

令和 3 年 5 月 28 日現在

機関番号：34315

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H02347

研究課題名(和文)自動追尾機能をもつ超低消費電力MEMSアンテナの研究

研究課題名(英文)Ultra-low power consumption MEMS antenna with automatic trace function

研究代表者

鈴木 健一郎 (Suzuki, Kenichiro)

立命館大学・理工学部・教授

研究者番号：70388122

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,450,000円

研究成果の概要(和文)：今日、IoT無線通信やRF電力送信の分野で使われるRF信号がミリ波の領域に達するようになり、無線ビームを電氣的に走査することができるフェイズドアレイアンテナ(PAA)に大きな注目が集まるようになった。PAAでは高周波信号が回路内で大幅に減衰することが深刻な問題であり、これを補償するために回路全体が大型化するという課題があった。我々は、低損失MEMSスイッチを利用したPAAの実現に挑戦し、国内で初めて24GHz準ミリ波帯ビーム走査の実証に成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

機械構造の微小化により従来では不可能であった機械の高速動作が可能である。今回、この優れた機械特性を高周波電気特性に融合させようとする新しい研究であり、この分野は今後大きく発展することが期待できる。また、この研究によって獲得した、優れた電気特性をもち、同時に高速動作する機械の実現は、現在の社会が強く望んでいるPAA等の情報通信技術において革新をもたらすものと期待される。

研究成果の概要(英文)：Recently, the RF signal used for IoT wireless communication and RF power transportation has reached to the millimeter wave band. The RF wave in such a band frequency easily decreases in the air. In order to compensate for it, phased-array antenna (PAA) are strongly attracted. However, an overall of the PAA's is complicated and this causes to a serious problem, such as large, heavy, and expensive. We have challenged to the PAA's which consists of MEMS switches. A fabricated PAA has successfully provided the beam scanning in the 24 GHz range. This is the first success of MEMS PAA in Japan.

研究分野：RF-MEMS

キーワード：RF-MEMS アンテナ 移相器 MEMSスイッチ ミリ波 ビーム走査 PAA 機械走査

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

今日、IoT無線通信やRF電力送信の分野で使われるRF信号がミリ波の領域に達するようになり、無線ビームを電氣的に走査することができるフェイズドアレイアンテナ(PAA)に大きな注目が集まるようになった。PAAは、ビーム走査に機械的な構造を持たないために高速動作が可能であるが、高周波駆動回路が複雑であることから装置が大型で高価になるという課題があった。一方、機械走査型アンテナは構造が簡単であるが、高速動作に不適であるために、空港の飛行機管制制御等の低速走査の分野で应用されているだけであった。

今日、急速に進展する情報化社会はRFの高周波化とブロードバンド化を要求しており、これに応えることができる新たな技術を強く求めている。

2. 研究の目的

我々は、低損失MEMSスイッチを利用してこの高周波移相器回路の簡略化を図ることによってPAAの構造を簡略化しようと研究を進めた。また、MEMS技術を用いて機械走査構造の大幅な微小軽量化を実現することにより、高速動作する機械走査型アンテナの実現可能性を検討することにした。

3. 研究の方法

アンテナ作成において大きな課題の一つが移相器表面パターンと裏面グラウンド板を導通するviaの形成である。過去に形成したviaがMEMSスイッチプロセスの過程で溶け出して移相器の高周波特性が劣化するという問題が発生した。今回、我々は、viaを永久レジストを用いて保護することによってこの問題を解決することにした。そして、PAAを構成するアンテナ要素、移相器、分配器の作製評価を進めて、最後に、これら三つのコンポーネントをアルミワイヤを用いてハイブリッド接続してPAAアンテナを実現することにした。

アンテナ特性は実装方法に強く依存していることから、異なる実装方法について詳細な研究を行うことは適切である。本研究では、セミラック、シリコン、有機材料のそれぞれの基板を用いた実装方法について検討した。

このMEMSスイッチを用いたPAAアンテナの他に、アンテナの高速機械振動を可能にする機械走査式MEMSアンテナ、および、ブロードバンドな流体アンテナという新規アンテナについてもその実現可能性を探ることに挑戦した。

4. 研究成果

A) PAAアンテナ

永久レジスト保護によりvia形成に成功した(図1)ため、RF特性の優れたMEMSスイッチが作成できるようになり(図2)、また2ビット移相器も作成できるようになった(図3)。この移相器で実現できる移相量は計算結果とよく一致するものであった(表1)。このMEMS移相器に加えてアンテナ要素および分配器というPAAを構成する要素の作製評価も順調に進んだ。そして、これら三つのコンポーネントをアルミワイヤ接続を最適化してそれぞれのアンテナ要素を結合したハイブリッド構造MEMSアンテナを試作(図4)評価した結果、24GHz準ミリ波帯ビーム走査の実証に成功したことを確認できた(図5)。これは国内最初のPAA-MEMSアンテナのビーム走査の実証である。

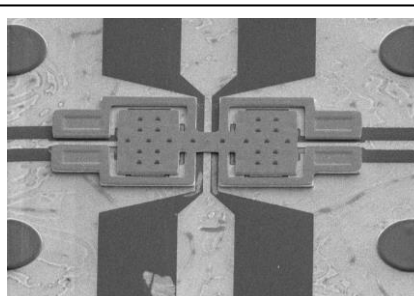


図1 MEMSスイッチと永久レジストで保護されたvia

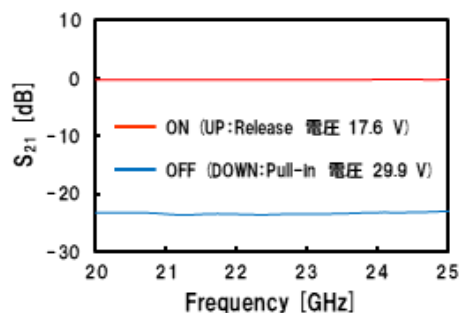


図2 MEMSスイッチの高周波特性(測定値)

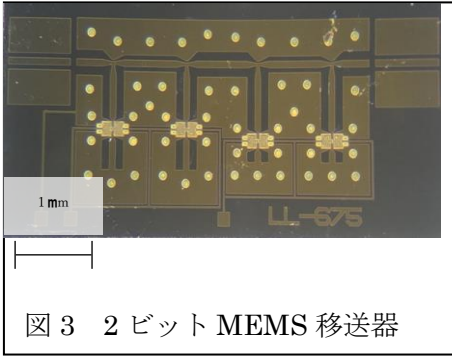


図3 2ビット MEMS 移送器

表1 2ビット MEMS 移送器の移相量

移相量 @ 24 GHz	実測値(解析値) [deg]
45° loaded-line移送器	20.28 (22.60)
22.5° loaded-line移送器	44.04 (45.98)
67.5° loaded-line移送器	64.32 (68.58)

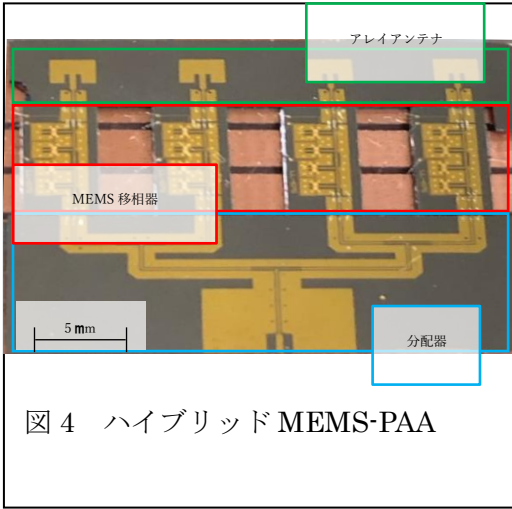


図4 ハイブリッド MEMS-PAA

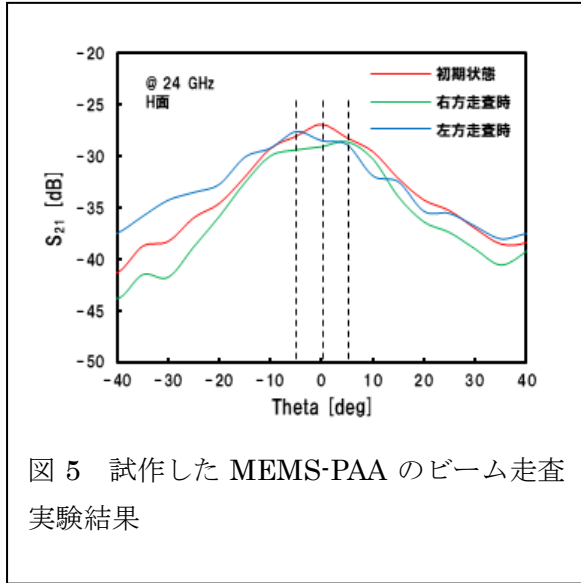


図5 試作した MEMS-PAA のビーム走査実験結果

B)機械走査式アンテナ

一方、PAAに代わる新規アンテナとして研究を開始した機械振動式アンテナ（高速(約1 kHz)で広角度 (> 10°)に走査可能)において、シリコンアンテナ要素を搭載したアクチュエータの設計作製を行った(図6)。アンテナ要素を搭載すると質量が増大するために走査速度が遅くなるという課題があるが、今回、構造全体の設計改良を行い、先行研究とほぼ同等の機械特性でアンテナを動作できることを実証した。

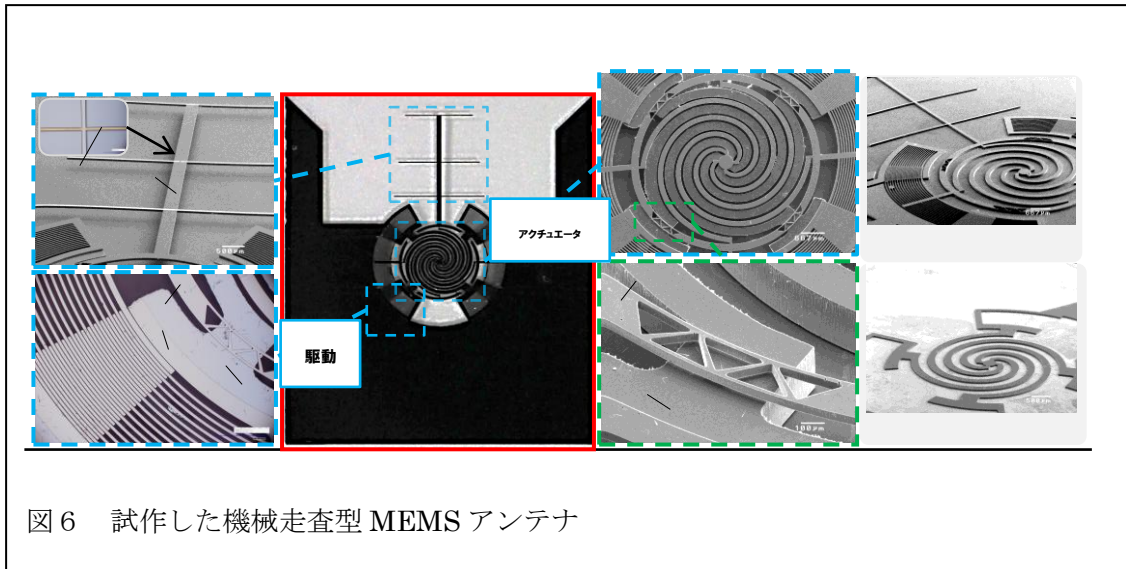
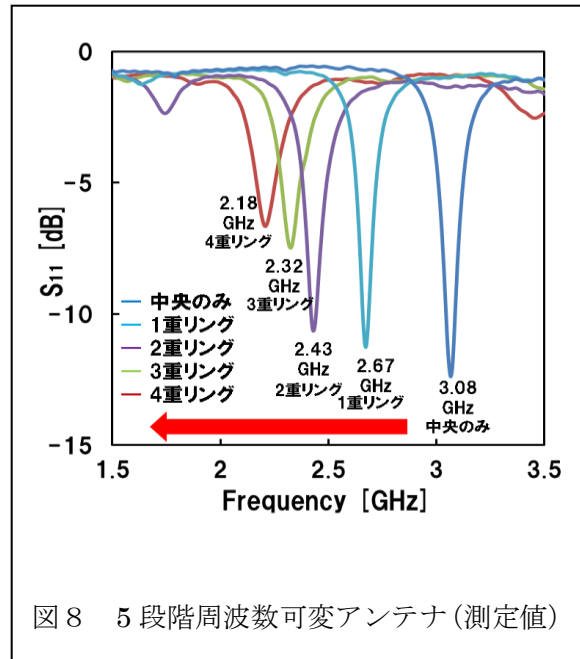
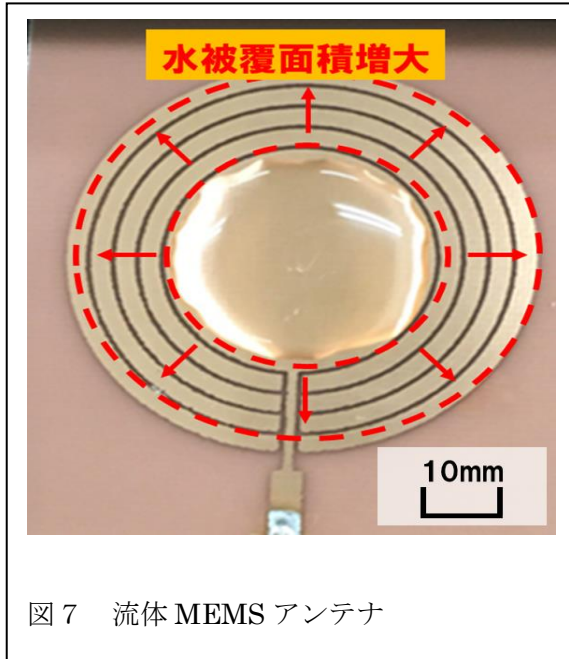


図6 試作した機械走査型 MEMS アンテナ

C) MEMS 流体アンテナ

水を利用した周波数可変アンテナの研究では、誘電率の大きい水を搬送させることによって大きな静電容量可変率が実現できるということを利用して、複数の広い周波数帯に対応して大きな比率で周波数可変できるアンテナを試作（図7, 8）し、シリコン基板を使用するとアンテナを大幅に小型化できることを実証した。



5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1 . 発表者名 K. Yasuhira, K. Matsuoka, and K. Suzuki
2 . 発表標題 Development of a mechanically-vibrating MEMS antenna installed with a linear RF antenna array element
3 . 学会等名 The 4th Internatioanal Symposium on Biomedical Engineering (ISBE) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Yagi, D. Shibata, Y. Shibasaki, H. Miyabe, and K. Suzuki
2 . 発表標題 Qasi-millimeter wave MEMS phase-shifter with through-holes passivated by permanent resisit
3 . 学会等名 The 4th Internatioanal Symposium on Biomedical Engineering (ISBE) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 T. Yamamoto, T. Furutsuka, D. Shibata, Y. Shibasaki, H. Miyabe, and K. Suzuki
2 . 発表標題 Quasi-millimeter silicon hybrid antenna with a MEMS phase-shifter protected by permanent resist
3 . 学会等名 the 36th Sensor Symposium
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 K. Yasuhira, T. Furutsuka, H. Tanigawa, and K. Suzuki
2 . 発表標題 Vibratory silicon MEMS antenna integrated with a beam forming antenna array
3 . 学会等名 the 36th Sensor Symposium
4 . 発表年 2019年

1. 発表者名 Y. Yamoto, K. Yasuhira, and K. Suzuki
2. 発表標題 Non-contact motion detective sensor utilizing a mechanically-vibrating MEMS antenna
3. 学会等名 The 3rd Internatioanal Symposium on Biomedical Engineering (ISBE) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本崇広、伴野友彦、古塚岐、鈴木健一郎
2. 発表標題 準ミリ波帯シリコンハイブリッドMEMSフェーズドアレイアンテナの基礎検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 八木剛至、伴野友彦、古塚岐、鈴木健一郎
2. 発表標題 LTCC基板を使った準ミリ波帯ハイブリッドMEMSフェーズドアレイアンテナの基礎検討
3. 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. Yasuhira, Y. Yamoto, T. Furutsuka, H. Tanigawa, and K. Suzuki
2. 発表標題 Development of a mechanically-vibrating MEMS antenna installed with a silicon antenna
3. 学会等名 the 35th Sensor Symposium on Sensors, Micromachines and Applied Systems
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 伴野、古塚、鈴木
2. 発表標題 準ミリ波帯シリコンハイブリッドMEMSフェイズドアレイアンテナの基礎検討
3. 学会等名 信学技報 (IEICE Technical Report)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 仕田中、土谷、古塚、鈴木
2. 発表標題 流体を利用した広帯域周波数可変MEMSアンテナの開発
3. 学会等名 信学技報 (IEICE Technical Report)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Nishio, T. Furutsuka, and K. Suzuki
2. 発表標題 Millimeter-wave radar with vibratory MEMS Yagi-Uda antenna
3. 学会等名 The 2nd Internatioanal Symposium on Biomedical Engineering (ISBE) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Shitanaka, T. Furutsuka, and K. Suzuki
2. 発表標題 Fundamental research on variable frequency fluid MEMS antenna
3. 学会等名 the 9th Integrated MEMS Symposium
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Yamoto, H. Nishio, Y. Motoki, H. Tanigawa, T. Furutsuka, and K. Suzuki
2 . 発表標題 Study on installation of antenna on a mechanically vibrating MEMS antenna
3 . 学会等名 the 9th Integrated MEMS Symposium
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 T. Banno, T. Higaki, T. Furutsuka, and K. Suzuki
2 . 発表標題 Fabrication of quasi-millimeter wave band hybrid MEMS phased-array antenna
3 . 学会等名 the 9th Integrated MEMS Symposium
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 勝部弘輝、檜垣嵩之、古塚岐、西野朋希、鈴木健一郎
2 . 発表標題 LTCC基板を用いたMEMS移相器のRF特性評価
3 . 学会等名 電子情報通信学会ソサイエティ大会
4 . 発表年 2016年

1 . 発表者名 H. Katsube, T. Higaki, T. Nishino, T. Furutsuka, and K. Suzuki
2 . 発表標題 RF evaluation on MEMS phase-shifter using LTCC
3 . 学会等名 the 8th Integrated MEMS Symposium
4 . 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	谷川 紘 (Tanigawa Hiroshi) (00469199)	立命館大学・総合科学技術研究機構・教授 (34315)	
研究 分担者	古塚 岐 (Furutsuka Takashi) (90555608)	立命館大学・総合科学技術研究機構・教授 (34315)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------