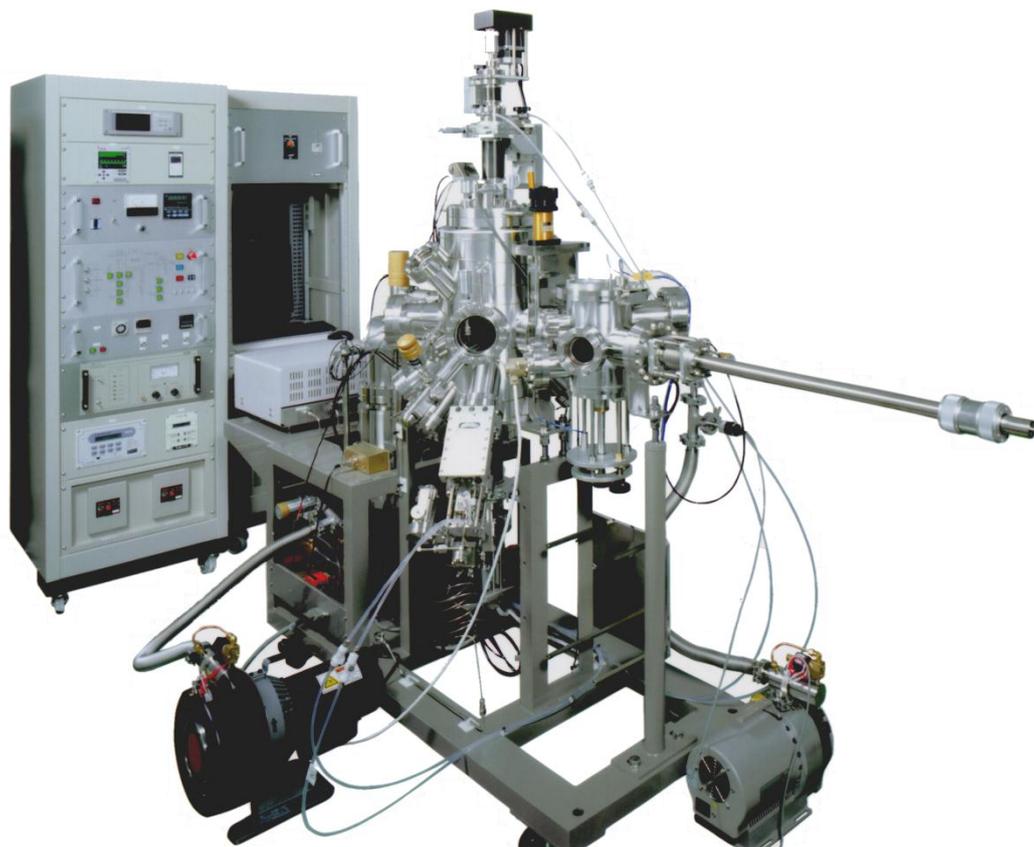


扱いやすいデザインで各種成膜条件の制御が容易

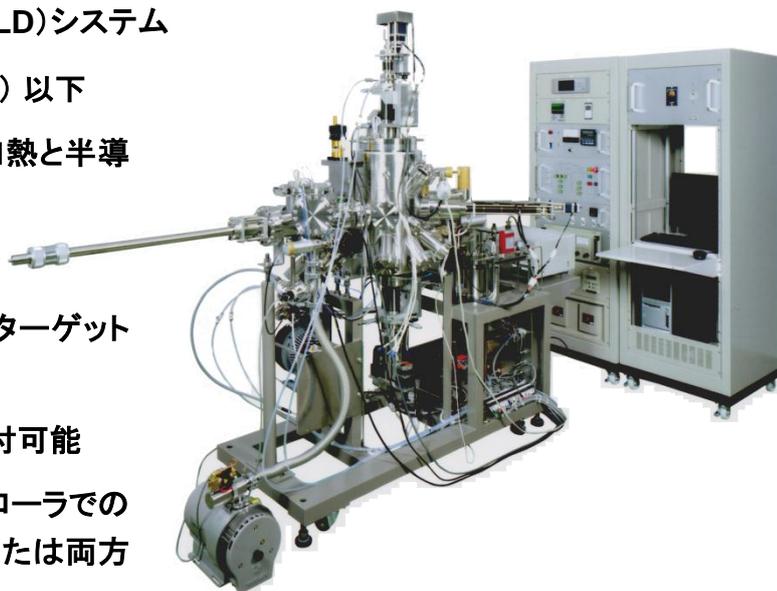
コンパクトレーザーMBE装置

PAC-LMBE



【 特 長 】

- 拡張性の高い超高真空レーザーMBE (PLD) システム
- 到達真空度 : 6.7×10^{-7} Pa (5×10^{-9} Torr) 以下
- 基板加熱ユニットとして、赤外線ランプ加熱と半導体レーザー加熱のいずれかを選択可能
- 6種類のターゲットが使用可
- ロードロック室ユニットにより、真空中でターゲットや基板を簡単交換
- オプションポート : 各種コンポーネント取付可能
- コンピュータによる完全自動制御とコントローラでのエレクトロマニュアル制御のいずれか、または両方を選択可能



株式会社 パスカル

レーザー分子線エピタキシー Laser MBE

パルスレーザーデポジション(PLD)法は、真空チャンバー内に設置した原料ターゲットにチャンバー外部からレーザー光を照射することで、ターゲットから原子(分子)の引き剥がし(アブレーション)を行いターゲットに対向する基板に薄膜を形成する成膜方法です。PLD法では、以下の条件を規定すると、従来の(クヌーセンセルを用いた)分子線エピタキシー(MBE)法と同様の精緻な結晶成長ができます。この成膜方法は、従来MBE法に倣ってレーザー分子線エピタキシー(レーザーMBE または LMBE)法と呼ばれています。

- チャンバーを超高真空中に排気、プロセス圧力も高真空領域に設定して、不純物汚染の排除と平均自由行程の確保を行う。
- アブレーションレーザー光強度、周波数、パルス数の制御により、成膜レートを1-数原子層オーダーにする。
- 作製する薄膜に対して、格子定数、方位が整合する基板を選択使用する。
- 基板温度を結晶成長に適した温度に設定する。

レーザーMBE法においても、従来のMBE法と同様に、反射高速電子線回折(RHEED)の振動が見られます。さらにレーザーMBE法では、アブレーションレーザー光強度の安定化、ターゲット表面の平滑化など理想的な条件が整えば、RHEED振動周期をレーザーパルス数で規定することができます。これは従来型MBE法よりも精密な結晶成長制御ができることを示唆しています。

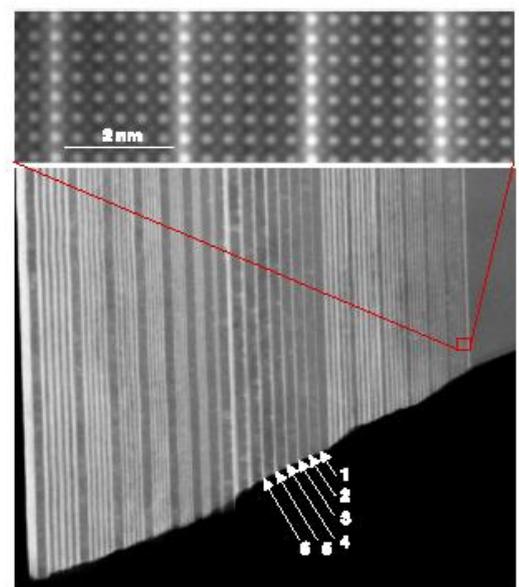
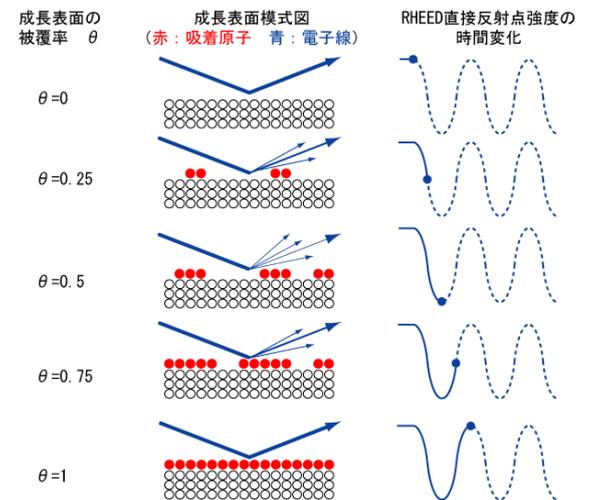
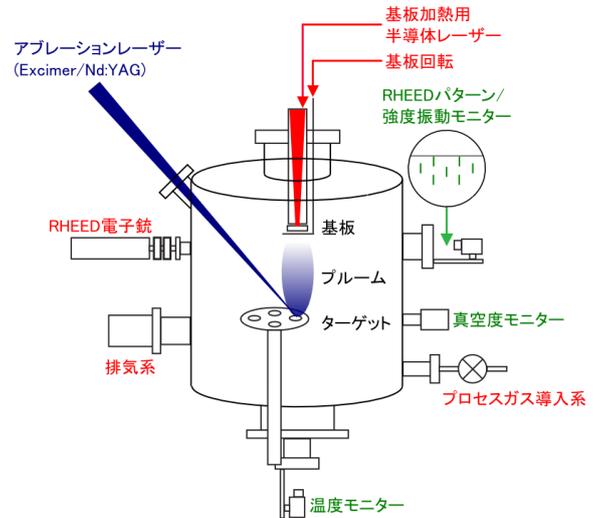
パスカルでは、1995年よりレーザーMBE法を志向した装置の開発を行ってきました。このPAC-LMBEは、PLD/レーザーMBE装置開発当初から10年以上にわたる豊富な納入実績を誇る、安定したレーザーMBE装置です。

【 PAC-LMBE 標準構成 】

- ① 成膜室および真空排気系
- ② ターゲット自公転ユニット
- ③ 赤外線ランプ基板加熱ユニット または 半導体レーザー基板加熱ユニット
- ④ ロードロック室ユニット
- ⑤ 共通仕様(フレーム、ラックおよび制御系)

【 主なオプション 】

- 各種RHEEDユニット および 画像処理システム
- コンビナトリアルマスクユニット
- マスフローコントローラ, 活性原子/ラジカルビーム源
- 高純度オゾン発生装置, オゾナイザー
- クヌーセンセル, スパッタ源
- レーザー光学系, 光学系ボックス, レーザー架台
- アブレーション用レーザー, レーザーパワーモニター
- パイロメーター, 質量分析計
- プレアニール用ヒーター(ロードロック)
- レーザー導入窓ゲートバルブ 他



レーザーMBEによる原子層オーダーの堆積制御例

透過型電子顕微鏡で観察した LaTiO₃ / SrTiO₃ 多層膜断面の明視野像

Reference: A. Ohtomo *et al.*, NATURE, VOL 419, 378 (2002)

● 基板加熱ユニット

赤外線ランプ基板加熱ユニット



本ユニットは、超高真空対応型赤外放射ランプを使用した基板回転加熱機構であり、超高真空雰囲気において基板を800℃以上に上げる事が可能となっています。プロセスガス 特に酸素中でも加熱でき、構造上酸化しにくくなっています。

- 標準ホルダで最大1.5インチ(38mmφ)、オプションホルダで最大2インチ(50mmφ)の基板サイズに対応
- 800℃以上に基板加熱を行うことが可能
- 基板ホルダは360°自由回転します。
- 酸素雰囲気下でも基板加熱が可能

半導体レーザー基板加熱ユニット



本ユニットは、半導体レーザー制御・電源モジュールから赤外線レーザー光を取り出し、光ファイバーを通して真空装置上部からレーザー光をレンズによる適度な収束の後基板裏面に照射することで、高真空中で無負荷状態の基板を最高到達温度1200℃まで加熱可能なユニットです。

- 10mm角の基板サイズに対応
- 1200℃までの広範囲の温度制御が可能
- 基板ホルダは360°自由回転します
- 急加熱、急冷却が容易
- 酸素雰囲気下での加熱・成膜に最適
- パイロメーターにより加熱温度を測定

● ターゲット自公転ユニット



ターゲットの自転およびターゲット選択のための公転などの機構を持つユニットです。本ユニットは、種類の違うターゲット材料を最大6種類入れることができ、コンタミネーション防止シールドにより、コンタミネーションの心配がありません。

また、ターゲットの選択も容易に行うことができ、さらにターゲット選択時にレーザー光が通過できるターゲットが無い空間(クリアポジション)を選択すると、レーザーパワーモニター(オプション)で、照射するレーザー光のパワー測定が簡便に行えます。

● ロードロック室ユニット

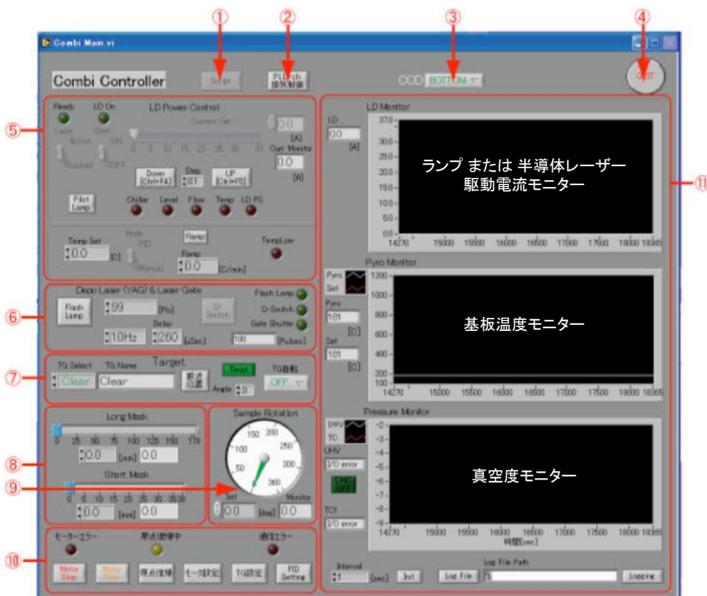
本ユニットは、ターゲット及び基板を大気に曝すことなく真空成膜室とのアクセスを可能としたロードロック室ユニットです。短時間で超高真空に排気できるポンプを備えており、一つのトランスファー機構でL/L室-真空成膜室間のターゲット及び基板の搬送を可能にしています。



プレアニリング用
ヒーター(オプション)

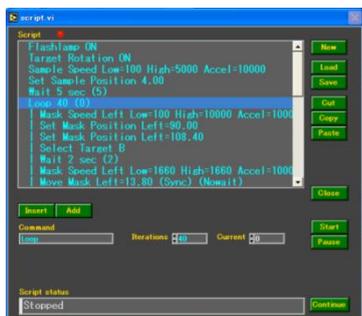
コンピュータによるプロセス自動制御

パスカルのPLD制御ソフトウェアは、PAC-LMBEの基板加熱温度、ターゲット選択、ターゲット自転・揺動、コンビナトリアルマスク位置（オプション）、基板回転などの制御に加え、アブレーションレーザーの発振なども完全同期制御が可能となっています。これにより各機能のマニュアル制御のみならず成膜レシピをスクリプトとして作成・実行することで、一連の成膜プロセスを自動で行うことができます。特にコンビナトリアルマスクとレーザー発振の同期制御を行うことにより、1枚の基板上に種々の成膜パラメータを系統的に変化させた薄膜を一括合成するコンビナトリアル成膜が実現できます。



PLD制御ソフトウェア メイン画面

① スクリプト画面切替ボタン



スクリプト画面

スクリプト画面でレシピを編集・実行することで、一連の成膜プロセスを自動で制御することができます。

② 排気制御画面切替ボタン

排気制御画面から各真空ポンプのON/OFF操作と各圧空バルブの開閉操作を行うことができます。誤操作防止のインターロック機能により、初心者でも安心してご使用頂けます。

③ CCD切替ボタン

基板搬送・マスク位置観察用CCDカメラ（オプション）の画像を表示することができます。

⑤ 基板加熱コントロール

半導体レーザー（またはランプ）出力のマニュアル制御と設定温度へのPID制御のいずれかの制御方式を選択でき、温度上昇、下降時のランプ傾斜係数も設定可能です。また、加熱電源（必要な場合はチラー等）の状態表示（温度、出力電流、エラー状態等）も行います。

⑥ アブレーションレーザー発振コントロール

レーザーゲート（シャッター）の開閉および設定したパルス数、パルス周波数でのトリガーパルスを発振することができます。

⑦-1 ターゲット選択

複数のターゲットから任意のターゲットを選択可能です。また、レーザー光が通過できるターゲットが無い空間（クリアポジション）を選択すれば、レーザー導入ポートの対向位置にあるレーザーモニターポートにレーザーパワーモニター（オプション）をセットすることで、照射するレーザー光の強度測定が簡便に行えるようになります。

⑦-2 ターゲット自転・揺動コントロール

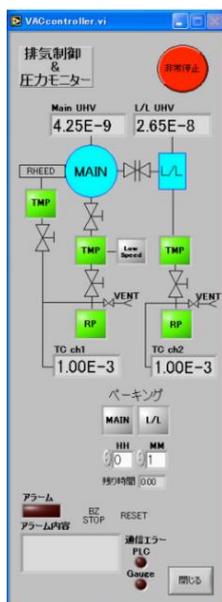
ターゲットの自転機能と揺動（Twist）機能を組み合わせることにより、成膜時にターゲット表面を均一にアブレーションすることが可能です。揺動機能のパラメータ（移動距離、スピード等）はターゲット毎に設定が可能であり、さらに、外周と中心とでスピードを変化させるによりことにより全面で均一なアブレーションを実施する事ができる傾斜揺動制御も可能です。

⑧ コンビナトリアルマスク位置コントロール

コンビナトリアルマスクユニット（オプション）のマスク位置を操作できます。数値入力だけでなくスライドバーでの操作も可能です。

⑨ 基板回転コントロール

基板回転は位置（角度）制御と連続回転の両方に対応しています。



排気制御画面

【 オプション機能 】

● ターゲットZ軸コントロール

標準付属の高さ調整付きターゲットホルダは各ターゲットの厚みに合わせてターゲット表面を一定に保ちスポット径のばらつきを抑えることができますが、消耗による厚みの変化に対しては、ターゲットホルダを一旦真空外に取り出して高さを合わせ直す必要があります。

ターゲット自公転ユニットがモータZ軸仕様(オプション)の場合、ターゲットホルダを取り出すことなくターゲットの高さを自動調整することも可能になります。

● 集光レンズ位置コントロール

ターゲットの材質によっては、照射するレーザー光をターゲット表面でフォーカスする必要があるものやデフォーカスした方が良いものなど、異なる場合があります。

レーザー光学系(オプション)の集光レンズ位置調整をモーター調整仕様(オプション)にした場合、集光レンズの位置を制御することでフォーカス位置を自動調整することが可能になります。

● アッテネーター角度コントロール

レーザー光学系(オプション)にモーター仕様アッテネーター(オプション)を追加し、レーザーモニターポートにレーザーパワーモニター(オプション)をセットすることで、アッテネーター角度制御による照射するレーザー光の強度調整が可能になります。

● プロセス圧力コントロール

プロセスガス導入部のバリアブルリークバルブ(標準)でも超高真空から中真空まで手で精密にプロセス圧力を制御することは可能ですが、アブレーション時の圧力変動への対応や、成膜プログラムとの連動などは困難でした。

プロセスガス導入部にマスフローコントローラ(オプション)を用いることで、プロセスガスの流量制御のみならずフィードバックによる自動圧力制御も可能になります。

コントローラでのエレクトロマニュアル制御



■ 基板温度コントロール

温度調節器の温度を設定することでパイロメータ(または熱電対)で観察している基板温度を設定温度に到達するよう半導体レーザー(またはランプ)の出力をPID制御します。また温度調節器で制御せずに、半導体レーザー(またはランプ)の出力をマニュアル制御して基板加熱することも可能です。

■ ターゲット自転および基板回転コントロール

回転制御つまみでターゲット自転および基板回転を回転数を制御することができます。

■ ターゲット公転コントロール

リモートコントローラでターゲットの選択および位置調整が可能です。

■ 排気系コントロール

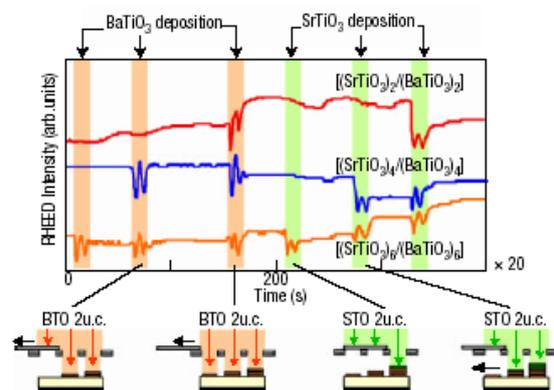
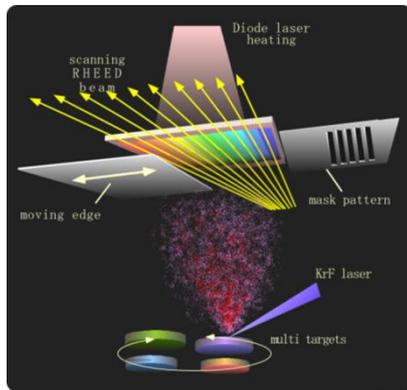
排気系操作パネルのボタン操作で各真空ポンプのON/OFFと各圧空バルブの開閉を行うことができます。誤操作防止のインターロック機能により、初心者でも安心してご使用頂けます。

主なオプションユニット

● RHEEDユニット

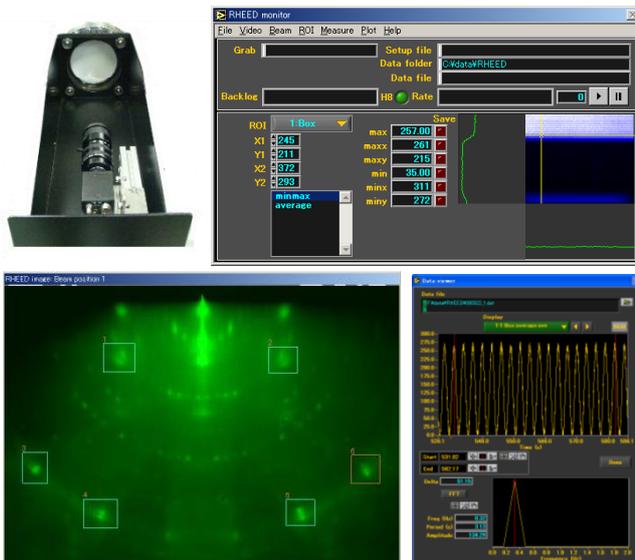
本ユニットは、超真空中で加速収束された電子線を基板に照射し、表面キャラクタリゼーションを行うための反射高速電子線回折(RHEED)システムです。コンパクトサイズでICF34フランジマウントの電子銃は、その小ささから取り付けやメンテナンスが容易になっています。また、使用する圧力や目的により3種類のラインナップから選択できます。

機種 項目	差動排気RHEED	2段差動排気RHEED	スキャンングRHEED
電子銃外観			
主な特長	<ul style="list-style-type: none"> 最大加速電圧:30kV (常用 25kV) 1Pa台まで使用可能な差動排気設計 リーズナブルプライス 	<ul style="list-style-type: none"> 最大加速電圧:30kV (常用 25kV) 2段差動排気により100Pa台での動作が可能 高圧条件下RHEED像観察用の近接対応可動スクリーン 電子ビームガイドの位置(X-Y軸, チルト)調整機構付き 	<ul style="list-style-type: none"> 最大加速電圧:30kV (常用 25kV) 1Pa台まで使用可能な差動排気設計 CCDカメラ動作と同期し制御されるスキャンコイルの付加で、同一基板面内の擬似的な多点同時観測が可能



Reference: T. Ohnishi *et al.*, Appl. Phys. Lett., Vol. 79, p536 (2001)

● RHEED画像処理システム



本システムは特殊な装置を使用することなく、CCDカメラで観察したRHEEDパターンをコンピューターに取り込むことで高機能なRHEED画像処理を実現しています。本システムを使用することによって、高精細な成膜処理が簡単にできるようになります。

- リアルタイムでRHEEDパターンの表示、強度振動モニター、データの保存ができます。
- 保存データの再読み込み、加工、テキストファイルでの保存ができ、市販の表計算ソフトウェアを利用した解析が簡単にできます。
- ユーザーフレンドリーな操作方法により、初心者でもすぐに使用可能です。

● コンビナトリアルマスクユニット

コンビナトリアル手法とは、パラレル合成により、あらゆる組み合わせの試料を一括して作製し、スクリーニングする手法であり、これによって開発効率が指数関数的に加速されることができます。パスカルでは、世界に先駆けてコンビナトリアル成膜装置を開発してきました。本機構は、矩形(三角形)でパターニングされたマスク板を、基板のごく近傍で成膜中に精密に移動させることで、組成が連続的に変化した薄膜パターンを1枚の基板面に形成することができます。



● オゾナイザー および 高純度オゾン発生装置

オゾナイザーは高純度酸素を放電によりオゾン化する装置のことを言い、これにより数%オゾンを得ることができます。

さらに、高純度オゾン発生装置は、このオゾナイザーで発生したオゾン小型冷凍機によって液化・貯蔵し、貯蔵室の温度を制御する事によって、液体オゾンを経由して高純度オゾン発生供給する装置です。液化オゾンを経由する方式のため、90%以上の高純度オゾン発生させることができます。



● 活性原子/ラジカルビーム源

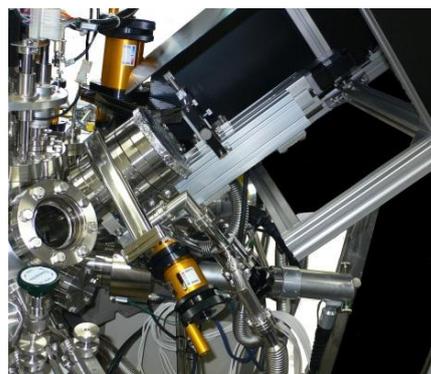


活性原子 / ラジカルビーム源は水素、窒素、酸素などのガスを導入口とRF放電によりラジカルを形成する分解室 及び 基板に照射する噴出口から形成されています。

● レーザー光学系, 光学系ボックス, レーザー架台



アブレーションレーザーからPLDIにレーザー導入するためのレーザー光学系や遮蔽ボックス、レーザー架台などに加え、メインチャンバーを真空保持したままレーザー導入窓を交換するためのレーザー導入窓ゲートバルブ、フォーカスレンズ位置を自動調整するフォーカスレンズスライド機構、レーザー強度を調整する手動アッテネータおよび自動アッテネータ、複数のPLDIに対してレーザーを切り替えるミラー切替制御など、さまざまなオプションを用意しています。



P A C - L M B E の主な仕様

成膜室および真空排気系	真空チャンバー	φ300mm x H 500mm 円柱形チャンバー (SUS304, 超純水清浄及び電解研磨)	
	到達真空度	< 6.7E-7 Pa (5.0E-9 Torr)	
	真空排気系	800L/s TMP, 237L/min RP, 圧空バルブ, 真空配管およびバイパスライン 他	
	真空計	高真空モニタ: ノードイオンゲージ (標準) / フルレンジゲージ (オプション) プロセスモニタ: キャパシタンス・ダイヤフラムゲージ 背圧モニタ: T/Cゲージ	
	ガス導入	バリアブルリークバルブ および カットバルブ (標準) マスフローコントローラ (オプション)	
	レーザー導入窓	ICF114 合成石英ビューポート 汚れ防止用シールドガラス付属 レーザー入射角度: 上方斜め45° レーザー導入窓用自動ゲートバルブ (オプション)	
ターゲット自公転ユニット	ターゲットサイズ, 個数	φ20mm x 3mmt 6個搭載	
	クリアポジション	レーザーパワーモニタ用1ヶ所	
	移動機構	Z軸: ±20mm 手動 (標準) / ステッピングモーター駆動 (オプション)	
	自転機構	ACスピードコントロールモーター駆動	
	公転機構	揺動 (Twist) 機能対応高分解能ステッピングモーター駆動	
	取付フランジ	ICF203, マスク・基板観察用 ICF70 ビューポート付属	
基板加熱ユニット	基板加熱方式	赤外線ランプ加熱 (チラーなし, 別途冷却水必要)	半導体レーザー加熱 808nm, 120W (チラー付属)
	基板サイズ	最大1.5インチ (φ38mm) (標準ホルダ) 最大2インチ (φ50mm) (オプションホルダ)	10mm角
	最高加熱温度	800°C以上	1200°C以上
	温度コンピ	不可	不可
	移動機構	Z1: ±20mm, Z2: ±10mm	Z1: ±20mm
	基板回転	ステッピングモーター駆動 (センサー付)	
ロードロック室ユニット	真空チャンバー	φ160mm x H 240mm 円柱形チャンバー (SUS304, 電解研磨処理)	
	到達真空度	6.7E-5 Pa (5E-7 Torr)	
	真空排気系	77L/s TMP, 160L/min RP, 圧空バルブ, 真空配管およびバイパスライン 他	
	真空計	高真空モニタ: ノードイオンゲージ (標準) / フルレンジゲージ (オプション) 背圧モニタ: T/Cゲージ	
	ホルダ収納	基板ホルダ: 2個, ターゲットホルダ: 4個	
	プレアニーリング用ヒーター	なし (標準) / 300°C max. (オプション)	
共通仕様	フレームおよびラック	チャンバーフレーム 一式, 電源・コントロールラック (JIS規格準拠) 一式	
	制御方式	Windows@PCによる完全自動制御 または / および コントローラによるエレクトロマニュアル制御	
ユーティリティー	電源容量	AC200V 3φ 50A, AC100V 1φ 50A	AC200V 3φ 50A, AC100V 1φ 50A AC200V 1φ 10A (レーザー加熱用チラー用)
	冷却水	水圧: 2kgf/cm ³ 以上, 流量: 20L/min以上	チラー付属のため不要
	ガス導入	ベント用1系統 および プロセス用1系統, 配管接続口: 1/4"SWG	
	圧縮空気	5kg/cm ² (圧力調整器含む)	
主なオプションユニット	R H E E D ユ ニ ッ ト	差動排気RHEED: 差動排気対応の加速電圧30kV max. (常用25kV) RHEED	
		2段差動排気RHEED: 高圧条件下でのRHEED観察に対応	
		スキヤニングRHEED: スキヤンコイルによる電子線スキヤニングで, 同一条件での多数回折が可能	
	RHEED画像処理システム	CCDカメラ, 遮蔽BOX および 画像処理ソフトウェア	
	コンビナトリアルマスクユニット	ロングマスク: 160mm ステッピングモーター駆動	
	活性ガス発生源	オゾナイザー: 数%のオゾンガスを供給可能	
		高純度オゾン発生装置: 90%以上の高純度オゾンガスを供給可能	
活性原子/ラジカル源: 酸素原子, 窒素原子, 水素原子を供給可能			
蒸着源	Kセル, スパッタ源 他		

※仕様および外観等は性能向上のため予告無く変更される場合があります。