

行政院國家科學委員會專題研究計畫 成果報告

以四埠量測系統量測射頻電晶體特性並製作其等效電路模型

計畫類別：個別型計畫

計畫編號：NSC91-2215-E-009-053-

執行期間：91年08月01日至92年07月31日

執行單位：國立交通大學電子工程學系

計畫主持人：張俊彥

報告類型：精簡報告

處理方式：本計畫涉及專利或其他智慧財產權，2年後可公開查詢

中 華 民 國 92 年 10 月 31 日

以四埠量測系統量測設頻電晶體特性並製作其 等效電路模型

The Characterization and modeling of RF MOSFET's by Four-Port Measurement

計劃編號: NSC91-2215-E009-053

執行期間: 91/08/01~92/07/31

計劃主持人: 張俊彥教授

交通大學電子研究所

一、摘要

關鍵字: 射頻金氧半電晶體、四埠量測、射頻元件模型

本計畫主要是研究射頻金氧半電晶體的高頻量測以及小訊號模型製作, 初期先設計製造射頻金氧半電晶體 (RF MOSFET), 之後量測其直流以及高頻特性, 其中高頻特性將以四埠量測 (four port measurement) 的方式量得其散射參數 (S parameter), 並將其與以傳統雙埠量測所得的結果比較, 最後再分析四埠及雙埠量測資料, 根據這些資料輔以電腦模擬製作可供射頻電路設計所需之射頻電晶體模型。

在這個研究裡, 我們以四埠量測系統, 得到了比傳統雙埠量測更多的有效資訊, 能更直接的量測出射頻金氧半電晶體中的雜散及寄生元件參數值, 得到更真實的元件本質特性, 製作出更精準的射頻元件模型。

Abstract

key word: RF MOSFET, four port measurement, Model

In this project we will design and manufacture RF MOSFETs, and characterize these RF MOSFETs

with DC, two port and four port S parameter measurement, then we will compare the two port measurement data and its four port counterpart. By analyzing these measured two port and four port S parameter and simulating it with computer, we can obtain a RF MOSFET model suitable for RF circuit design.

By executing this project we can extract the parasitic component of RF MOSFET more accurately, and obtain an almost real intrinsic RF characteristics of RF MOSFET, and then, produce a more accurate RF MOSFET model.

二、計畫源由與目的

要快速且有效率的設計出達到規格要求之射頻電路, 準確的元件模型 (device model) 是不可缺的, 現行建立元件模型的方式大都以雙埠量測系統 (two port measurement) 量測其散射參數 (S parameter) 以得到元件的高頻特性, 再分析量得之散射參數, 以萃取出元件模型等效電路中的各電路成分值 [1, 2]。以電晶體為例, 以

此方法量測需先將電晶體設定為雙埠電路組態，得到的量測資料為電晶體內部各物理效應所共同呈現出之總和效應，分離各種效應是件繁複的工作，且需先假設出模型等效電路中之各元件值，再將各元件值調變使得電晶體模型的特性趨近量測到的特性，過程中因假設值不當，常造成模型與實際電晶體的電性存在相當的誤差。誤差的產生有相當多原因，例如等效電路模型架構不正確，但除去這類模型先天架構的問題，另有一主要原因是量測方式所造成的，MOS 電晶體是四端點元件，將其設定成雙埠電路組態需將其中二端點合併為接地端 (ground)，因此將導致此二端之間的效應無法直接由量測數據顯示，必須以假設的方法來猜測此二端點間的效應，因此必然造成誤差，而且此誤差的大小甚至無法評估。

本計畫的目的在於將 MOS 電晶體設定為四埠電路組態，以四埠量測系統 (4 port measurement) 量測之。四埠量測系統一般是應用於高頻多埠被動元件的量測上，如高頻變壓器 (transformer)、藕合器 (coupler)、傳輸線 (transmission line)，另外也可以將四個單端埠 (single ended port) 組成兩個差動模式 (different mode) 的平衡埠 (balance port)，藉以量測差動雙埠電路 [3]。本計畫中是將四埠量測系統的四個單端埠連接到電晶體的四個端點，量測出一組具 16 個散射參數之散射矩陣，此 4x4 散射矩陣完整包含了 MOS 電晶體操作在射頻範圍時四端點彼此之間互動的關係，將不會有前述以雙埠組態量測出現的問題發生，而四埠量測所得到的資料量將為雙埠量測的四倍，更能清楚的分離電晶體中存在各端點間的元件值，在四埠量測資料中即可提供足夠之資訊而直接萃取出來，等於完整探視電晶體

內部的狀況，這對於高頻元件的參數萃取，模型製作有極大的幫助，連帶的使高頻電路設計更為經濟迅速。

三、 實驗步驟與結果

本計畫的執行有三個階段：

第一階段為射頻電晶體的設計與製作：這部分我們設計了兩種不同尺寸的高頻金氧半電晶體，分別搭配了雙埠以及四埠的測試結構，電晶體部分主要是採用 0.25 微米的製程技術，在閘極結構上採指狀結構 (multi-finger)，其中每一 finger length 為 10 微米，finger number 為 21 與 41 根，總寬度分別為 210 與 410 微米。而在測試結構部分，雙埠是採用傳統的 GSG 雙埠測試結構，加上去除寄生效應用的開路與短路空結構 (open, short dummy pad)，在四埠方面的結構如圖一，再加上四埠的開路與短路空結構。

第二階段為射頻電晶體直流與散射參數量測：量測直流特性主要是為了初步判定電晶體是否正常，並估計其高頻運作能力，而其數據如表一。而雙埠 sample 的散射參數是採用量測頻率可達 20GHz 的雙埠系統量測，其量測結果如圖二。四埠電晶體受限於目前的設備，頻率僅能到 6GHz，而其量測到的數據必須經過分析運算後才有意義，故不列出。

第三階段為參數萃取與射頻電晶體等效電路模型的建立：由網路分析儀 (network analyzer) 量出的資料皆為散射參數，直接用此參數並不容易處理，所以一般都會先將此參數轉為導納參數 (y-parameters)，其所代表的電路意義必較明顯，本研究中所採用的等效電路模型如圖二所示，其中的參數可從經由四埠量測資料轉換出的 y 參數萃取而出，電路中各元件萃取值如表二，而該將等效電路以 HSPICE 模擬，模擬結果與量測結果的比較如圖四。

四、 結論與討論

在本研究中，我們以四埠量測所的資料建立了一完整的小訊號等效電路模型，並根據此電路架構推導其中各元件的萃取方式，並萃取出各元件的值，而雖然四埠量測設備量測頻率僅達到 6GHz，但模擬出的結果相當接近實際雙埠量測到 20GHz 的接果，表示本研究所建立的等效電路可以有效模擬實際元件的特性，對於未來建立更準確的模型有相當的助益。

五、 參考文獻

1. Apolinar R.H., et al., IEEE Trans. On Microwave Theory Vol.44, No.12 P.2625 Dec. 1996
2. Steve H.M., et al., IEEE Trans. On Electron Device Vol. 46, No.11 P.2217 Nov. 1999
3. Agilent Application Note 1373-6 “Balanced Measurement Example: Baluns”

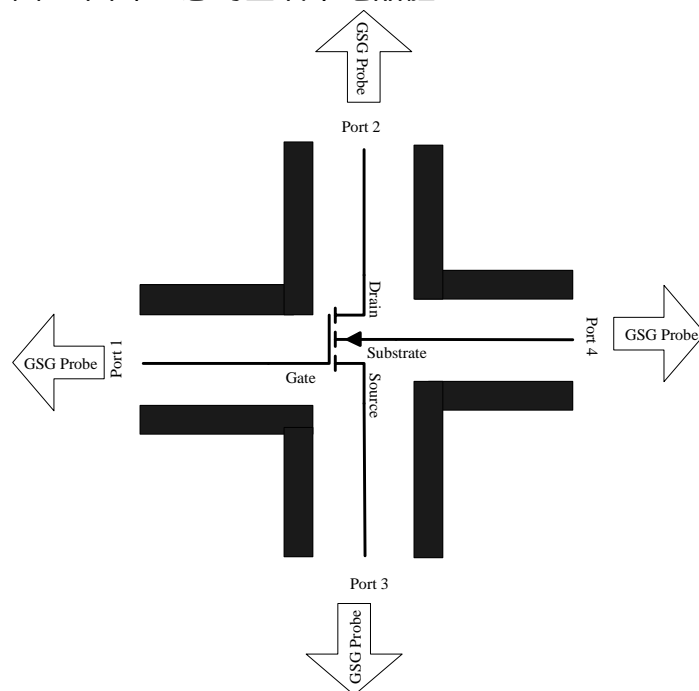
表一

210 μm						
VG=VD	0.9V	1V	1.1V	1.2V	1.3V	1.4V
ID	12.2mA	17.2mA	23.8mA	30.2mA	36.8mA	43.5mA

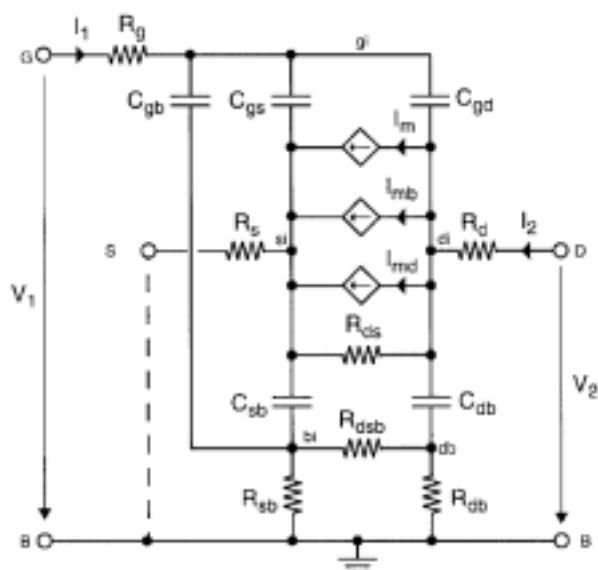
表二

210 μm				
Cgs=203fF	Cgd=97fF	Cgb=20fF	Csb=164fF	Cdb=104fF
Rg=9 Ω	Rs=0.3 Ω	Rd=0.3 Ω	Rds=329 Ω	Rdsb=19 Ω
Rsb=50 Ω	Rdb=50 Ω	Gm=45.3mS	Gmb=6mS	

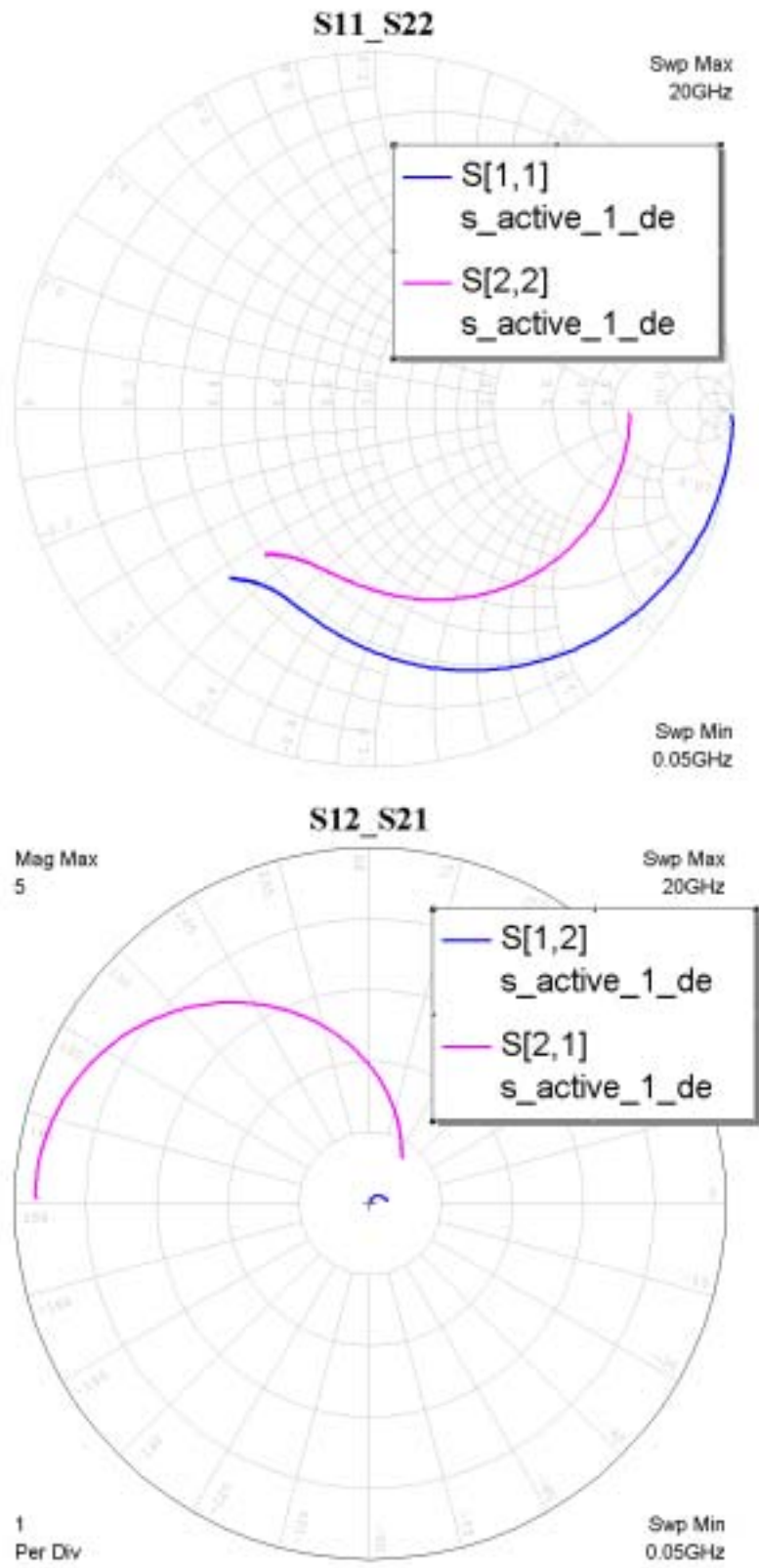
圖一：四埠型態的金氧半電晶體



圖三：等效電路模型



圖二:雙埠金氧半電晶體的 S 參數



圖四：由四埠量測萃取出元件參數而模擬的結果

