



Title	シリコン結晶中におけるボロン拡散に関する研究
Author(s)	辻, 博史
Citation	大阪大学, 2005, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/45857
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

氏 名	辻 博 史
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 19510 号
学 位 授 与 年 月 日	平成 17 年 3 月 25 日
学 位 授 与 の 要 件	学位規則第 4 条第 1 項該当 工学研究科電子情報エネルギー工学専攻
学 位 論 文 名	シリコン結晶中におけるボロン拡散に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 谷口 研二 (副査) サイバーメディアセンター教授 小田中紳二 教 授 谷野 哲三 教 授 北山 研一 教 授 岸野 文郎 教 授 尾浦憲治郎 教 授 森田 瑞穂 助教授 原 晋介 助教授 松岡 俊匡

論 文 内 容 の 要 旨

本論文はシリコン結晶中におけるボロン拡散に関する研究の成果をまとめたものであり、全体は 5 章から構成されている。

第 1 章では、本研究の背景および本論文の枠組みについて述べた。

第 2 章では、イオン注入により発生する過剰な格子間シリコン原子がアニール時に {311} 欠陥へと成長する過程を PL (PhotoLuminescence) 法を用いて詳細に調べた。その結果、0.94 eV のエネルギーを持つ PL ピークが、アニール時間の経過とともに、{311} 欠陥に起因する 0.90 eV の PL ピークへと滑らかに変化していく様子を初めて観測した。そして、この PL ピークの時間変化が、{311} 欠陥の前駆体である小さな格子間シリコン原子クラスタが {311} 欠陥へと遷移していく過程を表しており、0.94 eV の PL ピークが {311} 欠陥の前駆体に起因していることを明らかにした。次に、第一原理計算から、I₂ クラスタが {311} 欠陥の前駆体である可能性を示した。最後に、格子間シリコン原子クラスタのオストワルド成長モデルに基づくシミュレーションと PL 測定結果との比較から、PL 法と他の複数の測定法を組み合わせることによってモデルを多角的に検証する必要があることを示した。

第 3 章では、シリコン/酸化膜界面におけるボロンのドーズロス現象の特性について詳細に調べた。ボロンを極低エネルギー注入した試料を用い、アニール初期の表面方向へのボロンのアップヒル拡散と多量のドーズロスとが密接に関連していることを初めて確認した。また、ドーズロス量の時間変化は注入ドーズ量に大きく依存し、低、中、高ドーズの 3 通りのパターンに分類できることを見出した。低ドーズでは、アニール初期のドーズロスに加えて、その後もドーズロス量は増加するが、ある時間から減少に転じる。中ドーズでは、アニール初期に多量のドーズロスを生じるが、その後は単調に減少し続ける。高ドーズでは、アニール初期のドーズロス量は少ないが、長時間にわたってドーズロスが続く。さらに、シリコンと酸化膜の間にインターフェース層を仮定した三層モデルを用いた解析により、シリコン/酸化膜界面からのボロン放出速度を求めた。

第 4 章では、極低エネルギー注入ボロンのアップヒル拡散の特性とメカニズムについて詳細に調べ、さらに、モデリングを行った。まず、広範囲なイオン注入、アニール条件でボロンの拡散実験を行い、アップヒル拡散はアニール温度依存性が非常に小さく、また、高エネルギー、高ドーズ注入であるほど起こりにくいことを明らかにした。さら

に、シリコン注入を用いた実験から、アップヒル拡散がアニール初期に存在する多量の自由な格子間シリコン原子とシリコン/酸化膜界面でのドーズロス現象に密接に関連していることを明らかにした。以上の結果を踏まえてモデリングを行い、シミュレーションでボロンのアップヒル拡散を再現するためには、(1)BI の結合エネルギーは 0.8 eV、(2)界面での BI の捕獲速度は十分大きく、捕獲が拡散律速、(3)アニールは試料の昇温過程を考慮、(4)シリコン結晶中は真性状態とする必要があることを示した。

第5章では、本論文で取り上げる各研究での成果についてまとめた。

論文審査の結果の要旨

本論文は、半導体デバイスの微細化に伴い、必要とされる新たなプロセスシミュレータの構築に資する注入不純物の拡散や結晶欠陥の生成過程の解明に関するものである。

その主要な成果は次の通りである。

- (1) シリコン結晶中の欠陥生成過程を PL 法で明らかにしている。シリコンイオン注入を行い、低温でアニールした試料において、小さな格子間シリコン原子クラスタが {311} 欠陥へと遷移していく過程を初めて観測している。また、第一原理計算から、I₂ クラスタが {311} 欠陥の前駆体である可能性を理論的にも明らかにしている。
- (2) ボロンを極低エネルギー注入した試料を用い、シリコン/酸化膜界面におけるボロンのドーズロス現象を詳しく調べている。その結果、アニール初期の表面方向へのボロンのアップヒル拡散と多量のドーズロスとが密接に関連していることを初めて確認している。また、ドーズロス量の時間変化は注入ドーズ量に依存し、3通りの特徴あるパターンに分類できることを見出している。
- (3) 広範囲なイオン注入、アニール条件でボロンの拡散実験を行い、アップヒル拡散の特性とメカニズムについて詳しく調べている。まず、アップヒル拡散はアニール温度依存性が小さく、高エネルギー、高ドーズ注入であるほど起こりにくいことを明らかにしている。また、シリコン注入を用いた実験から、アップヒル拡散がアニール初期に存在する多量の自由な格子間シリコン原子とシリコン/酸化膜界面でのドーズロス現象に密接に関連していることを明らかにしている。これらの実験結果は、ボロンの拡散現象を高精度にシミュレートできるモデル構築に資するものであることを示している。

以上のように、本論文はシリコン結晶中におけるボロン拡散に関する数多くの発見、メカニズムの解明、シミュレーションモデルの提案を行っている。これらの知見は、高精度の拡散シミュレーションモデルを構築する上で有益な情報を提供するものであり、半導体デバイスや集積回路の発展に大いに貢献する成果である。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。