

論文内容の要旨

博士論文題目:

シリコンカーバイドの絶縁ゲート型電界効果トランジスタに対する
アンモニアプラズマ前処理と界面電子物性評価

氏名 岩崎 吉記

近年、シリコンカーバイド(SiC)パワー絶縁ゲート型電界効果トランジスタ(metal -oxide -semiconductor field-effect transistor、MOSFET)の実用化研究が盛んに進められている。SiC パワー MOSFET の問題点として、熱酸化で形成した SiO₂ ゲート絶縁膜と基板との界面における準位密度が高いことが挙げられる。この課題に対する取り組みとして、窒化または水素化を行う界面欠陥の不活性化法が検討されている。本研究では MOS 界面の特性向上を目的として、NH₃ プラズマにより SiC 表面を処理する方法を用いた。これにより窒化と同時に水素化が可能であり、また多くの窒素を MOS 界面に導入することによる界面改質が期待される。

NH₃ プラズマ前処理した SiC 表面 (C 面) を XPS 測定により調べた。ドライ酸化したサンプル表面にはサブオキサイド(SiO_xC_y)や C-C 結合が現れるが、NH₃ プラズマ照射したサンプル表面ではこれらの成分が現れず、窒素や水素に関する結合が得られることが分かった。また、膜厚と表面成分含有率を算出した結果、NH₃ プラズマ処理により 2.2 nm の SiON 膜が形成されること、及びその SiON 膜中の窒素含有率が 12%であることが分かった。

NH₃ プラズマ前処理後に SiON 膜を堆積したサンプルと、比較のためドライ酸化膜を形成したサンプルを用いて n 型 C 面 4H-SiC MOS キャパシタを作製し、電気的特性を容量電圧(C-V)測定により調べた。ドライ酸化膜の高周波 C-V 曲線と低周波 C-V 曲線の容量差は非常に大きいですが、SiON 膜ではかなり小さくなった。これは SiON 膜を用いることにより、電気的な特性が大きく改善されたことを示す。また、NH₃ プラズマ前処理をすることにより容量差はさらに小さくなった。これは NH₃ プラズマ前処理により窒素による界面欠陥の不活性化及び水素によるダングリングボンドの終端が起きたためと考えられる。C-V 測定結果から界面準位密度を算出した。ドライ酸化膜の界面準位密度は $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 程度と大きいですが、SiON 膜を使用することにより界面準位密度は一桁減少する。NH₃ プラズマ前処理を行うとさらに界面準位密度は減少し、 $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 程度になった。

NH₃ プラズマ前処理を行った SiON 膜、ならびに、比較のため SiON 膜を堆積したのみのゲート絶縁膜を用いて n チャネル C 面 4H-SiC MOSFET を作製し、評価した。ドライ酸化膜を用いた MOSFET の電界効果移動度が一般的に $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以下であるのに対し、SiON 膜を用いた MOSFET の電界効果移動度はゲート電圧が $8 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度となった。さらに、NH₃ プラズマ前処理をすることにより、ドレイン電流値は同一バイアスで 6 倍程度大きく、またドレイン電流の立ち上がりも急峻で、電界効果移動度は $28 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度となった。

以上により、SiC MOS デバイス作製プロセスにおいて、NH₃ プラズマ前処理が有効であることが、MOS キャパシタによる界面準位密度の低減と、MOSFET における移動度の向上の両面から認められた。

(論文審査結果の要旨)

近年、シリコンカーバイド(SiC)パワー絶縁ゲート型電界効果トランジスタ(metal - oxide - semiconductor field-effect transistor、MOSFET)の実用化研究が盛んに進められている。SiC パワーMOSFET の問題点として、熱酸化で形成した SiO₂ ゲート絶縁膜と基板との界面における準位密度が高いことが挙げられる。この課題に対する取り組みとして、窒化または水素化を行う界面欠陥の不活性化法が検討されている。本研究では MOS 界面の特性向上を目的として、NH₃ プラズマにより SiC 表面を処理する方法を用いた。これにより窒化と同時に水素化が可能であり、また多くの窒素を MOS 界面に導入することによる界面改質が期待される。

NH₃ プラズマ前処理した SiC 表面 (C 面) を XPS 測定により調べた。ドライ酸化したサンプル表面にはサブオキサイド(SiO_xC_y)やC-C 結合が現れるが、NH₃ プラズマ照射したサンプル表面ではこれらの成分が現れず、窒素や水素に関する結合が得られることが分かった。また、膜厚と表面成分含有率を算出した結果、NH₃ プラズマ処理により 2.2 nm の SiON 膜が形成されること、及びその SiON 膜中の窒素含有率が 12 %であることが分かった。

NH₃ プラズマ前処理後に SiON 膜を堆積したサンプルと、比較のためドライ酸化膜を形成したサンプルを用いて n 型 C 面 4H-SiC MOS キャパシタを作製し、電気的特性を容量電圧(C-V)測定により調べた。ドライ酸化膜の高周波 C-V 曲線と低周波 C-V 曲線の容量差は非常に大きいですが、SiON 膜ではかなり小さくなった。これは SiON 膜を用いることにより、電気的な特性が大きく改善されたことを示す。また、NH₃ プラズマ前処理をすることにより容量差はさらに小さくなった。これは NH₃ プラズマ前処理により窒素による界面欠陥の不活性化及び水素によるダングリングボンドの終端が起きたためと考えられる。C-V 測定結果から界面準位密度を算出した。ドライ酸化膜の界面準位密度は $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 程度と大きいですが、SiON 膜を使用することにより界面準位密度は一桁減少する。NH₃ プラズマ前処理を行うとさらに界面準位密度は減少し、 $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2} \text{ eV}^{-1}$ 程度になった。

NH₃ プラズマ前処理を行った SiON 膜、ならびに、比較のため SiON 膜を堆積したのみのゲート絶縁膜を用いて n チャンネル C 面 4H-SiC MOSFET を作製し、評価した。ドライ酸化膜を用いた MOSFET の電界効果移動度が一般的に $1 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 以下であるのに対し、SiON 膜を用いた MOSFET の電界効果移動度はゲート電圧が $8 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度となった。さらに、NH₃ プラズマ前処理をすることにより、ドレイン電流値は同一バイアスで 6 倍程度大きく、またドレイン電流の立ち上がりも急峻で、電界効果移動度は $28 \text{ cm}^2/\text{Vs}$ 程度となった。これらの結果より、SiC MOS デバイス作製プロセスにおいて、NH₃ プラズマ前処理が有効であることが、MOS キャパシタによる界面準位密度の低減と、MOSFET における移動度の向上の両面から認められた。

以上のように、本論文では、SiC 絶縁ゲート型電界効果トランジスタの作製において、アンモニアプラズマ前処理が界面特性の改質に有用であることを明らかにし、かつ、トランジスタ特性の改善として実証した。その成果は、学術的に新しい知見を見出していると判断され、審査委員一同は、本論文を博士(工学)論文として認定した。