

バイアス印加 HAXPES および X 線回折法を用いた
シリコン酸化膜の評価
Evaluation of Silicon Dioxide Film using Bias Applied HAXPES
and X-ray Diffraction

永田 晃基, 小椋 厚志
Kohki Nagata, Atsushi Ogura

明治大学
Meiji Univ.

本課題ではプラズマ酸化膜のチャージトラップ量や界面準位密度の評価を行うために、バイアス印加硬 X 線光電子分光法測定の開発を行った。測定に必要な電圧印加可能な試料台の作成を行い、バイアスが正しく試料に印加されていることを光電子ピークのシフトより確認した。

キーワード： シリコン酸化膜、バイアス印加硬 X 線光電子分光、電界効果型トランジスタ

背景と研究目的：

近年、半導体デバイスはスケーリング則と呼ばれるトランジスタサイズの縮小によって、性能向上は達成されてきたが、微細化が進む中で素子サイズはナノスケールに及んでおり物理的な限界と言われて久しい。微細化限界の原因として、ゲート絶縁膜として用いられている SiO₂ 薄膜の物理的な限界が大きな要因として挙げられ、高信頼性を有する酸化膜プロセスの確立は急務であると言える。しかしながら、これまでの酸化膜形成手法では SiO₂ 絶縁膜の特性を十分に引き出しているとは言えず、高度なプロセス技術の導入によってより高性能な絶縁膜を得ることが可能であると考えられる。また、上記のような問題点からプラズマ酸化手法が注目されており、本課題ではプラズマ酸化膜のチャージトラップ量とサブオキサイド成分の評価を行うために、バイアス印加硬 X 線光電子分光法測定の開発を行った。また、X 線反射率測定よりプラズマ酸化膜密度および界面ラフネスの成膜温度依存性を調査した。

実験：

試料は熱酸化およびプラズマ酸化手法を用いて(100)シリコン基板上にシリコン酸化膜を形成したものをを用いる。高温プラズマ酸化に関しては酸化温度を変化させたものも用意した。バイアス印加 HAXPES 測定を行うために、測定に必要な電圧印加可能な試料台の作成を SPring-8 協力の元で行った。本手法では試料表面に電極として Pt を 10nm 程度スパッタ装置により堆積させたものを用い、Si の裏面はオーミック接触をし、プラチナ電極から試料台には金ワイヤと銀ペーストでコンタクトをとった。製作した本測定器具を Fig.1 に示す。バイアス印加 HAXPES 用の試料台は、一般的な HAXPES 用の試料台とは異なり、金ワイヤとコンタクトがとれるように支持棒付近に金属プレートを設置して試料台との間に絶縁性の材料で電氣的に分離している。この金属プレートに接続した配線に外部より直流電圧を印加し、測定を行った。今回は測定条件の検討を主眼としているため、予備実験として熱酸化膜を用いた。X 線エネルギーは約 8keV、パスエネルギーは 200meV に設定した。印加電圧は-1V から 1V まで 0.1V ステップでバイアス印加し、TOA(Take off Angle)は 20°として、SiO₂/Si 界面近傍の脱出深さとした。測定スペクトルは Si1s と Pt1s を観測した。また、X 線反射率測定では多軸回折装置を用い、検出器にはシンチレーションカウンターを使用した。測定範囲は 2θ= 0~8deg として測定を実施した。

結果および考察：

バイアス印加 HAXPES により得られた Pt4f 光電子スペクトルおよびその時の Si1s 光電子スペクトルのピーク位置の変化を Fig.2 に示す。図から明らかなように Pt1s の光電子スペクトルは印加電圧の変化に従って次第にシフトしていることが分かる。これは、印加電圧が正しく試料表面

に負荷されていることを示している。また、Si1s の光電子スペクトルのピーク位置のバイアス依存性をカーブフィッティングより求めた。-1V から 1V までバイアス電位を変えた時に、0.01eV のシフトが確認できる。しかしながら、この値は想定されるシフト量に比べて非常に小さいものであった。この要因として、熱酸化を用いることによって界面状態が非常に良好であることと、シフトが大変小さいことに対し、HAXPES の今回の測定条件でのエネルギー分解能が 200meV ステップと幅が広がったためと考える。今後のバイアス印加硬 X 線光電子分光法測定ではパスエナジーを下げエネルギー分解能の向上を図った上で、細かいステップで測定することが重要である。また、X 線反射率測定よりプラズマ酸化膜密度および界面ラフネスの成膜温度依存性を調査した。プラズマ酸化温度は 500~750°C の範囲で変化させた試料について測定を行った(Fig.3)。界面ラフネスは酸化温度の上昇に従って単調に減少し、750°C で検出限界程度の平坦な界面が得られることが判明した。一方で、膜密度は 600°C を極大値とする傾向を持つことが判明した。

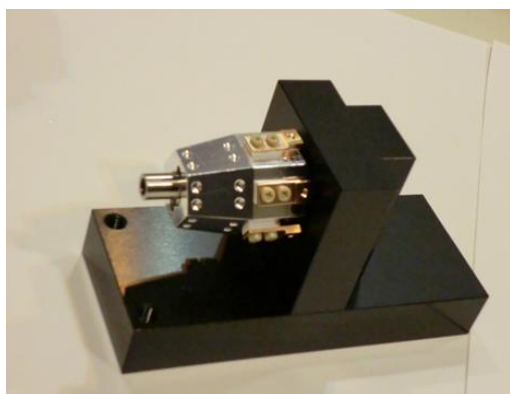


Fig.1. バイアス印加 HAXPES 測定可能な試料台

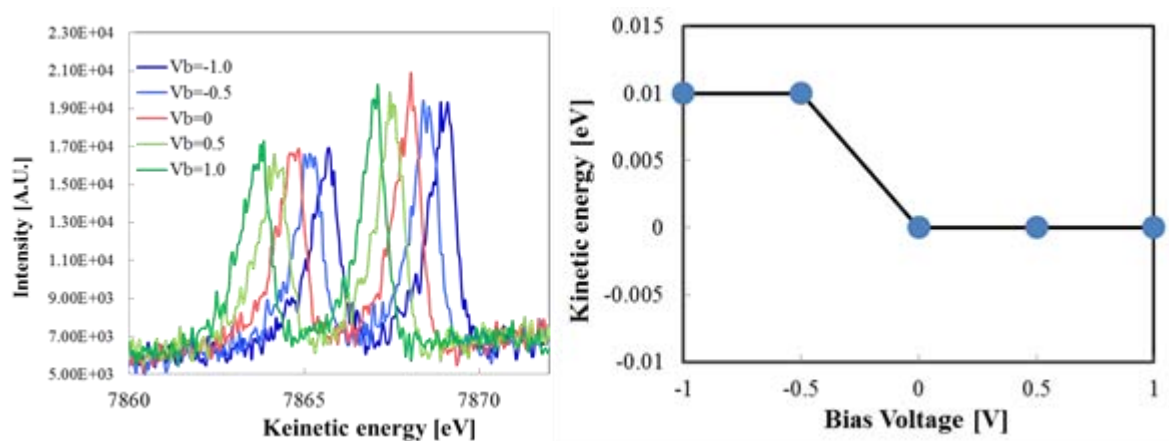


Fig.2. バイアス印加 HAXPES により得られた Pt4f 光電子スペクトルおよびその時の Si1s 光電子スペクトルのピーク位置の変化

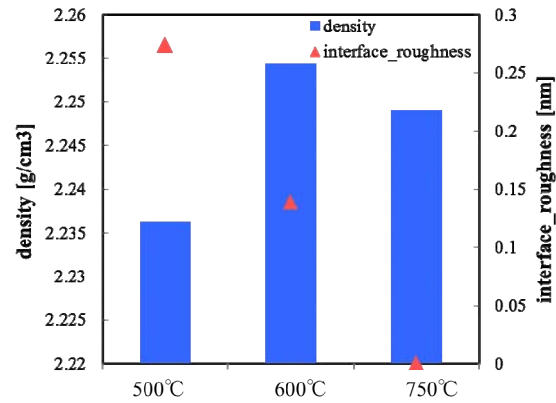


Fig.3. SiO₂ 薄膜の膜密度および界面ラフネスのプラズマ酸化温度依存性

今後の課題：

今回の課題ではバイアス印加 HAXPES の手法開発および測定条件の最適化に重点を置いたが、今後は更に条件を変化させた複数の酸化膜に本手法を適用する。また、得られた測定結果から測定精度が不十分であったためパスエネルギー、スリット幅、エネルギーステップ幅を変更しより高精度な測定条件で実施する。