

氮化鎵主動式單平衡降頻混頻器

高瑄苓*、葉治昇、魏百鴻、郭家鳴、王柏文
長庚大學電子工程學系

摘要 — 本文採用主動式單平衡降頻混頻器製作於 $0.35 \mu\text{m}$ 氮化鎵 HEMT 元件於以砷為基板之製程上，所得轉換增益於射頻頻率為 3.4 GHz 時，基頻功率為 9 dBm 時，可達為 8 dB ， 1-dB 壓縮點為 -2 dBm ，其頻寬為 $1.5\sim 4 \text{ GHz}$ 。階交互調變交叉點量測結果為 16 dBm ，且頻率為 $1\sim 6 \text{ GHz}$ 時，隔離度均在 -12 dB 之下，所製作的降頻混頻器具有良好的增益與線性度。

研究背景

隨著無線通訊普及，資訊科技的蓬勃發展，對於資料傳輸要求也隨之增加，相關應用的產品和技術，如雨後春筍般的推出，包括無線區域網路，個人無線通訊系統，以及行動衛星通訊系統，這些系統免除繁瑣的接線，可以隨時隨地的得到快速、正確以及高品質的資訊，使得無線通訊與網路的開發都是充滿著商機和挑戰。單晶微波積體電路中能提供高頻、高輸出功率、低雜訊之製程已非傳統矽半導體所能勝任，取而代之的是一向以高速著稱之 III-V 族半導體元件，如：砷化鎵、磷化銦、氮化鎵製程，具有高功率元件之潛力。本論文將採用氮化鎵製程製作一單平衡式主動降頻混波器，使其具有良好 8 dB 的轉換增益，線性度達 -2 dBm ， IIP3 為 16 dBm 。

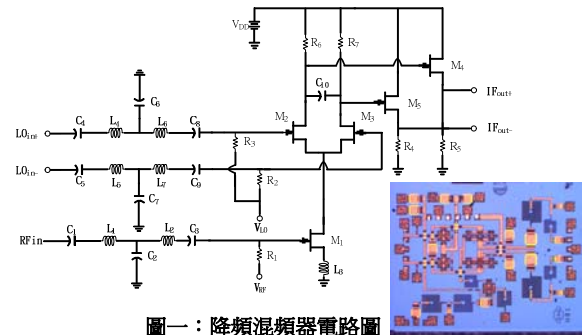
提出方法

本文採用以砷為基板之氮化鎵/氮化鎵 HEMT 電晶體，其閘極長度為 $0.35 \mu\text{m}$ ，其元件最大汲極電流密度為 576 mA/mm ，轉導值為 150 mS/mm ，截止頻率為 14.9 GHz ，最大振盪頻率為 46.6 GHz ，元件在 3.5 GHz 下 $V_{\text{ds}}=15\text{V}$ 與 $V_{\text{gs}}=-1.5\text{V}$ 之 $2\times 100 \mu\text{m}$ 元件之模擬之輸出飽和功率為 25.2 dB ，功率增益為 10.9 dB ，最大 PAE 為 35.4% 。電路架構採用主動式單平衡混頻器之基本架構經由三個電晶體組成，如圖一所示，其中電晶體 M_1 做為轉導級電晶體，尺寸為 $2\times 100 \mu\text{m}$ ，調整其壓降為飽和區，藉此提供降頻混頻器足夠之轉換增益，並能將輸入訊號轉換為電流訊號， M_2 與 M_3 做為開關級電晶體，尺寸為 $2\times 25 \mu\text{m}$ ，使得電晶體偏壓在近截止區，以形成差動電流開關，當此區電晶體能夠獲得適當之本地震盪訊號， M_2 與 M_3 則能像開關般迅速切換，藉此能形成混頻之效果，輸出級採用 M_4 與 M_5 做為源極隨耦器，尺寸為 $2\times 100 \mu\text{m}$ ，為提升電路之特性，並在電路各個輸入端與輸出端，以電感及電容做阻抗匹配，由於單平衡是混波器之隔離度較差，因使我們加入電路 C_{10} 於差動輸出之兩端，藉以改善其隔離度。

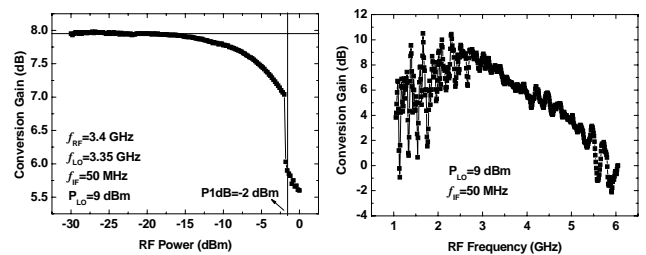
實驗結果

量測電路時使用下針量測方式，主動式單平衡降頻混頻器之晶片照片如圖一所示，電路總面積為 2.67 mm^2 。直流偏壓為 15.5 V ，電路功率損耗為 361.15 mW 。降頻混頻器之量測結果，轉換增益對射頻功率與頻率量測結果如圖二所示。選用固定中頻頻率為 50 MHz ，且輸入射頻頻率為 3.4 GHz 時，當基頻功率為 9 dBm 時，轉換增益可達為 8 dB ， 1-dB 壓縮點 (P1dB) 為 -2 dBm ，其頻寬為 $1.5\sim 4 \text{ GHz}$ 。圖三顯示三階交互調

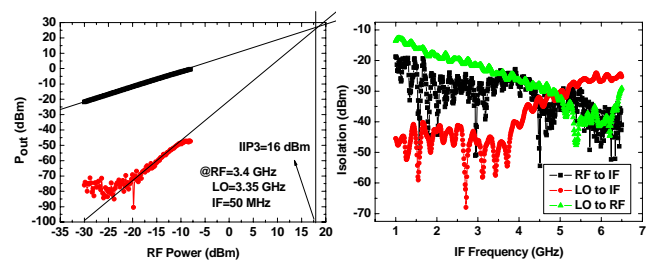
變交叉點 (IIP3) 與隔離度量測結果，輸入射頻頻率為 3.39 GHz 與 3.4 GHz ，中頻輸出為 49 MHz 與 50 MHz ，量測結果為 16 dBm ，在頻率為 $1\sim 6 \text{ GHz}$ 時，LO to IF 隔離度在 -12 dB 之下，RF to IF 隔離度在 -18 dB 之下，LO to RF 隔離度在 -25 dB 之下。雖然功率損耗與 LO 輸入功率相較其它論文較大，但轉換增益、 P1dB 、 IIP3 皆能有較佳的表現，藉此能夠表現出 $0.35\mu\text{m}$ GaN HEMT 高功率之特性。



圖一：降頻混頻器電路圖



圖二：轉換增益對射頻功率與頻率量測結果



圖三：三階交互調變交叉點 (IIP3) 與隔離度量測結果

參考資料

- [1] H.-C. Wei, R.-M. Weng, C.-L. Hsiao and K.-Y. Lin, "A 1.5V 2.4GHz CMOS Mixer With High Linearity", *IEEE Asia-Pacific Conference Circuit and Systems*, vol. 1, 2004, pp.289-292.
- [2] C. Hermann, M. Tiebout, and H. Klar, "A 0.6-V mW transformer-based 2.5-GHz down conversion mixer with +5.4-dB gain and -2.8-dBm IIP3 in 0.13- μm CMOS", *IEEE Trans. Micro. Theory Tech*, vol. 53, 2005, pp. 488-495.
- [3] S.-Y. Chao and C.-Y. Yang, "A 2.4-GHz 0.18- μm CMOS doubly balanced mixer with high linearity" *IEEE International Symposium on VLSI Design, Automation and Test*, 2008, pp.247 - 250

