

## 走査電子顕微鏡 (SEM) を用いた表面粗さ測定的基础研究

Surface Roughness Measurement by Scanning Electron Microscope

佐藤 壽芳\*・大堀 真敬\*

Hisayoshi SATO and Masanori O-HORI

## 1. はじめに

半導体素子の表面形状や超精密加工された表面形状を測定し、その特性を明らかにすることは最近の技術の進展に伴う新たな要請である。触針式の粗さ測定方法はいまだに確実な方法として用いられているが、対象面の仕上げがよいほど表面に傷をつけ易くなること、測定した箇所が必ずしも明確でないこと等が難点となるに至っている。一方光切断法等光を用いる方法<sup>1),2),3)</sup>は、光電変換素子に良質のものが得られるようになって、高速測定や2次元測定等、従来よりも高性能な測定が可能となっている。

しかし、これらの測定では光の波長や光学系の性能が制限となり、通常の切削面が対象の限度とみられ研削面や超精密加工の表面粗さ測定には必ずしも適していない。ここで光の波長の観点からその限度を克服するには、電子ビーム等この点でさらに性質の優れた媒体を用いることが考えられ、とりもなおさず電子顕微鏡の応用に思いあたる。電子顕微鏡を表面粗さや表面形状の測定に用いることについては、2次電子信号と粗さとの対応を調べておくことによって求める方法<sup>4),5)</sup>や、立体写真を構成してその表面をなぞることによって求める方法<sup>6),7)</sup>等がみられるが、前者では定性的な対応にとどまっておき、本報告で述べようとする粗さ断面曲線との対応については明確でなかったし、後者では粗さ形状を求めることに必ずしも重点があったとはみられず、使い易いものではなかったと思われる。

本報告では電子ビームが対象表面を走査して表面の拡大画像を得ているSEMの特徴を生かしながら、主として反射電子の信号を用いて表面粗さの断面曲線を求めることを試みた結果について報告する。

## 2. 標準粗さ試験片を用いた検討

本研究にはSEMとしてJSM-T 20(日本電子(株))

製)に、反射電子、2次電子信号取り出しの端子を加えたものを用いた。図1は用いた粗さ標準試験片の断面曲線の形を示したものである。電子ビームが平坦な試料面の上方から紙面内に走査されてあたるとき、2次電子の強度が面の傾き角 $\theta$ によって異なり、図2に示したAのような性質を示すことは、文献<sup>4)</sup>等にも述べられている。同図のBは同様の性質を反射電子についても調べたものである。いずれの傾向とも傾きの増加とともに出力電圧が増加するが、反射電子に対しては25~55度の間についてほぼ傾き角と比例していることがわかる。これより基本的には反射電子信号を積分することにより、断面曲線が求められることが明らかである。

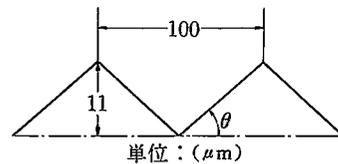


図1 標準粗さ試験片の断面曲線

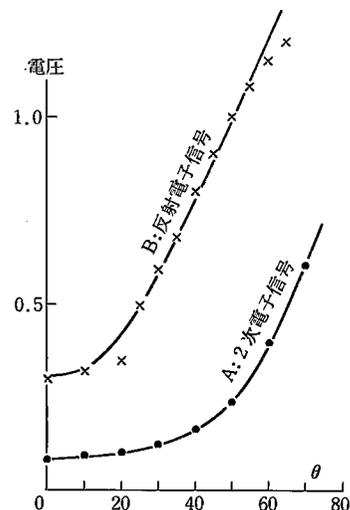


図2 対象面の傾き角と2次電子、反射電子の出力電圧

\* 東京大学生産技術研究所 第2部

図3(a)は試料をもとに反射電子信号をみたものである。現在のSEMの機能上、図に示された信号が画面のどの箇所にあっているかは、ほぼ信号が描かれている位置としかいえないが、えられている画像が表面の傾斜の微分信号になっていることが明らかである。すなわち、標準試験片の三角山に対応して矩形波信号が発生し、斜面にみられる細かい縦方向の溝に対応して信号の変動がみられている。同図(b)は信号をサンプル周波数10

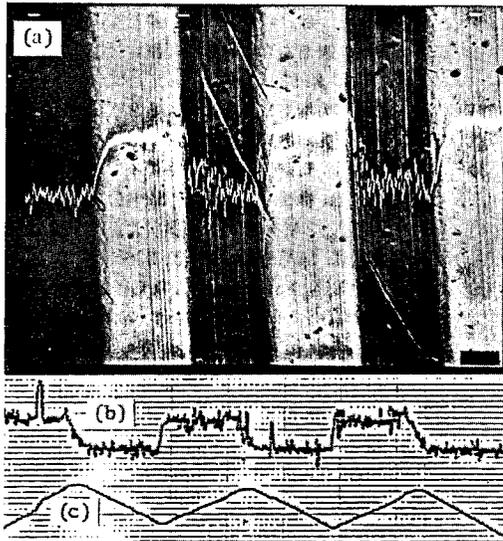


図3 試験片の350倍反射電子像と粗さ

kHzで1024個AD変換し、このうち約700個のデータで形成しX-Yプロッタ上に描かせたものである。増幅器の関係で画像内の信号とは符号が逆になっている。同図(c)はこれを積分したもので、現在のSEMの機能上振幅の較正は標準試験片によらざるをえないが、試料の断面曲線はえられているものと考えてよい。

図4は倍率を3500倍とあげた場合のものであり、図3と同じ過程で断面曲線が求められることがわかるが、特に図4では偏りを除いた結果として(d)が求められ、細部の構造までが示されている。同図(a)との間でL, M, Nの対応がよくつき、図3の縦軸との単純な比較からすればLの深さは約 $0.2\mu\text{m}$ と読まれる。これらの結果から明らかなように、本方法による表面粗さ断面曲線の特徴は顕微鏡写真との対応をつけながら求められることである。文献2)の成果などから明らかなように、以上の過程を各走査線ごとに繰り返せば、画像観察と同時に同視野表面の立体像が求められることとなる。

### 3. 応用例による検討

図5は研削面(岡本工作機械(株)による)の観察例とこれから求めた粗さ断面曲線である。寸法の較正はしていないが、図4の例と同様、画像にみられる凹凸によく対応した断面曲線がえられている。図6はICの表面について同様にして断面曲線を求めた例である。反射電子信号は段の上りと下りで逆向きのパルスとなり、面形状の微分波形となっていることを例証している。求められた断面曲線はよくその表面形状をあらわしている。とく

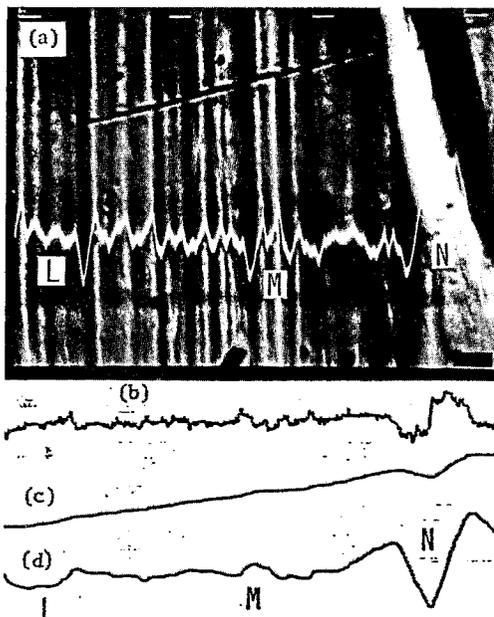


図4 試験片の3500倍反射電子像と粗さ

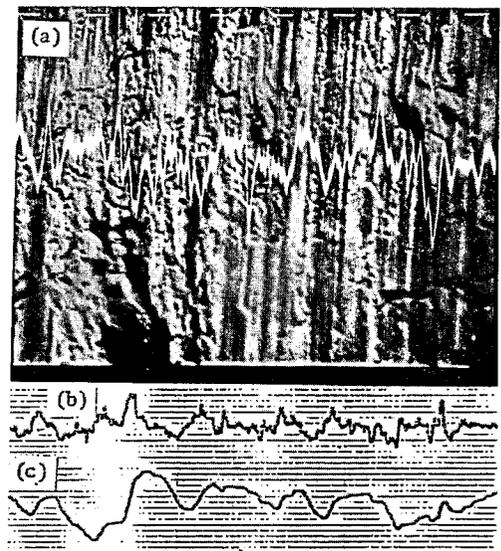


図5 研削面の画像と粗さ(1500倍)

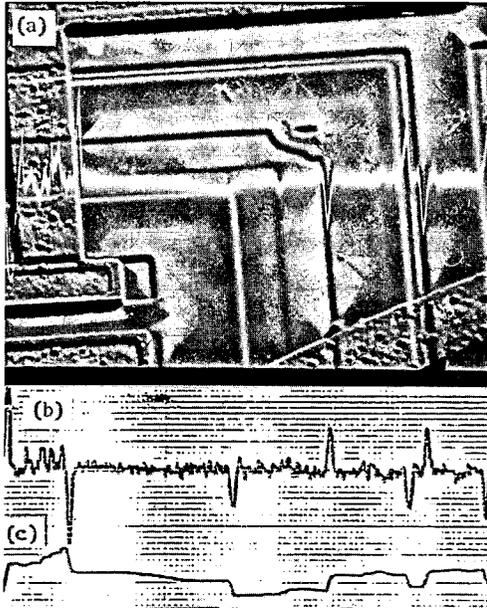


図6 IC面の画像と粗さ(500倍)

に、左半では段の所を斜めに走査しているが、断面曲線はこれに対応してゆるやかに低くなっている部分のある所がみられる。また、中央部で最も低くなっている箇所でも僅かな段が写真では観察されるが、断面曲線にもこれはあらわれている。

#### 4. ま と め

SEMの反射電子信号等を積分して顕微鏡画像と対応

して粗さ断面曲線を求めることを示した。将来の可能性として簡単に面的に粗さを求めること等は従来の方法にない特徴であり、広く加工技術や表面工学に寄与することが期待される。本研究は一部文部省試験研究485061によった。本研究の遂行にあたり助力をえた中村良也助手に感謝する。またSEMについてご教示をいただいた中川、高木、石田各教授、榊助教授にお礼を申し上げる。

(1980年8月11日受理)

#### 参 考 文 献

- 1) 三井, 佐藤: 表面あらさの実時間測定に関する研究, 機論 44-377, 昭 53-1, 321
- 2) 内田, 佐藤, 大堀: 光切断法による2次元表面粗さ計測に関する研究, 機論 46-407, 昭 55-7, 771
- 3) 関口ほか3名: 切削仕上げ面あらさのインプロセス測定に関する研究, 機論 43-374, 昭 52-10, 3893
- 4) 副島, 平居: SEM信号による微細表面アラサの測定 電顕学会講論, 14-D3-6, 昭 52, 226
- 5) L. P. Cook, E. N. Farabaugh, C. D. Olson: Y-Deflection Modulated Secondary Electron Images in the Evaluation of Ceramic Surface Finish, (出典不明)
- 6) Y. Kato, S. Fukuhara and T. Komoda: Stereoscopic Observation and Three Dimensional Measurement for Scanning Electron Microscopy, Proc. 10th Annual SEM Symp. 1977-3, 41
- 7) A. Boyde: Photogrammetry of Stereo Pair SEM Images Using Separate Measurement from the Two Images, Proc. 7th Annual SEM Symp. 1974-4, 101

