

SEMI M52-0912

GUIDE FOR SPECIFYING SCANNING SURFACE INSPECTION SYSTEMS FOR SILICON WAFERS FOR THE 130 nm TO 11 nm TECHNOLOGY GENERATIONS

130 nm から 11 nm 技術世代のシリコンウェーハ用走査型表面検査装置仕様のためのガイド

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 スタンドアードは、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 スタンドア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)。

本スタンドアードは、global Silicon Wafer Technical Committee で技術的に承認されている。現版は 2012 年 2 月 21 日、global Audits and Reviews Subcommittee にて発行が承認された。2012 年 4 月に www.semiviews.org および www.semi.org で入手可能となる。初版は 2002 年 11 月発行。前版は 2012 年 4 月発行。

1 目的

1.1 本ガイドは 130, 90, 65, 45, 32, 22, 16, 11 nm 技術世代における走査型表面検査装置(Scanning Surface Inspection Systems(SSIS))の推薦仕様を提供するものである。シリコン上の局所光散乱(localized light scatterers(LLS))の数と大きさはシリコンウェーハの顧客によって指定され、検査証明書(Certificates of Compliance)に含まれる。シリコンウェーハサプライヤやその顧客は、これらのパラメータを、異なるメーカーの測定システムを使用するか、あるいは同じサプライヤでも異なる世代の測定システムを使用して測定することがある。したがって、そのような測定システムの種々の状況を標準化することにより、データ交換やデータ解釈を容易にし、適切な測定システムの調達を可能とすることができる。

2 範囲

2.1 本ガイドはInternational Technology Roadmap for Semiconductors: 2010 edition (ITRS)¹や半導体デバイスの主なメーカーによって示されている 130, 90, 65, 45, 32, 22, 16, 11 nm技術世代に使用されるSSISの基本的な仕様を概説・推薦するものである。

2.2 本ガイドは、量産された鏡面研磨またはエピウェーハ表面の LLS(localized light scatterer)測定システムにつき、一般的な装置性能(表 1)、測定対象材料(表 2)、および特定項目についての測定性能(表 3)をカバーする。被測定材料の裏面は、鏡面研磨または酸エッチング、ベアまたはパターン付でないポリシリコンあるいは低温酸化物(low temperature oxide(LTO))の均質な膜によって覆われたものを含む。上記と異なる特性をもつ材料を測定システムの校正用に使用することができる。

2.3 本ガイドはまた表 3 に概説した測定項目のサブセットだけを提供する測定システムに対しても適用する。

2.4 本ガイドは、シリコンウェーハ製造中の中間プロセスを制御するための測定システムに適用するものではない。しかし、対応する制約条件が適切に識別されているアプリケーションに対しては、全面的にあるいは部分的に使用してもよい。

2.5 本ガイドはまた、SOI(Silicon on Insulators)ウェーハまたはパターン付きウェーハの測定システムに対しては、適用しない。

注意: このスタンドア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。

¹ International SEMATECH, 2706 Montopolis Drive, Austin, TX 78741-6499, USA Website: www.sematech.org. ITRS の最新版は International SEMATECH ウェブサイトから利用可能。

3 参照スタンダードおよび文書

3.1 SEMI スタンダードおよび安全ガイドライン

SEMI E1.9 — Mechanical Specification for Cassettes Used to Transport and Store 300 mm Wafers

SEMI E5 — SEMI Equipment Communications Standard 2 Message Content (SECS-II)

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

SEMI E19 — Standard Mechanical Interface (SMIF)

SEMI E30 — Generic Model for Communications and Control of Manufacturing Equipment (GEM)

SEMI E37 — High Speed SECS Message Services (HSMS) Generic Services

SEMI E47 — Specification for 150 mm/200 mm Pod Handles

SEMI E47.1 — Mechanical Specification for FOUPs Used to Transport and Store 300 mm Wafers

SEMI E58 — Automated Reliability, Availability, and Maintainability Standard (ARAMS): Concepts, Behavior, and Services

SEMI E89 — Guide for Measurement System Analysis (MSA)

SEMI E158 — Mechanical Specification for Fab Wafer Carrier Used to Transport and Store 450 mm Wafers (450 FOUP) and Kinematic Coupling

SEMI E159 — Mechanical Specification for Multi Application Carrier (MAC) Used to Transport and Ship 450 mm Wafers

SEMI M1 — Specifications for Polished Single Crystal Silicon Wafers

SEMI M31 — Mechanical Specification for Front-Opening Shipping Box Used to Transport and Ship 300 mm Wafers

SEMI M33 — Test Method for the Determination of Residual Surface Contamination on Silicon Wafers by Means of Total Reflection X-Ray Fluorescence Spectroscopy (TXRF)

SEMI M35 — Guide for Developing Specifications for Silicon Wafer Surface Features Detected by Automated Inspection

SEMI M38 — Specification for Polished Reclaimed Silicon Wafers

SEMI M50 — Test Method for Determining Capture Rate and False Count Rate for Surface Scanning Inspection Systems by the Overlay Method

SEMI M53 — Practice for Calibrating Scanning Surface Inspection Systems Using Certified Depositions of Monodisperse Polystyrene Latex Sphere on Unpatterned Semiconductor Wafer Surfaces

SEMI M58 — Test Method for Evaluating DMA Based Particle Deposition Systems and Processes

SEMI M59 — Terminology for Silicon Technology

3.2 ISO Standards²

ISO 8859 — Information Technology – 8-bit Single-Byte Coded Graphic Character Sets

ISO 8879 — Information Processing – Text and Office Systems – Standard Generalized Markup Language (SGML)

ISO 9000 — Quality Management Systems – Fundamentals and Vocabulary

ISO 9001 — Quality Management Systems – Requirements

ISO 10646-1 — Information Technology – Universal Multiple-Octet Character Set (UCS) – Part 1: Architecture and Basic Multilingual Plane

² International Organization for Standardization, ISO Central Secretariat, 1 rue de Varembé, Case postale 56, CH-1211 Geneva 20, Switzerland; Telephone: 41.22.749.01.11, Fax: 41.22.733.34.30, <http://www.iso.ch>

ISO 10918 — Information Technology – Digital Compression and Coding of Continuous-Tone Still Images

ISO 14644-1 — Cleanroom and Associated Controlled Environments – Part 1: Classification of Air Cleanliness

ISO 14706 — Surface Chemical Analysis — Determination of Surface Elemental Contamination on Silicon Wafers by Total Reflection X-ray Fluorescence (TXRF) Spectroscopy (ICPMS)

3.3 IEEE Standards³

IEEE 754 — IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic

IEEE 802 — IEEE Standard for Local and Metropolitan Networks: Overview and Architecture

IEEE 854 — IEEE Standard Radix-Independent Floating-Point Arithmetic

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版である。

4 用語

4.1 シリコン技術に関連し、本スタンダードで使用される一般用語、頭字語、略語、および記号は SEMI M59 に記載され、定義されている。

4.2 本スタンダードの仕様に必要とされるその他の用語は、以下に記載する。

4.2.1 分類欠陥測定精度(classification accuracy) — 人間および測定装置が同一の分類で測定を行い、特定の欠陥分類に関して人間がカウントした欠陥数に対する装置(SSIS)の測定欠陥数の割合。

4.2.2 欠陥分離純度(classification purity) — 人間および測定装置が同一の分類で測定を行い、特定の欠陥分類のクラスに関して人間がカウントした欠陥数に対する装置(SSIS)の測定欠陥数の割合。

4.2.3 スラリーリング(slurry ring) — スラリーの不十分な洗浄により生じた周囲よりの高いウェーハ表面のリング状の領域。

4.2.4 スパイク(spoke) — エピタキシャルウェーハにおいてくぼみの中心に生じる、高く細い結晶フィラメントのデンドライト。

5 130, 90, 65, 45, 32, 22, 16, 11 nm 技術世代のシリコンウェーハに SSIS を使用する際の推薦仕様

5.1 推奨仕様は次の 3 項目で構成される(表 1～3)：

- 一般的な装置性能(表 1)
- 測定対象材料(表 2)
- 測定装置性能(表 3)

5.1.1 表 1～3 は、仕様、参考文献、試験方法およびコメントを含む。追加説明および議論は、本項に記載されている。

5.2 一般的な装置性能(表 1)

5.2.1 「一般的な装置性能」の項は、次の 5 つの小項目を含む：

- ウェーハハンドリング
- 信頼性
- 手順
- 文書化
- コンピュータ/ユーザインタフェース/相互接続性

5.2.2 「設備要求条件」および「安全性/法律要件/規制要件」をカバーする小項目は、本ガイドに含まれていない。これらは、ユーザに依存し、利用する国の規則に則したものである。

5.3 測定対象材料(表 2)

5.3.1 表 2 および表 3 の § 1 は、SSIS で取り扱い測定するシリコンウェーハのカテゴリおよびパラメータを規定している。

³ Institute of Electrical and Electronics Engineers, 3 Park Avenue, 17th Floor, New York, NY 10016-5997, USA; Telephone: 212.419.7900, Fax: 212.752.4929, <http://www.ieee.org>

5.4 測定装置性能 (表3)

5.4.1 本項は SSIS の測定機能, 測定のためのパラメータ, 動作性能を規定している。表 3 の仕様は, 他に記載がなければ, 表面側の検査のみに適用する。

5.4.1.1 裏面側の表面検査については, パーティクル, スクラッチ, ヘイズが検出できることが求められている。

5.4.2 表 3 の 1.1.1 行~1.1.14 行に SSIS で検出される欠陥が記されている。それらは LLS か XLS (extended light scatterer) として報告される。システムの性能は該当する技術世代の COP やヘイズの要求を満たすウェーハ上に塗布された PSL を用いて確かめられる。

5.4.3 LLS の大きさはすべて[長さの単位] LSE (例えば nm LSE) で与えられ, みかけの直径として参照される。

5.4.4 欠陥 (LLS) の幾何的な大きさは LSE の単位でレポートされる大きさとはかなり異なる。これは, 欠陥の光散乱の断面積が LLS の特性に敏感に依存するためである。

5.4.5 標準試料として使用される塗布用 PSL 球およびシリカ球は国家標準研究所に追跡可能な CRM を使う必要がある。PSL 作成システムとその方法は SEMI M59 に準拠していなければならない。

5.4.6 COP とパーティクルに対して, 欠陥分離の正確さ (accuracy) と純度 (purity) を規定している。

5.4.7 本ガイドでは, 階層的なバラツキレベルは, サプライヤの順にしたがって校正および調整をした測定システムの動作性能を記述するのに使用されている。各種用語は, §4.3 に定義されている。

5.4.7.1 レベル 1 バラツキ: 標準偏差 σ_1

5.4.7.2 レベル 2 バラツキ: 標準偏差 σ_2

5.4.7.3 レベル 3 バラツキ: 標準偏差 σ_3

5.4.8 さらに, 異なる測定システム間の体系的なずれを示す二つのレベルを定義する。

5.4.8.1 機器間公差 (平均値差 Δ_m)

5.4.8.2 相関 (回帰曲線)

5.4.9 レベル 3 バラツキおよび機器間公差は表 3 に明示的に規定されている。

注 1: 認定されたあるいは標準の参照試料がない場合は, 機器間差試験は 130, 90, 65, 45, 32, 22, 16, あるいは 11 nm 技術世代仕様にそれぞれ該当する適切なウェーハを使用して行う。この機器間差試験には興味の対象パラメータの分布範囲を包含する一連のサンプルセットを使うことが推奨される。

5.4.10 レベル 1, 2 と 3 バラツキを決定するための手順は § 6 に, そして機器間公差を決定するための手順は § 7 に示される。

5.4.11 SSIS については, 下位機種への互換性は検出器の配置や数の違いにより制限を受けることがある。

注 2: 互換性は倣わせる他のまたは古い測定システムの持つフィルタリング, 空間分解能, その他の測定モードによって備えられる。

5.4.12 サイズの校正に関して, 塗布した CRM はさまざまな供給者から利用できる。一方, 欠陥の座標に関する標準試料は現在入手できない。

6 限定された再現性試験

注 3: この章に記述されたような限定された再現性試験は種々のバラツキ原因あるいはその相対的重要性の指摘を与えるものではない。もしこの種の情報を望むならば, 該当する解析 (SEMI E89 参照) に従う完全に設計された実験を行う必要がある。

6.1 一般論

6.1.1 試験のために, 解析対象の測定システム (MS) によって測定されるウェーハから典型的な一枚を選ぶ。

6.1.2 同一ウェーハ上で行われる測定の回数 n (ここで $n \geq 30$, 注 4 を参照) を選ぶ。

注 4: 約 30 回の測定は一般的に十分に低い測定の不確定性を備えていることが判っている。もし少ない測定回数であったとしても, 測定の不確定性は増加するが, 結果はしばしば満足するものである。サンプルサイズが決定の不確定性に与える効果は測定誤差が正規分布に従うと仮定することにより見積もることができる。その場合, 繰返し精度の推定値回りの片側 (上側) 確定区間として表現される不確定性 uci は

$$uci = \hat{\sigma}_r \sqrt{\frac{n-1}{\chi_{n-1, \alpha}^2}} \quad (1)$$

ここで:

$\hat{\sigma}_r$ = 回測定からの繰返し精度推定値

n = 測定回数, そして

$\chi^2_{n-1, \alpha}$ = $n-1$ の自由度を持つ χ^2 乗分布の上側 α 比で切り取った値。

例えば, もし $n = 15$ なら上側境界確定区間は $1.46 \hat{\sigma}_r$ となる。 $n = 30$ であれば $1.28 \hat{\sigma}_r$ となり, 再現性の不確定性は約 12.5% 減少する。もし n 回測定が異なる場所 (つまり, 同一ウェーハ上の異なる場所) でされた場合, サンプルサイズを同じと仮定すると不確定性は係数 $[(n-1)/(n-g)]^{1/2}$ 倍だけ増加する。ここで g はグループの数である。

6.1.3 測定に対する適切な設定プログラムを選ぶ。その設定は製造時または開発時の MS に該当して使われたものと同様でなければならない。

6.1.4 その MS が校正を必要とするかどうかを決める。もし必要であれば, その製造会社が推奨する手順にしたがって校正する。正規の動作手順による要求がなければ, 実験中に再校正してはならない。

6.2 測定 — 決定されるべきバラツキレベルに該当する測定を遂行する。

6.2.1 レベル 1 バラツキ (繰返し精度) — テストウェーハを MS に装填し, その計器からウェーハを取り出すことなく繰返し条件下で特性を n 回測定する。

6.2.2 レベル 2 バラツキ

6.2.2.1 テストウェーハを MS に装填し, 特性を一度だけ測定し, その後ウェーハを取り出す。

6.2.2.2 できるだけ短時間に, そのテストウェーハをその MS に再装填して再度測定し, その後ウェーハを取り出す。

6.2.2.3 できる限り短時間内に, ¶6.2.2.2 の測定を一回校正の条件とほぼ同一の条件下で, 各測定間にウェーハの取り出しと再装填をして更に $(n-2)$ 回の測定を繰返し, 全体で n 回の測定をする。

6.2.3 レベル 3 バラツキ

6.2.3.1 そのテストウェーハを最低 5 日以上 D 日間の各日において ¶6.2.2.1 ~ ¶6.2.2.3 に述べた条件下で一日当たり合計 n/D 回の測定をする。

6.3 計算

6.3.1 その試験結果のサンプル標準偏差を計算する。

$$s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \left[\sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2 \right]} \quad (2)$$

ここで:

s = 試験結果のサンプル標準偏差,

n = 測定された回数,

x_k = k 番目の試験結果, そして

$\bar{x}$ = n 回試験結果の平均値

6.3.2 サンプル標準偏差は母集団標準偏差 σ の偏りのない推定量である。それ故, ¶6.2 の測定に関するサンプル標準偏差を選定したレベルに対するバラツキの推定値 σ_r として採用する。

7 機器間公差試験

7.1 レベル 3 バラツキの決定条件下で, SEMI E89 の § 8 に従った手順で, 同種の 2 つの測定システム各々の偏りを決定する。

7.2 もし結果が各測定システムに対して安定した偏り決定を与え, かつもし各システムが容認できる直線性を持つならば, 機器間公差 Δ_m を得るために 2 つの偏りを引算する:

$$\Delta_m = bias_1 - bias_2 \quad (3)$$

ここで:

$bias_1$ = 第一番目の測定システムの偏り, そして

$bias_2$ = 第二番目の測定システムの偏り