

DIN EN 60749-18



ICS 31.080.01

EntwurfEinsprüche bis 2018-11-28
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 60749-18:2003-09

**Halbleiterbauelemente –
Mechanische und klimatische Prüfverfahren –
Teil 18: Ionisierende Strahlung (Gesamtdosis)
(IEC 47/2468/CDV:2018);
Deutsche und Englische Fassung prEN 60749-18:2018**

Semiconductor devices –
Mechanical and climatic test methods –
Part 18: Ionizing radiation (total dose)
(IEC 47/2468/CDV:2018);
German and English version prEN 60749-18:2018

Dispositifs à semiconducteurs –
Méthodes d'essais mécaniques et climatiques –
Partie 18: Rayonnements ionisants (dose totale)
(IEC 47/2468/CDV:2018);
Version allemande et anglaise prEN 60749-18:2018

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2018-09-28 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 40 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN 60749-18:2018 „Halbleiterbauelemente – Mechanische und klimatische Prüfverfahren – Teil 18: Ionisierende Strahlung (Gesamtdosis)“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Die Internationale Elektrotechnische Kommission (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. Dem entsprechend ist das internationale Dokument IEC 47/2468/CDV:2018 „Semiconductor devices – Mechanical and climatic test methods – Part 18: Ionizing radiation (total dose)“ unverändert in den Entwurf prEN 60749-18:2018 übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung des IEC-CDV 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.

Bei der Abstimmung zu dem Europäischen Schluss-Entwurf bei CENELEC und dem Internationalen Schluss-Entwurf bei IEC [Final Draft International Standard (FDIS)] sind jeweils nur „JA/NEIN“-Entscheidungen möglich, wobei „NEIN“-Entscheidungen fundiert begründet werden müssen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

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. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 60749-18:2003-09 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- Der Text wurde überarbeitet, um ihn an das Verfahren 1019 in MIL-STD 883J anzupassen;
- Aufnahme von Bedingungen für die ELDRS-Prüfung (en: enhanced low dose rate sensitivity) sowie Festlegungen zu deren Durchführung;
- Bibliographie eingefügt;
- Dokument an die aktuellen Gestaltungsregeln angepasst und redaktionelle Korrekturen in der deutschen Übersetzung eingearbeitet.

**Halbleiterbauelemente –
Mechanische und klimatische Prüfverfahren –
Teil 18: Ionisierende Strahlung (Gesamtdosis)**

	Inhalt	Seite
1	Anwendungsbereich	2
2	Normative Verweisungen	2
3	Begriffe	2
4	Prüfeinrichtung	4
4.1	Auswahl der Prüfeinrichtung	4
4.2	Strahlungsquelle	4
4.2	Dosimetrie-Messeinrichtung	4
4.3	Elektrische Messeinrichtungen	4
4.4	Prüfleiterplatten (Test-Boards)	4
4.5	Verkabelung	5
4.6	Anschluss- oder Schalteinrichtung	5
4.7	Klimakammer	5
4.8	Bestrahlungs-Temperaturkammer	5
5	Prüfdurchführung	6
5.1	Prüfplan	6
5.2	Stichprobenentnahme und Handhabung	6
5.3	Burn-in	6
5.4	Dosimetrische Messungen	6
5.5	Blei/Aluminium (Pb/Al)-Behälter	7
5.6	Bestrahlungsleistung(en)	7
5.7	(Strahlungs-)Energiedosisleistung	7
5.8	Temperaturanforderungen	8
5.9	Messungen elektrischer Kenngrößen	8
5.10	Prüfbedingungen	9
5.11	Bedingungen nach der Bestrahlung	10
5.12	Prüfung mit Langzeit-Annealing bei Raumtemperatur (RT-Tempern)	11
5.13	Prüfung mit beschleunigtem Annealing für MOS	12
5.14	Prüfverfahren für Bipolar- oder BiCMOS-Linear- oder Mixed-Signal-Bauelemente, mit vorgesehener Anwendung von Energiedosisleistungen kleiner als 0,5 Gy/s (bezogen auf Si)	14
5.15	Prüfbericht	15
6	Übersicht der wichtigen Angaben	16
	Literaturhinweise	19

1 Anwendungsbereich

In diesem Teil der IEC 60749 wird ein Prüfverfahren beschrieben, mit dem die Anforderungen und Bedingungen für das Prüfen von verkappten integrierten Halbleiterschaltungen (IC; en: integrated circuit) und Einzel-Halbleiterbauelementen auf Auswirkungen ionisierender Strahlungen (gesamte (integrale) Energiedosis) aus einer Kobalt-60 (^{60}Co)-Gammastrahlenquelle festgelegt werden.

In diesem Verfahren werden vier Prüfungen vorgelegt:

- a) eine Prüfung mit Bestrahlung bei üblicher Raumtemperatur
- b) eine Prüfung mit Bestrahlung bei erhöhter/kyrogener Temperatur
- c) eine Prüfung mit beschleunigtem Annealing (Tempern)
- d) eine ELDRS-Prüfung (erhöhte Empfindlichkeit gegenüber niedriger Dosisrate; en: Enhanced Low Dose Rate Sensitivity).

Durch die Prüfung mit beschleunigtem Annealing wird bewertet, wie wichtig die Auswirkungen ionisierender Strahlung auf Bauelemente bei niedriger Dosisrate oder bestimmte andere Anwendungen, bei denen Bauelemente signifikante zeitabhängige Effekte aufweisen dürfen, sind. Durch die ELDRS-Prüfung wird bestimmt, ob Bauelemente mit Bipolar-Linear-Komponenten eine Empfindlichkeit gegenüber erhöhter strahlungsinduzierter Schädigung bei niedrigen Dosisraten aufweisen.

Diese Norm stellt eine Prüfung mit beschleunigtem Annealing zum Bewerten von Auswirkungen ionisierender Strahlung mit niedriger Dosisrate an Bauelementen zur Verfügung. Diese Annealing-Prüfung ist wichtig für niedrige Dosisraten oder bestimmte andere Anwendungen, bei welchen die Bauelemente signifikante zeitabhängige Effekte aufweisen.

Diese Norm ist nur für konstante und nicht für impulsförmige Bestrahlungen anwendbar.

Sie ist für Militär- und Raumfahrtanwendungen bestimmt.

Dieses Prüfverfahren kann wesentliche Beeinträchtigungen der elektrischen Eigenschaften von bestrahlten Bauelementen hervorrufen und sollte daher als eine zerstörende Prüfung betrachtet werden.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. 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).

Es gibt keine normativen Verweisungen in diesem Dokument.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten Begriffe nach IEC 60749 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: unter <http://www.iso.org/obp>

3.1

Auswirkungen ionisierender Strahlung

bei einem Einzel-Halbleiterbauelement oder einer integrierten Schaltung durch strahleninduzierte Ladung resultierende Änderungen der elektrischen Kennwerte

Anmerkung 1 zum Begriff: Diese werden auch als Auswirkungen einer gesamten Energiedosis angesehen.

3.2

Messungen während der Bestrahlung (Influx-Messungen)

elektrische Messungen an Bauelementen während ihrer Strahlenbeanspruchung

3.3

internes Dosismuster

Verweis auf den Zustandsvektor, der den Logikzustand aller Elemente innerhalb einer logischen Schaltung, während sie der Strahlung ausgesetzt ist, festlegt

3.4

Messungen außerhalb der Bestrahlung (Nonflux-Messungen)

an Bauelementen zu beliebiger Zeit außerhalb der Bestrahlung durchgeführte elektrische Messungen

3.5

bestrahlungsortfremde Messungen (Remote-Messungen)

an Bauelementen, die physisch vom Bestrahlungsort entfernt wurden, durchgeführte elektrische Messungen

3.6

zeitabhängige Effekte

bei elektrischen Kennwerten wesentliche Beeinträchtigungen, die entweder durch das Anwachsen bzw. das Annealing oder beides der strahleninduzierten eingefangenen Ladung nach der Bestrahlung verursacht werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Ähnliche Auswirkungen finden auch während der Bestrahlung statt.

3.7

Prüfung mit beschleunigtem Annealing

Verfahren unter Verwendung einer erhöhten Temperatur zum Beschleunigen zeitabhängiger Effekte

3.8

ELDRS

Teil, das bei Dosisraten unter 0,5 Gy/s (bezogen auf Si) eine erhöhte strahlungsinduzierte Schädigung aufweist

3.9

Zusatzbeanspruchung

Faktor, der auf die Dosis nach der Spezifikation angewendet wird, um die Prüfdosis-Pegel zu bestimmen, die die Proben bestehen müssen, um entsprechend der Spezifikation angenommen zu werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Ein Faktor der Zusatzbeanspruchung von 1,5 bedeutet, dass die Teile mit der 1,5-fachen Dosis der Spezifikation geprüft werden müssen.

3.10

PDDM

Designmarge, die auf die strahlungsinduzierte Änderung eines elektrischen Parameters angewendet wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einer PDDM von 2 wird die Änderung eines Kennwerts bei einer festgelegten Dosis vom Wert, vor der Bestrahlung, mit zwei multipliziert und zum Wert, vor der Bestrahlung, addiert, um festzustellen, ob die Probe den Grenzwert für den Kennwert, nach der Bestrahlung, überschreitet. Wenn beispielsweise der Wert, vor der Bestrahlung, von 2.2 30 nA und der Wert, nach der Bestrahlung, bei 200 Gy (bezogen auf Si) 70 nA beträgt (Änderung in 2.2 beträgt 40 nA), dann wäre bei einem PDDM von 2 der Wert, nach der Bestrahlung, 110 nA (30 nA + 2 X 40 nA). Wenn der zulässige Grenzwert nach der Bestrahlung 100 nA beträgt, hätte das Teil nicht bestanden.

3.11

zeitabhängige Effekte

bei elektrischen Kennwerten wesentliche Beeinträchtigungen, die entweder durch das Anwachsen bzw. das Annealing oder beides der strahleninduzierten eingefangenen Ladung nach der Bestrahlung verursacht werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Ähnliche Auswirkungen finden auch während der Bestrahlung statt.

3.12

Prüfung mit beschleunigtem Annealing

Verfahren unter Verwendung einer erhöhten Temperatur zum Beschleunigen zeitabhängiger Effekte

4 Prüfeinrichtung

4.1 Auswahl der Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung muss aus Strahlungsquelle, elektrischen Messgeräten, Prüfleiterplatte(n) (Test-Board), Verkabelung, Anschlussleiterplatte (Anschluss-Board) oder elektrischer Schalteinrichtung, einer geeigneten dosimetrischen Messeinrichtung und einer Klimakammer (falls für Messungen zeitabhängiger Effekte erforderlich) bestehen. Es sind entsprechende Sicherheitsmaßnahmen zu beachten, um ein elektrisches Messsystem mit ausreichender Isolierung, umfassender Abschirmung, zuverlässiger Masseverbindung und angemessener Rauschmutter zu erhalten.

4.2 Strahlungsquelle

Die bei diesem Prüfverfahren verwendete Strahlungsquelle muss das homogene Feld einer ^{60}Co -Gammastrahlen-Quelle sein. Falls nicht anders festgelegt, muss die Homogenität des Strahlungsfeldes in dem Volumen, in dem die Bauelemente bestrahlt werden, bei Messung mit dem Dosimetriesystem innerhalb von $\pm 10\%$ liegen. Die Bestrahlungsstärke des Gammastrahlungsfeldes der ^{60}Co -Quelle muss, bei einer Abweichung von höchstens $\pm 5\%$, bekannt sein. Die Homogenität und Stärke des Feldes kann sowohl durch eine Ortsveränderung des Bauelements in Bezug auf die Strahlungsquelle als auch durch das Vorhandensein von strahlenabsorbierenden und/oder -streuenden Werkstoffen beeinflusst werden.

4.2^{N1} Dosimetrie-Messeinrichtung

Es muss eine geeignete Dosimetrie-Messeinrichtung zur Verfügung stehen, mit der die in 5.3 festgelegten Messungen durchgeführt werden können (siehe Literaturhinweise).

4.3 Elektrische Messeinrichtungen

Alle für die elektrischen Messungen verwendeten Messgeräte müssen die für die genaue Messung der elektrischen Kenngrößen erforderliche Stabilität, Messgenauigkeit und Auflösung haben. Alle für den Betrieb in einer Strahlungsumgebung erforderlichen Messgeräte müssen ausreichend abgeschirmt sein.

4.4 Prüfleiterplatten (Test-Boards)

Die zu bestrahlenden Bauelemente sind gemeinsam mit allen zugehörigen Treiberschaltungen, die für die elektrische Spannungsbeanspruchung des Bauelements während der Bestrahlung oder für In-situ-Messungen erforderlich sind, entweder auf Leiterplatten zu montieren bzw. mit diesen elektrisch zu verbinden. Falls nicht anders festgelegt, sind alle Eingangsanschlüsse des Bauelements und alle anderen Bauelementeanschlüsse, die das Bestrahlungsverhalten beeinflussen können, während der Bestrahlung elektrisch anzuschließen, d. h. sie dürfen nicht offen bleiben (floaten).

^{N1} Nationale Fußnote: Nummerierung entspricht der IEC und wird beibehalten.

Die Geometrie und die Werkstoffe der gesamten Leiterplatte müssen eine gleichmäßige Bestrahlung des zu prüfenden Bauelements zulassen. Es sind gute (best-practice) Entwurfs- und Konstruktionsverfahren anzuwenden, um Schwingungen zu verhindern, Leckströme zu minimieren, elektrische Schäden zu vermeiden und genaue Messungen zu erhalten. Es sind nur strahlenresistente Fassungen ohne signifikante Leckströme (bezogen auf die zu prüfenden Bauelemente) zu verwenden, um die Bauelemente und die dazugehörige Schaltung auf dem (den) Test-Board(s) zu montieren.

Alle wiederholt in Strahlungsfeldern verwendeten Einrichtungen sind periodisch auf physikalische und elektrische Beeinträchtigungen zu überprüfen. Die anderen, nicht zu prüfenden auf dem Test-Board befindlichen Bauelemente müssen entweder gegenüber der akkumulierten Energiedosis der Strahlung unempfindlich oder gegen Strahlung abgeschirmt sein. Einspann- und Montagevorrichtungen für die Prüfung müssen aus solchen Werkstoffen hergestellt sein, welche die Gleichmäßigkeit der Strahlungsfeldstärke an den zu prüfenden Bauelementen nicht stören.

Leckströme sind außerhalb des Strahlungsfeldes zu messen. Das Test-Board muss ohne in die Fassungen eingesetzte Bauelemente so mit der Prüf- und Messeinrichtung verbunden werden, dass alle erwarteten Rausch- und Störquellen aktiv sind. Mit der höchsten festgelegten an das zu prüfende Bauelement angelegten Spannungsbeanspruchung darf der Leckstrom zwischen zwei beliebigen Bauelementeanschlüssen zehn Prozent des kleinsten in der Bauelementspezifikation festgelegten Prüf-Grenzwertes, vor der Bestrahlung, nicht überschreiten.

Die für die Spannungsbeanspruchung der Bauelemente während des beschleunigten Annealing verwendeten Test-Boards haben den Temperaturanforderungen des beschleunigten Annealings standzuhalten und sind vor und nach der Prüfung auf physikalische und elektrische Beeinträchtigungen zu überprüfen.

4.5 Verkabelung

Kabel und Leitungen, die im Strahlungsfeld die Test-Boards mit den Messgeräten verbinden, müssen so kurz wie möglich sein. Falls lange Kabel und Leitungen erforderlich sind, können Leitungstreiber notwendig werden. Die Kabel und Leitungen müssen kleine Kapazitäten und geringe Leckströme zur Masse sowie geringe Leckströme zwischen den Leitern haben.

4.6 Anschluss- oder Schalteinrichtung

Diese Einrichtung muss außerhalb des Bestrahlungsortes angeordnet sein und ist die Schnittstelle zwischen der Prüf- und Messeinrichtung und den zu prüfenden Bauelementen. Sie ist Teil der gesamten Prüfeinrichtung und hat den Bedingungen, die in 4.4 für Leckströme zwischen Bauelementeanschlüssen festgelegt sind, zu entsprechen.

4.7 Klimakammer

Die Klimakammer für die Messungen zeitabhängiger Effekte, falls gefordert, hat die festgelegte Temperatur für das beschleunigte Annealing innerhalb von $\pm 5^\circ\text{C}$ aufrechtzuhalten.

4.8 Bestrahlungs-Temperaturkammer

Die Bestrahlungs-Temperaturkammer, falls für die Bestrahlung bei erhöhter Temperatur erforderlich, sollte in der Lage sein, eine zu prüfende Schaltung bei $100^\circ\text{C} \pm 5^\circ\text{C}$ zu halten, während sie bestrahlt wird. Die Kammer sollte in der Lage sein, die Temperatur der zu prüfenden Schaltung innerhalb einer angemessenen Zeit vor der Bestrahlung von Raumtemperatur auf die Bestrahlungstemperatur anzuheben und die zu prüfende Schaltung nach der Bestrahlung in weniger als 20 Minuten auf Raumtemperatur abzukühlen. Die Bestrahlungs-Spannungsbeanspruchung muss während des Aufheizens und Abkühlens aufrecht erhalten bleiben. Das Verfahren zum Anheben, Aufrechterhalten und Absenken der Temperatur der zu prüfenden Schaltung darf durch eine Leitung durch eine Wärmesenke unter Verwendung von Heiz- und Kühlflüssigkeiten, durch Konvektion unter Verwendung von Zwangsheiß- und -kühlluft oder durch andere Mittel, die zu den richtigen Ergebnissen führen, erfolgen. Bei Bestrahlungen unter kryogener Temperatur sollte die Kammer in der Lage sein, das zu prüfende Bauelement/die zu prüfende Einheit bei $\pm 5^\circ\text{C}$ zu halten (z. B. flüssiges Helium oder flüssiger Stickstoff), während es/sie bestrahlt wird. Die Kammer sollte in der Lage sein,

die kryogene Temperatur des zu prüfenden Bauelements/der zu prüfenden Einheit während der elektrischen Prüfung nach der Bestrahlung aufrechtzuerhalten.

5 Prüfdurchführung

5.1 Prüfplan

Die zu prüfenden Bauelemente sind, wie im Prüfplan festgelegt, zu bestrahlen und dem beschleunigten Annealing zu unterziehen (falls für die Messung zeitabhängiger Effekte gefordert). In diesem Prüfplan müssen die Bauelementebeschreibung, Bestrahlungsbedingungen, Bedingungen der elektrischen Spannungsbeanspruchung der Bauelemente, das Dosimetriesystem, Betriebsbedingungen für die Bauelemente, zu messende Kenngrößen und Messbedingungen sowie die Bedingungen für das beschleunigte Annealing (falls gefordert) festgelegt sein.

5.2 Stichprobenentnahme und Handhabung

Es dürfen nur Bauelemente der Strahlungsbeanspruchung unterzogen werden, die die im Prüfplan festgelegten elektrischen Spezifikationen einhalten. Falls nicht anders festgelegt, müssen die identisch assemblierten und verkappten Stichproben zufällig aus der Bezugsgesamtheit entnommen werden. Jede Stichprobeneinheit muss einzeln gekennzeichnet werden, um einen Vergleich vor und nach der Bestrahlung zu ermöglichen. Bei ESD-empfindlichen Bauelementen (ESD, en: electrostatic discharge) sind geeignete Handhabungstechniken zu verwenden, um Beschädigungen der Bauelemente zu vermeiden.

5.3 Burn-in

Bei manchen Bauelementen gibt es vor und nach einem Burn-in Unterschiede im Verhalten gegenüber der gesamten Energiedosis der Strahlung. Falls nicht durch eine vorherige Bauelemente-Charakterisierung oder durch das Design gezeigt wird, dass ein Burn-in eine vernachlässigbare Wirkung (elektrische Kenngrößen bleiben nach der Bestrahlung innerhalb der festgelegten Prüf-Grenzwerte) auf das Verhalten gegenüber der gesamten Energiedosis der Strahlung hat, muss eine der folgenden Maßnahmen durchgeführt werden:

- a) Vor der Gesamtstrahlungsdosis-Prüfung hat der Hersteller die Strahlungsstichproben bei den festgelegten Bedingungen einem Burn-in zu unterziehen; oder
- b) der Hersteller muss unter Berücksichtigung der Änderungen im Verhalten auf die gesamte Energiedosis der Strahlung, die sich aus dem Burn-in der Produkte ergeben, einen Korrekturfaktor entwickeln (der von den an der Prüfung beteiligten Parteien angenommen wird). Der Korrekturfaktor ist dann zu verwenden, um das Produkt beim Verhalten bezüglich der gesamten Energiedosis der Strahlung anzunehmen, ohne die Stichproben dem Burn-in zu unterziehen.

5.4 Dosimetrische Messungen

Vor der Prüfbeanspruchung muss die Bestrahlungsfeldstärke am Ort des zu prüfenden Bauelements entweder dosimetrisch oder durch Korrekturberechnungen des Quellenabklingverhaltens, falls zweckdienlich, bestimmt werden, um die Übereinstimmung mit den Anforderungen bezüglich der Prüfbeanspruchungen (Schärfegrade) und die Homogenität sicherzustellen.

Die auf das zu prüfende Bauelement einwirkende Energiedosis muss nach einer der beiden Arten bestimmt werden:

- a) durch Messung während der Strahlung mit einem geeigneten Dosimeter oder
- b) durch Korrektur eines vorherigen Dosimetriewertes für das Abklingverhalten der Bestrahlungsstärke der ⁶⁰Co-Quelle in der dazwischenliegenden Zeit. Es muss eine geeignete Korrektur vorgenommen werden, um die gemessene oder berechnete Energiedosis im Dosimetermaterial in die entsprechende Energiedosis im zu prüfenden Bauelement umrechnen zu können.

5.5 Blei/Aluminium (Pb/Al)-Behälter

Die Prüflinge müssen in einem Pb/Al-Behälter eingeschlossen sein, um die Effekte einer Energiedosiserhöhung zu minimieren, die durch die nieder-energetische Streustrahlungen verursacht werden. Es ist mindestens eine Bleiwanddicke (Pb) von 1,5 mm, die eine innere Schirmung von mindestens 0,7 mm Aluminium (Al) umgibt, erforderlich. Dieser Pb/Al-Behälter erzeugt ein ungefähres Ladungsträgergleichgewicht für Si und für TLD wie z. B. CaF₂ (TLD, en: thermoluminescence Dosimeter/dosimetry). Die Strahlungsfeldstärke muss innerhalb des Pb/Al-Behälters gemessen werden: (1) zu Beginn, (2) wenn die Quelle gewechselt wird oder (3) wenn die Ausrichtung oder Anordnung von Quelle, Behälter oder Prüfhaltung geändert werden. Diese Messung muss durch Einbringen eines Dosimeters (z. B. TLD) in den Bestrahlungsbehälter für das Bauelement in etwa an der Stelle des zu prüfenden Bauelements durchgeführt werden. Falls nachgewiesen werden kann, dass die nieder-energetische Streustrahlung klein genug ist, um keinen Dosimetriefehler durch eine Energiedosiserhöhung zu verursachen, darf der Pb/Al-Behälter weggelassen werden.

5.6 Bestrahlungsleistung(en)

Die zu prüfenden Bauelemente müssen mit den im Prüfplan festgelegten Energiedosisleistungen innerhalb von $\pm 10\%$ bestrahlt werden. Falls mehrere Bestrahlungen für eine Gruppe von Prüflingen gefordert werden, muss die der Bestrahlung folgende Messung der elektrischen Kenngrößen nach jeder Bestrahlung durchgeführt werden.

5.7 (Strahlungs-)Energiedosisleistung

5.7.1 Bestimmung der (Strahlungs-)Energiedosisleistung

Die (Strahlungs-)Energiedosisleistung für Bipolar- und BiCMOS-Linear- oder Mixed-Signal-Teile, die in Anwendungen mit einer maximalen Dosisrate von unter 0,5 Gy/s (bezogen auf Si) verwendet werden, muss wie nachfolgend unter 4.14 beschrieben bestimmt werden. Bei Teilen, die in Anwendungen mit niedriger Dosisleistung verwendet werden, vorausgesetzt, es wurde nachgewiesen, dass sie kein ELDRS-Verhalten aufwiesen, muss Prüfbedingung C, Prüfbedingung D oder Prüfbedingung E verwendet werden.

Bei Bauelementen, die sowohl MOS- als auch Bipolar-Bauelemente enthalten, darf es erforderlich sein, sie für mehrere Teilbedingungen zu qualifizieren, damit sowohl ELDRS- als auch traditionelle MOS-Effekte untersucht werden.

5.7.2 Prüfbedingung A

Bei Prüfbedingung A (Standardbedingung) muss die Energiedosisleistung für integrierte Schaltungen zwischen 0,5 Gy/s und 3 Gy/s (bezogen auf Si) und für Einzel-Halbleiterbauelemente zwischen 0,5 Gy/s und 20 Gy/s (bezogen auf Si) liegen. Die Energiedosisleistungen dürfen bei jeder Strahlungs-Energiedosis in einer Prüfreihe unterschiedlich sein, jedoch darf sich die Energiedosisleistung während jeder Bestrahlung um nicht mehr als $\pm 10\%$ ändern.

5.7.3 Prüfbedingung B

Bei Prüfbedingung B, die nur für MOS-Bauelemente gilt, dürfen die an der Prüfung beteiligten Parteien, wenn die höchste Energiedosisleistung in der vorgesehenen Anwendung $< 0,5$ Gy/s (bezogen auf Si) ist, vereinbaren, die Prüfung bei einer Energiedosisleistung $\leq$ das ist die höchste Energiedosisleistung in der vorgesehenen Anwendung, durchzuführen. Falls nicht die Ausnahmen nach 5.13.2 b) zutreffen, muss die Prüfung mit beschleunigtem Annealing nach 5.13.3 durchgeführt werden.

5.7.4 Prüfbedingung C

Bei Prüfbedingung C (als eine Alternative) darf die Prüfung bei der Energiedosisleistung der vorgesehenen Anwendung durchgeführt werden, falls sie von den an der Prüfung beteiligten Parteien vereinbart wurde. Ist

der Endanwender nicht bekannt, müssen die Prüfbedingungen und -ergebnisse im Prüfbericht mit jeder Bestellung verfügbar gemacht werden.

5.7.5 Prüfbedingung D

Bei Prüfbedingung D, nur für Bipolar- oder BiCMOS-Linear- oder Mixed-Signal-Bauelemente, müssen die Teile mit 0,1 mGy/s (bezogen auf Si) bestrahlt werden.

5.7.6 Prüfbedingung E

Bei Prüfbedingung E, nur für Bipolar- oder BiCMOS-Linear- oder Mixed-Signal-Bauelemente, müssen die Teile mit den durch eine Bauelemente-Charakterisierung ermittelten beschleunigten Prüfbedingungen zu bestrahlen, wie in 5.14.3 erläutert. Die beschleunigte Prüfung darf eine Bestrahlung bei einer erhöhten Temperatur umfassen.

5.8 Temperaturanforderungen

5.8.1 Bestrahlung bei Raumtemperatur

Da Strahlungswirkungen temperaturabhängig sind, müssen die zu prüfenden Bauelemente bei einer Umgebungstemperatur von $24\text{ °C} \pm 6\text{ °C}$ bestrahlt werden, die an einem Punkt in der Prüfkammer gemessen wird, der in unmittelbarer Nähe der Prüfhalterung liegt. Die elektrischen Messungen müssen bei einer Umgebungstemperatur von $24\text{ °C} \pm 6\text{ °C}$ durchgeführt werden. Falls Bauelemente zu bzw. von einem entfernt liegenden Ort für die elektrischen Messungen (Remote-Messungen) transportiert werden müssen, darf sich die Temperatur der zu prüfenden Bauelemente nicht um mehr als 10 °C gegenüber jener der Bestrahlungsumgebung erhöhen. Falls andere Temperaturbereiche gefordert werden, ist das festzulegen.

Achtung: Bei Umgebungstemperaturen oberhalb der Bestrahlungstemperatur kann Annealing signifikant sein, insbesondere für die zwischen den Bestrahlungen bei niedriger Dosisrate (Prüfbedingung D) zulässigen verlängerten Zeiträume. Es ist wichtig sicherzustellen, dass die Temperatur der Teile innerhalb der oben genannten Anforderungen gehalten wird, um Annealing zu minimieren.

5.8.2 Bestrahlung bei erhöhter Temperatur

Bei Bipolar- oder BiCMOS-Linear- oder Mixed-Signal-Bauelementen, die mit der Bestrahlungsprüfung bei erhöhter Temperatur aus Prüfbedingung E bestrahlt werden, müssen die zu prüfenden Bauelemente bei einer durch eine Bauelemente-Charakterisierung (siehe 5.14.3) bestimmten Umgebungstemperatur bestrahlt werden, die an einer Stelle in der Prüfkammer in unmittelbarer Nähe der Prüfhalterung gemessen wird (siehe 4.8 für Einzelheiten zum Erhöhen und Absenken der Bestrahlungstemperatur).

5.8.3 Bestrahlungen bei kryogener Temperatur

Bei zu prüfenden Bauelementen/Einheiten, die in Anwendungen bei kryogenen Temperatur betrieben werden, müssen die zu prüfenden Bauelementen/Einheiten bei kryogener Temperatur bestrahlt werden (siehe 4.8) und für die Bauelemente-Charakterisierung nach der Bestrahlung auf kryogener Temperatur gehalten werden (siehe 5.11). Die zu prüfenden Bauelementen/Einheiten müssen während aller Bestrahlungen und Charakterisierungsprüfungen bei kryogener Temperatur gehalten werden, bis die endgültige Gesamtdosisbelastung und Charakterisierung abgeschlossen sind.

5.9 Messungen elektrischer Kenngrößen

Die zu messenden elektrischen Kenngrößen und die durchzuführenden Funktionsprüfungen müssen im Prüfplan festgelegt werden. Zur Validierung sowohl des Messsystems als auch der Daten vor und nach der Bestrahlung muss mindestens ein Referenzmuster unter Anwendung der Betriebsbedingungen in den geltenden Bauelementspezifikationen gemessen werden. Bei automatischen Mess- und Prüfeinrichtungen (ATE, en: automatic test equipment) gibt es keine Einschränkungen der Prüffolge, vorausgesetzt, dass der Anstieg der Sperrschichttemperatur des Bauelements gering gehalten wird. Bei manuellen Messungen muss

die Reihenfolge der Kenngrößenmessung so gewählt werden, dass die kürzestmögliche Messdauer möglich ist. Wenn eine Reihe von Messungen durchgeführt wird, muss die Reihenfolge so gewählt werden, dass die niedrigste Verlustleistung im Bauelement bei den ersten Messungen auftritt und sich die Verlustleistung bei nachfolgenden Messungen in der Prüffolge erhöht.

Die elektrischen Messungen vor und nach der Bestrahlung müssen mit demselben Messsystem durchgeführt werden und die Reihenfolge der Messungen in jeder elektrischen Messreihe innerhalb einer Stichprobe muss beibehalten werden. Gegebenenfalls sollten Impulsmessungen von elektrischen Kenngrößen durchgeführt werden, um die Erwärmung und ein damit verbundenes Ausheilen gering zu halten. Bauelemente, die einem beschleunigten Annealing (siehe 5.13) unterzogen werden, dürfen einem Burn-in vor der Bestrahlung ausgesetzt werden, um die durch ein Burn-in induzierten Ausfälle auszuschließen.

5.10 Prüfbedingungen

5.10.1 Wahl der Prüfbedingungen

Die Anwendung von Messungen während der Bestrahlung (Influx-Messungen) oder außerhalb der Bestrahlung (Nonflux-Messungen) muss im Prüfplan festgelegt werden. (Dies darf von der vorgesehenen Anwendung abhängen, für welche die Daten zu ermitteln sind.) Die Verwendung der Influx-Messung kann helfen, Änderungen zu vermeiden, welche von zeitabhängigen Effekten nach der Bestrahlung hervorgerufen werden. Es können jedoch Fehler in der Situation auftreten, in der ein Bauelement während der Bestrahlung bei statischer elektrischer Spannungsbeanspruchung gemessen wird, aber die elektrischen Messbedingungen eine dynamische Spannungsbeanspruchung für einen signifikanten Teil der Gesamtbestrahlungsdauer erfordern. Die Messung außerhalb der Bestrahlung (Nonflux-Messungen) lässt im Allgemeinen eine umfassendere elektrische Messung zu, kann jedoch irreführend sein, falls wesentliche zeitabhängige Effekte nach der Bestrahlung auftreten.

5.10.2 Messungen während der Bestrahlung (Influx-Messungen)

Jedes zu prüfende Bauelement ist vor der Bestrahlung auf seine Funktionsfähigkeit entsprechend den Spezifikationen zu prüfen. Nachdem das gesamte (elektrische) Test-Board-System für die Messung während der Bestrahlung am Bestrahlungsort montiert ist, muss es auf richtige elektrische Verbindungen, Leckströme (siehe 4.4) und Rauschpegel überprüft werden. Um die richtige Betriebsweise und Stabilität des Messaufbaus sicherzustellen, muss ein Referenzbauelement mit bekannten Kennwerten bei allen Betriebsbedingungen gemessen werden, die im Prüfplan festgelegt sind. Diese Referenzmessung muss entweder vor dem Einbringen der zu prüfenden Bauelemente oder zum Bestrahlungsende nach Entnahme der zu prüfenden Bauelemente beziehungsweise bei beiden durchgeführt werden.

5.10.3 Bestrahlungsortfremde Messungen (Remote-Messungen)

Falls nicht anders festgelegt, sind die elektrischen Spannungen abzuschalten und die Bauelementeanschlüsse während des Transports zu einer Messeinrichtung zu einem anderen Ort und wieder zurück für eine weitere Bestrahlung in leitfähigen Schaum einzubetten (oder ähnlich kurzzuschließen). Dies minimiert zeitabhängige Effekte nach der Bestrahlung.

5.10.4 Elektrische Spannungsbeanspruchung und Lastbedingungen

Die Bedingungen der elektrischen Spannungsbeanspruchung der zu prüfenden Bauelemente während der Bestrahlung oder des beschleunigten Annealings müssen innerhalb von $\pm 10\%$ denjenigen entsprechen, die im Prüfplan festgelegt sind. Die an die zu prüfenden Bauelemente angelegten Spannungen sind so zu wählen, dass sie, sofern bekannt, den größten von der Bestrahlung verursachten Schaden oder den ungünstigsten Schaden für die vorgesehene Anwendung erzeugen. Die Bedingungen für Spannungsbeanspruchung, Last und internes Dosismuster müssen während einer schrittweisen Belastung mit der Gesamtionisationsdosis und während des Annealings konstant bleiben. Befindet sich eine der Bedingungen für Spannungsbeanspruchung, Last und internes Dosismuster nicht im ungünstigsten Zustand, muss eine Begründung für die verwendeten Bedingungen im Prüfplan und Prüfbericht gegeben werden. Obwohl die maximale Spannung oft der ungünstigste Fall ist, zeigen einige Bipolar-Linear-Bauelementeparameter (z. B. Eingangs-Belastungsstrom oder maximaler Ausgangslaststrom) eine stärkere Beeinträchtigung bei 0 V

Spannungsbeanspruchung. Die festgelegte elektrische Spannungsbeanspruchung muss nach dem Prüfplan an jedem Bauelement aufrechterhalten werden. Die elektrischen Spannungen sind unmittelbar vor und nach der Bestrahlung zu überprüfen. Es ist darauf zu achten, die elektrischen Lastbedingungen so zu wählen, dass der Anstieg der Sperrschichttemperatur minimiert wird.

5.11 Bedingungen nach der Bestrahlung

Falls nicht anders festgelegt, sind folgende Zeitintervalle einzuhalten:

- a) Die Zeit vom Ende einer Bestrahlung bis zum Beginn der elektrischen Messungen darf für Prüfbedingung A nicht mehr als 1 Stunde betragen. Für die Prüfbedingungen B, C, D und E darf die Zeit vom Ende einer Bestrahlung bis zum Beginn der elektrischen Messungen 10 % der inkrementellen Bestrahlungszeit von bis zu (aber nicht mehr als) 72 Stunden sein, wenn diese Zeit länger als 1 Stunde ist, ansonsten darf sie höchstens 1 Stunde betragen. Als eine Option für elektrische Remote-Messungen dürfen Bauelemente für die Prüfbedingungen A, B, C, D und E bis zum Beginn der elektrischen Prüfung in Trockeneis verpackt werden, jedoch nur, wenn sie innerhalb von 15 Minuten nach Beendigung der Bestrahlung verpackt werden. Während sie im Trockeneis sind, müssen die Leiter der Teile kurzgeschlossen sein, die Bauelemente müssen nachweislich bei einer Höchsttemperatur von -60 °C gehalten werden, und die Zeit vom Ende der Bestrahlung bis zum Beginn der elektrischen Prüfung darf 72 Stunden nicht überschreiten. Die elektrische Prüfung muss durchgeführt werden, nachdem die Teile wieder auf Raumtemperatur zurückgeführt wurden, jedoch innerhalb von 30 Minuten, nachdem die Teile aus dem Trockeneis genommen wurden. Die elektrische Prüfung muss wie in 5.8.1 festgelegt erfolgen. Die Zeiten bei Raumtemperatur und die Zeiten und Temperaturen für das Trockeneisverfahren dürfen unterschiedlich sein, wenn das durch eine Bauelemente-Charakterisierung, wie in 5.11.c nachfolgend beschrieben, nachgewiesen wurde.
- b) Die Zeit, um die elektrischen Messungen durchzuführen und das Bauelement für eine nachfolgende Bestrahlung, falls gegeben, zurückzubringen, darf bei Prüfbedingung A höchstens zwei Stunden nach dem Ende der vorherigen Bestrahlung betragen. Für die Prüfbedingungen B, C, D und E darf die Zeit für die Durchführung der elektrischen Messungen und die Rückführung des Bauelements für eine nachfolgende Bestrahlung, falls gegeben, gleich 20 % der inkrementellen Bestrahlungszeit von bis zu (aber nicht mehr als) 120 Stunden sein, wenn diese Zeit länger als 2 Stunden ist, ansonsten darf sie höchstens 2 Stunden betragen. Als eine Option für fortgesetzte, zusätzliche Bestrahlungen, wenn Teile elektrischen Remote-Messungen unterzogen werden, dürfen Teile für die Prüfbedingungen A, B, C, D und E bis zum Beginn der Bestrahlung in Trockeneis verpackt werden, jedoch nur, wenn sie innerhalb von 15 Minuten nach Beendigung der elektrischen Messungen verpackt werden. Während sie im Trockeneis sind, müssen die Leiter der Teile kurzgeschlossen sein, die Teile müssen nachweislich bei einer Höchsttemperatur von -60 °C gehalten werden, und die Zeit vom Ende der elektrischen Prüfungen bis zum Beginn der Bestrahlungen darf 72 Stunden nicht überschreiten. Die Strahlenbelastung muss beginnen, nachdem die Teile wieder auf Raumtemperatur zurückgeführt wurden, jedoch innerhalb von 30 Minuten, nachdem die Teile aus dem Trockeneis genommen wurden. Die Zeiten bei Raumtemperatur und die Zeiten und Temperaturen für das Trockeneisverfahren dürfen unterschiedlich sein, wenn das durch eine Bauelemente-Charakterisierung, wie in 5.11.c nachfolgend beschrieben, nachgewiesen wurde.
- c) Wird das Trockeneis-Prüfverfahren verwendet, muss eine Bauelemente-Charakterisierung zum Annealing am jeweiligen Technologieknoten der Studie durchgeführt werden, um nachzuweisen, dass das Annealing für alle kritischen Kennwerte, verglichen mit den Raumtemperaturdaten, die innerhalb einer Stunde nach der Bestrahlung aufgenommen wurden, weniger als 10 % beträgt. Andere Zeiten und Temperaturen als die in 5.11.a und 5.11.b aufgeführten dürfen als Teil der Charakterisierungsprüfung betrachtet werden. Die Zeit für elektrische Messungen nach der Bestrahlung darf jedoch 72 Stunden nicht überschreiten und die Zeit zwischen aufeinander folgenden Bestrahlungen darf 120 Stunden nicht überschreiten. Wenn z. B. die vom Hersteller angegebene Kalttemperatur-Grenzfestlegung höher als -60 °C ist, darf diese höhere Temperatur zulässig sein. In einem anderen Beispiel, wenn die Teile nach einer Bestrahlung nach Prüfbedingung A bei Raumtemperatur nur sehr wenig Annealing zeigen, dürfen die Grenzwerte von 1 Stunde und 2 Stunden erhöht werden. Für alle Ausnahmen in Bezug auf die Zeiten und Temperaturen in 5.11.a und 5.11.b muss nachgewiesen werden, dass das Annealing unter diesen unterschiedlichen Bedingungen bei allen kritischen Kennwerten innerhalb von 10 % liegt, verglichen mit den Daten bei Raumtemperatur, die innerhalb einer Stunde nach der Bestrahlung aufgenommen wurden, oder der entsprechenden Zeitspanne für die Bestrahlungsprüfbedingung, falls diese länger als 1 Stunde ist. Die Ergebnisse der Bauelemente-Charakterisierung sind dem Prüfbericht beizufügen, wie in 5.15 festgelegt.