

審査の結果の要旨

氏名 森 功

本論文は、「A Robust On-Chip-Integrated High-Voltage Photovoltaic Cell Array and Application to High-Speed Remote Optical Operation of MEMS Actuators(和題: オンチップ集積高電圧太陽電池の高安定化と遠隔光駆動型 MEMS の高速動作応用に関する研究)」と題し、全7章ならびに付録から構成され、英文で執筆されている。大規模集積回路 (VLSI) と微小電気機械 (MEMS) とを融合した、集積化 MEMS (または CMOS-MEMS) チップ素子が自律的に動作するために必須な電源供給回路素子に注目し、シリコンのバンドギャップを超える所望の高電圧を直接発生する高圧太陽電池素子を、裏面を絶縁したシリコン基板 (SOI) に作製した CMOS 集積回路を MEMS ポストプロセス技術で後加工することによって直列接続型の太陽電池として作製する手法を提案実証した研究である。

1章は Introduction である。環境に分散配置したり、遠隔駆動で用いたりできる自律型のセンサチップシステムを実現するためには、集積化可能な電源回路の高度化が重要であることを論じ、電源供給方式として太陽電池を取り上げ、問題解決の着想ならびに、明らかにすべき課題について議論している。

2章 Design of the On-Chip High-Voltage Silicon PV Cell Array では、オンチップ太陽電池デバイスの設計論を論じている。先行研究で機能の検証にとどまっていた同素子を実用化するためには、直列セル数ならびに占有面積と得られる電圧・電流の関係を明らかにすることが必要であることを論じ、理論的な考察ならびにテスト構造を用いた実験によって、直列セル数と発生電圧に比例関係があること、セル面積と発生電流が比例関係にあることを示した。

3章 Design Study of Bypass Diodes for On-Chip PV Cell Array for Real Deployment では、自然環境において実際に素子を利用する際に必要となる、出力の高安定化手法について議論している。太陽電池を構成する一部のセルに光が当たらない状況が起こると全体の起電力が落ちてしまうという問題があるが、大規模な太陽光発電システムにおいて既に実用化されている、バイパスダイオードを集積化する設計手法がオンチップ太陽電池においても適用可能であるこ

とを実験的に示した上、電流電圧特性によって陰になっているセルの個数を同定する可能性を実験考察した。

4章 MEMS Remote Power Feed by the On-Chip PV Cell Array では、提案する高電圧太陽電池の有効性を示す駆動実験を行った。SOI 基板を用いて作製した面内振動型の MEMS アクチュエータを、オンチップ太陽電池と接続し、1.5メートル離れた位置からレーザーポインターで光を照射することによって光電圧を発生し、アクチュエータの無線駆動を行った。開放電圧 57.9V、短絡電流 976nA、最大電力 43.3 μ W の電池デバイスを、1.5m 離れた位置からスポット径 3mm、1mW 出力の 532nm (緑色) レーザー光で照射し、1 μ m の変位を得ることに成功した。

5章 Integration of Optical-Driven Discharging Circuit for Fast MEMS Operation では、前章での駆動実験で明らかになった、静電アクチュエータと集積化太陽電池を単純に集積化しただけでは、系の漏れ電流が非常に小さいために、光を遮断しても数秒という長時間に渡り電荷が系に残留するため、高速動作が妨げられるという問題を解決した。標準 CMOS 構造の P 型基板-N 型ウェル-P 型拡散層をフォトトランジスタ(PT)として用い、太陽電池(PV)部分に緑色、PT 部分に赤色の光フィルタ材料を塗布し、光の色を切り替えることによって充電(PV)、放電(PT)を明示的に切り替え駆動させて、高速な充電と放電動作を実現した。

6章 High-Voltage CMOS Switch utilizing Wavelength-Modulated Light では、前章までの研究によって得られた知見を用い、高電圧をスイッチできるフォトカップラー素子として応用する提案をおこなっている。前節で導入したフォトトランジスタによって、直列接続した FET スwitch の各段への制御電圧を与えることによって FET を On/Off する回路を提案し、照射光の切り替えによってスイッチング動作を示すことが出来た。

7章 Conclusions は総括であり、本研究の成果をまとめている。

以上要するに本研究は、遠隔駆動型の微小電気機械システム応用を指向し、電力と制御信号とを二波長で伝送する方式を提案した上で、システム実現に必須の構成要素として、アレイ中の発電特性の不均一性に高い耐性を持ち且つ高速充放電回路を内蔵した高圧太陽電池を考案し、商用の集積回路の後加工による集積化光電変換素子によってその機能を実現することを提案・実証したものであり、電気電子工学の発展に資するところが少なくない。

よって本論文は博士 (工学) の学位請求論文として合格と認められる。