An analysis of illuminated HEMT MMIC using Simulation 光照射HEMT MMIC発振器のシミュレーション解析

Tatsuo KUWAYAMA, Jun KOBAYASHI, M.Alsunaidi, and Shigeo KAWASAKI

Dept. of Communication Engineering, Tokai University, 1117 Kita-Kaname, Hiratsuka, Kanagawa 159-1292, Japan
TEL: +81-463-1211 (Ext. 4061) E-mail: Kawasaki@keyaki.cc.u-tokai.ac.jp

(Received 6, November 2000 Accepted 9, June 2001)

Recent developments in microwave and millimeter-wave technologies and in optoelectronic technologies have allowed multimedia network systems consisting of a wireless communication system and an optical-fiber communication system to be realized. A optically controlled MMIC is suitable to realize such a system. However accurate physical modeling of optically controlled MMICs has not been completed yet.

When gate bias is low, self-oscillation shifts the high frequency side. This paper describes the experimental results of the optically controlled InP based MMIC oscillator with illumination. Experimental I-V curves of MESFET are compared to results obtained using both equivalent circuit analysis and physical modeling using the FDTD method.

Key words: InP HEMT, GaAs MESFET, Illuminated MMIC Oscillator, 1.5 μm laser, Physical Modeling, the FDTD method

I. INTRODUCTION

近年情報通信産業は、パーソナルコンピュータと通信網を融合することで飛躍的な成長を遂げた。現在では、ISDN回線や光ファイバーなどの有線技術のみならず、情報機器が小型化・高性能化になるにつれて、携帯電話などの無線技術を用いた大容量移動体データ通信への要求が高まってきている。

マイクロ波フォトンクスは光技術と無線技術の二つの基本技術を融合するものである。¹ 光で信号を搬送する光ファイバの大容量性・低損失性が活用でき、大容量・高速な無線通信が実現できるマイクロ波・ミリ波と結びつけることで大容量移動体データ通信の実現が期待されている。

この技術を実現するには、光をミリ波で変調する技術と光からミリ波を取り出すための、高性能な光電波変換機が必要である。そのための光制御マイクロ波・ミリ波集積回路に用いられる高周波デバイスとして、本研究ではミリ波帯に適したHEMTとマイクロ波帯に適したMESFETに注目した。光制御マイクロ波・ミリ波集積回路は、研究開発のコストと時間を低減するため、回路シミュレータによる回路設計を行うことが望ましい。しかしながら、現状では光制御を念頭に置いた回路設計を回路シミュレータによって行うのに不可欠な、光照射を考慮した高周波デバイスのモデルが存在しないため、その光制御マイクロ波・ミリ波集積回路の設計が困難である。

本研究では、光照射によってInP HEMT MMICの動作周波数が高周波側に移動した時の静特性を得ることができた。また、非光照射と光照射したMESFETの静特性を計測し、FDTD法を用いた物理モデルと等価回路モデルで解析した結果を比較し物理モデル及び等価回路モデルの問題点について検討を行った。

II. ANALYSIS METHOD

FETのモデリングとは、FETの電気的特性を電気的または物理的なモデルを用いて表現することである。

物理モデルとは、半導体の様々な物理定数から電流・電圧特性をポアソンの方程式やボルツマン輸送方程式などを用い表

現するモデルである。今回はその数値解析手法としてFDTD法を用いた。FDTD法は、解析領域を小さなメッシュ構造でセル化して、各セルにおける電磁界成分の時間的な変化を解析するため、FDTD法を用いることによって従来別々に取り扱ってきた受動・能動回路が統一して解析できるようになるうえ、従来の計算方法とは異なり直流から数100GHzまでの非常に広帯域な周波数を一度の計算を行うことができる。²

等価回路モデルとは、集中定数または分布定数素子から構成される等価回路を用いて表現したものである。半導体内の物理現象を電気的な等価回路で表現するため、表現が簡単で計算時間も短いため、現在ではマイクロ波半導体回路の設計に広く用いられている。

III. DESIGN

本実験で用いたInP HEMTの構造をFig1に示す。ゲート長は0.5 μm 、ゲート幅が13 $\mu\text{m} \times 4$ フィンガー、ドレインソース間隔は3 μm である。このInP HEMTは、光感度向上のために20nmの光吸収層をチャネルと基板の間に挿入している。波長1.5 μm のレーザのエネルギーは、チャネル20nm~40nmのチャネル層と、挿入した20nmの光吸収層で吸収される。

Fig.1. HEMT structure.

GaAs MESFETの構造をFig2に示す。GaAs MESFETは半絶縁性GaAs基板上に形成され、ゲート幅0.2 μm 、ゲート長0.2 μm 、ゲートソース及びゲートドレイン電極間隔約1 μm の構

造を持つ。チャネル層はイオンプラント法によって生成され、ショートチャネル効果を抑制するためチャネル層と基板の間にはP⁺バッファ層を設けた。

Fig.2. MESFET structure.

IV. Experiment

Figure3にInP HEMT MMICとGaAs MESFETの光照射実験に用いられた実験系を示す。照射光源には半導体レーザを用い、その波長とエネルギー及び出力は、InP HEMTに対して1550nm、0.8eV、16mWでGaAs MESFETに対して820nm、1.51eV、20mWとした。半導体レーザより発生した光を光ファイバーでデバイス付近に導き、レンズ形成された先端により光を照射した。

Fig.3. Experimental Set-up.

実験では光照射により共振周波数が $V_{gs} = -0.4[V]$ 付近を境に、 V_{gs} を更に深くかけた条件ではマイナス側にシフトし、浅くかけた条件ではプラス側にシフトしている。³Figure4にMMICが自励共振している時の非光照射のHEMTの静特性と光照射時の静特性を比較した実験結果を示す。

Fig.4. The measured DC characteristics of the InP HEMT with/without illumination.

V. ANALYSIS

次に非光照射時と光照射時のMESFETの静特性について、等価回路モデルによる解析した結果及びFDTD法を用いた物

理モデルによる解析結果をFig.5, Fig.6に示す。

Fig.5. The measured and Simulated DC characteristics of the GaAs with illumination.

Fig.6. The measured and Simulated DC characteristics of the GaAs without illumination.

VI. CONCLUSION

本研究では、光照射したHEMTの静特性を示すとともに、非光照射時と光照射時のGaAs MESFETの直流特性の実測値に対し、物理モデルと等価回路モデルによる計算結果との比較を行った。

その結果、光照射によって高周波側に動作周波数が移動する場合、ドレイン電圧によって動作周波数が高周波側にシフトするか低周波側にシフトするかが決まっていたが、静特性においては、ドレイン電流は周波数の移動方向に依らず、増加していることを確認することができた。

物理モデルは、デバイス自体のパラメーターが多く必要であるが、今回は未知の数値に対しては標準的な値をいれた。

ACKNOWLEDGEMENT

本研究は、東海大学レイナー21計画及び旭硝子財団の研究助成のもとに行われた。また本報告をまとめるにあたり、ADSを使わせて頂いたアジレントテクノロジー株式会社・村田英俊氏、糸川直史氏に感謝致します。

REFERENCES

- ¹ Electronics, ohm INC., pp. 17-68, sep. 2000
- ² E. Yamashita, C. Enki, Analysis of Micro wave Planar Circuit and Antenna Using FDTD Method (in japanese), REALIZE INC., Tokyo, 1996
- ³ J. Kobayashi, T. Kuwayama, and S. Kawasaki, H. Furuta, T. nomoto, Consideration on Modeling of the Operation Frequency of an InP HEMT/MMIC Oscillator Illuminated by a 1.5 μ m Laser (in japanese), TECHNICAL REPORT OF IEICE., pp. 25-30, oct. 2000

Presented at '00 SAS Intelligent Symposium