The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	低速イオン散乱法を用いた半導体極表面評価技術の開発と応用に関する研究
Author(s)	松井, 都
Citation	大阪大学, 1999, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/43066
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、大阪大学の博士論文についてをご参照ください。

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

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

The University of Osaka

【 71 】

氏　　名	松（まつ）　井（い）　都（みやこ）
博士の専攻分野の名称	博　　士（工　　学）
学 位 記 番 号	第　14935　号
学位授与年月日	平成11年9月22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	**低速イオン散乱法を用いた半導体極表面評価技術の開発と応用に関する研究**
論 文 審 査 委 員	（主査） 教 授 尾浦憲治郎 （副査） 教 授 吉野 勝美　教 授 浜口 智尋　教 授 森田 清三 教 授 西原 浩　教 授 谷口 研二

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、極表面物性の制御が不可欠となる今後の半導体プロセスにおける新しい評価法として、表面の結晶性・組成の測定に適した低速イオン散乱法に着目し、新方式の測定装置を考案・開発すると共に、最新半導体量産プロセスに適用してその有用性を検証した結果について述べたものである。

低速イオン散乱法は、低エネルギー（1〜5 keV）のHeやArイオンを半導体表面に衝突させ反射粒子のエネルギーや入射角度依存性によって表面原子構造・組成を知る手法である。本研究では、より高精度の観察を目指して、完全に180°後方に散乱されるイオン粒子を測定するために、磁場偏向式の低速イオン散乱装置を考案している。まず第1章では、本研究の背景について述べ、半導体分析における本研究の有用性について述べている。第2章では、磁場によるイオン軌道の偏向を考慮した小型のイオン散乱測定装置を試作し、反射イオン粒子と中性粒子との分離測定を行い、装置性能の評価を行った結果について述べている。

第3章では、開発した装置をMBE（Molecular Beam Epitaxy）に取り付け、超高真空中で表面を制御したSi半導体の評価を行い、Si(100)上でのドーパント元素（Ge、Ga、Sb及びB）を単原子層精度で測定可能なことを示している。また、Ge（2 ML）上にアモルファスSiの厚さを変えたサンプルを作成し、Geピークのエネルギーシフトを測定することによって、アモルファスSi中でのHe（2 keV）の阻止能を計測している。この結果、エネルギー損失は約15 eV/nmとなること、Lindhard及びZieglerの計算値とほぼ一致していることを低エネルギー領域で初めて示している。さらに、Si中における原子層Gaの拡散挙動の観察を行い、室温中での表面偏析現象を観察するとともに、アニールによるGaの表面偏析とアモルファスSiの結晶化の同時観察を行っている。

第4章では、大気に暴露したSi表面の観察を行い、最新の半導体量産プロセスへの適用可能性の検証を行っている。この結果、Si表面のダングリングボンドをHF洗浄によってHターミネートすると、大気に暴露しても約20時間は原子層レベルで清浄表面を保ち、表面原子構造を反映した角度依存性を示している。これから、HF洗浄後短時間の放置であれば、初期酸化が抑制されているので、表面結晶構造を評価可能であり、本手法が実用半導体プロセス評価に適用可能であることを示している。

本手法の最新半導体量産プロセスへの適用として、第5章では、酸化膜ドライエッチングプロセスでSi基板上に形成されるダメージを定量評価し、その誘因を調べている。まず、電気的特性（キャリアライフタイム）とXPSを用いた表面の化学結合状態評価と比較してエッチングダメージを評価した結果、低速イオン散乱法によって、表面数ナノメータのエッチングダメージを定量評価できることを実験的に検証している。さらに、角度分解測定によって結晶ダメージの回復過程を、Si基板の原子位置に対応したイオン散乱スペクトルの観察によってモニタし、ドライエッチングの後処理プロセスの条件を提案した。これによって、本手法が適切な評価条件下で、酸化膜ドライエッチングダメージの結晶性回復のモニタとして有効であることを示している。

また、他の適用例として、第6章に半導体プロセスのゲートエッチング工程の解析を行っている。半導体のゲート酸化膜の薄膜化とともに、イオンが突き抜けてゲート酸化膜下のSi基板にダメージを与えることが問題となっていることから、イオンが突き抜ける酸化膜厚さとプロセス条件との関連について調べている。厚さ4.5 nmの酸化膜の下のSi基板の結晶性の評価に本手法を適用した結果、下地Siの最上層の原子位置が乱れる限界の酸化膜厚さは、エッチングイオンの投影飛程にほぼ対応していることがわかり、ゲート酸化膜のエッチングプロセスの指針を示している。

以上の結果から、同軸型イオン散乱法が最新半導体製造プロセスの半導体評価法として有用であることを実験的に検証している。

論文審査の結果の要旨

本研究では、今後の半導体プロセスにおける新しい評価法として、極表面の結晶性・組成の測定に適した低速イオン散乱法に着目し、新方式である磁場偏光式測定装置を考案・開発すると共に、最新半導体量産プロセスに適用してその有用性を検証した結果について述べている。本研究で得られた成果は以下の通りである。

低速イオン散乱法のより高精度の観察を目指して、完全に180°後方に散乱されるイオン粒子を測定するために、磁場偏向式の低速イオン散乱装置を考案している。第2章では、磁場によるイオン軌道の偏向を考慮した小型のイオン散乱測定装置を設計・試作し、装置性能の評価を確認している。磁場偏向方式の特長である反射イオン粒子と中性粒子との分離測定を行い、本装置の原理検証を行っている。

第3章では、開発した装置をMBE（Molecular Beam Epitaxy）に取り付け、超高真空中で表面を制御したSi半導体の評価を行っている。まず、Si(100)上で重元素から軽元素に至るドーパント元素（Ge、Ga、Sb及びB）を単原子層精度で測定可能なことを示している。また、Ge（2 ML）上にアモルファスSiの厚さを変えたサンプルを作成し、Geピークのエネルギーシフトを測定することによって、アモルファスSi中でのHe（2 keV）の阻止能を計測している。この結果、エネルギー損失は約15 eV/nmとなること、Lindhard及びZieglerの計算値とほぼ一致していることを示している。本結果は低エネルギー領域では初めての阻止能の測定値である。さらに、Si中における原子層Gaの拡散挙動の観察を行い、室温中での表面偏析現象を観察するとともに、アニールによるGaの表面偏析とアモルファスSiの結晶化の同時観察を行っている。これらの結晶成長中のSi表面での原子層の挙動観察から、イオン散乱スペクトルの示す詳細情報の解釈を行っている。

第4章では、最新の半導体量産プロセスへの適用可能性の検証として、大気に暴露したSi表面の観察を行っている。Si表面のダングリングボンドをHF洗浄によってHターミネートすると、大気に暴露しても約20時間は原子層レベルで清浄表面を保ち、表面原子構造を反映した角度依存性を示していることを確認している。本結果から、HF洗浄後短時間の放置であれば、初期酸化が抑制されているので、表面結晶構造を評価可能であり、本手法が実用半導体プロセス評価に適用可能であることを示している。

本手法の最新半導体量産プロセスへの適用例として、第5章では、酸化膜ドライエッチングプロセスへの適用を行い、第6章では、ゲートエッチング工程の解析に適用している。

第5章では、酸化膜ドライエッチングプロセスでSi基板上に形成されるダメージを定量評価し、その誘因を調べて

いる。まず、電気的特性（キャリアライフタイム）とXPSを用いた表面の化学結合状態評価と比較してエッチングダメージを評価した結果、低速イオン散乱法によって、表面数ナノメータのエッチングダメージを定量評価できることを実験的に検証している。さらに、角度分解測定によって結晶ダメージの回復過程を、Si基板の原子位置に対応したイオン散乱スペクトルの観察によってモニタし、ドライエッチングの後処理プロセスの条件を提案している。これによって、本手法が適切な評価条件下において、酸化膜ドライエッチングダメージの結晶性回復のモニタとして有効であることを示している。

第6章では、半導体プロセスのゲートエッチング工程の解析に適用している。半導体のゲート酸化膜の薄膜化とともに、イオンが突き抜けてゲート酸化膜下のSi基板にダメージを与えることが問題となっていることから、イオンが突き抜ける酸化膜厚さとプロセス条件との関連について調べている。厚さ4.5 nmの酸化膜の下のSi基板の結晶性の評価に本手法を適用した結果、下地Siの最上層の原子位置が乱れる限界の酸化膜厚さは、エッチングイオンの投影飛程にほぼ対応していることがわかり、ゲート酸化膜のエッチングプロセスの指針を示している。

以上の様に本論文は、物質最表面の分析法である低速イオン散乱法において、新たに磁場偏向方式を提案・試作し、半導体の先端プロセスに適用した結果、Si基板の極表面結晶性の評価手段として有用であることを実験的に検証した一連の成果をまとめたものである。本手法はもともと、主として清浄表面の素過程評価法として用いられていたものである。本研究では、初めてメモリ製造用プロセス評価に展開した点で意義深いと考えられる。今後、ドライエッチングをはじめ、益々浅い領域での表面制御が必要とされる各種の半導体プロセス開発において、本手法は有力な表面評価法になると考えられる。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。