

パワースペクトル密度 (PSD) を用いた表面の周期性解析

藤井 岳直

ユーザーベネフィット

- ◆ パワースペクトル密度 (PSD) を用いることで、通常表面粗さパラメータでは表現できない表面構造の粗密や形状の緩急比較、パターン試料における周期解析が可能になります。

■ はじめに

表面の凹凸の違いは、接着・接合性能、摩擦、耐久性、気密性といった表面機能や製品の品質に影響を与えます。凹凸の状態を定量的に示すときに用いるのが表面粗さパラメータです。特に、算術平均粗さ (Sa) や二乗平均平方根高さ (Sq) は一般的に用いられますが、これらは高さ方向の成分のみを考慮しています。しかし、表面の状態や機能が異なっても、SaやSqが同程度の値になる場合があります。このような時には、水平方向も考慮した解析が必要となります。パワースペクトル密度 (PSD) は、表面の波長成分ごとの凹凸の大きさを表したものです。PSDを用いることで、通常表面粗さパラメータでは表現できない水平方向の構造の粗密や、形状の緩急比較、パターン試料の周期解析が可能になります。本報では3D測定レーザー顕微鏡 OLS5100とそのPSD解析機能を利用したシリコンウェハー裏面の構造の粗密の比較と金 (Au) ナノパターンにおける周期解析の事例を紹介し、OLS5100とPSDの有用性を紹介します。

■ 3D測定レーザー顕微鏡 OLS5100

図1に、3D測定レーザー顕微鏡 OLS5100 の外観を示します。この装置は、波長405 nmのレーザー光と専用対物レンズを採用した、高分解能なレーザー顕微鏡 (LSM) です。試料を加工する必要はなく、簡単に表面の高さ画像を得ることができます。サブミクロンオーダーの形状測定が可能です。OLS5100は使用環境下での校正証明書を発行し、測定結果は、国家標準に繋がるトレーサビリティ体系に準拠しています。JIS B0681 (ISO25178) に準拠した表面粗さ解析ができることから、研究開発から品質管理に多く用いられています。

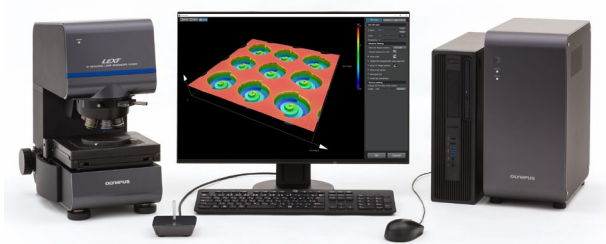


図1 3D測定レーザー顕微鏡 OLS5100

■ PSD解析

高さ画像データのスペクトル解析によりPSDが得られます。PSDは、表面の波長成分ごとの凹凸の大きさが、波長の逆数である空間周波数 (周波数) とスペクトル強度 (強度) で得られます。PSDをグラフ化することで、表面構造の周波数成分の比較が容易になります。例えば、緩やかな形状ではPSDグラフの低周波数側 (波長が長い側) の値が大きくなり、細やかな形状では高周波数側 (波長が短い側) の値が大きくなります。表面に周期性がある場合、グラフにピークが現れ、このピーク周波数の逆数から周期を知ることができます。周期性が無い場合、一般的に右下がりのグラフになります。

■ シリコンウェハー裏面のPSD解析

研磨が異なる2種類のシリコンウェハーの裏面を、1024画素×1024画素で画像を取得しました。図2に、シリコンウェハーの裏面の高さ画像 [(a) 裏面1、(b) 裏面2] を示します。視野の大きさは86 μm ×86 μm です。表面粗さパラメータ値を表1に示します。裏面1と裏面2のSqとSaの差は僅かですが、図2からは表面構造の違いが認められ、裏面1は裏面2と比較して構造が細やか (密) です。この水平方向の表面構造の違いをPSDを用いて解析しました。

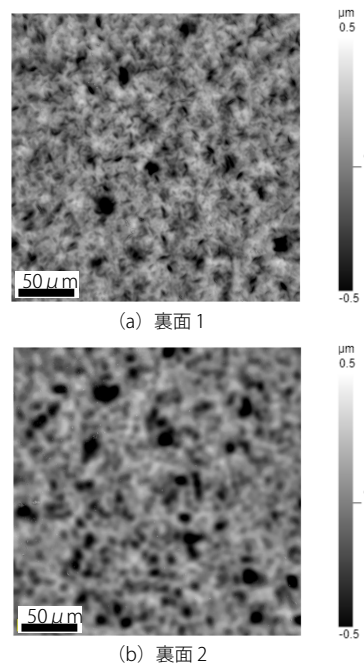


図2 研磨が異なる2種類のシリコンウェハー裏面の高さ画像

表1 表面粗さパラメータ値

	Sq (μm)	Sa (μm)
裏面1	0.110	0.146
裏面2	0.114	0.155

図3に、図2から得られた裏面1と裏面2のPSDグラフを示します。裏面2と比較して裏面1では、高周波数側（短波長側）の $0.1\sim 0.4$ ($1/\mu\text{m}$) の領域に優勢な成分が認められます。この領域は、周波数の逆数から $10\sim 2.5 \mu\text{m}$ の波長領域になります。PSD解析によって、裏面2と比較して裏面1の方が短波長成分が優勢、すなわち、裏面1の方が細やかな（密な）構造であることがわかりました。このようにPSD解析により、表面粗さパラメータでは表現できない表面構造の違いを、構成する波長成分の差としてグラフで表示できます。

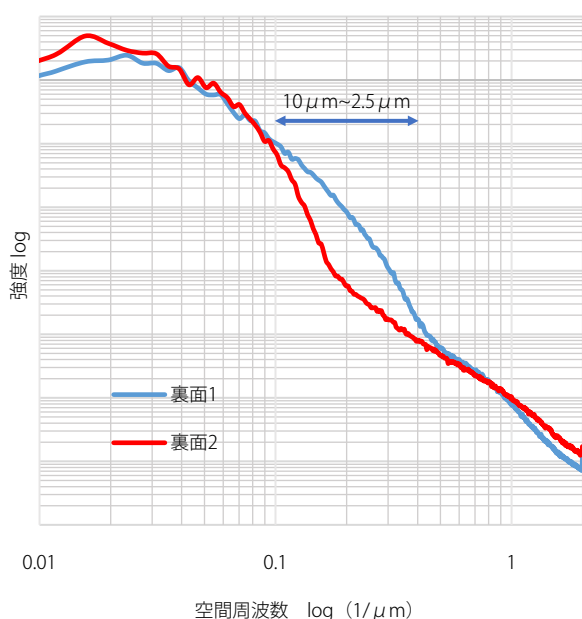


図3 裏面1と裏面2のPSDグラフ

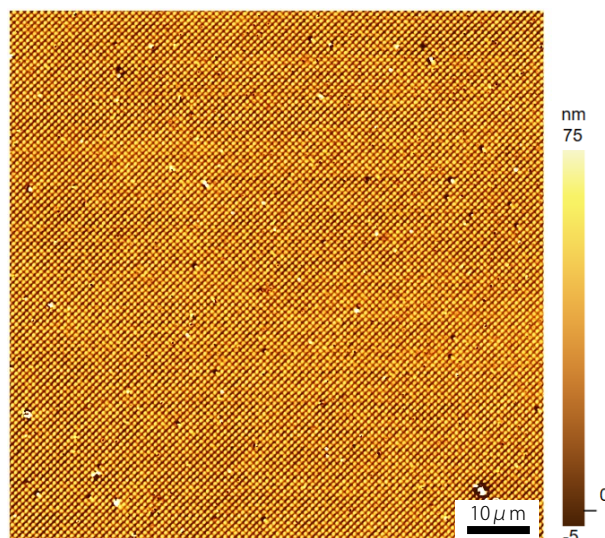


図4 Auナノパターンの高さ画像
(試料ご提供：東京都立産業技術研究センター様)

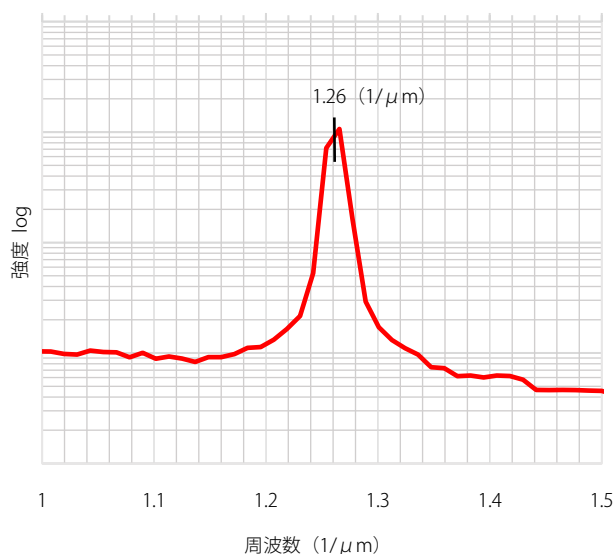


図5 Auナノパターンの長波長領域のPSDグラフ

■ Auナノパターンの周期解析

試料は金 (Au) のナノパターンです。高さ70 nm、直径400 nmのAuドットが規則正しい間隔で配列されており、間隔（周期）の設計値は800 nmです。図4に、1024 画素×1024 画素で取得したAuナノパターンの高さ画像を示します。視野の大きさは $86 \mu\text{m} \times 86 \mu\text{m}$ です。規則正しく配列したAuドットが観察できています。図5に、図4から得られたPSDグラフの長波長領域を示します。ピーク周波数 1.26 ($1/\mu\text{m}$) が認められます。ピーク周波数の逆数から得られる周期は794 nmであり、設計値800 nmに近い値でパターンが形成されていることがわかりました。

■ まとめ

PSDを用いることで、通常表面粗さパラメータでは表現できない表面構造の粗密や形状の緩急比較、パターン試料における周期解析が可能になります。表面粗さパラメータとともにPSDを用いることで、より正しく表面構造の評価ができます。

<謝辞>

試料を提供いただいた 地方独立行政法人 東京都立産業技術研究センター様に厚くお礼を申し上げます。