

FT-IR による絶縁膜構造の低温評価の検討 Investigation of Structure Evaluation of Insulating Films with Low Temperature FT-IR method

臼田 宏治, 井野 恒洋
Koji Usuda, Tsunehiro Ino

東芝メモリ株式会社
Toshiba Memory Corporation

高性能微細 Si 半導体素子のゲート絶縁膜として必須の SiO₂ 薄膜は、その膜厚が通常 10 nm 以下と薄い故に、そもそも X 線回折などの物理分析自体が難しい。ここに、FT-IR 測定は、他の手法では得難い薄膜構造を反映した振動スペクトルが得られる構造解析法として期待されるが、通常の FT-IR スペクトルはその形状がブロードで、結果の解釈が難しい点が課題である。本研究課題では、放射光の高強度 IR 光源と低温 FT-IR 設備とを組み合わせ、温度ゆらぎの抑制による半値幅の狭いスペクトルの取得を目指した。

キーワード： FT-IR、低温、Insulator

背景と研究目的：

高性能微細半導体素子のゲート絶縁膜として重要な SiO₂ 薄膜は通常 10 nm 以下と薄く、素子特性向上に向けて、その構造の詳細理解が不可欠である。薄膜であるが故に、しばしば厚膜試料で報告される X 線回折などの平均格子情報の取得は難しく、他方、薄膜中の分子振動などの情報は構造解析に有用と期待される。この点において、FT-IR 測定は、製造プロセスにおける異なる振動スペクトル変化を捉えられる可能性が有り、例えば X 線構造解析だけでは区別が困難であった薄膜の詳細構造解析に有用と考えられる。しかしながら、通常の FT-IR スペクトルはその形状がブロードであり、結果の対比が難しい事が課題である。即ち、本課題の薄膜の FT-IR 評価を高精度に実施するには、高強度 IR 光源と波数分解能の向上が不可欠である。ここに、SPring-8 の BL43IR 設置の IR 設備では、クライオスタットを用いた低温測定の実施が可能である点が特徴である。低温測定は、温度ゆらぎが抑えられ、積分強度はそのままにスペクトルの半値幅が狭くなり、実質的にスペクトルのピーク強度増強が期待できると予測される。他方、微細な半導体素子の局所領域測定では、放射光の IR 光源：赤外放射光強度も有利であると考えられる。そこで今回、放射光 IR と低温 FT-IR とを組み合わせ、絶縁膜評価の FT-IR 解析が可能かどうか検討した。

実験：

試料は標準的な SiO₂/Si 基板である。測定は、上記の様に、低温環境下での実験が必須である上、赤外放射光光源の高輝度性と空間分解能をも重視した測定が有利と考えられることから、BL43IR に設置の高空間分解赤外顕微鏡:Bruker Hyperion 2000、高精度(高 S/N 比)分光光度計:Bruker Vertex70 とで構成される FT-IR 装置、液体 He のフロー式クライオスタット(4.2-400 K)と、冷却ステージとを利用した。試料サイズは、液体ヘリウムの冷却ステージに搭載するため、凡そ 5x5 mm² に調整し、専用の銅製のホルダー上に低粘性のグリスで固定した。FT-IR の Spot 径は約 5 μm、Scan 範囲は 3000-600 cm⁻¹、波数分解能は 4 cm⁻¹。またクライオスタットで冷却された試料温度が約 10 K に冷却された状況下で測定を実施した。実測定は、各試料(SiO₂/Si 基板)と標準 Si 試料のスペクトル取得を行い、その差分スペクトルを振動スペクトルとして比較した。

結果および考察：

図 1 に、室温で取得した FT-IR スペクトル結果を示す。結果、室温測定では緩やかなバックグラウンド強度の変化と共に複数のピークが観測される一方、特に 1500-1000 cm⁻¹ 領域にブロードなスペクトルが観測された。

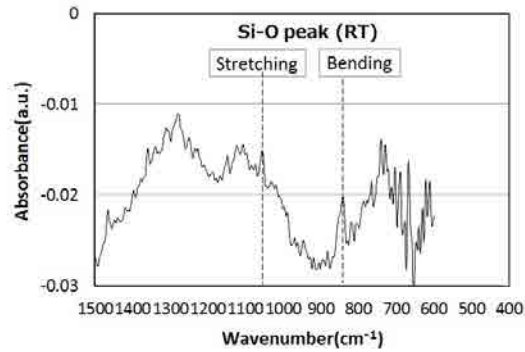


図1. SiO₂/Si 基板の FT-IR スペクトル(室温)

他方、図2に低温測定結果を示す。1000 cm⁻¹以上の領域のブロードなピークは消失し、明確な構造が新たに複数観測された。即ち、低温測定を行うことで、当初予測通り、温度揺らぎが抑制され、結果、本来存在する振動構造が観測できた可能性が有る。ここで試料構造に注目すると、810-850 cm⁻¹付近と、1040-1080 cm⁻¹付近に明確なピークが観測される。試料が SiO₂/Si 構造であるため、Si-O-Si bond 起因と考えられる振動と仮定すれば、それぞれ、bending vibration と stretching vibration (図中破線)と推測でき、所望の測定が実現していると推測できる。

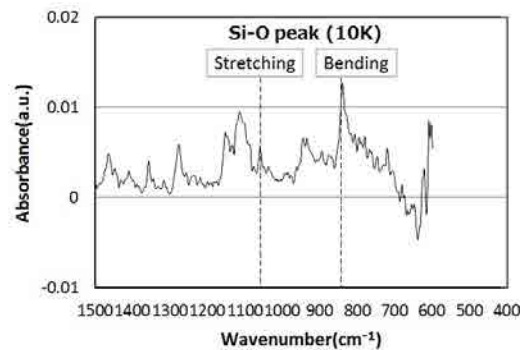


図2. SiO₂/Si 基板の FT-IR スペクトル(低温：10K)

以上、放射光 IR 光源とクライオスタットを組み合わせ、低温 FT-IR 測定を行った。結果、室温測定に比べて温度揺らぎを抑制し、結果、本来存在する振動スペクトルを測定できる可能性が示された。本手法を適用することによって、従来は、簡易には行い難かった薄膜絶縁膜中の振動構造解析が実施可能で、半導体開発の構造解析に寄与すると期待される。

今後の課題：

低温測定を容易かつ効率的に実施するため、到達温度と冷却時間の観点で試料を搭載するホルダーのサイズが限られる。従って、複数の試料を同時に搭載するために、専用のホルダー形状の検討と準備、加えてホルダーサイズに適した試料サイズの事前検討が必要である。

謝辞

放射光の IR 光源と低温 FT-IR の組み合わせは報告例が乏しく、評価手法の検討と測定の実施に当たって、高輝度光科学研究センターの池本由佳様、大麻隆彦様に御助言とサポートを頂きました。ここに感謝いたします。