

Gatan KnowHow

GATAN'S HOW-TO NEWSLETTER FOR ELECTRON MICROSCOPY

VOLUME 4 ISSUE 3 - 1997 年 9 月

2k GIF - 高解像度イメージング

Gatan Imaging Filter (GIF) を使用したエネルギーフィルタ電顕法により、非弾性散乱状態の電子から空間的に分解された有用な情報を入手することができます。GIFを使うことによる多くの特徴のうちでも特筆すべきなのは、組成分析において、短時間で大量のピクセルから非常に感度の高い元素および化学マップを作成できることです。

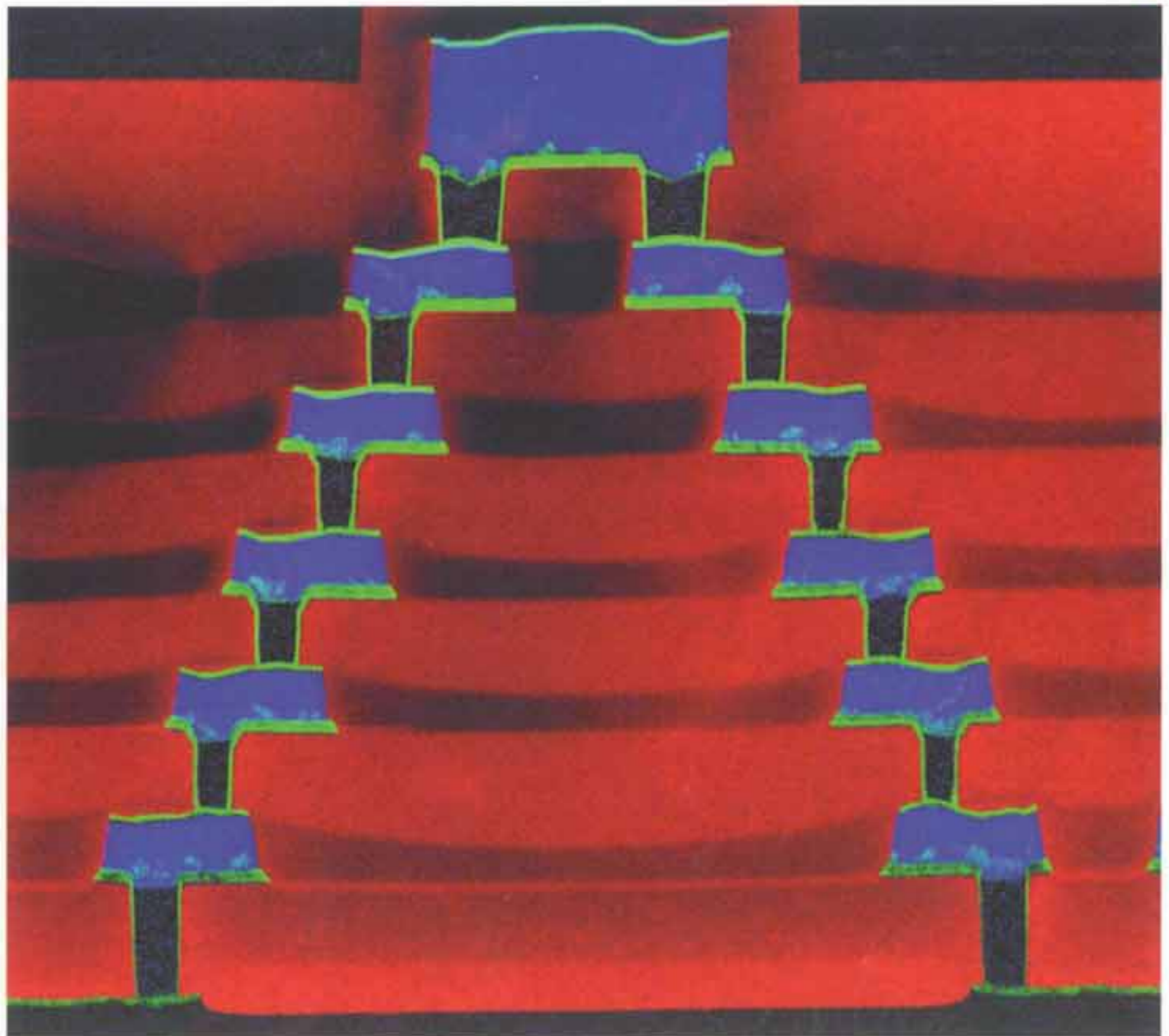
今までは通常1024 x 1024個の少ないピクセルのCCD検出器を使ってきました。GIFには最近、24-

μm ピクセルの2048 x 2048画素のMegaScan CCDカメラが組み込まれました。ピクセル数の増加は、任意の与えられた画像解像度に対して大きな視野を提供します。大きなデータセットを必要としないアプリケーションにおいても大きなCCDは有用です。ピクセルを「ビンニング」(グループ化)して「スーパーピクセル」にすることにより、単一ピクセルよりも主要な性能が向上し、また、点分布関数が改善されます。

画素数が増えたことのメリットを最大限に活用するため、新しいGIFでは設計し直された電子光学系により、イメージングモードと分光モードの両方で性能が改善されています。今回、複数のレンズが電磁的に回転可能になったことで、エネ

5ページへ続く ▶

近代的な半導体素子にみられる金属間結合構造へのエネルギーフィルタの適用例で、チタニウム(緑)、酸素(赤)、アルミニウム(青)の元素分布を示すRGBコンポジット画像。独立した1024 x 1024の「スーパーピクセル」と12 μm の視野は、2k CCDカメラの有用性と、新しい電子光学系の卓越した性能を明確に示しています。



AutoFilterソフトウェア

GIF電子光学系の性能の自動的な評価と最適化

イン-コラム型、ポスト-コラム型のいずれであっても、TEMエネルギーフィルターはTEMシステムの電子光学系を大きく拡張するものです。そのために、エネルギーフィルターTEMシステム (EFTEM) の全体的な結像特性にとって、エネルギーフィルターの光学系が精密に調整されていることは本質的に重要です。次の3種類の収差は特に正確に制御する必要があります: 1) 画像歪み、2) 結像色収差 (ゼロでないエネルギーロスで撮影されたフィルター像にボケを生じます)、および 3) エネルギー選択スリット上でのスペクトル収差 (フィルター像のエネルギー選択が不均一になります)。

これらの電子光学上の欠陥を評価し補正するためには、TEMシステム全体の結像特性からエネルギーフィルターの結像特性を分離し、電子光学的な欠陥を効率よく測定する必要があります。Gatanの新しいEF TEM用AutoFilterソフトウェアパッケージでは、Gatan Imaging Filter (GIF) に装着された2つの重要なハードウェア部品を有効に利用するインテリジェントなチューニングアルゴリズムによりこの困難に対処しています。この特許出願中のGatan独自の技術により、エネルギーフィルター電子光学の専門的な知識を必要とすることなく、Gatan EFTEMシステムからいつも最良の結果を得ることができるようになりました。

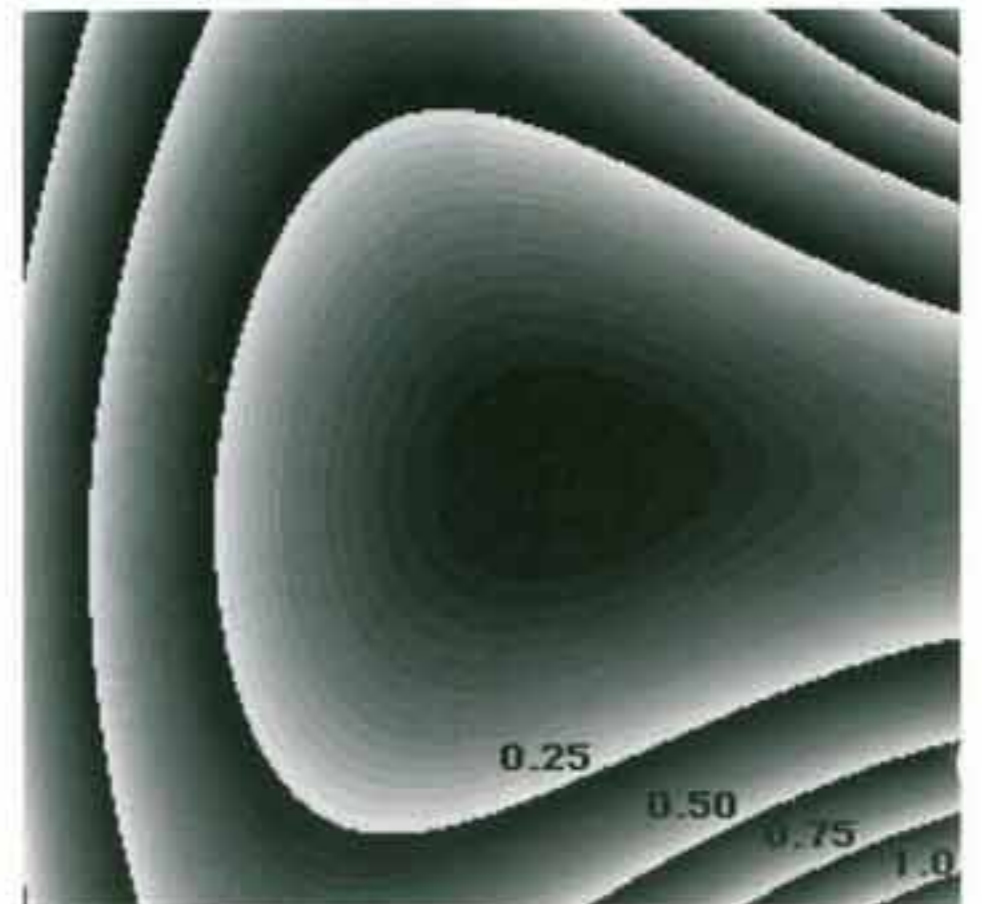
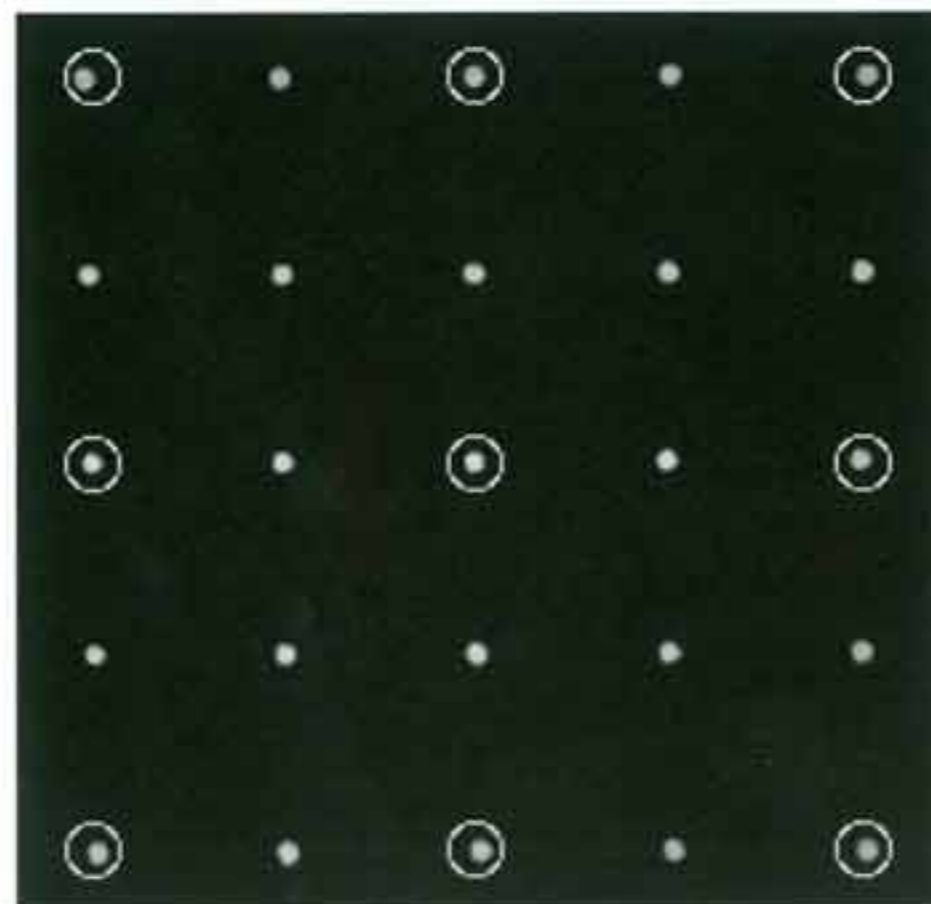
AutoFilterにこの魔法を可能にするGIFハードウェアとは、1) 精密に加工された25穴のマスクを備えた入射絞り、および2) 格納のできる連続調

整可能な補正済みエネルギー選択スリットです。これら2つの部品は完全にコンピュータの制御下にあり、調整手順を全自動で行うことを可能にしています。

正方形に5 x 5の穴が並んでいるマスク (図1) の画像はフィルター固有の画像歪みを4次関数で表現することを可能にしています。入射電子のエネルギーを変化させたときのマスク像より、フィルター固有の結像色収差を同一の高い精度で測定することも可能です。マスクを格納したあとで、エネルギー選択スリットの片方のエッジ上に形成されたスペクトルを走査しながら画像を収集することで、スリット面上でのスペクトル収差を任意の精度で測定することができます。調整後の「アイソクロマティックサーフェス」 (図2) はエネルギー選択像の総てのピクセルが正確に同一のエネルギーロス範囲から実際に取られていることを直接示しています。このようなAutoFilterソフトウェアによる自動計測は、チューニングアルゴリズムがエネルギーフィルターのレンズを自動調整し、検出された画像欠陥を補正するために必要とするフィードバックを提供します。適切なGIFの4極子および6極子レンズを変化させながらマスクホールを位置を (理想的な正方形グリッドに対して) 定量的に追跡することで、AutoFilterは画像歪みを2次まで、色収差を1次まで、それぞれ約30秒以内に精密かつ効率的に補正します (図1)。GIFの入射光学系を変化させながらアイソクロマティックサーフェスの2次多項式の形を追跡することで、AutoFilterは全視野のアイソクロマシティを1.5 eV以内に、すばやく (1分以内に) 調整します (図2)。

図1 - 歪みを2次まで調整した後のGIF入射面上の25穴マスクの像。残留歪みは約1%RMSです。AutoFilterは、マスクの像の穴を目標円内でセンタリングすることで歪みを調整します。

図2 - AutoFilterによりエネルギー選択スリット上で入射光学系を2次フォーカスに最適調整した後のGIF 200のアイソクロマティックサーフェス。ラベルのついた輪郭は、フィルター像の中心位置のエネルギーからのエネルギーのズレを示しています。



PECS

半導体への適用

Gatan Precision Etching and Coating System (PECS) は、クリーンで、アーティファクトのない、輪郭のはっきりしたエッチング試料を得るために設計されています。これらの試料の特徴は、カプセル化されていない最先端の半導体をエッチング、コーティングした



最近の適用例により証明されています。これには次のような目的がありました：

1. タングステンの粒状構造を観察すること。
2. ステップの被覆性の評価。
3. レイヤの均一性の決定。
4. エッチングプロファイルの確認。

切り出された半導体はスタップにマウンティングワックスで接着され、標準的な研磨ブロックにマウントされています。試料はまず従来のラッピング技術で磨かれます。研磨が完了すると、スタップは接着された試料ごとブロックから取り出され、試料を取り外したり再マウントすることなくPECSに直接挿入されます。断面に沿っての均等なエッチングを確実にするために、試

料は30rpmの一定速度で回転されながら5分間、6KeVのビームで垂直(90°)入射角でエッチングされました。その後、試料は約 1×10^{-5} Torrの真空下で、Au/Pdを30秒間コートしました。画像はMaterials Analysis Group (Sunnyvale, California)のご好意によりPhilips XL 30電界放射SEMで得られたものです。

図1からは、従来の化学プロセスによるエッチングはタングステンの粒状構造を生じないこと、またステップの被覆、レイヤの均一性、およびエッチングプロファイルがより明確に識別できるであろうことがわかります。図2はPECSでエッチング、コーティングした試料を示しています。粒状構造や他のすべてのパラメータが明確に決定されています。PECSを使えば、化学プロセスにありがちなエッチングのしすぎはなくなり、選択的エッチングのためのアーティファクトを生じることもなく、研磨コンパウンドの残留物や綿棒のくずが混入することもなくなります。PECSは化学物質や廃棄物処理に対する考慮を不要にします。エッチングレートはより自由にコントロールでき、再現可能な結果が容易に得られます。PECSを用いれば試料のハンドリングを大きく削減できます。ステージは標準的なSEMスタップを固定できるように設計されており、試料を研磨スタップから他のホルダに移し替える必要をなくしています。エッチングとコーティングは同じ真空チェンバーで行われ、試料のハンドリングが増えることがありません。特殊エアロックは試料のスルーブットを大きく向上させます。忘れずに言うべきことではないことは、ユニットの各機能がとても使いやすく設計されているということです。

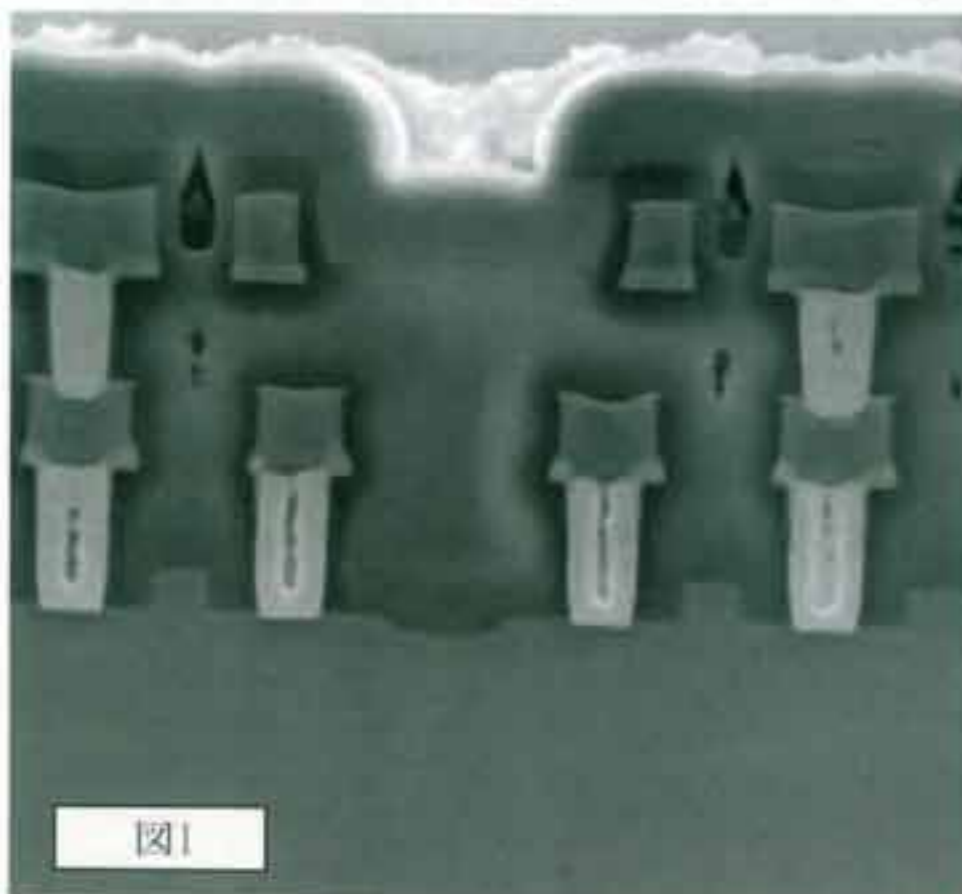


図1

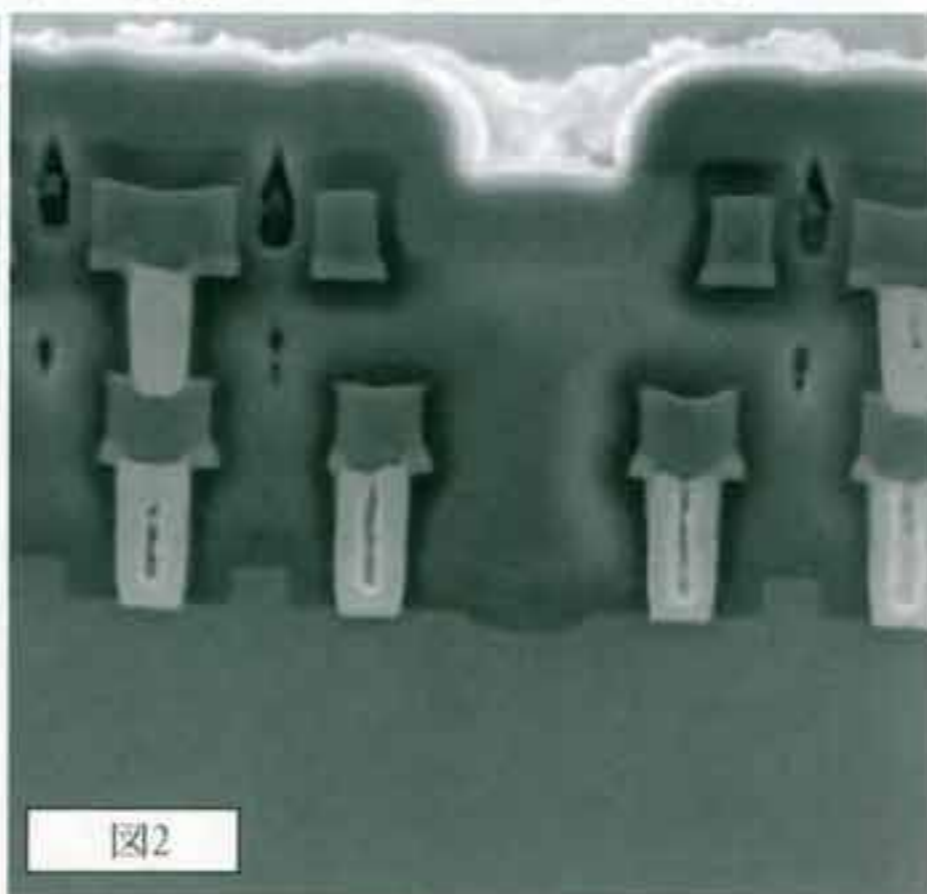


図2

デジタルイメージング

DigiScanによるモーションコントロールアニメーション

DigiScanとIMAX 3Dアニメ

最近、科学者であり写真家でもあるDavid ScharfはSEMを用いた“Four Million House guests (4百万の泊まり客)”というIMAX3Dアニメ映画の作成を依頼されました。

IMAX3Dというのは従来の立体映像方式を改良したもので、巨大なスクリーン（最大7階建ての高さ）に投影された映像を特殊な眼鏡を使ってみるものです。このSEM映画の目的はミクロな空間の微小な物体や生物の高精細な3次元カラーアニメーションを作ることです。

David ScharfのSEM像は非常に有名で、多くの定期行物や雑誌の表紙や記事にもよく使われています。彼は1993年にSEMでカラー画像を収集するMulti-Detector Color Synthesizer (MDCS)というシステムを開発し特許を取っています。MDCSでは試料ステージの周りに配置された複数の2次電子検出器で信号を検出し、それらを合成してカラーSEM像を作成します。ここ数年

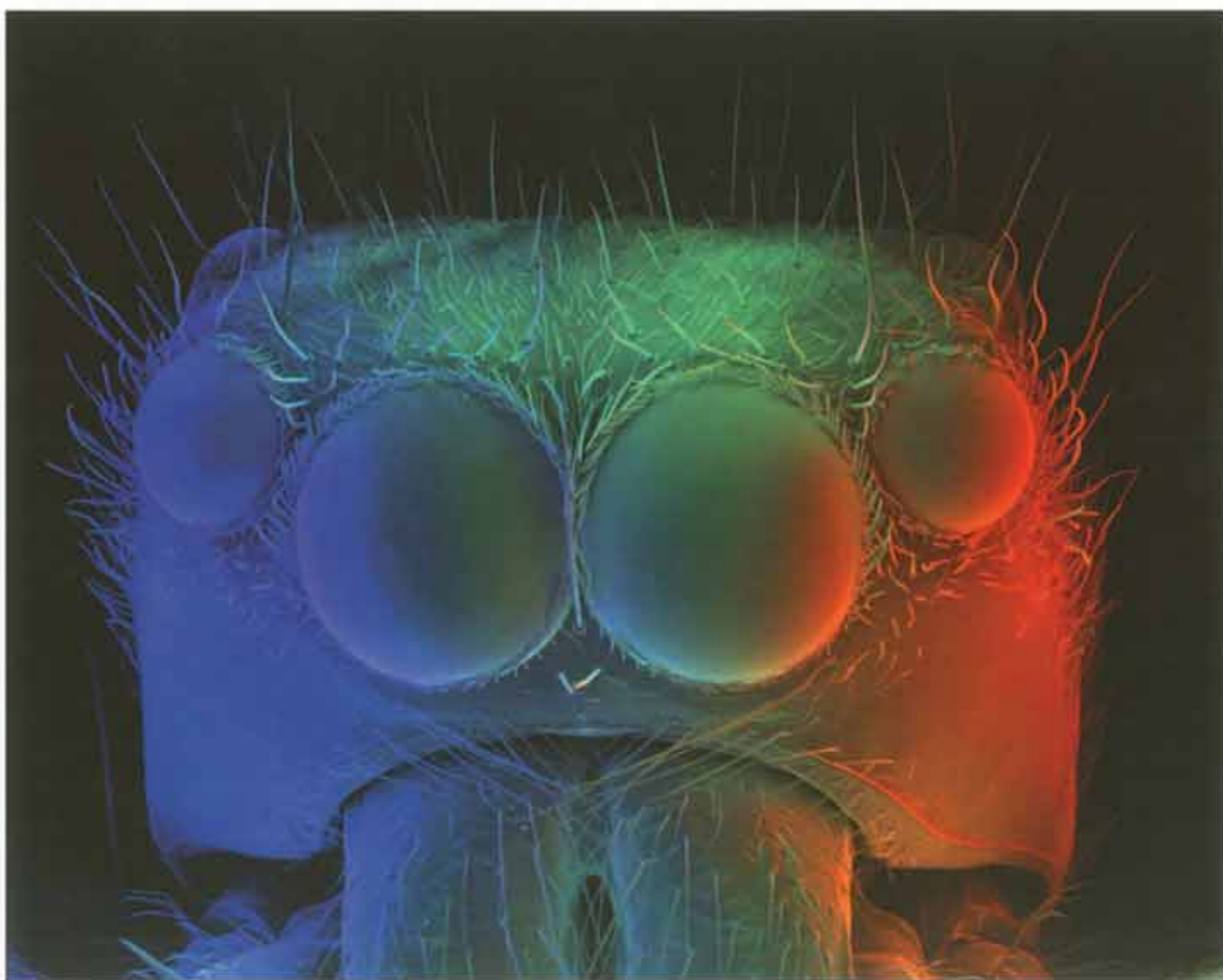
の間、David Scharfは彼の時代物のETEC Auto Scanから画像を収集するのにGatanのDigiScanとDigitalMicrographを使っています。

DigiScanはSEMあるいはSTEMからデジタル画像を収集するための装置です。DigiScanはMDCSに接続するのに非常に適しています。これはDigiScanがMDCSの複数の検出器から得られる信号をリアルタイムにRGB形式に変換し、カラー画像として見ることを可能にするからです。

立体効果を出すためには、それぞれのフレームのステレオ対画像がLEO StereoScan 440を用いて取られました。このシステムはMDCSとDigiScanのために改良されています。映画のデータを収集するために必要なソフトウェアの殆どはDigitalMicrographのスク립ト言語を用いて書かれています。IMAX動画が必要とする高精細で低ノイズの画像を作るために、アニメ映画を作るときに使われるのと同様の原理のコマ送りのアニメーション技法が使われました。全ての画面ができあがった後で、データはテープにコピーされ、IMAXに送られて編集されアニメ映画となりました。

“Four Million Houseguests”

は米国内の幾つかのIMAX映画館で現在上映中です。これは高精細3次元カラーSEM像から作られた史上最初の動画です。



ルギー選択スリットに対しての精密なスペクトルのアライメントと、CCDに対しての正確な画像のアライメントが可能になりました。また、8極子により3次の色収差まで補正されています。レンズ電流の電力供給の制御がきめ細かくなったことで、大きなCCDが要求する高度なアライメントによりよく対応できるようになりました。これらの改善の結果として、GIFの電子光学系は、

幾何収差と色収差を無視できる範囲内に収めました。残存する画像歪みは1%未満で、トータルの色収差は単一ピクセル以内です。

これらの改良はフィルタの自動調整の最新の進展を最大限に活かすもので、GIFのアライメントはより簡単となり、操作もより容易になりました■

DigitalMicrograph

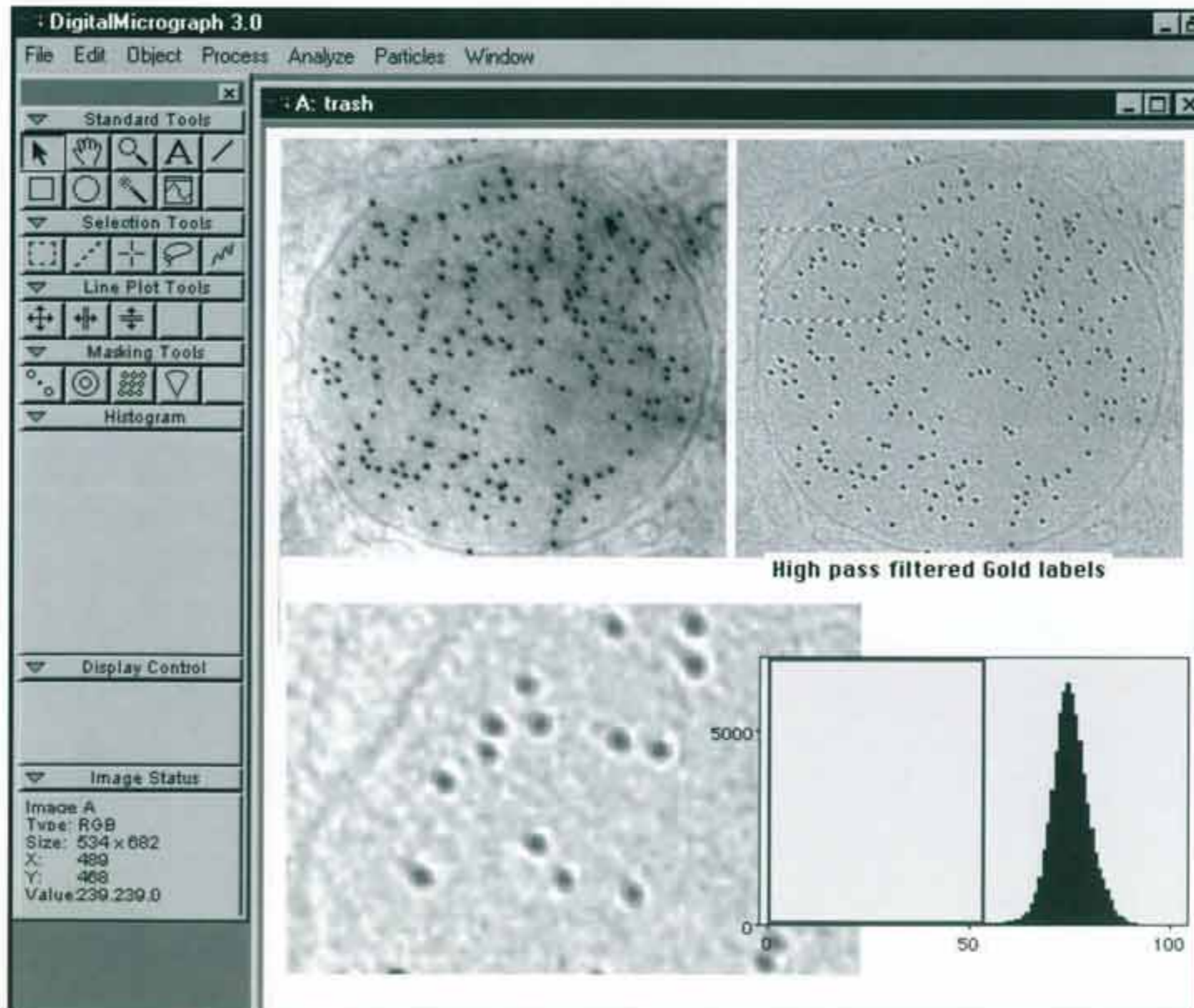
New - PC上で DigitalMicrograph!

DigitalMicrograph 3.2は、汎用画像処理ソフトDigitalMicrograph 2.5のアップグレード版です。MacintoshとPCの両方のプラットフォームで利用できます。PC用のDigitalMicrograph 3.2は、Windows 95とWindows NTオペレーティングシステムで動作するように設計されています。

DigitalMicrograph 3.2は、改善された画像表示と画像操作、拡張されたプラグインサポート、他のアプリケーションとのより広範なインターフェースなどの多くの新機能を備えています。DigitalMicrograph 3.2の新しい画像「書類」は注釈を付けるのと同じくらい簡単に複数の画像の操

作、添付が可能な「ページ」機能を持っています。新しいページレイアウト機能を使えば、画像を引き伸ばして、より精密にページにフィットさせることができます。また、ラスタ、スプレッドシート、サーフェスプロット、および新しい表示タイプであるサーフェスモデルといった複数の表示タイプを同一のページ上に配置することができます。ズーム機能は強化され、連続ズームが可能になりました。スケールバーは特定の直線値を表示するよう調整でき、スケールバーの実際の表示サイズ自体も変化させられます。

PC用DigitalMicrograph 3.2は、現在のところ、MultiScanカメラとBioScanカメラ用のプラグインをサポートしています。将来的には、Gatanやサードパーティ、あるいはお客様自身によるDigitalMicrographの機能拡張を容易にする多くのタイプのプラグインがサポートされるようになるでしょう。■



DMによる覆い焼き

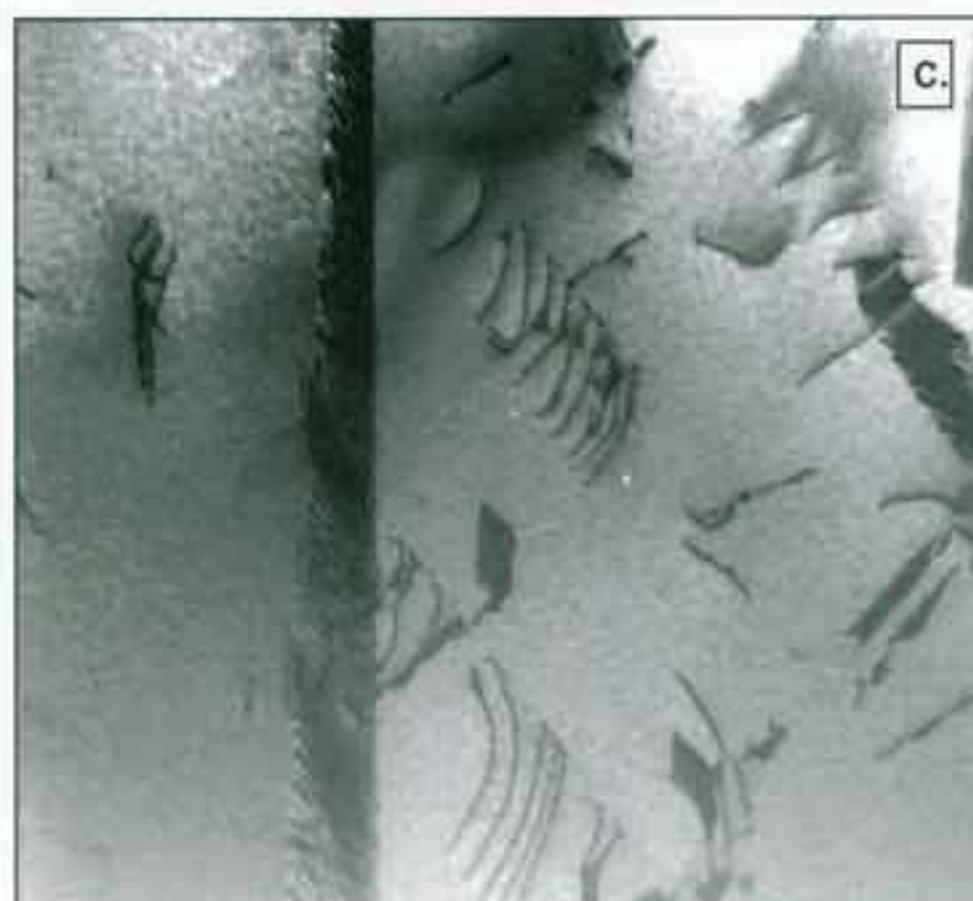
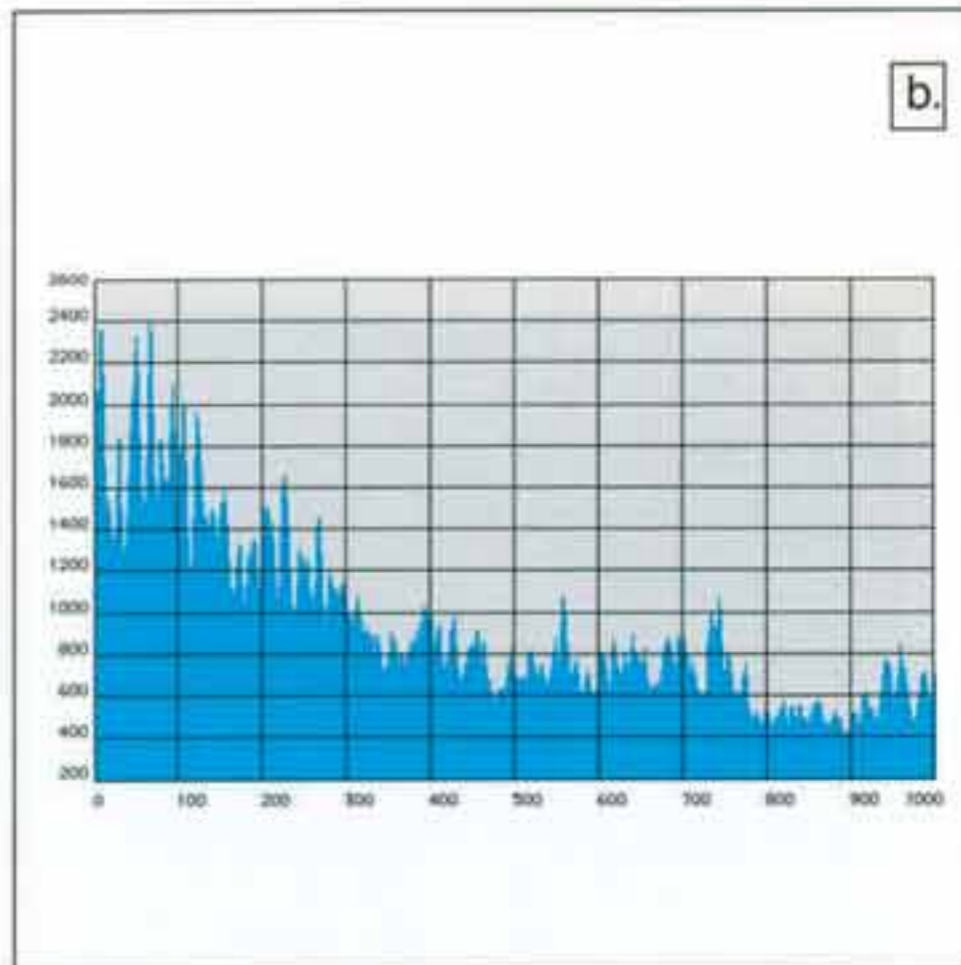
覆い焼き（プリント処理中に印画紙上でマスクを移動させるテクニック）をすれば、写真が撮影された後で、不均等なライティングを補正したり、注目すべき特徴を引き出したりすることが可能です。これは一つの芸術で、もくろみ通りの結果を得るには、高度の熟練とマスクの移動スピード、全面を露出する時間、プリントフィルムのタイプ、露光の明るさ等の正しい組み合わせを得るための多くの試行が必要です。

デジタル写真技術の出現により、覆い焼きは科学、あるいは少なくともより信頼できる科学のツールになりました。デジタル画像は数値からできているので、覆い焼きのマスクは位置の数学的な関数になります。適用した関数を画像とともに保存できるので、特定の結果が得られた方法を正確に記録できることとなります。さらに、数学的処理の

柔軟性は目的の画像の特徴を引き出すための無数のテクニックを生み出します。

ここに掲載したスクリプトは、一つのとても単純なアプローチを実現するものです。アイデアは、画像の対数から直線勾配を引き去って、その結果の指数関数を得るというものです。これは引き伸ばし機の下で覆い焼きマスクをかけて露出時間を変化させることによる乗算効果を実現するものです。コントラストの変化も平均強度も厚さの逆数に比例する傾向があるので、この乗算的アプローチは厚さが変化する試料の電子顕微鏡写真を補正するのに適しています。

このスクリプトは2つのパートに分けられます。最初のパート（splane dodge setup）は覆い焼きする画像に3つのボックスを表示し、画像強度を均等にしたいとユーザーが判断する画像内の領域にボックスを位置させるようメッセージを出してストップします。ボックスは変形させたりサイズを変えたりして、形のふぞろいな領域にフィットさせることもできます。ボックスの調整が終わったら、覆い焼きスクリプト（splane dodge）を実行できます。このスクリプトは3つの領域の中心と平均値を見



原画像 (a) のプロファイル (b) に注目してください。画像の値が小さくなるにつれコントラストも小さくなっています。直線勾配による覆い焼きは画像 (c) の暗い領域を洗い流してしまいます。対数による覆い焼き (d) では、画像全体を通じて細部まで均等に表現されたよりよい結果が得られます。

つけ、対数減算を行います。スクリプトは結果像として作成するかをユーザーに問い合わせま
をオリジナルに上書きするか、新しい画す。

s. plane dodge setup

```
image frontImage := GetFrontImage()
number xsize, ysize
number top, left, bottom, right
GetSize( frontImage, xsize, ysize)

top=ysize/10; left=xsize/10; bottom=2*ysize/10; right=2*xsize/10
number id1 = CreateBoxAnnotation(frontimage, top, left, bottom, right)
SetNumberNote(frontimage, "id1", id1)
top=4*ysize/10; left=8*xsize/10; bottom=5*ysize/10; right=9*xsize/10
number id2 = CreateBoxAnnotation(frontimage, top, left, bottom, right)
SetNumberNote(frontimage, "id2", id2)
top=8*ysize/10; left=xsize/10; bottom=9*ysize/10; right=2*xsize/10
number id3 = CreateBoxAnnotation(frontimage, top, left, bottom, right)
SetNumberNote(frontimage, "id3", id3)

UpdateImage(frontimage)
OKDialog("Position and resize the three boxes to cover three areas which are
desired to be of equal intensity.")
```

s. plane dodge

```
image frontImage := GetFrontImage()
number xsize, ysize
number top, left, bottom, right
GetSize( frontImage, xsize, ysize)

//get the average values and centers of the three rectangular areas

number id1, x1, y1, i1
If(!GetNumberNote(frontimage, "id1", id1))
{
    OKDialog("No box annotation found.\n      Run dodge setup.")
    break
}
GetAnnotationRect(frontimage, id1, top, left, bottom, right)
i1=log(average(frontimage[top, left, bottom, right]))
x1=(left+right)/2
y1=(top+bottom)/2

number id2, x2, y2, i2
GetNumberNote(frontimage, "id2", id2)
GetAnnotationRect(frontimage, id2, top, left, bottom, right)
i2=log(average(frontimage[top, left, bottom, right]))
x2=(left+right)/2
y2=(top+bottom)/2

number id3, x3, y3, i3
GetNumberNote(frontimage, "id3", id3)
GetAnnotationRect(frontimage, id3, top, left, bottom, right)
i3=log(average(frontimage[top, left, bottom, right]))
x3=(left+right)/2
y3=(top+bottom)/2

//generate 2 in-plane vectors

x1=x1-x3
y1=y1-y3
i1=i1-i3
x2=x2-x3
y2=y2-y3
i2=i2-i3

//generate plane to be subtracted from the log of the image

image dodgeimg = RealImage("dodgeimg", 4, xsize, ysize)
dodgeimg=((y1*i2-i1*y2)*icol+(i1*x2-x1*i2)*irow)/(y1*x2-x1*y2)
dodgeimg=dodgeimg-average(dodgeimg)

//generate the dodged image

If(OKCancelDialog("Create New Image?"))
{
    dodgeimg=exp(log(frontimage)-dodgeimg)
    SetZoom(dodgeimg, GetZoom(frontimage))
    ShowImage(dodgeimg)
}
Else
{
    frontimage=exp(log(frontimage)-dodgeimg)
}
```

Gatan Inc.
6678 Owens Drive
Pleasanton, CA 94588
Tel 510 463 0200
Fax 510 463 0204

Gatan Online
<http://www.gatan.com>
info@gatan.com
help@gatan.com

Gatan Inc.
780 Commonwealth Drive
Warrendale, PA 15086
Tel 412 776 5260
Fax 412 776 3360

Gatan GmbH
Ingolstädter Straße 40
D-80807 München Germany
Tel (089) 352 374
Fax (089) 359 1642

Gatan Ltd.
17 Medlicott Close
Oakley Hay, Corby
NN18 9NF, UK
Tel 01536 743150
Fax 01536 743154

Gatan Service Corporation
〒177 東京都練馬区
関町北 5-8-3
カーサエスペランザ 208 号
電話/Fax : 03-5387-3583

Gatan KnowHow は Gatan Inc. から
年 3 回発行されています。BioScan,
DitalMicrograph, DigitalMontage, GIF,
PIPS, MultiScan, Whisperlok は Gatan
Inc.の商標です。
全ての権利を保有します。

次号予告

Low Mag自動チューニング

分析用ツール

MSAフォロー アップ



Bulk Rate
U.S. Postage
PAID
Pleasanton, CA
Permit No. 194