

## 直列太陽電池を集積したトリプルウェル CMOS LSI の構成法

堀口 文男<sup>†a)</sup> 塚越 亨<sup>†</sup> 富樫 英樹<sup>†</sup>

Constructing Method of Series Connected On-Chip Solar Cells Integrated in a Triple-Well CMOS LSI

Fumio HORIGUCHI<sup>†a)</sup>, Toru TSUKAGOSHI<sup>†</sup>, and Hideki TOGASHI<sup>†</sup>

あらまし 通常のバルク CMOS で用いられるトリプルウェル CMOS プロセスを用いて, p-n 接合太陽電池を直列接続し, CMOS 回路の基板電圧とは独立に 0.9 V, 1.3 V を発生させる方法を初めて提案した. これにより, 同一チップ上のリングオシレータが単一の太陽電池以上の動作電圧で動作できることを明らかにした.

キーワード 太陽電池, トリプルウェル, 直列, 低電力 LSI

## 1. ま え が き

近年固定電源や電池に頼らずに電源供給の手段を確保するエネルギーハーベスティングの観点から, 超低消費電力 LSI の電力供給用としてオンチップの太陽電池の直列接続を使おうとする試みがある [1], [2]. 通常のバルク CMOS プロセスでは, 基板が共通であるため, 直列接続時に CMOS 回路の基板電圧が順方向バイアスになったり [1], 多大な面積を必要とする [2] 欠点があった. 本論文では高精度アナログ CMOS LSI などで一般的に用いられているトリプルウェルプロセスを使い, p-well の側面を n-well で, 底面を高加速イオン注入した deep n-well (dn-well) で取り囲み, p 基板と回路や太陽電池を p-n 接合分離する方法を新たに提案する. これにより, 通常 CMOS のシングルウェルプロセスからのわずかなコスト増で, CMOS 回路の基板電圧とは独立に, 0.9 V, 1.3 V の電圧を高効率に発生させることができることを初めて明らかにした. 更に, この直列太陽電池を用いて, オンチップで LSI に電力を供給できることを同一チップ上に形成した 151 段のリングオシレータで実証した.

2. 各種構造の太陽電池の  $I-V$  特性

図 1 に示すように, 同一構造の太陽電池セル (1), (2) を二つ直列に接続して, CMOS 回路の  $V_{DD}$  と  $V_{SS}$  に電源を供給する. セル (1) は, n-well と P 基板とを接続し, dn-well と p-well 間の p-n 接合で約 +0.5 V の電圧を発生させ, CMOS 回路の  $V_{DD}$  に接続する. セル (2) の P 基板と dn-well 間の p-n 接合で発生した

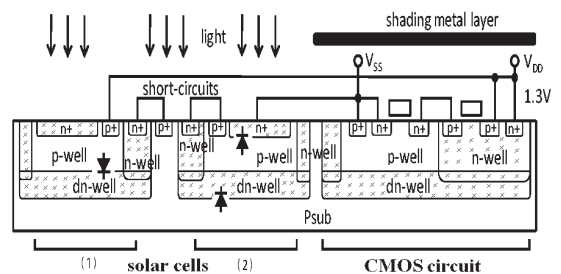


図 1 オンチップ太陽電池と回路の接続断面図

Fig. 1 Cross-section of LSI circuit with on-chip series connected solar cells.

約  $-0.5$  V を  $V_{SS}$  に接続し, 2 直列で約 0.9 V を, 更に n-well と p-well を接続し p-well と  $n^+$  間の p-n 接合の直列接続で約  $-0.9$  V の電圧を  $V_{SS}$  に印加し, 3 直列で約 1.3 V の電圧を CMOS 回路に印加することができる. CMOS 回路にはメタル層で遮光層を形成しておく必要がある. 各構造の太陽電池出力の  $I-V$  特性を図 2 に示す. ①はトリプルウェル CMOS 構造の p-well と dn-well 間の  $I-V$  特性である. この dn-well と P 基板を接続すると光誘起電流の一部が失われ②となり, 太陽電池の短絡電流値が  $0.49 \mu\text{A}$  から  $0.14 \mu\text{A}$  へと 29%となる. 一方③は, シングルウェルプロセスの  $p^+$  と n-well 間の  $I-V$  特性であり,  $0.41 \mu\text{A}$  から  $0.05 \mu\text{A}$  へと 12%に減少する. これより, トリプルウェル構造の方が減少が少なく, 短絡電流は 2.8 倍大きいことが分かる. また, マイナス側電源では, シングルウェルプロセスの  $n^+$  と P 基板との  $I-V$  特性を⑤に, またトリプルウェル構造の dn-well と P 基板との  $I-V$  特性を⑥に示す. この場合も,  $0.35 \mu\text{A}$  から  $0.62 \mu\text{A}$  へと 1.8 倍に大きくなっている.  $n^+$  と P 基板間の接合に比べ, トリプルウェルの dn-well と P 基

<sup>†</sup> 東洋大学大学院情報システム専攻, 川越市  
Toyo University, Kawagoe-shi, 350-8585, Japan  
a) E-mail: f-hori@toyo.jp

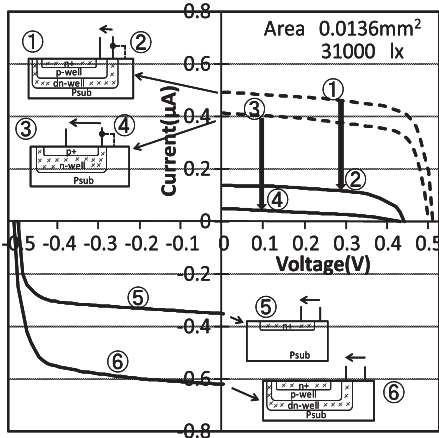


図 2 各種構造の太陽電池の I-V 特性  
Fig.2 I-V characteristics of several solar cells.

板間の接合の空乏層幅は広く、well の厚みも大きい。また、光の透過が  $\sim 1\mu\text{m}$  と深く、dn-well の接合深さ ( $\sim 1.5\mu\text{m}$ ) 程度まで、効率良く光誘起電流を集めることができている。直列接続では、短絡電流の小さいプラス側の p-n 接合電流しか取り出せないの、従来 CMOS の  $p^+$  と n-well 間の接合より、トリプルウェルの方が 2.8 倍大きな電流を取り出せることになる。

### 3. 太陽電池の直列接続と CMOS 回路動作

図 3 に、大面積化したトリプルウェル太陽電池の p-n 接合を一つだけ接続した場合、2 直列とした場合、更に 3 直列とした場合の I-V 特性を示す。図中には、 $0.18\mu\text{m}$  CMOS の 151 段リングオシレータ ( $L = 0.18\mu\text{m}$ ,  $Wn = 0.75\mu\text{m}$ ,  $Wp = 2\mu\text{m}$ ) の I-V 特性も同時に示している。これらの交点は、同一チップ上の太陽電池と CMOS リングオシレータとを接続した場合の動作点であり、ここでの発振周波数を図中に示している。これより、単一の太陽電池より大きな  $0.61\text{V}$ ,  $0.68\text{V}$  でのリングオシレータ動作を確認し、トリプルウェル CMOS オンチップ太陽電池の有効性を確認した。白色 LED 光源を用いており、2 直列、3 直列での変換効率はそれぞれ 8.8%, 5.0%, 曇りの屋外での明るさである  $2000\text{lx}$  での必要な太陽電池面積は、 $3.9\text{mm}^2/\mu\text{W}$ ,  $6.8\text{mm}^2/\mu\text{W}$  であった。図 4 は、試作した太陽電池を集積した CMOS LSI チップであり、白色に見える遮光メタル層の下にあるリングオシレータで実験を行った。

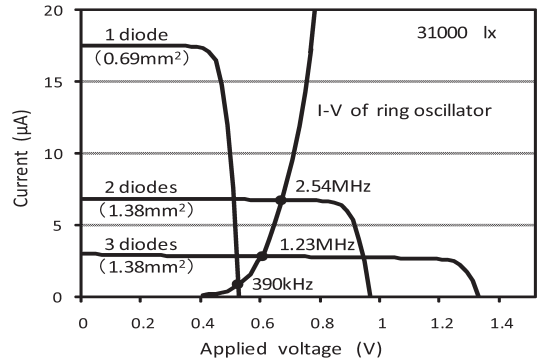


図 3 太陽電池の直列接続による I-V 特性  
Fig.3 I-V characteristics of series connections of solar cells.

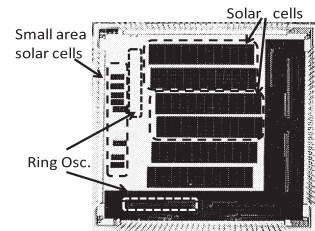


図 4 太陽電池を集積した CMOS LSI チップ写真  
Fig.4 Chip micrograph of CMOS LSI integrated on-chip solar cells.

## 4. む す び

トリプルウェル CMOS プロセスを用いる太陽電池の直列接続法を初めて提案した。0.9V, 1.3V の高電圧を同一基板上的 CMOS 回路に印加し、回路動作を実証した。各種太陽電池の I-V 特性の評価より、2 直列では従来の CMOS プロセスに比べ 2.8 倍大きい電流と 8.8% の変換効率が得られることを示した。これより、ワイヤレスセンサネットワークなどの電池交換を必要としない集積回路への応用に道を開くことができると考えられる。

謝辞 本チップ試作は東京大学大規模集積システム設計教育研究センターを通しローム (株) 及び凸版印刷 (株) の協力で行われたものである。

### 文 献

- [1] Y. Arima and M.Ehara, "On-chip solar battery structure for CMOS LSI," IEICE Electron. Express, vol.3, no.13, pp.287-291, 2006.
- [2] M.K. Law and A.Bermak, "High-voltage generation with stacked photodiodes in standard CMOS process," IEEE Electron. Device Lett., vol.31, no.12, pp.1425-1427, 2010.

(平成 23 年 2 月 19 日受付)