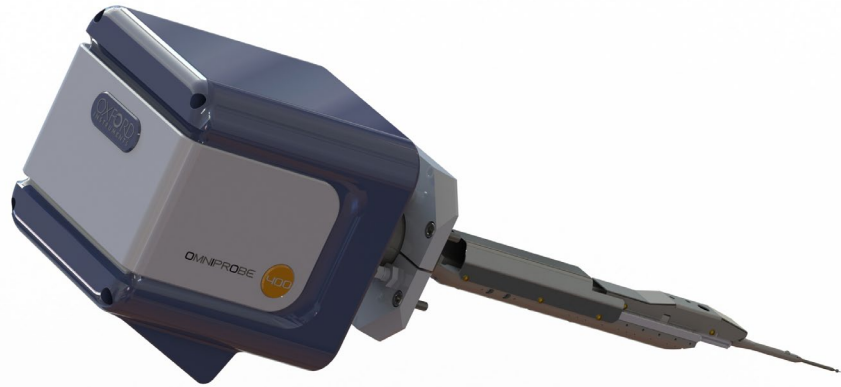
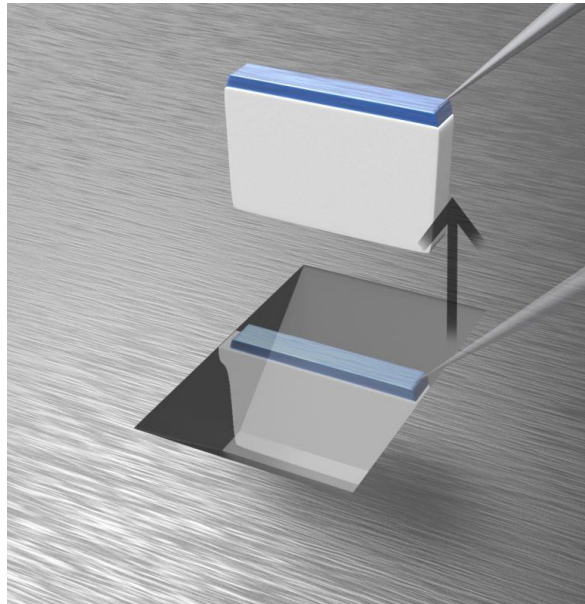




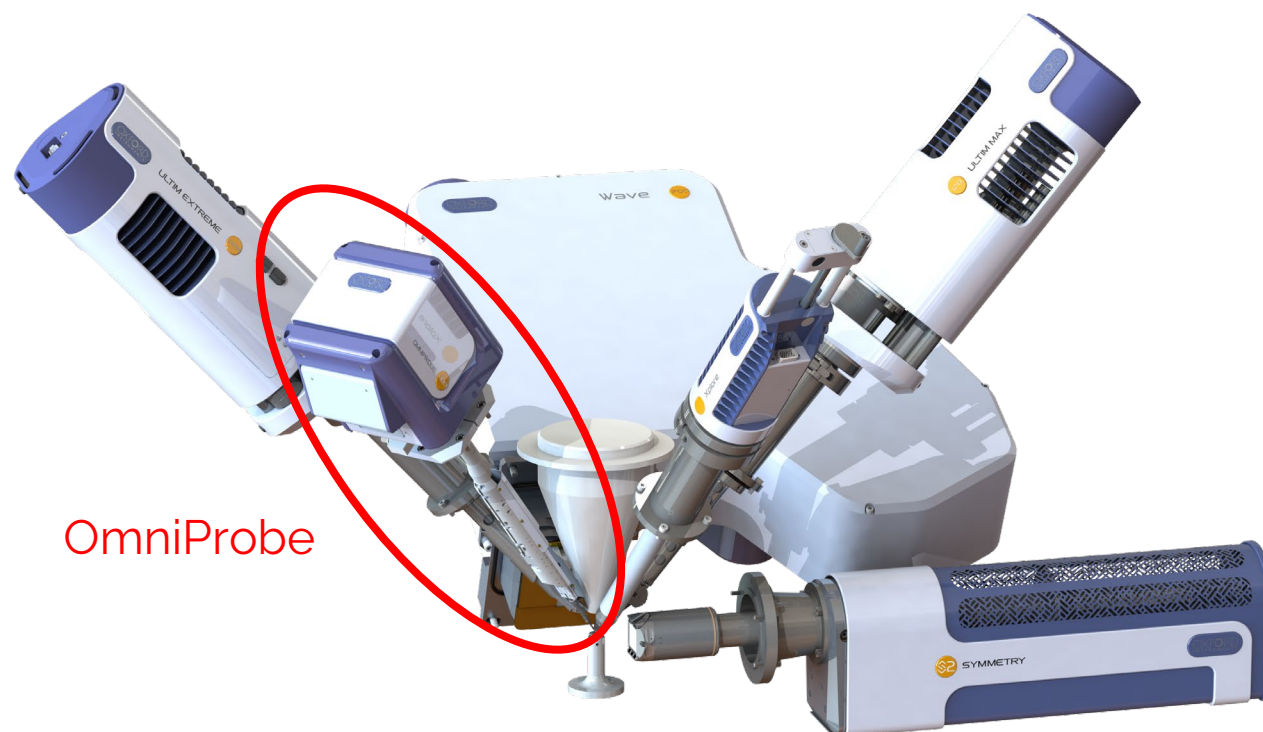
高性能ナノマニピュレーター OmniProbeの紹介と 応用事例



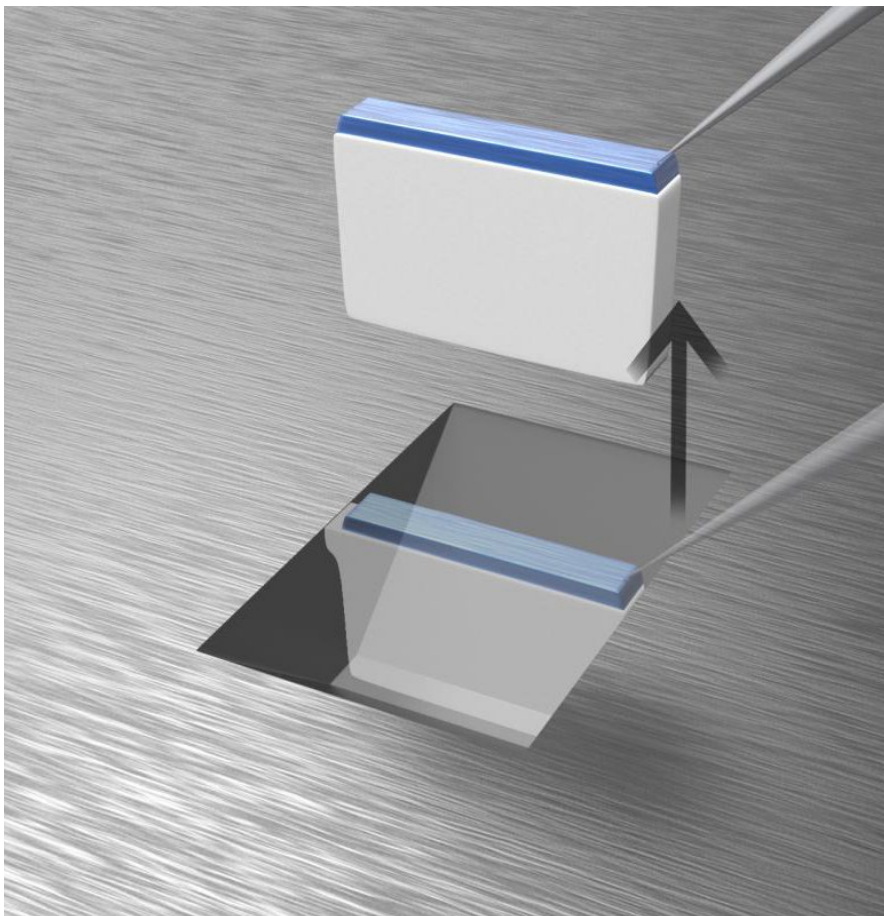
五十嵐 誠

オックスフォード・インストゥルメンツ株式会社 分析機器事業部

- ナノマニピュレーターの概要
- OmniProbeのラインナップ
- OmniProbeの特長
- 応用事例

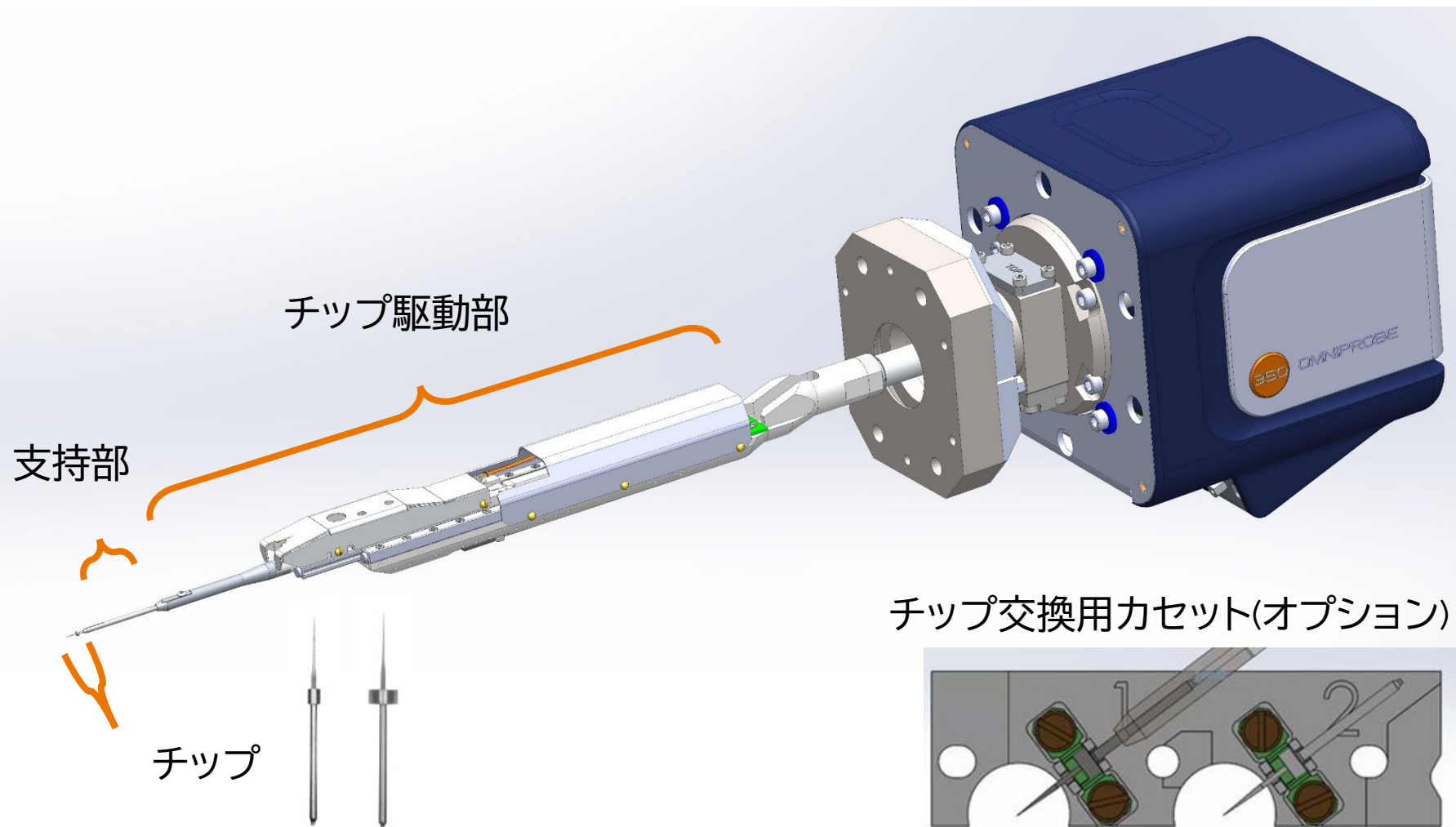


概要



- SEM・FIBに搭載
- チャンバー内での微細操作ツール
- TEM用の薄膜試料作成 (リフトアウト)
 - FIBに搭載
- プロービングによるEBIC/EBAC測定
 - 半導体デバイスの故障診断
 - 多結晶Si太陽電池セルの欠陥評価 など

構造 (OmniProbe350)

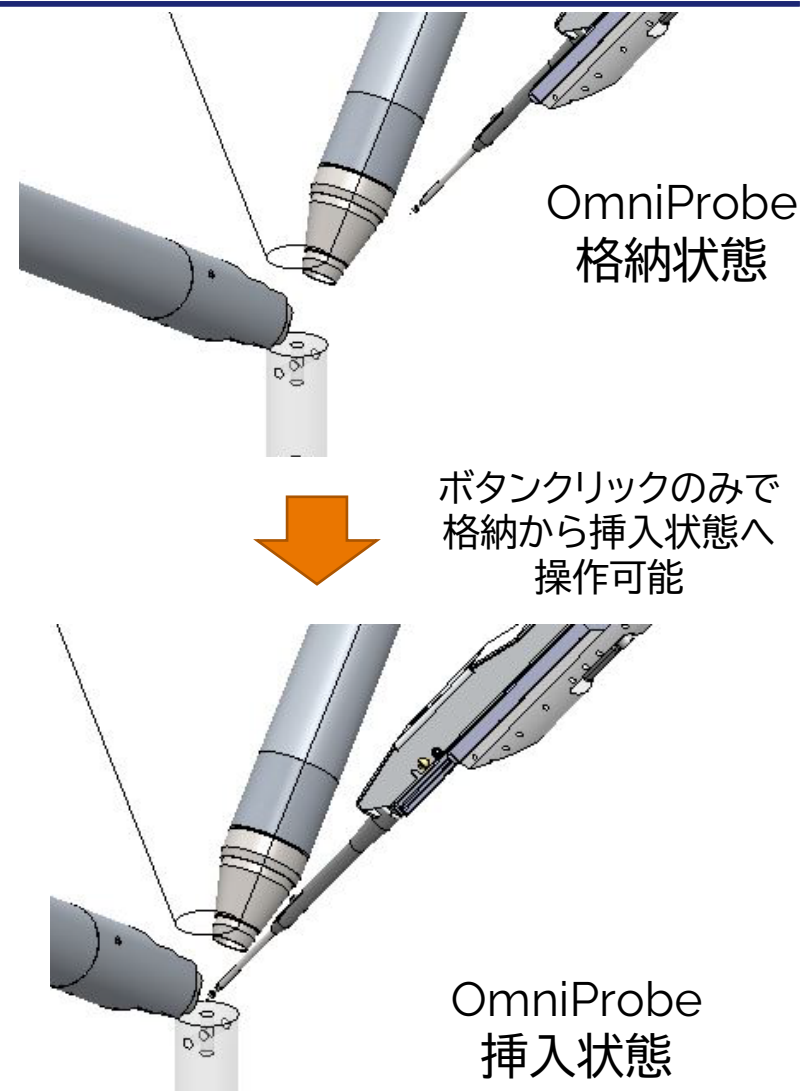


- チップ
 - 試料接触部
 - 消耗度合いにより交換
- 支持部
 - チップの固定
- チップ駆動部
 - XYZ軸リニア駆動
 - R 同軸回転
OmniProbe400 のみ

- OmniProbe400
 - 三軸ピエゾモーター(XYZ)
 - 同心円回転 360度
 - リニアリティ 250nm
 - エンコーダ分解能 10nm
 - 挿入再現性 2 μ m
- OmniProbe350
 - 三軸ピエゾモーター(XYZ)
 - リニアリティ 500nm
 - エンコーダ分解能 <50nm
 - 挿入再現性 5 μ m
 - クライオオプション有

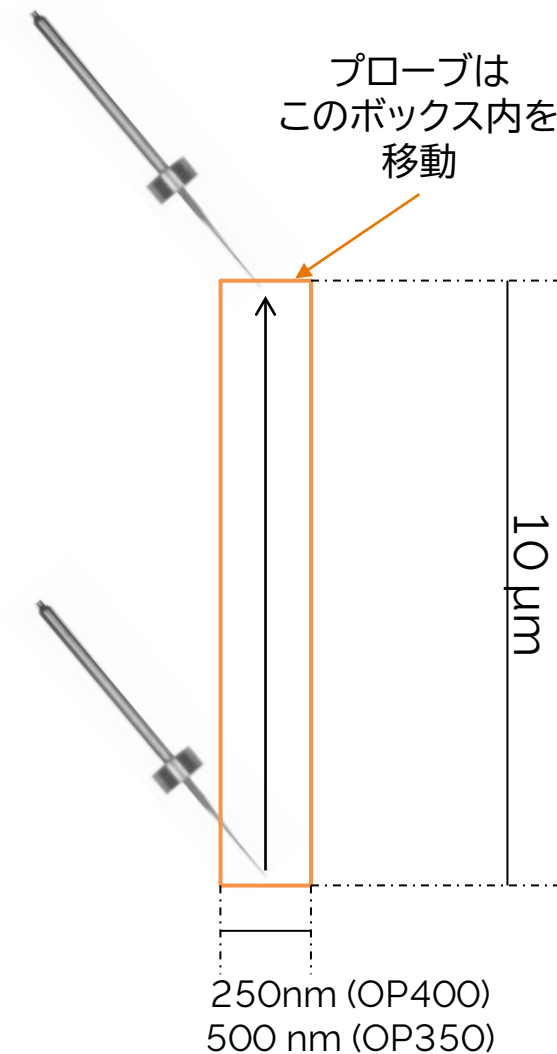
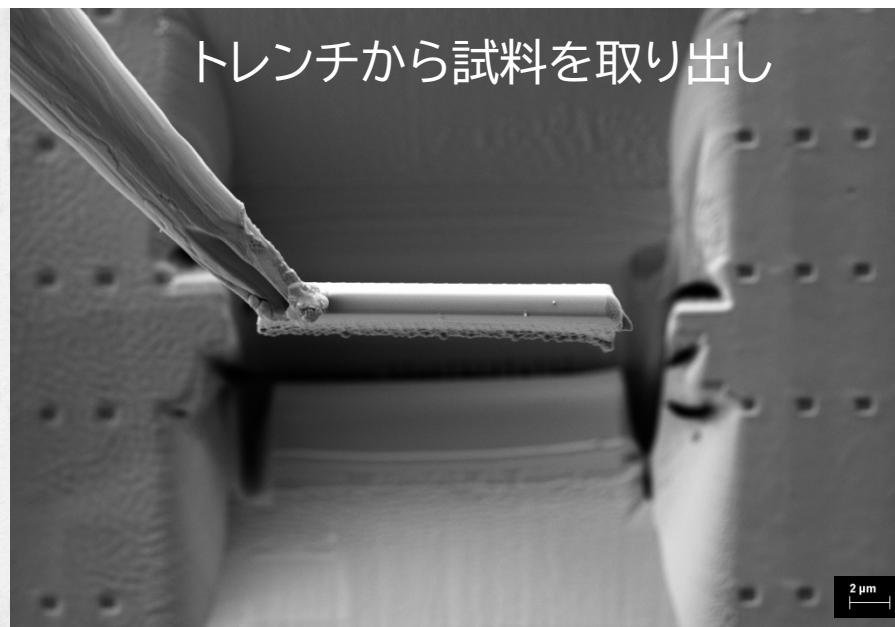
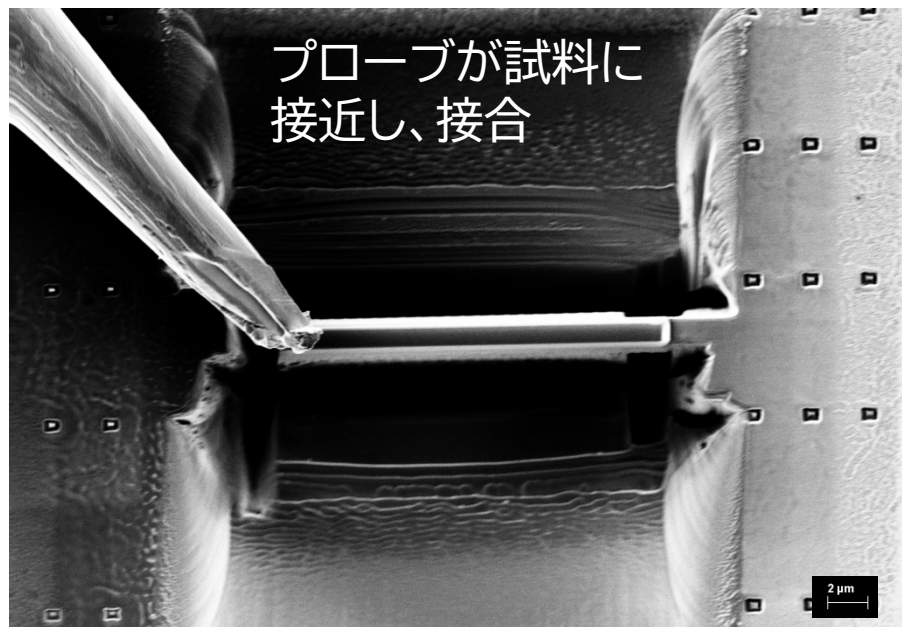


- ポートに搭載
 - FIB・SEMチャンバー内の占有スペースを最小化
 - 他の検出器との干渉を防止
 - ボタンクリックのみで使用可能状態に
- クローズドループフィードバック
 - エンコーダー搭載で高速・正確な動作
 - チップポジションを保存し、正確に再配置
- コンピュータ制御の回転機構(OmniProbe400のみ)
 - 高度なリフトアウトに対応
- In-situ チップ交換
 - チャンバー内チップ交換
- 専用のソフトウェアより動作を制御
 - 直感的で使いやすいGUI

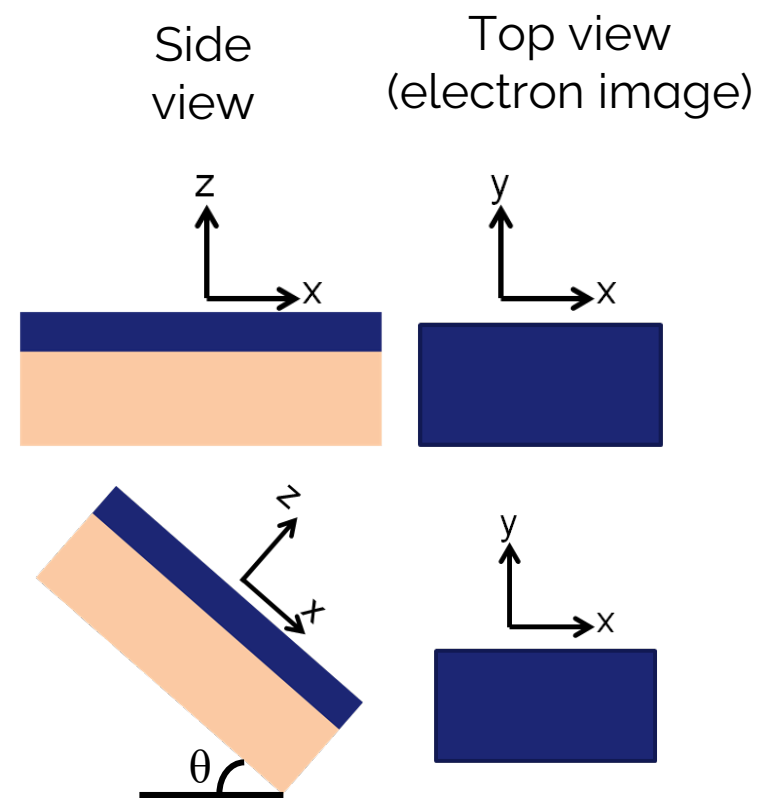
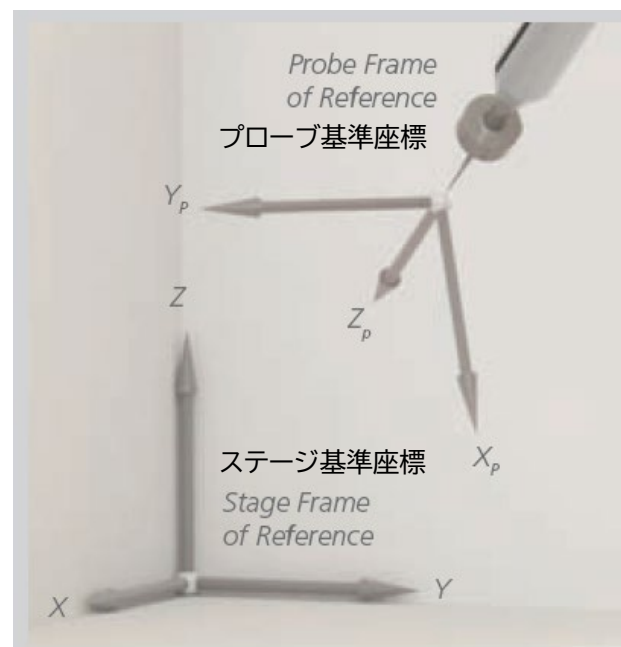


10 μ mの移動でのプローブの直進性

- 薄片試料への正確なプローブ配置
- 狭いトレンチからのリフトアウト(トレンチ側面への衝突を回避)
- トレンチサイズを小さく作成可能

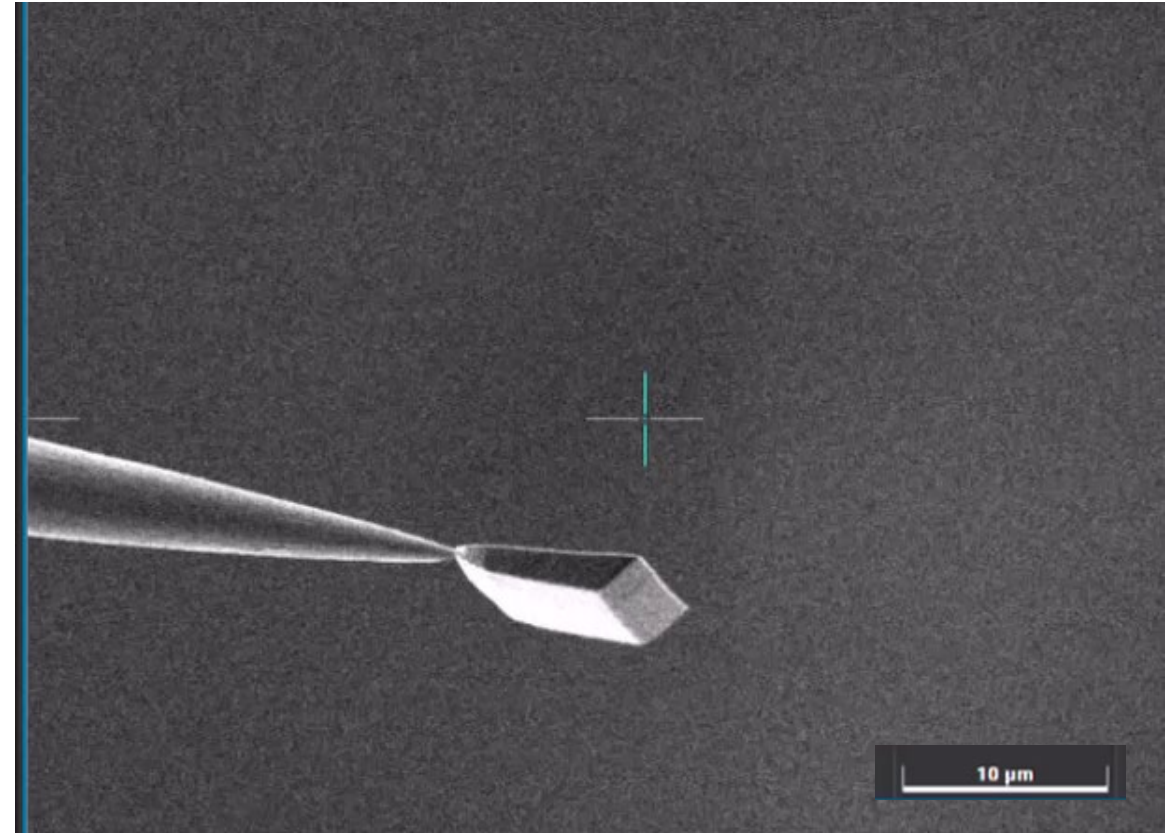


- プローブの動きとステージ(イメージング)の向きを一致させる制御が可能
- サンプルの傾きを合わせることができます。
 - ステージ傾斜でも簡単操作



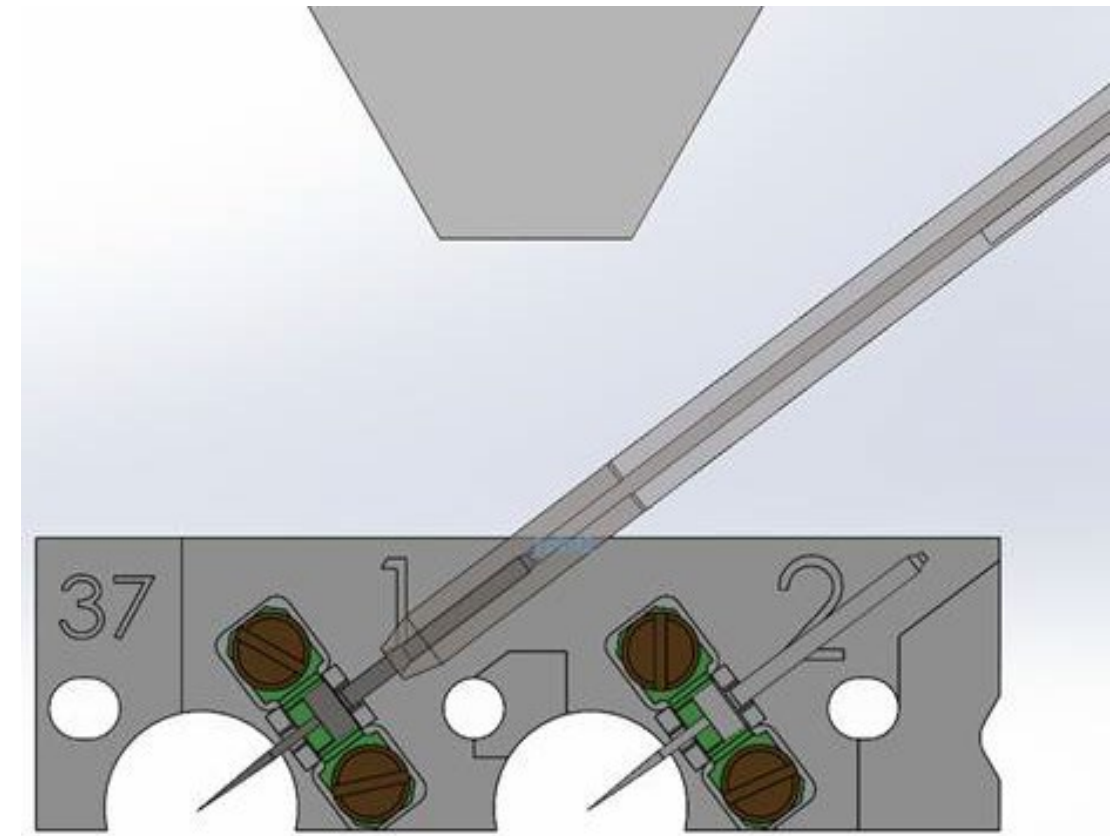
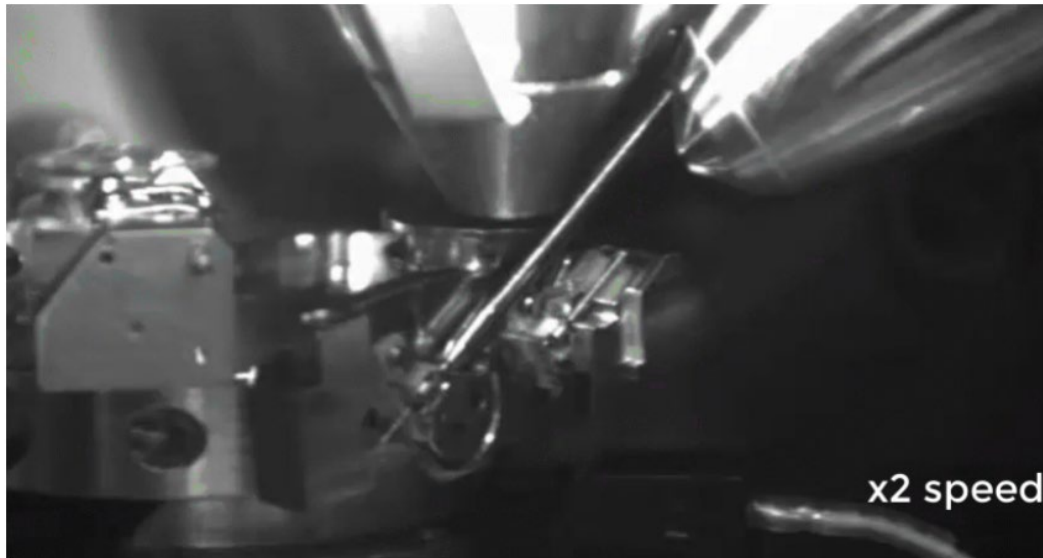
回転機構（OmniProbe400のみ）

- コンピュータ制御で正確な回転
- チップを見失うことなく高度なリフトアウト
- チップ形状を整形
- ソフトウェアから制御

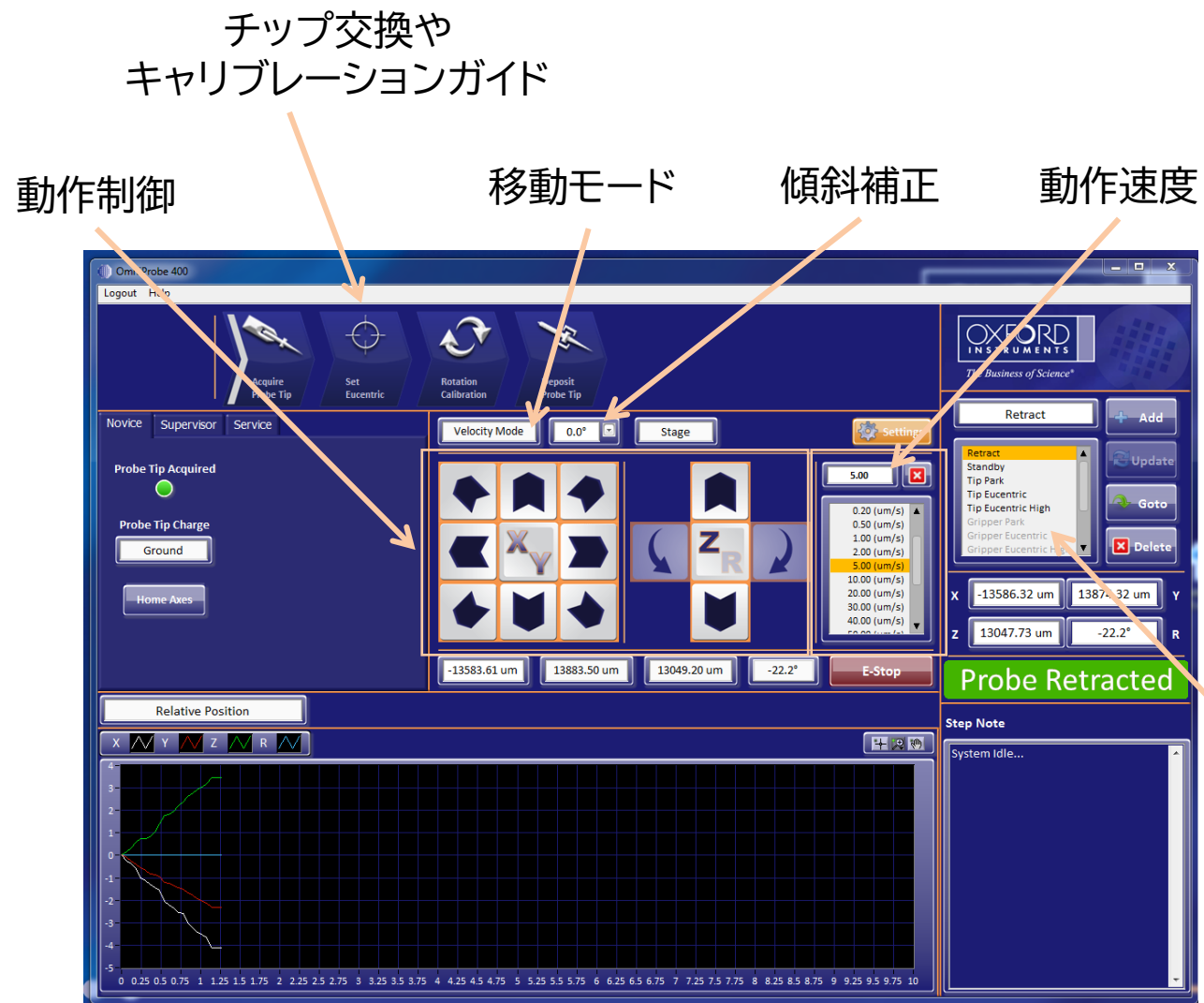


OmniProbe400
回転時の様子

- 作業効率
 - 作業中のバント不要
- スペアチップの装着・使用済みチップの保持
- 交換モード
 - ステップバイステップ操作のガイドモード



チップ交換用カセット



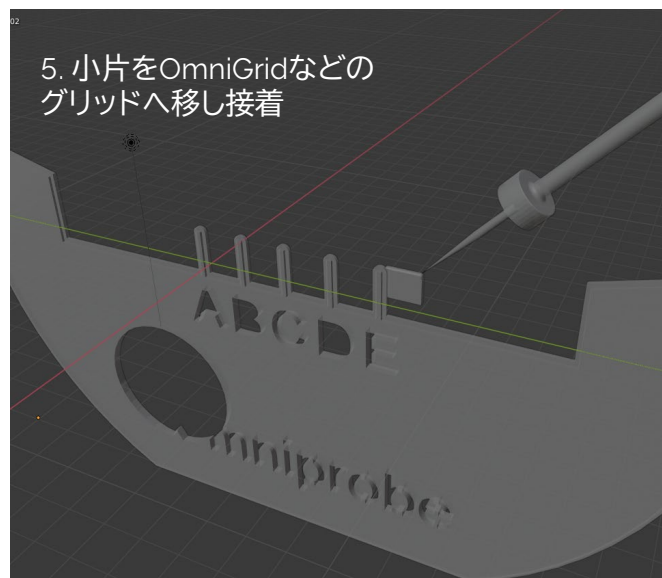
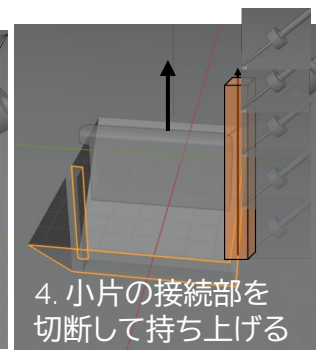
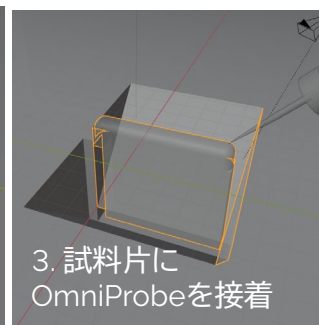
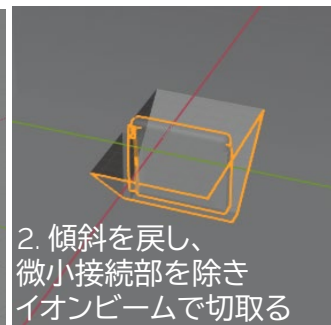
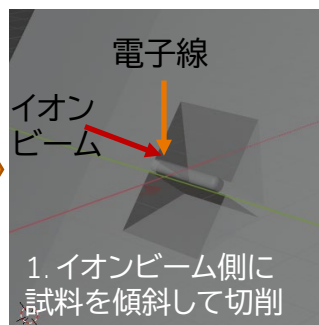
- 直感的な操作
 - プローブの操作矢印は電子顕微鏡像と一致
 - サンプル傾斜補正
- プローブ位置を保存
 - 収納された状態から動作位置へ素早く移動 (約5~15秒)

プリセットまたは
カスタマイズ可能な
ポジション

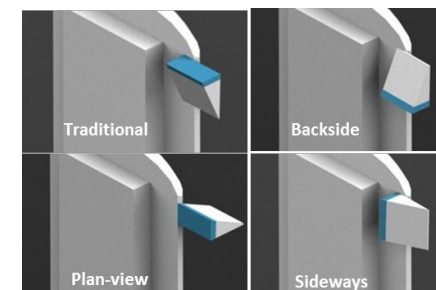
- リフトアウト
 - FIB中で作成した薄膜試料をTEM用グリッドに載せる
- On Tip分析 OmniProbe400のみ
 - リフトアウト試料のその場分析
- 試料帯電の中和
 - 局所的なアースとして試料の帯電を解消
- 電流測定・イメージング
 - EBIC・EBAC(E3システムオプション)

リフトアウト法によるTEM用薄膜試料の作成

バルク試料



6. リフトアウト完了



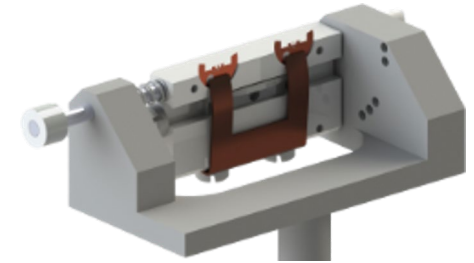
TEM観察へ

高度なリフトアウトの例

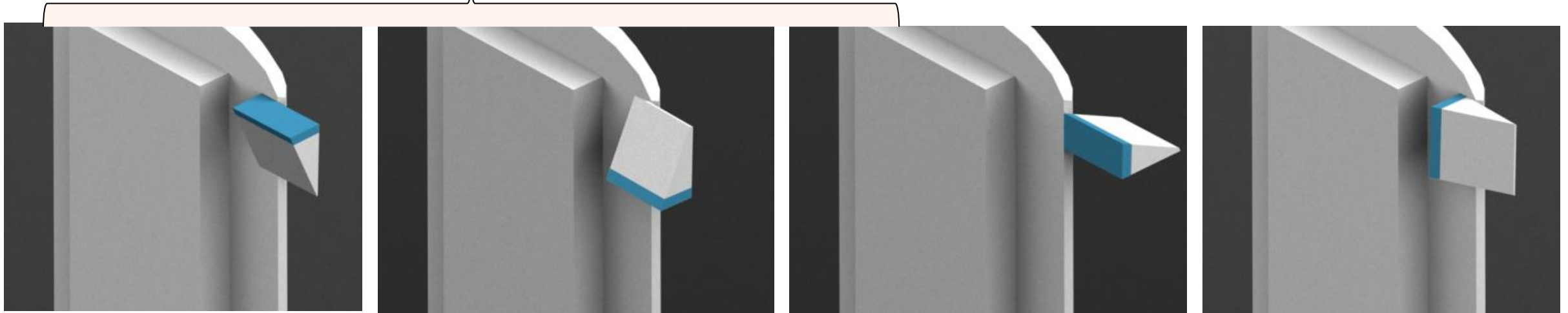
用途に合わせたグリッド上への配置

- プローブやグリッドの回転により変更
 - Probeの回転はOmniProbe400のみ
- 回転式グリッドホルダオプション

3 in Common use



回転式グリッドホルダ



Traditional

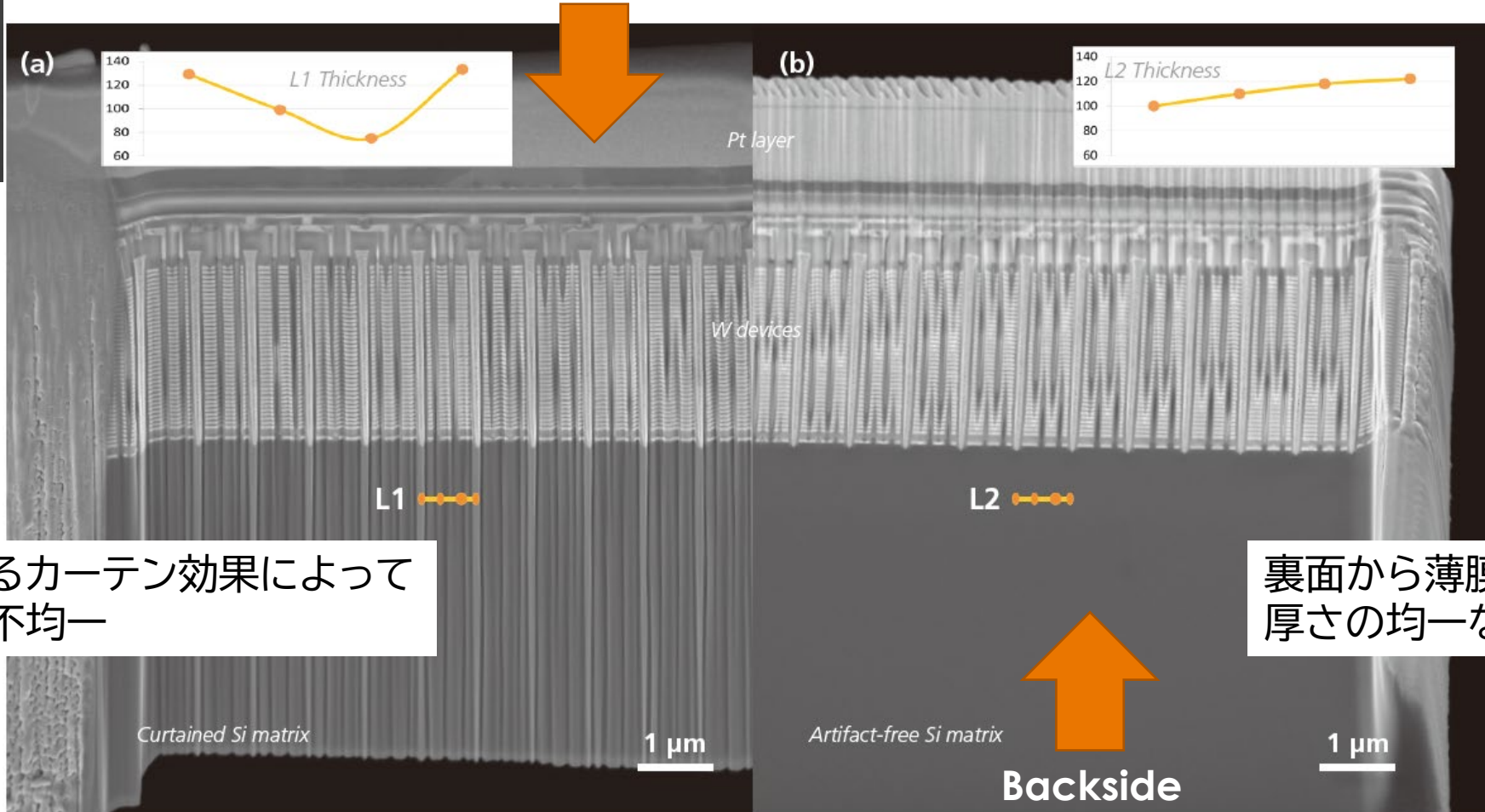
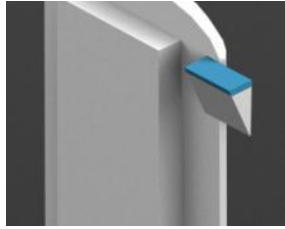
Backside

Plan View

Sideways

Backside Thinning

Traditional



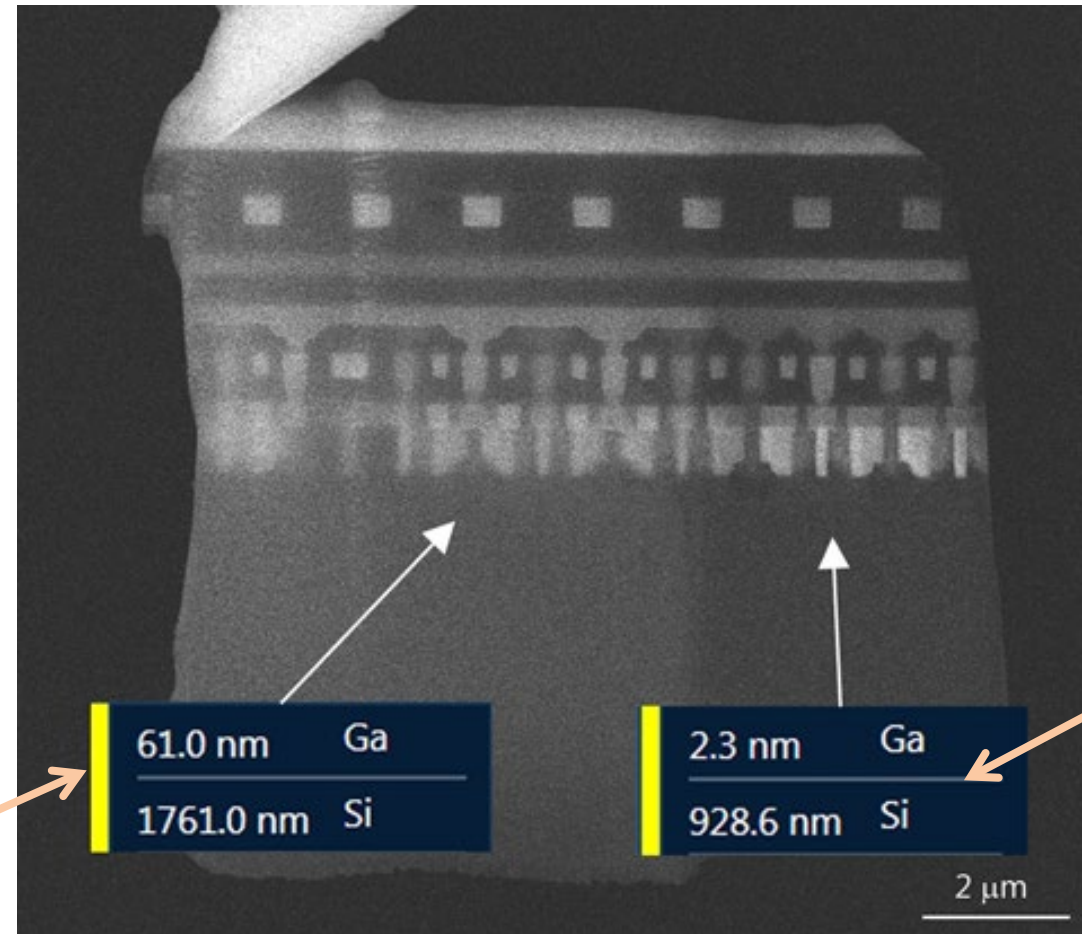
Wによるカーテン効果によって
厚さが不均一

裏面から薄膜化することで、
厚さの均一な試料を作製

AZtec LayerProbeによる膜厚計測

- LayerProbe
 - EDSスペクトルから多層膜膜厚を計測
 - Ga/Siの2層として計測
- 加工条件の評価
 - Si層として試料厚さ
 - ダメージ層としてGaを計測

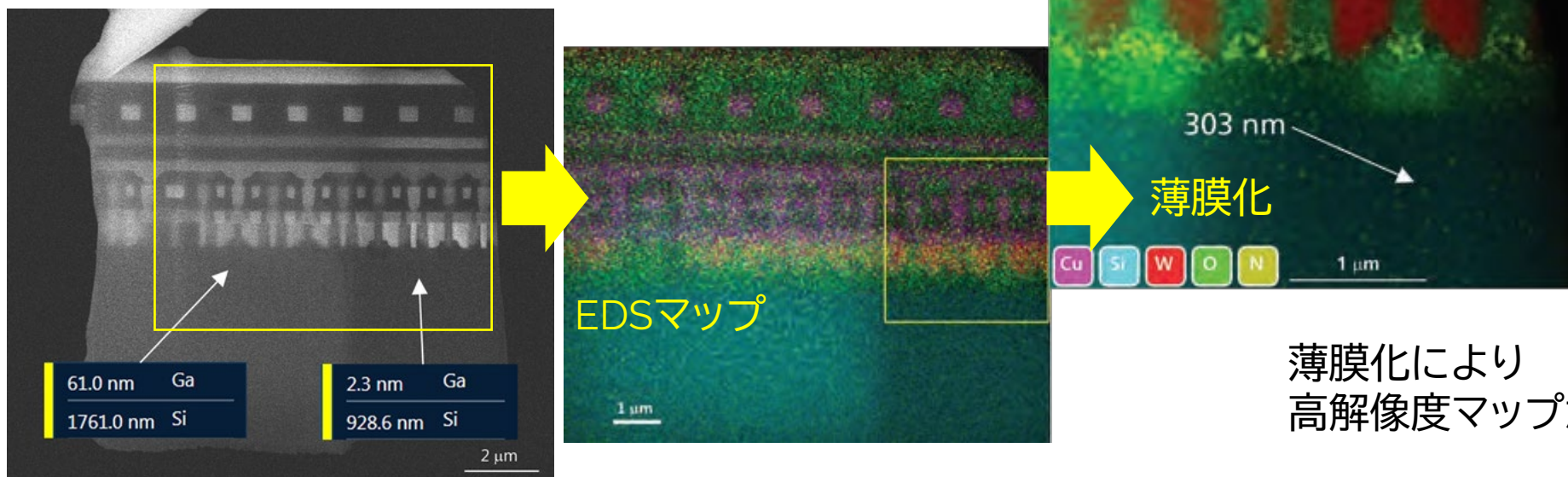
高加速電圧条件



低加速電圧条件
試料薄膜化
少ないGa注入

AZtec LayerProbeによる膜厚計測

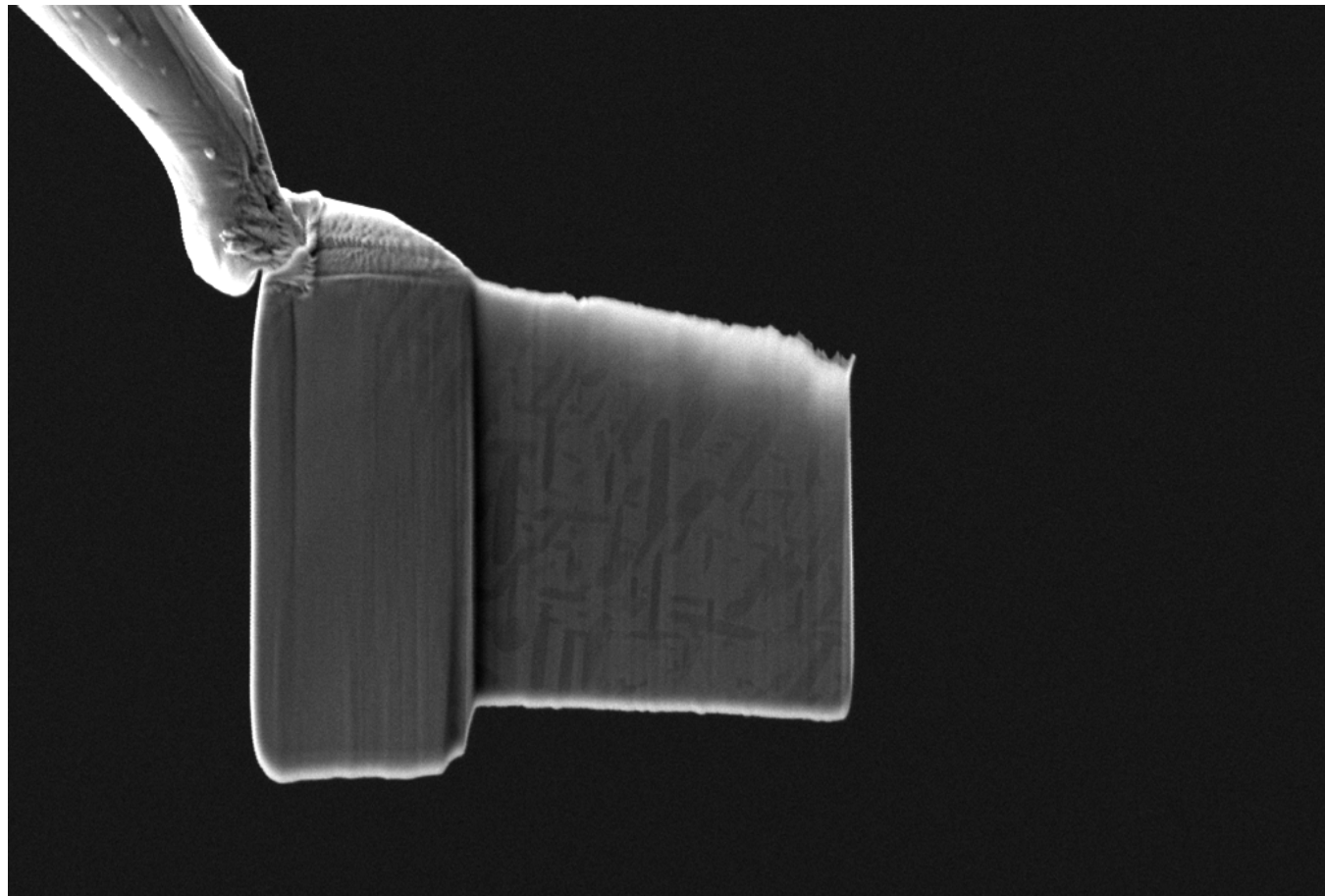
- チップ上で薄膜化
 - 高解像度EDSマップの取得



薄膜化により
高解像度マップが取得可能

Ti合金のEBSD分析

- TKD分析(透過EBSD)
 - Transmission Kikuchi Diffraction
 - バルクサンプルよりも高解像度のEBSDマップを取得
 - 厚さ100nm程度が最適
- チップ上に試料を保持して分析

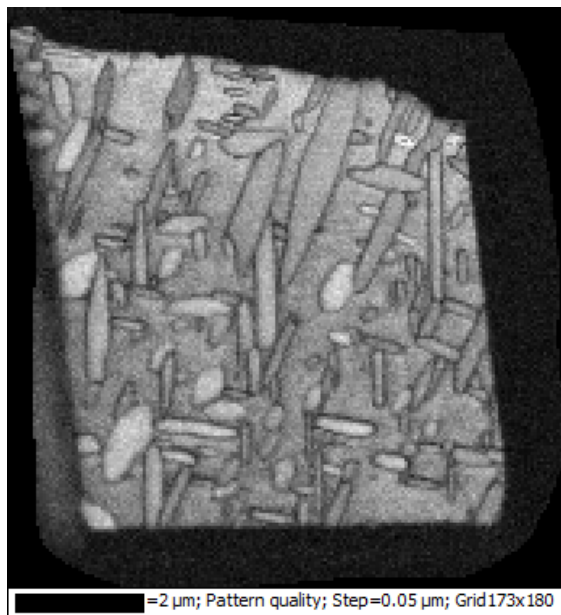


Ti合金のEBSD分析

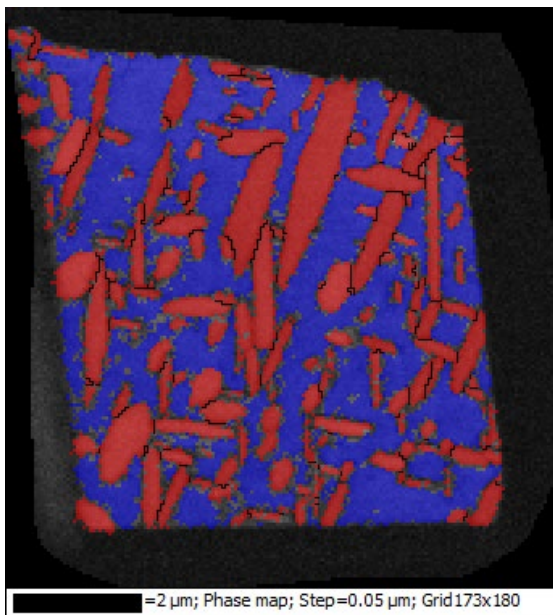
- Ti α 相と β 相の分布
- 各相の方位マップを取得

分析時間: 2 分
ステップサイズ: 50nm

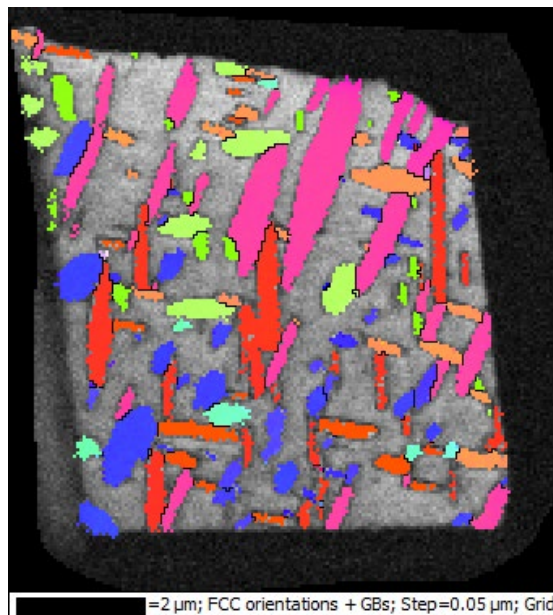
パターン品質



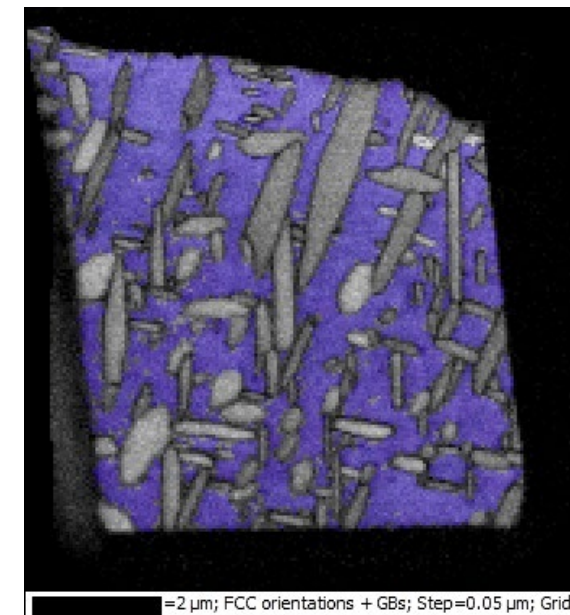
結晶相(赤: α 相、青 β 相)



α 相の結晶方位マップ

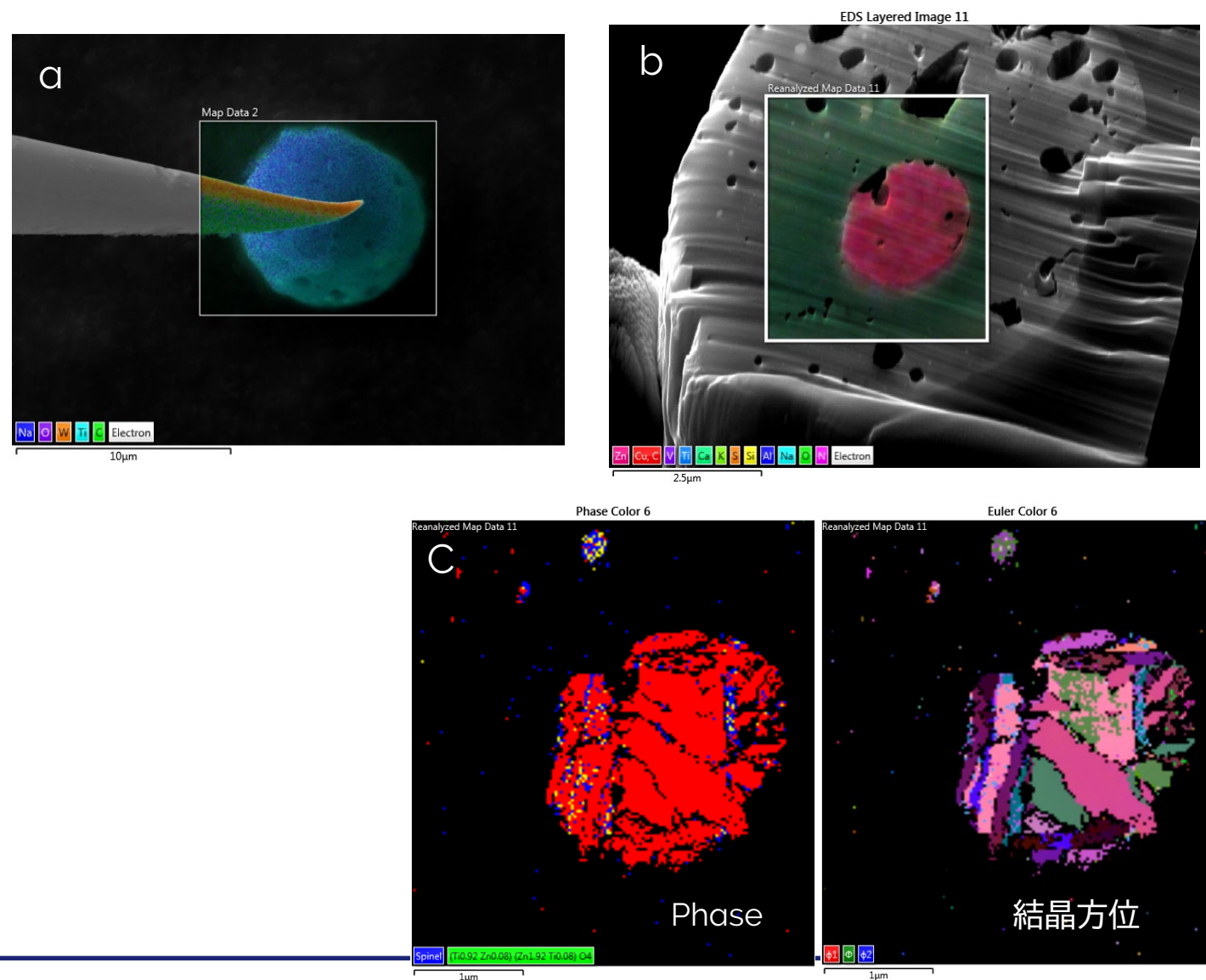


β 相の結晶方位マップ



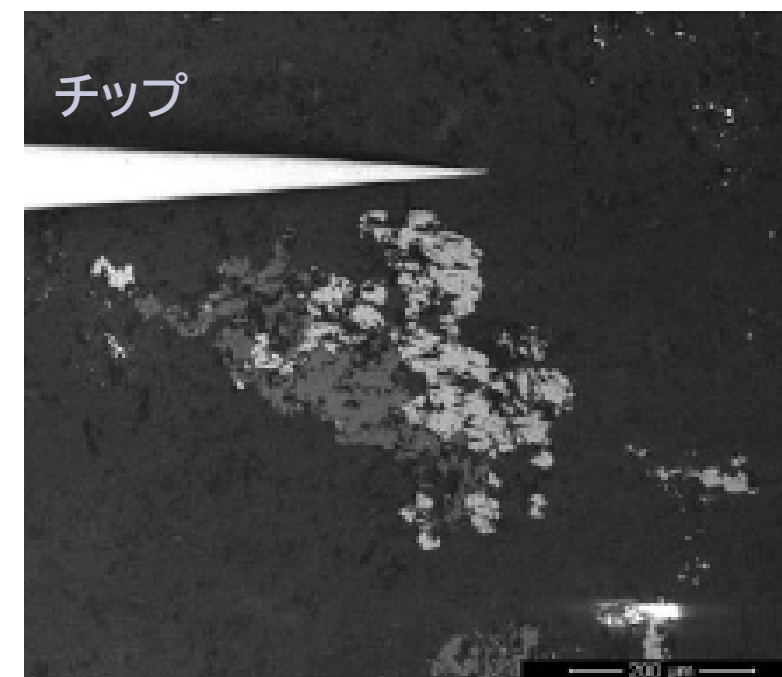
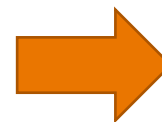
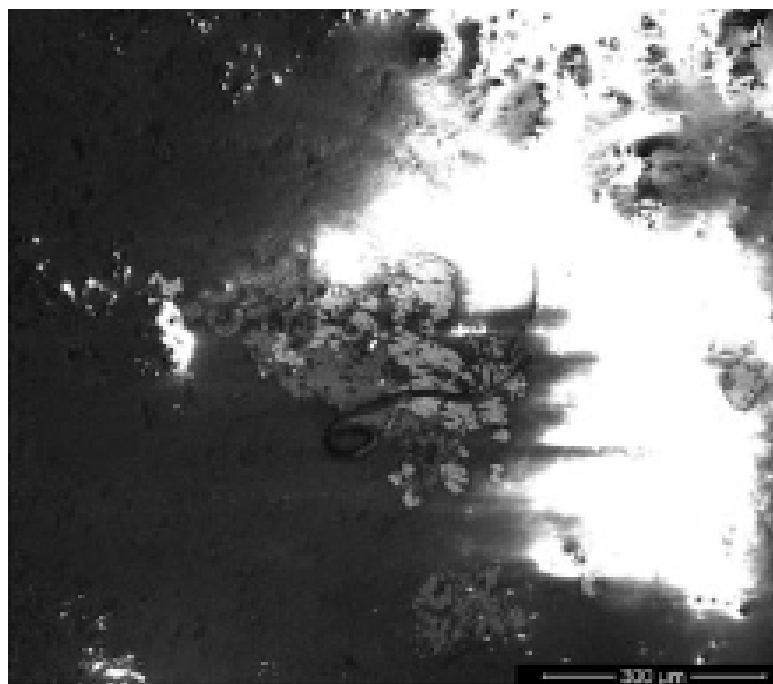
Gun Shot Residue (GSR)

- GSR - 射撃残渣解析
- FIBでピックアップ後、チップ上でEBSD分析
 - a. a) ナノマニピュレーターがGSR粒子をピックアップ
 - b. GSR粒子をFIBで切断して元素マッピング、コア構造が観察される
 - c. コアのEBSD分析では、結晶性のスピネルコア構造を観察
この粒子が非常に高い圧力(銃の中)で形成されたものと推察



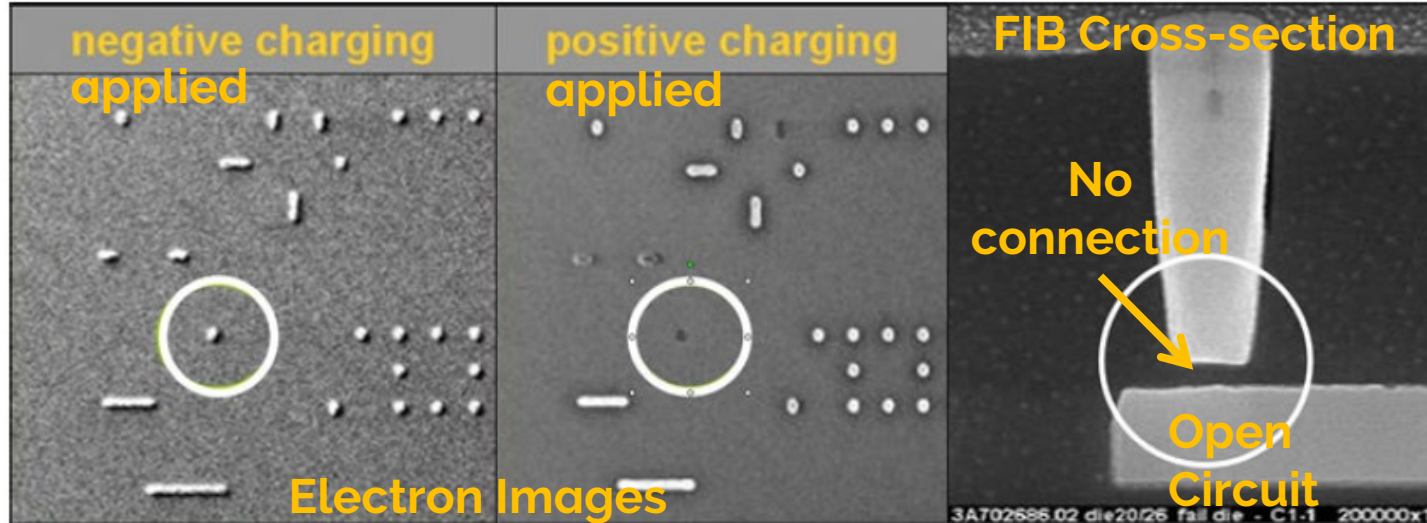
局所的なアースとして使用

- 非導電性試料の無コーティング観察・分析
- 導電性/非導電性の複合
- 低加速電圧条件での観察・分析

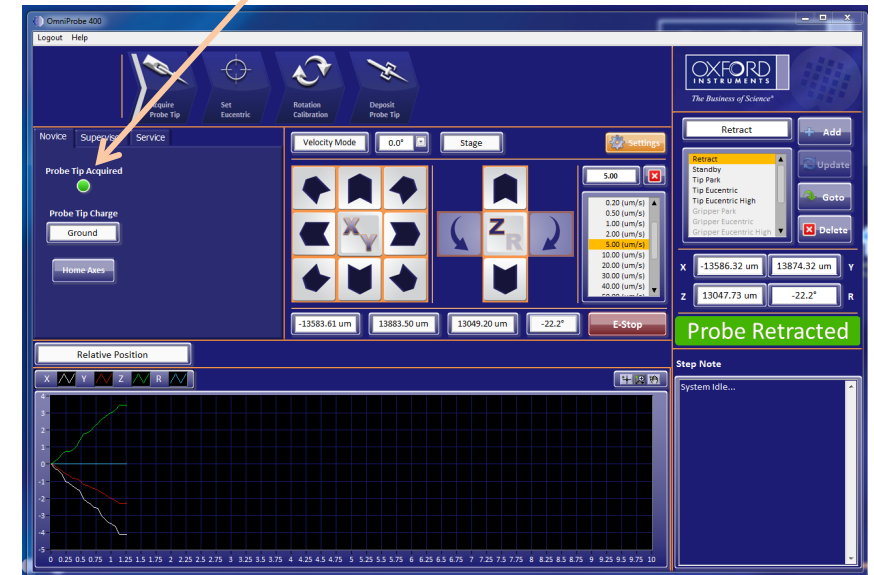


チップへのバイアス印加

- 電気的な接続の確認
 - プローブをデバイス上に配置し、バイアス($\pm 10\text{V}$)を印加
 - OmniProbeソフトウェアから制御
 - 電氣的に接続された点の画像コントラスト変化を観察



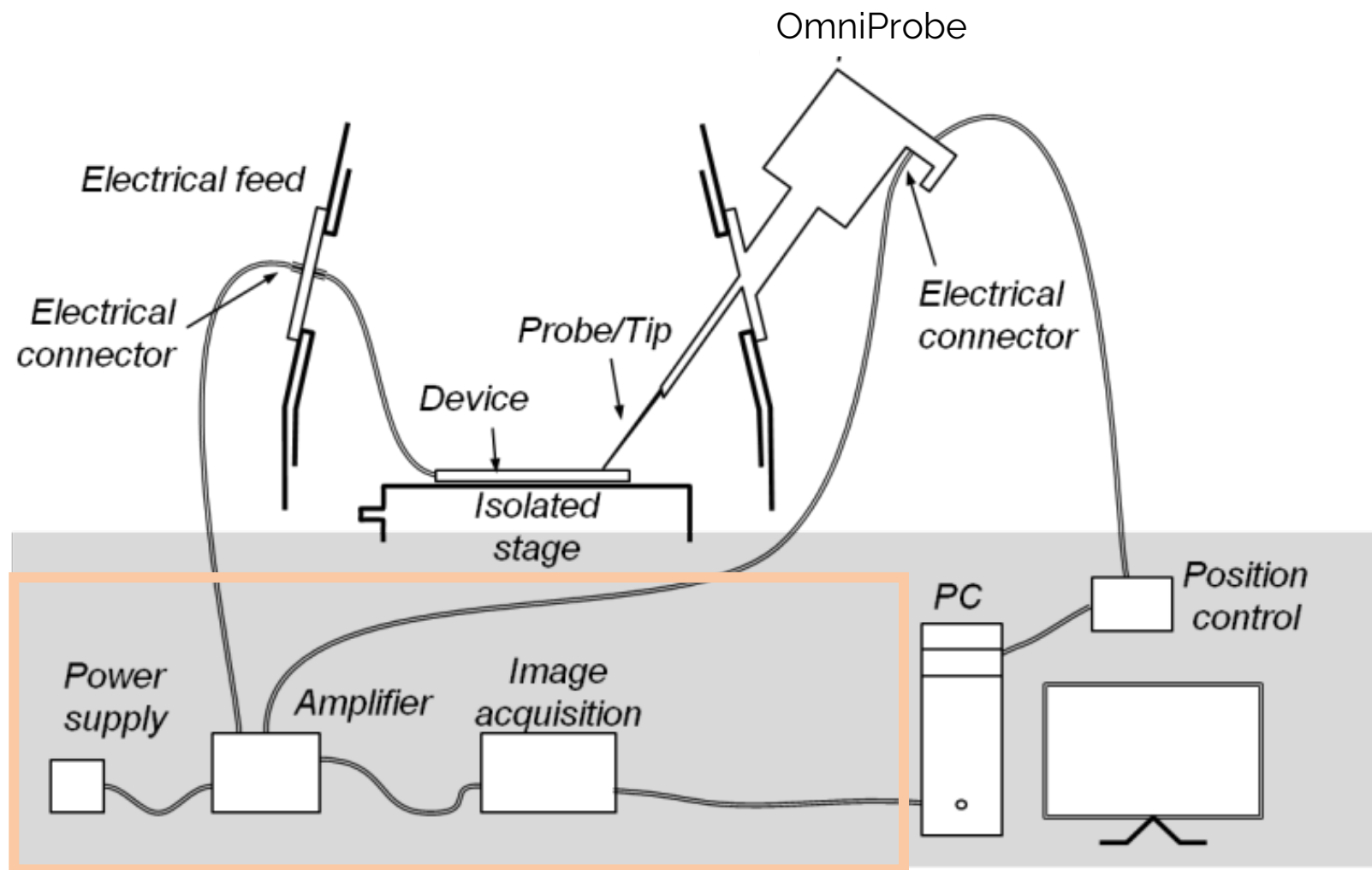
バイアス制御



Failure localization with active and passive voltage contrast in FIB and SEM,
Ruediger Rosenkranz, J Mater Sci: Mater Electron (2011) 22:1523–1535

E3システム 模式図

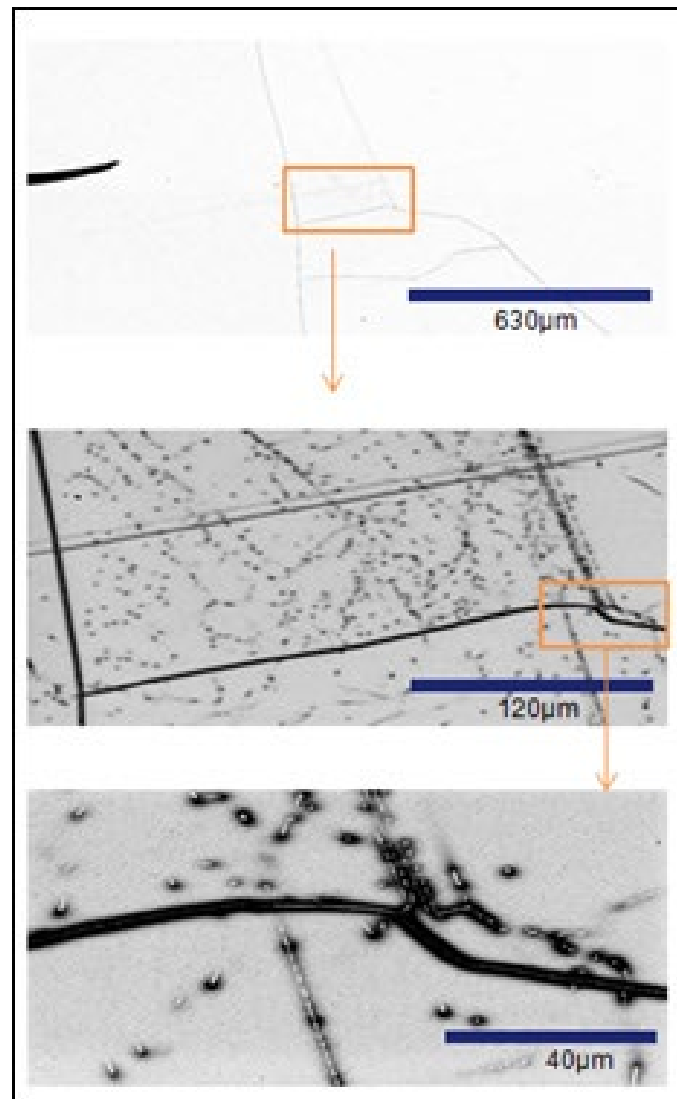
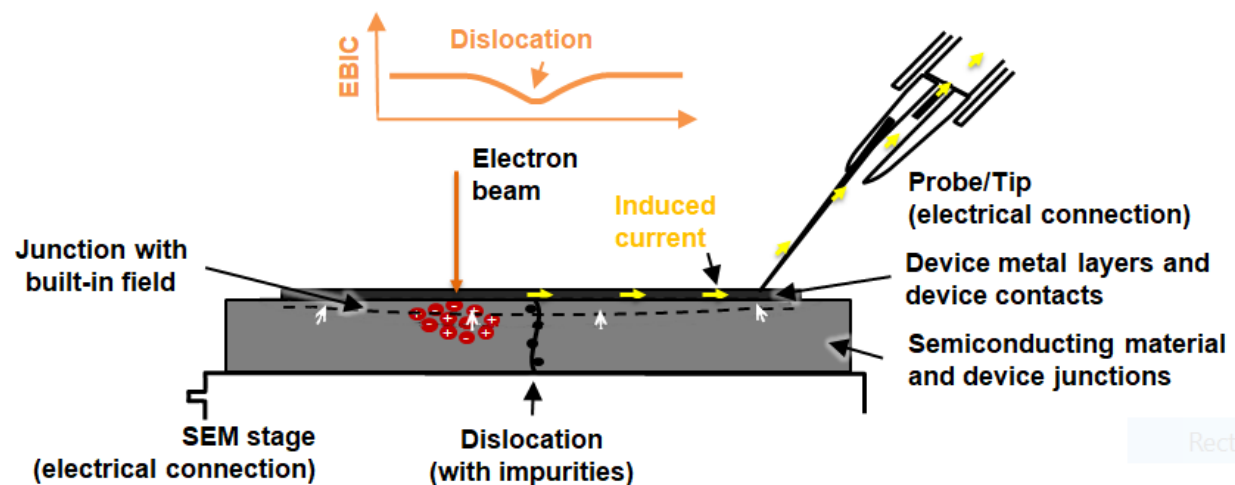
- オプションシステム



Point Electronics' EBIC system

- 多結晶半導体の欠陥解析

- P型Siに電極を形成
- OmniProbeでEBICを測定
- 結晶粒界、転位領域を画像で観察
 - 画像の黒い領域
- EBIC測定後、TEM分析試料を作製可能



EBIC像

- ナノマニピュレーターはFIB/SEMに搭載し、薄膜試料作製を行うツールです。
- OmniProbeは高いリニアリティや挿入再現性を有し、チャンバー内でチップ交換可能な高性能ナノマニピュレーターです。
- OmniProbeにより、高度なリフトアウトやチップ上でのEDS/EBSD分析に対応します。
- EBICやEBACの測定にも対応し、材料やデバイスを解析も可能。

