

高電圧マイクロ光電変換デバイス

樽井 久樹・伊豆 博昭

マイクロマシンは、微小な機械での高度な作業を目指している。この作業のため相応のエネルギー源が必要となるが、バッテリーでは十分な容量を得ることは困難であり、また、外部からワイヤーを通して供給する場合、ワイヤーの剛性等が問題になる。そこで、外部からワイヤレスでのエネルギー供給が可能な、光によるエネルギー供給が有望な方法といえる。

さらに、現在マイクロマシンの駆動に用いるアクチュエーターとして、微小化しやすい圧電素子や静電力駆動型のものが利用されている。しかし、これらの駆動には数十～数百V程度の高い電圧が必要であり、微小なサイズで高電圧が必要である。また、マイクロマシン内部での発熱の抑制のためにも高電圧化は重要である。

そこで筆者らは、マイクロマシン用の光エネルギー供給デバイスとして利用可能な高電圧マイクロ光電変換デバイスの開発を行ったので、その概要を紹介する。

1. 高電圧マイクロ光電変換デバイスの構造^{1,2)}

エネルギー源として従来の光電変換素子を利用する場合、単一素子当たりの発生電圧は、材料物性により決定され、0.6～1.0V程度である。この従来素子を並べて配線で直列接続、高電圧化は可能であるが、全体サイズが大きくなり、マイクロマシンには利用できなくなる。

そこで、微小なサイズ内で高電圧化を行うために、筆者らは、図1に示すように、光電変換素子を厚さ方向に積層（垂直方向）し、さらに図2に示すように素子面内の微小サイズ分割および内部直列接続（水平方向）を行うことにより、配線レスの3次元高集積接続構造および方法を開発した。

2. 多層高電圧光電変換素子（垂直方向接続）

光電変換素子材料は、厚さ方向への積層に適しているプラズマCVD（chemical vapor deposition）法による薄膜構造の水素化アモルファスシリコン（以下 a-Si）を用いた。a-Si は、低温（～200℃）でガラス基板上に形成され、光入射側には透明電極（ITO（indium tin oxide）等）、反対側

には金属電極が設けられる。この a-Si の単素子（p/i/n a-Si）を電極形成前に積層するだけで厚さ方向に直列接続されるため、発生電圧を高くすることができる。しかし、直列接続であるため、各素子の発生電流を等しくする必要がある。しかし、光吸収は入射側より指数関数的に減少し、単なる積層では発生電流は等しくならない。このため、各素子での吸収光量を、吸収係数や膜厚を最適設計することによって等しくした。ここでは a-Si 単層素子の約 3 倍の電圧を得るため、3 スタック（積層）素子を形成した結果、太陽光下（AM 1.5, 100 mW/cm²）で 2.4 V の電圧が得られた。

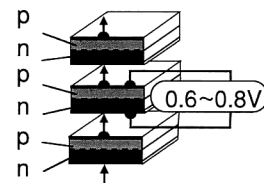


図1 垂直方向直列接続。

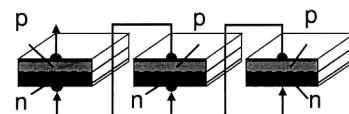


図2 水平方向直列接続。

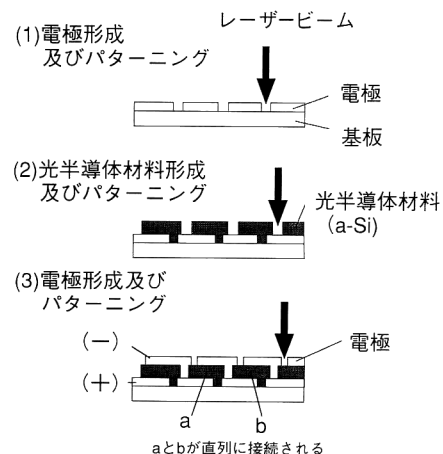


図3 マイクロ光電変換デバイスの形成プロセス。

三洋電機(株)ニューマテリアル研究所 (〒573-8534 枚方市走谷 1-18-13)

E-mail: n99tarui@hr155.a1.sanyo.co.jp

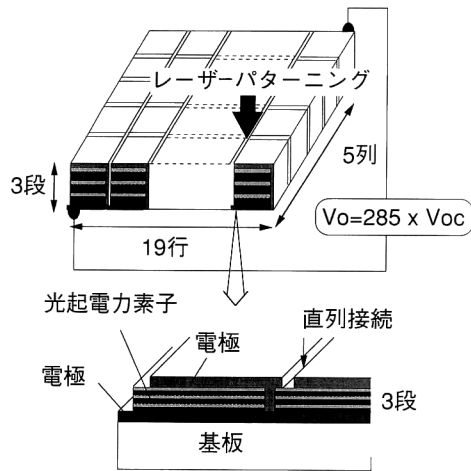


図4 高電圧マイクロ光電変換デバイスの構造。

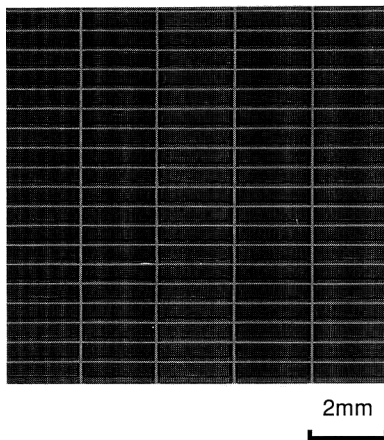


図5 高電圧マイクロ光電変換デバイス外観。

3. レーザー加工による直列接続（水平方向接続）

次に、微小面積内でさらに高電圧化するために、図2に示すような薄膜素子の直列接続構造を、レーザーを用いた高精度な選択的微細加工により実現した。図3にレーザーを用いた直列接続形成プロセスを示す。電極、a-Si層等の異なる多層薄膜を下地にダメージを与えないようにレーザー分割加工することにより、図のように光電変換素子（a-Si）分割部を通して単一素子のプラス側（マイナス側）を隣接する素子のマイナス側（プラス側）へ接続する。この接続を1cm²内で縦5段、横19段行い、図4に示すように、厚さ方向の3段と合わせて合計285段の微細な直列接続を行った（単一素子サイズ：約0.5mm×2mm）。

4. デバイスの特性

図5に、1cm²サイズ高電圧用マイクロ光電変換デバイスの外観写真を示す。また、デバイスの太陽光下（AM1.5, 100mW/cm²）における出力（I-V）特性を図6に示す。開放電圧 V_{oc} 207V、短絡電流 I_{sc} 36.6μA、曲線因子 F.F. 0.615、最大出力 P_{max} 4.65mW が得られ、1cm² サイズでは世界最高の電圧を達成するとともに、良好な素子特性を得ることができた。これにより、高電圧で駆動するマイクロアクチュエーターと一体化して光だけで直接駆動することが可能となった³⁾。

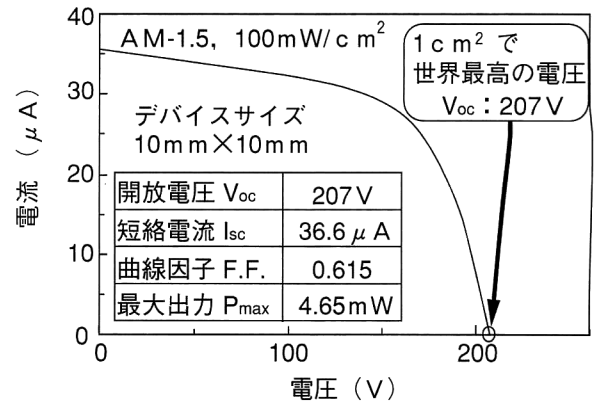


図6 デバイスの電流-電圧特性。

0.615、最大出力 P_{max} 4.65 mW が得られ、1 cm² サイズでは世界最高の電圧を達成するとともに、良好な素子特性を得ることができた。これにより、高電圧で駆動するマイクロアクチュエーターと一体化して光だけで直接駆動することが可能となった³⁾。

以上のように、静電型あるいは圧電型のアクチュエーターを駆動するに十分な高電圧を1cm角サイズのマイクロ光電変換デバイスにより得ることができた。今後、マイクロマシンへの適用を実現していくためには、よりいっそうの高電圧化、高出力化を行っていくとともに、通信制御機能等の多くの機能の集積化に対応していくことが重要となると考えられる。

この研究開発は、(財)マイクロマシンセンターが NEDO から委託を受けた「マイクロマシン技術の研究開発」の一環として、三洋電機(株)が(財)マイクロマシンセンターから再委託を受けて実施したものである。

文 献

- 1) 伊豆博昭, 榊原孝久, 倉 達哉, 篠原 亘, 岩田浩志, 木山精一, 津田信哉: “マイクロマシンへの光エネルギー供給に関する研究 (第2報)”, 日本機械学会第72期全国大会講演論文集 (1994) p. 483.
- 2) T. Sakakibara, H. Izu, T. Kura, W. Shinohara, H. Iwata, S. Kiyama and S. Tsuda: “Development of high-voltage photovoltaic micro-devices for an energy supply to micro-machines,” *5th International Symposium on Micro Machine and Human Science* (1994) p. 71.
- 3) T. Sakakibara, H. Izu, T. Kura, W. Shinohara, H. Iwata, S. Kiyama and S. Tsuda: “A high-voltage photovoltaic micro-devices fabricated by a new laser processing,” *8th IEEE Workshop on Micro Electro Mechanical Systems* (Jan. 1995) p. 282.

(1998年1月30日受理)