

無線射頻辨識標籤設計與測試

黃建彰 元智大學通訊研究所 副教授 cch@saturn.yzu.edu.tw
古鎧維 元智大學通訊研究所 碩士研究生 s974839@mail.yzu.edu.tw
張祐禎 中山科學研究院 技正 laura.7@yahoo.com.tw

摘要

本論文陳示無線射頻辨識標籤(RFID tag)之設計與製作,利用台積電 0.18 μm CMOS製程製作操作頻率為 915MHz之標籤IC,並進行其系統之驗證測試。為降低啟動之最低功率,採用Native NMOS 元件,搭配具平衡式偶極天線以有效提升電流轉換效率。為使系統更加完整,本次設計並包含後向散射信號調變(Backscatter modulator)與解調電路,設計晶片大小為 0.925 \times 0.643 mm²。實際量測環境中相隔 10 cm距離以平衡式偶極天線進行無線供電實測,發射功率為 5 dBm時即有約 0.7V的電壓輸出,而隨著發射功率增加至 11 dBm,電壓也可升至 1.9V左右,確認RFID晶片無線環境下整流儲能電路工作的有效性。

關鍵詞: 無線射頻辨識標籤 IC、CMOS 製程、Native NMOS 元件。

Abstract

This paper presents designs and fabrications of radio frequency identification (RFID) tag IC worked at 915 MHz using the TSMC 0.18 μm CMOS technology with system performance evaluation. The native NMOS device is utilized to lower the turn-on RF power, while the balance-type dipole antenna is used as well for enhancing dc power conversion efficiency. For completeness of the designed IC, backscattering modulation and demodulation circuitries are also included. The final designed chip occupies 0.925 \times 0.643 mm². The field test in 10 cm of distance with dipole antennas for the RFID system exhibits 0.7 V in 5 dBm transmitted power; the voltage increases to 1.9 V as the RF power going to 11 dBm, thereby validate the rectified/stored function of the developed IC chip.

Keywords: Radio frequency identification tag IC, CMOS process, native NMOS device.

1. 前言

由於近年無線通訊技術蓬勃發展,對於相關產業應用更是百家爭鳴,其中無線射頻辨識標籤(RFID tag)特別受到注目。無線射頻辨識標籤的特性相當適於人或物品在通路上的管控追蹤及識別,與傳統的條碼辨識技術比較,具有可讀寫、資料量大、不需對準標的物、同時讀取多個、堅固、不易仿製等多項優點,在射頻標籤的種類又分為被動式、主動式與半被動式等,被動式的標籤本身沒有電池的裝置,所需電流全靠感應器的無線電波電磁感應產生,所以只有在接收到感應器發出的訊號才會被動式的回應感應器;而主動式的標籤內置有電池,可以主動傳送訊號供感應器讀取,訊號傳送範圍也相對的比被動式廣,缺點是電路較複雜、體積較大,也較耗電;半被動式則結合兩者的優點,具有較遠的傳輸距離,體積較小,但電池一旦耗盡便切換為被動式標籤。無論如何,有效改善射頻轉換電源效率,降低功耗是改善 RFID 效能根本的方法,運用先進半導體製程,結合改善效率的具平衡式偶極天線進而提升電源供給能力,為本篇論文的主軸。

增加被動式 RFID 電源轉換效率及傳輸距離,首要課題以整流天線(Rectifier-Antenna, Rectenna)為出發,整流天線是一種帶整流電路的天線,它最簡單的形式就是一個蕭特基二極體和一根天線,將接收到的 RF 能量轉換為直流電壓,這種無線傳輸功率始於綠色能源的使用方式,由於地球的石油有一天會耗盡,便思考用太陽能發電,在外太空吸收能量再轉化無線電波的方式傳回地球,1970 年代美國太空總署(NASA)及美國能源部(DOE)對此議題做了許多研究,並於 1999-2000 展開探索計畫,其中太空太陽能電力(Space Solar Power, SSP)有許多重要研究成果 [1-2],此研究雖然重要,但其系統架構牽涉技術深且廣,實驗

架構建置成本相當龐大且複雜，絕非短期之間可以看到成效。

於是有人想到，簡化系統複雜度進而運用到個人通訊產品，以無線的方式進行功率傳輸，利用無線射頻辨識標籤特性便成架構新型感測網路節點電路之電池充電方式，甚至可運用到生醫檢測環境，生化攝影檢測膠囊利用無線充電以取代有毒的重金屬電池 [3]，以現今積體電路技術，發展小型化的無線傳輸相當便利，於是運用於不同頻段的 IC 設計研究大量發表 [4-10]，RFID 主要的頻段大都使用 ISM 頻段，包括 900MHz、2.4GHz、5.8GHz 等，這些頻段都不需申請執照。

本篇論文展示操作頻率為 915MHz 之 IC 電路設計並進行其電源系統之驗證測試，因應低驅動電壓的需求，採用先進 CMOS 製程之 Native NMOS 元件，使用天線則採用具平衡式偶極天線，以有效提升電流轉換效率，加強功率靈敏度，並且測試信號解調與後向散射調變效果，最後晶片大小為 $0.952 \times 0.643 \text{ mm}^2$ ，實測時，以平衡式偶極天線相隔 10 cm 距離進行無線供電測試，發射功率為 5 dBm 時即有約 0.7V 的電壓輸出，而隨著發射功率增加至 11 dBm，電壓也可升至 1.9V，確認 RFID 晶片可在無線環境下進行整流儲能電路工作。

2. 晶片電路設計

圖一為無線射頻辨識標籤系統架構圖，本設計包括整流／儲能電路、解調電路、後向散射調變電路與數位驅動電路等，細部設計如下所述：

2.1 整流儲能電路

本篇的設計是以本質電晶體做為整流二極體，圖二為電晶體的 IV 特性曲線，此電晶體最大的優勢只需要幾個微伏即可導通，與一般電晶體相比，更容易驅動。一般來說從天線接收信號電壓只有幾個 mV，此信號電壓必需高於驅動電壓整流電路才能開始工作，故使功率靈敏度受限，通常適用距離為 10 公尺左右。圖三為利用本質電晶體之整流電路，單級整流器輸出電壓數式如下：

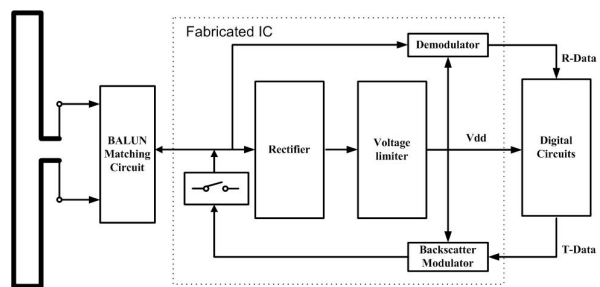
$$V_R = 2(V_{rf} - V_{th}) \quad (1)$$

V_{rf} 為輸入弦波電壓， V_{th} 為導通電壓，由(1)式可

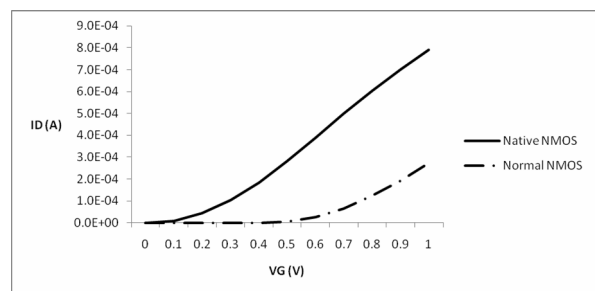
知，欲達到最高的 V_R ，則必須盡量的降低 NMOS 的 V_{th} 值。蕭基特二極體即非常適合應用於此電路中，但由於其昂貴的製作成本，且不相容於一般的標準製程，RFID 必需大量而低成本，才符合原先特性，疊接多個整流單元電路可提升電壓，本篇的設計疊至六級，輸入 0.6V 弦波電壓即可產生 2.6V 直流電壓。

2.2 解調電路

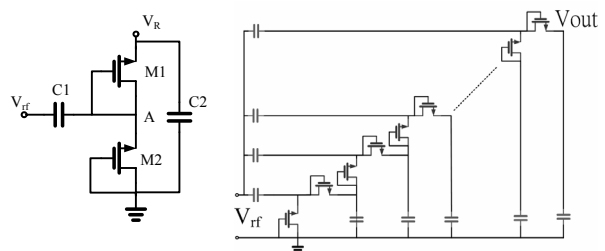
解調電路是用於解調讀卡機所送來的調變信號，本設計是以振幅調變 (ASK) 形式並用波封解調 (Envelope detection)，再經過放大後送到數位電路去解碼，此電路第一級是用來將單端轉差動信號，第二級做準位的轉換，第三級使用反相器做波型整型，第一級的前端有做整流濾波之處理，留下 640KHz 的數位訊號以做解調，如圖四所示。



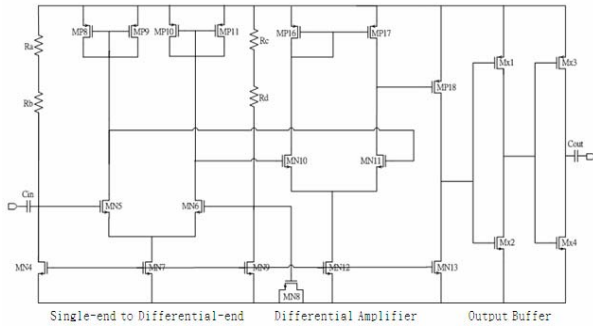
圖一：無線射頻辨識標籤系統架構圖



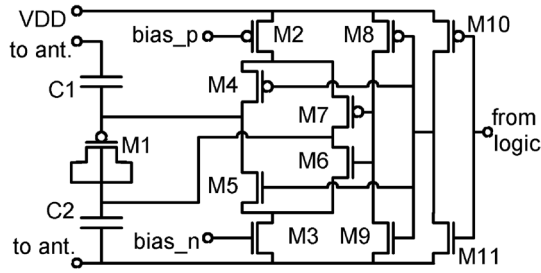
圖二 Native NMOS 電晶體 IV 特性曲線圖



圖三：CMOS 整流器單元及多級疊接示意圖



圖四 解調電路設計圖



圖五 調變器之電路設計圖

2.3 後向散射調變電路

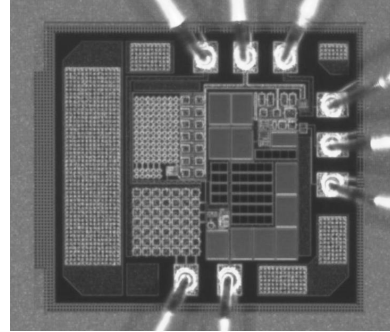
無線射頻辨識標籤回傳資料是以後向散射 (Back scattering) 模式產生一段調變波傳回讀卡機，此時電路是以改變標籤輸入端之阻抗來達到調變的效果，調變的方式分為電阻式改變輸入電阻或電容式改變輸入電抗以達到振幅調變效果 (ASK)，圖五為電容式調變電路設計圖。

3. 量測結果

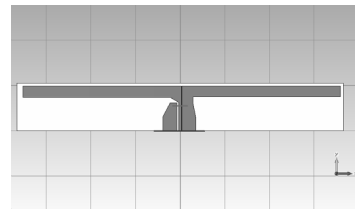
本論文之設計IC使用台積電 $0.18\mu\text{m}$ 1P6M CMOS 製程技術，電路以 Avant HSPICE 及 Agilent ADS 做模擬分析與設計，總消耗功率為 $0.1\mu\text{W}$ ，晶片佈局如圖六所示，大小為 $0.952 \times 0.643\text{mm}^2$ ，操作頻率為 915MHz 。

天線之設計圖為圖七，以 CST 電磁模擬軟體進行結構分析並計算反射係數大小，其模擬與量測結果如圖八所示，頻寬為 155MHz ，反射係數最低可達到 -38dB ，測試時則將此 IC 置於印刷電路板，在設計過程中需考慮鏢線電感對晶片電路匹配所造成的效應，測量時利用阻抗調諧器對晶片輸入阻抗匹配作調整，量測之架構圖與實際照片如圖九所示，為了保護信號產生器，其輸出端接上一個循環器以降低反射信號，避免傷害到儀器內部。

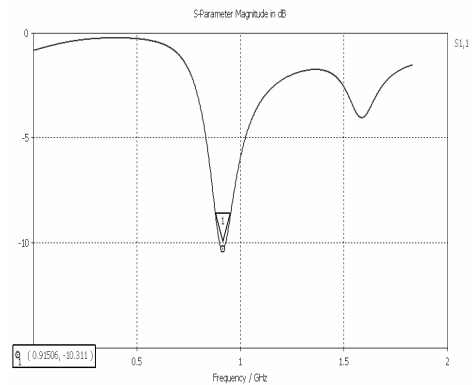
晶片量測電壓輸出結果如圖十所示，於 -10dBm 輸入功率時即有約 1V 的電壓輸出，而隨著輸入功率增加，電壓也可提升至 3V 左右，驗證了整流儲能電路工作的可用性。



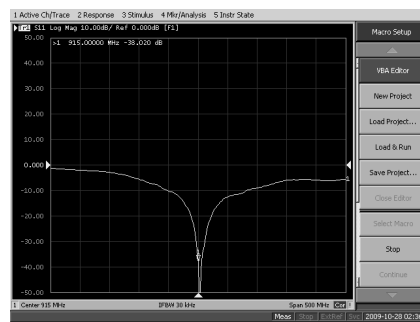
圖六 晶片設計圖，大小為 $0.952 \times 0.643\text{mm}^2$



圖七 天線設計圖



(a)



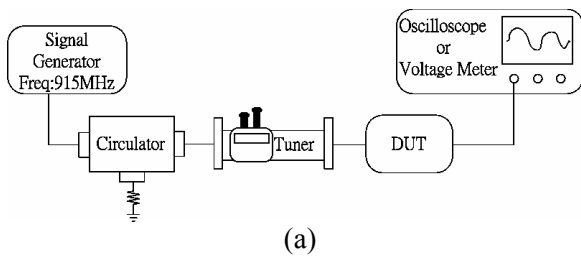
(b)

圖八 具平衡偶極天線(a)輸入反射模擬圖(b)輸入反射量測圖

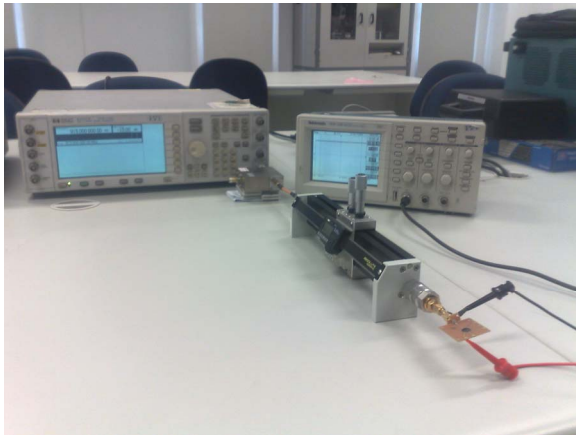
為了測試此 RFID 晶片於無線環境下工作的狀態，發射端以信號產生器接一個具平衡式偶極天線模擬讀卡機，發射功率設為 5 dBm，接收端則接一個相同的平衡偶極天線，先經頻譜儀量得接收功率約-10 dBm 左右，其他配置則與前一次量測相同，其架構圖與實體照片如圖十一所示。量測電壓輸出結果如圖十二所示，於 5 dBm 發射功率時即有約 0.7V 的電壓輸出，而隨著發射功率增加至 11 dBm，電壓也可升至 1.9V 左右，確認 RFID 晶片無線環境下整流儲能電路工作的有效性。

4. 結論

本論文展示利用 0.18 μm CMOS 製程進行 915 MHz 被動式電子標籤電路設計、製作與測試結果，該標籤電路採用 Native NMOS 元件作為整流元件配合具平衡偶極天線以達到改善功率靈敏度進而提高 RFID 傳輸距離的系統需求，設計晶片大小為 0.952 \times 0.643 mm²。最後無線電源供電測試以相隔 10 cm 距離之偶極天線進行實測，於 5 dBm 發射功率時即有約 0.7V 的電壓輸出，而隨著發射功率增加至 11 dBm，電壓也可升至 1.9V 左右，確認 RFID 晶片無線環境下整流儲能電路工作的有效性。此設計晶片可供長距離被動式 RFID 系統使用。

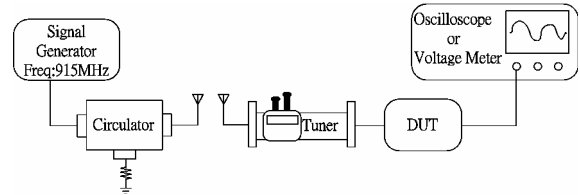


(a)

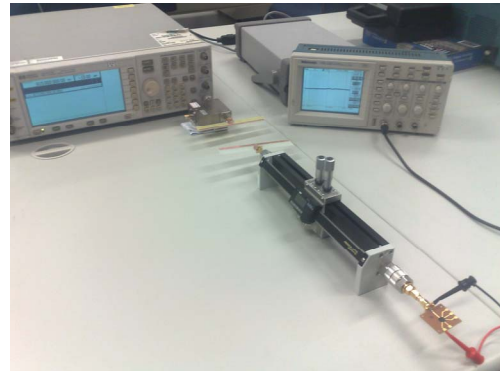


(b)

圖九：晶片量測之(a)架構圖與(b)實際照片

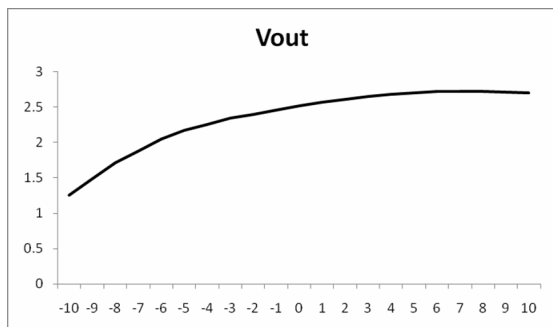


(a)

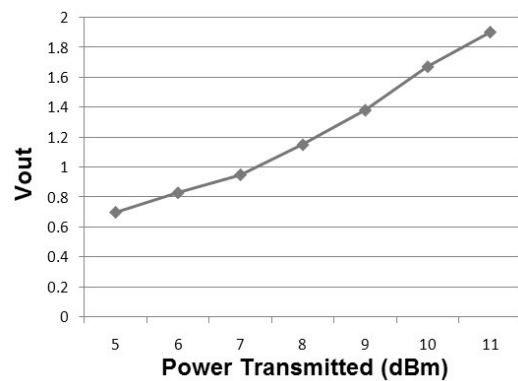


(b)

圖十一：(a)架構圖與(b)實體照片



圖十：晶片量測電壓輸出結果，橫坐標為 dBm，縱坐標為 Volt



圖十二：晶片無線環境下量測電壓圖

5. 致謝

本論文作者感謝財團法人國家實驗研究院晶片系統設計中心 (CIC) 提供晶片製造之機會，以及中山科學研究院產學研計畫的資助，計畫編號：CSIST-839-V101(98)。

參考文獻

- [1] J. O. McSpadden and J. C. Manjin, "Space solar power programs and microwave wireless power transmission technology," *IEEE Microwave Mag.*, Vol. 3, pp. 46-57, Dec. 2002.
- [2] Space Solar Power. [Online]. Available: <http://SpaceSolarPower.nasa.gov/>.
- [3] Battery-Free Capsule Endoscope. [Online]. Available: <http://www.rfamerica.com/sayaka/>.
- [4] Y.-H. Suh and K. Chang, "A high-efficiency dual-frequency rectenna for 2.45- and 5.8-GHz wireless power transmission," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 50, pp. 1784 - 1789, July 2002.
- [5] J. Heikkinen and M. Kivikoski, "Low-profile circularly polarized rectifying antenna for wireless power transmission at 5.8 GHz," *IEEE Microwave Wireless Comp. Lett.*, Vol. 14, pp. 162 - 164, Apr. 2004.
- [6] T. Umeda, H. Yoshida, S. Sekine, Y. Fujita, T. Suzuki, and S. Otaka, "A 950-MHz rectifier circuit for sensor network tags with 10-m distance," *IEEE J. Solid-State Circuits*, Vol. 41, pp. 35 - 41, Jan. 2006.
- [7] J. Zbitou, M. Latrach, and S. Toutain, "Hybrid rectenna and monolithic integrated zero-bias microwave rectifier," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 54, pp. 147 - 152, Jan. 2006.
- [8] Y.-H. Lam, W.-H. Ki, and C.-Y. Tsui, "Integrated low-loss CMOS active rectifier for wirelessly powered devices," *IEEE Trans. Circuits Syst. II: Express Briefs*, Vol. 53, pp. 1378 - 1382, Dec. 2006.
- [9] J. Yi, W.-H. Ki, and C.-Y. Tsui, "Analysis and design strategy of UHF micro-power CMOS rectifiers for micro-sensor and RFID applications," *IEEE Trans. Circuits Syst. I: Regular Papers*, Vol. 54, pp. 153 - 166, Jan. 2007.
- [10] A. Shameli, A. Safarian, A. Rofougaran, M. Rofougaran, and F. De Flaviis, "Power harvester design for passive UHF RFID tag using a voltage boosting technique," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, Vol. 55, pp. 1089 - 1097, June 2007.