

# SEM・SAM用画像処理システム I

—ハードウェア—

西守 克巳・徳高 平蔵・石原 永伯  
渡部 靖彦・岸田 悟

電気電子工学科

(1989年9月1日受理)

Computer Image Processing for SEM and SAM I

—Development of the Hardware—

by

Katsumi NISHIMORI, Heizo TOKUTAKA, Naganori ISHIHARA  
Yasuhiko WATANABE and Satoru KISHIDA

Department of Electrical and Electronic Engineering

(Received September 1, 1989)

We introduced a microcomputer system for image processing of the SEM-SAM (scanning electron microscope - scanning Auger electron microscope) apparatus, SAM-1000S. All the operations of the SAM-1000S apparatus, except the movement of a specimen, the focus adjustment of the electron beam and the selection of the magnification, were automatically controlled by the microcomputer. Therefore, all the instructions for the measurements were directed by watching the images on the monitor display of the microcomputer. As the image on the monitor display was brighter than that of the SAM-1000S apparatus, the observations of the images did not need a dark room. Many kinds of the data analyses for the SEM and SAM images are now possible owing to the improvement of the picture quality and the various techniques, for the visual expressions by the image processing using the microcomputer.

**Key words :** Image processing system, Scanning electron microscope, Scanning Auger electron microscope, Microcomputer-controlled measurement.

## 1. はじめに

最近の半導体技術の進歩に伴い大容量のメモリ装置が急速に開発されている。これらにより従来、大容量のメモリ装置を必要とした画像処理の分野においても、マイクロコンピュータを使用した画像処理システムが導入され、小型で高速な画像処理が可能となってきている。一方最近では走査型電子顕微鏡<sup>1)</sup>(SEM)や走査型オージェ電子顕微鏡<sup>1)</sup>(SAM)を用いた局所的な表面分析が盛んである。SEMやSAM装置は、その性能の限界状態で使用されることが多いため、コンピュータ画像処理によるノイズ除去、コントラスト強調、あるいはボケの補正などといった画質改善も非常に有効となる。ここでは、工学部共同利用装置の島津製作所製SAM-1000S<sup>2)</sup>への画像処理システムの導入<sup>3)</sup>を行なった。従来のSAM-1000S装置ではマニュアル操作により、観測用ブラウン管上に写し出されたSEMおよびSAM像をポラロイドカメラにより撮影し、また試料上でのある測定点でのオージェグラフをX-Yレコーダで得ていた。これにコンピュータを結合させ、その基本性能の向上を図るとともに、コンピュータによる測定制御および、画像データのデジタル処理および記録、再生など新しい機能を追加できるようにした。これらのハードウェアについて報告する。

## 2. SEMおよびSAMの原理

図1にSEMおよびSAMの簡単な原理を示す。固体材料表面に電子線を照射すると、種々の二次電子が放出される。それら放出される二次電子全体を信号として、照射点ごとに電気信号に変換しながら材料表面上を走査して二次元像をブラウン管上に得るのが、SEM法である。二次電子放出量はとくに材料表面の形状に大きく依存しており、入射電子線のビーム径が細くなればなるほど表面形状を微細に調べることができる。現在では~200オングストロームのビーム径のものが市販されている。また、同様の走査電子線を用いて二次電子の中で、オージェ電子と呼ばれる、原子固有の放出電子を検出信号とするのが、SAM法である。オージェ電子はエネルギー選別することにより表面に存在する元素を特定できるので、その元素の表面濃度分布を知ることができる。従ってこれらの複合されたSEM-SAM装置ではSEMで表面形状を、そして、SAMで表面構成元素の濃度分布を知ることにより、材料表面の評価を的確に行なうことができる。ここでは複合型SEM-SAM装置として工

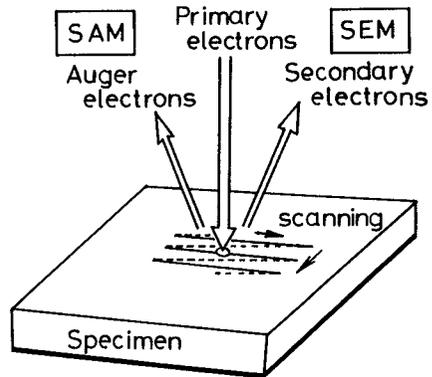


図1. SEM・SAMの原理図

学部共同利用設備の島津製作所製SAM-1000Sを使用した。

## 3. SEM・SAM画像処理システム

### 3.1 システムの概要

図2にSEM・SAM画像処理システムのブロックを写真1にシステムの全景を示す、システムは(A)SAM-1000S、(B)SAM-1000S制御部、(C)マイクロコンピュータ部から構成される。SAM-1000S制御部によりSAM-1000SからSEM・SAM・AESデータをデジタル化して収集し、マイクロコンピュータ部に転送して各種データ処理を実行、表示をする。以下各部について説明する。



写真1. SEM・SAM画像処理システムの全景

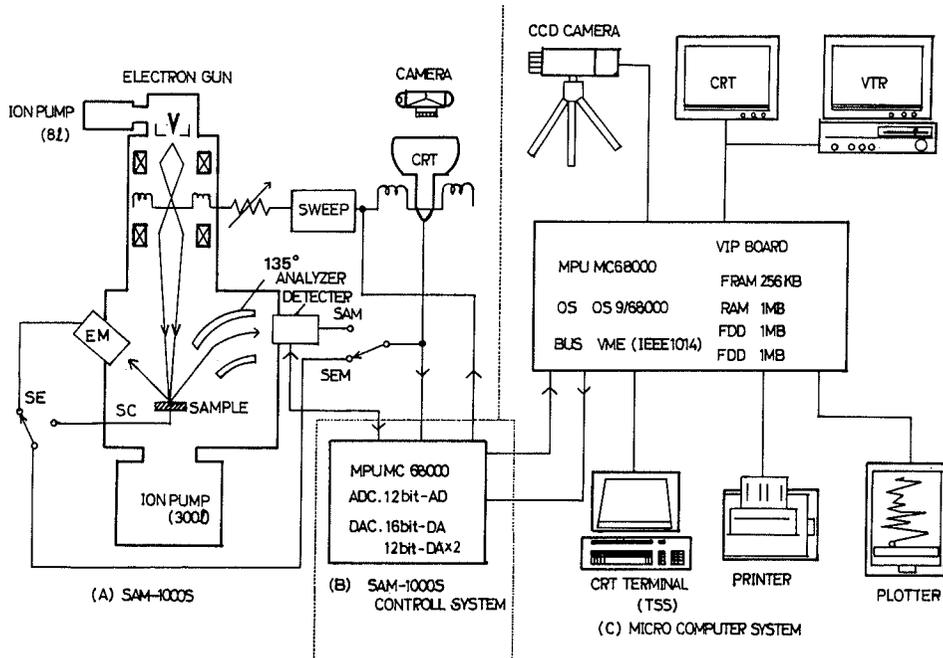


図2. SEM・SAM画像処理システム

3.2 SAM-1000S

図2 (A) が、SEM・SAM複合型表面分析装置SAM-1000Sであり、SEMでは二次電子(SE)像と、吸収電流(SC)像が観察できる。AESは、微分(dE・N(E)/dE)モードと積分(E・N(E))モードで測定でき、SEM観察と併用する事により、測定する領域(ポイント)を指定してAES分析が行える。さらにSAMにより測定対象となる元素の表面分布が測定できる。また、試料導入系を持っているので真空を破らないで試料交換ができる。表1に仕様を示す。

3.3 SAM-1000S制御部

3.3.1 制御部の概要

図2 (B) がSAM-1000S制御部である。SAM-1000Sコントロールシステム設計の方針として、本体の改造は最小限にとどめマニュアル操作部分の変更はせずマニュアル、コントロールをスイッチで切り替え可能にし、コマンド及びインタフェースに汎用性を持たせ他のコンピュータでもSAM-1000Sをコントロ

SAM-1000Sの仕様		
ビーム径:	SEM	2000Å
	SE (2次電子) 像	2000Å
	SAM	2000Å
	オーজে像	2000Å
ビーム加速電圧		1~25 kV
ビーム電流		>1 x 10 <sup>-9</sup> A
レンズ系	磁界レンズ2段 (収束、対物レンズ各1段)	
電子分析器の形式	135° 静電球形	
検出器	多段アノード電子増倍管 最大印加電圧4 kV	
試料ステージ	X: ±12.5mm, Y: ±20mm, Z: 12.5mm, チルト回転: ±180°	
試料サイズ	10mm角、1個	
排気系:	ポンプの種類	イオンポンプおよびチタンサブリメーションポンプ、粗引用ターボ分子ポンプ
	到達真空度	7 x 10 <sup>-9</sup> Pa
観測手段	SEM/SAM:	6インチCRT、ポラロイドカメラ
	オーজেグラフ:	X-Yレコーダ
オプション機能	イオン銃、反射電子検出器、試料導入室	

表1. SAM-1000Sの仕様

アナライザ電圧 設定	20.0eV ~ 1600.0eV
掃引電圧ステップ	0.1eV ~
掃引速度の設定	0.1 ~ 50V/sec
最大指定ポイント	2048x2048 ポイント
データ変換	12bit
測定画素数	400x400 画素
測定時間	SEM 16sec SAM 64sec MIN.

表2. SAM-1000S制御部の仕様

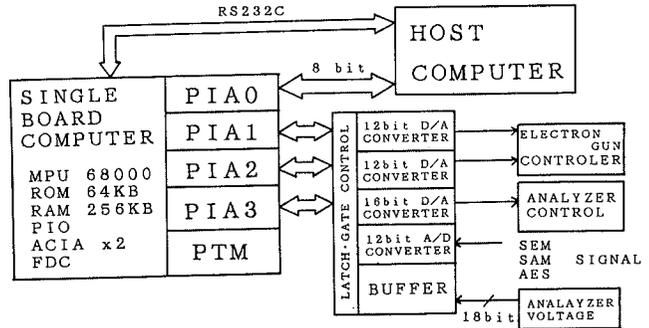


図3. SAM-1000S制御部

ールできるようにした。仕様を表2に示す。システムは、SAM-1000Sの電子銃の走査およびアナライザ電圧掃引を制御し、内部タイマによりタイミング、走査時間を設定して、AESスペクトル、およびSEM・SAM画像データ収集を行なう。これら一連の測定は、ホストコンピュータからのコマンドとパラメータにより動作させる。制御プログラムはC言語で開発しROM化して実装した。これによりパソコンと対応するインタフェース、プログラムがあればSAM-1000Sを使用して測定ができる。

システムのブロックを図3に示す。ワンボードマイコンおよび各種のインタフェースにより構成される。ワンボードマイコン (LCM-68K) はMPUに16bitMC68000 (10MHz) を使用しSRAM 256Kbyte, ROM64Kbyte, フロッピーディスクコントローラ, プリンタポート, RS-232C 2ポート, 拡張BUS上にPIA (汎用パラレルインタフェース) 4個, PTM (プログラマブルタイマ) 1個を持つ。PIA0は双方向8bitインタフェースとしてRS-232Cポートとともにホストとのデータ転送用として使用し、PIA1~3には電子銃走査 (X, Y) 用12bitD/Aコンバータ2個, アナライザ電圧掃引用16bitD/Aコンバータ, アナライザ電圧取り込み用18bitパラレル入力, データ入力用12bitA/Dコンバータを接続している。各部の回路について説明する。

### 3.3.2 電子銃制御部

電子銃制御部は、X, Y方向用の2つの12bitD/Aコンバータにより電子ビーム走査を行なう。図4にブロック図を示す、回路はDAC80CB1-V 2個, ラッチIC 4個, PIA 2個, OPアンプで構成される。PIA1のAおよびBポートから12bitの走査制御データを出力し、PIA2のPA0 (Y側はPA1) 出力が" H" → " L" エッジでデータをラッチにホールドし、D/Aコンバータによりアナログ電圧に変換しOPアンプのバッファを通して、SAM-1000Sに送られ電子銃走査の制御をおこなう。

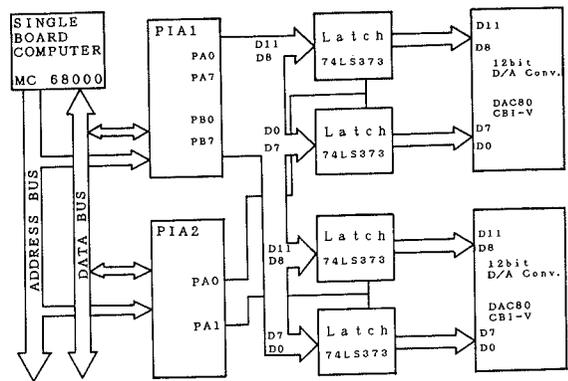


図4. 電子銃制御部

3.3.3 アナライザ-電圧掃引制御部

16bit D/Aコンバータによりアナライザ-電圧を制御し、DVMのアナライザ電圧のBCDデータの読み取りを行なう。図5にブロック図をしめす。回路はDAC-HP16B 1個、ラッチIC 2個、PIA 2個、バッファIC 3個で構成される。PIA1のA,Bポートから16bitのアナライザ-電圧制御データを出力し、PIA2のPA2出力が”H”→”L”エッジでデータをラッチにホールドし、D/Aコンバータによりアナログ電圧に変換しOPアンプを通してSAM-1000Sに送られアナライザ電圧を制御する。DVMのBCDデータの読み込みは、まずPIAのA,Bポートをデータ出力から入力に設定を変更し、PIA2のPA3を”L”にしてBCD入力バッファICをONにして、BCDデータをPIAのA,Bに入力し、DVMのDATA信号と同期して読み込まれる。このようにアナライザ電圧はDVMデータを読み込みフィードバックすることにより正確な電圧設定ができる。

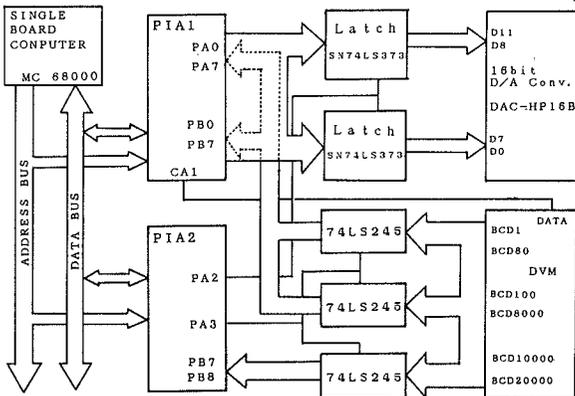


図5. アナライザ-電圧掃引制御部

3.3.4 A/D変換部

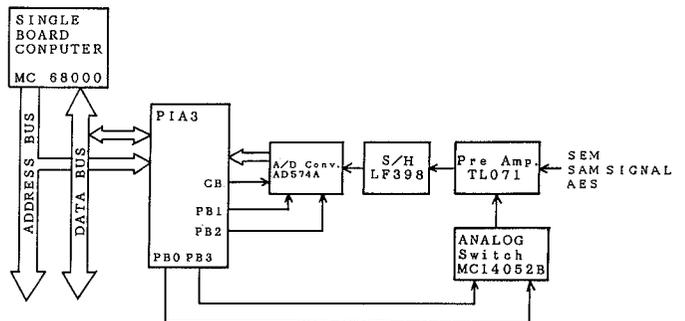
A/D変換部のブロック図を図6に示す。A/D変換部は、SAM-1000SからのSEM, SAM, AESのアナログ信号に2, 5, 10, 20倍の適当なプリゲインをかけてデジタルデータに変換して取り込む。12bit A/Dコンバータ (AD574A), アナログスイッチ, OPアンプ, サンプル&ホールドICで構成される。アナログデータはOPアンプにより任意の倍率に増幅される。増幅度の設定はアナログスイッチにより選択される。増幅された信号はサンプルホールドされA/D変換し、PIA3のPA0~PA7, PB4~PB7から読み込まれる。

3.4 画像処理マイクロコンピュータ

3.4.1 マイクロコンピュータの概要

図2 (C) の部分が、16bitマイクロコンピュータ V-68000システムである。このシステムはVMEバス (IEEE1014) 上に構築されている。システムはMPUモジュール, VIP (Video Image Processor) モジュール, FRAM (Frame Memory) モジュール, パラレルインタフェースモジュール, FDC (Floppy Disk Controller) モジュールから構成されている。MPUモジュールは、トーヨーデータ社製T VME-100CでMC68000MPUと、2チャンネルのRS-232Cポート, 1Mbyte RAM, カレンダークロック, インターバルタイマ, ブートROMなどから構成される。RS-232Cポートには、端末が接続される。VIPモジュールは、メック社製のMEC-1713で、画像情報の入出力や二値化処理, カーソル表示, モニタ出力のほかFRAMモジュ

図6. A/D変換部



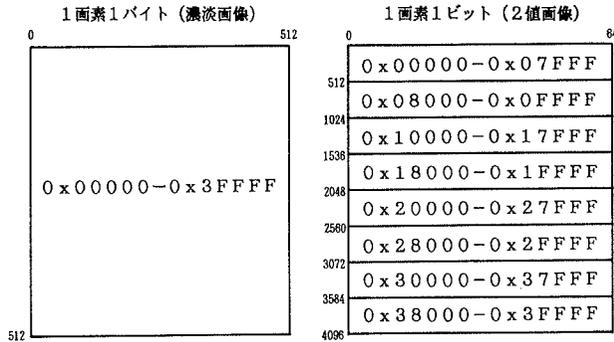


図7. FRAMの構成

ールを制御をする機能を持っている。このため、このモジュールには、CCDカメラ、画像表示用モニタが接続される。FRAMモジュールは、メック社製のMEC-1714で画像データを記憶する働きをする。256Kbyteの容量があり、512x512x8bit 1フレームもしくは512x512x1bit 8フレームとして使用できる。

### 3.4.2 FRAMの構成

図7にFRAMの構成を示す。256Kbyteの領域は機能により分割されて使用される、MPUからは通常のメモリとしてアクセスでき、画像データは二次元配列として計算処理を行なうことができる。CCDカメラおよびビデオ入力では、リアルタイム(1/30秒)で画像記憶、二値化処理ができる。

### 3.5 測定制御プログラムの作成

SAM-1000S制御プログラムは、ホストコンピュータから8bitパラレルポートを通してコマンドとパラメータを送る事により動作させる事ができるように設計した、これによりホストコンピュータを限定することなく使用できる。制御プログラムの開発は画像処理マイクコンピュータのOS-9/68000上でC言語により作成しコンパイルした後RS-232Cポートでオブジェクトプログラムをターゲットに転送して実行し動作を確認するという手順で行なった。プログラムは、1

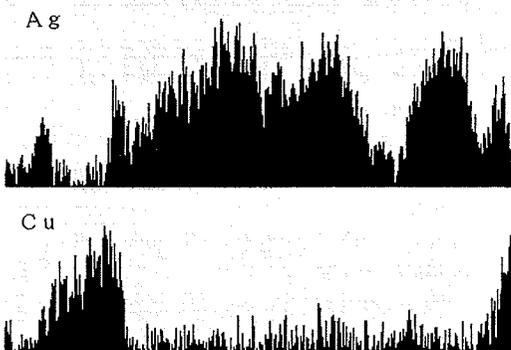
4の関数により構成した。これによりプログラムは解りやすく、プログラミングとデバッグを効率よく行なうことができた。実行は1byteのコマンドコード(20種類)と1~4byteのパラメータ入力により逐次実行していき動作状態をRS-232Cポートでホストコンピュータに知らせることにより動作確認、及びタイミング設定を行えるようにした。

### 4. 測定及び実行例

測定は通常まずSEM測定をしてモニタに画像を表示し画面を見ながら、SAM測定では測定領域(全面、4分割面、中央部)、の指定及びアナライザ電圧、走査時間(タイムコンスタント)を設定して測定する。AESポイント分析は測定したい位置にラインカーソルのクロスポイントをセットしてキーを押す事により測定点(複数指定可能)を指定し掃引電圧範囲、掃引速度を設定して測定する。AESラインスキャン測定はXおよびYラインカーソルで測定したいライン位置を指定しアナライザ電圧、走査時間を設定して測定する。パラメータがあらかじめ分かっている場合はエディタによりパラメータファイルを測定の設定に変更し、"vs\_aeq [パラメータファイル名]" とタイプすれば、測定をしてデータをディスク取り込み終了する。測定の実行例について個々に説明する。



(a) メッシュ試料のSEM画像



(b) Ag, Cu元素のラインスキャン分析

図8. SEM像とAESラインスキャン

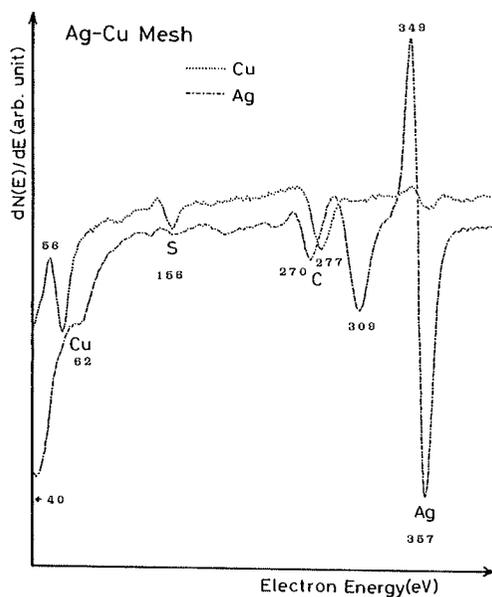
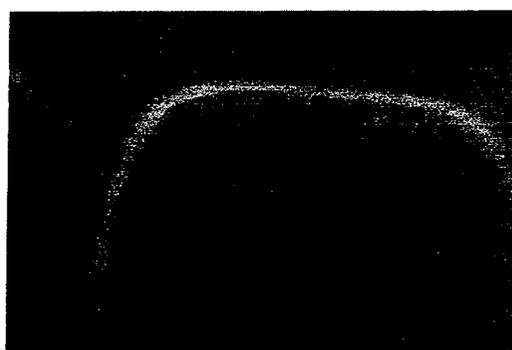


図9. AgとCuのAESポイント分析

50  $\mu$ m



(a) Ag (349 eV - 357 eV)



(b) Cu (56 eV - 62 eV)

図10. ピーク・ピーク差処理によるSAM画像

測定実行例として、Ag 400メッシュ (Cu 400メッシュにAgを蒸着したもの) の上に、Cu 100メッシュを載せた二重グリッド試料について測定を行なったものを示す。図8 (a) は、上記試料の、SEM像である。500倍の倍率である。Cu 100メッシュの間からAg 400メッシュが観察できる。図8 (b) は、図8 (a) の、A・B間について、AESラインスキャン (線分析) を行なったものである。横軸は、A・B間上の位置を表わし、縦軸は、それぞれのオージェ信号強度を表わしている。図9は、Ag 400メッシュとCu 100メッシュ上における、それぞれのAESポイント分析の結果である。Agは349 eVと357 eVに、Cuは56 eVと62 eVに、それぞれ微分したオージェ信号のピークの上下のエネルギー値を持っている。Agメッシュ上でCuの、Cuメッシュ上でAgの弱いピークが見られるが、これは散乱した電子の影響である。図3 (a) は、Agの349 eVにおけるSAM像から357 eVにおけるSAM像を減算した、つまりバックグラウンドを除去したSAM像である。図3 (b) は、同様に、Cuの56 eVと62 eVにおけるSAM像からえた、バックグラウンドを除去したSAM像である。SAM像は、1画素当たり10 mSの時間をかけて測定を行なった。

## 5. まとめ

SAM-1000S制御部の製作により、試料の移動、フォーカス調整、倍率設定をのぞく操作がすべて自動化され、測定がマイクロコンピュータ上でモニター画像を見ながら指示するだけで行えるようになり、測定用残光CRT上でスロースキャン画像をあかりを暗くして見たり、ボラロイドカメラによる撮影のわずらわしさが無くなった。そして、SEM・SAM画像データをコンピュータ処理する事により、画質の改善やデータを視覚的に様々に表現する事ができるため、今までにない多様なデータ解析が可能になった。

## 参考文献

- 1) 志水隆一、吉原一紘：実用オージェ電子分光法、共立出版、1989年。
- 2) 島津製作所 第二科学計測事業部：走査型オージェ電子分光装置SAM-1000S型取扱説明書、1984年
- 3) 浅原雄二：昭和62年度鳥取大学大学院工学研究科修士論文、1987年