

## 集束荷電粒子を用いた超高真空一貫微細加工プロセスに関する研究

メタデータ	言語: ja 出版者: 静岡大学大学院電子科学研究科 公開日: 2008-04-11 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 杉本, 喜正 メールアドレス: 所属:
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10297/1585">http://hdl.handle.net/10297/1585</a>

氏名・(本籍)	杉 本 喜 正 (茨城県)
学位の種類	博 士 (工 学)
学位記番号	工博乙第 69 号
学位授与の日付	平成 8 年 12 月 20 日
学位授与の要件	学位規程第 5 条第 2 項該当
学位論文題目	集束荷電粒子を用いた超高真空一貫微細加工プロセスに関する研究

論文審査委員	(委員長)		
	教授 助川徳三	教授 畑中義式	
	教授 藤安洋	教授 福田安生	
	教授 福家俊郎	助教授 田中昭	

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文では、今後の光電子素子に広く適用可能な化合物半導体微細加工プロセスとして、集束イオンビーム(FIB)あるいは集束電子ビーム(EB)を用いたGaAs/AlGaAs系材料の超高真空一貫微細パターン形成に関して述べている。

まずはじめに、超高真空雰囲気での集束荷電粒子ビームを応用した真空一貫微細加工プロセスを想定し、FIBと反応性ガスを組み合わせたFIBアシストCl<sub>2</sub>エッチング及びEBアシストCl<sub>2</sub>エッチングの微細加工技術と分子線結晶成長(MBE)技術を柱とした、新規な超高真空マルチチャンバシステムの設計、開発をおこなった。

次に、FIBアシストCl<sub>2</sub>エッチングを中心とした超高真空一貫微細加工プロセスの検討を行った。FIBアシストCl<sub>2</sub>エッチングはin situ(その場)での加工、成長プロセスができる手法として期待されているが、イオンを用いるプロセスであるためイオン照射による表面近傍への損傷の導入は避けられない。そこで本論文では特にFIBアシストCl<sub>2</sub>エッチングに於ける低損傷加工に取り組み、イオンエネルギー、イオンドーズ、基板温度に着目して損傷の低減化を得た。さらに、FIB照射後のCl<sub>2</sub>ガスエッチングとの組み合わせによる低損傷化の可能性を検討した。また、真空一貫プロセスによるFIBアシストエッチング後の再成長を検討し高品質な微細埋め込み構造を実現した。

さらに、低損傷で微細化が可能なビームとしてイオンの代わりに電子を用いる新しい超高真空一貫プロセスを提案し実証した。これはGaAsの酸化膜をマスクとして用いる新しいEBリソグラフィであり、全工程を超高真空中あるいは高純度なガス中で行えることから、“in situ EBリソグラフィ”と称して

いる。このプロセスでは酸化膜マスクをEBアシストCl<sub>2</sub>エッチングにより直接パターンニングし、下地のGaAsへは、塩素ガスエッチングによりパターンを転写する。エッチング終了後酸化膜レジストはAs圧下での熱処理によって除去される。更にパターン形成した基板の上に再度結晶成長する事も可能である。

この方法の利点は、超高真空(UHV)雰囲気の基本としたプロセスのため表面汚染の影響がない、イオンの代わりに電子を用いているために損傷のない加工が期待できる、電子ビームのビーム径と同程度のサイズ(<10nm)の微細加工が期待できる等が挙げられる。まず、in situ EBリソグラフィの原理を確認実証した。光酸化膜をレジストマスクとして用いるための条件を調べCl<sub>2</sub>エッチング耐性のある条件を把握し、さらにEBアシストCl<sub>2</sub>エッチングによる酸化膜レジストのパターン形成条件を調べEBドーズに対して閾値特性を持つこと、酸化膜レジストにパターンを形成した後は下地のGaAsへのパターンの転写はCl<sub>2</sub>ガスエッチングのみで可能なことが分かった。また、パターン形成後の酸化膜レジストの除去工程においてAs圧下での熱処理に加えて高温ガスセルによる水素クリーニングが有効であることが分かった。さらに、酸化膜レジスト除去後の再成長が良好に行えることを示した。

次に、微細加工に関して検討し、ほぼビーム径と同等の~200nmサイズの加工ができることを実証し、また、加工パターンエッジはきわめて急峻であり揺らぎも小さいことも分かった。さらに通常のin situ EBリソグラフィから電子線照射とCl<sub>2</sub>エッチングを分離したプロセスを提案し、実証した。ここでは、電子線により酸化膜レジストが改質される性質を使い、照射部分のみをエッチングできることが分かった。さらに、量子井戸構造の微細埋め込み構造を作製してその光学的評価を検討し、この手法が量子微細構造形成に有望であることを示した。

これらポジ型プロセスに対して、ネガ型プロセスの検討も進め、EB誘起酸素膜がネガ型in situ EBリソグラフィのマスクとして十分機能することを実証した。閾値EBドーズ量以上では、EB照射領域ではエッチングが進行するため、良好なパターン形成が行えることが分かった。微細加工の可能性としてはビーム径と同等の100nmのラインパターンの形成が可能であることを示した。さらに、GaAs/AlGaAs単一量子井戸(SQW)構造を得るためにネガ型リソグラフィでパターン形成し、埋め込み構造を作製した。低温カソードルミネッセンス(CL)測定からこのSQW埋め込み構造からの鮮明なCL像を観測できたことから、良好な埋め込み構造が形成できていることが分かった。

## 論文審査結果の要旨

高度情報化社会を支える電子デバイスに対して、より高速化、超微細化、高密度集積化が要求され、それに伴ってデバイス製作プロセス技術に対しても、原子的尺度でしかも無損傷の超微細加工技術の開発が緊急課題となっている。本研究は、将来の高性能光電子デバイスの製作に必要な不可欠となる化合物半導体微細加工プロセスの確立を目的として行われた、集束イオンビーム(FIB: Focused Ion Beam)および集束電子ビーム(EB: Electron Beam)などの荷電粒子ビームを用いた超高真空一貫微細加工プロセスの開発に関するものである。

まず、ガリウム・イオン源を用いたFIBと反応ガスとしての塩素( $\text{Cl}_2$ )を組み合わせたFIBアシスト $\text{Cl}_2$ エッチングに基づく微細加工と分子線エピタキシー(MBE: Molecular Beam Epitaxy)結晶成長の両方が実行可能な、新規の超高真空マルチチャンバシステムの開発を行い、超高真空中での一貫微細加工プロセスシステムを構築した。

次に、FIBアシスト $\text{Cl}_2$ エッチングにおける照射イオンが結晶表面近傍にもたらす損傷の低減化について検討した。その結果、イオンエネルギーを1keV以下、イオンドーズ量を $10^{15}$ ions/cm<sup>2</sup>以上、そして基板温度を150℃以上にすることにより低損傷化できる指針が得られた。しかし、FIBアシスト $\text{Cl}_2$ エッチングにおいて、イオン照射と反応ガスによるエッチングが同時に進行するため、損傷の低減化に限界があることが分かった。そのため、この問題について検討し、FIB照射後に $\text{Cl}_2$ エッチングを行う新しい低損傷加工法を開発した結果、無損傷化が達成できた。そして、この $\text{Cl}_2$ エッチング後に、MBEによる再成長を行うことにより、デバイスの活性領域として重要な高品質の微細埋め込み構造を形成する技術を確認した。

さらに、低損傷で極微細加工を可能とするために、イオンの代わりに電子を用いた、新しい集束電子ビーム超高真空一貫微細加工プロセスを開発した。基板表面に形成したGaAs酸化膜に対する $\text{Cl}_2$ エッチング速度が電子のドーズ量に対して閾値をもつことを発見し、この酸化膜をマスクとしたEBリソグラフィ技術を確認した。これによってプロセスの全工程を、一度も大気に曝すことなく、超高真空あるいは高純度ガス中で一貫して行える新技術が確立できた。このEBリソグラフィを適用して単一量子井戸構造の微細埋め込み構造を作製し、そのフォトルミネセンスを評価したところ、良好な結果が得られ、本技術が量子微細構造の形成に有望であるが分かった。

以上を要約すると、本研究で開発した集束荷電粒子を用いた超高真空一貫微細加工プロセスは、化合物半導体を原子的尺度で、しかも無損傷で微細加工することをはじめて可能にした技術であり、化合物半導体の物性を活用した電子デバイスの一層の高性能化・高機能化に対して貢献するところが大きい。審査の結果、本論文は博士(工学)の学位に相当する内容をもつものと認定する。