



|              |   |
|--------------|---|
| Title        | 集束イオンビーム装置の開発と微細加工への応用に関する研究  |
| Author(s)    | 山口, 博司  |
| Citation     | 大阪大学, 1992, 博士論文  |
| Version Type |   |
| URL          | <a href="https://hdl.handle.net/11094/37639">https://hdl.handle.net/11094/37639</a>   |
| rights       |   |
| Note         | 著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed"〉</a> 大阪大学の博士論文について <a href="https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed">〈/a〉</a> をご参照ください。 |

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

|            |  |
|------------|--|
| 氏名         | 山 口 博 司  |
| 博士の専攻分野の名称 | 博士（工 学）  |
| 学位記番号      | 第 1 0 0 6 1 号  |
| 学位授与年月日    | 平成 4 年 2 月 25 日  |
| 学位授与の要件    | 学位規則第 4 条第 2 項該当                                       |
| 学位論文名      | 集束イオンビーム装置の開発と微細加工への応用に関する研究                           |
| 論文審査委員     | (主査)<br>教授 志水 隆一<br>(副査)<br>教授 中島 信一 教授 興地 斐男 教授 後藤 誠一 |

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文はサブミクロンから数10nmの微細集束径を有する集束イオンビーム加工装置を開発し、これによる各種材料の加工特性を解明して電子デバイスの選択的微細加工に適用した研究をまとめたものであり、以下6つの章よりなる。

第1章では選択的微細加工技術の特徴につき述べ、従来これに用いられてきたレーザ加工法の問題点を示し、サブミクロンの領域では微細集束性、低損傷性などの特長を持つ集束イオンビーム加工技術が有効となることを示した。

第2章では選択的微細加工に用いるためのサブミクロン・イオンビーム加工装置の開発について述べた。加工に適したGaイオン源を開発し、チップ先端の曲率半径の制御により軸対称で安定なビーム放出が得られることを示した。また集束光学系としてバトラー型レンズと非対称レンズを設計作製して比較し、エネルギー幅が比較的大きい液体金属イオン源のイオンビームの集束では色収差が支配的要因となり、色収差係数を小さくできる非対称型が有利であることを示した。

第3章では各種の材料につき集束イオンビーム特有のスパッタリング加工特性を明らかにした。さらに加工プロファイルが走査条件に大きく依存することを見出し、スパッタリング率のイオン入射角依存性とスパッタされた原子の周辺への再付着現象が加工プロファイルを決める重要な因子であることを明らかにした。

第4章では集束イオンビームによるVLSIの配線の加工につき基本的な特性を明らかにした。また開発中のデバイスの不良解析等に適用しその有用性を確認した。

第5章では次期デバイスの選択的微細加工を目的としたナノメータ・イオンビーム加工装置の開発に

つき述べた。非対称形2段レンズを用いたイオンビーム光学系を設計作製し、偏向ノイズおよび機械振動の低減により40nmのビーム径を得た。

さらにこの装置によるスパッタリング加工と再付着層のHClエッチングの併用により、InPに対し量子細線に用いられる幅20nmの凸部列パターンの形成が可能であることを示し、これより10nmオーダーの極微細加工への道を開いた。

第6章では以上の結果をまとめ全体の結論を述べた。

## 論文審査の結果の要旨

電子デバイスのマスクのパターン欠陥の修正やLSIの配線切断等の局所微細加工において、従来用いられてきたレーザ加工法は光の回折による集束限界、周辺への熱影響による損傷等のため、サブミクロンの領域においては適用が困難であった。一方、イオンビーム加工法はスパッタリングプロセスによる加工であり低損傷の微細加工が期待できるものの、局所的な微細領域に集束する技術が不足していた。これに対し近年、高輝度液体金属イオン源からのイオンビームを静電光学系により集束する技術が急速に開発されつつあったが、これらは主として不純物打ち込み、リングラフィー、2次イオン質量分析などを対象としており、局所微細加工を目的とした高電流密度の集束光学系の開発やそれによるスパッタリング特性の解明などの研究開発は未着手の状態にあった。本論文は集束イオンビームによる微細加工技術の開発が必須であることを指摘し、そのため微細加工に最適の安定なイオン源および集束光学系の開発を行ない、これによる各種材料の加工特性を解明し電子デバイスの加工へ適用した研究をまとめたものであり、主な成果は以下の通りである。

- (1) Ga液体金属イオン源のビーム安定化について研究を行ない、テーラーコーンの形成条件からチップ先端の曲率半径が比較的大きいほど軸対称で安定なビーム放出が得られることを見出している。また加工に適した高い電流密度を得る集束光学系として、球面収差を最小とするバトラー型レンズと色収差を最小とする非対称型レンズを設計作製して比較し、エネルギー幅が比較的大きい液体金属イオン源からのイオンビームの集束では色収差が支配的要因となり、色収差係数を小さくできる非対称型が有利であることを電界計算にもとづく解析より示している。更に、これらの知見にもとづきサブミクロンの加工に適した集束イオンビーム加工装置を開発している。
- (2) 集束イオンビームによる加工においては、加工形状が走査条件に大きく依存することを見出し、スパッタリング率のイオン入射角依存性とスパッタされた原子の周辺への再付着現象が加工プロセスを決める重要な因子であることを推論し、加工プロセスの解明および加工形状制御のための指針を与えている。
- (3) 集束イオンビームによるVLSIの配線の加工を提案し、その基本的な特性を明らかにし、さらに開発中のデバイスの不良解析等に適用しその有用性を確認している。
- (4) さらにナノメータ領域の微細化を実現するために、非対称型2段レンズを用いたイオンビーム加工

装置を開発し、偏向ノイズおよび機械振動の低減により 40nm のビーム径を得ている。これを用い、スパッタリング加工と再付着層のエッチングの併用により InP に対し幅 20nm の凸部列パターンの形状が可能であることを実証し、10nm オーダの量子細線の極微細加工の可能性を示している。

以上のように本論文は、サブミクロンからナノメートルの領域の選択微細加工のために最適の集束イオンビーム加工装置を開発し、これによる電子デバイスの微細加工を提案するとともに、液体金属イオン源の安定化、イオンビーム光学系の集束特性、スパッタリング加工過程の解明等につき多くの新しい指針を与えており、応用物理学、とくに荷電粒子ビーム工学の発展に貢献する所が大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものとして認める。