

## 超並列電子線直接描画に関する研究

### Massive Parallel Electron Beam Lithography

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



#### 研究の概要

半導体分野で基盤技術として使用されているフォトリソグラフィーにかわる次世代リソグラフィー技術として、微細パターンを高速に描画することが可能な、超並列電子線直接描画システムを、マイクロマシン技術を用いて構築する。

研 究 分 野：複合新領域

科研費の分科・細目：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. 研究開始当初の背景

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ー」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。

#### 2. 研究の目的

半導体集積回路の製造で、特にその多品種少量生産や短期開発に必要とされている高スループットのマスクレス電子線描画装置のプロトタイプを試作し、並列電子線描画装置の実現可能性を実験的に検証する。

#### 3. 研究の方法

マイクロマシン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、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。

#### 4. これまでの成果

高速リソグラフィーのための電子源を実現するには、電子線を放出する電子源がたくさん並んだ電子源アレイ、複数の電子ビームを収束する電子レンズのアレイ、高速に駆動できる高速駆動ステージ、およびこれらのシステム化が必要である。

また、並列電子線描画のための描画システムを開発し、プロトタイプによる描画実験を行うことを目標に研究を遂行してきた。以下に各要素の成果を述べる。

##### 【電子源アレイ】

本研究ではこれまでに、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 [発表文献 6]。

また、電子源上に集積化した電子レンズアレイで電子線を収束できることをシミュレーションにより確認した。

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 を先端に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 [発表文献 3]。

CNT を用いた面放出型構造をもつ電子源も試作し、これまでと異なり、大気中に取り出した電子による近接電子描画システムでの描画実験を行った [発表文献 5]。

多数の電子線の制御のためにはアクティブマトリクスを用いる手法などいくつかの

方法があるが、電子源との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 [発表文献 10]。

#### 【電子光学系】

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。

Si の結晶異方性エッチングによるエッチピットとマイクロボールを用いることで、電子レンズを電子源に高精度でアライメントして組立てることに成功した。

また、新しく通電加熱ガラス融着技術を用いた組み立て技術の開発も行った [発表文献 4]

#### 【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 [発表文献 5]。

#### 【並列電子線描画装置用ステージ】

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た [発表文献 1、2]。

#### 【超並列電子線描画システム】

並列電子線描画システムの各要素が上記のように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。本研究の最終目標である超並列電子線描画装置の実現に向けてプロトタイプとなる装置を作製した。

また、光制御型電子源アレイを用いた超並列電子線描画装置についての特許を申請した。 [発表文献 10]

#### 【その他要素技術・派生技術】

その他にも本研究から接合技術や、カーボンナノチューブの成長・加工技術、マルチプローブを用いたデータストレージ技術などが開発されている。

#### 5. 今後の計画

当初計画のうち平成 22 年度実施予定分である、「超並列静電レンズ付き電子源の試作 (小野)」についてはすでに試作済み

であり、22 年度は「電子源性能や収束性能の向上 (小野)」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 (田中、戸津)」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を行う。

#### 6. これまでの発表論文等

##### 発表文献

##### 【学会誌】

1. M.F.M.Sabri, T.Ono, and M.Esashi, 電気学会 E 部門誌, **12** (2009) 471
2. M.F.M.Sabri, T.Ono, and M.Esashi, J. Micromech. Microeng., **19**, (2009) 095004
3. J.Ho, T.Ono, C.H.Tsai, M.Esashi, Nanotechnol., **19**, (2008), 365601
4. H.Seki, T.Ono, Y.Kawai and M.Esashi, **18**, (2008), 085003
5. W.Cho, T.Ono, and M.Esashi, Appl. Phys. Lett., **91**, (2007), 044104
- ⑥ C.H.Tsai, T.Ono, M.Esashi, Dia. Rel. Mater., **16**, (2007), 1398

##### 【解説・著書】

7. T.Ono, M.F.M.Sabri, and M.Esashi, Next Generation Actuators Leading Breakthroughs, Springer (2010)
8. 小野崇人、MEMS/NEMS 工学全集、桑野博喜監修、テクノシステム (2009) .
9. 小野崇人、MEMS マテリアルの最新技術、江刺正喜監修、(2007)

##### 【産業財産権(特許)】

10. 宮下英俊、小野崇人、江刺正喜、友納栄一、川合祐輔、電子線描画装置用光スイッチング電子源、

特願 2010-4599

ホームページ等

www.mems.mech.tohoku.ac.jp