

DIN EN 60749-41



ICS 31.080.01

Einsprüche bis 2017-05-24

Entwurf

**Halbleiterbauelemente –
Mechanische und klimatische Prüfverfahren –
Teil 41: Zuverlässigkeitsprüfverfahren für nichtflüchtige Speicher-
Bauelemente
(IEC 47/2325/CD:2016)**

Semiconductor devices –
Mechanical and climatic test methods –
Part 41: Reliability testing methods of non-volatile memory devices
(IEC 47/2325/CD:2016)

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-03-24 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 35 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4
2 Normative Verweisungen	4
3 Begriffe	4
4 Prüfvorrichtung	7
5 Prüfverfahren.....	7
5.1 Qualifikationsvorschriften	7
5.2 Prüfung der Zykelfestigkeit.....	8
5.2.1 Prüfanordnung.....	8
5.2.2 Zyklische Datenprüfung.....	8
5.2.3 Verifizierung der elektrischen Prüfung	12
5.3 Datenerhalt	12
5.3.1 Datenprogrammierung	12
5.3.2 Elektrische Prüfung und Verifizierung des Datenmusters (ausgenommen jeglicher Programmier-/Löschprüfung von EEPROMs)	12
5.3.3 Beanspruchung zur Prüfung des Datenerhalts	13
5.3.4 Elektrische Prüfung und Verifizierung des Datenmusters.....	13
5.4 Vorsichtsmaßnahmen.....	13
5.5 Messungen	13
5.5.1 Elektrische Messungen	13
5.5.2 Erforderliche Messungen	13
5.5.3 Messbedingungen	13
6 Ausfallkriterien und Berechnung	14
6.1 Definition eines Ausfalls	14
6.2 Handhabung vorübergehender Ausfälle.....	14
6.3 Trennung von Ausfällen in Datenfehler und Bauelemente-Ausfälle	14
6.4 Berechnung des UBER-Werts.....	14
6.4.1 Gleichung zur Definition des UBER-Werts.....	14
6.4.2 Berechnung des UBER-Werts im Idealfall	15
6.4.3 Berechnung des UBER-Werts in anderen Fällen.....	16
7 Zusammenfassung	16
Anhang A (informativ) Zusätzliche Prüfbedingungen	17
Literaturhinweise.....	19
 Bilder	
Bild 1 – Schematische Darstellung	8
Bild A.1 Modell der Prüfung der Zykelfestigkeit und des Datenerhalts	17
Bild A.2: Prüfkonzept der Erwärmung zur Prüfung des Datenerhalts als Funktion der Zykelfestigkeit.....	17

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47/2325/CD:2016 „Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 41: Reliability testing methods of non-volatile memory devices“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom TC 47 „Semiconductor devices“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium K 631 „Halbleiterbauelemente“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO [und/oder] IEC sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Halbleiterbauelemente – Mechanische und klimatische Prüfverfahren – Teil 41: Zuverlässigkeitsprüfverfahren für nichtflüchtige Speicher-Bauelemente

1 Anwendungsbereich

Diese Beanspruchungsprüfung dient zur Bestimmung der Fähigkeit eines EEPROM-ICs oder einer integrierten Schaltung mit einem EEPROM-Modul (wie z. B. einem Mikroprozessor), sich wiederholenden Datenänderungen ohne Ausfall standzuhalten (Zykelfestigkeit) und Daten über die zu erwartende Lebensdauer eines EEPROM zu speichern (Datenerhalt).

Diese Beanspruchungsprüfung legt die verfahrenstechnischen Anforderungen zur Ausführung von gültigen Zykelfestigkeits- und Datenerhaltsprüfungen fest, die auf einer Qualifikationsvorschrift beruhen. Qualifikationsvorschriften für die Zykelfestigkeit und den Datenerhalt (für Zykluszahlen, Zyklusdauer, Temperaturen und Stichprobengrößen) sind in JESD47 festgelegt oder können anhand der wissensbasierten Verfahren in JESD94 erarbeitet werden.

Diese Beanspruchungsprüfung ersetzt keine anderen Qualifikationsanforderungen an Beanspruchungsprüfungen. Die Prüfung der Zykelfestigkeit und des Datenerhalts für die Qualifikation und Überwachung unter Verwendung der in JESD47 festgelegten Parameterebenen wird als zerstörend betrachtet. Es dürfen niedrigere Parameterebenen (z. B. Temperatur, Anzahl der Zyklen, Dauer der Erwärmung) zum Screening verwendet werden, solange diese Parameterebenen vom Gerätehersteller als zerstörungsfrei nachgewiesen wurden; die Prüfungen können vom Wafer bis zum fertiggestellten Bauelement durchgeführt werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60749-6, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 6: Storage at high temperature*

IEC 60749-23, *Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 23: High temperature operating life*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

3.1

elektrisch löschbarer programmierbarer Nur-Lese-Speicher

EEPROM (en: electrically erasable programmable read-only memory)

ein wiederprogrammierbares ROM, bei dem alle Zellen unter jeder Adresse gleichzeitig elektrisch gelöscht elektrisch neu programmiert werden können

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „EEPROM“ in dieser Norm bezieht sich auf alle Speicherbausteine, einschließlich Flash-EEPROMs und in integrierte Schaltungen eingebettete Speicherbausteine, wie z. B. löschbare programmierbare Logikbausteine (EPLDs) und Mikrocontroller. Speicherbausteine mit zerstörendem Lesen (destructive read memory) wie ferroelektrische Speicherbausteine, in denen beim Lesevorgang die Daten in den Speicherelementen neu geschrieben werden, liegen außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Norm.

3.2

Datenmuster

die Kombination von Einsen und Nullen im Speicherbaustein und deren physikalische und logische Positionen

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einem Bauelement kann es sich um ein Bauelement mit Single-Bit-per-Cell-Struktur (SBC) handeln, was bedeutet, dass eine physikalische Speicherzelle eine „0“ oder eine „1“ speichert, oder es kann sich um ein Bauelement mit Multiple-Bits-per-Cell-Struktur (MBC) handeln, was bedeutet, dass eine Speicherzelle üblicherweise zwei Datenbits speichert: „00“, „01“, „10“ oder „11“. Bei manchen MBC-Speicherbausteinen stellen die zwei Bits logisch benachbarte Bitpaare in jedem Datenbyte dar. Wenn z. B. ein Byte die Binärdaten 10110001 enthält, dann entspricht das vier physikalischen Speicherzellen mit den Daten 2301 in einer quaternären Logik. Die zwei Bits können bei anderen MBC-Speicherbausteinen Bits unter völlig verschiedenen Befehlsadressen darstellen. Bei einem SBC-Speicherbaustein besteht ein physikalisches Schachbrettmuster aus wechselnden Nullen und Einsen, wobei jede Null auf jeder Seite und darüber und darunter von Einsen umgeben ist; ein logisches Schachbrettmuster besteht aus den Datenbytes AAH oder 55H, bei denen jede 0 logisch benachbart zur 1 liegt. Bei manchen Qualifikationen kann es der Fall sein, dass nur logische Positionen bekannt sind.

3.3

Zykelfestigkeit

die Fähigkeit eines wiederprogrammierbaren Festwertspeichers dem Wiedereinschreiben von Daten standzuhalten und immer noch seinen Spezifikationen zu entsprechen

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Bauelementspezifikationen von EEPROMs erfordern vor dem Umprogrammieren oft einen Löschvorgang; in diesem Fall besteht ein Wiedereinschreiben von Daten aus Löschen- und Programmiervorgängen, die zusammen als Programmier-/Löschzyklus bezeichnet werden. Bei direkt beschreibbaren Speicherbausteinen können die Daten direkt und ohne Löschvorgang über die alten Daten geschrieben werden; in diesem Fall bezieht sich die Verwendung des allgemeinen Begriffs „Programmier-/Löschzyklus“ auf einen einzelnen Schreibvorgang ohne Löschen. Bei SBC-Speicherbausteinen, die einen Löschvorgang erfordern, besteht ein Programmier-/Löschzyklus aus dem Programmieren der Zellen (üblicherweise auf „0“) und dem darauffolgenden Löschen („1“). Bei einem vergleichbaren Fall mit einem MBC-Speicherbaustein würde ein Zyklus aus dem Programmieren der Zellen (auf „0“, „1“ oder „2“) und dem darauffolgenden Löschen („3“) bestehen.

Anmerkung 2 zum Begriff: Die Beanspruchung zum Prüfen der Zykelfestigkeit besteht aus dem Ausführen mehrerer Wiedereinschreibvorgänge in Folge, für welche die Datenmuster oder Muster ausgewählt werden müssen. Es gibt kein Datenmuster oder eine Reihe von Mustern, die den ungünstigsten Fall für alle Ausfallmechanismen darstellen. So stellt z. B. bei Floating-Gate-Speichern ein vollständig programmiertes Muster den ungünstigsten Fall bei einer Ladungsübertragung dar, ein physikalisches Schachbrettmuster stellt jedoch den ungünstigsten Fall für eine unerwünschte Programmierung von benachbarten Speicherzellen dar und ein fast vollständig gelöscht Muster kann den ungünstigsten Fall für Mechanismen darstellen, die sich auf das Löschen von Präkonditionierungsalgorithmen beziehen. Bei MBC-Speicherbausteinen stellt die Programmierung auf den höchsten Ladungszustand den ungünstigsten Fall für die Ladungsübertragung dar, und bei Zellen im Zwischenzustand kann eine längere Programmierzeit auftreten und diese können eine geringere Erfassungsspanne haben. Letztendlich wird bei manchen Speicherbausteinen die Erfassungsspanne von den Datenzuständen der physikalisch benachbarten Zellen beeinflusst.

3.4

Ausfall der Zykelfestigkeit

ein Ausfall, der während der Prüfung der Zykelfestigkeit auftritt

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Ausfall der Zykelfestigkeit tritt auf, wenn das Bauelement die Programmier- oder Löschvorgänge innerhalb der im Datenblatt festgelegten Zeiten nicht ausführen kann oder wenn das Bauelement jegliche andere Anforderungen im Datenblatt aufgrund der zyklischen Prüfung nicht ausführen kann. Ein Programmiervorgang, der zum Speichern von fehlerhaften Daten im Bauelement führt, gilt als Ausfall der Zykelfestigkeit. Wenn jedoch ein Fehlerbehebungsverfahren, wie z. B. ein Fehlerkorrekturcode, der im Bauelement implementiert oder wie festgelegt vom System anzuwenden ist, tritt der Ausfall wahrscheinlich nur auf, wenn der Fehler durch das festgelegte Verfahren nicht behoben wurde.

Anmerkung 2 zum Begriff: Bestimmte Produkte verfügen über ein internes oder externes Bad Block Management-System (BBM). Wenn das BBM-System einen Ausfall der Zykelfestigkeit erkennt, leitet es die Daten zu einem anderen (Ersatz-)Block und löscht die Adresse des ausgefallenen Blocks in der zugehörigen Adresstabelle. Ein Ausfall der

Zykelfestigkeit eines solchen Produkts kann auftreten, wenn eine voreingestellte Anzahl von Ersatzblöcken des Produkts innerhalb der im Datenblatt festgelegten Anzahl von Zyklen verbraucht worden ist.

Anmerkung 3 zum Begriff: Für Ausfälle der Zykelfestigkeit ist eine Anzahl bestimmter Ausfallmechanismen verantwortlich und diese werden im Allgemeinen auf verschiedene Arten durch die Temperatur und andere regelbare Qualifikationsparameter beschleunigt. So kann z. B. ein Ausfall bei Floating-Gate-Speichern durch Ladungshaftung (üblicherweise durch niedrigere Temperaturen beschleunigt) im ladungsübertragenden Dielektrikum oder durch Oxidbruch (üblicherweise durch höhere Temperaturen beschleunigt) im übertragenden Dielektrikum oder in peripheren Dielektrika verursacht werden.

3.5

Ausfall

der Verlust der Fähigkeit eines Bauelements, die elektrischen oder physikalischen Leistungsspezifikationen zu erfüllen, für die es vorgesehen ist (durch Ausführung oder Prüfung)

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff Ausfall wird oft durch ein Adjektiv qualifiziert, das die Art des Ausfalls beschreibt. So stellt z. B. ein Bauelement einen Funktionsausfall dar, wenn es seine Funktion nicht ausführen kann, und es handelt sich um einen parametrischen Ausfall, wenn es seine Funktion erfüllt, aber nicht der Spezifikation eines Datenblatts für einen Parameter, wie z. B. dem Stromverbrauch, entspricht. Ausfälle der Zykelfestigkeit und des Datenerhalts sind in 3.4 und 3.7 definiert.

Anmerkung 2 zum Begriff: Ausfälle können beständig oder vorübergehend sein. In dieser Norm stellt ein beständiger Ausfall ein Bauelement dar, das irgendwann während einer Beanspruchung zum Prüfen der Zuverlässigkeit ausfällt und weiterhin bei der letzten Prüfung am Ende dieser Beanspruchung ausfällt. Bei einem vorübergehenden Ausfall handelt es sich um ein Bauelement, dass während einer Beanspruchung zum Prüfen der Zuverlässigkeit ausfällt, jedoch die letzte Prüfung am Ende dieser Beanspruchung besteht.

3.6

Datenerhalt

die Fähigkeit der EEPROM-Zelle, Daten über einen längeren Zeitraum zu erhalten

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Begriff „Datenerhalt“ kann sich auf die Fähigkeit eines Bauelements beziehen, Daten in einem Zustand ohne Vorspannung zu erhalten, der Begriff wird jedoch manchmal für die Fähigkeit des Datenerhalts unter Vorspannung verwendet. Der Begriff „Störung“ bezieht sich eindeutig auf die Fähigkeit einer EEPROM-Zelle, Daten über einen längeren Zeitraum unter Vorspannung zu erhalten. So bezieht sich z. B. eine Lesestörung auf die Fähigkeit einer EEPROM-Zelle, die Daten nach einer gegebenen Anzahl von Lesevorgängen zu erhalten. Eine detaillierte Erörterung von Störungen liegt außerhalb des Anwendungsbereichs dieser Norm.

Anmerkung 2 zum Begriff: Eine Beanspruchung zum Prüfen des Datenerhalts besteht aus dem Schreiben eines Datenmusters in ein Bauelement und der darauffolgenden Verifizierung, ob das Datenmuster nach einer festgelegten Dauer bei einer festgelegten Temperatur intakt ist. Es gibt kein einzelnes Datenmuster, das den ungünstigsten Fall für alle Datenerhalt-Mechanismen, Ausführungen von Speicherzellen oder Prozessarchitekturen darstellt. Es gibt allgemein Ausfallmechanismen, die hauptsächlich programmierte Zellen beeinträchtigen und solche, die hauptsächlich gelöschte Zellen beeinträchtigen, und es gibt Ausfallmechanismen, die von den Daten in benachbarten Speicherzellen abhängen.

3.7

Ausfall des Datenerhalts

eine Änderung der gespeicherten Daten durch ein Bit oder mehr, die erkannt wird, wenn das Bauelement nach den Spezifikationen des Datenblatts gelesen wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Wenn ein Fehlerbehebungsverfahren, wie z. B. ein Fehlerkorrekturcode, in das Bauelement implementiert ist oder als vom System anzuwendend festgelegt ist, dann tritt der Ausfall nur auf, wenn der Fehler vom festgelegten Verfahren nicht ordnungsgemäß behoben wird.

Anmerkung 1 zum Begriff: Für Ausfälle des Datenerhalts ist eine Anzahl bestimmter Ausfallmechanismen verantwortlich und diese werden im Allgemeinen auf verschiedene Arten durch die Temperatur und andere regelbare Qualifikationsparameter beschleunigt. Bei Floating-Gate-Speichern z. B. kann ein Ausfall aufgrund Defekten auftreten, bei denen die Ladung über das übertragende Dielektrikum abgeleitet oder im übertragenden Dielektrikum freigelassen wird; ersteres kann durch eine hohe Temperatur leicht beschleunigt oder sogar entschleunigt werden und letzteres kann durch eine hohe Temperatur beschleunigt werden.

3.8

unkorrigierbare Bitfehlerquote

UBER (en: uncorrectable bit-error rate)

ein Maß für die Rate der Datenverfälschung, das der Anzahl der Datenfehler je gelesenen Bit nach Anwendung jedes spezifizierten Fehlerkorrekturverfahrens entspricht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die unkorrigierbare Bitfehlerquote wird nach folgender Gleichung berechnet:

$$UBER = \text{kumulative Anzahl von Datenfehlern} / \text{kumulative Anzahl gelesener Bits} \quad (1)$$

Bei Bauelementen ohne Fehlerkorrektur zählt jedes fehlerhafte Datenbit als Datenfehler. Bei Bauelementen mit Fehlerkorrektur zählt jedes Codewort oder jeder Sektor (wie im Produktdatenblatt festgelegt), das/der fehlerhafte Daten nach Anwendung des spezifizierten Fehlerkorrekturverfahrens zurücksendet, als Datenfehler. Transiente Datenfehler, wie z. B. Datenfehler, die in einem gegebenen Programmier-/Löschzyklus, aber nicht mehr danach auftreten, werden als Datenfehler betrachtet. Es dürfen standardmäßige statistische Aussagewahrscheinlichkeiten auf den Zähler angewendet werden.

Die kumulative Anzahl gelesener Bits ist die Summe aller vom Bauelement zurückgelesenen Datenbits bei mehreren Lesevorgängen des gleichen Speicherbits, was als Lesevorgang mehrerer Bits gilt. Wenn z. B. ein Bauelement mit einer Speicherkapazität von 1 Gb 10-mal gelesen wird, beträgt die Datenmenge gelesener Bits 10 Gb.

Anmerkung 2 zum Begriff: Manche Bauelemente können so spezifiziert sein, dass sie einen bestimmten UBER-Wert aufweisen und in diesem Fall muss die Qualifikation bestimmen, dass das Bauelement die UBER-Spezifikation erfüllt. In Abschnitt 5 werden Einzelheiten bezüglich der Berechnung des UBER-Werts erörtert.

4 Prüfvorrichtung

Die für dieses Prüfverfahren erforderliche Prüfvorrichtung muss aus einer Kammer mit einer Temperatur-Regeleinrichtung bestehen, die geeignet ist, die festgelegte Temperatur innerhalb von $\pm 5^\circ\text{C}$ aufrechtzuerhalten. Es müssen Sockel oder andere Befestigungsvorrichtungen in der Kammer vorhanden sein, damit ein zuverlässiger elektrischer Kontakt zu den Anschlüssen des Bauelements in der festgelegten Schaltungskonfiguration hergestellt werden kann. Die Stromversorgungen und Vorspannungsnetzwerke müssen dazu geeignet sein, die festgelegten Betriebsbedingungen während der Prüfung aufrechtzuerhalten. Die Prüfschaltung sollte so ausgeführt sein, dass das Vorhandensein anormaler oder ausgefallener Bauelemente nicht die festgelegten Bedingungen für andere Einheiten bei der Prüfung verändert. Es ist Vorsicht geboten, um mögliche Schäden durch Spannungsspitzen oder andere Zustände zu vermeiden, die zu einer elektrischen, thermischen oder mechanischen Überbeanspruchung führen können.

5 Prüfverfahren

5.1 Qualifikationsvorschriften

Qualifikationsvorschriften, einschließlich der in JESD47 aufgeführten, erfordern üblicherweise, dass manche Bauelemente sowohl einer Prüfung der Zykelfestigkeit durch Beanspruchung als auch einer darauffolgenden Prüfung des Datenerhalts durch Beanspruchung unterzogen werden. Es können auch Anforderungen bezüglich des Datenerhalts von Bauelementen bestehen, die keiner zyklischen Prüfung unterzogen werden. Qualifikationsvorschriften erfordern üblicherweise eine Prüfung der Zykelfestigkeit durch Beanspruchung, die innerhalb des im Datenblatt aufgeführten Bereichs bei verschiedenen Temperaturen durchgeführt wird. Qualifikationsvorschriften erfordern üblicherweise eine Prüfung des Datenerhalts durch Beanspruchung, die sowohl bei erhöhten Temperaturen, wie z. B. 125°C , als auch bei Raumtemperatur durchgeführt wird. Bild 1 veranschaulicht den Ablauf mit Bezug auf die Absätze, die das Verfahren beschreiben.

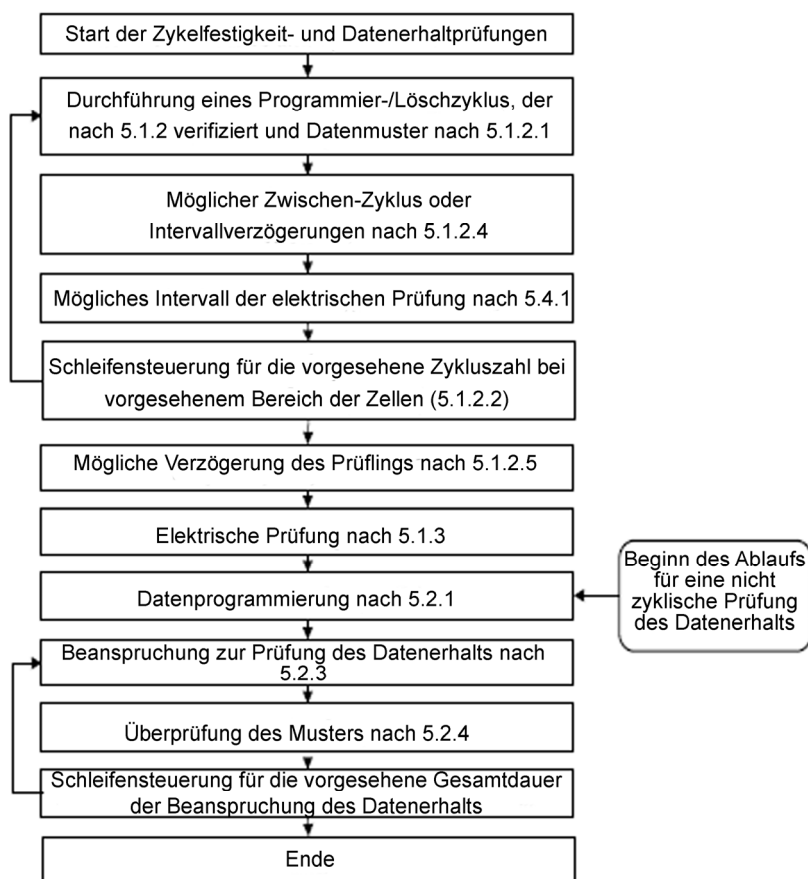


Bild 1 – Schematische Darstellung

5.2 Prüfung der Zykelfestigkeit

5.2.1 Prüfanordnung

Die Bauelemente müssen so in der Kammer platziert werden, dass keine wesentliche Behinderung des Luftstroms über und um jede Prüfeinheit besteht. Es muss Strom angelegt und alle geeigneten Verifizierungen durchgeführt werden, um sicherzustellen, dass alle Bauelemente ordnungsgemäß unter Spannung stehen. Falls eine spezielle Montagevorrichtung oder eine Wärmebrücke erforderlich ist, dann müssen die Einzelheiten dazu in der anwendbaren Bauelementspezifikation und/oder der Prüfspezifikation festgelegt werden.

5.2.2 Zyklische Datenprüfung

5.2.2.1 Verifizierung der Ausführung von Programmier- und Löschvorgängen

Programmier- und Löschvorgänge während der Prüfung auf Zykelfestigkeit müssen daraufhin überprüft werden, ob sie ordnungsgemäß nach der Bauelementspezifikation oder der Spezifikation des Herstellers bezüglich der internen Beanspruchungsprüfung ausgeführt wurden (siehe 6).

5.2.2.2 Datenmuster während der zyklischen Prüfung

Das bei der Prüfung der Zykelfestigkeit verwendete Datenmuster muss zwischen Lieferant und Anwender vereinbart und die Begründung dafür muss dokumentiert werden. Siehe 3.3 für eine Erörterung von Abwägungen bezüglich der Auswahl der Datenmuster für die zyklische Prüfung. Zweck von vielen Qualifikationen ist es, das Bauelement auf einen möglichst breiten Bereich von Ausfallmechanismen zu prüfen. Der breiteste Bereich von Ausfallmechanismen kann erkannt werden, wenn das Datenmuster den

ganzen Bereich an Logik-Pegeln und benachbarten Zuständen enthält, die bei aktueller Verwendung auftreten würden. So kann z. B. die Erkennung dieses ganzen Bereichs erreicht werden, wenn die folgenden drei Zustände erfüllt sind: Erstens werden die Daten in den Speicherzellen zwischen allen verfügbaren logischen Zuständen in gleichem Maß zyklisch geprüft. So wird z. B. in einem SBC-Speicherbaustein die Hälfte der Zellen programmiert und die übrige Hälfte gelöscht, während in einem Quad-Level Cell-Speicherbaustein ein Viertel der Zellen auf jede der vier verfügbaren Ebenen in jedem gegebenen Zyklus geschrieben wird. Zweitens sind die Positionen der Einsen und Nullen uneinheitlich, idealerweise quasizufällig, so dass alle möglichen benachbarten Konfigurationen dargestellt werden. So erzeugt z. B. ein Datenmuster aus einer Kombination von Bytes mit den Datenmustern 00H (Null Null Hexadezimal), 55H, AAH, 33H, CCH, und FFH einen breiten Bereich von benachbarten Mustern. Drittens ist das Datenmuster in aufeinanderfolgenden Zyklen nicht gleich, sondern folgt eher einer Sequenz. Eine bewährte Methode ist es, sicherzustellen, dass in dieser Sequenz manche Zellen erneut auf alle verfügbaren logische Zustände geschrieben werden, während andere Zellen in jedem Zyklus auf den gleichen logischen Zustand geschrieben werden. So würde z. B. in einem SBC-Speicherbaustein ein Byte, das in geradzahligem Zyklen auf AAH und in ungeradzahligem Zyklen auf 5AH zyklisch geprüft wurde, vier Zellen haben, die auf Nullen und Einsen in Wechselzyklen geschrieben würden, zwei Zellen haben, die in jedem Zyklus erneut auf 0 geschrieben werden und zwei Zellen haben, die in jedem Zyklus erneut auf 1 geschrieben werden.

In manchen wissensbasierten Qualifikationen können die Prüfungen auf Zykelfestigkeit für spezifische Ausfallmechanismen festgelegt sein. Solche Prüfungen können andere als die oben beschriebenen Datenmuster verwenden, die dazu optimiert sind, die Empfindlichkeit der anvisierten Mechanismen zu erhöhen. Beispiele annehmbarer Datenmuster für solche Zwecke schließen ein fest programmiertes Muster, eine Schachbrett-/umgekehrte Schachbrett-Sequenz und Schachbrettmuster mit nachfolgender Füllung des Musters ein.

Manche Flash-EEPROM-Bauelemente wenden einen implementierten Scrambling-Mechanismus an. Beim Prüfen der Zykelfestigkeit solcher Bauelemente sollte der Scrambling-Mechanismus aktiviert sein; die Deaktivierung des Scramblers bei der Prüfung der Zykelfestigkeit kann das Produkt mehr beanspruchen, als sie beim Anwender auftreten würde. Ein quasizufälliges Muster eignet sich am besten zum Prüfen der Zykelfestigkeit bei der Anwendung eines Scrambling-Mechanismus.

5.2.2.3 Zyklisch zu prüfende Bereiche der Speicherzelle

Qualifikationsvorschriften, die in JESD47 aufgeführt sind oder anhand wissensbasierter Verfahren erarbeitet wurden (JESD94), erfordern im Allgemeinen, dass ein Bereich des Speichers auf die maximale Anzahl von in der Bauelementspezifikation festgelegten Programmier-/Löschzyklen und andere Bereiche in einem geringeren Maß zyklisch geprüft werden. Bei großen Speicherbausteinen kann es ziemlich lange dauern, alle Zellen auf die maximale Spezifikation zyklisch zu prüfen und in wissensbasierten Qualifikationen kann bekannt sein, dass Anwendungsbedingungen es nicht erfordern, dass alle Speicherzellen zyklisch geprüft werden. Der eigentliche Bereich der Zellen, der auf 100 % der maximalen Spezifikation, und der Bereich, der auf andere Prozentsätze der Spezifikation zyklisch geprüft wird, muss zwischen Lieferant und Anwender vereinbart und dokumentiert werden und es muss eine Begründung für die ausgewählten Bereiche geliefert werden.

5.2.2.4 Bedingungen der zyklischen Prüfung

Der Modus, die Spannungen, die Temperatur und die Frequenz für die zyklische Prüfung sollten zwischen Lieferant und Anwender vereinbart und zusammen mit der Begründung dokumentiert werden. Der Modus bezieht sich auf verschiedene Betriebsarten des Programmierens und/oder Löschsens, wie z. B. Adresse, Seite und Block (oder Sektor). Die Spannungen beziehen sich auf alle relevanten Versorgungsspannungen, einschließlich der Versorgungsspannung für den Logik-Pegel und die zum Programmieren oder Löschen erforderliche Hochspannungsversorgung, falls zutreffend. Die Temperatur bezieht sich auf die Temperatur der Prüfkammer, in der die Bauelemente zyklisch geprüft werden. In Qualifikationsvorschriften ist oft festgelegt, dass manche Bauelemente bei niedrigen Temperaturen und andere Bauelemente bei höheren Temperaturen zyklisch geprüft werden müssen. Die Frequenz der zyklischen Prüfung bezieht sich auf die Anzahl der ausgeführten Zyklen je Zeiteinheit.

5.2.2.5 Zwischen den Zyklen beabsichtigte Verzögerung

Die Degradationsrate von EEPROM-Produkten kann stark von der Zyklusfrequenz abhängen. Manche der durch die zyklische Prüfung hervorgerufenen Schadensmechanismen weisen nämlich zwischen den Zyklen eine partielle Erholung auf; das Erhöhen der Zyklusrate kann diese Erholung verhindern und zu frühen Ausfällen führen. Für eine solche Erholung typische Degradationsmechanismen sind das Freilassen der während der zyklischen Prüfung in der für die Übertragung dielektrischen Schicht von Floating-Gate-Bauelementen eingeschlossenen Ladung oder das Freilassen von überschüssiger eingeschlossener Ladung in nichtflüchtigen Charge-Trapping-Speicherbausteinen. Bei der Benutzeranwendung erstreckt sich die Zykluszahl über mehrere Jahre und die überschüssige eingeschlossene Ladung kann zwischen den Zyklen freigelassen werden, wenn das Produkt jedoch bei maximaler Zykluszahl in ein paar Stunden oder Tagen im Qualifikationsprüfungs-Modus betrieben wird, dann sammelt sich die überschüssige eingeschlossene Ladung an und führt zu einem frühen Produktausfall während der Prüfung der Zykelfestigkeit oder in der darauffolgenden Prüfung des Datenerhalts.

Um während der Qualifikationsprüfung eine unrealistische Beanspruchung zu vermeiden, können für den Ablauf der Qualifikation beabsichtigte Verzögerungen festgelegt werden, die zwischen den Zyklen hinzugefügt werden. Dieser Abschnitt beschreibt Verfahren zum Einfügen von Relaxationsverzögerungen während der zyklischen Prüfung und die geltenden Regeln und Einschränkungen. Die Verfahren setzen sich wie folgt zusammen:

- (i) Zyklische Prüfung bei erhöhter Temperatur (Relaxationsverzögerungen sind gleich zwischen den Zyklen verteilt);
- (ii) Zyklische Prüfung bei erhöhter Temperatur und einer reduzierten Zyklusfrequenz (Verzögerungen zwischen jedem zweiten Zyklus und/oder zwischen Gruppen von Zyklen)
- (iii) Zyklische Prüfung bei Umgebungstemperatur mit Erwärmungsintervallen bei Hochtemperatur zwischen den Zyklusgruppen.

Die für das Einfügen von Verzögerungen zutreffende Regel ist die, dass die resultierende Relaxation aufgrund des Einfügens von Erwärmungsverzögerungen die unter Anwenderbedingungen übereinstimmende Relaxation nicht überschreiten sollte. Die Gesamtdauer der eingefügten Verzögerungen sollte aus der Differenz zwischen der bestimmungsgemäßen Temperatur und den Verzögerungstemperaturen anhand der Aktivierungsenergie der Erholungsmechanismen berechnet werden. Die Kombination der oben aufgeführten Verfahren ist zulässig, solange sie dieser Regel folgt.

Bei der zyklischen Prüfung mit erhöhter Temperatur nach Verfahren (ii) darf der Lieferant festlegen, dass die zyklische Prüfung eine bestimmte Anzahl von Zyklen am Tag nicht überschreiten darf. Während dem Rest des Tages dürfen sich die Bauelemente bei Zyklostemperatur im Leerlauf befinden. Die Bauelemente dürfen sich auch bei einer anderen Temperatur im Leerlauf befinden, vorausgesetzt, dass die Gesamtdauer bei Zyklostemperatur und die Dauer bei Leerlauftemperatur zusammen nicht die übereinstimmende Zyklusdauer des Produkts bei der Temperatur für die vorgesehene Verwendung überschreiten (siehe nachstehendes Beispiel).

Zur Vermeidung eines zu starken Erholungseffekts am Ende der zyklischen Prüfung müssen die Verzögerungen und/oder Erwärmungsintervalle für eine gegebene Zyklusgruppe am Anfang jeder Zyklusgruppe eingefügt werden. Wenn z. B. der Lieferant 4 gleiche Zyklusgruppen mit gleichen Leerlaufintervallen zwischen den Gruppen wählt und wenn die zulässige Gesamtleerlaufzeit bei Leerlauftemperatur t_T beträgt, dann darf der Bereich $t_T/4$ der Gesamtleerlaufzeit am Anfang der 2., 3. und 4. Zyklusgruppe eingefügt werden. Am Ende der 4. Gruppe ist außer der unvermeidbaren logistischen Verzögerung aufgrund des in 4.2.2.6 festgelegten Maximums keine Relaxationsverzögerung zulässig.

Falls der Lieferant sich dazu entscheidet, die Zyklusverzögerungen in ungleiche Zyklusgruppen aufzuteilen, dann müssen die Erwärmungsintervalle proportional zum Bereich der Zyklen in der darauffolgenden Zyklusgruppe sein. Die Begründung für die Auswahl der ungleichen Zyklusgruppen ist die, dass die Erwärmungsverzögerungen in frühen Phasen der zyklischen Prüfung im Allgemeinen weniger effektiv zur Erholung des Bauelements als Verzögerungen am Ende der zyklischen Prüfung sind, so dass der Lieferant sich dazu entscheiden kann, frühe Erwärmungsintervalle zu überspringen und damit die Gesamtdauer der Beanspruchung vermindern kann.

Da der Erholungseffekt auch von der Zellebene abhängen kann, sollte der Lieferant die während den Verzögerungen zwischen den Zyklen verwendete Zellebene festlegen. Ein Umkehrung der Zellebene unter den Verzögerungen sollte ebenfalls zum Simulieren der Anwendungsbedingungen verwendet werden.

Der Lieferant sollte das für das Einfügen der Erwärmungsverzögerungen gewählte Verfahren dokumentieren, die während der Verzögerungen verwendeten Datenmuster angeben, den Erholungsmechanismus festlegen und die Quelle für die Aktivierungsenergie bereitstellen. Der Lieferant sollte ebenfalls die Begründung für die Auswahl der spezifischen Verzögerungen/Erwärmungsintervalle/Temperaturen während der zyklischen Prüfung dokumentieren.

Im Folgenden sind zwei Beispiele angegeben, die darstellen, wie die Erwärmungsintervalle ausgewählt werden.

Beispiel 1 [Verfahren (ii)]:

Zykluszahl des Produkts = 10 000 Zyklen

Dauer für 10 000 Zyklen bei vorgesehener Anwendung = 2 Jahre = 17 520 h

Zyklustemperatur im Anwendermodus = 55 °C

Gewünschte Dauer für die Qualifikation der Zykelfestigkeit = 10 Tage

Zyklusdauer je Tag = 1 000 Zyklen bei 14 h

Zyklustemperatur der Qualifikation = 85 °C

Aktivierungsenergie beim Freilassen eingeschlossener Ladung (Relaxation) = 1,1 eV

Wie hoch ist die maximal zulässige Temperatur während des Leerlaufs von 10 h je Tag?

- a) 10 Tage x 14 Stunden zyklische Prüfung je Tag bei 85 °C sind äquivalent zu $140 \text{ h} \times 26,1 = 3,652 \text{ h}$ bei Verwendung

Temperatur (der Beschleunigungsfaktor von 55 °C auf 85 °C für $E_{aa} = 1,1 \text{ eV}$ beträgt 26,1 X)

- b) Die verbleibende äquivalente Lebensdauer der zyklischen Prüfung im Anwendermodus beträgt $17.520 \text{ h} - 3,652 \text{ h} = 13,868 \text{ h}$

- c) Die Gesamtleeerlaufzeit beträgt 100 h

- d) Der thermische Beschleunigungsfaktor (A_T) von 100 h auf 13,868 h beträgt 138,68

- e) Um $A_T = 138,6$ mit $E_{aa} = 1,1 \text{ eV}$ und $T_{use} = 55 \text{ °C}$ zu erreichen, muss $T_{relax} = 102,6 \text{ °C}$ betragen

Antwort: Die maximal zulässige Temperatur im Leerlauf beträgt 102,6 °C. Am letzten Tag nach der zyklischen Prüfung ist keine Verzögerung erlaubt, außer für bis zu 12 h bei Zyklustemperatur nach 5.2.2.6.

Beispiel 2 [Verfahren (iii)]:

Zykluszahl des Produkts = 10 000 Zyklen

Dauer für 10 000 Zyklen bei vorgesehener Anwendung = 2 Jahre = 17 520 h

Zyklustemperatur im Anwendermodus = 35 °C

Zyklustemperatur der Qualifikation = 25 °C

Aktivierungsenergie beim Freilassen eingeschlossener Ladung (Relaxation) = 0,9 eV

Der Lieferant möchte nach 5 000 Zyklen und nach 9 000 Zyklen Erwärmungsintervalle einfügen. Die Erwärmungstemperatur beträgt 125 °C.

Wie hoch ist die maximal zulässige Dauer jedes Erwärmungsintervalls?

- a) Der Anteil der Prüfzyklen der 2. Gruppe beträgt $(9\,000 \text{ Zyklen} - 5\,000 \text{ Zyklen})/10\,000 \text{ Zyklen} = 0,4$

- b) Der Anteil der Prüfzyklen der 3. Gruppe beträgt $(10\,000 \text{ Zyklen} - 9\,000 \text{ Zyklen})/10\,000 \text{ Zyklen} = 0,1$

- c) Der thermische Beschleunigungsfaktor von 35 °C auf 125 °C bei $E_{aa} = 0,9 \text{ eV}$ beträgt 2 139

- d) Zulässige Gesamtrelaxationsdauer = $17\,520 \text{ h} / 2\,139 = 8,19 \text{ h}$

- e) Maximale Zyklusverzögerung vor der 2. Gruppe = $8,19 \times 0,4 = 3,28 \text{ h}$