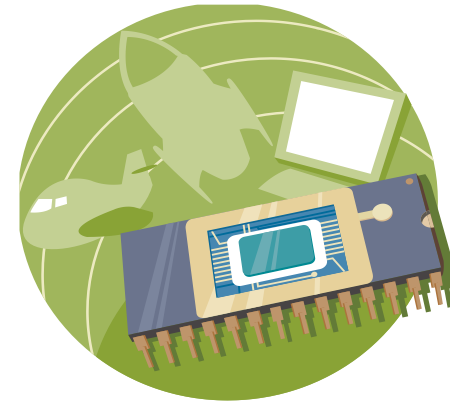




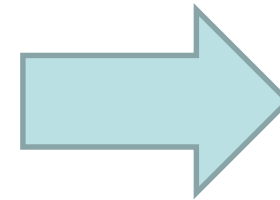
太陽電池を集積した 電池交換不要な集積回路

東洋大学 総合情報学部 総合情報学科
教授 堀口 文男

集積回路と太陽電池



別チップから、オンチップへ



新規市場の開拓

光があれば、

- 電源の自立化によるメンテナンスフリー化
- オンチップ化による超微小システムの実現
- 緊急時動作の実現

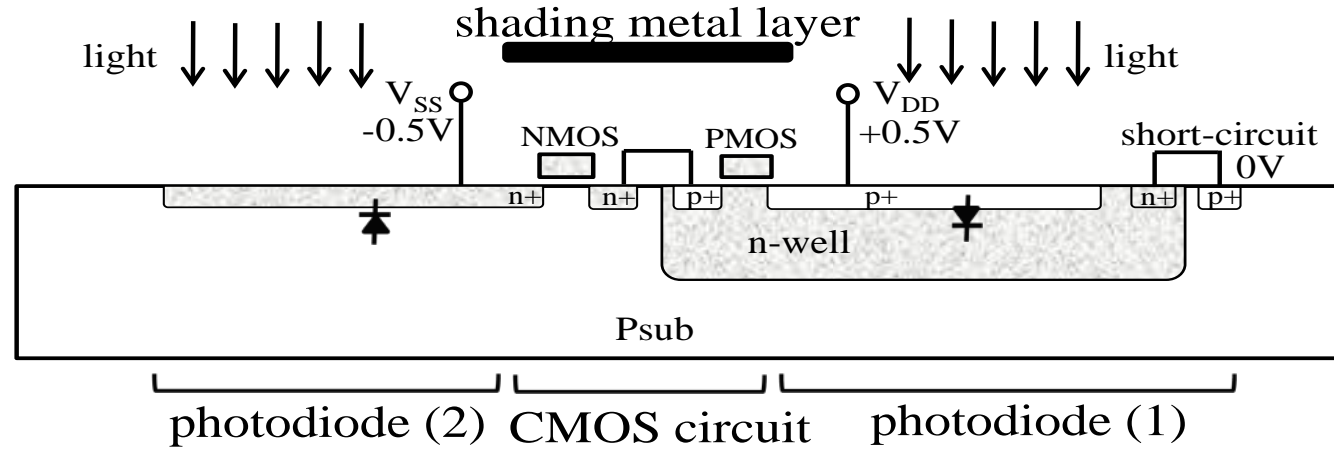
具体的な応用例

- 外部との通信により、センサー、行動記録
虫、鳥などの行動記録
- 電源不要のゲーム機
携帯ストラップゲーム機 ペンダントゲーム機
- 医用機器 高磁界、高温環境下での動作
- 光による制御デバイス
電池不要リモコン 人が近づくとスイッチオン
- ウェアラブルコンピューティング
- インテリジェント文具

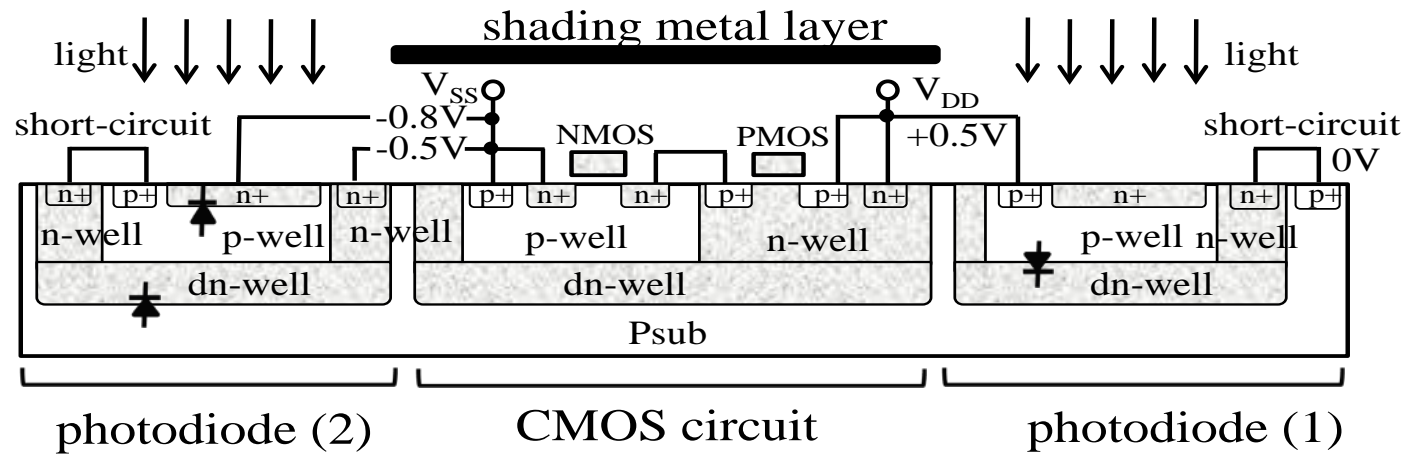
技術の概要

- ・ 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しています。
- ・ ゲーム、産業用ICなどへの応用により、**電池なしで、メンテナンス不要動作を可能に！**

従来オンチップ太陽電池(a)と 新方式オンチップ太陽電池(b)



(a)

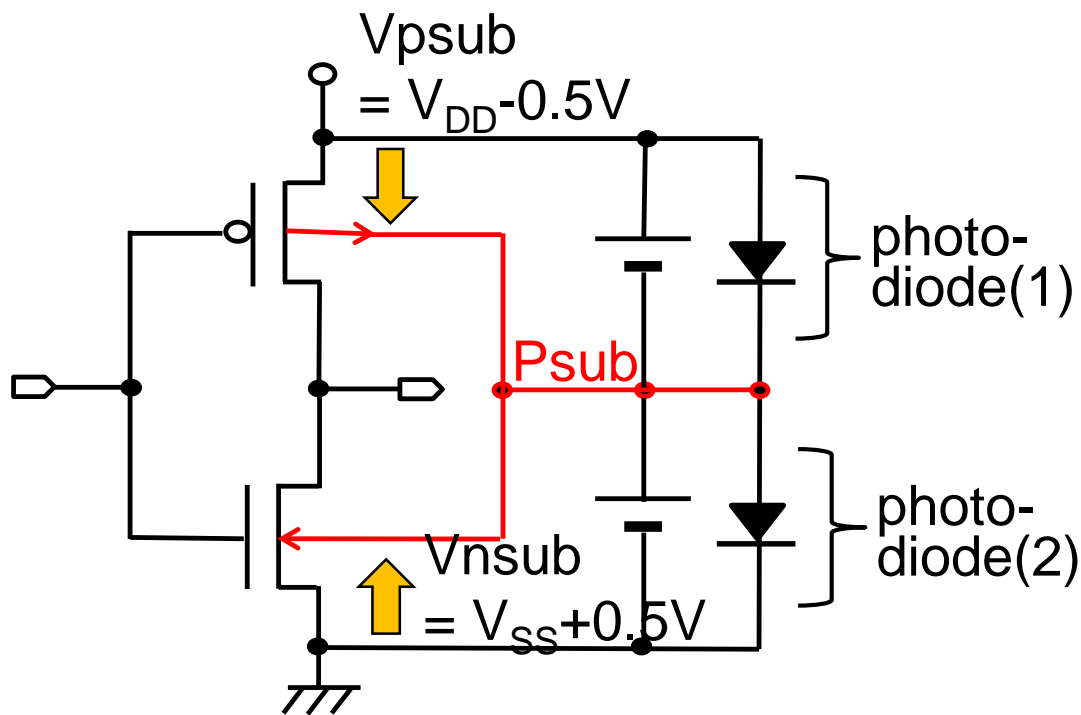


(b)

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、1.3Vの高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ました。

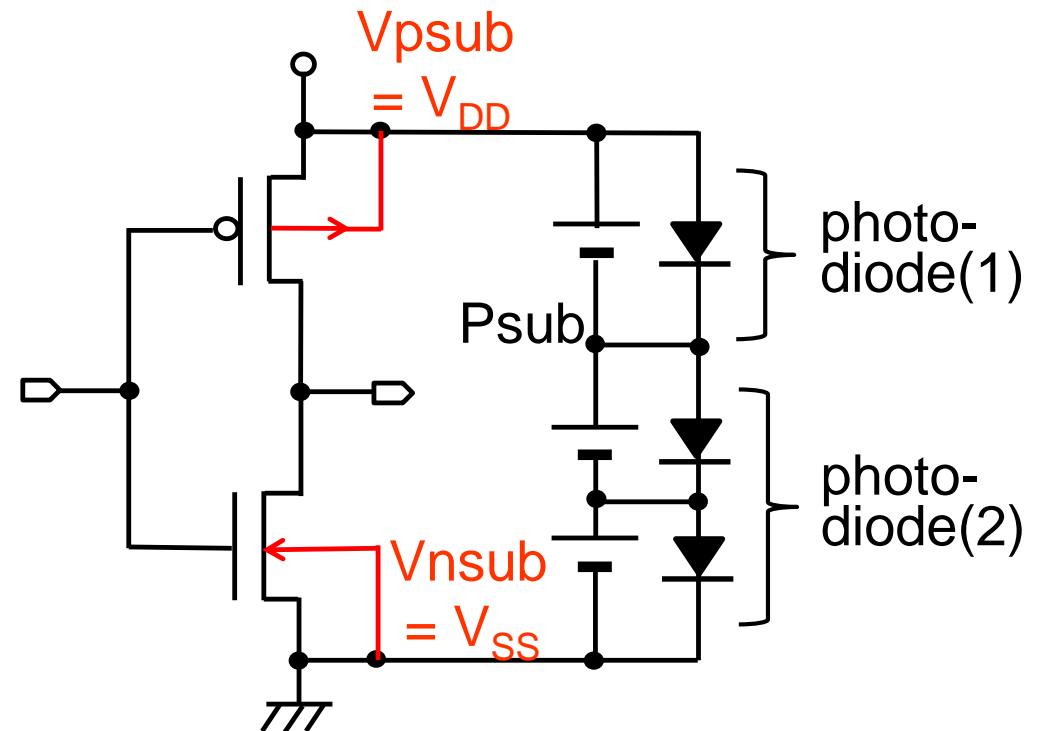
オンチップ太陽電池の等価回路

従来型



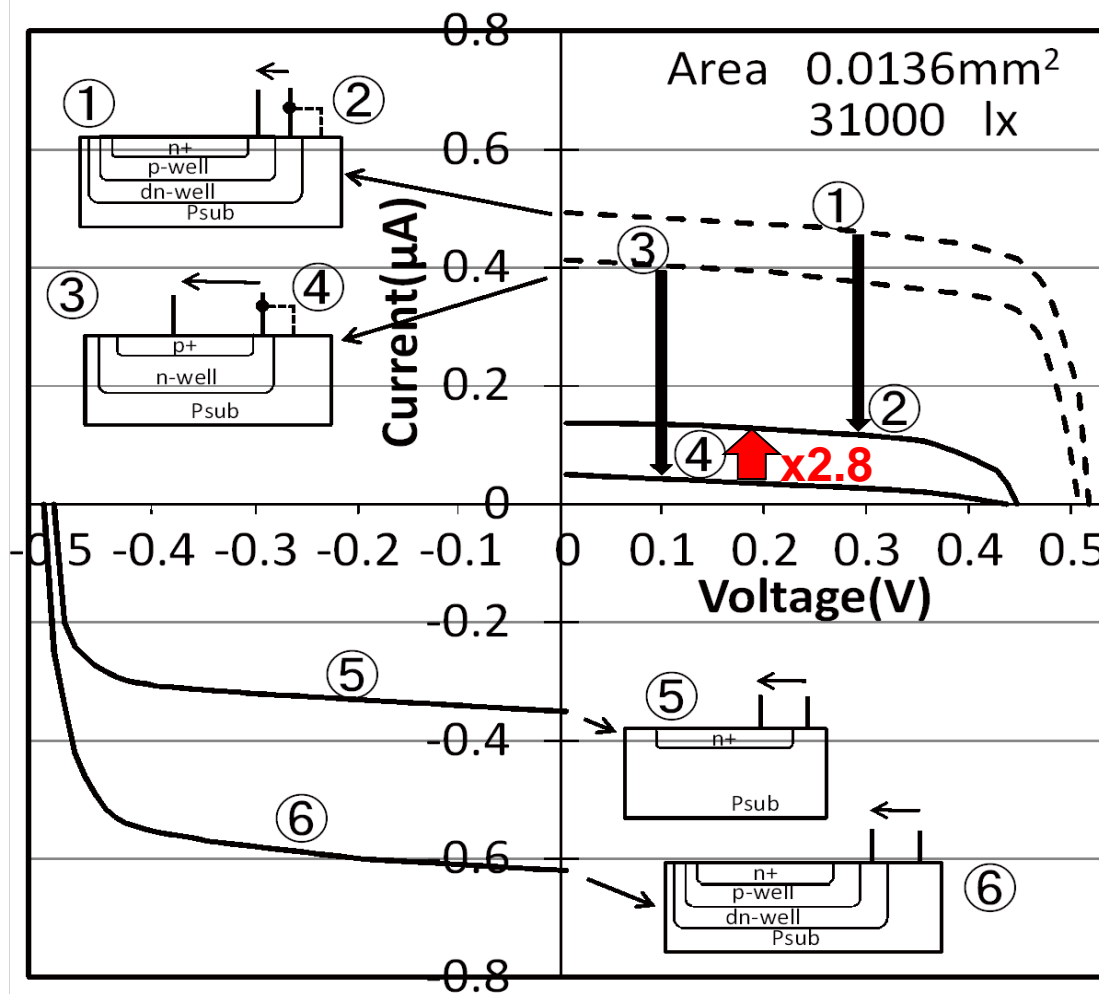
P基板が NMOS、PMOSに対して
共通であり、リーク電流が問題

トリプルウェル型新構造



P基板が NMOS、PMOSに対して独
立で、リーク電流の問題なし

小面積太陽電池のI-V特性



光誘起電流 (1),(3) はショートにより (2),(4) へと減少する。

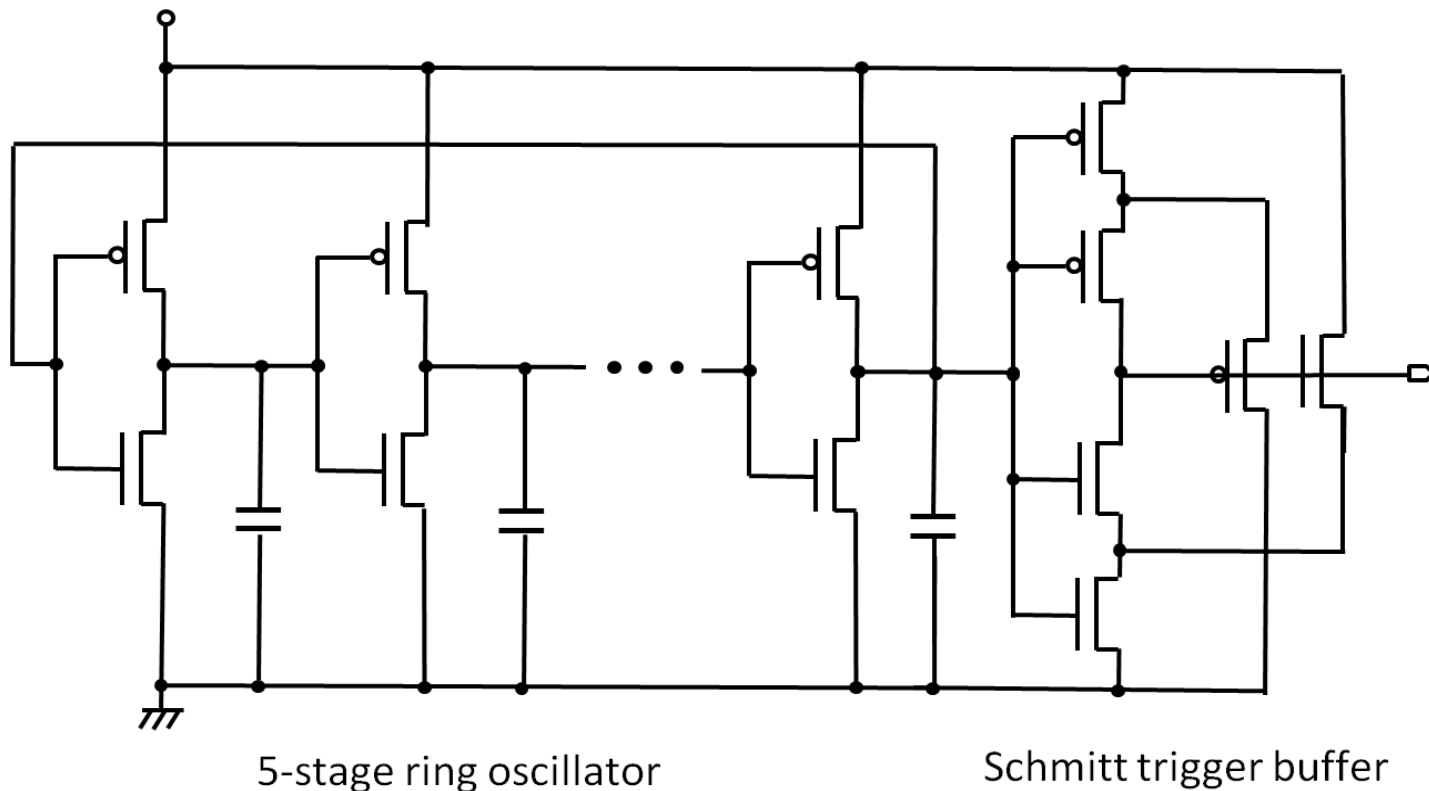
(1) は71%減少

(3) は88%減少

(2) は 2.8 倍 (4)より大きい。

(6) は 1.8 倍 (5)より大きい。

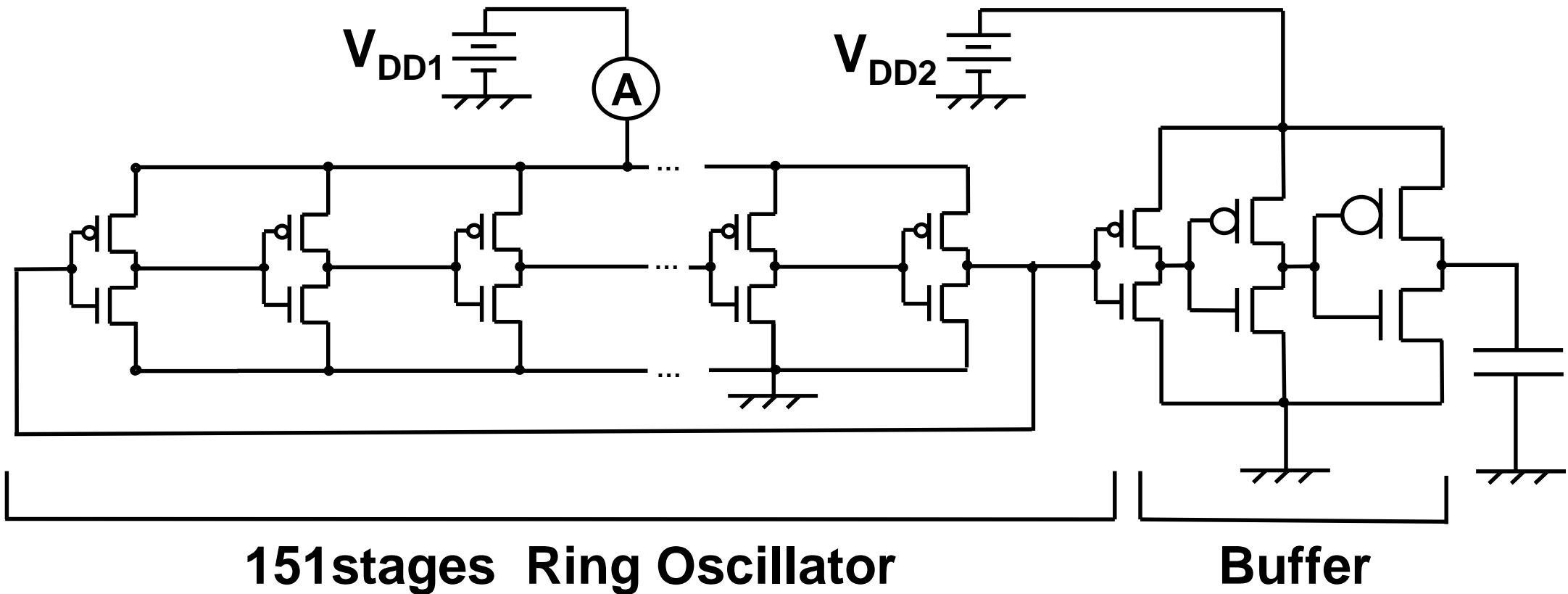
5段 低周波リング発振器



**0.18 μm triple-well
CMOS process**

**Channel widths are 0.24 μm
Channel lengths are 50 μm for both
P,NMOS**

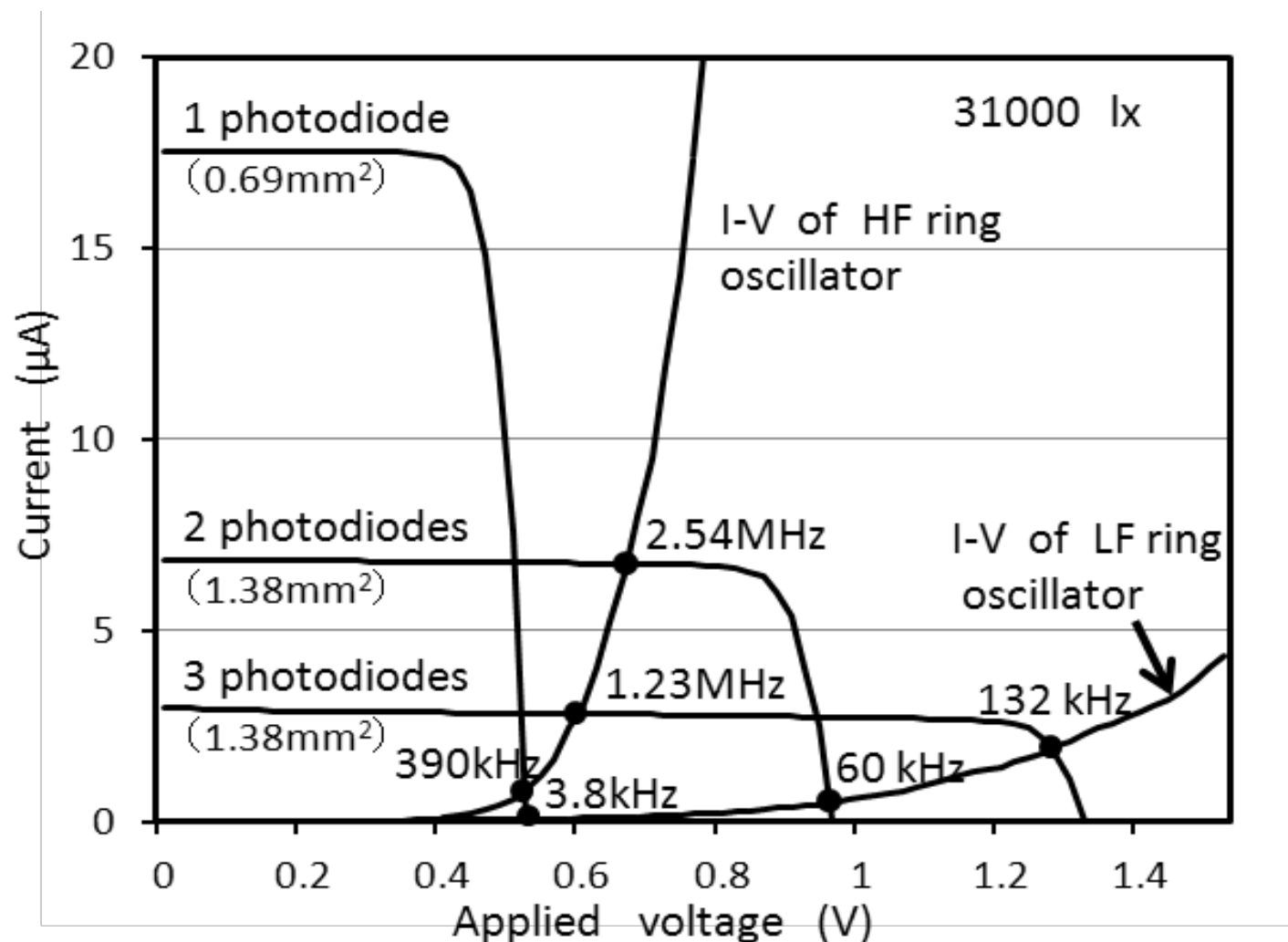
151段 高周波リング発振器



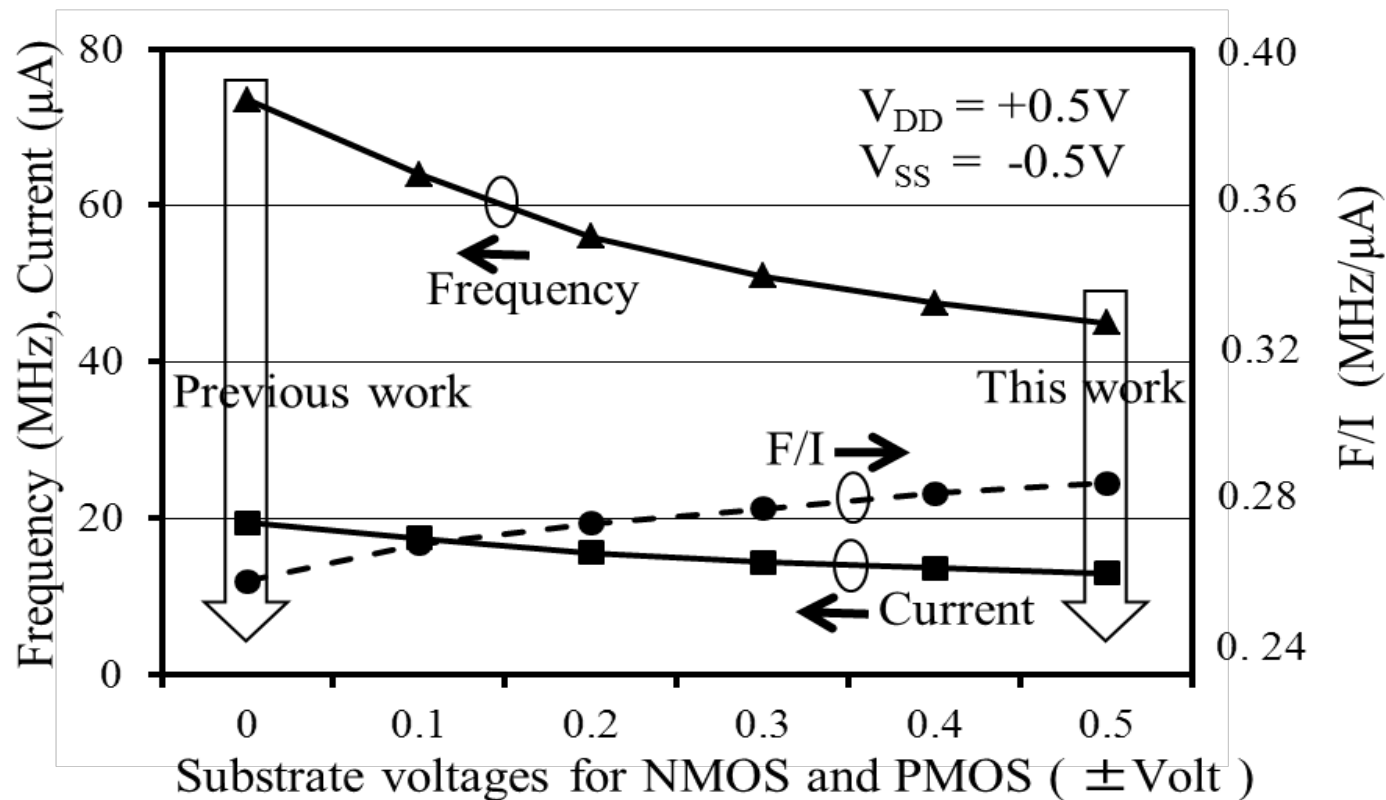
0.18 μm triple-well CMOS process

Channel lengths are 0.18 μm , channel widths are 2 μm for PMOS, 0.75 μm for NMOS

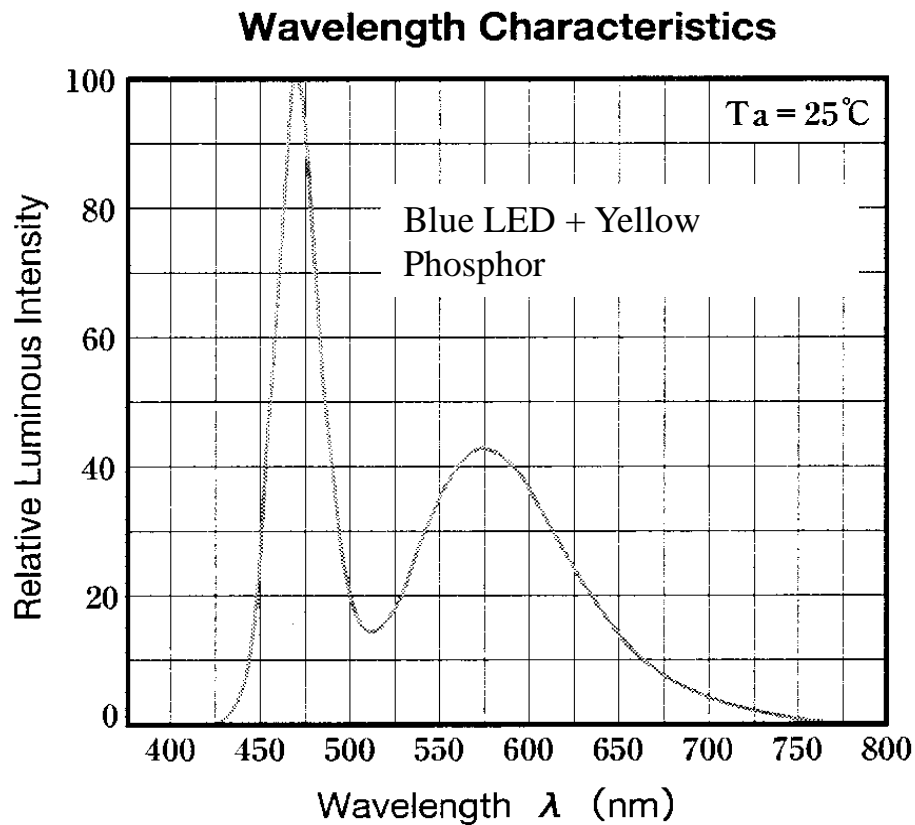
太陽電池とリング発振器のI-V特性



基板電圧を変化させたときの リング発振器の性能評価



白色LEDのスペクトル分布



- ・ 470nmと575nmにピーク
- ・ 470nmの方がピーク大
- ・ ピーク比より、500nmの単一ピークと仮定

光の吸収係数

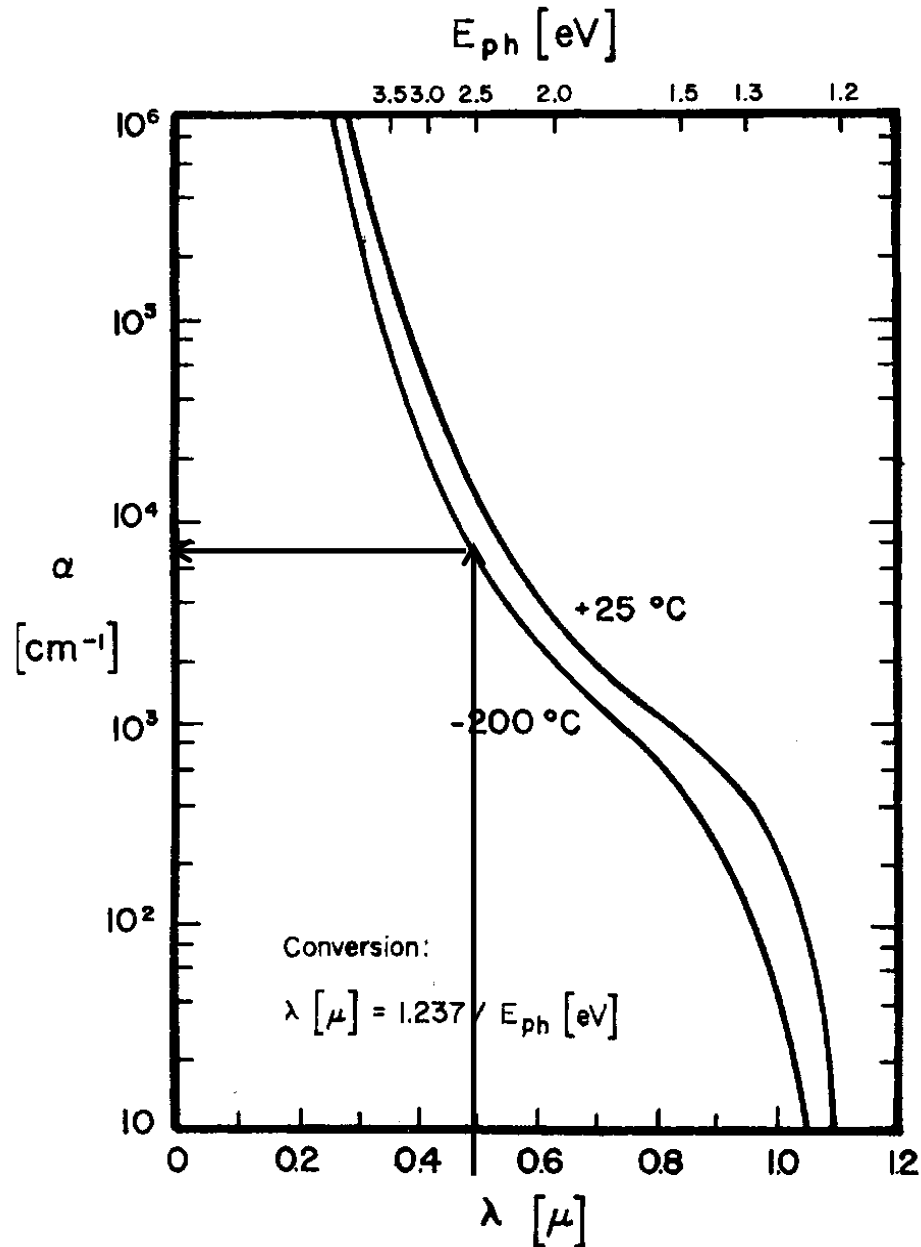


FIG. 2.4.6.

(After H.F.Wolf, "Silicon Semiconductor Data", Pergamon Press, Vol.9,p.111,1969.)

- ・ 白色LEDの波長を $0.5 \mu m$ と仮定
- ・ $\alpha = 1.2 \times 10^4 \text{ cm}^{-1}$
@ $0.5 \mu m$
- ・ 透過率 $T = A_0 e^{-\alpha d}$
- ・ $1/e$ となる深さ d は
透過深さ $d = 0.83 \mu m$

光誘起電流の変化

- ・ pwell-dnwellショート電流

13.91 μ A \rightarrow 7.10 μ A (dnwell-Psubショート)

- ・ dnwell-Psubショート電流

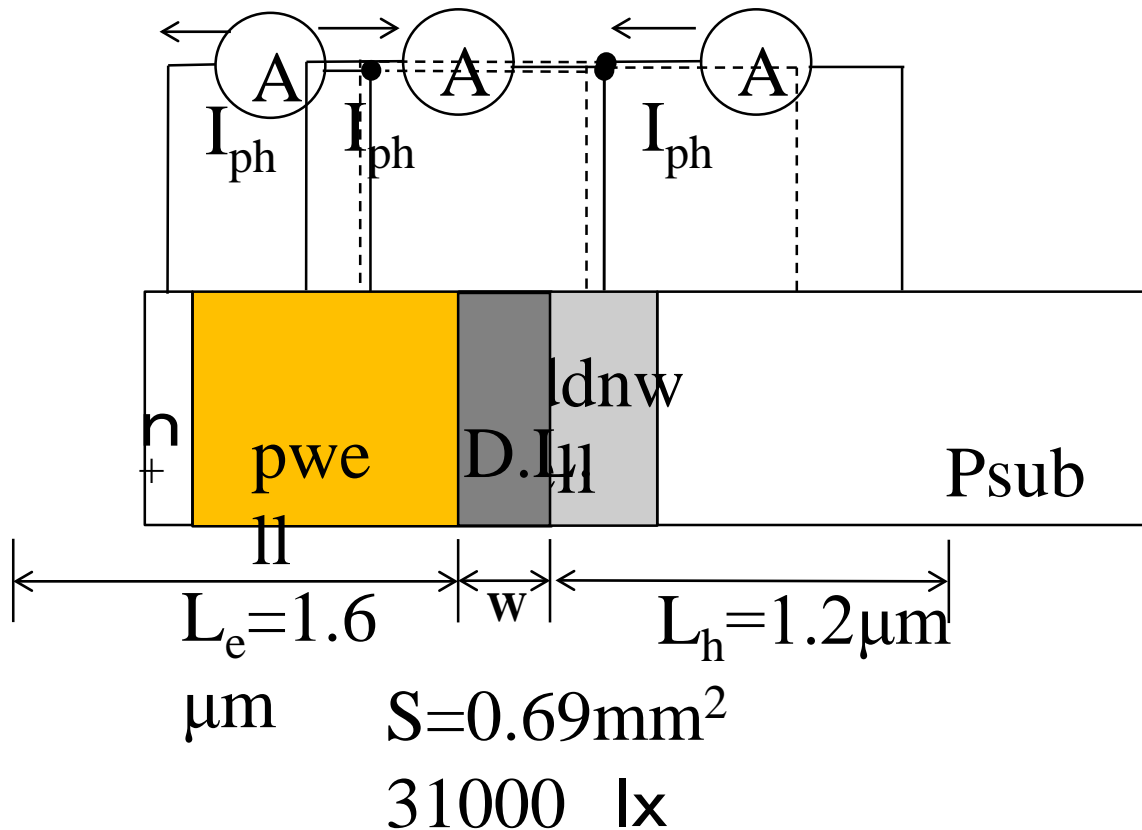
13.89 μ A \rightarrow 7.25 μ A (pwell-dnwellショート)

- ・ n⁺-pwellショート電流

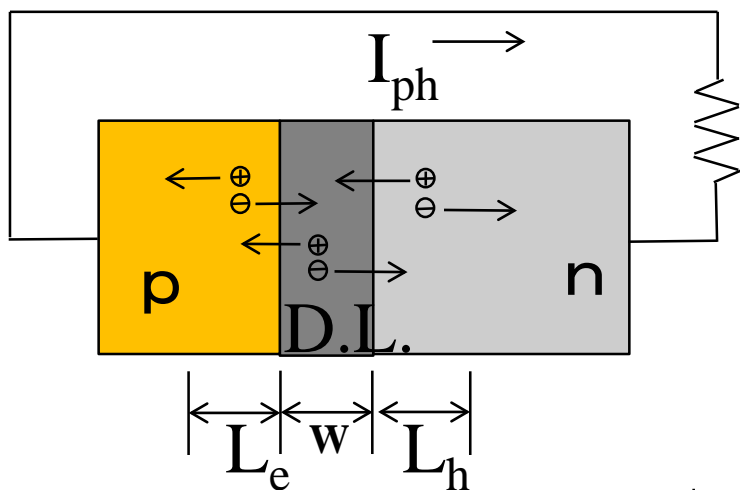
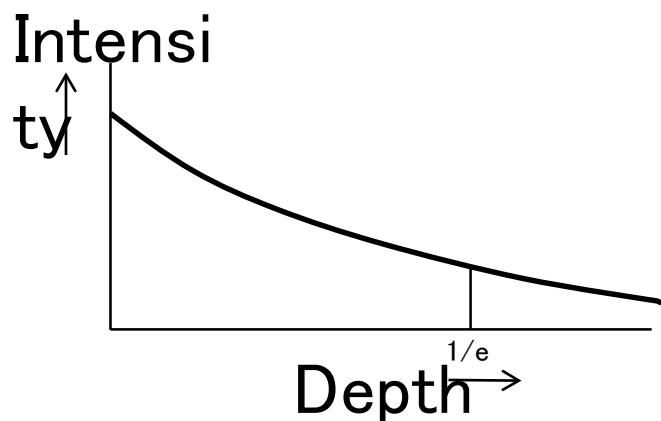
13.30 μ A \rightarrow 3.08 μ A (pwell-dnwellショート)

L_n 、 L_p はN⁺-pwell-dnwellバイポーラTr.と

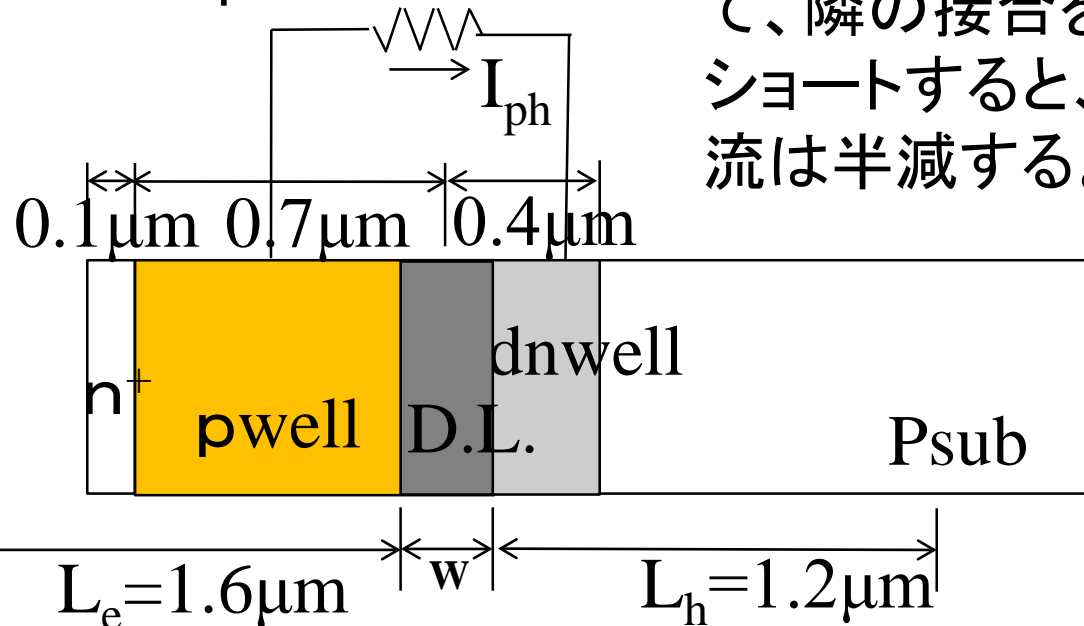
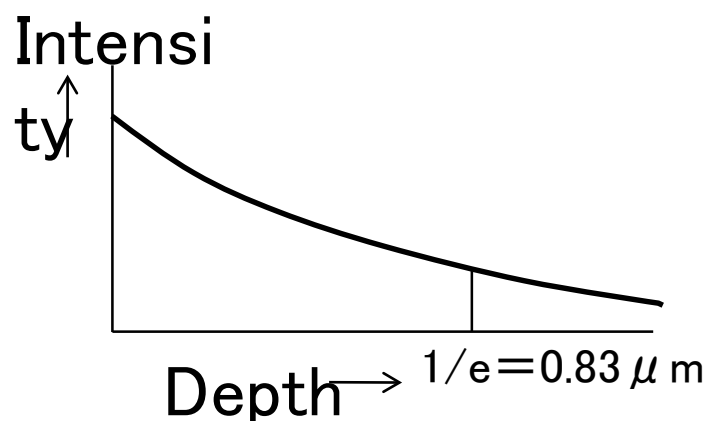
Pwell-dnwell-PsubバイポーラTr.の電流増幅率より推定。



光誘起電荷の収集



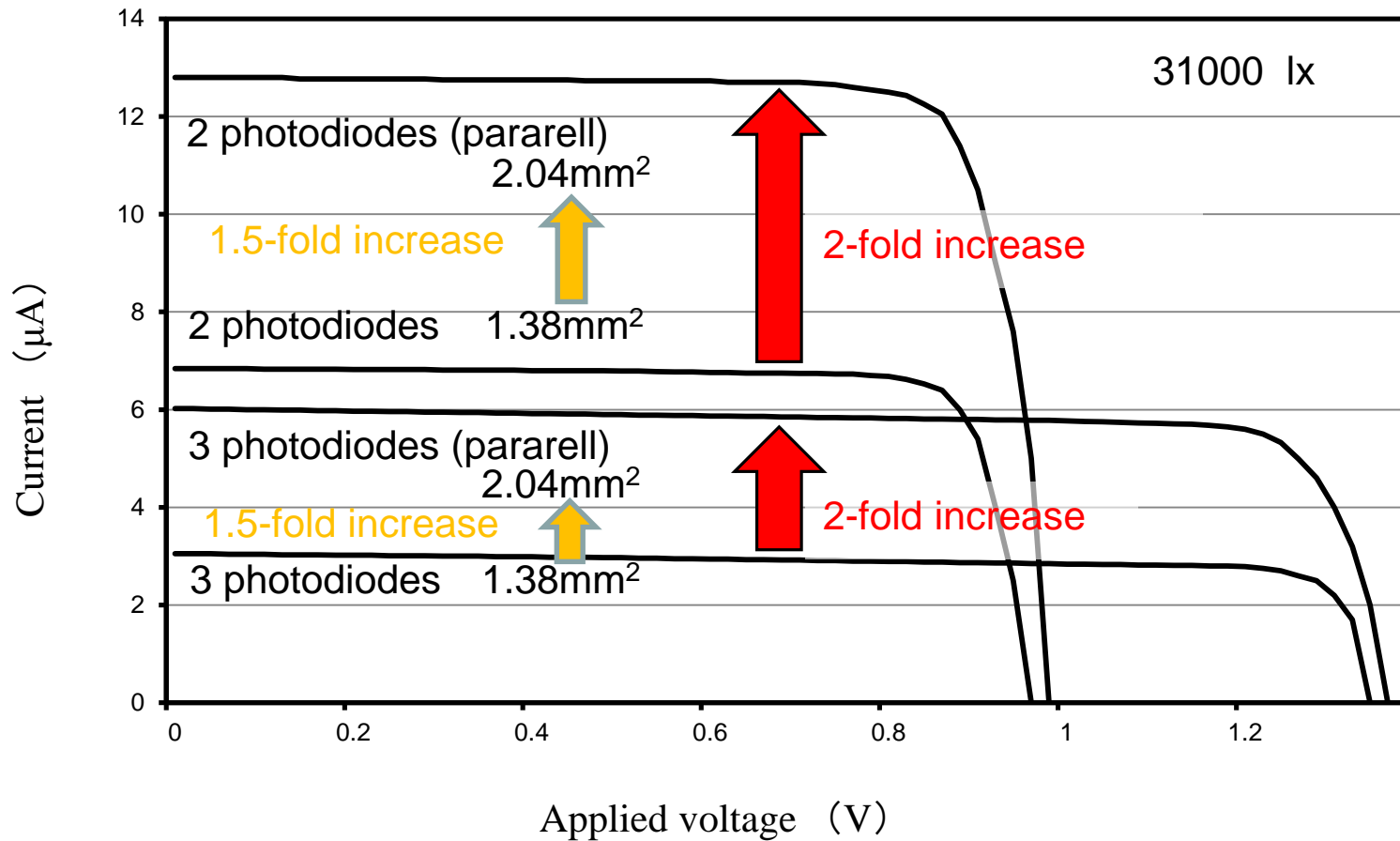
単一p-n接合の光誘起電流



(n⁺-)pwell-dnwell(-Psub)接合の光誘起電流

拡散長が長いので、pwell-dnwellと dnwell-Psubのどちらでもほぼ同じ光電流が得られる。したがって、隣の接合をショートすると、光電流は半減する。

面積効率の改善

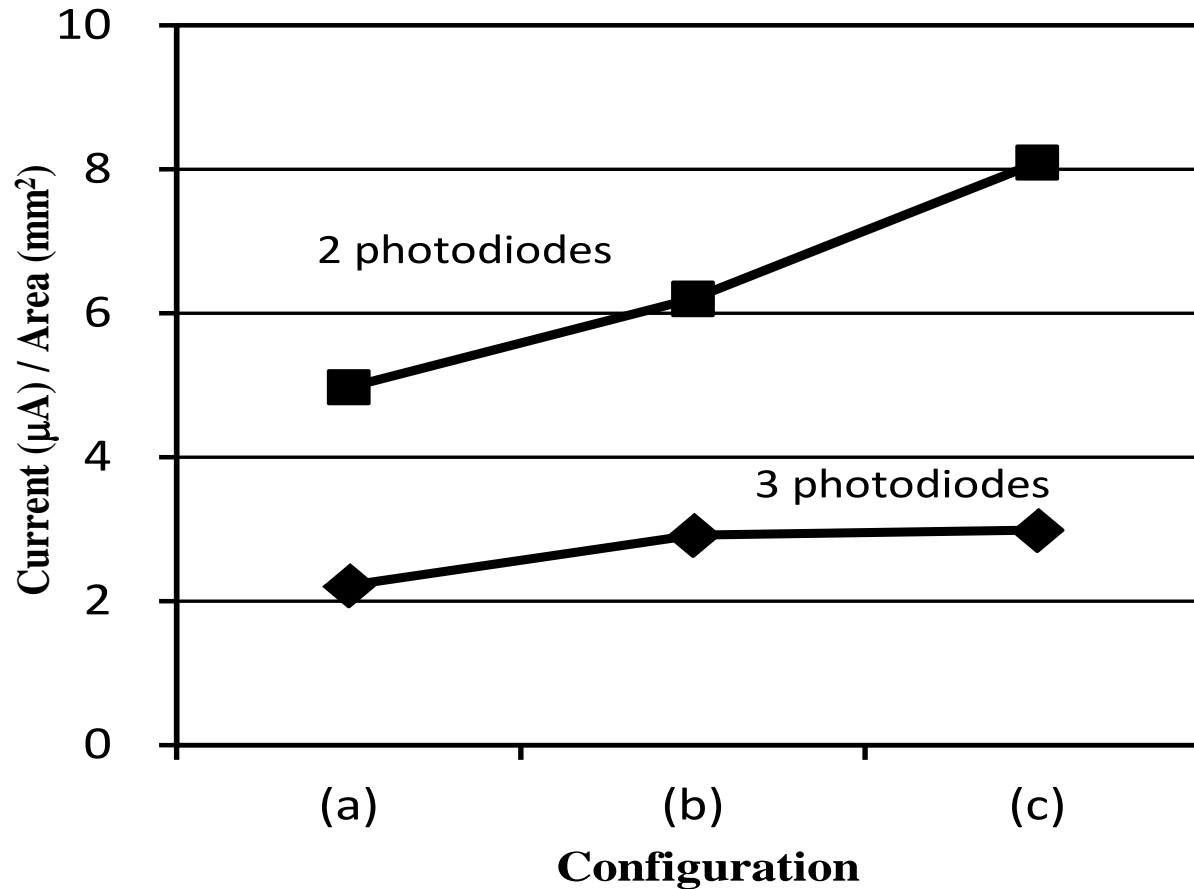


Area efficiency
= Current / Area

Current : 2-fold
Area : 1.5-fold

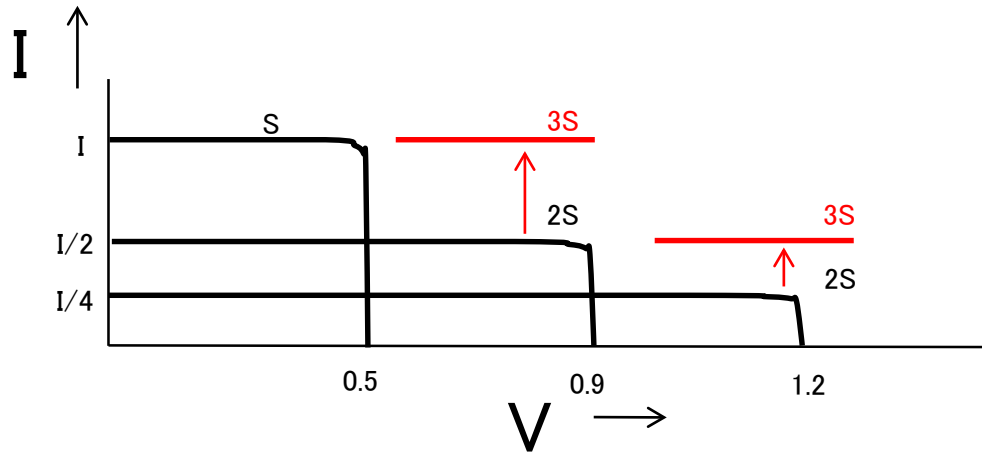
Area efficiency :
33% improvement

面積効率の比較

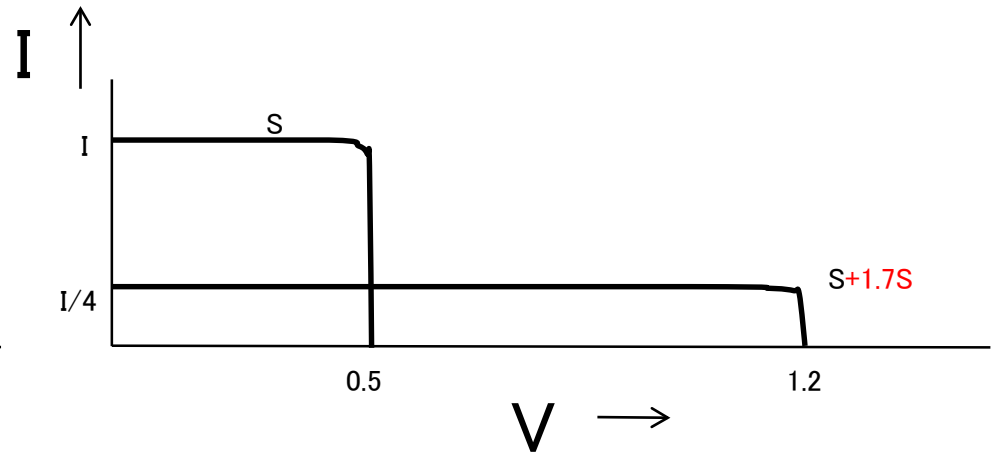


n+/p-well/dn-well/Psub構造を2つ用いて2直列接続、または3直列接続した場合の単位面積当たりの電流値を示す。2直列ではプラス電圧側、3直列ではマイナス電圧側を2倍の面積にした場合を(b)に示す。さらに、2直列では、マイナス側にp+/n-well/Psub構造を用いることで70%小さな面積を使い、3直列ではプラス側を7%小さな面積を使うことでさらに面積効率を向上させることができる。

面積効率～DC/DCコンバータとの比較～



太陽電池の直列接続

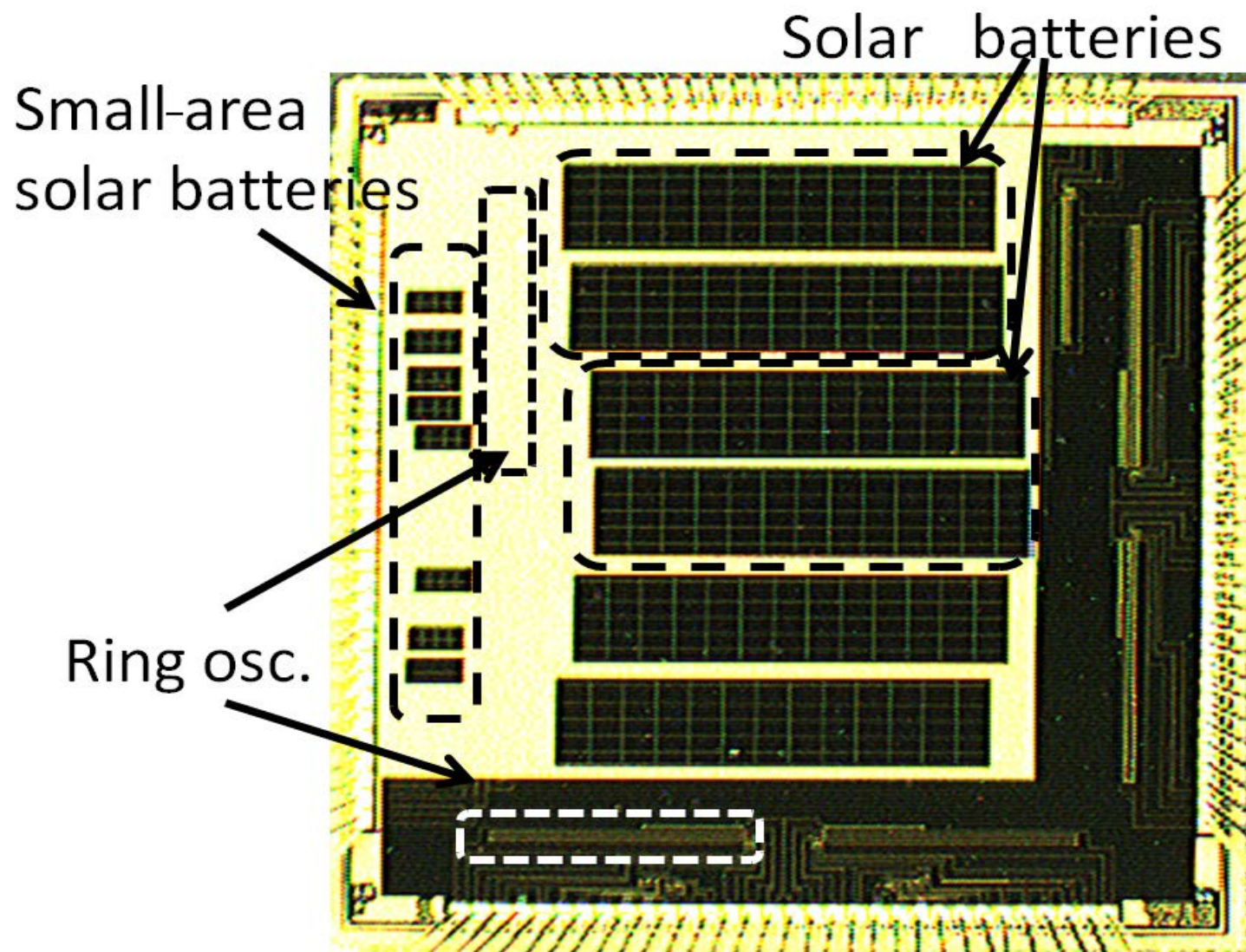


太陽電池+DC/DCコンバータ

	面積	電圧	電流	面積効率
単一フォトダイオード	S	0.5	I	$0.5I/S = 1$
2直列フォトダイオード	3S	0.9	I	$0.9I/3S = 0.6$
3直列フォトダイオード	3S	1.2	$(1/2)I$	$1.2I/6S = 0.4$
単一フォトダイオード+DC/DCコンバータ (After O.Aktan, et al., IEEE J.Sel.Topics Quantum Electron., vol.17, no.3, pp.747, May 2011.)	2.7S	1.19	0.26I	$0.31I/2.7S = 0.23$

DC/DCコンバータのキャパシタを含む面積が2.7倍であり、かつ電力変換効率が56%であるため、**直列接続の方が1.7倍面積効率が良い。**

オンチップ太陽電池を集積したLSIチップ



Chip size :
2.5x2.5
mm²

0.18um
CMOS

産業界へのアピールポイント

- 本技術の適用により、従来、0.5Vであった太陽電池の電圧を0.9~1.3Vに昇圧することに成功した。
- これにより、微細なチップで自立動作可能。
軽い、小さい、メンテナンスフリーなシステムを構成可能。
- 高集積LSIの機能を活用が可能。
CPU、メモリ、センサーなどの集積化で多機能化を実現。
- 欠点
太陽電池に大面積が必要 高価格
信号の取出しが困難

想定される用途

- ・ 微小チップによる自立動作を生かした用途
- ・ 外部との通信により、センサー、行動記録
虫、鳥などの行動記録
- ・ 電源不要のゲーム機
携帯ストラップゲーム機 ペンダントゲーム機
- ・ 医用機器 高磁界、高温環境下での動作
- ・ 光による制御デバイス
電池不要リモコン 人が近づくとスイッチオン
- ・ ウェアラブルコンピューティング
- ・ インテリジェント文具

企業に期待するもの

- 集積回路の応用を目指す企業様との共同研究を希望します。
- また、商品イメージの具体化についてご相談いただきたいと思います。
- 本技術の特性を生かした応用分野に特化した技術開発や事業化を希望いたします。光を用いた集積回路駆動による新規産業への展開を考えている企業には、本技術の導入が有効と思われる。

本技術に関する知的財産権

- 発明の名称：半導体装置
- 出願番号：特願2010-279171、特願2013-145256
- 出願人：学校法人東洋大学
- 発明者：堀口文男

お問い合わせ先

東洋大学

知的財産・産学連携推進センター(研究協力課)

TEL 03-3945-7564

FAX 03-3945-7906

e-mail ml-chizai@toyo.jp