

研究種目：基盤研究（S）

研究期間：2007～2011

課題番号：19101005

研究課題名（和文） 超並列電子線直接描画に関する研究

研究課題名（英文） Massive Parallel Electron Beam Lithography

研究代表者

江刺 正喜（ESASHI MASAYOSHI）

東北大学・原子分子材料科学高等研究機構・教授

研究者番号：20108468

研究代表者の専門分野：微小電気機械

科研費の分科・細目：複合新領域・ナノ・マイクロ科学、マイクロ・ナノデバイス

キーワード：MEMS,電子線描画装置

1. 研究計画の概要

半導体生産の分野では、原版(マスク)のパターンを光でウェハ上のレジストに一括転写する「フォトリソグラフィ」とよばれる量産技術が確立している。これに対しコンピュータからのデータで直接描画する「マスクレス描画」は、大量生産には向いてないが少量生産や開発には適している。微細パターンを持つ最新LSIでは1品のマスクコストは数億円にも上るため、少量の生産では採算が合わない。また、短い製品寿命のものでは開発期間の短縮が必要である。このため微細パターンを描ける描画速度の高いマスクレス描画が望まれている。本研究ではマイクロマシニングを用いて並列電界放電子源、静電レンズ等の各要素を作製、これらを組み合わせ、高分解能のマスクレス描画装置として並列電子線描画システムを構築する。本システムでは電子線をオンオフしながらステージを動かし、多数の電子源で同時に描画する。電子源の間隔だけウェハをスキャンするためのステージ、各要素の接合技術などの要素技術も開発する。

2. 研究の進捗状況

本研究課題を実現するには、電子源アレイ、電子レンズのアレイ、高速駆動ステージ、およびこれらのシステム化が必要である。以下に各要素およびシステム化の進捗状況を述べる。

【電子源アレイ】水素終端により電子放出効率が非常に高くなると期待されているダイヤモンドを用い、ヒータ構造をもつショットキー型電子源の開発を行った〔雑誌論文3〕。カーボンナノチューブ(CNT)をエミッタとして用いると収束スポットを小さくでき、描画

の解像度が向上すると期待できる。このために新しくCNTエミッタの作製方法を開発した。この方法では、CNTの成長触媒をSiの突起先端のみに選択的に残し、単一CNTを先端を持つゲート電極付きの電子源を作製することに成功した〔雑誌論文2〕。多数の電子線の制御のためには接続用配線が複雑になるという問題がある。この問題を解決するために光により電子線を制御する光制御型電子源アレイの開発を行った〔学会発表1〕。

【電子光学系】微小な電子光学系の場合、積層プロセスでのアライメント誤差による電子光学軸のずれ等が大きな問題となる。本研究ではこれらの問題を解決するため電子レンズを構成する電極をアライメント無しで形成する新しい手法を開発した。

【レジスト描画実験】面放出型構造をもつ電子源を用い、加速電圧10kVでの低加速電子線レジスト描画実験を行い、良好な描画結果を得た。

【ステージ】超並列電子線描画装置用のステージにはXY方向に十分大きな変位を得ることや、内蔵の変位センサを用いたフィードバック制御などが必要とされる。このためシリコンでステージや変位拡大機構および変位センサを一体で製作し、これにPZTセラミック板に形成した多層圧電アクチュエータを組み合わせる方式のステージを開発し、描画装置への応用を検討した。

【描画システム】上記のように並列電子線描画システムの各要素がそれぞれ完成してきており、これらをシステム化した超並列電子線描画装置の作製を試みた。この装置は本研究課題中の電子源アレイの研究で新しく提案し開発された光制御型電子源アレイを用

いている。また、光制御型電子源アレイを用いた並列電子線描画装置に関する特許を出願した。〔産業財産権1〕。

3. 現在までの達成度

①当初の計画以上に進展している。

(理由)

平成21年度中に超並列静電レンズの試作が実施されている。またこれをセルフアライメントにより電子源上に配置することに成功しており、当初平成22年度実施予定であった「超並列静電レンズ付き電子源の試作」は前倒して施行されている。

並列化にともなう問題として挙げられていた配線の問題についても、光制御型電子源が開発され、その実証試験に成功している。

また最終年度である平成23年度に実施予定であった「超並列電子線描画装置の評価・改良」「描画性能の評価」も、すでに作製の行われた超並列電子線描画装置のプロトタイプにより平成22年度中にも実施する予定である。

以上の理由から、本研究課題は当初の計画を前倒して実現しており、目標を高いレベルでクリアすることが見込まれる。

4. 今後の研究の推進方策

22年度は「電子源性能や収束性能の向上」について、アパーチャを組込むなどの改良を行い実現する。「静電レンズ付き電子源による収束電子線と可動ステージによる描画実験」については同じく試作済み超並列静電レンズ付き電子源を作製した超並列電子線描画装置に組み込みながら、ナイフエッジ法や、実際にレジストに描画を行うことによりビーム形状をはじめとした性能の評価を行う。また、電子源からの電子のエネルギー分散を計測し電子ビームの性状を調べることを計画している。

平成23年度実施予定分も作製したプロトタイプ並列電子線描画装置を用いて随時実施を行う。各描画エリア間の継合わせ精度の向上、超並列方式にあったフォーカス合わせ手法の開発などを行い、描画性能の向上を目指す。場合によっては設計を見直しさらに性能を上げたプロトタイプの作製も行う。

5. 代表的な研究成果

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計6件)

1. M. F. M. Sabri, T. Ono, and M. Esashi, Modeling and Experimental validation

of the performance of a silicon XY-microstage driven by PZT actuators, *J. Micromech. Microeng.*, **19**, 095004-1~095004-9(2009) 査読有

2. J. Ho, T. Ono, C.-H. Tsai, M. Esashi, Photolithographic fabrication of gated self-aligned parallel electron beam emitters with a single-stranded carbon nanotube *Nanotechnology*, **19**, 365601-1~365601-5(2008) 査読有
3. C.-H. Tsai, T. Ono, M. Esashi, Fabrication of diamond Schottky emitter array by using electrophoresis pre-treatment and hot-filament chemical vapor deposition, *Diamond Rel. Mater.*, **16**, 1398-1402(2007) 査読有

〔学会発表〕(計22件)

1. 友納栄一, 宮下英俊, 小野崇人, 江刺正喜, 光制御型並列電子源, 平成22年電気学会全国大会, (東京, 平成22年3月17~19日)

〔図書〕(計4件)

1. Takahito Ono, Mohd Faizul Mohd Sabri, and Masayoshi Esashi, Next Generation Actuators Leading Breakthroughs, Chapter 6, PZT Driven Micro XY Stage, Springer (2010) pp. 55-66.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計1件)

名称: 電子線描画装置用光スイッチング電子源

発明者: 宮下英俊, 小野崇人, 江刺正喜, 友納栄一, 川合祐輔

権利者: 東北大学

種類: 特願

番号: 2010-4599

出願年月日: 2010/03/02

国内外の別: 国内

○取得状況 (計0件)

〔その他〕

Web

<http://www.nme.mech.tohoku.ac.jp/research.html>

公開行事

「MEMS 集中講義」 in ふくおか、H20. 8. 20-22、公開セミナー、参加者130名