

InAlN / GaN 高電子移動度トランジスタの バイアス電圧印加硬 X 線光電子分光測定 Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy Study under Bias Voltage of InAlN / GaN-HEMTs

野村 健二, 滋野 真弓, 土井 修一
Kenji Nomura, Mayumi Shigeno, Shuuichi Doi

(株)富士通研究所
Fujitsu Laboratories Ltd.

障壁層 / チャネル層で構成される、次世代パワーデバイス・通信用の高電子移動度トランジスタにおける、デバイス動作下のバンド構造解析を試みた。測定試料には、障壁層に InAlN 膜、チャネル層に GaN 膜、電極に Ni 膜を用いた、Ni / InAlN / GaN 膜を使用した。本試料は、事前の C-V 測定により、約-5 V で、オン状態とオフ状態が切り替わる、ノーマリーオン型デバイスである。本課題においては、オフ状態からオン状態までの挙動について、観測を行った。

キーワード： 高電子移動度トランジスタ (HEMT)、硬 X 線光電子分光 (HAXPES)、
バイアス印加

背景と研究目的：

窒化ガリウム (GaN) は、低損失・高効率な次世代パワーデバイス材料として期待され、世界中で開発が進められている。通常、図 1 に示したような、高電子移動度トランジスタ (HEMT: High Electron Mobility Transistor) と呼ばれる構造が採用されている。HEMT 構造デバイスでは、障壁層 (InAlN) とチャネル層 (GaN) の界面に発生した 2 次元電子ガス (2DEG: Two Dimension Electron Gas) がデバイスを支配する。そのため、ヘテロ構造界面のバンド構造を知ることは、デバイス開発の促進に大きく貢献すると考えられる。しかし、実験室の X 線光電子分光 (XPS: X-ray Photoelectron Spectroscopy) では、障壁層が 10 nm 程度と厚いため、この界面を観測することはできなかった。そこで我々は、2012B1861 において、硬 X 線光電子分光 (HAXPES: Hard X-ray Photoelectron Spectroscopy) の、膜の深い領域まで観測可能な特徴を利用し、このヘテロ構造界面のバンド構造評価を行った。本課題においては、さらに詳細なバンド構造の知見を得るために、デバイス動作下のバンド構造評価を試みた。

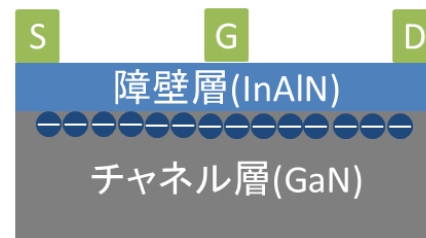


図 1. HEMT 構造

実験：

図 2 に示した試料を、測定に用いた。まず、Si 基板上に、有機金属化学気相成長 (MOCVD: Metal Organic Chemical Vapor Deposition) 法で、 $\text{In}_{0.17}\text{Al}_{0.83}\text{N}$ (8 nm) / GaN (1 μm) 膜を成膜した。成膜後に、測定可能な試料サイズを考慮して、約 6 mm \times 6 mm に切り出した。次に、厚さ約 5 nm の Ni 電極を、約 5 mm \times 5 mm サイズで、蒸着法により成膜した。さらに、Ni 電極を成膜した領域の一部に、約 5 mm \times 1 mm サイズの厚い Au 電極を成膜した。電極形成後の試料は、約 10 mm \times 9 mm サイズの金属板上に、銀ペーストを用いて固定された。また、絶縁体基板上に、Ni / Au 電極を成膜した PAD 部も、銀ペーストを用いて、同金属板上に固定された。電極形成後の試料と PAD 部は、ワイヤボンディングによって、電氣的に接続された。さらに、PAD 部に、銀ペーストで固

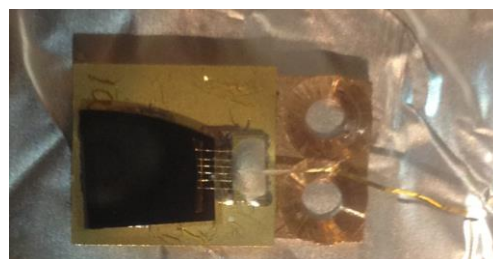


図 2. 測定試料

定された Au ワイヤにより、試料外に配線を引き出した。BL46XU で準備されている、Cu 製の標準試料ホルダ上に、カーボンテープを貼り付けることにより、上記試料を固定した。引き出した配線は、バイアス印加試料ホルダの、六角ホルダから絶縁された端子に接続した。測定は、BL46XU に設置されている、HAXPES 装置を用いて行った。測定条件は、入射 X 線のエネルギーが 7.95 keV、検出器のパスエネルギーが 200 eV、スリット幅が 0.5 mm である。本課題においては、価電子帯上端 (VBM : Valence Band Maximum) のバンド構造の深さ依存を得るために、VBM スペクトルに加えて、内殻光電子スペクトルの測定を行った。内殻光電子スペクトルには、障壁層である InAlN 層のみに起因するスペクトルとして Al 1s、チャンネル層である GaN 層のみに起因するスペクトルとして Ga 2p_{3/2}、電極層である Ni 層のみに起因するスペクトルとして Ni 2p_{3/2} を選定した。VBM のバンド構造の深さ依存を詳細に解析するために、Al 1s では 80°、30°、15°、8° の 4 種類、Ga 2p_{3/2} では 80°、30° の 2 種類、Ni 2p_{3/2} では 80°、30°、15° の 3 種類の光電子の取出し角 (TOA: Take Off Angle) で測定を行った。バイアス電圧の印加には、BL46XU で準備されている、エーディーシー社製の電流電圧発生器 ADCMT6240A を使用した。

結果および考察：

測定するバイアス電圧を決めるために、HAXPES 測定試料と同じウエハから切り出された試料を用いて、C-V 測定を行った。結果を図 3 に示す。測定は、-10 V の電圧を印加した後、0 V までのデータを取得した。-10 V ではオフ状態であり、約 -5V で、オン状態に変化している。そこで、HAXPES 測定では、オフ状態で -15、-10、-8、-6 V の 4 点、中間状態の -5 V、オフ状態で -4、-2、0 V の 3 点の計 8 点でデータ取得を行うこととした。図 4 に、測定結果の一例として、-15 V と 0 V の結果の一部を示す。VBM においては、電圧印加に伴い、スペクトルの高運動エネルギー方向へのシフトが観測された。測定したプロファイルを用いて、フェルミ・ディラック分布関数を用いてフィッティングを行い、バイアス印加に伴う、VBM のシフト量を見積もった。その結果、-15 V の印加に対して、VBM が 14.96 eV シフトしており、Ni 電極に所望のバイアス電圧が印加されていることが分かった。一方、内殻光電子スペクトルにおいては、バイアス印加に伴い、プロファイルのシフトに加えて、形状の変化も観測された。図 4 の電圧印加に伴う、Al 1s のプロファイルの変化は、障壁層における VBM の深さ方向の傾きが変化したことを反映していると推察される。現在、これらのデータを用いて、詳細なバンド構造解析を行っており、後日、報告を予定している。

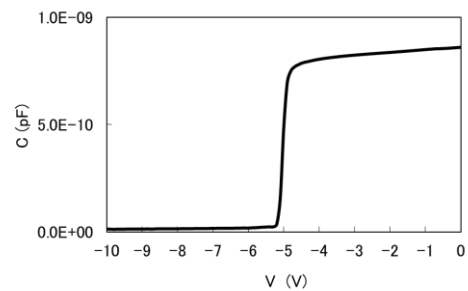


図 3. C-V 測定

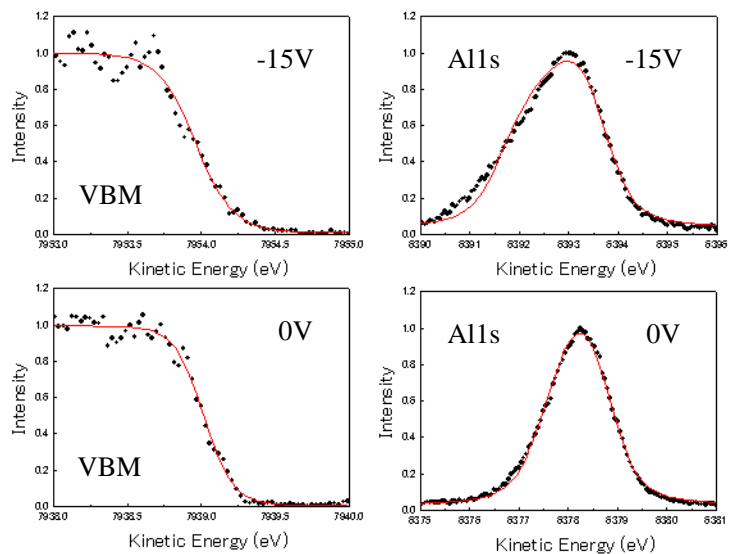


図 4. HAXPES 測定結果の一例

今後の課題：

今後、本手法をさらに、AlGaIn / GaN 膜など、異なる HEMT 構造サンプルに適用することを予定している。