

1. 概要

シングルチップCMOS近接場インパルスレーダーLSIを65nmテクノロジーで開発し、近傍界レーダー性能を実証した。TXは-3dB帯域5.9GHz、パルス幅192psのガウシアンモノサイクルパルス(GMP)を生成、RXは102.4GS/s等価時間サンプリング、最小ジッター0.58ps、入力換算雑音0.24mVrms、SNR28.4dB、SNDR26.6dB、ENOB4.1bitsを実現。消費電力はTX19.79mW、RX48.87mW。CMOS搭載レーダーシステムは直径1cm、スペース1cmの2個のターゲットを分離描画。

2. 回路設計

シングルチップCMOSレーダーのブロック図とチップ写真を図1に示す。TXはGMP生成、RF-I/O、RXはT/H、8bit-SAR-ADC、SS-PLL、8-Stage-Ring-VCO、PI、MUX、LVDS、等で構成。

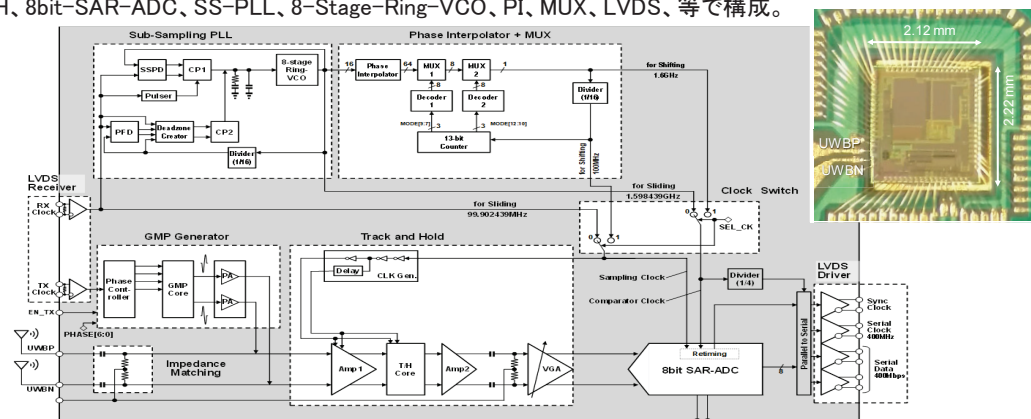


図1. シングルチップレーダーCMOS-LSIブロック図(チップ写真挿入)。

3. インパルス送受信実験結果

図2(a)(b)にパルス幅192ps、帯域2.3-8.2GHzのGMPを示す。図3にサンプリング用シフティングクロックの最小ジッター0.58psを示す。図4にCMOS(RX:T/H+8bit SAR-ADC)のSNR、SNDRを示す。等価時間サンプリング帯域51.2GHzで入力換算雑音0.24mVrms、SNR28.4dB、SNDR26.6dB、ENOB4.1bitsを実現。GMP信号を同軸ケーブル接続、ダイポールアンテナ送受信した場合のデジタル波形を図5(a)(b)に示す。市販サンプリングオシロスコープ(Agilent 86100C+86112A)と同等の波形再現性を実現。

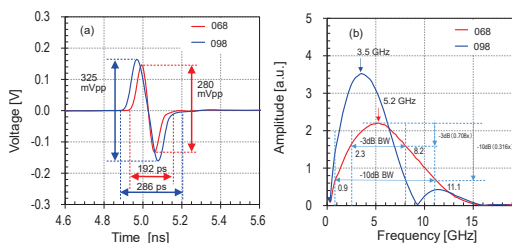


図2. パルス幅制御可能なGMP. (a)時間領域波形. (b)周波数領域フーリエ変換スペクトル(FFT)。

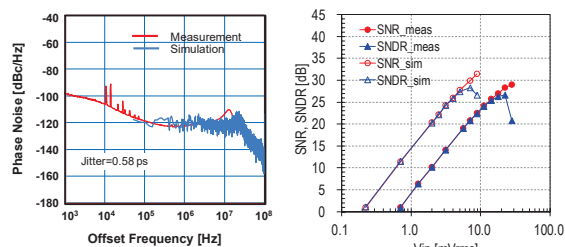


図3. クロック位相雑音。

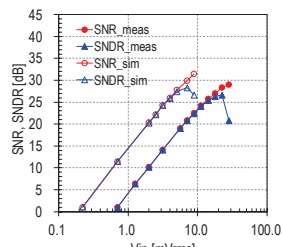


図4. T/H+8bitSARADCのSNR, SNDR特性。

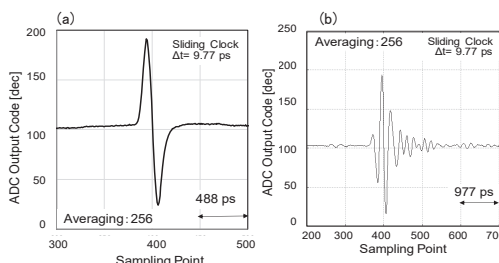


図5. 送受信信号. (a)同軸ケーブル接続. (b)ダイポールアンテナ送受信。

4. 装置製作とレーダー性能評価

図6にCMOS-LSIを実装したRF基板の断面図を示す。厚さ150μmのシリコンチップは基板に埋め込み、RFポートのボンディングワイヤの寄生容量とインダクタンスを低減するために最短距離300μmで接続できるよう設計製作した。図7(a)にCMOS搭載RF基板を実装したTX、RXモジュールで構成するレーダーシステムを示す。乳房ファントムは厚さ2cmの円形ゴム板で、図7(b)のように360度回転させてダイポールアンテナでレーダー信号を測定した。

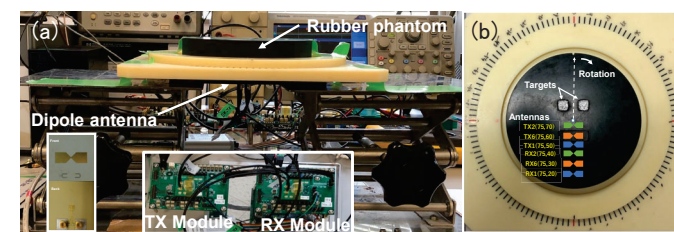
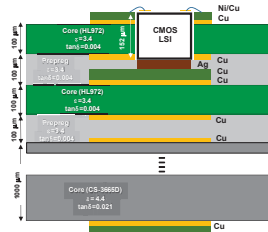


図6. CMOS実装RF基板断面図. 図7. 近傍界レーダー実験. (a)実験装置構成. (b) ファントム平面図。

図8にリモートアクセスを可能にするレーダーシステムのブロック図を示す。CMOS搭載TX、RXモジュールはそれぞれダイポールアンテナに接続されている。図9に近傍界レーダー描画を示す。開発した共焦点画像アルゴリズムにより、(a) XY-平面、(b) XZ-断面、(c)3次元画像に示すように、スペース1cmで配置したサイズ1cmの2個のターゲットの分離描画に成功した。

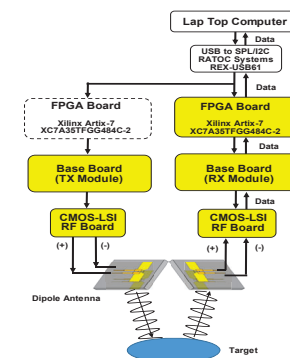


図8. リモートアクセス可能なCMOS搭載レーダーシステム。

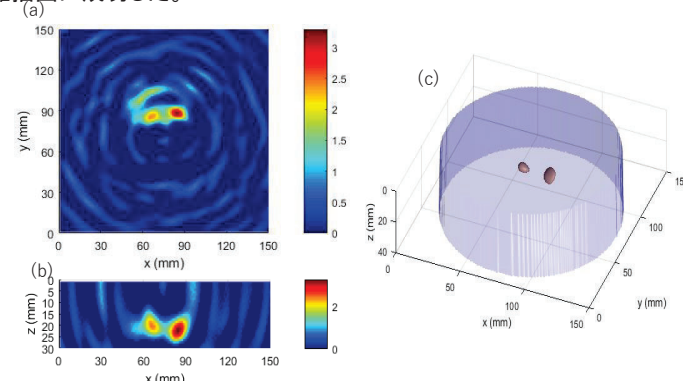


図9. 近傍界レーダー描画. (a) XY-平面. (b) XZ-断面. (c) 3次元共焦点画像。

5. 結論

シングルチップCMOS近接場インパルスレーダーLSIを搭載したレーダーシステムは、乳房ファントム中深さ2cmの近傍界にある直径1cmの2個のターゲットを分離描画できる。早期乳癌検診装置コアのデジタルLSI化で通信ネットワークリモートアクセスが可能になる。

謝辞: 本研究は戦略的情報通信研究開発推進事業(SCOPE185008001)の支援で行われた。

発表論文: T. Kikkawa, et al., "CMOS Gaussian Monocycle Pulse Transceiver for Radar-Based Microwave Imaging," IEEE Transactions on Biomedical Circuits Syst. pp. 1-13, Oct 7, 2020. (impact factor: 5.181)