

再構成可能RF回路設計技術の研究

菅原弘雄, 伊藤雄作, 川添大輔, 岡田健一, 益一哉

東京工業大学 精密工学研究所 益研究室

背景

無線集積回路

Si CMOSの微細化 f_T, f_{max} の高周波化

➡ On-chip RF 送受信機の実現
製造ばらつき増大

システムの多機能化 複数の通信方式、通信周波数に対応

➡ Multi-function 送受信機の要求向上
設計が複雑化

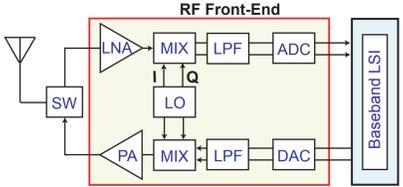
無線通信周波数帯域

- Mobile phone 900MHz, 1.5GHz, 2GHz
(+ 800MHz, 1.7GHz, 1.9GHz for the new system)
(+ 800MHz, 900MHz, 1.8GHz, 1.9GHz for GSM)
- WLAN 802.11b/g, Bluetooth 2.4GHz
- WLAN 802.11a/n 5GHz
- GPS 1.2GHz/1.5GHz
- DTV 470 MHz~770 MHz

無線回路の
マルチスタンダード
化が必須

目的

マルチスタンダード及び自己補償機能を持つRF送受信機の実現



様々な無線通信規格及び周波数に対応できるRFフロントエンドをSi CMOSプロセスで実現

リコンフィギュラブルRF回路

提案概念

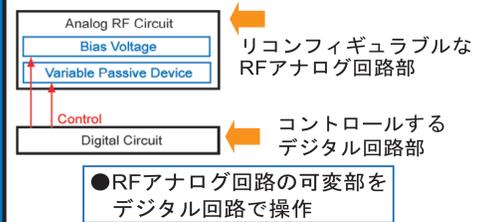
再構成可能なRF回路設計技術

再構成可能なRF回路とは

Multi-function機能 ➡ 複数の通信方式、通信周波数に対応
一つの端末で複数の規格を網羅

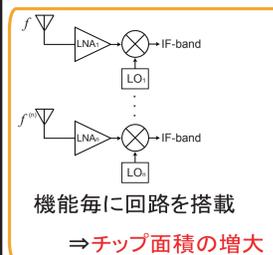
Self-compensation機能 ➡ 設計誤差、製造ばらつき、温度補償
設計コストの削減

基本構成

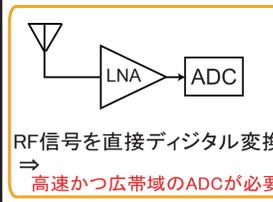


●RFアナログ回路の可変部をデジタル回路で操作

受信部回路アーキテクチャ



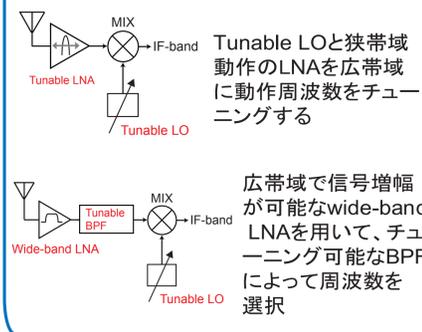
機能毎に回路を搭載
➡チップ面積の増大



RF信号を直接デジタル変換
➡高速かつ広帯域のADCが必要

提案アーキテクチャ

各回路ブロックをチューナブル化
➡広帯域動作RF回路に最適



Tunable LOと狭帯域動作のLNAを広帯域に動作周波数をチューニングする

広帯域で信号増幅が可能なwide-band LNAを用いて、チューニング可能なBPFによって周波数を選択

課題

Tunable LO
VCOでバラクタに加え他の可変素子を使用
分周器及びミキサを使用
チップ占有面積、消費電力大

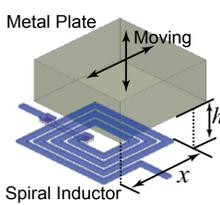
Tunable LNA, MIX
入出力及び回路間整合をチューニング
高可変率を持つ受動素子が必要

Tunable BPF
高可変率を持つ受動素子が必要

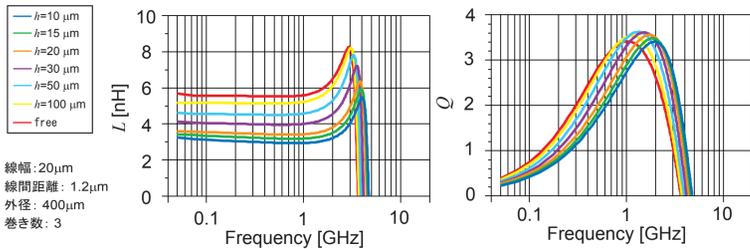
Wide-band LNA
On-chip分布定数増幅器を使用
チップ占有面積、NF、消費電力大

広帯域RF回路

可変インダクタ オンチップインダクタと導体板で構成

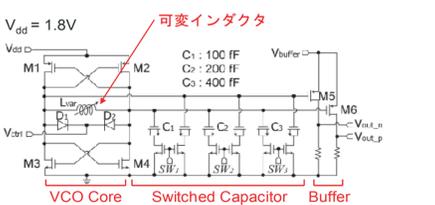


インダクタの上方に配置された導体板によって磁束を遮断
導体板の位置によってインダクタンスが変化

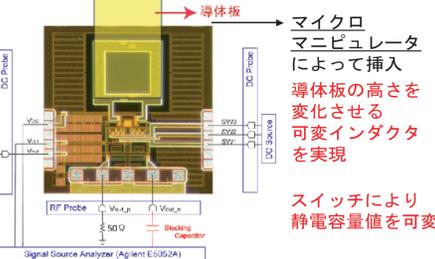


線幅: 20µm
線間距離: 1.2µm
外径: 400µm
巻き数: 3

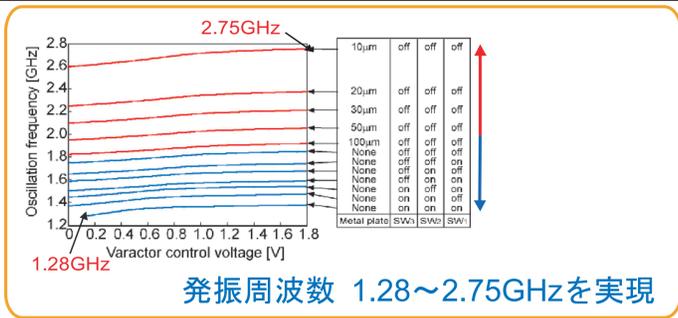
VCO



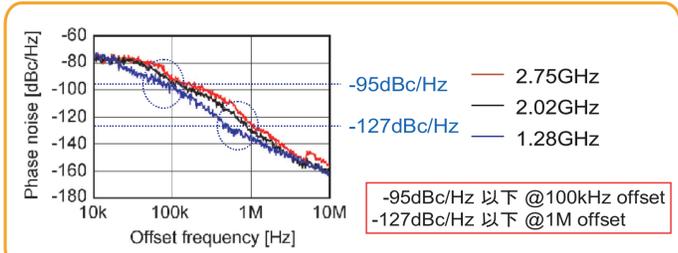
Technology: 0.18µm CMOS, $V_{DD} = 1.8V$, Metal: 5 Al Layer



マイクロマニピュレータによって挿入
導体板の高さを変化させる
可変インダクタを実現
スイッチにより静電容量値を可変

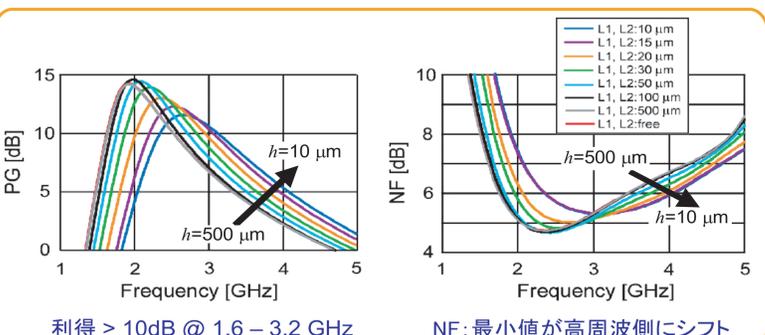
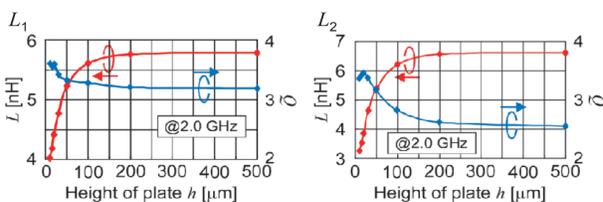
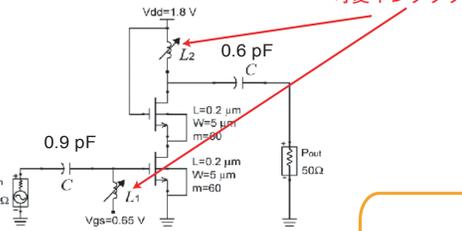


発振周波数 1.28~2.75GHzを実現



-95dBc/Hz 以下 @100kHz offset
-127dBc/Hz 以下 @1M offset

LNA



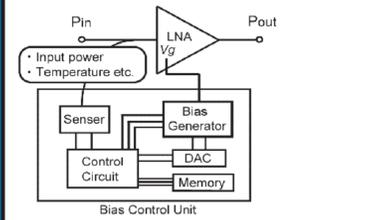
利得 > 10dB @ 1.6 - 3.2 GHz

NF: 最小値が高周波側にシフト

自己補償LNA

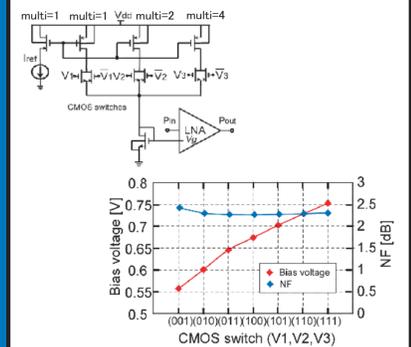
目的

動的再構成可能な
Low Noise Amplifier (LNA) の性能補償
製造後に回路性能を再構成
➡設計マージンなしで性能補償が可能



可変バイアス回路

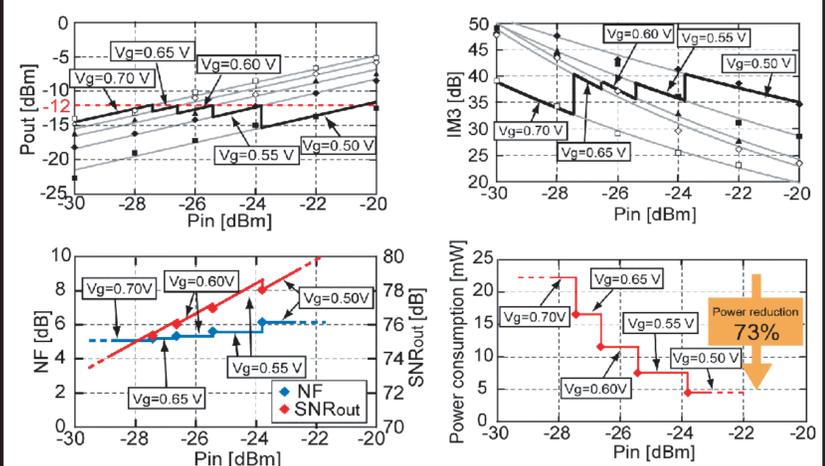
CMOSスイッチを用いた3ビット可変バイアス回路



測定結果

バイアス切替条件
Pout: -15dBm~-12dBm
IM3: -30dB

| Pin [dBm] | Vg [V] |
|---------------|--------|
| -27.4 | 0.7 |
| -27.4 ↔ -26.6 | 0.65 |
| -26.6 ↔ -26.4 | 0.6 |
| -26.4 ↔ -23.8 | 0.55 |
| -23.8 | 0.5 |



NFは入力パワーとともに徐々に悪化 SN比良好
劣化による影響 小

消費電力 73%削減

再構成可能RF回路技術の提案

Multi-function機能

可変インダクタによりVCOとLNAの広帯域動作を確認
1.5 GHz程度のチューニング幅を実現

Self-compensation機能

可変バイアス回路の制御によってLNAの高性能化を確認

出力パワーと歪みをバイアスで補償することで消費電力73%削減