

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 17 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2009 ～ 2012

課題番号：21246059

研究課題名（和文） 腫瘍検出のための生体内電磁波伝搬の研究

研究課題名（英文） Electromagnetic wave propagation for cancer detection

研究代表者

吉川 公磨（KIKKAWA TAKAMARO）

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学研究所・教授

研究者番号：60304458

研究成果の概要（和文）：

本研究は超広帯域 (UWB) インパルス電磁波を送信 UWB アンテナから生体内 (乳房) へ放射し、誘電率と導電率が生体組織と異なる腫瘍界面で反射したインパルス電磁波をアンテナアレーで受信し腫瘍の位置を画像化するために、時間領域反射率計測信号処理による共焦点アルゴリズムを開発し、インパルス信号の送受信回路、インパルス超高速サンプリング回路を CMOS 集積回路で実現した。

研究成果の概要（英文）：

Impulse radio ultra-wide-band (IR-UWB) radar techniques have been applied to breast cancer detection. When a transmitter antenna illuminates a breast with UWB pulses, receiver antennas collect the backscattered waves from a target tumor due to the fact that the permittivities and conductivities of the tumor and normal tissues are different. To visualize the position of the tumor, a confocal imaging algorithm for the time domain signal processing has been developed. Complementary metal oxide semiconductor integrated circuits have been developed for impulse signal transmitter, receiver and high-speed impulse sampling circuits.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009 年度	10,200,000	3,060,000	13,260,000
2010 年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2011 年度	8,900,000	2,670,000	11,570,000
2012 年度	6,600,000	1,980,000	8,580,000
年度			
総計	34,600,000	10,380,000	44,980,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学・電子デバイス・電子機器

キーワード：電子デバイス・集積回路

1. 研究開始当初の背景

悪性腫瘍と正常組織では誘電率と導電率に5倍程度の差があると報告されている。この界面で電磁波が反射することを利用して、腫瘍の位置を特定し、信号処理による腫瘍の画像化を行う。現在、X線マンモグラフィの置き換えをめざしてこの分野の研究において先行しているのはウイスコンシン大学（米国）、ダートマス大学（米国）、カルガリー大学（カナダ）、ブリストル大学（英国）であるが、いずれも女性が病院のベッドにうつぶせになってオイルの入ったタンクに乳房を差し込むやり方で、装置も大型であり実用上問題がある。

半導体集積回路（CMOS）技術によって超広帯域（UWB）インパルス電磁波発生、送信、受信、画像処理技術の研究を行い、乾電池で動作する腫瘍検出技術の研究をしているのは研究代表者のグループだけである。

2. 研究の目的

乳癌早期診断用X線マンモグラフィのX線被曝と検診時の胸部圧迫による苦痛という課題を解決する方法として、UWBインパルス電磁波によるレーダーの原理を用いた新しい腫瘍検出技術を研究する。

3. 研究の方法

本研究はターゲットサイズ6mmの早期乳ガン検出をめざすため、生体内電磁波伝搬をモデル化し、中心周波数が6-10GHz帯域のUWBインパルス電磁波をUWBアンテナアレーから生体内へ放射し、誘電率と導電率が生体組織と異なる腫瘍界面で反射したインパルス電磁波をアンテナアレーで受信し合成画像化する。研究期間内にUWBアンテナアレーを設計試作し、UWB-CMOS送信回路・受信回路・サ

ンプリング回路のチップセットを開発し、アンテナ設計上やCMOS回路設計上の課題を抽出し、携帯型乳ガン検出システムを試作して性能実証する。

4. 研究成果

本研究はレーダーの原理により乳がんの位置を誘電率、導電率分布の計測から特定する新しい腫瘍検出技術を半導体集積回路により実現するものである。

女性が仰向けの自然な形で使えるレーダーを実現するためのコンパクトなアンテナアレーを開発した。寸法13.1mmx11mmのアンテナを4x4行列のアレー化し、全体の大きさは44mmx52.4mmである。帯域と中心周波数は12.5GHzと6GHzであった。乳房組織と等価なファントムを作製し、共焦点画像処理によるイメージングを行い、深さ20mmのところにある15mm離れた乳がんファントムを識別できた。

回路構成は、送信側として、ウルトラワイドバンド（UWB）信号発生回路、送信回路からなり、受信側として、UWB低雑音増幅器、デジタルサンプリング回路、アナログ-デジタル変換回路からなる。

乳がんの三次元位置を画像化するコンフォーカルイメージングシステムのための、受信回路のうちサンプリング回路の試作を行なった。等価時間サンプリングを構成するフェーズインターポレータ、PLL（フェーズロックループ）およびT/H（トラックアンドホールド）回路の性能改善を目指した。フェーズインターポレータは、クロックの遅延時間のばらつきを12.5ps-22.4psまで改善した。また、PLLについては、SSPLL（サブサンプリングフェーズロックループ）の導入を行い位相雑音の改善を試み、-117dBc/Hz@635kHzが

得られた。

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 12件)

1. I. E. Lager, A. T. de Hoop, T. Kikkawa, "Model Pulses for Performance Prediction of Digital Microelectronic Systems," IEEE Transactions on Components, Packaging and Manufacturing Technology, Volume: 2, Issue: 11, 2012, Page(s): 1859 – 1870. (査読有)
2. Mohiuddin Hafiz, Shinichi Kubota, Nobuo Sasaki, Kentaro Kimoto and Takamaro Kikkawa, "A 2 Gb/s 1.8 pJ/bit Differential BPSK UWB-IR Transmitter using 65 nm CMOS Technology", IEICE Transactions on Electronics Vol. 94-C, No. 6, Jun. 2011, pp. 977 - 984. (査読有)
3. Mohiuddin Hafiz, Nobuo Sasaki, Takamaro Kikkawa, "A 500 Mb/s Differential Input Non-coherent BPSK Receiver for UWB-IR Communication," IEICE Transaction on Electronics, Vol. E94-C No.4 2011, pp.567-574. (査読有)
4. Afreen Azhari, Shinichi Kubota, Akihiro Toya, Nobuo Sasaki, and Takamaro Kikkawa, "A 5.4-9.2 GHz 19.5 dB Complementary Metal-Oxide Semiconductor Ultra-wide-band Receiver Front-end Low-Noise Amplifier", Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 50, No. 4, Apr. 2011.,04DE01-1 – 8. (査読有)
5. Toya, Nobuo Sasaki, Sinichi Kubota and Takamaro Kikkawa, "Confocal Imaging System Using High-Speed Sampling Circuit and UWB Slot Antenna," Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 50, No. 4, Apr. 2011, pp. 04DE02-1 – 7. (査読有)
6. Mohiuddin Hafiz, Nobuo Sasaki, Takamaro Kikkawa, "A 800 Mb/s CMOS detection scheme for UWB impulse-radio communication," AEU - International Journal of Electronics and Communications, Vol. 65, Issue 5, May 2011, pp.398-405. (査読有)
7. Mohiuddin Hafiz, Nobuo Sasaki and Takamaro Kikkawa, "A 1 Gb/s 3.8 pJ/bit differential input BPSK detection scheme for UWB-IR communication using 180 nm CMOS technology", IEICE Transactions on Electronics, Vol. E94-C, No. 2, 2011, pp. 240-247. (査読有)
8. A. Toya, N. Sasaki, S. Kubota, T. Kikkawa, "32GS/s Ultra-high-speed UWB Sampling Circuit for Portable Imaging System", Electronics Letters, vol. 47, No.3, February, 2011, pp. 165-167. (査読有)
9. Takamaro Kikkawa, "Wireless inter-chip interconnects," Microelectronic Engineering, Vol. 88, Issue 5, May 2011, pp. 767-774. (査読有) (招待論文).
10. A. Azhari, K. Kimoto, N. Sasaki, T. Kikkawa, "A 3.5-4.5 GHz Complementary Metal-Oxide-

Semiconductor Ultra-wide-band Receiver Frontend Low-Noise Amplifier with On-Chip Integrated Antenna for Interchip Communication", Japanese Journal of Applied Physics, vol. 49, 2010, 04DE11-1-7. (査読有)

11. S. Kubota, Xia Xiao, N. Sasaki, Y. Kayaba, K. Kimoto, W. Moriyama, T. Kozaki, M. Hanada and T. Kikkawa, "Confocal Imaging using Ultra Wideband Antenna Array on Si Substrates for Breast Cancer Detection," Japanese Journal of Applied physics, Vol.49, 2010, pp. 097001-1 – 097001-6. (査読有)

12. N. Sasaki, K. Kimoto, W. Moriyama, and T. Kikkawa, "A Single-Chip Ultra-Wideband Receiver with Silicon Integrated Antennas for Inter-Chip Wireless Interconnection," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 44, No. 2, February 2009, pp.382-393. (査読有)

〔学会発表〕(計 26件)

1. T. Kikkawa, A. Toya, S. Kubota, M. Hafiz, A. Azhari and N. Sasaki, "IR-UWB-CMOS Circuits for Breast Cancer Detection," Proceedings of 6th European Conference on Antennas and Propagation, CA19.9, Prague, Czech Republic, 26-30 March 2012. (査読有)
2. T. Kikkawa, "Gaussian Monocycle Pulse CMOS Transmitter with On-Chip Integrated Antenna and High-k Dielectric Slab Waveguide", 2012 IEEE 11th International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology, S15_01, Xi'an, China, Oct. 29-Nov. 1, 2012., (査読有)(招待講演)
3. T. Sugitani, S. Kubota, A. Toya and T. Kikkawa, "Compact Planar UWB Antenna Array for Breast Cancer Detection", Proc. of 2012 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, 356. 10. Chicago, USA, July 8-14, 2012. (査読有)
4. K. Sogo, A. Toya, and T. Kikkawa, "A Ring-VCO-Based Sub-Sampling PLL CMOS Circuit with -119.1 dBc/Hz Phase Noise and 0.73 ps Jitter", the 38th European Solid-State Circuits Conference, Bordeaux, France, September 17-21, 2012, pp.253-256. (査読有)
5. K. Sogo, A. Toya, and T. Kikkawa, "-119.1 dBc/Hz Phase Noise Ring-VCO-Based PLL CMOS Circuit Using A Tunable Narrow-Deadzone Creator in Frequency Locked Loop", International Conference on Solid State Devices and Materials, J-6-3, Kyoto, Japan, September 25-27, 2012. (査読有)
6. Akihiro Toya, Kenta Sogo, Nobuo Sasaki and Takamaro Kikkawa, "102.4 GS/s Impulse Sampling Circuit with Low Power and Low Timing Error Clock Generation", International Conference on Solid State Devices and Materials, J-5-1, Kyoto, Japan, September 25-27, 2012. (査読有)
7. T. Sugitani, S. Kubota, A. Toya, X.Xiao and T.

- Kikkawa, "Influence of Breast Organisms and UWB Antenna Array Configuration on the Resolution of Breast Cancer Detection", Proc. of 2012 International Conference on Solid State Devices and Materials, PS-11-1, Kyoto, September 25-27, 2012 (査読有).
8. Ioan E. Lager, Adrianus T. De Hoop and T. Kikkawa, "Pulsed-Field Wireless Interconnects in Digital Integrated Circuits - A Time-Domain Signal Transfer and Electromagnetic Emission Analysis," Proceedings of 6th European Conference on Antennas and Propagation, Prague, Czech Republic, 26-30 March 2012. (査読有)
9. T. Kikkawa, "Wireless Inter-chip Interconnects," International Conference of Electron Devices and Solid-State Circuits, Qiyuan Hotel Tianjin, China, 17 November, 2011. (査読有)(招待講演)
10. S. Kubota, K. Kimoto, N. Sasaki, A. Toya and T. Kikkawa, "A Novel 10 Gb/s Silicon On-chip UWB Twiggy Antenna for Intra-Package Communication," Proc. of 2011 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, Spokane, Washington, USA, July 3-8, 2011, pp.82-85. (査読有)
11. S. Kubota, N. Sasaki, M. Hafiz, A. Toya and T. Kikkawa, "5 Gbps BPSK CMOS Transmitter with On-Chip Antenna Using Gaussian Monocycle Pulses," Proc. of 2011 IEEE Custom Integrated Circuits Conference, San Jose, California, USA, September 18-21, 2011, ISBN 978-1-4577-0223-5, T-13. (査読有)
12. T. Kikkawa, "Wireless inter-chip interconnects using IR-UWB-CMOS," 1.10th IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT), 2010, 1-4 Nov. 2010, Shanghai, China, page(s):623 – 626. (査読有)(招待講演)
13. A. Azhari, S. Kubota, A. Toya, N. Sasaki, T. Kikkawa, "A 5.4-9.2 GHz 19.5 dB CMOS UWB Receiver Frontend Low Noise Amplifier for Confocal Imaging System," Ext. Abst. of the 2010 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tokyo, Japan, Sep. 22-24, 2010, pp.105-106. (査読有)
14. T. Kikkawa, "Wireless inter-chip interconnects using IR-UWB-CMOS," 10th IEEE International Conference on Solid-State and Integrated Circuit Technology (ICSICT), 2010, 1-4 Nov. 2010, Shanghai, China, page(s): 623 - 626. (査読有) (招待講演)
15. A. Toya, N. Sasaki, S. Kubota, T. Kikkawa, "Confocal Imaging System Using 28.3 GSample/s UWB Sampling Circuit," Ext. Abst. of the 2010 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tokyo, Japan, Sep. 22-24, 2010, pp.107-108. (査読有)
16. M. Hafiz, N. Sasaki, T. Kikkawa, "A 1Gb/s Differential Input Threshold Detection Based BPSK Receiver For IR-UWB Communication Using 180 nm CMOS Technology," Ext. Abst. of the 2010 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Tokyo, Japan, Sep. 22-24, 2010, pp. 329-330. (査読有)
17. S. Kubota, X. Xiao, N. Sasaki, A. Toya, T. Kozaki, M. Hanada, T. Kikkawa, "Experimental Confocal Imaging for Breast Cancer Detection Using Bow-tie Antenna Array," Proc. of 2010 International Symposium on Antennas and Propagation, Macao, China, November, 23-26, 2010, pp. 483-486. (査読有)
18. Mohiuddin Hafiz, Nobuo Sasaki, Kentaro Kimoto, Takamaro Kikkawa, "A simple non-coherent solution to the UWB-IR communication," ASPDAC '11 Proceedings of the 16th Asia and South Pacific Design Automation Conference, Yokohama, Japan, Jan. 25-28, 2011, pp. 121-122. (査読有)
19. S. Kubota, Xia Xiao, N. Sasaki, K. Kimoto and T. Kikkawa, "Characteristics of UWB Bow-tie Antenna integrated with Balun for Breast Cancer Detection," Proc. of 2009 IEEE International Symposium on Antennas and Propagation and USNC/URSI National Radio Science Meeting, 229.4, Charleston, SC, USA, June 1-5, 2009. (査読有)
20. T. Kozaki, K. Kimoto, S. Kubota, A. Toya, N. Sasaki and T. Kikkawa, "Quasi Yagi-Uda Antenna Array for Detecting Targets in a Dielectric Substrate," Proc. of 2009 IEEE International Conference on Ultra-Wideband, Vancouver, BC, Canada, September 9-11, 2009, pp.759-762. (査読有)
21. S. Kubota, N. Sasaki, Y. Kayaba, W. Moriyama, T. Kozaki and T. Kikkawa, "High Gain and High Directivity UWB Bow-tie Antenna with High Impedance Metamaterial Surface," Ext. Abst. of the 2009 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sendai, Japan, Oct. 7-9, 2009, pp. 100-101. (査読有)
22. W. Moriyama, K. Kimoto, S. Kubota, N. Sasaki and T. Kikkawa, "Transmission Characteristics of Silicon On-chip Integrated Antennas as Millimeter-Wave Wireless Interconnects," Ext. Abst. of the 2009 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sendai, Japan, Oct. 7-9, 2009, pp. 98-99. (査読有)
23. M. Hafiz, N. Sasaki, and T. Kikkawa, "A Novel CMOS 800 Mb/s BPSK Detector for IR-UWB Communication," Ext. Abst. of the 2009 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sendai, Japan, Oct. 7-9, 2009, pp. 66-67. (査読有)
24. A. Azhari, K. Kimoto, N. Sasaki and T. Kikkawa, "A 3.5-4.5 GHz CMOS UWB Receiver Frontend LNA with On-chip Integrated Antenna for Inter-chip Communication," Ext. Abst. of the 2009 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sendai, Japan, Oct. 7-9, 2009, pp. 68-69. (査読有)
25. A. Toya, N. Sasaki, S. Kubota and T. Kikkawa, "31.25 ps Differential Equivalent Time Sampling Circuit Using 65 nm CMOS Technology," Ext. Abst. of the 2009 Int. Conf. on Solid State Devices and Materials, Sendai, Japan, Oct. 7-9, 2009, pp. 456-457. (査読有)
26. N. Sasaki and T. Kikkawa, "Bit Error Rate

Measurement of IR-UWB CMOS Transmitter and Receiver," 2009 Asia-Pacific Microwave Conference, Singapore, Dec. 7-10, 2009, pp.249-252. (査読有)

〔図書〕(計 2件)

1. I. E. Lager, A. T. de Hoop and T. Kikkawa, "Wireless digital information transfer: modeling, prediction and assessment," "Model Pulses for Performance Prediction of Digital Microelectronic Systems," in Pulsed Electromagnetic Fields: Their potentialities, computation and evaluation, edited by I. E. Lager and Li Jun Jiang, IOS Press, The Netherlands, ISBN 978-1-61499-229-5, 2013, pp.127-141.

2. T. Kikkawa, "Advanced interconnects for ULSI technology" 15 章 "Wireless Inter-chip Interconnects," pp543-565, 2012, edited by M. R. Baklanov, P. S. Ho, E. Zschech, John Wiley & Sons, Ltd, United Kingdom ISBN 978-0-470-66254-0

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 4件)

名称: アンテナアレイ装置及び異常組織検出装置

発明者: 吉川公麿他

権利者: 広島大学

種類: 特許

番号: 特願 2012-288148

出願年月日: 2012/12/28

国内外の別: 国内

名称: 半導体スイッチ回路及び異常組織検出装置

発明者: 吉川公麿他

権利者: 広島大学

種類: 特許

番号: 特願 2012-178289

出願年月日: 2012/8/10

国内外の別: 国内

名称: 位相同期ループ回路及びデッドゾーン生成回路

発明者: 吉川公麿他

権利者: 広島大学

種類: 特許

番号: 特願 2012-170091

出願年月日: 2012/7/31

国内外の別: 国内

名称: チップ間通信システム及び半導体装置

発明者: 吉川公麿他

権利者: 広島大学

種類: 特許

番号: 特願 2011-059883

出願年月日: 2011/3/17

国内外の別: 国内

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

吉川 公麿 (KIKKAWA TAKAMARO)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学研究所・教授

研究者番号: 6 0 3 0 4 4 5 8

(2) 研究分担者

横山 新 (YOKOYAMA SHIN)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学研究所・教授

研究者番号: 8 0 1 4 4 8 8 0

(H21-H23)

小出 哲士 (KOIDE TETSUSHI)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学研究所・准教授

研究者番号: 3 2 0 4 3 5 9 6

(H21-H23)

茅場 靖剛 (KAYABA YASUHISA)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学研究所・研究員

研究者番号: 0 0 4 2 3 3 7 7

(H21-H22)

熊木 武志 (KUMAKI TAKESHI)

広島大学・ナノデバイス・バイオ融合科学研究所・研究員

研究者番号: 6 0 4 5 2 5 9 6

(H21-H21)

(3) 連携研究者

()

研究者番号: