

See while you mill.

卓越したラメラ品質を実現する
最先端のエンドポイント制御



ZEISS Crossbeam 750

非常に困難なターゲットに対しても、
一度で確実な試料作製を可能に



ZEISS Crossbeam 750 — 常に高精度な TEM ラメラ作製を実現する FIB-SEM

半導体ラボでは、あらゆる工程でのさらなる改善が常に求められています。微細化が進むほど構造は複雑化し、ターゲット精度の重要性はさらに高まり、試料の価値も一段と増します。同時に、品質とスループットへの要求も一段と厳しくなっています。FIB-SEM による試料作製では、その成否は加工工程で決まります。FIB と試料の相互作用を確実に観察し、即座に調整を行い、最初の一回でエンドポイントを正確に捉えることが、最高品質の試料作製と、効率的かつ予測可能な TEM 解析への最短ルートとなります。

新しい ZEISS Crossbeam 750 FIB-SEM は、卓越した SEM 分解能を備え、高い再現性のある結果をもたらします。新設計の光学系により、あらゆるイメージングや加工の条件において、常にクリアで高分解能な SEM 像を提供します。これにより、その場で即時のフィードバックが得られ、停止や確認作業を減らし、初回から安定した TEM ラメラ作製を可能にします。さらに、精密な FIB 断面加工により確かな結果をもたらします。

“想定外”のない、確かな精度

ナノメートルスケールの構造を明らかにするうえで、従来の「止めて確認する」工程は、位置ずれや過剰な薄片化、再作製を招き、ターンアラウンドタイムを延ばしてしまいます。「加工しながら観察する」というアプローチは、断続的な確認作業をリアルタイムでの明瞭な可視化に置き換えます。エンジニアは加工中に微調整を行い、ナノメートル精度のエンドポイントを一度で達成することができます。

Crossbeam 750 の新機能：さらなる高精度と、より高度な制御を実現

- 新しい Gemini 4 SEM 光学系により、低加速電圧での分解能と信号対雑音比 (SNR) が大幅に向上しました。これは、

傾けられた試料の断面観察においても同様です。新たな光学系は、高分解能 SEM 条件下で同時に使用される低エネルギー FIB プローブに対するレンズ磁場の影響も低減します。

- 新しいスキランジェネレーターにより、ハイダイナミックレンジ (HDR) Mill + SEM と呼ばれる SEM/FIB のインターワーブンモードが導入されました。このモードでは、FIB により発生する二次電子 (SE) バックグラウンドを完全に抑制することで、どの FIB プローブで加工を行っている場合でも、SEM 像を明瞭に保つことができます (図 1 参照)。これにより、プロセス全体を通して微細構造を詳細に観察することが可能になります。
- 高分解能インカラム SEM 検出器により、最低設定を含むあらゆる FIB 電圧で加工工程をモニタリングできます。重要な仕上げの薄片化ステップにおいても、精密で確実な制御を実現します (図 2 参照)。

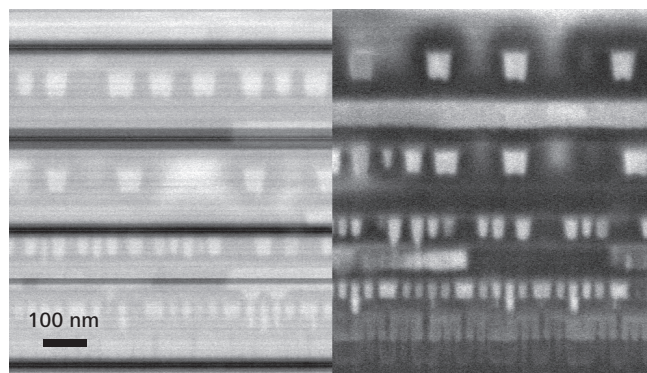


図 1 標準の Mill + SEM (左) と HDR Mill + SEM (右) による加工中の SEM 像。Crossbeam 750 の HDR Mill + SEM は、バックグラウンドのないクリアな視認性を提供し、即時のビジュアルフィードバックを可能にする。

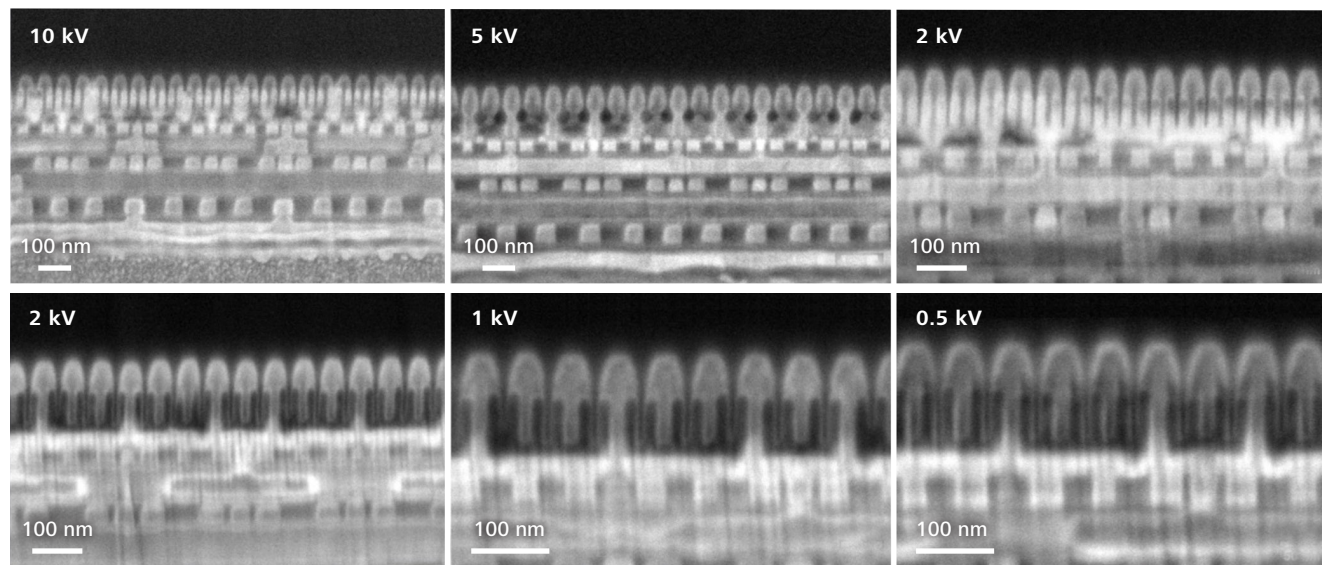
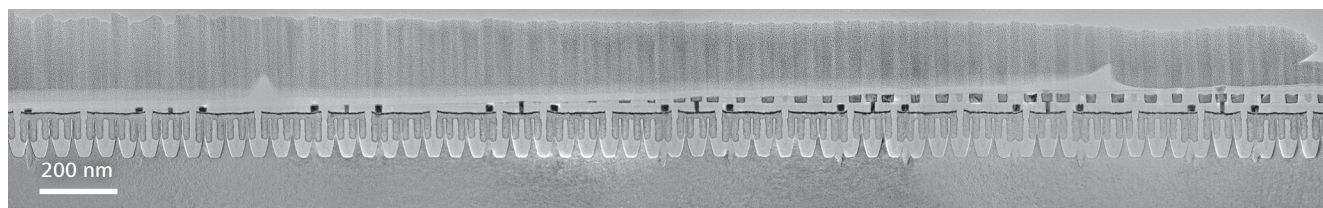


図 2 HDR Mill + SEM を用い、FIB エネルギーを 10 kV から 0.5 kV まで変化させながら、3 nm FinFET デバイスのラメラを薄片化し、エンドポイント制御を行った例。2 kV の 2 枚の画像は、FinFET ゲートに正確に平行となるよう、加工角度をその場で補正しながら加工している様子を示している。なお、これらは異なるタイミングで撮影された静止画ではなく、プロセスをリアルタイムで SEM モニタリングした際の画像である。



卓越した SEM 画質で、確かな視認性を実現

ZEISS Crossbeam 750 は、加工中でもより微細な構造を観察できるため、加工を続けるか、停止するか判断をより早い段階で行うことが可能です。その結果、不要な停止や過剰な薄片化が抑えられ、ラメラ作製のサイクルタイム短縮と、初回からの高い歩留まりを実現します。また、エンドポイント制御に使用される実際の動作点で性能を評価するため、検証や手法移管も、迅速かつ低リスクで行えます。

予測可能なエンドポイント制御で、重要構造を確実に保持

エンジニアは、複数の検出器を用いてラメラ厚み・表面品質・加工のエンドポイントを同時に評価できます。この機能により、加工中に問題を検出・修正することができ、常に高品質な結果を維持することが可能になります。さらに、超高精度の並進・回転加工の微調整により、最高分解能でナノメートル単位での高速制御が可能となり、ラメラを厳密な仕様どおりに仕上げることができます。即時フィードバックにより、エンジニアはエンドポイントを自信を持って確定でき、再現性の高い完璧なラメラ作製が可能になります。図3および図4は、最先端の商用ノードにおける Crossbeam 750 の精度を示しています。3 nm FinFET (図3) および 3 nm ゲート・オール・アラウンド (GAA) FET デバイスのラメラ (図4) を示します。

熟練の技を拡張可能に

FIB 加工をリアルタイムで可視化および制御できるため、初回ラメラの品質は、もはや高度なスキルを持つ FIB エキスパートの経験だけに依存しません。ソフトウェアが、プロンプト、レシピテンプレート、受け入れチェックリストに連動した自動ログ機能によってガードレールを提供します。中央集約型のナッジツール、直感的なマウスドラッグ操作、シェイププロパティ、そして進行状況を示すライブバーにより、習熟までの時間が短縮されます。経験レベルを問わず、すべてのオペレーターが自信を持って作業でき、再現性の高いエンドポイント制御を実現します。

図3 HDR Mill + SEM によるエンドポイント制御下で、1 kV FIB を用いて作製した 3 nm FinFET デバイス・ラメラの TEM 像。(上) 全体像。フィン先端部の厚さは 6 ~ 13 nm で、ゲートは数マイクロメートルにわたり完全に中央に位置している。(下) 高分解能で観察した単一 FinFET。アモルファス化や再付着を最小限に抑えつつ、結晶性 (格子コントラスト) が保持されていることを示している。すべての層が明瞭に識別可能。

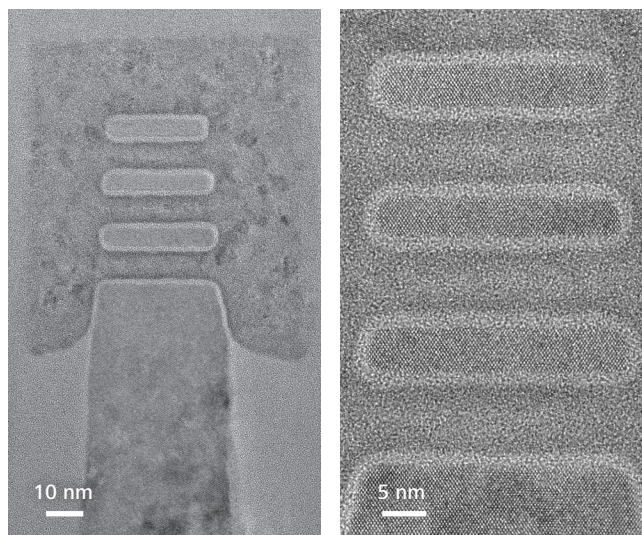
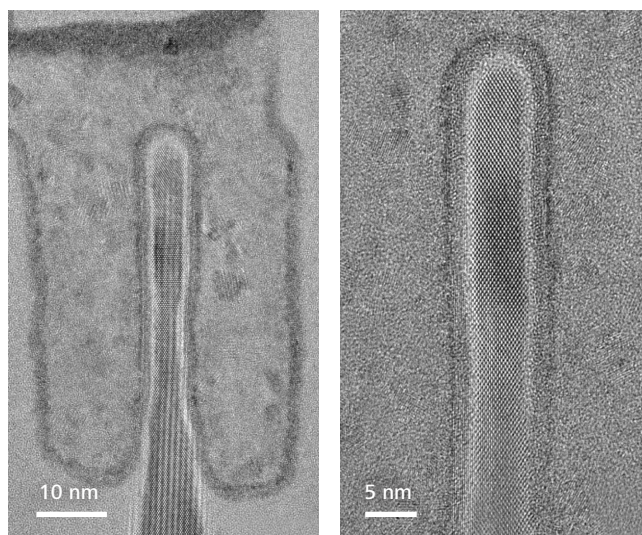
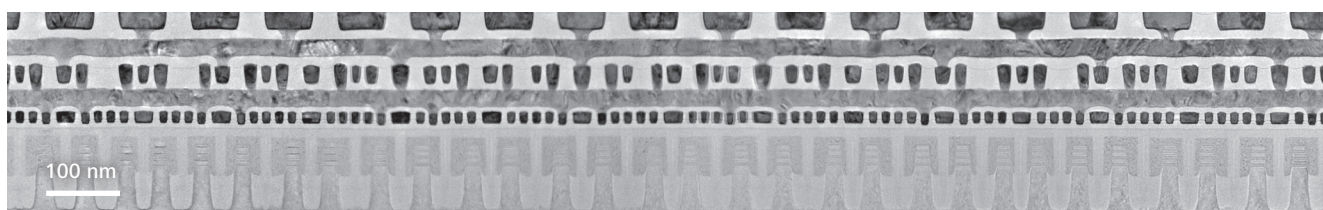


図4 HDR Mill + SEM を用い、1 kV FIB により仕上げた 3 nm GAA-FET デバイスの TEM 像。(上) 単一 GAA トランジスタを高倍率で観察した像。全体として極めて良好な仕上がりを示している。下) 数マイクロメートルにわたりゲートが正確に中央に配置されており、アモルファス化を最小限に抑えながら結晶性が保持され、各層構造も明瞭に識別できる。



ZEISS Crossbeam 750 の概要

他社 FIB-SEM との比較

「停止して確認する」動作は作業の流れを断ち、ドリフトを増加させ、熟練したフォーカス調整がなければリワークにつながる可能性がある

FIB 加工中に機器の条件が固定されていると、オペレーターが状況に応じて柔軟に対応する余地が制限される

微細構造では、過剰な薄片化やターゲット損傷のリスクが高まる

ZEISS Crossbeam 750

「加工しながら観察する」ことで、断面において最高レベルの SEM 分解能による明瞭な視認性、即時フィードバック、停止回数の削減、TEM までのターンアラウンドタイム短縮を実現

SEM および FIB のあらゆるパラメータを、即時フィードバックを得つつライブ調整できるため、加工面のリアルタイム補正が可能となり、ユーザーはより自由度の高い操作と、きめ細かな制御を行えるようになる

低エネルギー FIB 仕上げ時における低加速電圧 SEM の分解能と SNR の向上により、エンドポイント処理での関心領域を保護し、初回から安定した結果を確保

主な特長

- Gemini 4 フィールドフリー SEM 対物レンズ
- HDR Mill + SEM
- スプリットモードイメージングおよび微細加工面ナッジング
- 低エネルギー仕上げに最適化された Ion-sculptor Ga FIB

主な利点

- ターゲット加工面で得られる即時かつ高分解能のフィードバック
- バックグラウンドのない FIB プロセス制御による精密なファインポリッシュ
- 均一な厚みを保った、サブナノメートル精度のエンドポイント制御
- よりクリーンな仕上がりと、界面・結晶性の確実な保持

技術仕様

	ZEISS Crossbeam 750 with Gemini 4	ZEISS Crossbeam 550 with Gemini 2	ZEISS Crossbeam 350 with Gemini 1
一致点での SEM 作動距離	4 mm	5 mm	5 mm
一致点での分解能	0.9 nm @ 15 kV 1.5 nm @ 1 kV 1.2 nm @ 1 kV (DCV)* 1.3 nm @ 1 kV TD**	0.9 nm @ 15 kV 1.8 nm @ 1 kV — 1.3 nm @ 1 kV TD	1.1 nm @ 15 kV 2.3 nm @ 1 kV — 1.6 nm @ 1 kV TD
断面（一致点および傾斜時）での分解能 ***	0.9 nm @ 15 kV 1.5 nm @ 1 kV	—	—
ハイダイナミックレンジ Mill + SEM	すべての SEM および FIB 条件で使用可能		

* デジタル分解能（デコンボリューション済み） ** タンデム減速（TD）- ステージバイアス方式 *** SEM に対して 36° 傾斜時



Carl Zeiss Microscopy GmbH
07745 Jena, Germany
microscopy@zeiss.com
www.zeiss.com/crossbeam-750

カールツァイス株式会社
リサーチマイクロスコピーソリューション
Tel 0570-00-1846
info.microscopy.jp@zeiss.com

ZEISS の SNS アカウントをフォロー:

