

バイアス印加硬 X 線光電子分光法を用いた
MOS 構造における絶縁層および界面評価
Bias Operation Hard X-ray Photoelectron Spectroscopic Study for
Insulator Layer and Interface in MOS Structures

池野 成裕, 小椋 厚志
Norihiro Ikeno, Atsushi Ogura

明治大学
Meiji University

結晶 Si 太陽電池の高効率化を目指した新たな取り組みの一つであるパッシベーションコンタクトは、物理的な理解が不十分である。そこで本課題では、金属/SiO₂/Si 構造を作製し、電流バイアスを印加しながら硬 X 線光電子分光を実施することにより、電子状態からこの問題の解決を試みた。実験の結果、バイアスを印加することにより SiO₂/Si 界面において、酸素に起因した結合状態が変化し、電流リークパスの形成が示唆された。

キーワード： バイアス印加硬 X 線光電子分光、絶縁膜、界面

背景と研究目的：

結晶 Si 太陽電池は変換効率の観点から、産業に最も応用されている。近年、高い変換効率を実現すべく、表面パッシベーションの技術が注目されている。パッシベーション層の役割は、1 つ目に、Si 表面のダングリングボンドに起因する界面準位密度を低減する。2 つ目に、パッシベーション膜中の固定電荷を制御し、Si 表面近傍のキャリアを分散させる電界効果パッシベーションである[1][2]。Si に対して優れたパッシベーション特性を示すシリコン酸化膜(SiO₂)は長く利用されてきた。また近年では、生成されたキャリアを薄い SiO₂ 膜中トンネル電流により電極まで到達させるパッシベーションコンタクトに関する研究が盛んに行われている[3]。本申請では、この SiO₂ 層を流れる電流に着目し、Al/SiO₂/n-Si 構造においてバイアス印加中の SiO₂、電極、基板界面の電子状態を硬 X 線光電子分光(HAXPES)法により評価した。HAXPES は検出深さが実験室系光電子分光に比べ深いことから、埋もれた界面の評価に有力である。

実験：

n 型 Si 基板(3-5 Ωcm, 400 μm,(100))に SiO₂ を 0.8、6.1 nm 成長させ、高真空中において上部電極(10 nm)を製膜し、Metal/Oxide/Si の MOS 構造を作製した。電極材料は Al および Pt を選定した。HAXPES 測定における X 線エネルギーは約 8 keV を用いた。パスエネルギーは 200 eV、スリットサイズは curved 0.5 mm とした。エネルギー分解能の見積もりおよびエネルギー校正は、標準 Au 試料の光電子スペクトルを用いて行った。バイアス印加には BL46XU に設置されている電圧電流発生器(ADC 6240 A)を用い、直流電流 0.1、0.5、1.0 mA を印加した。取得したスペクトルは、価電子帯スペクトル(Valence band: VB)、Si 1s、O1s、電極材料である Al1s および Pt4f のコアスペクトルを測定した。

結果および考察：

VB スペクトルでは、上部電極の影響によりバイアス印加中に生じる変化を議論するデータの解釈には至らなかった。Fig.1 に Al/SiO₂(0.8 nm)/Si 構造における光電子取り出し角度(TOA)80 および 20°の Si 1s コアスペクトルを示す。Fig.1(a)に示す TOA=80°では、基板 Si の情報が大部分を占めている。また、バイアスを印加することで Si との混合物のピークが現れた。一方、Fig.1(b)に示す TOA=20°では、基板情報は低減されている。しかし、ゼロバイアス状況で確認した Si 基板由来のピークは、バイアスを印加すると消失した。以上から、バイアス印加中に基板界面近傍で結合状態の変化が示唆された。Fig.2 に同構造においてゼロバイアスおよび 0.5 mA のバイアス印加状態

で測定した O1s コアスペクトルを示す。バイアス印加状態のスペクトルでは高束縛エネルギー側にピークが確認された。また、メインピークが非対称であることから、この他にもバイアス印加中に酸素に起因した結合状態が形成され、この結合が膜内のキャリアの伝導現象と関わっている可能性が考えられる。

今後の課題：

今回得られた酸素による結合状態の変化がどの状態で生じるのかを検討する為に、電流印加条件を更に精査する。

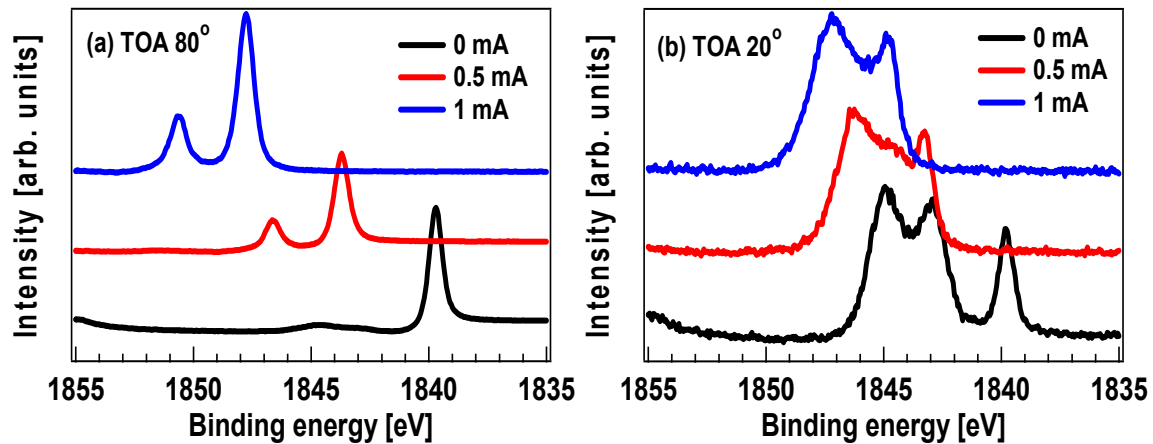


Fig.1. Al/SiO₂(0.8 nm)/n-Si 構造における Si1s コアスペクトルのバイアス印加依存性. (a)TOA 80°, (b)TOA 20°.

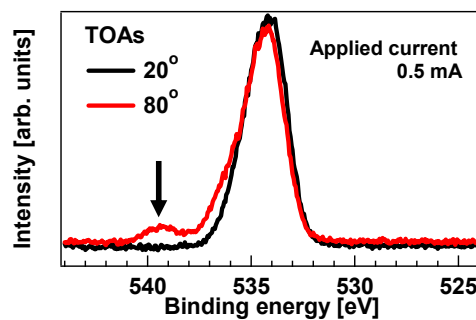


Fig.2. バイアス印加(0.5 mA)中における O1s コアスペクトルの TOA 依存性.

参考文献：

- [1] S. W. Glunz, *Advanced in OptoElectronics*, 2007, 97370 (2007).
- [2] A. G. Aberle et al., *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, **2**, 265 (1994).
- [3] F. Feldmann et al., *Solar Energy Materials & Solar Cells* 120 (2014) 270.