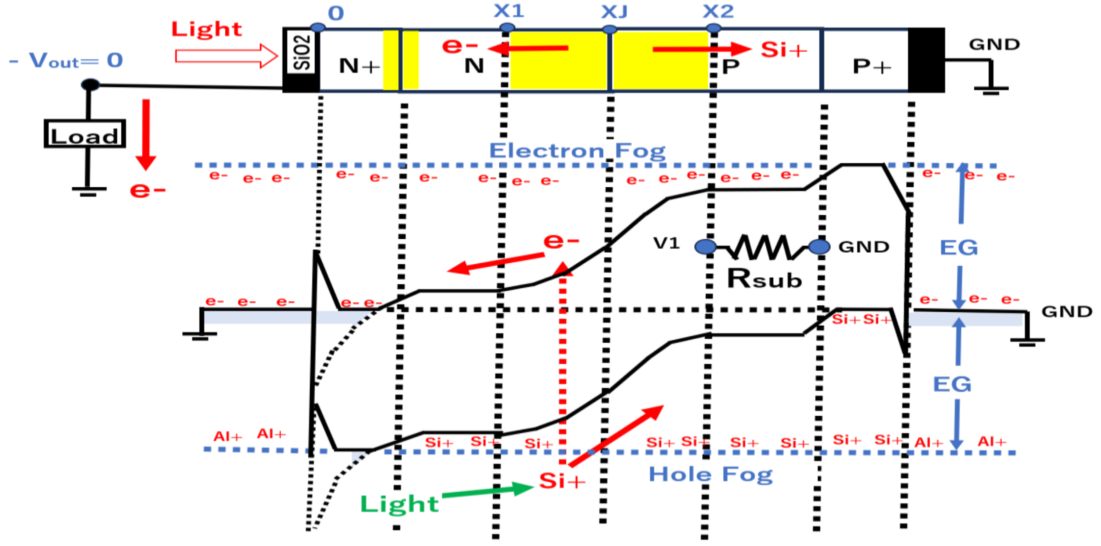
従来のN+NPP+ Single 接合型太陽電池の動作原理

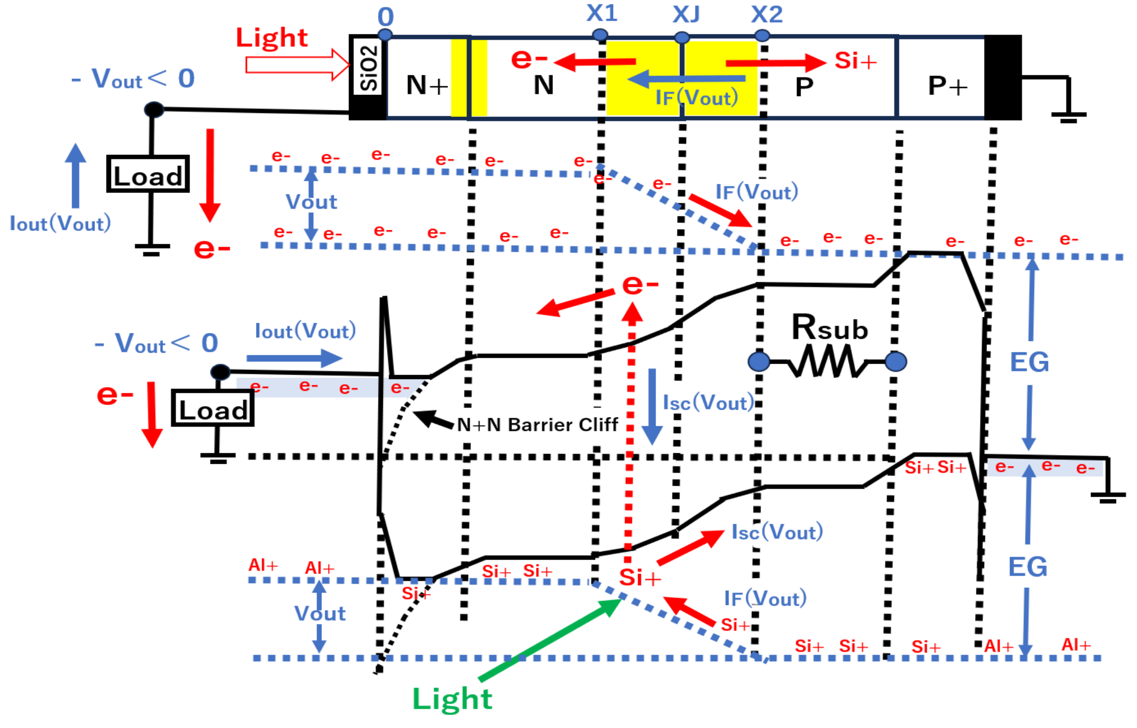
(a) 電流に寄与する電子(e-)とホール (Si＋) には、低エネルギー状態（液体）のものと高エネルギー状態（蒸気）のものの２つがある。No Bias 状態では気体状態のものも、液体状態のものも電流として寄与しない。 光の照射が全くない場合, No Bias となる。



(b) 順方向バイアス動作時、ＭＰＰＴ技術で出力電圧 Vout～0.41 voltを維持する。MAX Power d(Power)/d(Vouot) = 0 となる動作条件で、 太陽電池を動作させる。

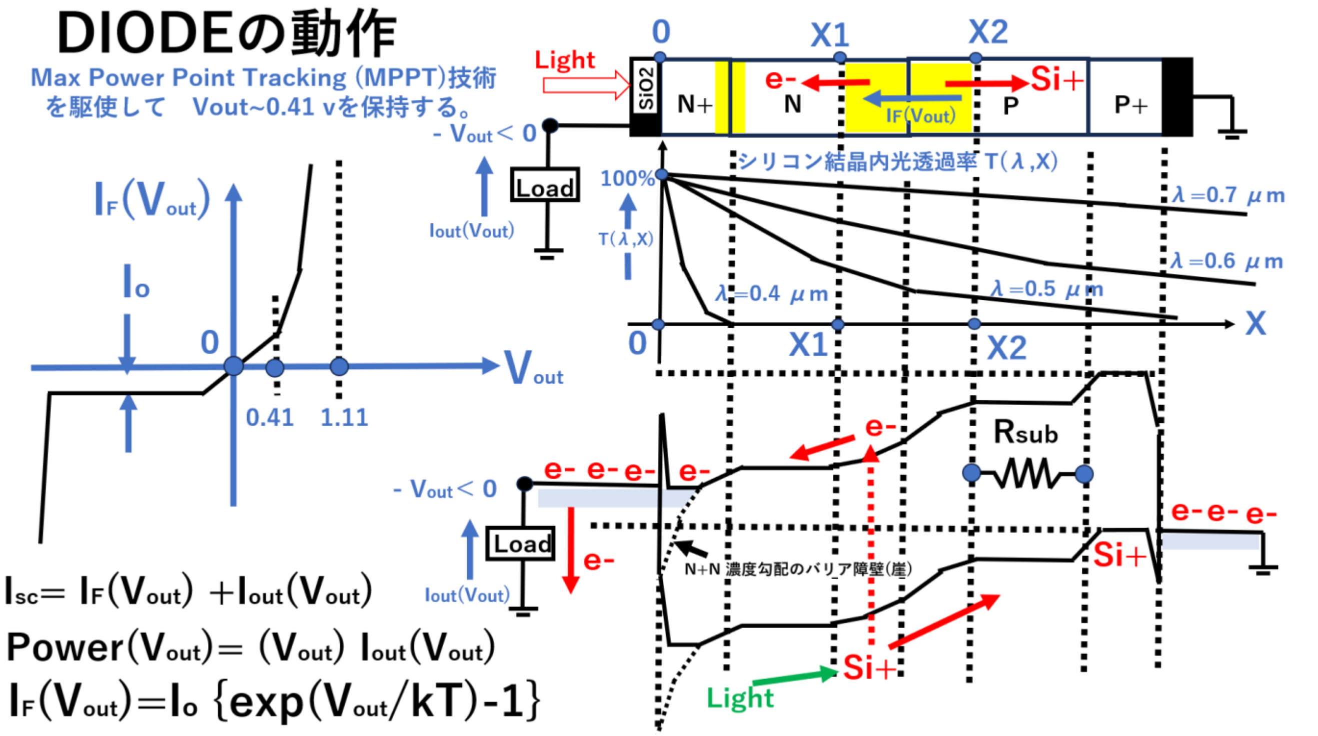
$$I_{sc} = I_{out}(V_{out}) + I_F(V_{out}) \; ; \quad V1 = (R_{sub})(I_F) \; ; \quad V_{out} = (R_{out})(I_{out});$$

$$I_F(V_{out}) = I_o A_o \exp(-EG/kT)\{\exp((V_{out} - V1)/kT) - 1\};$$

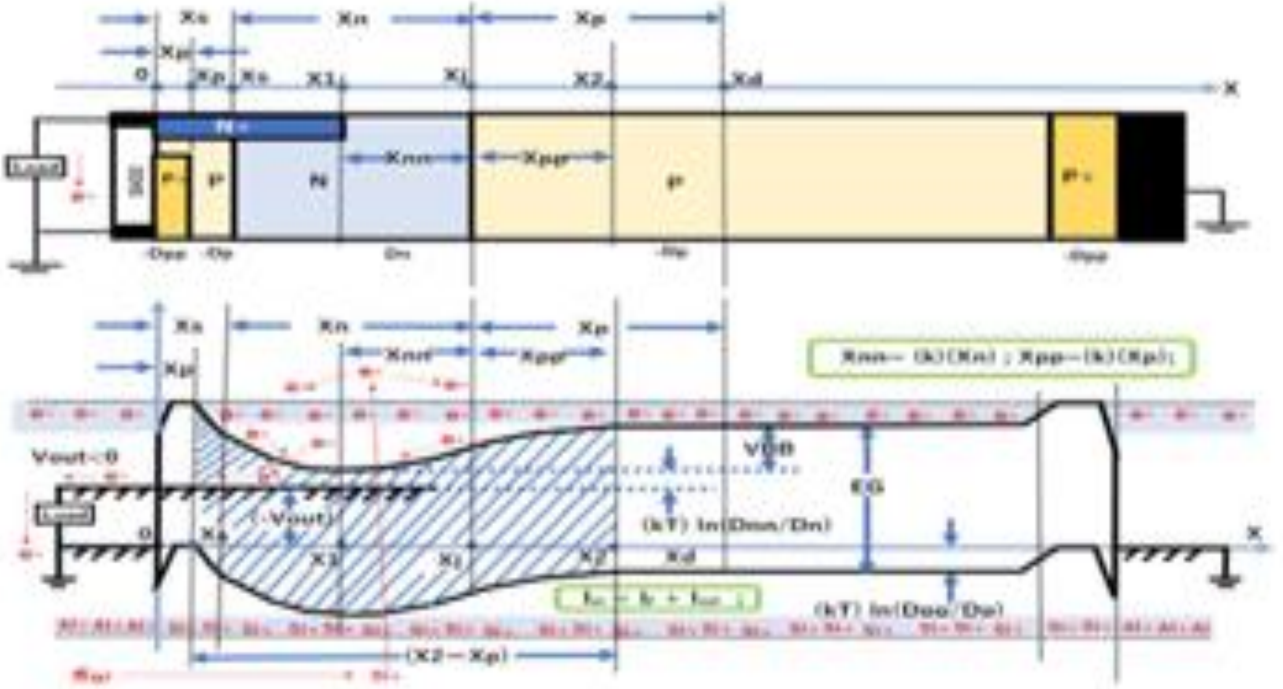


順方向バイアス時も逆方向バイアスの場合でも、気体状態にある高エネルギーの電子雲のみが、電流として寄与する。太陽電池の出力電流として寄与するのは液体状態の低エネルギー光電子である。エネルギー変換率は４３％が理論最高の期待値とされているが、電流として寄与する、太陽光の光子の個数の光電子への変換率は８０％迄実現可能。その限界値はシリコンのBand Gapの値に由来する。

従来のN+NPP+ Single 接合型太陽電池構造では、受光表面N+N領域がFloating状態のために、電位がFLATになる。その為に、受光面の N+N 濃度(崖)は「電子の海」の水面下に隠れ沈み、N+N 濃度勾配のバリア障壁(崖)は光電変換には寄与しない。



萩原提案のP+PNPP+ダブル接合型太陽電池構造では、受光表面P+Pの濃度勾配に生じるバリア障壁の存在は特に短波長光の光電変換に大きく寄与する。



JPA2020-131313 (JP6828108) invented by Yoshiaki Hagiwara

Prof. Yoshiaki Hagiwara talks on Fuji TV, March 24, 2013

崇城大学　萩原良昭教授　「自動走行車は可能！」

"I wish to have Artificial Intelligent Self-Driving Car in 2033 at age 85.."

電子デバイス産業新聞 電子版
Electronic Device Industry News

Sangyo-Times.jp/article_ID=5331_(html)

ボロボロになった取材ノートは語る

～半導体業界最古参記者　泉谷渉の独り言～

●記事の原文に解説図を追加、この詳細を Image Sensor Story と題して 本にまとめたいです。(萩原良昭)

第408回

「鉄腕アトムを創りたい」という男が画像の新世界を切り開く

元ソニーの萩原良昭氏が開発したPPDは超優れものデバイス

2020/11/13

従来型のN+NPP+Single Junction Solar Cell の問題点

Power(Vout) ＝ (Vout)・Iout(Vout)

Isc(Vout)＝ Iout(Vout) ＋ IF(Vout)

IF(Vout) ＝ Io { exp((Vout-V1)/kT)-1} ;

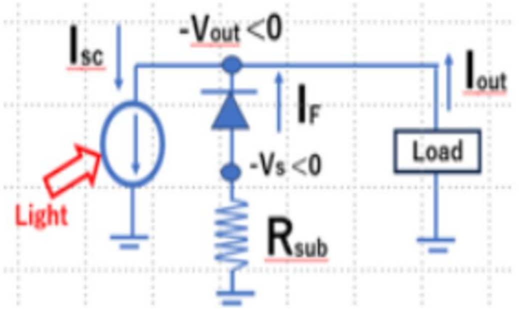
dPower(Vout)/d(Vout) ＝ 0 gives Max Power;

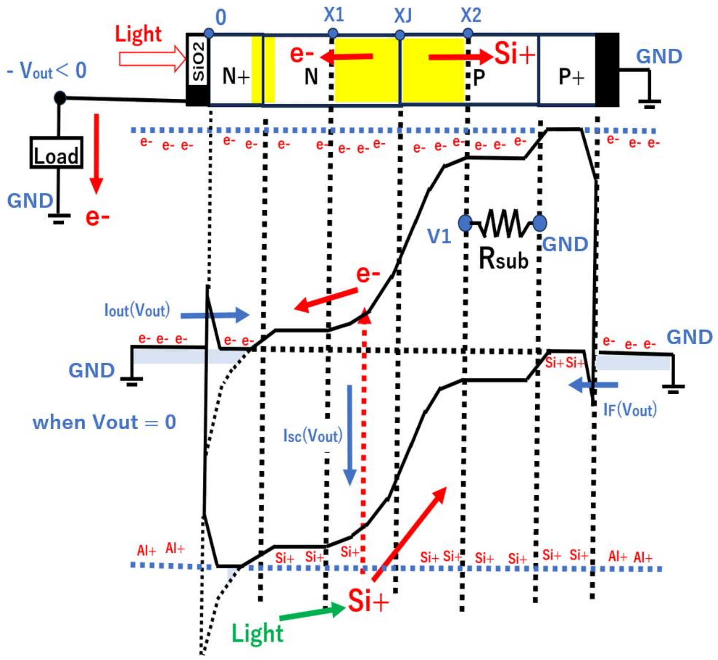
EG=1.11 v ; Vout~0.41 v; kT=0.0259 v;

DNN~DPP~10^{18} cm^{-3} ; Obtain XW(DP,DN) ;

VB ＝ EG-Vout-(kT) ln(DPP/DP)-(kT) ln(DNN/DN);

XW ＝(X2-X1)＝ sqrt(2 Esi VB (DP+DN)/(DPDN));





基板濃度を限りなく高抵抗にするとSolar Cell として機能しない。基板濃度には最適濃度の値が存在する。

```
DPP= 10400000, DNN=28000000, kT=0.0259, Esi=648;

EG=1.11, Vout=0.41;

VB=EG-Vout-kT*log(DPP/DP)-kT*log(DNN/DN);

XW=sqrt(2*Esi*VB*(DP+DN)/DP/DN);

DN= 32, DP= 32, kT*log(DPP/DP)=0.328712, kT*log(DNN/DN)=0.354363, VB=0.016925, XW=1.170858 ;

DN= 64, DP= 64, kT*log(DPP/DP)=0.310759, kT*log(DNN/DN)=0.336411, VB=0.052830, XW=1.462740 ;

DN=128, DP=128, kT*log(DPP/DP)=0.292807, kT*log(DNN/DN)=0.318458, VB=0.088735, XW=1.340478 ;

DN=256, DP=256, kT*log(DPP/DP)=0.274854, kT*log(DNN/DN)=0.300506, VB=0.124640, XW=1.123378 ;

DN=512, DP=512, kT*log(DPP/DP)=0.256902, kT*log(DNN/DN)=0.282553, VB=0.160545, XW=0.901531 ;
```

VB ＝ EG-Vout-(kT) ln(DPP/DP)-(kT) ln(DNN/DN);

XW ＝(X2-X1)＝ sqrt(2 Esi VB (DP+DN)/(DPDN));

その理由は、基板に金属の接地(GND) コンタクトをオーミック接合 とする為にP+領域が必要である為で、その為に、P+領域の濃度(DPP)と基板濃度(DP)の間にバリア電位障壁 (kT) ln(DPP/DP) が増大する事になる。基板濃度 DPに空乏層を最大にする最適値が存在する。

有効光電変換領域の幅(XW)に限界があり、1.5 μm 以上にできない。

XWの値はDPとDNの関数として求まる。XWには上限が存在する。

```
DPP= 10400000, DNN=28000000, kT=0.0259, Esi=648;

EG=1.11, Vout=0.41;
```

XWの値は　1.5 μm 以上にはできない。

$$VB = EG - Vout - \underline{(kT)\ln(DPP/DP)} - (kT)\ln(DNN/DN);$$

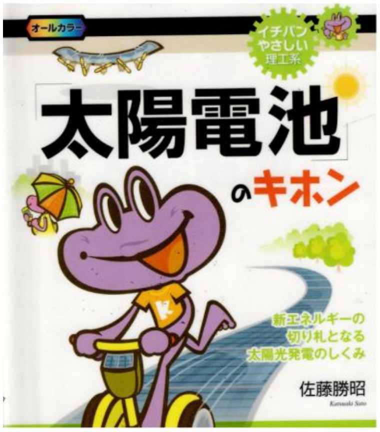
バリア障壁

$$XW = (X2-X1) = \mathrm{sqrt}(\ 2\ Esi\ VB\ (DP+DN)/(DPDN)\ );$$

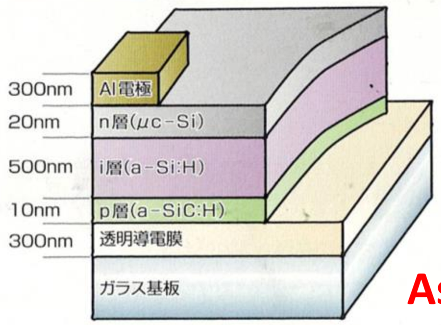
```
DN= 32, DP= 32, kT*log(DPP/DP)=0.328712, kT*log(DNN/DN)=0.354363, VB=0.016925, XW=1.170858 ;
                                                                                    MAX
DN= 64, DP= 64, kT*log(DPP/DP)=0.310759, kT*log(DNN/DN)=0.336411, VB=0.052830, XW=1.462740 ;

DN=128, DP=128, kT*log(DPP/DP)=0.292807, kT*log(DNN/DN)=0.318458, VB=0.088735, XW=1.340478 ;

DN=256, DP=256, kT*log(DPP/DP)=0.274854, kT*log(DNN/DN)=0.300506, VB=0.124640, XW=1.123378 ;

DN=512, DP=512, kT*log(DPP/DP)=0.256902, kT*log(DNN/DN)=0.282553, VB=0.160545, XW=0.901531 ;
```

「太陽電池のキホン」
佐藤勝昭著

ISBN978-4-7973-6-6084-4



薄膜シリコン太陽電池の断面



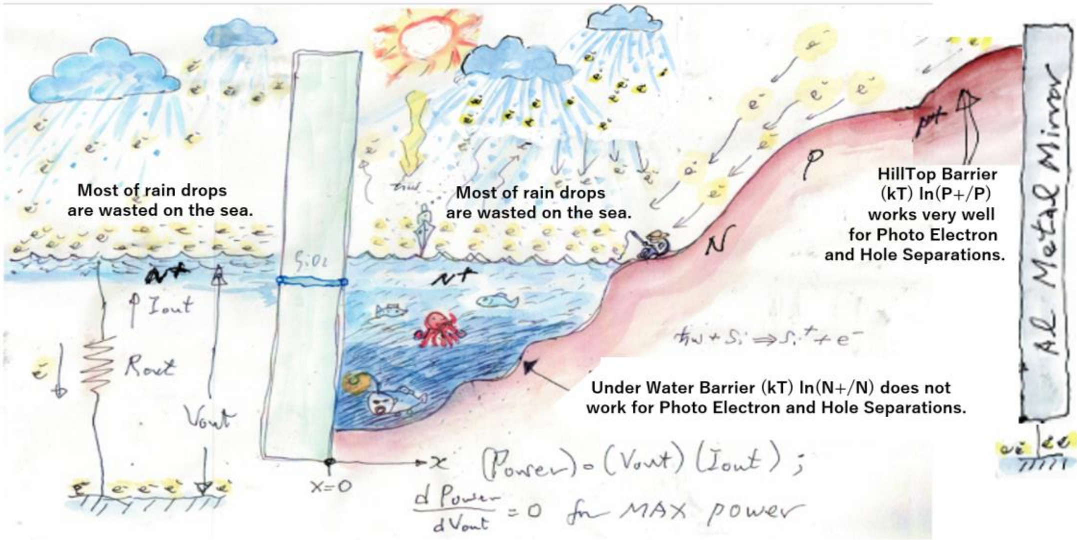
濃度が極端に薄い Intrinsic Silicon 膜を使うと、濃度差によるバリア障壁が限りなく増大して動作しなくなる。

As DP → 0 ,

(バリア障壁) = (kT) ln(DPP/DP) → ∞ ;

薄膜シリコン太陽電池は、透明導電膜をつけたガラスやプラスチックの基板の上に、p層としてバンドギャップの大きなa-SiC:H, i層としてa-Si:H, n層としてバンドギャップが小さく導電性の高い微結晶シリコン(μc-Si)を積層し、アルミニウムの裏面電極をつけたヘテロ構造になっている

2024_07_31_超光感度半導体素子の発明の特許と未来への期待_萩原良昭



従来のN+NPP+シングル接合型太陽電池の問題点