

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 石橋雅義

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」と題し、走査プローブ顕微鏡を用いた微細加工技術である走査プローブリソグラフィー技術とその応用に関し述べられている。主として走査プローブリソグラフィー技術の再現性、信頼性、および汎用性向上を目的とし、走査プローブリソグラフィー装置の開発、走査プローブリソグラフィー技術の基本特性の評価とパターン形成機構の提案、および、それを用いた微細構造の作製について示されている。本論文は10章よりなる。

第一章は序論であり、現在使用されているリソグラフィーの特徴と、従来のリソグラフィーと比較した走査プローブリソグラフィーの特徴および問題点について述べられている。

第二章では、走査プローブリソグラフィーの信頼性、再現性の向上を目的として開発された定電流照射線量制御法と、この方法で作製したレジストパターンを用いて評価した走査プローブリソグラフィーの基本特性について述べられている。定電流照射線量制御法を用いると、従来の定電圧照射線量制御法を用いたときと比べ、パターン線幅が均一なラインアンドスペースパターンが再現性良く作製できることが示され、この原因について考察されている。また、走査プローブリソグラフィーの基本的な特性として、(1)レジスト内での電子の主な伝導機構は電界放出であるが、複数のメカニズムによる伝導が生じている可能性が高いこと、(2)レジスト膜厚が15 nmの時、最小で線幅25 nmのラインアンドスペースレジストパターンが作製できるが、最小加工線幅はレジスト膜厚に依存すること、(3)電子線リソグラフィーで問題となる近接効果はほとんど生じないためパターン設計が容易であること、等が示されている。

第三章では、走査プローブリソグラフィーの信頼性、再現性の向上を目的として開発された定電流-定電圧複合照射線量制御法について述べられている。ドットアレーのような孤立パターンは従来の定電圧照射線量制御法や第二章に記述された定電流照射線量制御法では作製が困難である原因、ドットアレーパターン作製のため新たに提案した定電流-定電圧複合照射線量制御法の有効性、および、定電流-定電圧複合照射線量制御法とラスタ走査描画方式との組合せによる任意形状のパターン描画法について述べられており、この方法を用い、60 nmの解像度で様々な形状のレジストパターンが作製可能であることが示されている。

第四章では、走査プローブリソグラフィーでレジストをパターンニングする際のレジスト内の潜像形成機構について述べられている。レジストの材料であるベース樹脂と感光剤に、別々に走査プローブリソグラフィーで照射、生成したパターンを観察することにより、(1)走査プローブリソグラフィーではベース樹脂単体でネガ型レジストとして働くこと、(2)一般的なノボラック系の2成分系ポジ型レジストが走査プローブリソグラフィーではポジ型レジストとして働かない理由は、電流照射によるベース樹脂の不溶化が感光剤との反応より低照射線量で起きるためであることが示されている。さらにレジストパターンの断面形状の照射線量依存性から、走査プローブリソグラフィーにおけるレジストパターン形成機構について提案している。

第五章では、走査プローブリソグラフィーを汎用性の高いリソグラフィー技術とするために開発された、高アスペクト比レジストパターン作成プロセスである多層レジストプロセス、レジストパターン間隙間利用法、および、それらを使用した金属パターンの作製について述べられている。多層レジストプロセスでは、3層レジスト法により、膜厚 340nm、線幅 50 nm のラインアンドスペースレジストパターンが、レジストパターン間隙間利用法では、単層レジストプロセスでも膜厚 50 nm のレジスト膜に最小で幅約 15 nm のスペースパターンが、さらに、これらと電解メッキ法を組み合わせれば、高密度磁気ドットアレーが作製できることが示されている。

第六章では、描画速度の高速化を目的とし、1本の探針だけで描画する走査プローブリソグラフィーでの描画速度の限界について述べられている。描画速度を毎秒 25 cm にしてもパターンは描画できるが、高速で描画すると探針の摩耗が激しく、描画速度は探針の耐久性により制限を受けることが示されている。

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られている。探針の垂直方向の位置を固定しても、描画するために電圧を印加すると、探針-基板間にクーロン力が働き、探針のカンチレバー部分が曲がり、探針が試料表面に接触して描画できることが示されている。さらに、垂直方向無制御で複数の探針を一度に使用して描画を行うことにより、マルチチップ描画実用化への可能性が示されている。

第八章では、実質的な描画速度の高速化を目的とした、光リソグラフィーと走査プローブリソグラフィーとの複合プロセスについて述べられている。この方法を用い、ミリメートルオーダのコンタクトパッドのついた 100 nm レベルの微細な電気伝導度測定用四端子電極を容易に作製できることが示されている。

第九章では、信頼性、再現性の向上を目的とした探針の高寿命化について述べられている。様々な導電性材料をコートした探針を用いて行った描画実験より、窒化チタンがコート材料に適していることが示されている。また、新規の長寿命走査プローブリソグラフィー用探針として鉛筆型探針について提案している。

第十章は、以上の記述をまとめ、走査プローブリソグラフィーが 100 nm 以下の微細構造が作製できる研究用微細加工技術として有用な手段であることが述べられている。

以上をまとめると、本論文は高再現性、高信頼性、および高汎用性をもった走査プローブリソグラフィー装置を開発し、その基本特性やパターン形成機構について考察するとともに、それを用いて高密度磁気ドットアレーや電気伝導度測定用微細四端子電極等の微細構造を作製することにより、その有用性を実証したものである。これらの業績は、ナノテクノロジー研究者に 100 nm 以下の微細構造が容易に作製できる研究用微細加工技術を提供するだけでなく、樹脂の電流照射による化学反応に関する学術研究にも寄与するものと評価できる。よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。