

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 16 日現在

機関番号：13301

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12504

研究課題名(和文)高周波集積回路技術を利用した生体透過計測法の基礎の確立

研究課題名(英文)Study of biological transmission measurement system by RF integrated circuits

研究代表者

北川 章夫 (Kitagawa, Akio)

金沢大学・電子情報学系・教授

研究者番号：10214785

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：高周波集積回路技術を利用した生体の透過画像計測の基礎を確立するための研究を実施した。具体的な応用として、生体の骨密度計測やCT像の取得を想定し、ミリ波～サブミリ波帯の光源と受光器の実現方法について検討を行った。本研究の特長は、従来のX線や赤外光非侵襲計測システムとは異なり、量産が可能な最先端のシリコン集積回路技術を利用した光源と受光器を使用し、生体への負荷がなく、小型で取り扱いの容易な計測システムを構成することを目的としている点にある。テラヘルツ領域での、生体組織の透過スペクトラムの計測、光源と受光器の回路の提案および試作などを行った。

研究成果の概要(英文)：The study of the biological transmission measurement system based on the RF integrated circuits has been conducted. In this study, the implementation method of the source and receiver for millimeter and sub-millimeter wave is proposed to measure the bone density and to obtain the CT images. The proposed measurement method is less harmful to the humans and the measurement system is the small-sized and with easy-handling. In the millimeter and sub-millimeter wave, the transmission spectrum of meat and bone was measured with the terahertz spectroscopic instrument.

研究分野：ナノマイクロシステム

キーワード：生体計測 テラヘルツ波 CT シリコン集積回路

1. 研究開始当初の背景

日本国内の骨粗鬆症の患者は高齢者を中心に年々増加しており、厚生労働省では、自覚症状のない未受診者を含め、推計で 1100 万人を超えると推定している。骨粗鬆症の初期段階に自覚症状はなく、骨折して初めて気付くケースも少なくない。このため、健康診断で骨密度を調べ、予防を行うことが必要である。X 線撮影による診断が行われているが、被曝量の制限や妊娠中には適用できないなどの制約がある。X 線撮影に代わる生体内の観察方法として、近赤外光を用いる光 CT(断層撮影)が提案されており、安全で非侵襲の診断技術として期待されているがい、生体による赤外線吸収のため、身体深部の CT 像が得られないなどの制約がある。

サブミリ波帯の電磁波は、導体以外の物質を透過する性質があるため、光 CT の光源をサブミリ波帯の光源に置き換えることにより、人体の透過像や深部の CT 像の撮影ができると予想されるが、同時に水分子による吸収も発生するため、観測対象によって、適切な周波数帯域を選定する必要がある。このため、各種の生体組織に対する吸収率の周波数スペクトルを明らかにする必要がある。さらに、周波数や放射パワーを制御できる光源と受光器を新たに開発する必要がある。サブミリ波帯を含むテラヘルツ波の光源として、自由電子レーザー(1977, スタンフォード大学)、ジョセフソン素子(2007, 筑波大学)、共鳴トンネルダイオード(2013, 東京大学)などが知られているが、周波数や放射パワーの制御と伝送路やアンテナを含めたシステムの構築という点で未だ難易度の高い技術である。近年、100GHz 程度の周波数であれば、周波数、位相、パワーの制御が可能でシリコン集積回路による発振器によるサブミリ波の発生が可能になりつつあり、これを利用したレーダや超広帯域通信技術の研究開発が活発化している。国際半導体技術ロードマップ(<http://semicon.jeita.or.jp/STRJ/>)により、2010 年代にシリコン半導体技術を用いてミリ波～サブミリ波の電磁波が制御可能になると予想されている。このため、シリコン集積回路技術を、生体組織を調べるための光源および受光器として利用できる可能性が高い。

2. 研究の目的

FD-SOI (Fully-depleted silicon on insulator) または SOTB (Silicon on thin buried oxide) などの最新のシリコン集積回路技術を利用し、周波数範囲 10GHz, 出力 10dB の周波数制御発振回路、受光器としての広帯域増幅回路、周波数および送信電力の測定回路を 1 チップ上に搭載する。また、筋肉や骨組織の透過スペクトラムを明らかにし、ミリ波～サブミリ波帯電磁波の生体透過画像撮影への応用可能性を示す。

生体組織によるミリ波～サブミリ波の吸

収、散乱、透過スペクトラムは未知であり、これを実測、解明することにより、電磁波による透過像撮像や断層撮影への適用が可能になる。本研究では、最初のミリ波～サブミリ波帯における生体組織の連続スペクトラム実測例を示すことを目的とする。研究の過程で試作する集積回路は、制御可能な光源と受光器および計測システムの設計指針を提供するものであり、各種の透過画像計測への展開が可能である。例えば、X 線撮影に代わる体に優しい非侵襲の撮影法として、骨粗鬆症の早期診断や経過観察に利用できる。吸収、散乱の小さい周波数領域が発見されれば、人工網膜等の体内に埋め込まれたインプラント電子デバイスへの無線送電技術としても利用できる。

生体計測へのミリ波応用としては、これまでに、一定周波数における誘電率と血糖値や歯牙う蝕との関係など研究されているが(情報通信研究機構、東北大学など)本研究では、誘電率のような物性情報の解析ではなく、透過画像や CT 像への展開を視野に入れ、生体組織のスペクトラムを得ることを目的としている点で、従来の研究とは異なっている。また、原理的には、既に研究が進んでいる光 CT と同じであるが、集積回路の光源を使用することにより、周波数を連続可変制御することにより、カラー画像や周波数差分画像のような情報量の多い画像を得ることを将来の最終的な目的としている。

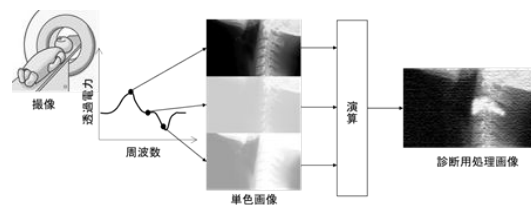


図 1 ミリ波～サブミリ波スペクトラムを利用した透過画像撮影装置のイメージ図

3. 研究の方法

(1) 光源と受光器の仕様

光源と受光器の試作には、東京大学 VDEC が提供する 65nm SOTB の製造技術を利用することを想定して、回路およびアンテナの設計を行った。表 1 に目標仕様の概略を示す。

表 1 仕様概要

機能	項目	目標値
光源	周波数範囲	1GHz - 120GHz
	出力	0dBm - 10dBm
	位相雑音	-110dBm/Hz@100MHz
受光器	周波数精度	-16bit
	受信感度	-100dBm
	変換効率	24%
	電力測定範囲	26dB

(2) 光源と受光器の要素回路およびアンテナの設計と試作

光源と受光器の回路は、一般的な無線通信

用の電圧制御発振器と受信信号強度検出回路により実現する。周波数とパワーの外部計測が困難であることを考慮して、計測回路を同一チップ上に搭載した。光源と受光器に必要な要素テスト回路とアンテナを単一チップに搭載し、最終的には1チップで光源と受光器の両方の用途に使用できるようにする。光源+受光器チップの構成例を、図1に示す。

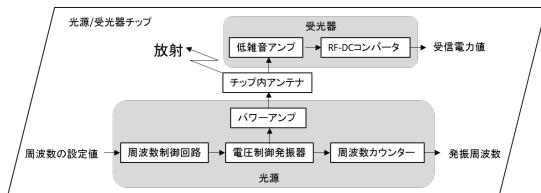


図1 光源+受光器チップの構成例

(3) 試作回路の評価

試作したチップを用いて、回路の特性評価と、食肉の筋肉や骨組織などをサンプルに送受信特性の測定を行い、透過測定が可能であるか調べる。

(4) 生体透過画像計測への応用可能性の検討

試作した光源と受光器を使用し、測定システムを構築し、ラットを用いた透過、散乱、吸収スペクトラムの測定、骨密度の測定および従来法の結果との比較を行い、カラー透過像およびカラーCT画像撮影の可能性について検討を行う。

4. 研究成果

(1) サブミリ波帯の吸収スペクトラム

発振回路の設計と回路シミュレーションを実施した結果、65nmのLSI製造技術では、90GHz以上の発振周波数を達成することが難しいと判断した。また、できるだけ広範囲の周波数スペクトラムを調べることにし、透過画像計測に最適な周波数を明らかにする目的で、市販の光式テラヘルツ領域周波数分解装置を活用することにした。日本分光株式会社FARIS-1J(東京大学大規模集積システム設計教育研究センター設備)を使用し、100GHz~3THzの吸収スペクトルを測定した。迷光やLSIの発熱による輻射の影響が見られ、より詳しい解析が必要だが、必ずしも、レーザや発振デバイスのような光源は必要ではなく、光源は熱輻射で代用可能であることが分かった。

(2) 光源と受光器の設計と試作

低電圧での高速動作が可能なMOSトランジスタが製造できる、65nm SOTB(Silicon on thin buried oxide)およびFD-SOI(Fully-depleted silicon on insulator)製造技術を使用し、回路の設計を行った。チップ上にマイクロストリップ共振器を用いた、コルピッツ型電圧制御発振器を設計したところ、90GHz前後の周波数で動作することが分

かった。ただし、電圧制御発振回路の周波数可変レンジが狭く、高い発振周波数と広い周波数レンジの両立が困難であることも分かった。このため、当初の計画を変更し、光源ではなく、受光器側で、周波数選択を行う方式を採用した。サブミリ波帯の吸収スペクトラムの測定結果から、光源は、熱輻射が行われる素子であれば使用できると考えられるため、受光器が完成したら、複数の候補デバイスを光源にした通信実験を実施する予定である。

受光器は、アンテナ、低雑音アンプ、RF-DCコンバータ、周波数カウンタで構成され、受光強度に応じて、アナログ直流電圧を出力する構成とした。試作品は、今年度納品予定であるため、試作チップが納品され次第、動作確認ができるように、評価システムを構築した。

(3) 生体透過画像計測への応用可の検討

試作した受光器を使用して、CT画像が得られるかどうか調べるため、赤外線を用いた可視光CT測定装置を借り入れ、改造を行うための装置と計測ソフトウェアの準備設計を行った。サブミリ波帯CTも赤外線CTも、動作原理は同じであり、光源と受光器の試作品に置き換えるだけで、光CTとサブミリ波CTの結果を比較することができる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計3件)

1. Jumadi M. Parenreng and Akio Kitagawa, A Model of Security Adaptation for Limited Resources in Wireless Sensor Network. Journal of Computer and Communications, 5, 10-23, March 2017. DOI: 10.4236/jcc.2017.53002 (査読有り)
2. Arief SUDARMAJI and Akio KITAGAWA, Application of Temperature Modulation-SDP on MOS Gas Sensors: Capturing Soil Gaseous Profile for Discrimination of Soil under Different Nutrient Addition, Journal of Sensors, Vol. 2016 (2016), Article ID 1035902, 11 pages, March 2016. DOI: 10.1155/2016/1035902 (査読有り)
3. Shigeo M. Tanaka, Kohei Tachibana, Frequency-dependence of mechanically stimulated osteoblastic calcification in tissue-engineered bone in vitro, Annals of Biomedical Engineering, Vol.43, No.9, pp.2083-2089, Jan. 2015. DOI: 10.1007/s10439-014-1241-z (査読有り)

〔学会発表〕(計8件)

1. Jumadi M. Parenreng and Akio Kitagawa,

- A Model of Security Adaptation for Limited Resources in Wireless Sensor Network, The 4th Conference on Sensors and Networks (CSN 2017), 3-6, 2017.3.19(18-20), Xi'an, China.
- 今村竜, 北川章夫, SRAM 構造を用いた確率的 A/D 変換器, LSI とシステムのワークショップ 2016, 東京大学生産技術研究所 (東京都), 2016.5.16-17.
 - Jumadi M. Parenreng, Akio Kitagawa, Adaptability resource and security based workload system on wireless sensor network, LSI とシステムのワークショップ 2016, 東京大学生産技術研究所 (東京都), 2016.5.16-17.
 - 北川章夫, パラメトリック ESR による微量フリーラジカルセンサ, LSI とシステムのワークショップ 2016, 東京大学生産技術研究所 (東京都), 2016.5.16-17.
 - 電子情報通信学会総合大会, 小松拓夢, 北川章夫, 遺伝的アルゴリズムによるスタンダードセル自動配置手法, C-12-35, 九州大学(福岡県), 2016.3.17
 - 北川章夫, 端崎諄, 今村竜, 石黒健太, 社会インフラモニタリングのための高効率環境発電無線センサシステム, SENSOR EXPO JAPAN 2015, 東京ビッグサイト (東京都), 2015.9.16-18.
 - 藪見啓輔, 今村竜, 北川章夫, 確率的直並列型 A/D 変換器のアーキテクチャの考案及び設計法の提案, LSI とシステムのワークショップ 2015, 北九州国際会議場 (福岡県), 2015.5.11-13.
 - 北川章夫, これからのシステムとアナログ回路 (パネル), 第 19 回 アナログ VLSI シンポジウム, 東京工業大学(東京都), 2015.4.24.

〔図書〕(計 1 件)

- 北川章夫, LTspice 電子回路シミュレータ, 183 ページ (1 - 183), ISBN978-4-7775-1936-1, 工学社, 2016.2.

〔その他〕

ホームページ等
<http://www.merl.jp>

展示会デモ展示

SENSOR EXPO JAPAN 2015, 社会インフラモニタリングのための高効率環境発電無線センサシステム, 東京ビッグサイト, 2015.9/16-9/18.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北川 章夫 (KITAGAWA, Akio)
金沢大学・理工研究域電子情報学系・教授
研究者番号: 10214785

(2) 研究分担者
なし

(3) 連携研究者

田中 茂雄 (Tanaka, Shigeo)
金沢大学・理工研究域機械工学系・教授
研究者番号: 20262602

(4) 研究協力者
なし