

電子線描画装置 (2003 年度購入)

電気電子工学科・バイオエレクトロニクス研究室 鈴木 誠 一

電子線描画装置(日本電子(株)製 JSM-6360 / (株)東京テクノロジー製 BEAM DRAW) は、シリコンなどの材料をフォトレジストを用いてパターンニングする際に、電子線を用いてレジストに直接微細なパターンを描画するための装置です。従来 IC の製作には光を用いて微細なパターンを形成する、フォトリソグラフィ技術が用いられてきました。これは写真製版と同じ原理で、写真フィルムや乾板の代わりにフォトレジストと呼ばれる感光性の保護膜を、フォトマスクと呼ばれるパターンの原稿を通して露光し、任意の形状で平面状の加工パターンを作り出すものです。しかし、光の波長は約 $0.5\mu\text{m}$ 程度で、それよりも小さいパターンを作ろうとしても光の波の干渉でパターンがぼけてしまうため、波長より細かいパターンを描くことは理論上不可能です。そこで現在の高密度 LSI においては光の波長よりもさらに細かいパターンを描くために X 線や電子線などのより波長の短い波が用いられています。電子線描画装置は光の代わりに電子ビームを用い、それを電気的に曲げることでスキャンしパターンを描く装置で、最高で $0.1\mu\text{m}$ 程度の精度で平面基盤を加工することができます。

今回購入した JSM-6360 / BEAM DRAW は、電子顕微鏡、ビームドロワー装置、パターン作成用コンピュータから構成されています。実際に電子線による描画を行うのは電子顕微鏡部分ですが、通常の走査型電子顕微鏡の鏡筒(図 1)に、 x, y それぞれの方向を受け持つ偏向用電極のペアを設置し、そこに電圧を印加することで任意の位置にビームをスキャンし、パターンを描くことを可能にしています。また偏向電極とは別にブランキング電極と呼ばれる電極を設置し、高速で印加電圧をスイッチングすることでビームを描画領域からはずし、ビームの ON・OFF を行っています。これら偏向電極への印加電圧をコンピュータ制御することで、ステージ上の任意の位置

に描画が可能で、ベクトルスキャンによりコンピュータ上に作画された図形を、試料にコートされたフォトレジスト上に高速で描画することもできます。しかし、ベクトルスキャンではわずかながら存在する偏向の履歴現象によって、描画ごとに相対位置が



図 1 電子線描画装置の鏡筒部分。左側の筒状部分が電子顕微鏡の鏡筒で、下部にサーボ制御されたステージが置かれている。中央部はビーム制御用エレクトロニクス。右が電子顕微鏡のモニターおよび制御卓。

変わり描画精度が低下するため、全体に精度の高い描画が必要な場合には、ラスタースキャンで描画を行います。電子ビームの電流値、フォーカス、スティグメーションなどの基本的なビーム制御は電子顕微鏡の制御用コンピュータと制御卓上のダイヤルの両方から調整可能で、それにより走査型電子顕微鏡としても動作します(図 2)。

一方、ビームドロワー装置は顕微鏡に設置した偏向電極、ブランキング電極、ステージの動作制御を行う部分です。描画動作時は電子顕微鏡自体の制御も行い、電子ビームの電流値を調整することで、電子線の露光量とスポットサイズを制御します。



図2 電子顕微鏡操作モニターと描画装置の作図用モニター。右のモニター上で図形の作図からレジストへの描画条件の設定、描画作業までを制御することができる。

パターン作成用コンピュータは通常のラップトップコンピュータで、市販の CAD ソフトを搭載して必要な図形を製作することができるようになっています。さらにこのコンピュータ上からビームドロー装置を操作することで、作成した図形を電子線により描いていきます。

電子線のスキャンだけなら最大で1フィールド10mm×10mmの領域にパターンを描くことができますが、あまり大きな偏向はビームプロファイルと偏向位置の歪みを引き起こし、やはり図形の精度が下がってしまいます。また、1フィールドを10000×10000ピクセルのドット情報として管理し、各ドットに対する電子線の露光量を制御して描画するため、フィールドが大きくなると位置制御の精度が低下します。そこで高精度の描画では5mm×5mm以下の領域で描画を行い、それ以上の大きさのパターンを描く場合、ステージを移動して複数のフィールドに対してつなぎ描画を行います。試料を置くステージはステッピングモーターでサーボ制御され、 μm オーダーの再現性で位置を制御しています。この高精度の位置精度を持ってステージを移動することにより、フィールドをつなぎ合わせて数cm角の領域に描画することが可能です。ステージ移動の際にはフィールド間の位置あわせを行っていますが、ステージ自体の位置制御精度とフィールド上の周辺部の歪みにより、2-3 μm 程度のズレが生じます。

描画速度はレジストを感光させるに足る電子線のドーズ量で決まりますが、通常1フィールドあたり数分で描画することができるため、コンピュータで

設計し直したパターンを非常に短いタイムスパンで実際の流路、回路などの設計に反映させることができます。従来のフォトリソグラフィーでは写真製版でマスクを製作していたため、パターンの変更からプリント出力、フィルムへ転写、現像の繰り返しで時間的にも資源的にも多くの無駄が生じていました。しかし本装置ではパターンをコンピュータ上で製作し、直接描画することができるため設計の変更が容易であり、さらに高精度な描画を実現したものであり、研究開発用の平面微細加工には理想的な装置です。

パターンサイズが小さくなるため等方性エッチング技術では十分なアスペクト比が確保できず、特別な方法をとらないと流路などの形成は難しいため、何らかの異方性エッチング技術が必要になるとは思われますが、この装置を用いれば、ガラス、シリコンなど様々な材料の平面基板上に、nmサイズの構造を形成することが可能です。我々はこの装置を使ってシリコン基板上にナノサイズの流路を形成し、流路内での分子の反応や振る舞いを調べることで、ナノリアクターの可能性を検討する予定です。