

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 10 日現在

機関番号：17102

研究種目：基盤研究(B)

研究期間：2011～2014

課題番号：23360159

研究課題名(和文) ホワイトスペース対応コグニティブ無線用異種集積化リコンフィギュラブルPAの開発

研究課題名(英文) Development of re-configurable power amplifier for TV white space application

研究代表者

Pokharel R. K. (Pokharel, R. K.)

九州大学・システム情報科学研究科(研究院・教授)

研究者番号：60398568

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 14,900,000円

研究成果の概要(和文)：第4世代携帯端末など、移動体通信市場でのモバイル利用の拡大に伴うユビキタスネットワーク情報社会を構築するため、SDR(Software defined radio:ソフトウェア無線)技術を活用したコグニティブ無線の実現が期待されていた。地上デジタルテレビ放送でホワイトスペースと呼ばれる未使用の周波数帯が存在し、これらの活用などで新たな電波の有効利用の促進していた。

研究成果の概要(英文)：As evident from the recent and rapid growth of 4G smart phones, I-phones, wireless LAN, RFID tags, ETC systems and so on, there are ever increasing demands of high performance, small size, and high speed microwave devices, circuits, components to realize more seamless Ubiquitous society. Software defined radio utilizing Cognitive radio technology is a means for realization. The whitespace frequency band available after the end of analog TV broadcasting technology has been the target of this research and a high efficiency tunable CMOS power amplifier was proposed in this research.

研究分野：高周波ミリ波集積回路

キーワード：CMOS MEMS パワーアンプ 効率 チューナブル ホワイトスペース

1. 研究開始当初の背景

第4世代携帯端末など、移動体通信市場でのモバイル利用の拡大に伴うユビキタスネットワーク情報社会を構築するため、SDR (Software defined radio:ソフトウェア無線) 技術を活用したコグニティブ無線の実現が期待されていた。地上デジタルテレビ放送でホワイトスペースと呼ばれる未使用の周波数帯が存在し、これらの活用などで新たな電波の有効利用の促進していた。

2. 研究の目的

ユビキタスネットワーク情報社会の実現のために世界的に注目されているホワイトスペースや超広帯域無線技術に繋がる最先端LSI回路の設計技術及びその実現プロセスは不可欠であった。そのため、本研究では、まず超広帯域PAを設計し、それを可変する手法によって、CMOS + MEMS (Micro-Electro Mechanical Systems) 融合技術によりホワイトスペース対応可変パワーアンプ (PA: Power Amplifier) の設計技術の確率を提案していた。

3. 研究の方法

本研究では、まずフラット特性を有する超広帯域CMOS PAを設計する。CMOS PA回路の出力末端から見たインピーダンスの虚部をキャンセルすることにより可変特性を実現する。虚部をキャンセルした後、帰還抵抗(R4)により、各バンドにおいて、50Ωの出力インピーダンスを実現するという設計技術を提案していた。また、CMOSプロセスでは、素子のQ-値(Quality factor)が低いため、本研究では、MEMS技術により高Q値のインダクタの実現するプロセス技術及びそれをCMOSウエハーへの集積プロセス技術を提案していた。

4. 研究成果

本研究では、提案のとおりホワイトスペース対応チューナブルパワーアンプの設計技術を確立した。MEMS技術を利用したLを試作プロセス技術とそれをCMOSウエハーへの集積するプロセス技術も提案し今後の実用化ために解決しないといけない問題点を明にした。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 13 件)

(i) W. Yamamoto, Daisuke Kanemoto, Ramesh Kumar Pokharel, Keiji Yoshida, Kanaya Haruichi, "A Low Power 2.4GHz LNA Operated in Subthreshold Region", *Future Information Engineering Volume 1, WIT Transactions on Communications and Information Technologies*, Volume 49,

pp.199-296, 2014.05. 「査読有」

(ii) Guoqiang Zhang, K. Yoshida, H. Kanaya, R.K.Pokharel, M. Esashi, S. Tanaka, K. Hashimoto, "A low phase noise FBAR based multiband VCO design", *EICE Electronics Express*, Vol. 10 (2013), No. 13, pp.1-6, 2013.07. 「査読有」

(iii) 橋村 亮介, アウイナシ アナンド, 兼本 大輔, Ramesh Kumar Pokharel, 金谷 晴二, 吉田 啓二, 負性抵抗を利用した低位相雑音, 広周波数可変範囲をもつ4位相出力 15 ビットデジタル制御リング型発振器の開発, *電子情報通信学会論文A*, Vol. J96-A, No.6, pp.370-376, 2013.06. 「査読有」

(iv) Yuki Yamashita, Kanemoto Daisuke, H. Kanaya, R. K. Pokharel, K. Yoshida, "A self-biasing class-E power amplifier for 5-GHz constant envelope modulation system," *IEICE Electronics Express*, No. 8, pp.1-7, 2013.04. 「査読有」

(v) A. Awinash, R. K. POKHAREL, H. Kanaya, K. Yoshida, "Systematic Design Methodology of a Wideband Multibit Continuous-Time Delta-Sigma Modulator," *International Journal of Microwave Science and Technology, Volume 2013*, Article ID 275289, pp 1-5, 2013.04. 「査読有」

(vi) H. Kanaya, S. Tsukamoto, T. Hirabaru, D. Kanemoto, R. K. Pokharel, K. Yoshida, "Energy harvesting circuit on a one-sided directional flexible antenna," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, Vol. 23, Issue 3, pp. 164-166, 2013.03. 「査読有」

(vii) R. K. Pokharel, A. Awinash, H. Kanaya, K. Yoshida, "Low Phase Noise 14-Bit Digitally Controlled CMOS Quadrature Ring Oscillator," *IEICE TRANSACTIONS on Electronics*, Vol. E96-C, No.2, pp.262-269, 2013.02.

(viii) Rohana Sapawi, Dayang Azra Awang Mat, R. K. Pokharel, H. Kanaya, K. Yoshida, "A 0.9-3.5 GHz high linearity, good efficiency CMOS broadband power amplifier using stagger tuning technique," *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 54, Issue 12, pp. 2881-2884, 2012.12. 「査読有」

(ix) A. Awinash, N. Koirala, R. K. Pokharel, H. Kanaya, K. Yoshida, "Analytical method to determine optimal out-of-band gain in multi-bit delta-sigma modulator," *IEICE Electronics Express*, Vol.9, No.20, pp.1598-1603, 2012.10. 「査読有」

- (x) Rohana SAPAWI, Ramesh K. POKHAREL, Haruichi KANAYA, Keiji YOSHIDA, "A Wide Range CMOS Power Amplifier with Improved Group Delay Variation and Gain Flatness for UWB Transmitters," *IEICE TRANSACTIONS on Electronics*, Vol. E95-C, No.7, pp.1182-1188, 2012,2012.07. 「査読有」
- (xi) K. Hokazono, D. Kanemoto, H. Kanaya, R. K. Pokharel, K. Yoshida, "A novel high-precision DAC utilizing tribonacci series," *IEICE Electronics Express*, Vol. 9 No. 6, pp. 515-521, 2012,2012.03. 「査読有」
- (xii) I. A. Galal, R. Pokharel, H. Kanaya, K. Yoshida, "A low power UWB low noise amplifier using current reused and feedback techniques," *Microwave and Optical Technology Letters*, Volume 54, Issue 2, pages 471-474,2012.02. 「査読有」
- (xiii) Rohana Sapawi, Ramesh K. Pokharel, Sohiful A. Z. Murad, A. Anand, N. Koirala, H. Kanaya, and K. Yoshida, "Low Group Delay 3.1-10.6 GHz CMOS Power Amplifier for UWB Applications," *IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS*, Vol.22, No. 1, pp.41-43,2012.01. 「査読有」

[学会発表](計 16 件)

- (i) H.Mosalam¹, A. Allam, H. Jia, A. Abdelrahman, Takana Kaho, and Ramesh K. Pokharel, "5.0 to 10.6 GHz 0.18 μ m CMOS Power Amplifier with Excellent Group Delay for UWB Applications," Dig. 2015 IEEE Of International Microwave Symposium, Phoenix (USA), May 21, 2015, pp. 1-4. 「査読有」
- (ii) Y. Esaki, R. K. Pokharel, H. Kanaya, S. Tanaka, Design of a Tunable CMOS PA for TV White Space Application, *Proc. 2014 Korea-Japan Microwave Workshop*, 1-4, 2014.11. Suwon, Korea. 「査読有」
- (iii) R. K. Pokharel, G. Zhang, S. A. E. Ab.Rahim, K. Hashimoto, S. Tanaka, "Design of high performance oscillator using film bulk acoustic resonator," Proc. of 2014 International Korea-Japan Microwave Workshop pp. 1-2, 2014-12, (Suwon, Korea) (招待講演)
- (iv) K. I. Yousef, M. Ragab, R. K. Pokharel, H. Jia, H. Kanaya, "A 0.18 CMOS Current Reuse Ultra-Wideband Low Noise Amplifier (UWB-LNA) with Minimized Group Delay Variations," *Proc. 44th European Microwave Conference*, pp.

- 1392-1395,2014.10, Rome, Italy.
- (v) G. Zhang, A. Anand, H. Kanaya, R. K. Pokharel, "A 1.9 GHz Low Phase Noise Complementary Cross-coupled FBARVCO in 0.18 μ m CMOS Technology", *Proc. 44th European Microwave Conference*, pp.253-256,2014.10, Rome (Italy) 「査読有」
- (vi) S. Nakamura, D. Kanemoto, R. K. Pokharel, K. Yoshida, H. Kanaya, "High Efficient Impedance Matching Circuit of Power Amplifier Combined with Antenna," *Proc. IEEE Asia Pacific Conference on Wireless and Mobile 2014*, pp.84-87,2014.08. 「査読有」
- (vii) K. I. K. Yousef, H. Jia, R. K. Pokharel, H. Kanaya, K. Yoshida, "CMOS Ultra-Wideband Low Noise Amplifier (UWB-LNA) Using Symmetric 3D RF Integrated Inductor," *Proc. IEEE International Conference on Ultra-Wideband 2013*, pp.273-275,2013.08. 「査読有」
- (viii) A. Awinash, Y. Esaki, H. Jia, H. Kanaya, R. K. Pokharel, and S. Tanaka, "Design of 470-770MHz tunable CMOS PA using a high Q-factor Inductor" 電子通信学会シリコンアナログRF研究会, pp. 4, Vol. 2013-2 (査読無)
- (ix) Ruibing Dong, R. K. Pokharel, 金谷 晴二, 吉田 啓二, "A High Efficiency CMOS UWB Impulse Radio Transmitter for Low Power Applications," *信学技報*, vol. 112, no. 459, MW2012-188, pp. 157-162,2013.03. (招待講演)
- (x) Y. Yamashita, D. Kanemoto, H. Kanaya, R. K. Pokharel, K. Yoshida, "A CMOS Class-E Power Amplifier of 40% PAE at 5GHz for Constant Envelope Modulation System," *Proc. 13TH Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems*, pp.66-68,2013.01. 「査読有」
- (xi) T. Masumoto, D. Kanemoto, H. Kanaya, R. K. POKHAREL, K. Yoshida, "Improving Linearity of a 5.2GHz Low Power Mixer in 0.18 μ m CMOS Process by Using Derivative Superposition Method," *Proc. Asia-Pacific Microwave Conference 2012*, pp. 157-159,2012.12. 「査読有」
- (xii) K. Oshiro, D. Kanemoto, H. Kanaya, R. K. Pokharel, K. Yoshida, "A Small Die Area and High Linearity 10-bit Capacitive Three-Level DAC," *Proc. 2012 IEEE Asia Pacific Conference on Circuits and Systems*, pp.164-167,2012.12. 「査読有」
- (xiii) H. Kanaya, Y. Yamashita, D. Kanemoto, R. K. Pokharel, K. Yoshida, "A 5-GHz Fully Integrated CMOS Class-E Power

Amplifier Using Self-Biasing Technique with Cascaded Class-D Drivers," *Proc. 2012 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology*, pp.245-247, 2012.11. 「査読有」

(xiv) R. Dong, R. K. Pokharel, H. Kanaya, and K. Yoshida, "Balun with Passband Characteristic for Ultra-Wideband (UWB) Impulse Radio Transmitter," *Proc. 2012 IEEE Radio and Wireless Symposium*, pp.323-326, 2012.01. 「査読有」

(xv) 浅野翔, ポカレル ラメッシュ, アウイ ナシ アナンド, 平野栄樹, 田中秀治 【集積回路上へのBST薄膜可変容量とAuめっき厚膜インダクタのモノリシック集積化】 [第43回EMシンポジウム, (2014), 125-128] (査読無)

(xvi) 江崎 祐樹, A. Anand, ポカレル ラメッシュ, 金谷晴一 【TV White Space用チューナブル電力増幅器の設計】 電子情報通信学会誌2014 総合大会講演論文集新潟 March-19 2015, C - 1 2 - 2 8 (査読無)

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕

ホームページ等
<http://hyoka.ofc.kyushu-u.ac.jp/search/details/K002741/index.html>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

(Pokharel R. K.)

研究者番号：60398568

(2) 研究分担者

(Kanaya Haruichi)

研究者番号：40271077

(3) 連携研究者

()

研究者番号：