

# 水銀プローブによる SiO<sub>2</sub> 膜の電気特性評価および電気特性と膜質の相関解析

小川 慎吾

表面科学研究部

**要 旨** 水銀プローブ (Hg-Probe) および各種物理分析手法を用いて、Si 基板上に異なる方法で成膜した SiO<sub>2</sub> 膜の電気特性と膜質との関係を詳細に調べた。熱酸化 SiO<sub>2</sub> 膜と比べて、化学気相蒸着法 (CVD) で成膜した SiO<sub>2</sub> 膜は水分や水酸基含有量が高く、SiO<sub>2</sub> ネットワーク構造の秩序性が低いことを RBS、XPS、FT-IR、SIMS により明らかにした。Hg-Probe を用いた C-V 測定結果から、プラズマ CVD 成膜の SiO<sub>2</sub> 膜では正の電荷密度が高く、オゾン CVD では可動電荷密度が高い特徴を有し、加えて、水分含有量と比誘電率には相関関係があることが確認された。I-V 測定では、水分含有量の高いオゾン CVD 成膜の SiO<sub>2</sub> 膜のリーク電流が顕著であることも示された。また、ウェットエッチングを併用した C-V 測定より、プラズマ CVD で成膜した SiO<sub>2</sub> 膜は界面付近で電荷分布に広がりがあることを確認した。

## 1. はじめに

高性能な半導体デバイスを作製するために、半導体デバイス中の様々な部位に、用途に応じた適切な絶縁膜が形成されている。例えば、半導体デバイス中でスイッチング素子として用いられる、金属—絶縁膜—半導体 (Metal-oxide-semiconductor : MOS) 構造を用いた電界効果トランジスタ (Field-effect-transistor : FET) では、良好なデバイス特性を得るために絶縁膜は薄膜であることと高い絶縁性の両立に加えて、高い信頼性 (安定性) が求められる。<sup>1)</sup> また、デバイス内の配線間に形成する層間絶縁膜では、電界の影響を受けにくいように低い比誘電率 ( $k$ ) を有する絶縁膜 (Low- $k$  膜) が導入されている。<sup>2)</sup> そのため、成膜した絶縁膜がどのような特性を有するかを理解し、制御することが高性能なデバイスを形成する上で必要不可欠である。

半導体デバイスにおいて、最も典型的な絶縁膜の一つに二酸化シリコン (SiO<sub>2</sub>) 膜が挙げられる。SiO<sub>2</sub> 膜は熱的安定性が高く、<sup>3)</sup> 9 eV 程度のバンドギャップを有

するため、<sup>4,5)</sup> 絶縁膜として優れた特徴を有する。また、シリコン (Si) を熱酸化することで得られる絶縁膜であり、熱酸化で形成した SiO<sub>2</sub>/Si 界面は、水素アニールなどと組み合わせて欠陥の少ない高品質な界面が形成できることも知られている。<sup>6)</sup> 一方で、熱酸化で SiO<sub>2</sub> 膜を形成する場合、1000 °C 程度の加熱が必要になるが、半導体デバイス中の絶縁膜は、プロセスによっては熱ダメージのおそれのある材料への影響の観点から低温で成膜することが要求される場合もある。そのため、近年は、化学気相蒸着法 (Chemical Vapor Deposition : CVD) や原子層堆積法 (Atomic Layer Deposition : ALD) などにより、低温で、所望の箇所に絶縁膜を成膜する技術も広く普及している。<sup>7,8)</sup> しかしながら、低温で形成した絶縁膜は、品質が低く良好な電気特性が得られないこともあるため、<sup>8,9)</sup> 成膜した絶縁膜の膜質が電気特性に及ぼす影響を理解しておくことも重要である。

SiO<sub>2</sub> 膜の電気特性を評価する方法として、SiO<sub>2</sub> 膜上に金属電極を成膜し、MOS キャパシタを形成したうえで、プローバーにより評価することが一般的に行われている。一方で、今回紹介する水銀プローブ (Hg-Probe)