

「先進的統合センシング技術」

平成 17 年度採択研究代表者

石田 誠

(豊橋技術科学大学 教授)

「社会の安全・安心に貢献するユビキタス集積化マイクロセンサの開発」

1. 研究実施の概要

本研究は、社会の安全・安心に貢献するユビキタスセンサネットワークにおけるセンサ・マイクロノードの実現を目的として、要素技術となるRF回路集積型スマートセンサ形成プロセスの確立、自立発電システムの開発、ならびに、マイクロセンサノードの応用に関する実証実験を行う。最終的に、マルチモーダルセンサデバイス技術の開発、ならびにユビキタスセンサ・マイクロノードの形成と実証評価を実施する。

豊橋技術科学大学を中心とし、セイコーインスツル、理化学研究所、ならびに産業技術総合研究所から構成されるチームにおいて、無線供給電力を用いた自立発電システムの設計、RF 対応集積回路・MEMS 統合プロセス技術の開発、ならびに、マイクロセンサノードの応用評価に関する実験を行った。

2. 研究実施内容

(1) 無線供給電力を用いた自立発電システムの設計：

センサチップからの通信機能を 300MHz の微弱無線ベースで構築し、電力供給も外部無線により行う双方向システムの実現を目指し、特に電磁波によるエネルギー伝送原理を利用して、チップ付属のアンテナで駆動電力の発電を行う方法を検討した。電源回路部の実現に向けて、高性能な表面実装型受動素子 (SMD) を集積化技術的な一括工程でマイクロチップ上に一体化する技術を確立した。図 1-1 は、チップサイズを想定した電力受信用マイクロアンテナ素子の写真である。また、SMD の一体化によって製作する電源回路の構成について検討を行い、計算機解析により設計した回路を個別部品で製作して電力受信の予備実験を行った。利用可能電力の実験検証を行った。図 1-2 はそれらを高密度実装して製作した試作回路である。また、セイコーインスツルとの共同研究により、シリコンチップ上に形成した無線電源回路を製作することが出来た。製作した CMOS 回路は、広い温度範囲にわたって、受信した無線電力を安定した直流電力へ変換することが確認できた。今後は、これらの製作した回路について無線伝送電力受信に関する性能評価を実施してゆく予定である。

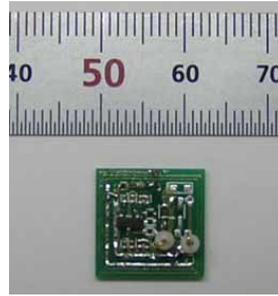


図 1-1 試作したチップサイズアンテナ 図 1-2 高密度実装技術で製作した無線電源回路

(2) RF 対応集積回路・MEMS 統合プロセス技術の開発：

本学はこれまで、CMOS 集積回路と MEMS 素子を一体化する集積化技術をすでに確立済みであるが、本研究では、それに加え無線通信回路 (RF 回路) の集積化技術を確立する。本プロジェクトで導入した各装置の実験条件の最適化を行いながら、回路の微細加工精度の向上、3次元加工技術の開発等を行うことにより、300MHz 帯の信号出力回路 (VCO) の製作に成功した。下図 2-1 は製作した VCO の周波数電圧制御特性である。

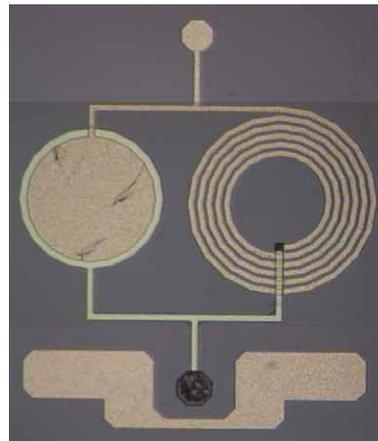
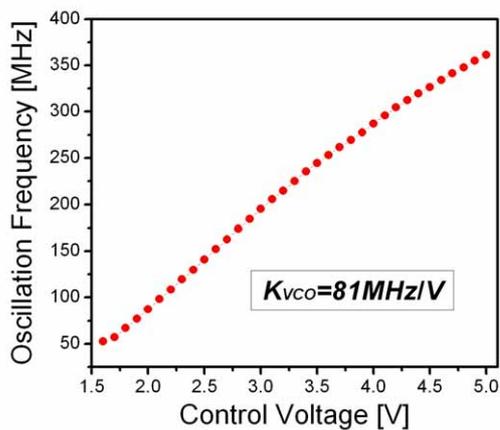


図 2-1 300MHz-VCO の周波数電圧制御特性 図 2-2 信号送信用チップ上アンテナ

また、300MHz の微弱電波に向けた信号送信用チップ上アンテナを製作した。図 2-2 は製作したアンテナの写真である。VCO とアンテナ間のインピーダンスマッチングにより、アンテナからの電力放射効率を大きく改善でき、数m以上の距離まで搬送波の伝搬を確認することが出来た。具体的には、5m の距離において-37dBm (約 0.2 μ W) の信号がセンサより受信された。これらを合わせて同一チップ上に集積化することにより、超小型無線マイクロセンサの実現が期待できる。

(3) マイクロセンサノードの応用評価に関する実験：

本研究課題で開発されるユビキタスセンサ・マイクロノードの新しい応用分野開拓を目

指し、センサの実使用フィールドにおける実験を通じて、マイクロノードの応用における実証評価を実施した。これらの実験については、豊橋技術科学大学と産業技術総合研究所、ならびに理化学研究所等のグループと共同して課題開始当初より実施されている。無線マイクロノードが適用可能な応用分野を想定しつつも、まずは無線での使用状態を想定した有線接続の状態ではセンサ特性の評価を実施している。

昨年度に引き続き、本年度においてもラットの顔面神経を用いたマイクロプローブセンサの特性評価を行っている。これらの実験では、神経細胞電位をアレイセンサを用いて計測することにより二次元空間の観測が可能となっている。実際に顔面神経からの誘発集合電位の取得に成功している。またセンサ素子だけでなく、本デバイスを用いて顔面神経に電流を流すことによりラットのヒゲを動かすなど刺激デバイスとしても応用が可能であることを確認している。ここで信号電位の大きさは数百マイクロボルトであるため、チップ上にアンプなどを一体化したデバイスの効果について理論計算的に算出した結果、回路と一体化することにより信号減衰率の低減により単一細胞からの信号検出が期待出来る。

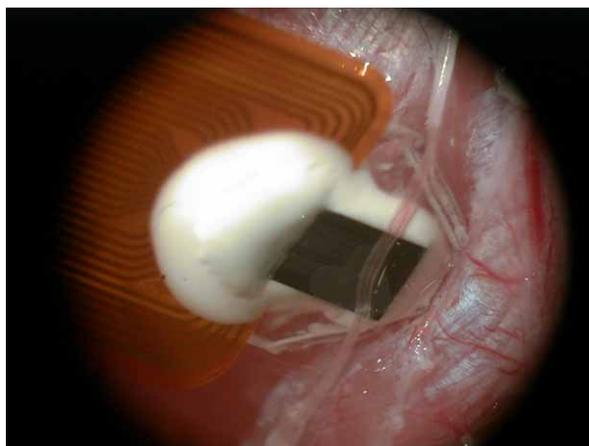


図 3-1 マイクロプローブセンサによるラットの末梢神経計測実験

図 3-1 に、本センサチップを用いたラットの末梢神経計測の様子を示す。本計測は有線状態での信号計測であり、さらにアレイ電極を用いて計測を行っているため、チップ以外の配線が複雑化している。これにより測定部位が限られてしまい、計測における測定対象への施術を困難にしている。さらに、電極部位の開発のみでなくチップサイズの最適化が必要である。本評価で得られた結果をもとに、想定される使用環境の特性を明確にし、集積化するマルチモーダルセンサの仕様決定に必要な知見を得ることができたと考える。

3. 研究実施体制

(1)「豊橋技術科学大学」グループ

①研究分担グループ長:石田 誠(豊橋技術科学大学 教授)

②研究項目

- ・無線供給電力を用いた自立発電システムの構成検討
- ・RF 対応集積回路・MEMS 統合プロセス技術の開発準備
- ・マイクロセンサノードの応用評価に関する実験と検討

4. 研究成果の発表等

(1)論文発表(原著論文)

- M. Sudou, H. Takao, K. Sawada, and M. Ishida, “Wafer-level integration technique of surface mount devices on a Si-wafer with vibration energy and gravity force”, IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies, To be published, 2007.
- J. W. Kim, H. Takao, K. Sawada, and M. Ishida, “Evaluation of Monolithically Integrated Antennas and RF Transmitters for Silicon Smart Micro Sensors with Wireless-Communication Ability”, IEE Japan Transactions, To be published, May 2007.
- M S Islam, T Kawashima, K Sawada, and M Ishida, Properties of a pn junction developed with a Si microprobe by vapour-liquid-solid growth using in situ doping, Semicon. Sci. Tech., Vol.21, pp.1364-1368, 2006.
- J.S. Kim, M. Shahjahan, H. K. Mosammat, K. Sawada, M. Ishida, Electrical characteristics of epitaxial γ -Al₂O₃/Si for quantum tunneling device, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.45, 6A, pp.5107-5109, 2006.
- T.Hizawa, K.Sawada, H.Takao, M.Ishida, “Characterization of Highly Sensitive pH Sensors with Charge Accumulation Operation”, Japanese Journal of Applied Physics, Vol.45, 12, pp.9259-9263, 2006.

(2)特許出願

平成 18年度特許出願:6 件(CREST 研究期間累積件数:9 件)