様式Ｃ－１９

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成２５年　５月２１日現在

機関番号：１７１０２
研究種目：基盤研究（B）
研究期間：2008～2012
課題番号：20360173
研究課題名（和文）　ユビキタスネットワーク用小型平面アンテナの開発とトランシーバへの実装に関する研究
研究課題名（英文）　Development of RF transceiver with small antenna

研究代表者
吉田　啓二（KEIJI YOSHIDA）
九州大学・システム情報科学研究院・教授
研究者番号：80108670

研究成果の概要（和文）：
携帯電話、無線LAN、衛星放送などの爆発的普及、ブロードバンド化の急速な進展に伴い、高速無線データ通信のニーズは急拡大している。これら全ての無線通信デバイスにおける問題点として、アンテナやバンドバスフィルタなどの受動素子が、LSIを含めたデバイス面積の大部分を占めるため小型化が難しいこと、LSI上の送受信アンプやミキサ等と結合する際、高性能化のためインピーダンス整合が不可欠であるが,LSIチップ内にスパイラルインダクタを用いるため、面積縮小による小型化や高周波化が困難であるという問題が顕在化している。これらの目的を解決するための、指向性を有する整合回路一体型平面型アレイアンテナを開発した。さらにミキサ、アンプなどのRFフロントエンドも試作した。また、実機を用いて、フィールド試験を行いて、特性を検証した。

研究成果の概要（英文）：
Along with explosive spread mobile phone, wireless LAN, and such as satellite broadcasting, the rapid development of broadband, the need for high-speed wireless data communication is growing rapidly. As a problem in the wireless communication device, it is difficult to realize miniaturization of the passive device such as antenna and bandpass filter. Moreover, it is difficult to fabricate miniaturized on-chip impedance matching circuit. In order to solve these problems, miniaturized antenna and CMOS RF front-end chip with impedance matching circuit were designed and fabricated, and tested.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合　計
２００８年度	3,100,000	930,000	4,030,000
２００９年度	2,700,000	810,000	3,510,000
２０１０年度	2,700,000	810,000	3,510,000
２０１１年度	3,000,000	900,000	3,900,000
２０１２年度	2,600,000	780,000	3,380,000
総　計	14,100,000	4,230,000	18,330,000

研究分野：工学
科研費の分科・細目：電気電子工学　・　通信・ネットワーク工学

キーワード：無線通信、RF CMOS フロントエンド、超小型アンテナ、低雑音増幅器

１．研究開始当初の背景

近年のブロードバンド化の急速な進展に伴い、高速無線データ通信のニーズは急拡大している。一方で、無線 IC タグ（RFID タグ）等ユビキタスネットワークの実用化も始まっている。また、自動車産業における情報通信技術に目を向けると、超広帯域(UWB: ultra wideband) 無線システムが ITS(intelligent transport system)や車載通信の分野で研究されている。

これら全ての無線通信デバイスにおける問題点として以下がある。(A)アンテナなどの受動素子が LSI を含めたデバイス面積の大部分を占めるため小型化が難しいこと。また、無線機の小型化のためアンテナの三次元実装が必要不可欠であるが、(B) LSI 実装面（裏面）への干渉を防ぎ、回路の誤動作を防ぐための電磁遮蔽効果を持つ片面指向性パッチアンテナでは、基板が薄くなると急激に放射しなくなり、狭帯域化する。さらに、(C) 低消費電力化のためアンテナに指向性利得を持たせることが必要であるが、平面型スロットアンテナの指向性利得の設計を簡単な理論で行った例はほとんどない。また、車載通信の分野においては、(D) 金属筐体（車体）への貼り付けアンテナや金属対応 RF タグの場合、金属筐体による電波干渉を遮蔽するため片面指向性を有する広帯域アンテナが必要であるが、申請者が知るところ未だ報告が無い。

２．研究の目的

我々の持つ本研究に関連した研究シーズには以下がある。

1)微小アンテナ設計理論【特許 1, 特許 2】: アンテナ長(ℓ)が波長(λ)に比べて十分短い($\ell<\lambda/4$)平面微小アンテナの設計公式により、理論上 80％の面積削減が可能である。

2)薄型基板片面放射アンテナの設計理論【特許 5】: 裏面においたフローティンググランドにより薄い基板上での片面放射の平面アンテナが可能となる。

3)オンチップ広帯域分布定数型整合回路の設計理論【特許 3, 特許 4】: 分布定数線路による整合回路を LSI チップに導入し高性能 RF フロントエンドが実現できる。

これらの研究シーズを発展させることにより、前記の問題点を解決する三次元実装可能な平面微小アンテナを実装した超小型トランシーバを実現することを目的とする。

特許１：吉田他、通信回路、インピーダンス整合回路及びインピーダンス整合回路設計方法、PCT/JP2006/304154

特許２：吉田他、フィルタ特性調整方法、及びフィルタ、PCT/2006/304155

特許３：吉田他、インピーダンス整合回路とそれを用いた半導体素子及び無線通信装置 PTC/JP2004/002751

特許４：吉田他、無線信号の送信･受信回路、並びに無線信号の送信・受信装置、特開 2003-283211

特許５：吉田他、薄型片面放射アンテナ、特願 2007-159872

３．研究の方法

我々がすでに提案した微小アンテナ設計理論とオンチップ広帯域分布定数型整合回路の設計理論により整合回路一体型微小アンテナを設計し、送信･受信用アンプや、RFID 用 LSI チップ等、あらゆる入力インピーダンスに整合する理論を確立する。

また、ビキタスネットワークにおいては、デバイスの低消費電力化のため、指向性を高めて、アンプの出力を減らす必要が生じる。指向性を高めるために、平面型アレイアンテナの原理を元にスロットアンテナを２次元的にアレイ化する。

さらに、将来のワイドバンド対応、マルチバンド対応をにらみ、設計した平面型微小アンテナの帯域を広げるための設計理論を提案し、ユビキタスネットワーク用マルチバンド・ワイドバンド共用アンテナを開発する。

最終的に設計及び試作した、微小アンテナ一体型トランシーバを用いて、実験室レベル（電波暗室）で実際に通信距離テストを行い、従来型トランシーバとの比較を行うと同時に、周波数領域だけでなく、時間領域波形を計測し通信特性をあわせて計測し、総合的評価する。

４．研究成果

まず High-band UWB 通信用無指向性平面スロットアンテナを提案する。図１にアンテナ構造を示す。基板厚 Ths＝1.6 ㎜, 金属（銅）厚 Thm = 0.018 ㎜である。

図２に試作したアンテナの写真を示す。

通信距離については、試案アンテナが 6.0m 程度であるのに対し、提案アンテナは 10.2m を得た。

RFCMOS フロントエンドについては、種々の回路を設計・試作したが、本報告では、ミキサ回路について説明する。

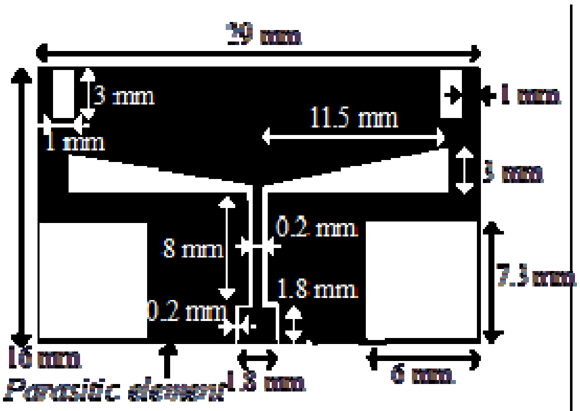

図 1　アンテナレイアウト

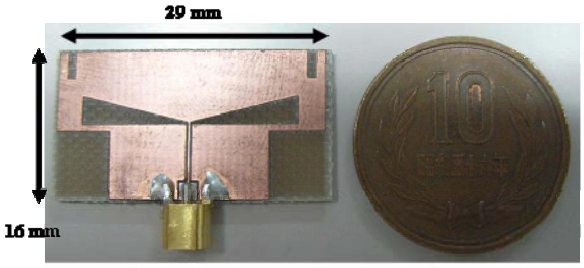

図 2　アンテナの写真

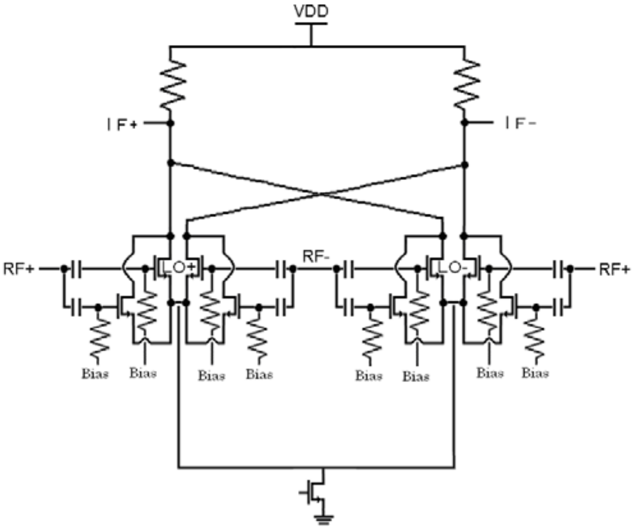

図 3　ミキサの回路図

図 3 は提案するミキサの回路図である。ミキサを低消費電力化した場合、線形性が乏しくなる。その欠点を克服するために、DS(Derivative Superposition)法をミキサの入力部に適用し改善を図った。すなわち主となる MOS トランジスタに並列に副となる MOS トランジスタを挿入し、3 次のトランスコンダクタンスを相殺するものである。

図 4 は CMOS 上に実現したミキサのレイアウト図と試作チップの写真である。また、図 5 に本科研費により導入した測定器を含む測定系の写真を示す。

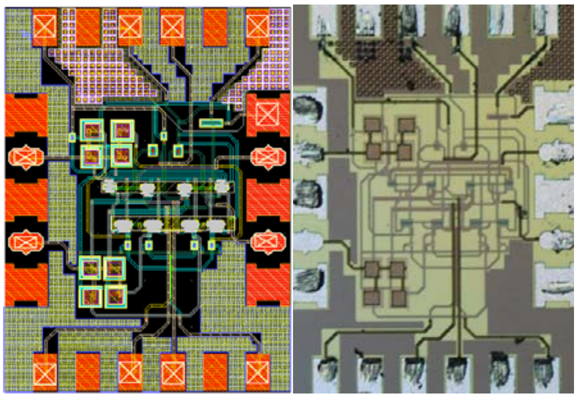

図 4 ミキサのレイアウト及びチップ写真

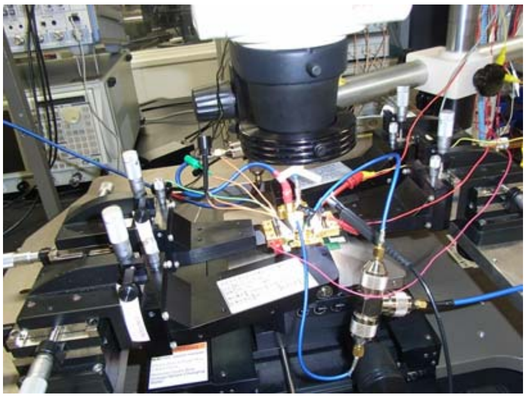

図 5 測定系の写真

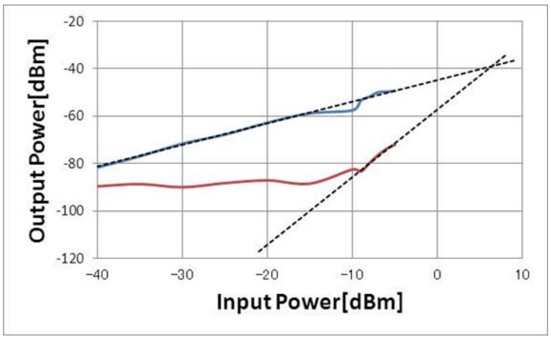

図 6　IIP3 の実測値

図 6 は線形性の指標である IIP3 (Third Order Input Intercept Point)の実測結果である。従来型のミキサに比べ、提案型ミキサの方が高い IIP3 の値を示している。すなわち、従来型の方では入力電力がおよそ-20dBm を超えた辺りから現れてきているのに対し、提案型ミキサの方では-10dBm を超えた辺りから現れてきている。したがって提案型ミキサにおける三次相互変調波が低減されていることがうかがえる。

以上より、広帯域アンテナと RF フロントエンドチップが完成た。

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 49 件の内、主要なもの））
1. Design of 5 GHz-Band Power Amplifier with On-Chip Matching Circuits Using CPW Impedance (K) Inverters, R. K. Pokharel, H. Kanaya and K. Yoshida, IEICE Trans. On Electron., Vol.E91-C, No.11, pp.1824-1827, Nov. 2008.

2. Development of One-Sided Directional Thin Planar Antenna for 5GHz Wireless Communication Applications, H. Kanaya, R. K. Pokharel, Y. Nakamura, K. Yoshida, Proc. 2009 IEEE International Symposium on Antennas & Propagation, p.211.7.1-4.

3. Low Noise Wide Tuning Range Quadrature Ring Oscillator for Multi-Standard Transceiver, Oleg Nizhnik, Ramesh K. Pokharel, Haruichi Kanaya, and Keiji Yoshida, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, VOL. 19, NO. 7, pp.470-472, JULY 2009.

4. A 2.4 GHz 0.18-μm CMOS Class E Single-Ended Power Amplifier without Spiral Inductors, S.A.Z Murad, R.K. Pokharel, H. Kanaya and K. Yoshida, Proc. 2010 10th Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems, pp.25-28.

5. Design and evaluation of a -117 dBc/Hz phase noise voltage-controlled oscillator using on-chip CPW resonator for 5 GHz-band WLAN, Ramesh K. Pokharel, Haruichi Kanaya, Keiji Yoshida, Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 52 Issue 3, Pages 757 – 763, March 2010.

6. Low Phase Noise, 18 kHz Frequency Tuning Step, 5 GHz, 15 bit Digitally Controlled Oscillator in 0.18 μm CMOS Technology, Ramesh K. POKHAREL, Kenta UCHIDA, Abhishek TOMAR, Haruichi KANAYA, Keiji YOSHIDA, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol.E93-C, No.7 pp.1007-1013.

7. Development of 2.4GHz One-Sided Directional Planar Antenna with Quarter Wavelength Top Metal, H. Kanaya, M. Kato, R. K. Pokharel, K. Yoshida, Proc. 2010 IEEE International Symposium on Antennas & Propagation, CD-ROM 404.1,p1-p4.

8. Development of Electrically Small Antenna with Impedance Matching Circuit for 2.4GHz Band Sensor Node, H. Kanaya, Y. Nagata, R. K. Pokharel, K. Yoshida, H. Matsukuma, Proc. 2010 IEEE International Symposium on Antennas & Propagation, CD-ROM 522.11,p1-p4.

9. High efficiency, good linearity, and excellent phase linearity of 3.1-4.8 GHz CMOS UWB PA with a current-reused technique, S.A.Z. Murad, R.K. Pokharel, R. Sapawi, H. Kanaya, and K. Yoshida, IEEE Transactions on Consumer Electronics, Vol. 56, Issue, 3, pp.1241-1246, August 2010.

10. An Excellent Gain Flatness 3.0–7.0 GHz CMOS PA for UWB Applications, S. A. Z. Murad, R. K. Pokharel, A. I. A. Galal, R. Sapawi, H. Kanaya, and K. Yoshida, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 20, No. 9, pp.510-512, SEPTEMBER 2010.

11. A 2.4-GHz 0.18-μm CMOS Class E single-ended switching power amplifier with a self-biased cascade, Sohiful Anuar Zainol Murad, Ramesh K. Pokharel, Haruichi Kanaya, Keiji Yoshida, Oleg Nizhnik, AEU International Journal of Electronics and Communications, Int. J. Electron. Commum. AEU, Vol. 64, Issue 9, pp. 813-818, September 2010.

12. Linearization technique using bipolar transistor at 5 GHz low noise amplifier, A.I.A. Galal, R.K. Pokharel, H. Kanaya, K. Yoshida, Int. J. Electron. Commum. AEU, Vol. 64, Issue 10, pp. 978-982, October 2010.

13. Modeling of Non-linearity in Digitally Controlled Oscillator in 0.18 μm CMOS Technology, Abhishek TOMAR Shashank LINGALA Ramesh K. POKHAREL Haruichi KANAYA Keiji YOSHIDA, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol.E93-C No.10 pp.1548-1549, 2010 (Oct.1)

14. Development of electrically small planar antennas with transmission line based impedance matching circuit for a 2.4 GHz band, Haruichi Kanaya, Yuta Nakamura, Ramesh K. Pokharel, Keiji Yoshida, Hiroshi Matsukuma, Int. J. Electron. Commum. AEU, Vol. 65, Issue 2, pp. 148-153, February 2011.

15. A low flicker noise direct conversion receiver for IEEE802.11g wireless LAN using differential active inductor, M.A. Abdelghany, R.K.Pokharel, H.Kanaya, K.Yoshida, Microelectronics Journal, vol.42, pp. 283–290, 2011.

16. Low-Phase-Noise, High Switching Speed Digitally Controlled Ring Oscillator in 0.18um Complementary Metal Oxide Semiconductor, Abhishek Tomar, Shashank Lingala, Ramesh Kumar Pokharel, Haruichi Kanaya, and Keiji Yoshida, Jpn. J. Appl. Phys. 50 (2011) 04DE10, pp.1-4, April 22, 2010.

17. A Compact Low Power Ultra Wideband Impulse Generator on 0.18um CMOS Technology, Ruibing Dong, Ramesh K. Pokharel, Haruichi Kanaya, and Keiji Yoshida, Microwave and Optical Technology Letters, Vol. 53, No. 5, pp.1128-1131, 2011. May 2011.

18. 3.6 GHz Highly Monotonic Digitally Controlled Oscillator for All-Digital Phase Locked Loop, Ramesh K. Pokharel, Abhishek Tomar, Haruichi Kanaya, and Keiji Yoshida, Digest of IEEE Int. Microwave Symposium, 1121_CD-ROM_pp.1-4 (2011.6.8)

19. Development of One-Sided Directional

Printed Slot Antenna for High-Band UWB systems, Satoshi Ijiguchi, Haruichi Kanaya, Daisuke Kanemoto, Keiji Yoshida, Ramesh K. Pokharel, Kuniaki Yoshitomi, Akira Ishikawa, Shugo Fukagawa, Akihiko Tahira, Proc. 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, pp.1474-1477.

20. Development of Dual Band Miniaturized Slot Antenna with 2-Stage Bandpass Filter, Haruichi Kanaya, Kazuhiro Hayakawa, Daisuke Kanemoto, Yuzo Nagata, Keiji Yoshida, Kuniaki Yoshitomi, Ramesh K. Pokharel, Akira Ishikawa, Shugo Fukagawa, Akihiko Tahira, Proc. 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, pp.2761-2764.

21. A third order delta-sigma modulator employing shared opamp technique for WCDMA on 0.18um CMOS, Ghazal Fahmy, Daisuke Kanemoto, Haruichi Kanaya, Keiji Yoshida, Ramesh Pokharel and Awinash Anand, IEICE Electronics Express, Vol. 8 (2011), No. 15 pp.1204-1209.

22. A Wide Tuning Range CMOS Quadrature Ring Oscillator with Improved FoM for Inductorless Reconfigurable PLL, Ramesh K. POKHAREL, Shashank LINGALA, Awinash ANAND, Prapto NUGROHO, Abhishek TOMAR, Haruichi KANAYA, Keiji YOSHIDA, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol.E94-C, No.10, pp.1524-1532.

23. Flicker noise reduction in RF CMOS mixer using differential active inductor, M. A. Abdelghany, R. K. Pokharel, H. Kanaya, K. Yoshida, Microwave and Optical Technology Letters, Volume 53, Issue 11, pages 2553–2556, November 2011.

24. High linearity technique for ultra-wideband low noise amplifier in 0.18μm CMOS technology, A. I. A. Galal, R.K. Pokharel, H. Kanaya, K. Yoshida, International Journal of Electronics and Communications, 66 (1), pg. 12-17.

25. Low Group Delay 3.1–10.6 GHz CMOS Power Amplifier for UWB Applications, Rohana Sapawi, Ramesh K. Pokharel, Sohiful A. Z. Murad, Awinash Anand, Nishal Koirala, H. Kanaya, and K. Yoshida, IEEE MICROWAVE AND WIRELESS COMPONENTS LETTERS, Vol.22, No. 1, pp.41-43. January 2012.

26. Balun with Passband Characteristic for Ultra-Wideband (UWB) Impulse Radio Transmitter Ruibing Dong, Ramesh K. Pokharel, Haruichi Kanaya, and Keiji Yoshida, Proc. 2012 IEEE Radio and Wireless Symposium (2012RWS), pp.323-326.

27. A low power UWB low noise amplifier using current reused and feedback techniques, A. I. A. Galal, R. Pokharel, H. Kanaya, K. Yoshida, Microwave and Optical Technology Letters, Volume 54, Issue 2, pages 471–474, February 2012.

28. A novel high-precision DAC utilizing tribonacci series , Kazuya Hokazono, Daisuke Kanemoto, Haruichi Kanaya, Ramesh Pokharel, Keiji Yoshida, IEICE Electronics Express, Vol. 9 No. 6, pp. 515-521, 2012, 2012.

29. Development of low phase noise digitally controlled CMOS ring oscillator with quadrature output, Prapto Nugroho, Ramesh K. Pokharel, Awinash Anand, Abishek Tomar, Haruichi Kanaya, and Keiji Yoshida, Microwave and Optical Technology Letters, Volume 54, Issue 6, pages 1479–1483, June 2012.

30. A 5.9 GHz Low Power and Wide Tuning Range CMOS Current-controlled Ring Oscillator, Prapto Nugroho, Ramesh K. Pokharel, Haruichi Kanaya, Keiji Yoshida, International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE), Vol.2, No.3, pp. 293-300, 2012.

31. Digitally Controlled CMOS Quadrature Ring Oscillator with Improved with ImprovedFoM for GHz Range All-Digital Phase Locked Loop Applications, R. K. Pokharel, P. Nugroho, A. Anand, K. Kanaya and K. Yoshida, IEEE Microwave Symposium Digest, USB, pp.1-3, 2012.

32. A Wide Range CMOS Power Amplifier with Improved Group Delay Variation and Gain Flatness for UWB Transmitters, Rohana SAPAWI, Ramesh K. POKHAREL, Haruichi KANAYA, Keiji YOSHIDA, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol.E95-C, No.7, pp.1182-1188, 2012.

33. Development of 2.4GHz One-Sided Directional Slot Antenna with 2-Stage Bandpass Filter, H. Kanaya, M. Kato, D. Kanemoto, K. Yoshida, R. K. Pokharel, K. Yoshitomi
Proc. 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation, 313p5, pp.1-2.

34. High-Q SWCPL for CMOS millimeter-wave technology, D. A. A. Mat, R. K. Pokharel, R. Sapawi, H. Kanaya, K. Yoshida, IEICE Electronics Express, Vol. 9 (2012) No. 15, pp.1284-1289, August 15, 2012.

35. Design of a compact size UWB planar antenna with WiMAX band rejection, Emad Tammam, Lingsheng Yang, Kuniaki Yoshitomi, Ahmed Allam, Mohammed Ragab, Haruichi Kanaya, Keiji Yoshida, IEICE Electronics Express, Vol. 9 (2012) No. 16, pp.1204-1209, August 16, 2012.

36. A Low Power 8-bit Digitally Controlled CMOS Ring Oscillator, P. Nugroho, R. K. Pokharel, A. Anand, R. Hashimura, G. Zhang, R. Dong, H. Kanaya, and K. Yoshida, Proceedings of the 7th European Microwave Integrated Circuits Conference, pp.504-507, Oct.29th, 2012.

37. Analytical method to determine optimal out-of-band gain in multi-bit delta-sigma modulator , Awinash Anand, Nischal Koirala, Ramesh K. Pokharel, Haruichi Kanaya, Keiji

Yoshida, IEICE Electronics Express, Vol.9, No.20, pp.1598-1603, Oct. 23, 2012.

38. CPW-fed slot antenna for UWB short-range impulse radar systems, Lingsheng Yang, Emad Tammam, Kuniaki Yoshitomi, Satoshi Ijiguchi, Haruichi Kanaya, Keiji Yoshida, Akira Ishikawa, Shugo Fukagawa, Noriyuki Kodama, Akihiro Tahira, IEICE Electronics Express, Vol.9, No.20, pp.1604-1610, Oct. 26, 2012.

39. A 5-GHz Fully Integrated CMOS Class-E Power Amplifier Using Self-Biasing Technique with Cascaded Class-D Drivers, Yuki Yamashita, Daisuke Kanemoto, Haruichi Kanaya, Ramesh K. Pokharel and Keiji Yoshida, Proc. 2012 IEEE International Symposium on Radio-Frequency Integration Technology, pp.245-247, Nov., 2012.

40. A 0.9-3.5 GHz high linearity, good efficiency CMOS broadband power amplifier using stagger tuning technique, Rohana Sapawi, Ramesh K. Pokharel, Dayang Azra Awang Mat, Haruchi Kanaya, Keiji Yoshida, Microwave and Optical Technology Letters, Vo. 54, Issue 12, pp. 2881-2884, Dec. 2012.

41. A CMOS Class-E Power Amplifier of 40% PAE at 5GHz for Constant Envelope Modulation System, Y. Yamashita, D. Kanemoto, H.Kanaya, R. K. Pokharel, K. Yoshida, Proc. 13TH Topical Meeting on Silicon Monolithic Integrated Circuits in RF Systems, SiRF 2013, pp.66-68, 2013.

42. Low Phase Noise 14-Bit Digitally Controlled CMOS Quadrature Ring Oscillator, Ramesh K. POKHAREL Prapto NUGROHO Awinash ANAND Abhishek TOMAR Haruichi KANAYA Keiji YOSHIDA, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol.E96-C, No.2, pp.262-269, Feb. 1, 2013.

43. 60 GHz Millimeter-Wave CMOS Integrated On-Chip Open Loop Resonator Bandpass Filters on Patterned Ground Shield, Ramesh K. POKHAREL Xin LIU Dayang A.A. MAT Ruibing DONG Haruichi KANAYA Keiji YOSHIDA, IEICE TRANSACTIONS on Electronics, Vol.E96-C No.2, pp.270-276, Feb. 2013.

44. Energy Harvesting Circuit on a One-Sided Directional Flexible Antenna, H. Kanaya, S. Tsukamoto, T. Hirabaru, D. Kanemoto, R. K. Pokharel, K. Yoshida, IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 23, Issue 3, pp. 164-166, 2013.

〔学会発表〕（計 32 件の内、主要なもの）

1. MWE 2011(2011 Microwave Workshops and Exhibition)マイクロウェーブ展 2011 と 2011、【招待講演】分布定数線路を用いたオンチップ受動素子の開発、金谷晴一、兼本大輔、ポカレル ラメシュ、吉田啓二

2. 2012 年電子情報通信学会総合大会、低位相雑音, 広周波数可変範囲を持つ 4 位相出力リング型 DCO の開発、橋村亮介、ヌグロホプラプト、兼本大輔、ポカレル ラメシュ、金谷晴一、吉田啓二

3. 第 27 回 エレクトロニクス実装学会講演大会、5GHz 帯パワーアンプのモジュール化、宮川晃尚、内田祐介、山下勇輝、兼本大輔、金谷晴一

4. 平成 25 年　電気学会全国大会、【シンポジウム招待講演】、高周波用オンチップパッシブデバイスの開発、金谷　晴一, 石田　竜也, 兼本　大輔, ポカレル　ラメシュ, 吉田　啓二

〔図書〕（計 0 件）

〔産業財産権〕

○出願状況（計 1 件）
名称：平面アンテナ装置
発明者：松隈弘志、吉田啓二、金谷晴一
権利者：ＮＥＣエレクトロニクス株式会社
種類：特許
番号：特願 2010-031222
出願年月日：2010 年 2 月 16 日
国内外の別：日本

○取得状況（計 1 件）
名称：片面放射アンテナ
発明者：吉田啓二、金谷晴一
権利者：九州大学
種類：特許
番号：特許第 5213039 号
取得年月日：2013 年 3 月 8 日
国内外の別：日本

〔その他〕
ホームページ等
http://yossvr0.ed.kyushu-u.ac.jp

６．研究組織
(1)研究代表者
吉田　啓二（KEIJI YOSHIDA）
研究者番号：80108670

(2)研究分担者
金谷　晴一（Haruichi　Kanaya）
研究者番号：40　271077

R.K ポカレル（R. K. Pokharel）
研究者番号：60398568

(3)連携研究者
なし