



Richtlinie des ESD Forum e.V. für die Vorgehensweise bei ESD-Risikobewertung für ESD-gerechte Maschinen und Anlagen

1. Zweck

Diese Richtlinie (RL) dient der Evaluierung von Fertigungsanlagen im Elektronikbereich durch ausgebildetes Fachpersonal.
Alle Rechte liegen beim ESD Forum e.V.

2. Änderungen

Änderungen und Ergänzungen können nur durch den Vorstand oder die durch ihn beauftragte Arbeitsgruppe beschlossen und eingeführt werden. Jede Änderung dieser RL ist in einem gesonderten Kapitel 5, Änderungsstatus der vorliegenden RL mit Grund und Datum zu vermerken.
Ausdrucke unterliegen nicht dem Änderungsdienst.

3. Verteiler

Verteilt wird diese RL nur nach Bedarf und Anforderung von Fachkreismitgliedern. Ferner wird diese RL auf der Homepage des ESD Forum e.V. unter www.esdforum.de als Download bereit gestellt.

4. Glossar

FKM	Fachkreismitglied
AOM	Außerordentliches Mitglied
FÖM	Fördermitglied
RL	Richtlinie

5. Änderungsstatus

1. 18.02.2013 Initiierung der RL 1013 durch den Arbeitskreis Maschinenrichtlinie mit den Mitgliedern Frank Biege (Hella KGaA Hueck&Co), Reinhold Gärtner (Infineon Technologies), Horst Gieser (Fraunhofer-Institut EMFT), Karl Helting (Elektrostatik Institut Berlin GmbH), Jürgen Higgen (Hella KGaA Hueck&Co), Rainer Pfeifle (Wolfgang Warmbier GmbH&Co.KG), Werner Röthkirch (NXP Semiconductors Germany GmbH), Uwe Thiemann (RoodMicrotec GmbH), Friedrich Wulfert (Freescale Halbleiter Deutschland) unter Vorsitz von Peter Jacob (Empa Eidgenössische Materialprüfungs- u. Forschungsanstalt)
- 2.



6. Inhalt der Richtlinie

1. Präambel/ Einführung

2. Begriffsdefinitionen

- 2.1. ESD Hygiene
- 2.2. Robotische Prozesse: voll- und halbautomatische Prozesse
- 2.3. ESDS
- 2.4. Elektrostatisch leitfähige (konduktive) Materialien
- 2.5. Elektrostatisch ableitfähige (dissipative) Materialien
- 2.6. Elektrostatisch aktive (triboelektrische) Materialien
- 2.7. ESDFOS
- 2.8. Prozessmedium
- 2.9. Sicherheitsbereich
- 2.10. Konduktive Kapazität
- 2.11. Erdung

3. Elektrostatische Beeinträchtigungen

- 3.1. ESD
- 3.2. ESDFOS
- 3.3. Reversible Beeinträchtigung
- 3.4. ESA
- 3.5. Prozessbeeinträchtigung

4. Vorbereitungen für eine ESD-Risikoevaluation

- 4.1. Messung von Temperatur, Luftfeuchte und elektrostatischen Grundbedingungen
- 4.2. Sonstige Hinweise zur Vorbereitung

5. Die ESD-Risikoanalyse im Prozess

- 5.1. Wie ist der Ablauf, wo können Risiken entstehen
- 5.2. Messungen in der Prozessanlage
 - 5.2.1. Widerstandsmessung
 - 5.2.2. Messung von elektrostatischen Oberflächenpotentialen
- 5.3. Bewertung der Messungen
 - 5.3.1. Ableitfähigkeit
 - 5.3.2. Elektrostatische Oberflächenpotentiale
 - 5.3.3. Ergänzende Hinweise
- 5.4. Abhilfemassnahmen
- 5.5. Musterprüfungen (beim Anlagenhersteller)
- 5.6. Praktische Beispiele
 - 5.6.1. Einzelabnahme einer Pick- und Place-Anlage für das Abpicken und Umsetzen von vereinzelt Chips von der Folie in Wafflepacks
 - 5.6.1.1. Vorbereitungen
 - 5.6.1.2. Bestimmung der Messpunkte und Messablauf
 - 5.6.2. Einzelabnahme einer PCB Produktionslinie für Flachbaugruppen
 - 5.6.2.1. Bestimmung der Messpunkte und Messablauf
 - 5.6.2.2. Detailhinweise und –erklärungen zum Bestückungsautomaten



5.6.3. Bewertung der Messergebnisse und Abhilfemassnahmen

5.6.4. Ausfertigung des Mängelberichts (Einzelprüfung)

6. Mängelberichtsvorlagen mit Erläuterungen

6.1. Für die Einzelabnahme von Anlagen bei Anwendern

6.2. Für Serien-Musterprüfungen von Anlagen bei Anlagenherstellern

7. Anhänge

7.1. Verweise auf bestehende Standards und Richtlinien

7.2. Hinweise zu Entladungsmechanismen und zur Durchschlagfestigkeit

7.2.1. Hinweise zu Entladungsmechanismen und -modellen in der Prozessrobotik

7.2.2. Durchschlagfestigkeit und Durchschlagspannung

7.3. Anmerkungen zu abweichenden Schutzklassen für spezielle ESD Anforderungen

7.4. Verwendung von Luftionisatoren

7.4.1. Einsatz der Luftionisatoren

7.4.2. Auswahl der Ionisatoren

7.4.3. Montage von Ionisatoren

7.4.4. Periodische Prüfung der Luftionisatoren

7.4.5. Ergänzende Empfehlungen für Ionisatoren

7.5. Andere dissipative Ableiteinrichtungen

7.5.1. Pinseldurchlauf

7.5.2. Bäder

7.6. Besondere Hinweise auf besondere Risiken in bestimmten Prozessanlagen

7.6.1. Spezielle Hinweise bei der Evaluation von Verpackungsmaschinen

7.6.2. Spezielle Hinweise für Molden/ Vergiessen/ Einpressen

7.7. Spezialfälle elektrostatischen Ladungsaufbaus

7.7.1. Zersprühprozesse

7.7.2. Fremderregter Aufbau elektrostatischer Ladung

7.7.3. Messung von Oberflächenpotentialen

7.8. Unzugängliche Prozessanlagen oder unzugängliche Anlagenteile

7.9. Abdeckungen

7.10. Empfehlungen zu Umgebungsbedingungen am Aufstellungsort der Maschinen

7.11. Anmerkungen betreffend Ausbildungsstand und Prüfberechtigung

8. Verzeichnis der Bilder

9. Verzeichnis der Tabellen

10. Stichwortverzeichnis



1. Präambel/ Einführung

In der Verarbeitung von Mikroelektronik sind heute ESD geschützte Bereiche (EPA=ESD Protected Area) gang und gäbe geworden. Mit genauen Vorgaben über deren Ausstattung befassen sich zahlreiche national und international anerkannte Standards, wie z.B. IEC 61340 (mit Untergruppen).

In diesen werden sehr genaue Vorgaben und Empfehlungen betreffend Bodenleitfähigkeit, ableitfähige Schuhe, Mäntel, Handschuhe, Ableitmaßnahmen und Zugangsmessungen zur EPA usw. gemacht, um eine „ESD-Hygiene“ durchzusetzen.

Mittels standardisierter Audits wird zudem die kontinuierliche Einhaltung der betreffenden Vorgaben/ Vorschriften streng überwacht.

Nähere Untersuchungen und die Erfahrungen der vergangenen Jahre haben aufgezeigt, dass sich die ESD-Problematik eindeutig vom Handling durch Personen weg und hin zu maschinenspezifischen Problemen verlagert hat. Nur noch in wenigen Fällen erfolgt eine direkte manuelle Handhabe von ESD-empfindlichen Bauteilen (ESDS) während der Herstellungs- oder Verarbeitungsprozesse. Die meisten derartigen Prozesse laufen heute robotisch ab. Die Prozessmaschinen waren früher fast vollständig aus Metall gefertigt und mit elektromotorischen/ elektromagnetischen Antrieben versehen und somit quasi automatisch an nahezu allen Stellen mehr oder weniger gut geerdet. Hier hat sich aber ein Wandel vollzogen: Die elektromotorischen Antriebe wurden in vielen Fällen durch Druckluft- oder Saugluftvorrichtungen ersetzt, Metallschienen durch Teflon und andere abriebarme Kunststoffe ersetzt, Zahnräder und Metallketten wichen nicht-ESD-konformen Zahnriemen und metallische Oberflächen wurden, teils aus Designgründen, eloxiert oder mit abriebfesten Schutzlacken versehen. Gleichzeitig wurde die Prozessgeschwindigkeit (Durchsatz) in den meisten Abläufen massiv erhöht. Zusammen genommen ist dabei eine unübersichtliche Vielfalt neuer, durch die robotischen Prozesse verursachten ESD-Risiken entstanden, die weder von den wenigen Standards zur Thematik erfasst werden, noch ins Bewusstsein vieler ESD-Verantwortlicher vorgedrungen sind.

In diesem Umfeld ist eine aus fachlicher Sicht nicht erklärbare Diskrepanz in bezug auf „ESD-Hygiene“ entstanden. Einerseits wird jede Raumpflegerin, die ohne ESD-Mantel oder mit nicht ableitfähigen Schuhen in einer EPA „erwischt“ wird, aufs Schärfste gemaßregelt, obwohl sie nie mit ESDS in Kontakt kommt. Dasselbe Management aber, das den Verweis der Reinigungskraft ausspricht, legt eine erstaunliche und völlig unverständliche ESD-Toleranz gegenüber nachweislichen Aufladungen im zweistelligen kV-Bereich, etwa bei robotischen Folienabzugsprozessen an den Tag.

Die unüberschaubare Vielfalt an Prozessanlagen verhindert die Entstehung verbindlicher Standards für die ESD-Risikoabschätzung robotischer Prozesse und Abläufe. Solche Risikoabschätzungen erfordern sowohl ein tiefgreifendes Verständnis über die in vielen Fällen nicht trivialen elektrostatischen Effekte als auch ein ingenieurmäßiges Vorgehen an der Prozessanlage, um die kritischen Stellen zu identifizieren. Zusätzlich ist die Kenntnis der hierfür erforderlichen speziellen Messtechnik notwendig.

Um dem engagierten ESD-Koordinator dennoch eine praktische Arbeitshilfe an die Hand zu geben, wurde daher die nachfolgende Richtlinie erarbeitet, in der die solchen Evaluationen zugrunde liegende Systematik beschrieben und zusätzliche Hinweise, vertiefende Erklärungen und Vorschläge zu Abhilfemaßnahmen gegeben werden.

2. Begriffsdefinitionen

2.1. ESD Hygiene

Im Rahmen eines geschlossenen ESD-Konzeptes ist es wichtig, auch dann vorbeugende Massnahmen gegen elektrostatische Aufladung zu treffen, wenn diese in bezug auf die Gefährdung von ESDS nur von untergeordneter bzw. nicht unmittelbar erkennbarer Bedeutung sind. ESD-Hygiene meint insbesondere die Vermeidung von Aufladungen auch dort, wo diese nicht als unmittelbare Gefährdung von ESDS in Erscheinung treten. Unter diesem Gesichtspunkt sollten beispielsweise Maschinenabdeckungen aus ableitfähigem Material sein. Derartige Vorkehrungen werden unter dem Begriff ESD-Hygiene zusammengefasst.

2.2. Robotische Prozesse: voll- und halbautomatische Prozesse

Unter dem Sammelbegriff „Robotische Prozesse“ werden voll- und halbautomatisch ablaufende Prozesse verstanden. Dies schliesst sämtliche ESDS transportierenden, prüfenden und verarbeitenden Teilschritte



ein, die maschinell bewerkstelligt werden (z.B. durch Elektromotoren, Elektromagnete oder Druck-/ Saugluft).

2.3. ESDS

Unter ESDS (Electrostatic Discharge Sensitive Device) versteht man ein ESD-empfindliches Bauteil gemäß der Definition von IEC 61340-5-1

2.4. Elektrostatisch leitfähige (konduktive) Materialien

Diese Materialien haben in Anlehnung an IEC 61340-5-1 einen Flächenwiderstand von weniger als $1 \cdot 10^4$ Ohm.

2.5. Elektrostatisch ableitfähige (dissipative) Materialien

Diese Materialien haben in Anlehnung an IEC 61340-5-1 einen Flächenwiderstand zwischen $1 \cdot 10^4$ und $< 1 \cdot 10^{11}$ Ohm. Zusätzlich sollen die Materialien nicht elektrostativ aktiv sein (siehe 2.6)

2.6. Elektrostatisch aktive (triboelektrische) Materialien

Als solche werden Materialien bezeichnet, welche sich durch Kontakt- oder Reibungselektrizität z.B. durch einen trockenen Stofflappen, aufladen lassen und diese Ladung über eine gewisse Zeit (ca. 10 Sekunden) halten. Es gibt keine wissenschaftlich exakte Messmethode für diese Eigenschaft.

2.7. ESDFOS

Entladungen, die, z.B. während der Preassembly Prozesse direkt in die Chipoberfläche einschlagen, ohne dass der Entladungspfad über die Pads läuft, werden als ESDFOS (ElectroStatic Discharge From Outside to Surface) bezeichnet.

2.8. Prozessmedium

Als Prozessmedien werden sämtliche Hilfsstoffe bezeichnet, die zur Verarbeitung von Bauelementen unmittelbar erforderlich sind (z.B. Reinigungs- oder Prozesschemikalien, Wasser, Gase usw.)

2.9. ESD-Sicherheitsbereich

Als dem ESD-Sicherheitsbereich zugehörig werden diejenigen Maschinenteile bezeichnet:

1. bei denen aufgeladene ESDS eine harte Entladung (z.B. nach Masse) erfahren können.
2. bei denen sich aufgeladene Maschinenteile hart ins ESDS entladen können.

Im Übrigen sei in Bezug auf CDM-Entladungsrisiken auf die JEDEC JEP 157, sowie in Bezug auf prozessrelevante Isolatoren auf die IEC 61340-5-1 verwiesen.

2.10. Konduktive Kapazität

Hiermit wird die Kapazität eines isoliert aufgestellten Körpers mit elektrisch leitfähiger Oberfläche bezeichnet. Zur Abschätzung von konduktiven Kapazitäten kann eine Vergleichskugel mit vergleichbar grosser Oberfläche herangezogen werden. Deren konduktive Kapazität errechnet sich wie folgt:

$C = 4\pi\epsilon_0 r_K$; r_K bezeichnet den Kugelradius.

Anwendungsbeispiele für die konduktive Kapazität sind im Kapitel 7.2. beschrieben.

2.11. Erdung

Als geerdet wird ein metallisches Maschinenteil dann bezeichnet, wenn im betriebsfähigen Zustand der Maschine eine ohne Werkzeug nicht auftrennbare Verbindung zur Referenzerde besteht. Als Referenzerde gilt in der Regel der Schutzleiter oder eine referenzierte Ring-Erdungsleitung. Der Ableitwiderstand zur Referenzerde sollte < 2 Ohm betragen. Erdungen innerhalb der Prozessanlage sind sternförmig auf einen Referenz-Erdungspunkt zu führen.

Ein gut geerdetes Maschinenteil weist gegenüber Referenzerde keine Wechselspannungsanteile auf. Dies kann auf einfache Art und Weise mit einem Multimeter im Wechselspannungsmessmodus (AC) überprüft werden. Dazu wird eine Elektrode mit der Referenzerde und die andere Elektrode mit dem zu überprüfenden Metallteil verbunden. Ein gut geerdetes Metallteil weist dann eine Wechselspannung von weniger als 50mV auf.



3. Elektrostatische Beeinträchtigungen

- 3.1. **ESD:** ESD ist die internationale Abkürzung für Electrostatic Discharge. Dabei handelt es sich um den Übergang von Ladungen zwischen Körpern mit unterschiedlichen elektrostatischen Potentialen, deren Aufbau durch Kontakt- oder Reibungselektrizität, Influenz durch elektrostatische Felder mit nachfolgender mechanischer Zertrennung oder einseitiger Ladungsableitung des influenzierten Körpers oder durch Material zersprühende Prozesse verursacht wurde.
- 3.2. **ESDFOS:** Elektrostatische Entladungen können nicht nur durch frei zugängliche Pins von ESDS übertragen werden. Bei Wafern oder ungehäusten Mikrochips sind auch Oberflächeneinschläge unter Schädigung der Chip-Passivierung und oberflächennaher intermetallischer Isolierschichten möglich. Solche, nur im nicht gehäusten Fabrikationszustand möglichen Oberflächenentladungen werden als ESDFOS (Electrostatic Discharge from Outside to Surface) bezeichnet.
- 3.3. **Reversible Beeinträchtigung:** Zusätzlich gibt es bei besonders empfindlichen Devices auch noch die Möglichkeit von Beeinträchtigungen durch elektrostatische Influenz. Besonders sog. EEPROM Memories sind hierbei gefährdet. In vielen Fällen werden bestimmte Informationen bereits beim Wafertest in die Memories geschrieben. Beim Einwirken starker elektrischer Felder von aussen kann es dann zu Bitkippern kommen, so dass solche Informationen z.T. oder ganz verloren gehen. Obgleich dies in den meisten Fällen ein physikalisch reversibler Schaden ist, endet er doch in der Regel mit der Verschrottung betroffener Chargen.
- 3.4. **ESA:** Electrostatic Attraction = Anziehung von Partikeln, Bauteilen, Prozessmedien.
- 3.5. **Prozessbeeinträchtigung** Zur Beeinträchtigung von Prozessen gehören auch durch elektrostatische Anziehung/ Anstossung fehlplatzierte, klemmende oder blockierende ESDS oder auch sonstige am Prozessgeschehen beteiligte ESDS oder Prozessmedien, z.B. ein durch elektrostatische Ablenkung fehlgeleiteter Wasserstrahl oder dergleichen.

4. Vorbereitung einer ESD-Risikoanalyse

4.1. Messung von Temperatur, Luftfeuchte und elektrostatischen Grundbedingungen

Vor Beginn einer Maschinenevaluation sollte die am Aufstellungsort (gleicher Raum) der Maschine herrschende Luftfeuchte und die Temperatur gemessen werden. Der Abstand zur Maschine sollte dabei weniger als 5 m betragen. Bei Prozessanlagen in SMIF (Standard Mechanical InterFace)-Mini-Environment-Technologie sollte eine zweite Messung innerhalb der jeweiligen Anlage bzw. des SMIF-Anlagenteils erfolgen.

Darüber hinaus wird eine Gesamtbewertung der elektrostatischen Grundbedingungen, auf welche insbesondere der Ionisationsgrad der Luft erheblichen Einfluss nimmt, empfohlen. Sehr gut kann dieser Test mit einem Charged Plate Monitor durchgeführt werden. Dazu wird die Kondensatorplatte des CPM geladen und – ohne dass sich dieser im Wirkungsbereich eines Ionisators befindet – dessen Entladung mit der Zeit beobachtet. Wenn das Potential der Charged Plate länger als 10 Sekunden gehalten wird, kann von brauchbaren Bedingungen für die Messungen ausgegangen werden.

Als alternative Methode wird hierzu die Aufladung eines Elektroskops mit einem Elektrophor, oder einem Aufladetaster, wie er etwa im Charged-Plate-Set von Feldmühlen zur Überprüfung von Ionisatoren beiliegt, empfohlen (bevorzugt negativ). Bei hoher Luftfeuchte und/ oder einem hohen Ionisationsgrad der Luft würde sich das Elektroskop wesentlich schneller als bei der Messung mittels Charged Plate Monitor durch Sprühentladung selbst entladen (ca. 2-5 Sekunden).

4.2. Sonstige Hinweise zur Vorbereitung

In der Regel sollten zur Vorbereitung von ESD-Risikoanalysen in Prozessanlagen folgende zusätzlichen Vorbereitungen getroffen werden:

1. Bereitstellung sämtlicher Wartungs- und Interlock-Überbrückungsschlüssel, welche für einen Betrieb der zu untersuchenden Maschine bei geöffneten oder entfernten Schutzabdeckungen erforderlich sind.



2. Hinzuziehung des für die Prozessanlage zuständigen Maschineningenieurs. Dieser muss in der Lage sein, die jeweiligen Bewegungsabläufe der Maschine je nach Bedarf für die Messungen einzeln ablaufen zu lassen bzw. die hierfür erforderliche Maschinenprogrammierung vorzunehmen.
3. Vor Beginn der Messung sollte sich der Prüfer mit den Bewegungsabläufen der Maschine vertraut machen (evtl. Sicherheitsbelehrung), um Unfälle und Maschinenschäden durch Einklemmen von Messköpfen oder gar Körperteilen zu vermeiden.
4. In der Vorbereitung empfehlenswert ist ferner die Hinzuziehung eines Bediensteten zur Erstellung von Fotografien oder die Einholung einer Fotografierlaubnis zu Dokumentationszwecken bei Beanstandungen. Auch die Bereitstellung eines geeigneten Laborwagens mit Stromverteilerkabel zur Aufnahme der erforderlichen Mess- und Prüfgeräte wird manchmal in der Vorbereitung übersehen.

5. Die ESD-Risikoanalyse im Prozess

5.1. Wie ist der Ablauf, wo können Risiken entstehen

Grundsätzlich folgt der Ablauf einer Risikobewertung folgendem Schema:

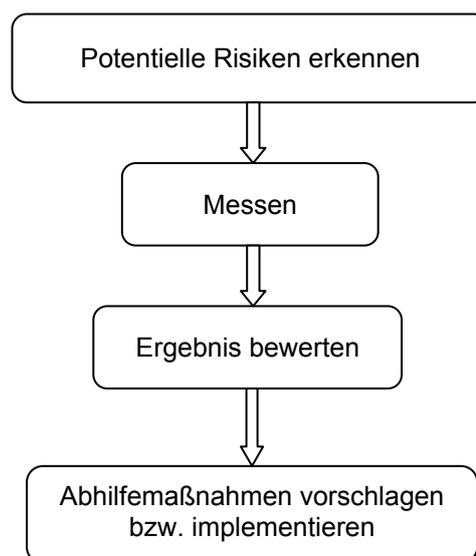


Bild 5.1 Ablauf einer Risikobewertung

Zunächst gilt es, die Prozessabläufe in der Anlage zu verstehen und hinsichtlich möglicher ESD-Risiken einzuordnen. Der Prüfer lässt sich dazu die Prozessanlage von einem erfahrenen Prozessoperator oder –ingenieur vorführen. Diese Vorführung sollte auch die Be- und Entladevorgänge der Maschine umfassen, ebenso wie vor- und nachbereitende Verrichtungen einschliesslich solche manueller Art – auch hier sollen schliesslich ESD-spezifische Risiken erfasst und bewertet werden. Bei der Vorführung ist es wichtig, dass die Prozessabläufe gut ersichtlich sind, d.h. Abdeckklappen und ähnliche sichtbehindernde Schutzvorrichtungen sollten dazu geöffnet bzw. entfernt werden. Dazu ist eine Brückung der Interlocks (z.B. mittels sog. „Serviceschlüssel“) erforderlich. Bei der Inspektion der Prozessschritte und den im nächsten Abschnitt beschriebenen Messungen ist ein hohes Mass an Selbstverantwortung und Gefahrenbewusstsein seitens des Prüfers erforderlich, da bei Annäherung an die meist schnell bewegten, nunmehr offen zugänglichen mechanischen Teile erhebliche Verletzungsgefahr besteht.

Bei der Beobachtung der Prozessabläufe ist insbesondere auf die Bewegungen und Vorgänge von Maschinenteilen zu achten, die mit dem ESDS in direkter Berührung oder dichter Annäherung stehen; ausserdem sollte die Verwendung von elektrostatisch aktiven Materialien dort Aufmerksamkeit erregen, wo



durch die Bewegungsabläufe und die Nähe zum ESDS eine Gefährdung desselben in Betracht kommen könnte.

Kritische Messpunkte sind definiert als Arbeitsschritte, bei denen es zu einer Aufladung von Maschinenteilen oder ESDS kommt und bei folgendem Prozess eine harte Entladung nicht ausgeschlossen werden kann. Bei der Neukonstruktion von Prozessanlagen sollte schon die Aufladung vermieden werden. Beispiele für risikobehaftete Stellen sind etwa Kunststoff-Gleitlager, Förderbänder aus elektrostatisch aktivem Material, Kunststoff-Kabelschleppen und Acrylverglasungen. Prozesse, bei denen das ESDS isoliert (z.B. Wafer auf Folie) geführt wird, das Ein- und Ausladen in bzw. aus Trägervorrichtungen zu Transferzwecken, Justagen in Kunststoffformen, Prozesse mit zersprühten Flüssigkeiten (z.B. beim Waferreinigen, Sägen...), sowie laminierende oder delaminierende Prozesse mit elektrostatisch aktiven Materialien sind ebenfalls potentielle Risiken.

Sind die Abläufe der zu untersuchenden Prozessanlage hinreichend gut erfasst (hierzu gehört auch manuelles Eingreifen durch die Operateure bei Prozessbeginn und Ende) und Prozessschritte mit potentiell ESD Risiko definiert, so werden die Messpunkte festgelegt und die eigentlichen Messungen können beginnen.

5.2. Messungen in der Prozessanlage

5.2.1. Widerstandsmessung

Widerstandsmessungen sind insofern unkritisch, als sie unabhängig von den Umgebungsbedingungen ausgeführt werden können. Eine Messleitung wird dabei an eine Schutz Erde als Bezugspunkt gelegt, die andere Messleitung enthält einen stumpfen Tastkopf, um ein Durchstoßen/ Zerkratzen isolierender Schichten zu vermeiden (was das Messergebnis verfälschen würde).

Für Messungen an unbeschichteten metallischen Oberflächen sollte ein einfaches Ohmmeter verwendet werden, für Messungen an hochohmigen Materialien ein Hochohmmeter.

Die Prüfung umfasst sämtliche Metallteile und dissipativen Materialien, die während des Prozessablaufs mit dem ESDS in direkte Berührung gelangen (also z.B. Transport- und Gleitschienen, Ausricht- Ein- und Auswurfbleche, Förder- und Umsetzeinrichtungen, Trägervorrichtung, metallische Werkzeuge usw.). Diese Vorrichtungen sollten eine definierte Ableitung gewährleisten.

Grundsätzlich wird im Rahmen der Überprüfungen empfohlen, eine Sichtprüfung sämtlicher Erdverbindungen auf unzureichende Ausführung durchzuführen.

Eloxierte/brünierte oder lackierte Flächen sollten in solchen Anwendungen unterbleiben, es sei denn, die Beschichtung ist in elektrisch leitfähiger bzw. ableitfähiger Weise ausgeführt oder aus sonstigen technischen Gründen notwendig. Es muss grundsätzlich bedacht werden, dass Eloxalschichten beschädigt oder verschlissen werden können und daher nicht als definierte Isolierschichten angesehen werden dürfen. Bei der Prüfung der Anbindung eloxierter Metallflächen an die Erde muss eine stumpfe Messspitze verwendet werden, um eine Verfälschung der Messung durch Ankratzen der Eloxal- oder Lackschicht zu vermeiden. Eine hochohmige (1M Ω) Anbindung metallischer Maschinenteile an Masse ist aus ESD Sicht zulässig, sollte jedoch unter Arbeitsschutzaspekten hinterfragt werden (möglicher Schluss auf Netzphase ohne FI-Auslösung infolge durchgeschauelter elektrischer Netzkabel usw...). Wird Isolierung gemessen, so sollte dies zunächst mit dem Prozessingenieur besprochen werden, da es Stellen gibt, wo dies aus technischen Gründen notwendig ist. Beispiele hierfür sind etwa Metallchucks im Wafertest, Feldelektroden und Chucks in Plasma/ Reactive Ion Etch - Ätzkammern und ähnliches. Ist die Isolierung technisch nicht zu begründen, können zur Eingrenzung der Fehlerursache weitere Messpunkte festgelegt werden, insbesondere Verschraubungen, Niete, Verlasungen und Verkabelungen zu geerdeten Anlagenteilen hin. Die entsprechend festgestellten Mängel werden im Protokoll vermerkt. Mittels zusätzlicher Erdleitungen ist meist eine einfache Abhilfe möglich.

5.2.2. Messung von elektrostatischen Oberflächenpotentialen

Als nächstes erfolgt nun die Messung eventuell gefährlicher Oberflächenspannungen an ESDS oder an zuvor als kritisch identifizierten Maschinenteilen. Grundsätzlich sind hierbei zwei mögliche Szenarien zu bedenken:

- a) die plötzliche Entladung eines geladenen Maschinenteils oder Prozessmediums in das ESDS
- b) die Aufladung des ESDS im Prozess und dessen nachfolgende, plötzliche Entladung bei Annäherung/Berührung metallischer Teile (CDM-entsprechend).



Diese Messungen sollten in der Regel an der bewegten Maschine mittels eines kontaktlosen elektrostatischen Voltmeters ausgeführt werden. Wenn möglich, ist eine vorübergehende feste Montage in der Anlage empfehlenswert. Dadurch wird die Verletzungsgefahr gemindert und die Messgenauigkeit bzw. die Reproduzierbarkeit gefördert. Die Messwerte der einzelnen, zuvor festgelegten Punkte werden protokolliert.

Die Verwendung sog. Feldmühlen zur Oberflächen-Potentialmessung ist zwar grundsätzlich möglich, in der Regel aber für die meisten Prozessmaschinen schon wegen der fehlenden Ortsauflösung nicht empfehlenswert. Werden nicht tolerierbare Oberflächenpotentiale gemessen, so sollte die Ursache untersucht werden, d.h. es müssen fallweise weitere Messungen, welche sich insbesondere auf Materialeigenschaften beziehen, gemacht werden (z.B. Widerstandsmessungen der Materialien). Abschliessend kann noch eine Evaluation der Prozessmaschine auf „elektrostatische Hygiene“ gemacht werden. Damit sind z.B. Messungen der Ableitfähigkeit von Plexiglasabdeckungen und ähnliches gemeint, wodurch zwar keine direkte Gefährdung des ESDS besteht, jedoch im Interesse der Vorgaben einer EPA solche aus Gefährdungssicht eher nebensächlichen „Aufladungsquellen“ nach Möglichkeit beseitigt werden sollten. Derartige Feststellungen werden im Prüfbericht aber lediglich als Hinweise aufgeführt, siehe hierzu auch unter 5.3.3.

5.3. Bewertung der Messungen

5.3.1. Ableitfähigkeit

In vielen Maschinen und Arbeitsplätzen sind hochohmige (etwa $1 \cdot 10^6$ Ohm) Anbindungen metallischer Maschinenteile aufzufinden. Elektrostatisch ist dies akzeptabel, fachlich dennoch keine geeignete Massnahme, um eventuelle Entladungen vom ESDS „weich“ abzuführen. Ob eine Entladung „weich“ (also unschädlich) oder „hart“ (potentiell zerstörend) erfolgt, hängt bei metallischen Teilen ausschliesslich vom Verhältnis der konduktiven Kapazitäten (Kapazität des ESDS zu Metallteil-Kapazität) ab; in der Regel ist die des Metallteils bedeutend grösser als die des ESDS, so dass ein harter Überschlag nicht durch hochohmige Erdanbindung des Metallteils zu vermeiden ist. Hiergegen helfen nur flächige Beschichtungen mit hochohmigem Material (z.B. hochohmig leitende Gummimatten und Ähnliches)

Für die Bewertung der Messergebnisse gilt aus ESD Sicht generell, dass bei Widerständen von weniger als $1 \cdot 10^9 \Omega$ eine so rasche Ableitfähigkeit gegeben ist, dass es nicht zu kritischen elektrostatisch bedingten Aufladungen kommen kann. Im Bereich $1 \cdot 10^9 \Omega$ bis $1 \cdot 10^{11} \Omega$ wird zwar gemäss der bestehenden Definition noch Ableitfähigkeit unterstellt, jedoch kann es in diesem Bereich bei entsprechend hoher Ladungszufuhr pro Zeiteinheit schon zu elektrostatischen Aufladungen kommen, die kurzzeitig gehalten werden können.

Ein Ableitwiderstand $> 1 \cdot 10^9 \Omega$ sollte also bemängelt werden, wenn dies nicht aus anlagen-/ ablauftechnischen Gründen erforderlich ist. Bei dünnen Oberflächenbeschichtungen muss zudem die Durchschlagfestigkeit (siehe 7.2.) und ein eventueller prozessablaufbedingter Verschleiss bei der Bewertung der Messergebnisse mit herangezogen werden.

5.3.2. Elektrostatische Oberflächenpotentiale

Die Bewertung der gemessenen Oberflächenpotentiale ist generell schwierig und setzt entsprechende Erfahrung voraus. Vorausgeschickt werden sollte, dass es hierbei nicht um die Frage einer exakten Messgeräte-Kalibration oder um Abweichungen von einigen 10 Volt geht: elektrostatische Oberflächenpotential-Messungen können grundsätzlich nur Größenordnungen angeben, exakte und vor allem reproduzierbare Werte sind nahezu unmöglich. Ursache hierfür sind die unter 3.1. bereits erwähnten, jahres- und teilweise sogar tageszeitlich sehr variablen elektrostatischen Grundbedingungen. Des Weiteren spielt selbstverständlich die Empfindlichkeit der mit der Anlage zu verarbeitenden ESDS eine wesentliche Rolle bei der Einschätzung, ob die an den als kritisch ausgewählten Punkten gemessenen Werte als problematisch anzusehen sind oder nicht.

Der Prüfer schätzt im Einzelfall ein, ob die Messwerte noch tolerierbar sind und ob gegebenenfalls Gegenmassnahmen getroffen werden müssen. Die Richtlinie kann angesichts der Komplexität und Vielfalt der Prozesse und ESDS hier nur beispielhafte Empfehlungen im Sinne einer Hilfestellung oder eines Leitfadens geben.

Als einfacher Anhaltspunkt für die meisten ESDS, der auch eine genügende Sicherheitsreserve für schlechte elektrostatische Grundbedingungen berücksichtigt, sollte ein Grenzwert von 100V für HBM-



artige bzw. 250V für CDM-artige Gefährdungen angesetzt werden. Mit diesen Werten liegt man nahezu immer auf der sicheren Seite.

Für ESDS, bei denen bauartbedingt ein erhöhter oder verminderter Grenzwert angenommen werden sollte, gibt der Anhang zusätzliche Hinweise.

5.3.3. Ergänzende Hinweise

Abschliessend kann noch eine Evaluation der Prozessmaschine auf „elektrostatische Hygiene“ gemacht werden. Damit sind z.B. Messungen der Ableitfähigkeit von Plexiglasabdeckungen ausserhalb des ESD-Sicherheitsbereichs und ähnliches gemeint, wodurch zwar keine direkte Gefährdung des ESDS besteht, jedoch im Interesse der Vorgaben einer EPA solche aus Gefährdungssicht eher nebensächlichen „Aufladungsquellen“ nach Möglichkeit beseitigt werden sollten. Derartige Feststellungen werden im Mängelbericht aber lediglich als Hinweise vermerkt. Sie bedürfen keiner unmittelbaren Abhilfemassnahmen, ihre Beseitigung sollte jedoch etwa bei zu späterem Zeitpunkt ohnehin notwendigen grösseren Umbauten, Teilerneuerungen, Umzügen oder Wartungsarbeiten der Anlage mit berücksichtigt werden.

5.4. Abhilfemassnahmen

Erdungsmängel sind in der Regel einfach über zusätzliche Erdungsleitungen zu beseitigen. Wird an bestimmten Stellen eine kontrollierte Ladungsableitung („weiche Erdung“) gefordert, so ist diese in der Regel nicht durch Zwischenschaltung hochohmiger Widerstände zu erreichen, sondern nur durch Oberflächen mit hochohmig dissipativem Material (bei Beschichtungen Durchschlagfestigkeit beachten); siehe auch unter 7.2.

Bei zu hohen Oberflächenpotentialen ist der beste Weg die Ursachenbeseitigung, d.h. der Ersatz des Aufladung verursachenden, isolierenden Materials durch (geerdetes) dissipatives oder elektrisch leitfähiges Material. Wo dies technisch nicht möglich ist, kann eine Entladung leitfähiger Teile durch Überstreichen mit einem dissipativen, geerdeten Pinsel, Bürste oder ähnlichem erfolgen. Isolatoren erfordern das Anbringen von Ioniersystemen oder die Flutung des betreffenden Prozesssektors mit ionisierter Luft (siehe Anhang).

Schwieriger wird es, wenn kritische Oberflächenpotentiale durch Zersprühprozesse flüssiger Prozessmedien entstehen, insbesondere beim Wafersägen und bei Reinigungen. Die häufig übliche Verwendung von karbonisiertem Wasser und die damit verbesserte Leitfähigkeit des Wassers helfen in den meisten Fällen, die Aufladung zu reduzieren. Es wurden aber sogar Fälle einer Ladungssteigerung beobachtet. Die Zugabe von CO₂ kann die für das Aufladungsverhalten massgebende Zersprühgeometrie durchaus auch zum Nachteil verändern. Diese lässt sich jedoch mit anderen Sprühdüsen, Druckänderungen, Einspritzwinkel usw. wieder verbessern. Auch können dicht am ESDS geführte Abschirmbleche Abhilfe verschaffen. Bei Verwendung von karbonisiertem Wasser müssen auch mögliche Korrosionseffekte (Kohlensäure!) auf das ESDS, wie z.B. Korrosion von Aluminium-Pads in Betracht gezogen werden.

5.5. Musterprüfungen (beim Anlagenhersteller)

Bei der Musterprüfung einer Anlage gilt es zunächst, in der Bewertung der Abläufe die möglichen Variationen hinsichtlich zu verarbeitender ESDS und Prozessmedien zu erfassen und entsprechend zu bewerten. Die in 5.1. bis 5.4. beschriebenen Abläufe müssen mit unterschiedlichen ESDS und Prozessmedien wiederholt werden, wobei eventuell eine Beschränkung im Sinne einer Auswahl „Best Case“ und „Worst Case“ in Betracht kommen kann. Wenn bei der Untersuchung je nach Kombination ESDS/ Prozessmedien sehr unterschiedliche Ergebnisse erzielt werden, so wird dies im Zertifikat vermerkt und im Handbuch der Prozessmaschine auf entsprechende ESD-Aufrüstooptionen und deren Notwendigkeit bei den jeweiligen ESDS hingewiesen.

Die Musterprüfung sieht zudem die Festlegung definierter Wartungsarbeiten zur Minderung von ESD-Risiken vor. Solche sind z.B. in Zeitintervall und örtlich festzulegende Nachmessungen von Erdungspunkten, der Wirksamkeit von Ionisiergeräten, Messungen des Oberflächenwiderstandes an kritischen nicht-metallischen Flächen, die einem regelmässigen Abrieb unterliegen usw. Diese Messpunkte werden im Prüfprotokoll festgehalten und soweit erforderlich, Zielwerte für die Messungen angegeben, z.B. „Ionisiergebläse 5 an Punkt C: Entladezeit zwischen 1000 und 100V < 2 sec, gemessen in 4cm Abstand, erforderlichenfalls Staub-Reinigung der Nadeln eines Luftionisators mittels Pinsel, zu wiederholen alle 6 Wochen“.



Zur Musterprüfung gehört auch eine kritische Bewertung des vom Hersteller erstellten Anwenderhandbuchs für die Anlage unter dem Gesichtspunkt „ESD-Sicherheit“. Das Handbuch sollte in seiner Endversion den oben beschriebenen ESD-Wartungsplan enthalten, sowie gegebenenfalls Hinweise auf optionale ESD-Schutzmassnahmen, etwa für die Verarbeitung besonders empfindlicher ESDS. Bei Verwendung triboelektrischer Prozessmedien sind entsprechende Hinweise auf mögliche ESD-Gefährdungen bzw. zurüstbare Abhilfeoptionen erwünscht.

Musterprüfungen werden in der Regel beim Anlagenhersteller noch vor der Auslieferung des neuen Anlagentyps an Endkunden durchgeführt. In Ausnahmefällen kann mit dem Hersteller eine Abnahme bei einem (Pilot-) Kunden vereinbart werden, sofern sichergestellt ist, dass die Anlage dort in der erforderlichen Breite, d.h. mit allen vorgesehenen Variationen hinsichtlich ESDS und Prozessmedien in Betrieb gesetzt werden kann. Ist dies nicht gewährleistet, so kann nur eine Einzelprüfung bescheinigt werden. Das Gleiche gilt auch für im Einzelauftrag erstellte Anlagen, die nicht für eine Serienfertigung vorgesehen sind.

Ferner dürfen sog. „Acceptance-Tests“ beim Hersteller im Auftrag des Anwenders nicht mit Musterprüfungen verwechselt werden. Acceptance Tests sind grundsätzlich Einzelfallprüfungen, egal ob diese beim Anlagenhersteller oder beim Anwender stattfinden.

Bei der Bewertung der Messergebnisse von Musterprüfungen empfiehlt sich mit Blick auf den meist weltweiten, sehr variablen Einsatz der Anlagen unter verschiedensten Umgebungsbedingungen die Anlegung eines besonders strengen Massstabs.

5.6. Praktische Beispiele:

5.6.1. Einzelabnahme einer Pick- und Place-Anlage für das Abpicken und Umsetzen von vereinzelt Chips von der Folie in Wafflepacks

5.6.1.1. Vorbereitungen

Am Tag der Abnahme müssen folgende Vorbereitungen getroffen sein:

- a) Bereitstellung eines geeigneten Laborwagens mit Steckdosenleiste für die Unterbringung der Messgeräte
- b) Erteilung einer Fotografierlaubnis zur Dokumentation von Mängeln
- c) Aufbietung des für die P&P-Anlage zuständigen Tool-Ingenieurs, der
 - den Prozessablauf in der Maschine erklären kann
 - die Maschine im Einzelschrittmodus laufen lassen kann
 - Interlocks an der Maschine überbrücken kann, so dass die Maschine bei geöffneter Abdeckung laufen kann
- d) Bereitstellung einer angemessenen Zahl gesägter (Schrott-) Wafer auf Folie in der standardmässig vorgesehenen Ladekassette. Falls unterschiedliche Chips auf der Anlage verarbeitet werden, sollten Wafer mit den geometrisch grössten und mit den geometrisch kleinsten Chips vorbereitet werden.
- e) Bei Prüfung durch eine externe Firma sollte der ESD-Koordinator der Firma/ Linie in den Untersuchungsablauf mit eingebunden werden.
- f) Die P&P Anlage muss am Prüfungstag in betriebsbereitem Zustand vorgehalten werden.

Diese Vorbereitungen ersparen im Allgemeinen erhebliche Zeitverluste und wirken Missverständnissen mit den vor Ort Verantwortlichen entgegen.

5.6.1.2 Bestimmung der Messpunkte und Messablauf

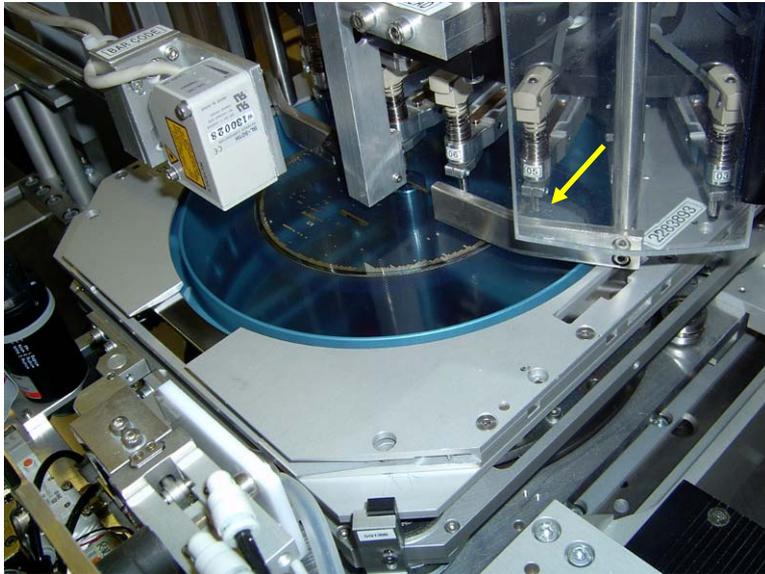
Zunächst werden die die Prüfung behindernden Abdeckungen vom Anlagenverantwortlichen entfernt und die betreffenden Interlocks überbrückt.

Während dieser Zeit kann der Prüfer die elektrostatischen Umgebungs-Bedingungen messen und ins Prüfprotokoll eintragen.

Zur Festlegung der Messpunkte wird zunächst der eigentliche Prozessablauf beobachtet, kritische Punkte ausgewählt und die nötige Messung definiert:

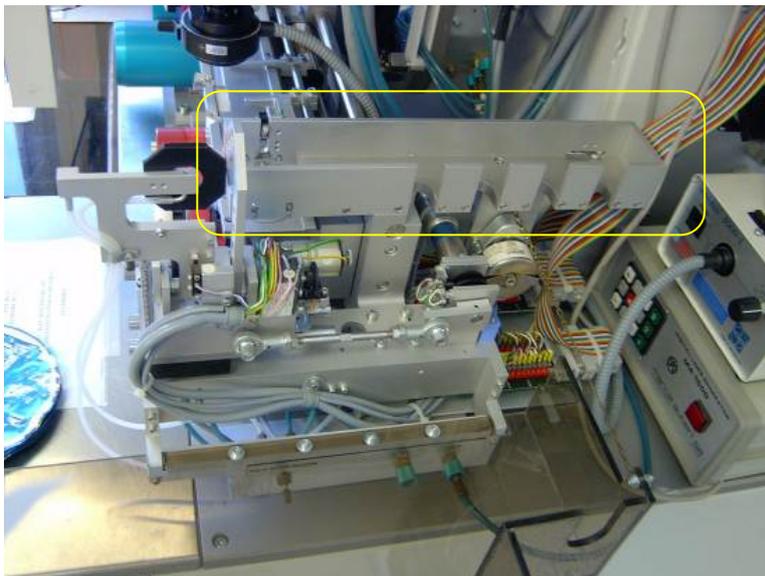
Tabelle 5.6.1.1 Potentielles ESD-Risiko beim Pick und Place (P&P) Prozess

Prozessschritt	Potentielles ESD-Risiko	Messung
Einlegen der Kassette mit den Wafern in den Eingabeschacht der P&P Anlage durch den Operator	Operator ist aufgeladen und lädt damit auch die Wafer auf; bei nachfolgenden Prozessen kann es zu einer harten Entladung kommen	Aufladung des Operators, der Kassette und der Wafer
	Kassette ist im Eingabeschacht nicht geerdet und kann sich und die anderen Wafer während des Prozessablaufes aufladen; bei nachfolgenden Prozessen kann es zu harten Entladungen der Wafer kommen	Erdableitwiderstand der Kassette im Eingabeschacht
Transportvorrichtung nimmt den Wafer aus der Kassette und legt ihn auf ein Alignment-Tool	Transportvorrichtung ist nicht geerdet und lädt den Wafer auf; bei nachfolgenden Prozessen kann es zu harten Entladungen kommen	Aufladung des Wafers in Transportvorrichtung; Erdableitwiderstand der Transportvorrichtung
Transportvorrichtung nimmt den Wafer aus dem Alignment-Tool und legt ihn auf ein Frameholder-Tool (Chuck) zum Abpicken der Chips	Wafer ist aufgeladen und entlädt sich über Rückseite in den Chuck Chuck ist nicht geerdet, wodurch der Wafer ebenfalls aufgeladen wird; beim nachfolgenden Abpicken der Chips kann es zu harten Entladungen kommen.	Aufladung des Wafers auf Chuck Ableitwiderstand des Chucks
Anheben des Chips durch Ejektor-Nadel von der Chip-Rückseite aus	I.A. ist eine harte Entladung des aufgeladenen Wafers über seine Rückseite wegen der geringen Stromdichte unkritisch; in einigen Spezialfällen kann es jedoch durch rissfördernde Einschlagskrater gefährlich sein	Erdableitwiderstand der Ejektor-Nadel
	Aufladung des Chips (durch das allmähliche Aufladen der Trägerfolie mitsamt den noch verbliebenen Chips bei jedem Abpickvorgang), die bei nachfolgenden Prozessen zu einer harten Entladung führen kann	Aufladung der Chips beim Abhebepunkt, mehrfach in unterschiedlichen Stadien des Abpickfortschritts wiederholen
Abpicken der Chips mit Sauger	Harte Entladung, falls Chip geladen und Sauger aus Metall ist Entladung vom Sauger in den Chip, falls Sauger metallisch und nicht geerdet ist	Erdableitwiderstand des Saugers
Ablegen des Chips in Waffle-Pack	Harte Entladung falls Chip aufgeladen und Waffle-Pack aus Metall ist	Aufladung des Chips am Sauger Oberflächenwiderstand der Waffle-Packs
Transport der Waffle-Packs aus der Anlage	Aufladung der Waffle-Packs und Chips z.B. durch Reibung an triboelektrischen Transportbändern; mögliche harte Entladung bei nachfolgenden Prozessen	Aufladung der Chips im Waffle-Pack Erdableitwiderstand der Waffle-Packs



Der auf isolierender blauer Folie aufgespannte Wafer mit den gesägten Chips lässt sich mit jedem Abpickvorgang durch die Pickerköpfe (einer mit Pfeil gekennzeichnet) etwas mehr auf. Die (z.T. durch Sägestaub) noch elektrisch verbundenen, geladenen Chips laufen Gefahr, über den Picker eine CDM-Entladung mehrerer über den Sägestaub verbundener Chips zu erleiden oder ihre so erworbene Ladung in Folgeprozesse zu verschleppen. Zur Vermeidung übermäßiger Aufladung der Folie kann Luftionisation eingesetzt werden. Das Bild zeigt den Wafer in fast abgepicktem Zustand

Bild 5.6.1.1 Aufladung beim Abpickvorgang



Mehrfach verschraubte eloxierte Metallteile weisen teils hohe Isolierfestigkeit zueinander auf. Ob hierdurch ESDS Gefährdungen entstehen, muss im Einzelfall verifiziert werden. Obgleich aus (eloxiertem)Metall, ist die hier gezeigte, gelb markierte Aufnahme für offene Wafflepacks gegenüber Erde völlig isoliert (Prüfspannung hier: 1kV). Durch allmählichen Ladungseintrag über ebenfalls isolierte Transfereinrichtungen besteht das Risiko einer allmählichen Aufladung der gesamten Aufnahmewanne samt offen in Wafflepacks liegenden ESDS

Bild 5.6.1.2 Ladungseintrag über isolierte Transfereinrichtungen

Für die Messungen können folgende Messgeräte verwendet werden:

Für Messungen des Ableitwiderstandes (R_{t9}): Ein Hochohmometer mit umschaltbarer Prüfspannung

Für Oberflächenpotentialmessungen (P): ein elektrostatisches Voltmeter eventuell mit verschiedenen Mess-Sonden

Für die Prüfung von Ionisatoren (I): Ein Charged Plate Set mit absetzbarer Charged Plate.

Für die Abschätzung von Oberflächenwiderständen (R_{pp}): Handheld-Widerstandsmessgerät mit integrierten Balkenelektroden.

Sinnvoll sind auch Messgeräte zur Bestimmung der Luftfeuchte und der Temperatur und der elektrostatischen Grundbedingungen.

Die Messgeräte für R_{tg} , P und I werden an die (möglichst zentrale) Referenzerde niederohmig angeschlossen.

Tabelle 5.6.1.2 Messergebnisse beim Pick und Place

Prozessschritt	Messergebnis	Abhilfemaßnahme
Einlegen der Kassette mit den Wafern in den Eingabeschacht der P&P Anlage durch den Operator	Operator ist auf > 1000V aufgeladen und lädt damit auch die Wafer auf	Erdung des Operators
	R_{tg} der Waferkassette > $10^{11} \Omega$	Erdung der dissipativen / leitfähigen Waferkassette; Einsatz eines Ionisators, falls Kassette isolierend ist
Transportvorrichtung nimmt den Wafer aus der Kassette und legt ihn auf ein Alignment-Tool	R_{tg} der Transportvorrichtung > $10^{11} \Omega$	Erdung der dissipativen / leitfähigen Transportvorrichtung; Einsatz eines Ionisators, falls Transportvorrichtung isolierend sein muss
Transportvorrichtung nimmt den Wafer aus dem Alignment-Tool und legt ihn auf ein Frameholder-Tool (Chuck) zum Abpicken der Chips	Wafer ist auf > 1000V aufgeladen; R_{tg} des Chucks > $10^{11} \Omega$	Erdung des dissipativen / leitfähigen Chucks; Einsatz eines Ionisators, falls Chuck isolierend ist
Anheben des Chips durch Ejektor-Nadel von der Chip-Rückseite aus	Wafer/ Folie ist auf > 1000V aufgeladen	Einsatz eines Ionisators; Ejektor-Nadel sollte geerdet sein
Abpicken der Chips mit Sauger	R_{tg} des Saugers > $10^{11} \Omega$	Erdung des ableitfähigen / leitfähigen Saugers
	R_{tg} des Saugers < 10 Ω	Austausch des metallischen Saugers
Ablegen des Chips in Waffle-Pack	Aufladung des Chips am Sauger > 250V und R_{tg} des Waffle-Packs < 10 Ω	Einsatz eines geerdeten, leitfähigen / dissipativen Saugers
Transport der Waffle-Packs aus der Anlage	Aufladung der Waffle-Packs und Chips > 1000 V	Erdung der Waffle-Packs

Die zu ergreifenden Abhilfemaßnahmen sollten jeweils mit dem örtlichen ESD-Koordinator abgesprochen werden; sind mehrere gleichartige Anlagen auf verschiedene Fabrikationsstandorte verteilt, so ist eine kenntnisgebende Mitteilung an die dort jeweils zuständigen ESD-Koordinatoren sinnvoll.

5.6.2. Einzelabnahme einer PCB (Printed Circuit Board)-Produktionslinie für Flachbaugruppen

Die Vorbereitungen für das nun folgende zweite Beispiel erfolgen wie in 5.6.1.1. und 5.6.1.2. für das Pick & Place- Beispiel geschildert, entsprechend.

5.6.2.1. Bestimmung der Messpunkte und Messablauf

Die Festlegung der Messpunkte in den einzelnen Prozessschritten, die Messungen und deren Bewertung sowie Abhilfemaßnahmen sind in der nachfolgenden Tabelle aufgelistet.



Tabelle 5.6.2.1 Potentielles ESD-Risiko in der PCB-Linie

Prozessschritt	Potentielles ESD-Risiko	Messung
Einlegen von PCB Substraten - nicht bestückt - bereits einseitig bestückte PCBs Die PCBs werden in Kassetten angeliefert und in die Ladeaufnahme gegeben. Einzelsubstrat wird geladen und dann auf das Transportband geschoben.	Substratpaket wird örtlich nahe an ESDS aus Verpackung (Plastikfolie) genommen und dabei aufgeladen. Risiko durch Ladungverschleppung mit harter Entladung in Folgeprozess oder in benachbart bearbeiteten ESDS. Einseitig bestückte, durch Vorprozesse aufgeladene PCBs in der Kasette können bei der Beladung über metallische Seitenschienen oder dgl. hart entladen werden.	Messung des Oberflächenpotentials der PCBs. Aufladung des Stapels, Messung mit elektrostatischem Voltmeter
Vorschub eines Substrats auf das Transportband	Aufladung der PCBs durch isolierend ausgeführtes Transportband (Zahnriemen, Flach, Kette oder Rundband). Harte Entladung aufgeladener PCBs über das leitende, geerdete Transportband bzw. Führungsschienen (auch bei Übergängen)	Messung des Oberflächenpotentials der PCBs. Messung der Leitfähigkeit der Materialien und Erdung der einzelnen beweglichen Teile.
Kennzeichnung der PCBs mit Barcodeetiketten	Beim Abliften der Etiketten von der Folie werden die Etiketten und damit die PCBs aufgeladen. Risiko einer harten Entladung in Folgeprozessen.	Messung des Oberflächenpotentials nach Abzug von der Folie und nach Aufbringen auf die PCBs.
Einfahren in den Lötpastendruck bei der zweiten Bestückung (für beidseitige PCBs)	Übergabe erfolgt mit Restladung der PCB-Oberfläche von den vorausgegangenen Transportschritten → mögliche harte Entladung eines geladenen PCBs in die metallische Lötpasten-Maske	Messung des Oberflächenpotentials der PCBs bei der Übergabe von Transportband zu Eingangstransportband
Vorlauf zur Bestückungsmaschine	Durch Reibung an den Übergangspunkten der Transporteinheiten werden die Substrate aufgeladen. Die Geschwindigkeiten der Transportbänder sind nicht gleich und es entsteht Reibung – Risiko von Aufladung und nachfolgender Entladung im Nachfolgeprozess	Messung des Oberflächenpotentials bei der Übergabe von Transportband zu Transportband und in der Mitte der Transportstrecke. Messung unter Staubbedingung bei weiterlaufendem Riemen.
Bestückung der PCB mit Nicht-ESDS	Aufladung der PCB durch den P&P Vorgang. Potentialaufbau durch Separation und Mitnahme von Restladung aus den Verpackungen Aufgeladene Nicht-ESDS entladen sich ins PCB, dort evtl. Schädigung bereits bestückter ESDS	Messung des Oberflächenpotentials des PCB Messung des Sauger-Ableitwiderstandes und -potentials Messung des Potentials von Nicht ESDS, während sie am Sauger hängen
Bestückung der PCB mit ESDS	Entladung des durch vorgängige P&P Vorgänge aufgeladenen PCB ins ESDS.	Messung des Oberflächenpotentials des PCB

	Geladene ESDS entladen sich ins PCB	Messung des Sauger-Ableitwiderstandes und -potentials Messung des Potentials von ESDS, während sie am Sauger hängen
Auslauf und Transport zum Löten	Wie bei den vorherigen Transportstrecken und -übergaben	siehe oben
Löten	Übergabe mit Restladung, unterschiedliche Risiken beim Reflow bzw. Schwallbadlöten: Beim SB-Löten Gefahr einer harten Entladung ins Lot. Beim R-Löten normalerweise kein Risiko, solange keine Berührung des PCB mit metallisch geerdeten Anlagenteilen erfolgt.	Messung des Oberflächenpotentials bei der Übergabe
Vorlauf zur automatischen elektrischen Messung	Wie bei den vorherigen Transportstrecken und -übergaben	s. oben
Elektrische Messung (In-Circuit Test)	Risiko einer harten Entladung in Testkontakte, falls das PCB geladen ankommt, oder falls das PCB durch isolierende Downholder-Pins aufgeladen wird.	Messung des PCB-Oberflächenpotentials, Messung des Oberflächenpotentials der Downholder-Pins.
Elektrische Messung (Systemprüfung)	Risiko einer harten Entladung in Testkontakte, falls das PCB geladen ankommt.	Messung des PCB-Oberflächenpotentials
Vorlauf zur automatischen optischen Kontrolle	Wie bei den vorherigen Transportstrecken und -übergaben	s. oben
Einlauf in Buffer (Paternosterprinzip)	Wie bei den vorherigen Transportstrecken und -übergaben	s. oben
Optische Endkontrolle	Wie bei den vorherigen Transportstrecken und -übergaben	s. oben
Auslauf in Kassettenmagazine und Entnahme der Magazine	Wie bei den vorherigen Transportstrecken und -übergaben	s. oben

Tabelle 5.6.2.2 Messergebnisse der PCB-Linie

Prozessschritt	Messergebnis	Abhilfemassnahme
Einlegen von PCB Substraten - nicht bestückt - bereits einseitig bestückte PCBs Die PCBs werden in Kassetten angeliefert und in die Ladeaufnahme gegeben. Einzelsubstrat wird geladen und dann auf das Transportband geschoben	<250V	Generell keine Massnahmen bei U<250V
	Zwischen 250 und 1000V	Je nach Ermessen und ESDS-Empfindlichkeit
	>1000V	Flutung des Eingabeschachts mit ionisierter Luft
Vorschub eines Substrats auf das Transportband	<250 V besonders an Übergabepunkten mit Aufladung aufgrund von Reibung	
	Unbestückt	Keine Massnahmen
	>250 V bei bestückten doppelseitigen PCBs	Ionisierbalken oben und unten um mit ionisierter Luft vor möglicher harter Entladung zu schützen
Kennzeichnung der PCBs mit Barcodeetiketten	<250 V >250V	Keine Massnahmen Luftionisation



Einfahren in den Lötpastendruck	<250 V >250 V	Keine Massnahmen Ionisierbalken oben und unten um mit ionisierter Luft vor möglicher harter Entladung mit ionisierter Luft zu schützen
Vorlauf zur Bestückungsmaschine	<250 V >250 V	Keine Massnahmen Ionisierbalken oben und unten um mit ionisierter Luft vor möglicher harter Entladung mit ionisierter Luft zu schützen
Einlauf in die Bestückungsmaschine	>250 V	Ionisierbalken von oben bei einseitigen PCB, Ionisierbalken oben und unten bei doppelseitigen PCB
Bestückung der PCB mit Nicht-ESDS	Aufladung der PCB <250 V Wenn >250 V → Nicht-ESDS >250 V	Keine Massnahme Ionisierbalken an nächster möglichen Position zur Neutralisierung vor einer möglichen harten Entladung Ionisator zur punktuellen Ionisation an P&P Position zur Neutralisierung vor einer möglichen harten Entladung
Bestückung der PCB mit ESDS	Aufladung der PCB <250 V Wenn >250 V ESDS >250 V	Keine Massnahme Ionisierbalken an nächster möglichen Position zur Neutralisierung vor einer möglichen harten Entladung Ionisator zur punktuellen Ionisation an P&P Position zur Neutralisierung vor einer möglichen harten Entladung
Auslauf und Transport zum Löten	>250 V	Keine Massnahmen, falls kein Risiko für harte Entladungen bestehen Sonst evtl. Änderung d. geometrischen Anordnung/ Materialänderung (dissipativ statt leitend)
Löten	<250 V >250 V	keine Ionisierbalken vor Transfer
Vorlauf zur automatischen elektrischen Kontrolle	<250 V >250 V	Keine Ionisierbalken/ düse vor Einlauf oder dissipatives Fördermaterial zur Ableitung

Elektrische Messung (In-Circuit Test)	<250V >250V auf PCB >250V auf Downholder Pins	Keine Massnahmen Ionisatorleiste Material ändern
Elektrische Messung (Systemprüfung)	<250V >250V auf PCB	Keine Massnahmen Ionisatorleiste
Vorlauf zur automatischen optischen Kontrolle	<250 V >250 V	Keine Massnahmen Ionisierlüfter oder Balken oder dissipatives Fördermaterial
Einlauf in Buffer (Paternosterprinzip) Auslauf	<250 V >250 V	Keine Massnahmen Ionisierlüfter oder Balken oder dissipatives Fördermaterial
Optische Endkontrolle	<250 V >250 V	Keine Ionisierlüfter oder Balken oder Ableitung durch dissipatives Trägermaterial
Auslauf in Kassettenmagazine und Entnahme der Magazine	<250 V >250V	Keine Ionisierlüfter oder Balken oder dissipatives Material für Förderung/ Kassetten



Bild 5.6.2.1 Transportriemen

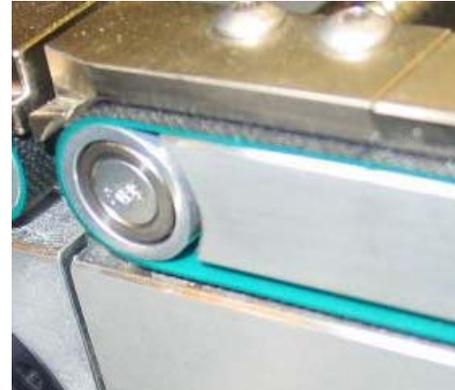


Bild 5.6.2.2 Detail



Bild 5.6.2.3 Transportriemen aus volumendissipativem Material

*Beispiel aus der Praxis - Transportsystem:
Im Bild 5.6.2.1 ist ein Transportriemen im Einsatz, der nur auf einer Seite schwarz leitfähig beschichtet ist (siehe auch Detailbild 5.6.2.2), ansonsten aber (grün) isolierend ausgelegt ist. Das Problem bei solchen Riemern ist, dass der Riemen an den meisten Rollen nicht geerdet ist (siehe Bild 5.6.2.2), sondern nur an Umlenkstationen wie im Bild oben gezeigt (größerer Ableitwiderstand). Zudem kann sich die Beschichtung durch mechanische Belastung abreiben und der zunächst ESD-gerechte wird zu einem hochisolierenden Transportriemen.*

5.6.2.2. Detailhinweise und –erklärungen zum Bestückungsautomaten

Der Bestückungsautomat (im weiteren Text nur noch BA) für die Produktion von Flachbaugruppen ist als „Roboter“ nur im Rahmen einer Fertigungslinie sinnvoll einsetzbar. Dennoch ist er eine einzelne Maschine, die über das Transportsystem der Linie mit Flachbaugruppen beliefert wird und nach dem Bestückungsprozess diese über das Transportsystem wieder ausgibt. Das Transportsystem und alle weiteren Prozessstationen müssen ebenso wie der BA den ESDS-Schutzregeln entsprechen. In diesem Beispiel geht es jedoch um den BA und nur um diesen und nicht um die gesamte Umgebung der Linie, in die er eingebunden ist.

Sämtliche beweglichen und nicht beweglichen metallischen Maschinenteile sind zu erden, siehe 2.11. Nichtmetallische Materialien sollten elektrisch ableitend oder ableitfähig (dissipativ) sein und geerdet werden. Dazu gehören z.B.: Sauger, Vakuum- oder Druckluftschläuche, Transportbänder, Klarsichtscheiben, Abdeckhauben etc., Widerstandsmessung siehe 5.2.1.

Prozessrelevante, isolierende Materialien, die aufgrund konstruktiver Bedingungen in einer Maschine elektrostatische Ladungen aufbauen (z.B. Flachbandkabel, Energie-Kabelschleppen etc.), erzeugen ein der Ladung proportionales elektrisches Feld, dessen Wirkung im ESD-Sicherheitsbereich für ESDS unschädlich sein muss. Der Nachweis dafür, ob ein elektrostatisches Feld im ESD-Sicherheitsbereich schädlich ist oder nicht, wird nach 5.2.2 und 5.3.2 erbracht.

Grundsätzlich sollte gelten, dass während des Bestückungsprozesses

- a) in der Bestückungsposition kein elektrostatisches Feld erzeugt wird (Ausnahme der Bestückungsprozess selber),
- b) Sauger permanent in jeder Position geerdet sind.

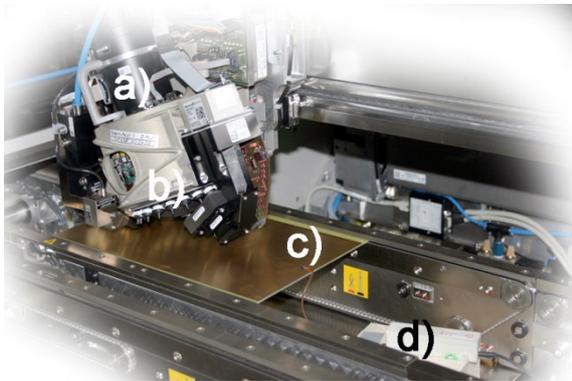


Generell sind die unterhalb der Schutzverkleidung messbaren elektrostatischen Felder ohne Bedeutung, wenn diese in der Bestückungszone nicht mehr messbar sind.

Werden innerhalb einer Linie Leiterplatten oder schon teilbestückte Flachbaugruppen dem BA zugeführt, die elektrostatisch aufgeladen sind (bzw. wurden), muss sichergestellt werden, dass vor dem Bestückungsprozess diese Aufladung ausgeglichen wird (Luftionisation oder Pinselerdung). Dieses Problem wird nicht ursächlich von dem BA verursacht, sondern von den zu bearbeitenden und zugeführten Komponenten.

Die Beispiele in Bild 5.6.2.4 und Grafik, Bild 5.6.2.5 zeigen, wie die einwandfreie Funktion eines BA geprüft werden kann.

Dynamische Prüfungen, Maschine im Dauerlauf



Messung der Prüfplatte

a) Bestückkopf, steuert in Segmenten die Sauger

b) Sauger

c) Prüfplatte (PLP)

d) Position des Tastkopfes vom Elektrostatik-Voltmeter zur berührungslosen Potentialmessung der Prüfplatte

Bild 5.6.2.4 Messung Prüfplatte

Zur Prüfung der permanenten Erdung der Sauger läuft die Maschine im Dauerlauf, simuliert das Abholen von Bauelementen und setzt dann nacheinander alle Sauger auf die Prüfplatte (PLP).

Beim Abheben der Sauger von der PLP wird die PLP zwangsläufig aufgeladen, bei permanentem Kontakt der Sauger zur Erde wird die PLP bei jeder Folgeberührung wieder entladen.

In einigen Segmenten des Bestückkopfes wurden provokativ die Erdverbindungen der Sauger entfernt. Den schweren Fehler zeigt die Kurve a), ein Ausschnitt aus der Messreihe.

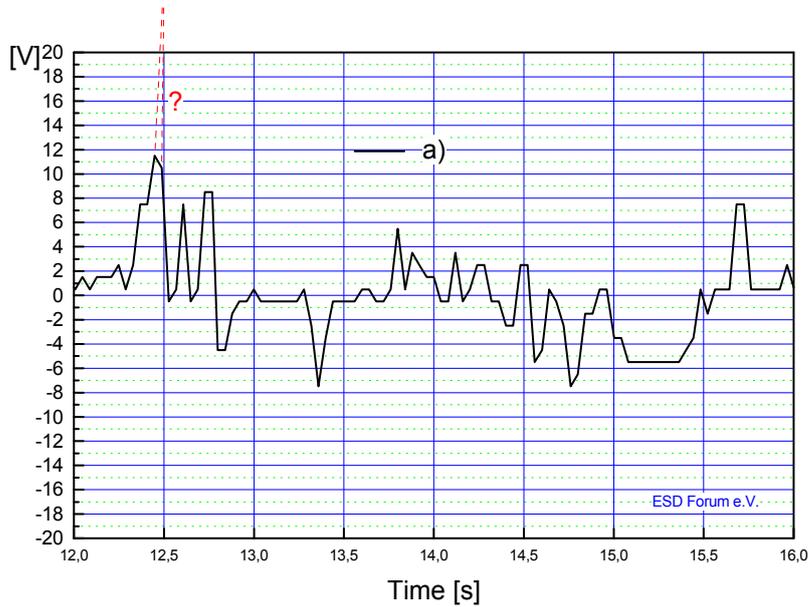


Bild 5.6.2.5 Kurve a: Spannungsverlauf nicht permanent geerdeter Sauger

Kurve a: Die hohe Prozessgeschwindigkeit des Bestückkopfes „begrenzt“ das Messergebnis auf ca. 11,5 V (Markierung in der Grafik mit?).

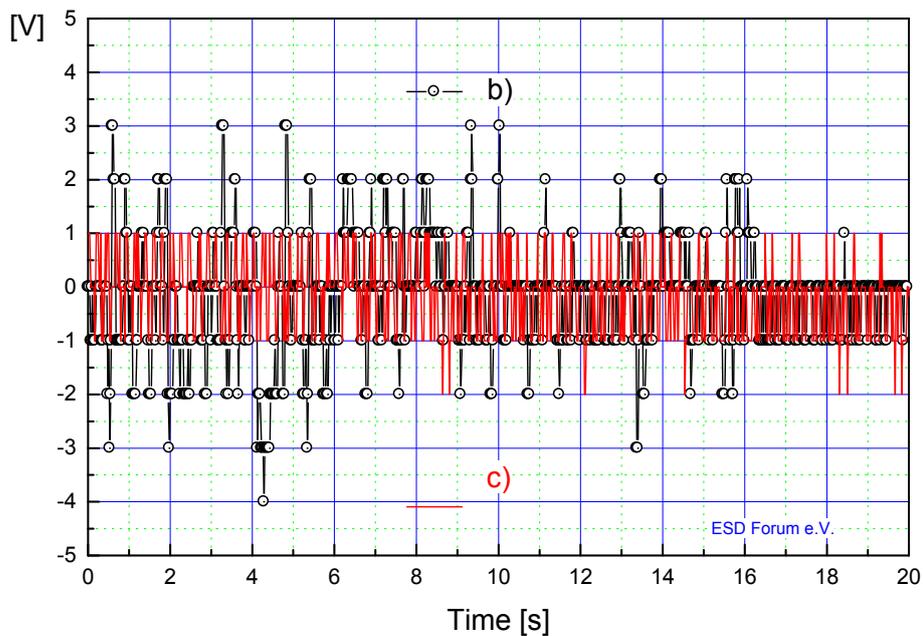


Bild 5.6.2.6 Kurven b) und c) Spannungsverlauf permanent geerdeter Sauger

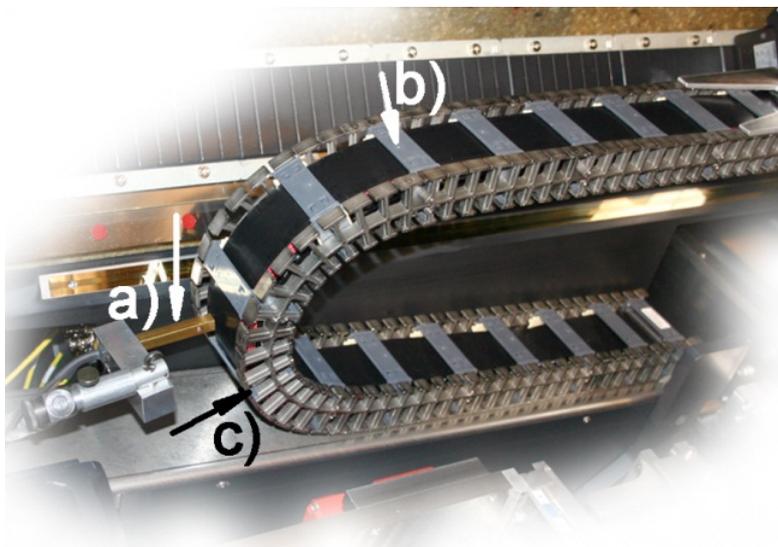
Im Vergleich zur Kurve a) zeigt die Kurve b), die unter gleichen Bedingungen, aber mit permanent geerdeten Saugern, aufgenommen wurde, dass die Prüfplatte weniger als $\pm 5V$ erreicht. Der Bestückungsprozess mit permanenter Sauger-Erdung ist fehlerfrei.

Da in der Bestückungszone generell während des Bestückungsprozesses elektrostatische Felder nicht wirksam sein dürfen, wurde diese Untersuchung im Dauerlauf der Maschine wiederholt, die Sauger berührten die PLP dabei jedoch nicht.

Im Falle wirksamer elektrostatischer Felder in der Bestückungszone würde die dadurch entstehende Ladungsverschiebung in der PLP als Potential gegen Erde gemessen werden können.

Die Kurve c) zeigt, dass die Maschine die PLP in der Bestückungszone nicht influenziert.

Energie-Kabelschleppen werden häufig beim Betrieb eines Bestückungsautomaten stark elektrostatisch aufgeladen. Das unten stehende Foto, Bild 5.6.2.7 zeigt einen Kabelschlepp und die Positionen, die zur Messung der elektrostatischen Aufladungen im Dauerlauf der Maschine gewählt wurden.



Das Bild zeigt die Messpositionen bei der Untersuchung der Kabelschleppe:

- a) Deckfolie, Position des ESD-Tastkopfes in einem Deckfolienfeld*
- b) grauer Steg*
- c) Laufflächen*

Bild 5.6.2.7 Messpositionen an einer Kabelschleppe

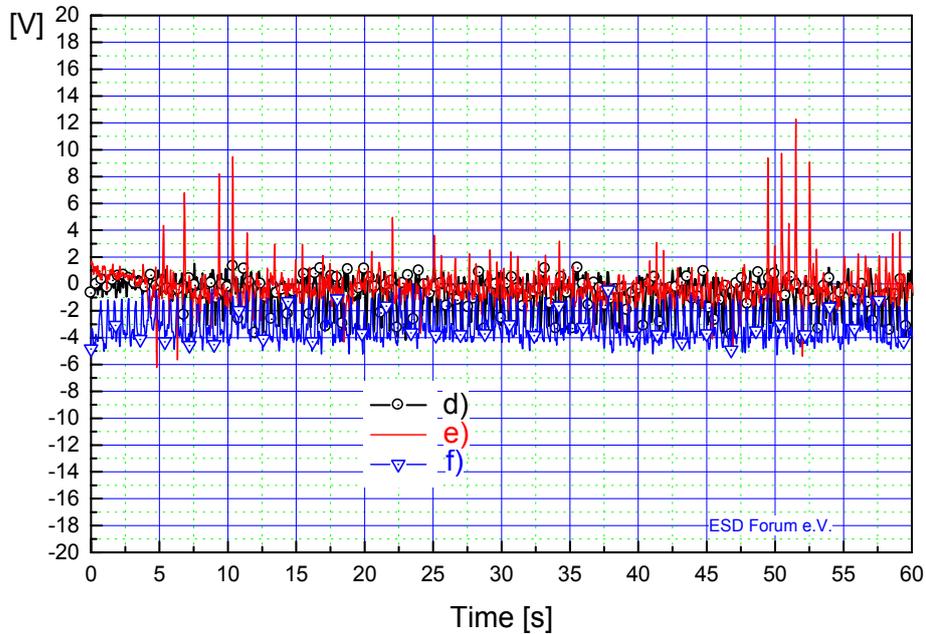


Bild 5.6.2.8 Entwicklung der elektrostatischen Aufladung der Kabelschlepp

Die Grafik in Bild 5.6.2.8 oben zeigt die Entwicklung der elektrostatischen Aufladung der Kabelschlepp anhand des gemessenen Oberflächenpotentials beim Dauerlauf der Maschine.

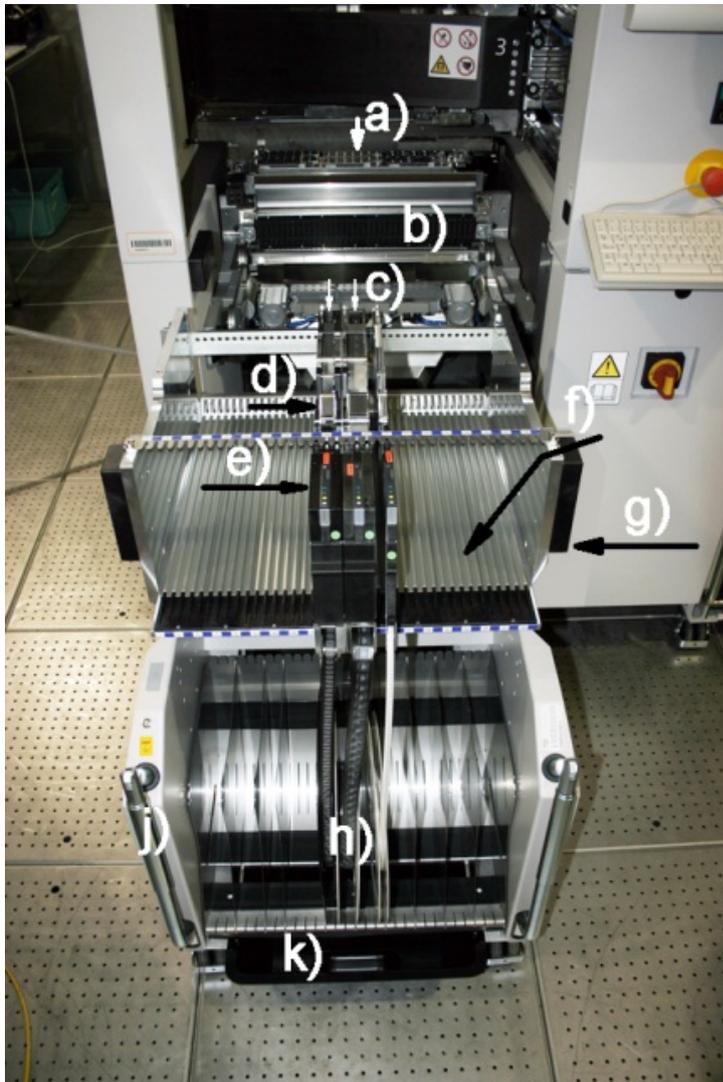
Potential [V] auf dem Energie-Kabelschlepp:

d) Deckfolie, Position des ESD-Tastkopfes

e) grauer Steg

f) Laufflächen

Die beiden folgenden Fotos, Bild 5.6.2.9 und Bild 5.6.2.10 erklären wichtige Details eines Bestückungsautomaten. Die Elektrostatik-Untersuchungen können jedoch ohne den dynamischen Betrieb so durchgeführt werden, wie in den erläuternden Abschnitten zuvor beschrieben wurde.



a) Bereitstellung für verschiedene Sauger, gehört zur Grundmaschine
 b) Feeder Control Unit, gehört zur Grundmaschine. Diese Einheit ist die kontaktlose Schnittstelle zwischen Grundmaschine und BE-Wagen j).

Die weiteren Einzelheiten sind Bestandteil des Bauelemente-Wagens j), der außerhalb der Maschine konfektioniert werden kann, aber auch außerhalb der Maschine der ESD-Normung zum Schutz von ESDS genügen muss.

c) Ende der Feeder, Bauelemente-Abholposition

d) Folienschwinge zur Führung der Filmgurt-Deckfolie bis zum metallischen Folienbehälter.

e) Feeder, sie führen die Bauelemente aus der Filmrolle zur BE-Abholposition.

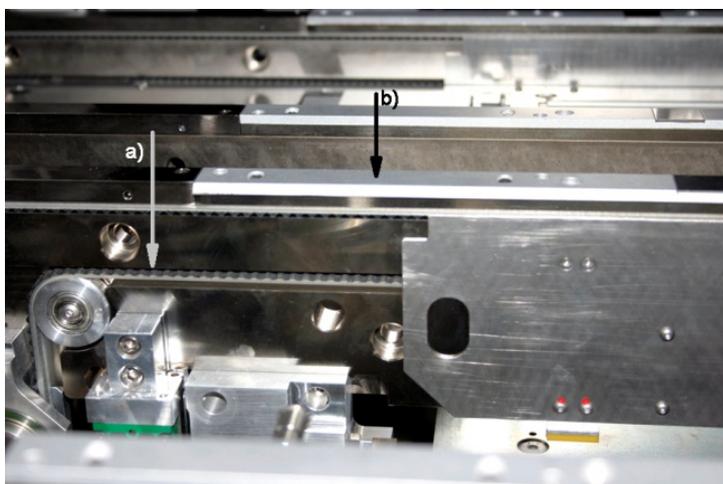
f) Ω -Profil, geerdete Schiene zur Aufnahme und Führung der Feeder.

g) Eingreifschutz.

h) Filmgurte in geerdeter Aufnahme mit leitfähigen Führungsblechen.

k) ableitfähiger und geerdeter Abfallbehälter

Bild 5.6.2.9 Details eines Bestückungsautomaten



a) Förderband und b) Klemmleiste für Leiterplatten

Bild 5.6.2.10 Details Förderband



5.6.3. Bewertung der Messergebnisse und Abhilfemaßnahmen:

Die Bewertung von Widerstands- und Erdungs-Messungen ist relativ einfach. Die Erdung bzw. Ableitung sollte mindestens dissipativen Charakter haben und $< 10^9$ Ohm sein. Bei blanken Metallteilen, an die netzspannungsführende Geräte fest angebaut sind, ist mitunter floatendes Verhalten oder nur hochohmige Erdung festzustellen. Auch wenn dies aus ESD-Sicht im Einzelfall unkritisch sein sollte, sollte der Prozessingenieur auf dieses Resultat unter Hinweis auf mögliche Gefährdungen aus Arbeitssicherheitsgründen aufmerksam gemacht werden: Eine durchgescheuerte Netzleitung kann dann u.U. unbemerkt ganze Metallblöcke unter Netzspannung setzen. Viele Erdungsmängel sind auf isolierend eloxierte oder lackierte Metallteile zurückzuführen; selbst bei metallischen Verschraubungen werden mitunter Isolationsspannungen $>1\text{kV}$ festgestellt. In diesen Fällen schaffen zusätzliche Erdungsleitungen Abhilfe. Bei der Entwicklung neuer Anlagen sollte bevorzugt Edelstahl anstelle von eloxiertem Alu verwendet werden. Im ESD-Sicherheitsbereich sollten ferner stark triboelektrische Materialien wie z.B. Teflon grundsätzlich vermieden und im Bedarfsfall volumendissipative Kunststoffe Anwendung finden. Auf die Verwendung von triboelektrischen Materialien für Förderbänder, Kabelschleppen und Plexiglas-Abdeckungen sollte im Prüfbericht zumindest hingewiesen werden. In Fällen, in welchen solche Feststellungen keine unmittelbare ESD-Gefährdung für ESDS bedeuten, wird dies nicht als Mangel, sondern nur als Hinweis vermerkt. Dies geschieht dann eher aus Sicht der ESD-Hygiene, derzufolge in einer EPA triboelektrische Materialien generell, wo nicht unbedingt nötig, vermieden werden sollten.

Bei der Bewertung von Ionisator-Tests spielen das ESDS, dessen Empfindlichkeit, die – durchsatzbedingt- zur Verfügung stehende Entladezeit, der Schutzabstand und die Bauart des Ionisators eine Rolle. Ein offensichtlich verstaubter Ionisator ohne jede Schutzwirkung wird als erheblicher Mangel vermerkt. Mit Druckluft verbundene Ionisatoren sollten normalerweise in einer Entfernung von wenigen cm Ladung beider Polaritäten innerhalb weniger als 2 Sek abführen (1kV nach 100V) können. Die angegebenen Dimensionen und Zeiten können je nach Anwendung stark variieren; die Norm empfiehlt für die Überprüfung (nicht Montage!) einen Abstand von 15cm . Bei selbstregelnden Ionisatoren ist u.U. eine Prüfung der Nachregelung sinnvoll, wobei mit einem geriebenen Plexiglasstab die Annäherung eines hoch aufgeladenen Materials simuliert wird.

Reine Ionisatorstäbe mit Mehrfachzellen (Emitterpunkte) ohne Druckluft wirken hingegen nur auf sehr kurze Distanz. Deren Wirksamkeitsprüfung erfolgt am besten mit Hilfe einer Potential-Messung auf dem zu entladenden Material (z.B. abrollende/ abgezogene Folie, geladener Wafer auf Folie nach Chuckablifung usw.)

Am schwierigsten gestaltet sich die Bewertung von Potential-Messungen. Bei sehr schlechten elektrostatischen Grundbedingungen (geringe Aufladbarkeit) sollte ein Sicherheitszuschlag von 100% erfolgen, Musterprüfungen müssen ggf. sogar verschoben werden. Die Frage, was ist zulässig, richtet sich vor allem nach der Empfindlichkeit des ESDS. Im Allgemeinen sollten 100V bei HBM-Gefährdungen und 250V bei CDM-Gefährdungen nicht überschritten werden. ESDFOS kann ab 500V auftreten (Durchschlagfestigkeit der meisten Oxinitrid-Passivierungen beim Aufsetzen des geladenen Maschinenteils auf der Waferoberfläche), Ejektor-Nadeldurchschläge durch die Folie erfordern mindestens $2\text{--}3\text{kV}$. Pad/ Pinseitiger ESD Schutz besteht bei den meisten Devices bis etwa $1\text{--}2\text{kV}$ (allerdings häufig nur nach HBM spezifiziert; dieser gilt daher nur für geringste Leistungseinträge, Details hierzu sind in den Modellen beschrieben (HBM/ CDM/ MM/ Board-Level CDM). LEDs weisen eine sehr hohe ESD-Empfindlichkeit (z.T. um 50V) auf, die sich aber zunächst nicht funktionell, sondern „lediglich“ in Form einer stark verkürzten Lebensdauer auswirkt. Näheres hierzu in Kap. 7.3.

5.6.4. Ausfertigung des Mängelberichts (Einzelprüfung)

Die zu beanstandenden Punkte in den einzelnen Prozessschritten, deren Bewertung und vorzuschlagende Abhilfemaßnahmen können in einem Mängelbericht, wie in Kapitel 6 vorgestellt, zusammengefasst werden.

Nach Ausfüllen der Kopfzeilen (Gerätetyp, ID, Kunde, Umgebungsbedingungen, Datum, Zeit) eines Mängelberichts (Vorlage siehe Kap. 6) werden die festgestellten Mängel in den dafür vorgesehenen Feldern angekreuzt. Die linke Spalte ist für leichte Mängel, die rechte Spalte für erhebliche Mängel vorgesehen. Zu jedem aufgeführten Mangel gehört eine dreistellige Nummer, auf die im unteren Feld (Kommentarzeile) in der linken Spalte referenziert wird. Die Kommentarzeile bietet Platz für nähere Erläuterungen und das Vorschlagen von geeigneten Abhilfemaßnahmen.



Zusätzliche Erläuterungen, die keinen Mangel- sondern nur Hinweischarakter haben, werden im Kommentarfeld mit der Nummer 000 referenziert.

Zum Schluss erfolgt eine Gesamtbewertung, für die ausschliesslich der Gesamteindruck des Prüfers unter Berücksichtigung aller Rahmenbedingungen einschliesslich der ESD-Empfindlichkeit des verarbeiteten ESDS massgebend ist und nicht die Summe oder der maximale Schweregrad von festgestellten Einzelmängeln. Die formlose Rückseite des Prüfberichts kann bei Bedarf mit erläuternden Fotos der festgestellten Mängel oder zusätzlichen Kommentaren und Erläuterungen versehen werden.

Ein darüber hinaus gehender Bericht ist im Rahmen dieser Richtlinie nicht vorgesehen; bei der Untersuchung mehrerer Anlagen im Rahmen etwa einer Linienbegehung kann ein zusammenfassender Bericht mit fotografischen Ergänzungen und einer Zusammenfassung der in der Linie gefundenen „Highlights“ jedoch hilfreich sein.

6. Mängelberichtsvorlagen mit Erläuterungen

6.1. Für die Einzelabnahme von Anlagen bei Anwendern

Zur Vereinfachung und Vereinheitlichung ist das nachfolgend vorgestellte Prüfprotokoll vorgesehen. Es enthält, aufgeteilt in sechs Hauptgruppen, bereits nahezu alle in der Praxis vorkommenden Mängel, welche dann nur noch angekreuzt werden müssen. Im jeweils linken Feld werden leichte Mängel und Hinweise angekreuzt, die keine oder nur unwesentliche Abhilfemassnahmen bedingen und eher der „ESD-Hygiene“ als tatsächlichen Risiken für das zu verarbeitende Produkt zuzuordnen sind. In der rechten Spalte werden diejenigen Mängel festgehalten, welche ein tatsächliches ESD Risiko bedingen und die auch unter Berücksichtigung von Wirtschaftlichkeitsaspekten abgestellt werden sollten.

Im unteren Bereich bietet das Formular 5 Kommentarzeilen, auf die mit der jeweiligen Mängel Nr. im linken Feld der Bezug zum näher zu erläuternden Mangel hergestellt wird. Die Kommentarzeile bietet Platz für nähere Erläuterungen zum Mangel und Abhilfe-Vorschläge.

Die Gesamtbewertung ganz unten geschieht ausschliesslich in eigenem Ermessen des Prüfers unter Berücksichtigung des Gesamteindrucks/ Gesamtsituation. Dabei führen einzelne als erheblich bewertete Mängel nicht zwingend zur Gesamtabwertung. **Eine Gesamtbewertung der Anlage mit „Erhebliche Mängel“ oder schlechter darf sich nicht aus der Summe von mehreren als „Leichte Mängel“ erkannten Beanstandungen oder Hinweisen ergeben, sondern erfordert eine aus ESD - Gefährdungssicht begründbare, mit hinreichender Wahrscheinlichkeit eintretende Schädigung von mindestens einzelnen verarbeiteten ESDS im bewerteten Prozessablauf.** Ergänzende Kommentare mit lediglich Hinweischarakter können unter Kennziffer 000 in den Kommentarzeilen vermerkt werden.



6.2. Für Serien-Musterprüfungen von Anlagen bei Anlagenherstellern

Während eine Einzelprüfung beim Maschinen-Anwender im allgemeinen nur die Verwendung der Maschine für bestimmte Prozessmedien und Produkte betrachtet, umfasst eine Musterprüfung die gesamte Bandbreite möglicher Nutzungen der Anlage unter Berücksichtigung von unter Umständen sehr verschiedener ESD-Risiken sowohl aus Anlagen- als auch aus Sicht der zu verarbeitenden ESDS.

Die Musterprüfung unterscheidet sich zunächst von der Einzelprüfung dadurch, dass unter Ansatz strenger Kriterien die Risikoevaluation mit unterschiedlichen auf der Anlage verarbeitbaren ESDS erfolgt. Dabei müssen nach Vorgaben des Prüfers sowohl Prozessmedien mit unterschiedlichem ESD-Gefährdungspotential und ESDS mit geringer ESD-Empfindlichkeit als auch solche mit hoher ESD-Empfindlichkeit betrachtet werden. Voraussetzung für die Erteilung einer Musterabnahme sind entsprechende mängelfrei bestandene Einzelfallprüfungen. Das auf der nächsten Seite vorgestellte „Ergänzungsblatt Typenprüfung“ erfasst eventuell notwendige zusätzliche Tests und Anlagenkonfigurationen, beschreibt ESD-relevante Einträge im Bediener- und Wartungshandbuch, legt Prüfpunkte und –intervalle fest, sowie deren jeweilige Zielwerte bzw. Prüfkriterien.

Das Ergänzungsblatt für Musterprüfungen, welches als eine Maschinenfreigabe zu betrachten ist, wird zusammen mit den eigentlichen Mängelberichten gemäss 5.6.4. ausgefertigt und enthält einen Abnahmevermerk. Eine Freigabe erfolgt nur, wenn keine Gesamtbewertung schlechter als „Geringe Mängel“ ausgefallen ist. Die Abnahme beinhaltet die unbefristete Gültigkeit für alle baugleichen Anlagen desselben Herstellers und darf Betreibern baugleicher Anlagen als Abnahme-Zertifikat gemäss dieser Richtlinie vorgelegt werden.

Name der Prüfinstitution oder -firma

Adresse der Prüfinstitution/ Firma

LOGO DER PRÜFINSTITUTION

Ergänzungsblatt Typenprüfung

(Anlage zu Bl.1 „Prozessanlagenuntersuchung auf ESD Risiken“, Nr: _____)

a) Zusätzliche Prüfungen (soweit erforderlich und durchgeführt):

Prüfung auf	Erfor-derf.	Nicht erf.	Bewertung	Bemerkungen
Fremderregte/ indirekt erregte elektrostatische Aufladung				
Hochfrequent induzierte Feld- oder Spannungseinkopplung				
Spezielle Prozessmedien				

b) ESD-relevante Vermerkpfehlungen für Betriebshandbuch inklusive optionaler Zurüstungen für erweiterten ESD-Schutz:

c) Empfohlene Einsatzbeschränkungen der Anlage:

d) Messpunkte und Empfehlungen für die periodische Überprüfung der ESD-Sicherheit durch ESD-Koordinatoren im Wartungshandbuch:

Messpunkt	Prüfart	Prüfobjekt	Kriterium *)	Periode
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

*) CP-Test: Entladungsmessung mittels standardisiertem Charged Plate – Meter gem. DIN EN 61340-5-1 zur Prüfung der Wirksamkeit von Luftionisiergeräten. Entladezeit von $\pm 1000V$ auf $< \pm 100V$ in [] Sekunden, gemessen im jeweiligen Abstand des zu schützenden Nutzens; z.B. CP2-bedeutet : Die Entladungsdauer aus minus 1000V auf minus 100V sollte kleiner als 2 Sekunden sein.

Der/ die unterzeichnende Prüfer/in/ a.a.S. bescheinigt hiermit, dass die Anlage bei bestimmungsgemäsem Gebrauch und der Einhaltung der vorgeschriebenen Wartung dem gegenwärtigen Stand der Technik hinsichtlich des Schutzes vor unbeabsichtigten elektrostatischen Auf- bzw. Entladungen des zu produzierenden Nutzguts mit Ausnahme der unter c) aufgeführten Einschränkungen entspricht. Eine Haftung seitens des Prüfers oder der (Institution) für ESD-typische Schädigungen der mit der Maschine produzierten Nutzen ist grundsätzlich ausgeschlossen. Dieser Haftungsausschluss wird durch unten stehende Gegenzeichnung seitens des Maschinenherstellers ausdrücklich anerkannt und schliesst auch eventuelle Ansprüche seitens des Endanwenders gegenüber dem Prüfer oder der (Institution) aus.

Diese Bescheinigung schliesst bauidentische Maschinen und Anlagen des gleichen Herstellers ein und gilt ohne Befristung.

Die Bescheinigung verliert ihre Gültigkeit bei jeglicher Abweichung von der typgeprüften Maschine, auch bei Beibehaltung der Typenbezeichnung. Dies gilt insbesondere bei Änderungen des Herstellers, der verwendeten Werkstoffe, Prozessmaterialien und veränderter Anordnung und/ oder der Abfolge von Teilprozessen.

Untersucht gemäss Richtlinien des

ESD FORUM e.V.

Ort/ Datum

Unterschrift des Prüfers oder a.a.S.: _____ Unterschrift des Beauftragten des Anlagenherstellers _____

© ESD Forum e.V. 2012



7. Anhänge

7.1. Verweise auf bestehende Standards und Richtlinien

Zur Thematik von ESD Risiken durch Prozessanlagen gibt es bisher noch keine ins Detail gehenden Richtlinien und Empfehlungen.

In Europa werden die wesentlichen Grundlagen in IEC 61340 mit ihren Untergruppen dargelegt; in USA geschieht dies in ANSI/ESD S20.20.

Allerdings treffen diese Standards nur sehr allgemeine Aussagen, die sich im wesentlichen dahingehend zusammenfassen lassen, dass generell alle Maschinenelemente metallischer Natur und geerdet sein müssen und da, wo dies aus technischen Gründen nicht möglich ist, muss mit anderen Mitteln für einen weichen Ladungsausgleich bzw. eine Verhinderung von Aufladung gesorgt werden.

Weitere Hinweise und Standards sowie sog. „Best Practice“-Richtlinien finden sich auf der Homepage der amerikanischen ESD-Association, siehe unter www.esda.org.

Wichtige Hinweise liefert auch das White Paper 2 vom Industry Council on ESD Target Values, welches sich in Ansätzen ebenfalls mit ESD Risikoevaluationen an Prozessanlagen befasst, siehe auch unter <http://www.esda.org/documents/IndustryCouncilWhitePaper2.pdf>. Dieses Dokument wurde auch von der JEDEC unter JEP157 übernommen.

7.2. Hinweise zu Entladungsmechanismen und zur Durchschlagfestigkeit

7.2.1 Hinweise zu Entladungsmechanismen und -modellen in der Prozessrobotik

Die gängigen ESD-Entlademodelle nach HBM, MM und CDM unterscheiden sich insbesondere durch die zugrunde liegende Kapazität (in entsprechenden Tests nachgebildet durch einen Kondensator) und den Innenwiderstand, aus der die Ladung erfolgt (in den Tests nachgebildet durch einen Serienwiderstand im Entladungspfad). Beim CDM Test ist insbesondere die konduktive Kapazität des untersuchten Chips massgebend: Hier erfolgt zunächst eine kontrollierte, langsame Aufladung des Chips auf die Prüfspannung. Sodann erfolgt als eigentliche Prüfung eine harte Entladung des aufgeladenen Chips über den jeweiligen zu testenden Pin. Da die konduktive Kapazität von der Oberfläche und dem Abstand zu geerdeten Flächen abhängt, versteht es sich von selbst, dass der CDM Test nicht nur vom Chip, sondern in starkem Maße auch vom Gehäuse (Dielektrikum!) abhängt. Bei der Verarbeitung ganzer Komponenten oder Flachbaugruppen sind Chip-CDM-Testangaben praktisch nutzlos, denn in einem solchen Fall wird die konduktive Kapazität vom PCB und allen darauf befindlichen Komponenten und Leiterbahnen bestimmt, nicht jedoch vom einzelnen ESDS. Man spricht in solchen Fällen auch vom Charged-Board-Event(-ESD) (CBE). Die Entladungseigenschaften werden hierbei durch komplexe Zusammenhänge bestimmt, bei denen Übergangswiderstände am Einschlagsort, die konduktive Kapazität des beteiligten PCB und weitere, nicht verallgemeinerbare Faktoren, wie etwa die interne Verschaltung im PCB und der Entladepfad wichtige Rollen spielen. Zusätzlich gibt es noch spezielle Modelle, wie etwa VFTLP (Very Fast Transmission Line Pulse), bei denen die Ansprechgeschwindigkeit der ESDS-internen Schutzschaltung getestet werden kann. Neuerdings findet häufig auch das HMM – Human Metal Model Erwähnung, bei dem es sich um ein erheblich verschärftes HBM handelt: Der aufgeladene Mensch wird hierbei das Hantieren am ESDS mit einem metallischen Gegenstand (z.B. Pinzette oder Schraubenzieher) unterstellt, wodurch die Entladung erheblich härter ausfällt; in den entsprechenden Tests ist daher die Kapazität gegenüber HBM erhöht und der Entladungswiderstand deutlich verringert.

Die aufgeführten Entlademodelle haben bei der Verarbeitung von Wafern und ungehäusten Chips (Bare Dies) eine nur untergeordnete Bedeutung, denn sämtlichen Modellen liegt ein Ein- bzw. Austrag des Ladungsflusses über die Chip-Außenanschlüsse zugrunde. Da bei elektrostatischen Entladungen, z.B. aus aufgeladenen Metallteilen von Prozessmaschinen jedoch auch ESD-Einschläge direkt in die Chip-Oberfläche unter Durchschlag der Chip-Passivierung vorkommen (sog. ESDFOS, Oberflächen-ESD), sind die an den Chip Pads vorgesehenen Schutzstrukturen für solche Eintragspfade wirkungslos.

Die für ESDFOS massgebliche Größe ist insbesondere die Grenzspannung, die zum Durchschlag der Chip-bedeckenden Passivierung erforderlich ist. Sie liegt bei gängigen Halbleiterbauelementen i.d.R. je nach deren Technologie zwischen 500 und 1000 Volt.

Die Gültigkeit von CDM-Testergebnissen ist bei der Verarbeitung von Wafern generell nicht gegeben, da die einem tatsächlichen ESD-Ereignis zugrunde zu liegende konduktive Kapazität eines Wafers um ein Vielfaches höher ist als die des einzelnen, gesägten Chips.

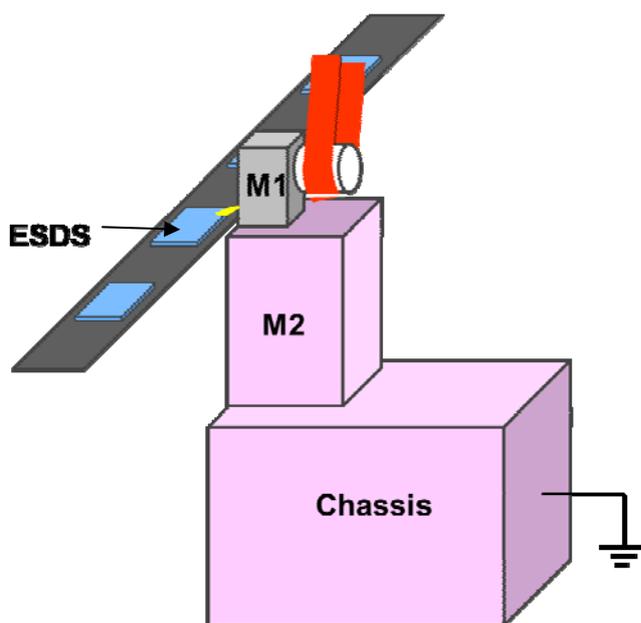


Bei der Diskussion über die Einführung von Erdungsmassnahmen an Arbeitsplätzen und Maschinen wird immer wieder die Frage aufgeworfen, ob Metallteile „hart“, d.h. niederohmig oder „weich“, d.h. mit Serienwiderständen um die 1M Ω geerdet werden sollen – letzteres mit der häufig gehörten Begründung, dadurch den Entladestrom zu begrenzen, d.h. eine weiche Entladung herbeizuführen.

Leider geht bei solchen Diskussionen meist vergessen, dass nicht der Serienwiderstand zur Erde den Ladestrom begrenzt sondern das Verhältnis der konduktiven Kapazitäten des ESDS versus des zu erdenden Maschinenteils, metallischen Arbeitstisches usw. Wird beispielsweise ein metallischer Arbeitstisch hochohmig (oder sogar gar nicht) geerdet, so wirkt sich dies auf die Entladung eines geladenen Chips praktisch gar nicht aus: Die im Vergleich zum Chip riesige Oberfläche des Tisches weist eine gegenüber dem Chip um Größenordnungen höhere konduktive Kapazität aus und ist daher in der Lage, die Chipladung vollständig aufzunehmen, ohne dass der Tisch dadurch eine messbare Spannungserhöhung erhält. Wenn in diesem Beispiel eine weiche Entladung erwünscht wäre, so bliebe nur, den Tisch mit einer hochohmigen aber noch dissipativen Gummimatte zu belegen.

7.2.2. Durchschlagfestigkeit und Durchschlagspannung

Im Zusammenhang mit den Messungen an der Prozessrobotik kann es in Einzelfällen notwendig werden, eine Messung der **Durchschlagfestigkeit** einer isolierenden Beschichtung auf Metallen zu machen. Unter der Durchschlagfestigkeit wird diejenige Feldstärke verstanden, welche beim berührend Aufsetzen einer stumpfen Elektrode angelegt werden muss, um (unter örtlichem Durchschlagen des Dielektrikums) einen Lichtbogen auszulösen und somit die Isolation zu überbrücken. Die Spannung, die zur Erreichung der Durchschlagfeldstärke erforderlich ist, hängt von Dicke, Homogenität und Materialbeschaffenheit der isolierenden Beschichtung, die als Dielektrikum zu betrachten ist, ab, und wird als Durchschlagspannung bezeichnet. Metallische Teile in der Prozessrobotik müssen in der Regel geerdet sein. Die Erdung von aus vielen Metallteilen zusammengesetzten Maschinenkomponenten kann durch die Beschichtung von Einzelteilen z.B. mit Lacken oder Eloxal unbeabsichtigt unterbrochen sein. Nehmen wir folgendes Beispiel (siehe Abb.): Eine Umlenkrolle für einen Antriebsriemen ist an einem Metallblock M1 befestigt, an dessen gegenüber liegenden Seite ESDS auf einem Förderband nahe vorbeitransportiert werden. M1 ist seinerseits auf einem mit Eloxal beschichteten Rahmenträger M2 befestigt, der seinerseits am Maschinenchassis C verschraubt ist. Infolge der Eloxalschicht besteht mitunter – trotz metallischer Verschraubung – keine Masseanbindung des Rahmenträgers M2, so dass daher auch M1 isoliert ist und durch den Zahnriemen eine allmähliche Aufladung erfährt (die ungünstigstenfalls von Zeit zu Zeit durch harte Entladung in die auf der anderen Seite vorbeigeführten ESDS ausgeglichen wird).

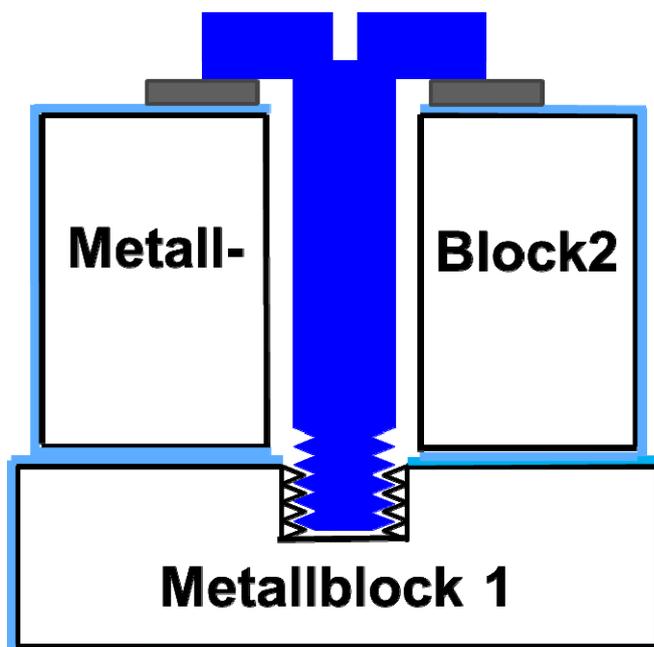


Mehrere Metallblöcke sind in diesem Teil einer Maschine zusammenschraubt; die hellblauen Metallteile des Chassis und des Stützblocks M2 sind eloxiert. Dadurch hat der Rollenträger M1 keine Masseanbindung mehr und wird durch die Umlenkrolle, über die ein Riemen aus isoliertem Material läuft, aufgeladen. Im Feld wurden in vergleichbaren Fällen bis 2kV gemessen

Bild 7.2.1 Schematische Darstellung mangelnder Masseanbindung



Man mag nun annehmen, dass durch die nicht mit Eloxal versehenen Gewinde der Schraubverbindung dennoch eine Masseverbindung zwischen den Metallblöcken gegeben sein sollte. Diese Annahme trifft jedoch leider in vielen Fällen nicht zu, wie aus der nachfolgenden Zeichnung leicht verständlich wird: Zwar besteht über das Gewinde im Metallblock 1 eine leitfähige Verbindung zur Schraube, diese jedoch ist gegenüber Metallblock 2 durch die Eloxalschicht unter der Beilagscheibe isoliert. Abhilfe schaffen überbrückende Massebänder und die Verwendung von (die Eloxalschicht ankratzenden) Fächerscheiben anstelle von Unterlegscheiben.



Schraubverbindung zweier eloxierter Metallblöcke: Gewinde in Block 1 und Bohrloch im Block 2 sind von der Eloxierung nicht betroffen. Obgleich die Schraube mit Metallblock 1 über das Gewinde elektrisch leitend verbunden ist, bleibt Metallblock 2 isoliert, da die Druckkraft der Schraube (dunkelblau) über die Unterlegscheibe (dunkelgrau) auf die (hellblau gezeichnete) Eloxalschicht oft nicht ausreicht, diese durchzudrücken.

Bild 7.2.2 Isolierter Metallblock

Für die Bewertung der beschriebenen Problematik ist gegebenenfalls eine Messung der Durchschlagspannung mit einem Hochvolt-Ohmmeter sinnvoll. Um zu vermeiden, dass sich isolierte Metallblöcke auf kritische Potentiale aufladen, muss die Durchschlagspannung des gegenüber Masse isolierten Metallblockes (im oben beschriebenen Beispiel also M1 mit der Rolle) kleiner als 100 Volt gegenüber Erde sein. Auch wenn häufig nach dieser Messung (infolge Durchschlagung der Eloxalschicht an einer Schraubverbindung) eine scheinbar dauerhafte Erdverbindung besteht, sollte diese definiert über eine Masseverbindung hergestellt werden, um einem erneuten Isolierverhalten, etwa nach der Auswechslung von Teilen der Maschine oder dem Lösen einzelner Schraubverbindungen, vorzubeugen.

7.3. Anmerkungen zu abweichenden Schutzklassen für spezielle ESD Anforderungen

Für die meisten Anwendungen genügt gemäss den Festlegungen des Industry Council White Paper ein Grenzwert von 100V (HBM) bzw. 250V (CDM). Von verschiedenen Seiten wurde die Arbeitsgruppe zur Einführung von maschinenbezogenen Schutzklassen in Anlehnung an die ESD-STM 5.3.1.-CDM Klassifizierung mit Beispielen angeregt, um den ESD-Schutz an die ESD-Empfindlichkeit der jeweiligen Bauteile anzupassen.

Die Arbeitsgruppe hat sich jedoch nach intensiver Diskussion aller Für und Wider einstimmig gegen die Einführung von Maschinenschutzklassen entschieden. Die fachlich fundierte Diskussion mit ihren Argumenten soll deshalb hier in ihren wesentlichen Punkten aufgezeigt werden:

Auf der „Pro“ Seite wurden zwei Hauptargumente genannt:



gezogen werden. Bei Einhaltung dieser Werte kann bei den heute verarbeiteten CMOS Bauelementen im allgemeinen von einem ESD-sicheren Betrieb ausgegangen werden.

Für spezielle Bauelemente-Gruppen können sich im Einzelfall Abweichungen von diesen Grenzwerten ergeben, die dann der ESD-Koordinator in Abstimmung mit dem ESDS-Designer festlegen muss. Hier hingegen können im folgenden nur einige generelle Hinweise zu abweichenden Empfindlichkeiten und Gefährdungsszenarien gegeben werden:

Bei LEDs und Optokopplern ist die funktionale ESD-Empfindlichkeit relativ gering. Häufig ist auch bei 1kV-Entladungen zunächst keine Funktionsbeeinträchtigung festzustellen. Das Problem liegt hier in der Lebensdauer und der Zuverlässigkeit. ESD Einschläge mit >50V in Sperrichtung führen zu einer Ausweitung der intrinsisch in LED-Halbleitern wie GaAs, GaN usw. stets vorhandenen Defekte. Dadurch werden Leckpfade generiert, die besonders bei Hochleistungs-LEDs rasch degradieren und beim regulären Betrieb in Vorwärtsrichtung der LED lokal eine örtliche Shuntfunktion ausüben. An diesen Stellen entstehen zunächst kaum bemerkbare Dunkelstellen („Dark Lines“ und „Dark Spots“), die aufgrund der hohen lokalen Stromdichte sich in Nachbarregionen ausweiten und so zu einer unerwartet raschen Abnahme der Lichtemission führen. Auf optoelektronische Bauelemente wirkt sich ESD generell nur in extrem seltenen Fällen sofort zerstörend aus. Hingegen werden Zuverlässigkeit und die Lebensdauer teilweise erheblich reduziert. Für Anwendungen im Consumerbereich mit geringen Betriebszeiten und geringen Zuverlässigkeitsanforderungen (z.B. Spielzeugelektronik) kann dies in Einzelfällen akzeptiert werden.

Leistungshalbleiter (LHL) sind meist wenig ESD-empfindlich. Dies liegt an ihrem großflächigen Aufbau und der damit verbundenen, meist sehr hohen Sperrschicht-Kapazität, was – mit Einschränkungen – auch für FET-Gates gilt. Deshalb wurden in der Assemblierung von Leistungshalbleiter bisher meist kaum anlagenspezifische ESD-Schutzmassnahmen getroffen. Neuere Untersuchungen haben jedoch eine ESD-Empfindlichkeit aus Zuverlässigkeitsaspekten aufgezeigt: Die Randpassivierung der Feldplattenringe – bei vielen LHL gewöhnliche Oxinitrid-Oberflächenpassivierungen von 1-3 µm Dicke – sind bei der Chip-Assemblierung durch ESDFOS-Einschläge gefährdet. Diese wirken sich zunächst funktionell nicht aus, da aufgrund der hohen Strukturkapazitäten nur die Passivierung selbst betroffen ist. Die Aufgabe des Feldstärkeabbaus vom aktiven Bereich der Chipfläche zum Rand über auf teilweise weniger als 1mm Breite erfordert aber eine zuverlässig dichte Oberflächenpassivierung der Feldplattenringe. Bei Rissen in dieser Passivation – etwa durch ESDFOS – kann ein späterer Feuchteintrag durch den meist üblichen Weichverguss einen hochohmigen Schluss Richtung aktive Zone oder Masse bewirken, der sich als Feldinhomogenität auswirkt und das Bauteil letztlich zerstört (Bildung von Kriechstrecken, Überlastung des betroffenen Feldplattenrings mit nachfolgendem Spannungsdurchbruch).

7.4. Verwendung von Luftionisatoren

Da vielfach in den Fertigungsprozessen auf Isolierstrecken und nichtleitende Materialien aus technischen Gründen zurückgegriffen werden muss, kann einer Aufladung in solchen Fällen mit Luftionisatoren begegnet werden. Es gelten folgende Empfehlungen:

7.4.1. Einsatz der Luftionisatoren

Luftionisatoren sind bei Prozess- oder Transportvorgängen einzusetzen, bei denen sich aus der technisch bedingten Anordnung der beteiligten Materialien ein Risiko für eine Aufladung und anschließende harte Entladung des ESDS ergibt.

Im allgemeinen sind diese Verhältnisse gegeben:

- bei sämtlichen auf oder mit elektrostatisch aktiven Folien (blue tape, UV-sensitive Folien, sticky tapes, Laminatfolien, ESDS-Labels,..) ablaufenden Prozessen in Verbindung mit ESDS,
- beim direkten Übergang von ESDS aus elektrostatisch aktiven Verpackungen/ Boxen (z.B. halbtransparente Wafer-Cartridges) auf metallische/ leitfähige Teile der Prozessanlage bzw. umgekehrt,
- beim Aufsetzen von elektrostatisch aktiven Kunststoffdeckeln zum Schutz von mit ESDS bestückten PCBs



7.4.2. Auswahl der Ionisatoren

In der Regel werden Luftionisatoren auf der Basis von Corona-Entladungszellen verwendet. In Betracht kommen Einzeldüsen, Anordnungen mit Lüftergebläse oder im Nahbereich balkenförmige Ionisatoren. Ionisatorstäbe, wie sie gelegentlich für die vorbeugende Luftionisation in Fabrikhallen an der Decke montiert werden, sind in der Regel für Prozessanlagen ungeeignet.

Luftionisatoren, bei welchen die Luftionisation durch ionisierende, radioaktive Strahlung herbeigeführt wird unterliegen den jeweils geltenden Bestimmungen der Strahlenschutzverordnung.

Bei der Verwendung von Luftionisatoren bei Zerstäubungsprozessen (z.B. zerstäubte Reinigungsflüssigkeiten) muss bedacht werden, dass Coronaentladungen zur Zündung explosiver Gemische führen können.

Bei der Bauartauswahl und der Installation muss insbesondere der zeitliche Verlauf der angestrebten Entladung einschliesslich der Förder- und Verweilzeiten der ESDS im jeweiligen Prozessschritt sorgfältig berücksichtigt werden.

7.4.3. Montage von Ionisatoren

Der Netzanschluss der Ionisatoren sollte über die jeweilige Spannungsversorgung der Prozessanlage in solcher Weise erfolgen, dass bei deren Inbetriebnahme der Ionisator ebenfalls anläuft. Eine Abschaltung darf nur zu Servicezwecken (z. B. Reinigung) unter kontrollierten Bedingungen erfolgen. Es wird empfohlen, die Ionisatoren während der gesamten Betriebszeit der Prozessanlage durchlaufen zu lassen. Ein periodisches Ein- und Ausschalten, z.B. während des jeweiligen Passierens des ESDS an einer ESD-kritischen Stelle im Prozess, ist zwecks Erreichens eines Gleichgewichtszustandes nur dann zulässig, wenn die jeweilige Einschaltung mindestens 10 Sekunden vor Eintreffen des ESDS an der zu schützenden Stelle erfolgt.

Bauartbedingt eignen sich die unterschiedlichen Ionisatortypen, wie etwa Einzeldüsen, Ionisatorbalken oder Lüftergebläse-Ionisatoren für unterschiedliche Anwendungen und Arbeitsabstände. Bei der Montage müssen daher unbedingt die Herstellerhinweise betreffend Arbeitsabstände, Wirkungsbereich und Entladezeiten beachtet werden.

Hier gilt es jedoch zu beachten, dass Wirkabstand und gegebenenfalls nachführende Regelungen der Ionisatoren den prozesstechnischen Gegebenheiten angepasst werden. Insbesondere erfordert dies die Einschätzung von Durchsatz/ Prozessgeschwindigkeit versus die erforderliche Entladezeit durch den Ionisator.

Ionisatoren gelangen bei Prozessen, in denen triboelektrische Folien in direktem Kontakt mit ESDS, z.B. Wafern stehen (Taping, Detaping, Wafersägen, Pick&Place) oder ungehäuste Chips (Tape-on-reel-Prozesse) verarbeitet werden, in der Regel zum Einsatz.

In größerem Abstand montierte Luftionisatoren können ergänzend als sog. „Fluter“ Anwendung finden. Ob deren Wirkung dann noch ausreichend ist, muss durch jeweilige Einzelmessungen ermittelt werden.

Grundsätzlich muss die Montage in einer Weise erfolgen, welche ein einfaches, möglichst werkzeugfreies Herausnehmen des Ionisators zu Wartungs- und Inspektionszwecken ohne grössere Demontearbeiten an der Prozessanlage ermöglicht, z.B. durch Clipse oder Einschubschienen. Dabei muss durch geeignete Programmierung der Prozessanlage eine Inbetriebnahme des Ionisators auch bei ruhendem Zustand der Prozessanlage zu Service- und Messzwecken möglich sein.

Darüber hinaus sollte die Montage bei Neuanlagen möglichst in einer vom Servicepersonal nicht zu verändernden, einrastenden Weise erfolgen, um nach Ausbau und Wiedereinbau, etwa zu Wartungszwecken, eine korrekte, geometrisch reproduzierbare Justage von Wirkrichtung und Abstand zum ESDS zu gewährleisten.

Für die Anwendung in Prozessanlagen für besonders empfindliche ESDS sollten trotz des hohen Preises aus Gründen der Stabilität des ESD-Schutzes grundsätzlich selbstüberwachende und nachsteuernde Ionisatoren mit Messwertrückkopplung verwendet werden. Diese sollen in einer solchen Weise mit der Prozessanlage verschaltet werden, dass bei nicht korrigierbarem Überschreiten der Regelgrenzen (z.B. infolge Nadelverschmutzung) eine selbsttätige Abschaltung der Prozessanlage mit entsprechender Fehlermeldung erfolgt.



Technischer Hinweis: Verwendung von Ionisatoren in Folien- und Klebebandprozessen

Wenn für die Verarbeitung von ESDS elektrostatisch aktive Folien oder Bänder in direktem Kontakt mit diesem verwendet werden müssen, die nicht durch elektrostatisch dissipatives oder entsprechend beschichtetes Material ersetzt werden können, so sollte die Verwendung von Luftionisatoren im allgemeinen vorgesehen werden, wenn die betreffenden Folienprozesse nicht in vollständig ableitfähigen Umgebungen (z.B. ableitfähige Flüssigkeiten und Gase o. ähnl.) eingebettet werden können.

Bei von der aktiven Seite des ESDS, speziell bei Halbleiterwafern, abziehenden Folienprozessen („Frontside Detaping“), die nicht in ableitfähige Umgebungen integriert sind (s.oben) ist oft die Verwendung von selbst regelnden Ionisatorbalken, die in einem maximalen Abstand von 1,5cm zur Delaminationslinie nachgeführt werden, erforderlich. Dies gilt grundsätzlich für ESDS mit einer isolierenden Oberflächenbeschichtung, deren Durchschlagfestigkeit geringer als 1,5 kV ist.

Der Regelkreislauf der Ionisatoren sollte bei Neuanlagen die Prozessanlage in solcher Weise mit einschließen, dass die Geschwindigkeit des Abziehvorgangs selbsttätig herabgesetzt wird, wenn der vorge-sehene Regelbereich des Ionisators überschritten wird.

7.4.4. Periodische Prüfung der Luftionisatoren

Luftionisatoren sollen durch den zuständigen ESD-Koordinator mindestens alle 4 Wochen einer Überprüfung (Prüfung der elektrischen Wirksamkeit in beiden Polaritäten durch Messung mit einem Charged Plate-Set) und Reinigung der Nadeln unterzogen werden. Siehe auch IEC 61340-4-7. Davon abweichende Empfehlungen können Anlagen- und Situations-entsprechend vom zuständigen ESD-Koordinator oder Prüfer getroffen werden.



Abb. Ionisierlüfter: Beispiel eines Ionisierlüfters nach mehrmonatigem Einsatz ohne Reinigung in einer Assemblerlinie (Reinraum sic!); Die Nadeln sind so stark mit Staub zugesezt, dass keine Coronaentladung mehr möglich ist; die Wirkung ist dann gleich Null

Bild 7.4.1 Ionisierlüfter nach mehrmonatigem Einsatz

7.4.5. Ergänzende Empfehlungen für Ionisatoren

Neben den aufgeführten Empfehlungen gelten die Regelungen des „ESD Association Technical Report: Selection and Acceptance of Air Ionizers“ (TDR 3.0-02-05) und die IEC 61340-4-7 in ihrer jeweils aktuellen Fassung.

7.5. Andere dissipative Ableiteinrichtungen

7.5.1. Ableitfähige Pinsel

Eine weiche Entladung des ESDS kann durch Überstreichen mit einem hochohmig geerdeten Pinsel oder Bürste mit elektrisch ableitfähigen Borsten erfolgen.



7.5.2. Bäder

Bei elektrostatisch stark aktiven Trennprozessen (z.B. Detaping, Entfernen von „Backblechen“ bei Folienlaminierprozessen mit integrierter Elektronik usw.) kommt es mitunter zu sehr kräftigen elektrostatischen Einwirkungen, die einerseits Abhilfe durch antistatische oder metallischer Werkstoffe aus technischen Gründen nicht erlauben und die andererseits mit Luftionisiergeräten nicht beherrschbar sind. In solchen Fällen muss der elektrostatisch wirksame Prozess vollständig in ein elektrisch leitfähiges Medium verlegt werden. In Betracht kommen hierfür je nach ESDS ein Absenken des Prozesses in ein flüssiges (z.B. Wasser) oder gasförmiges, elektrostatisch dissipatives Medium oder ein sog. Kugelbad (geerdetes Arbeitsbecken mit leichten Alukugeln darin; Patent angemeldet).

7.6. Besondere Hinweise auf spezielle Risiken in bestimmten Prozessanlagen

7.6.1. Spezielle Hinweise bei der Evaluation von Verpackungsmaschinen

Bei diesen Maschinen müssen die zusätzlich für die zur Transport- oder Lagerverpackung verwendeten Materialien (Behälter, Bänder usw.) geltenden Vorschriften für ESD-gerechte Verpackungen beachtet werden. Siehe hierzu insbesondere IEC 61340-5-3.

7.6.2. Spezielle Hinweise für Molden/ Vergiessen/ Verpacken/ Einpressen

Bei diesen Prozessen stehen insbesondere die Förderwege sowie Be- und Entladevorgänge im Mittelpunkt der Evaluation. Bei den Kunststoffprozessen sollten evtl. kontaktelektrische Vorgänge berücksichtigt und – insbesondere bei Musterprüfungen – in modellhaften Szenarien untersucht bzw. simuliert werden. So kann z.B. (als worst case Szenario) ein schlagartiger Delaminationsvorgang eines vergossenen PCB mit Hilfe einer speziell angefertigten Passform des betreffenden Materials nachgestellt und gemessen werden. Auch hier müssen jedoch Notwendigkeiten vs. Aufwand/ Erkenntnisnutzen beim Umfang solcher Prüfungen der Urteilsfähigkeit des jeweiligen Prüfers unter Berücksichtigung der ESDS-Empfindlichkeit überlassen bleiben.

7.7. Spezialfälle elektrostatischen Ladungsaufbaus

7.7.1. Zersprühprozesse

Bei der Zersprühung von Flüssigkeiten (auch elektrisch leitfähigen!) oder Zerstäubung von Feststoffen (z.B. Sandstrahlen), unter bestimmten Umständen auch durch Luftreibung (z.B. Druckluft mit Schwebstoffen, Ölnebeln oder Wassertröpfchen) kann es zu Ladungstrennungen in erheblichem Umfang kommen. Hierbei spielt die Zersprüh-/ Zerstäubungsgeometrie eine entscheidende Rolle, die Frage der elektrischen Leitfähigkeit des zersprühten Materials hingegen eine sehr geringe. Das Verständnis hierfür leitet sich aus dem Funktionsprinzip des sog. Kelvin-Generators ab. Die Überprüfung von Zersprühprozessen auf elektrostatische Relevanz erfordert besonders bei nassen Medien spezielle berührungslose Messköpfe für Nassanwendungen, wie sie z.B. als Zubehör zu berührungslosen Elektrovoltmetern oder zum Charged Plate Meter angeboten werden. Die Messung erfolgt am Berührungspunkt zum ESDS und darf keine höhere Spannungsdifferenz erreichen als die in Kap. 2.9. genannten Grenzwerte. Werden höhere Potentialdifferenzen aufgebaut, so sollte als erstes versucht werden, eine Änderung der Zersprühgeometrie durch Variation des Druckes herbeizuführen. Als weitere Abhilfemaßnahmen sind Schirmbleche und geerdete Draht- oder Gitterelektroden geeignet. Auch ein Wechsel der Sprühdüse des zu zersprühenden Mediums, des Mediums selbst oder geeignete (mechanisch) oberflächenspannungsvermindernde Zusätze wirken eventuell hemmend bei der Ladungstrennung. Nur wenn die genannten Maßnahmen aus technischen Gründen nicht in Betracht kommen, kann im Ausnahmefall versucht werden, mit Luftionisationsgebläsen von der Seite oder von oben das ESDS vor dem Besprühen mit geladenem Zerstäubungsgut zu schützen. In diesen Fällen muss in jedem Fall sichergestellt sein, dass die Ionisatoren auch vor nur vorübergehender Feuchteinwirkung geschützt sind.

Technische Hinweise für Zersprühprozesse mit Wasser; Verwendung von karbonisiertem Wasser

In Halbleiter-Prozessen wird Wasser bei Reinigungen, beim Dünnschleifen („Wafer-Backgrinding“), beim Wafersägen zur Kühlung und zur Nachreinigung verwendet. Die dabei stattfindende Zersprühung führt



häufig zu Aufladung, die sich bisweilen nicht nur in Form „harter“ ESD oder ESDFOS- Schädigungen von ESDS bemerkbar macht: Die in den Tropfen bei vergleichsweise kleiner Ladungsmenge aufgebaute hohe elektrische Spannung führt mitunter zur Umladung von in den Chips integrierten Speichern, insbesondere bei EEPROMs, die oft bereits beim Wafertest vorprogrammiert werden und diese Informationen dann durch „Bitkipper“ verlieren können. Anstelle des sonst in den Prozessen üblichen, elektrisch isolierenden DI-Wassers wird deshalb häufig karbonisiertes (CO₂-angereichertes) Wasser mit herabgesetztem elektrischen Widerstand verwendet. In weiten Kreisen ist dies mit der Annahme verbunden, elektrisch leitfähiges Wasser könne auch bei Zerstäubung keine elektrostatische Ladung aufbauen. Diese Annahme ist jedoch falsch, wie in einem einfachen Experiment mit einer Kelvin'schen Wasserinfluenzmaschine gezeigt werden kann. Das CO₂ bewirkt jedoch eine Änderung der Zersprühgeometrie in Richtung des Wasseraustrittspunktes hin, womit auch eine Änderung des Aufladeverhaltens der Tröpfchen einhergeht. Je nach mechanischem Aufbau und Wasserdruck wird gegenüber der Verwendung von DI-Wasser eine Änderung des Aufladeverhaltens eintreten, ob diese aber zum Besseren oder Schlechteren hin erfolgt, zeigt sich jeweils erst im Versuch. Richtig ist aber, dass ein elektrisch leitfähiger Wasserfilm auf einer Waferoberfläche in Verbindung mit geerdeten Schutzblechen, wie sie etwa bei Mehrblattsägen Anwendung finden, einen blitzableiterähnlichen Schutz gegen das Auftreffen geladener Tröpfchen bieten. Gleiches gilt auch für Reinigungen, bei denen ein geschlossener, elektrisch leitfähiger Wasserfilm auf der Waferoberfläche diese Funktion übernehmen kann. Die Verwendung von karbonisiertem Wasser muss aber jeweils sorgfältig abgewogen werden und gegebenenfalls um wirksame und schnelle Trocknungsprozesse ergänzt werden: Bei längerem Kontakt des ESDS (meist Wafer) mit karbonisiertem Wasser, welches Kohlensäurebestandteile bildet, kommt es häufig zu erheblichen Korrosionserscheinungen an frei zugänglichen Metallteilen (insbes. Chip-Pads). Eventuell kann auch mit Additiven, die für bestimmte Prozesse angeboten werden, Abhilfe in beiden Richtungen (ESD und Korrosion) erzielt werden. In jedem Fall muss vermieden werden, dass nach Reinigung mit karbonisiertem Wasser unvollständig getrocknete Wafer in Kunststoffboxen eingestellt, verschlossen und so zwischengelagert werden. Der dann in der Box entstehende Wasserdampf enthält neben Kohlensäure oftmals auch Flusssäure (HF)-Bestandteile mit sehr stark korrodierender Wirkung.

7.7.2. Fremderregter Aufbau elektrostatischer Ladung

Dem Prinzip der lamellenlosen Bonetti-Influenzmaschine folgend, kann es in Prozessanlagen, die für sich betrachtet, keine elektrostatische Ladung aufbauen, unter ungünstigen Bedingungen zum plötzlichen Aufbau sehr hoher Spannungen infolge Fremderregung kommen. In Betracht hierfür kommen schnell rotierende Platten aus isolierenden Werkstoffen, bei welchen seitlich fest montierte, metallische Bauteile vom Prinzip her eine Sprühentladung von der rotierenden Scheibe ermöglichen. Wird einer solchen Platte ein elektrostatisch geladener Körper genähert, kommt es zu selbstverstärkenden Influenzwirkungen, deren Details sich am Wirkmechanismus der sog. Bonetti-Influenzmaschine orientieren. Zur Prüfung des ESD-Risikos einer solchen Anordnung nähert man einen durch Reibung geladenen Plexiglasstab der Anordnung unter gleichzeitiger Messung des Oberflächenpotentials der rotierenden Scheibe auf der dem Stab abgewandten Seite. Beim Auftreten eines plötzlichen Potentialsprungs im mindestens 2-stelligen kV-Bereich, welcher auch nach Entfernen des geladenen Stabes anhält, hat eine Fremderregung stattgefunden. Tritt diese auf, so muss entweder die Anordnung geometrisch verändert werden oder durch geeignete Luftionisation das Risiko einer Fremderregung, etwa durch Zufuhr geladener ESDS auf Folien, unterbunden werden.

7.7.3. Messung von Oberflächenpotentialen

Aus Zugänglichkeitsgründen werden hierzu meist abstandskompensierte, vom Messgerät abgesetzte Messsonden mit Kompensationsspannungsprinzip verwendet. Für die Potentialmessung in Zersprühprozessen sind hierfür spezielle Messsonden erhältlich, welche eine wasserdichte, elektrisch leitende, jedoch isoliert angebrachte Überwurfkappe besitzen. Durch die ständige Besprühung der Überwurfkappe mit geladenen Wassertröpfchen nimmt sie allmählich das mittlere Potential der Wassertröpfchen an. Bei der Messung muss unbedingt die Entfernung vom Zersprühungspunkt beachtet werden: mit steigender Entfernung von demselben nimmt das Potential der Wassertröpfchen zu.

Ebenfalls für die Potentialmessung von Wassertröpfchen werden sehr kleine Messsonden zum Anschluss an Charged Plate Messgeräte angeboten; anstelle der geladenen Kondensatorplatte wird dann das durch stetes Besprühen mit dem Wasserstrahl erreichte Potential der Messsonde angezeigt, die nach kurzer Zeit ebenfalls etwa das mittlere Potential der Wassertröpfchen annimmt.



In Einzelfällen gelangen auch sog. Feldmühlen zum Einsatz; diese sind jedoch nicht abstandskompensiert und messen eigentlich nur die Feldstärke – auch dann, wenn das Ergebnis in Volt angezeigt wird. Diese Angabe bezieht sich dann aber auf einen genau einzuhaltenden Abstand vom Messobjekt. Feldmühlen können – bei Einhaltung des vorprogrammierten Abstands – zur Oberflächenpotential-Bestimmung grossflächiger Oberflächen verwendet werden. Für die Messung des Potentials bei Zersprühprozessen können Feldmühlen im allgemeinen nicht verwendet werden.

7.8. Unzugängliche Prozessanlagen oder unzugängliche Anlagenteile

Bei bestimmten Anlagen ergibt sich mitunter prozessbedingt eine messtechnische Unzugänglichkeit in bestimmten, auch als ESD-kritisch anzusehenden Bereichen der Anlage. In diesen Fällen kann wie folgt vorgegangen und bewertet werden:

- a) Einschätzung des Prüfers auf ESD-Kritikalität aufgrund der verwendeten Materialien und Medien, der Prozessgeschwindigkeit und der getroffenen ESD-Schutzvorkehrungen (sog. Best Engineering Assumption).
- b) Durchlauf geeigneter Test-ESDS, die im makroskopischen Aufbau und Materialbeschaffenheit den tatsächlich bearbeiteten ESDS entsprechen, und die Strukturen enthalten, die zur Aufzeichnung und nachfolgender Auswertung von während des Prozesses stattgefundenen elektrostatischen Entladungen geeignet sind. Für Wafer gibt es hierfür spezielle Wafer, z.B. Charmed Wafers oder Wafer der Fa. Estion.
- c) Aufstellung von ESD Recordern in der Prozessanlage, evtl. in Verbindung mit einer Langzeitmessung. Diese sollten bauartbedingt so beschaffen sein, dass sie auf plötzliche Veränderungen des rein elektrischen Feldes ansprechen und nicht auf solche des elektromagnetischen Feldes. Letztere hätten den Nachteil, dass z.B. auch Schaltfunken von Starkstromrelais und ähnliche Effekte erfasst werden und zu Fehlinterpretationen führen könnten.
- d) Nachbau des entsprechenden, unzugänglichen Teil-Prozessektors und ersatzweise Messungen an diesem unter identischen Bewegungsabläufen.

Eine Bewertung nach a) ist nur bei Geräte-Einzeluntersuchungen zulässig. Musteruntersuchungen beim Prozessanlagen-Hersteller zur Erlangung eines Abnahmezertifikats nach 6.2. bedürfen zwingend einer messtechnischen Bewertung gemäss Absatz b), c) oder d).

7.9. Abdeckungen

Abdeckungen sollten in der Regel aus elektrisch leitfähigem oder dissipativem Material bestehen. Fälle, in denen bauart- und anordnungsbedingt jegliche Berührung bzw. Annäherung von ESDS in den Sicherheitsbereich ausgeschlossen werden können, sind von dieser Regelung nicht betroffen. Stark durch Reibung aufgeladenes Plexiglas oder Teflon kann sehr hohe Potentiale bis in den höheren zweistelligen kV-Bereich mit Funkenschlagweiten bis zu einigen cm annehmen. Aus Sicherheitsgründen ist ein Abstand solcher Abdeckungen von 30cm zum ESDS allgemein empfehlenswert. Ein geringerer Abstand ist akzeptabel, wenn die durch solche Abdeckungen selbst durch vorheriges Anreiben derselben mit einem Wolltuch erzeugte Feldstärke geringer als 10kV/m in Arbeitshöhe des ESDS ist.

7.10. Empfehlungen zu Umgebungsbedingungen am Aufstellungsort der Maschinen

Die Inbetriebnahme von Maschinen für die Verarbeitung von ESDS soll im Allgemeinen nur in EPA Bereichen erfolgen. Begründete Ausnahmen müssen im jeweiligen Abnahmeprotokoll vermerkt werden. Als Umgebungstemperatur wird ein Bereich von 18°C bis 25°C bei einer relativen Feuchte zwischen 40 und 60% (aus Korrosionsschutzgründen dürfen 60% i.d.R. nicht überschritten werden) empfohlen.

7.11. Anmerkungen betreffend Ausbildungsstand und Prüfberechtigung

Den Prüfern wird mit dieser Richtlinie ein weiter Ermessens- und Handlungsspielraum in der Evaluation und Bewertung von Messergebnissen sowie bei der Empfehlung geeigneter Abhilfemassnahmen einge-



räumt. Da es sich um ein ingenieurmässiges Vorgehen handelt, muss beim Prüfer die entsprechende Sachkenntnis vorausgesetzt werden.

8. Verzeichnis der Bilder

Bild 5.1	Ablauf einer Risikobewertung
Bild 5.6.1.1	Aufladung beim Abpickvorgang
Bild 5.6.1.2	Ladungseintrag über isolierte Transfereinrichtungen
Bild 5.6.2.1	Transportriemen
Bild 5.6.2.2	Detail
Bild 5.6.2.3	Transportriemen aus volumendissipativem Material
Bild 5.6.2.4	Messung Prüfplatte
Bild 5.6.2.5	Spannungsverlauf nicht permanent geerdeter Sauger
Bild 5.6.2.6	Spannungsverlauf permanent geerdeter Sauger
Bild 5.6.2.7	Messpositionen an einer Kabelschleppe
Bild 5.6.2.8	Entwicklung elektrostatischer Aufladung der Kabelschleppe
Bild 5.6.2.9	Details eins Bestückungsautomaten
Bild 5.6.2.10	Details Förderband
Bild 7.2.1	Schematische Darstellung mangelnder Masseanbindung
Bild 7.2.2	Isolierter Metallblock
Bild 7.3.1	CBM vs. CBE
Bild 7.4.1	Ionisierlüfter nach mehrmonatigem Einsatz

9. Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 5.6.1.1	Potentielles ESD-Risiko beim Pick und Place
Tabelle 5.6.1.2	Messergebnisse beim Pick und Place
Tabelle 5.6.2.1	Potentielles ESD-Risiko in der PCB-Linie
Tabelle 5.6.2.2	Messergebnisse der PCB-Linie

10. Stichwortverzeichnis

Abhilfemaßnahme	7, 14, 37
Ableitend	19
Ableitfähig	4, 5, 8, 9, 10, 19, 24, 36
Bad	16, 37
Bäder	37
Beispiel	4, 5, 8, 9, 11, 14, 19, 20, 31, 32
Bericht	9, 10, 25, 26, 28
Bewertung	6, 7, 9, 10, 11, 14, 25, 26, 28, 32, 33, 39
CBE	30, 33
CDM	5, 8, 10, 25, 30, 32, 32, 33
Charged-Board-Event	30
Dissipativ	5, 8, 10, 14, 18, 19, 25, 31, 36, 37, 39
Durchschlagfestigkeit	9, 10, 25, 30, 31, 36
Einzelprüfung	11, 25, 28, 33
Elektrostatisch	4, 5, 6, 8, 9, 11, 13, 19,20, 22, 23, 25, 30, 34, 36, 37, 38, 39
Eloxal	8, 31, 32
Entladungsmechanismen	30
Erdung	5, 10, 14, 15, 20, 22, 25, 31
Erdungsleitung	5, 10, 25
Erdungspunkt	5, 10, 14, 22, 25, 31
Erdverbindung	8, 20, 32
ESDFOS	5, 6, 30, 34, 38
ESD-Hygiene	4, 25,26



ESD-Koordinator	4, 11, 33, 34, 36
ESD-Problematik	4,
ESD-Risiken	4, 7, 10, 28,
ESD-Risikoanalyse	6, 7
Feldmühle	6, 9, 39
Flachbaugruppe	14, 19, 20, 30
Gefährdung	4, 8, 9, 10, 11, 25, 26, 28, 33, 34
Handbuch	10, 11, 28
Harte Entladung	17
HBM	9, 25, 30, 32, 33
Hochvolt-Ohmmeter	30
Interlock	6, 11
Ionisation	6, 13, 17, 20, 35, 37, 38
Ladungsaufbau	37
LED	9, 10, 25, 26, 33, 34
Leistungshalbleiter	33, 34
Luftfeuchte	6, 13
Luftionisation	13, 17, 20, 35, 37, 38
Mängel	9, 10, 11, 25, 26, 28
Maschinenschutzklassen	32, 33
Masseverbindung	32
Messablauf	11, 14
Messergebnis	3, 8, 9, 11, 14, 16, 21, 25, 39
Messgerät	9, 11, 13, 14, 38
Messleitung	8
Messpunkt	8, 10, 11, 14
Messtechnik	4
Messung	4, 6 - 16, 18, 19, 20, 22, 25, 31, 32, 35 – 39
Musterprüfung	10, 11, 25, 28, 33, 37
Oberflächenbeschichtung	9, 36
Oberflächenpotential	8, 9, 10, 13, 15, 16, 23, 33, 38, 39
PCB	14 – 18, 30, 33, 34, 37
PLP	20, 21, 22
Prozessrobotik	30, 31
Prozessschritt	8, 12, 14, 15, 16, 25, 35
Prüfplatte	20, 22
Prüfung	3, 6, 8, 10, 11, 13, 16, 18, 20, 25, 28, 30, 33, 36, 37, 38
Reversible Beeinträchtigung	6
Risikoevaluation	28, 30, 33
Robotische Prozesse	4
Sauger	12, 14, 15, 16, 19, 20, 21, 22
Sicherheitsbereich	5, 10, 19, 25, 39
Temperatur	6, 13, 39
Ursachenbeseitigung	10
VFTLP	30
Wartung	6, 10, 11, 28, 35
White Paper	30, 32, 33
Widerstandsmessung	8, 19
Zersprühprozess	6, 8, 10, 37, 38, 39
Zertifikat	10, 28, 39