

SEMI E129-0709

半導体製造設備における静電気放電(ESD)の評価と制御へのガイド

免責事項:この SEMI スタンダードは、投票により作成された英語版が正式なものであり、日本語版は日本の利用者各位の便宜のために作成したものです。万が一英語と日本語とに差異がある場合には英語版記載内容が優先されます。

本ガイドは、global Metrics Committee で技術的に承認されている。現版は、2009 年 5 月 13 日、global Audits and Reviews Subcommittee にて発行が承認された。2009 年 6 月に www.semi.org で、そして 2009 年 7 月に CD-ROM で入手可能となる。初版は 2003 年 11 月発行、前版は 2006 年 7 月に発行された。

注意: 本文書は 2009 年全面的に書き換えられた。

1 目的

1.1 この文書の目的は、半導体製造環境の中で静電気電荷および電界に起因した生産性への悪影響を最小にすることである。本文書は、半導体工場全体の静電氣的な両立性を確立するためのガイドである。半導体製造に使われる装置の静電氣的な両立性は、SEMI E78 に述べている。

1.2 静電気の表面電荷は、半導体製造環境の中で多くの望ましくない効果を引き起こす。

1.2.1 静電気放電(ESD: electrostatic discharge)は製品とレチクルに損傷を与える。また、ESD 事象は電磁干渉(EMI: electromagnetic interference)を引き起こし、その結果、設備故障が発生する。

1.2.2 帯電したウェーハやレチクルの表面はパーティクルを吸着(静電吸引または、ESA: electrostatic attraction)し、不良率を増やす。

1.2.3 製品の電荷は、装置故障や製品破損となることがある。静電気による装置運転上の問題と製品欠陥の増加は、半導体製造装置の所有コスト(COO: cost of ownership)へのマイナス要因となる(SEMI E35 を参照)。静電気の数々の制御方法は、静電気を許容レベルにまで抑制するために装置設計に組み込むことができる。このガイドは、基本的には装置製造者およびクリーンルーム設備の設計者が装置設計を行う際に使用される。半導体製造に使用されるシリコンウェーハやレチクルの製造業者にとっても有用である。記載された試験方法は、静電気の制御方法の有効性を明らかにするために使用される。エンド・ユーザーは、設備の建設後や設計変更後にこれらの試験方法を用いて装置の設計仕様との適合性を確認し、工場のメンテナンス作業の一貫としての現行の適合性を確認できる。

1.3 半導体プロセス技術は、より小型の製品形状に向かい続けるであろう。静電気の許容可能なレベルは、製品の形状のサイズにつれて小さくなる。この文書は、設備の静電気の限界値が製造中の製品に対して適切であることを確認するのに役立つ。International Technology Roadmap for Semiconductors(ITRS)に含まれる形状サイズを参照。

2 範囲

2.1 この文書の適用範囲は、測定方法と下記に示す対象物を含めすべての物体表面の帯電の最大推奨レベルに関するガイドに限定される。

- 製品、レチクル、またはキャリア
- 設備建設材料および備品
- 人体
- 材料や輸送材料
- 装置(SEMI E78 への参照による)

2.2 この文書は、半導体生産施設内の製品、レチクル、キャリア、および表面での静電気の最大推奨レベルの表が示されている。この目的は以下の通りである:

- ESD による製品、レチクル、装置の損傷を低減する。
- ESD 事象による装置のロックアップ問題を低減する。
- 帯電した表面へのパーティクル吸着を低減する。

2.3 この文書は、SEMI E78, SEMI E43, 静電気を測定するその他の方法、および静電気制御方法の性能パラメータを参照している。

2.4 付属書 1 では、¶ 12.7 の表 1 に示す帯電の最大推奨レベルを決定する方法について説明する。SEMI E129 にある当初の方法、およびこのガイドと SEMI E78 の推奨を整合させる更新情報の両方を含んでいる。

注 1: 関連情報 1 では、パッケージデバイスの感度測定について説明する。これは、設備の推奨帯電レベルを設定する最初のステップである。関連情報 2 は、半導体製造設備でよく使用される静電気制御方法について説明する。関連情報 3 では、ESD と EMI の関係について説明する。改訂記録は、SEMI E129-0706 からこの文書にかけられた変更点を記述している。

2.5 製品やレチクルの保護あるいは EMI 制御について、ある領域の ESD のリスクの尺度は発生する ESD 事象の存在と性質によって定義される。

2.6 パーティクル吸着を低減することによる汚染管理では、領域の静電気のリスクは静電気の電荷の存在とレベルによって定義される。

2.7 レチクルへの損傷について、危険性はレチクル上の静電気の変化またはレチクルの周囲の電界強度によって定義される。

2.8 半導体製造は、ミニエンバイロメントや製造装置内でおこなわれることが多くなっている。静電気に関連した問題の多くは、その製品がキャリア内にある間、キャリアからの移載、または、製造装置によりハンドリングされる際に引き起こされる。

2.9 静電気の数々の制御方法は、静電気を許容レベルにまで制御するために装置設計に組み込むことができる。装置製造の問題は、SEMI E78 で述べている。

2.10 静電気の制御方法の有効性を示すための試験方法がいくつかある(このガイドの § 6, § 7 参照)。エンドユーザーは、装置の購入仕様で適合性を確認するために同じ試験方法を用いることができる。試験は、静電気測定分野の資格を得た人により行われるべきである。

2.11 装置設計に適用される静電気の制御方法は半導体製造施設内の静電気に関連するすべての問題を解決するものではない。施設内の製品またはレチクルの輸送は静電気の影響を受け、静電気問題の原因となる。製造設備内で動き回る人も静電気の発生源となる。設備の問題は本文書で述べている。

NOTICE: This standard does not purport to address safety issues, if any, associated with its use. It is the responsibility of the users of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory or other limitations prior to use.

注意: このスタンダードはその使用に関連したすべての安全問題を取り扱うことを意図していない。このスタンダードの使用者は、その責任において、適切な安全および健康上実施すべき事柄を確立し、また使用前に法規制やその他の制限への適用性を判断するものである。

3 制限

3.1 **静電気測定 (Static Measurements)** – 電荷、電界、電圧、接地抵抗のような静電気量の測定を行うことは困難である。

3.1.1 対象物(絶縁体か導体)の性質、寸法形状、その周囲環境、測定器自体などは、静電気測定の精度に影響を及ぼすいくつかの要因に過ぎない。

3.1.2 一般に、小さな移動可能な物体については、静電気の電荷の直接測定することは可能である。大きな物体や所定の位置に固定されている物体は、静電気に起因する電界によって特性評価する必要がある。

3.1.3 同様に、静電気量の測定値を製品や装置に対する影響と関連づけることは困難である。

3.1.3.1 例えば、ESD シミュレータはコンデンサが既知の電圧で放電するときに標準化された放電波形を作る。この計測器は、半導体製品の ESD 損傷しきい値の決定や装置への ESD 影響を規定するために用いられる。

3.1.3.2 ESD シミュレータにより移動した電荷量は($q=CV$)で既知であるが、発生した最大電流は不明である。電荷量が同量であっても、異なる静電容量と電圧が使用された場合には、同じ結果となる保証はない。

3.2 場所(Location) — 静電気の試験方法と設備表面上の静電気の最大推奨レベルは、設備が建設された後に適用されることを意図している。静電気制御方法の性能の試験は、建設の前後に実行できる。静電気制御方法の性能を完成した設備の静電荷と直接関連付けることは困難なことがある。静電気制御のメーカーのこれまでの実績がこの情報の情報源となる。

3.3 試験方法(Test Method) — この文書の中で引用した試験方法は、静電気レベルの測定精度を保証するものではない。この文書で推奨した最大静電気レベルには大きな許容値がある(¶ 15.1 を参照)。

3.4 静電気制御(Static Charge Control) — 半導体製造環境には静電気に関連したさまざまな問題がある。これらの問題は、広範囲の静電気問題と静電気問題に対するデバイスと装置の敏感性により、複雑となっている。このガイドには、一般的な推奨事項を含んでいる。この文書の利用者は、静電気に関連した特定の問題には、この文書で推奨しているものと異なる静電気レベルが必要か、異なる静電気レベルを許容するのかという点に注意する必要がある。

3.5 測定(Measurements)

3.5.1 非常に高い静電位(30,000 V 超)の測定(Measurements of Very High Static Potentials (> 30,000 V)) — 非常に高い静電位(30,000 V 超)の測定は、メーター測定範囲の超過やメーターに対する ESD 事象を回避するために、距離を離して実行する必要がある場合がある。

3.5.2 物体の帯電電圧の測定精度は、物体のサイズ、物体からの距離、および測定物体のすぐ近くの他の接地物体または帯電物の存在によって異なることがある。他の距離で実施する測定については、測定装置製造者に問い合わせること。

3.5.3 動く物体または表面の測定(Measurements on Moving Objects or Surfaces) — 動く物体または表面の静電気を測定するには正しい距離を保持し、接触を避けるように注意する必要がある。これにより、機械の損傷または身体の傷害のない「良好な」測定が保証される。

3.5.3.1 動く物体の測定には、物体が動く速度に対して十分速い応答時間をもつ測定装置を使用する必要がある。関連情報については測定装置製造者に問い合わせること。

3.6 この文書は製品またはレチクル、あるいはそのキャリアを取扱わないか、含まない半導体設備には適用されない。

4 参照スタンダードおよび文書

4.1 SEMI スタンダード

SEMI E10 — Specification for Definition and Measurement of Equipment Reliability, Availability, and Maintainability (RAM)

SEMI E33 — Specification for Semiconductor Manufacturing Facility Electromagnetic Compatibility

SEMI E35 — Guide to Calculate Cost of Ownership (COO) Metrics for Semiconductor Manufacturing Equipment

SEMI E43 — Recommended Practice for Electrostatic Measurements on Objects and Surfaces

SEMI E78 — Guide to Assess and Control Electrostatic Discharge (ESD) and Electrostatic Attraction (ESA) for Equipment

4.2 ESD Association Standards and Advisories¹

ANSI ESD S1.1 — Evaluation, Acceptance, and Functional Testing of Wrist Straps

¹ ESD Association, 7900 Turin Road, Rome, NY 13440, USA (www.esda.org)

ANSI ESD STM2.1 — Resistance Test Method for Electrostatic Discharge Protective Garments

ANSI ESD STM3.1 — Ionization

ANSI ESD S4.1 — Worksurfaces – Resistance Measurements

ANSI ESD STM4.2 — Worksurfaces – Charge Dissipation Characteristics

ANSI ESD STM5.1 — Electrostatic Discharge Sensitivity Testing – Human Body Model (HBM) – Component Level

ANSI ESD STM5.2 — Electrostatic Discharge Sensitivity Testing – Machine Model (MM) – Component Level

ANSI ESD STM5.3.1 — Electrostatic Discharge Sensitivity Testing - Charged Device Model (CDM) – Component Level

ANSI ESD S6.1 — Grounding – Recommended Practice

ANSI ESD STM7.1 — Floor Materials – Resistive Characterization of Materials

ANSI ESD S8.1 — ESD Awareness Symbols

ANSI ESD STM9.1 — Resistive Characterization of Footwear

ANSI ESD STM11.11 — Surface Resistance Measurement of Static Dissipative Planar Materials

ANSI ESD STM11.12 — Volume Resistance Measurement of Static Dissipative Planar Materials

ANSI ESD S11.31 — Evaluating the Performance of Electrostatic Discharge Shielding: Bags

ANSI ESD STM12.1 — Seating – Resistive Characterization

ANSI ESD S20.20 — Standard for the Development of an ESD Control Program

ANSI ESD STM97.1 — Floor Materials and Footwear – Resistance Measurement in Combination with a Person

ANSI ESD STM97.2 — Floor Materials and Footwear Voltage Measurement in Combination with a Person

ESD AVD1.0 — Glossary of Terms

ESD SP10.1 — Automated Handling Equipment

ESD TR55.0-01-01 — Electrostatic Guidelines and Considerations for Cleanrooms and Clean Manufacturing

ESD TR20.20 — ESD Handbook

ESD ADV53.1 — ESD Protective Workstations

4.3 IEC Documents²

IEC 61000-4-2 — Electromagnetic compatibility (EMC) Part 4.2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test, Transient Immunity Standard, International Electrotechnical Commission (IEC)

IEC 61340-5-1 — Electrostatics – Part 5.1: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – General Requirements

注 2: This replaces CENNELEC 100015-1 — Elements of a Static Control Program

IEC 61340-5-2 — Electrostatics – Part 5.2: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – Users' Guide – Elements of a Static Control Program

4.4 JEDEC Documents³

JESD22-A114 — Electrostatic Discharge (ESD) Sensitivity Testing Human Body Model (HBM)

JESD22-A115 — Electrostatic Discharge (ESD) Sensitivity Testing Machine Model (MM)

² International Electrotechnical Commission, 3 rue de Varembé, Case Postale 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland. Telephone: 41.22.919.02.11; Fax: 41.22.919.03.00; <http://www.iec.ch>

³ JEDEC Solid State Technology Association (aka the Joint Electron Devices Engineering Council), 2500 Wilson Boulevard, Arlington, VA 22201-3834, USA. Telephone: 703.907.7560; Fax: 703.907.7583; <http://www.jedec.org>

JESD22-C101 — Field-Induced Charged-Device Model Test Methods for Electrostatic Discharge Withstand Thresholds of Microelectronic Components

JESD625 — Requirements for Handling Electrostatic-Discharge-Sensitive (ESDS) Devices

4.5 Other Documents

2004/108/CE — Directive on Electromagnetic Compatibility – European Commission⁴

ITRS 2005, 2006, 2007, 2008 — International Technology Roadmap for Semiconductors – ITRS⁵

MIL-STD 883G — Test Method Standard – Microcircuits (Method 3015.7 – Electrostatic Discharge Sensitivity Classification), Defense Supply Center Columbus⁵

NOTICE: Unless otherwise indicated, all documents cited shall be the latest published versions.

注意: 別途指示のない場合、引用されたすべての文書は最新の出版バージョンである。

5 用語

5.1 略語および頭字語

- 5.1.1 *ANSI (American National Standards Institute)* — 米国規格協会
- 5.1.2 *CDM (Charged Device Model)* — 帯電デバイスモデル
- 5.1.3 *COO (Cost of Ownership)* — コストオブオーナーシップ
- 5.1.4 *EC (European Commission)* — 欧州委員会
- 5.1.5 *EMI (Electromagnetic Interference)* — 電磁干渉
- 5.1.6 *ESA (Electrostatic Attraction)* — 静電気吸引
- 5.1.7 *ESD (Electrostatic Discharge)* — 静電気放電
- 5.1.8 *HBM (Human Body Model)* — 人体モデル
- 5.1.9 *IC (Integrated Circuit)* — 集積回路
- 5.1.10 *IEC (International Electrotechnical Commission)* — 国際電気標準会議
- 5.1.11 *ISO (International Standards Organization)* — 国際標準化機構
- 5.1.12 *ITRS (International Technology Roadmap for Semiconductors)* — 国際半導体技術ロードマップ
- 5.1.13 *JEDEC (Joint Electron Devices Engineering Council)* — 半導体技術協会
- 5.1.14 *MIL-STD (U. S. Military Standard)* — 米軍規格
- 5.1.15 *MM (Machine Model)* — マシンモデル
- 5.1.16 *nC (nanocoulomb)* — nanocoulomb
- 5.1.17 *RAM (Reliability, Availability, and Maintainability)* — 信頼性, 有用性, 整備性

5.2 定義

- 5.2.1 **キャリア (carrier)** — 半導体製造のさまざまな処理段階でウェーハ, ダイ, パッケージされた集積回路 (ICs), レチクルを保持するために使用されるデバイス (SEMI E78 より)。
- 5.2.2 **電磁障害 (EMI: electromagnetic interference)** — 電子装置に雑音を発生させる可能性を持つ電磁波スペクトルの非イオン化 (可視光以下の波長領域) 部分内の電気信号。
- 5.2.3 **静電吸引 (ESA: electrostatic attraction)** — 逆極性に帯電した 2 つ以上の物体間に作用する力。

⁴ European Commission, Rue de la Loi, Wetstraat 200, B-1049 Brussels, Belgium; <http://www.europa.eu.int>

⁵ Defense Supply Center Columbus, P.O. Box 3990, Columbus, OH 43216-5000, USA; <http://www.dscc.dla.mil>

注 3: 結果的に、荷電表面への微粒子の沈着速度 (SEMI E78 参照) や帯電した物質の移動が増加する。

5.2.4 静電気的な両立性 (electrostatic compatibility) — 静電気の問題がなく装置間での製品、レチクル、キャリアなどのハンドリングを適切に行えるようにする電荷制御。

5.2.5 静電気放電 (ESD: electrostatic discharge) — 高電界によって誘発した静電気電荷の急速で自発的な移動のこと。

注 4: 通常、電荷は静電的電位の異なる二物体間を火花状態で流れる。

5.2.6 ESD シミュレータ — 製品または装置の一部に直接放電したとき、特定の静電気放電電流波形を提供する計測器。

5.2.7 設備静電気レベル (facility electrostatic levels) — 製品やレチクルのサイズの主要なテクノロジーノードに関連する許容可能な静電荷レベル。

5.2.8 ミニエンバイロメント (minienvironment) — 汚染や人間から製品を隔離するために囲いを設けてつくられた、密閉容器によって作り出された小さな局所に限定された環境。

5.2.9 製品 (product) — 機能的な半導体デバイスとなることを意図したユニット。

6 要求事項

6.1 以下の項は、製品、レチクル、または装置の ESD による損傷しきい値を規定するのに使用できる試験方法を含む。製造プロセス中に製品、レチクル、および装置に発生する静電気と静電界のレベルを決定するための試験方法も含む。

6.2 製品、レチクル、および装置の実際の ESD 敏感性レベルを決定するための代替方法として、エンドユーザーは製造プロセスの年と技術ノードに基づいて要求事項を規定することができる。許容可能な静電気レベルの推奨値を 12.7 の表 1 に示す。

6.3 測定方法と計測器 (Measurement Methods and Instrumentation) — 静電気の「安全」レベルを決定することができる単一の試験方法は存在しない。静電気量、物体上の電荷分布、静電気放電の性質は、帯電レベルが安全であるかどうかを決める際に相互に影響する。

6.3.1 静電気に関連した問題が完全に排除されたということを保証 (guarantee) レベルを決定することは困難であろう。

6.3.2 このガイドに記載した測定方法は、半導体工場の設備に問題を引き起こしやすい帯電または電界レベルをユーザーが識別するのに役立つ。これらによって、ユーザーは帯電および電界レベルの制御に使用する方法の有効性を評価することができる。

6.4 ESD 損傷の試験 (Test for ESD Damage)

6.4.1 ESD による対象物 (すなわち製品、レチクル、装置) への直接的な損傷を検討するとき、重要なパラメータは、対象物への、または対象物からの電荷移動に伴う電流である。電荷は、設備と備品の表面、人体、装置部品、キャリア、パッケージ材料、物体と接触するすべてのものから移る可能性がある。試験パラメータの操作された組み合わせ条件下では、対象物へ/からの電荷移動による損傷の電流量を決定できる。

6.4.2 パッケージされたデバイスを試験する場合は、様々な型式の ESD シミュレータが使用される。デバイスの試験の詳細については、§ 4 に挙げた ESD Association standards ESD STM5.1, ANSI ESD STM5.2 および ANSI ESD STM5.3.1, JEDEC JESD22-A114, JESD22-A115 および JESD22-C101 または MIL-STD 883 規格を参照のこと。

6.4.3 ウェーハ、レチクル、パッケージされていない半導体デバイスを試験する ESD シミュレータの確立されたスタンダードはない。これらの項目の ESD による損傷のしきい値は、パッケージされたデバイスのものと異なる可能性がある。

6.4.4 適切な ESD シミュレータを使用して製品の損傷電流レベルが決定されると (使用するスタンダードにより)、ESD シミュレータの動作パラメータに対応する電荷量が示される。

6.4.5 エンドユーザーは、製造設備の特定な個所で取扱われる製品あるいはレチクルへの電荷移動による損傷電流レベルを決めなければならない。

6.5 静電気の測定 (Measuring Static Charge) — 製造設備に関しては、製品と製品に直接接触する可能性のある物体の電荷を知ることは明らかに重要である。

6.5.1 電荷は、クーロン単位で測定されるか、より便利な nanocoulombs ($\text{nC} = 10^{-9} \text{ coulombs}$) 単位で測定される。絶縁された導体 (人体も含む) や小さな移動可能な対象物のための、クーロンメータとファラディカップを使用した電荷測定方法は SEMI E78 と SEMI E43 で説明されている。

6.5.2 SEMI E43 の測定方法を使用して、ESD 事象により製品やレチクルに直接的な危険を及ぼす対象物の電荷レベルを決定できる。

6.5.3 集積回路のような帯電物はファラディカップ内に置き、その帯電電荷が読み取れる。ウェーハ、キャリアや他の対象物には十分に大きい「カップ」の付いた計測器を用意する必要がある。また、この対象物の帯電レベルを変えることなく、対象物をそのカップに入れることが必要である。これらの測定を行うために必要な、より詳細な情報は測定器の製造業者から入手すること。

6.6 電界測定 (Measuring Electric Field) — 固定された大きな対象物や絶縁体の場合、電界測定は、損傷を起こすような ESD 事象が発生するかどうかを予測する上では、それほど役に立たない。クーロンメータを使用して簡単に測定できない対象物については、クーロンメータによる測定ほど定量的でないが、静電界測定により ESD の脅威を評価できる可能性がある。

6.7 誘導電荷分離によって引き起こされる ESD 損傷の試験 (Testing for ESD Damage Caused by Induced Charge Separation)

6.7.1 物体上の電荷分離により ESD 損傷が発生することがある。製品 (例: エポキシパッケージ) やレチクル (例: 石英基板) の一部が帯電し、製品 (例: リードピン) やレチクル (例: クロムトレース) の別の部分で電荷分離を誘導 (induce) することがある。リードピンやクロムトレースを接地面の十分近い場所に置かず、接地面に接触させた場合、ESD が発生することがある。

6.7.1.1 エンドユーザーは、電量計やファラディカップを使用して SEMI E43 の方法で製品またはレチクルを試験し、接地面との接触により ESD 損傷が発生する静電気レベルを決定する必要がある。

6.7.2 他の場合として、製品やレチクルは帯電した別の物体の近傍で取り扱われることがある。この帯電した物体による電界が、製品やレチクルに電荷を誘導し、電界が存在する状態で製品やレチクルが接地面に近づくか接触すると ESD が発生することがある。

6.7.2.1 エンドユーザーは、静電界計や静電気電圧計を使用して SEMI E43 の方法で製品やレチクルを試験し、接地面と接触している場合に ESD 損傷が発生させる、静電荷による電界の許容レベルを決定しなければならない。

6.7.3 静電界および電界の変化のいずれもが、レチクルが接地された部分と接触しなくても ESD による損傷を引き起こすことが知られている。

6.7.3.1 静電界は、レチクルまたはそのパッケージを取り扱っている時に帯電すると発生する。電界の変化は、レチクルの近傍の物体が帯電したとき、レチクルと帯電した物体が相互に運動しているとき、または接地条件により帯電した物体とレチクルの間の電界が変化したときに (例えば、ロボットによるハンドリング等の理由)、レチクルに発生することがある。

6.7.4 レチクルを製造または取り扱う製造設備の領域では、帯電した物体による電界をレチクルに ESD 損傷を発生させないレベルに制限する必要がある。電界の試験方法は、SEMI E43 に記載されている。現在のところレチクルの電界に対する感度を決定するための業界の標準はないが、試験方法は存在する。

注 5: 関連情報 2 の参照文書を参照のこと。

6.7.5 ESD 事象が発生しないのに、レチクルが電界によって損傷する形跡がある。この分野のさらなる研究が必要である。

注 6: SEMI E78 の関連情報 4 を参照のこと。

6.7.6 最後に、ゲート酸化膜が薄くなるにつれて、ウェーハ表面に静電荷が存在することが ESD の危険性につながるという事例の証拠が増えつつある。将来は、前工程半導体製造において ESD に関連したゲート酸化膜の損傷を防ぐために、ウェーハ表面の許容可能な静電荷をさらに制限しなければならない可能性がある。この分野についてはさらに研究が必要である。

6.8 微粒子の静電気吸引の試験 (Testing for Electrostatic Particle Attraction)

6.8.1 対象物の表面電荷による静電界によって微粒子の静電気吸引 (ESA) が発生することがある。

6.8.2 静電界の測定は一般的に静電電界計で行うことができる。静電界の単位は、V/cm (V/inch) である。

6.8.2.1 測定中の機器の存在が電界特性を変え静電気電界の実際のレベルを誇張して指示するので正確な測定は難しい。これは § 7 の図 3 で示される。SEMI E43 には、静電気電界計を使う計測技術と静電気電圧計を使う代替の計測技術が記述されている。

6.8.3 微粒子は、帯電した装置表面や帯電した製品やレチクルに直接吸引されることがある。すると微粒子は設備表面から離れ、製品やレチクルに輸送される。製品やレチクルの表面に到達すると、ランダムあるいは繰り返される欠陥の原因となり得る。

6.8.4 静電気による微粒子の沈着速度は、電界、微粒子径、微粒子上の電荷のみに依存する。しかし、表面に沈着する微粒子数は領域内の微粒子濃度および微粒子の沈着が起こる状態に曝露されている時間にも依存する。SEMI E78 には、許容電界を雰囲気中の微粒子濃度および曝露時間に関連させるための情報が記載されている。

6.8.5 § 7 と SEMI E43 の測定方法を使用して、この文書の要求事項を満たす、設備表面の電界を決定できる。

6.8.6 大きな対象物、特に絶縁物について電荷を評価することは難しい。これらの対象物の電界測定は、直接的な ESD 事象が発生する危険性を評価するのに役立つ可能性がある。しかし、絶縁物の電界測定は、著しく定性的であり、これらの電荷が ESD に敏感なデバイスに与える可能性の程度を示すに過ぎない。

6.9 装置 ESD (Equipment ESD)

6.9.1 装置 ESD の免疫性は、製品やレチクルの損傷に対する免疫性よりはかなり高いレベルで確立されている。¶ 12.7 の表 1 に示す設備の静電荷の制限値を使用して製品やレチクルを保護すれば、装置に対する十分な保護となる。

6.9.2 装置 ESD に対する免疫性は、一般に、IEC 61000-4-2、欧州 CE 準拠の 2004/108/CE、SEMI E33 のガイドラインを含む多数の国際標準で扱っている。

6.9.3 測定は、これらの標準に記載される ESD シミュレータを使用して実行される。

注 7: ESD に関連する EMI 問題のさらなる考察は、関連情報 3 に記載されている。

7 装置

7.1 ESD による損傷 (ESD Damage) — 製品、レチクル、あるいはキャリア上に発生した電荷を測定するためのファラディカップ試験方法を図 1 に示す。この試験方法の詳細については SEMI E43 に記載されている。

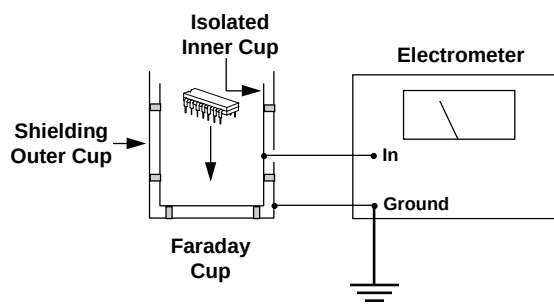


図 1
ファラディカップによる電荷測定
Faraday Cup Charge Measurement

7.1.1 絶縁物は、静電気の両極性に同時に帯電することができる。ファラディカップによる測定は、各極性に分かれた量ではなく、正味電荷を示す。静電界計または静電気電圧計を使用してこの条件が存在するかどうかを判断する。

7.1.2 電荷を測定する対象物が導体である場合は、ナノクーロンメータを使用する。この試験方法の詳細は、SEMI E43 に記載されている。

7.2 大きな対象物や表面の静電界測定に使用される計測器は、静電電界計として知られている。この取扱説明書は計測器製造元から入手するか、SEMI E43 に記載されている。測定の構成を図 2 に示す。

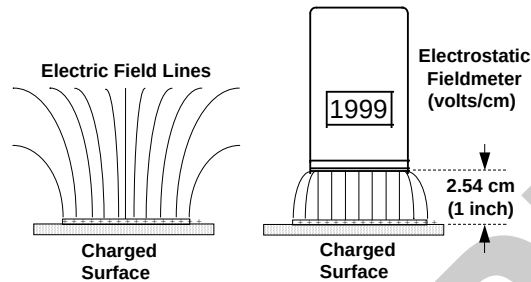


図 2
静電界測定
Electrostatic Field Measurement

7.2.1 図 2 には、その測定に対する機器の影響を示している。ほとんどの場合、その静電電界計の存在により帯電物表面からの電束と電気力線の両方を増加する。静電電界計を使うと一般にその静電電界計がない状態よりも高い電界値を示す。

7.3 静電気電圧計は電界計による測定の代わりに使用することができる。小さい物体や表面エリアには、静電気電圧計が適している。

7.3.1 適切な条件の下では、静電気電圧計は帯電物からの距離に関係なく高い精度と安定性を示す。静電気電圧計のプロブは、弧絡が発生することなく帯電した表面の近くに置くことができ、小さい帯電物による電界を分析することができる。

8 安全注意事項

8.1 人体 (Personnel) — 半導体製造プロセスによっては、静電荷は危険な状態を作り出すことがある。

8.1.1 高速装置での製品の詰まりや破損により引き起こされる ESA および ESD 事象は、人体に対して危険を及ぼす可能性がある。

8.1.2 可燃性や爆発性のある薬品やガスを使用する領域では、スパークを発生する ESD 事象を防止しなければならない。

8.1.3 ESD 事象は、通常は人体に対しては無害であるが、無用な反射や「驚愕」反応を起こすことがある。この反射により、特に可動装置のある領域内や危険な薬品を使用している領域内にいる人を危険な状態にすることがある。

8.1.4 ESD 事象による EMI によって、ロボットやその他の可動装置が予測不能な挙動を示し、人体にとって危険な状態となることがある。

8.1.5 これらの人的な危険を最小にするには、装置内で使用されている静電荷制御方法を超える追加の制御方法を使用する必要があることがある。

8.2 測定の安全 (Measurement Safety) — 製造装置内の可動部分の領域や静電位が 30,000V を超えることがある非接地の導体がある領域内で静電荷測定を実行するときは、ユーザーは注意しなければならない。測定の安全に関するその他の考慮事項については、SEMI E43 を参照すること。

9 試験試料

9.1 下記は、実行される試験についての推奨事項である。ユーザー、材料のサプライヤ、設備設計者／製作者、装置製造者はこれらの推奨事項に合意し文書化しなければならない。

9.2 静電気(nC で表す)の測定は、ハファラディカップ法で nanocoulombmeter を使用して実行されなければならない。

9.3 静電電界(volts/cm or volts/inch で表す)または静電電圧(volt で表す)の測定は、それぞれ静電電界計または静電電圧計を使用して実行されなければならない。

9.4 ユーザー、材料のサプライヤ、設備設計者／製作者、装置製造者は、試験実行を誰が行うかを合意しなくてはならない。合意に先立って、ユーザー、材料のサプライヤ、設備設計者／製作者、装置製造者は第三者による製造装置の測定を考慮してもよい。

9.5 試験サンプルは、実際の使用条件の下で設備および装置内で扱う材料を表すこと。例えば、絶縁されたウェーハでの試験と導電性ウェーハでの試験は、きわめて異なる結果を示すことがある。

9.6 測定は、装置で扱われる絶縁もしくは導電ウェーハ、レチクル、パッケージデバイス、キャリアまたはその他の対象物の最低数 10 の試験サンプルで行わなければならない。これは、最低 10 の連続的な試験サイクルで、装置で扱われる一つのサンプルを使用して行わなければならない。

9.6.1 静電気測定は、各試験サンプルに対して行わなければならない。静電界測定は、各試験サンプルの複数個所で行わなければならない。測定対象が小さい場合の測定要件については、SEMI E43 を参照すること。

9.6.2 各試験サンプルの平均電荷量、静電界、電圧測定値、¶12.7 表 1 の推奨値を満たさなければならない。また、個々の測定値は、表の該当値の 2 倍を越えないものとする。測定値の標準誤差も報告すること。

9.7 ユーザー、材料のサプライヤ、設備設計者／製作者、装置製造者は、すべての適切な環境条件(例:温度、湿度、露点、空気流量)に合意して文書化しなければならない。

9.8 ユーザー、材料のサプライヤ、設備設計者／製作者、装置製造者は、試験前または試験中の運転履歴(例:ウォームアップ時間、キャリアの型、処理する製品数、運転速度)に合意し、文書化しなければならない。

注 8: § 12 にエンドユーザーおよび設備設計者または装置製造者間の交渉前の試験条件に関するガイドラインを記載している。

10 装置とサンプルの準備

10.1 実施される試験方法により、装置とサンプルの準備のための適切な試験方法に関する文書を調べる。追加情報は § 4 を参照のこと。

11 校正と標準化

11.1 実施される試験方法により、校正と標準化のための適切な試験方法に関する文書を調べる。追加情報は § 4 を参照のこと。

12 手順

12.1 エンドユーザーは、製品とレチクルの形状に基づいた¶12.7 の表 1 に記載されている許容可能な静電気レベルまたは静電界の推奨事項に従ってもよい。詳細については、付属書 1 を参照すること。

12.2 あるいはその代わりに、エンドユーザーによって、製品やレチクルが損傷しない静電気放電や静電界の耐性レベルを確定することもできる。

12.2.1 集積回路(ICs)の測定方法は § 4 に記載した文書に記述している。

12.2.2 ウェーハ、レチクル、その他の品目への ESD 損傷の適切な測定方法は、§ 4 の文書に記載された試験方法の中で使われた計測に適合できる。付属書 § A1-2.1 から § A1-2.4 は、ESD 損傷を低減するために許容される静電気レベルを選択するための追加情報を含んでいる。

12.2.2.1 エンドユーザーは、設備設計者および製作者、作業エリア設計者（特定のプロセスにおいて手順、装置およびエリアのレイアウトを指定する設計者）、およびレチクルサプライヤと共同して処理中の周囲のパーティクルレベル、製品曝露時間、電界に起因するレチクルの損傷レベルを決定しなければならない。付属書§ A1-2.5 には、微粒子の静電気吸引を低減する適度な静電界レベルを選択するための情報が含まれている。

12.3 設備設計者および製作者、作業エリア設計者、および装置製造者は、製品、レチクル、あるいは装置の表面に損傷を与えるほどの静電気または静電界が生じないよう設備と装置を設計し製作する。製品とレチクルの形状に基づいた¶12.7 の表 1 に記載されている許容可能な静電気または静電界レベルの推奨事項に従って設備と装置は分類される。

12.4 ESD による損傷 (ESD Damage)

12.4.1 ESD 損傷のしきい値測定は、クーロン単位、またはより都合のよい nanocoulomb ($\text{nC} = 10^{-9} \text{ C}$) の単位で行う。¶12.7 の表 1 のパッケージデバイスの推奨事項は、付属書 § A1-2.5 で説明されているように、10 ピコファラッドパッケージデバイスがベースである。ESD 損傷の原因であるかもしれない帯電が Q である時、表 1 の電圧レベルは、計算式 $Q=CV$ で計算される。

12.4.2 ファラディカップ測定方法を使用して製品、製品キャリア、設備材料および装置部分の静電荷レベルを決定する。それぞれの品目は、電荷レベルが変化しない方法でファラディカップのところへ搬送しなければならない。これを実行するための推奨事項については、測定装置の製造元の取扱説明書を参照のこと。

12.4.3 製品、キャリア、材料の測定は、取扱われた製品の有意な量の後に装置の出入口で行うこと。

12.4.4 測定は、装置もしくは製造プロセスが正常な操作モード（例えば 2 時間以後）の中で安定した後、連続した 2 日間で行うこと。試験期間中に装置構成（ハードウェアおよびソフトウェア）を変更しないこと。

12.5 静電界 (Electrostatic Field)

12.5.1 静電界の測定値は、 V/cm か V/inch で表される。

12.5.2 静電界の測定は、少なくとも ESD に敏感な品目の 30.5 cm (12 in) 以内に接近する設備内のすべての表面について実行しなければならない。測定する代表的な面は、構造材料、備品、人体、製品、装置表面が含まれる。

12.5.3 測定は、すべての品目についても最低 5 つの異なる場所で実行しなければならない。測定場所は、測定装置と測定場所の間の距離の約 3 倍離れていなければならない。25.4 mm (1 in) のところで測定するほとんどの静電電界計については、離す距離は 76.2 mm (3 in) となる。測定に関するその他の情報、および静電電圧計を使用する代替測定技術については SEMI E43 を参照のこと。

12.5.4 製品、レチクル、キャリア、材料の測定は、取扱われた製品またはレチクルの有意な量の後に装置の出入口で行うこと。

12.5.5 測定は、装置とプロセスが正常な操作モード（例えば 2 時間以後）の中で安定した後、連続した 2 日間で行うこと。試験時間中に装置構成を変更しないこと。

12.6 SEMI E78 勧告 (SEMI E78 Recommendations)

12.6.1 SEMI E78, ¶ 12.7 の表 1 は、静電気に起因する問題を防止するための最大帯電レベルの推奨値を含んでいる。

12.6.2 これらのレベルは、具体的に半導体工場で使用される製品、レチクル、キャリア、および装置の出入口に適用される。

12.6.3 この文書は、SEMI E78 での推奨帯電レベルと一致し、国際半導体技術ロードマップ (ITRS) がマッピングしている主要な技術の変化に同期することが望ましい。

12.7 表 1 では許容可能な設備の静電気レベルの推奨値を挙げ、ITRS 2008 の主要な技術ノードに対して示しているが、これらはウェーハの形状サイズに関連するものである。帯電電圧に起因した問題からの保護のためには、建設資材、備品、装置、人体、製品、レチクル、キャリア、搬送および包装材料など、半導体工場のすべての要素に、表 1 に示した帯電レベルに一致させるべきである。

12.7.1 静電気の制御方法の使用に際しては多くの決定を行わなければならない、これらの方法を設備に恒久的に実装することになるので、許容可能な静電気レベルを選択する際、ユーザーが設備の耐用年数について考慮したいと考えても不思議ではない。

注 9: 例えば、装置のスタートアップ時には 90 nm の寸法形状で処理し、32 nm の寸法形状まで小さくして使用できるようにする。設備は、32 nm の使用に推奨される限界値に対して設計されるべきである。

12.7.2 表 1 のレベルでは、設備がシリコン半導体を処理することを前提としている。特殊な部品に使用する設備は異なるレベルを使用することが必要な場合がある。

注 10: 例えば、ガリウムヒ素半導体や磁気抵抗(MR)ディスク読み取りヘッドの製造で使用される設備である。

表 1 設備の推奨 管理帯電レベル (Recommended Equipment Electrostatic Levels)

年 ノード	ウェーハおよびレチクル 静電気放電 nC	10 pF パッケージデバイス 静電気放電 nC	10 pF パッケージデバイス 静電気放電 volts	静電界 V/cm V/inch	
2000 180 nm	10.0	2.5–10	250–1000	200	500
2002 130 nm	10.0	2.0	200	150	375
2004 90 nm	10.0	1.0	100	100	250
2006 70 nm	6.0	0.6	60	80	200
2007 65 nm	5.0	0.5	50	70	175
2009 50 nm	3.0	0.3	30	55	140
2010 45 nm	2.5	0.25	25	50	125
2013 32 nm	1.25	0.125	12.5	35	88
2015 25 nm	0.8	0.08	8	28	70
2018 18 nm	0.4	0.04	4	20	50

12.8 表 1 にリスト表示されたレベルは、運転条件の分析や稼働中の半導体製造設備での実験結果として決定されている。これらのレベルの正当化については付属書 1 に記載されている。任意の製造現場で使用される実際のレベルは、その設備のユーザーと設計者／施工者との合意によって決定される。

12.9 特定の動作条件や特定のデバイスについては、他のレベルが適切である可能性がある。

13 計算

13.1 5 回連続の測定値の平均は推奨レベルを超えてはならない。

13.2 どの測定値も推奨レベルの 2 倍を超えてはならない。

14 結果の報告

14.1 データの記録には、次の情報が記載されていなければならない。

- 型式や製造番号を含む被試験材料や装置の説明
- 工場の運転条件および環境の説明

- 測定手順の説明
- 測定装置および最後の校正日
- 測定対象物および測定場所の説明
- 測定されたときの測定場所の湿度, 温度, 露点
- 測定結果
- 測定担当者
- その他, 関連するコメント

15 試験方法の正確性と精度

15.1 この文書で言及する試験方法は, 静電荷レベルの測定精度を保証するものではない。同様に, この文書で推奨される最大静電荷レベルは, 厳密な要求条件として記載されているわけではない。

15.2 すべての計測装置において約 ± 20 %の精度が許容される。低い静電荷レベルやより精度の高い測定については, 他の計測器や試験方法が必要になる可能性がある。

15.3 低レベルの電界強度や対象物の電圧を評価するには, 必要な分解能と精度を備えた静電電界計や静電電圧計を使用すること。