

FIB試料作製でお困りの方へ ～FIBによるTEM試料の作り方～

日本電子株式会社

EP事業ユニット

EPアプリケーショングループ

山田 晶子

目次

1. FIBの概要

2. FIBによるTEM薄膜試料作製の基本手順

3. TEM薄膜試料作製の加工条件最適化のポイント解説

SiウェハのTEM薄膜試料作製（幅5 μm 、厚さ30 nm）

□ ブロック試料作製

- デポジション材料の選択
- 加工モードの選択
- イオンビーム電流量の選択

□ 薄膜化加工

- イオンビーム電流量の選択
- 試料傾斜角の決定
- 低加速仕上げ

4. 応用例

半導体デバイスのTEM薄膜試料作製（幅2 μm 、厚さ30 nm）

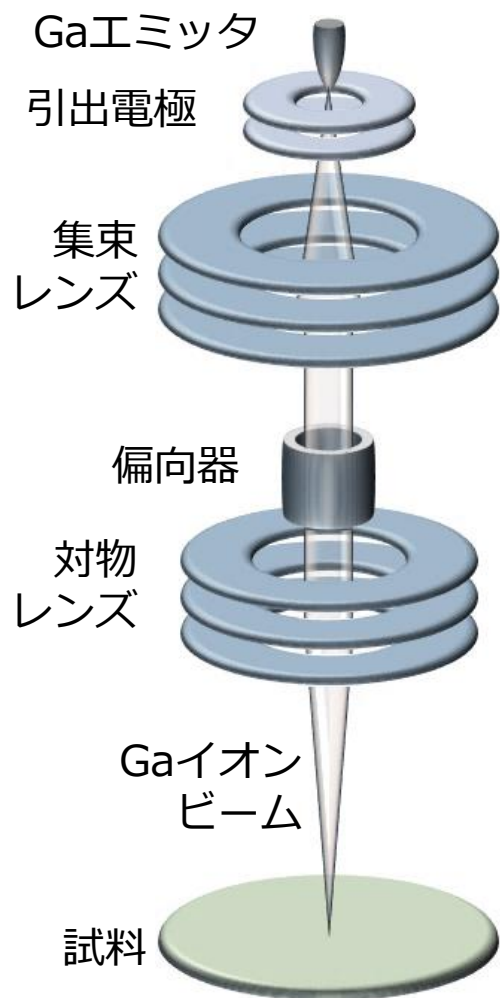
5. まとめ

FIBの概要

FIBが持つ3つの基本機能

FIBの概要

□ FIBの概略図



□ 基本機能



ミリング



デポジション



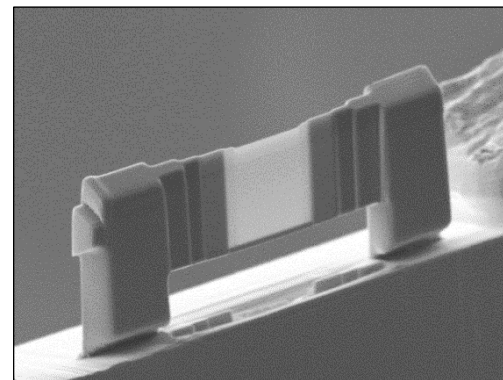
観察

□ FIBの特長

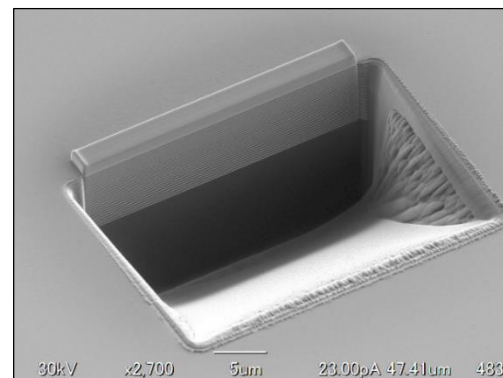
サブミクロン以下の高い位置精度で、試料作製が可能！

□ 主なアプリケーション

TEM試料作製



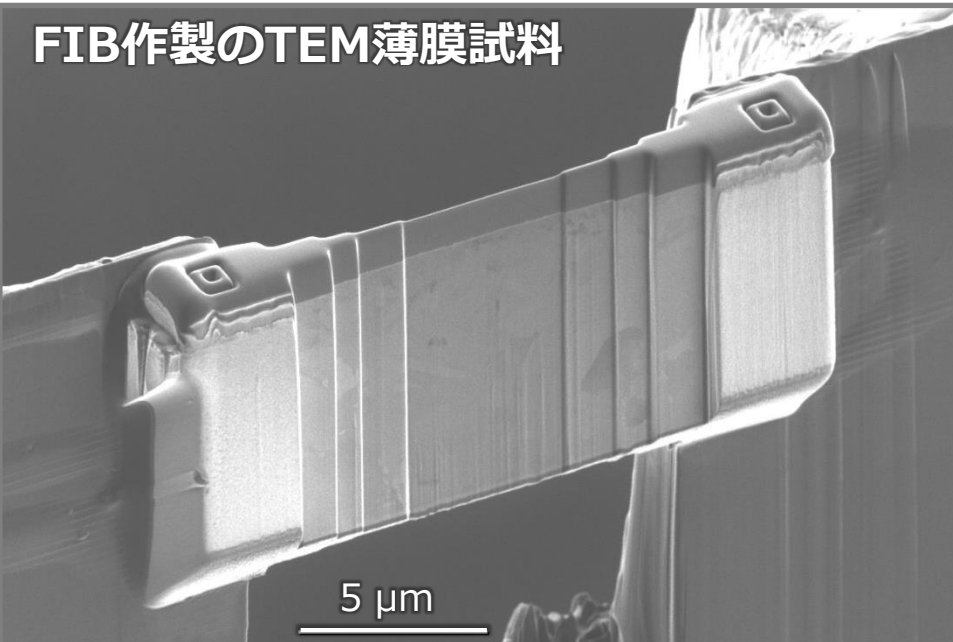
断面試料作製



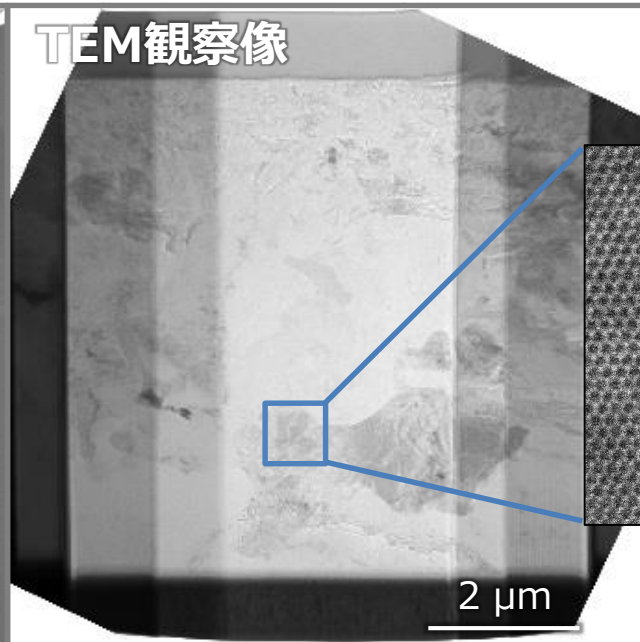
TEM薄膜試料作製の基本手順

TEM薄膜試料とは

FIB作製のTEM薄膜試料

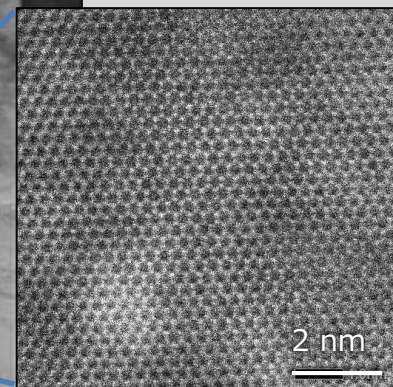


TEM観察像

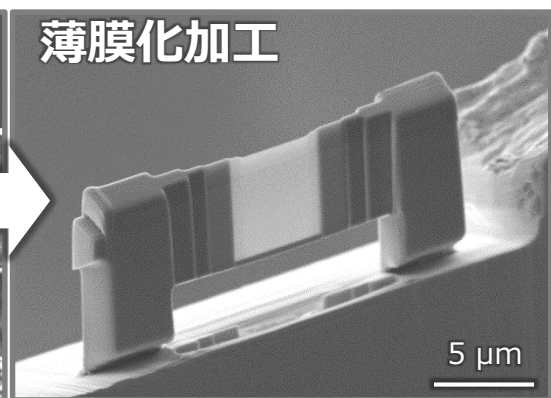
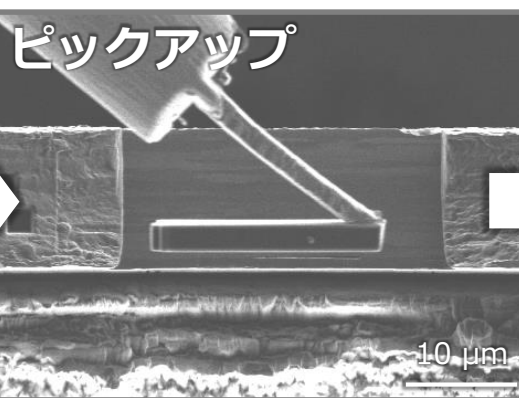
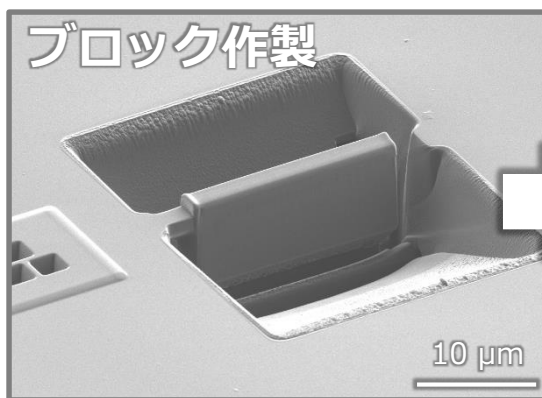


TEM像

高分解能像



作製手順



TEM薄膜試料作製の加工条件最適化のポイント (標準的な加工条件)

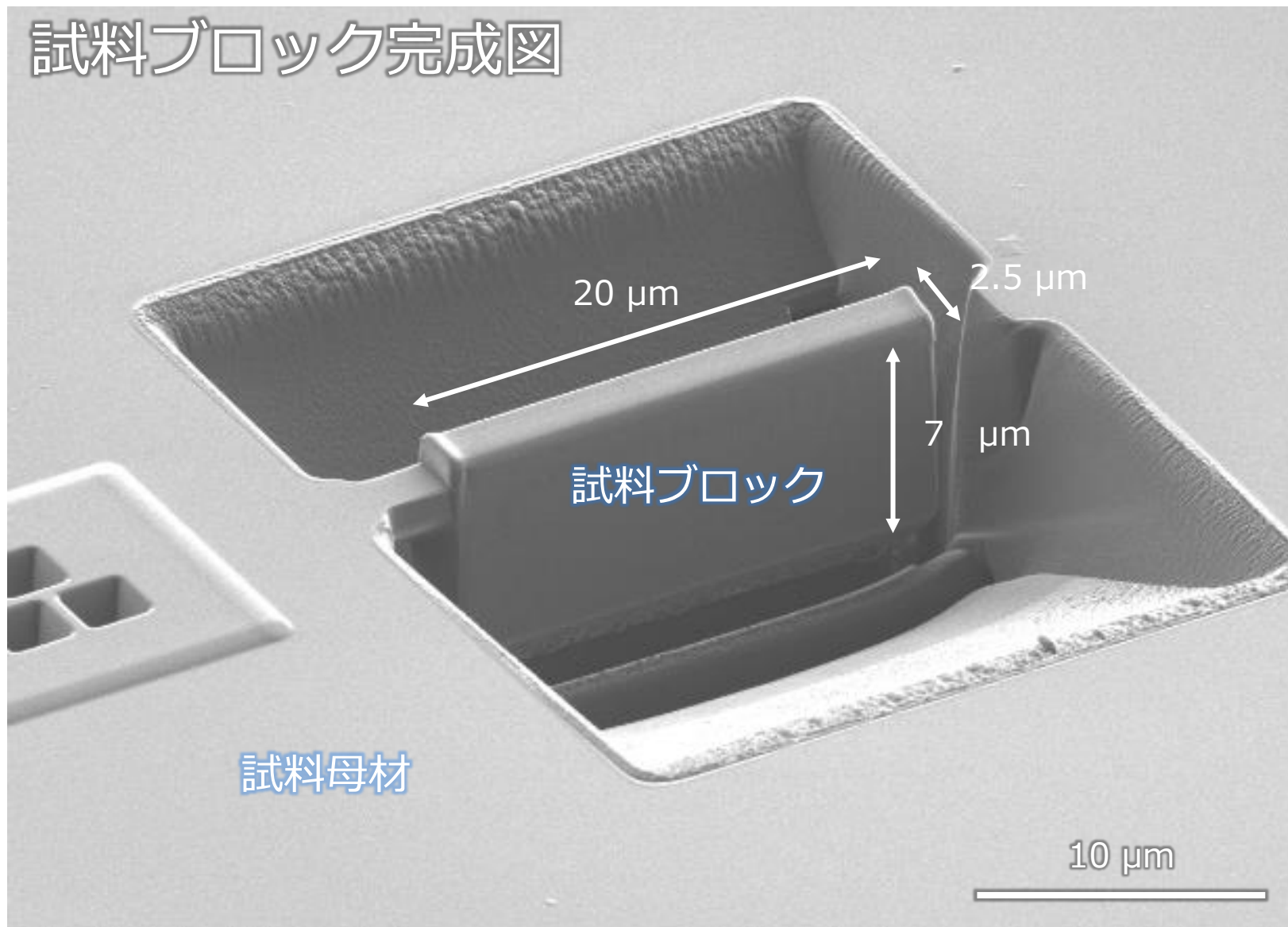
Si基板の薄膜試料作製 (幅5 μm 、厚さ30 nm)

使用装置: JIB-4700F
JIB-4000PLUS



Step1 : 試料ブロック作製

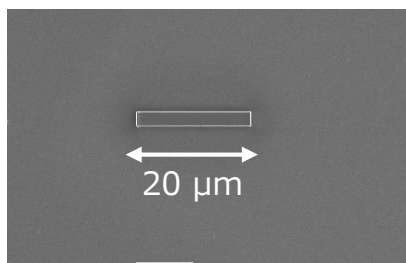
試料ブロック完成図



Step1 : 試料ブロック作製 …作製手順

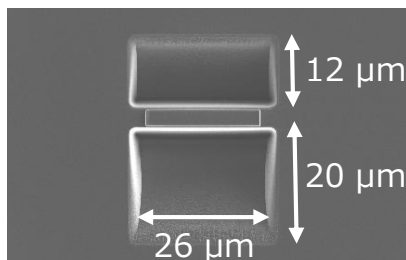
FIBグリッドに乗せるための試料ブロックを作製します。
試料ブロックのサイズ：幅 20 μm , 厚さ 2.5 μm , 高さ 7 μm

①デポジション



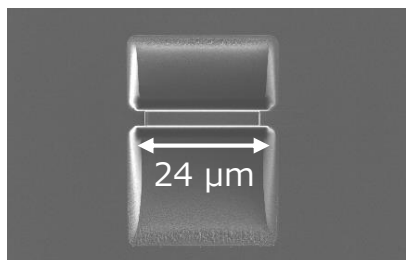
○デポジション材料 …カーボン
○イオンビーム電流値 …320 pA

②粗加工



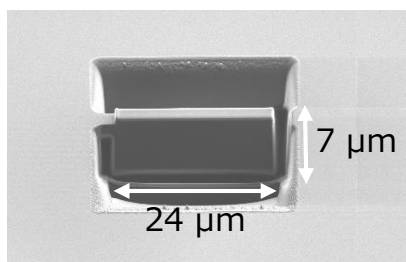
○ミリングモード …Rapid
○イオンビーム電流値 …30 nA

③トリミング



○ミリングモード …Mill
○イオンビーム電流値 …10 nA

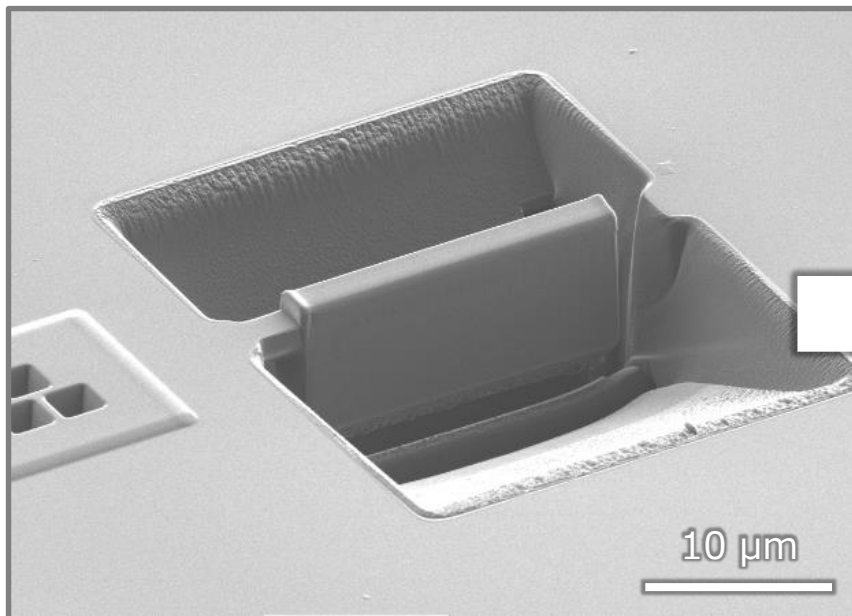
④ボトムカット



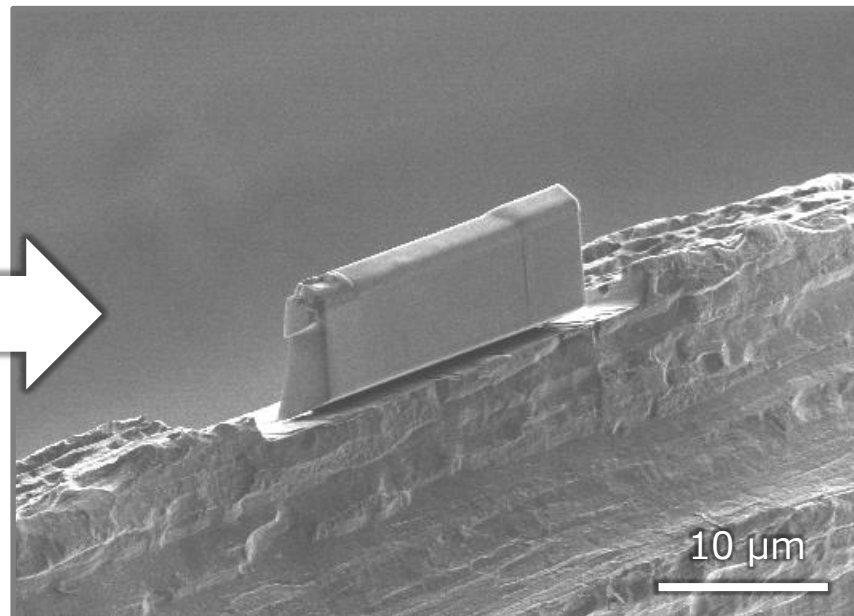
○ミリングモード …Mill
○イオンビーム電流値 …10 nA

Step1 : 試料ブロック作製

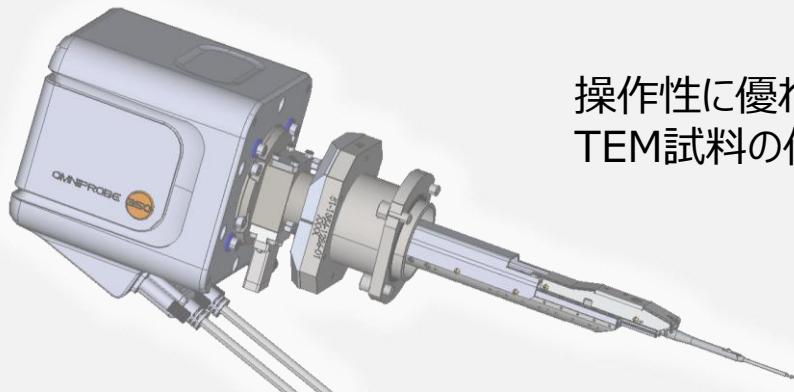
ブロック試料完成



ピックアップ



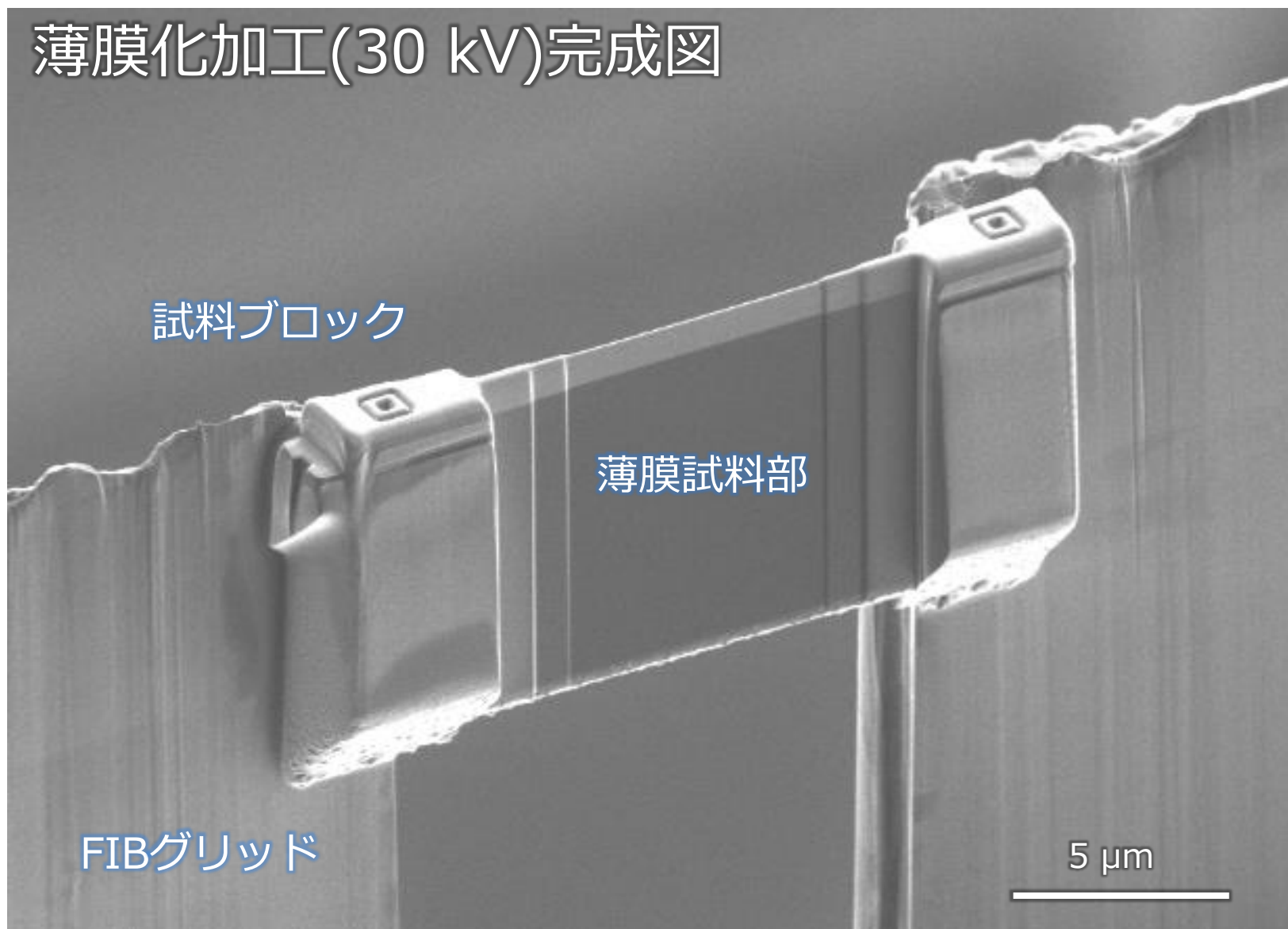
<試料室内マニピュレータ OmniProbe350>



操作性に優れた**OmniProbe350**により、
TEM試料の作製手順が容易になります。

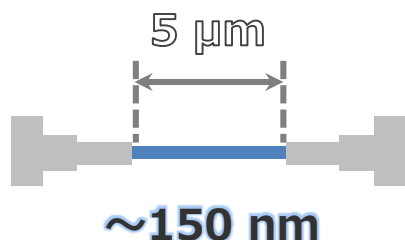
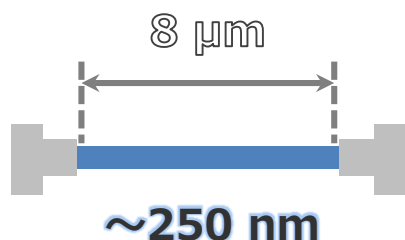
Multi Beam System JIB-4700F に、試料室内マニピュレータのOxford Instruments社製 OmniProbe350 が取り付け可能です。

Step2 : 薄膜化加工(30 kV)



Step2：薄膜化加工(30 kV) …加工手順

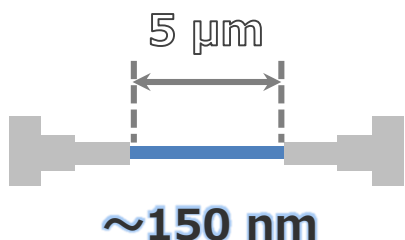
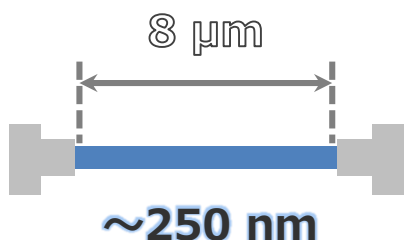
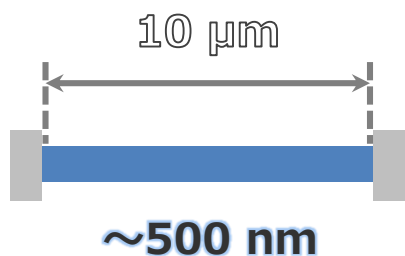
試料ブロックをTEM観察が行える厚みまで薄く加工します。
30kVのイオンビームでは、膜厚150 nmまで加工します。



試料膜厚	ミリング幅	イオンビーム 電流値	傾斜角
~500 nm	10 μm	1 nA	0.8°
~250 nm	8 μm	320 pA	0.8°
~150 nm	5 μm	100 pA	0.8°

Step2：薄膜化加工(30 kV) …電流値の選択

試料ブロックをTEM観察が行える厚みまで薄く加工します。
30kVのイオンビームでは、膜厚150 nmまで加工します。

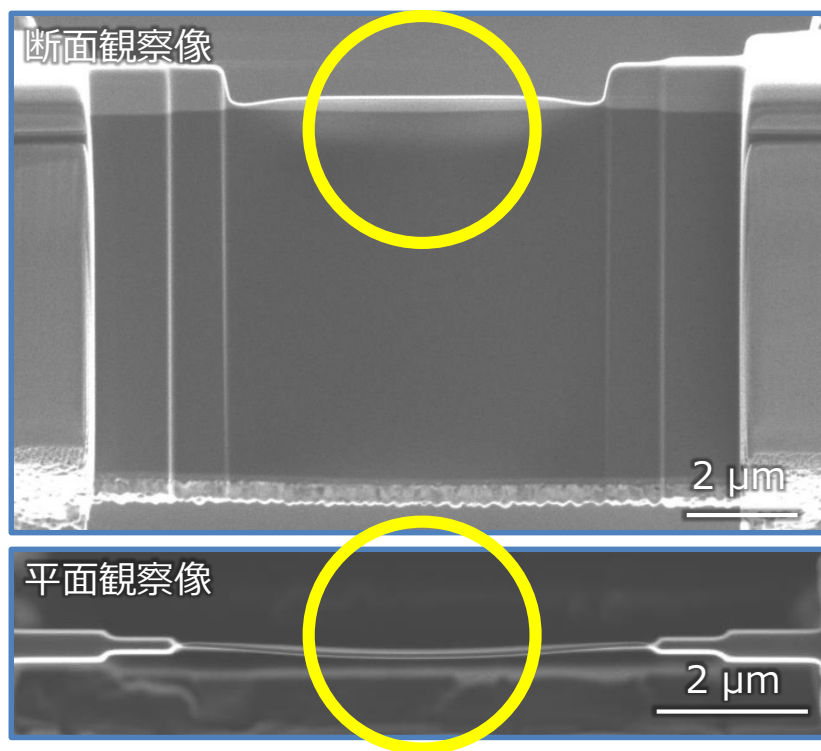


試料膜厚	ミリング幅	イオンビーム 電流値	傾斜角
~500 nm	10 μm	1 nA	0.8°
~250 nm	8 μm	320 pA	0.8°
~150 nm	5 μm	100 pA	0.8°

Step2：薄膜化加工(30 kV) …電流値の選択

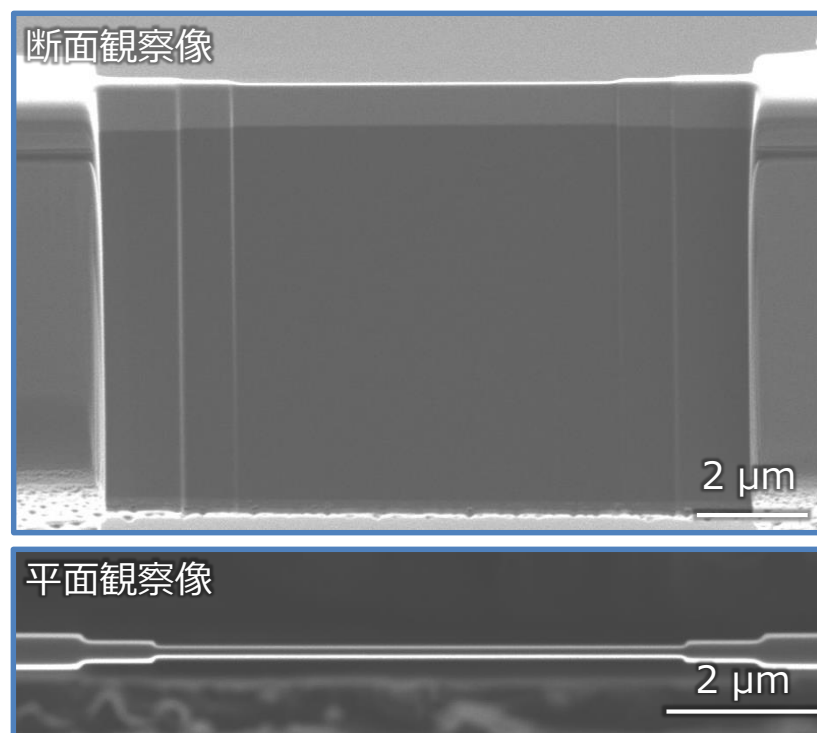
試料ブロックをTEM観察が行える厚みまで薄く加工します。
30kVのイオンビームでは、膜厚150 nmまで加工します。

1nAでの薄膜化加工



- ・デポジションの減少
- ・熱ダメージによる試料の変形

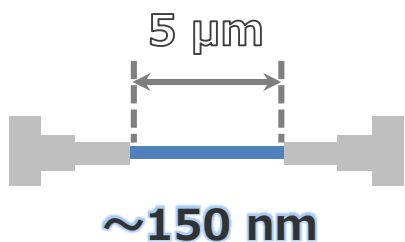
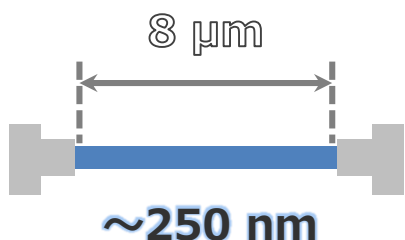
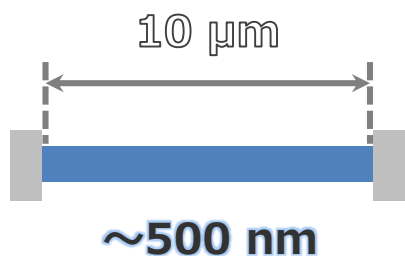
適正な電流で作製した薄膜



膜厚に応じた加工電流値の選択が重要

Step2：薄膜化加工(30 kV) …傾斜角の選択

試料ブロックをTEM観察が行える厚みまで薄く加工します。
30kVのイオンビームでは、膜厚150 nmまで加工します。



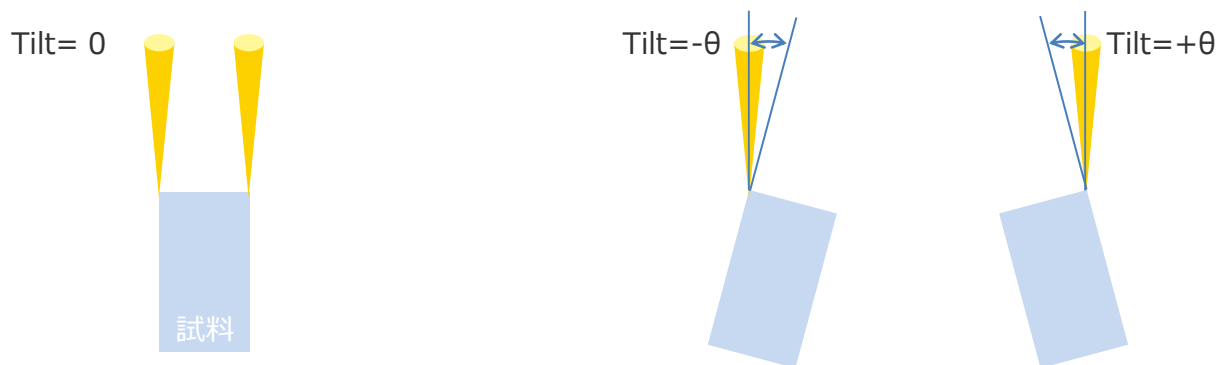
試料膜厚	ミリング幅	イオンビーム 電流値	傾斜角
~500 nm	10 μm	1 nA	0.8°
~250 nm	8 μm	320 pA	0.8°
~150 nm	5 μm	100 pA	0.8°

Step2 : 薄膜化加工(30 kV) …傾斜角の選択

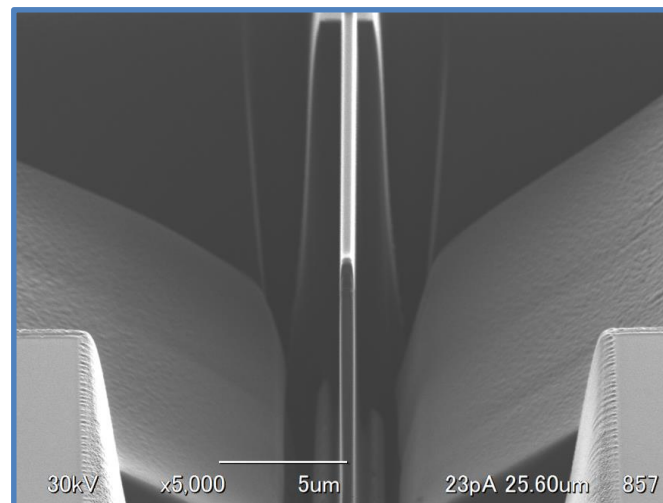
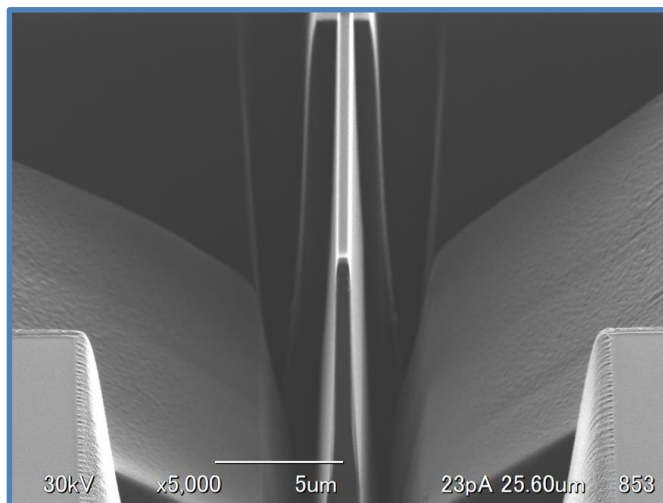
○傾斜角の決め方

- ◆ FIBによる加工では試料断面に傾斜ができる。
- ◆ 均一な膜厚にするためには、断面傾斜を打ち消すように試料を傾斜する。

加工時の試料傾斜



加工形状(薄片断面)

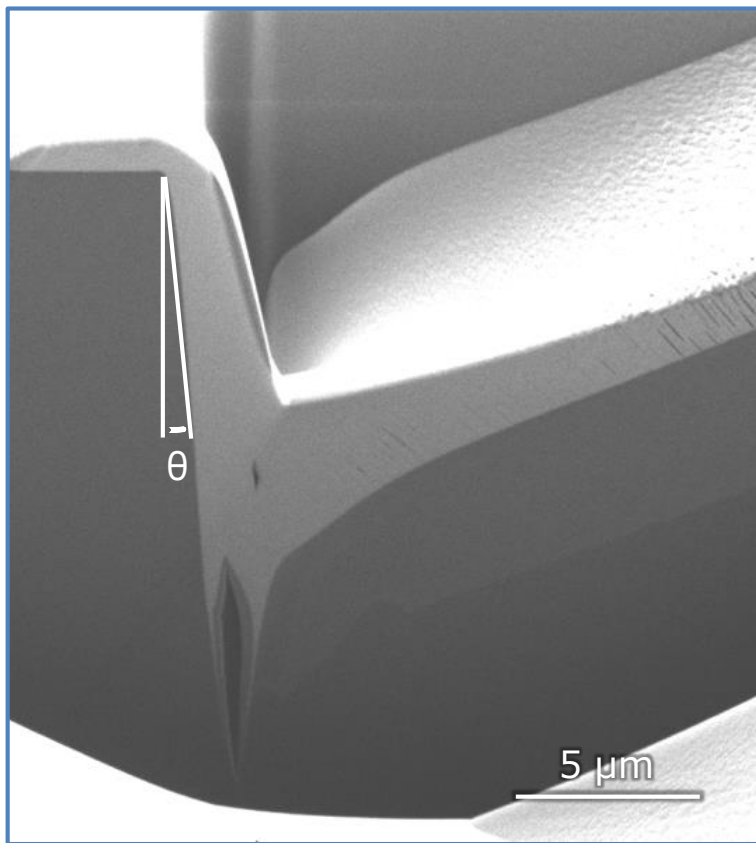


加工時の試料傾斜角の最適値が重要

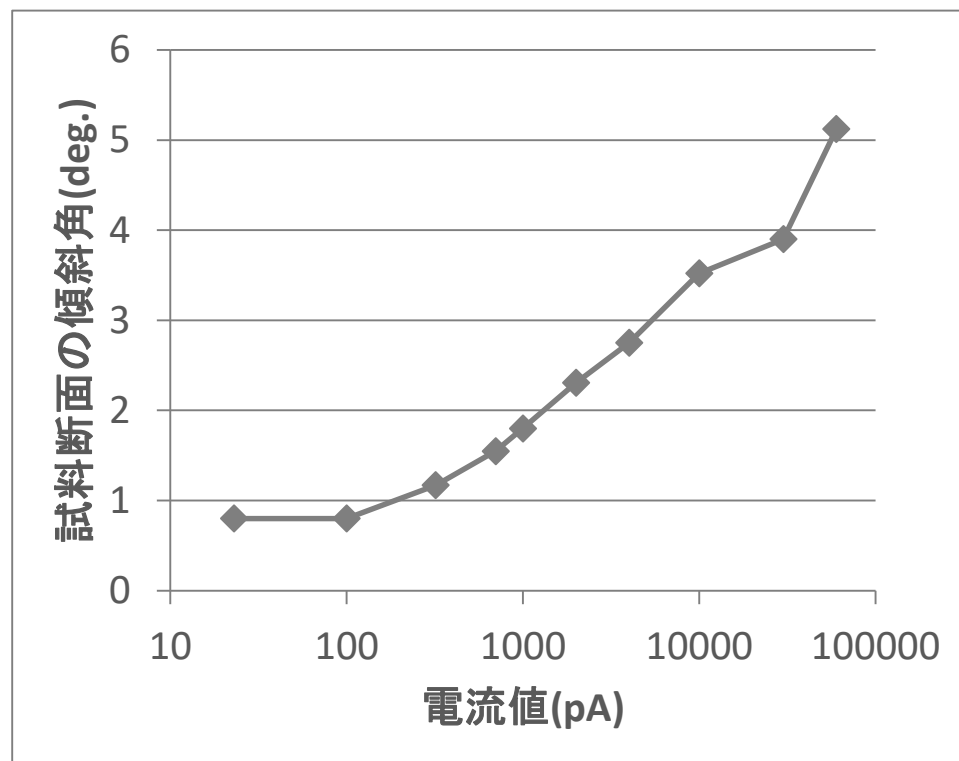
Step2：薄膜化加工(30 kV) …傾斜角の選択

○傾斜角の決め方

- ◆ FIBによる加工では試料断面に傾斜ができる。
- ◆ 均一な膜厚にするためには、断面傾斜を打ち消すように試料を傾斜する。



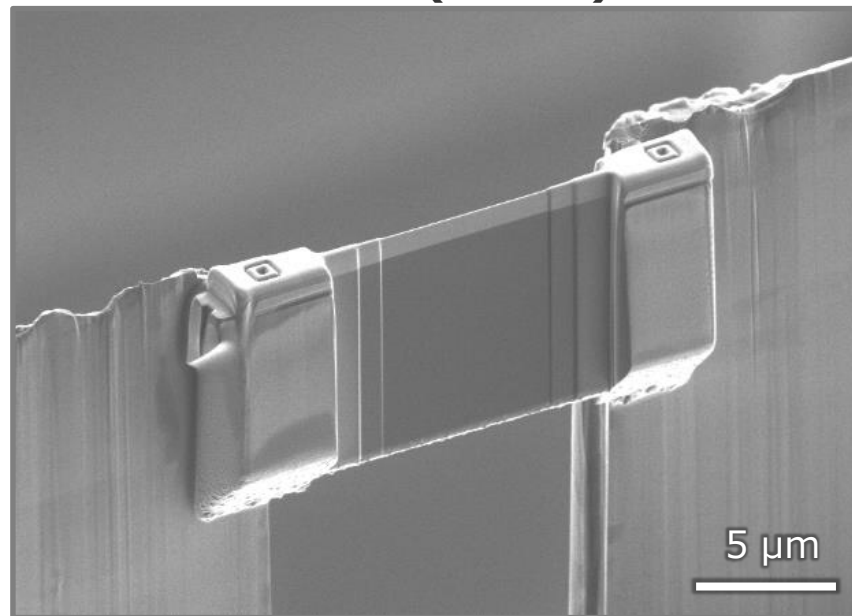
加工面の断面観察像



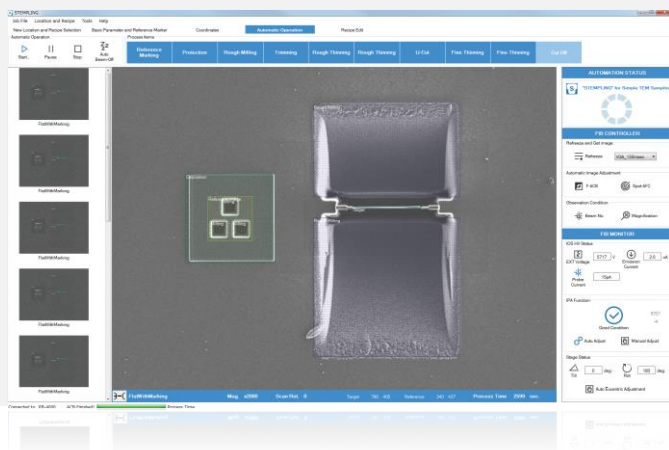
傾斜角と同量のステージ傾斜をかけることで
試料が平行になる

Step2 : 薄膜化加工(30 kV)

薄膜化加工(30 kV)完成



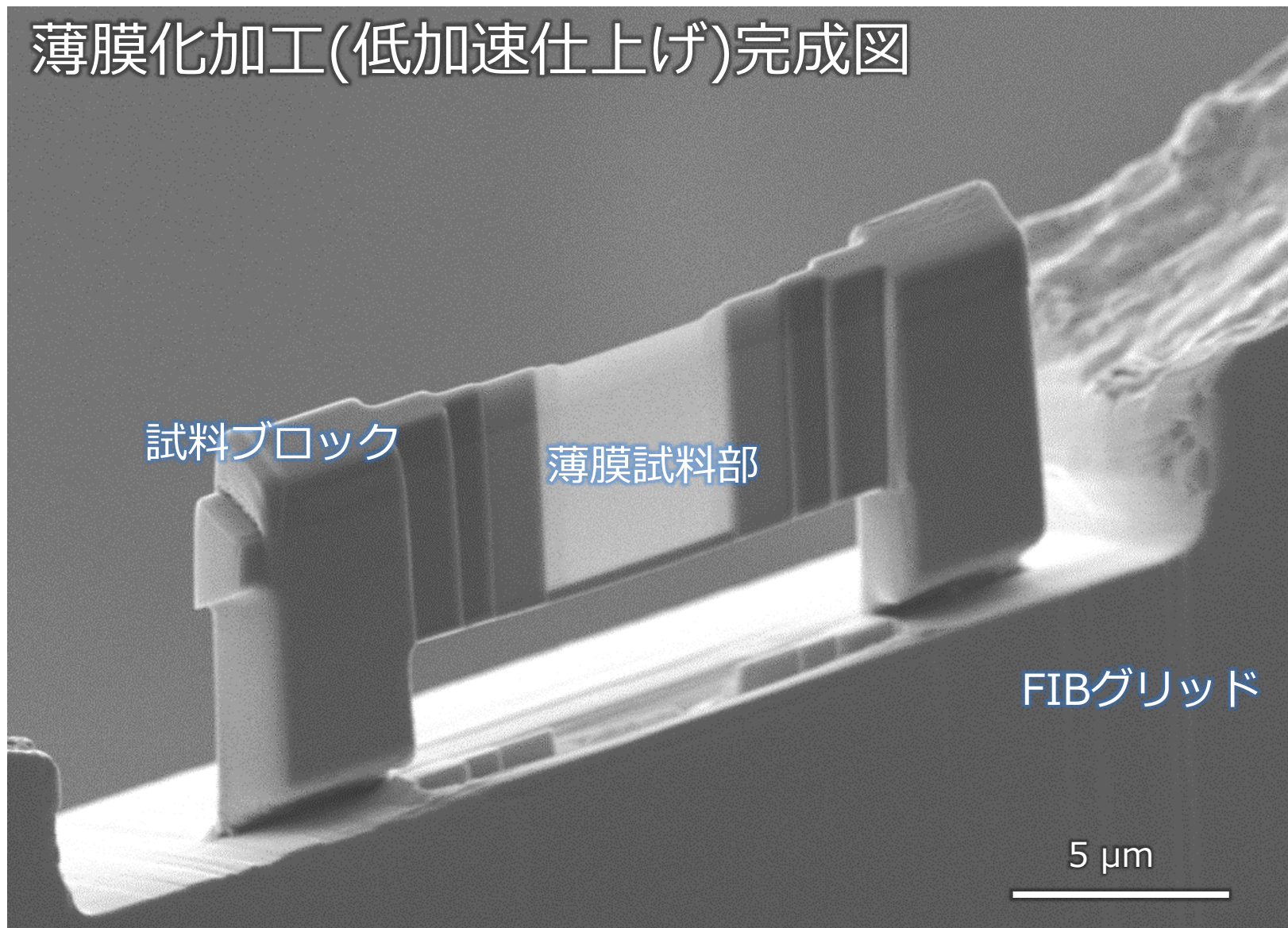
<自動TEM試料作製システム STEMLING>



自動TEM試料作製システム STEMLING は、
集束イオンビーム加工観察装置 JIB-4000PLUS と
複合ビーム加工観察装置 JIB-4700F のTEM試料作製を
自動化するオプションソフトウェアです。
自動で試料作製を行いますので、誰でもTEM試料作製が
行えます。

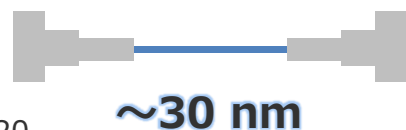
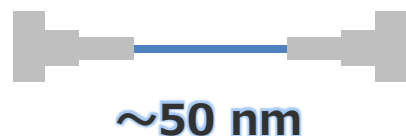
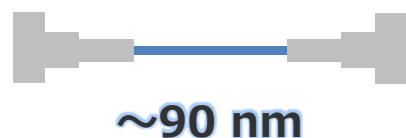
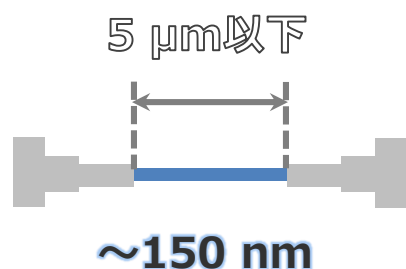
Step2 : 薄膜化加工(低加速仕上げ)

薄膜化加工(低加速仕上げ)完成図



Step2：薄膜化加工(低加速仕上げ) …加工手順

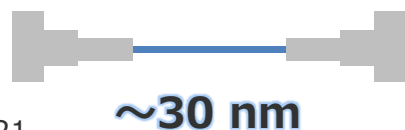
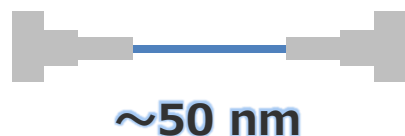
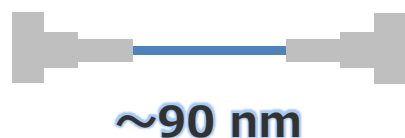
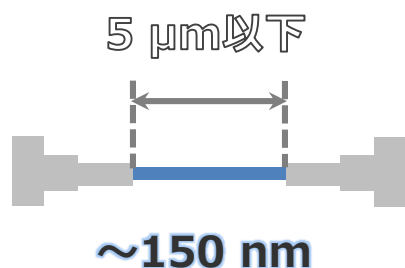
加速電圧を低い値に変更し、薄膜化加工を行います。
低加速加工によって非晶質層を取り除きます。



試料膜厚	ミリング幅	加速電圧	イオンビーム 電流値	傾斜角
~150 nm	5 μm 以下	30 kV	30 pA程度	0.8°
~90 nm	5 μm 以下	10 kV	30 pA程度	1.5°
~50 nm	5 μm 以下	5 kV	30 pA程度	2°
~30 nm	5 μm 以下	3 kV	30 pA程度	3°

Step2：薄膜化加工(低加速仕上げ) …加工手順

加速電圧を低い値に変更し、薄膜化加工を行います。
低加速加工によって非晶質層を取り除きます。



試料膜厚	ミリング幅	加速電圧	イオンビーム電流値	傾斜角
~150 nm	5 μm 以下	30 kV	30 pA程度	0.8°
~90 nm	5 μm 以下	5 kV	30 pA程度	2°
~50 nm	5 μm 以下	3 kV	30 pA程度	3°
~30 nm	5 μm 以下	3 kV	30 pA程度	3°

加速電圧の切り替えは
試料の厚みを目安に行う
↓
SEM像のコントラストで概ね判断する

Step2：薄膜化加工(低加速仕上げ) …加速電圧の選択

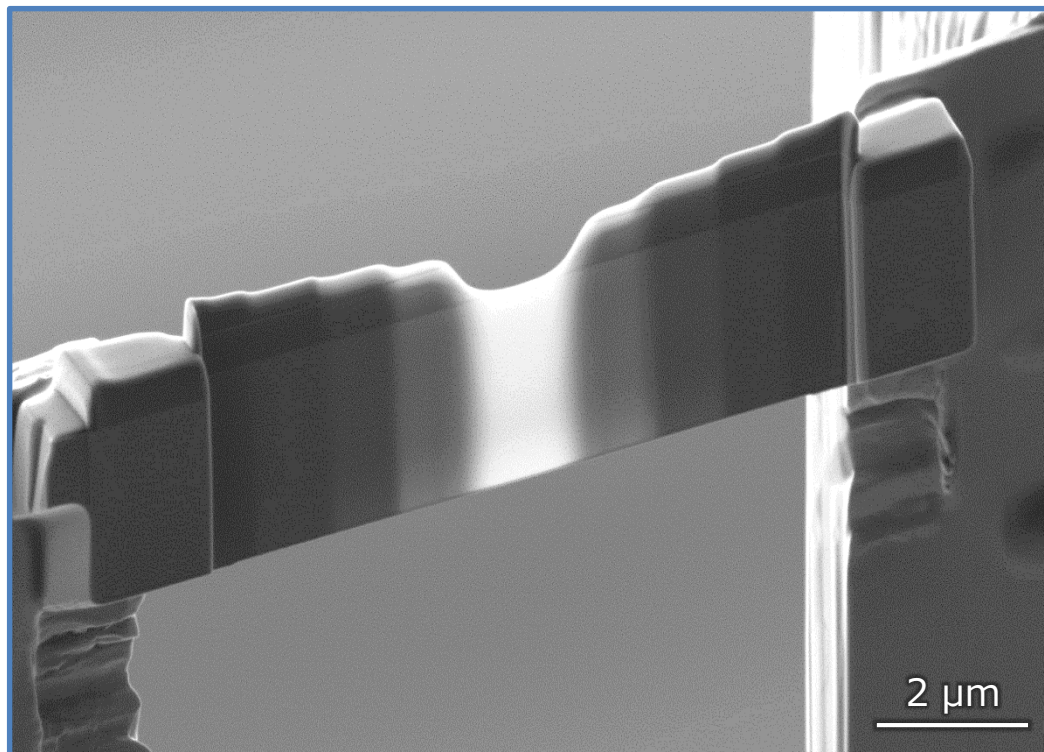
○試料の厚みの判断の仕方

◆ 膜厚はSEM像のコントラストによって概ね判断できる。

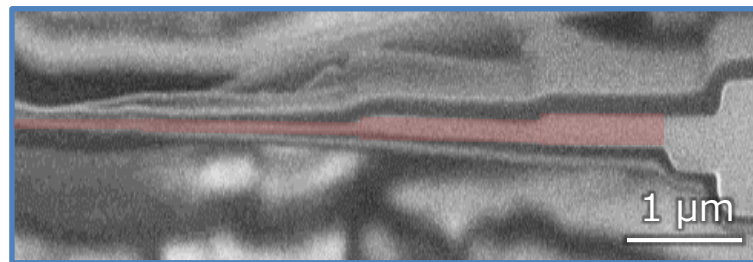
《実験》

- 試料にシリコンを用い、膜厚とSEM像のコントラストの関係を調べた。
- 様々な厚みを持つ薄片試料を作製し、様々な加速電圧でSEM観察を実施。

作製した薄片試料



薄片試料の厚みの様子



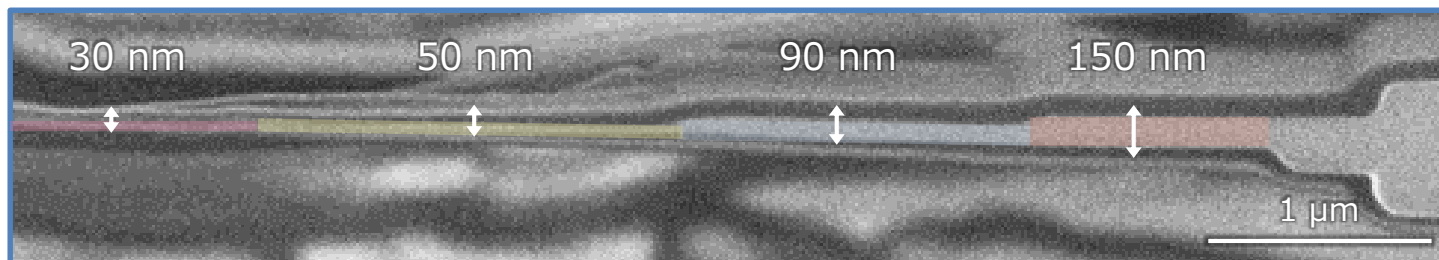
サンプル: Si

Step2：薄膜化加工(低加速仕上げ) …加速電圧の選択

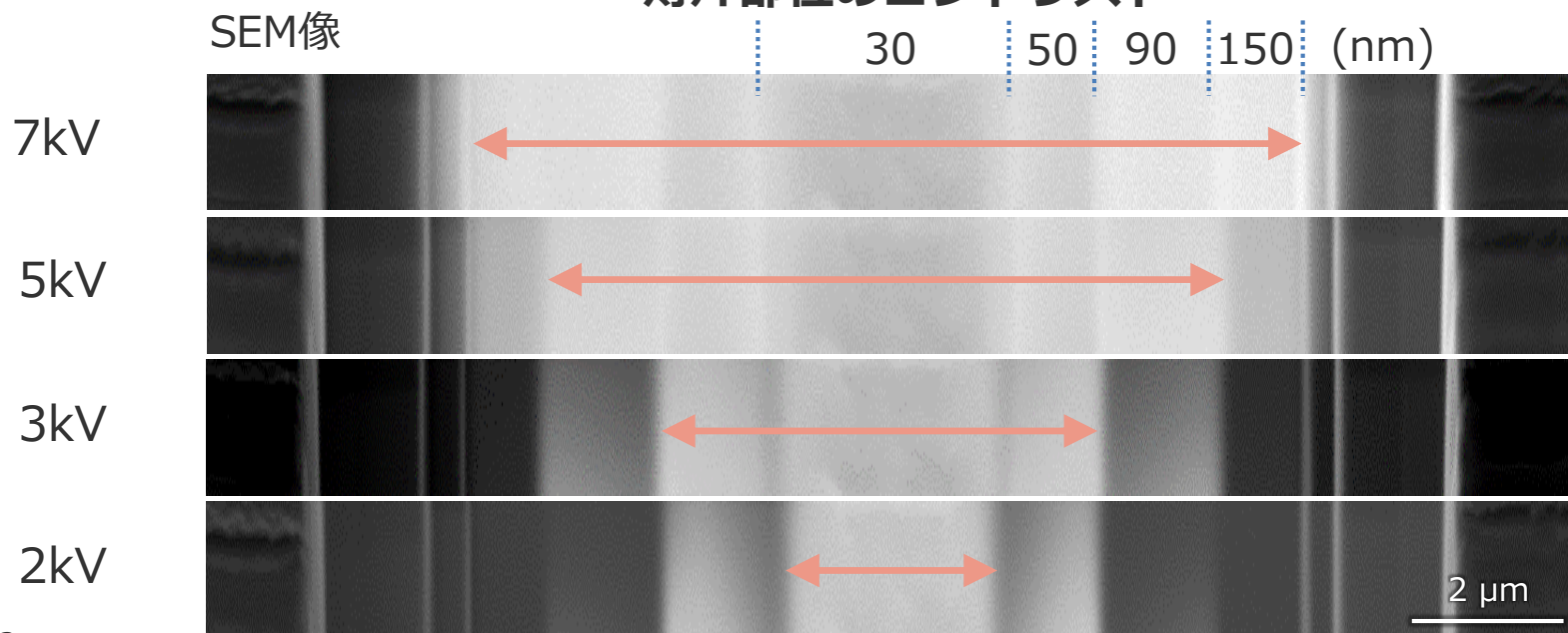
○試料の厚みの判断の仕方

◆ 膜厚はSEM像のコントラストによって概ね判断できる。

薄片部位の断面像



薄片部位のコントラスト



サンプル: Si

Step2：薄膜化加工(低加速仕上げ) …加速電圧の選択

○試料の厚みの判断の仕方

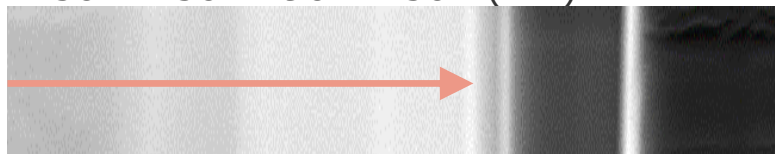
◆ 膜厚はSEM像のコントラストによって概ね判断できる。

薄片部位のコントラスト

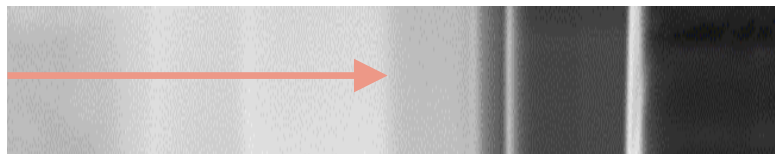
SEM像

30 50 90 150 (nm)

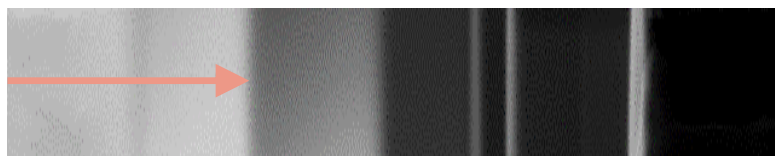
7kV



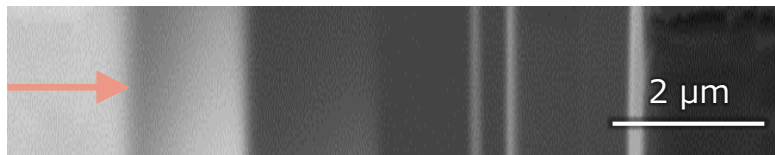
5kV



3kV

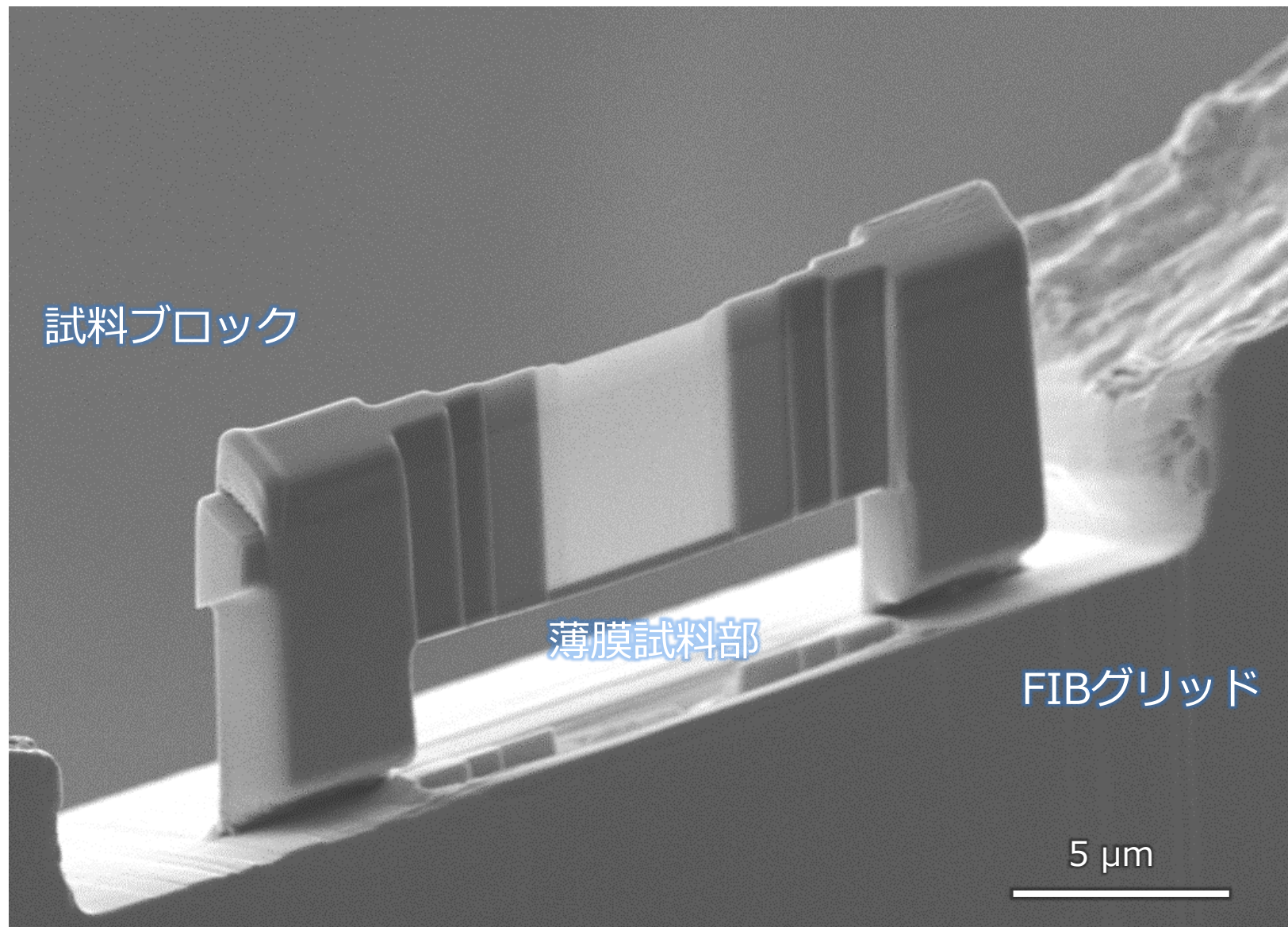


2kV



試料膜厚	ミリング幅	FIB加速電圧
～150 nm	5 μm以下	30 kV
～90 nm	5 μm以下	10 kV
～50 nm	5 μm以下	5 kV
～30 nm	5 μm以下	3 kV

Step2 : 薄膜化加工(低加速仕上げ)



応用例

試料：半導体デバイス

使用装置：JIB-4700F

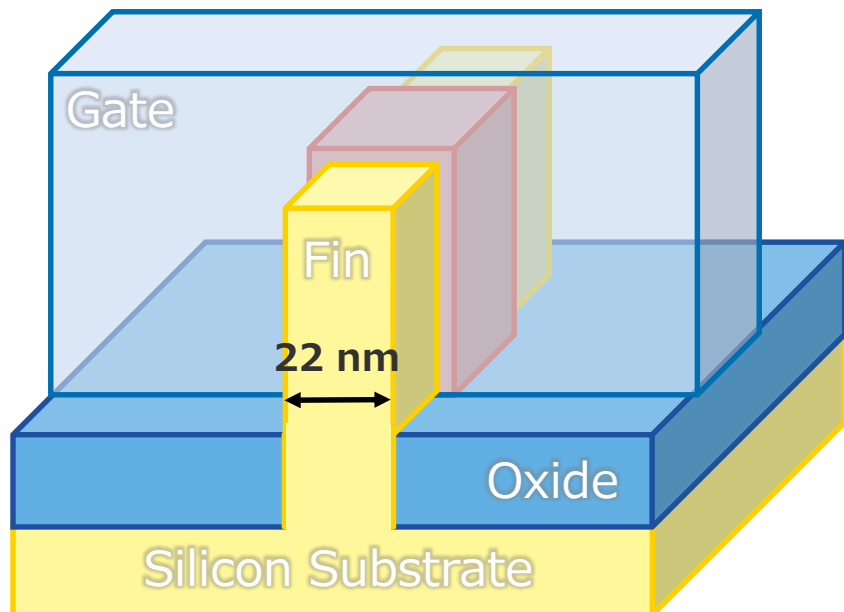


半導体デバイス中のFinFET構造

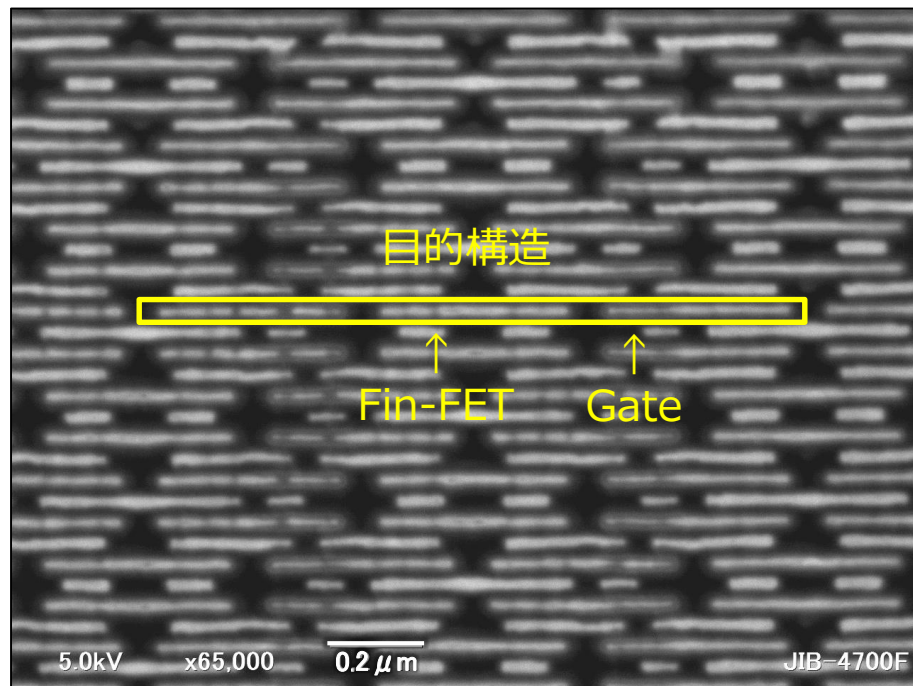
OFinFETとは

- ◆ 金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ(MOSFET)の一種。
- ◆ 非常に小さいため、特定部位での加工と精密な薄膜化が必要になる。

模式図



SEM像

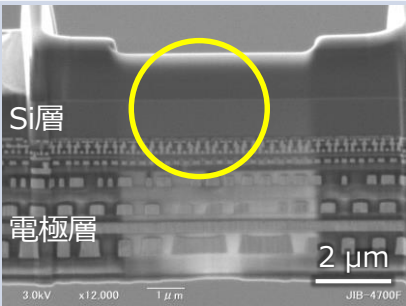
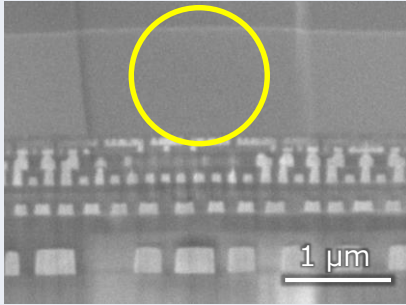
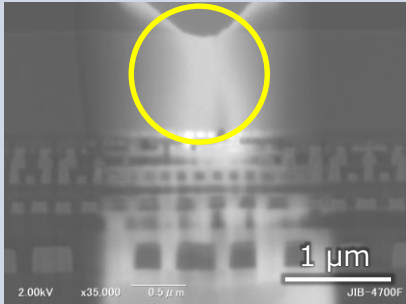


目的構造を含む30 nmのTEM薄膜試料を作製

試料作製

FIB加工

使用装置：JIB-4700F

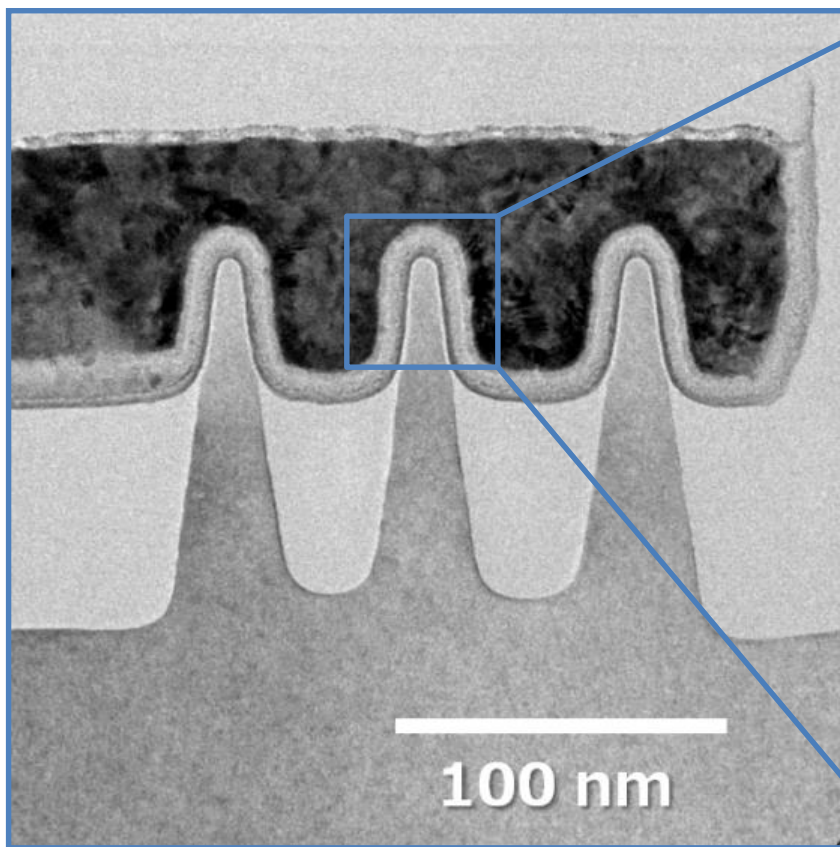
膜厚	SEM観察像	加速電圧(SEM)	加速電圧(FIB)
100 nm		3 kV	30 kV
50 nm		2 kV	5 kV
30 nm		2 kV	3 kV

観察

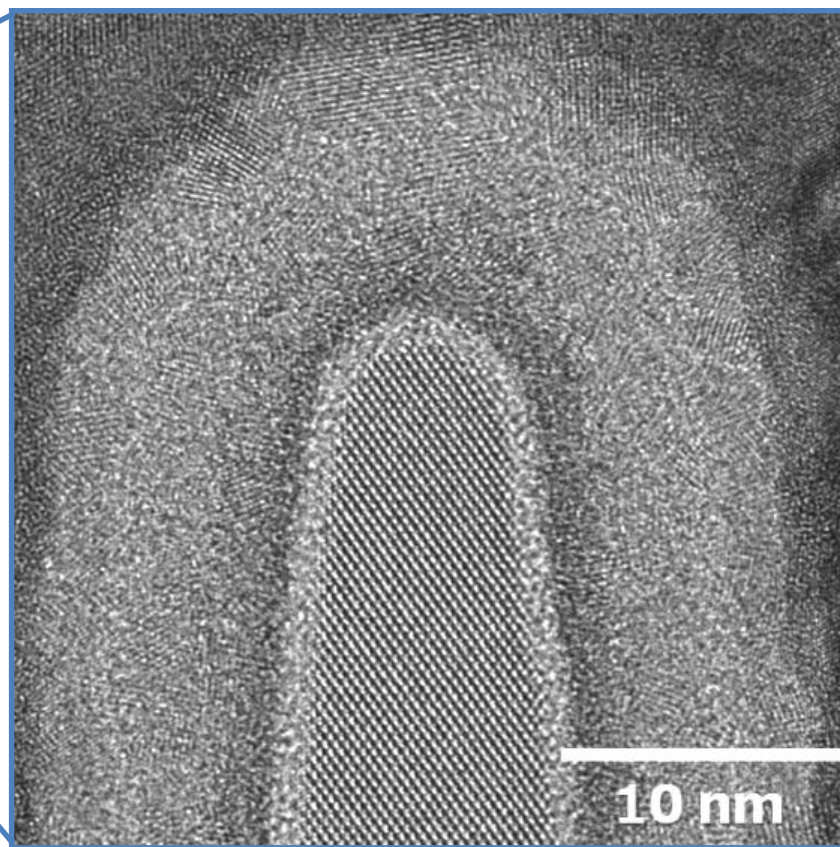
TEM観察

使用装置：JEM-ARM200F

TEM像



TEM像



- ・ 目的構造位置で試料作製ができている。
- ・ 高分解能観察に十分な膜厚に加工できている。

まとめ

まとめ

○ Siを例に標準的なTEM薄膜試料作製条件を示しました。

○ 材料によって条件は異なりますが、今回の発表を参考にしていただくと簡単に最適条件を求めることができます。

ご視聴ありがとうございました

薄膜化加工条件まとめ

サンプル: Si



~500 nm



~250 nm



~150 nm



~90 nm



~50 nm



~30 nm

膜厚	ミリングサイズ	加速電圧	イオンビーム電流値	傾斜角
500 nm	10 μm	30 kV	1 nA	0.8°
250 nm	8 μm	30 kV	320 pA	0.8°
150 nm	5 μm	30 kV	100 pA	0.8°
90 nm	5 μm 以下	10 kV	30 pA程度	1.5°
50 nm	5 μm 以下	5 kV	30 pA程度	2°
30 nm	5 μm 以下	3 kV	30 pA程度	3°