

Sony これまでの開発の経緯を振り返り、紫綬褒章の受賞理由になった、積層型多機能 CMOS イメージセンサーの技術の説明と、それを支える代表的なソニーの発明について、説明をしています。その中で「裏面照射型 CMOS イメージセンサーに採用された Pinned Photodiode」が紹介され、以下のように詳しく紹介しています。

<https://www.sony.co.jp/SonyInfo/News/notice/20200626/>

「ソニーのイメージセンサーの発明の歴史は、古くは CCD の時代までさかのぼる。中でも Pinned Photodiode は、裏面照射型 CMOS センサーの性能向上にも貢献する技術であり、その発明と製品開発の歴史を紐解く。ソニーは 1975 年、裏面照射型の N+NP+NP 接合型の Pinned Photodiode (PPD) を採用した CCD イメージセンサーを発明した (出願特許 1975-127646,1975-127647 萩原良昭)。同年その構造をヒントに VOD (縦型オーバーフローレイン) 機能を持つ、PNP 接合型 PPD を発明した (特許第 1215101 号 萩原良昭)。ソニーはその後、イオン打ち込み技術により濃い P+ のチャンネルストップ領域をその受光部近傍に形成した PNP 接合型の PPD 技術を採用したフレームトランスファー型 CCD イメージセンサーの原理試作に世界で始めて成功し、1978 年の学会で論文を発表した (Y. Hagiwara, M. Abe, and C. Okada, “A 380H x 488V CCD imager with narrow channel transfer gates”, Proc. The 10<sup>th</sup> Conference on Solid State Devices, Tokyo (1978))。1980 年にはソニーはこの PNP 接合型 PPD を採用したワンチップのフレームトランスファー CCD イメージセンサーを使ったカメラ一体型 VTR の試作に成功し、東京では当時社長の岩間が、ニューヨークでは会長の盛田が同日記者会見をして世界を驚かせた。1987 年にはソニーは、VOD (縦型オーバーフローレイン) 機能を持つ「イオン打ち込み技術により濃い P+ のチャンネルストップ領域をその受光部近傍に形成した PPD」をインターライン転送型 CCD イメージセンサーに採用した 8 ミリビデオのカムコーダーの開発に成功し、ビデオカメラの市場を開拓した。このような長い歴史を経て育まれてきた PPD の技術が今も裏面照射型 CMOS イメージセンサーに採用されている。」

また、半導体産業人協会の歴史館もソニーの発明について、以下のように説明をしています。

<https://www.shmj.or.jp/museum2010/exhibi1005.html>

「1975 年、ソニーから PNP トランジスタを受光素子とする提案がなされた【3】。受光部を P+層(エミッタ)にすることにより従来のフォトダイオードのように表面電位を制御するセンサー電極で受光面全面を覆う必要がなくなり、受光感度を大幅に向上させた。受光部を P+層にすることは原理的に暗電流や残像を低減するピン留めフォトダイオードの基本となる提案であった。」

またソニーは 1978 年、同じ構造のフォトダイオードを用いたアナログ TV 放送規格 (SDTV) 対応 9.3 万画素 FT(FrameTransfer)-CCD イメージセンサを世界で初めて発表した【5】。それを発展させた 2/3 インチ型 28 万画素 FT-CCD イメージセンサを用いた、VTR 一体型カラームービカメラの試作に 1981 年に成功した【6】。

#### 参考文献

【3】萩原 良昭、“個体撮像装置”、特許公報 昭 58-46905 (1975 年 11 月 10 日出願)

【5】Y. Hagiwara, M. Abe, and C. Okada, “A 380H x 488V CCD imager with narrow channel transfer gates”, Proc. The 10th Conference on Solid State Devices, Tokyo, (1978): Japanese Journal of Applied Physics, vol. 18, Supplements 18-1, pp. 335-340, (1979)

【6】梶野 功、島田 勝、中田康雄、平田芳美、萩原良昭、“ナローチャンネル CCD 単板カラーカメラ”、テレビジョン学会技術報告、vol.5, no. 29, pp. 32-36, (1981)

また、Delf 大学の Prof. Albert Theuwissen は IEED EDS 主催の IEDM2005 の論文でソニーの発明について、以下のように説明し、この 1978 年のソニーの論文の受光構造が K 社の PPD と N 社の埋込み PD とソニーの HAD の生みの親(the mother)と賞賛しています。もと SONY の萩原は PPD の発明者である事を明確に示唆したものです。世界的な Image Sensor の著名な研究者が発表した学術論文です。

[http://www.harvestimaging.com/pubdocs/089\\_2005\\_dec\\_IEDM\\_hole\\_role.pdf](http://www.harvestimaging.com/pubdocs/089_2005_dec_IEDM_hole_role.pdf)

“A simple self-aligned implant of  $2 \times 10^{13} / \text{cm}^2$  boron ions is sufficient to extend the channel stop areas to the gate edge and consequently fix the potential in the open areas [2]. The result after this self-aligned implant is shown in Figure 3. The presence of enough holes plays a crucial role in fixing the potential for the regions “beyond control” of the gates. (Is this structure the mother of the pinned-photodiode or buried diode or hole-accumulation device ?)

[2] Y. Daimon-Hagiwara et.al., Proc. 10th Conf. on Solid-State Devices, Tokyo, 1978, pp.335-340,

# 世界の誤解は 2014 年の Fossum の Fake Paper が原因である。

Fossum insulted in his 2014 paper Sony and Hagiwara 1975 PPD invention.

**Indeed, Hagiwara invented PPD with VOD and the virtual charge transfer in 1975 !!**

IEEE JOURNAL OF THE ELECTRON DEVICES SOCIETY, VOL. 2, NO. 3, MAY 2014

**Sony HAD (PPD+VOD) does not use LOCOS !!!**

## A Review of the Pinned Photodiode for CCD and CMOS Image Sensors

Eric R. Fossum, Fellow, IEEE, and Donald B. Hondongwa, Student Member, IEEE

**Many people now said this is a fake paper !**

C. Other Contributions to the PPD Invention

The PPD structure, while invented for low lag ILT CCD application, shares a strong resemblance to the Hynecek virtual-phase CCD structure, with the exception of the VOD. The two inventions were solving different problems with essentially the same device structure and operating principles.

In 1975, Hagiwara at Sony filed a patent application on bipolar structures for CCDs in which a *pn*p vertical structure was disclosed, among several structures [24]. The top *p* layer was connected by metal to a bias used to control full-well capacity and the *n*-type base layer was proposed for carrier storage. In an unusual paper, Hagiwara, in 1996, revisited the 1975 invention and claimed it was essentially the invention of both the virtual phase CCD and the NEC low-lag structures, as well as the basis of the Sony so-called "Hole Accumulation Diode," or HAD structure [25]. However, the 1975 application

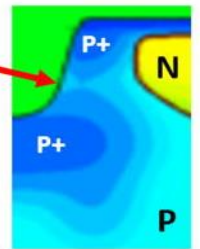
**False**

did not address complete charge transfer, lag or anti-blooming properties found in the NEC low-lag device, and does not seem to contain the built-in potential step and charge transfer device aspects of the virtual-phase CCD. Hagiwara repeats these claims in a 2001 paper [26] and shows a VOD structure that is not found in the 1975 patent application. Sony did not seem to pursue the HAD structure until well after the NEC paper was published. However, the "narrow-gate" CCD with an open *p*-type surface region for improved QE also disclosed in the 1975 application was reported in more detail by Hagiwara et al. at Sony in 1978 [27]. A similar structure was used extensively by Philips [28].

The PPD, as it is most commonly used today, bears the strongest resemblance to the Teranishi et al. ILT CCD device. Thus, these days Teranishi is considered as the primary inventor of the modern PPD [29].

**False**

The surface P+ layer is NOT connected to the LOCOS P+ layer. The surface P+ layer may be floating and this photodiode may have serious image lag.



Serious Image Lag ?

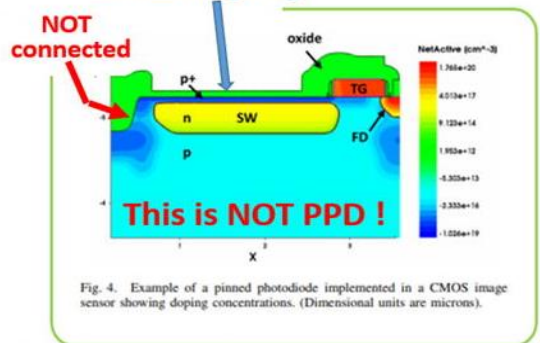
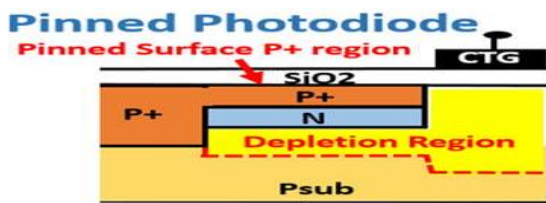


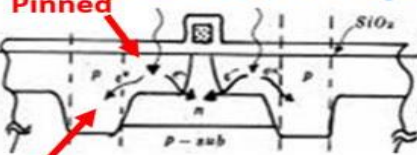
Fig. 4. Example of a pinned photodiode implemented in a CMOS image sensor showing doping concentrations. (Dimensional units are microns).

**Hagiwara in 1975 invented PPD with VOD and the virtual charge transfer. Study the Japanese Patents 1975-127646, 1975-127647 and 1975-134985.**

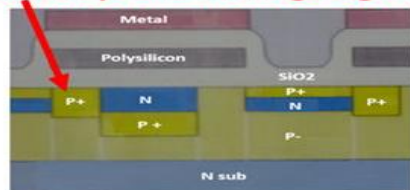
結論として、NEC の IEDM1982 の論文の受光素子も KODAK の IEDM1984 の論文の受光素子も本当の PPD ではありません。SONY の萩原チームは 1978 年の SSDM1978 の論文で、世界で初めて残像のない本当の PPD を FT 方式 CCD Image Sensor に採用しその原理試作に成功し (1) 超光感度特性 (2) 超低表面暗電流雑音特性と (3) 超低残像特性を報告しました。さらに 1987 年には萩原の後輩技術者チームである、SONY の浜崎チームは世界で初めて完全 VOD 機能と電子 Shutter 機能を持つ、P+NPNsub 接合型の、本当の PPD を ILT 方式 CCD Image Sensor に採用し、その原理試作に成功しその優れた特長を報告しました。



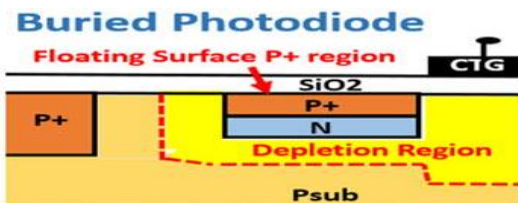
### SONY SSDM1978 Paper



**P+ Channel Stops and no Image Lag Problem**

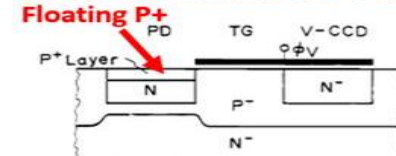


### SONY 1987 HAD Sensor

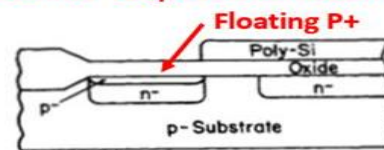


**Serious Image Lag Problem**

### NEC IEDM1982 Paper



**No P+ Channel Stops and Serious Image Lag**



### KODAK IEDM1984 Paper

●SONY の受光素子が本当の PPD です。

●NEC と KODAK の受光素子は PPD ではありません。

●Image Sensor は2つの主要部品、受光素子 (LRD) と電荷転送装置 (CTD) で構成されます。電荷転送装置 (CTD = Charge Transfer Device) は (1) MOS型 CTD (2) CCD型 CTD (3) CMOS型 CTD と進化しました。一方の受光素子 (LRD = Light Receiving Device) は (1) N+P接合型 LRD (2) MOS容量型 LRD (3) P+NPNsub接合型 LRD と進化しました。以下はその歴史的背景の説明です。

- (1) N+P接合型受光素子は、表面のN+層が電荷蓄積部となりますが、その電位が浮遊状態になり完全電荷転送が不可能となり、映像に残像が生じ、それがビデオカメラの致命的な欠点となりました。
- (2) MOS容量型の受光素子は、金属電極で電荷蓄積部の埋込みN層の空乏化電位を固定することが可能となり、完全空乏化電荷転送 (CCD転送 mode) が実現し、残像のない映像が可能となりました。しかし、MOS容量型ではシリコン表面に強い電界が生じ、白点や暗電流が多発し、量産性が乏しいという致命的な欠点がありました。
- (3) そこで1975年萩原良昭 (もとSONY) は、3つの特許を出願しその中で基板 (Nsub) にP+NP接合の Dynamic Phototransistor 型の受光素子を発明しました。受光部はこのP+NP接合の Dynamic Phototransistor の base 領域のN層を電荷蓄積部としました。後にこの受光素子は埋込み型 Photodiode と呼ばれるようになりました。またこの萩原の特許出願 1975-134985 では受光表面のP層を外部金属端子で固定、ピン止めすることを考案しました。その表面がピン止めされた受光素子は後に Pinned Photodiode と呼ばれるようになりました。表面のP層がピン止めされることにより、埋込みN層の空乏化電位 (Empty Potential Well) もピン止め固定され、その埋込みN層の固定電圧より深い電位で、隣接する電荷転送電極 (CTG) が信号電荷を取り残す事なくすべての信号電荷を吸い取り、隣接する電荷転送装置 (CTD) へ電荷転送することが可能となりました。その結果、この表面のP層がピン止めされた Pinned Photodiode は、残像のない映像を提供することが可能となりました。さらにこの萩原の1975年の特許で萩原が考案した基板 (Nsub) にP+NP接合の Dynamic Phototransistor を形成した受光素子は、その結果、P+NPNsub接合型の dynamic 動作するサイリスター構造でもありました。サイリスターのパンチスルー動作で埋込みN層の電荷を取り残さずすべて基板 Nsub へ掃き出す、縦型 Overflow Drain (VOD)機能を構造上持っている受光素子の発明でもありました。萩原はその結果 VOD機能を持つPPDをこの1975-134985 で発明しました。後に1987年にSONYはこのVOD付きPPDを Hole Accumulation Diode (HAD) と呼びました。

●1975年の特許1975-134985の中で萩原良昭 (もとSONY) は、CCD型電荷転送素子にもCMOS型電荷転送装置にも採用されている、P+NPNsub接合の dynamic photo transistor 型の受光素子を発明しました。後に学会では VOD機能付き Pinned Photodiode (PPD) と呼ばれる受光素子です。超光感度特性を持ち、表面暗電流が少なく、かつ残像が完全になく、VOD機能と電子 Shutter 機能を持つ受光素子です。

●1978年には萩原・阿部・岡田の3名はP+NP接合受光素子(PPD)を採用したFT方式のCCDの原理試作に成功し、SSDM1978で学会発表しました。SONYは1980年にはこのP+NP接合受光素子(PPD)を採用した、One chip FT CCD カラーカメラに原理試作に成功し、東京 (岩間社長)と New York (盛田会長)で同日記者会見を開催し民生用ビデオカメラの商品化をSONYがこれから注力することを宣言しました。

●この萩原の1975年発明のP+NP接合型受光素子を、その後1982年には、NECも追従し、世界初でILT方式のCCDに採用し埋込み型 Photodiode と呼びました。しかし残像特性のある data を報告しました。

●この萩原の1975年発明のP+NP接合型受光素子を、その後KODAKも追従し、1984年にはILT方式のCCDに採用しその特性を学会発表し、Pinned Photodiode (PPD)と呼びました。まだ残像がありました。

●SONYは遂に1987年には、完全に残像のない、VOD機能と電子 Shutter 機能を持つPPDをILT方式CCD採用し完成させ、かつその量産化に成功し、Hole Accumulation Diode (HAD) と名づけました。