

論文の内容の要旨

論文題目 走査プローブ顕微鏡を用いた微細加工技術と応用の研究

氏名 石橋 雅義

冷戦終了後のグローバリゼーションは、正確な情報をより早く得ることの重要性を全世界に喚起させ、情報技術(IT; Information Technology)の社会への浸透を促す結果となった。現在 IT の中心には、インターネットに代表されるコンピュータネットワークがある。インターネットが社会に浸透してきた大きな要因の一つに、コンピュータの高性能化がある。コンピュータの高性能化には、ハードウェアとソフトウェア双方の高性能化が必要である。すなわち、ハードウェアを構成する電子デバイスの高性能化によりソフトウェアの自由度が増え、高性能なソフトウェアが、さらに高性能なハードウェアを要求するといったサイクルを繰り返しながら、コンピュータは高性能化してきた。

コンピュータのハードウェアを構成する LSI (Large Scale Integrated Circuit) の高性能化は、主に素子サイズの微細化および LSI に搭載される電子回路の発展により達成されてきた。特に素子サイズの微細化は、LSI の高集積化だけではなく、電子の走行距離の短縮化や充放電容量の減少による高速化、低消費電力化にもつながる。素子サイズは 3 年間で 70%に縮小される割合で年々進み、2004 年には製品レベルで最小加工寸法が 100 nm を切ると予想されている。研究開発レベルでは、さらに数年早くこれらの作製技術が必要となる。微細加工を必要とする分野は LSI だけではない。DVD(Digital Versatile Disk)等の光ディスクも大容量化に伴い、記録ビットのサイズが微細化すると予想さ

れている。また、このようなトップダウン型アプローチだけではなく、分子エレクトロニクス等のボトムアップ型アプローチの研究にも、微細な分子等の電気信号を外部に取り出すための微細な電極等の作製に微細加工技術は必要である。このように、数十ナノメートルレベルの微細加工技術の必要性は高まっている。しかし、100 nm 以下の構造を作製することは、従来の技術では容易ではなかった。

LSI 等の素子を作製するには、いくつかの工程が必要となるが、パターンの形状、解像度を定める工程がリソグラフィーである。現在、製品の生産、研究用素子の試作に使用されるリソグラフィーに、光リソグラフィー、X 線リソグラフィー、電子線リソグラフィー、集束イオン線リソグラフィーが知られているが、それぞれに一長一短がある。最近、これらとは別の新しい研究用微細加工技術として、走査プローブ顕微鏡を使用した走査プローブリソグラフィーが注目されている。走査プローブリソグラフィーシステムは、真空を必要としないため装置構成がシンプルで、かつ、高解像度で 100 nm 以下の構造も十分作ることができるという利点がある。しかしその反面、再現性が低く、また研究用素子試作技術としても描画速度が遅いといった問題があった。

本論文は「走査プローブ顕微鏡を用いた微細加工技術と応用の研究」に関するものである。主として走査プローブリソグラフィーの再現性、信頼性、および汎用性向上のため、照射線量制御方法と独自のリソグラフィープロセス、および描画の高速化、広面積化の観点で研究を進展させた。全体は 10 章からなる。

第一章は従来のリソグラフィーの特徴および課題、さらにそれらと比較した本論文の主題である走査プローブリソグラフィーの特徴および課題を述べる。これらの記述により本論文の導入とする。

第二章と第三章は、信頼性、再現性、さらには汎用性の向上を目的とした照射線量制御方法に関する研究である。第二章では、均一な線幅のレジストラインパターンを再現性良く描画できる定電流照射線量制御法を提案する。さらに、この方法を用いて作製したレジストパターンを利用して、走査プローブリソグラフィーの基本リソグラフィー特性を評価、考察する。第三章では、均一なサイズのドットアレーパターンやラスタースキャンによる任意図形描画を再現性良く行うことができる定電流一定電圧複合照射線量制御法を提案する。

第四章は、走査プローブリソグラフィーの基本特性であるレジスト内の潜像形成機構に関する研究である。様々なレジスト材料でパターンを作製し、その感度、断面形状から走査プローブリソグラフィーのレジスト内潜像形成機構を提案する。

第五章は、基板の汎用性の向上を目的とした研究である。絶縁体基板でも使用でき、かつ高アスペクト比レジストパターンを作製できる多層レジスト法を

提案する。また、工程数が少なくすむ、高アスペクト比レジストパターン作製方法であるパターン間隙間利用法についても提案し、これらを組み合わせた金属パターンの作製について述べる。

第六章から第八章は、描画速度の高速化を目的とした研究である。第六章は、エアースピンドルを用いた高速移動試料ステージを使用して描画を行うことにより得られた、1本の探針での描画速度の限界について述べる。第七章では、描画速度の高速化のための多探針描画技術を念頭に入れた探針の垂直方向を固定した描画について述べる。そして、第八章では、光リソグラフィーとの複合法について述べる。

第九章は、信頼性、再現性の向上を目的とした探針の高寿命化に関する研究である。様々な導電性材料をコートした探針を用いて描画を行うことにより得られた、走査プローブリソグラフィー探針に適したコート材料について述べる。また、新規構造の長寿命走査プローブリソグラフィー探針について提案する。

そして、第十章では、以上の記述をまとめ本論文の結論を述べる。