



軟 X 線光電子分光測定による Si 基板上窒化物半導体 界面の電子状態解析

Analysis of electron states at the interface between Metal and GaN-based
semiconductors by soft X-ray Photoelectron Spectroscopy

分島 彰男
Akio Wakejima

成田 知隆
Tomotaka Narita

上村 隆一郎
Ryuuchirou Kamimura

1. 測定実施日

2014 年 7 月 15 日 10 時 – 18 時 30 分 (2 シフト) , BL6N1
2014 年 7 月 16 日 10 時 – 18 時 30 分 (2 シフト) , BL6N1

2. 概要

以下の 3 点を目的として検討をおこなった。

1. Ni(2nm) Schottky 電極を設けた i-GaN cap (1nm) 構造を持つ AlGaIn/GaN ヘテロ構造のバンドの把握(内殻準位の変化から)
2. ドライエッチング技術による表面処理を行った GaN 半導体界面の結合状態を取得
3. 電子供給層である AlGaIn の Al 組成を増加させることによる界面への影響を取得

測定結果から、以下のような成果を得た。

- ・励起光エネルギー 2.5keV, 3keV では Al 1s の内殻準位のスペクトルが観察されたことから、Ni(2nm)表面から 3nm 以上のバンドの情報を取得できた
- ・OE 300%までは、ドライエッチングによる F, Cl の GaN エピ内部への侵入はないと考えられる (Al 組成違いの素子(C,D)ともに同じ結果)

- ・ Al 15%の結果から、試料表面に向かってバンドが下がって(Al 1s)、深い領域では表面側に向かってバンドが上がっている(OE Ga, N)ことが示唆

- ・ 今回の結果では、Al 組成の変化によるピークシフトの変化量の増加は見られなかった。Ni の強度が弱いことから、Al 15%より浅い領域を観察したためピークシフトが観察された可能性がある。

3. 背景と研究目的

大口径化が可能な Si 基板上の GaN 系トランジスタ (GaN-on-Si トランジスタ) は、Si パワーデバイスに代わる次世代超低消費電力デバイスとして期待されている。この GaN-on-Si トランジスタでは、ゲートリーク電流が大きいこと、ノーマリオフ (ゲート電圧が 0V 時にソース・ドレイン間に電流が流れない) 化が実用化に向けた大きな課題である。本課題では、リーク電流と結晶中の転位や欠陥の関係を明らかにすること、ノーマリオフ化の解決策のとして有望であるドライエッチングや結晶の再成長といったデバイスプロセスが GaN 系結晶に与える影響を明らかにするための技術基盤を構築する。

4. 実験内容

特に、放射光を用いた軟 X 線光電子分光を用いることで、金属/半導体、AlGaIn/GaN、絶縁膜/半導体界面といった一般的な光電子分光法では得られない表面から 2~5nm 深い場所にある界面の結合状態を調べることによって、トランジスタのゲート部や電子走行層における結合状態を評価する。具体的には、Si 基板上に金属を堆積した GaN 系半導体、ドライエッチングを行った後の AlGaIn/GaN 界面等の内殻準位中心からの軟 X 線光電子分光スペクトルの取得を試みる。

試料構造は、図 1 の 5 種類である。電界効果トランジスタ用に作製した GaN/AlGaIn/GaN で AlGaIn の Al 組成の異なるものが 2 種類 (C と D 素子構造)。さらにそれぞれに対してドライエッチングをほどこしたものを C は 2 種類、D は 1 種類準備した。

図 2 はそれぞれ想定しているバンド構造である。

サンプルは、図 3 に示すとおり、XPS 測定用の試料裏面をカーボンテープを用いてホルダーに固定した。また、測定中の試料のチャージアップを抑える

ために、試料表面の Ni とホルダーを銅テープで導通させた。測定は、深さ方向の情報を得るために、2keV, 2.5keV, 3keV の3つのエネルギーで行った。アナライザーの位置は試料表面に対して、90° で固定した。パスエネルギーは、wide scan 時には 50eV、narrow scan 時には 20eV とした。

測定結果については、図4に示す通り Ni 2p 3/2 のピークが 852.7eV となるように補正を行った。

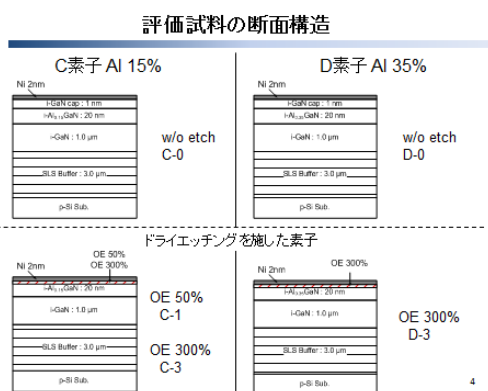


図 1

測定条件およびサンプル固定(チャージアップ対策)

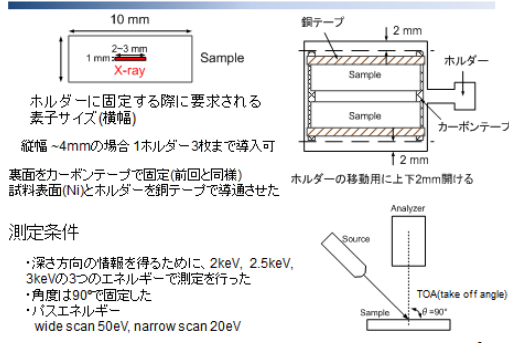


図 3

エネルギー準位図の例 C素子

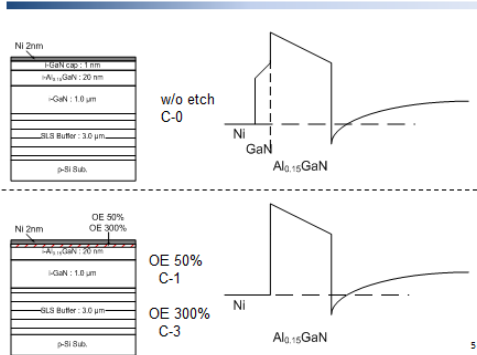


図 2

束縛エネルギーの補正(Ni 2p 3/2)

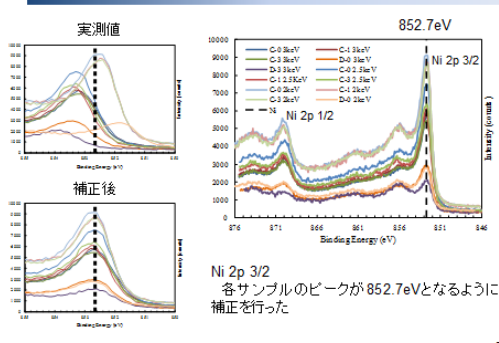


図 4

5. 結果および考察

ドライエッチング前のサンプル(C-0)の定性スペクトルの入射光エネルギー依存性(図5)からは、Ni 2s, 2pのピークに加えて、Al, Ga, Nに由来するピークを検出 @2.5keV, 3keV することができた。2.5keV 以上の深さ情報は最表面 Ni から 3nm(GaN エピ 1nm)以上である。2keV で Al peak が見られないことから GaN cap layer 付近を観察していることが示唆された。

ドライエッチングのオーバーエッチング量依存性(図6)では、3keV(深い

領域), 2keV (浅い領域)においても、F 1s (697.2eV), Cl 2p (1/2 202, 3/2 200eV)にピークが観測されなかった。

ドライエッチングを施した (オーバーエッチ 300%) 試料の入射光エネルギー依存では、F 1s (697.2eV), Cl 2p (200, 202eV)にピークが観察されなかった。このことから、少なくとも 300%オーバーエッチまでは、F, Cl の結晶中への侵入は XPS 検出限界以下であるといえる。

定性スペクトル エネルギー依存 w/o etch (C-0)

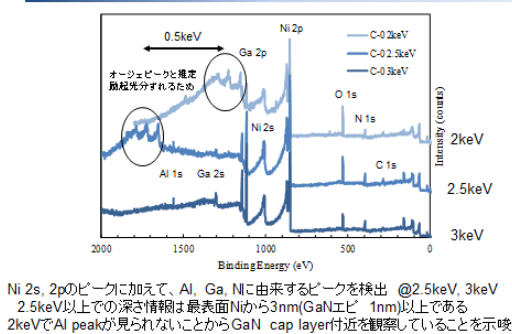


図 5

定性スペクトル OE依存 (C素子)

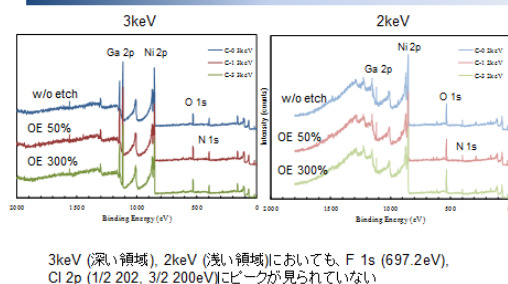


図 6

定性スペクトル エネルギー依存 OE 300% (C-3)

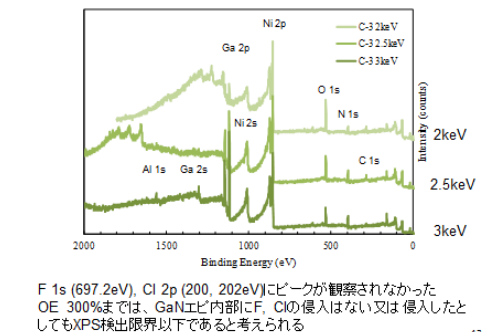


図 7

上記定性スペクトルの測定の後、Al 1s, Ga 2p_{3/2}, N 1s の束縛エネルギー (BE) の peak シフトを評価した。図 8 がそのまとめたものであり、以下のことが分かった。

・ Ga, N には相関が見られた。 (素子ごとに同じ傾向)

ただし、C 素子 w/o etch を基準とした場合、相対的な変化量は異なる。たとえば、C 素子では、ドライエッチ前の素子でピークシフトは見られない(C が、D 素子では低エネルギー側に 0.1eV シフトしている。

また、Al は Ga, N と相関がみられる素子とそうでないものに分かれた。前

者は、C の 300%オーバーエッチ, D の w/o etch 素子。後者は、C 素子の w/o etch と 50%オーバーエッチ素子である。

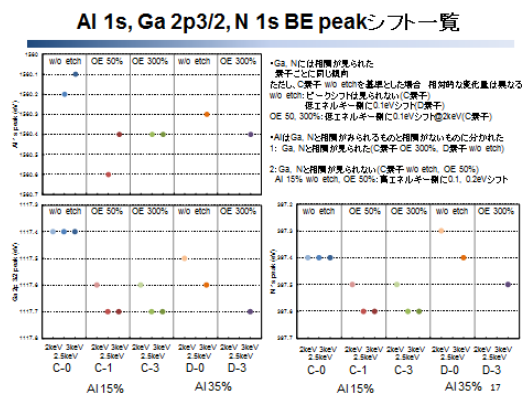


図 8

6.今後の課題

今回の結果をもとに、Ni/GaN 系半導体の界面付近のバンド構造を検討することが課題である。

謝辞

測定にあたり多くのご議論や技術的なサポートいただきました 科学技術交流財団あいしンクロトロン光センターの渡辺 義夫 博士、野本 豊和 博士に感謝いたします。