

## 硬 X 線光電子分光による窒化ガリウム系電子デバイスの表面状態解析 Analysis on Surface Condition for GaN-based Electron Device by HAXPES

館野 泰範<sup>a</sup>, 駒谷 務<sup>b</sup>, 荒谷 毅<sup>a</sup>, 河内 剛志<sup>a</sup>, 斎藤 吉広<sup>a</sup>, 和田 淳<sup>b</sup>  
Yasunori Tateno<sup>a</sup>, Tsutomu Komatani<sup>b</sup>, Takeshi Araya<sup>a</sup>, Tsuyoshi Kouchi<sup>a</sup>, Yoshihiro Saito<sup>a</sup>, Jun Wada<sup>b</sup>

<sup>a</sup>住友電気工業 (株), <sup>b</sup>住友電工デバイス・イノベーション (株)  
<sup>a</sup>Sumitomo Electric Industries, Ltd., <sup>b</sup>Sumitomo Electric Device Innovations, Inc.

電子デバイス用の n 型窒化ガリウム (n-GaN) と窒化シリコン (SiN<sub>x</sub>) 保護膜の界面状態に関し、硬 X 線光電子分光 (HAXPES) による分析を行った。試料には、通常の製造条件によるもの、事前に GaN 表面を O<sub>2</sub> プラズマ処理したもの、SiN<sub>x</sub> 膜形成条件を改善したもの、及び、それぞれをアニールしたものの、合計 6 種類を用意した。光電子取り出し角 80° で測定したスペクトルでは、Ga2p 及び N1s のピーク位置に明確な相関が確認された。特に、SiN<sub>x</sub> 膜改善品では他に比べ束縛エネルギーが約 0.1eV 小さくなっており、表面電位の低下を示唆する結果と考えられる。

キーワード： GaN、SiN<sub>x</sub>、O<sub>2</sub> プラズマ、硬 X 線光電子分光

### 背景と研究目的：

GaN 系の高電子移動度電界効果トランジスタ (HEMT) は、高出力増幅素子として携帯電話基地局や衛星通信用途などへの応用が拡大しているが、材料固有の現象の理解がまだ不十分である。特に、半導体と絶縁保護膜の界面状態は、デバイス特性に大きな影響を与える要素である。具体的には、界面に存在するトラップに電子が捕獲され、寄生的な空乏層が拡大することで、HEMT の電流チャネル狭窄と出力低下をもたらすことが知られている[1][2]。このため、界面トラップの低減は、工業的に重要な課題となっている。

本研究では、種々のプロセス条件で形成した SiN<sub>x</sub> 保護膜/GaN 半導体の界面について、硬 X 線光電子分光 (HAXPES) による状態分析を行った。

### 実験：

図 1 に試料断面の構造模式図を示す。基本的には、キャリア濃度  $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$  の n-GaN 上に、厚み約 4nm の SiN<sub>x</sub> 膜をプラズマ CVD で堆積している。ただし、通常のプロセス条件で作製したもの、事前に GaN 表面を O<sub>2</sub> プラズマ処理したもの、SiN<sub>x</sub> 膜形成条件を若干改善したもの、また、それぞれを高温でアニールしたもの、の合計 6 種の試料を作製した。なお、いずれの試料も GaN 表面には薄い酸化膜が存在すると考えられる。また、チャージアップ抑制のため、SiN<sub>x</sub> 膜上に非常に薄い Au/Pd の蒸着を行っている。

HAXPES 測定は、SPring-8 の BL46XU にて実施した。励起 X 線エネルギーは 7.9keV、光電子取り出し角は 80° と 30° の 2 水準で行った。光電子検出には半球型電子アナライザを用い、50meV ステップでスイープを行った。

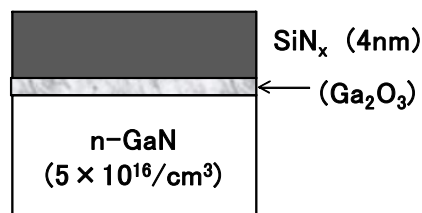


図 1. 分析用試料の断面構造

**結果および考察：**

測定結果の例として、図2にアニールありの3試料に関し、Ga2pとN1sの光電子スペクトルを示す。なお、各試料ともSiNx中のSi1sも測定し、Si-Nの束縛エネルギーが1842.3eVになるように、横軸のエネルギーを補正している。

まずGa2pに関し、いずれの試料でも光電子取り出し角80°（実線）に比べ、30°（破線）の方が、ピーク位置は低エネルギー側にシフトし、ピーク幅が少し大きくなっていることが分かる。これは、30°の方がGaN表面に存在するGa酸化物の寄与が大きくなるためと考えられる。

N1sでも、80°と30°を比較すると、Ga2pと同様のピークシフトが見られる。ただし、N1sの30°スペクトルのシフトに寄与するのは、(酸化物ではなく)表面に堆積したSiNx膜中のNである。

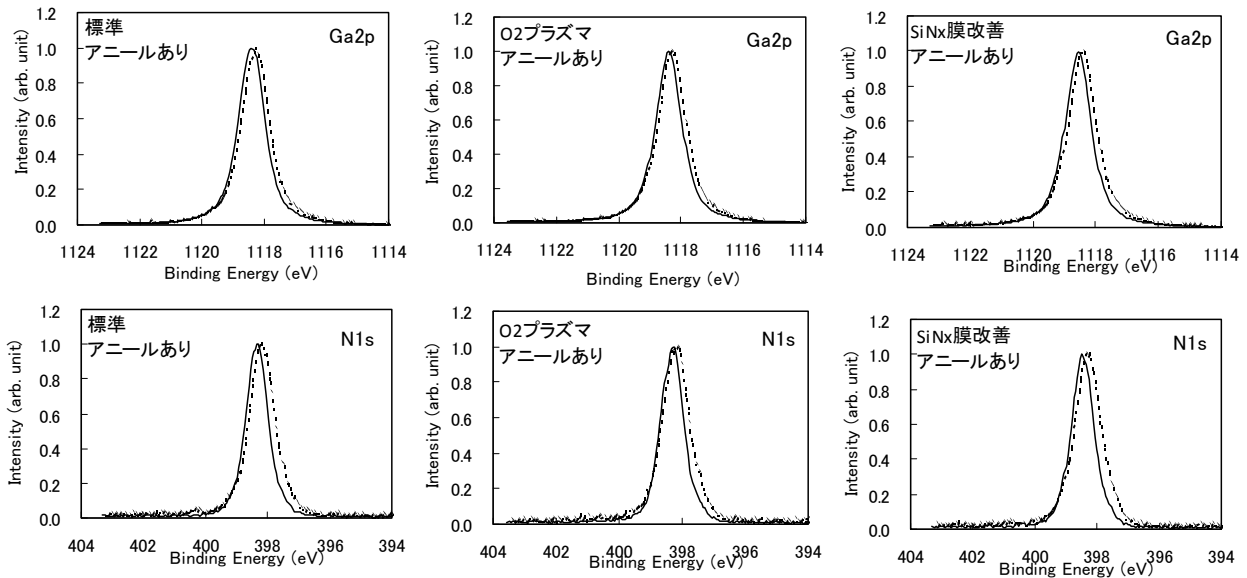


図2. 硬X線光電子分光の測定結果の例  
(いずれも、実線は光電子取り出し角80°、破線は同30°での結果)

次に、各試料のGa2pとN1sの80°スペクトルのピーク位置をプロットしたものを図3に示す。80°スペクトルに寄与するのは、主にGaNからの光電子と考えられ、そのピーク位置はGaN表面電位の違いによる電子軌道エネルギーのシフトを反映していると考えられる。

図3より、Ga2pとN1sのピーク位置には明瞭な相関が確認できる。また、SiNx膜改善試料では、他の2つに比べてピークが高エネルギー側に約0.1eVシフトしている。即ち、同試料は界面トラップが少なく、その分だけ表面電位が低下していることを示唆するものと考えられる。なお、いずれの試料でもアニールのあり/なしでは、それほど大きな変化は見られなかった。

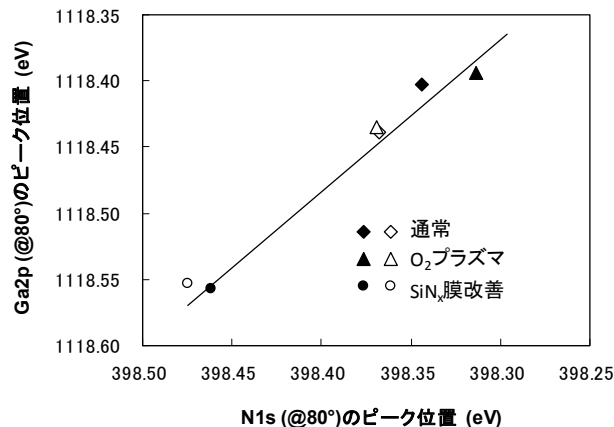


図3. Ga2pとN1sのピーク位置(@80°測定)のプロット  
(黒塗り=アニールあり、白抜き=アニールなし)

#### 今後の課題：

今回、SiN<sub>x</sub>膜改善による GaN 表面電位低下（及び、界面トラップの低減）を示唆する結果が得られた。弊社にて別途実施した HEMT デバイスの特性評価でも、SiN<sub>x</sub>膜改善品では出力低下が緩和されていることが確認されている。

今後、更に色々な条件で作製した試料を評価し、デバイス特性改善の指針を得ることを目指す。

#### 参考文献：

- [1] S.C. Binari, K. Ikossi, J. A. Roussos, W. Kruppa, P. Doewon, H. B. Dietrich, D. D. Koleske, A.E. Wickenden, R. L. Henry, *IEEE Trans. Electron Devices*, **48**, 465 (2001).
- [2] D. J. Meyer, J. R. Flemish and J. M. Redwing. *Appl. Phys. Lett.*, **92**, 193505 (2008).