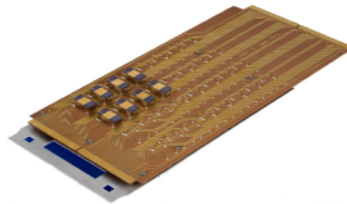


TDDB-Testsysteme



Package-Level-Testsystem



DUT-Board



Wafer-Level-Testsystem

Überblick

TDDB-Testsysteme dienen zur Bestimmung des Durchbruchverhaltens und der Lebensdauer von Kapazitätsstrukturen in integrierten Schaltungen. Die Bauteile werden mit einer konstanten Spannung oder mit einem bestimmten Spannungsmuster beaufschlagt und der Strom für jedes einzelne Bauteil laufend gemessen. Wenn das Bauteil ein Durchbruchverhalten zeigt, wird die Spannung abgeschaltet und der Zeitpunkt der Abschaltung vermerkt. Wichtig ist dabei, dass es keinen Einfluss auf benachbarte Bauteile gibt. Üblicherweise erfolgt die Messung bei erhöhter Temperatur, z.B. 180 °C.

TDDB-Testsysteme von mb-Technologies werden in zwei Versionen angeboten: Für Untersuchungen an assemblierten Bauteilen sind die Package-Level-Testsysteme der Serie UX-20 vorgesehen, für Messungen auf Wafern die Wafer-Level-Testsysteme UX-10. Alle Systeme verwenden die gleiche Messelektronik. Die Ansteuerung erfolgt von einem PC.

Das PLR-Testsystem UX-20 besteht aus einem Ofen mit vollständig integrierter Messelektronik. Im Ofen finden mehrere DUT-Boards mit insgesamt bis zu 128 Bauteilen Platz, mit denen bis zu 16 unabhängige Experimente bzw. Spannungsgruppen möglich sind.

Das WLR-Testsystem UX-10 befindet sich in einem kompakten Gehäuse und hat typischerweise 16 Messausgänge, die über Kabel an den Waferhandler angeschlossen werden. Auch mit diesem System sind mehrere gleichzeitige Experimente mit unterschiedlichen Spannungen möglich. Wenn alle Messungen beendet sind, fährt der Waferprober automatisch auf die nächste Position.

Für jede Spannungsgruppe bzw. jedes Experiment können beliebige Spannungsverläufe im Bereich ± 200 V definiert werden. Im einfachsten Fall ist das lediglich das Hochrampen auf die Stressspannung, die dann für die Dauer des Experiments konstant bleibt. Für spezielle Messverfahren unterstützt das Testsystem aber nahezu beliebig komplexe Spannungsverläufe, selbst mit alternierendem Vorzeichen.

Pro DUT ist ein eigenes Amperemeter vorgesehen. Der Strom wird laufend gemessen und in vorgegebenen Messintervallen abgespeichert. Die Messwerte werden am PC grafisch dargestellt. Weiters werden für jedes Experiment Abschaltkriterien angegeben, mit denen überprüft wird, ob eine Teststruktur durchbricht. Sobald dieser Fall eintritt, erfolgt eine zusätzliche Speicherung des letzten Messwertes unmittelbar vor und nach der Abschaltung. Der Zeitpunkt ist somit in jedem Fall auf wenige Millisekunden genau bekannt, auch wenn die Messrate recht niedrig ist.

Bei der Entwicklung des Testsystems wurde speziell darauf geachtet, dass es keine gegenseitige Beeinflussung der Bauteile gibt, vor allem auch nicht im Falle eines spontanen Kurzschlusses. Auch das Umschalten der Strombereiche erfolgt ohne messbare Spannungsschwankungen.

Bis auf die Definition der Experimente und die Datenauswertung, die auf einem PC durchgeführt werden, ist das Testsystem autonom und führt den gesamten Messablauf lokal und unabhängig vom PC durch.

Spezifikationen

Das PLR-Testsystem bietet Platz für 2 oder 4 DUT-Boards zu jeweils 32 Bauteilen, insgesamt daher für bis zu 128 Bauteile. Damit sind max. 16 Experimente möglich, bei denen sämtliche Parameter wie Spannungen, Spannungsverlauf, Messrate und Abschaltkriterien unterschiedlich eingestellt werden können. Experimente können unabhängig voneinander gestartet oder beendet werden. Das WLR-Testsystem hat 16 oder 32 Ausgänge, die auf 2 bzw. 4 Spannungsgruppen aufgeteilt werden können.

Wie oben erwähnt kann ein beliebiger Spannungsverlauf im Bereich ± 200 V eingestellt werden. Dies gilt für alle Bauteile eines Experiments gemeinsam. Die einzelnen Abschnitte werden über die Spannungswerte und die dazwischen liegenden Zeiten definiert. Dazwischen wird die Spannung linear geändert. Die maximale Rampengeschwindigkeit beträgt 1000 V/s, die minimale 5 nV/s. Das gesamte Spannungsmuster kann aus bis zu 2500 einzelnen Rampen bestehen. Für jeden einzelnen Abschnitt können unterschiedliche Messraten und Abschaltkriterien angegeben werden. Die maximale Dauer des Experiments ist praktisch nicht limitiert. Einmal gestartete Rampenmuster laufen unabhängig vom PC, können aber jederzeit gestoppt werden.

Die einstellbare Spannungsauflösung ist 0.005% vom Bereichsendwert oder 1 mV (bis 20 V) bzw. 10 mV (20 V ... 200 V), die Genauigkeit ist $\pm 0.05\%$ oder ± 10 mV (bis 20 V) bzw. ± 100 mV (20 V ... 200 V). Die Rampenmuster werden mit 1 ms Auflösung eingestellt (Zeitgenauigkeit für jeden Rampenabschnitt 0.01% + 1 ms). Die Umschaltung der Spannungsbereiche erfolgt automatisch. Wahlweise kann der Spannungsbereich auch vorgegeben werden.

Für komplexe Spannungsverläufe ist es natürlich nicht erforderlich, alle einzelnen Rampenabschnitte anzugeben. Hier bietet die Software umfangreiche Unterstützung. Zur Kontrolle kann der Spannungsverlauf auch grafisch dargestellt werden.

Jedes DUT besitzt ein eigenes aktives Amperemeter mit hardwaremäßiger Strombegrenzung und ein Ausgangsrelais, mit dem das DUT von der Messelektronik getrennt werden kann. Alle Messausgänge sind im Bereich ± 200 V unbeschränkt kurzschlussfest.

Die Amperemeter haben fünf Strombereiche (100 nA, 1 μ A, 10 μ A, 100 μ A, 1 mA). Die Auflösung beträgt 0.005% vom Bereichsendwert, die Basisgenauigkeit ist 0.1% (bezogen auf den Bereichsendwert). Die Strombereiche werden automatisch umgeschaltet. Wahlweise kann der Strombereich auch vorgegeben werden. Die Umschaltung erfolgt ohne Stromunterbrechung und ohne messbaren Einfluss auf die Ausgangsspannung.

Für jeden Rampenabschnitt kann eine Messrate (ab 20 ms, oder 0 = keine Messung) angegeben werden. Zu den vorgesehen Zeitpunkten werden für alle DUTs die Stromwerte gespeichert, zusätzlich Spannung, Zeitpunkt und Rampenabschnitt.

Laufend und unabhängig von der eingestellten Messrate werden die Ströme aller DUTs gegen die Abschaltkriterien überprüft. Folgende Kriterien werden unterstützt:

- Überschreiten eines vorgegebenen Stromwertes
Dieses Kriterium prüft das DUT auf Kurzschluss
- Unterschreiten eines vorgegebenen Stromwertes nach vorherigem Überschreiten eines vorgegebenen Schwellenwertes
Dieses Kriterium prüft das DUT auf Leiterbahnunterbrechung, wie es nach einem Kurzschluss fallweise vorkommen kann
- Sprunghafte Stromänderung nach oben oder unten, wobei der Faktor angegeben werden kann.
Dieses Kriterium prüft das DUT auf interne Kurzschlüsse zwischen einzelnen Schichten oder dielektrische Veränderungen

Falls das Abschaltkriterium für ein DUT zutrifft, wird dieses automatisch abgeschaltet. Zusätzlich wird der letzte Messwert vor dem Abschalten sowie jener nach dem Abschalten gespeichert, unabhängig von der eingestellten Messrate. Der genaue Zeitpunkt der Abschaltung ist daher in jedem Fall genau bekannt.

Die Abschaltkriterien können für jeden Abschnitt des Spannungsmusters unterschiedlich angegeben werden. Wenn kein oberes Limit angegeben wird, wird im Fall eines Kurzschlusses das DUT nicht abgeschaltet, es ist jedoch eine hardwaremäßige und zeitlich unbegrenzte Strombegrenzung von ca. 1,5 mA vorgesehen.

Ein Experiment wird beendet wenn entweder alle DUTs abgeschaltet wurden oder beim Erreichen der maximalen Dauer des Experiments.

Damit auch kleinere Ströme im pA-Bereich einwandfrei gemessen werden können, besitzen alle Messausgänge Guard-Leitungen, die bis zum Gehäusepin bzw. bis zur Kontaktnadel geführt sind.

Zur bestmöglichen Entkopplung besitzt jeder DUT-Ausgang eine eigene Masseleitung. Je nach vorhandener Teststruktur kann es erforderlich sein, die Masseleitungen mehrerer DUTs zusammenzuschalten, allerdings hat das dann den Nachteil einer etwas schlechteren Entkopplung.

Die Messdaten werden asynchron zur Messung zum PC übertragen. Pro DUT werden bis zu 15000 Messergebnisse lokal zwischengespeichert, sodass bei Unterbrechung der Datenübertragung oder sonstigen Problemen am PC kein Datenverlust auftritt. Selbst bei einer sehr schnellen Messrate von 0.1 Hz ist somit eine Überbrückungszeit von über 40 Stunden gewährleistet! Wenn die Verbindung wiederhergestellt ist, werden die Daten automatisch synchronisiert.

Ein in der Praxis hilfreiches Feature ist, dass die Kapazität der Teststruktur mit Hilfe einer quasistatischen Messmethode grob bestimmt werden kann. Die Kapazitätsmessung hat eine Genauigkeit von etwa $20\% \pm 100$ pF und dient in erster Linie zur Kontrolle der korrekten Kontaktierung.

Als Kalibrierintervall ist 1 Jahr vorgesehen. Die Kalibrierdaten werden lokal auf der Messplatine gespeichert. Die Kalibrierung kann wahlweise beim Kunden vor Ort, durch Einschicken des Testsystems (bei WLR-Systemen) oder einzelner Messplatinen erfolgen.

Ofen

Für das PLR-Testsystem kommen speziell angepasste Öfen der deutschen Firma ELIOG-Kevitherm zum Einsatz. Im rückwärtigen Teil des Ofens befindet sich die gesamte Messelektronik. Das Testsystem ist dadurch sehr kompakt. Aus Gründen der elektrischen Performance und der Zuverlässigkeit werden keine Messkabel verwendet und die DUT-Boards direkt durch die Ofenrückwand an die Messelektronik gesteckt. Die DUT-Boards können ohne gegenseitige Störung entnommen und bestückt werden.

Die DUT-Boards werden mit einem speziellen Bestückungswerkzeug in den Ofen eingebracht. Dieser besitzt einen Kurzschlussstecker, damit während der Handhabung und Bestückung keine Vorschädigung der Bauteile durch ESD auftritt.

Die Temperatur des Ofens kann zwischen 70°C und 250°C eingestellt werden und zwar sowohl an der Ofenvorderseite als auch softwaregesteuert. Die aktuelle Temperatur kann jederzeit ausgelesen und zusammen mit den Messdaten abgespeichert werden. Die Einstellgenauigkeit und Uniformität der Temperatur ist besser als $\pm 2^\circ\text{C}$.

DUT-Boards sind in zwei Ausführungen erhältlich: Die Standard-Ausführung (bis 230°C) ist für die meisten Untersuchungen ausreichend. Die Hochtemperaturlösung ist bis 250°C geeignet, das Material ist aber weicher und erfordert etwas mehr Sorgfalt beim Bestücken.

Waferhandler

Das WLR-Testsystem wird wahlweise über Triaxial- oder Flachbandkabel mit der Probekarte des Waferhandlers verbunden. Der Waferhandler wird von der Software gesteuert. Nachdem ein Messzyklus beendet ist, wird automatisch die nächste Position angefahren.

Die Positionen der Teststrukturen werden vorab grafisch oder tabellarisch definiert. Zusätzlich können auch Unterpositionen und dort jeweils die zu messenden Strukturen angegeben werden. Für die automatische Erstellung von längeren Listen ist ein Datenimport vorgesehen.

Sofern vom Waferhandler unterstützt, kann beim WLR-Testsystem auch die Temperatur softwaremäßig eingestellt und ausgelesen werden.

Aus Sicherheitsgründen ($\pm 200\text{ V}$!) ist am Waferhandler eine Sicherheitsabdeckung mit Sicherheitsschalter vorgeschrieben. Diese Sicherheitsabdeckung wird nicht mitgeliefert und ist vom Kunden bereitzustellen. Beim Öffnen dieser Sicherheitsabdeckung werden sämtliche Spannungen an der Probekarte abgeschaltet.

Software

Das Testsystem wird über die Software von mb-Technologies gesteuert, die auf einem üblichen PC installiert wird. Ein PC kann auch mehrere Testsysteme ansteuern. Jedes Testsystem wird dazu auf eine eigene Adresse eingestellt.

Die Software unterstützt die Definition, die Überwachung der laufenden Experimente und die Auswertung. Der Status der einzelnen DUTs wird farblich grafisch dargestellt. Die Messwerte werden grafisch und in Tabellenform angezeigt. Mit Hilfe der automatischen Datenauswertung wird ein schneller Überblick über die Messergebnisse gewonnen und die Lebensdauer automatisch berechnet. Für die Weiterverarbeitung können die Daten in verschiedenen Formaten exportiert werden.

Praxiserprobte Standardmessroutinen werden mitgeliefert und können durch die integrierte Skriptsprache bei Bedarf auch schnell an eigene Anforderungen angepasst oder erweitert werden. Die Software ermöglicht grundsätzlich beliebig komplexe Messabläufe und Auswertungen.

Softwareänderungen, die von mb-Technologies zur Verfügung gestellt werden, können vom Kunden selbst eingespielt werden. Falls erforderlich wird dazu auch die Firmware der Messelektronik automatisch neu programmiert.

Spezifikationen

Modellübersicht:

Modell	Anwendung	DUTs	Experimente
UX-1016	Wafer-Level	16	2
UX-1032	Wafer-Level	32	4
UX-2064	Package-Level	64	8
UX-2128	Package-Level	128	16

Spannung:

Messbereich	Auflösung	Genauigkeit
200 V	10 mV	0.05% (100 mV)
20 V	1 mV	0.05% (10 mV)

Strom:

Messbereich	Auflösung	Genauigkeit
1 mA	50 nA	0.1% (1 uA)
100 μ A	5 nA	0.1% (100 nA)
10 μ A	500 pA	0.1% (10 nA)
1 μ A	50 pA	0.1% (1 nA)
100 nA	5 pA	0.2% (200 pA)

Strombegrenzung, Abschaltung:

- Hardwaremäßige Strombegrenzung: ca. 1.5 mA (zeitlich unbegrenzt)
- Softwaremäßige Stromabschaltung:
 1. Bei Überschreiten eines vorgegeben Limits (1 nA .. 1 mA, 0 = aus)
 2. Bei Unterschreiten eines minimalen Stromwertes (1 nA .. 1 mA, 0 = aus) bei vorherigem Überschreiten eines Schwellenwertes (1 nA .. 1 mA)
 3. Bei sprunghaften Stromänderungen nach oben oder unten (einstellbarer Faktor > 1, 0 = aus)
- Getrennte High- und Low-Ausgänge für jedes DUT für optimale Kanaltrennung

Kalibrierung:

- 23°C \pm 5°C, Luftfeuchtigkeit < 60%
- 30 Minuten Aufwärmzeit nach dem Einschalten
- Kalibrierintervall: 1 Jahr

Timing:

- max. Anzahl der Messungen pro DUT: 15000
- max. Anzahl der Rampenschritte pro Experiment: 2500
- Zeit für jede einzelne Spannungsrampe: 1 ms .. 2.000.000 s (23 Tage)
- Spannungsrampe: \pm 5 nV/s .. \pm 1000 V/s bzw. 0 (konstante Spannung)
- Messrate pro Spannungsrampe: 20 ms .. 2.000.000 s bzw. 0 (keine Messung)
- Wiederholung für jede beliebige Untergruppe eines Rampenabschnittes: 0 .. 1 Million
- Timing-Genauigkeit jeder Zeitabschnitt: 0.01% + 1 ms

Package-Level-Tester:

- Anzahl Bauteile pro Ofen: 64 oder 128 (siehe Modellübersicht)
- Anzahl Spannungsgruppen (Experimente): 8 oder 16 (siehe Modellübersicht)
- Temperatur: 70°C bis 250°C
- Genauigkeit: $\pm 2^\circ\text{C}$
- Temperaturanzeige und Einstellmöglichkeit an der Vorderseite oder über Software
- Leckstrom DUT-Boards: typ. 500 fA/V
- Abmessungen: 80 x 100 x 51 cm (B x T x H), 90 kg

Wafer-Level-Tester:

- Anzahl Bauteile: 16 oder 32 (siehe Modellübersicht)
- Anzahl Spannungsgruppen (Experimente): 2 oder 4 (siehe Modellübersicht)
- Automatische Spannungsabschaltung beim Öffnen der Sicherheitsabdeckung
- Abmessungen: 35 x 42 x 17 cm (B x T x H), 15 kg