顕微ラマン分光による銅板転写 AlGaN/GaN HEMT の温度分布観察 Direct observation of temperature distribution in transferred AlGaN/GaN HEMTs on a copper plate by micro-Raman spectroscopy NTT 物性研 廣木正伸、熊倉一英、山本秀樹 NTT Basic Research Labs., M. Hiroki, K. Kumakura, H. Yamamoto E-mail: hiroki.masanobu@lab.ntt.co.jp

はじめに 窒化物半導体電子デバイスの高出力動作には、自己発熱に起因する素子特性劣化の抑制が 必要である。この抑制策の一つとして、素子を熱伝導性の高い基板へ転写することが考えられる。我々 は、サファイア基板と窒化物半導体成長層との間に層状 h-BN を挿入し剥離・転写する技術(MeTRe 法) を提案・実証した[1]。この MeTRe 法を用いて、AlGaN/GaN HEMT をサファイア基板から熱伝導率の高 い銅板へ転写し、自己発熱効果が抑制され、DC 特性が向上することを確認している[2]。加えて、熱圧 着材料を In から Au へ変えると、自己発熱効果がさらに抑制され、飽和電流の負性抵抗が低減した。一 方、しきい電圧のシフトやドレイン電流の増加といった 2 次元電子ガスの増加に起因するような現象も 見られた[3]。これらの事象を詳細に解析するため、今回、銅板転写した AlGaN/GaN HEMT の歪み状態 や放熱性の定量的な評価を行ったので報告する。

実験方法 h-BN/サファイア基板上に成長した AlGaN/GaN ヘテロ構造を用いて HEMT を作製した。その後、HEMT を基板から剥離し、Au-Au 熱圧着により銅板上へ転写した。顕微ラマン分光測定は、励起 光源として 532 nm の He-Ne レーザーを用いて行った。

結果 Fig. 1 に剥離前後の AlGaN/GaN ヘテロ構造のラマンスペクトルを示す。剥離前、E₂モードのピークは 569.4 cm⁻¹ であったが、転写後に 568.4 cm⁻¹ へと低波数側ヘシフトした。これは、剥離・転写の過程により、圧縮歪みからストレスフリーの状態へ近づいたことを示している。サファイア基板との熱膨張係数差により発生した圧縮応力が緩和したためと考えられる。次に、動作中の銅板転写 HEMT を顕微 ラマン分光により観察し、E₂モードのピークシフトから温度分布を見積もった[4]。Fig. 2 に 20 V 印可時の温度分布を示す。デバイス温度は、ドレイン側ゲート端で局所的に上昇しており、最高温度は 140℃であった。Fig. 3 に、銅板転写 HEMT の消費電力と最高温度の関係を示す。出力増加に伴い、ほぼ線形に温度が上昇した。この相関から見積もられる熱抵抗は 11.2 ℃ mm/W であり、サファイア基板上 HEMT の熱抵抗の報告値と比べおよそ半減していることが分かった。

[1] Y. Kobayashi et al., Nature **484** (2012) 223. [2] M. Hiroki et al., Appl. Phys. Lett. **1050** (2014) 193509. [3]廣木正伸等 2015 応 物春 11p-A21-11. [4] M. Kuball, et al., IEEE Electron Device Lett. **23** (2002) 7.







Fig. 1. Raman spectra of GaN grown on h-BN/sapphire and after transfer to Cu plate.

Fig. 2. Temperature map by micro-Raman spectroscopy of the active transferred HEMT with drain bias of 20 V.

Fig. 3. Maximum temperature as a function of power dissipation in an AlGaN/GaN HEMT transferred to Cu plate.