

# 走査電子顕微鏡 (SEM) による表面形状測定の研究

## ——反射電子信号から形状信号の分離について——

Measurement of Surface Form by Scanning Microscope

——Separation of Surface Form Signal from Backscattered Electron Signal——

大 堀 真 敬\*・佐 藤 壽 芳\*

Masanori O-HORI and Hisayoshi SATO

### 1. は じ め に

走査電子顕微鏡 (SEM) によって得られる観察画像は、光学顕微鏡に比較して焦点深度が深いので、立体感のあることが特徴である。また同時に分解能も高いので、微細試料表面の立体形状計測にこれを用いることができれば、従来のこの種の装置にはない特徴を備えた計測装置としてさまざまな産業分野に応用できる<sup>1)2)</sup>可能性がある。

筆者らは複数の検出器を設置したSEMを用い、それぞれの検出器から得られる複数枚の反射電子画像信号の処理によって、試料表面の立体形状を測定する研究<sup>3)4)5)</sup>を進めてきた。測定の原理は、反射電子信号の強度が表面形状の傾斜角に対応していることに基づくことによる。この方法は視差に対応する2つの画像を用いるステレオ法<sup>6)7)</sup>と異なり、複数枚の画像に対して物体の位置が変化されず、表面の傾斜に応じて信号強度が変化することを利用するので、画像処理が容易であるという特徴がある。

しかし、信号強度の変化量と試料表面の形状との対応については、これを精度良く知っておく必要がある。また反射電子信号には、通常形状信号とともに試料の材料組成の情報が含まれており、定量的な形状測定のためには組成の情報を除去し、形状情報のみの処理によらねばならない。このため表面を金やカーボン等の単一成分の物質で被覆してしまう方法も考えられるが、複数成分の材料でもそのまま観察、計測できることが望ましい。本稿では、反射電子信号について、材料組成の情報の成分を消去し形状信号のみを分離して処理する方法について、検討を試みたので報告する。

SEMの画像信号には、二次電子信号と反射電子信号が一般に用いられる。画像観察の目的には、表面の凹凸があっても全体的に見やすい画像となる二次電子信号が多く用いられている。これに対して反射電子信号では、二

次電子信号とは逆に表面の凹凸によって影が生じ、その部分は観察が難しくなるという問題点をもっている。しかし影が生じやすいことは、表面の形状情報を強く反映していることでもあり、表面形状測定には適した信号といえる。以下では、反射電子信号から形状信号を分離する方法として、2つの検出器から得られる信号の差を求めて、組成成分を除去する方法と4つの検出器を用いる方法について検討した。

### 2. 2 検出器による形状信号の分離

図1は直径65 $\mu\text{m}$ に細く伸ばしたガラスの丸棒を試料として、信号強度と表面の傾斜角との関係について求めたものである。図中Aは二次電子信号に対する特性である。この場合信号強度の一つの値から表面の傾斜角は二つ求まってしまう、一義的に傾斜角を求めることはできない。またBで示された1個の検出器による反射電子信号強度は、40°を中心にして線形域と見なしてよい角度域のあることが示されている。しかし、試料表面傾斜角が

—— A:二次電子信号(シンチレータ検出器)  
----- B:反射電子信号( " )  
—— C:反射電子信号(半導体検出器)

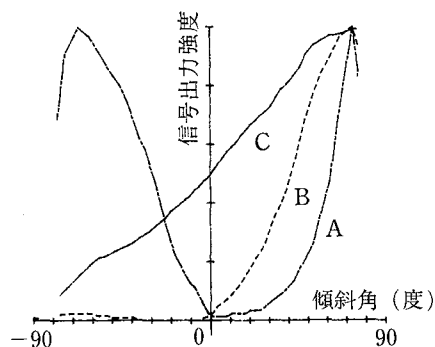


図1 信号強度と傾斜角の関係

\*東京大学生産技術研究所 第2部

研 究 速 報  
負の側ではほとんど検出されていない。

これらに対して、Cは検出器を電子ビームに対して対称な位置に2個配置し、得られた二つの反射電子信号の差を取ったものである。これらは、同一の試料を対象に取られた信号であるから、両者の差を取ることによって、同様に含まれていると考えられる組成の情報は除去され、もとの信号から形状の情報が分離されていると考えられる。しかし、組成情報の定量的な値、他の材料に対する組成情報の定量的な値については明確ではない。形状の特性としてはBの場合に比較して、表面傾斜角が正負の広い範囲にわたって、線形域が拡大している。

### 3. 4 検出器による形状信号の分離

ガラス丸棒を電子ビームの走査と直角方向において観察する場合には、上述のように2個の検出器による傾斜の測定が容易である。しかし、対象とする試料では傾斜が任意の方向である場合が一般的であり、これに対して上記の2検出器による方法では対処が難しい。そこで、図2に示すように4個の検出器を導入することにより、一般的な試料の測定にも対処できるようにした。3個の検出器を用いる場合<sup>8)9)</sup>については、図1に示す特性と同

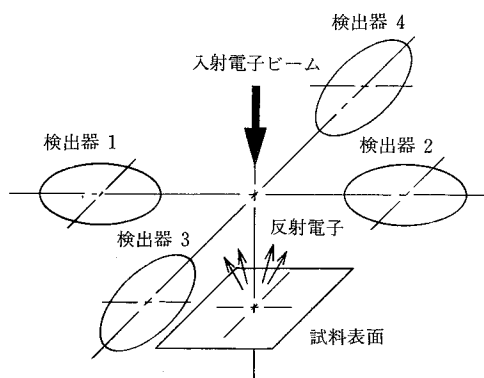


図2 電子ビームと4検出器の位置関係

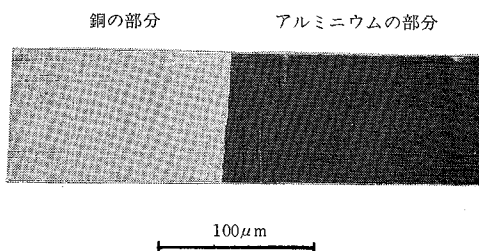


図3 異種金属の反射電子画像

様な較正を立体角に対して求めて表化し、測定対象から求められた信号をこの表と対照して傾斜を求める方法が報告されている。けれども、この方法では任意の方向の傾斜に対して、組成情報の影響がどのように除去される

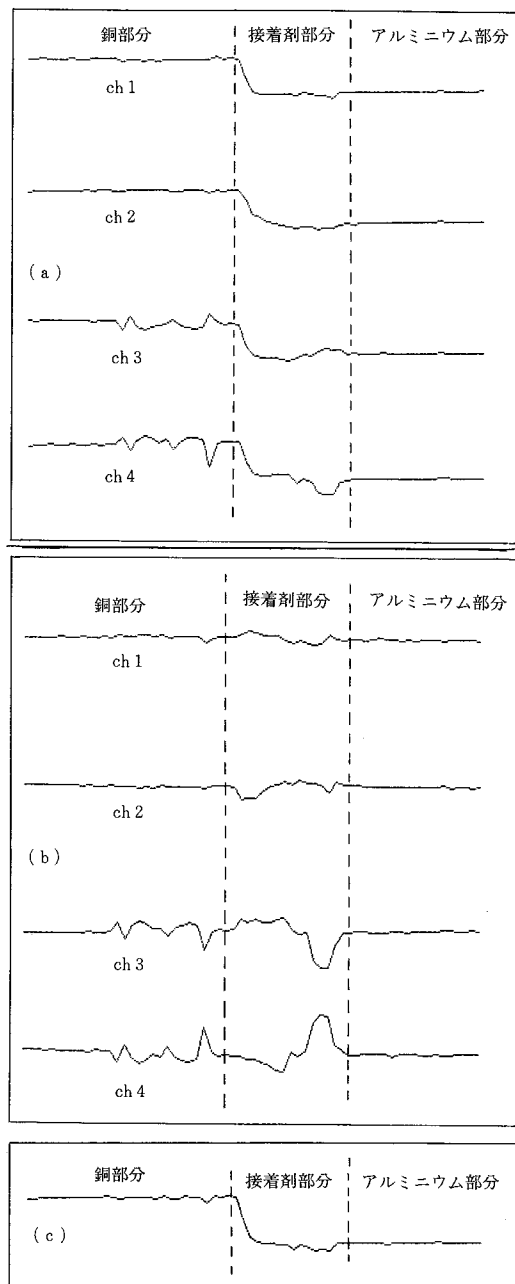


図4 銅とアルミニウムの信号強度の比較

(a)原信号 (b)処理後の信号 (c)総和信号

研究速報  
 かは必ずしも明確ではないし、較正に時間を要する上、精度も必ずしも保証されていない。本報告では、黄銅、銅、アルミニウム、鉄の4種類の薄板を張り合わせ、同

一視野内で接合面を挟んで異種材料を観察できる試料を用い、組成成分を分離する方法を検討した結果について

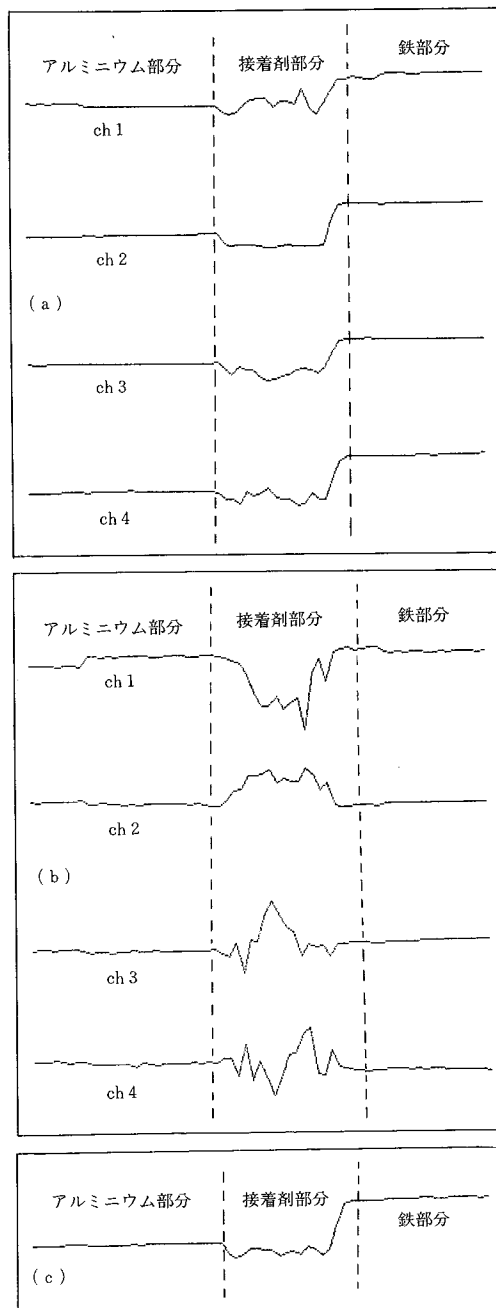


図5 アルミニウムと鉄の信号強度の比較  
 (a)原信号 (b)処理後の信号 (c)総和信号

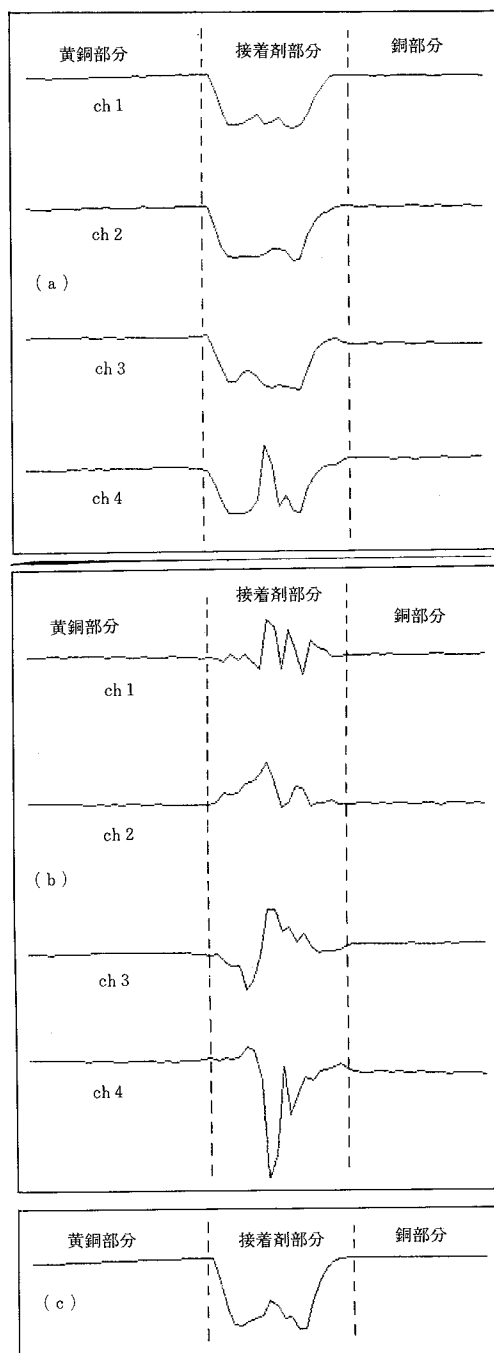


図6 黄銅と銅の信号強度の比較  
 (a)原信号 (b)処理後の信号 (c)総和信号

## 研 究 速 報

述べる。

上記異種材料の張り合わせ試料は、端面を精密旋盤により平面切削し、接合面を挟む金属材料部はほぼ鏡面の仕上げとしている。図3は銅とアルミニウムの張り合わせた境界を検出器1によって検出した反射電子画像である。この明暗の違いは、図4(a)に示すとおり4つのチャンネルで同様に生じている。これが表面の凹凸形状によって生じている明暗であれば、検出器ごとに試料に対する視角が異なるため明暗のつき方が変わってくる。図では、形状による信号の変化は、接着部に近接する銅の部分と接着剤の部分に現れているのみであり、銅、アルミニウム部分の信号は、ほぼ一様で異なったレベルとなっている。したがって、これらにみられるレベルの相違は組成による相違を表しているものとみることができる。

ここで図4(a)の4個の信号の総和をとり、得られた結果でこれら4個の信号を除した結果、図4(b)が得られた。これによると、図4(a)の各信号に見られた銅、アルミニウム部分のレベルの相違はなくなり同一レベルになっており、組成情報の成分が分離されたとみてよい結果が得られている。図4(c)は総和の信号を示している。上記の処理を定式化すると式(1)のように表すことができる。B<sub>n</sub>'は各チャンネルの原信号、B<sub>n</sub>'は同じく処理後の信号、B<sub>s</sub>は総和信号である。

$$B_n' = B_n / B_s, \quad B_s = \sum_{n=1}^4 B_n \quad (1)$$

(ただし  $n = 1, 2, 3, 4$ )

図5にはアルミニウムと鉄の境界を、図4と同様に測定した結果を示す。やはり中央の接着剤の部分では信号レベルが大きく変化しているが、同図(a)の信号では鉄からの信号レベルがアルミニウムからの信号レベルよりも高くなっている。(1)式で表される処理の結果、同図(b)は各チャンネルともアルミニウムと鉄の部分の信号レベルが同一になっていることは、図4の銅とアルミニウムの場合と同様である。

図6は黄銅と銅の境界部分の測定結果である。黄銅と銅ではその組成成分がほとんど同じであることから、同図(a)の信号のレベルは始めからほとんど等しくなっている。(1)式による同様な処理の結果同図(b)は、他の境界部分と同様に接着剤部分の凹凸の変化だけを示し、黄銅と銅の部分ではやはり同一レベルとすることでできている。

以上いずれの組み合わせについても、同じ操作で材料

組成の影響を消去した結果が得られることを示した。

## 4. ま と め

SEMの機能を生かし、nm台の分解能を有する表面形状測定装置の開発を進めてきた。この過程で、試料の組成情報の性質を把握し、処理することが要請されていたが、必ずしも十分には対処できていなかった。これらの点について、本研究では、以下の特性を明らかにした。(1)2個の検出器を用いてその差信号を求めることで、試料の材料組成の情報の除去を期待した形状信号とできることを示した。

(2)4個の検出器を用いた場合は、それぞれの信号を全検出器の総和信号で除することにより求められた信号が、組成情報が消去した形状信号となることを異種金属の張り合わせた試料により確認した。

最後に試料の作成に御尽力頂いた朝日立精工 渡部和氏に感謝いたします。 (1987年3月25日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 菊川, 城野, 安井, 安達, 福田: 走査電子顕微鏡による疲労損傷についてのマイクロ定量的測定, 材料, 23-252, 昭49, 708
- 2) 浅井, 菅沼, 田口, 河西: 走査電子顕微鏡によるダイヤモンド工具の刃先測定, 昭61年度精密工学会春季講演論文集, 365-368
- 3) 佐藤, 大堀: 走査電子顕微鏡(SEM)による表面粗さ測定の研究, 機論C, 47-438, 昭58-2, 227-233
- 4) 佐藤, 大堀: 走査電子顕微鏡(SEM)による表面粗さ測定の研究(デジタル方式による), 機論C, 51-469, 昭60-9, 2381-2388
- 5) 大堀, 佐藤: 走査電子顕微鏡(SEM)による表面形状測定の研究(法線検出法による), 機論C, 52-483, 昭61-11, 2974-2981
- 6) S. Kimoto and H. Hashimoto: Stereoscopic Observation in SEM using multiple detectors, The Electron Microprobe, edited by McKinley, Heinrich & Wittry published by John Wiley & Sons Inc., 1966, 480-489
- 7) Y. Kato, S. Fukuhara and T. Komoda: Stereoscopic Observation and Three Dimensional Measurement for SEM. Proc. SEM Symp., 10, 1977, 41-48
- 8) 池内: 反射率地図に基づき、二次元濃淡画像より三次元形状を再構成する二手法, 電子通信学会論文誌, j65-D, 7, 昭57-7, 842-849
- 9) 池内: 被写体表面上の小図形の幾何学ひずみから三次元形状を再構成する一手法, 電子通信学会論文誌, j65-D, 7, 昭57-7, 850-857