

論文内容の要旨

博士論文題目

CMOS-based optical power-transfer system for implantable and wearable medical devices

(CMOS 制御光電力伝送システムによる生体埋め込み・ウェアラブルデバイスに関する研究)

氏 名 Nattakarn Wuthibenjaphonchai

(論文内容の要旨)

エネルギーハーベスティング技術は、周囲のエネルギー源から電力を蓄積する技術で、電池の代わりとなる電源技術であり、ワイヤレスポータブル・ウェアラブルデバイスの電源として期待されている。光エネルギーハーベスティングは高い変換効率や成熟したデバイス技術が利用できること、光電変換デバイスであるフォトダイオードは CMOS 回路と集積化可能である等の特長を有する。

本研究では、光エネルギーハーベスティングと CMOS 技術を用いて、直列に接続された超小型フォトダイオードからエネルギーを蓄積し、その電力を間欠的に目的とする回路に送出する「光電力伝送回路」を提案した。光電力伝送回路は、外付けコンデンサ、電圧検出器、バイアス回路、CMOS スイッチから構成される。実際に 0.35 μm 標準 CMOS プロセスを用いてデバイスの設計と試作を行い、その基本動作実証に成功した。

この開発した光電力伝送システムの有用性を示すために、2つの医療向けシステムへの応用を提案し、その実証を行った。この2つのアプリケーションは、一つは生体埋植可能な IoT 向けのデバイスであり、もう一つはウェアラブルなグルコースモニタリングデバイスである。

第1の用途は、生体埋植可能な IoT デバイスである。埋込型デバイスの観点からは、デバイスサイズが重要である。この埋込型デバイスには、クロック信号と定常的な電源供給が必要である。定常的に電力を供給するために、バイアス電圧の設定が異なる2つの光電力伝送回路を直列に接続した2段式の電力伝送回路を開発した。1段目はクロック信号を供給し、2段目は定電圧を供給する。実際に近赤外光を供給して生体埋植可能な IoT デバイスとして動作することを確認した。

第2の用途は、非侵襲的なウェアラブルグルコースモニタリングデバイスである。軽量性、柔軟性、使い捨て性を実現するためには、電池を使用しないアプローチをとることが有効である。設計したデバイスは、光電力伝送部とセンシング部を有している。センシング部では、アンペロメトリ測定回路を用いてグルコース濃度を測定する。センシ

ング部からの測定データは、光電力伝送回路により PWM データ光信号として LED 出力される。データ信号のパルス幅がグルコース濃度に依存する。

いずれのアプリケーションでの評価結果も、光電力伝送回路の正常動作に成功した。提案した CMOS 制御光電力伝送システムは、様々なワイヤレス IoT デバイスや生体内埋植デバイス、ウェアラブル医療デバイスなどに応用が可能である。

氏名	Nattakarn Wuthibenjaphonchai
----	---------------------------------

(論文審査結果の要旨)

エネルギーハーベスティング技術は、周囲のエネルギー源から電力を蓄積する技術で、電池の代わりとなる電源技術であり、ワイヤレスポータブル・ウェアラブルデバイスの電源として期待されている。光エネルギーハーベスティングは高い変換効率や成熟したデバイス技術が利用できること、光電変換デバイスであるフォトダイオードは CMOS 回路と集積化可能である等の特長を有する。

本研究では、光エネルギーハーベスティングと CMOS 技術を用いて、直列に接続された超小型フォトダイオードからエネルギーを蓄積し、その電力を間欠的に目的とする回路に送出する「光電力伝送回路」を提案した。この回路は、外付けコンデンサ、電圧検出器、バイアス回路、CMOS スイッチから構成される。実際に 0.35 μ m 標準 CMOS プロセスを用いてデバイスの設計と試作を行い、その基本動作実証に成功した。

この開発した光電力伝送システムの有用性を示すために、2つの医療向けシステムへの応用を提案し、その実証を行った。一つは生体移植可能かつ IoT 向けのデバイスであり、もう一つはウェアラブルなグルコースモニタリングデバイスである。

第1の用途は、生体埋植可能な IoT デバイスである。埋込型デバイスの観点からは、デバイスサイズが重要である。この埋込型デバイスには、クロック信号と定常的な電源供給が必要である。定常的に電力を供給するために、バイアス電圧の設定が異なる2つの光電力伝送回路を直列に接続した2段式の電力伝送回路を開発した。1段目はクロック信号を供給し、2段目は定電圧を供給する。実際に近赤外光を供給して生体埋植可能な IoT デバイスとして動作することを確認した。

第2の用途は、非侵襲的なウェアラブルグルコースモニタリングデバイスである。軽量性、柔軟性、使い捨て性を実現するためには、電池を使用しないアプローチをとることが有効である。設計したデバイスは、光電力伝送部とセンシング部を有している。センシング部では、アンペロメトリ測定回路を用いてグルコース濃度を測定する。センシング部からの測定データは、光電力伝送回路により PWM データ光信号として LED 出力される。データ信号のパルス幅がグルコース濃度に依存する。

いずれのアプリケーションでの評価結果も、光電力伝送回路の正常動作に成功した。提案した CMOS 制御光電力伝送システムは、様々なワイヤレス IoT デバイスや生体内埋植デバイス、ウェアラブル医療デバイスなどに応用が可能である。

以上のように、本研究により光エネルギーハーベスティングと CMOS 技術を用いた光電力伝送回路を提案し、実際にデバイスを試作しその有効性を実証するとともに、生体埋植可能な IoT 向けデバイスとウェアラブルグルコースモニタリングデバイスの2つのシステムへ適用し、その基本動作の実証に成功した。今後本技術を発展させることで、様々なウェアラブルデバイスへの搭載が可能であり、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。