

アンテナ発信超音波共鳴法を用いた 高抵抗 GaN のホッピング伝導による緩和現象の計測

Measurement of relaxation phenomenon caused by hopping conduction in semi-insulating GaN
studied by antenna transmission acoustic resonance method

○(D1) 福田大樹, 長久保白, 今西正幸, 宇佐美茂佳, 吉村政志, 森勇介, 荻博次 (阪大院工)

○(D1) H. Fukuda, A. Nagakubo, M. Imanishi, S. Usami, M. Yoshimura, Y. Mori, and H. Ogi
(Grad. Sch. Eng., Osaka Univ.)

E-mail: ogi@prec.eng.osaka-u.ac.jp

GaN は高いバンドギャップ(~ 3.4 eV)を有する圧電半導体であり, その特性を生かして低損失・高速動作が可能なパワーデバイス材料として注目されている. パワーデバイスの電気特性は, 温度上昇とともに低下する^[1]. 例えば, 高電子移動度トランジスタに使用される高抵抗 GaN は, キャリア電子をトラップするために Fe を添加している. トラップされた電子は熱エネルギーを受けて Fe サイト間をホッピング伝導する. これはリーク電流源となり, 電気特性に影響する. したがって, 高抵抗 GaN の高温域におけるホッピング伝導メカニズムの解明は重要である. フォトルミネッセンスや深層過渡分光法は, 欠陥や不純物が形成するキャリアのトラップ準位を計測する代表的な手法である. しかし, これらはそれぞれ, 計測スペクトルがブロードでホッピング伝導による電子の遷移過程の正確な特定が困難であることや, Fe 添加 GaN のような高抵抗試料に適用できないという問題を有する. そこで, 超音波を用いたホッピング伝導の計測法に着目した. 我々が独自に開発したアンテナ発信超音波共鳴法(Antenna Transmission Acoustic Resonance: ATAR)は, 非接触で圧電体試料に力学振動を励起し検出することが可能な計測法であり, 試料の音響減衰を正確に計測することが可能である. この手法を用いて, Fe 添加 GaN のホッピング伝導による内部摩擦を計測し, Arrhenius プロットからその活性化エネルギーを決定した^[2]. しかし, 100–200 °C の狭い温度領域のみ計測可能だったため, 値の信頼性が低かった. そこで, 本発表では, ホッピング伝導の内部摩擦をより高温側で計測する手法と, その計測結果について述べる.

実験には 80 ppm の Fe を添加した直方体形状の高抵抗 GaN を使用した. 試料寸法は, $3.5 \times 3.0 \times 0.4$ mm³ であり, 板厚方向が結晶の c 軸方向に対応する. 内部摩擦の計測には ATAR 法を用いた. 本計測では, 試料の力学共振による圧電分極変化が, ホッピング伝導を誘起する. 熱活性現象であるホッピングの周波数(緩和時間の逆数)は温度上昇とともに増加するが, これが試料の力学共振周波数と一致すると, 力学振動のエネルギーがホッピング伝導に費やされ, 力学共振の内部摩擦が最大になる. つまり, 温度変化とともに力学共振の内部摩擦を計測することにより, 内部摩擦のピーク温度からホッピング伝導の緩和時間が決まる. 内部摩擦のピーク温度を超えるとホッピング伝導によって圧電性は消失し, 振動を励起できなくなる. 理想的な横波平面波板厚共振の場合は, GaN の結晶対称性から圧電分極変化が弾性特性に影響せず, ホッピング伝導による内部摩擦変化は生じない. しかし, 有限サイズの試料であるため, 圧電性が完全に消失し切らない程度のわずかなホッピング伝導が発生すると考えられる. その結果, 高温域でも圧電性が消失せず, 内部摩擦を正確に計測できると予想できる.

縦波および横波平面波板厚共振モードを計測した. 縦波モードでは圧電性の消失によって 200 °C 以上では共振を励起できず(Fig. 1(a)), 内部摩擦ピークを計測できなかった. 一方で, 横波モードでは 300 °C 以上でも共振ピークが消失せず(Fig. 1(b)), 内部摩擦変化を明確に計測することに成功した. Arrhenius プロットから求めた活性化エネルギーは 0.54 eV であり, Fe 添加 GaN で報告されている深いエネルギー準位と対応した^[3].

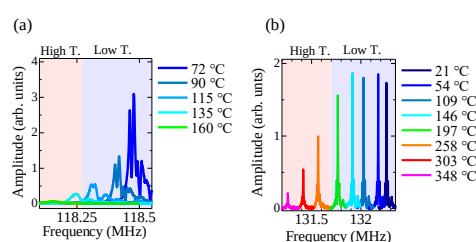


Fig. 1 Resonance spectra of (a) longitudinal and (b) shear mode at elevated temperatures.

[1] O. Aktas *et al.*, APL **69** 3872 (1996). [2] H. Ogi *et al.*, APL **106**, 091901 (2015). [3] M. Horita *et al.*, APEX **13** 071007 (2020).