

IEEE ICCAS2023 Invited Paper on “Artificial Intelligent Partner System (AIPS) with Pinned Buried Photodiode used for Robot Vision and Solar Cell Panel “

[PNP Double Junction Pinned Photodiode type Solar Cell Slide Show.html](#)

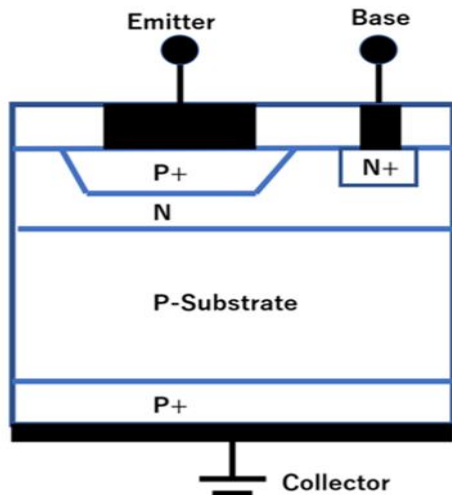
- (1) Invited Paper [CCCAS2023_CS23-217_paper.pdf](#)
- (2) Slides [Slides.pdf](#) [Slides.pptx](#)
- (3) Slide Show [Slide_Show.html](#)
- (4) Presentation Video [Video_Presentation.mp4](#)

[SSDM1977_Sony_Paper](#)

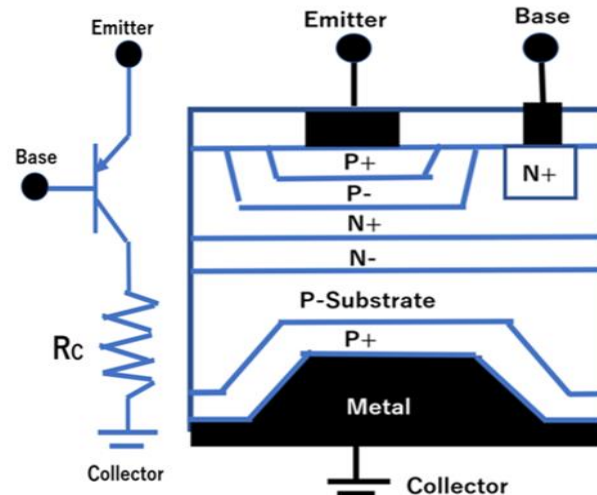
[SSDM1978_Sony_Paper](#)

[CCD1979_Sony_Paper](#)

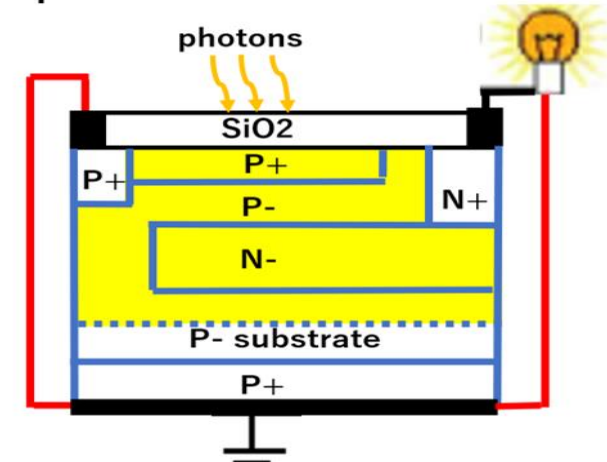
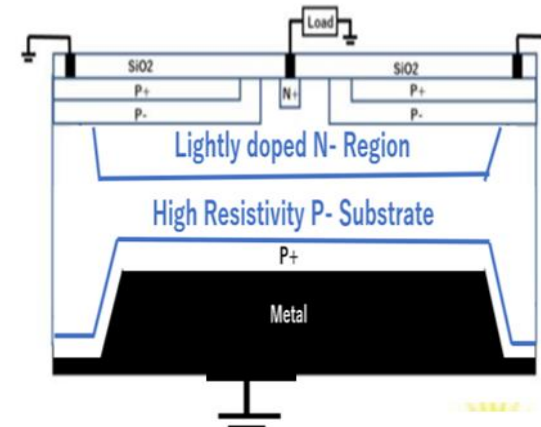
Bell Lab 1948 Bipolar Transistor



Sony Bipolar Transistor



PNP Double Junction Solar Cell,
also working as a single photo-electron detector



[Publication List by Yoshiaki Hagiwara.html](#)

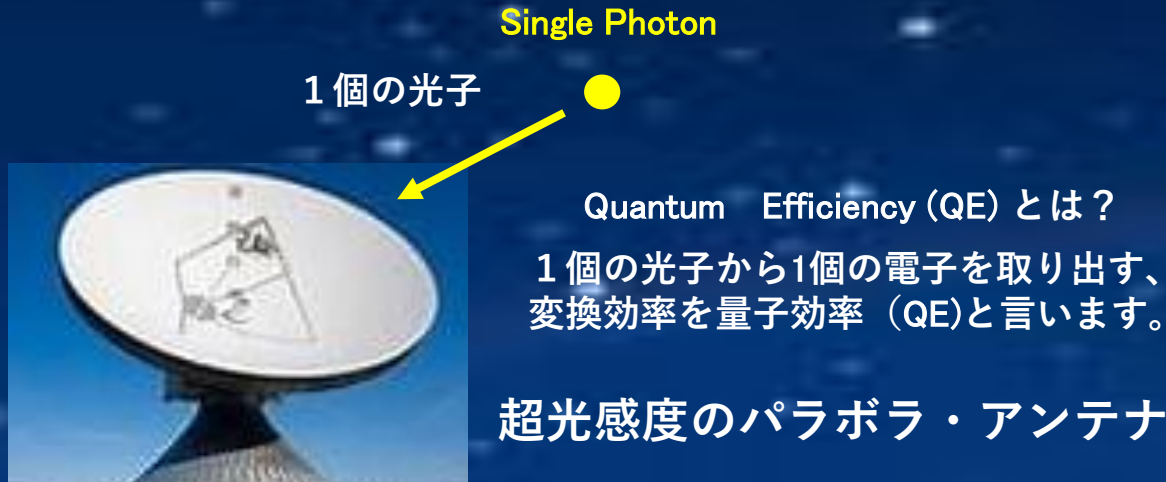
<http://www.aiplab.com>

P+P-N-P-P+ double junction Pinned Photodiode type Solar Cell
[Japanese Patent Application JPA2020-131313](#)

ビデオカメラ用の受光素子(Pinned Photodiode)も太陽電池も、両者ともに理想的には1個の光子(photon)から1個の光電子(photo electron)を取り出す事を目標とする半導体部品です。

["Chronology of Silicon-based Image Sensor development"- Y. D. Hagiwara.pdf](#)

https://eds.ieee.org/images/files/newsletters/Newsletter_Jan23.pdf



半導体部品

超光感度のパラボラ・アンテナ機能を持つ
P+P-N-P-P+接合型Pinned Photodiode型受光素子は、

- 1) ビデオカメラ用の半導体受光素子としても、
- 2) 量子効率の優れた新型太陽電池としても使えます。

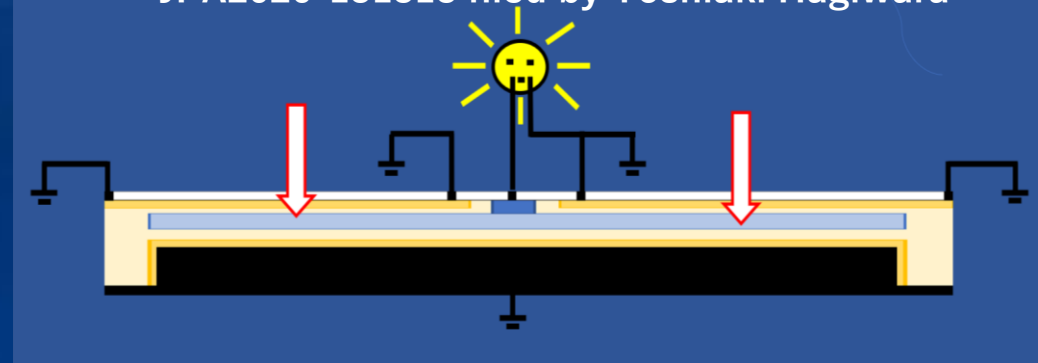
Single Photo Electron

e-

1個の光電子

P+P-N-P-P+ junction Pinned Photodiode Solar Cell

JPA2020-131313 filed by Yoshiaki Hagiwara



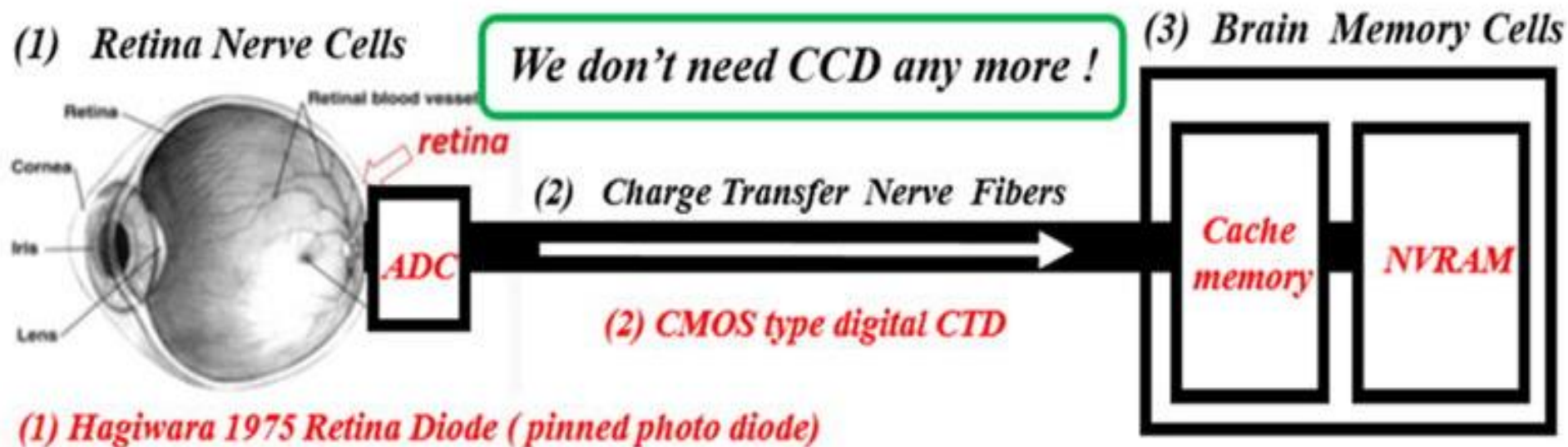
[Pinned Photodiode型太陽電池の提案.pdf](#)

ビデオカメラで使用する超光感度の受光素子(萩原の1975年の発明)は、高い変換効率で光信号エネルギーを電気信号エネルギーに変換します。すなわち、1個の光子(photon)から1個の光電子(photo electron)を効率よく取り出すことができる半導体素子のことです。受光部では、光が電子の塊として光電変換されて蓄積され、アナログ電荷信号として出力端子まで伝送するアナログ信号伝送装置としてCCDが広く使われていました。

Digital CMOS image sensor

is made of (1) Pinned Photo Diode (2) Charge Transfer Device(CTD)
(3) A/D converter (4) Fast Cache SRAM and (5) Slow Nonvolatile RAM

In 1970s, the pixel size was too small to include one single metal-contact nor one single MOS-transistor. We all knew that by the advancement of CMOS process scaling technology, this problem can be solved. Meanwhile, the CCD type analog charge transfer device became the hero since 1987 till early 2000s. Now this APS circuit, invented in 1968 by Peter Noble, replaced CCD completely in our Digital TV Era.



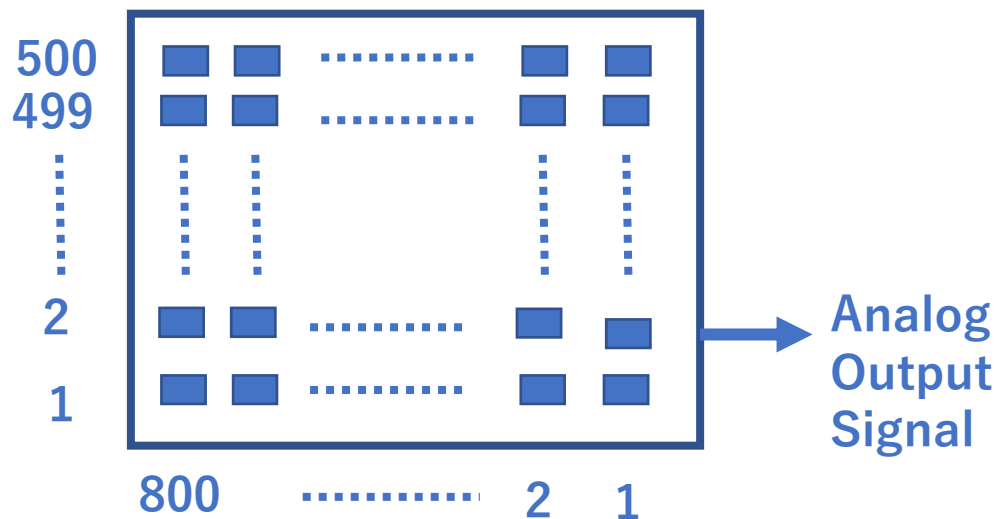
CCDの欠点は電荷転送効率が 99.999% が限界あることです。高解像のデジタル映像のTVのSCAN SYSTEMでは 1 万回以上電荷を転送する必要があります。その場合転送雑音が 1 0 %以上になります。それで結果として、出力される映像が劣化してCCDは使用不可となります。CCDはその為、高解像のデジタルTV時代には使われなくなりました。CMOSプロセスの微細化技術が進歩した結果です。

In 1970s, the pixel size was too small to include one single metal-contact nor one single MOS-transistor. We all knew that by the advancement of CMOS process scaling technology, this problem can be solved.

Meanwhile, the CCD type analog charge transfer device became the hero since 1987 till early 2000s.

Now this APS circuit, invented in 1968 by Peter Noble, replaced CCD completely in our Digital TV Era.

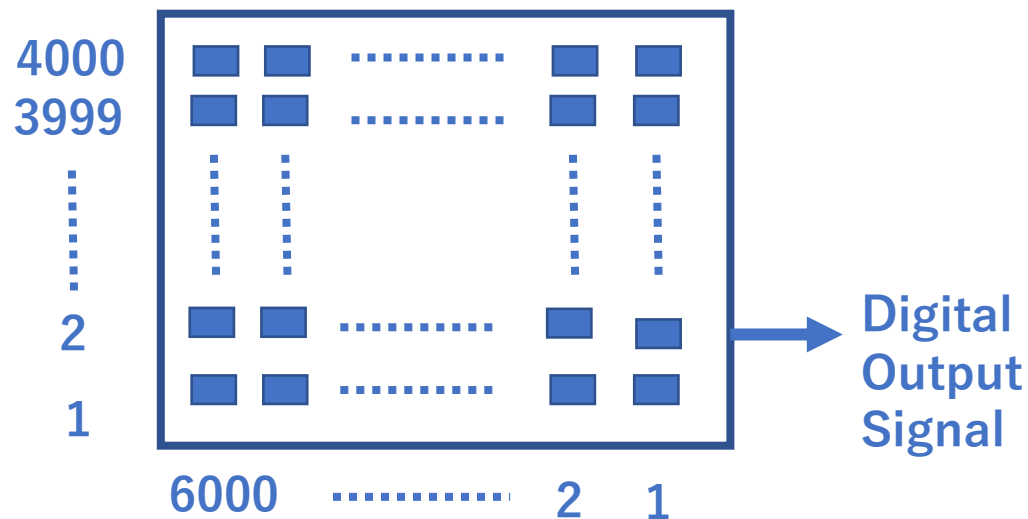
Analog TV



800H x 500V Picture Element (pixel)

転送雑音 (0.001 %) x (500 + 800) = 1.3 %

Digital TV



6000H x 4000V Picture Element (pixel)

転送雑音 (0.001 %) x (4000 + 6000) = 12 % ← Too Large !

現在では、絵素ごとにAD変換して、その微小振幅のデジタル信号を低消費電力のCMOS型の伝送回路で、外部端子に出力して、外部の装備されたメモリーや画像認識処理装置へとデジタル信号として伝送されています。CCD Image Sensorが消えて、現在は、CMOS Image Sensorが主流になった理由です。信号電荷転送装置としてのCCDの役割は現在ではCMOS型の信号電荷転送装置で置き換わりました。1968年にPeter Nobleが発明した、Active In-pixel Source Follower (APS) 回路が、現在、CMOSプロセスの微細化技術の進歩のお陰で実用化されて現在広く、CMOS Image Sensorに使われています。

In 1970s, the pixel size was too small to include one single metal-contact nor one single MOS-transistor. We all knew that by the advancement of CMOS process scaling technology, this problem can be solved. Meanwhile, the CCD type analog charge transfer device became the hero since 1987 till early 2000s. Now this APS circuit, invented in 1968 by Peter Noble, replaced CCD completely in our Digital TV Era.

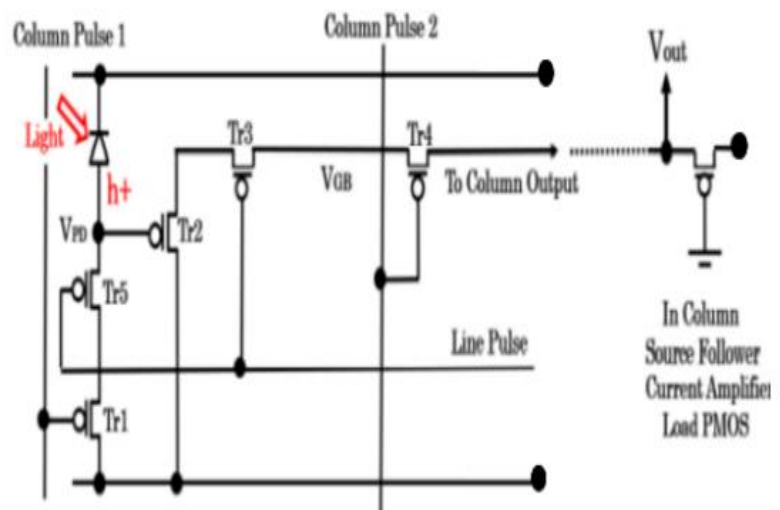


Fig. 20 Active In-pixel source-follower type (APS) PMOS imager invented by Peter Noble in 1968. PMOS transistors were too large in early 1970s, now small enough, thanks to the modern advancement of CMOS process scalings.

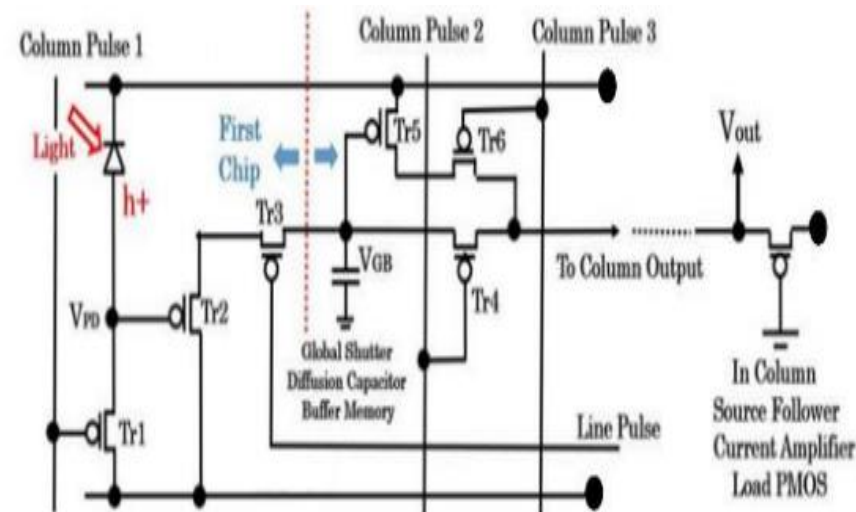


Fig. 23 Active In-Pixel Sensor for 3D APS by Hagiwara in 2000

またCCDではその消費電力が無視できないことです。絵素数が多い高解像度の受光素子に使うには不利です。CMOS型の電荷転送装置の方がCCD型の電荷転送装置よりはるかに消費電力に優れています。ビデオカメラ用の受光素子として、1987年からずっと、CCD image sensorの時代もCMOS image sensorの時代も、1975年にSony（萩原良昭）が発明した P+P-N-PN+ 接合型の受光素子、Pinned Photodiodeの構造が採用されています。

ビデオカメラで広く使用されている Pinned Photodiode(萩原の1975年の発明)は高い光電変換効率を持ち、エネルギーを電気信号エネルギーに効率よく変換します。

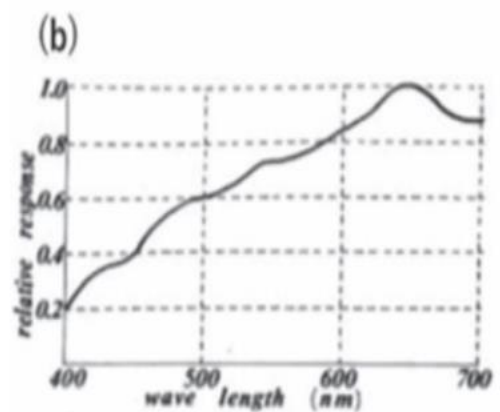
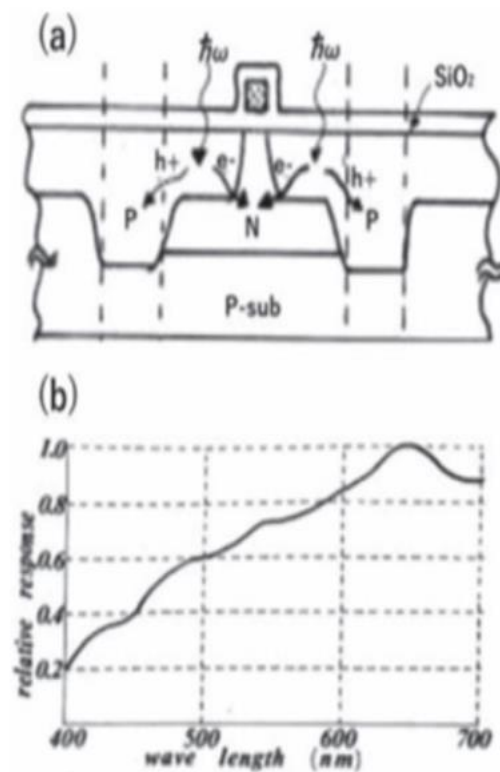
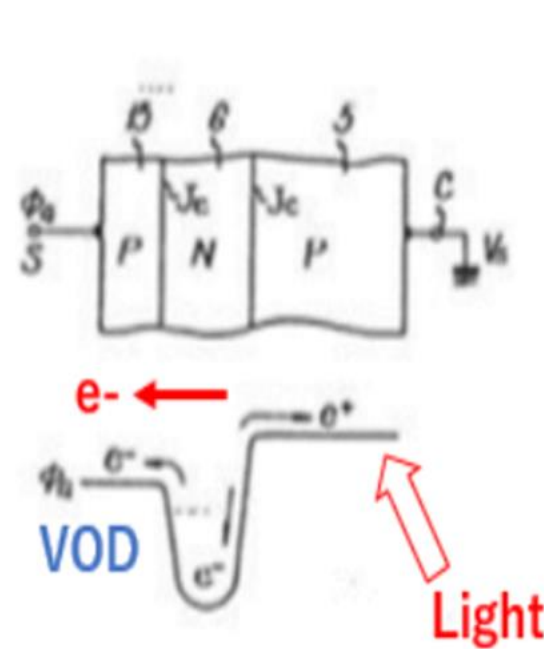
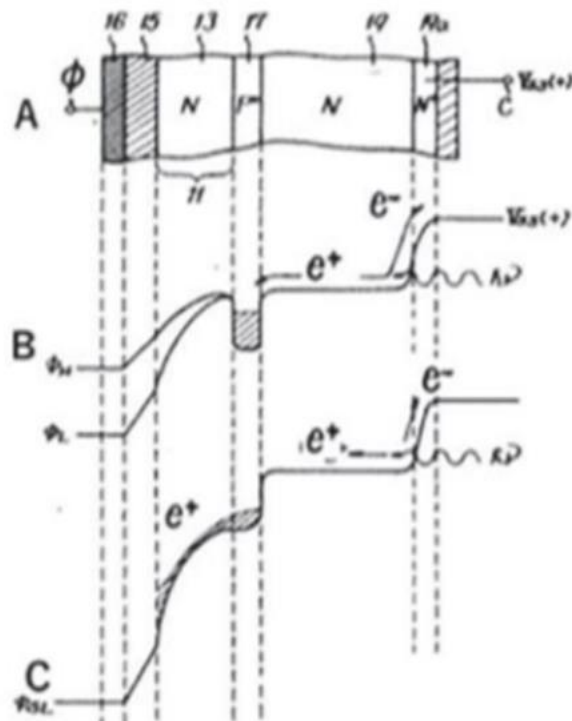
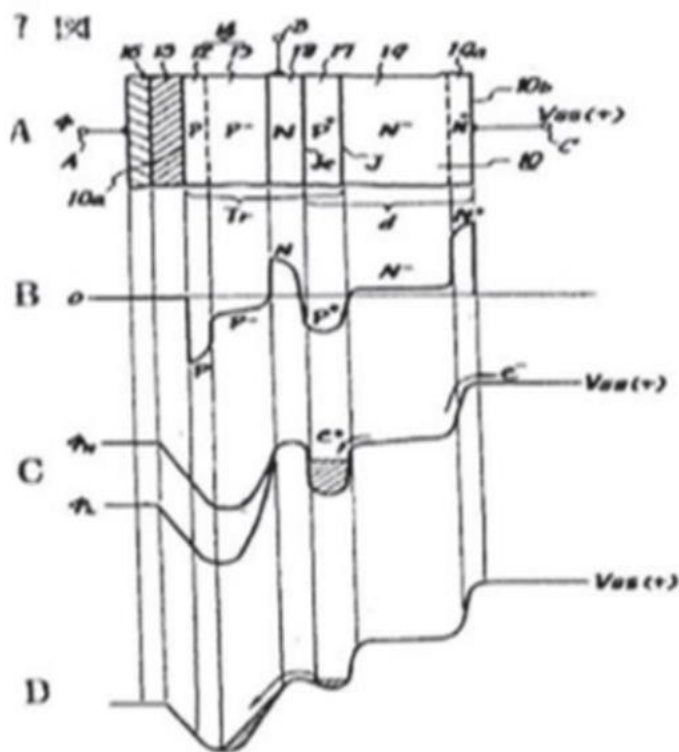
The First Invention and the development efforts of Pinned Buried Photodiode by Sony.

[JPA1975-127646](#)

[JPA1975-127647](#)

[JPA1975-134985](#)

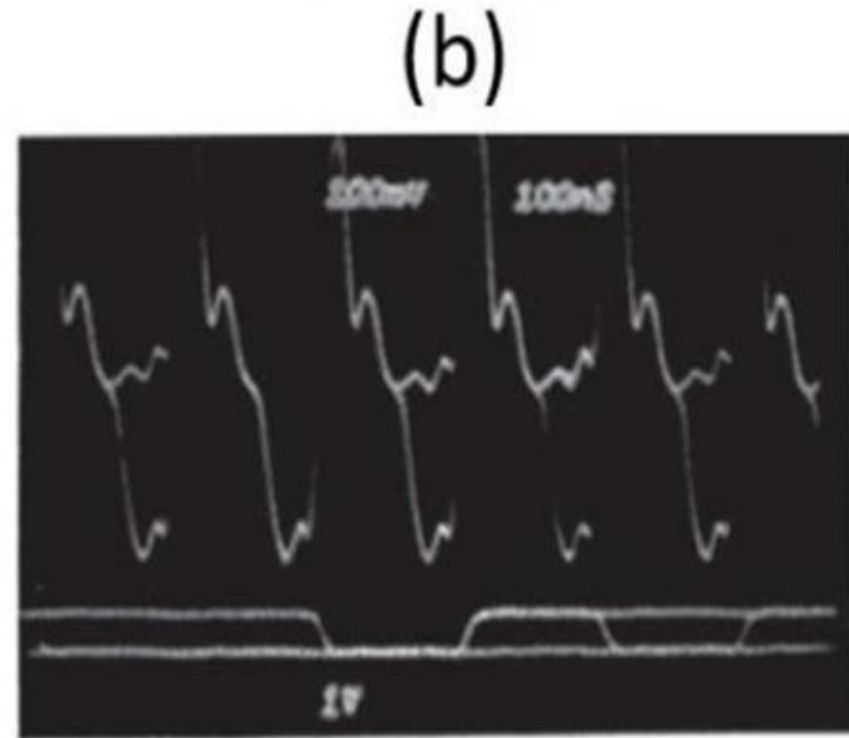
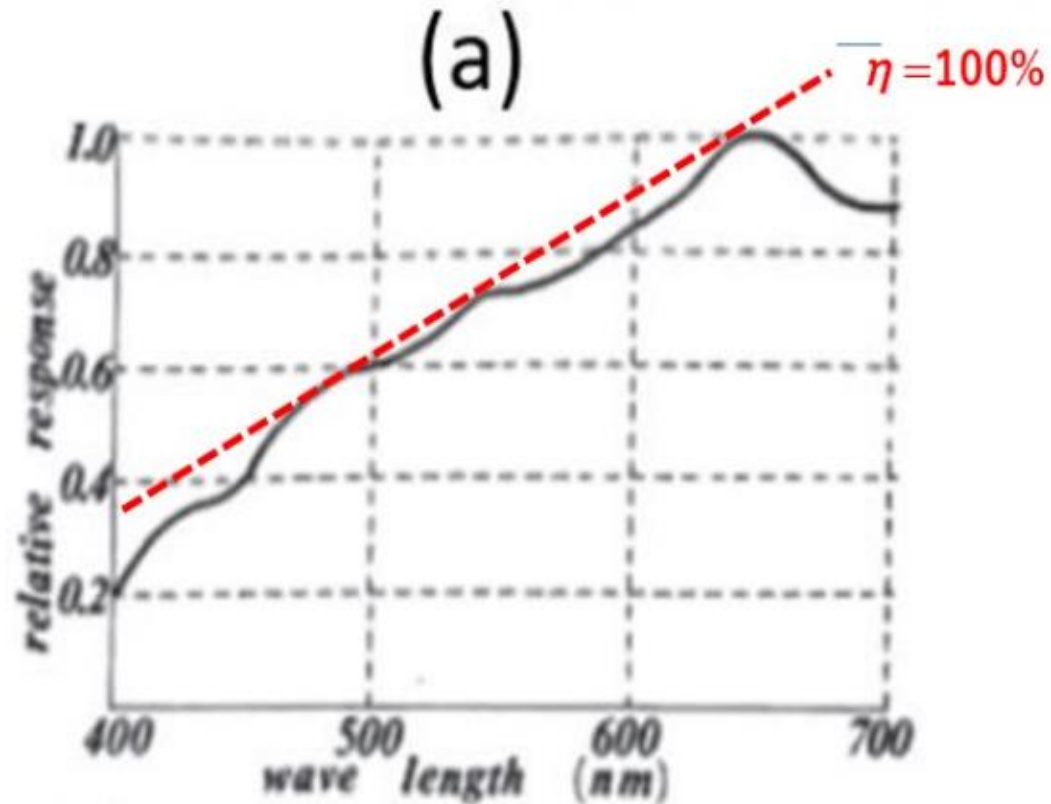
[SSDM1978 Sony Paper](#)



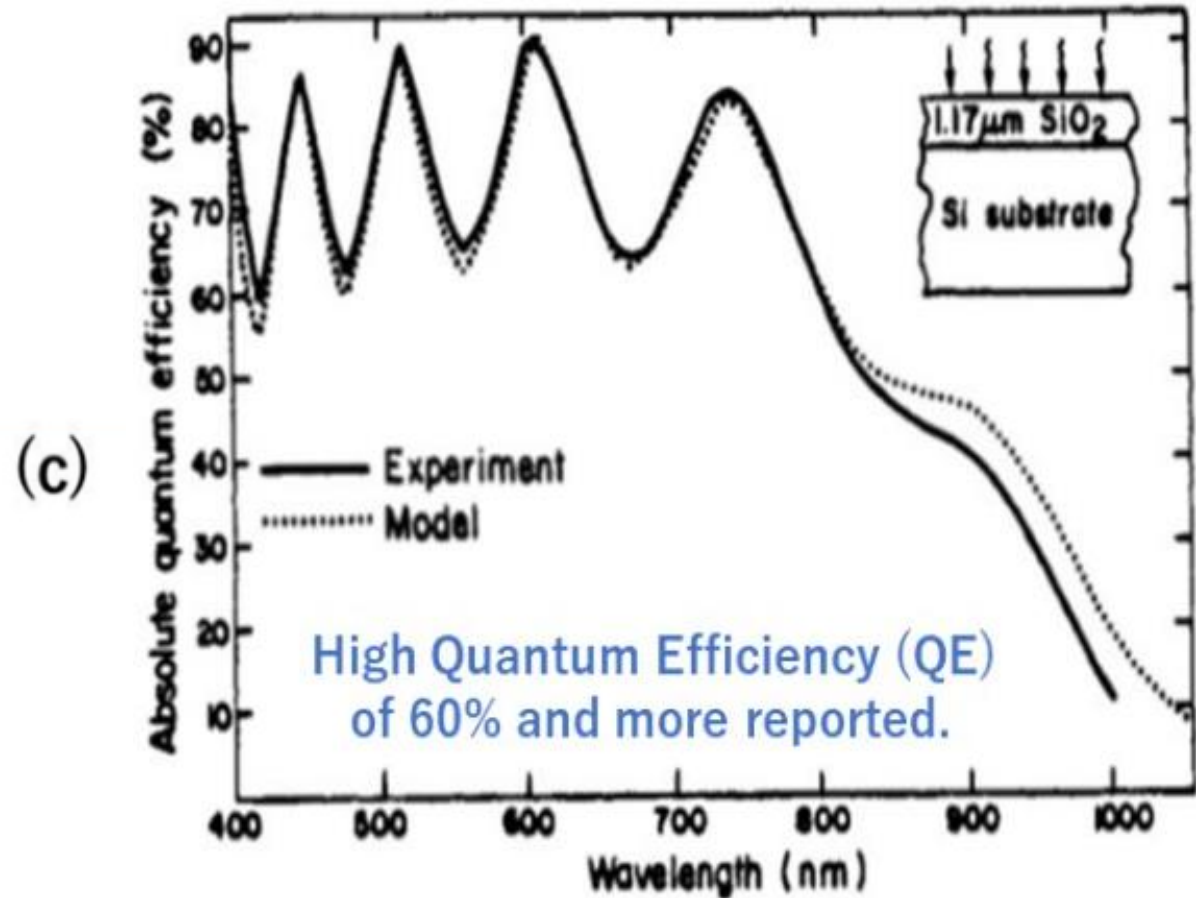
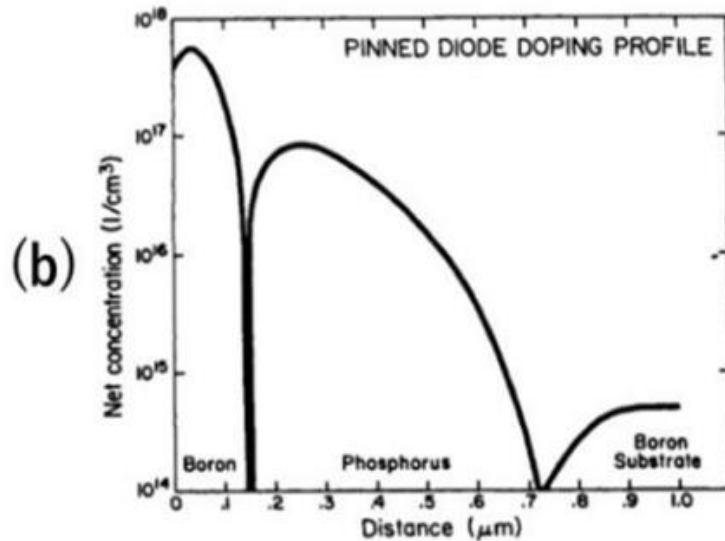
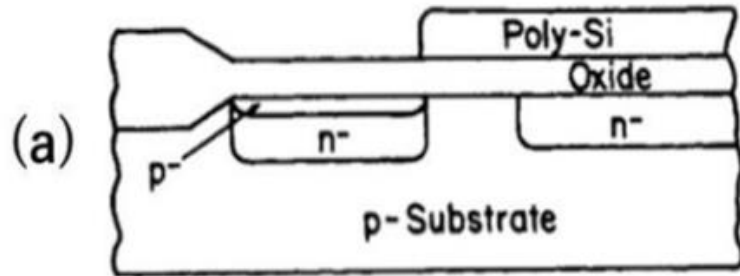
スマホやビデオカメラで広く使用されている超光感度の受光素子である、Pinned Photodiodeは、もとSonyの萩原良昭が1975年に発明し、1977年～1978年に開発し、国際学会SSDM1977とSSDM1978で発表した優れたものです。超光感度の高い光電変換効率を持ちエネルギーを電気信号エネルギーに効率よく変換します。

Sony 1978 Pinned Photodiode reported at SSDM1978

SONY SSDM1978 Conference paper reported High Quantum Efficiency of about $\eta = 60\%$ at $\lambda = 400 \text{ nm}$.

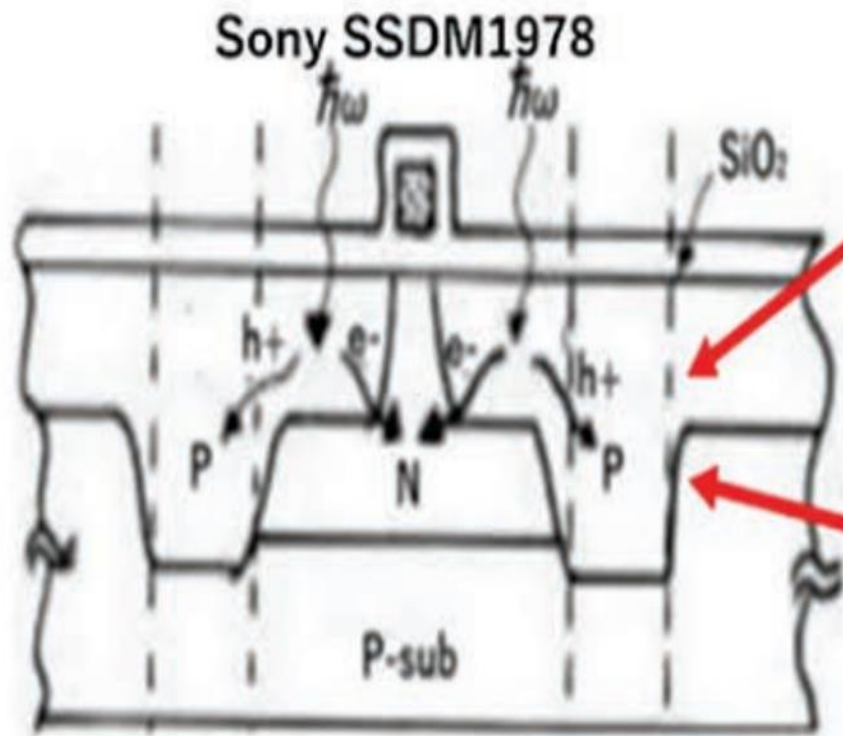


またCCDではその消費電力が無視できないことです。絵素数が多い高解像度の受光素子に使うには不利です。CMOS型の電荷転送装置の方がCCD型の電荷転送装置よりはるかに消費電力に優れています。受光素子も新型太陽電池もその動作原理は同じものです。ともに1個の光子(photon)から1個の光電子(photo electron)を効率よく取り出すことができる半導体素子のことです。



KODAK 1984 Pinned Photodiode reported at IEDM1984

このP+P-N-P-P+ 接合構造を新型太陽電池としても使えます。このP+P-N-P-P+ 接合構造の新型太陽電池は、さらに単純な構造をしており、製造コストも設計開発コストも従来のビデオカメラ用の受光素子構造と比較して、少ないと期待されます。その動作原理も基本構造も、ビデオカメラ用の受光素子ほぼ同一です。ともに1個の光子(photon)から1個の光電子(photo electron)を効率よく取り出すことができる半導体素子です。

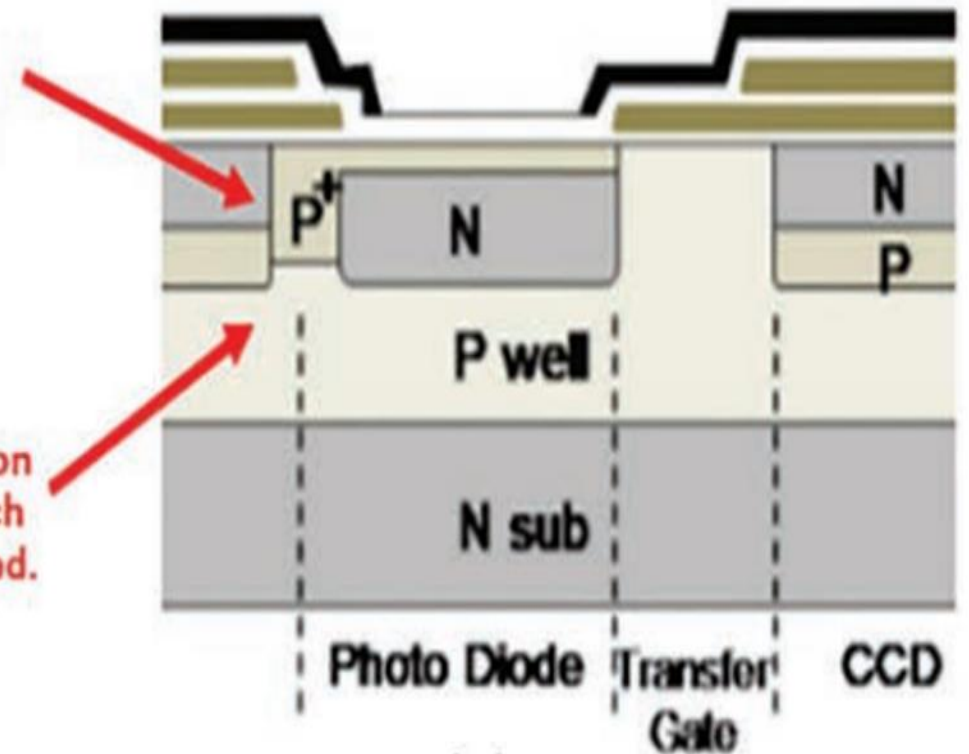


[SSDM1978 Sony Paper](#)

heavily doped P+ channel stops formed by deep High Energy Ion Implantation

No LOCOS Isolation nor Shallow Trench Isolation were used.

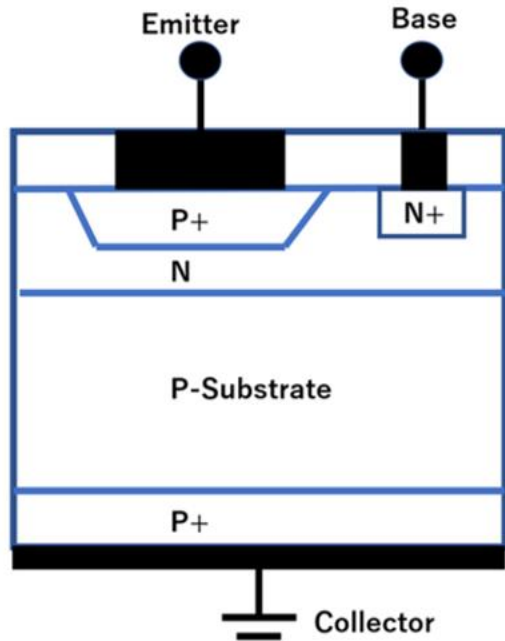
Japan Semiconductor History Museum



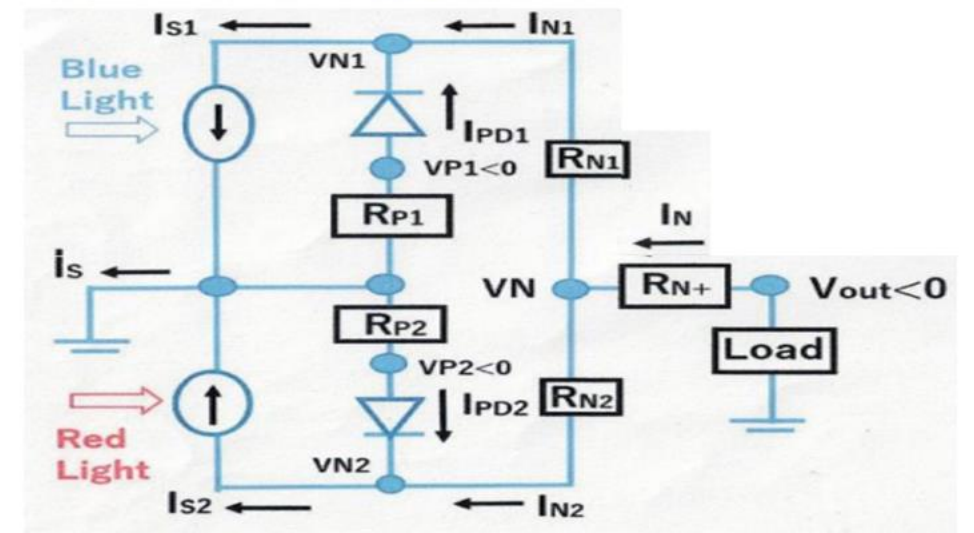
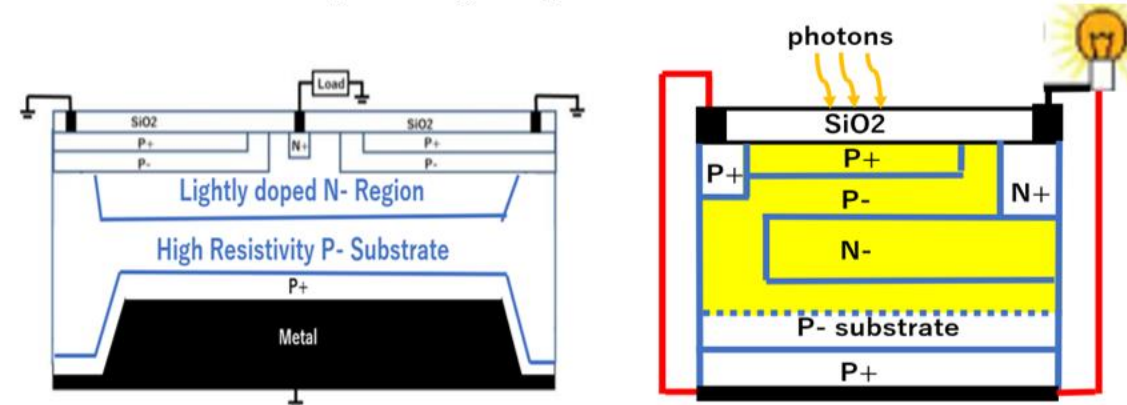
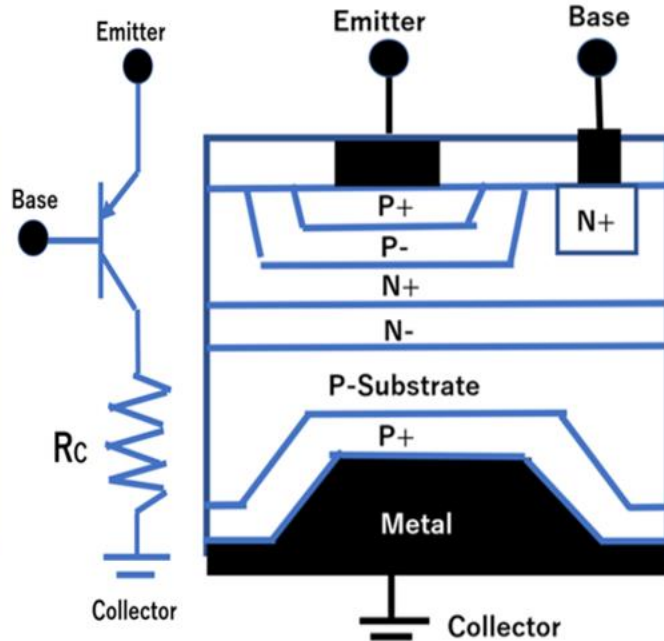
SonyのP+P-N-P-P+ Double 接合Pinned Photodiode 型太陽電池は、もともと1950年代に開発され実用化された世界一性能の良いSonyのBipolar Transistor技術をヒントに考案されたものです。超光感度の受光素子です。高い量子変換効率で光エネルギーを電気エネルギーに変換できます。

Double Junction Pinned Photodiode type Solar Cell was hinted by Sony Bipolar Transistor.

Bell Lab 1948 Bipolar Transistor



Sony Bipolar Transistor

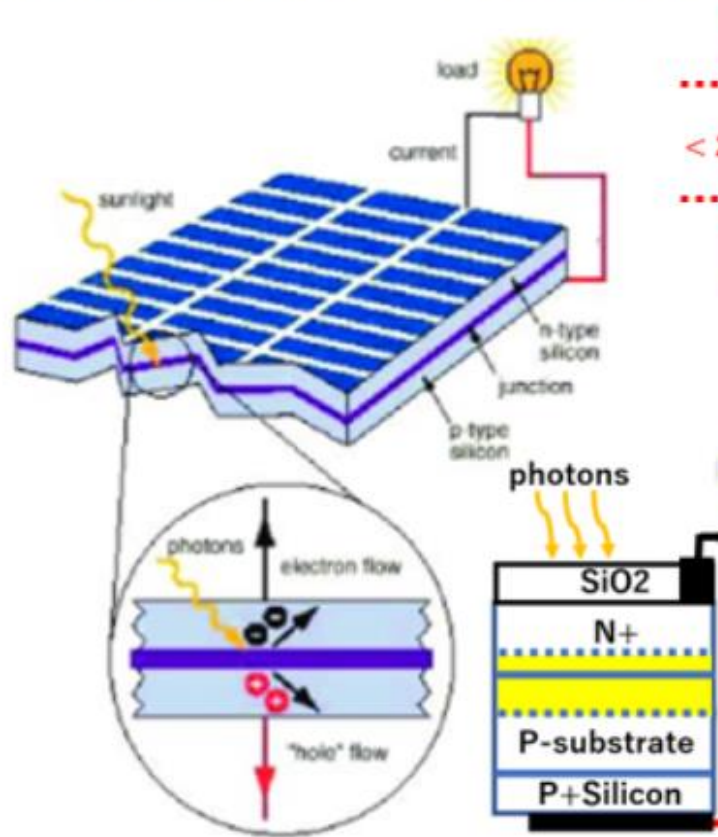


世界一性能の良いSonyのBipolar Transistor技術はSonyの川名喜之の発明により基板を薄くし、Collector端子の拡散抵抗値を低減する事により実現しました。

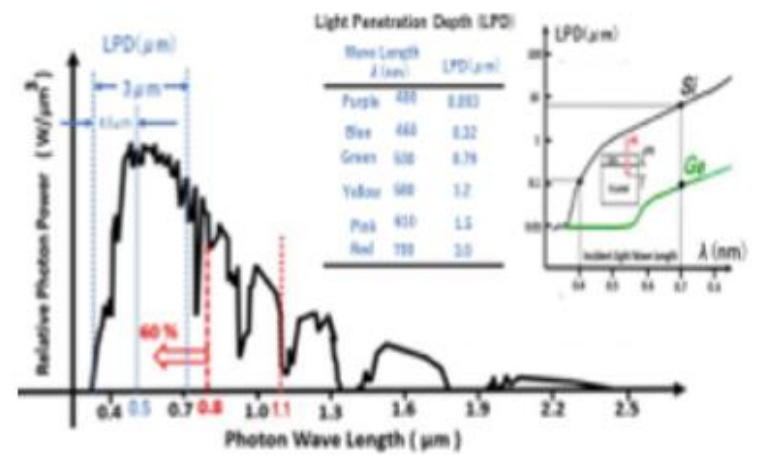
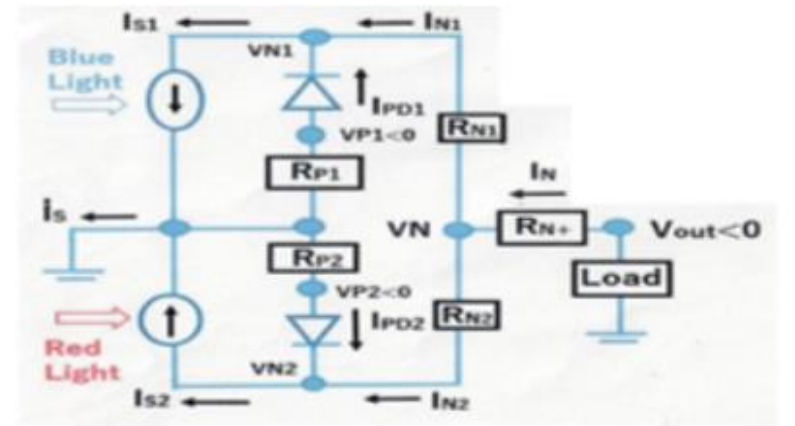
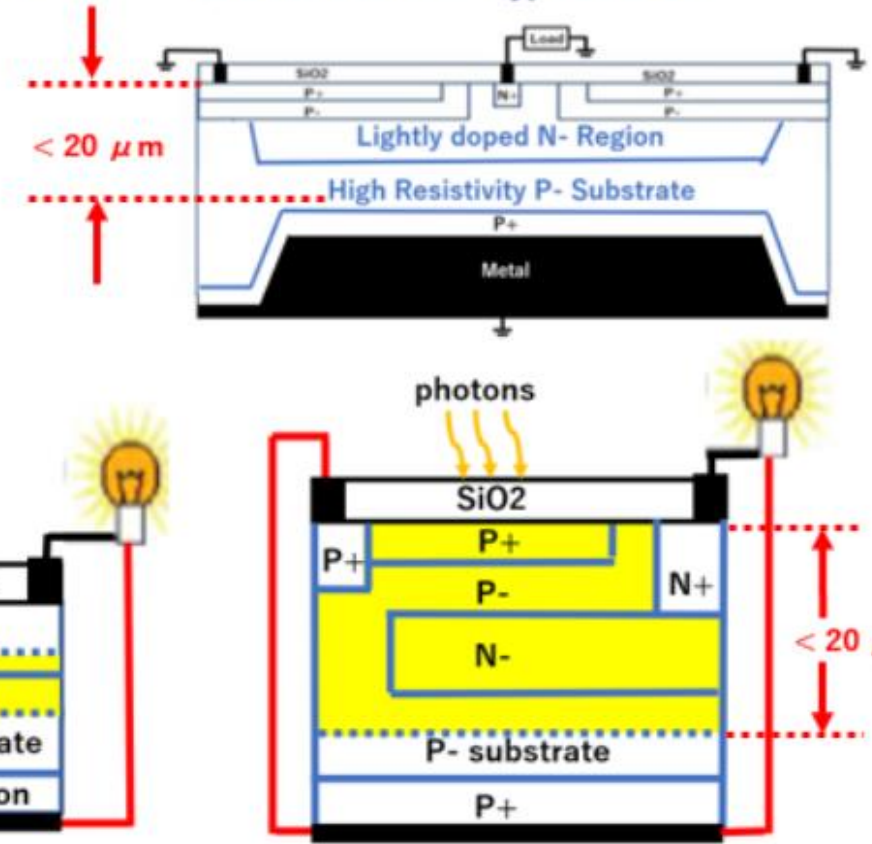
JPA2000-131313

P+P-N-P-P+ Double 接合Pinned Photodiode 型太陽電池も、同様に高い変換効率を持ち、光エネルギーを電気エネルギーに変換します。

(A) Conventional Single Junction type Solar Cell



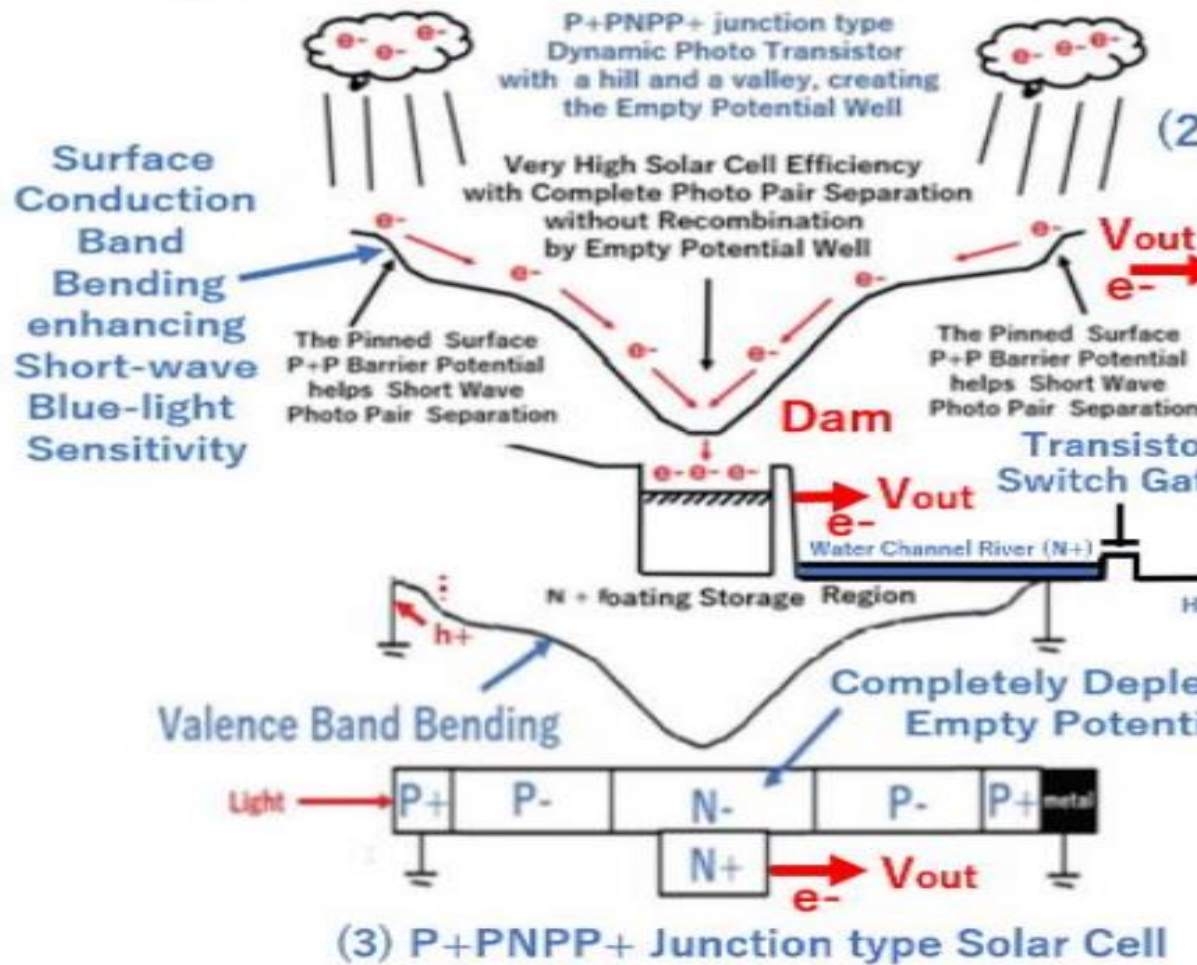
(B) Double Junction type Solar Cell



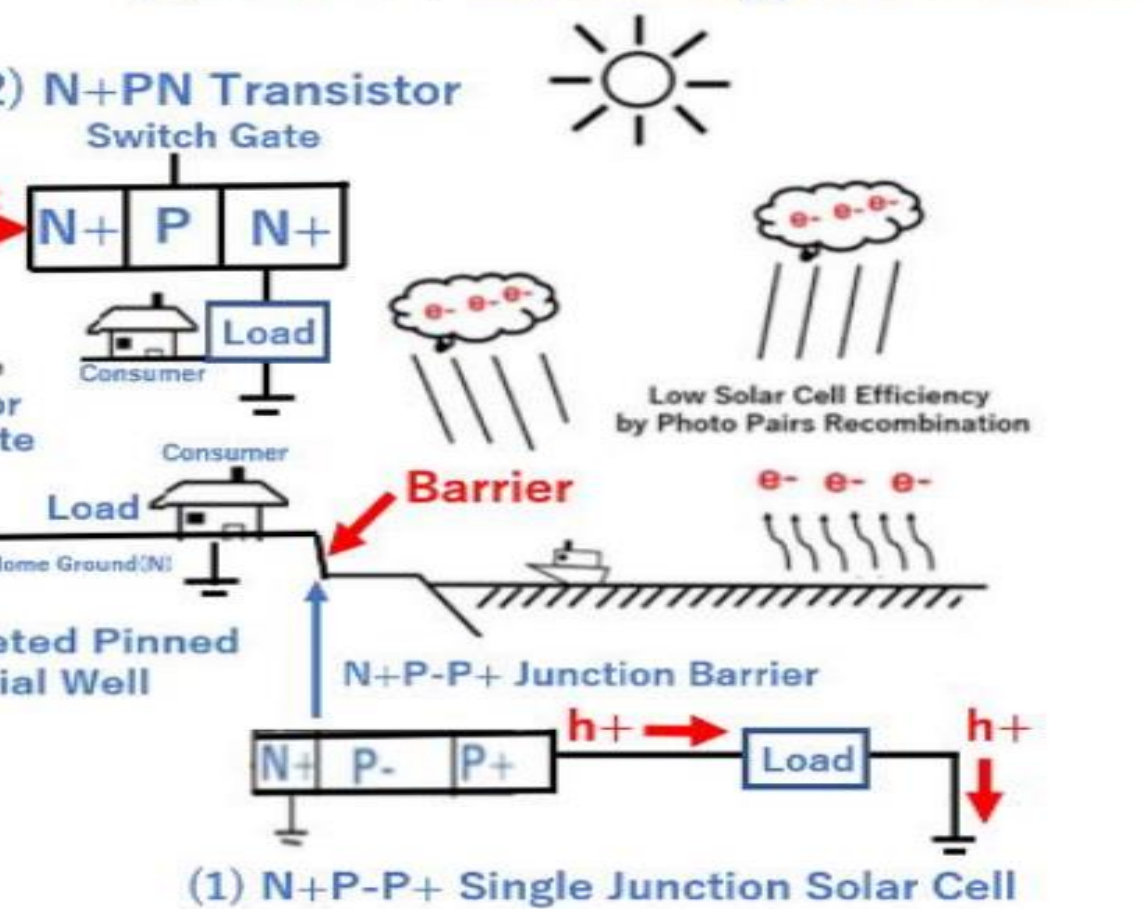
JPA2000-131313

Water Barrier, Water Gate and Water Dam Analogy of Semiconductor.

(3) P+PNPP+ Junction type Solar Cell



(1) N+P-P+ Junction type Solar Cell



["Chronology of Silicon-based Image Sensor development"- Y. D. Hagiwara.pdf](#)

"Chronology of Silicon-based Image Sensor development"- Y. D. Hagiwara.pdf

https://eds.ieee.org/images/files/newsletters/Newsletter_Jan23.pdf

(1) [P2019_3DIC2019_Paper_on_3D_Pinned_Photodiode_6_pages.pdf](#)

(2) [P2020_EDTM2020_PaperID_3C4_by_Hagiwara_4_pages.pdf](#)

[SSDM1977_Sony_Paper](#)

(3) [P2021_IJSSA2021_Paper_20210616_on_Electrostatic_and_Dynamic_Analysis_of_Pinned_Photodiodes.pdf](#)

[SSDM1978_Sony_Paper](#)

(4) [ICECET2021_Paper61.pdf](#) [ICECET2021_Paper75.pdf](#)

[CCD1979_Sony_Paper](#)

an invited ESSCIRC2001 Plenary Talk, Villach, Austria, September, 2001.

["Micro-Electronics for Home Entertainment"](#)

an invited ESSCIRC2008 Plenary Talk, Edinburgh, Scotland, UK, September, 2008.

["SOI Design in Cell Processor and Beyond"](#)

[P2020_11_23_電子デバイス産業新聞_萩原良昭の夢は鉄腕アトムです.pdf](#)

[Caltech_1975_PhD_Thesis_by_Yoshiaki_Daimon_Hagihara.pdf](#)

[Publication_List_by_Yoshiaki_Hagiwara.html](#)