

# SEMによる粗さ測定の較正法とその応用

Calibration Method and Its Application to Surface Roughness Measurement by SEM

佐藤 壽芳\*・榊 裕之\*\*・大堀 真敬\*・関口 芳信\*\*

Hisayoshi SATO, Hiroyuki SAKAKI, Masanori O-HORI and Yoshinobu SEKIGUCHI

## 1. ま え が き

SEMを用いる粗さ測定において、その出力信号を計算機にとりこんで処理するデジタル方式が処理、表示等の点で多様性に富み、秀れた点が少なくないことは、本特集号の別報<sup>1)</sup>で明らかにした。アナログ方式の場合の問題点の一つは、対象の粗さを測定することができても、標準となるものと同一条件での測定が容易でないという従来のSEMの機能上の性質から、較正が難しいことであった。<sup>2)</sup>デジタル方式によって、較正についても比較的簡単に可能なことを明らかにしたので、以下に報告する。

## 2. 較 正 法

まず、この場合についても断面が図1、寸法が表1で示される三角山形状の標準粗さ試験片を用い、較正の手法を明らかにした結果についてのべる。図2は、表1の粗さ試験片Iを用い、倍率を150倍、350倍として出力した反射電子信号と粗さを示している。反射電子信号は走査方向の長さのみが倍率に応じて伸縮しており、表面の傾斜角に比例する矩形波の高レベル、低レベルは倍率によらず一定となっている。

いま倍率Aで反射電子信号が

$$y=f(x) \dots\dots\dots(1)$$

と表されると、このときの粗さ曲線R(x)は

$$R(x)=\int f(x)dx \dots\dots\dots(2)$$

と書ける。次に倍率で反射電子信号が

$$y'=F(x') \dots\dots\dots(3)$$

と表されると、xとx'の間には

$$x=(A/B)x' \dots\dots\dots(4)$$

なる関係が成り立つ。一方図2の関係を考慮すると、

$$f(x)=F((B/A)x) \dots\dots\dots(5)$$

であるから、倍率Bに対する粗さ曲線R'(x')

$$\begin{aligned} R'(x') &= \int F(x')dx' \\ &= \int F((B/A)x)(B/A)dx \\ &= (B/A) \int f(x)dx \\ &= (B/A)R(x) \dots\dots\dots(6) \end{aligned}$$

が導かれる。したがって

$$R(x)=(A/B)R'(x') \dots\dots\dots(7)$$

であり、倍率変更したとき、積分した結果にこの倍率との比を乗ずることによって、倍率変更の前と同じ粗さ曲線が求められることとなる。

測定対象と標準粗さ試験片を試料室内で接近しておき、標準粗さ試験片を測定した状態を保って視野内に測定対象を持ちこむようにすれば、測定対象の観察で倍率をどのように変えても上述の関係によって標準粗さ試験片との間で粗さ曲線の較正が可能となる。デジタル方式の場合、(7)のように倍率比をかけることも容易であり、アナログ方式では簡単でなかった較正が、粗さ曲線の計算と同時にできることとなった。図2で350倍としたときの積分の結果が150倍の場合と同じ振幅となっているのは、標準試験片についてこの間の関係を確認したものである。

表1 標準粗さ試験片の寸法

単位：[μm]

	a	b
I	11	100
II	1.5	15

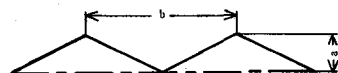


図1 標準粗さ試験片の断面曲線

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

\*\* 東京大学生産技術研究所 第3部

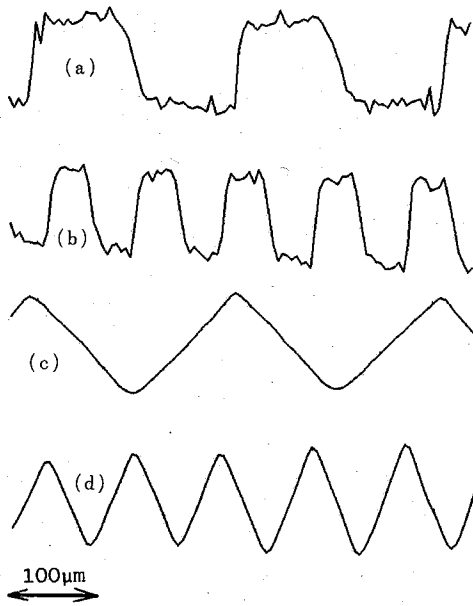


図 2 倍率と信号  
 (a) 反射電子信号 350 倍  
 (b) 反射電子信号 150 倍  
 (c) 積分による粗さ曲線 350 倍  
 (d) 積分による粗さ曲線 150 倍

3. 測 定 例

SEM を表面粗さに用いることの一つの理由が分解能の向上であり、 $1/1,000 \mu\text{m}$  台しうることをアナログ方式によっても示していたが、その場合の較正法は必ずしも簡単とは言えなかった。以下ではシリコンの薄板上にフォトレジストを塗付し、干渉縞を作って蝕刻した同様の試料を対象に、上述の較正法を適用して検討した。

図 3 (a) は倍率 30,000 倍の試料の反射電子画像であり、これに対する信号は同図 (b) のように正弦波状にえられる。この際後述のようにノイズを低減するために 100 回の平均をとっている。同図 (c) はこれを積分した粗さ曲線である。表 1 の粗さ試験片 II を 1,000 倍で用いた結果との間で較正すると、この振幅は約  $0.03 \mu\text{m}$  と読める。図 3 (c) の波形でみる限り、振幅の  $1/10$  の分解能があるとみてよいから、デジタル方式の検討によっても、 $1/1,000 \mu\text{m}$  台の分解能が確認されたと言える。ただ、実際に粗さが  $1/1,000 \mu\text{m}$  台の試料を対象にしたとき、測定が可能かどうかについては今後の検討課題である。

350 倍程度の標準粗さ試験片観察の画像では、傾斜面に縦方向に走る加工痕とみられる細かい条痕がみられ

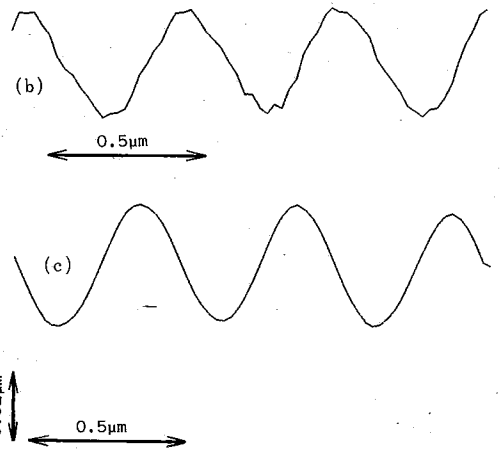
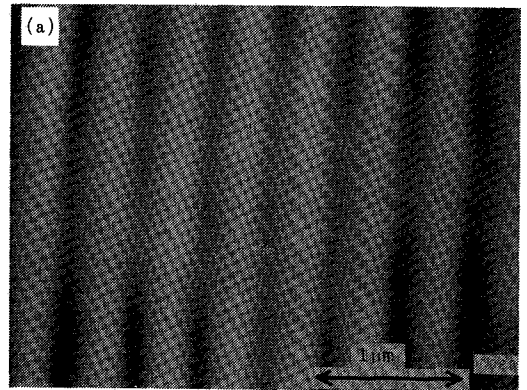


図 3 蝕刻試料の反射電子画像と粗さ曲線  
 (a) 30,000 倍の画像  
 (b) 反射電子信号  
 (c) 粗さ曲線

た。図 4 が斜面部分の 2,000 倍の画像信号であり、これを計算機に取り込んだ後に積分し、俯瞰図表示としたものが図 5 である。このとき斜面の条痕がよく観察できるように、傾斜として出る一次関数の形の変化分を除去した後積分している。上記較正の手法により振幅の尺度は図示のように入れられ、 $R_{\text{max}}$  としては約  $0.2 \mu\text{m}$  と読める。これはアナログ方式で得ていた結果とも比較できる値であり、この意味で妥当な結果と言える。

図 6 は平面研削した面を倍率 750 倍でみた画像である。図 7 はこれにたいする表面粗さの俯瞰図である。寸

研 究 速 報

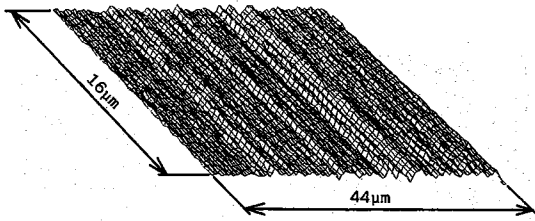


図 4 標準粗さ試験片の傾斜部分の2,000倍の反射電子信号の表示

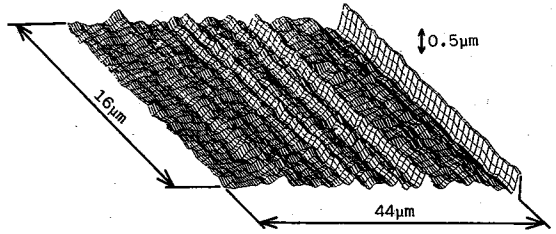


図 5 図 4 を積分した形状の立体表示

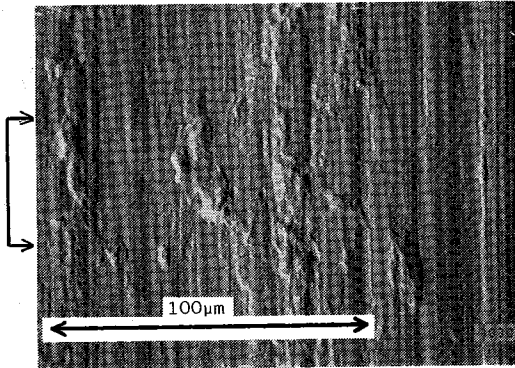


図 6 研削面反射電子画像(750倍)

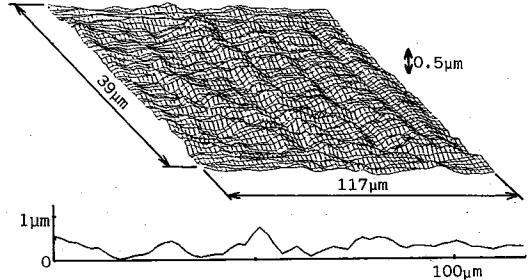


図 7 図 6 を積分した表面形状の俯瞰図表示

法尺度は端部の粗さ曲線によって較正している。積分は後述するノイズ除去に関する検討にしたがって、10回の平均をとった画像信号を用いている。画像の陰影と比較するとき、縦に走る研削条痕、むしろとみられる部分等の点で、図7の表示が表面形状をよく表していることがわかる。

較正法との直接の関係はないが、図7のような表面形状のデータがあれば、等高線の表示が可能であることは、光学的な粗さ測定法の展開において報告している。<sup>3)</sup> 図8はこれを試みたものである。研削痕に対する縦に走る等高線群が、むしろとみられる部分によって乱されている状況がよく示されている。触針式等では、むしろの存在を確認しながらの測定は困難であり、これが加工条件によってどう変化するか等の問題については、本研究の知見をもとにした今後の展開が必要である。

4. おわりに

SEMを粗さ測定に用いるときの較正を明らかにする一方、いくつかの例について粗さの較正を試みた。この結果、倍率30,000倍の画像から0.03μmの測定ができ、このときの分解能から0.001μm台の読みとりも可能であることを示した。また数千倍程度の倍率からすると0.1μm台の読みとりは容易であることを明らかにした。

研削試料は岡本工作機械製作所から頂いたことを記し

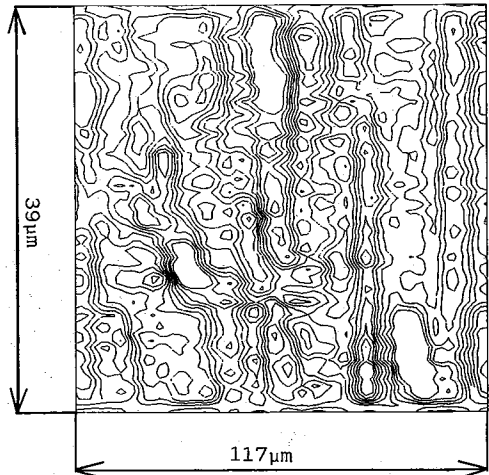


図 8 図 7 の等高線表示

御礼申し上げる。本所、谷泰弘助教授からは有益な討論をいただいたこと、論文とりまとめに、鈴木美佐子事務官、尾高広昭技官の助力をえたことを感謝する。本研究は一部科研56460074によっておこなわれたことを記し、関係各位に深謝する。  
(1983年11月25日受理)

参 考 文 献

- 1) 佐藤, 大堀: 生産研究, 昭58-2.
- 2) 佐藤, 大堀: 機論, 49-438, C(昭58), 227
- 3) 佐藤, 大堀: 機論, 48-426, C(昭57), 188