

GaN HEMT の GaN トラップによる Y_{22} 信号と過渡応答特性の比較

Comparison between Y_{22} and Transient Signals for Trapping Response in GaN HEMT

加地 大樹*¹ 田淵 将也*¹ 大塚 友紘*² 山口 裕太郎*² 大石 敏之*¹ 新庄 真太郎*² 山中 宏治*²
 Daiki Kaji Masaya Tabuchi Tomohiro Otsuka Yutaro Yamaguchi Toshiyuki Oishi Shitaro Shinjo and Koji Yamanaka
^{*1} 佐賀大学 ^{*2} 三菱電機株式会社
 Saga University Mitsubishi Electric Corporation

1.はじめに

窒化ガリウム(GaN)半導体は優れた材料特性(高絶縁破壊電界、高電子移動度など)を有し、高周波やパワーエレクトロニクス分野で実用化されている。さらに、材料本来の特性を活かすことができれば、現在より高性能な特性を持つデバイスが実現できると期待される。デバイス性能を律速する要因の一つが GaN HEMT 中に存在するトラップである。トラップの性質を明らかにし、回路設計に役立てることができれば、次世代システムに利用できるデバイスとなると考えられる。我々は、トラップが応答する低周波で二端子対回路パラメータを測定する方法を用い、トラップ解明とトラップ回路構築について検討している [1]。一方、GaN HEMT 構造を用いたトラップ解析法としては過渡応答が良く知られている。そこで、両者を比較することで、二端子対回路パラメータに対する知見が得られないか検討した。今回、ドレイン電圧に対するドレイン電流の応答 (Y_{22}) とドレイン電圧のステップ入力に対するドレイン電流の過渡応答を比較したので、報告する。

2.実験方法

GaN HEMT は、SiC 基板上の GaN、AlGaIn からなる。また、ゲート長 $0.4 \mu\text{m}$ 、T 型ゲートである。図 1 にドレイン電流 (I_D) とドレイン電圧 (V_{DS}) の関係を示す。また、 Y_{22} パラメータの測定例を図 1 に示す。DC バイアスをゲート電圧 (V_{GS}) -1 V 、 $V_{DS}=4 \text{ V}$ とし、交流信号を重畳し、 Y パラメータを評価した。今回は、4 種類の Y パラメータのうち、GaN トラップの応答が評価可能な Y_{22} 虚部について検討した。交流信号は -20 dBm と小さく、DC バイアスをできるだけ変動させない条件とした。具体的にはベクトルネットワークアナライザ (E5061B) で S パラメータを測定し、 Y パラメータに変換している。図 1 に過渡応答の例も示す。 V_{GS} を -1 V と一定した状態で V_{DS} を 20 V から 4 V に変化させ、 I_D の時間変化をプレジジョンソース/メジャーユニット (B2902A) で測定した。過渡応答では応答波形を時間微分することでトラップの時定数をピークとした。

3.実験結果と考察

図 2 で Y_{22} 虚部と過渡応答の周波数特性を比較した。 Y パラメータの DC バイアス、過渡応答の電圧条件は図 1 に示すものと同じである。 Y_{22} 虚部の周波数依存性は GaN トラップの時定数に対応する周波数でピークを示す (V_{GS} を一定とし、 V_{DS} に小信号交流を与える場合、ゲート・ドレイン間のポテンシャルが変動するため) [1]。過渡応答については、時間の逆数をとることで周波数としている。両者のピークはほぼ同じ周波数で、同じ種類のトラップを観察していると考えられる。ただし、 Y_{22} 虚部はピークに対してほぼ対称であるが、過渡応答は非対称な形となっている。また、半値幅は Y_{22} 虚部の方が広がっている。これらの違いは Y パラメータでは DC バイアス付近、過渡応答では高 V_{DS} から低 V_{DS} の変化を観察しているためと考えられる。

図 3 は Y_{22} 虚部と過渡応答の周波数特性から見積もられたトラップのピーク周波数と V_{GS} の関係を示す。 V_{DS} は 4 、 10 V の 2 種類を示す。なお、過渡応答の終点と Y_{22} 測定時の V_{DS} を同じとしている。その結果、 Y_{22} 虚部と過渡応答特性で同じ傾向であった。これから Y_{22} 測定では過渡応答特性の終点における特性を評価していると考えられる。

4.まとめ

二端子対回路パラメータの Y_{22} 虚部とドレイン電圧を変化させた過渡応答特性を比較した。その結果、 Y_{22} 虚部の信号は過渡応答特性の終点での特性に対応することがわかった。

参考文献

[1] M. Tabuchi, et al, 2020 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology (RFIT2020).

謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP21K04139 の助成を受けたものです。

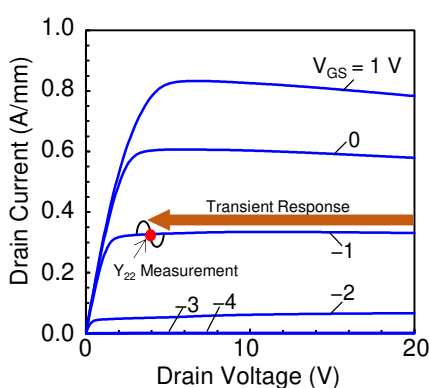


図 1 I_D - V_{DS} 特性と過渡応答、 Y_{22} の測定点例

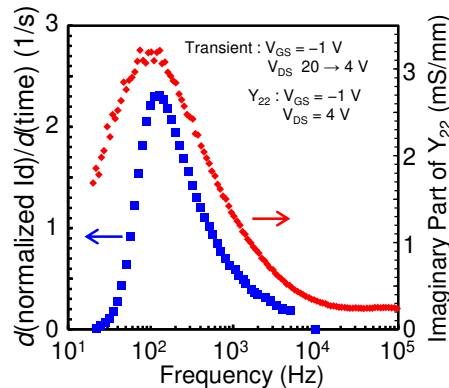


図 2 Y_{22} と過渡応答の比較 (周波数依存性)

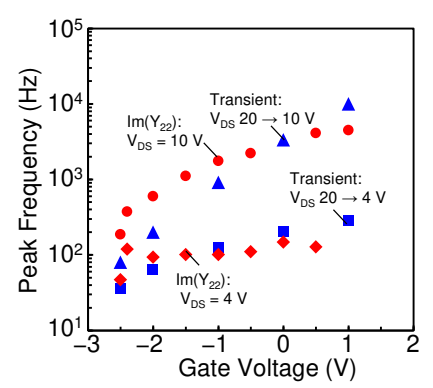


図 3 Y_{22} と過渡応答の比較 (ピーク周波数)