



Title	CZ-Si単結晶育成及びウェハプロセスにおける結晶欠陥の形成と制御に関する研究
Author(s)	宝来, 正隆
Citation	大阪大学, 1997, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/40283">https://hdl.handle.net/11094/40283</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"〉</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	ほ 宝	らい 来	まさ 正	たか 隆
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)			
学 位 記 番 号	第 1 2 8 8 2 号			
学 位 授 与 年 月 日	平成 9 年 3 月 18 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	CZ-Si 単結晶育成及びウェハプロセスにおける結晶欠陥の形成と制御に関する研究			
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授	梅野 正隆		
	(副査) 教 授	横山 正明	教 授 森 勇蔵	教 授 谷口 研二

## 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、シリコン半導体デバイスの素子特性の劣化原因となる結晶欠陥の、結晶育成時ならびにウェハ製造プロセス中での形成挙動と制御に関する研究をまとめたものであり、以下の6章で構成されている。

第1章では、シリコン半導体デバイスの特性劣化要因と、シリコンウェハの製造プロセスの概要ならびに技術課題をまとめ、本研究の目的および本論文の構成と概要を述べている。

第2章では、極微量金属不純物の定量汚染法の開発と、典型的な汚染金属である Fe, Ni, Cu によって誘起される表面析出欠陥と酸化誘起積層欠陥 (OSF: Oxidation Induced Stacking Fault) の形成挙動と構造について述べている。高温からの冷却過程において金属原子の拡散速度に律速されて Ni, Cu および Fe シリサイドが形成され、これらを核として OSF が酸化時に誘起されることと、各金属シリサイドの構造を明らかにしている。

第3章では、 $\mu$ -PCD ( $\mu$ -Wave Photo Conductive Decay) 法による少数キャリアライフタイムを汚染モニタリング法として適用し、ウェハプロセスの改善を行った実例を述べている。さらに、Fe, Ni, Cu に対するゲッターリング効果を比較し、Ni, Cu が容易にゲッターリングされるのに対し、Fe はゲッターリングが困難であるが、過飽和になる温度でウェハを保持することで、Fe を有効にゲッターリングできることを明らかにしている。

第4章では、CZ-Si 結晶中に生成する grown-in 欠陥の実体と形成挙動を研究している。結晶固化後の高温度域において OSF-ring 外側領域は格子間シリコンが優勢であり転位クラスターが生成すること、また、OSF-ring と内側領域では空孔が優勢であり、結晶冷却時1100°C前後の温度で原子空孔と酸素の相互作用によって酸素析出物であると考えられる赤外線散乱欠陥が生成することを明らかにしている。また、1150~1100°Cでの結晶冷却速度に依存して赤外線散乱欠陥の密度とサイズが変化し、酸化膜耐圧特性の制御が可能であることが明らかにしている。これらの知見を CZ プロセス及び高温水素アニール技術に適用し酸化膜耐圧特性の改善を実現している。

第5章では、OSF-ring の形成挙動について調べ、ring が生じる領域には高温で成長可能な酸素析出核が高密度で存在し、OSF の発生核となることを明らかにしている。さらに、結晶成長速度 V と融点近傍の結晶内温度勾配 G との比 V/G が固化後の高温度域で優勢となる点欠陥のタイプと濃度を決定する成長パラメーターであり OSF-ring 径と

grown-in 欠陥のタイプが  $V/G$  の関数として一義的に決定されることを明らかにしている。

第6章では、各章で得られた成果を総括し今後の課題を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、半導体デバイスの素子特性を劣化させる結晶欠陥の形成機構の解明と制御技術の確立を目的とし、結晶欠陥としてプロセス中に不可避免的に混入する微量重金属不純物および CZ-Si 結晶育成時に導入される酸素不純物と真性点欠陥を取り上げ、これらがプロセス条件によって2次欠陥を生じる際の挙動とその制御に関する研究の成果をまとめたものである。主な成果を要約すると次の通りである。

- (1) 従来、困難であった極微量重金属不純物の濃度の制御を可能とする定量汚染技術を開発し、典型的な汚染元素である Fe, Ni, Cu の表面析出欠陥の形成挙動と構造及び2次的に誘起される酸化誘起積層欠陥 (OSF) の形成挙動について金属種、濃度、ならびに熱処理条件との依存性を解明している。
- (2)  $\mu$ -PCD 法による少数キャリアライフタイム測定を汚染モニタリング技術として確立し、ウェハプロセスの改善に寄与している。
- (3) デバイス活性領域から金属不純物を除去するためのゲッターリングに関して、Fe, Ni, Cu に対する IG 効果 (Intrinsic Gettering) および EG 効果 (Extrinsic Gettering) を検討し、Ni, Cu が容易にゲッターリングされるのに対して、析出欠陥を形成しにくい Fe はゲッターリングが困難であり、デバイスプロセスにおいて Fe 汚染の低減とゲッターリングが重要な技術課題であることを示すとともに、Fe のゲッターリングのための有効な方法を提案している。
- (4) 従来、完全結晶と思われていた as-grown CZ-Si 結晶中に、赤外線トモグラフィ法によって grown-in 欠陥が存在することを指摘し、この欠陥が結晶育成時に形成された酸素析出物である可能性を示している。さらに、この欠陥の生成に過飽和の空孔が関与することと、結晶育成時の1100°C前後の温度域で冷却速度を制御することによって、grown-in 欠陥の密度とサイズの制御が可能であることを見出し、MOS デバイスのゲート酸化膜耐圧特性の改善を実現している。
- (5) ウェーハ内での OSF-ring とその内側と外側の領域に潜在する酸素析出核の熱的安定性に関する研究から、OSF-ring とその内側領域は結晶固化直後の高温状態では原子空孔が優勢に存在し、外側では格子間シリコンが優勢であることを明らかにしている。また、OSF-ring の発生位置とその内外に発生する grown-in 欠陥のタイプが、結晶成長速度 ( $V$ ) と融点直下での結晶軸方向の温度勾配 ( $G$ ) との比  $V/G$  によって決定されることを実験的に示し、この  $V/G$  が育成時の結晶内で優勢となる点欠陥のタイプと濃度を制御するためのパラメータであることを明らかにしている。

以上のように、本論文は高集積化されたシリコン半導体デバイスの性能を著しく劣化させる重金属不純物による結晶欠陥および結晶育成時の grown-in 欠陥の形成挙動に関して、多くの新しい知見を見出すとともに、その知見を実プロセスに適用することによって欠陥の発生を抑制するための制御技術の実現に成功しており、半導体工学ならびに結晶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。