

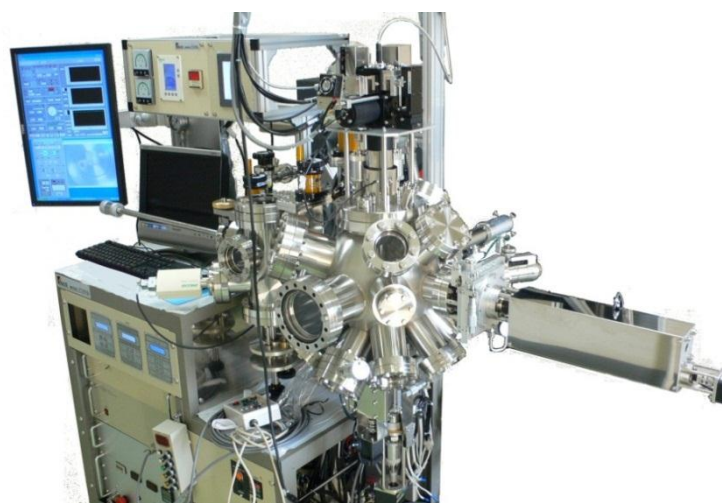
コンビができる, 小さい, 高機能, 完全PC制御
モバイルコンビレーザーMBE装置

MC-LMBE



【 特 長 】

- 操作性の高いコンパクトな超高真空レーザーMBE(PLD)システム
- 到達真空度 : 6.7×10^{-7} Pa (5×10^{-9} Torr) 以下
- モーター駆動コンビナトリアルマスクを2枚を装着
- 1200°Cまで加熱可能な半導体レーザー基板加熱ユニット
- 6種類のターゲットが使用可
- スキャニングRHEEDを標準装備
- 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
- 完全コンピュータ制御



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。

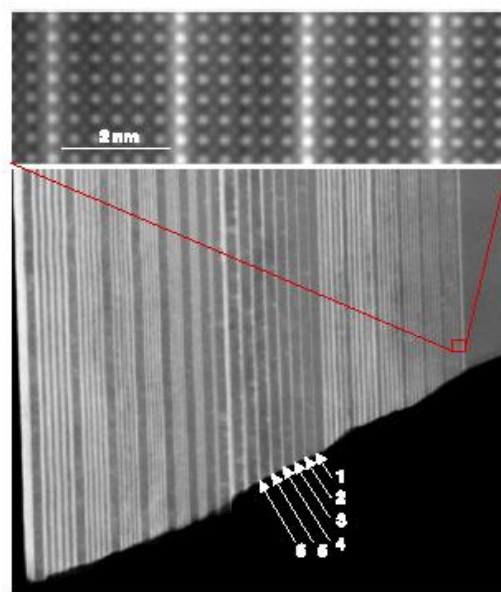
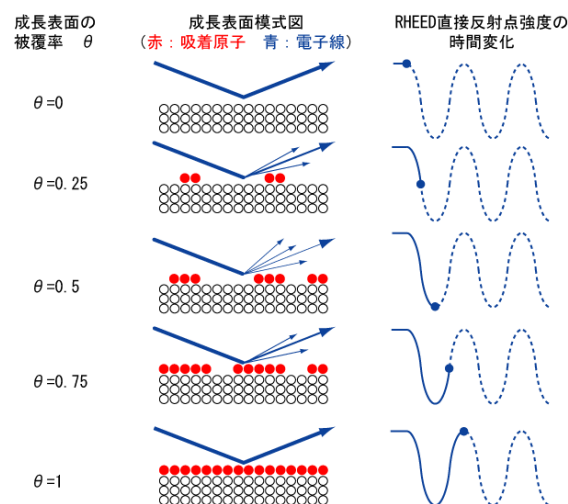
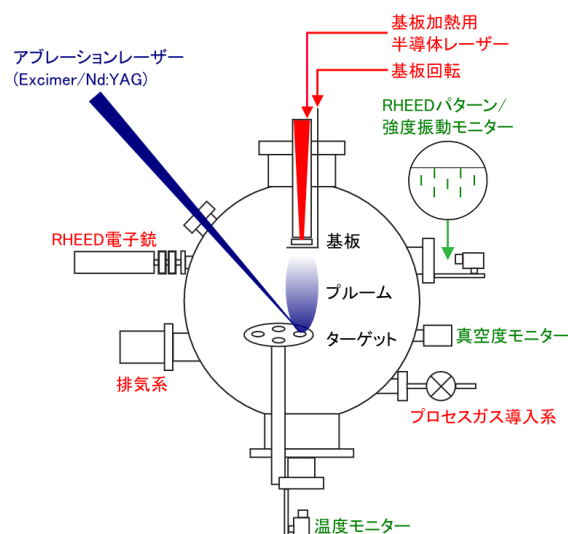
パスカルでは、1995年よりレーザーMBE法を志向した装置の開発を行ってきました。このMC-LMBEは、10年以上の装置開発と納入実績により培われたノウハウを極限まで凝縮した、至高のレーザーMBE装置です。

【 MC-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 半導体レーザー基板加熱ユニット
- ④ コンビナトリアルマスクユニット
- ⑤ スキャンングRHEED, 画像処理システム
- ⑥ ロードロック室ユニット
- ⑦ 共通仕様(フレーム, ラックおよび制御系)

【 主なオプション 】

- 赤外線ランプ基板加熱ユニット
- 2段差動排気RHEED, 差動排気RHEED
- 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

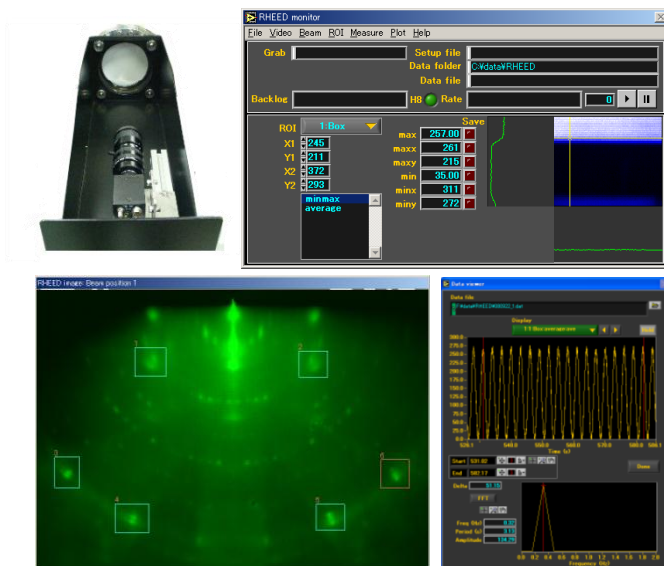
Reference: A. Ohtomo et al., NATURE, VOL 419, 378 (2002)

● 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	スキャニングRHEED (標準)	差動排気RHEED (オプション)	2段差動排気RHEED (オプション)
電 子 銃 外 観			
主 な 特 長	■ 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	■ 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	■ 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

● RHEED画像処理システム

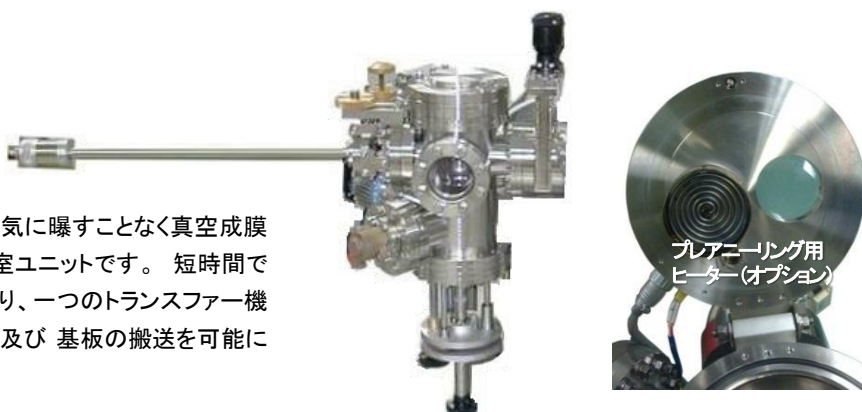


本システムは特殊な装置を使用することなく、CCDカメラで観察したRHEEDパターンをコンピューターに取り込むことで高機能なRHEED画像処理を実現しています。本システムを使用することによって、高精細な成膜処理が簡単にできるようになります。

- 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。

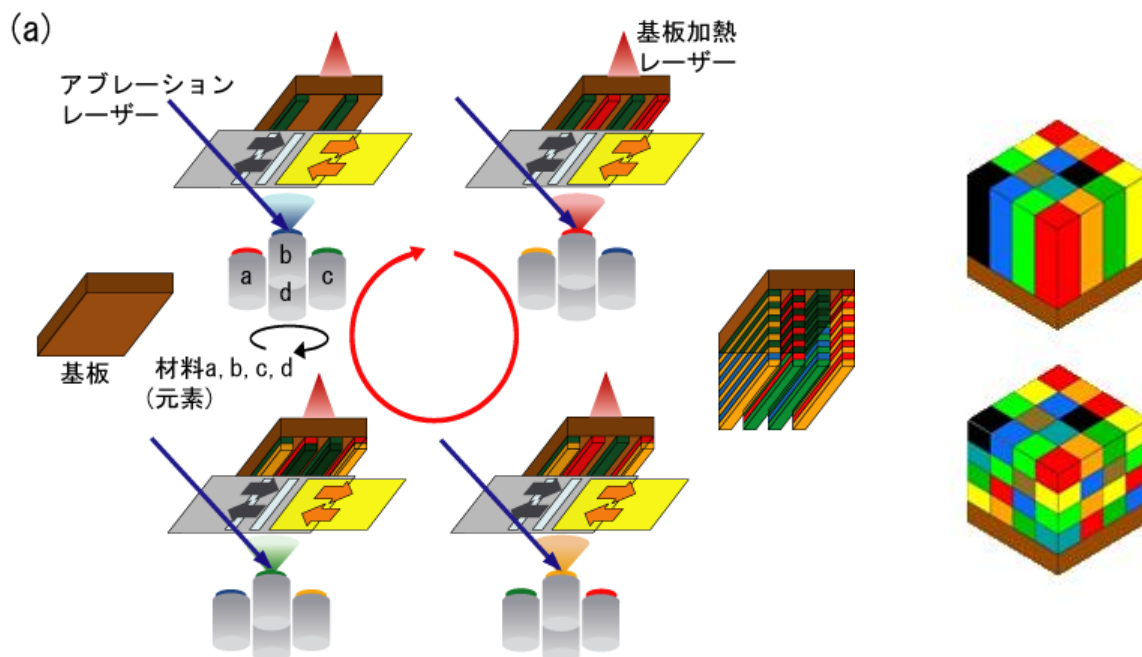
● ロードロック室ユニット

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。短時間で超高真空中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。

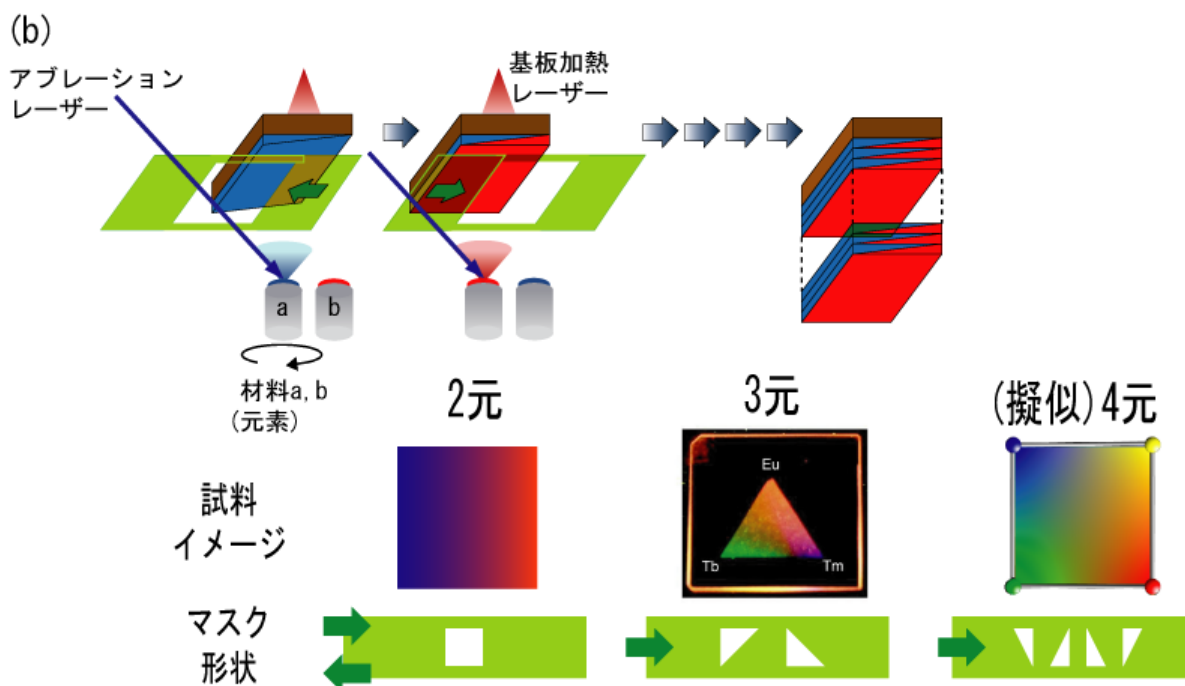


コンビナトリアル成膜技術

医薬・製薬においては、もう避けて通ることのできないコンビナトリアルケミストリー。これは、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ました。これを薄膜合成に応用しない手はありません。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。その経験を生かして、皆さまの薄膜合成をお手伝いします。



- 矩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、微小領域に区切られた薄膜パターンを1枚の基板面に形成することができます。



- 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。

● 半導体レーザーを用いた基板加熱

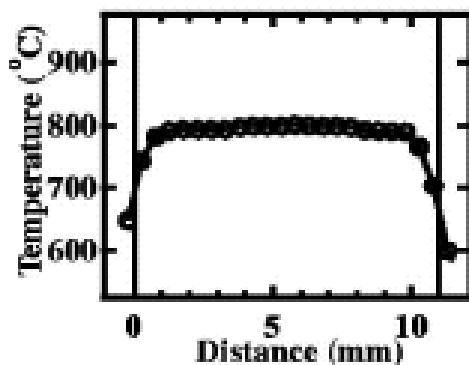
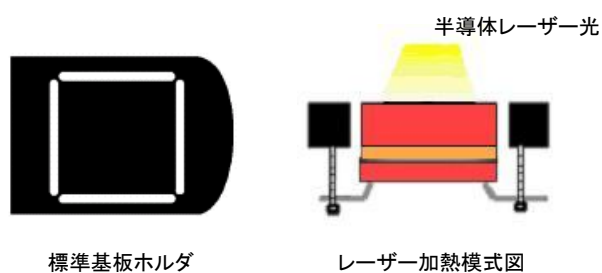
基板の裏面から半導体レーザー光を照射して基板を加熱

- 1200℃までの広範囲の温度制御が可能
- 急加熱、急冷却が容易
- 酸素雰囲気下での加熱・成膜に最適
- パイロメーターを用いて加熱温度を測定
- 基板に温度勾配を付けることで、成長温度の異なるコンビナトリアル成膜が可能

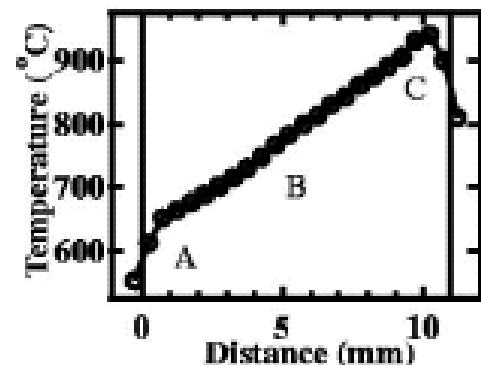
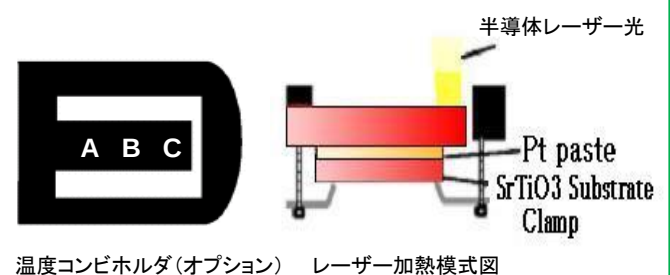
(基板位置の温度分布を測るには標準パイロメーターとは別に基板測温用パイロメータ(オプション)が別途必要になります)



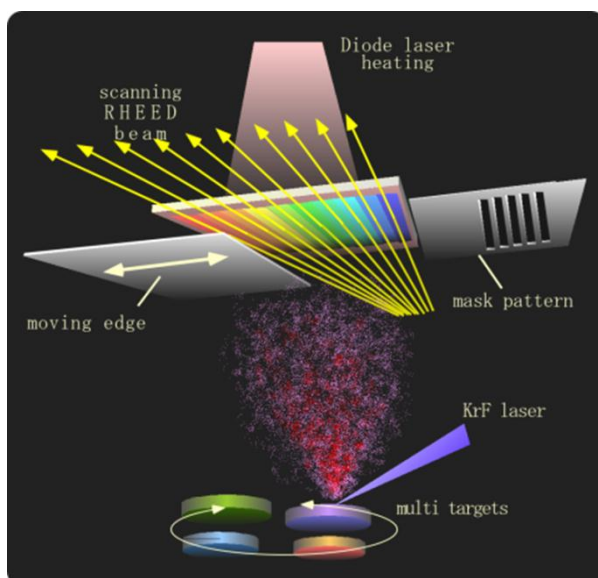
均一加熱時の温度分布



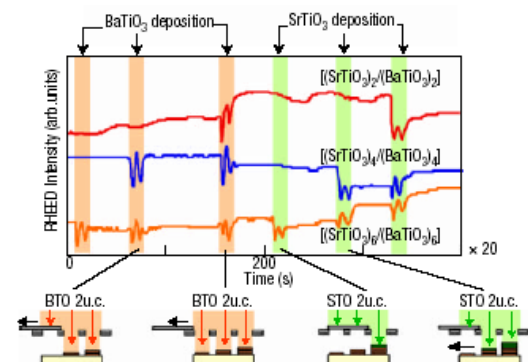
温度傾斜加熱時の温度分布



● スキャニングRHEEDによるコンビナトリアル成膜評価



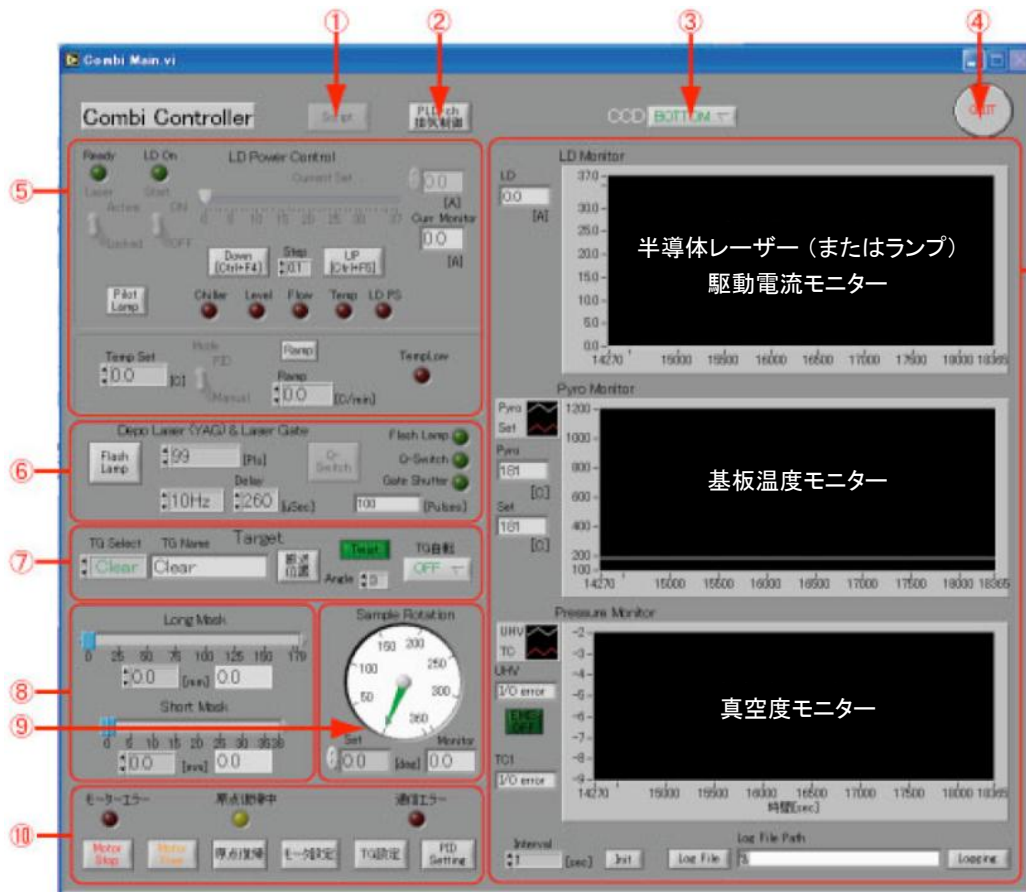
コンビナトリアル成膜された基板をRHEEDによる成膜評価を行うためには、電子ビームが基板面内をスキャンできる機能が必須となります。スキャニングRHEEDは、スキャンコイルで入射電子ビームを平行スキャンさせることができるため、コンビナトリアル成膜中の結晶成長状態をin-situ評価することが可能です。



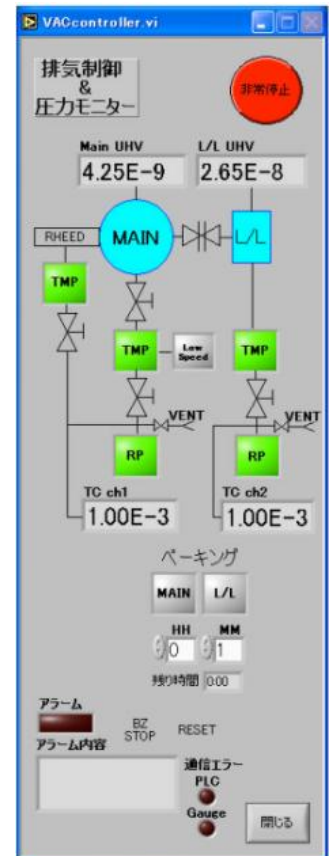
Reference: T. Ohnishi *et al.*, Appl. Phys. Lett., Vol. 79, p536 (2001)

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、MC-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、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。

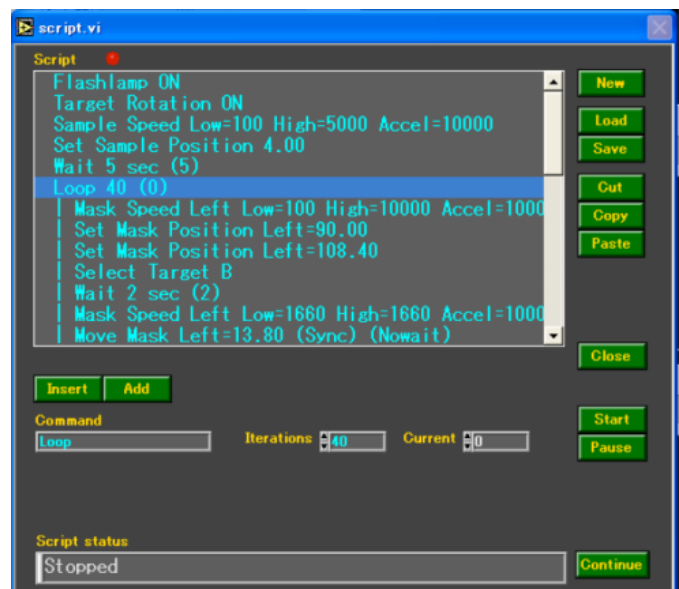


PLD制御ソフトウェア メイン画面



排気制御画面

- ① スクリプト画面切替ボタン
- ② 排気制御画面切替ボタン
- ③ CCD切替ボタン
- ④ 終了ボタン
- ⑤ 基板加熱温度コントロール
- ⑥ アブレーションレーザー発振コントロール
- ⑦ ターゲット選択 および 自転・揺動コントロール
- ⑧ コンビナトリアルマスク位置コントロール
- ⑨ 基板回転コントロール
- ⑩ 補助操作部
- ⑪ モニター・ログ操作部



スクリプト編集・実行画面

【 主な機能 】

● 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。

● 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。

● 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。

● 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。

揺動(Twist)が一定速度でレーザー周期の場合、外周側ほど面積が広いため、中心部がより多く照射され、結果として中心部が深くえぐれるすり鉢状態になってしまいます。それによりブルームの立ち方がターゲット位置によって変化し、均一なアブレーションの妨げとなります。これに対して、傾斜揺動(Twist)機能は外周と中心とでレーザー照射時間を制御することによって均一なアブレーションを実施できます。

● 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。

● コンビナトリアルマクス位置コントロール

ショートマスクとロングマスクの2枚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。

【 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中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よいものなど、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。

● バルブ開閉コントロール

MC-LMBEのゲートバルブ、アングルバルブはすべて手動ですが、排気系のバルブを圧空仕様(オプション)にすることで、排気制御画面から各バルブの開閉操作をすることができます。真空ポンプのON/OFF操作と併せた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るようになります。

M 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	φ260mm 球形チャンバー (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	250L/s TMP, 237L/min RP, 手動バルブ, 真空配管およびバイパスライン 他		
	真 空 計	高真空モニタ：ヌードイオンゲージ (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° レーザー導入窓用手動ゲートバルブ (オプション)		
ターゲット自公転ユニット	ターゲツトサイズ, 個数	φ20mm x 3mm 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 ャ ッ ト	基 板 加 熱 方 式	半導体レーザー加熱 (標準) 808nm, 120W (チラー付属)	赤外線ランプ加熱 (オプション) (チラーなし、別途冷却水必要)	
	基 板 サ イ ズ	10mm角	10mm角	
	最 高 加 熱 温 度	1200℃以上	800℃以上	
	温 度 コ ン ビ	1枚の基板上で200℃以上の温度勾配可能	不可	
	移 動 機 構	Z1：±10mm	Z1：±5 mm	
	基 板 回 転	ステッピングモーター駆動 (センサー付)		
コンビナトリアルマスクユニット	シ ョ ー ト マ ス ク	X1: 0~20mm ステッピングモーター駆動		
	ロ ン グ マ ス ク	X2: 0~160mm ステッピングモーター駆動		
R H E E D ユ ニ ャ ッ ト	R H E E D 種 類	スキャニングRHEED (標準)	差動排気RHEED (オプション)	2段差動排気RHEED (オプション)
	R H E E D 電 子 銃	ICF34マウントタイプ 最大加速電圧：30kV (常用25kV)	ICF34マウントタイプ 最大加速電圧：30kV (常用25kV)	ICF34マウントタイプ 最大加速電圧：30kV (常用25kV)
	電子ビームガイド位置調整	なし	なし	X-Y軸, チルト
	蛍 光 ス ク リ ー ン	ICF152用固定スクリーン	ICF152用固定スクリーン	近接対応可動スクリーン
	使 用 可 能 圧 力	< 1 Pa	< 1 Pa	< 100 Pa
	真 空 排 気 系	77L/s TMP 他	77L/s TMP 他	77L/s TMP x2, RP 他
	ス キ ャ ン コ イ ル	走査型スキャンコイル	なし	なし
RHEED画像処理システム	シ ス テ ム 構 成	CCDカメラ, 遮蔽BOX および 画像処理ソフトウェア		
ロードロック室ユニット	真 空 チ ャ ン バ ー	φ114mm x H 250mm 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, 手動バルブ, 真空配管およびバイパスライン 他		
	真 空 計	高真空モニタ：ヌードイオンゲージ (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		
	ブレアニーリング用ヒーター	なし (標準) / 300℃max (オプション)		
共 通 仕 様	フ レ ー ム お よ び ラ ッ ク	電源・コントロールラック (JIS規格準拠) 一体型チャンバーフレーム		
	制 御 コ ン ピ ュ ー タ	Windows®PC (液晶ディスプレイ, キーボード, マウス付属)		
ユ ー テ ィ リ テ ィ ー	電 源 容 量	AC200V 3φ 50A, AC100V 1φ 50A AC200V 1φ 10A (レーザー加熱用チラー用)	AC200V 3φ 50A, AC100V 1φ 50A	
	冷 却 水	チラー付属のため不要	水圧：2kgf/cm3以上, 流量：20L/min以上	
	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		

※ 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。



株式会社パスカル

本 社
 関東営業所
 札幌出張所
 <URL>

〒545-0011 大阪市阿倍野区昭和町1丁目16番4号
 〒352-0001 埼玉県新座市東北2丁目34番14号
 〒004-0865 札幌市清田区北野5条3丁目12番8号
<http://www.pascal-co-ltd.co.jp>

TEL: 06-6626-1321 FAX: 06-6626-1323
 TEL: 048-476-8741 FAX: 048-476-8713
 TEL: 011-883-0115 FAX: 011-883-0323
 <e-mail> pascal@pascal-co-ltd.co.jp