

マスクレス露光装置による微細構造の直接描画

キーワード：MEMS 微細加工、フォトリソグラフィ、フォトマスク、レーザー描画、マスクレス露光

はじめに

集積回路や MEMS (Micro Electro Mechanical Systems) デバイスの製造における微細構造のパターニングにフォトリソグラフィが広く用いられています。フォトリソグラフィは光を用いて、フォトマスク上の微細パターンを対象試料に転写する加工技術です。簡単な CMOS 集積回路でも 10 枚以上、MEMS センサデバイスでも少なくとも 4、5 枚のフォトマスクを用いたフォトリソグラフィの工程を要します。フォトリソグラフィでは 1 枚のフォトマスクから同一のパターンを何度でも加工することができるため、大量生産工程においては有用ですが、少量で改良を繰り返す研究開発段階においては非効率です。研究開発段階では、1 件ごとにパターンを直接描画することで、経済的にも効率的な加工が可能となります。

当研究所では、デジタルマイクロミラーデバイス (DMD) を用いたマスクレス露光装置 (Heidelberg, MLA150) を導入しています。ここでは装置の主な構成や仕様、微細パターンの直接描画の実例を紹介します。もちろん本装置を用いてフォトマスクを作製することも可能です。

マスクレス露光装置の仕様

本装置はレーザー光源、光学系、DMD、基板ステージからなる装置本体とオペレーション用ソフトウェアから構成されます。DMD は数百万の微小なミラーで構成されており、個々のミラーの角度を調整することで入力した微細パターンの像を表示することができます。図 1 に装置本体の外観を示します。DMD に表示されたパターンは、光学系を通過してきたレーザー光によって試料基板に映し出されます。基板ステージを 2 次元的に高精度に走査することで、基板上に微細パターンを描きます。パターンを一本のレーザー光線を用いて描くラスタースキャン法とは異なり、面で露光することで高速な描画が可能であることが本装置の最大の特徴です。本装置の主な仕様を表 1 に示します。

空気圧によるオートフォーカス機能を採用しており、透過率の高いガラス材料などあらゆる試料基板に対応しています。また、露光面を撮影するカメラ

が搭載されており、PC 画面上で露光プロセスのモニタリングや高精度な位置合わせが可能です。

描画データは、半導体業界で一般的によく用いられる GDSII 形式や汎用的な DXF 形式などで作成した CAD ファイルを直接取り込むことができます。また、描画パターンの模式図をいただければ、当研究所研究員が依頼加工 (O318 マスク設計) として描画データを作成します。



図 1 装置本体の外観

表 1 マスクレス露光装置の主な仕様

光源	固体レーザー 波長 375 nm
基板	最大 7 インチ角 または 8 インチ円 厚さ 0.1 - 12 mm
最大描画領域	150 mm×150 mm
最小線幅	1.2 μm
アライメント露光	重ね合わせ/両面合わせ
アライメント精度	0.5 μm/1.0 μm
最大描画速度	500 mm ² /min

微細パターンの直接描画

今回は露光部分が現像液で溶解するポジ型フォトリソグレイブ(OFR-800, 23 cp, 東京応化)を用いました。シリコンウェハ上にレジストを 3000 rpm でスピコートし、ホットプレートで 110 °C、5 分間プリバークしました。マスクレス露光装置でテストパターンを描画し、現像液(NMD-3, 東京応化)に約 1 分間浸漬することで現像した後の顕微鏡写真を図 2 に示します。線幅約 2 μm の縦横斜めの直線、および曲線が精度よく描画されていることがわかります。

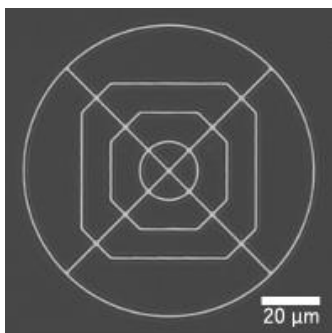


図 2 テスト露光パターンの顕微鏡写真

図 3 に 1.0、1.2、1.5 μm のライン・アンド・スペースのテストパターンを露光、現像した結果を示します。いずれも露光により現像時にレジストが溶解した部分と、露光されずレジストが残った部分の縞模様が観察できます。ただし、露光部分が若干広がることに注意が必要です。これは現像液によるウェットプロセスが原因と考えられます。

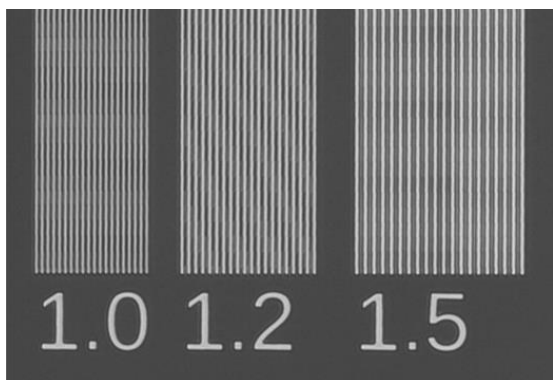


図 3 ライン・アンド・スペース (1.0、1.2、1.5 μm) の露光パターンの顕微鏡写真

高精度な重ね合わせ露光

MEMS デバイスなどの製造において、配線や機能性薄膜を何重にも積層して回路や構造体を形成します。小型化、高品質化のためには、積層のアライメント精度が重要となります。本装置では、搭載したカメラを用いて、基板上的のアライメントマークを自動的に検出することで重ね合わせ露光が可能です。

重ね合わせ露光の例を図 4 に示します。図 4(a)は露光パターンの設計図で赤色領域が 1 層目の露光部分、青色領域が 2 層目の露光部分です。1 層目の露光、現像後の顕微鏡写真を図 4(b)に示します。その後、4 点のアライメントマークを基準に、2 層目の重ね合わせ露光を行い、現像した顕微鏡写真を図 4(c)に示します。精度よく重ね合わせ露光ができていくことがわかります。

また、ステージ下部にもカメラが搭載されており、表面に形成したアライメントマークに合わせて裏面にパターンを描画する両面合わせ露光も可能です。

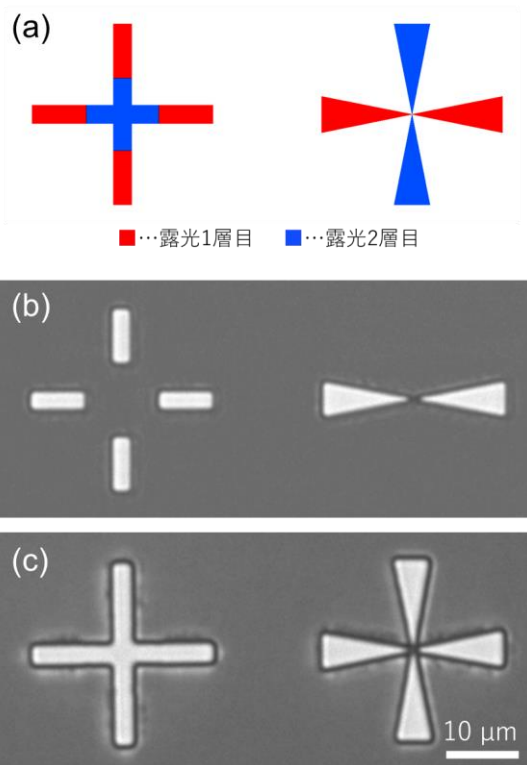


図 4 重ね合わせ露光 (a) 設計図 (b) 1 層目現像後 (c) 2 層目現像後の顕微鏡写真

まとめ

本マスクレス露光装置を用いることで、フォトマスクを用いることなく、試料基板に微細なパターンを直接描画することができます。少量で改良を繰り返す研究開発において、迅速かつ高精度なプロセスを実施できます。φ4 インチ程度の領域であれば、一般的なレジストで 10~20 分程度、厚膜レジストでも 1 時間程度で描画が完了します。描画後すぐに、成膜やエッチングなどの工程へと進めることができますので、1 日のうちに、当研究所の他の装置と組み合わせたご利用も可能です。お気軽にお問い合わせください。

発行日 2024 年 11 月 1 日
作成者 電子・機械システム研究部 電子デバイス研究室 山根 秀勝
Phone: 0725-51-2584 E-mail: yamane.hidemasa@orist.jp