

論文内容の要旨

博士論文題目:

論文題目 Development and Analysis of High-Performance SiC Metal-Oxide-Semiconductor Devices with Phosphorus-Doped Gate Oxide
(リンドーピング酸化膜を用いた高性能 SiC 金属-酸化膜-半導体電界効果トランジスタの作製と解析)

氏名 岡本 大

電気エネルギーを有効利用するための「パワー半導体デバイス」用材料として優れた物性値を持つ半導体シリコンカーバイド (SiC) が注目を集めている。しかし、SiO₂/SiC 構造を形成した場合に高密度の界面準位が発生し、金属-酸化膜-半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) のチャネル移動度が大幅に低下してしまう問題がある。本研究では、界面準位を減少させる独自の手法として、リン原子を SiO₂ に導入する方法を初めて提案し、その効果の検証およびメカニズムの検討などを行った。

6 種類の元素をイオン注入後の熱酸化によって SiO₂/SiC 界面に導入し界面準位の変化を調べた。その結果、従来から提案されていた窒素以外にリンでも界面準位密度を低減できることが明らかとなった。リンを有効に導入する方法として、Si 面 4H-SiC 上にドライ酸化により形成した SiO₂ 膜に対して、オキシ塩化リン (POCl₃) を原料とした雰囲気中、1000 °C でアニールを試みた。伝導帯付近の界面準位密度が大幅に減少し、電界効果移動度のピーク値が 89 cm²/Vs まで向上した。

SiO₂ 中にリンをドーピングしたときに MOSFET 特性が向上するメカニズムを検討するため、熱刺激電流 (TSC/TDRC) 測定などによる解析を行った。SiO₂/SiC 界面から若干離れた位置に存在する「界面近傍酸化膜欠陥 (NIT)」に捕獲された電子の密度が、リンドーピング膜において顕著に減少していることが明らかになった。その理由として、リンを導入したことにより SiO₂ が構造緩和したことが影響していることが示唆された。

SiC MOSFET の新たな評価手法として、チャージポンピング (CP) 測定に着目し、CP 測定が SiC MOSFET に適用可能かどうかについて検討を行った。FET 特性によっては「形状成分」と呼ばれる余分な電流成分が CP 曲線に加わり、特異的な CP 曲線が得られることが明らかとなった。形状成分の効果を抑えるためには、チャネル長が短いデバイスを用い、測定に用いるパルスの立下り時間を長く取ることが重要であることを指摘した。

最後に C 面 SiC についても検討を加え、POCl₃ 処理が界面準位密度の減少とチャネル移動度の向上に効果があることが確認された。

以上により、SiC-MOSFET の高機能化に対して、酸化膜/半導体界面にリンを導入することが非常に効果的であることを世界で初めて明らかにした。

(論文審査結果の要旨)

電気エネルギーを有効利用するための「パワー半導体デバイス」用材料として優れた物性値を持つ半導体シリコンカーバイド (SiC) が注目を集めている。しかし、 SiO_2/SiC 構造を形成した場合に高密度の界面準位が発生し、金属-酸化膜-半導体電界効果トランジスタ (MOSFET) のチャネル移動度が大幅に低下してしまう問題がある。本研究では、界面準位を減少させる独自の手法として、リン原子を SiO_2 に導入する方法を初めて提案し、その効果の検証およびメカニズムの検討などを行った。

6 種類の元素をイオン注入後の熱酸化によって SiO_2/SiC 界面に導入し界面準位の変化を調べた。その結果、従来から提案されていた窒素以外にリンでも界面準位密度を低減できることが明らかとなった。リンを有効に導入する方法として、Si 面 4H-SiC 上にドライ酸化により形成した SiO_2 膜に対して、オキシ塩化リン (POCl_3) を原料とした雰囲気中、 $1000\text{ }^\circ\text{C}$ でアニールを試みた。伝導帯付近の界面準位密度が大幅に減少し、電界効果移動度のピーク値が $89\text{ cm}^2/\text{Vs}$ まで向上した。

SiO_2 中にリンをドーピングしたときに MOSFET 特性が向上するメカニズムを検討するため、熱刺激電流 (TSC/TDRC) 測定などによる解析を行った。 SiO_2/SiC 界面から若干離れた位置に存在する「界面近傍酸化膜欠陥 (NIT)」に捕獲された電子の密度が、リンドーピング膜において顕著に減少していることが明らかになった。その理由として、リンを導入したことにより SiO_2 が構造緩和したことが影響していることが示唆された。

SiC MOSFET の新たな評価手法として、チャージポンピング (CP) 測定に着目し、CP 測定が SiC MOSFET に適用可能かどうかについて検討を行った。FET 特性によっては「形状成分」と呼ばれる余分な電流成分が CP 曲線に加わり、特異的な CP 曲線が得られることが明らかとなった。形状成分の効果を抑えるためには、チャネル長が短いデバイスを用い、測定に用いるパルスの立下り時間を長く取ることが重要であることを指摘した。

最後に C 面 SiC についても検討を加え、 POCl_3 処理が界面準位密度の減少とチャネル移動度の向上に効果があることが確認された。

以上のように、本論文では、SiC-MOSFET の高機能化に対して、酸化膜/半導体界面にリンを導入することが非常に効果的であることを世界で初めて明らかにした。その成果は、学術的に新しい知見を見出していると同時に SiC パワーデバイスの実用化に向け大きな寄与を果たすものと判断され、審査委員一同は、本論文を博士 (工学) 論文として認定した。