

氏 名 藤 野 毅  
学位(専攻分野) 博 士 (工 学)  
学位記番号 論 工 博 第 2974 号  
学位授与の日付 平成 7 年 3 月 23 日  
学位授与の要件 学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当  
学位論文題目 電子ビーム描画技術を用いた大規模半導体集積回路リソグラフィに関する研究

論文調査委員 (主 査)  
教 授 石 川 順 三 教 授 佐 々 木 昭 夫 教 授 田 丸 啓 吉

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、大規模半導体集積回路の製造において用いられる電子ビーム描画技術による微細レジストパターン形成の要素技術と、これらを利用した電子ビームウェハ直接描画及びX線リソグラフィ用マスク(X線マスク)作製への応用技術に関する研究成果をまとめたものであり、8章からなっている。

第1章は序論であり、半導体リソグラフィ技術における光リソグラフィ技術の進歩と問題点を述べ、それに代わる技術として、より微細なパターンが加工できる電子ビーム直接描画技術、X線リソグラフィ技術の原理と課題を述べている。

第2章では、固体中に入射した電子の散乱軌跡計算およびエネルギー蓄積の理論についてまとめ、本理論に基づいて作成したシミュレータにより、電子ビームリソグラフィを用いて形成したレジストパターン形状を正確に予測できることを示している。

第3章から第5章までは電子ビーム描画技術による微細レジストパターン形成の要素技術について得られた研究成果を述べている。

第3章では、可変成形電子ビーム描画装置において、高精度なレジストパターン形成に最も重要な可変成形電子ビーム発生部の調整理論と、調整誤差により発生するパターン精度の悪化を抑制する手法とその効果を述べている。さらに最小パターン幅 $0.25\mu\text{m}$ のレジストパターン形成に必要な電子ビーム描画装置の装置性能(電子ビーム加速電圧, ビームぼけ)を、第2章で述べたシミュレータを用いて考察した結果を述べている。

第4章では、電子ビームレジストについて述べている。はじめに、従来から電子ビームレジストとして用いられてきたポリメチルメタアクリレート等の単一の高分子よりなるレジストの特性と問題点についてまとめ、さらに、近年発明され電子ビームレジストの解像度と感度に大幅な進歩をもたらした化学増幅型レジストの反応機構と問題点について述べている。そして実際に、ネガ型およびポジ型の化学増幅型電子ビームレジストに対して新しいレジストプロセス等を導入することにより、最小パターン幅 $0.25\mu\text{m}$ 程度

の LSI パターン形成において実用化できることを示した。また、パターン形成の新しい試みとして、化学増幅機構およびシリル化反応を用いたドライ現像レジストを開発した結果についても述べている。

第 5 章では、設計データの電子ビーム描画データへのデータ変換システムと、そのシステム上で実現した近接効果補正技術について述べている。はじめに、電子ビーム描画における近接効果が、電子ビームによるエネルギー蓄積分布を示すエネルギー密度分布関数を用いてその現象を説明することを実験的に確認し、第 2 章で述べたシミュレータを用いて各種条件でのエネルギー密度分布関数の抽出法について述べている。次に従来の各種の近接効果補正手法の問題点を検討し、大容量の LSI に対しても適用できる高速近接効果補正アルゴリズムを開発している。さらに、実際の LSI パターンへの適用において、データ処理の階層化、並列化による高速化処理を行い、実際に電子ビーム描画した結果により、開発した近接効果補正システムが最小パターン幅が  $0.25\mu\text{m}$  の LSI パターン描画において十分な計算処理速度と補正精度を持つことを示している。

第 6 章、第 7 章では、電子ビームウエハ直接描画及び X 線マスク作製への応用技術に関する研究成果を述べている。

第 6 章では、電子ビームウエハ直接描画技術への応用結果を二例述べている。一つ目は先端的デバイスへの適用結果として  $0.15\mu\text{m}$  のゲート長を持つトランジスタを作製した結果について、二つ目は先端プロセス開発への適用結果として  $0.3\mu\text{m}$  の円孔パターンを作製した結果について述べている。これらはアライメント手法や近接効果補正などの最適化によって設計どおりのレジストパターンが得られた結果、良好な電気特性が得られており、電子ビームウエハ直接描画が先端 LSI の研究開発において十分に実用的な技術となっていることを示している。

第 7 章では、X 線マスク作製への応用結果として、高精度の X 線マスク実現のために問題となる X 線吸収体上の電子ビームリソグラフィーおよび X 線吸収体のドライエッチングについて研究を行った結果を述べている。電子ビームリソグラフィーを用いて X 線吸収体上でのレジストパターン形成を行うことは、X 線吸収体が電子ビーム散乱の大きい重金属基板で作製されているため近接効果が大きく難しいという問題点があった。本論文においては、三層レジスト法と近接効果補正の採用により、最小パターン幅が  $0.25\mu\text{m}$  のレジストパターン形成ができることを示している。また X 線吸収体のドライエッチングは、膜厚が  $0.5\mu\text{m}$  以上でパターン幅が  $0.25\mu\text{m}$  以下という高いアスペクト比を持つパターンを精度よく形成する必要があるが、従来は困難であった。本論文では、エッチングマスクとしてクロムを、基板エッチング防止膜として酸化インジウムスズを用いる新しいプロセスを用いたことにより、良好な X 線吸収体パターン形状が得られることを示している。

第 8 章では、本論文で得られた成果を総括していると共に、LSI リソグラフィーについて残された課題と展望について述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、大規模半導体集積回路の製造において用いられる電子ビーム描画技術による微細レジストパターン形成の要素技術と、これらを利用した電子ビームウエハ直接描画及び X 線マスク作製への応用技

術に関する研究成果をまとめたものであり、得られた成果は次の通りである。

1. 固体中に入射した電子の散乱軌跡およびエネルギー蓄積の理論に基づいて作成したシミュレータにより、電子ビームリソグラフィを用いて形成したレジストパターン形状を正確に予測できる。
2. 可変成形電子ビーム描画装置において可変成形電子ビーム発生部の調整誤差により発生するパターン精度の悪化は、二重ずらし描画手法により抑制できる。膜厚  $1\mu\text{m}$  のレジストを用いて最小パターン幅  $0.25\mu\text{m}$  のパターンを形成するためには、 $0.05\mu\text{m}$  以下のビームぼけと  $50\text{ kV}$  以上の加速電圧が必要である。
3. 化学増幅型電子ビームレジストの実用化には、電子ビーム描画から後段熱処理までの放置時間安定性の向上が必要である。特にポジ型レジストでは、酸性表面コート層を用いる新しいプロセスにより  $30$  時間以上の安定化を達成した。また、化学増幅反応とシリル化反応を用いてドライ現像できる。新しいレジストプロセスを開発し実際にパターン形成が可能であることを示した。
4. 電子ビーム描画における近接効果補正の新しいアルゴリズムを開発し、独自に開発した電子ビームデータ変換システム上で実現した。 $0.24\mu\text{m}$  設計寸法の LSI に対して実際にパターン形成を行い、十分な計算速度と補正精度を持つことを示した。
5. 電子ビームウエハ直接描画への応用結果として、 $0.15\mu\text{m}$  ゲート長トランジスタや  $0.3\mu\text{m}$  円孔パターンを作製し良好な電気特性を得たことで、電子ビームウエハ直接描画が先端 LSI の研究開発において十分に実用的な技術となっていることを示した。
6. X線マスク作製への応用結果として、X線吸収体上の電子ビームリソグラフィおよび X線吸収体のドライエッチングについて検討を行い、三層レジスト上の電子ビーム描画と、クロムおよび酸化インジウムスズをドライエッチングマスクおよびストップとして用いる新しいエッチング手法が、良好な X線吸収体パターンを形成する上で有効であることを示した。

以上、要するに本論文は、電子ビーム描画技術における諸課題に対して理論的ならびに実際的研究を行い、次世代の半導体集積回路リソグラフィ技術の候補である電子ビームウエハ直接描画や X線リソグラフィ技術の実用化に寄与するところが少なくない。よって本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものとして認める。

また平成 7 年 1 月 18 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。