

**HAXPES による**  
**ゲート絶縁膜/In-Ga-Zn-O 膜界面の電子状態分析**  
**Characterization of electronic state of gate dielectric/In-Ga-Zn-O interface**  
**by HAXPES**

安居 麻美<sup>a</sup>, 小川 慎吾<sup>a</sup>, 宮田 洋明<sup>a</sup>, 竹田 正明<sup>a</sup>, 遠藤 亮<sup>a</sup>, 吉川 透<sup>b</sup>, 岡 伸人<sup>b</sup>, 重里 有三<sup>b</sup>  
Asami Yasui<sup>a</sup>, Shingo Ogawa<sup>a</sup>, Hiroaki Miyata<sup>a</sup>, Masaaki Takeda<sup>a</sup>, Ryo Endo<sup>a</sup>,  
Toru Yoshikawa<sup>b</sup>, Nobuto Oka<sup>b</sup>, Yuzo Shigesato<sup>b</sup>

<sup>a</sup>株式会社東レリサーチセンター, <sup>b</sup>青学大理工

<sup>a</sup> Toray Research Center Inc.,

<sup>b</sup> Graduate School of Science and Engineering, Aoyama Gakuin University

実験室系の X 線光電子分光(XPS)よりも検出深さが深い硬 X 線光電子分光(HAXPES)により、20 nm の絶縁膜成膜後の In-Ga-Zn-O (IGZO)膜(SiO<sub>2</sub>/IGZO, SiN<sub>x</sub>/IGZO)について、絶縁膜越しに非破壊で絶縁膜と IGZO 膜界面近傍の元素の化学状態および IGZO 膜の価電子帯を調べた。絶縁膜が SiO<sub>2</sub> 膜の場合は、SiO<sub>2</sub>/IGZO 界面の価電子帯上端の裾準位に変化は生じないが、絶縁膜に SiN<sub>x</sub> 膜を用いると、SiN<sub>x</sub>/IGZO 界面で裾準位が増大することが確認された。裾準位強度は、キャリア輸送特性に影響を及ぼすと考えられるため、本研究からゲート絶縁膜の種類と TAOS を用いた TFT 特性の関係を HAXPES により明らかにできる可能性が示された。

キーワード： IGZO、interface、硬 X 線光電子分光、HAXPES

#### 背景と研究：

透明アモルファス酸化物半導体(Transparent Amorphous Oxide Semiconductor:TAOS)であるアモルファス In-Ga-Zn-O(a-IGZO)膜は、室温成膜でも電子移動度が 10 cm<sup>2</sup>/Vs 程度を示すことから次世代 TFT のチャネル材料として有力視されている。また、a-IGZO 膜は 3.0 eV 以上のワイドギャップを有し可視光に対し透明であるため、透明なフレキシブルデバイスへの適用も期待されている。a-IGZO 膜を用いた TFT では、ゲート絶縁膜として SiO<sub>2</sub> 膜や Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 膜などが用いられ、良好な TFT 特性も一部報告されている。しかしながら、製造工程における成膜時の雰囲気や成膜種により、a-IGZO 膜の状態変化(還元)や酸素拡散による低抵抗化など、TFT 特性が悪化することも報告されており、実用化における問題も生じている。そのため最適なデバイス作製条件の指針を得るために、現在様々な研究が進められている。ここで、ゲート絶縁膜とチャネル(a-IGZO 膜)の界面の状態は TFT 特性に強く影響を及ぼすため、界面の構造や電子状態を詳しく調べることは極めて重要であるが、数十 nm のゲート絶縁膜を成膜した後に、界面の情報を直接的に得ることは通常の実験室レベルの分析では難しい。

本研究では、通常の軟 X 線 XPS に比べて検出深さが深い硬 X 線光電子分光法(検出深さ数十 nm)を用いて、a-IGZO 膜上に 20nm のゲート絶縁膜を形成した試料に対し、軟 X 線では調べることができないゲート絶縁膜/a-IGZO 膜界面の化学状態および電子状態を評価した。

#### 実験：

Si 基板に DC マグネトロンスパッタ法にて約 300nm 厚の IGZO 膜を成膜後、RF マグネトロンスパッタ法にて約 20 nm 厚の絶縁膜(SiO<sub>2</sub> 膜または SiN<sub>x</sub> 膜)を形成した。なお、IGZO 膜成膜から絶縁膜成膜まで全て真空中にて実施した。これらの試料に対し、SPring-8 BL46XU にて硬 X 線光電子分光(hν=7.9 keV)を適用した。光電子検出角度は、80°(試料法線方向[検出角度が最も深い]を 90°とする)に設定した。

**結果および考察：**

IGZO、SiO<sub>2</sub>/IGZO、SiNx/IGZO の O1s および SiNx/IGZO の N1s スペクトルを図1に示す。絶縁膜/IGZO 構造試料について、O1s または N1s スペクトルから各絶縁膜に由来する成分が認められ、O1s スペクトルから IGZO 膜に由来する成分 (531 eV 付近) が認められた。このことから、絶縁膜が 20 nm 存在していても、絶縁膜越しに IGZO の化学状態、電子状態が評価できることが分かった。なお、SiNx/IGZO の O1s における 531 eV のピークの高結合エネルギー側の肩構造は、SiNx 膜の表面もしくは SiNx/IGZO 界面の酸化に由来すると考えられる。また、全試料の IGZO 膜を構成する成分 (In, Ga および Zn) の内殻ピーク位置 (データは未掲載) は、文献値などから判断して IGZO 膜の In, Ga および Zn のピーク位置として妥当であり、試料間で顕著な違いは認められなかった。

IGZO、SiO<sub>2</sub>/IGZO、SiNx/IGZO の価電子帯スペクトルを図2に示す。価電子帯上端における裾準位強度 (図中矢印) について、SiO<sub>2</sub>/IGZO の裾準位強度は IGZO と比べて顕著な違いが認められないが、SiNx/IGZO の裾準位強度は IGZO および SiO<sub>2</sub>/IGZO と比べて高い傾向が認められた。これは、IGZO 膜の上部に形成する絶縁膜の種類により、IGZO 膜の界面の電子状態が変化することを示唆する結果である。

ゲート絶縁膜に SiNx 膜を用いることで SiO<sub>2</sub> 膜より高い誘電率と低いリーク電流が期待できるが、裾準位強度はキャリア輸送特性に影響を及ぼすと考えられるため、ゲート絶縁膜の種類と TAOS を用いた TFT 特性の関係を系統的に把握する必要がある。本研究は HAXPES が上記の関係を明らかにできる有力なツールとなる可能性があることを示している。

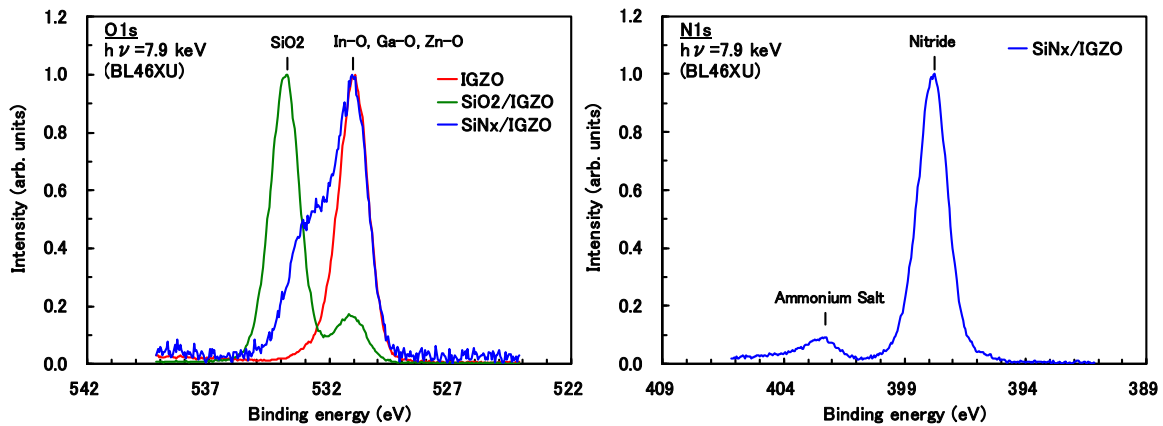


図1. IGZO, SiO<sub>2</sub>/IGZO and SiNx/IGZO の O1s スペクトルおよび SiNx/IGZO の N1s スペクトル。光電子検出角度は 80°

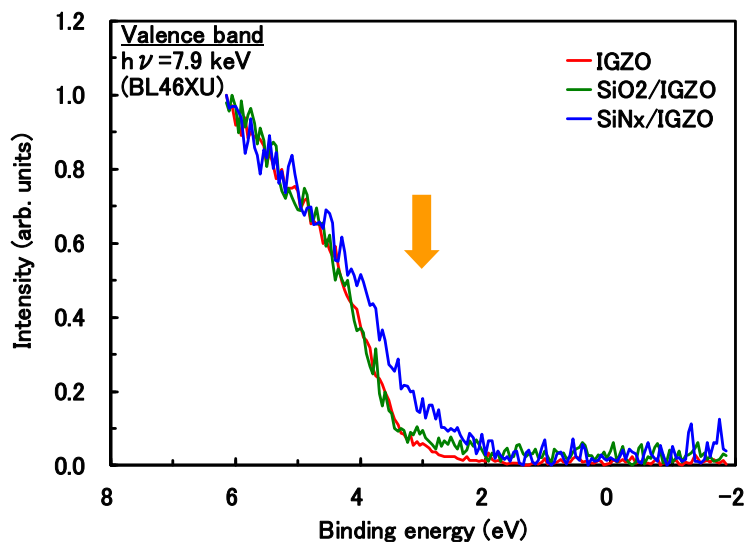


図2. IGZO, SiO<sub>2</sub>/IGZO and SiNx/IGZO の価電子帯スペクトル。光電子検出角度は 80°