

SEMにおける減速光学系を用いた反射電子の検出 Detection of Backscattered Electrons with a Deceleration System of the Incident Beam in SEM

菊地 真樹

Naoki Kikuchi

a 日本電子株式会社 計測検査機器本部

要旨 試料ステージにバイアス電圧を印加する減速モードと反射電子検出器を組み合わせることで結晶性試料の低電圧観察を行った。試料にはDVD-RAMの最表層を取り上げた。入射電圧および試料バイアス電圧をそれぞれ0.8～30 kVおよび0～2 kVの範囲で変化させて観察を行った。入射電圧0.8 kV、試料バイアス電圧0.5 kVで、数10 nm程度の微結晶分布を最も高いコントラストで観察出来た。

キーワード：SEM, 反射電子像, 結晶性コントラスト, 低電圧, 減速モード

1. はじめに

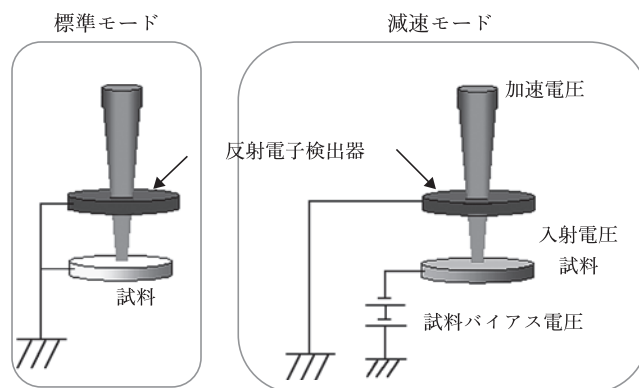
SEMで観察される反射電子像のコントラストには、試料の平均原子番号および密度を反映した組成コントラストや結晶方位の違いによって生じる結晶性コントラストなどがある。結晶性コントラストは結晶方位の違いで試料への侵入深さが変わり、その結果として反射電子や二次電子の放出量が変わるために生じる、いわゆる電子チャネリングコントラストである。一般的に結晶性コントラストをSEMで観察する場合、二次電子像よりコントラストが強く現れる反射電子像を用いる。試料最表層の結晶性コントラストを得ようとすると低電圧で反射電子像を観察する必要がある。しかし低電圧では、反射電子検出器の検出感度が低下するため、十分なコントラストを得ることは困難である。また、通常の反射電子検出器では作動距離が長いため、低電圧では高い分解能が得られない。今回我々は、試料ステージに負のバイアス電圧を印加する減速モードと新たに開発した反射電子検出器とを組み合わせることによって、1 kV以下の低電圧で良好な結晶性コントラストを得ることができたので報告する。使用したSEMはJSM-7500Fである。

2. 減速モードと新型反射電子検出器

減速モードは、比較的高加速電圧の電子線を試料に負のバイアス電圧を印加することにより試料直前で減速し、所定の入射電圧を得るものである。ここでは電子銃で電子を加速す

る電圧を加速電圧、電子が減速されて最終的に試料に入射する電圧を入射電圧と呼ぶことにする。すなわち、(入射電圧) = (加速電圧) - (試料バイアス電圧) となる。減速モードを使用しない場合は(入射電圧) = (加速電圧)である。減速モードでは、試料に印加したバイアス電圧によって、試料から放出される反射電子が加速されて反射電子検出器に入射するため、反射電子を感度よく検出できる(図1)。さらに、新型の反射電子検出器を対物レンズの直下に取り付け、従来の反射電子検出器よりも短い作動距離で使用できるようにしたため、低電圧でも高分解能が得られるようになった(図2)。

試料バイアス電圧を変化させたときの観察結果を図3に示す。試料はカーボン上の金蒸着粒子で、加速電圧とバイアス電圧をともに変化させ、入射電圧が常に1 kVとなる条件で観察したときの反射電子像である。一番左に示す結果が試料バイアス電圧を印加していないときの反射電子像であり、



$$\text{入射電圧} = \text{加速電圧} - \text{試料バイアス電圧}$$

図1 減速モード

a 〒196-8558 東京都昭島市武蔵野 3-1-2

TEL: 042-542-2246

E-mail: nkikuchi@jeol.com

2008年5月16日受付

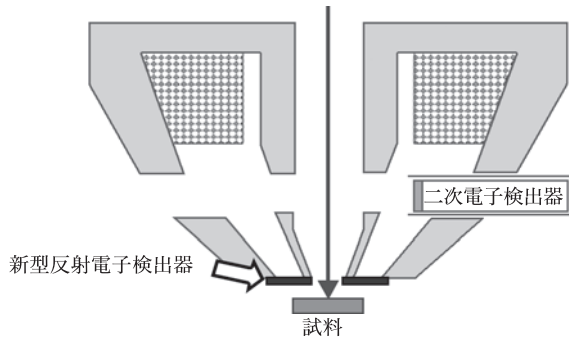


図2 対物レンズの断面図

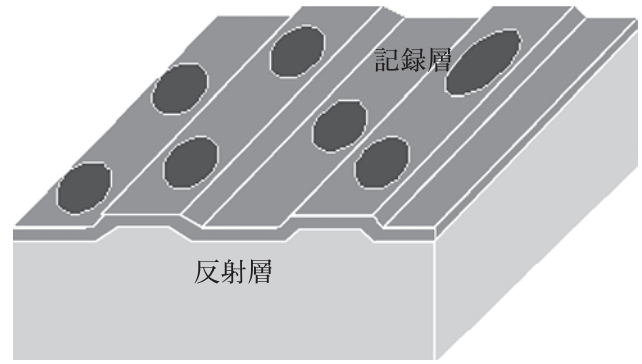
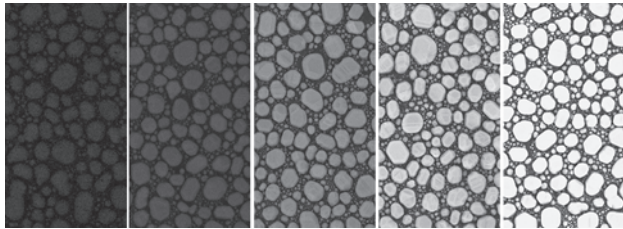


図4 DVD-RAM 断面模式図



加速電圧
1kV 1.5kV 2kV 2.5kV 3kV

試料バイアス電圧
0kV 0.5kV 1kV 1.5kV 2kV

図3 試料バイアス電圧を変えたときの反射電子像（カーボン基板上の金粒子，入射電圧1kV）

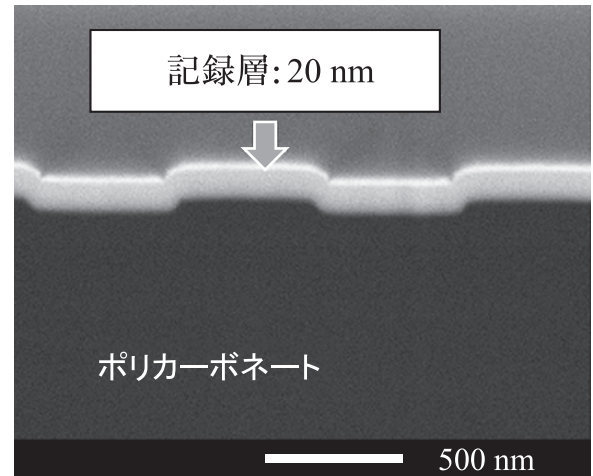


図5 DVD-RAM 断面の反射電子像

右に行くに従って、それぞれバイアス電圧を0.5kVずつ増加させたものである。例えば、試料バイアス電圧が0.5kVとなっている像は加速電圧が1.5kV，試料バイアス電圧が0.5kV，入射電圧が1kVの像である。観察はSEMのコントラスト条件を一定にして行った。試料バイアス電圧を大きくするにつれて、検出器に衝突する反射電子の信号量が增大しているのがわかる。

3. 薄膜試料の結晶性コントラストの違い。

薄膜の結晶性コントラストを見るために、試料としてDVD-RAMの記録層を用いた。この試料の構造の模式図を

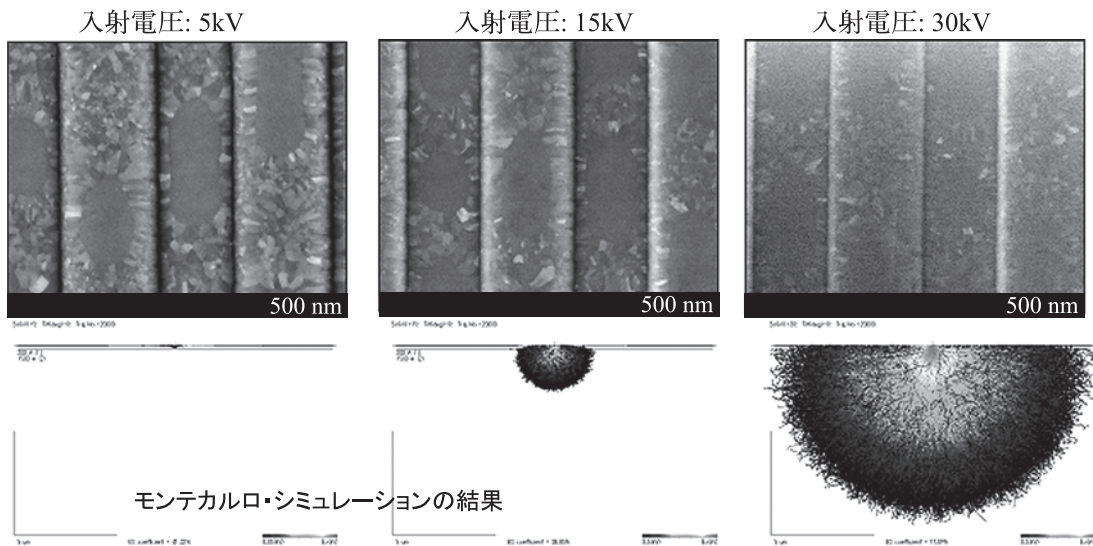
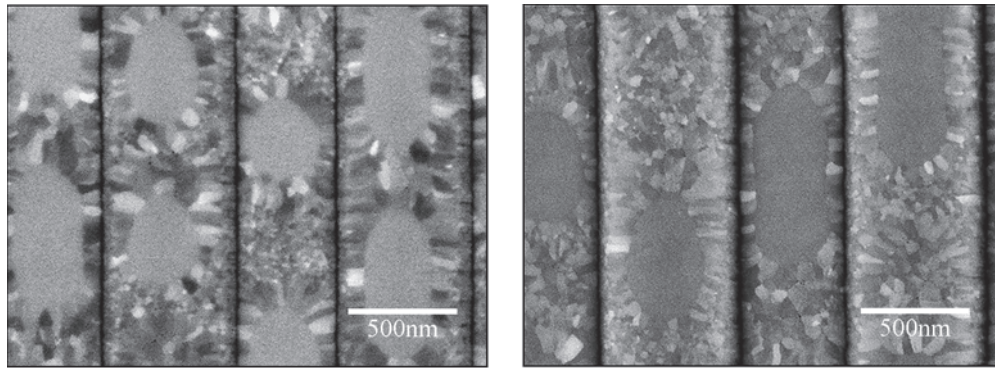


図6 入射電圧を変えたときの反射電子像のコントラスト（DVD-RAMの記録層）



入射電圧：1kV
試料バイアス電圧：0.5kV

入射電圧：5kV



モンテカルロ・シミュレーションの結果

図7 試料入射電圧を変えたときの反射電子像のコントラスト (DVD-RAM の記録層)

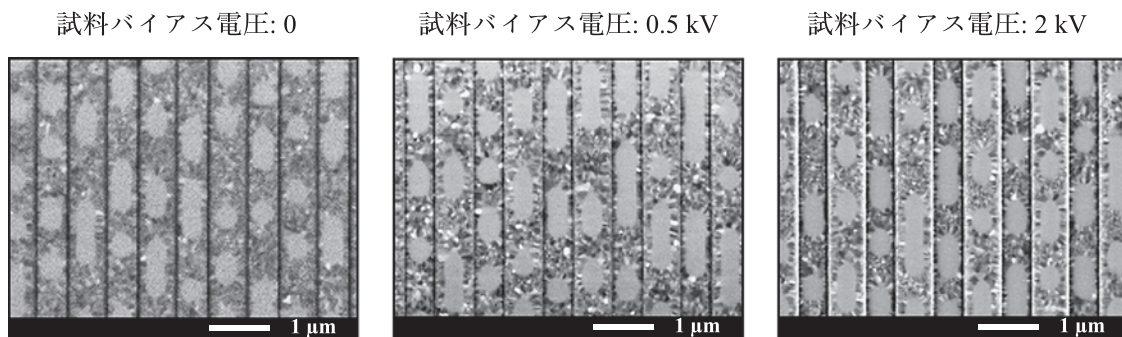


図8 試料バイアス電圧を変えたときの反射電子像のコントラスト (DVD-RAM の記録層, 入射電圧 1 kV)

図4, また断面の反射電子像を図5に示す。DVD-RAMの断面は反射層の上に約20 nm厚の記録層がある。

はじめにバイアス電圧を印加せずに入射電圧を変えて観察を行った結果を図6に示す。5 kV, 15 kV, 30 kVと入射電圧を高くするにつれて, 試料表面の結晶コントラストが低くなっていることがわかる。これは像の下部に示したモンテカルロシミュレーションの結果に示すように, 入射電圧が高くなるのに伴い, 電子の侵入深さが深くなり, バックグラウンドを形成する試料内部からの信号が増えるため, 最表面の薄い記録層の結晶コントラストが相対的に低くなっているためと考えられる。

次に入射電圧 1 kV と 5 kV の結果を比較した。この結果を図7に示す。左図は入射電圧 1 kV, 右図は 5 kV の結果である。入射電圧 1 kV のほうが記録層の結晶コントラストが高い。この結果をモンテカルロシミュレーションによる試料侵入深

さから考察すると, 5 kV では入射電子が反射層まで侵入しているのに対して, 1 kV では記録層で止まっていることがわかる。5 kV では反射層からの反射電子の影響があり, 極表面の記録層の結晶コントラストが低くなっている。

さらに入射電圧を 1 kV と一定にして, 試料にバイアス電圧を印加して観察した。その結果を図8に示す。バイアス電圧 0 では, (入射電圧)=(加速電圧)の状態であり, 高いコントラストを示しているが, 信号の強度は低い。試料バイアス電圧を大きくすることによって, 結晶性コントラストが向上し, さらに信号強度も高くなっている。ここで注意しなければならないのは, 試料バイアス電圧 2 kV では, DVD 表面層の凹凸が強調されており, 結晶コントラストの高い像を得るためには最適なバイアス電圧を選択する必要がある。(バイアス電圧で加速された二次電子が検出器に衝突して, 信号成分として寄与することで二次電子のエッジ効果が現れてい

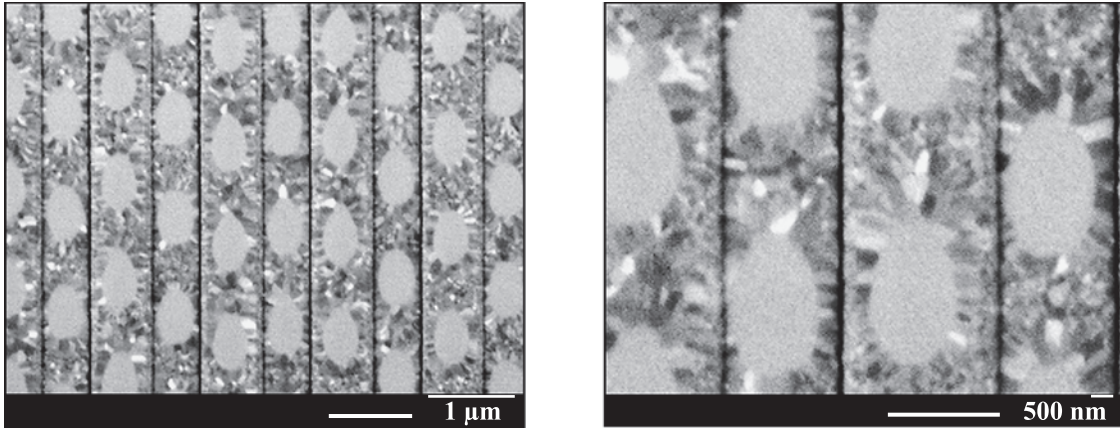


図9 DVD-RAM 記録層の観察結果 (入射電圧 : 0.8 kV)

る可能性がある)。今回の試料の場合、バイアス電圧が 0.5 kV が最適値であった。

最後に入射電圧を 0.8 kV にして観察を行った。その結果を図9に示す。マーキングされていない領域には数 10 ~ 100 nm の微結晶が観察され、マーキングされてアモルファスになった部分は短径 0.4 μm 、長径 0.7 μm 程度の楕円形のパターンとして観察できた。

4. 結論

減速モードと新型反射電子検出器を組み合わせることによって、DVD-RAM の記録層のような、厚さ 10 nm 程度の薄い結晶性薄膜の反射電子像を低加速電圧で高いコントラストの像として観察することができた。