

薄膜専用X線回折システム TFXRD

—大口径ウェーハ対応，薄膜評価用X線回折装置—



1. はじめに

X線回折測定は半導体を中心とした機能性薄膜材料の評価でも多く利用されてきました。近年のエレクトロニクス分野の進歩に伴い、半導体チップの需要はますます増えていることから生産コストの削減を目的とした基板材料の大口径化も進んでいます。最近では電源システムやAIサーバーの市場需要の拡大からGaNパワー半導体の応用が盛んになっており、基板として使用されるシリコンウェーハのサイズも大型なものが増えてきました。薄膜専用X線回折システム“TFXRD”はこのような大口径ウェーハをそのままの状態での測定したいといったニーズから誕生したX線回折装置です。TFXRDには薄膜評価に特化した高精度ゴニオメーターと大口径ウェーハ対応の大型XYステージを搭載しており、X線回折による先端材料の高精度評価を行うことが可能です。またウェーハの自動搬送機付きモデルもラインナップし、複数枚ウェーハの自動連続測定にも対応いたしました。本稿では薄膜材料評価に特化したTFXRDの装置構成について以下にご紹介いたします。

2. TFXRDの装置構成

X線回折による薄膜材料の評価では膜厚、密度などの評価を行う反射率測定のほか、エピタキシャル薄膜の結晶性や化合物層の組成評価に用いられるロックングカーブ測定、格子歪・緩和の評価を行う逆格子マッ

プ測定など、薄膜材料評価固有の測定手法が用いられます。TFXRDはこのような薄膜材料の評価に特化した軸構成の装置であり、試料に対する入射角度を制御する ω 軸や回折角度を制御する 2θ 軸のほか、試料面内回転制御のための ϕ 軸、及び傾きを制御する χ 軸を備えた4軸X線回折装置です。300 mmや200 mm径の大口径ウェーハに対応するため、大型 χ クレードルとフルマッピング可能なXY軸、測定時にウェーハの精密な厚さの調整が可能なZ軸を備えています。また各種モノクロメーターやアナライザー結晶といった光学素子との組み合わせにより、精度が要求される薄膜材料の高分解能測定にも対応しています。TFXRDに用いられている特徴的な装置構成要素には以下のようなものがあります。

・高精度ゴニオメーター

2 θ - θ 型水平ゴニオメーターを採用。主軸に直結したフルクローズドエンコーダ制御により、2 θ , ω それぞれ最小ステップ0.0001°での測定が可能です。各種高分解能光学素子との組み合わせにより、より高精度なデータが取得できます。

・高輝度X線管球

標準的な封入管タイプのX線管球の他、最大出力9 kWの回転対陰極型X線源が選択可能です。高出力タイプのX線源の使用により大口径ウェーハの多点測定での高スループット化を実現しています。

・大型 χ クレードルと大口径ウェーハのフルマッピン

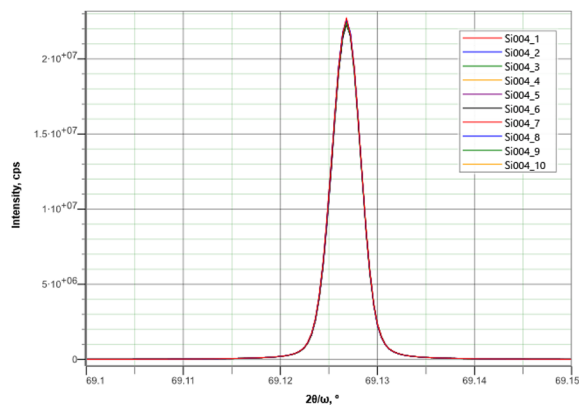


図1. 繰り返し測定再現性.

Si004 周囲の $2\theta/\omega$ 繰り返し測定結果. 高い繰り返し精度を実現しています(測定光学系: 入射 Ge400 2 結晶モノクロメータ, 受光 HyRES400 (Ge400 2 結晶アナライザー) を使用).

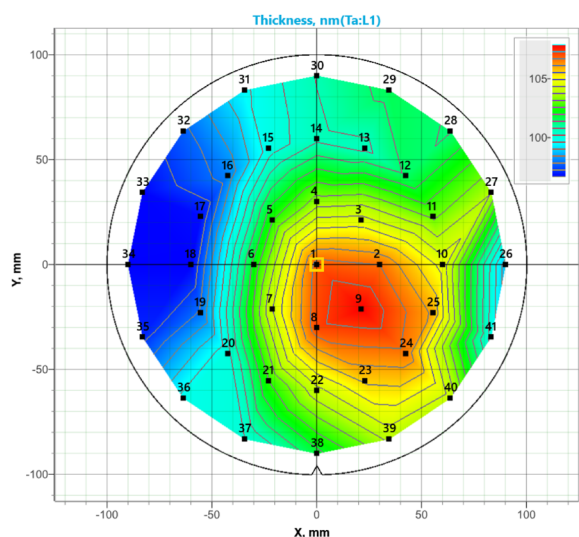


図2. 反射率マッピングの図.

200 mm Si 基板上 Ta 薄膜の膜厚分布評価例. X 線分析統合ソフトウェア SmartLab Studio II Data Visualization プラグインによるマッピング表示.

グに対応した XY ステージ

最大 300 mm 径のウェーハ測定に対応した TFXRD-300 (300 mm と 200 mm 径のウェーハに対応) と最大 200 mm 径のウェーハに対応した TFXRD-200 (200 mm と 150 mm 径のウェーハに対応) の 2 機種を揃えています. それぞれ専用の真空吸着試料板を備えた XY ステージが搭載されています. またどちらの機種も大口径ウェーハに対応した $-5^\circ \sim 95^\circ$ まで移動可能な大型 X クレドールを装備しています.

・真空試料吸着ステージ (特許出願中)

ヘテロエピタキシャル膜などの比較的大きな反りのある試料の保持に対応した専用試料板を新規に開発いたしました. ウェーハ裏面, エッジ近傍での吸着保持のほか, 中心部にある吸着ノズルが反りの度合いに応じて上下しウェーハを保持します.

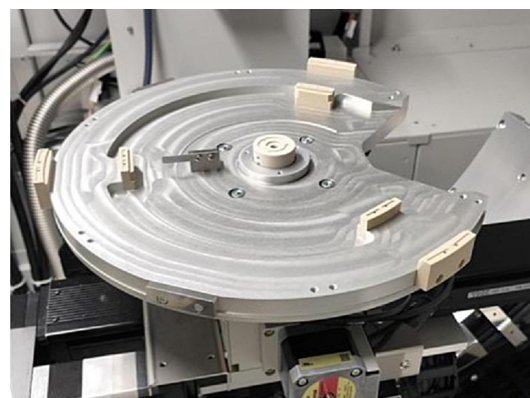


図3. 新型吸着試料板. ウェーハ中央吸着部の上下機構移動により, 反りのあるウェーハの保持に対応.



図4. ロッキングカーブ, 高速逆格子マップ測定マクロ例.

SmartLab Studio II を使用した測定マクロ例. 受光スリット光学系とアナライザー結晶を用いた高分解能光学系を切り替えた連続測定が可能です.

①測定位置指定 (X,Y), ②試料高さ調整 (Z), ③試料結晶軸調整 (ϕ), ④試料結晶軸調整 (ω, χ), ⑤高分解能ロッキングカーブ測定 (アナライザー結晶使用), ⑥受光光学系切り替え, ⑦高速逆格子マップ測定 (スリット光学系使用).

この機構により, 垂直保持となる測定時に確実なウェーハ保持を行うことができます.

・ハイブリッド型多次元ピクセル検出器と受光アナライザー切り替えユニット (オプション)

多次元ピクセル検出器 HyPix-3000 を搭載し, エピタキシャル薄膜の格子緩和評価を行う 1 次元モードを利用した高速逆格子マップ測定をサポートしています. また受光アナライザー切り替えユニット HyRES 220/400 のオプション追加により, ソフトウェア上で受光スリット光学系とアナライザー結晶を用いた高分解能光学系を切り替えて使用することができます. こ

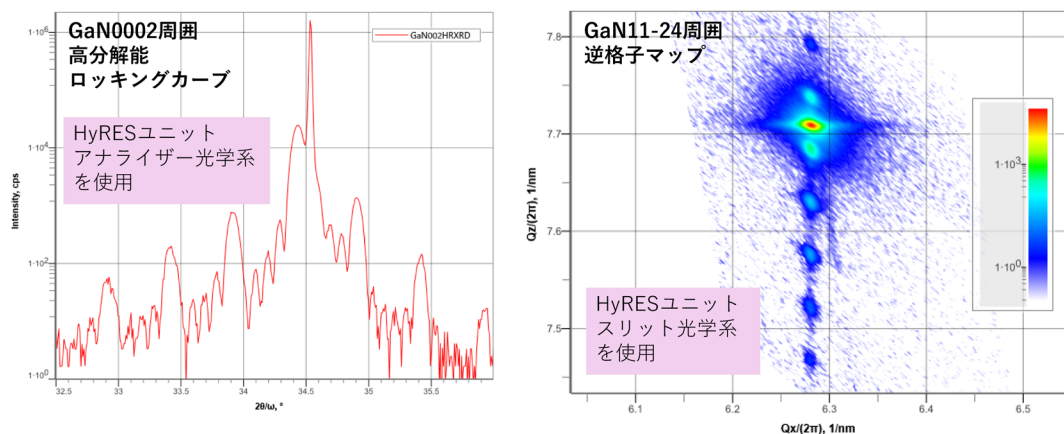


図5. ロッキングカーブ、高速逆格子マップ測定例。

MQW 構造を持つサファイヤ基板上 InGa_N/Ga_N 試料の高分解能ロッキングカーブプロファイル(左)と GaN11-24 周囲の高速逆格子マップ測定結果。オプションの HyRES ユニットの搭載により、アナライザー結晶を用いた高分解能ロッキングカーブ測定(トリプルアクシス)と検出器の1次元モードを利用した高速逆格子マップ測定を連続して行うことができます。

表1. TFXRD ラインナップ表。

TFXRD シリーズ		
TFXRD-300 TFXRD-200	TFXRD-WL300 TFXRD-WL200	XTRAIA-TF3000 XTRAIA-TF2000
		
大型扉付き。試料の手置きにより小片や異形試料の測定が可能 なラボ用途向けモデル。	搬送機搭載モデル。ウェーハの 自動搬送により複数枚ウェーハ の測定自動化に対応。	SEMI規格S2,S8および SECS/GEMに対応した搬送機 搭載モデル。

れによりマクロ制御による両光学系の連続測定に対応しています。

3. ウェーハ自動搬送に対応した TFXRD シリーズの装置ラインナップ

XY ステージを使用したウェーハ面内の自動多点測定に加え、ウェーハの自動搬送機を搭載したモデルをラインナップしています。搬送機付きモデルでは自動で複数枚ウェーハの多点連続測定が可能になります。自動搬送機には 300 mm ウェーハの FOUP や 200 mm, 150 mm ウェーハのオープンカセットに対応したロードポートを最大2機搭載することができます。また半

導体工場での使用対応のため、各種 SEMI 規格 (S2,S8, SECS/GEM(ホスト通信)) に対応した機種(製品名: XTRAIA TF-3000/-2000) も揃えています。

4. まとめ

TFXRD は大口径ウェーハの測定に対応した薄膜評価用の X 線回折装置として開発されました。高精度と複数測定による評価が要求される薄膜測定分野で活躍します。また、研究開発用途の大型扉搭載モデルから半導体生産現場に対応したモデルまでのラインナップにより、各工程で最適な装置をご活用いただけます。