19p-E13-14

c 面 Al_2O_3 基板上に MOVPE 成長した GaN の異常分散 X 線回折による極性判定

Polarity Determination of MOVPE Grown GaN on *c*-Al_2O_3 by using Anomalous Dispersion X-ray Diffraction

東北大金研 [1]，JST-CREST[2]，リガク X 線研 [3]，　°花田 貴 [1,2]，稲葉 克彦 [3]，正直 花奈子 [1]，崔 正熹 [1,2]，片山 竜二 [1,2]，谷川 智之 [1,2]，窪谷 茂幸 [1]，松岡 隆志 [1,2]

IMR, Tohoku Univ.[1], JST-CREST[2], Rigaku[3],　°T. Hanada[1,2], K. Inaba[3], K. Shojiki[1], J.-H. Choi[1], R. Katayama[1,2], T. Tanikawa[1,2], S. Kuboya[1], and T. Matsuoka[1,2]　E-mail: thanada@imr.tohoku.ac.jp

従来、*c* 面 Al_2O_3 上に MOVPE 成長した GaN の Ga 極性、および、NH_3 によって Al_2O_3 表面を窒化し AlN 層を形成した場合の N 極性は、収束電子線回折(CBED)や同軸直衝突イオン散乱分光(CAICISS)などを用いて判定されてきた [1]。構成元素の吸収端前後のエネルギの X 線を用いた異常分散 X 線回折法は、非破壊で、かつ、原子レベルの表面再配列の影響を受けずに極性を判定できる手法として ZnO バルクの極性判定に提案され [2]、GaN 薄膜に応用されてきたが [3]、これまで強度計算に基づいた解析はされなかった。本研究では、リガクの Au Lη線(3s→$2p_{1/2}$ 遷移：10.31 keV)周辺の連続 X 線源を備えた回折装置を用いて [3]、*c* 面 Al_2O_3 基板上に成長した GaN を例として、運動学的計算の援用により、極性判定の高信頼化を図ることができることを確認した。

GaN $hk\overline{h+k}l$ 反射の結晶構造因子は、$F(hkl)=\{f_{Ga}+f_N\exp(2\pi iul)\}\{1+\exp[2\pi i(\frac{h-k}{3}+\frac{l}{2})]\}$ であり、運動学的計算での回折強度は$|F(hkl)|^2PLA$ に比例する。f_{Ga} と f_N は Ga と N の原子散乱因子、u = 0.376 は *c* 軸に平行な Ga-N ボンド長を uc とした内部パラメーター、P は偏光因子、L は Lorentz 因子、A は吸収補正因子である。A は GaN 膜厚の影響を補正する。$|F(hkl)|^2$ は、f_{Ga} と f_N が実数ならば *c* 軸方向の指数 l の符号によらない。一方、Ga K 吸収端(10.37 keV)を超えた付近では、f_{Ga} の虚部が大きくなり、極性判定が可能になる。対称反射 $000l$ と、非対称反射 $10\bar{1}l$ と $11\bar{2}l$ について、回折強度のエネルギ E 依存性を測定した。測定された強度 I を用いて計算された $I_0 = I/(|F(hkl)|^2PLA)$は、$|F(hkl)|^2PLA$ の計算で無視した吸収端微細構造(XAFS)が転写されるなどの細かい点を除くと、ほぼ入射 X 線強度の E 依存性に比例すると考えられる。従って、I_0 のスペクトル形状は極性に対応した符号の l を用いれば、反射指数によらず一定になる。表面を窒化した Al_2O_3 上の GaN 試料について測定された I に対して、負の指数 l で I_0 を計算した結果を図 1 に示す。7 つの反射についてほぼ同一の形状になり、この試料が N 極性であることが分かる。図 2 は正の指数 l で計算した結果であり、Ga-K 吸収端より高エネルギ側で、弱くなる $hk\bar{6}$ 強度を大きくなる$|F(hk6)|^2$ で割り、強くなる l = -2, -5, -7 の強度を小くなる$|F(hk|l|)|^2$ で割るため、曲線が一致しない。$u \sim 3/8$ を $F(hkl)$に代入すると $hk4$ と $hk\bar{4}$ の強度は等しく、極性に依存しないことが分かる。同様の手法で、窒化処理してない Al_2O_3 基板上に成長した GaN の極性は Ga 極性であることを確認できた。GaK 吸収端より高エネルギ側でも X 線の GaN への侵入距離が 9μm あるのに対して GaN 薄膜の厚さが 2μm 以下であるため、斜め入射の往復による減衰を考慮しても、膜全体の情報を積算しており、界面付近から単一極性で成長していると結論できる。膜厚の影響を補正し、正確な極性判定を行うために、強度計算に基づいた解析が有効であることが分かった。

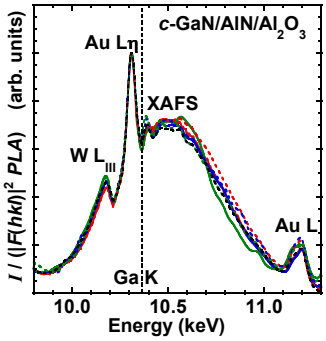

図 1 負の指数 l での計算

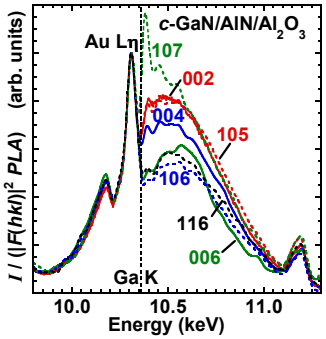

図 2 正の指数 l での計算

[1] T. Matsuoka *et al.*, phys. stat. sol. (b) **243**, 1446 (2006).
[2] A. N. Mariano and R. E. Hanneman, J. Appl. Phys. 34, 384 (1963).
[3] K. Inaba and H. Amano, phys. stat. sol. (b) **244**, 1775 (2007).

© 2014 年　応用物理学会