

SEMI E129-0706

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

本ガイドは、global Metrics Committee で技術的に承認されている。現版は、2006 年 5 月 16 日、global Audits and Reviews Subcommittee にて発行が承認された。2006 年 6 月に www.semi.org で、そして 2006 年 7 月に CD-ROM で入手可能となる。初版は 2003 年 11 月発行。

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、半導体製造に使われる装置が静電的な両立性を確立するためのガイドである。

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。すなわち、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。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。また、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 を参照のこと)。

1.3 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。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。

1.4 半導体製造においては、多くの工程が、ますますミニエンバイロメントや製造装置内で行われるようになっているが、製品やレチクルは依然として製造設備全体を輸送しなければならない。それらは両方とも輸送中の静電気の影響を受け、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。この文書は、製造装置およびミニエンバイロメントも含め設備全体の静電気の存在に対処するものである。

1.5 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フォトマスクの製造業者にとっても有用である。静電気の制御方法の有効性を示すいくつかの試験方法がある (このガイドの § 7 および関連情報 2 を参照)。エンド・ユーザーは、設備の建設後や設計変更後に同じ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。

1.6 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。

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、フォトマスク、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、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。

2.3 付属書 1 では、¶ 12.5 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。

注 1: 関連情報 1 では、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。

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。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。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。

3.2 **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。この文書の使用者は、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 **運動している物体や表面の測定** — 運動している物体や表面の静電荷を測定する場合は、正しい距離を維持し接触しないように注意しなければならない。これにより装置の損傷や人的傷害を起こすことなく「良好な」指示値が得られる。

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 — Cost of Ownership for Semiconductor Manufacturing Equipment Metrics

SEMI E43 — Guide for Measuring Static Charge on Objects and Surfaces

SEMI E78 — Electrostatic Compatibility – 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

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

ANSI ESD STM5.2 — Electrostatic Discharge Sensitivity Testing – Machine Model

ANSI ESD STM5.3.1 — 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

ESD SP10.1 — Automated Handling Equipment

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

注 2: CENNELEC 100015-1 — Elements of a Static Control Program の差し替え。

IEC EN 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)

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

² IEC, 3, Rue de Varembe, CH - 1211 Geneva 20
Switzerland (www.IEC.org.ch)

³ JEDEC, 2500 Wilson Blvd., Arlington, VA 22201-3834, USA (www.jedec.org)

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

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 その他の文書

89/336/EEC — Directive on Electromagnetic Compatibility – European Commission⁴

BS EN 50082-2 — Electromagnetic Compatibility (EMC). Generic Immunity Standards. Immunity for Industrial Environments, British Standards Institution (BSI)⁵

ITRS 2005 — International Technology Roadmap for Semiconductors – ITRS⁶

MIL-STD 883 — Test Method Standard – Microcircuits (Method 3015.7 – Electrostatic Discharge Sensitivity Classification), Defense Supply Center Columbus⁷

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 定義

5.1.1 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, 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)。

5.1.2 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。

5.1.3 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。

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

5.1.4 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。

5.1.5 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。

5.1.6 ESDシミュレータ — 製品または装置の一部分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。

5.1.7 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。

5.1.8 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(SEMI E44に定義されている)。

5.1.9 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。

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

⁵ BSI, 389 Chiswick High Road, GB - LONDON W4 4AL; Website: www.BSI-global.com

⁶ ITRS Global Communication Center, SEMATECH, 2706 Montopolis Drive, Austin, TX 78741, USA; Website: <http://public.itrs.net>

⁷ Defense Supply Center Columbus, P.O. Box 3990, Columbus, OH 43216-5000, USA; Website: www.dscc.dla.mil

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12.5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。静電気に関連した問題が完全に取り除かれたということを保証するレベルを決定することは困難であろう。このガイドの目的は、プロセス装置の中で問題を起こしそうな静電気レベルをユーザーが特定し、ユーザーがこれらの問題を小さくするための最適な静電気制御方法を示すための手助けをすることである。このガイドは、静電気を測定し、それを評価するための静電気測定方法を定義するために必要な見識をユーザーに提供する。

6.4 ESDによる損傷(ESD Damage) — 直接放電(Direct Discharge)

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。

6.4.2 特定の対象物の損傷のしきい値を決定するための確立された方法が存在する。パッケージされたデバイスをテストする場合は、様々な型式のESDシミュレータが使用される。デバイスのテストの詳細については、ESD Association standards ESD STM5.1, ANSI ESD STM5.2, ANSI ESD STM5.3.1, JEDEC JESD22-A114, JESD22-A115, JESD22-C101 またはMIL-STD 883 を参照のこと。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テストする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大きく異なる可能性がある。

6.4.3 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、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。

6.4.4 製造設備では、製品と直接接触する可能性がある対象物の電荷を知ることが重要である。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。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。

6.4.5 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はないが、静電界測定によりESDの脅威を評価できる可能性がある。

6.5 ESDによる損傷(ESD Damage) — 誘導電荷(Induced Charge)

6.5.1 対象物に電荷が誘導されて、結果的にESDによる損傷を引き起こすことがある。製品の一部(エポキシパッケージ等)やレチクル(石英基板等)が帯電し、電荷の分離を誘導して製品の別の部分(リードピン等)やレチクルの別の部分(クロムトレース等)の帯電を引き起こすことがある。リードピンやクロムトレースが接地された部分と接触するとESDが発生する。クーロンメータやファラディカップおよびSEMI E43 の方法を使用して、エンドユーザーは製品やレチクルを試験してESDによる損傷が発生した場所の静電荷のレベルを決定しなければならない。

6.5.2 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。エンドユーザーは、静電界計を使用してSEMI E43 の方法で製品やレチクルをテストし、静電荷による電界レベルを決定しなければならない。

6.5.3 電界が変化すると、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。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。関連情報 2 の参考文献を参照すること。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。

6.5.4 最後に、ゲート酸化膜が薄くなるにつれて、ウェーハ表面の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。

6.6 微粒子吸引 (Particle Attraction)

6.6.1 対象物の表面電荷による静電界によって微粒子の静電吸引 (ESA) が発生することがある。この影響の分析と測定方法についてはSEMI E78 とSEMI E43 を参照すること。

6.6.2 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。

6.6.3 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。

6.6.4 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。

6.6.5 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。

6.7 装置ESD (Equipment ESD)

6.7.1 装置ESDのイミュニティは、製品やレチクルの損傷に対するイミュニティよりはかなり高いレベルで確立されている。¶ 12.5 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。

6.7.2 装置ESDに対するイミュニティは、一般に、IEC 61000-4-2、欧州CE準拠のBS EN50082-2、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。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。

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。

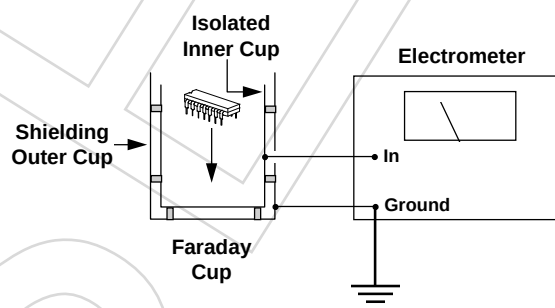


図 1
ファラディカップによる電荷測定
Faraday Cup Charge Measurement

7.2 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。

7.3 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。

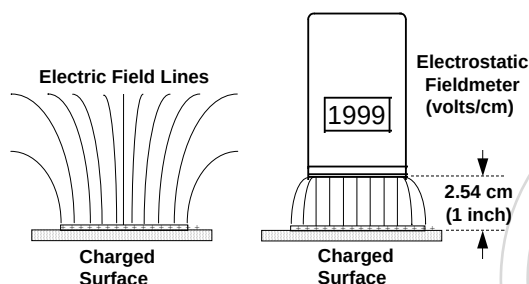


図 2
静電界測定
Electrostatic Field Measurement

7.4 小さな対象物や表面については、静電気電圧計が適している。

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, ESD, EMI 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 ユーザー、材料のサプライヤー、設備設計者／製作者、装置製造者は、以下の内容について合意し、文書化しなければならない。

- 実行される試験の型
- 試験場所 (試験チャンバ内、実際の使用場所等)
- 試験実施者
- 試験サンプルの数と型
- 測定回数
- 許容される試験結果

9.2 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、空気流量等)について合意し、文書化しなければならない。

9.3 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装置の運転履歴(例:ウォームアップ時間、キャリアの型、処理する製品数、運転速度等)について合意し、文書化しなければならない。

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(§ 4 参照)。

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参照する(§ 4 参照)。

12 手順

12.1 § 6 と § 7 を参照し、§ 4 の適切な試験方法を参照のこと。

12.2 ESDによる損傷(ESD Damage)

12.2.1 ユーザーは、その製品の製品損傷しきい値を規定する必要がある。集積回路の測定方法は、SEMI E78 の関連情報 1 および § 4 に記載した文書に記述している。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、これらの試験方法の中で使われた計測に適合できる。

12.2.2 ¶ 12.2.1 で参照された試験方法を使用する代わりに、ユーザーは製品とレチクルの形状に基づいた ¶ 12.5 の表 1 に記載されている許容可能な静電気レベル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。

12.2.3 ESD損傷レベルの測定は、クーロン単位(C)、あるいはより都合のよいナノクーロン($\text{nC} = 10^{-9} \text{ C}$)の単位で行う。

12.2.4 ファラディカップ法を使用して製品、キャリア、装置部分の静電荷レベルを決定する。¶ 7.1 を参照すること。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。

12.3 静電界(Electrostatic Field)

12.3.1 ユーザーは、クリーンルームの設計者、材料サプライヤ、装置の製造者、レチクルの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。

12.3.2 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、キャリア、装置表面が含まれる。

12.3.3 測定は、すべての品目について少なくとも 3 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については、SEMI E43 を参照のこと。

12.3.4 静電界の測定値は、V/cm または V/inch で表現される。選択された静電気レベルに準拠していることを実証するには、代表的には 5 回の測定で十分である。

12.4 静電荷による問題から保護するためには、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を含め、かつこれらに限定されず、半導体工場のすべての要素は、¶ 12.5 の表 1 に示す静電気レベルを満たさなければならない。

表 1 設備の推奨静電気レベル
Recommended Facility Electrostatic Levels

年 ノード	静電気放電 nC	静電界	
		V/cm	V/inch
2000 180 nm	2.5–10	200	500
2002 130 nm	2.0	150	375
2004 90 nm	1.0	100	250
2006 70 nm	0.6	80	200
2007 65 nm	0.5	70	175
2009 50 nm	0.3	55	140
2010 45 nm	0.25	50	125
2013 32 nm	0.125	35	88
2015 25 nm	0.08	28	70
2018 18 nm	0.04	20	50

12.5 この文書内では、SEMI E78 での推奨される装置静電気レベルとの混同を避け、半導体の国際技術ロードマップ (International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)) での主要な技術ノードと同期させることが望ましい。表 1 では許容可能な設備静電気レベルの推奨値を挙げ、ITRS 2005 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、半導体製造設備は表 1 で示したレベルに一致させるべきであろう。

12.5.1 静電気の制御材料の使用に際しては多くの決定を行わなければならない、これらの材料を装置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、ユーザーが将来の自社半導体設備の仕様についても考慮したいと考えても不思議ではない。例えば、設備のスタートアップ時には 180 nm 寸法形状で処理するかもしれないが、5 年後には 90 nm となる可能性がある。設備は、90 nm の使用に推奨される限界値に対して設計する必要があるかもしれない。

12.5.2 表 1 のレベルでは、製造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。特殊な部品の製造業者は、より低いレベルを選択することが必要な場合がある。ガリウム砒素半導体や磁気抵抗 (MR) ディスクドライブのリードヘッドの製造業者、汚染によりかなりのロスが発生している、あるいは特殊な装置を使用する、などはその例である。

12.6 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。

12.7 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 連続して 5 回の測定を実行しなければならない。5 回の測定値の平均は推奨レベルを超えてはならない。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。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。

15.2 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。適切な条件下では、静電電圧計は、帯電した対象物からの距離にかかわらず高い精度と安定性を示す。静電電圧計のプロブは、アークオーバーなしで帯電面に非常に近づけることができ、小さな帯電対象物の電界を決定できる。

付属書 1

推奨静電気レベルの決定

注意：本付属書内資料は、SEMI E129 の公式な一部であり、完全な投票手続きによって 2006 年 5 月 16 日に承認された。

A1-1 推奨レベル

A1-1.1 このガイド内で推奨する電荷と静電界レベルは、特定のデバイスまたはプロセス装置の、規定された保護しきい値に基づくものでない。むしろ、その目的は、懸念がありそうな ESD 事象や静電気レベルのタイプを分類することである。設備設計者とユーザーは、このガイドをそれぞれの必要性に従って適用するために、自らの製品とプロセスに対して最も懸念される事象のタイプを決定しなければならない。特定のデバイス損傷しきい値は、個々の基準で最適に決定されている。

A1-2 ¶ 12.5 の表 1 におけるガイド推奨値の正当化

A1-2.1 ESD 損傷の推奨値 (Recommendations for ESD Damage)

A1-2.1.1 半導体デバイスを保護する推奨レベルの分析は、SEMI E78 の付属書 1 に記載されている。SEMI E78 の関連情報 1 では、半導体デバイスの ESD 損傷しきい値を決定するための試験方法について説明している。デバイスは、その動作パラメータの変化を測定できない最高 ESD ストレス値に従って分類される。この項は、SEMI E78 の議論に基づいて ESD 損傷を最小化するガイド推奨値を決定することを試みている。

A1-2.1.2 SEMI E78 に記載されている情報は、装置によって取り扱われる半導体に関して決定された。1998 年に発行された時には、それは最新の情報であった。形状が小さくなるにつれてデバイスの損傷しきい値は小さくなり続けており、SEMI E78 で説明された分類システムが変更されているわけではないが、多くのデバイスがより感度の高い分類範囲に入りつつある。

A1-2.1.3 SEMI E78 での推奨される設備静電気レベルとの混同を避け、国際半導体技術ロードマップ (International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS)) での技術ノードと同期させるために、SEMI E78 および ITRS と本文書を調和させることが望ましい。¶ 12.5 の表 1 では許容静電荷レベルの推奨値を挙げ、ITRS 2005 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。

A1-2.2 ESD 損傷に対する帯電レベル (Charge Levels for ESD Damage)

A1-2.2.1 関連情報 § R1-1 では、半導体デバイスの ESD 損傷しきい値を決定する試験方法について説明している。デバイスは、その動作パラメータの変化を測定できない最高 ESD ストレス値に従って分類される。この項は、関連情報 § R1-1 の説明に基づいて ESD 損傷を最小化するガイド推奨値を決定する試みである。

A1-2.2.2 関連情報 ¶ R1-1.3 で説明したように、ESD シミュレータ試験は各モデルで別々の容量値を使う。人体モデル (HBM) では 100 pF、機械モデル (MM) では 200 pF である、そして帯電デバイスモデル (CDM) では試験されている実際のデバイスの容量値となる。いずれにせよ、それはデバイスに損傷を与える電荷 (電荷=電圧×容量) となる。従って、¶ 12.5 の表 1 のガイド推奨値が電荷の単位 (例えば nC) で表記されていることは適切であると思われる。

A1-2.2.3 デバイスのデータシートに反映される業界の試験に基づく、半導体デバイスの ESD イミュニティは広範囲となり、使用される ESD シミュレータのタイプに依存する。HBM タイプの ESD 静電気放電は、人間による取り扱いによるものであり装置内ではほとんど発生しない。帯電した装置部品がデバイス (つまり MM) に接触すること、帯電したデバイスが機械部品 (つまり CDM) に接触することが、装置内のデバイスへの ESD 損傷の一番の原因であると思われる。