

SEMI E43-0301

オブジェクトおよび表面上の静電気の電荷を測定するためのガイド

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たもので、North American Metrics Committee が直接責任を負うものである。現版は、2000 年 11 月 22 日に North American Regional Standards Committee によって承認された。2000 年 12 月にまず www.semi.org で入手可能となり、2001 年 3 月に発行に至る。初版は 1995 年発行。

本文書は 2001 年全面的に書き換えられた。

1 目的

1.1 本書の目的は、以下に記載する範囲および制限と一致する表面またはオブジェクト上の静電気の電荷の再現可能な測定方法に関するガイドを確立することである。

2 範囲

2.1 ここに説明する測定方法は、すべての環境におけるオブジェクトおよび表面上の一般的な静電荷レベルを特徴付けるために適用できる。本書では、許容できる程度の計装、校正、および測定技術を説明している。付録には、特定機器および校正手順に関するバックグラウンド情報、加えて有益な一般的静電気調査の実施に関する情報および助言を含んでいる。

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 電荷を直接測定するには、通常クーロンメータが必要である。絶縁した導体上の電荷は、クーロンメータの入力プローブを導体に接触して、クーロンメータに電荷を移動することで測定することができる。絶縁している導体および絶縁体上の電荷は、荷電したオブジェクトを、クーロンメータに接続したファラデーケージ内に入れることによって、測定することができる。これらの測定は、測定時に電荷レベルの変化を避けるため搬送プロセスに注意を払えば、比較的正確に行うことができる。

3.2 電荷の直接測定は、実行できないことがしばしばある。そのような場合は、静電電界計(電界計)または静電電圧計(表面電位計)を用いて、帯電した表面からの静電界を検出することで、電荷を間接的に測定する。

3.3 本ガイドは、高精度の静荷測定を行う計器および技術に関しては言及しない。モールドされたデバイスのような、小さなオブジェクト上の静電荷を測定するには適当でない。得られた測定値は、広いエリアの表示であり、正確／微細ではない。測定前に予め表面の条件を整える方法、摩擦帯電、抵抗、および減衰レートなど、材料の基本的な静電気特性を特徴付ける方法は、本書に含まれない。本ガイドを使った同じ表面およびオブジェクトの測定値には、二つの測定を行う時間に差があるため、表面およびオブジェクトの環境、履歴が異なることによって違いが生じることがある。

4 参照スタンダード

4.1 なし。

5 用語

5.1 静電気放電(ESD) — 高電界によって誘起された電荷の急激な自然移動。

5.2 接地(ground) — オブジェクト、電気機器と大地、大地と同電位の電気回路の一部、との間を導電させる接続。

5.3 接地接続(grounded) — 大地または他の大地に替わって機能する導電体との接続。

6 安全性

6.1 非常に高い帯電電圧(>30,000 ボルト)の測定 — 非常に高い帯電電圧(<30,000 V)の測定は、測定器の測定範囲を越えることおよび測定器への ESD 発生を避けるために、長い距離をとって行う必要があることがある。

6.2 移動するオブジェクトや表面の測定 — 移動するオブジェクトや表面の帯電電圧を測定する時は、正しい距離を維持し、接触を避けることに注意を払うべきである。これは機械的損傷または人的被害なく、測定を確実にするためである。

6.3 静電電圧計(表面電位計)を用いた測定 — 作業者に電撃の危険のある高電圧が測定プローブの表面に印加される可能性があるため、操作中は静電電圧計(表面電位計)プローブに触れるのを避ける。

7 装置および性能検証方法

7.1 装置

7.1.1 静電気ロケータ／電界センサ／電界計 — 静電電界計(電界計)は、そのセンサでの静電界の値を測定するものである。静電電界計(電界計)は帯電したオブジェクトから特定の距離において校正されており、その距離で使用することが推奨される。電界計(電界計)は、非常に高い電位/帯電レベルにある表面測定および長期安定性が重要でない場合の測定を行う場合の、一般調査および検査に最も適している。低い電位の表面測定または表面電位の高い分解能が必要な場合の測定には、不向きである。

7.1.1.1 静電気ロケータ／フィールド(電界)センサ／電界計は、以下“電界計”と呼ぶこととする。イオン化空気が存在するところでの測定には、チョッパ安定型電界計が必要であることに注意すること。電界計は、(本ガイドに記述する)静電界源からセンサまでの距離が、2.54 センチメートル(cm) = 1 in か、またはそれ以下で静電界測定ができるものでなければならない。しかしながら、固定距離で使用されている電界計に対しては、7.2.2 項を参照し、適用できれば本書にある値に調整すること。

7.1.2 静電電圧計(表面電位計) — 静電電圧計(表面電位計)は、そのセンサ(プローブ)での静電界をうち消すように働く。静電電圧計(表面電位計)は、電荷が形成する静電界の近似レベルと存在を示す。適切な条件下では、静電電圧計(表面電位計)は、静電電界計と比較して、帯電レベルのより良い近似値が得られる。静電電圧計(表面電位計)は、電界計と比べ、比較的ドリフトがなく、環境に対してより安定している。

7.1.2.1 静電電圧計(表面電位計)は、装置内に固定設置するのに適している。静電電圧計(表面電位計)は、帯電物体からの距離に依存せずに高い精度を示す。従って、それは電界計と比べて、より高精度で、かつ再現性のある測定を行うのに適している。プローブは、アーク放電することなく帯電表面に極めて接近させて設置することができる。また、適切な条件下では、表面上の小さな面積を測定することができる。

7.1.2.2 静電電圧計(表面電位計)は、20kV 以下の電位で表面の測定を行う場合、またはプローブから表面までの距離が校正または固定できない場合に最も適している。それはまた低い表面電位の測定、または表面上の小さな面積の測定に最適である。静電電圧計(表面電位計)は、20kV 以上の非常に高い表面電位を測定するには、不向きである。

7.1.2.3 静電電圧計(表面電位計)は、以下“表面電位計”と呼ぶ。

7.1.3 エレクトロメータ — エレクトロメータは、非常に高い入力インピーダンスを持つ接触型電圧計である。理論的には、この入力インピーダンスは無限度でなければならない。実際上は、絶縁材料固有の物理特性および入力端子間の浮遊漏洩経路で制限を受ける。低電圧エレクトロメータ(200 Volt 以下)は、通常 10^{14} オームの入力抵抗、0.1%以上の精度を持っていて、マイクロボルト単位の電位を測定することができる。高電圧エレクトロメータ(キロボルト)は、抵抗分圧器に通常依存し、1%範囲の精度の 10^{11} オーム範囲の一般的な入力抵抗を持つ。非常に小さな帯電した構造物上の電圧位を測定する場合には、エレクトロメータの入力インピーダンスに相当する負荷値を評価および理解することが重要となる。

7.1.4 チャージプレートモニター チャージプレートモニターは、一般的に使用されている空気イオン化装置（イオナイザ）の性能をモニターするための計器である。モニタリングは、電気的に絶縁された 15 cm × 15 cm (6 inches × 6 inches) の金属プレート、以下“プレート”と呼ぶ、を用いて行われる。計器は、一般的に、プレートに既知の電圧（プラス、マイナスいずれか 1000 または 5000 ボルト）を印加する手段、プレート上の電圧を測定するプレートセンサおよびプレートを初期帯電のあるパーセンテージまで放電させるのに要する時間を測定する測定回路を備えている。本ガイドの目的では、7.2 項に説明した性能検証のために、チャージプレートモニターまたは分離絶縁されたプレートアセンブリを使用することができる。

7.2 装置性能の検証（信頼性テスト）

7.2.1 クーロンメータの性能検証 — 図 1 を参照

7.2.1.1 各測定の前に、クーロンメータをゼロ（リセット）にする。

7.2.1.2 基準校正用コンデンサを保守する。これはポリスチレンまたはポリプロピレン 10nF コンデンサ（Mallory SX-110 または同等品）であるのが望ましい。コンデンサの値を 1% 以下の精度で測定する。基準校正用コンデンサを慎重に取り扱うことが重要である。そのコンデンサの本体を保持したり、指で両リード線に触れて放電させたりしてはならない。コンデンサを持つ場合には、片方のリード線だけで保持すること。クリップリード線を使って、接地とコンデンサのこのリード線間を接続しなさい、もう一方のコンデンサリード線を電源の“出力”側とクーロンメータの入力端子間に移動しなさい。

7.2.1.3 基準校正用コンデンサを電荷源（電源）で 1 ボルトを印加する。印加電圧をコンデンサの値で乗じることにより、コンデンサの電荷量を計算する。例えば、 $1V \times 10\text{ nF} = 10\text{ nC}$ の電荷。

7.2.1.4 コンデンサから電源の出力端子を外す。

7.2.1.5 クーロンメータの入力プローブをコンデンサに接続し、クーロンメータ内にコンデンサ内の電荷を放電させる。クーロンメータは、計算値を示すはずである。

7.2.2 電界計および電圧計（表面電位計）性能の検証 — 図 2 を参照のこと。

7.2.2.1 テスト電圧の選定 — 対象の静電界レベルに基づいて表 1 から一つ以上のテスト電圧を選定する。

表 1 テスト電圧

対象静電界	テスト電圧
4,000 volts/meter または 100 volts/2.5 cm 以下	100 volts
40,000 volts/meter または 1000 volts/2.5 cm 以下	1,000 volts
200,000 volts/meter または 5,000 volts/2.5 cm 以上（注 1 参照）	5,000 volts

注1 電界計または表面電位計性能の検証に、5 000 ボルト以上が必要な場合、この表をガイドとして使用し、テスト電圧の選定はユーザに委ねる。

7.2.2.2 計器の性能検証 — 希望の検証電圧まで、導電性テストプレートに電圧を印加する。テストのために適切な電源またはチャージプレートモニターの使用が推奨される。

7.2.2.3 メータおよびオペレータの接地の確認 — 電界計、表面電位計およびオペレータが接地されていることを確認する。メータの電源を入れ、製造業者の取り扱い説明書に従って要求の通りゼロ調整を行う。

7.2.2.4 センサヘッドの方向付けまたは位置決め — 電界計または表面電位計のセンサヘッドをその中心で、製造業者が推奨する測定距離の 2 倍以上の距離でプレートの表面に平行になる方向に向けるかまたは指し示すようにする。センサヘッドをチャージプレート方向へ、メータ表示が上記 7.2.2.1 項のプレートに加えた電圧と等しくなるまでゆっくり移動する。センサヘッドからプレートの表面までの距離を測定し、記録する。上記 7.2.2.1 項のプレート電圧と記録した距離を使い、電界計の静電界強度を算出する。図 2 の電界計および表面電位計の性能チェックを参照のこと。

7.2.2.5 7.2.2.4 項の選択 — 製造業者の取扱説明書に基づき設定／固定した距離において測定を行う。7.2.2.4 項のように、電界計または表面電位計のセンサヘッドを配置し、距離は設定距離とする。表示値(メータ上の)は、プレートに加えた電圧の 5%以内の精度でなければならない。

注 1: 7.2.2.4 項または 7.2.2.5 項は、殆どのメータに適用可能である。しかし、すべての場合において、電界計または表面電位計の製造業者の取扱説明書をよく読んで、理解し、かつそれに従わなければならない。

7.2.2.6 その他の要求されるテスト電圧 — その他の要求されるテスト電圧に関しては、7.2.2.4 項および 7.2.2.5 項を繰り返す。

7.2.3 エレクトロメータの性能検証 — 既知の電源に接続し、別の基準電圧計の指示値と比較することにより、エレクトロメータの性能を時々確認するのは良いやり方である。

7.2.4 メータの安定性 — すべての測定機器は電源を入れ、製造業者が推奨する時間ウォームアップして事前に準備することが望ましい。

7.2.4.1 各測定の前にクーロンメータをリセット(ゼロ調整)する。

7.2.4.2 製造業者の指示に従い、電界計または表面電位計のゼロを確認する。通常、それはプローブが接地表面を測定している間に実施する。メータのゼロ点が、表 1 に含まれるどの範囲に対してもテスト電圧に対し 5%以上ドリフトする場合は、メータはそのすべての範囲にわたって測定に使用するの是不適当である。別のテスト電圧を使用すれば、表 1 に含まれる別の範囲での使用に適切であることもある。選定したテスト電圧でメータの校正を再度検証すること。

7.2.4.3 エレクトロメータのゼロ調整 — 数種の古いアナログモデルを除いて、一般的にエレクトロメータのゼロ調整の規定はない。アナログまたはデジタル表示付きの数種のエレクトロメータは、指示および相対的(デルタ)測定値のオフセットが可能である。しかし、エレクトロメータのゼロ電位は、一般的に製造業者が設定するものであり、通常の校正の一部である。入力端子を互いに短絡することによりゼロを随時確認し、ゼロ表示が製造業者の仕様が満たしていることを検証するのは良いやり方である。

7.2.4.4 装置の精度および限度に関する注意は、関連情報 1 を参照のこと。

8 サンプリング

8.1 本ガイドのためのサンプリング方法は、ユーザの用途の要求条件によって、決めなければならない。静電気調査は、調査するエリアにおける実際の静電気の帯電状態をより明確にするために、時間を変えて繰り返し行うのがよい。結果は、環境(例えば、湿度)およびワークステーションの設定／条件により異なる。しかしながら、(ユーザの)規定最大値または基準値を超える測定は、測定装置のゼロ調整を実施後、一回以上繰り返し行うことが望ましい。これは前の表示を実証するためであり、前の表示で変化、移動する静電界の場合には、範囲／境界を確立するためである。

9 テスト方法および測定

9.1 クーロンメータ測定

9.1.1 クーロンメータの検証 — 上記 7 項に従い、クーロンメータの性能を検証する。各測定の前に、製造業者の取扱説明書に従って、ゼロチェック／リセットする。クーロンメータおよびオペレータが接地されていることを確認にする。

9.1.2 装置の選定 — 電荷の直接測定にクーロンメータを用いる。フィードバック型クーロンメータは、最も確実に電荷移動する電荷測定として推奨される。シャント型クーロンメータは、電荷を完全に移動せず、かつフィードバック型クーロンメータのように使い方も容易ではない。ファラデーケージを使用する場合は、ケージは測定するオブジェクトを収容するのに十分に大きくなければならない。ファラデーケージは、絶縁材料および導電体上の電荷を測定するために使用される。

9.1.3 測定 — 測定エリア周辺のすべての表面が接地(測定の浮遊静電界の影響を最小にするため)されている場合、および測定手順において一貫して系統だった取扱い方法が採用されている場合に、最良の結果が達成される。オペレータは、接地用のリストバンドを使って接地するのが望ましい。

9.1.3.1 絶縁された導体 — クーロンメータから絶縁された導体までリード線で接し、絶縁された導体の電荷を測定する。

9.1.3.2 ファラデーケージ測定 — 図 3 を参照。オブジェクト上の電荷を測定するためには、オブジェクトを絶縁された工具で注意深く取り出し、ファラデーケージ内にその帯電したオブジェクトを置く。取扱い上の特別な配慮は次のとおり。帯電したオブジェクトをファラデーケージ内に移動するプロセスで、電荷を与えたり、失ったりすることのないように注意する。帯電したオブジェクトが別の物の表面とこすれあったり、接触したりしてはならない。これはオブジェクトの電荷を増減する。

9.1.4 制限 — クーロンメータのドリフトレート以下の大きさの電荷測定を行ってはならない。

9.2 電界計の測定

9.2.1 電界計の検証 — 上記 7 項 の通り、電界計性能を検証する。定期的に、製造業者の取扱説明書に従い、ゼロ調整をチェック/リセットする。電界計およびオペレータが接地されていることを確認にする。

9.2.2 測定 — 本ガイドによって行われた測定は、顧客の仕様に一致する単位を使って、記録しなければならない。これまでに製造された最も一般的な電界計には、ユーザの行った校正および英国式度量衡 volt/inch または固定インチの距離における volt での測定を反映した操作取扱説明書が付属しており、その場合、生データは直に報告/記載されている。国際標準コミュニティは、単位を SI (国際基準) メートル単位で表すことを規定しており、7.1.1.1 項のSI変換係数を適用する。しかし、定義により、電界は volt/m で表し、表 2 に従って表現される。

9.2.2.1 例えば、100 volt でのテスト電圧で校正されたメータを使用するときは、4,000 volts/m 以下の測定は、最も近い 400 volts/m で表現される。4,000 volts/m 以上の測定は、> 4,000 volts/m で表現される。3 つのすべての電圧で校正されたメータについては、4,000 volts/m 以下の測定は、最も近い 400 volts/m で表現され、4,000 と 40,000 volts/m 間の測定は、最も近い 4,000 volts/m で表現され、また 40,000 volts/m を超える測定は、最も近い 40,000 volts/m で表現される。

表 2 測定の単位

テスト電圧	下記の読み値に対して	下記の倍数で表現	下記の読み値に対して	表示方法
100 V	< 4,000 V/m	400 V/m	> 4,000 V/m	>4,000 V/m
1,000 V	< 40,000 V/m	4,000 V/m	> 40,000 V/m	> 40,000 V/m
5,000 V	< 200,000 V/m	20,000 V/m	> 200,000 V/m	200,000 V/m の倍数

注：検証装置/設置またはそのような装置の有用性の安全性の観点から、1000 volts/2.54 cm を超える測定は、低い精度が認められる 1000 volts でのメータの検証に基づいて行われる。

9.2.3 測定の制限 — 本ガイドによって行われた測定は、センサヘッドの真下の点からの測定距離の 1.5 倍の半径に対して平坦な表面に対してのみ有効である。平坦ではない表面に関しては、規定測定距離を極力維持できるように、表面全体にわたりセンサを移動して測定する。これらの測定は、9.2.2 項に従い、メータの測定範囲に適用可能な円形のものとしてだけ、説明することができる。図 4 の半導体ウェハキャリアの測定例を参照のこと。環境および測定のテスト方法の注意についての関連情報 2 を参照のこと。

9.3 表面電位計の測定 — 図 4 を参照。

9.3.1 表面電位計の検証 — 上記 7 項の通り、電圧計性能を検証する。定期的に、製造業者の取扱説明書に従い、ゼロ調整をチェック/リセットする。表面電位計およびオペレータが接地されていることを確認にする。

9.3.2 表面電位計の選定 — 測定対象オブジェクト上の帯電予測レベルと一致する測定範囲を持つ表面電位計を選定する。高すぎる測定範囲の選定は、測定電圧精度を犠牲にすることになる。一方、低すぎる測定範囲選定は、範囲外測定の原因となる(飽和)。

9.3.2.1 移動するオブジェクトの測定を行うには、予測される最高速度で表面電位計プローブを通過するとき、そのオブジェクトの帯電を検出するために十分な応答速度を持つ表面電位計を選定する。

9.3.2.2 表面電位計用のサイドビューまたはエンドビュープローブは、プローブを装置内に設置する場合、ターゲットオブジェクトまたは表面の測定に最適なものを選定する。

9.3.3 測定 — 測定を行う表面の正面にプローブを配置する。オブジェクトまたは測定する表面から、プローブの開口直径の 2 倍以下に、プローブを配置した場合、最良の結果が得られる。このより接近した測定距離で、外部静電界の影響が最小となる。

9.3.3.1 小さな表面積を解析するためには、プローブと測定対象表面との距離が、測定する表面積の直径の 1/5 未満でなければならない。大きな測定距離では、プローブで解析する表面積が、測定したい表面積を超えてしまうことになり、また測定に対する外部の静電界の影響を受ける可能性と合わせて、測定精度が低下することがある。

9.3.4 測定の制限 — 絶縁された導体の帯電レベルを測定することができる。絶縁体の表面の電荷分布は均一ではない。そのために、絶縁体上で測定された帯電レベルは、特定な範囲内の静電界強度を示すものと考えられる。

9.4 エレクトロメータの測定 — エレクトロメータによる測定は、その他の電圧計またはマルチメーターの測定と非常に類似している。

9.4.1 エレクトロメータの“コモン”端子をテストリード線を通して、基準面またはグランドに接続する。“ホット”または信号リード線をオブジェクトまたは測定したいテストポイントに接続する。ある種のエレクトロメータの測定には、ガードリングや電氣的にグランドされたシールドやセパレートワイヤが使われている。それを装置の製造業者が推奨する通り接続する。

9.4.2 汎用電圧計とエレクトロメータの主な違いは、エレクトロメータの高い入力インピーダンスである。したがって、高電圧測定の場合に、エレクトロメータは、浮遊電界によって発生した電圧信号、ノイズ電流を伴う電位、および意図的または意図的でない周囲空気のイオン化によって生じたアーチファクトを検出する。例えば、エレクトロメータは、一つの同軸ケーブルの摩擦電気および圧電特性を測定することができる。テストするケーブルをエレクトロメータに接続し、それを折り曲げるか、指で上を叩く。中央の導体上に誘起された電圧を、エレクトロメータで測定することができる。

10 認定

10.1 本ガイドに基づく調査範囲に対する認証は、7 項に基づいて既知の静電界および 9 項の適用可能な事例に従って認定される人(被認定者)がメータを校正し、容認可能な測定を実施できることを確実にするための、認証する人(認証者)用のものである。認証者は、本ガイドで取り上げる装置の校正および測定を行うための教育および/またはトレーニングによって資格を得た者または既に認定された者でなければならない。ESD 協会は、そのトレーニングプログラムを遂行し、National Association of Radio and Television Engineers (NARTE は、ESD エンジニアおよび ESD テクニシャン認証プログラムを管理している。

10.2 既知の電源に対するメーター性能を検証するための実証能力 — 被認定者は、メータをゼロ調整し、テストプレートを帯電させ、また 7 項に従い最低二回の測定を行い、11 項に従って測定値を記録すること。得られた値は、予測値の 5%以内でなければならない。

10.3 サンプルアイテムの許容できる測定に対する実証能力 — 認定者は、被認定者による静電界の測定のため帯電した/無帯電のサンプルアイテム/オブジェクトを取得し、9 項に従って最低二回行い、11 項に従って記録する。

10.4 認証 — 10.2 項に従って、得られた値は、予測値の 12%以内とし、値を得るための方法論は、認定者の観察の結果、許容されるものであるものとする。認証者が個人記録ファイル用の記録書に署名し、または認証者が認定書を発行した時に、被認定者による認定証の永久登録が実現する。R1-3 項を参照のこと。

11 文書化

11.1 メータ校正チェック、基準または実験室の測定、調査アイテム/区域、および/またはその他の静電界測定は、永久保存として記録しなければならない。記録は、一回目の値、二回目/確認値、および観測した許容可能な範囲/境界レベルに対し得られたその後の値である。記録書には、使用したメータ、区域名称、場所、日付、および反対の値をリストアップしたアイテム、値を確認した測定者の氏名およびコメント欄を設けること。