

III-V 族窒化物の価電子帯構造およびギャップ内準位の評価

Evaluation of valence band structure and gap states for III-V nitrides

物材機構¹, 工学院大², 筑波大³ ○角谷 正友¹, 福田 清貴^{1,2}, 上田茂典¹, 浅井祐哉^{1,3}, Cho Yujin¹,
関口隆史¹, 上殿明良³, 尾沼 猛儀², Sang Liwen¹, 山口智広², 本田 徹²

NIMS¹, Kogakuin Univ.², Tsukuba Univ.³ M. Sumiya¹, K. Fukuda^{1,2}, S. Ueda¹, Y. Asai^{1,3}, Y. Cho¹, T. Sekiguchi¹, A. Uedono³, T. Onuma², L. Sang¹, T. Yamaguchi², T. Honda²

E-mail: SUMIYA.Masatomo@nims.go.jp

【はじめに】III-V 族窒化物を用いた電子・受光デバイスの特性や信頼性向上のためには、価電子帯構造やバンドギャップ内準位を評価し、欠陥との相関を明らかにすることが重要である。本研究では、GaN バルク、ならびにバルク・サファイア基板上に成長した GaN 薄膜を硬 x 線光電子分光法 (hard x-ray photoemission spectroscopy: HAX-PES) と光熱偏向分光法 (photothermal deflection spectroscopy: PDS) で評価し、価電子帯上端 (VBM) 近傍の状態密度やバンドギャップ内の深い準位欠陥を検出したので報告する。

【実験】HVPE-GaN バルク (430 μ m) ならびにサファイア基板上に MOCVD で成長した約 2 μ m の non-doped GaN 薄膜を用いた。HAX-PES では SP8 BL15XU から放射される 6 keV の x 線を励起光として価電子帯の光電子分光を行った。PDS は分光した光を試料表面に照射して励起された電子が基底状態に戻るときに発生する熱からギャップ内準位や密度を求める手法である[1]。本実験では、分光した励起光を照射しながら、試料表面すれすれに平行に導入したレーザ光が発生する熱によって偏向して生じる位置変化を検出した。III-V 族窒化物半導体用に開発した PDS 装置では、屈折率の温度係数が大きく化学的に安定なヘキサミン溶液中に試料を入れて、励起光に青紫領域で比較的高い強度を持つ Xe ランプ、レーザ光の位置検出器として AFM 用差分位置検出器を用いた[2]。励起光波長 350-800 nm の範囲で測定を行い、ロックインアンプで検出したレーザ光の位置変化量を分光カーブで規格化したものを PDS 信号とした。

【結果】図 1 の挿入図は HAX-PES で得られた GaN バルクの価電子帯光電子スペクトル (Log プロット) を示す。Binding energy 3 eV 以下に Si 単結晶や ZnO バルクでは検出されないギャップ内状態が十分な強度で検出されている。図 1 は室温で測定した 3 種類の GaN 試料の PDS 信号スペクトルで、挿入図のグレーで囲まれたエネルギー領域に相当すると考えられる。サファイア基板 GaN は圧縮歪のためバンド端が高エネルギー側にシフトしている。PDS 測定では吸収係数に相当する深さ領域を検出するため、厚いバルク試料のギャップ内の PDS 信号は大きくなる。バルクの VBM 付近の傾きの逆数は 32 meV、GaN 薄膜では 45 meV、さらに In_xGa_{1-x}N では In 組成とともに増加する傾向を示していた[3]。バルク、薄膜ともにほぼ同じエネルギーにギャップ内準位が検出されていて (矢印)、特に 1.5 eV 付近 (T1) の深い準位の欠陥が特に強い。InGaAs 検出器を用いた CL スペクトルを測定したところ、バルクで 1.3-1.6 eV (T1 相当) に検出されたブロードな CL 発光が、薄膜では抑制されていた。これらの結果はバルク上 GaN 薄膜では改善が見られるものの GaN ギャップ内には多くの欠陥が存在することを示しており、易動度端を考慮しながら欠陥と半導体特性との関連を考えなければならないことを示唆している。

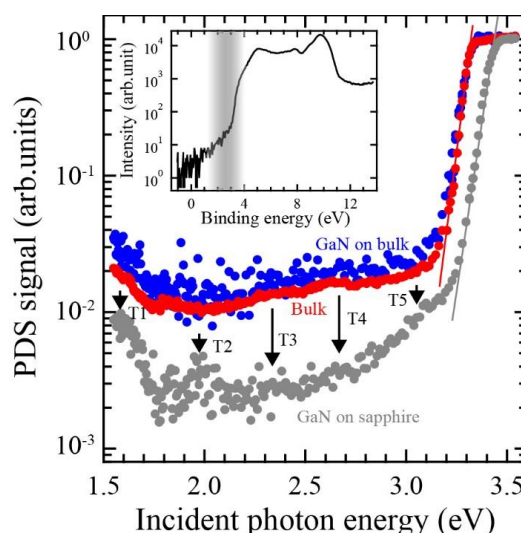


図 1 GaN バルク (赤)、MOCVD で成長したバルク (青) ならびにサファイア基板 (グレー) 上 GaN 薄膜の PDS スペクトル。矢印はギャップ内準位、直線は VBM 付近の傾きを示すガイドである。挿入図は HAX-PES で測定したバルクの価電子帯スペクトルを示す。

【謝辞】本研究の一部は文部科学省「省エネルギー社会の実現に資する次世代半導体研究開発」、新学術領域「特異構造の結晶科学」(JP16H06424)の支援を受けた。HAX-PES は NIMS ビームライン BL15XU (2017A4603)で行われた。【参考文献】[1] W.B.Jackson *et al.*, Appl. Opt. **20**, 1333 (1981). [2] 福田他 第 78 回応物秋季学術講演会予稿集 6p-A503-5 (2017). [3] M.Sumiya *et al.*, accepted in APEX (2018).