

# 主 論 文 要 旨

報告番号	㊦ 乙 第	号	氏 名	深津 茂人
主 論 文 題 目： Enhanced diffusion of silicon and boron in thermal oxides formed on silicon substrates (シリコン基板上の熱酸化膜中におけるシリコン及びボロンの増速拡散)				
(内容の要旨) シリコン熱酸化膜( $\text{SiO}_2$ )は、現在のシリコン(Si)-MOSFET の構成に不可欠なゲート絶縁材料である。また、将来を見据えた新ゲート材料 (例えば、高誘電体) の開発においても、新材料と Si ウエハー間の中間層として熱酸化膜は重要な位置を占める。これまで MOSFET の性能向上は微細化によって得られてきた。しかし、チャンネル長が 100nm に達した現在、正常動作を確保しながら、さらに小さいゲート絶縁膜やチャンネル長を作製することが困難になりつつある。ゲート絶縁膜の微細化が困難な理由として、原子レベルでのシリコン熱酸化現象の理解が乏しいことがあげられる。また、ナノ領域でチャンネル長の制御が困難な原因の 1 つとして、熱酸化膜上の多結晶 Si 電極に添加された高濃度ボロン(B)がゲート熱酸化膜を通過してチャンネル領域に拡散してしまうことがあげられる。 以上の問題の解決に向けて、本研究では、半導体 Si ウエハー上に熱酸化で形成された $\text{SiO}_2$ 膜における Si 原子と B 不純物の拡散現象を、実験により定量的に解明し、数式を用いてモデル化した。 $\text{SiO}_2$ 中の Si 自己拡散の解明は、極薄熱酸化膜の形成機構の理解に不可欠である。また、 $\text{SiO}_2$ 中の B 拡散現象は、電極からチャンネル層への不純物が拡散してしまう現象の中心的過程である。具体的には、 $^{28}\text{Si}$ 同位体熱酸化膜( $^{28}\text{SiO}_2$ )中に添加された $^{30}\text{Si}$ 安定同位体と B の分布を指標 (マーカー) として、熱酸化膜中の Si と B 拡散の温度依存性・時間依存性・酸化膜厚さ依存性を、表面窒化膜 ( $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) が有る場合と無い場合について調べた。拡散熱処理前後の $^{30}\text{Si}$ マーカーの濃度分布は、二次イオン質量分析 (SIMS) によって決定した。その結果、窒化膜が無い場合には、Si の自己拡散係数は酸化膜厚に依存することなく、バルク石英で求められた過去の報告値と一致した。また、窒化膜が無い場合には、熱処理雰囲気中の酸素分圧を変化させても、Si 自己拡散係数は変化しなかった。一方、窒化膜が表面に有る場合の Si 自己拡散は酸化膜厚に依存し、薄くなるほど拡散係数が大きくなる傾向が得られた。さらに同一の温度であっても、熱処理時間の増大に伴い Si の自己拡散係数が大きくなる傾向が観測された。窒化膜が有る場合に得られた実験結果を定量的に記述するために、 $\text{SiO}_2/\text{Si}$ 界面では $\text{SiO}_2 + \text{Si} \rightarrow 2\text{SiO}$ に基づき大量の SiO 分子が発生し、それらが酸化膜中を拡散して Si 自己拡散を増速するという新しいモデルを構築した。そして、実験条件に合わせた数値シミュレーションを行い、すべての実験結果を定量的かつ統一的に再現することに成功した。B 拡散に対する結果も、Si 自己拡散と同様の傾向が得られた。この場合も SiO によって増速されるというモデルによって、すべての実験結果が再現できることを示した。 すなわち、本研究では、Si ウエハー上に形成された $\text{SiO}_2$ 中の Si と B の拡散に関する実験を行い、窒化膜が有り (非酸化状態) の場合は、 $\text{SiO}_2/\text{Si}$ 界面において熱平衡状態から逸脱する大量の SiO 欠陥が生じ、それらが $\text{SiO}_2$ 中の Si と B の拡散を大きく増速させる現象を発見した。このデータを定量的に解析することから、Si と B の拡散を定量的かつ統一的に描写するモデルの開発に成功した。本研究で発見された現象が新しい半導体ナノプロセスの開発につながり、また、構築されたモデルが、次世代 Si プロセスシミュレーターの精度向上に役立つことが期待される。				