

# 主 論 文 要 旨

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |       |   |     |       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---|-----|-------|
| 報告番号                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ㊦ 乙 第 | 号 | 氏 名 | 清水 康雄 |
| 主 論 文 題 目：<br>Experimental Study of the Behavior of Point Defects and Dopants in Silicon using Isotope Superlattices<br>(同位体超格子を用いたシリコン中の点欠陥と不純物の挙動に関する実験的研究)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |       |   |     |       |
| <p>(内容の要旨)</p> <p>シリコン (Si) CMOS デバイスの微細化による性能向上は日進月歩であり、先端 CMOS におけるソース・ドレイン領域の構造制御には 1 nm 以下の精度が要求される時代を迎えている。ソース・ドレイン領域は、不純物のイオン注入と、注入された不純物を電氣的に活性化させる熱処理の二段階を経て形成される。一世代前のマイクロ CMOS プロセスシミュレーションでは、ソース・ゲート・ドレイン領域が十分離れており、それらの界面における点欠陥の発生が不純物拡散に与える影響は小さいとして無視された。しかし、先端ナノ CMOS 開発に要求される不純物の拡散領域制御と電氣的活性化効率の向上を得るためにはナノ領域特有の母体 Si の欠陥生成・拡散・化学反応の理解が不可欠である。</p> <p>よって本研究では、先端 CMOS ソース・ドレイン形成機構の高精度シミュレーションに不可欠な物理現象の解明と物性値の決定を行った。具体的には、1) 875 °C 以下の熱処理における Si 自己拡散係数の測定と拡散機構の解明、2) イオン注入された不純物との衝突による母体 Si の移動距離の測定とアモルファス化条件の解明、3) イオン注入により生じた過剰 Si 点欠陥が不純物拡散および Si 自己拡散を過渡的に増速する現象の定量的評価を行い、それぞれの項目においてプロセスシミュレータに搭載可能な数理モデルの構築に成功した。</p> <p>本研究の特徴は、ナノ領域特有の現象解明を初めて可能にする独自の試料開発に成功したことである。従来、母体 Si 中の Si 原子の挙動を調べることは困難を極めた。そこで本研究では <math>^{28}\text{Si}</math>, <math>^{30}\text{Si}</math> などの異なる安定同位体を原子層単位で交互に積層した同位体超格子の作製を行い、同位体の質量差をマーカー（指標）としてイオン注入や熱処理における不純物と母体 Si 原子の挙動を同時に観測することに成功した。1) の自己拡散係数測定においては、同位体超格子を熱処理することから Si 自己拡散を誘発し、その結果としての質量分布変化をラマン分光による格子振動周波数の変化として検知することから製造プロセスで重要となる 700-900 °C の範囲の Si 自己拡散係数の決定を行った。さらにこの温度領域では自己拡散が空孔拡散機構によることを初めて明らかにした。2) では <math>^{30}\text{Si}</math> 濃度の深さ方向の周期性がイオン注入により乱れる様子を二次イオン質量分析 (SIMS) で測定し、その定量的な解析から母体 Si 原子の移動距離の見積もりに成功した。また、透過型電子顕微鏡観測と合わせて移動距離が約 0.5 nm を超えると母体 Si がアモルファス化することを示し、この閾値 0.5 nm は注入するイオンの種類、量、加速エネルギーに依らないことを示した。3) ではホウ素イオン注入後の熱処理によるホウ素と <math>^{30}\text{Si}</math> 濃度の深さ分布を SIMS により測定した。さらに電荷状態も含めた様々な化学反応に基づく拡散モデルを構築し、実験結果を完全に再現する物性値の組み合わせ決定することからホウ素を用いた場合のソース・ドレイン領域形成機構の詳細を明らかにした。</p> <p>本研究で見出された物理現象がソース・ドレイン領域構造制御に及ぼす影響は、ナノ CMOS の更なる微細化とともに強まる。本研究の成果の一部は既に産業界が利用する CMOS プロセスシミュレータに搭載されており、今後はその重要性が益々高まると期待される。</p> |       |   |     |       |