

行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

高功率微波電晶體之研究

Study of High Power Microwave Transistors

計畫編號: NSC 88-2213-E009-137

執行期限: 民國 87 年 08 月 01 日起至民國 88 年 07 月 31 日

主持人: 李建平教授

一、中文摘要

在本年度的國科會計畫中, 本實驗室提出了製作高功率微波電晶體的研究計畫, 而這一年的研究計畫執行中, 獲致良好的結果, 並針對所製作出來的高功率微波電晶體 P-HEMT 在 CDMA 系統應用的研究, 我們針對 Single 和 Double delta doping 這兩種結構量測其, Small Signal, Large Signal, Power Characterization, linear Characterization, 發現 Double delta doping 結構的 Characterization 要比 Single delta doping 的 Characterization 來的好。因此, 綜合上所述我們可以知道在 RF 功率放大器的應用上 Double delta doping 要比 Single delta doping 為佳。此外, 本研究為第一次發表針對 Double delta doping 和 Single delta doping 這兩種不同的結構在 CDMA 通訊系統上的線性應用比較, 且也獲得不錯的結果。

Abstract

In this project, we have developed the processing techniques for GaAs pseudomorphic HEMTs. In this

study, we compare the performance of single delta doping structure and double delta doping structure in DC, Small signal and Large signal analysis. At 300K, the g_m and I_{dss} of the single delta doping structure were 244mS/mm and 152mA/m, respectively. For the double delta doping structure, the g_m and I_{dss} of single delta doping structure were 247mS/mm and 260mA/m, respectively. For double delta doping structure, the f_t and f_{max} were 16~17GHz and 50GHz, respectively. In large signal measurement, the power added efficiency, P1dB and OIP3 of single delta doping structure were 32%, 2.59dBm and 26.91dBm, respectively. For double delta doping structure, the power added efficiency, P1dB and OIP3 of single delta doping structure were 37%, 0.74dBm and 27.65dBm, respectively. For applications in CDMA communication systems, we have measured the adjacent channel power leakage ratio (ACPR) of single and double delta doping structure. We found

that the ACPR of double delta doping structures is better than that of single delta doping structures. Based on this study, we can conclude that for the linearity applications double delta doping structures are more suitable than single delta doping structures. This is the first time that direct comparison is made for different delta doped PHEMT structures for CDMA power applications.

二、緣由與目的

在微波通訊系統中，訊號經由天線收集後，經過 RF 放大器、濾波器、混波器、中頻放大器、最後輸入至訊號處理電路、以轉成人們可閱讀的資訊。由上述系統可知微波半導體元件及電路無疑地是整個微波通訊系統中的重要角色。目前用在無線通訊的半導體元件，在 Silicon 方面主要有 MOSFET、CMOS FET、Bipolar Transistor; III - V 族方面則有 MESFET、P-HEMT、HBT 等。以 Silicon 為基底的高速元件，理論極限預測在 5GHz，實際能到達 3GHz 已非常困難。但相對的，以 III-V 族半導體為基底的高速元件，10~30GHz 或更高的通訊頻率，則是輕而易舉。在傳統的場效電晶體 (MESFET) 中，由於其傳導的載子與摻雜的原子處於相同的空間上，一旦增加載子濃度時，摻雜濃度也隨著增加。相對的載子與游離化摻雜原子間的作用力也增強，因而降低了元件的高頻特性。然而高電子遷移率電晶體 (HEMT or P-HEMT) 藉由其特殊的垂直結構所形成的二維電子通道，則可去除 MESFET 的上述缺點，

也就是 HEMT 的高頻特性幾乎都比 MESFET 來的好。因此我們在這個計劃中研究了 PHEMT 的高頻及大訊號的特性，針對 CDMA 系統的線性要求來製作高功率的 PHEMT 元件。

三、結果與討論

我們這個計劃主要提出了針對 P-HEMT 應用在最新的無線通訊系統 CDMA 中，最重要的一個特性，那就是元件的線性，在 CDMA 的系統中放大器不僅要達到高的功率輸出，且在不同的功率輸出下，仍要能夠維持好的線性輸出，因此本計劃針對這一個想法，改變 P-HEMT 的磊晶結構，希望能提出一個提昇 CDMA 線性規格的元件結構，我們比較了 Single delta doping 及 double delta doping 的元件結構，我們從元件的 DC 直流分析 (Fig.1(a)(b)) 可以看出在小的汲極電壓時可看出元件的內在特，發現 Double delta doping 的結構有比較平坦的 gm 表現，表示 Double delta doping 天生就應比 Single delta doping 有更好的線性表現，接下來我們針對元件的小訊號作量測，了解元件的小訊號 S 參數，發現 Double delta doping 的高頻特性較 Single delta doping 更不易改變，由此我們可以看出一些元件應用在高頻線性放大器的端倪，接下來我們用較直接的方法來量測這二個結構的線性好壞，使用 One tone (Fig.2(a)) 及 two tone (Fig.2(b)) 的量法，我們發現結如下：

	Single	Double
P1dB	-2.59dBm	0.75dBm
OIP3	26.91dBm	27.65dBm

從上面的量測結果我們可以知道 Double Delta doping 的結構在線性的

應用上比 Single Delta doping 的結構還要好,但這些量測都不是直接的證明說 Double Delta doping 的線性比 Single Delta doping 的線性好,因此由於元件是應用在 CDMA 的通訊系統中,所以我們針對這二種結構的件,輸入一個數位調變的高頻信號,即 CDMA pattern,量測其 ACPR(Adjust Cannel leakage Power Rejection)值(Fig3),發現我們的推論結果是正確的,即 Double Delta doping 的 PHEMT 結構比 Single Delta doping 的結構能獲得更好的線性特性。

四、參考文獻

1. R. Dingle, H.L. Stormer "Electron mobility in modulation-doped semiconductor superlattices", *Appl. Phys. Lett.*, vol.33, P655-667, 1978.
2. R. Dingle, H.L. Stormer "Two dimensional electron gas at a semiconductor interface", *Solid-state Comm.* vol.29, P665-667, 1979.
3. T. Mimura, S. Hiyamiza, Japan. *J. Appl. Phys.* vol.19, L225-227, 1980
4. A. Ketterson, M. Moloney, "High transconductance InGaAs/AlGaAs Pseudomorphic modulation-doped field-effect transistors", *IEEE, Electron Device Lett.* vol.EDL-6, P628-630, 1985.
5. M. Muraguchi, M. Nakatsugawa, H. Hayashi, and M. Aikawa, "A 1.9GHz-band ultra low power consumption amplifier chip set for personal communications." in *IEEE MTT-S Dig.*, 1995, pp.9-12.
6. P.O'Sullivan, G. St. Ongc, F. Heancy, F. McGrath, and C. Kernmarce, "High performance integrated PA, T/R switch for 1.9GHz personal communication handsets." In *GaAs IC Symp. Tech. Dig.*, 1993 pp.33-35.
7. T. Yokoyama, T. Kunihisa, M. Nishijima, S. Yamamoto, M. Nishitsuji, K. Nishii, M. Nakayama, and O. Ishikawa. "Low current dissipation pseudomorphic MODFET MMIC power amplifier for PHS operation with a 3.5V single voltage supply," in *GaAs IC Symp. Tech. Dig.*, 1996, pp.107-110.
8. H. Ono, Y. Umemoto, M. Mori, M. Miyazaki, A. Terano, and M. Kudo, "Pseudomorphic power HEMT with 53.5% power-added efficiency for 1.9GHz PHS standards," in *IEEE MTT-S Dig.*, 1996, pp. 547-550.
9. M. Hirose, K. Nishihori, M. Nagakoa, Y. Ikeda, A. Kameyama, Y. Kitaura, and N. Uchitomi, "A symmetric GaAs MESFET structure with a single low-voltage supply," in *GaAs IC Symp. Tech. Dig.*, 1996 pp. 237-240.
10. T. Kunihisa, T. Yokoyama, H. Fujimoto, K. Ishida, H. Takchara, and O. Ishikawa, "High efficiency, low adjacent channel leakage GaAs power MMIC for digital cordless telephone," in *IEEE MTT-S Dig.*, 1994, pp. 55-58.

Single Delta Doping Gm vs Vds

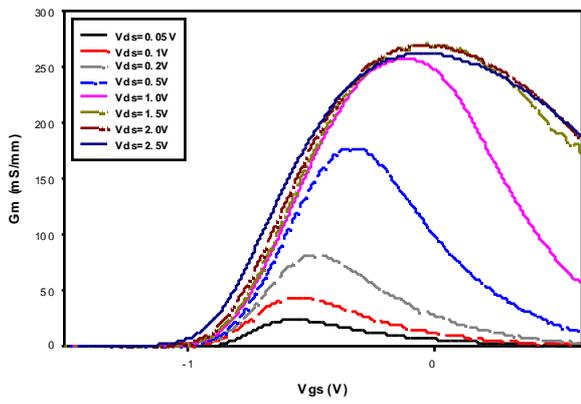


Fig.1(a)

OIP3

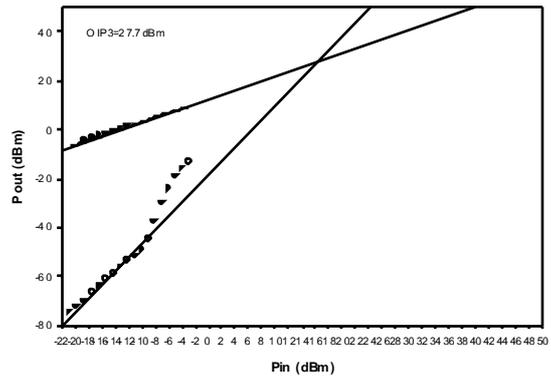


Fig.2(b)

Double Delta Doping Gm vs Vds

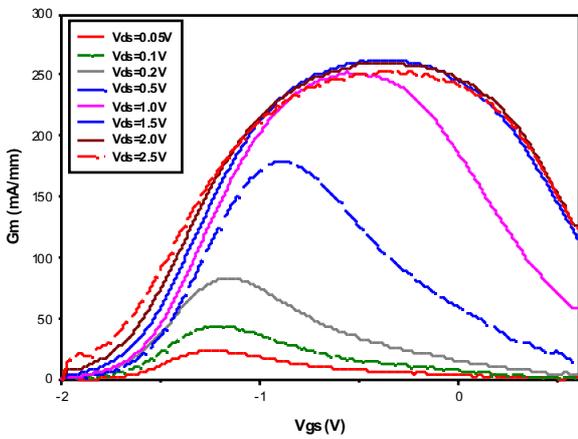


Fig.1(b)

Single vs Double Delta Doping ACPR

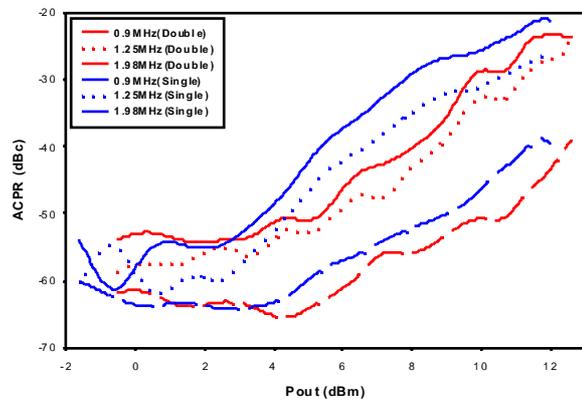


Fig.3

Single vs Double Delta Doping Pin vs Pout

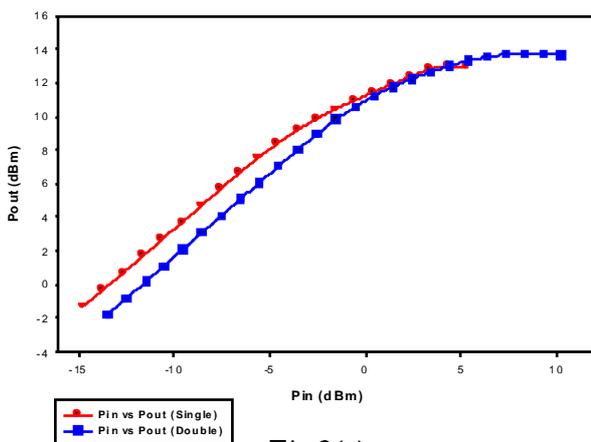


Fig.2(a)