

## SEMI M40-0200

### シリコンウェーハ表面の表面ラフネス測定のガイド

本ガイドは、Global Silicon Wafer Committee で技術的に承認されたもので、North American Silicon Wafer Committee が直接責任を負うものである。現版は 1999 年 12 月 15 日に North American Regional Standards Committee にて承認された。2000 年 2 月にまず SEMI On Line で入手可能になり、2000 年 2 月発行に至る。

#### 1 目的

1.1 このガイドは、シリコンウェーハの表面ラフネスの特徴を調べ、報告するのに使用する測定方法を規定する手順を記述する。それは、さらに他のタイプの平面ウェーハ材料にも適用できる。

1.2 このガイドは、3 つの重要な方法を使用するラフネスの決定に関する用語及び手順を提供する。

1.2.1 標準化走査個所パターン

1.2.2 ラフネスの略語

1.2.3 特定のラフネス測定の識別に關しての参考試験方法

#### 2 範囲

2.1 このガイドは、次の方法を取り入れる。

2.1.1 標準化走査パターンを局部及び前面の表面特徴付けに關して取り入れる。

2.1.2 短縮形の符号で測定条件を記述する 1 セットのラフネス略語

2.1.3 一般的な 3 種類のラフネス計器用の参考試験方法。これらの一般カテゴリは下記を含むがこれらに限らない。

- プロフィロメーター — AFM 及び他の走査プローブ顕微鏡、光学的プロフィロメーター、高分解能機械的スタイラスシステム
- 干渉計 — 顕微干渉計
- 散乱計 — 散乱計 (TIS)、角度分解光散乱計 (ARLS)、走査型表面検査システム (SSIS)

2.2 表面のラフネスの代表的な値を得る手順が規定されている。

2.3 ラフネスに關する用語は、使用するラフネス測定及びその結果の識別において曖昧さを除去するように意図している。

2.4 本スタンダードは、その使用に關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。このスタンダードの使用者は、その責任において、適切な安全

及び健康上の作業方法を確立し、また使用前に規制上の制限への適合性を判断するものである。

#### 3 制限

3.1 このガイドは、ウェーハ端面の測定には適用しない。

3.2 このガイドは、空間波長が 10 nm 以下の場合には適用しない。

3.3 このガイドは、特定のラフネスパラメータを定義することを意図していない、これらは他のドキュメントに記載してある。

3.4 測定装置の帯域幅及び使用される帯域幅は、ラフネス測定の結果に厳しい影響を及ぼす。

3.4.1 2 つの計測器間では、使用する帯域幅の違い (長短の差) によって、著しく異なる結果を生じる。

3.4.2 このガイドの表 1 の中でリストアップされた符号は、器具伝達関数を識別しない。

3.5 フィルムが存在すると光散乱測定に影響を与える。

#### 4 考察

4.1 シリコンウェーハ表面ラフネスは、露出したシリコンウェーハに対して規定されることが多い (半導体の SIA ロードマップを参照)。これらの仕様書は、最終研磨された表面及びウェーハ裏面のラフネスを扱っている。様々な技術がシリコンウェーハのラフネスを測定するために現在使用されている。これらの技術は AFM 走査プローブ、機械的及び光学的なプロファイリング、干渉顕微鏡及び光 (電磁放射) 散乱を含む。機械的なプロファイリング技術は、他の工業でも広く使用され、十分にスタンダード化されている。プロファイリング技術は、一般にライン走査に限定され、したがって表面の非常に小さい部分だけの情報が得られるだけである。ラフネス測定のための干渉計測定技術にも同様の制限がある。しかし、光散乱技術はウェーハ表面全体を走査することができる。

4.2 歴史的にみて、プロファイリング技術用の様々なラフネスパラメータが発展しスタンダード化された。

例えば実効ラフネス( $R_q$ )及び平均ラフネス( $R_a$ )である。プロファイリング装置は表面のトポグラフィを測定し、一連の高さデータからラフネス統計値例えば $R_q$ を引出す。光散乱技術は散乱の角度依存性から $R_q$ を測定する、いくつかの光散乱システムはデータの解釈と推定によって他のパラメータを引出す。

4.3 ウェーハ表面又は表面の大部分を代表するラフネス値は、単一点から得たデータに基くことができない。しかし、仕様は、ウェーハに対して単一の値を記述することが多い。したがって、この指針は、明確に説明し使用する走査箇所をスタンダード化したパターンを示し、かつ定義する。いくつかのタイプのラフネス変動、走査パターン、報告された結果の相互関係を記述するモデルが添付の関連情報に含まれており、ユーザがこれらの変数を規定し、解釈するのを支援する。

4.4 すべてのラフネス測定値に共通の特徴は使用した装置の帯域幅及び伝達関数に、測定値が依存することである。さらに、高値又は低値の空間周波数ソフトウェアフィルタが使用されるのが一般的で、報告する結果に影響を与えている。同じ表面でも2つの装置によって大幅に異なる数が報告される。この指針は、装置帯域幅及び伝達関数を規定し、報告することに関する提案を含んでいる。

## 5 参照スタンダード

### 5.1 SEMIスタンダード

SEMI M1 — Specifications for Polished Monocrystalline Silicon Wafers

SEMI M20 — Specification for Establishing a Wafer Coordinate System

### 5.2 ASMEスタンダード<sup>1</sup>

ASME B46.1 — Surface Texture (Surface Roughness, Waviness, and Lay)

### 5.3 ASTMスタンダード<sup>2</sup>

E 1392 — Practice for Angle Resolved Optical Scatter Measurements on Specular or Diffuse Surfaces

F 1048 — Test Method for Measuring the Effective Surface Roughness of Optical Components by Total Integrated Scattering

F 1620 — Practice for Calibrating a Scanning Surface Inspection System Using Monodisperse Polystyrene Latex Spheres Deposited on Polished or Epitaxial Surfaces

F 1811 — Estimating the Power Spectral Density Function and Related Finish Parameters from Surface Profile Data

### 5.4 DINスタンダード<sup>3</sup>

DIN 4760 — Form Deviation, Waviness, Surface Roughness; System of Order, Terms and Definitions

DIN 4768 — Determination of Values of Surface Roughness Parameters  $R_a$ ,  $R_z$ ,  $R_{max}$  by Means of Electrical Contact (Stylus) Instruments; Terminology, Measuring Conditions

DIN 4777 — Metrology of Surfaces; Profile Filters for Electrical Contact Stylus Instruments; Phase-Corrected Filters

### 5.5 ISOスタンダード<sup>4</sup>

ISO 468 — Surface Roughness — Parameters, Their Values and General Rules for Specifying Requirements

ISO 1879 — Instrument for the Measurement of Surface Roughness by the Profile Method - Vocabulary

ISO 1880 — Instruments for the Measurement of Surface Roughness by the Profile Method - Contact (Stylus) Instruments of Progressive Profile Transformation - Profile Recording Instruments

ISO 3274 — Instruments for the Measurement of Surface Roughness by the Profile Method — Contact (Stylus) Instrument of Consecutive Profile Transformation — Contact Profile Meters, System M

ISO 4287/1 — Surface roughness — Terminology — Part 1: surface and its parameters

ISO 4288 — Rules and Procedures for the Measurement of Surface Roughness Using Stylus Instruments

### 5.6 JISスタンダード<sup>5</sup>

JIS B 0601 — Surface Roughness - Definitions And Designation

1 American Society of Mechanical Engineers, United Engineering Center, 345 East 47th Street, New York, NY 10017  
(国内連絡先) 日本規格協会 〒107-0052 東京都港区赤坂 4-1-24 03-3583-8003

2 American Society for Testing and Materials, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428-2959  
(国内連絡先) 日本規格協会 〒107-0052 東京都港区赤坂 4-1-24 03-3583-8003

3 Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag GmbH, Burggrafenstrasse 4-10, D-10787 Berlin, Germany

(国内連絡先) 日本規格協会 〒107-0052 東京都港区赤坂 4-1-24 03-3583-8003

4 ISO Central Secretariat, 1, rue de Varembe, Case postale 56, CH-1211 Genève 20, Switzerland

(国内連絡先) 日本規格協会 〒107-0052 東京都港区赤坂 4-1-24 03-3583-8003

5 日本規格協会 〒107-0052 東京都港区赤坂 4-1-24 03-3583-8003

JIS B 0652 — Instruments For The Measurement Of Surface Roughness By The Interferometric Method

JIS B 0659 — Roughness Comparison Specimens

## 5.7 その他の文書

International Technology Roadmap for Semiconductors<sup>6</sup>

Optical Scattering in the Optics, Semiconductor, and Computer Disk Industries, Second Edition 1995, J C Stover, Editor<sup>7</sup>

注 1: 別途指示のない場合、引用された全ての文書は最新の出版バージョンである。

## 6 用語

6.1 自己相関関数 (autocorrelation function) — パワースペクトル密度機能のフーリエ変換。これは、表面のプロフィールと、それ自体が滑った、即ち横に移動した同じプロフィールとの間の類似点を表す。

6.2 自己相関長さ (autocorrelation length) — 自己相関関数をゼロスリップ値の  $1/e$  倍に等しい値まで減少させるために必要な横方向のスリップ。10% 又はゼロ値の定義さえも  $1/e$  に代わって使用されることがしばしばある。

6.3 平均のラフネス ( $R_a$ ) (average roughness ( $R_a$ )) — 表面のプロフィール高さが、評価長さ以内で得られた平均線からどのくらいの偏差  $Z(x)$  があるかその平均 (ASME B46.1)。

6.4 双方向反射率分布関数 (BRDF) (bi-directional reflectance distribution function, BRDF) — 表面によって散乱した光分布の記述である。それは差分放射照度によって正規化された差分放射輝度である。また、それは単位投影立体角当たりの散乱パワーを入射パワーで割った値で近似される (Stover)。

6.5 品質保証領域 (FQA) (fixed quality area (FQA)) — ウェーハ表面中央域であって、公称周辺除外領域、Xによって定義される。この領域内ではパラメータの規定値を適用する (SEMI M1)。SEMI M1 のこの定義に続く考察も参照すること。

6.6 ヘイズ (haze) — 局在されていない光散乱であって、表面のトポグラフィ (微細ラフネス) 又は表面の濃密集中又は表面近くの欠陥に起因するもの (SEMI M1)。

考察 — 欠陥の集まりが存在することによるヘイズは質量効果である。ヘイズになる種類の個々の欠陥は、拡大しないと肉眼又は他の光検出システムでは容易に識

別することができない。パーティクルカウンタ (SSIS) では、ヘイズはバックグラウンド信号になる。また、レーザ光散乱も一緒になってウェーハ表面からの光散乱による信号となる (SEMI M1)。それは散乱した光束全体であって、入射光束によって正規化された光学系によって収集されたものである。

注 2: SSIS の器具タイプが異なると、与えられたサンプル上でのヘイズ値が著しく異なる。

6.7 照明源入射角 (illumination source incidence angle) — 表面法線から測定された入射ビームの角度

6.8 尖り ( $R_{ku}$ ) (kurtosis ( $R_{ku}$ )) — 評価される長さの中における、平均線からの表面プロフィール高さ偏差  $Z(x)$  のヒストグラムの鋭さの目安。完全なランダム表面はガウス分布のヒストグラムを持ち  $R_{ku}=3$  である (ASME B46.1)。

6.9 レーザ光散乱事象 (laser light-scattering event) — 事前設定された閾値を超過する信号のパルスであって、レーザ光線がウェーハ表面での個別の散乱源と相互作用をして発生し、検出器によって検知されるもの。ヘイズも参照すること (SEMI M1)。SEMI M1 におけるこの定義の後の考察も参照すること。

6.10 レイ (lay) — 表面パターンの優勢な方向。通常は、使用した生産方式によって決定する (ASME B46.1)。

6.11 マイクロラフネス (microroughness) — 不規則状態相互間の間隔 (空間波長) が約  $100 \mu m$  未満の表面ラフネス成分 (SEMI M1)。

6.12 ナイキスト基準 (Nyquist Criterion) — 検出された最短の空間波長。それはサンプルのスペーシングの 2 倍である。

6.13 一次元の格子方程式 (one-dimensional grating equation) — その最も一般的な形式では、それは一次元の正弦波回折格子から回折された次数による回折位置を与える表現である (Stover)。

6.14 ピークツーバレー (peak to valley ( $R_t$ )) — 評価される長さ  $L$  の中における、平均線からの表面プロフィール高さ偏差  $Z(x)$  の最高値から最低値まで (ASME B46.1)。

6.15 パワースペクトル密度 (PSD) 関数 (power spectral density (PSD) function) — 表面の特性関数であって、表面のフーリエ変換モジュラスの二乗に比例するもの。それは空間周波数の 1 単位当たりのラフネスパワーと見なされる (ASTM F 1811)。

6.16 レイリー基準 (解像力の) (Rayleigh Criterion (of resolving power)) — 1 対の回折図形を識別するた

6 Semiconductor Industry Association (SIA), 181 Metro Drive, Suite 450, San Jose, CA

7 SPIE, P.O. Box 10, Bellingham, WA 98227-0010

めの条件であって、それによってあるパターンの最高が他のパターンの最低と重なりもの。

考察 — レンズに収差がない場合、点対象物の画像は回折図形として現れる。1つのパターンの原理的な最大値が、別のパターンの最初の極小に当たる場合、画像は分解されたという。円形光学系に関してこの基準が当てはまるのは、分解できる点対象物間の距離が、器具の対物レンズから見た場合、次式で表される場合である。

$$\frac{0.61\lambda}{NA}$$

ここでNAは対物レンズの開口数、 $\lambda$ は光の波長<sup>8</sup>である。

6.17 rms エリアマイクロラフネス ( $R_qA$ ) (rms area microroughness ( $R_qA$ )) — 評価される面積 ( $A=L_xL_y$ ) の中における、平均表面からの表面  $Z(x,y)$  のトポグラフィ偏差の二乗平均の平方根。SEMI M1 におけるこの定義の後の拡張考察も参照すること。

6.18 rms マイクロラフネス ( $R_q$ ) (rms micro-roughness ( $R_q$ )) — 評価される長さ  $L$  の中における、平均線からの表面プロフィール高さ偏差  $Z(x)$  の二乗平均の平方根 (SEMI M1)。SEMI M1 におけるこの定義の後の拡張考察も参照すること。

6.19 rms スロープ ( $m_q$ ) (rms slope ( $m_q$ )) — 評価される長さの中におけるプロフィールデパーチャーの変化率 (ISO 4271/1 から準用)。

6.20 ラフネス (roughness) — 表面素地のスペースの狭い成分 (SEMI M1)。ウェービネスと比較すること。

6.21 歪 ( $R_{sk}$ ) (skewness ( $R_{sk}$ )) — 平均線の周りの表面  $Z(xy)$  の表面トポグラフィ偏差の非対称の目安。完全なランダム表面は  $R_{sk}=0$  である (ASME B46.1)。

6.22 空間帯域幅 (spatial bandwidth) — 与えられた装置が作動する波長の範囲 (Stover)。

6.23 空間周波数 (spatial frequency) — 空間周波数 ( $F_{\text{spatial}}$ ) は空間波長 ( $\lambda_{\text{spatial}}$ ) の逆数である。

6.24 空間波長 (spatial wavelength) — 純粹に正弦波のプロフィールの隣接するピーク間の間隔 (ASME B46.1)。

6.25 10 点ラフネス高さ ( $R_z$ ) (ten point roughness height ( $R_z$ )) — 評価される長さの中で平均線から測定したとき、5つの最高プロフィールピーク高さの絶対値

と、5つの最低プロフィール谷の深さの絶対値の平均 (ISO 4281/1 から準用)。

6.26 伝達関数 (transfer function) — すべての測定された空間波長に対する装置のレスポンス。

考察 — 完全な装置はすべての測定された空間波長に対して 100% のレスポンスを持つ。すべての計器は、完全なレスポンスからのある偏差を持つ。特に低い空間周波数限界 (横断長さ) 及び高い空間周波数限界において偏差を持つ。パワースペクトルは、高い空間周波数レスポンスの近くのこの限界を調べるために使用する。この情報のために装置サプライヤーと連絡をとること。

6.27 横断長さ (traversing length) — 与えられた方向でサンプリングされた最大の距離。測定可能な空間波長の最大値は常に横断長さより少ない。

6.28 波長スケーリング (wavelength scaling) — 1つの波長の散乱測定値が別の波長の散乱測定値を予測するために使用される場合、その表面は波長スケールと呼ばれる (Stover)。

6.29 ウェービネス (waviness) — 表面素地の間隔 (空間波長) の、より広い成分 (SEMI M1)。ラフネスと比較すること。

## 7 計器及び能力

### 7.1 プロフィロメーター

7.1.1 AFMの高い空間周波数限界である機械的プロファイラーは機械的チップの半径又は直径によって近似され、光学のプロファイラーはレーザースポットの強度プロフィールによって近似される。それらの応答関数は複雑になり、ある場合にはプローブ及び測定された表面が組み合わされて影響を及ぼす。そのような装置の高い空間周波数限界は、その限界から合理的に取除かれて、設定するか選択されなければならない。これは合理的な、比較可能な、反復可能な測定値を達成するため必要である。

### 7.2 干渉顕微鏡

7.2.1 これらの器具の高い空間周波数限界は、焦点光学によって、又はある場合には検出器配列の画素点スペーシングによって定義される。そのような装置の高い空間周波数限界は、その限界から合理的に取除かれて、設定するか選択されなければならない。これは合理的な、比較可能な、反復可能な測定値を達成するため必要である。

### 7.3 散乱器具

<sup>8</sup> Optics, Eugene Hecht, et al; 3rd edition (August 1997); Addison-Wesley Publishing Co; ISBN: 0201838877

7.3.1 散乱光強度とラフネスとの間に直接の関係があるのは、十分に滑らかな表面に限る。下に与えられたレイリー平滑表面基準は、滑らかな平面限界推定するために頻繁に使用される(Stover)。

$$\frac{1}{2} \left( \frac{4\pi a \cos \theta_i}{\lambda} \right)^2 \ll 1 \quad (1)$$

$$m \ll 1 \quad (2)$$

ここで、 $m$  = プロフィールの傾斜、

$\lambda$  = 入射光の波長、

$a$  = サンプルプロフィールの振幅(ピークから谷までの高さの半分)、及び

$\theta_i$  = 入射角。

7.3.2 限界を 0.1 と仮定したとき対応する振幅は、例えば次のようになる

$a \leq 23 \text{ nm}$ 。これは  $\lambda = 633 \text{ nm}$ ,  $\theta_i = 0^\circ$  に対して、及び

$a \leq$  これは  $\lambda = 488 \text{ nm}$ ,  $\theta_i = 70^\circ$  に対して。

7.3.3 等価なrmsラフネス値は、正弦波プロフィールに対して及び 0.1 の限界に対して次のようになる。

$R_q \leq 16 \text{ nm}$ 。これは  $\lambda = 633 \text{ nm}$ ,  $\theta_i = 0^\circ$  に対して、及び

$R_q \leq 36 \text{ nm}$ 。これは  $\lambda = 488 \text{ nm}$ ,  $\theta_i = 70^\circ$  に対して。

7.3.4 光散乱装置は、式 1 及び 2 で表現される表面より粗い表面に適用できる。しかしその後PSD曲線と比較した他の数理的なアプローチを適用しラフネス又は傾斜値を計算しなければならない。さらに、PSD曲線の傾斜はある状況で重要になりうる(Stover)。

7.3.5 超過することができない光散乱装置のための基本の高い空間周波数(短い空間波長)限界がある。この限界は次のとおりである。

a) 入射がグレイジング( $\theta_i = 90^\circ$ )の場合、使用された光の波長の逆数の 2 倍,  $2/\lambda$ , そして

b) 入射がノーマル( $\theta_i = 0^\circ$ )の場合、使用された光の波長の逆数,  $1/\lambda$

これらの条件は、下記の一次元の格子方程式から直接導かれる。

$$f_x = \frac{\sin \theta_s \cos \phi_s - \cos \theta_i}{\lambda}$$

ここで、 $\theta_s$  = 入射平面内の散乱角、そして

$\phi_s$  = 入射平面内の散乱角、そして

注 3: 光が入射平面内で入射光の方向に散乱される場合、 $f_x$  は-1になる( $\phi_s = 180^\circ$ )。

7.4 散乱計(TIS)

7.4.1 これらの器具は 0 に近い入射角を最も頻繁に使用する。アクセス可能な空間の帯域幅の低周波数限界及び高周波数限界は光学系の設計によって確定する。システムを適切に設計すると、約  $0.8 \mu\text{m}$  から約  $40 \mu\text{m}$  の空間帯域幅にアクセスする。散乱信号が低い空間周波数(鏡面に近い)及び高い空間周波数(大きな散乱角)の帯域に分割されるように、これらのシステムが設計される。

7.5 角度分解光散乱計(ARLS)

7.5.1 この技術の高い空間周波数限界は、入射角及び散乱角並びに使用された照明波長によって定義される。

7.5.2 低い空間周波数限界は下記によって与えられる。

- 上記の式(入射角のための)
- ウェーハ表面の入射照明スポットの直径
- 光学系の立体収集角
- 鏡面反射光と検出器との間の、器具によって許可された最も小さい角距離

7.5.3 ラフネスは、固定の入射角を使用することにより、及び入射面中の様々な散乱角で散乱光の強度を記録することにより測定される。その後、表面の 2 次元の PSD 曲線は散乱光の角スペクトルから計算する(BRDF)。上記の限界が許容される限り、 $m_q$  も  $R_q$  も、与えられた空間帯域幅の一次元又は等方性の PSD 曲線から計算される。

7.5.4 そのような装置は、照明光の波長の半分から数百  $\mu\text{m}$  までの空間の帯域幅範囲にアクセスする。

7.6 走査型表面検査システム(SSIS)

7.6.1 SSIS測定は、それらが大きな立体角上の光を集めるという点で、TISシステムによるものと似た散乱測定である。しかしながら、いくつかの著しい差がある。一般的に、ほとんどのSSISは反射するビームの 5~10 度以内の光収集を回避する。なぜならこの領域では、散乱はレーザ光散乱事象からの信号と競合する表面ラフネス散乱(バックグラウンドノイズ)によって支配される傾向があるからである。初期の(旧式の)スキャナは単一の検出器を有し、非常に大きな立体角収集器からの光を一般に測定にしていた。後期のシステムは、いくつかの、より小さい収集角を使用する傾向がある。それぞれの収集角に対応する検出器がある。配置が何であれ、各収集角はその空間周波数帯域パス領域で定義される。また、各検出器は、ラフネスによって引き起こされるあるバックグラウンドヘイズ成分(即ちしきい値)を持つ。したがって、レーザ光散乱事象がない状態では、測定されたヘイズは確定空間周波数に対してrmsラフネスに変換される。この変換は、表面がラフネ

ス計算のために要求される必要な(滑らか、清潔、正  
面反射の)条件を満たすとみなす。他の雑音源、例  
えばバックグラウンド電子ノイズ及びレイリー空気散乱は  
問題ではない。

## 8 ラフネス測定

### 8.1 パラメータ

8.1.1  $R_q$ と $R_a$ は、シリコンウェーハ表面のために一般  
に使用される。他のラフネス測定パラメータも有用であ  
る。この指針は、どのパラメータを使用すべきである  
か示唆するものではない。むしろ、どのパラメータであ  
れそれをスタンダード測定仕様にどのように組み入れ  
るかを示唆する。

### 8.2 測定箇所

8.2.1 ラフネスは、ウェーハ表面のどの個所のラフネ  
スかによって相当に異なる。それは優先の方向又は異  
方性を有し、「レイ」と呼ばれることが多い(ASME  
B46.1)。多くの測定技術は、非常に小さい測定面積及  
び1つか2つの走査方向に制限されている。したがっ  
て、代表的で再現性のある結果を得るためには特定の  
測定パターンを定義しなければならない。これらのパ  
ターンは、種々の製造工程においてウェーハ上で観察さ  
れる影響に対応するべきである。これらの工程段階は、  
鏡面から無限大までの回転対称というウェーハ表面土  
の特徴を生成する。ウェーハスライシング工程は低い  
対称性を生じる。その一方、単一ウェーハ研磨は高い  
対称性を生じる。

8.2.2 少数のスポットだけが測定されるときに、スポ  
ットパターン及び走査オリエンテーションを識別しな  
ければならない。いくつかのパターン及びオリエンテー  
ションに関しては、図1を参照すること。他のものは利害  
関係者間で合意する。

### 8.3 サイトパターン

8.3.1 1点 — これは、ある量のウェーハの結果を迅  
速に調べるときに役立つ。これはウェーハ中心点であ  
ることが多い。

8.3.2 少数の場所だけが測定されることになってい  
るアプリケーションでは、ローカルの走査のパターン及  
びオリエンテーションを識別しなければならない。測定  
は図1の中で概説されるようなサイトで実行される。  
個々のローカルの走査については、代表的なラフネス  
が計算される。ウェーハの代表的なラフネスは、 $n$ 個の  
代表的な走査値の関数である。ラフネス変動の計算は、  
平均、標準偏差、最大値又は範囲(最大値 — 最小  
値)によって行う。他の統計アプローチを使用してもよ  
い。

8.3.3 標準的なパターンは次のものを含んでいる。

- 1点ウェーハの中心
- 5点ウェーハの中心、及びウェーハの中心から  
 $2r/3$ の所の4つの点
- 9点ウェーハの中心、及びウェーハの中心から  
 $2r/5$ の所の4つの点、及びウェーハの中心から  
 $4r/5$ の所の4つの点

注4:これらのパターンは、一連の対称及び値で有用なこ  
とが示された。関連情報を参照すること。

8.3.4 標準の測定オリエンテーションパターンは次  
のものを含む。

- タイプA — 線形走査であって、起点二等分面に  
平行及び垂直なもの
- タイプB — 線形走査であって、起点二等分面に  
関し $45^\circ$ の角度をなすもの

注5:タイプAは、すべての表面に一般的に使用される。タ  
イプBは、(111)ウェーハの一部の表面条件に役立つと報  
告されている。

### 8.4 帯域幅

8.4.1 2つの問題が、ラフネス結果の帯域幅に影響  
を与える。第1の問題はラフネス測定装置の帯域幅で  
ある。それは7項で論じる。帯域幅に影響を与える第  
2の問題は、解析ソフトウェアからの問題である。それ  
はある空間周波数を強調するためにユーザによって選  
択される。長短両方の空間波長(又は周波数)限界は、  
 $\mu m$ (又は $\mu m^{-1}$ )で定義されなければならない。測定  
へこの情報を入力する場合、仕様波長単位を使用す  
ること。プロファイリング計装機器は、DIN 4768 及び  
4777 又はASME B46.1 によって調節された走査長さ  
及び帯域幅を持つべきである。

### 8.5 精密さ

8.5.1 ラフネス計器の精密さ(P)は重要である。Pと、  
特徴づけられる部分の許容範囲(T)との関係は、P/T  
比率と呼ばれることが多い。SEMI M27は、どのよう  
に要因を決定し解釈するかを説明する。「もしP/Tが10%  
以下ならば検査器具は通常目的にふさわしいと考えら  
れる。もしP/Tが30%を超えるならば検査器具はこの目  
的にふさわしいと考えられない。P/Tが10%と30%の間  
にある場合は、個々の根拠で判断されなければならない。  
これは測定システムに対する要求事項によって異  
なる。」

## 9 ラフネス測定仕様

9.1 得られる測定値を定義する過程は、いくつか  
の別個のステップを含んでいる。下記の定義シーケ  
ンスは単一の論理的なシーケンスを表す。他のものも等

しく有用なことがある。測定略語に関しては、表 1 を参照すること。

9.2 最初に、下記の全部を含めて、使用する器具のタイプを選択すること。

9.2.1 一般的な器具タイプ

9.2.1.1 干渉計

a. 干渉顕微鏡

9.2.1.2 プロフィロメーター

a. AFM

b. 他の走査プローブ顕微鏡

c. 光学プロフィロメーター

d. 機械スタイラス

9.2.1.3 散乱計

a. 散乱計 (TIS)

b. 角度分解光散乱計 (ARLS)

c. 走査型表面検査システム (SSIS)

9.3 次に、計算するラフネスパラメータを選択する。

9.4 測定パターン (図 1) を選択する。

a. 中心点

b. 5 点

c. 9 点

d. フル FQA ラスタ走査

e. フル FQA R シータ走査

9.5 フル FQA R シータ走査

a. タイプ A

b. タイプ B

9.6 ローカルの測定の条件を選択する。

a. 点

b. 線

c. 面積

9.7 報告する測定計算を記入する。

a. 平均 (A)

b. 範囲 (R)

c. 最大値 (M)

d. 標準偏差, 1 シグマ ( $S_{n-1}$ )

9.8 帯域幅を記入し、データが集められることになっている長さ限界を走査する。

9.9 最後に、これらの選択を記述する略語を記録する (例えば付属書 1 を参照)。隣接の省略語はコンマで分け、小数点にはピリオドを使用する。これによって 7 フィールド略語を生成する。上に説明されたフィールドシーケンスは、表 1 中の要素の順序に従う。

## 10 測定報告手順

10.1 一般的に、1 つの値が 1 つのウェーハについて報告される。2 以上のパターンが特定される場合、値は、それらが表 1 の中で列記される順に報告される。

表 1 ラフネス測定記号

| 要素                 | 略語                                                                            |          |           |                                      |                         |                         |
|--------------------|-------------------------------------------------------------------------------|----------|-----------|--------------------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 計器                 | A<br>プロフィロメーター                                                                | 1<br>AFM | 2<br>SPM  | 3<br>OPR                             | 4<br>MPR                |                         |
|                    | B<br>干渉計                                                                      | 1<br>IM  |           |                                      |                         |                         |
|                    | C<br>散乱計                                                                      | 1<br>TIS | 2<br>ARLS | 3<br>SSIS                            |                         |                         |
| パターン<br>(注 1 参照)   | 1<br>中心                                                                       | 5<br>5 点 | 9<br>9 点  | R<br>FQA/ラスタ走査                       | C<br>FQA/同心円<br>R シータ走査 | S<br>FQA/渦巻き<br>R シータ走査 |
| パターンオリエン<br>テーション  | A<br>A                                                                        | B<br>B   |           |                                      |                         |                         |
| ローカル測定<br>条件       | P<br>点                                                                        | L<br>線   | A<br>領域   |                                      |                         |                         |
| パラメータ<br>(注 1 参照)  | Q<br>Rq                                                                       | A<br>Ra  | Z<br>Rz   | T<br>Rt                              | K<br>尖り                 | S<br>歪                  |
| 計算<br>(注 1 参照)     | A<br>平均                                                                       | R<br>範囲  | M<br>最大値  | D<br>標準偏差<br>(1 シグマ <sub>n-1</sub> ) |                         |                         |
| 帯域幅, $\mu\text{m}$ | [ ]/[ ]<br>(空所に 2 つの有効数字を記入すること)<br>長波長( $\mu\text{m}$ )/短波長( $\mu\text{m}$ ) |          |           |                                      |                         |                         |

注 1: 2 つ以上の要素を特定する場合, 代表文字を関連フィールドで指定の順序で連結すること。付属書 1 に記載の例を参照すること。