

SEMI E43-1108

オブジェクトおよび表面上の静電気測定のための推奨実施方法

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。

本スタンダードは、global Metrics Committee で技術的に承認されている。現版は 2008 年 8 月 29 日、global Audits and Reviews Subcommittee にて発行が承認された。2008 年 10 月に www.semi.org で、そして 2008 年 11 月に CD-ROM で入手可能となる。初版は 1995 年発行、前版は 2001 年 3 月に発行された。

注意: 本文書は 2008 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及び制限と一致する表面又はオブジェクト上の静電気の電荷の再現可能な静電気の測定方法に関する実施法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、半導体製造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、電圧、電界レベル、および静電放電を特徴付けるために適用できる。本書では、許容できる程度の装置、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な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、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、電荷を間接的に測定する。

3.3 本文書は、高精度の静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。本文書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 参照スタンダードおよび文書

4.1 なし。

5 用語

5.1 本スタンダード特有の略語

5.1.1 ANSI — American National Standards Institute

5.1.2 CDM — Charged Device Model

- 5.1.3 *EIA* — Electronic Industries Association
- 5.1.4 *EMI* — Electromagnetic Interference
- 5.1.5 *ESD* — Electrostatic Discharge
- 5.1.6 *HBM* — Human Body Model
- 5.1.7 *IEC* — International Electrotechnical Commission
- 5.1.8 *iNARTE* — International Association for Radio, Telecommunications, and Electromagnetics
- 5.1.9 *ITRS* — International Technology Roadmap for Semiconductors
- 5.1.10 *JEDEC* — Joint Electron Devices Engineering Council
- 5.1.11 *MIL-STD* — U. S. Military Standard
- 5.1.12 *MM* — Machine Model
- 5.1.13 *RMS* — root mean square
- 5.1.14 *SED* — static event detector
- 5.1.15 *MOSFET* — metal oxide semiconductor field effect transistor

5.2 定義

- 5.2.1 *electrostatic discharge (electrostatic discharge (ESD))* — the rapid spontaneous transfer of electrostatic charge induced by a high electrostatic field. Also referred to as an “ESD event.”
- 5.2.2 *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。
- 5.2.3 *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分、との間を導電させる接続。

6 安全上の注意

- 6.1 非常に高い静電電圧 (>30,000 ボルト) の測定
- 6.2 非常に高い静電電圧 (>30,000 ボルト) 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、通常行われる 2.54 cm (1 inch) 以下よりも長い距離をとって行う必要があることがある。
- 6.3 移動するオブジェクトや表面の測定
 - 6.3.1 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。
- 6.4 静電電圧計 (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 (電圧) を測定するための電気機器として定義される。本文書では、エレクトロメータを使用しての電流の測定については触れない。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。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典型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なものである。理想的には、入力インピーダンスは無限大でありたいが、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} オーム以上の入力抵抗、0.1% 以上の精度を持っている。Voltmeter 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 (キロボルト範囲) 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インピーダンスを持つ。帯電したオブジェクト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および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、テストされるオブジェクトにより生成された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な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。低い電荷レベルの表面測定または表面電位高い分解能が必要な場合の測定には、不向きである。電界計が測定される電界を変更してしまう。

7.2.1.1 電界計/静電気ロケータ/フィールドセンサは、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、チョッパー安定型電界計が必要である。電界計は、(本文書に記述する)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、§ 9.2.4 を参照し、適用できれば本書にある値に調整すること。手持ち電界計は静電ロケータのみとしても使用可能である。ただし、精密な測定には、電界計と測定オブジェクト間の距離を固定する必要がある。

7.3 静電電圧計

7.3.1 静電電圧計は測定オブジェクトの電位を測定する。静電電圧計は、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、静電電圧計は静電電界計に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、静電電圧計は比較的ドリフトが無く、環境的に安定している。

7.3.1.1 静電電圧計はより高いレベルの精度を示し、それは測定オブジェクト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部分の分解能を実現可能である。

7.3.1.2 静電電圧計は、これ以降“電圧計”と称する。

7.4 メータの安定性

7.4.1 上述の測定機器はすべて、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 1: 機器の精度および限界に関する注記事項に関しては関連情報 1 を参照のこと。

7.5 ESD イベントの測定

7.5.1 静電放電つまり ESD イベントはデバイスおよびレチクルへの損傷の原因である。ESD イベントの測定は、実際の ESD への曝露を見積も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、最大限の精度をもたらすが、工場の現場で実施するのは実際的ではなく、大部分は研究所に限定されている。ESD イベントを検出および測定するより実際的な方法は、ESD イベントにより引き起こされる特殊な電磁界を測定することである。この方法は直流(DC)測定の場合の精度を達成することはできないが、ESD への現場曝露を見積もる実用的な方法である。

8 十分な測定回数

8.1 独立した測定回数はユーザが決定しなければならない。試験を繰り返し、観測エリアにおける実際の静電荷の状態をより良く表現することができる。結果は環境(たとえば、湿度)および作業台の設定/状態により変動する。しかしながら、(ユーザによる)設定限界外の測定値または基準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、以前の測定値を検証する、および/または結果が変動する場合に以前の測定値の範囲/境界を定めるためである。

9 試験方法、測定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。電荷の測定にはフィードバックタイプのクーロンメータを推奨する。電荷の移動が最も完全に行われるからである。シャントタイプのクーロンメータは電荷の移動を完全には行わず、またフィードバックタイプのクーロンメータほどには使用が簡単ではない。ファラデーケージを使用する際には、それは測定オブジェクトを収納できる十分な大きさを持っていなければならない。ファラデーケージは、導体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されるエレクトロメータ) – 図1を参照。

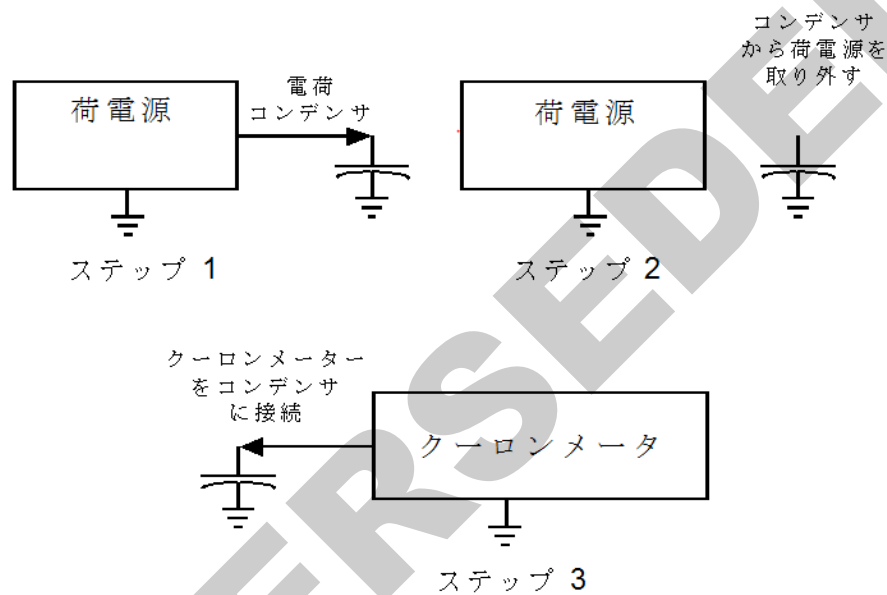


図1
クーロンメータの性能の検証

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 基準校正コンデンサを保持すること。それはポリスチレンまたはポリプロピレン 10 nF コンデンサ (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操作する。

9.1.2.3 充電源(電源)を使用して基準校正コンデンサを 1 ボルトに充電する。電圧値にコンデンサの要領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、コンデンサをクーロンメータに放電する。クーロンメータは計算値を示さなければならない。

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)測定物の周囲のすべての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触れさせる。

9.1.3.3 ファラデーケージの測定 — 図 2 参照。オブジェクト上の電荷を測定するために、オブジェクトを絶縁されたツールで注意して持ち上げ、帯電したオブジェクトをファラデーケージ中に置く。取扱上の特別な配慮: 帯電したオブジェクト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。帯電したオブジェクトを、他のいかなる面とも擦ったり擦り合わせたりしてはならない。そうするとオブジェクトに電荷を追加または除去することになるからである。

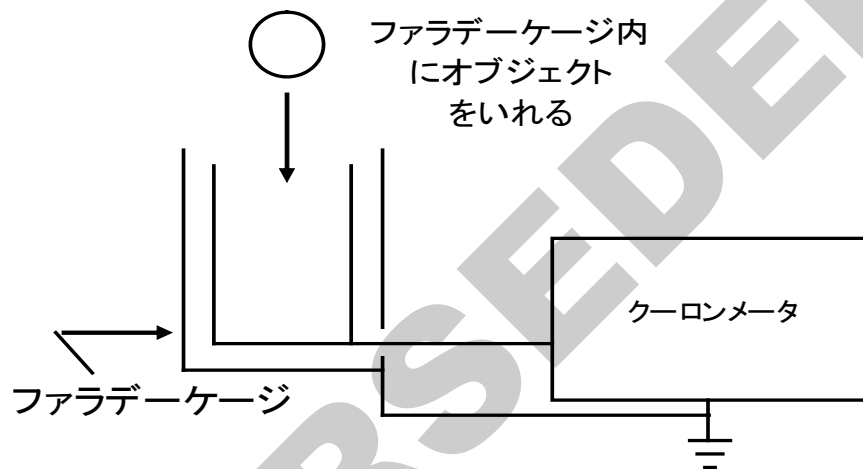


図 3
クーロンメータおよびファラデーケージを用いた測定

9.1.4 制限

9.1.4.1 クーロンメータのドリフトレートより小さい電荷を測定しようとしてはならない。

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 電圧モードで動作しているエレクトロメータを使用して測定を行うのは、他の任意の電圧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。通常の電圧計とエレクトロメータの主要な違いは、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である。

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源に接続し、その読値を他の基準電圧計での読値と比較することにより、エレクトロメータの性能を時折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、相対(デルタ)測定と同様に読取値のオフセットが可能である。しかしながら、普通エレクトロメータの電子的ゼロ設定は製造業者が行い、日常的な校正の一部でなければならない。入力端子を互いにショートし、ゼロの読値が製造業者の仕様内にあることを時折確認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。

9.3 Electrostatic Fieldmeter and Voltmeter Measurements

9.3.1 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。

9.3.1.1 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。

9.3.1.2 装置の性能検証 — 希望の検証電圧まで、導電性で絶縁されたテストプレートに電圧を印加する。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、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。

9.3.1.4 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、電界計の静電界強度を算出する。図 3 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。

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。9.3.4.1 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 2: 9.3.1.4 または 9.3.1.5 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。

- A) Connect meter directly to charged plate ground reference.
- B) Meter approximately 2.54 cm and parallel to charge plate.
- C) Meter reading should be within 5% of voltage applied to plate.
- D) Assure that both the meter and the operator are properly grounded.

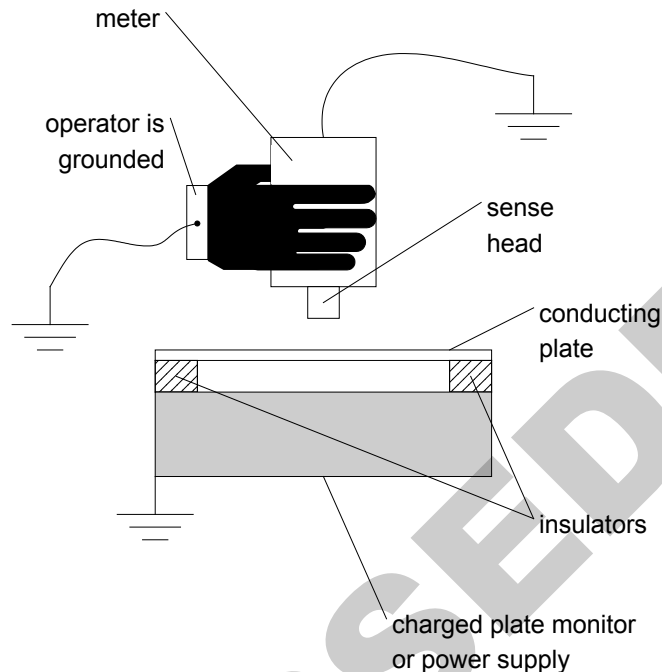


図 3
電界計および電圧計の検証チェック

9.3.1.6 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、¶9.3.1.4 項および¶9.3.1.5 を繰り返す。

9.3.1.7 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は不適當である。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。

9.3.2 電界計による測定

9.3.3 本文書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。インターナショナルコミュニティは、単位を SI（国際基準）メートル単位で表すことを規定している。

9.3.4 測定の制限

9.3.5 本文書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、¶9.3.1.1 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。

注 3: 図 4 の半導体ウェー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。

- A) 製造業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。

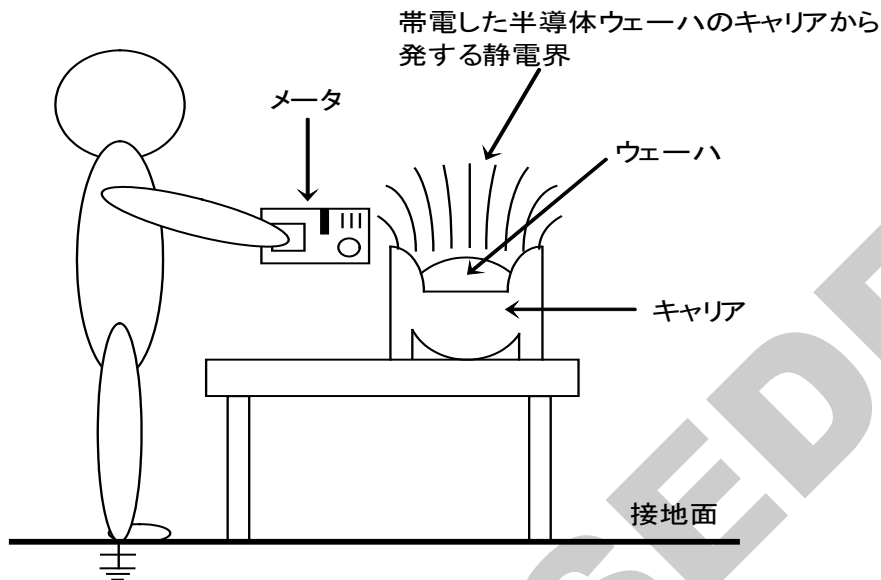


図 4
半導体ウェーハキャリアの測定例

9.3.6 静電電圧計による測定

注 4: 図 3 参照。

9.3.7 電圧計の選択

9.3.7.1 測定オブジェクト上の静電ポテンシャル/電荷の予想されるレベルに合致した測定レンジの静電電圧計を選択する。広すぎる測定レンジのものを選択すると電圧分解能が犠牲になり、狭すぎる測定レンジのものを選択すると測定範囲外動作(飽和)を引き起こすことになる。

9.3.7.2 移動しているオブジェクトを測定するためには、測定オブジェクトが予想される最大速度でプローブの front を通過する際にもそれらオブジェクトを検出できるほど十分高速の応答特性を持った静電電圧計を選択する。

9.3.7.3 プローブが装置に取り付けられた時、測定オブジェクトまたは表面を最もよく捕らえられる様、静電電圧計用の側面または端面用プローブを選択する。

9.3.8 測定

9.3.8.1 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善の結果が得られる。

9.3.9 測定の制限

9.3.9.1 絶縁された導体上の電圧レベルは測定可能である。絶縁体は一様な表面電荷分布をしていない。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、絶縁体の表面電荷は電圧計から得られる静電ポテンシャルの値から計算可能である。

注 5: 本文書を保管するために、SEMI が ESD 入門書を発行すると予想されている。絶縁体上の電荷測定についてのより詳しい説明は ESD 入門書を参照のこと。