

SEMI E43-0813

物体および表面上の静電気測定のためのガイド

NOTICE: This translation is a REFERENCE COPY ONLY. If differences should exist between the English version and a translation in any other language, the English version is the official and authoritative version.

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。

SEMI スタンダード日本語翻訳版をご利用にあたっての注釈を本文の末尾に記載しております(「すべきである」「しなければならない」について等)。

本スタンダードは、Metrics Global Technical Committee で技術的に承認されている。現版は 2013 年 6 月 4 日、global Audits and Reviews Subcommittee にて発行が承認された。2013 年 8 月に www.semiviews.org および www.semi.org で入手可能となる。初版は 1995 年発行。前版は 2008 年 11 月発行。

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、または物体上の静電気電荷の再現性のある測定方法に関するガイダンスを提供することである。

2 範囲

2.1 ここに説明する測定方法は、半導体製造環境における物体および表面上の一般的な静電気電荷、電圧、電界レベル、および静電気放電 (ESD) の特性を表すために利用できる。本書では、適用可能な装置、校正、および測定技術を説明している。付属書には、機器の具体例および校正手順に関する予備情報に加えて有益な一般的静電気調査に関する情報および助言を含んでいる。

注意： このスタンダードおよび安全ガイドラインはその使用に関連した全ての安全上の問題を取り扱うことを意図していない。この文書の使用者は、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項を決定し、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、クーロンメータが必要である。絶縁された導体上の電荷は、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。絶縁された導体および絶縁体上の電荷は、帯電した物体を、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移送過程に注意を払えば、比較的正確に行うことができる。

3.2 電荷の直接測定は、対象物のサイズや、帯電した物体を元の場所からファラデーケージに移送することが難しいという理由で、実用的でない場合がしばしばある。そのような場合は、電圧測定モードで電界計、表面電位計、またはエレクトロメータを用いるか高インピーダンス接触式デジタル電位計 (HIDVM) を用いて、静電界、または帯電した表面の帯電電位を測定することで、間接的に評価する。

3.3 本文書は、高精度の静電気電荷測定を行う装置および技術に関しては言及しない。測定前に実施する表面の前処理方法、および摩擦帯電、抵抗／抵抗率、および減衰速度のような材料の基本的な静電気特性を導出する方法は、本書に含まれない。本文書を用いた同じ表面、または物体の測定値には、二つの測定を行う時間の違いによる表面、または物体の環境、または履歴が異なることによって差が生じることがある。

4 参照規格および文書

4.1 SEMI スタンダードおよび安全ガイドライン

SEMI E33 — Guide for Semiconductor Manufacturing Equipment Electromagnetic Compatibility (EMC)

注意： 別途指示のない場合、引用された全ての文書は最新版を指す。

5 用語

5.1 略語

5.1.1 ANSI (American National Standards Institute) — 米国規格協会

5.1.2 AHE (automated handling equipment) — 自動化装置

5.1.3 CDM (Charged Device Model) — デバイス帯電モデル

5.1.4 DC (direct current) — 直流

5.1.5 EED (ESD event detector) — ESD イベント検出器

5.1.6 EMC (electromagnetic compatibility) — 電磁環境両立性

5.1.7 EMI (electromagnetic interference) — 電磁妨害・電磁干渉

5.1.8 ESD (electrostatic discharge) — 静電気放電

5.1.9 ESVM (electrostatic voltmeter) — 静電気電圧計

5.1.10 HBM (Human Body Model) — 人体モデル

5.1.11 HIDVM (high-impedance contacting digital voltmeter) — 高インピーダンス接触式デジタル電位計

5.1.12 IC (integrated circuit) — 集積回路

5.1.13 IEC (International Electrotechnical Commission) — 国際電気標準会議

5.1.14 iNARTE (International Association for Radio, Telecommunications, and Electromagnetics) — 国際無線通信電磁気協会

5.1.15 JEDEC (Joint Electron Devices Engineering Council) — 半導体技術協会

5.1.16 LSR (low series resistance) — 低直列抵抗

5.1.17 MIL-STD (United States Military Standard) — 米軍規格

5.1.18 MM (Machine Model) — マシンモデル

5.1.19 SI (International System of Units) — 国際単位系

5.2 定義

5.2.1 電磁環境両立性 (electromagnetic compatibility [EMC]) — 環境電磁干渉 (EMI) に関して、適正に機能するための電子機器の能力。[SEMI E33]

5.2.2 電磁妨害 (electromagnetic interference [EMI]) — 外部からの電磁誘導、または電磁放射によって電子装置の実効性能や運用効率を低下させる電磁的干渉のこと。[SEMI E33]

5.2.3 静電気放電 (electrostatic discharge [ESD]) — 高電界によって誘起された、急速で突発的な静電気電荷の移動のこと。[SEMI E78]

注 1: ESD は、「ESD イベント」といわれる場合もある。

5.2.4 接地接続 (grounded) — 大地、または大地に代わって機能する導電体との接続。

5.2.5 接地 (ground) — 物体、電気機器と大地と同電位の電気回路の一部分との間の導電体による接続。

6 安全上の注意

6.1 非常に高い静電位 (30,000 V 超) の測定

6.2 非常に高い静電気電位 (30,000 V 超) の測定は、メータのレンジオーバーやメータへの ESD イベントを回避するために、通常行われる 2.54 cm (1 インチ) 以下よりも長い距離をとって実施することが必要な場合がある。

6.3 移動する物体、または表面の測定 (Measurements on Moving Objects or Surfaces)

6.3.1 移動する物体、または表面の静電気を測定する際には正しい距離を維持し、接触を避けるように注意する必要がある。これにより、機械的な損傷、または身体的な傷害のない「良好な」測定が保証される。

6.4 静電気電圧計 (表面電位計) を用いた測定

6.4.1 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

7.1 エレクトロメータ (電荷、または電圧の直接的測定)

7.1.1 エレクトロメータは、電荷、電流および/または電位差 (例えば、電圧など) を測定するための電気機器である。本文書では、エレクトロメータによる電流測定については記述しない。電荷のみを測定するエレクトロメータは、クーロンメータと呼ばれる。

7.1.2 電荷、または電圧測定モードで使用されるエレクトロメータの代表的な特徴のひとつは、非常に高い入力インピーダンスである。この高インピーダンスは、被測定物とエレクトロメータとの間での電荷の移動を防止、または最小化するために必要である。理想的には、入力インピーダンスは無限大が適しているが、現実的には、内在する絶縁材料の物理特性および入力端子間の浮遊リーク電流経路によって制限される。低電圧エレクトロメータ (200 V 未満) は、通常 $10^{14} \Omega$ 以上の入力抵抗で 0.1% より優れた精度を持っている。電圧測定モードではエレクトロメータは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 (キロボルト領域) は、抵抗分圧器に通常依存し、 $10^{11} \Omega$ 領域で 1% の精度の一般的な入力抵抗を持つ。帯電した物体上の電荷、または電圧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し理解することが重要となる。

7.2 電界計/フィールドセンサ

7.2.1 静電電界計 (電界計) は、測定対象物により生成される静電界の値を測定するものである。静電電界計 (電界計) は帯電した物体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。電界計は、非常に高い電位 (例えば、帯電レベル) にある表面の測定および長期間の安定性が重要でない場合の測定を行うような一般的な調査および監査に最も適している。非常に低い電荷量の表面の測定、または表面電荷の高空間分解能が必要な場合の測定には適していない。電界計は、測定中の電界を緩和させる。

7.2.1.1 電界計/静電気ロケータ/フィールドセンサは、以降「電界計」と呼ぶ。イオン化空気が存在するところでの測定には、チョッパー安定型電界計が必要である。電界計は、本書に記載のとおり、電界源から電界計センサまでの距離が、2.54 cm (1 インチ) か、またはそれ以下で静電界測定ができるものが一般的である。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、§ 10.2.4 を参照し、適用できれば本書にある値に調整すること。携帯型電界計は静電ロケータのみとしても利用可能である。なぜなら、精密な測定には、電界計センサと測定対象物との間の距離を固定する必要があるためである。

7.3 静電気電圧計(ESVM)

7.3.1 ESVM は、測定対象物の電位を測定する。ESVM は、静電界を発生する電荷の存在を示し、その計算を可能とする。適切な条件下では、ESVM は電界計と比較して電荷レベルのより良い近似値を与える。電界計と比較して、ESVM は比較的ドリフトがなく、測定環境としてはより安定している。

7.3.1.1 ESVM はより高いレベルの精度を示し、それは測定対象物からの距離に依存しない。したがって、電界計と比較して、静電気電圧計はより正確で再現性のある測定を行うのに適している。そのプローブは弧絡なしに帯電表面に接近でき、適切な条件の下では表面の微小空間領域の分解能を有している。

7.4 高インピーダンス接触式デジタル電位計(HIDVM)

7.4.1 HIDVM は、微細な測定対象物（IC ピンなど）の電位の直接接触測定を実施できる。HIDVM では、高入力抵抗かつ低容量（つまり、高インピーダンス）にすべきである。これは、放電による測定対象物から HIDVM の容量への抵抗を介した電荷の移動を避けるために必要である。

7.4.1.1 IC ピンや同様のサイズの対象物で電圧測定を実施するため、HIDVM では入力抵抗を $10^{14} \Omega$ より大きく、入力容量を 10^{-2} pF 未満にすべきである。いずれの場合も、測定機器の性能を確かめるため、試験用の測定対象物を既知の電圧に帯電して試験を実施すべきである。

7.5 メータの安定性

7.5.1 上述の全ての測定機器は、事前に電源を投入し製造業者の推奨する時間だけ安定化を行わなければならない。

注 2: 機器の精度および限界に関する注記に関しては関連情報 1 を参照のこと。

7.6 ESD イベントの検出

7.6.1 一般的に ESD イベントと呼ばれる静電気放電は、デバイスおよびレチクルの損傷の原因となる。ESD イベントの測定は、実際の ESD への曝露を予測する唯一の直接的方法である。ESD イベントは直接的、または間接的に測定可能である。直接的な測定は、放電経路に電流プローブを挿入し放電電流を測定することにより可能である。このような測定は、精度は最大となるが、稼働中の工場で実施するのは非実用的で、大部分は研究所に限定されている。ESD イベントを識別するための実用的で高感度な方法は、ESD イベントにより引き起こされる特徴的な電磁界の過渡現象を検出することである。この方法は電流プローブ測定の場合の精度を達成することはできない定性的な手法であるが、ESD への現場曝露を見積もる実用的な方法を提供する。

8 十分な測定回数

8.1 個々の測定回数はユーザが決定しなければならない。試験は、調査エリアにおける実際の静電気電荷の状態をより良く再現するために繰り返し実施する。結果は、環境（たとえば、湿度）および作業台の設置状態により変動する。しかしながら、ユーザ定義の限界外の測定値、またはベンチマーク値と異なる測定値の場合には、測定機器のゼロ点チェックを行った後、測定を複数回繰り返さなければならない。これは、以前の測定値を有効性を検証する、および/または以前の測定値が変化した事実から範囲/境界を見直すためである。

9 試験方法、測定方法および性能の検証方法

9.1 クーロンメータによる測定

9.1.1 機器の選択

9.1.1.1 電荷の直接測定にはクーロンメータを使用する。電荷の測定には、電荷の移動が最も完全に行われるためフィードバックタイプのクーロンメータを推奨する。シャントタイプのクーロンメータは電荷の移動が完全には行わず、またフィードバックタイプのクーロンメータと比べて操作が簡単ではない。ファラデーケージを使用する際には、ケージの内容積は測定対象物を収納できる十分な大きさが必要である。ファラデーケージは、導体の電荷と同様に絶縁体上の電荷を測定するのに使用される。

9.1.2 クーロンメータの性能検証（または電荷測定モードで使用するエレクトロメータ）－ 図 1 を参照。

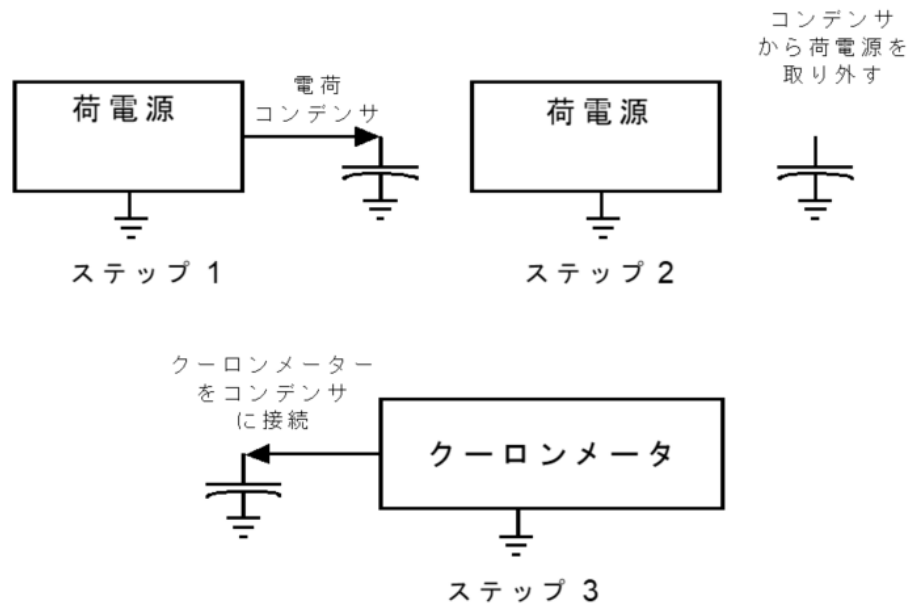


図 1
クーロンメータの性能の検証
『荷電源』は一般的な用語ですか？

9.1.2.1 各測定の前に、機器をリセット(ゼロ調整)する。

9.1.2.2 基準校正用コンデンサを維持管理すること。それはポリスチレン、またはポリプロピレン製の 10 nF コンデンサ（例、クラス C0G、低直列抵抗 – LSR）でなければならない。コンデンサの値を測定して 1% よりも良い値であることを確認する。基準校正コンデンサを非常に丁寧に扱うことが重要である。コンデンサの本体に触れる、または保持してはならない。または、指で両端のリード線に触れて放電させてはならない。コンデンサは片方のリード線のみで保持する。コンデンサのこのリード線と接地間に接続されたクリップリードを使用して、充電源の高電圧側とクーロンメータの入力端子間に位置するもうひとつのリード線を挟み込む。

9.1.2.3 充電源（例えば、電源など）を使用して基準校正用コンデンサを 1 V に充電する。電圧値にコンデンサの容量値を掛けて電荷量を計算する。例： $1 \text{ V} \times 10 \text{ nF} = 10 \text{ nC}$ の電荷量。

9.1.2.4 充電源をコンデンサから取り外す。

9.1.2.5 クーロンメータの入力プローブをコンデンサに接続し、コンデンサからクーロンメータに放電する。クーロンメータは計算値を表示する。

9.1.3 測定

9.1.3.1 （測定への漂遊電界の影響を最小化するために）測定物の周囲の全ての表面が接地されている時、および測定プロセスの際の取扱方法が一貫しておりかつ系統的である場合に、最善の結果が得られる。オペレータはリストストラップを通して接地されていなければならない。

9.1.3.2 絶縁された導体－絶縁された導体上の電荷を測定するために、クーロンメータのリード線を絶縁された導体に接触させる。

9.1.3.3 ファラデーケージによる測定－図2参照。対象物上の電荷を測定するために、対象物を絶縁されたツールで注意して持ち上げ、帯電した物体をファラデーケージ中に入れる。取扱上の特別な配慮：帯電した物体をファラデーケージに移す際に、電荷の追加、または除去が起こらないように注意する。帯電した対象物を、他のいかなる表面とも擦ったり擦り合わせたりしてはならない。このようにすることで、対象物に電荷を追加、または除去することになるからである。

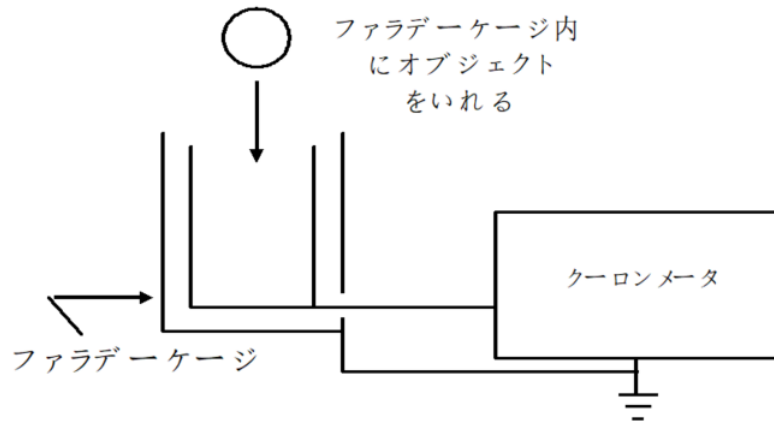


図3
クーロンメータおよびファラデーケージを用いた測定

9.1.4 制限

9.1.4.1 クーロンメータのドリフト速度より小さい電荷の測定を試みてはならない。

9.2 エレクトロメータを用いた電圧測定

9.2.1 機器の選定

9.2.1.1 電圧モードでのエレクトロメータの測定は、他の任意の電位計、またはマルチメータでの測定と非常に良く似ている。通常の電位計とエレクトロメータの大きな違いは、エレクトロメータの入力インピーダンスが数桁高いこと、かつ測定場所近傍にある接地された物体が測定値に影響を及ぼす。

9.2.2 電圧モードで使用されているエレクトロメータの性能検証

9.2.2.1 エレクトロメータを既知の電圧源に接続し、その測定値を基準となる他の電圧計での測定値と比較することにより、エレクトロメータの性能を定期的にチェックするのは良い方法である。

9.2.3 電圧モードで使用されているエレクトロメータのゼロ調整

9.2.3.1 いくつかの古いアナログモデルを除いて、通常はエレクトロメータにゼロ調整を行う機能は無い。アナログ、またはデジタル表示のエレクトロメータのいくつかでは、比較（デルタ）測定と同様に測定値のオフセットが可能である。しかしながら、一般的にエレクトロメータの電子的ゼロ調整は製造業者が行い、通常の校正の一部でなければならない。入力端子を互いに短絡し、ゼロの読取値が製造業者の仕様内にあることを定期的に検証するのは良い方法である。

9.2.4 測定

9.2.4.1 エレクトロメータの「コモン」端子をテストリード線を介して、基準面、またはグランドに接続する。「高電圧」、または信号のリード線を対象物、または測定したい試験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。

9.3 静電電界計およびESVMによる測定

9.3.1 電界計およびESVMの性能の検証－図3を参照のこと。

9.3.1.1 試験電圧の選定－対象の静電電界レベルに基づいて表1から一つ以上の試験電圧を選定する。

表1 試験電圧

対象静電電界	試験電圧
4 kV/m, または 100 V/2.5 cm 未満	100 V
40 kV/m, または 1 kV/2.5 cm 未満	1 kV
200 kV/m, または 5kV/2.5 cm 以上 (注1 参照)	5 kV

#1 電界計, または ESVM 性能の検証に 5 kV/2.5 cm より大きい値が必要な場合, この表をガイドとして使用し, 試験電圧の選定はユーザに委ねられる。

9.3.1.2 装置の性能検証－要求される検証電圧まで, 導電性で絶縁されたテストプレートに電圧を印加する。試験の目的に則した電源, またはチャージプレートモニタの使用が推奨される。

9.3.1.3 メータおよびオペレータの接地の確認－電界計, ESVM, 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, 製造業者の取扱説明書の要求に従ってゼロ調整を行う。

9.3.1.4 センサヘッドの方向, または位置－電界計, または ESVM のセンサヘッドを, その中心で製造業者が推奨する距離の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¶ 9.3.1.1 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¶ 9.3.1.1 のプレート電圧と記録した距離を使い, 電界計の静電電界強度を算出する。図3 参照のこと。

9.3.1.5 ¶ 9.3.1.2 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。¶ 9.3.1.4 のように, 電界計, または ESVM のセンサヘッドを配置し, 距離は規定の距離とする。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3: ¶ 9.3.1.4, または¶ 9.3.1.5 は, ほとんどのメータに適用可能である。しかし, 全ての場合において, 電界計, または ESVM 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。

9.3.1.6 その他の要求される試験電圧－その他の要求される試験電圧に関しては, ¶ 9.3.1.4 および¶ 9.3.1.5 を繰り返す。

9.3.2 製造業者の規定に従い, 電界計, または ESVM 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に含まれるいかなる範囲において試験電圧に対し5%以上ドリフトする場合は, メータはその全ての範囲にわたって測定に使用するの是不適切である。別の試験電圧を使用すれば, 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。選定した試験電圧でメータの校正を再度実施すること。

9.3.3 電界計による測定

9.3.3.1 本文書に従って測定を行い, 顧客仕様に準拠する単位を使って報告すべきである。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 V/inch, または固定イン치의距離における V (Volt) での測定を反映した操作説明書が付されており, その場合, 実際のデータはそれらの単位系で報告/記載されている。国際的な活動や SEMI スタンダードの規約では, 単位を国際単位系 (SI) (メートル単位) で表すことを規定している。

9.3.4 測定の制限

9.3.4.1 本文書に記載されている測定は、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、規定の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、¶ 9.3.1.1 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 参照。

注 4: 環境および測定の試験方法の注意については、関連情報 2 を参照のこと。

9.3.5 静電気電圧計 (ESVM) による測定

注 5: 図 3 参照。

- A) 同じ接地基準にメータとチャージプレートは、同じ接地基準に直接接続する。
- B) センサヘッドがチャージプレートから約 2.54 cm 離れた位置にメータを保持する。
- C) メータの読取値は、チャージプレートに印加した電圧の 5% 以内でなければならない。
- D) 作業員、メータの両方を必ず適切に接地する。

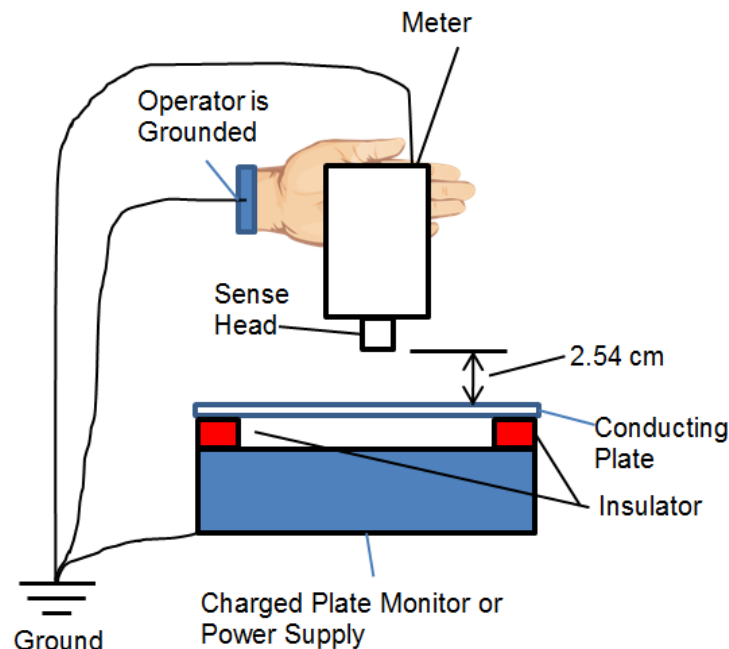


図 3
電界計および ESVM による検証

- A) 製造者の取扱い説明書に従って、メータが正しく接地されていることを確認する。
- B) キャリアの側面および端面に沿って約 2.54 cm の距離でスキャンする。
- C) キャリアから約 2.54 cm 長およびウェーハ上部中央をメータでスキャンする。
- D) B)および C)の最小・最大値を記録する。
- E) 操作者が接地されていることを確認する。

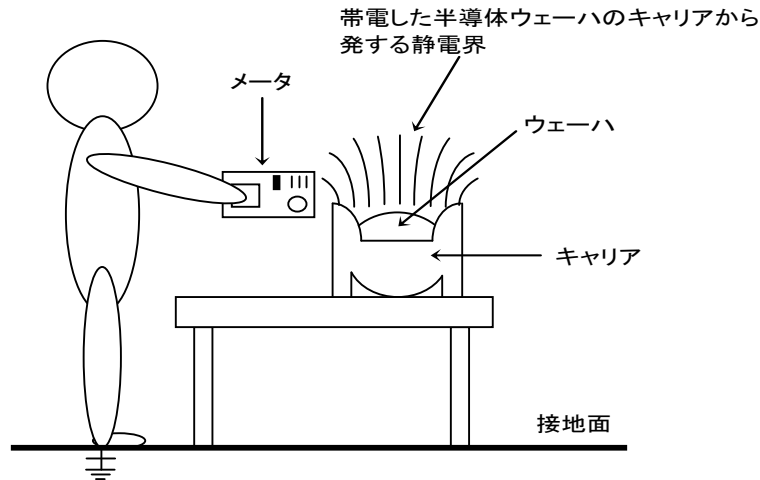


図 4
半導体ウェーハキャリアの測定例

9.3.6 ESVM の選択

9.3.6.1 測定対象物上の静電位/電荷の予想されるレベルに合致した測定範囲の ESVM を選択する。広すぎる測定範囲のものを選択すると電圧分解能が犠牲になり、狭すぎる測定範囲のものを選択すると測定範囲外動作（例えば、レンジオーバーなど）を引き起こすことになる。

9.3.6.2 移動物体を測定するためには、測定対象物が予想される最大速度でプローブの前を通過する際にもそれらの物体を検出できるほど早い応答速度を持った ESVM を選択する。

9.3.6.3 プローブが装置に取り付けられたとき、測定対象物、または表面を最もよく捕捉できるよう、ESVM 用の側面、または端面用プローブを選択する。

9.3.7 測定

9.3.7.1 測定する表面の正面にプローブを配置する。製造業者の推奨する距離にプローブを取り付けると最良の結果が得られる。

9.3.8 測定の制限

9.3.8.1 絶縁された導体上の電圧レベルは測定可能である。絶縁体は表面電荷分布が一様ではない。したがって、絶縁体上で測定される電圧レベルは特定部位での静電界強度を示していると考えられる。ある条件下では、絶縁体の表面電荷量は、ESVM から得られる静電気電位の値から計算可能である。

注 6: 本文書を補完するために、SEMI が ESD ガイド (SEMI AUX021) を出版した。絶縁体上の電荷測定についてのより詳しい説明については ESD ガイドを参照のこと。

9.4 高インピーダンス接触式デジタル電位計による測定 (HIDVM)

9.4.1 装置の選択 Equipment Selection

9.4.1.1 HIDVM を使用した測定は、他の任意の電位計、またはマルチメータを使用した測定と非常に良く似ている。通常の電位計と HIDVM の大きな違いは、HIDVM の入力抵抗が数桁高く、入力容量が数桁低