

氏 名	森 本 博 明 もり もと ひろ あき
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 2107 号
学位授与の日付	昭 和 63 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	集束イオンビームを用いた微細加工に関する研究

論文調査委員 (主 査) 教 授 高 木 俊 宜 教 授 山 田 公 教 授 佐 々 木 昭 夫

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、集束イオンビームを用いた半導体デバイスの微細加工技術に関する研究の結果を述べたもので、5章より成っている。

第1章では、集束イオンビーム技術の特徴およびその応用の可能性について概論を述べている。

第2章では、本研究のために試作を行った集束イオンビーム装置について述べている。まず、Ga, Si, および Be の液体金属イオン源について基礎的な特性を明らかにした。また、2段レンズ系およびE×B型質量分離装置を持つ最大加速電圧100 kVの集束イオンビーム装置を試作し、ほぼ設計値どおりのビーム集束特性を有することを確認した。つぎに、イオンビームと下地基板とのアライメント(位置合わせ)に使用するために、段差マーク上をイオンビームによって走査したときの二次電子信号検出について検討を加えた。その結果、二次電子の検出器としてはマイクロチャンネルプレートが適していること、信号の発生は二次電子放出比のビーム入射角依存性と密接な関係にあり、イオンの質量が重いほど大きな信号が得られることが明らかになった。また、Si, Beなどの比較的質量が軽いイオンビームの場合はビーム走査時のマークの損傷は無視しうるが、Auのような重いイオンビームの場合はスパッタリングによるマークの損傷が大きいという結果を得た。

第3章では、集束イオンビームを用いたエッチング技術に関する検討結果について述べた。集束イオンビームエッチングにおいては、エッチングされた基板物質がエッチングの終了した部分に再付着する現象、パターン側壁での反射イオンビームの効果、ビームの基板への入射角の増加の効果などによって、形成されたパターン断面形状は非対称になることを明らかにした。そして、この現象は複数回の「重ね書き」によって平均化し、矩形断面のパターンを得ることができることを示した。次に、エッチレートを速くする試みとして、イオンビーム照射を行い基板表面を選択的に非晶質化した後に増速エッチングを行う方法について検討した結果、 $10^{15} \sim 10^{16}$ ions/cm²という比較的照射量でエッチングが行えることを示した。

第4章では、集束イオンビームを用いたリソグラフィ技術に関する研究結果について述べている。まず、BeおよびSiイオンビームを用いた場合の露光・現像特性を明らかにした。その結果、電子ビーム露

光の場合に比べて1~2桁感度が高く、かつ微細加工性にすぐれていることを示すとともに、Siのように少し重いイオンを用いた場合はリコイルアトムによる再露光現象が生じ、できあがったパターンの断面が壺型になることが明らかになった。また、イオン種の違いによる飛程の差を利用して、レジストパターンの断面形状を制御できることを示した。次に、レジスト表面にイオンビームを照射した後ドライエッチングを行うことによってレジストパターンを形成する方法についても検討を行い、必要とするイオンビーム照射量は多いが、全ドライプロセスであるという点で微細加工性において優れていることを示した。

第5章では、集束イオンビームを用いた微細加工技術による半導体デバイス試作について述べている。まず、集束イオンビームリソグラフィ技術を用いてGaAs MESFETの試作を行い、12GHzにおける最小雑音指数1.08dBを得ている。さらに、異種イオンビームのレジスト中で飛程の差を利用して、GaAs FETのマッシュルーム型ゲートの形成を行い、従来型のゲートに比べて抵抗が $\frac{1}{4}$ 以下に低減されることを示すとともに、GaAs HEMTに応用することによって、12GHzにおける最小雑音指数0.68dBを得ている。また、ドライ現像法を用いてゲート長 $0.5\mu\text{m}$ のSi MOSFETを試作し、19段のリングオシレータの発振波形よりトランジスタの高速動作を確認した。

最後に結論において、本論文の研究結果をまとめている。

論文審査の結果の要旨

半導体デバイスの動作速度を上げ、集積度を上げるためには、より微細なパターンを形成する技術が極めて重要である。現在用いられている光学リソグラフィでは回折現象の影響で $0.5\mu\text{m}$ 以下の微細パターン形成が非常に困難であるために、その限界を打ち破ることのできる新しい微細加工の手段が求められている。本論文は、この目的のために、集束イオンビームを用いた微細加工技術についての研究の結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. 集束イオンビームを用いた微細加工技術としての次の方法について検討を行った。

- (1) 集束イオンビームエッチング
- (2) 集束イオンビームによるレジスト露光の後に現像を行うことによってパターンを形成する方法
- (3) 集束イオンビームによるレジスト露光の後にドライエッチングを行うことによってパターンを形成する方法

その結果、従来の方法では非常に困難であった $0.1\mu\text{m}$ 程度の微細なパターンの形成がいずれの方法においても可能であり、集束イオンビームが微細加工に対し有利であるとともに、異種イオンビームの飛程の差を利用して任意のパターン断面形状を得ることができることを示した。

2. 実際のデバイス製作を行う際に加工精度を決定するイオンビームと下地基板とのアライメントについて検討を加え、アライメント信号発生メカニズム、およびアライメント時のマークの損傷についての基本的な知見を得た。

3. 上記3種類の微細加工の方法によって、ゲート長 $0.25\mu\text{m}$ のGaAs MESFETおよびゲート長 $0.5\mu\text{m}$ のSi MOSFETを試作した結果、良好なデバイス特性が得られ、集束イオンビーム技術が微細パタ

ーンを有するデバイス製作に応用可能であることを明らかにした。

4. 異種イオンビームの混合露光法を考案し、微細なゲート長を有するとともに抵抗の低いマッシュルームゲートを持つ GaAs HEMT 試作に応用した結果、12 GHzにおいて最小雑音指数 0.68 dB という非常に優れた低雑音特性が得られ、従来不可能であった高い性能を有するデバイス製作に集束イオンビーム技術が有効であるという見通しが得られた。

以上を要するに、本論文はより高性能な半導体デバイスの製作に応用するための集束イオンビームを用いた微細加工技術についての実験的研究により、その基本特性を明らかにするとともに、半導体デバイス試作を通じてその有効性を示したもので、学術上また實際上寄与するところが少なくない。よって本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認めた。

また昭和 63 年 1 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。