

論文内容の要旨

博士論文題目

広範囲脳機能計測に向けた分散配置方式
超小型生体埋植イメージングデバイスに関する研究

氏名 速水 一

(論文内容の要旨)

本論文は、生体埋植型イメージセンサの分散配置による計測領域の拡大と信号配線の段階的除去による低侵襲化を目的とし、センサチップの小型化、複数チップの一括制御、システムの省配線化を実現する半導体集積回路素子の開発に取り組んだものである。

本論文では、イメージセンサの周辺回路を制御する信号を内部生成することで入力配線数を2本まで削減し、システム全体での低侵襲化を目指したイメージセンサの開発に成功した。本センサシステムはフォトダイオードの蓄積電荷を増幅回路によって読み出す3トランジスタアクティブピクセル方式を基本とし、出力をパルス幅変調することで、出力回路による消費電力を低減するとともに、光や電流などの信号媒体を用いた無線信号伝送を検討した。また、電力の入力端子に、複数センサを順次駆動する制御信号を重畳させ、2配線入力でのID管理による複数センサの同時制御システムを構築した。

無線信号伝送として、出力電極を搭載した小型イメージセンサをマウス脳表上に接触させることで、離れた位置に接触させた別の針状電極との間に微小電流を発生させ、信号を伝送する方式を実現した。撮像した血管像をパルス幅信号によって伝送し、生体内画像伝送を実証した。本成果により、生体埋植型イメージセンサにおいて、出力信号配線による侵襲性増大を抑制する手段を示した。また、別の無線信号伝送として、生体組織を透過する近赤外光LEDをパルス幅信号によって点滅させ、複数のイメージセンサの画像を順次伝送するシステムの構築を行った。2本の共通配線入力に対し、4つのセンサと対応するLEDドライバを順次切り替え、信号を出力するデバイスを試作し、マウス脳表の撮像を行い、複数のセンサからそれぞれ異なる血管像の撮像に成功した。更に、埋植後のメンテナンス性などの観点から無線給電の導入を検討した。生体埋植イメージセンサ向けの無線給電回路の設計を行いシミュレーションでその動作を確認した。これらの結果により、計測中の生体内外に金属配線などの異物を貫通しない完全埋植機器の実現可能性を示すことができた。

本論文の成果は、小型イメージセンサと半導体集積回路技術を用いて、脳内の広範囲で脳神経活動を直接計測し、自由行動中の高次脳機能を詳細に解析する計測システムの実現に寄与すると期待される。

(論文審査結果の要旨)

本論文は、生体埋植型イメージセンサの分散配置による計測領域の拡大と信号配線の段階的除去による低侵襲化を目的とし、センサチップの小型化、複数チップの一括制御、システムの省配線化を実現する半導体集積回路素子の開発に取り組んだものである。

本論文では、イメージセンサの周辺回路を制御する信号を内部生成することで入力配線数を2本まで削減し、システム全体での低侵襲化を目指したイメージセンサの開発に成功した。本センサシステムはフォトダイオードの蓄積電荷を増幅回路によって読み出す3トランジスタアクティブピクセル方式を基本とし、出力をパルス幅変調することで、出力回路による消費電力を低減するとともに、光や電流などの信号媒体を用いた無線信号伝送を検討した。また、電力の入力端子に、複数センサを順次駆動する制御信号を重畳させ、2配線入力でのID管理による複数センサの同時制御システムを構築した。

無線信号伝送として、出力電極を搭載した小型イメージセンサをマウス脳表上に接触させることで、離れた位置に接触させた別の針状電極との間に微小電流を発生させ、信号を伝送する方式を実現した。撮像した血管像をパルス幅信号によって伝送し、生体内画像伝送を実証した。本成果により、生体埋植型イメージセンサにおいて、出力信号配線による侵襲性増大を抑制する手段を示した。また、別の無線信号伝送として、生体組織を透過する近赤外光LEDをパルス幅信号によって点滅させ、複数のイメージセンサの画像を順次伝送するシステムの構築を行った。2本の共通配線入力に対し、4つのセンサと対応するLEDドライバを順次切り替え、信号を出力するデバイスを試作し、マウス脳表の撮像を行い、複数のセンサからそれぞれ異なる血管像の撮像に成功した。更に、埋植後のメンテナンス性などの観点から無線給電の導入を検討した。生体埋植イメージセンサ向けの無線給電回路の設計を行いシミュレーションでその動作を確認した。これらの結果により、計測中の生体内外に金属配線などの異物を貫通しない完全埋植機器の実現可能性を示すことができた。

本論文の成果は、小型イメージセンサと半導体集積回路技術を用いて、脳内の広範囲で脳神経活動を直接計測し、自由行動中の高次脳機能を詳細に解析する計測システムの実現に寄与すると期待される。その成果は、学術的に新しい知見を見出していると判断され、審査委員一同は、本論文が博士(工学)の学位論文として価値あるものと認めた。