

S-05

2022B1990、2023A1837、2023B1966、2024A1685、2024A2304
BL16XU、BL09XU

化合物半導体デバイス開発への HAXPES の活用

住友電気工業(株) 井崎 学、齋藤 吉広

はじめに

GaN 系高電子移動度トランジスタ(GaN High Electron Mobility Transistor, GaN-HEMT)は、5G 基地局用などで需要が拡大している。ポスト 5G では更なる高出力化と高速化が要求され、当社では、これらを両立できるデバイスの開発を進めている[1]。ここでキーとなるのが、ゲート電極直下の絶縁膜/半導体界面のバンド相対関係であり、その評価にはX線光電子分光が有用である[2]。本研究では、硬 X 線光電子分光(HAXPES)などを活用し、窒化ケイ素(SiNx)絶縁膜で被覆された GaN 半導体界面のバンド相対関係の評価を行った。

実験方法

界面分析の試料として、n 型 GaN エピを SiN 膜で被覆したものを用意した(cf. 基板は半絶縁性 SiC, GaN エピ層のキャリア濃度 = $5 \times 10^{16}/\text{cm}^3$, SiN 膜厚 = 10 nm)。HAXPES 測定には、SPring-8 の BL09XU 及び BL16XU を用いた。バンド構造を精密に評価するには、帯電シフト抑制が重要となる。実験では SiN 上にカーボン 7 nm を蒸着、Agペーストにより試料台との導通処理を施すことで、帯電シフトを抑制した。

バンド構造は界面の SiN の Si2s、GaN の Ga3s を HAXPES にて測定し、これを基準に絶縁膜、半導体の E_v 、 E_c を構築した。SiNx の情報は SAGA-LS の BL17(住友電工ビームライン)にて、軟 X 線(XPS、XAFS) による評価を行い、GaN に関しては文献 2 の値を使用した。

結果

図 1 に Ga3s(GaN)と Si2s(SiNx)の HAXPES 測定結果を示す。この Si2s の準位を基準とし、軟 X 線測定による Si2s/価電子帯、Si2s/伝導帯の準位差から Ga3s を基準にした SiNx の価電子帯、伝導帯の準位を決定した。図 2 は、XPS 及び XAFS 分析の結果を示す。XPS では SiNx の Si2s などの内殻準位及び価電子帯のエネルギーが得られ、一方、XAFS により内殻準位と伝導帯のエネルギー差が決定する。

各分析結果を組み合わせ得られた SiNx/GaN 界面のバンド構造の一例を図 3 に示す。今回得られた界面のバンドの相対関係は、別途、評価した界面リーク電流などの電気的特性の観点からも妥当なものと考えられる。

- [1] 牧山、他 住友電工テクニカルレビュー第 203 号 (2023)
- [2] 安野 Spring-8 次世代先端デバイス研究会(第 2 回) (2015)
- [3] 野村、他 次世代先端デバイス研究会(第 2 回) (2014)

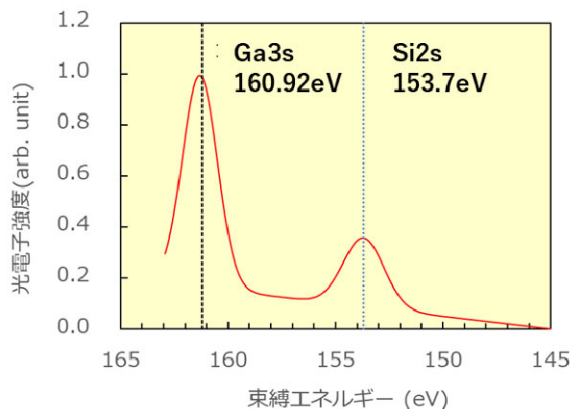


図 1.HAXPES による Ga3s と Si2s のピーク位置

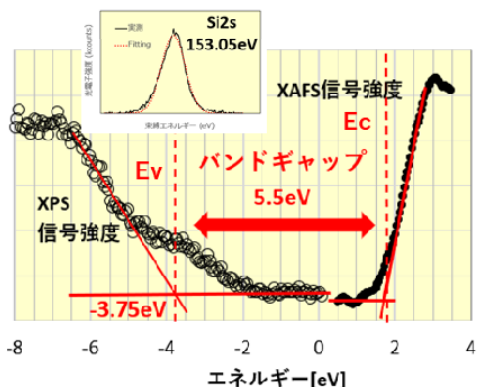


図 2.軟 X 線による絶縁膜の評価結果

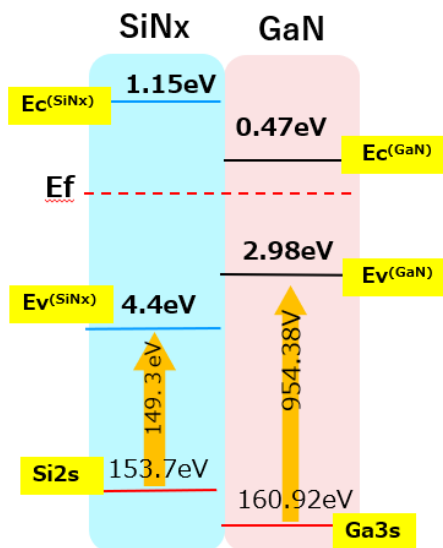


図 3.バンド位置の相対関係

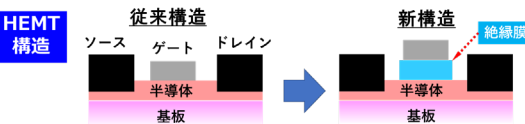
HAXPESを活用した化合物半導体の評価

住友電気工業(株) 井崎 学、斎藤 吉広

2023B5030、2023B1966、2024A1685、2024A2304

GaN-HEMTの特徴と課題

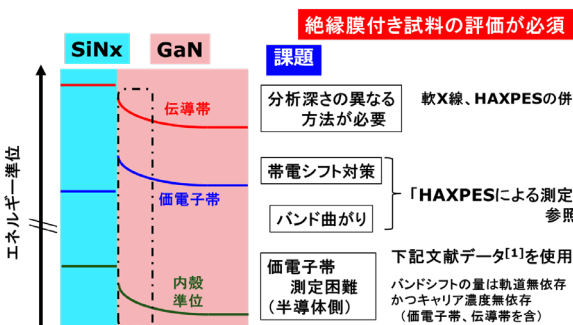
特徴
 ・材料的特徴：ワイドギャップ、高移動度、格子定数、etc.
 ・Siでは困難なトランジスタ機能(高出力&高周波用など)を実現



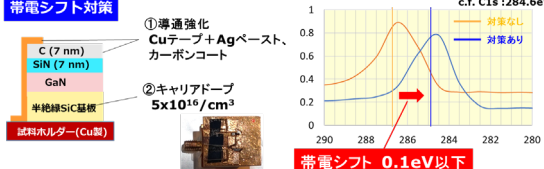
・高誘電率のゲート絶縁膜を挿入
 →絶縁耐圧&利得を向上、ゲートリーク低減

本研究では
 相対関係が重要
 デバイス設計において重要なバンドアライメントの評価手法の確立を目指す (SiNx/GaNを例として)

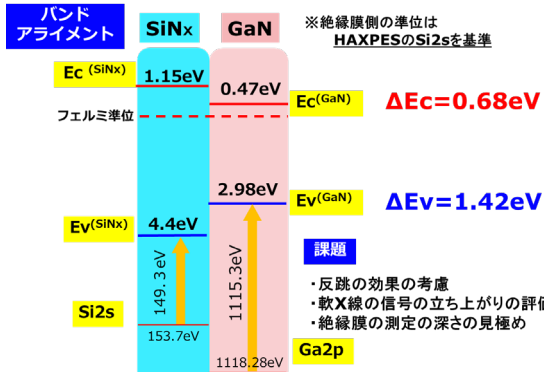
測定の課題



HAXPESによる測定

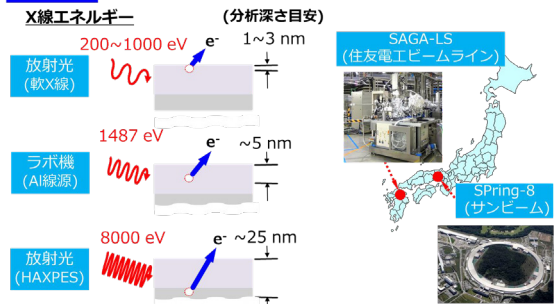


結果と課題

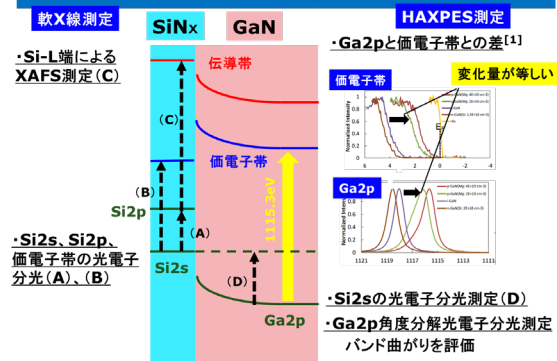


放射光分析(光電子分光)の活用

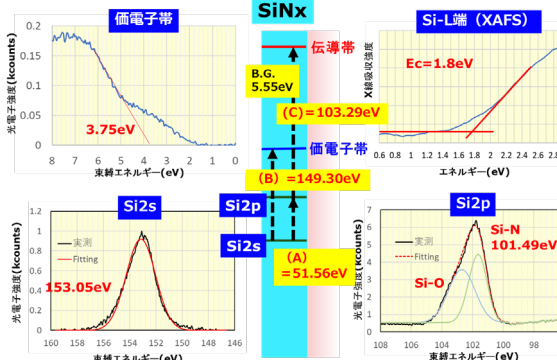
放射光のメリット
 ・分析したい深さに応じてX線エネルギーを変更可
 ・3つの手法を使い分けできる体制構築 (社内装置⇔放射光)



測定の原理



軟X線による測定



まとめ：化合物半導体デバイス開発に放射光分析を活用

■バンドアライメントを評価方法の確立
 ・次世代デバイスの開発にむけ絶縁膜付きの半導体のバンドアライメントの測定方法を検討
 ・帯電シフトを抑制、バンド曲がりの影響が小さいことを確認
 ・半導体部をHAXPES、絶縁膜部に軟X線を用いることで、バンドアライメントを得る方法を構築

謝辞：放射光分析は以下の課題Noで実施しています

- ・Spring-8(HAXPES@BL16XU、BL09XU) 2023B5030、2023B1966、2024A1685、2024A2304
- ・SAGA-LS(XPS&XAFS@BL17) SEI2023B-006、SEI2024A-006