

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 22 日現在

機関番号：82636

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2016

課題番号：26750385

研究課題名(和文) 多元多重通信が可能な埋込み型多チャンネル神経信号計測システムの開発とBMIへの応用

研究課題名(英文) Development of multi-channel neural recording system utilized multiple/multiplex access and its application to BMI

研究代表者

安藤 博士 (Ando, Hiroshi)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・主任研究員

研究者番号：00638794

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：ブレイン・マシン・インタフェース(BMI)の要素技術として必要な神経信号計測技術において、新しい超多チャンネル計測システムを実現するための研究を実施した。LSIと神経電極の統合化においては、ポリイミドECoG神経電極基板にフリップチップ実装した小型神経信号計測基板を用い、その電気特性や動物実験によるSEP計測などを実施し、小型神経信号計測基板でもその性能に問題がないことを確認した。この結果を踏まえ、1024ch計測が可能な電極一体型ポリイミドフリップチップ実装基板を作成し、SEP計測に成功した。

研究成果の概要(英文)：In this research, we developed a new multi-channel neural recording system for brain machine interface (BMI). In the integration of a neural recording LSI and neural electrodes, we used a flip-chip integration technique with a polyimide 32-ch ECoG electrode substrate. The electrical characteristics of the integrated board was confirmed and the SEP measurements by animal experiments was achieved. As a result, the appropriate SEP reaction was observed and the system was operated in accurate. Based on this result, we fabricated an electrode integrated polyimide flip chip mounting board capable of measuring 1024 channels and also succeeded in SEP measurement.

研究分野：脳信号計測

キーワード：脳信号計測 BMI ECoG 集積回路 多チャンネル計測

1. 研究開始当初の背景

閉じ込め症候群患者 (ALS 等) への応用等を狙った、脳の神経信号を使って外部機器を制御可能なブレイン・マシン・インタフェース (BMI) の開発が進んでいる。研究代表者らも、この社会的要求に応えるべく、低侵襲で脳を傷つけずに済み、比較的高度な情報が得られる皮質脳波 (ECoG) に着目し、高密度で柔軟な ECoG 用神経電極や、アンプ・マルチプレクサ・AD 変換器を一つのチップに搭載したセンサ LSI を開発し、神経電極と組み合わせて 128ch の完全埋込み型皮質脳波 (ECoG) ブレイン・マシン・インタフェースシステムを開発している (図 1)。

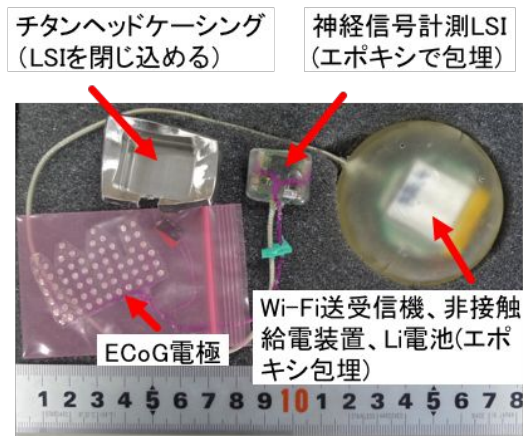


図1 開発した埋込み型無線ECoG-BMIシステム

これまで開発されてきた従来の 100ch 程度の計測では、動作意図を推定する精度は 70%程度で、例えば手の位置の推定や、握る・開くなどは実現できている。しかしながら、より身近に利用できる BMI とするためには、指の動きや関節角度の推定など、より高度な技術が必要である。そのためには計測チャンネル数を増やすことが推定精度向上に重要であると考え、研究代表者らは、上述のシステムを発展し、1000ch 以上の信号神経計測が可能な超多チャンネル計測システムのプロトタイプも開発している。これはデータを多重化するマルチプレクサを用いてセンサ LSI を複数接続可能とし (最大 64 個) 超多チャンネル化に伴い大容量化したデータを ultra wideband (UWB) を使って体内・体外で高速無線通信 (128Mbps) するシステムである。

ここで、開発したプロトタイプシステムでは、神経電極とセンサ LSI は完全に別々の製造物であり、両者の接続は手作業により行う必要があった。そのためには、接続部の面積を大きくする必要があり、かつ 1 センサ LSI あたり 64 個の手配線部分が存在するため、センサ LSI が実装される基板はチップ面積の 12 倍もの面積を必要としており、複数 LSI 接続時に神経信号計測部のサイズが肥大化してしまうという課題があった。また、脳表

に分散的に電極を配置して包括的に脳神経信号を計測するには、LSI をつなく配線を共有化した多元多重通信が不可欠である。そのため、LSI 実装基板の小型化だけでなく、電極と LSI の一体化や LSI 間の無線多元多重通信などが必要であり、実現すれば将来的に 1 万、10 万チャンネルと飛躍的に計測チャンネル数を増やすことに繋がる。

2. 研究の目的

従来の 100ch 程度でしかなかった神経細胞活動記録を、1000ch 以上でかつ包括的に計測することができる、新しい超多チャンネル皮質脳波計測システムを開発することを目的し、神経電極とセンサ LSI の統合の課題や、複数のセンサ LSI を利用する際の配線課題を解決して達成する。本技術を用いることで、動物実験等を通して、ブレイン・マシン・インタフェースの動作意図推定精度と計測チャンネル数・計測部位との関係が明らかになると期待される。コンパクトにリアルタイムかつ無線で実現するので、自由行動化での大規模神経活動記録や、新しい動物実験手法の開拓、未知データの取得に伴う新たな脳活動ネットワークの解明につなげる研究であり、将来的には計測チャンネル数を桁違いに増加させる効果が期待できる。

3. 研究の方法

電極と LSI の一体化に向けた実装方法について、チップサイズレベルで LSI を実装する基本技術としてフリップチップ実装技術を利用する。しかしながら、フリップチップ実装技術は、ECoG 神経電極のような厚さ 20 μm と非常に薄くて柔らかいものへの対応を考慮した技術ではなく、現状では実現困難であるので、フリップチップ実装に関する条件出し等を行う。条件出し等を行う際には、テストモジュールとして柔軟電極よりも少し分厚く硬くはあるが、一般的には柔らかい部類とされるポリイミドベースのフレキシ基板へチップを実際に実装し、その電気的特性等を評価してフリップチップ実装に問題がないことを確認する (図 2)。

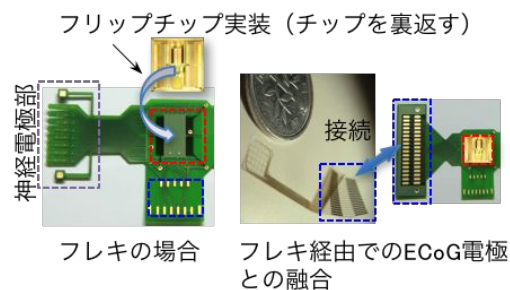


図2 神経電極とセンサLSIとの一体化手法

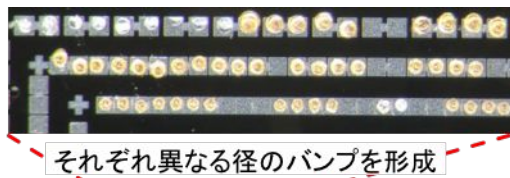
1000ch 計測に向けて、新しく LSI 一体型

ECoG 電極を作成し、これに LSI をフリップチップ実装して、その電気的特性や生体での評価などを行い、システム検討する。

さらに、LSI を複数接続したときの配線複雑化に伴うパッケージ肥大化を解消するため、移動体通信では一般的な CDMA を応用し、まずは有線バス接続として利用して複数 LSI 間のワイヤード多元多重接続を実現することを狙って、有線 CDMA 回路の設計を行う。

4. 研究成果

自身の研究グループが所有するバンプボンダー及びフリップチップボンダーを用い、バンプ直系 $50\mu\text{m}$ 以下のバンプ形成によるフリップチップ実装の条件だしを行った。専用のテスト TEG と実装用基板を用い、複数のバンプを形成して実装テストを行った。



それぞれ異なる径のバンプを形成



5.38 mm

パッドサイズ: $60/65/70\mu\text{m}$

パッドピッチ: $70/80/100\mu\text{m}$

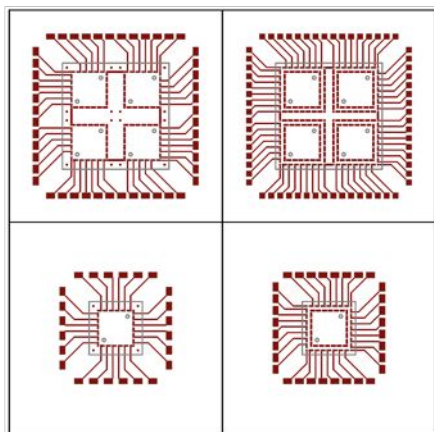


図3 バンプボンディング条件出し専用 LSI基板と導通確認用専用フレキ基板

1000ch 計測システムの開発に向けて、64ch 計測 LSI と ECoG 電極が一体となったポリイミドベースの神経電極を設計した(図4)。

ECoG 電極 1 チャンネルあたりのサイズは 0.5mm 角とし、電極間隔は 1mm とした。LSI 用の電源レギュレーターやコンデンサーも同一基板上に実装する。ポリイミド基板の膜圧は約 $90\mu\text{m}$ であった。

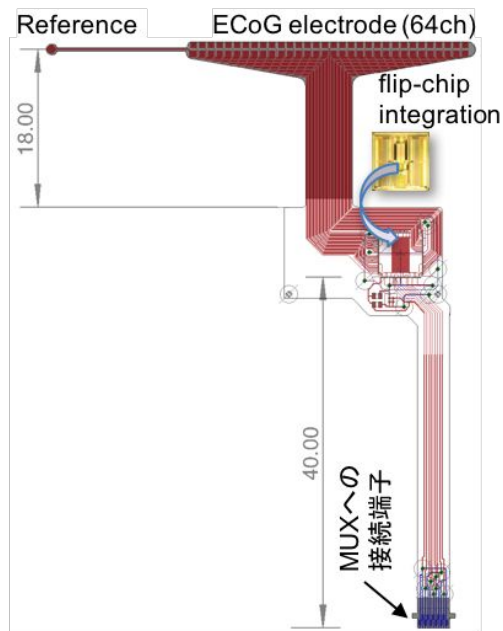


図4 1024ch計測用LSI-ECoG一体化電極

この一体型電極は、MUX 基板を介して 8 個同時接続することで 512ch 計測システムを構成し、これをさらに別の MUX へ接続することで、最大 4096ch 計測システムまで拡張可能である。そのため、MUX 接続時に電極部分の重なり部がそれぞれで発生しないよう、16 種類の一体型電極を設計した。図5には実際に試作した 512ch 計測モジュールの写真を掲載する。

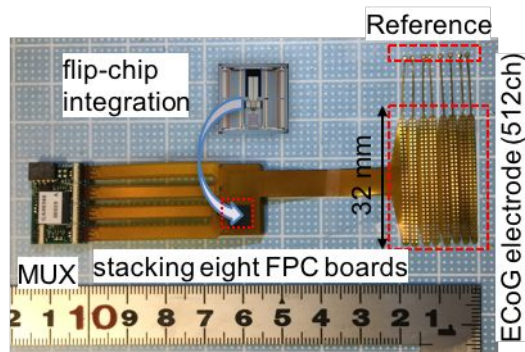


図5 512ch計測モジュール

試作した一体型神経電極と、UWB による超多チャンネル計測システムを用い、動物を用いた急性の SEP 計測実験を行った。神経電極は左半球側で、右手首の対側の運動野及び体性感覚野を覆うように留置した。刺激は右手首の正中神経とし、パルス間隔 370ms 、パルス幅 $200\mu\text{s}$ 、 3mA の電流刺激を行った。刺激装

置は日本光電工業の SEN-8203、アイソレータ SS-203J を利用した。結果として、電流刺激により誘発されたと認識できる明瞭な SEP が観測され、また中心溝を境に位相逆転が起こっており、試作した一体型電極を使った多チャンネル神経信号計測システムの有効性を確認出来た。

LSI を複数接続したときの配線複雑化に伴うパッケージング肥大化を解消するため、移動体通信では一般的な CDMA を応用し、まずは有線バス接続として利用して複数 LSI 間のワイヤード多元多重接続を実現することを狙って、多重化送信回路の回路設計及び回路シミュレーションを実施した。今後の計画として、設計した回路のレイアウトデータ作成、チップ試作を行い、上記多チャンネル神経信号計測システムと融合した新しい計測システムを開発する計画である。

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)

[学会発表](計2件)

土居 慶市、安藤 博士、滝沢 賢一、平田 雅之、鈴木 隆文、“BMI のための LSI 一体型 1024 チャンネル皮質脳波電極アレイの開発”、第 54 回日本生体医工学会大会、2015.5.7-9、名古屋国際会議場(愛知・名古屋市)

Hiroshi Ando, Kenichi Takizawa, Takeshi Yoshida, Kojiro Matsushita, Masayuki Hirata and Takafumi Suzuki, “A Wireless Multichannel Neural Recording System for Implantable Brain-Machine Interfaces”, CBMI2015, Nadao Hall (Tokyo, Chiyoda-ku), March 14-15, 2015.

[その他]

(1)所属機関発行冊子に掲載

(http://www.nict.go.jp/data/nict-news/NICT_NEWS_1510_J.pdf)

6. 研究組織

(1)研究代表者

安藤 博士 (Ando, Hiroshi)

国立研究開発法人情報通信研究機構・脳情報通信融合研究センター脳情報通信融合研究室・主任研究員

研究者番号：00638794