

トランジスタを用いた二乗検波器の感度特性 Square-law Detectors for Radio Wave Imaging

九州大学大学院システム情報科学府 ○関口恭介、松永直也、金谷晴一、浅野種正

Kyushu Univ.: K. Sekiguchi, N. Matsunaga, H. Kanaya, T. Asano

E-mail: sekiguchi@fed.ed.kyushu-u.ac.jp

1. はじめに

テラヘルツ波は、絶縁体は透過するが導電性を持つ物質には吸収される、エネルギーが数 meV と低い
ため生体に損傷を与えにくいなどの特徴を持つ。そのためテラヘルツ波の実時間イメージングデバイスを実現できれば、セキュリティや医療、創薬など多くの分野で新しいサービスを創出できると期待されている。しかし、現在、イメージングデバイスに用いられている量子型および熱型検出ともに室温動作時のテラヘルツ帯での信号対雑音比が小さく、実時間撮像はその開発が困難を極めている。

我々はナノエレクトロニクスと異種材料・機能の集積化技術によるテラヘルツ波検波器の高感度化とイメージングデバイスの開発に取り組んでいる。本研究では、高感度検波に適した電子素子を見出すことを課題とした。今回、LSI 化が容易な Si-MOSFET と、集積化は容易ではないがキャリア移動度の大きな高電子移動度トランジスタ (HEMT) を用いてギガヘルツ帯の二乗検波器を作製し、その感度特性を比較した結果を報告する。

2. 二乗検波器の原理

トランジスタのゲート・ドレイン間を C_{gd} で結合し、ゲートとドレインに入力信号 $V_{RF} \sin \omega t$ を印加する。するとそれらの信号はトランジスタのスイッチング特性によりミキシングされ、 V_{RF} の 2 乗に比例した直流成分を持つ信号が出力される。この直流信号電圧 V_d は以下の式で表される[1]。

$$V_d = \frac{V_{RF}^2}{4(V_g - V_{th})}$$

3. 実験

二乗検波器はプリント配線板上に作製した。HEMT は RENESAS 社製 NE3520S03 型 (GaAs 製) を、MOSFET は NXP 社製 BLFG38-25 型 (RF 用 LDMOS) を使用し、各々個別に二乗検波器を設計、作製した (Fig.1)。なお、HEMT では外付け容量を用いずにゲート・ドレイン間の寄生容量のみを C_{gd} とした。信号は、シグナルジェネレータから同軸ケーブルを通して二乗検波器に入力し、周波数は 3.4 [GHz] とした。出力電圧のゲート電圧特性を測定し、検波器の感度を表す性能指数である等価雑音電力 (NEP) の計算を行った。

4. 結果と考察

Fig. 2 と Fig.3 に Si-MOSFET、HEMT を用いた検波器の電圧感度 R_v と NEP のゲート電圧特性それぞれを示す。 R_v は HEMT を用いることで 3 桁程度向上した。NEP はいずれも閾値電圧付近で最小値 (最高感度) を示した。Si-MOSFET を用いた検波器の NEP (Noise Equivalent Power) の最小値は 141 [pW/Hz^{1/2}]、HEMT を用いた検波器の NEP の最小値は 5.12 [pW/Hz^{1/2}] であった。つまり HEMT を用いることで検波器の感度が 2 桁程度向上した。

GaAs の電子移動度は Si のそれと比べて約 6 倍大きい [2]。HEMT とすることでさらに移動度の差が大きくなっていると考えられている。この移動度の差が

感度の向上に寄与していると考えられる。

5. おわりに

二乗検波器のトランジスタに HEMT を用いることで感度が向上することがわかった。テラヘルツ波の検出感度の向上にも有効であると考えられる。

参考文献

- [1] Erik Öjefors et al.: IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol44, No.7, pp. 1968-1976, (2009)
- [2] R. S. Muller and T. Kamins: "Device Electronics for Integrated Circuits" John Wiley & Sons (1986)

謝辞

本研究の一部は科学技術振興機構の CREST の援助によるものである。

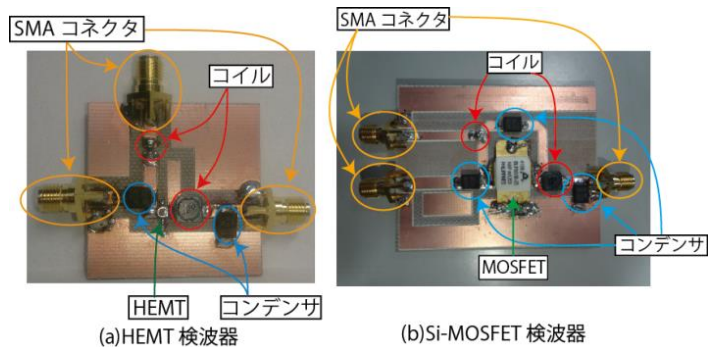


Fig. 1: Pictures of square-law detectors

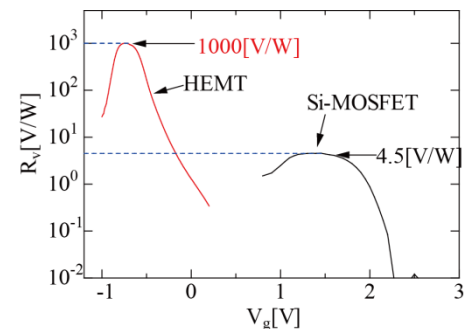


Fig. 2: R_v of square-law detectors fabricated by GaAs-HEMT or Si-MOSFET

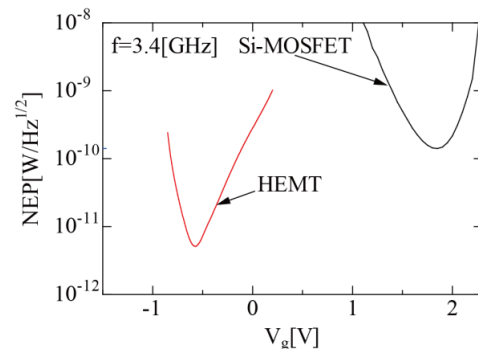


Fig. 3: NEP of square-law detectors fabricated by GaAs-HEMT or Si-MOSFET