich diese hauptsächlich in Bitfehlern der Flash-Zellen. Liegt die Bitfehlerrate eines Abschnitts während des Schreib-/Lesetests über einem Grenzwert, wird dieser Block als Bad-Block markiert.
- 4

Mit geringerer Wahrscheinlichkeit ist die Peripherie eines Flash-Blocks von einem Fehler betroffen (z. B. Adress-Decoder oder Register). In diesem Fall wird der Block ebenfalls als Bad-Block markiert, da er nicht funktionstüchtig ist.

Werden zu viele Blöcke aussortiert, dann stehen nicht mehr genügend Blöcke zur Verfügung, um die Nennkapazität zu erreichen bzw. um ausreichend Reserveblöcke vorzuhalten. Dann wird der gesamte Die als schlecht markiert und nach dem Zerteilen des Wafers verworfen.

Swissbit-interne Tests haben gezeigt, dass bei den von Swissbit verwendeten Flash-Typen die Anzahl der Factory-Bad-Blocks nicht mit der Zuverlässigkeit des Flash-Speichers korreliert. Eine überdurchschnittlich hohe Anzahl von schlechten bzw. defekten Blöcken erhöht nicht die Wahrscheinlichkeit für einen Frühausfall.

4 Grown Bad Blocks

Während der Lebensdauer des Speichermediums können weitere Bad-Blocks auftreten (sogenannte „Grown Bad Blocks“ oder „Runtime

Bad Blocks“). Dies ist ein völlig normaler Vorgang, und die Flash-Hersteller können dies im Vorfeld nicht vermeiden [1] [2].

Die häufigste Ursache ist ein Versagen der Isolationsschicht eines NAND-Transistors beim Anlegen der hohen Spannung, die zum Löschen einer Zelle benötigt wird. Erhöht sich während der Lebenszeit das Bitfehlerverhältnis eines Blocks nach einem Löschen- oder Programmiervorgang über einen Grenzwert, so wird ein solcher Block von der Firmware ausgeblendet und durch einen anderen Block ersetzt. Würde dies nicht geschehen, würde es zu Datenverlust kommen, wenn die Anzahl der Bitfehler die Anzahl der korrigierbaren Bitfehler überschreitet. Dabei muss noch ein gewisser Vorhalt existieren, da zudem auch Soft-Errors durch Ladungsverlust (lange Lagerung oder ionisierende Strahlung) auftreten können.

Das sichere Handhaben von Grown-Bad-Blocks stellt erhöhte Anforderungen an die Firmware des Speichermediums, da ein solcher Block, sowie er erkannt wurde, sowohl ein zuverlässiges Umkopieren der schon im Block gespeicherten Daten erfordert, als auch das Zwischenspeichern der für diesen Block vorgesehenen neuen Daten.

Das Auftreten von Grown-Bad-Blocks folgt einer Badewannenkurve (Abbildung 1):

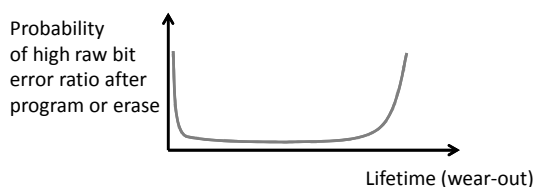


Abbildung 1: Bad-Block Auftretswahrscheinlichkeit

Zu Beginn der Lebenszeit kann es vermehrt zu Frühausfällen kommen, wenn die Isolationsschicht bereits nach wenigen Löschkzyklen versagt. Dann folgt eine lange Periode mit einer sehr geringen Wahrscheinlichkeit. Nach Überschreiten der spezifizierten Anzahl von Schreib-/Löschkzyklen steigt die Wahrscheinlichkeit für Grown-Bad-Blocks immer weiter an.

Durch die stetige Verbesserung der Herstellungsprozesse liegt bei etablierten Flash-Technologien die Wahrscheinlichkeit, dass während der gesamten Lebensdauer überhaupt ein Grown-Bad-Block auftritt, typischerweise im einstelligen Prozentbereich. Je nach Technology werden etwa 2–4 % der Gesamtkapazität für Bad-Blocks vorgehalten, die aber nicht benötigt werden, und der Firmware für zusätzliches „Overprovisioning“ zur Verfügung stehen.

5 3D NAND

Im Gegensatz zum bisherigen planaren Aufbau der NAND-Speicher können bei 3D-NAND je nach Speichertyp weitere Fehlermodi auftreten, die zum Ausfall eines Blocks oder mehrerer Pages führen können. Bedingt durch die hohen Spannungen beim Löschen und Programmieren kann es zu Kurzschlüssen oder Unterbrechungen bei Leiterbahnen kommen. Auch in diesen Fällen können die betroffenen Blöcke ohne negative Auswirkungen auf die anderen Blöcke ebenfalls deaktiviert und ersetzt werden. Allerdings kann es vorkommen, dass der Ausfall der Leiterbahn nicht nur die aktuell programmierte Page betrifft, sondern den gesamten Block. Dann sind alle bereits geschriebenen Daten dieses Blocks verloren. Um diesem Datenverlust vorzubeugen, gibt es zwei verschiedene Techniken, die beide die Komplexität der Firmware deutlich erhöhen:

- Bei **Block-Parity** wird über mehrere Blöcke ein Parity-Block berechnet und im Flash gespeichert. Kommt es zu einem Ausfall eines Blocks, so kann dieser anhand der Parity-Informationen wiederhergestellt werden.
- Bei **Read-Verify** wird nach jeder Schreib-Operation auf einen Block der Inhalt dieses Blocks zurückgelesen und mit einer Kopie im RAM des Controllers verglichen. Hierfür ist viel RAM nötig, da für jeden offenen Block² eine vollständige Kopie im

²Ein Block, der nicht mehr gelöscht aber noch nicht vollständig gefüllt ist.

RAM gehalten werden muss.

Es können auch Kombinationen aus beiden Techniken zum Einsatz kommen.

6 Zusammenfassung

Das Vorhandensein von Factory-Bad-Blocks in NAND-Flash ist ebenso technologiebedingt, wie das Auftreten weiterer Bad-Blocks während der Lebensdauer. Beides stellt kein (negatives) Qualitätsmerkmal dar. Bei dem Auftreten von Grown-Bad-Blocks während der Lebensdauer ist jedoch die korrekte Behandlung dieser Ereignisse durch die Firmware entscheidend, um die neuen Daten wie auch die bereits gespeicherten Daten solcher Blöcke nicht zu verlieren.

Literatur

- [1] <https://www.electronicdesign.com/memory/11-myths-about-nand-flash>
- [2] https://www.micron.com/~media/documents/products/technical-note/nand-flash/tn2959_bbm_in_nand_flash.pdf

Kontaktieren Sie uns

Hauptsitz	Swissbit AG Industriestraße 4 9552 Bronschhofen Schweiz	Tel. +41 71 913 03 03 sales@swissbit.com
Deutschland (Berlin)	Swissbit Germany AG Bitterfelder Straße 22 12681 Berlin Deutschland	Tel. +49 30 936 954 0 sales@swissbit.com
Deutschland (München)	Swissbit Germany AG Leuchtenbergring 3 81677 München Deutschland	Tel. +49 30 936 954 400 sales@swissbit.com
Nord- und Südamerika	Swissbit NA Inc. 238 Littleton Road, Suite 202B Westford, MA 01886 USA	Tel. +1 978-490-3252 salesna@swissbit.com
Japan	Swissbit Japan Co., Ltd. CONCIERIA Tower West 2F 6-20-7 Nishishinjuku Shinjuku City, Tokyo 160-0023 Japan	Tel. +81 3 6258 0521 sales-japan@swissbit.com
Taiwan	Swissbit Taiwan 3F., No. 501, Sec.2, Tiding Blvd. Neihu District, Taipei City 114 Taiwan, R.O.C.	Tel. +886 912 059 197 salesasia@swissbit.com
China	Swissbit China	Tel. +886 958 922 333 salesasia@swissbit.com

Disclaimer:

The information in this document is subject to change without notice. Swissbit AG ("SWISSBIT") assumes no responsibility for any errors or omissions that may appear in this document, and disclaims responsibility for any consequences resulting from the use of the information set forth herein. SWISSBIT makes no commitments to update or to keep current information contained in this document. The products listed in this document are not suitable for use in applications such as, but not limited to, aircraft control systems, aerospace equipment, submarine cables, nuclear reactor control systems and life support systems. Moreover, SWISSBIT does not recommend or approve the use of any of its products in life support devices or systems or in any application where failure could result in injury or death. If a customer wishes to use SWISSBIT products in applications not intended by SWISSBIT, said customer must contact an authorized SWISSBIT representative to determine SWISSBIT willingness to support a given application. The information set forth in this document does not convey any license under the copyrights, patent rights, trademarks or other intellectual property rights claimed and owned by SWISSBIT.

ALL PRODUCTS SOLD BY SWISSBIT ARE COVERED BY THE PROVISIONS APPEARING IN SWISSBIT'S TERMS AND CONDITIONS OF SALE ONLY, INCLUDING THE LIMITATIONS OF LIABILITY, WARRANTY AND INFRINGEMENT PROVISIONS. SWISSBIT MAKES NO WARRANTIES OF ANY KIND, EXPRESS, STATUTORY, IMPLIED OR OTHERWISE, REGARDING INFORMATION SET FORTH HEREIN OR REGARDING THE FREEDOM OF THE DESCRIBED PRODUCTS FROM INTELLECTUAL PROPERTY INFRINGEMENT, AND EXPRESSLY DISCLAIMS ANY SUCH WARRANTIES INCLUDING WITHOUT LIMITATION ANY EXPRESS, STATUTORY OR IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE.

© 2022 SWISSBIT AG