



Title	シリコン－熱酸化膜系の界面原子構造と電気的性質に関する研究
Author(s)	丹羽, 正昭
Citation	大阪大学, 1994, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/39193">https://hdl.handle.net/11094/39193</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"&gt;https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> >大阪大学の博士論文について</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	に 丹 羽 まさ 正 あき 昭
博士の専攻分野の名称	博 士 ( 工 学 )
学 位 記 番 号	第 1 1 5 7 1 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 6 年 1 0 月 5 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	シリコン-熱酸化膜系の界面原子構造と電気的性質に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 岩 崎 裕 教 授 興 地 斐 男 教 授 中 島 信 一 教 授 志 水 隆 一

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、次世代の大規模集積回路素子やシリコンナノ構造素子の実現に必要なシリコン酸化膜形成技術の開発を目的に、界面ラフネスの原子レベルの定量評価技術の開発、界面の平坦化による電気特性の向上、および原子レベルで平坦なシリコン-酸化膜界面形成技術の開発を行った研究をまとめたもので、6章から構成されている。

第1章では、本研究の背景と目的を述べ、その意義と重要性を明らかにしている。

第2章では、透過型電子顕微鏡 (XTEM) および走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いたシリコン-熱酸化膜界面原子構造評価技術及び試料作製の最適化について検討している。

第3章では、XTEM 及び STM による原子レベルの界面ラフネスの定量評価技術を開発し、シリコン-酸化膜界面構造とその電気特性の評価を行っている。その結果、水素燃焼酸化膜界面はドライ酸化膜界面より平坦で、これに対応して前者の絶縁耐圧は後者のそれより高いことを明らかにしている。また、従来のプロセスで形成した熱酸化膜において、約4ナノメートル以上の膜厚では酸化膜厚の増加と共に界面ラフネスは減少し、一定値に落ち着き、それに対応して界面電子移動度が増大すること、および4ナノメートル以下の極薄い膜厚では酸化膜厚の不均一性に基づいて界面電子移動度が低下することを明らかにしている。

第4章では、超高真空中加熱により清浄化した表面を熱酸化することにより、酸化膜厚が約9ナノメートル以下の薄い領域で、原子レベルで平坦なシリコン-酸化膜界面が形成できることを明らかにし、通常のウェット洗浄処理表面の熱酸化に比べて、界面の平坦性ならびに極薄酸化膜厚の均一性の点で著しく改善されることを明らかにしている。さらに、大口径シリコン基板の超高真空中加熱表面清浄化装置を試作し、新たに開発した洗浄プロセスと組み合わせて、ウエハレベルで低い加熱温度での表面清浄化を実現している。また平坦なシリコン-酸化膜界面形成過程を超高真空STMを用いて調べ、極初期の酸化が原子層毎に2次的に進行することを明らかにしている。

第5章では、ナノ構造形成に用いられるシリコン結晶異方性エッチング面のラフネス評価を行い、表面が原子レベルで平坦である事を確認している。また、平坦な界面が形成される水素燃焼酸化を低温化することにより極薄い酸化膜を形成し、良好なトンネル特性が得られる事を明らかにしている。

第6章では、本研究を総括し、主要な成果を要約している。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、次世代の大規模集積回路の実現に必要となるシリコン熱酸化膜形成技術の開発を目的としたものであり、シリコン-酸化膜界面ラフネスの定量評価、界面の平坦化による電気特性の向上、および原子レベルで平坦な界面を有する酸化膜形成技術について検討したものであり、その主な成果を要約すると次の通りである。

- (1) 走査型トンネル顕微鏡 (STM) を用いたシリコン-熱酸化膜界面の原子構造を評価するための試料作製法を明らかにし、透過型電子顕微鏡および STM による界面ラフネスの自乗平均平方根高さおよび相関長を用いた原子レベルの定量評価技術を確立している。
- (2) 従来の表面処理プロセスで形成した熱酸化膜において、約4ナノメートルの膜厚で界面ラフネスが最大となり、それ以上の膜厚では酸化膜厚の増加と共に界面ラフネスは減少し一定値に収束し、それに対応して低温高電界での界面電子移動度が増大することを明らかにしている。一方、4ナノメートル以下の極薄い膜厚では酸化膜厚の不均一性に基づいて界面電子移動度が低下する事を明らかにしている。
- (3) 超高真空中加熱表面清浄化処理を含む新しい酸化膜形成プロセスを開発し、酸化膜厚が約9ナノメートル以下数ナノメートルの領域で、原子レベルで平坦なシリコン-酸化膜界面を有する均一な膜厚の酸化膜の形成に成功し、従来のプロセスで形成した熱酸化膜に比べて界面キャリア移動度の著しい向上が見込まれることを明らかにしている。
- (4) 新しい酸化膜形成プロセスにおける原子レベルで平坦なシリコン-酸化膜界面形成過程を超高真空STMを用いて調べ、極初期の酸化は原子層毎に2次的に進行することを明らかにしている。
- (5) 大口径シリコン基板の超高真空中加熱表面清浄化装置を試作し、摂氏600度程度の加熱温度での基板全面の表面清浄化に成功し、新しい酸化膜形成プロセスの集積回路作製プロセスへの適応性を明らかにしている。

以上のように、本論文は、シリコン-酸化膜界面ラフネスの定量評価技術を確立し、界面の平坦化による電気特性の向上を実現し、次世代の大規模集積回路の実現に必要となる原子レベルで平坦な界面を有するナノメートルオーダーのシリコン熱酸化膜形成技術を確立したものであり、応用物理学、特に半導体工学の発展に寄与するところが大きい。よって本論文は、博士論文として価値あるものと認める。