

# 低周波インピーダンス測定による GaN HEMT のトラップモデリング

## Modeling of traps in GaN HEMT by measurement of low frequency impedance

三菱電機株式会社<sup>1</sup>, 佐賀大学<sup>2</sup>

○山口裕太郎<sup>1</sup>, 大塚浩志<sup>1</sup>, 加茂宣卓<sup>1</sup>, 小山英寿<sup>1</sup>, 南條拓真<sup>1</sup>, 山中宏治<sup>1</sup>, 大石敏之<sup>2</sup>

Mitsubishi Electric corp.<sup>1</sup>, Saga university<sup>2</sup>,

Y. Yamaguchi<sup>1</sup>, H. Otsuka<sup>1</sup>, Y. Kamo<sup>1</sup>, H. Koyama<sup>1</sup>, T. Nanjo<sup>1</sup>, K. Yamanaka<sup>1</sup>, T. Oishi<sup>2</sup>

E-mail: Yamaguchi.Yutaro@cj.MitsubishiElectric.co.jp

### 1. まえがき

GaNはGaAsやSiより高い耐圧、高い電子飽和速度、高い熱伝導率をもつ。そのためGaNは高出力マイクロ波増幅器によく用いられる。近年出力電力100W, PAE60%のGaN HEMT増幅器が開発されている[1]。しかし、電子トラップによるオン抵抗増大が増幅器の効率を劣化させる課題があり、トラップの挙動を明らかにすることが求められている。これまでgmおよびgdsがトラップの影響により低周波領域で周波数分散をもつことが知られており、その等価回路モデルが報告されている[2]。しかしこれまで2種類以上のトラップを考慮したモデルは報告されていない。本報告では2種類以上のトラップを考慮した低周波での等価回路モデルを報告する。提案する等価回路モデルはトラップが異なるGaNNonSiCデバイスおよびGaNNonSiデバイスの両方で実測とよく一致することを確認した。

### 2. 提案する等価回路モデル

図1に提案する等価回路モデルを示す。図1はGaNHEMTの真性部のみのモデルである。このモデルではGaNHEMTの2種類のトラップが存在すると仮定した。一般的な小信号等価回路モデルにR-C回路( $R_{gtrap}-C_{gtrap}, R_{dtrap}-C_{dtrap}$ )と電圧制御電流源を有するトラップ回路をゲート側とドレイン側にそれぞれ装荷したモデルになっている。ここで $R_{gtrap}-C_{gtrap}$ はゲート電圧に依存し、 $R_{dtrap}-C_{dtrap}$ はドレイン電圧に依存する。 $C_{gtrap}$ と $C_{dtrap}$ の両端にかかる電圧( $V_{gtrap}, V_{dtrap}$ )は $K_{gtrap} \cdot g_m \cdot V_{gtrap}$ 及び $K_{dtrap} \cdot g_m \cdot V_{dtrap}$ で電流源にフィードバックされる。ここで $K_{gtrap}, K_{dtrap}$ はフィードバック定数であり、トラップによるドレイン電流の変化量を意味する。等価回路を $Im[Y_{21}], Im[Y_{22}]$ について解いた結果を式1~式4に示す。式2, 式4の $\omega_{gtrap}, \omega_{dtrap}$ はそれぞれゲート電圧及びドレイン電圧に依存するトラップの時定数の逆数(トラップ周波数)を意味する。式1, 式3より $Im[Y_{21}], Im[Y_{22}]$ はトラップ周波数において極値をもつことが分かる。なお2種類以上のトラップが存在すると仮定した場合、さらに同様のトラップ回路を付け足せばよい。

$$Im[Y_{21}] \approx \frac{K_{gtrap} g_m \left( \frac{\omega}{\omega_{gtrap}} \right)}{1 + \left( \frac{\omega}{\omega_{gtrap}} \right)^2} \quad \dots \text{式1}$$

$$\omega_{gtrap} = \frac{1}{C_{gtrap} R_{gtrap}} = \frac{1}{\tau_{gtrap}} \quad \dots \text{式2}$$

$$Im[Y_{22}] \approx \frac{\left( \frac{1}{R_{dtrap}} + K_{dtrap} g_m \right) \left( \frac{\omega}{\omega_{dtrap}} \right)}{1 + \left( \frac{\omega}{\omega_{dtrap}} \right)^2} \quad \dots \text{式3}$$

$$\omega_{dtrap} = \frac{1}{C_{dtrap} R_{dtrap}} = \frac{1}{\tau_{dtrap}} \quad \dots \text{式4}$$

### 3. モデルと実測の比較結果

図2にSiC基板上とSi基板上に作成したそれぞれのGaNHEMT(ゲート幅1mm)の実測とモデルの比較結果を示す。 $Im[Y_{21}], Im[Y_{22}]$ は極値を持ち、実測とモデルはよく一致していることが分かる。GaNNonSiCデバイスは2種類以上トラップを有し、 $Im[Y_{21}], Im[Y_{22}]$ にそれぞれ極値を2つもつためゲートとドレインに2つずつトラップ回路を装荷したモデルになっている。

### 4. まとめ

GaNHEMTの2種類以上のトラップを考慮した低周波での等価回路モデルを提案した。提案した複数のトラップを考慮したモデルはトラップが異なるGaNNonSiCデバイスおよびGaNNonSiデバイスの両方で $Im[Y_{21}], Im[Y_{22}]$ が実測と一致することを確認した。

### 5. 参考文献

- [1] H.Noto et al, EuMC, pp. 1075-1078(2012).
- [2] Kazuaki Kunihiro et al IEEE Trans. Electron Devices, vol.43, no.9, pp.1336-1342,(1996).

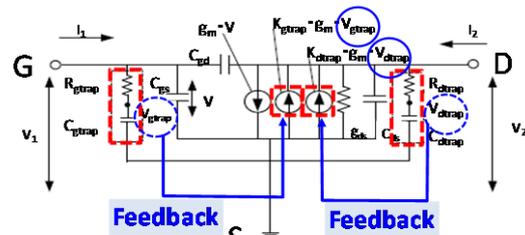


図1 低周波等価回路

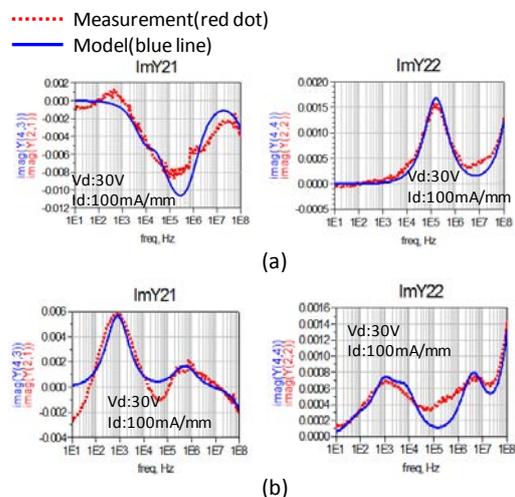


図2 実測とモデルの比較  
(a)GaN on SiC (b)GaN on Si