

# Study on local analysis by nano-beam SIMS

(ナノビーム SIMS による局所分析法に関する研究)

尾張研究室・07220・野島 雅

## 1. 研究の背景

近年、電子デバイスの微小化に伴い、構成する材料の超微細化・多様化が進んでいる。Fig.1 にその一例として、MR ヘッドを構成する最も薄い膜の膜厚と、CMOS のゲート長の推移を示す。いずれの素子においても微小化・微細化は強力に進められており今後のデバイス開発に向けてナノレベルでの分析・評価技術が急務となっていることが分かる<sup>1,2</sup>。一方、ナノ領域の分析法はそれらの技術開発において欠くことのできないことは言うまでもなく、技術開発により得られた知的所有権を維持する観点からも非常に重要な責務を負っている。次世代デバイスの開発には組成分析および構造解析が必須であるが、特に二次イオン質量分析 (SIMS) 法は、微小領域の分析対象のモフォロジーを確認しながらの高精度元素分布分析が可能であり、直感的かつ豊富なデータを開発サイドに還元することができる特長を有している。しかしながら、現在市販レベルでの SIMS 装置はミクロンオーダーでの面方向分析を主体とするため、次世代デバイス開発のためのナノ領域の局所表層領域分析を実現するナノビーム SIMS の開発に至った。

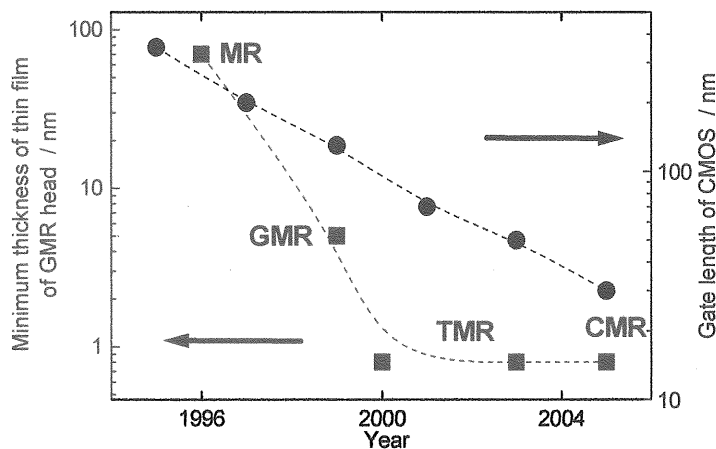


Fig 1. Manufacturing process evolution of film thickness and gate length in major parts of GMR head and CMOS.

## 2. ナノビーム SIMS 装置の試作

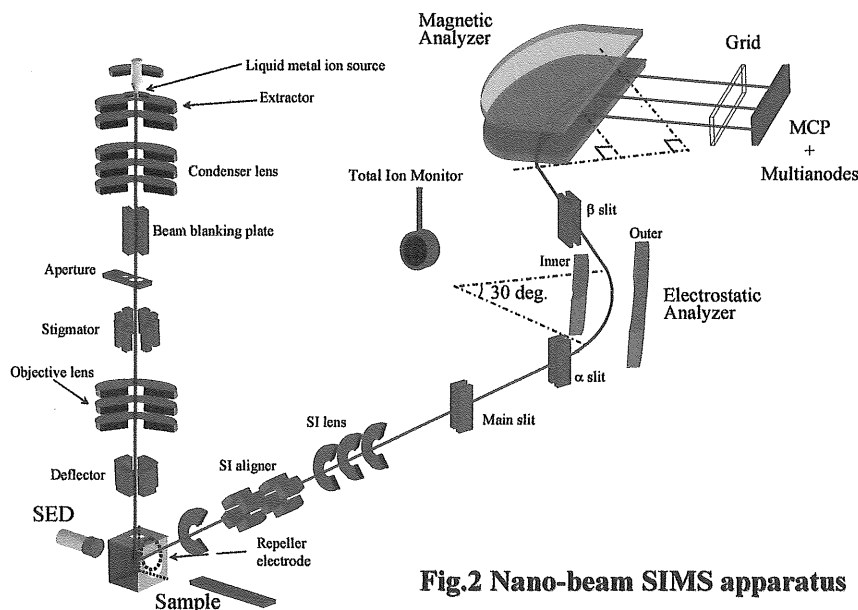


Fig.2 Nano-beam SIMS apparatus

ナノスケールオーダーでの超高空間分解能を実現する本装置は細束な一次イオンビームを実現する FIB 鏡筒と多元素同時分析を可能とする Mattauch-Herzog 型のマスフィルタおよび 120 チャンネル多元素同時検出系を備えた二次イオン質量分析系から構成されている (Fig. 2)<sup>3</sup>。超高空間分解能の実現には、分解能に直接影響を与える一次イオンビームの細束化および FIB 鏡筒と試料表面との相対位置を常に正確に制御せねばならない。すなわち、如

何に細束なビームを用いても機械的な振動・ドリフトの影響により最終的な空間分解能が決定されてしまう。また、超微小領域の分析を可能とするため二次イオン検出効率を可能な限りに向上させ、かつ破壊分析には欠くことのできない多元素同時分析が必要となる。本装置の開発にあたっては、機械的振動の除去に大変労力を費やした。その一つに Fig. 2 にある様に本装置は、一次イオンビーム源と二次イオン検出系が互いに垂直な位置関係であるため従来の電頭除振技術をそのまま導入することは困難であることが挙げられる。従って、まず振動の原因となっている要因を固有周波数ごとに対策を講じることにした。

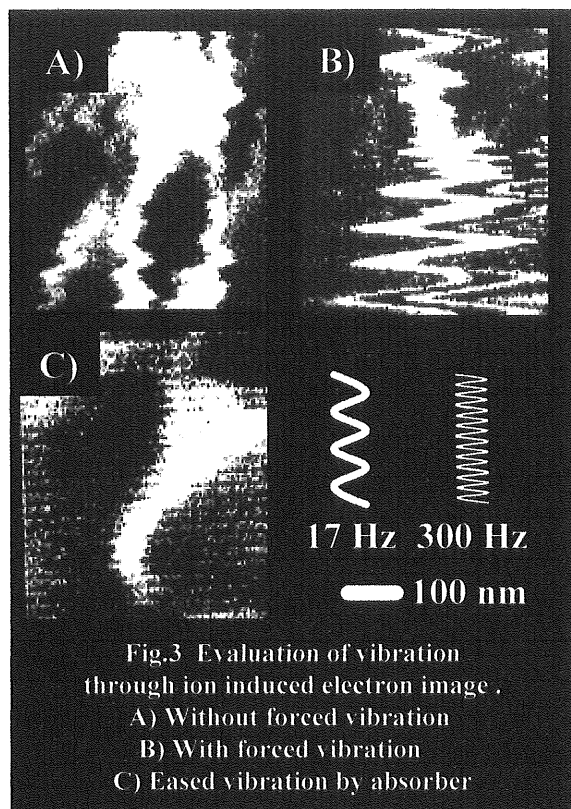


Fig.3 Evaluation of vibration through ion induced electron image.  
 A) Without forced vibration  
 B) With forced vibration  
 C) Eased vibration by absorber

Fig. 3 に除振対策前の振動をイオン励起二次電子像にて観察した結果を示す。A)に見られるように振動は種々の固有振動がうねりを形成していることが観察される。ここでは特に支配的な 17, 300 Hz の固有振動に着目した。B)は装置底部を加振した結果である。ここでは特に 17 Hz の振動が増幅されているため、ここでの固有振動は装置底部を伝達部として伝わったものであると考えられた。従って、振動伝達部と考えられる装置底部に除振ゴムを挿入したところ 17 Hz の振動はほぼ見られなくなり、300 Hz の振動が支配的となった。300 Hz の振動についても振動源・伝達部・受信部について個々に調査を行った。その結果、比較的周波数の高い 300 Hz の振動は、試料動作機構のあそびに起因することが分かった。しかしながら、試料の機械的自由度を保障しながら振動の影響を低減するだけの機械的強度を兼ね備えることは非常に困難であった。したがって、試料の機械的自由度を犠牲にすることで振動の影響を低減し、同時に二次イオン検出効率を向上させる二次イオン輸送光学系の改良を行った。

試料は FIB 鏡筒に機械的に直接取りつける一方、二次イオン輸送光学系は機械的に独立に操作できる機構を開発した。本機構より、試料は FIB 鏡筒と相対的に振動することを防ぐことが可能であり、理想的な二次イオン輸送光学軸を正確にコントロールすることにより超高空間分解能による元素分布解析が可能となる。本機構を用いた観察を行った。その結果を Fig. 4 に示す。ここでは振動による像への影響は確認されず、金の粒径は 10~100 nm 程度と見積もられていたため試料は FIB 鏡筒に機械的に直接取りつける本手法は振動の影響を取り除くには有効な手段であり、数 10 nm 程度の空間分解能の実現が可能であることが分かった。また、本機構は二次イオン検出に関しても、二次イオンマッピングに十分な輸送効率を示すことが確認された。しかしながら、試料の自由度を犠牲にしている本機構においては任意の局所領域の分析を行うことにおいては致命的である。したがって、本機構のコンセプトを応用し任意の局所領域の分析を可能とする新たな機構を開発した。

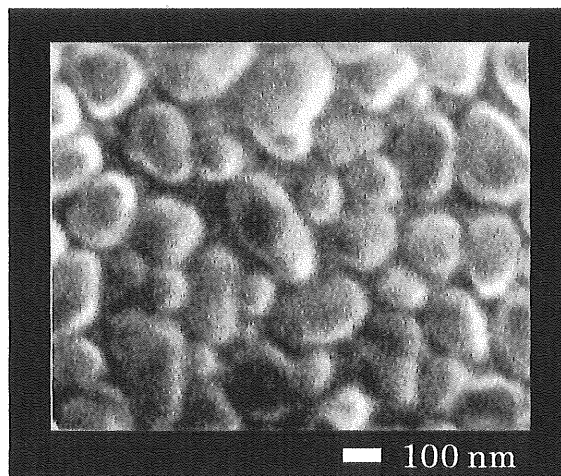


Fig. 4 Ion induced secondary electron image of vacuum-evaporated Au film on a carbon plate.

### 3. ナノビーム SIMS 装置による局所分析法に関する研究

ナノ領域の分析を可能とする装置開発において空間分解能に直接影響を与える振動を低減し、かつ任意の局所領域の分析を可能とすることは当然のことながら大変重要なことである。Fig. 5 に新たに開発した試料動作機構および二次イオン輸送光学系の写真を示す。試料動作機構は FIB 鏡筒に機械的に連結されたチャンバ内部の“橋”に設置され、二次イオン輸送光学系はチャンバ底部より機械軸を補正できるように設計されている。また、低振動型の真空ポンプの導入や高性能ダンパの設置により、可能な限り外部からの振動の影響を低減した。

ここで本機構のビーム径を定量的に見積もる目的で、鋭利な物理端をビームで低速にスキャンさせることによるナイフエッジ法にて、吸収電流ビームプロファイルを得

た (Fig. 6)。図中ビームがエッジに接近するに連れ電流は緩やかに増加し、ビームの中心が到達近くになると急激に増加する。その後上方に膨らみを示した後、一定値に収束している。これらのファクタは

- 1) 一次イオンビームの進行方向に垂直な熱速度成分によるビームの裾の部分<sup>4</sup>
- 2) 真の一次イオンビームの空間積分
- 3) エッジ効果によるシグナルの増加

からの影響されるものと考えられる。ここで真の一次イオンビームは正規分布に従うと仮定した結果、実効ビーム径  $1\sigma$  は 22 nm、吸収電流密度は  $3.4 \text{ A/cm}^2$  と見積もられた。また、ビームの裾の成分は数  $\mu\text{m}$  程度の

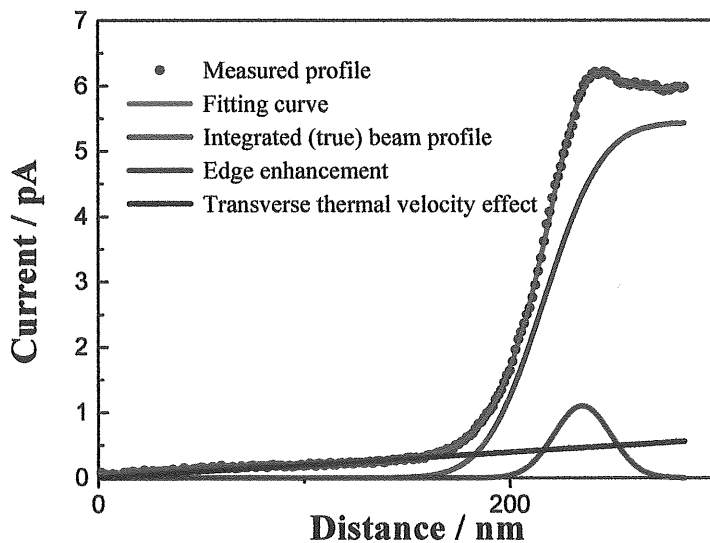


Fig.6 Sample current profile of a knife edge.

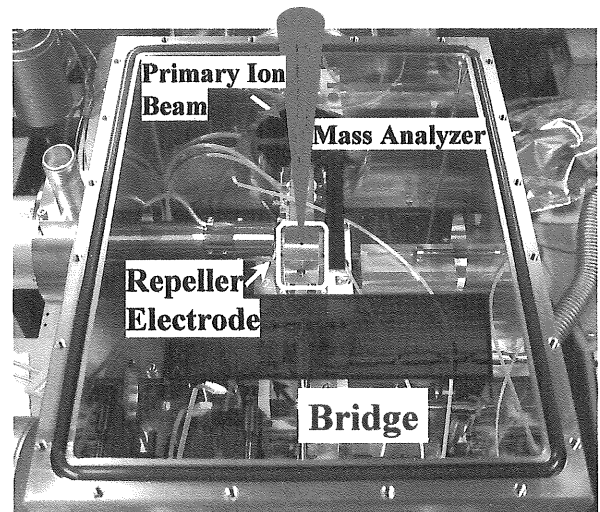


Fig. 5 The new system for sample operation and transportation of secondary ion.

広がりを持ち<sup>4</sup>、イオンビームリソグラフィにおいては重要なファクタとなっているとの報告もあるが<sup>5</sup>、ここでは  $\mu\text{m/cm}^2$  オーダでの電流密度であるため後述の二次イオン検出数を考慮すると、ほぼ無視できる要素であると言える。本評価法は定量的にビーム径を評価するには有効な手段であるが、実際の像評価には主観的ファクタが含まれるため、本来の像分解能としてはさらに向上するものと考えられる。以上により今回試作したナノビーム SIMS は、ナノスケールオーダの微小領域の高精度元素分布分析が可能であることが示唆された。

本装置を用い、DRAMのAl配線の二次イオンマッピングを行った。そこで得られた全二次イオン像および $^{27}\text{Al}^+$ の元素分布像を示す (Fig. 7)。ここで、一次イオンビーム電流が20 pAの時 $^{27}\text{Al}^+$ の二次イオン検出カウントは、約10000 cpsであった。この値は、約70000個のスパッタ粒子に対して1カウ

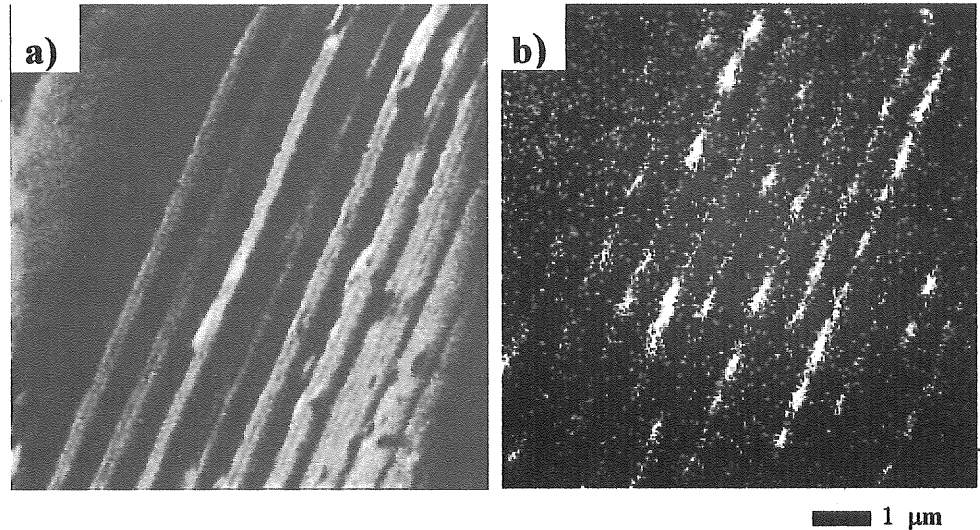


Fig.7 Secondary ion map of DRAM. ( a) Total Ion Image b)  $^{27}\text{Al}^+$  Image )

トが検出できる効率であり、超微小領域の分析には必須条件である高収率の二次イオン検出が可能であることがわかった。よって本装置はナノスケールの局所領域における元素分布解析に強力な分析手段となることが示唆された。

#### 4. まとめ

次世代デバイス開発のためのナノ領域の局所領域分析を実現する、ナノビームSIMSの試作を行った。その結果、空間分解能に直接影響を及ぼす振動は、試料をFIB鏡筒に機械的に直接取りつけることで最小限に低減できることが分かった。しかしながら、ここでは試料の動作自由度を犠牲にしているため任意の局所分析を可能とする新たな機構を開発した。その機構を用いた結果、ナノスケールでの超高空間分解能による元素分布分析が可能となった。

#### 参考文献

<sup>1</sup>Ueda.O et al. : Advanced Analytical and Evaluation Techniques. FUJITSU. 52, 4, (2001) 382

<sup>2</sup>Intel press room. 2000 Dec 11. Intel Develops World's Smallest, Fastest CMOS Transistor

<<http://www.intel.com/pressroom/archive/releases/cn121100.htm>> Accessed 2002 Nov 4

<sup>3</sup>H.Satoh, M.Owari, and Y.Nihei, J. Vac. Sci. Technol. B6 (3), 1988

<sup>4</sup>J.W.Ward, R.L.Kubena, and M.W.Utlaut, J. Vac. Sci. Technol. B6 (1988) 2090

<sup>5</sup>R.L.Kubena, J.W.Ward, F.P.Stratton, R.J.Joyce, and G.M.Atkinson, J. Vac. Sci. Technol. B9(6) (1991) 3079

#### 発表状況

#### 論文

野島 雅・富安文武乃進・柴田俊男・尾張真則・二瓶好正 表面科学, (2000.8), Vol. 21, No. 8, p. 511-516

M.Nojima, B.Tomiyasu, Y.Kanda, M.Owari, and Y.Nihei Applied Surface Science, (in press)

#### 発表

M.Nojima, B.Tomiyasu, Y.Kanda, M.Owari, Y.Nihei

Nano-scale SIMS Analysis as A New Local Analysis of Next Generation

13th international conference on secondary ion mass spectrometry and related topics (他多数)