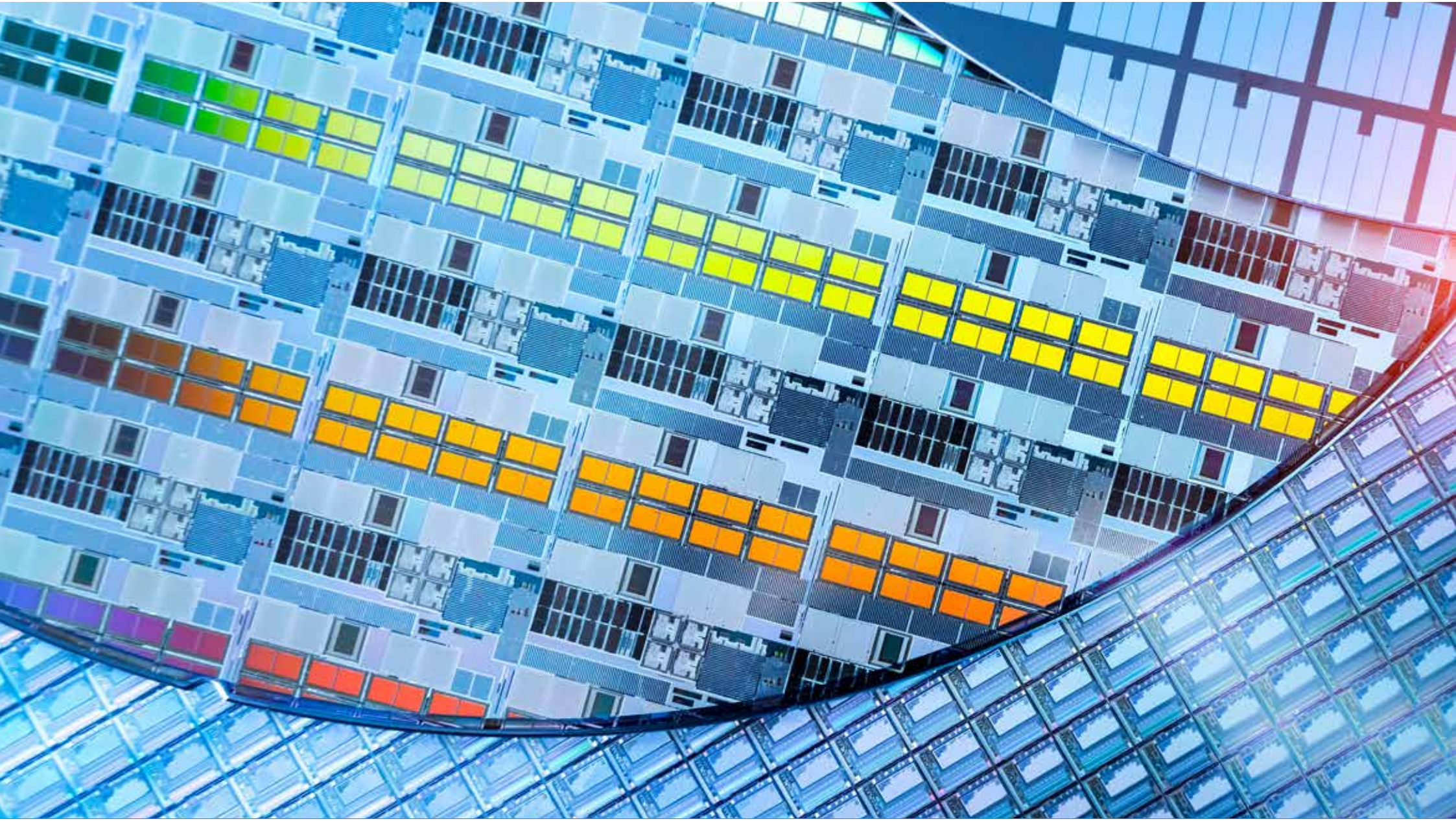
XTRAIA MF シリーズ

インラインX線膜厚・密度モニター

Rigaku
視るチカラで、世界を変える

蛍光X線(XRF)・X線反射率(XRR)・X線回折(XRD)を1台に集約
パターンウェーハ上の膜厚・組成・結晶性を高精度に評価



目次

半導体製造における業界課題と計測ソリューション 4

COLORS の中核技術 5

高精度計測 6

アプリケーション 7

MRAMプロセスにおける膜厚ばらつきの XRF 測定
Micro-XRF による膜厚・組成測定
Micro-XRR による膜厚測定 8

特長 9

XTRAIA MF-2000 システム仕様 11

XTRAIA MF-3000 システム仕様 13

XTRAIA MF-3400 システム仕様 15

生産性を高めるXTRAIA MF-3400向け新X線管
高スループットXRF測定 16

主な特長 17

構成図
設置図 18

XTRAIA MFシリーズ対応 元素周期表 19

半導体製造における業界課題と計測ソリューション

先端半導体デバイスでは、数nmレベルの極薄膜が用いられることが多く、膜厚は製品品質に大きな影響を与えます。
そのため、適切な計測による継続的なモニタリングが重要です。

XRF：蛍光X線分析

X線をウェーハに照射すると、含有元素に応じた異なる波長の蛍光X線が励起されます。膜厚は、それらの蛍光X線の強度と膜厚の関係を示すキャリブレーションカーブを用いて算出します（材料固有のエネルギーに基づく）。

XRR：X線反射率法

薄膜に対する斜入射X線の手法で、透明／不透明、アモルファス、多結晶、単結晶など、あらゆる材料の薄膜に適用できます。XRRは、単層膜から複雑な多層膜スタックまで、膜厚、密度、表面および界面の粗さ情報を提供します。測定では、Cu X線を浅い角度でウェーハ表面に入射し、入射角を数度の範囲で変化させます。材料に依存する臨界角より小さい入射角では全反射が生じ、臨界角を超えるとX線が膜へ浸透して相互作用し、干渉縞パターンが得られます。臨界角は最上層膜の密度に関連し、干渉縞の周波数は膜厚に関連します（周波数が高いほど膜は厚い）。また、膜密度と粗さは干渉縞強度の振幅および減衰に影響します。

XRD：X線回折法

結晶材料に X線を照射し、結晶格子によって回折された X線を解析することで、材料の各種特性を評価する手法です。薄膜計測では、多結晶膜、エピタキシャル膜など各種結晶性膜に対し、相同定、格子定数、結晶配向、膜中歪み、結晶粒サイズ、ならびにこれらの成膜プロセス条件による変化を非破壊で解析することが可能です。さらに、Si/SiGe多層膜などの結晶多層膜に対して、各層の膜厚、組成比を計測することも可能です。

XTRAIA MF シリーズは、光学計測や超音波技術では実現困難な高精度測定を可能にするX線計測装置シリーズです。

極薄単層膜から多層膜スタックに至るまで、製品ウェーハおよびブランケットウェーハの高スループット測定を実現します。

COLORS の中核技術

リガクは、XTRAIA MF シリーズ 向けに COLORS X線光学系を開発しました。
COLORS を用いることで、スクライブライン上の計測パッドなど、微小領域からの測定が可能になります。COLORS ビームモジュールは、X線管と最適化された光学系を組み合わせ、さまざまな薄膜アプリケーションに対して、単色かつ高輝度のX線を微小スポットで提供します。
リガクはX線光学系を自社事業として展開しており、現在および将来の市場ニーズに対応したX線源の開発・製造に強みを有しています。

COLORS X-Ray Optics

HyPix-3000

量産を想定した設計

XTRAIA MFシリーズは、300 mm（およびそれ以下のサイズの）ウェーハの量産を想定して設計された計測装置です。XRRおよびXRFによる高スループットな膜厚測定に加え、低コンタミネーションを考慮したウェーハハンドリング、製品ウェーハ測定に適したパターン認識に基づく位置制御を備えています。さらに、CEマーキング取得、半導体製造クリーンルームでの運用を想定した SEMI S2/S8 準拠、SECS/GEM 通信への対応、高い装置信頼性、低消費電力および低い保有コストを実現しています。

膜厚・密度モニタリング

XRRおよびXRD測定には、HyPix-3000（2次元光子計数型X線検出器）を搭載しています。0D、1D、2Dの複数の動作モードに対応し、約30万画素、100 µm × 100 µm の画素サイズを備えています。X線フォトンが入射すると各ピクセルセンサーが導電状態となり、入射フォトンを1個ずつ直接カウントすることで、高精度な計測を可能にします。

XRR測定の高速化

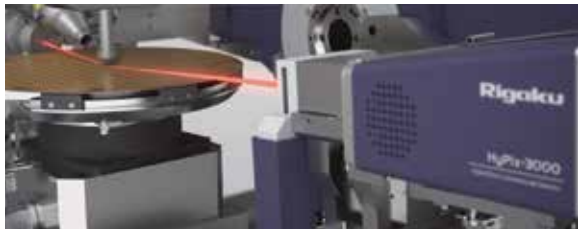
高い空間分解能と10^8の高ダイナミックレンジにより、XRR測定ではサブnmレベルの極薄膜から最大約450 nmの厚膜まで、幅広い膜厚評価が可能です。二次元検出器の採用により、XTRAIA MFシリーズの測定速度は従来モデル比で約5倍向上し、高スループット計測を実現しています。

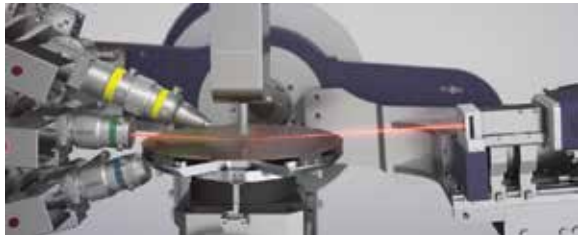
低結晶性・微結晶薄膜への対応

XRRおよびXRD機能を組み合わせることで、近年需要が高まっている極薄かつ低結晶性の微結晶薄膜についても評価が可能です。膜厚情報と結晶性情報を同一装置で取得できるため、先端デバイス製造におけるプロセスモニタリングに貢献します。

高精度計測

リガクの半導体計測装置XTRAIA MFシリーズは、光学法や超音波技術では対応が難しい高精度計測を実現します。極薄な単層膜から多層膜スタックまで、製品ウェーハおよびブランケットウェーハを対象とした高スループット測定に対応しています。





最大3基のCOLORS X線ビームモジュールによる XTRAIA MFシリーズのアプリケーション最適化

リガク独自の多層ミラー技術により、高輝度かつ単色の微小スポットX線ビームを実現し、将来を見据えた半導体製造プロセスに対応します。当初はメモリ向けアプリケーションとして開発された COLORS 技術は、先端ロジックデバイス製造に求められる、より厳しいスポットサイズ要件にも対応できるよう進化してきました。
最小25 μm×25 μmの照射領域を実現することで、スクライブライン上の計測パッドや実際に回路が形成されているチップ領域内におけるインライン計測にも適しています。

		FWHM (μm)	XRF	XRR	XRD
COLORS	**Cu**	85	o	o	o
COLORS	**Au**	85	o	-	-
COLORS	**Mo**	85	o	-	-
COLORS	**Rh**	85	o	-	-
COLORS -n	**Cu**	50	o	-	-
COLORS -i	**Au**	35	o	-	-
COLORS -i	**Mo**	35	o	-	-
COLORS -t	**Cu**	25	o	-	-
COLORS -t	**Au**	25	o	-	-
COLORS -t	**Mo**	25	o	-	-

左：COLORS-i Mo　　右：COLORS Cu

単色・マイクロスポット X線ビームモジュール COLORS

COLORS は、リガク独自の多層ミラー技術を採用した、単色・マイクロスポットX線ビームモジュールです。高輝度なX線ビームを微小スポットで形成し、XRR、XRF、XRDといった各種アプリケーションに適したX線照射を実現します。測定目的や評価対象に応じて、最適なX線ビームモジュールを選択することが可能です。

アプリケーション

XTRAIA MFシリーズは、単層膜から多層膜スタックまで、幅広い
FEOL／BEOL膜の評価に対応しています。

- **FEOL:** SiGe、CoSix、NiSix、SOI、Al、SiON、Hi-k誘電体／メタルゲート
- **BEOL:** Cuシード、Cuバリア、Cuめっき、Ti/TiN、Ta/TaN、W
- **Others:** MgO、CoFeB、Ru、Pt、PZT

Cu配線
Cuめっき層の優先結晶配向をXRDで評価します。

バリアメタル
多層膜における各層の膜厚・密度・粗さをXRRで評価します。
例：Ta/TaN、Ti/TiN（CVD、PVD）

ゲート誘電体
各種ゲート誘電体の膜厚・密度・粗さをXRRで評価します。
例：HfSiOx

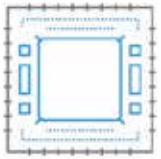
CMP
Cu CMP後のウェーハについて、膜厚、ディッシング、エロージョンをXRFで評価します。

シリサイド膜
WSix、CoSix、NiSix などの膜厚・密度をXRRで評価します。

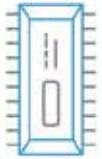
強誘電体膜
PZT、BST などの組成をXRFで評価し、結晶性はXRDで判定します。

その他
SiGeの膜厚・組成価、
Ta、W、WSix、Ti、TiNなどの優先結晶配向評価（XRD）に対応します。

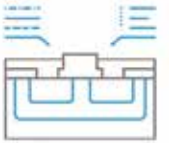
メモリ



MEMS



パワーデバイス



アドバンスト
パッケージ

微小パッドに適用可能
小面積パッド上でのCu膜厚評価が可能

Micro-XRF

超高速X線検出器 HyPix-3000
8桁のダイナミックレンジを備え、高精度かつ高速な計測を実現

XRR

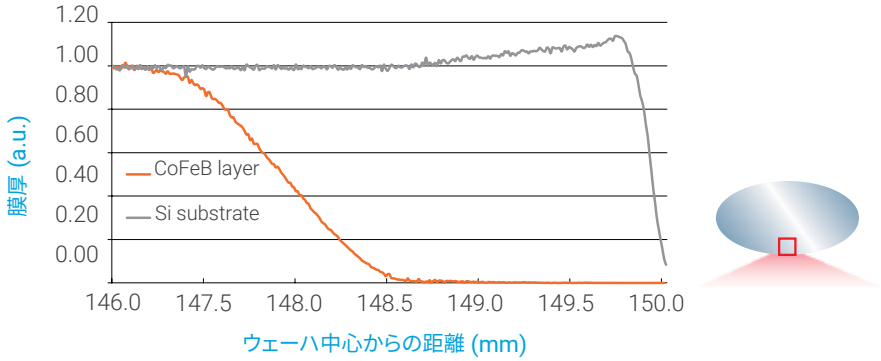
パターンナビゲーション
高性能なパターン認識により測定効率を向上　コストやウェーハモニター要件を低減

効率性

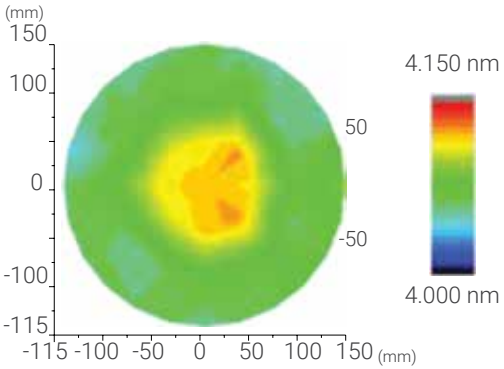
MRAMプロセスにおける膜厚ばらつきの XRF 測定

低入射角測定により、MRAMデバイスに見られるような薄膜の高速解析が可能です。柔軟なレシピ設定により、さまざまな膜スタックやアプリケーションに対応します。

Micro-XRF 測定例：CoFeB



CoFeB のウェーハ面内膜厚ばらつき



*分布図は第三者製ソフトウェアを用いて作成しています。

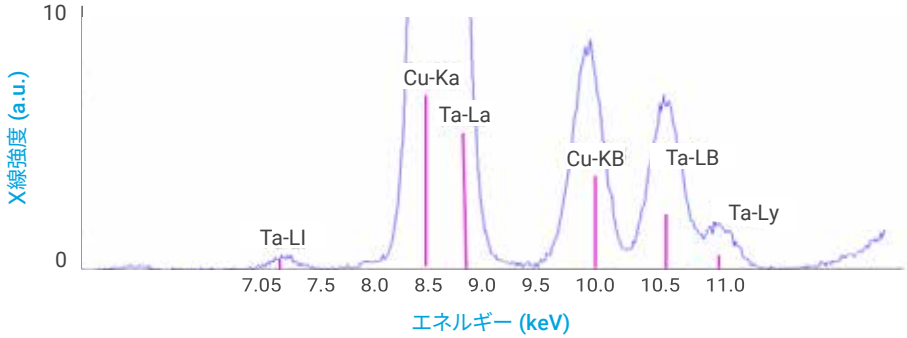
測定条件

測定点数：49 点
測定時間：5 秒／点
使用X線管：COLORS Au
入射角: 5°
測定元素: Co

スループット：5 WPH (Wafer per Hour)

Micro-XRF による膜厚・組成測定

単色のマイクロスポットX線ビームモジュールと、高感度エネルギー分散型 SDD（Silicon Drift Detector）を組み合わせることで、XRFによる高スループットかつ高精度な膜厚・組成測定を実現します。微小パッドや微細構造を対象としたインライン計測にも適しています。



Micro-XRR による膜厚測定

超高速X線検出器を搭載し、高スループットなXRR測定に対応します。
8桁のダイナミックレンジを備えた広い強度範囲により、多層膜スタックにおける膜厚、密度、表面粗さを同時に評価することが可能です。

	密度 (g/cm³)	膜厚 (nm)	粗さ (nm)
Cu	8.60	153.83	1.51
Ta	15.85	16.43	0.00
TaN	14.02	9.81	8.70
SiO_2	2.2	300.00	0.00

特長

パターンナビゲーション

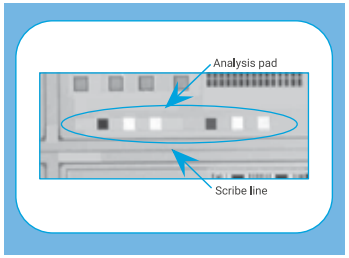
高性能なパターン認識機能により、製品ウェーハの測定が可能です。モニターウェーハの使用を削減することでコスト低減に貢献するとともに、歩留まり向上にも寄与します。

計測パッド

低入射角測定により、MRAMデバイスに見られるような薄膜の高速解析が可能です。
柔軟なレシピ設定により、多様な膜スタックおよびアプリケーションに対応します。

微小計測パッドに適用可能

- Micro-XRF測定により、小型パッド上のCu膜厚を評価できます。
- 超高速X線検出器 HyPix-3000
- 8桁のダイナミックレンジにより、高精度かつ高速なXRR測定が実現します。



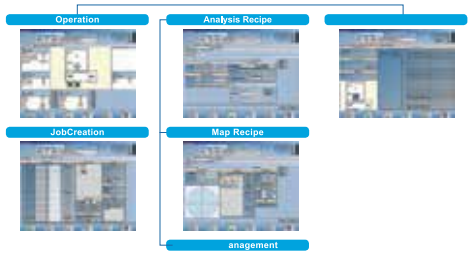
分析パッド

安全基準準拠：SEMI S2 および SEMI S8
通信規格準拠：GEM300 および SECS/GEM
品質規格：ISO 9001 および ISO 14001認証済み

左: Rigaku Auburn Hills、Michigan (USA) 右: リガク山梨工場

ユーザーフレンドリーなインターフェース

新しいユーザーインターフェースにより、運用・エンジニアリング・メンテナンスのセットアップをより迅速に行えます。



超高速X線検出器 HyPix-3000

基盤技術の開発

HyPix-3000検出器は、リガク山梨工場で製造されています。
米国ミシガン州オーバーンヒルズにあるリガクの子会社では、多層ミラーを製造しています。

X線は通常の光学ミラーでは反射しないため、モリブデンまたはシリコンを用いた約1,000層の多層膜構造により、X線を集光・反射します。膜厚を精密に制御することで入射角を調整し、目的に応じたX線光学特性を実現しています。

これらのX線ミラーは、オングストロームレベルで曲面形状を形成する独自技術に基づいて製造されており、リガクはその製造装置も自社で開発しています。

最大
200 mm
ウェーハ

XTRAIA MF-2000 システム仕様

計測タイプ
エネルギー分散型蛍光X線分析（ED-XRF）、X線反射率（XRR）、X線回折（XRD）

対応ウェーハサイズ
最大200 mm

ウェーハタイプ
ブランケットウェーハおよびパターンウェーハ

利点
製品ウェーハの高スループット測定が可能。超薄膜からミクロンオーダーの膜まで対応し、幅広い膜タイプに適用できます。

ウェーハ搬送
マガジンロボット

自動化
デュアル自動ローダーによるフルウェーハ対応

コンピュータ
外部PC、MS Windows OS

ソフトウェアユーザーインターフェース
自動キャリブレーション

X線管エネルギー
最大 50 kV、50 W

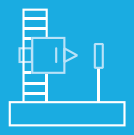
X線光学系
COLORS単色X線光学系

ビームスポットサイズ
20 ～ 85 µm

検出器タイプ
XRF用：シリコンドリフト検出器（SDD）
XRR、XRD用：フォトンカウント型検出器（HyPix-3000）

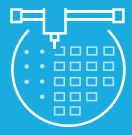
XRF検出器の分解能
123 ± 5 eV（大きな立体角を持つ）

仕様および外観は予告なく変更される場合があります。
※本カタログに記載された性能値は、リガクによる試験結果であり、他の試験条件下で再現されることを保証するものではありません。
※本カタログに記載されている会社名および製品名は、各社の商標または登録商標です。



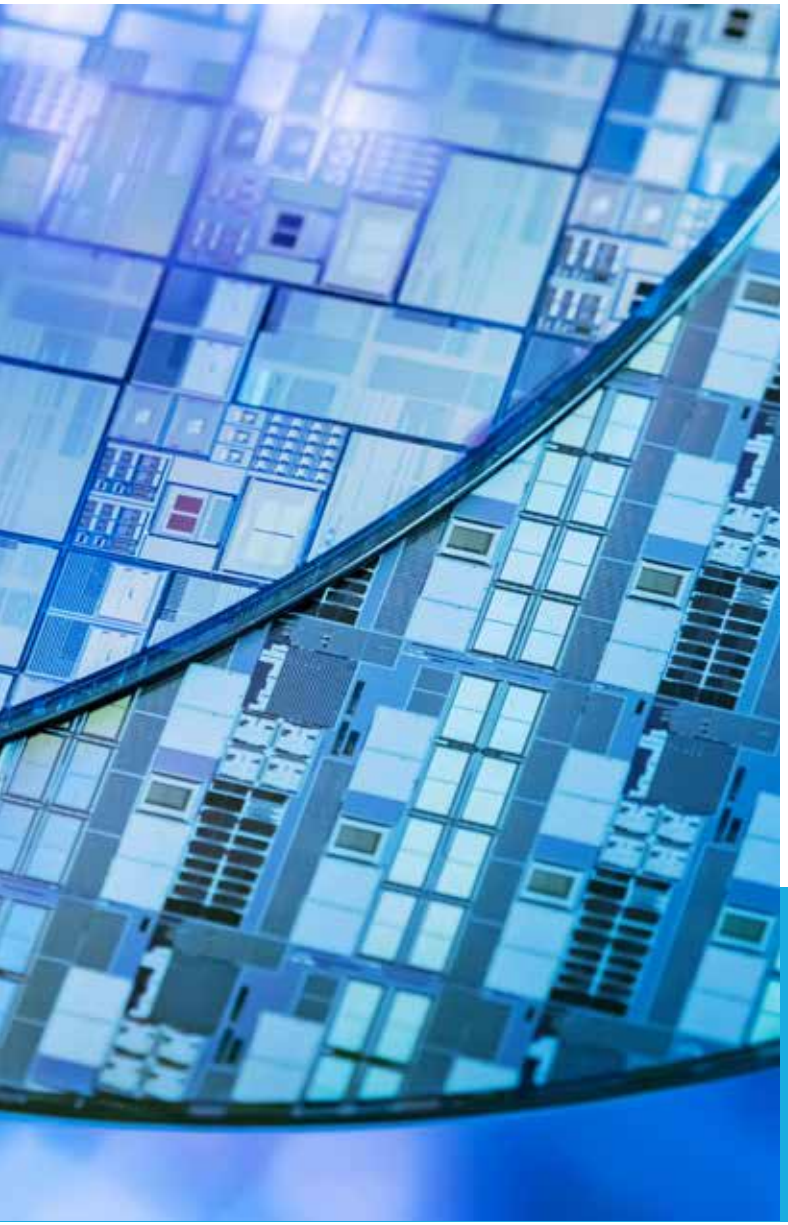
小型プラットフォームプロセス用 XRR・ED-XRF・XRD 計測ファブツール

ED-XRFによる金属膜の膜厚および組成評価



ブランケットおよびパターン金属膜の膜厚と組成

XRRによる膜厚・密度・粗さの同時評価



最大
300 mm
ウェーハ

XTRAIA MF-3000 システム仕様

計測タイプ
エネルギー分散型蛍光X線分析（ED-XRF）、X線反射率（XRR）、X線回折（XRD）

対応ウェーハサイズ
最大300 mm

ウェーハタイプ
ブランケットウェーハおよびパターン付きウェーハ

利点
マイクロスポットX線ビームとパターン認識。
超薄膜からミクロンオーダーの膜まで、幅広い材料とアプリケーションに対応した製品ウェーハの高スループット測定が可能。

ウェーハ搬送
マガジンロボット

自動化
デュアル自動ローダーによるフルウェーハ対応

コンピュータ
外部PC、MS Windows OS

ソフトウェアユーザーインターフェース
自動キャリブレーション

X線管エネルギー
最大 50 kV、50 W

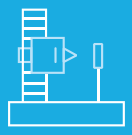
X線光学系
COLORS 単色X線光学系

ビームスポットサイズ
20 ～ 85 µm

検出器タイプ
XRF用：シリコンドリフト検出器（SDD）
XRR、XRD用：フォトンカウント型検出器（HyPix-3000）

XRF検出器の分解能
123 ± 5 eV（大きな立体角を持つ）

仕様および外観は予告なく変更される場合があります。
※本カタログに記載された性能値は、リガクによる試験結果であり、他の試験条件下で再現されることを保証するものではありません。
※本カタログに記載されている会社名および製品名は、各社の商標または登録商標です。



大量生産向けに最適化された
ED-XRF·XRR·XRD計測

ED-XRFによる金属膜の
膜厚および組成評価

マイクロスポットX線ビームとパターン認識
- 製品ウェーハの高スループット測定
- 幅広い材料とアプリケーションに対応
- オングストロームからミクロンオーダーまでの膜厚をカバーする高解像度·高精度

XTRAIA MF-3400

先端半導体の解析を支える第4世代 高速・多機能X線計測

XTRAIA MF-3400は、先端半導体製造で用いられる薄膜を高精度に解析するために設計された、リガクの最新世代マルチファンクションX線計測システムです。

実績あるMF-3000プラットフォームをベースに、測定速度、再現性、X線源強度、自動化性能を大幅に向上させています。XRR、XRD、XRFを1台に統合し、膜厚、密度、組成、結晶性、構造品質を高スループットで包括的に評価します。

高強度Cu X線源の採用、ロボット制御の高度化、リアルタイムモニタリング、耐障害性に優れた機構設計により、XTRAIA MF-3400は安定かつ再現性の高いデータを提供します。これにより、プロセス制御、量産の最適化、200 mmおよび300 mm製造環境におけるインラインモニタリングに貢献します。

XTRAIA MF-3400は、高精度なマルチモーダル評価を求める半導体ファブ向けのフラッグシップ薄膜計測システムです。既存のレシピやワークフローとの互換性を維持しながら、**MF-3000シリーズを大きく上回る性能向上を実現**しています。本プラットフォームは、研究開発から量産まで、幅広い半導体製造プロセスに最適化されています。

高強度Cu X線管
XRF信号を増強し、反射率スキャンを高速化します。

第4世代自動化プラットフォーム
検索不要のオートフォーカス、リアルタイムアーム制御、強化されたウェーハ搬送機能、高度なインターロックを搭載しました。

高スループットアーキテクチャ
MF-3000シリーズと比較して、ウェーハのサイクルタイムを40%以上高速化します。

信頼性の高いシステムモニタリング
機械的、光学的、および環境パラメータの状態を継続的にチェックし、予測可能な性能を確保します。

XTRAIA MF-3400 システム仕様

計測タイプ
エネルギー分散型蛍光X線分析（ED-XRF）、X線反射率（XRR）、X線回折（XRD）

対応ウェーハサイズ
最大300 mm

ウェーハタイプ
ブランケットウェーハおよびパターン付きウェーハ

利点
- マイクロスポットX線ビームとパターン認識機能により、薄膜からミクロンオーダーの膜まで、製品ウェーハの高スループット測定に対応（幅広い材料およびアプリケーションに適用）
- 膜厚・密度測定向け高速X線計測
- 高い再現性と優れた機械安定性
- 量産環境に対応した高度な自動化設計
- クリーンルーム対応設計

アプリケーション
- 誘電体膜、金属膜、多層膜スタックにおける膜厚・密度測定
- Hi-k誘電体、バリア膜、エピタキシャル層、ALD材料の結晶性および構造評価
- 金属膜および化合物半導体膜の組成・化学量論分析
- プロセス開発および装置マッチング向け高精度リファレンス計測
- CMP、ALD、PVD、CVD、アニールプロセスのインラインモニタリング

ウェーハ搬送
マガジンロボット

自動化
デュアル自動ローダーによるフルウェーハ対応

コンピュータ
外部PC、MS Windows OS

ソフトウェアユーザーインターフェース
自動キャリブレーション

X線管エネルギー
最大 50 kV、50 W

X線光学系
COLORS 単色X線光学系

ビームスポットサイズ
20 ～ 85 µm

検出器タイプ
XRF用：シリコンドリフト検出器（SDD）
XRR、XRD用：フォトンカウント型検出器（HyPix-3000）

XRF検出器の分解能
123 ± 5 eV（大きな立体角を持つ）

仕様および外観は予告なく変更される場合があります。
※本カタログに記載された性能値は、リガクによる試験結果であり、他の試験条件下で再現されることを保証するものではありません。
※本カタログに記載されている会社名および製品名は、各社の商標または登録商標です。

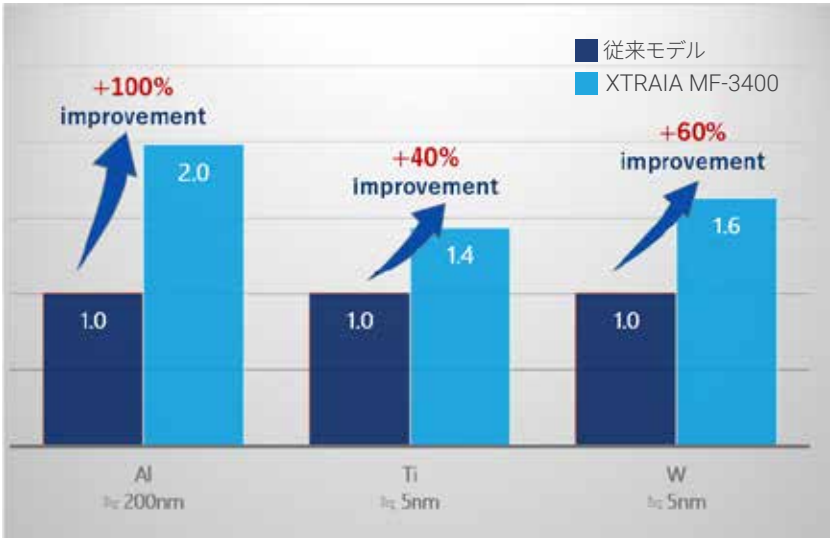
生産性を高める
XTRAIA MF-3400向け新X線管

新しいX線管の採用により、XRFではX線強度1.5倍と測定時間30%短縮を実現し、XRRではX線強度1.3倍を達成しました。測定効率とスピードを大幅に向上させます。

高スループットXRF測定

新開発のXRFシステムにより、従来装置比で40%以上のスループット向上を実現しました。高出力X線管と最適化された測定条件により、ウェーハ間で安定した再現性を確保します。精度や正確さを損なうことなく、生産性の大幅な向上に貢献します。

性能向上



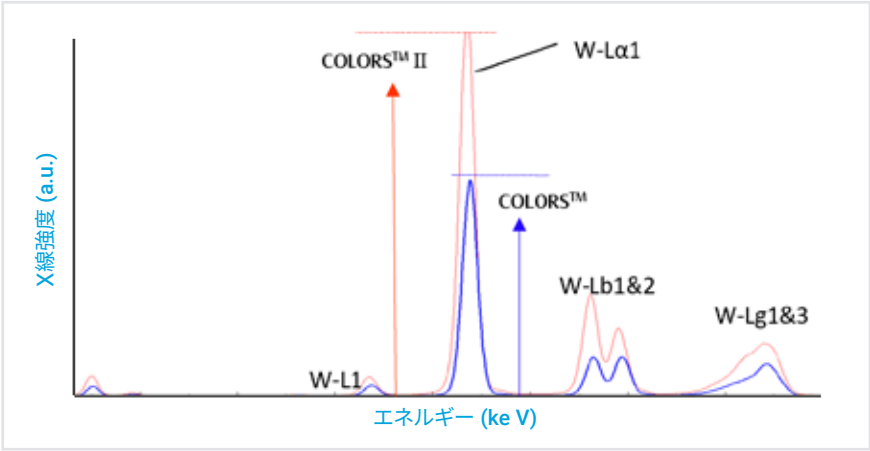
新しく追加されたX線管の一覧

		FWHM (μm)	XRF	XRR	XRD
COLORS	**Cu**	85	o	o	o
COLORS	**Au**	85	o	-	-
COLORS	**Mo**	85	o	-	-
COLORS -t	**Cu**	25	o	-	-
COLORS -t	**Au**	25	o	-	-
COLORS -t	**Mo**	25	o	-	-

COLORS II によるW層スペクトルの高精細化

- バックグラウンドノイズの低減
- ピーク分離性能の向上（W-Lα1／Lβ）
- 高いS/N比を実現

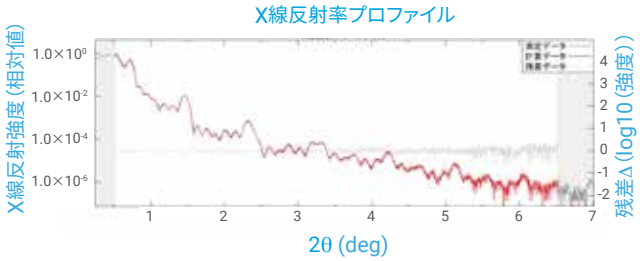
COLORSとCOLORS IIにおけるW層XRFスペクトルの比較



主な特長

高精度な薄膜解析を支えるXRR性能

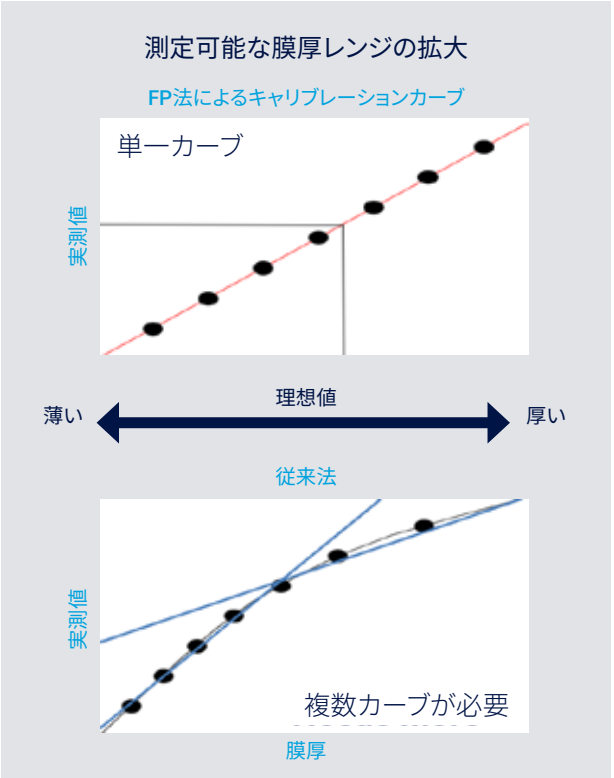
- 反射率プロファイルの高品位化
- サブÅレベルの粗さ感度
- 薄膜および多層膜スタックに対する高精度評価



層名	密度 (g/cm³)	膜厚 (nm)	粗さ (nm)
$GaAsO_3$	3.955	2.229	0.866
GaAs	5.160	8.717	0.376
AlAs	3.832	9.711	0.515
GaAs	5.139	9.545	0.565
AlAs	3.949	9.711	0.448
GaAs	5.191	9.536	0.535
AlAs	4.056	9.688	0.414
GaAs	5.32[--]	0.0[--]	0.530

多様な材料に対応するXRF FP法

- 単一カーブによるキャリブレーション
- 材料に依存しない高い測定精度
- 参照標準不要の測定

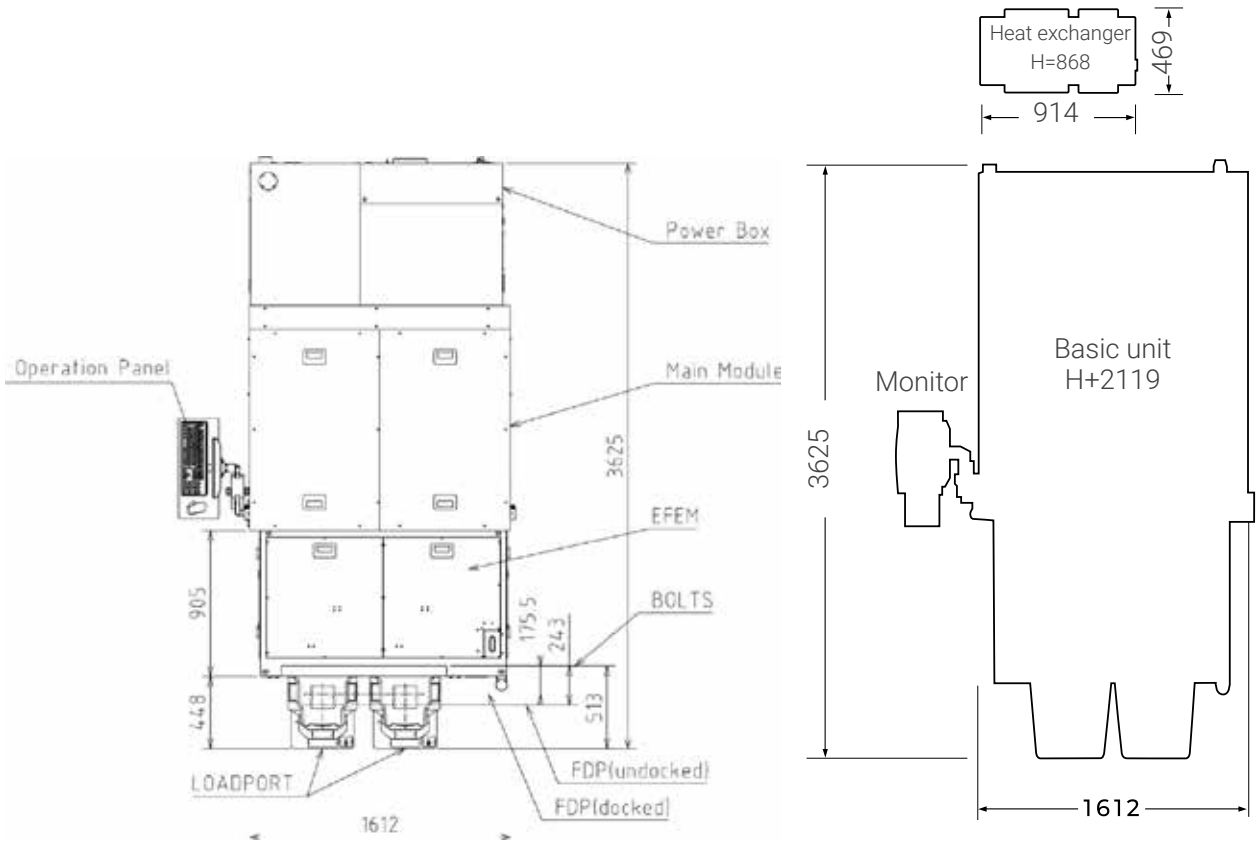


高輝度XRF・XRRによる測定性能向上

- 新しいX線源により、XRFは1.5倍、XRR/XRDは1.3倍のX線強度を実現
- 精度を損なうことなく、解析時間を短縮
- 金属膜、合金、多層構造の評価に最適

COLORS 光学ユニット	現行値		期待効果
	従来モデル	新モデル	
XRF	0.5 mA	1 mA	• XRFのX線強度1.5倍 • 測定時間30%短縮
XRR/XRD			• XRRのX線強度1.3倍 • 測定時間の短縮

設置図



単位: mm

標準的な設置レイアウト

設置要件

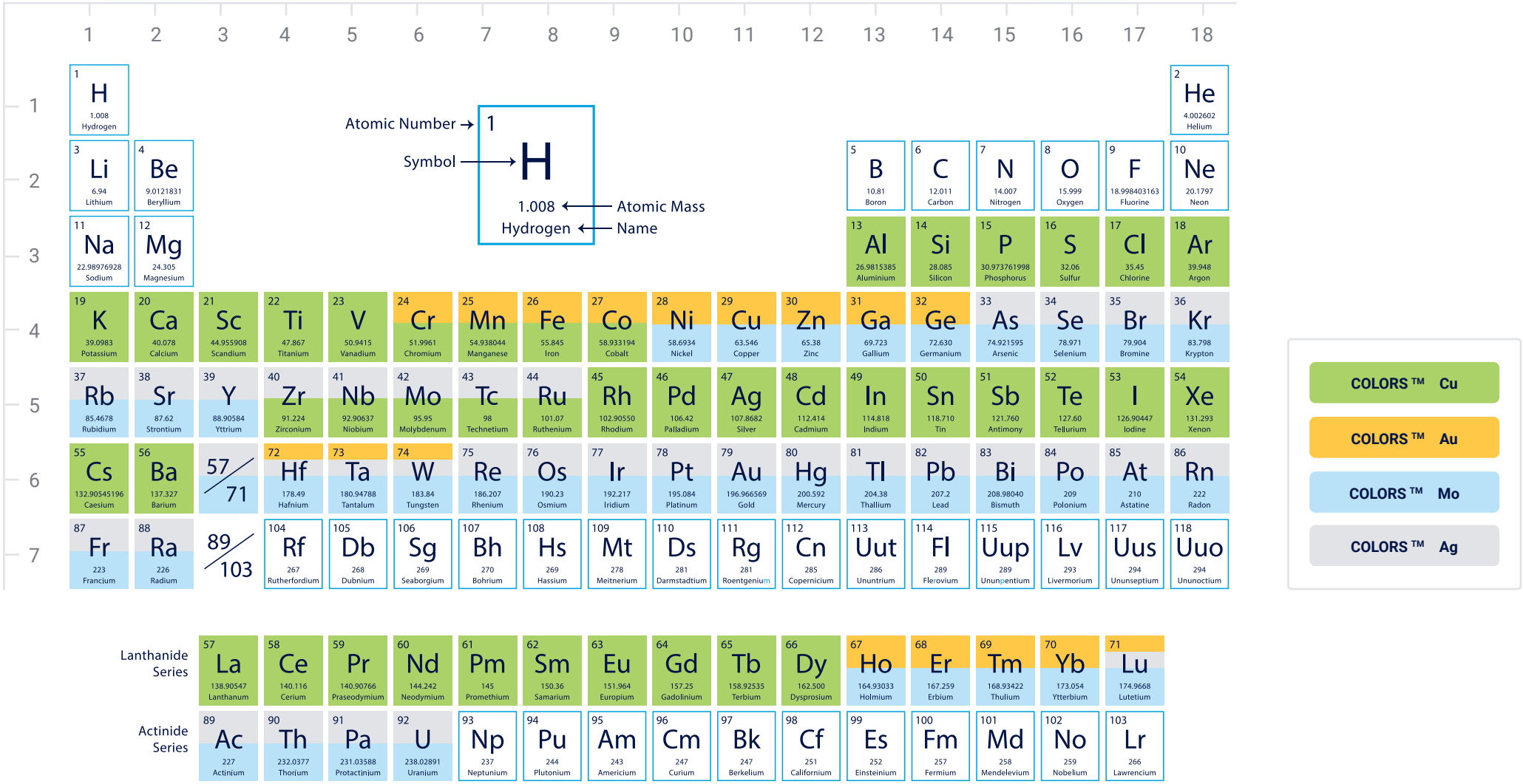
装置寸法

本体:1612(W) × 2219(H) × 3625(D) mm
熱交換器:469(W) × 868(H) × 914(D) mm

ユーティリティ

電源仕様
本体:
三相208 V、20 A、平均2 kVA
熱交換器:単相208 V、8 A、平均0.5 kVA
CDA: 0.5〜0.7 MPa、20 L/min
真空: -80 kPa、20 L/min

XTRAIA MFシリーズ対応 元素周期表



THE WORLD OF SEMICONDUCTOR
Metrology Solutions From Lab to Fab
TXRF | WDXRF | EDXRF | XRT | XRR | HRXRD | TFXRD | CDSAXS

株式会社リガク

薄膜デバイス事業部
〒198-8666 東京都昭島市松原町3-9-12
TEL：042-545-8170
FAX：042-546-1498
E-mail：seminfo@rigaku.co.jp

X 線装置設置の届出について

X 線装置の設置に際しては、下記の通り届け出が必要です。
●中央省庁：装置設置の検査終了後 30 日以内に人事院へ
●公立機関：工事開始の30日前までに各都道府県の人事委員会へ
●民間機関：工事開始の30日前までに労働基準監督署へ
詳しくは、弊社支店・営業所までお問い合わせください。
製品改良にともない、やむをえず仕様・外観などを予告なく変更させていただく場合があります。ご了承ください。

＊カタログ中に掲載されている性能上の数値は、株式会社リガクによるテスト結果であり、他の環境下で常に同様の結果となることを保証するものではありません。
＊「XTRAIA」、「HyPix」、「TFXRD」、「COLORS」は、株式会社リガクまたはその関連会社の商標または登録商標です。
＊カタログ中の社名、製品名は各社の商標および登録商標です。
＊このカタログに掲載されている製品は、外国為替および外国貿易法の安全保障輸出管理の規制品に該当する場合がありますので、輸出する場合、または日本国外に持ち出す際は、日本国政府への輸出許可申請等、必要な手続きをお取りください。

SEMI規格対応 | CE | 日本分析機器工業会規格 JAIMAS 0101-2001に適合

ISO 9001/ISO 14001 認証取得

Rigaku
視るチカラで、世界を変える

© Rigaku Holdings Corporation and its Global Subsidiaries. All rights reserved.

seminfo@rigaku.co.jp | rigaku.com

BMMF000_JAJPB1