



Title	シリコン中の注入イオンと反跳原子分布に関する研究及びそのデバイス製作への応用
Author(s)	平尾, 孝
Citation	大阪大学, 1979, 博士論文
Version Type	
URL	<a href="https://hdl.handle.net/11094/32433">https://hdl.handle.net/11094/32433</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">https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed</a> 大阪大学の博士論文について

*The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA*

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

The University of Osaka

氏名・(本籍)	平 尾 孝
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	第 4752 号
学位授与の日付	昭和 54 年 11 月 20 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
学位論文題目	シリコン中の注入イオンと反跳原子分布に関する研究及びそのデバイス製作への応用
論文審査委員	(主査) 教授 難波 進 (副査) 教授 牧本 利夫 教授 藤沢 和男 教授 末田 正 教授 浜川 圭弘

### 論文内容の要旨

本論文は半導体デバイス開発の中心的技術の一つであるイオン注入技術による単一基板中及び二層基板における注入イオン分布特性及び二層基板へのイオン注入に付随するノックオン原子分布特性を詳細に解析することと、その後の熱処理による不純物の再分布機構及びノックオン原子の注入層の電気的性質への影響について研究し、これらの基礎解析を J-FET 及び高密度メモリの開発に応用した結果をまとめたもので 7 章から構成されている。

第 1 章においては本論文の位置づけ及び目的を明確にしている。

第 2 章においては Si 中の重要な n 形ドーパントである As 及び P の注入イオン分布特性について考察している。特に P については分布の非対称性を加速エネルギーの関数として明らかにした。注入 P 分布は 150~300 keV で skewness を示し理論値より若干小さい値を示す。

第 3 章においては熱処理した場合の注入 P の再分布機構を考察した。P 原子の分布は第 2 章と同様 SIMS 法 (Secondary Ion Mass Spectrometry) を用いて測定した。高濃度注入 ( $10^{15} \sim 10^{16}$  ions/cm<sup>2</sup>) した場合熱拡散 (POCl<sub>3</sub>) P 分布にみられた tail が低温アニール ( $\sim 600 \sim 900^\circ\text{C}$ ) 後の注入分布にも観測され、しかも活性化エネルギーが同一値を示すことから拡散機構はイオン注入と熱拡散とで異なることを見出した。

第 4 章においては半導体デバイスの製作において一般的に行なわれる二層構造 (SiO<sub>2</sub>-Si や Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>-Si) へのイオン注入による注入イオン及びノックオン原子分布特性について検討した。低濃度注入において特に問題にならなかったノックオン効果は高濃度注入になると高温熱処理後も異常な残留欠陥を残しデバイス特性に悪影響を及ぼす懸念があることが指摘された。従ってまずノックオン原子の空

間的分布を SIMS 法を用いて測定する方法を考案した。その後ノックオン原子の空間的分布を注入イオンの質量, ドーズ, 加速エネルギー及び膜厚との関連において求めた。一般にノックオン原子分布は急激な濃度勾配をもつ表面付近の高濃度領域とゆるやかな勾配をもつ tail から形成される。分布を一般的に予測するため Moline 等の開発したノックオン分布の理論計算を改良した。その結果ノックオン分布をかなり精度良く予測できるようになった。

第 5 章においては上述のノックオン原子 (O, N) の注入層の電気的, 物理的性質に及ぼす影響について検討した。実際的にノックオン効果の大きい As 注入について熱処理温度, 基板方位及び絶縁膜種 ( $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ) との関連において調べた。As 原子及びノックオン O, N は SIMS 法により, キャリヤ分布は陽極酸化による薄層除去と主としてホール効果を繰返し測定し求めた。その結果ノックオン酸素は (111) 基板においてその電気的, 物理的性質に大きな影響を与える (100) 基板においてはその影響が小さい事が明らかになった。前者に於いて 1000°C 以下の熱処理では注入 As の活性化の抑制, 易動度の低下がノックオン酸素濃度  $\sim 10^{20} / \text{cm}^3$  以上の表面領域で顕著にみられる。後者では全温度領域 (650~1000°C) で易動度の若干の低下がみられるに過ぎない。ESR による欠陥解析及び透過電顕による観測結果は電気的性質と対応している。

第 6 章においては厳密な不純物深さと濃度制御の要求される高周波 J-FET, 低雑音 J-FET の製作にイオン注入を応用し高歩留り化を達成する最適条件を設定した。又不純物導入として全イオン注入を用い高密度 16K スタチック RAM の開発を行った。該 RAM は負荷抵抗としてイオン注入多結晶 Si を用い, これをメモリセルのドライバトランジスタ上に配置する全く新規な構造を採用している。

第 7 章は第 2~6 章の結果をまとめたものである。

### 論文の審査結果の要旨

半導体デバイスの VLSI 化に対応して, 低濃度領域形成プロセスとして定着しているイオン注入技術が高濃度領域形成プロセスとしても不可欠の技術になりつつある。高濃度イオン注入技術が実用化されるためには単一 Si 基板及び  $\text{SiO}_2$ —Si 或いは  $\text{Si}_3\text{N}_4$ —Si 二層系における注入原子の精密な分布特性とその後の熱的過程における注入不純物の挙動を注入損傷との関連で明確に理解する事が必要である。

本論文ではまず単一 Si 基板へ高濃度注入された P, As の分布特性を解析し, それとの比較において  $\text{SiO}_2$ —Si 或いは  $\text{Si}_3\text{N}_4$ —Si 二層系の注入イオン分布特性を明らかにした。次に, 二層系への高濃度注入において問題となる Si 原子以外のノックオン原子 (O, N) の分布を注入イオンの質量, 加速エネルギー, 注入量及び絶縁膜厚をパラメータとして注入イオン分布と関連させつつ, 初めて定量的に測定解析した。更に理論的考察により二層系へのイオン注入におけるノックオン原子分布を一般的に予測できるようにした。二層系への高濃度イオン注入に関し, 注入層の主要な電気的性質 (キャリヤ分布, 易動度等) 及び物理的性質を評価し, 热処理過程及び結晶方位との関連においてノックオン

原子の効果を明らかにした。これらの結果を新規構造を含む超高密度 MOSLSI (16Kスタチック RAM) 及び超低雑音 J-FET のプロセス設計に応用し、開発に成功した。これらの研究はイオン注入技術の半導体デバイスへの応用範囲を著しく拡大するもので学位論文として価値あるものと認める。