

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 野口 宗隆

4H-SiC は、Si に代えて電力変換用パワーデバイスに適用することで電力損失の低減が可能な半導体として実用化が始まっている。しかしパワーデバイスの主要な構成素子である金属―酸化膜―半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) では、大きなチャネル抵抗が動作効率を制約しており、その改善のための技術開発が続けられている。チャネル抵抗を低減するために重要となるのは、反転層チャネル中の電子の移動度 (反転層移動度) の向上であるが、反転層移動度を制約する因子は様々であり、それらの因子を分離して理解できていないために反転層移動度を向上させるための技術開発指針や達成すべき目標値が不明瞭なままである。このような背景のもと、本論文では SiC MOSFET の反転層移動度について系統的な評価を行った上で、反転層移動度を制約する因子を表すモデルの構築を実験的に行ったものである。

本論文は 7 章から構成されている。

第 1 章は序論であり、社会における SiC パワーデバイスへの期待とともに、現在の SiC MOSFET 技術の開発状況とその課題を述べている。また SiC MOSFET の反転層移動度を向上させる技術として、SiO₂/SiC の界面で炭素原子を窒素原子に置換した構造を形成する手法、界面近傍の SiO₂ 膜中へのリン原子を加える手法についてまとめている。

第 2 章は本研究で用いる評価手法とデバイス作製プロセスの説明であり、特に反転層移動度の評価に対するホール効果測定の有用性を述べている。さらに、反転層移動度にクーロン散乱が強く影響する SiC MOSFET の解析のため、アクセプタ濃度を制御可能な下限となる 10^{14} cm^{-3} 台まで低下させてクーロン散乱の影響を抑制することにより他の散乱機構の影響を定量的に分離・評価する手法を提案している。

第 3 章では SiC MOSFET の反転層移動度に影響する因子として、アクセプタ濃度や温度を取り上げ、これらによる反転層移動度の変化から、SiC MOSFET における支配的なキャリア散乱機構がクーロン散乱であることを検証している。さらにそのボディー電圧依存性の調査から、主要なクーロン散乱源がゲート酸化膜/SiC 界面近傍に局在することを明確化している。

第 4 章では、ゲート絶縁膜に酸化窒素膜を用いた標準的な MOSFET の室温における反転層移動度を解析し、(1)フォノン散乱 (2)クーロン散乱 (3)界面ラフネス散乱からなるキャリア散乱機構モデルの枠組みを構築するとともにその妥当性を検証している。また、クーロン散乱の影響の大きさが、ゲート絶縁膜/SiC 界面に存在するクーロン散乱源から反転層中のキャリアまでの平均的な距離で決定されることを明確化している。

第 5 章では、高温測定を用いることで、前章で構築したキャリア散乱機構モデルの枠組みを検証している。高温ではフォノン散乱が強まる一方でクーロン散乱が抑制されるため、アクセプタ濃度が $10^{14} \sim 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 程度の範囲では、等しい実効垂直電界に対して反転層移動度が一致する。この現象を利用してフォノン散乱移動度を定量化している。

第 6 章では評価の対象を、ゲート絶縁膜に熱酸化膜や、リンを加えた熱酸化膜を適用した MOSFET へと拡張し、どの絶縁膜の場合も前述の反転層キャリア散乱機構モデルが適用できることを検証している。まずフォノン散乱移動度は、どのゲート絶縁膜を用いてもほぼ同一とみなせることを示している。次にクーロン散乱移動度については、リンを加えた熱酸化膜において特に抑制され、この特徴をクーロン散乱源となる捕獲準位のエネルギー分布によって説明可能であることを示している。また熱酸化膜と酸窒化膜の場合を比較するとクーロン散乱移動度に大きな違いはなく、両者の界面近傍における電荷捕獲準位密度の大きな違いが、クーロン散乱移動度にはほぼ影響を与えないことを明らかにしている。

第 7 章は、本研究の総括と展望を述べている。

以上のように本論文は、4H-SiC MOSFET の反転層移動度について、ホール効果測定を用いて系統的に評価し、特にクーロン散乱が反転層移動度に大きく影響するという特徴に着目して、反転層中の各種のキャリア散乱機構を分離して評価する手法を提案および実証した上でキャリア散乱機構モデルを実験的に構築したものであり、SiC MOSFET の特性の正しい理解のための基盤を確立したという技術的な観点のみならず、物質科学の観点からも意義は大きい。

なお、本論文の第 3 章～第 6 章の内容は岩松俊明氏、網城啓之氏、渡辺友勝氏、渡邊寛氏、三浦成久氏、山川聡氏、喜多浩之氏との共同研究であるが、論文提出者が主体となって測定及び分析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

よって本論文は博士（科学）の学位請求論文として合格と認められる。

以上 1999 字