

次世代超電子顕微鏡の開発

Development of JSPS-Super Electron Microscope

(研究プロジェクト番号: JSPS-RFTF 96R14101)

プロジェクトリーダー

志水 隆一 大阪大学・名誉教授

コアメンバー

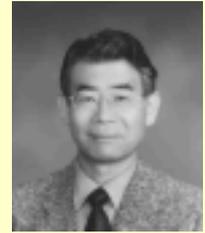
高井 義造 大阪大学大学院工学研究科・教授

生田 孝 大阪電気通信大学工学部・教授

木村 吉秀 大阪大学大学院工学研究科・助教授

永富 隆清 大阪大学大学院工学研究科・助手

市橋 幹雄 日立製作所那珂工場設計第1部・主任研究員



1. 研究目的

電子顕微鏡観察には球面収差が必ず付随するために、高分解能での像観察が困難であり、誤った像解釈をしていることが珍しくありません。この球面収差を完全に除去する新しい方法が1985年に生田孝教授によって発明されました¹⁾。それが能動型結像変調とよばれる方法です。この能動型結像変調方式を組み込むことにより球面収差を除去して、試料のありのままの姿を超高分解能で観察できる電子顕微鏡(それを次世代超電子顕微鏡と名づけました)を開発しようというのがこの研究プロジェクトの目的です。この超電子顕微鏡が完成されますと、今までの電子顕微鏡と同様に実時間で観察できます。そして、その観察像は球面収差の影響の全くない正しい像が原子レベルで観察できるようになります。(図1a)

たとえば、表面を形成している原子がどのように並んでいるのか、原子一つ一つをはっきりと観察することが出来るようになりますし、染色してからでないと観察できない生体試料なども無染色のままできいな像を見ることが出来るようになるのです。

このプロジェクトによってさまざまな材料や生体がどのように構成されるかが原子レベルで解明されることになるでしょう。

具体的なプロジェクトの内容は、(1)生田により発明された「焦点位置変調による球面収差除去法」(1985)を電子顕微鏡に導入し、世界初の実時間超解像位相差電子顕微鏡を開発することを目的とし、そのために実時間観察(~1/30秒オーダー)を可能にする(2)加速電圧(300kV)の高速変調方式の開発と、(3)高速演算機能を有する撮像システムシステムを開発。さらに、(4)産学連携の趣旨である民間企業との協力によるこれらの開発したシステムの製品化を目指すこととなります。



図1(a) 次世代超電子顕微鏡による金表面原子の無収差像

2. 研究成果概要

実時間処理の能動型結像変調を行うためには、電子顕微鏡の結像光学系の特性を正確に写し取った変調信号を高電圧加速電源(200kV)に重畳させねばなりません。この次々に変わっていく加速電圧の下で得られる電子顕微鏡写真を一枚、一枚重ね合わせてゆき、最終的に1枚の電子顕微鏡写真が得られることとなります。この最後の1枚の写真が、無収差電子顕微鏡超解像写真なのです。このような新しい電子顕微鏡のシステムを作り上げるために次のような基幹技術を開発しました。

(1)能動型加速電圧変調システム²⁾

実時間で観察するためには、10マイクロ秒ごとに正確に高圧加速電圧を変調しなければなりません。このために、高速高精度変調電源のうえに高電圧電源を積み重ねる浮遊型高電圧電源を用いたシステムを日立製作所と共同開発しました(図2)。これは特許となりました。

(2)高速演算機能を持つCCDカメラ³⁾

高電圧の加速電圧が変調される毎に像を撮り、交互に足し算と引き算をすることで無収差像が得られます。これも実時間で像観察をするために数十マイクロ秒以内で画像の演算をする必要があります。このため、画素毎に高速演算を行える新しいCCDカメラを開発しました(図3)。これも特許となりました。

3. 結論

(1)生田による独創的な発明「焦点位置変調による球面収差除去法」が光学顕微鏡のみならず電子顕微鏡にとって画期的な収差除去法であることを実証し、今後の荷電ビーム光学システムの性能向上に新たな展望を確立しました。

(2)世界初の超解像位相差電子顕微鏡(JSPS-Super Electron Microscope)の開発に成功しました。現在、200kVの加速電圧では世界最



図1(b) 従来の電子顕微鏡による像(球面収差のために真空側に金原子の偽像が観察される)

高レベルの解像度を実現しています。

(3) 生態試料観察や表面原子配列の動的無収差像観察(図4)⁴⁾を実現することにより、バイオナノ解析や触媒機能発現の解明などの新たな分野を開拓しただけでなく、

(4) 新製品として超解像位相差電子顕微鏡と演算機能内蔵型 CCD カメラを市場に送り出すことができ、当初の研究目的を達成することが出来ました⁵⁾。

(5) (4)に関連した基幹技術特許を3件取得して、今後の関連製品開発への橋頭堡を確保しました。

参考文献

- (1) T.Ikuta; Appl. Optik 24(1985)2907.
- (2) Y.Kimura et. al.; J. Electron Microsc. 48(1999)873.
- (3) K.Nishikata et. al.; Optik 112(2001)97.
- (4) Y.Takai et. al.; Phys. Rev. Lett. 87(2001)106105.
- (5) R.Shimizu et. al.; J. Korean Vac. Soc. 9(2000)1 - invited.

受賞

1. 生田孝: 第42回日本電子顕微鏡学会賞(瀬藤賞)(1997)
2. 高井義造、市橋幹雄: 第45回日本電子顕微鏡学会賞(瀬藤賞)(2000)(共同受賞)
3. 志水隆一: The Distinguished Scientist for 2002yr of Microscopy Society of America.

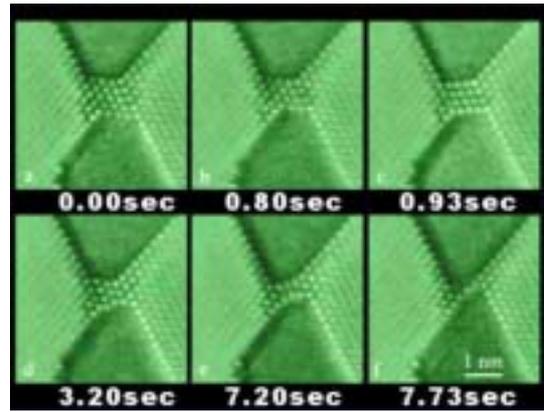


図4 金薄膜の破断過程の実時間無収差位相像観察(金原子の架橋が徐々に細くなり、3原子からなる原子鎖になる様子がわかる)

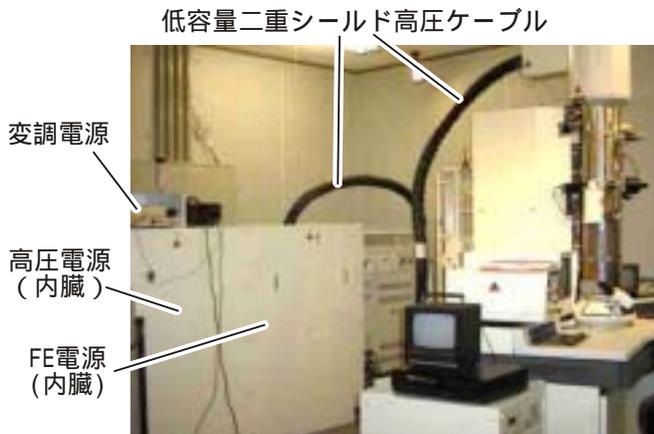


図2 開発した次世代超電子顕微鏡



図3 開発した高速演算機能を持つ CCD カメラ

