

高品位TEM試料作製装置の開発

エスアイアイ・ナノテクノロジー株式会社

代表取締役社長 北野 進

エスアイアイ・ナノテクノロジー(株)	BT技術部 部長	藤井 利昭
エスアイアイ・ナノテクノロジー(株)	BT技術部BT技術一グループ 課長	岩崎 浩二
エスアイアイ・ナノテクノロジー(株)	BT応用技術部BT応用技術一課 課長	鈴木 秀和
エスアイアイ・ナノテクノロジー(株)	BT技術部BT技術一グループ 係長	高橋 春男
エスアイアイ・ナノテクノロジー(株)	BT技術部BT技術一グループ 係員	山本 洋

はじめに

図1に示すように、半導体デバイスの微細化は年々進んでおり、2008年には、デザインルールが43ナノメートルNAND型フラッシュメモリの量産が開始されようとしている。

このような最新デバイスでは、ゲート絶縁膜の厚さが数ナノメートルになり、原子20個程度に相当する薄さになっている。その微細構造を観察するため、原子レベルの構造が観察できる透過電子顕微鏡（TEM）が利用されている。TEMでは、電子が試料を透過したときの回折現象を用いるため、0.1 μm 程度まで試料を薄くする必要がある。その試料作製に、これまでスパッタエッチングによる集束イオンビーム（FIB）加工が広く用いられてきた。しかしFIB加工では、内部方向に物理的なダメージ層が発生する欠点があった。このダメージ層を除去するためにアルゴン（Ar）ビームを用いるFIB-SEM-Arビーム複合装置を開発した。この装置により、高度なTEM試料作製が可能になり、ゲート酸化膜構造が原子レベル分解能の顕微鏡像として観察できるようになった。

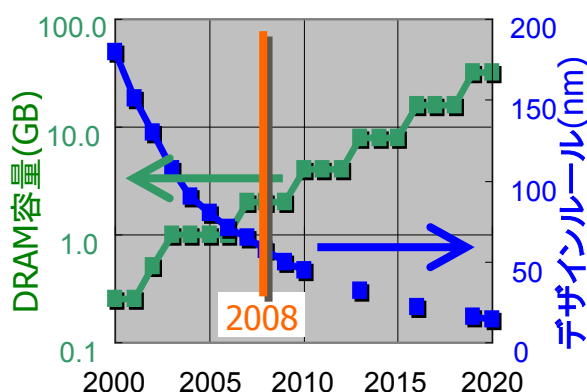


図1 半導体デバイスの微細化

開発のねらい

図2に、TEM試料例を示す。従来は、専門の技術者が化学研磨技術やArビームを用いて試料を作製していた。そのため、

1. 試料作製に1週間単位の時間がかかる。
2. 試料作製位置をミクロン単位、サブミクロン単位で決定することができない。

などの問題があり、それを克服するため、FIB装置が用いられるようになった。

FIB装置は、イオン化したガリウム（Ga）を、電界を用いて直径が $1\mu\text{m}$ から数nm程度までに集束したイオンビームにして、試料の特定領域

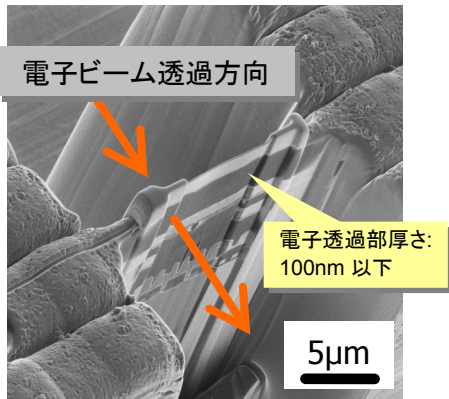


図2 TEM試料例

域に継続的に走査照射することにより、顕微鏡観察やスパッタエッチングなどを行うことができる装置である。しかし、

1. エッチングによって結晶構造が破壊される
ダメージ層の形成
2. ガリウムと試料中の元素が結合した二次生成物の形成

などの課題があり、原子構造観察可能な高品位試料を作製することができなかつた。本開発は、これらの課題解決をねらいとした。

装置の概要

図3に本装置の基本構成を示す。本装置は、FIB装置に、電子ビームを照射する走査電子顕微鏡（SEM）およびArビーム照射機能を複合化し、これら3つのビームを試料表面の一点で交差するように配置されている。そして、各ビームには、表1に示す特徴があり、このように構成することによって、FIBによって断面加工を行いながら、試料を移動させることなく、SEMでその断

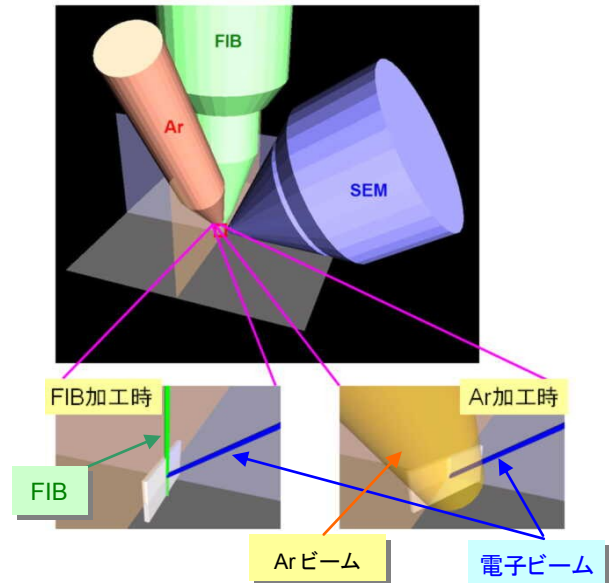


図3 FIB-SEM-Arビーム複合装置構成

表1 各ビームの特徴

	FIB	SEM	Arビーム
ビーム源	ガリウム(Ga)	電子	アルゴン(Ar)
ビーム径	4nm @30kV	1.7nm @10kV	200μm @1kV
機能	顕微鏡観察 エッチング デポジション	顕微鏡観察 デポジション	エッチング
特徴	精密加工	高分解能観察	低ダメージ加工



図4 装置外観

面構造を観察できる。また、Arビームを用いた加工中も、同様に試料の断面構造をSEMで観察できるため、高度なTEM試料作製が可能となる。図4に装置外観を示す。

技術上の特徴

本装置では、課題解決のため、低エネルギーArビームを用いている。

図5に示すように、加速電圧30kVのFIBを用いてエッチングを行うと、被加工面から内部に向けて20ナノメートルを超えるダメージ層が形成されてしまう。しかし、加速電圧1kVのArビームを用いることにより、2ナノメートル以下にすることができる。さらに、アルゴンは不活性元素であり、ガリウムのように二次生成物を形成することがない。

そこで、FIBで作製したTEM試料の仕上げ加工をArビームで行うことにより、ダメージ層や二次生成物を除去するようにした。

ところが、Arビームはビーム径が大きいため、最新デバイスの所定箇所を観察するには、分解能が低く、加工の終了を判断するのが困難であった。そこで、Arビームによる加工状況を高分解能のSEMでライブ観察することができるようにし、最適なエッチング加工の終了を判断できるようにした。

この効果を確認するため、図6に示すような多結晶シリコン (Poly Si) の下のゲート絶縁膜を観察するための試料作製を行った。Shallow Trench Isolation (STI) 領域をFIB加工で露出させた後に、STI領域をArビームでエッチング加工した。図7に示すように、その状況をSEMによって観察し、Poly-Si領域が現れたところで加工を終了した。これをTEM観察領域の両側で

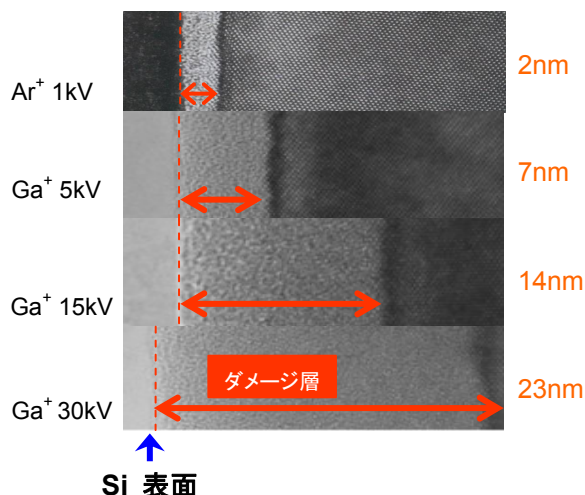


図5 エッチングによるダメージ層

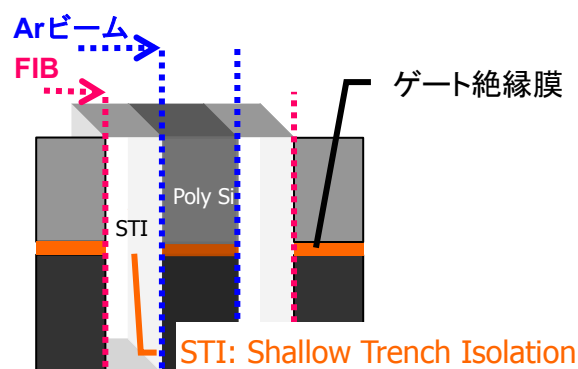


図6 試料構造

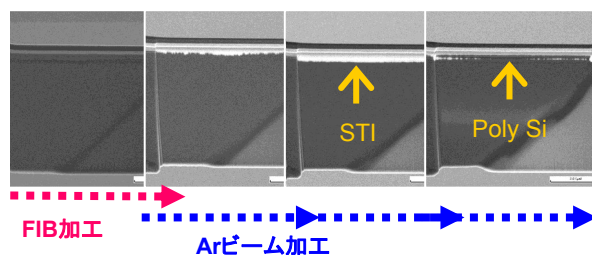


図7 Arビーム加工中のSEM像

行うことにより、ゲート絶縁膜を観察するための試料を作製することができた。

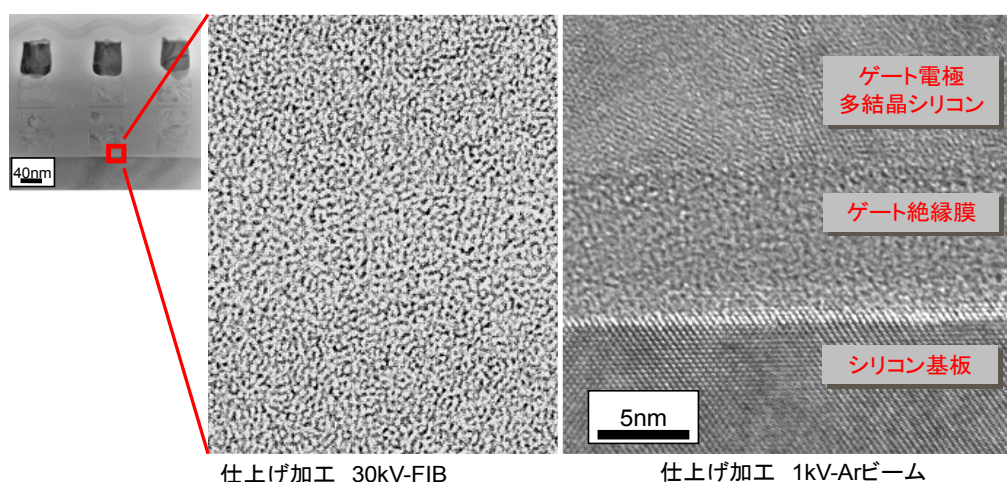


図8 TEM観察例
サンプル：65nmルールNAND型フラッシュメモリ

実用上の効果

図8に、本装置を用いて作製した65nmルールNAND型フラッシュメモリのTEM観察例を示す。加速電圧30kVのFIBを仕上げ加工に用いる従来方法で作製した試料は、加工によるダメージを受けるため、TEM観察を行っても、構造を全く観察することができない。

一方、加速電圧1kVのArビームを用いた方法で作製した試料は、内部へのダメージがほとんどない。そのため、デバイスの内部構造を観察することができている。特に、シリコン基板やゲート電極多結晶シリコンの格子像が観察できている。

工業所有権の状況

本開発品の装置に関する主な特許登録は下記の通りである。

- ① 日本国特許第3,117,836号
名称：集束イオンビーム装置

- ② 日本国特許第4,170,048号
名称：集束イオンビーム装置

- ② 日本国特許第4,170,048号
名称：イオンビーム装置およびイオンビーム加工方法

そのほかに、複数件の関連特許が登録されており、少なくとも5件の特許を出願中である。また、上記①の特許は米国及び韓国においても登録されている。

むすび

本装置は、ダメージ層を最小限にした高品位TEM試料作製のための世界で初めての装置である。本装置を用いることにより、特別な訓練を受けていない技術者が、2時間以下の短い時間で、原子レベル観察が可能な高品位TEM試料作製を行うことができる。

そして、試料作製箇所をナノメートルオーダーで設定することができるため、今後さらに微細化が進む半導体デバイスにも利用可能な装置となっている。