

課題番号 : F-15-UT-0150
 利用形態 : 機器利用
 利用課題名(日本語) : オンチップ集積高電圧太陽電池を用いた遠隔光駆動型 MEMS の高速動作
 Program Title (English) : High-Speed Remote Optical Operation of MEMS by Integrated High-Voltage Silicon Photovoltaic Cell
 利用者名(日本語) : 森 功
 Username (English) : Isao Mori
 所属名(日本語) : 東京大学大学院工学系研究科
 Affiliation (English) : Graduate School of Engineering, the University of Tokyo

1. 概要 (Summary)

真空封止されたチャンバー内部や宇宙空間のように、有線による電力伝送が困難な環境では、光によって回路の駆動電力ならびに駆動信号を伝送する方法が効果的である。提案者らは物性限界によって、シリコン太陽電池1セルあたりの発生電圧は高々0.4 Vであるため、単セルのままではLSIやMEMSを駆動することができないという問題を原理的に解決するために、絶縁体薄膜上に多数のPN接合を作製、あらかじめLSI配線で直列接続しておき、シリコン深掘りエッチングによって島状に加工しメサ絶縁を行う「高電圧化太陽電池」をこれまで提案してきた。同手法を応用して照射する波長に反応して静電駆動型の微小電気機械(MEMS)を直接充放電動作させることを構想し、素子の作製と動作デモンストレーションを行った。

線下部のシリコン活性層を完全に取り除いた。チップを基板にワイヤボンディングし、緑色と赤色に着色されたエナメル樹脂をそれぞれ太陽電池部分とフォトトランジスタ部分に塗布した。同様の工程によって、機械動作デモンストレーション用に楯歯型マイクロアクチュエータを別途作製した。

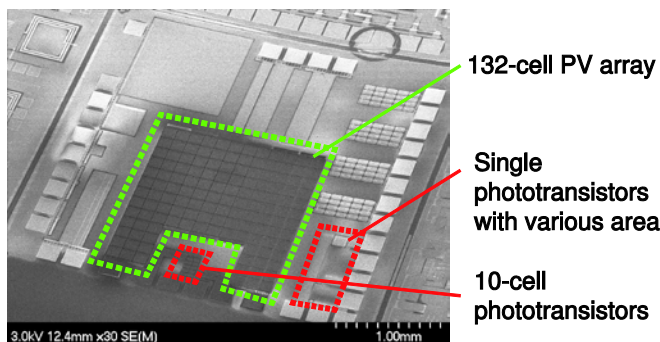


Fig. 1 SEM view of 132 series-connected Silicon photovoltaic array and 10-series phototransistor

2. 実験 (Experimental)

【利用した主な装置】

高速大面積電子線描画装置、クリーンドラフト潤沢超純水付、汎用ICPエッチング装置

【実験方法】

東京大学大規模集積システム設計教育研究センター(VDEC)が提供する集積化MEMS向けLSIファウンドリサービスを利用して絶縁層1 μm、活性層9 μmのSilicon-on-Insulator (SOI)基板上に132直列のP-N接合(太陽電池)アレイと、10直列のPNPトランジスタアレイを試作した。太陽電池1セルの大きさは100 μm角である。ウエーハで受領したデバイスをステルスダイサーによりチップ状に切り出し、高速大面積電子線描画装置を用いて作製したフォトマスクならびに、光リソグラフィ装置、ドラフトチャンバー、汎用ICPエッチング装置を用いてメサ絶縁パターンを作製し、シリコン高速深掘りエッチング装置によって異方性・等方性エッチングの組み合わせを用いて配

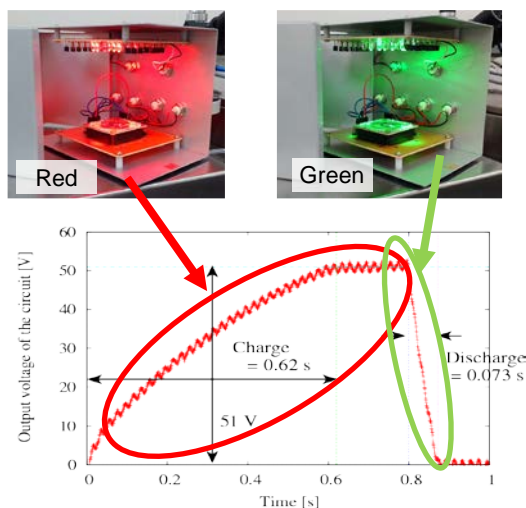


Fig. 2 Charge-Discharge by Lightwave Modulation

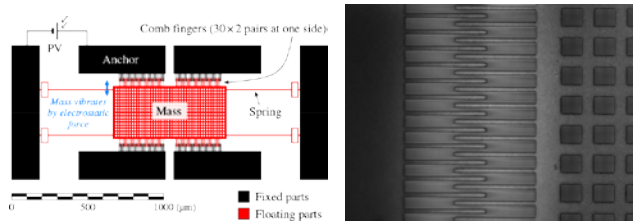


Fig.3 Comb-Drive Actuator for Demonstration

6. 関連特許(Patent)

なし

3. 結果と考察(Results and Discussion)

作製した太陽電池は 132 直列によって解放電圧 $V_{oc} = 53.2 \text{ V}$ 、短絡電流 $I_{sc} = 23.9 \text{ nA}$ を得た。エナメル樹脂を塗布した後電流値は 8 nA 付近にまで低下した。Fig. 2 上に示す自作の投光器によって緑色(充電)と赤色の光(放電)を交互に投光したところ、Fig. 2 下に示すように、約 100 pF の寄生容量負荷を $70\sim 80$ ミリ秒で放電させることができた。このことによって、太陽電池単体では自然放電に 1 分以上かかる事実と比較して 1000 倍の速度向上を達成した。また、本素子の特徴は、単純に充放電に P-N ジャンクション(電池)を用いると面積が 2 倍必要であるところを、フォトランジスタを用いることで直流電流増幅率(β)に逆比例で専有面積を小さくできること、さらにトランジスタの耐圧は太陽電池の発生電圧よりも高いので、電圧比に逆比例で更に専有面積をちいさくできることが特徴である。

この素子を Fig. 3 に示す面内振動型の櫛歯 MEMS アクチュエータと接続し、動作を振動解析装置で観測したところ、電圧に比例して櫛歯が機械動作することを確認することができた。充電にかかる時間は 0.6 秒で、これは電流ドライブ能力に比べて寄生容量が比較的大きかったことが原因である。すなわち $Q(\text{全体の電荷}) = It(\text{電流} \times \text{時間}) = 8 \text{ nA} \times 0.6 \text{ s} \doteq CV(\text{容量} \times \text{電圧}) = 100 \text{ pF} \times 50 \text{ V}$ の関係が成立しており、本素子の作製手法をほぼそのまま適用して MEMS アクチュエータと集積化して寄生容量を下げることで、高速に動作する集積化 MEMS 素子を実現できることが示唆される。

4. その他・特記事項(Others)

共同研究者；
東京大学工学部 岡本有貴

5. 論文・学会発表(Publication/Presentation)

森功、東京大学博士論文(2015. 12)