

低周波 Y パラメータを用いた GaN HEMT のトラップ評価

SATテクノロジー・ショーケース2025

■ はじめに

窒化ガリウム(Gallium Nitride; GaN)は絶縁破壊電界強度が高く、電子移動度も速いため、高出力高周波やパワーエレクトロニクス分野の電子デバイス用材料として利用されている。すでに一部分野で実用化されているものの、Beyond 5Gや自動車用パワースwitchングとして用いるためにはさらなる課題解決が必要である。大きな課題のひとつにトラップの性質の明確化と制御がある。トラップは結晶の規則性が失われた場合、GaNのエネルギバンドギャップ中に余分な深いエネルギー準位を発生させる。このトラップは伝導電子を μ 秒以上のオーダーで捕獲放出するため、デバイスの電気的特性に悪影響を及ぼす。一方、トラップは電子を捕獲するため、デバイス内の漏れ電流を抑制する方法として利用される。これらのトラップの長所と短所をうまく利用するためには、トラップの性質を明確にして、使っていくことが必要となる。これらの性質は動作電圧に依存することが予測されるため、トラップを動作電圧毎に評価する手法が望まれる。

トラップを評価する手法は様々なものが提案されているが、ここでは動作電圧毎に評価できる低周波YパラメータをGaN High Electron Mobility Transistor (HEMT)に適用した例を紹介する。

■ 活動内容

図1に研究対象であるGaN HEMTの断面構造模式図と測定回路を示す。GaN HEMTは一般的な構造で、AlGaIn/GaNへテロ接合、T型サブ μ ゲート、SiN保護膜などから形成される。Yパラメータの測定はDCバイアス(ゲート電圧 V_{GS} 、ドレイン電圧 V_{DS})を印加し、小信号のAC電圧

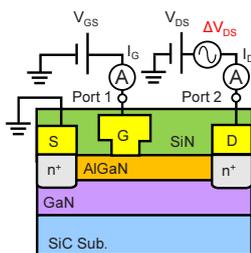


図1 測定試料(GaN HEMT)の断面構造模式図と測定回路

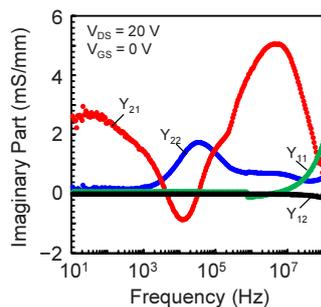


図2 Yパラメータ虚部の周波数依存性の典型例

をいずれかのDCバイアスに重畳し、ゲート電流(I_G)、ドレイン電流(I_D)の変動を観察する。GaN HEMTは2端子対回路網となるため、Yパラメータは4種類の複素数で表される。図1(a)では V_{DS} に ΔV_{DS} を重畳し、 I_D と I_G の変化を観察している(Y_{22} 、 Y_{12} に対応)。なお、今回はベクトルネットワークアナライザによりSパラメータの周波数依存性を測定し、Yパラメータに変換した。周波数はトラップが応答する低周波を含む周波数(10 Hz~100 MHz)とした。

図2は典型的なYパラメータ虚部の周波数依存性を示す。実部の周波数依存性(図示せず)では、トラップ信号に対して信号が単調に増減する特性であり、データ処理には不向きである。一方、図2に示すように虚部ではトラップに対する信号がピークとして観察される。このため、研究では主に虚部の周波数依存性からトラップピークを検出し、その電圧依存性を評価している。また、今回の測定条件では I_G が微小で測定系の検出限界以下となり、信号(Y_{11} 、 Y_{12})が得られていない。

図3はトラップ信号がピークとして得られた Y_{22} と Y_{21} 虚部に対する周波数依存性を示す。DCバイアスは V_{GS} を0 V(オン状態)とし、 V_{DS} を3から30 Vまで変化させた結果である。 Y_{22} 虚部、 Y_{21} 虚部、いずれでもトラップ信号が得られている。 Y_{22} 虚部(図3(a))では、強度が正の支配的なピークが V_{DS} 増加と共に高周波側へ移動している。これからトラップが回路に与える影響はバイアスに依存することがわかる。 Y_{21} 虚部(図3(b))では正の強度を持つものが2種類、負の強度を持つものが1種類、観察されている。さらに10 MHz付近に熱拡散によるピークが観察される。研究ではデバイスシミュレーションも使うことでトラップの場所や性質について研究を進めている。

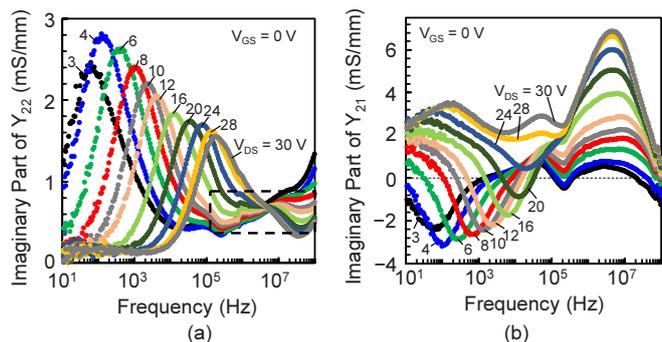


図3 ドレイン電圧をパラメータとした(a) Y_{22} 虚部と(b) Y_{21} 虚部の周波数依存性

代表発表者 **加賀 嵩浩(かが たかひろ)**
 所属 **佐賀大学 理工学部 電気エネルギー工学コース**
 問合せ先 **〒840-8502 佐賀県佐賀市本庄町1
 21238097@edu.cc.saga-u.ac.jp**

■キーワード: (1) GaN HEMT
 (2) Yパラメータ
 (3) トラップ
 ■共同研究者: 大石 敏之(佐賀大学)