

(論文内容の要旨)

本論文は、シリコン集積回路の高機能化に向けたイオン注入工程に関する装置開発に関してまとめたものである。高周波放電で目的とするイオン種のみで構成されるプラズマが生成できるイオン源を開発し、かつイオン源の大面积プラズマの均一制御を可能とすることで、ビームラインにおいて質量分離機能および走査機能を省略することができ、ターゲットまでのイオンビーム輸送を大幅に短縮した大面积低エネルギーイオン注入法が可能となった。また、イオン注入時に発生するウェーハの帯電緩和用電子源として、マイクロ波放電プラズマから磁場を横切って電子を引き出す方式を提案し、超低速の電子供給を可能とした。本論文は、8章から構成されている。

第1章の序論では、本研究を行うに至った背景およびその必要性について述べている。

第2章では、イオン注入のための半導体材料ガスの電子による衝突電離現象の電子エネルギー依存性についての研究を行い、これにより目的とするイオン種だけをイオン源プラズマ内に選択的に発生させる原理について論じている。さらに高周波プラズマ型イオン源の電子エネルギーの測定について述べている。

第3章および第4章では、高周波プラズマ型イオン源を用いたプラズマ内での選択的イオン生成について論じている。第3章では、容量結合型高周波イオン源の高周波の周波数を変化することでプラズマ内部のイオン種の制御が可能となり、この周波数の変化が電子のエネルギーと深く関係することを議論し、より高い周波数を用いることにより目的とするイオン種成分を99%まで高めることができた。第4章では、カस्प磁場構造の高周波イオン源について検討を加え、磁場中の高周波プラズマの特性を研究するとともに、磁場と高周波電界を制御することでプラズマ中のイオン種の制御を行い、結果目的とするイオン種の成分比を99.9%まで高めることができた。

第5章では、500 MHz 高周波イオン源のプラズマ内の均一性制御について論じている。イオン源と高周波の波長とが同程度の長さになることを利用してプラズマ源内部の空間的プラズマ分布を制御することに成功した。

第3章から第5章までは、プラズマ中の電離を担う電子のエネルギーを高周波電界および磁界を用い調整することで、プラズマ中のイオン種の制御および大面積イオンビームの面内分布の制御が可能となることを述べている。プラズマ中の電子のエネルギーを高周波放電により制御できる原理は、イオン注入装置においてシリコンウェーハ表面の帯電緩和のために用いるプラズマフラッドガンにおいても利用できる。プラズマフラッドガンでは、供給する電子のエネルギーが数 eV で、重金属汚染の心配のない電子源が要求されている。

第6章および第7章では、イオン注入装置のシリコンウェーハ直前に用いるプラズマフラッドガンについて、電子の低エネルギー化および 300 mm ウェーハに対応した装置としての実用化について論じている。第6章では、2.45 GHz のマイクロ波放電と電子の引き出し領域の磁場を制御することで、電子源から超低エネルギーの電子放出に成功したことを述べている。第7章では、半導体製造装置として 300 mm シリコンウェーハに対応し、実用化に成功したプラズマフラッドガンについて紹介している。

第8章は結論であり、本論文で新たに得られた学術的知見及び工学的成果について要約するとともに、今後の課題を提起している。

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、シリコン集積回路の高機能化に向け、集積回路の不純物導入に用いるイオン注入装置に必要となる、低エネルギー大電流のイオン注入装置およびイオン注入時に発生する帯電にかかわる緩和装置について新規方式を提案し、新しい装置を開発した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は以下のとおりである。

1. 通常のイオン注入装置では、イオン源においてプラズマを生成したあと、質量分離器を通過させてイオンの選択を行い、イオンビームを電磁氣的に走査あるいはシリコンウェーハを機械的に走査する。しかし、イオン源からシリコンウェーハまでの距離が長く、低エネルギー大電流のイオンビームを輸送するのは困難である。本論文では、大面積イオン源を用い、イオンビームを質量分離器を通過させることなく短い距離でシリコンウェーハに輸送できるイオン注入方式を提案した。この方式を実現するために、質量分離機能と均一な面内分布をもつイオン源の開発を行った。その際、シリコン集積回路に影響を及ぼす金属汚染の心配のない高周波プラズマ型イオン源を用いた。
2. 必要となるイオン種だけを生成し不必要なイオン種を生成しないイオン源プラズマを実現するため、イオン注入に用いる導入ガスに電離断面積の電子エネルギーにしきい値の差があることに着目した。高周波周波数および磁場の最適化を図ることによりプラズマ中の電離に寄与する電子のエネルギーを制御し、不必要な水素イオンを0.1%にまで少なくしたイオン源の開発に成功した。
3. イオン源内への高周波電力の導入方式を検討することにより、大面積イオン源のイオン密度面内分布の均一性制御機構を提案・開発した。その結果、大面積イオン源から引き出されるイオンビームの面内均一性制御が可能となった。
4. イオン注入時にシリコンウェーハ表面で発生する帯電問題に対して、金属汚染のない高周波放電プラズマから低エネルギー電子を供給する方式を提案し実現した。磁場を用いたマイクロ波放電では、通常は電子サイクロトロン共鳴により高エネルギーの電子が発生してしまうが、電子引き出し方向に対する磁場の印加方法を工夫することにより、放出電子の低エネルギー化に成功した。

以上、本論文は新規の機能を有したイオン注入装置を研究開発することで次世代のシリコン集積回路の製造工程に寄与しており、学術上、實際上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認める。また、平成21年2月6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。