

Title	Development of In Situ Processing Techniques Using Focused Lon Beam
Author(s)	徐, 征
Citation	
Issue Date	
oaire:version	
URL	https://hdl.handle.net/11094/37794
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、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について ご参照 ください。

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

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

Osaka University

氏名	徐 征
博士の専攻分野 の名称	博 士 (工 学)
学位記番号	第 9936 号
学位授与年月日	平成 3 年 10 月 28 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	Development of In Situ Processing Techniques Using Focused Lon Beam (集束イオンビームによるその場加工技術の開発に関する研究)
論文審査委員	(主査) 教 授 蒲生 健次 (副査) 教 授 浜川 圭弘 教 授 小林 猛

論 文 内 容 の 要 旨

本論文の目的は、将来の三次元集積回路と量子化素子集積回路を実現するためのその場加工技術を確立することである。

その場加工技術とは、素子製作プロセスを清浄な高真空チャンバー中で一貫して行う技術である。三次元素子を製作するためには、その場エッチング、デポジション、ドーピングおよび結晶再成長が必要であるので、それぞれについての技術を提案し実験的にそれらが可能であることを明らかにした。

まず、その場エッチング技術の一つとしてイオンビーム支援エッチング技術を提案した。Si, SiO₂およびSi₃N₄についてエッチングに関するパラメータを実験によりもとめ、エッチング速度の増速機構および選択性をXPS測定をもとに解明し新しいエッチングモデルを構築した。さらに、表面を汚染することなくサブミクロンレベルの微細なパターンの形成が可能であることを実証した。

次に、低エネルギーイオンビームによるその場デポジション技術を開発した。この方法により、純度の高いタングステン薄膜の形成ができることを示し、抵抗率15μΩcmを達成した。XPS測定によりデポジションの機構を調べ、キャリアガスの基板表面への化学吸着とイオンビーム照射によるその分解が必須の過程であることがわかった。また、下地基板に与える照射損傷をタングステン膜をそのまま電極として使い、電流電圧特性およびDLTS (Deep Level Transient Spectroscopy) 測定により明らかにした。その結果、低エネルギーイオンビームを使うことで著しい低損傷化が実現されることを示した。

さらに、マスクレスイオン照射と分子線結晶成長を組合せ、埋め込み構造の量子細線の形成を試み、まず、イオン照射された表面上への再成長の条件を最適化した。その結果、高エネルギーで低ドーズ(2×10¹³ ions/cm²)のイオン照射ではほぼ完全な量子井戸構造が再成長できることを見出した。

さらに、Siイオン注入により照射領域のみに2次元電子ガスが形成できることを示した。また、イオン照射と再成長により導入されるストレスを利用してメゾスコピックスケールでのバンドギャップの変調を初めて実現した。さらに、バンドギャップの変調は理論的に計算した値とよい一致を示すことをカソードルミネッセンス測定により確認した。

最後に、この技術を用いて選択的に逆HEMT構造を持つ素子を実現し、将来の3次元集積回路製作技術に対してその場加工技術が有望であることを示した。

論文審査の結果の要旨

半導体デバイスの高密度集積化、超微細化を実現するためにその場マスクレスプロセスが望まれる。特に、化合物半導体量子化デバイスは、3次元超微細構造を必要とするためその場マスクレスプロセスが重要である。本論文は、高輝度集束イオンビームを用いたその場加工プロセスに関する基礎研究の成果をまとめたものである。

デバイスは、エッチング、膜形成およびドーピングなどのプロセスを経て製作される。本論文では、その場マスクレスエッチング技術としてイオンビーム支援エッチング法に着目し、Si、SiO₂およびSi₃N₄に対するエッチングの基礎特性を調べている。その結果、物理スパッタに較べて数10~100倍の増速エッチングができ、さらに表面の汚染なしにサブミクロン加工ができることを示した。

膜形成法に関しては、加工損傷の低減を実現するために、低エネルギーイオンビームを用いたイオンビーム誘起デポジション法に着目し、その基礎特性を調べている。その結果、これまでに較べて高純度で低抵抗 ($15\mu\Omega\cdot\text{cm}$) のタングステン膜が形成できることを示した。また、X線光電子分光法により膜形成の基礎過程を調べ、表面に吸着したソースガスがイオン照射によって分解され、金属タングステンが生成することを確認している。さらに、GaAs表面にタングステン膜を形成し、GaAs/W接合の電流電圧特性を測定してショットキー接合が得られることを示し、イオンビーム誘起デポジションプロセスの低損傷化に対する低エネルギーイオンビームの重要性を初めて明らかにした。

さらに、高輝度集束イオンビーム装置と分子線エピタキシー装置を組み合わせ、GaAs/GaAlAs 2次元電子ガス (HEMT構造)、量子細線および量子箱のその場形成法を調べている。まず、その場エッチングでパターン化した格子不整合層上に再成長し、発生するストレスによるバンドギャップの変調を利用して、量子細線および量子箱を形成する方法を理論および実験によって検討し、カソードルミネッセンスの測定から、理論的に予測される閉じ込めポテンシャルを持つGaAs/GaAlAs量子細線が形成されることを初めて実証している。ついで、マクスレスイオン注入により形成する方法について、イオン照射量、イオンエネルギーと再成長層の結晶性との関係および製作したHEMTおよび量子細線、量子箱の特性をカソードルミネッセンスおよび磁気抵抗の測定によって調べ、マクスレスイオン注入法の有用性を示した。

以上の成果は、集束イオンビームによるその場加工法に関し、有用な新しい知見を得ており、半導

体工学の進歩に貢献するところ大であり，博士論文として価値のあるものと認める。