

イメージセンサー (CCD・CMOS)

概要 イノベーションに至る経緯 発明技術開発の概要 主な受賞歴 参考文献等

概要

撮像デバイスの研究開発は、19世紀後期のテレビジョン研究がスタートである。機械式、撮像管、固体撮像素子（以下「イメージセンサー」と呼ぶ）と発展し、社会に大きなインパクトを与えつつ、大きく発展してきた。

真空管の一種である撮像管は、サイズが大きい、割れ物である、消費電力が大きい、画像にゆがみがある、高価である、などの欠点があり、固体化が望まれていた。1960年代半ばにイメージセンサーの開発がスタートした。そのときは、MOS (Metal Oxide Semiconductor) 型が中心であった。

事実誤認(1)

1970年にBoyleとSmith（当時Bell研究所）がCCD (Charge-Coupled Device、電荷結合素子) を発表した¹。構造が単純であり、イメージセンサーのような大規模なアレイ構造を製造するのに適していること、矢継ぎ早にCCDに改善が加えられたことから、イメージセンサー開発の中心はCCDになった。1970年後半からは開発の中心は日本に移った。1978年、山田哲生（当時 東芝）は、強い光が入射したときに縦線の偽信号を発生させるブルーミングを抑制する縦型オーバーフローレイ構造を発明した²。1979年には寺西信一（当時 NEC）が、白傷や暗電流を大幅に低減し、残像や転送ノイズを解消する埋込フォトダイオード (Pinned Photodiode) を発明した³。これらの結果、CCDはまずムービーを、引き続きコンパクトデジタルスチルカメラを主な市場として量産されていった。

事実誤認(2)

1990年代になると、CMOSの微細化が進み、4個ほどのトランジスターを画素内に配置することが可能になり、さらには、埋込フォトダイオードをCMOSイメージセンサーに適用することでCCDと同等以上の低ノイズが達成でき、世界の多くの機関で熱心に関係が進められた。2000年に米田智也ら（当時 キヤノン）が、強い光が入射したときに発生するシェーディングを抑制する構造を発明した⁴。2001年に鈴木亮司ら（当時 ソニー）が、裏面照射型に関する発明をした⁵。これらの技術開発によりCMOSイメージセンサーが主役になり、低消費電力という特性のお陰もあり、携帯電話に搭載され、生産量を爆発的に増加させていった。2010年に梅林拓ら（当時 ソニー）が、イメージセンサーに画像処理回路を積層する構造を発明し⁶、高速化と多機能化を飛躍的に推し進めた。

2014年には携帯電話用を中心に約38億個もの生産が行われた。パソコンカメラ、デジタルスチルカメラ、ゲームなどのコンシューマー用途、監視用、車載用、放送用カメラなどの社会インフラとして、さらには医療、科学用などあらゆるところでイメージセンサーが使われるようになった。

事実誤認 (1) Sony が世界発の垂直 Overflow Drain (VOD)を発明した。1975 年 10 月 23 日出願の JPA1975-127646 と JPA1975-127647 と、1975 年 11 月 10 日出願の JPA1975-134985 の 3 件がその発明の証拠である。

事実誤認 (2) 1975 年 10 月 23 日出願の JPA1975-127646 と JPA1975-127647 も、1975 年 11 月 10 日出願の JPA1975-134985 も受光表面がピン留めされた、世界最初の Pinned Photodiode の発明特許である。

参考文献等

1. W. S. Boyle and G. E. Smith 「Charge Coupled Semiconductor Devices」, The Bell System Technical Journal, vol.49 (1970) pp.587-593
2. 山田哲生「固体撮像装置」特開昭54-95116、1978年1月13日出願
3. 寺西信一 外「固体撮像装置」特開57-62557、1980年10月2日出願
4. 米田智也 外「固体撮像装置」特開2001-230400、2000年11月30日出願
5. 鈴木亮司 外「X-Yアドレス型固体撮像素子およびその製造方法」特開2003-31785、2001年7月11日出願
6. 梅林拓 外「半導体装置とその製造方法、及び電子機器」特開2015-65479、2010年1月22日出願

積層型多機能CMOSイメージセンサーを支える代表的なソニー発明について

ソニー株式会社
ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社

裏面照射型CMOSイメージセンサーに採用されたPinned Photodiode

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。

(1)

ソニーは1975年、裏面照射型のN+NP+N接合型と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ドレイン) 機能を持つ、PNP接合型PPDを発明した(特許第(2) 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初めて成功し、1978年のSSDM1978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 10th 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ドレイン) 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世界で初めて採用した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。

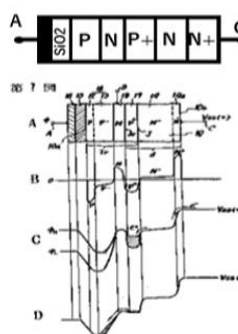
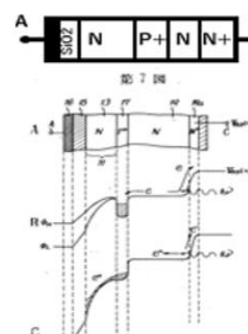
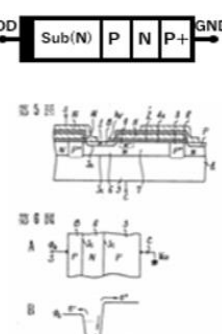
このような長い歴史を経て育まれてきたPPDの技術が今も裏面照射型CMOSイメージセンサーに採用されている。

- (1) 1975年10月23日にSonyは裏面照射型のPinned PhotodiodeをSONYは発明した。
- (2) 1975年11月10日にSonyはVOD機能を持つ、PNP接合型のPinned Photodiodeを発明した。
- (3) 1978年9月 Sonyは世界発のOriginalのPNP接合型のPinned Photodiodeの開発原理試作に成功し、SSDM1978の学会で発表した。Pinned Photodiodeの発明も開発もSONYである。

この特許1975-134985 (特許1215101号) は、Triple 接合サイリスターの P+NPNsub 接合型の Pinned Photodiode の発明である。かつ、この発明特許は、Punch-thru効果を利用した世界発の垂直 Overflow Drain (VOD) 構造の発明特許でもある。特許が日本語で記載されているだけで英訳され海外特許出願される事がなかった為に、英語圏の国際学会、学識見識者や一般人にはその存在が広く知れる事はなかった。

- 1975年3月5日に Double 接合型受光素子を発明し SONY (株) 社内の知財へ萩原は公式に出願した。
- 1975年10月23日には萩原は2件の特許、JPA1975-127646とJPA1975-127647を出願する。
- 1975年11月10日には受光表面がピン留めされた、in-pixel VOD機能付きのPNP 接合型の受光素子を萩原は特許出願 (JPA1975-134985) した。

- 1979年 UK Scotlandで開催の CCD'79 国際会議にて萩原が既に1975年に発明し、1978年に開発した、PNP接合型のPinned Photodiodeの残像のない超光感度特性を説明する。
- 1989年2月のISSCC1989にてデジカメ用の世界最高速の25 nsecの4 Mbit Cache SRAMを開発し学会発表する。
- 2001年9月開催のESSCIRC2001にて、SONYのAIBOのRobotを構成する主要半導体部品とその構成を説明する。
- 2008年9月開催のESSCIRC2008にて、SONYのPlay Station III (Cell Processor) の主要半導体部品を説明する。

Oct 23, 1975
JPA1975-127646Pinned Surface
N+NP+NP
Triple 接合型
受光素子Oct 23, 1975
JPA1975-127647Pinned Surface
N+NP+N
Double 接合型
受光素子Nov 10, 1975
JPA1975-134985Pinned Surface
PNP
Double 接合型
受光素子

JPA1976-65707 (Patent No. 7596795, filed on June 9, 1975, Netherland) on Buried Photodiode with Floating Empty Potential Well.

Y. Hagiwara, Motoaki Abe and Chikara Okada, "A 380H X 488V CCD Imager with Narrow Channel Transfer Gates", Proceeding of the 10th Conference on Solid State Devices, Tokyo 1978.

<https://electronics.stackexchange.com/questions/83018/difference-between-buried-photodiode-and-pinned-photodiode>

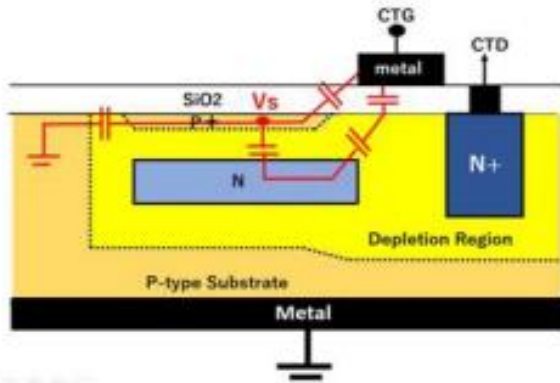
<https://ieeexplore.ieee.org/document/6742594>

http://www.aiplab.com/JPA_1975_127646_on_NPN_type_PPD.html

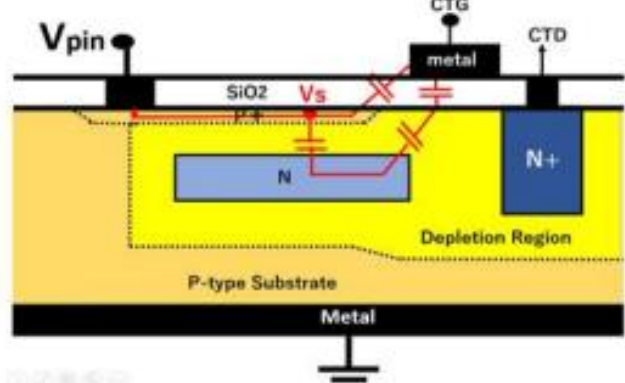
http://www.aiplab.com/JPA_1975_127647_on_NPN_type_PPD.html

http://www.aiplab.com/JPA_1977_126885_on_Electric_Shutter.html

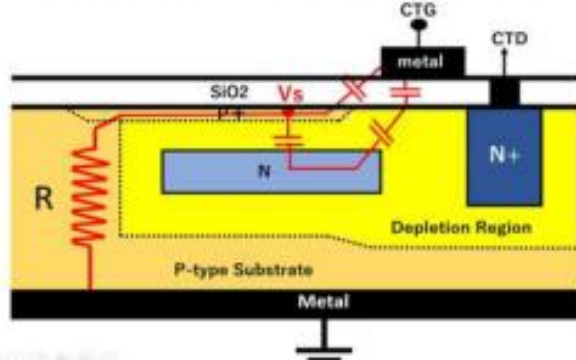
(a) Floating P+ Surface Completely Isolated by the extended depletion region



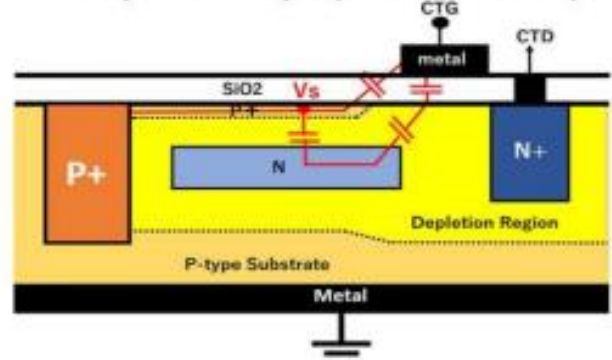
(C) Completely Pinned P+ Surface with RC = 0 with Surface Direct Metal Contact.



(b) Floating P+ Surface with RC Delay Time of the finite ohmic substrate resistance (R).



(D) Completely Pinned P+ Surface with RC = 0 with Adjacent Heavily Doped P+ Channel Stops



1980年の特許にもIEDM1982の論文にもLocos Isolationの記載は皆無である。いつの間にかこの論文にはLocos Isolationが受光部に含まれている？

2014年12月1日(月)

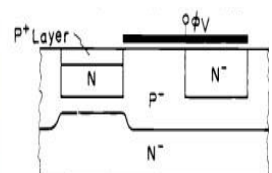
映像情報メディア学会技術報告

ITE Technical Report Vol.38, No.47
IST2014-52(Dec. 2014)

(Invited) Effect and Limitation of Pinned Photodiode

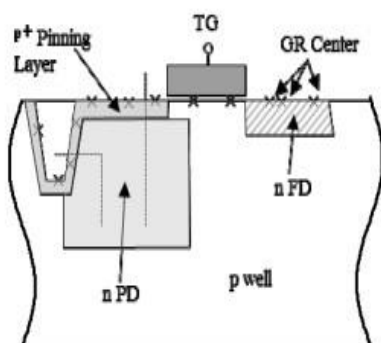
Nobukazu Teranishi^{1,2}

(1) NEC (Teranishi)
Buried Photodiode
at IEDM1982



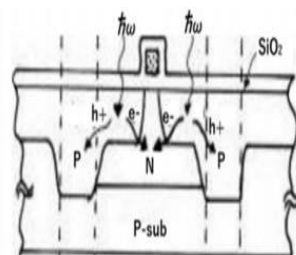
Abstract The pinned photodiode (PPD) is the primary technology for image sensors and used in almost all CCD image sensors and CMOS image sensors. This paper discusses effect and limitation of PPD, especially dark current and electronic shuttering. Even when PPD is used and silicon surface is neutralized, proposed model explains that GR centers at the silicon surface contribute the dark current. The temperature dependence is an activation type with activation energy, E_g , not $E_g/2$. It is important to reduce GR centers for dark current reduction at PPD also. It is also noted that the vertical overflow drain (VOD) shutter combined with PPD has potential of high speed shuttering with small skew.

(2) Pinned Photodiode with LOCOS Isolation described by Teranishi in 2014



Practical and Actual Pinned Photodiode does not use LOCOS isolation, but with the adjacent P+ channel stops formed by Deep High Energy Implantation with Lamp Anneal technology developed by Kazuo Nishiyama at Sony in 1978

(3) Pinned Photodiode Sony(Hagiwara) 1978



(4) Pinned Photodiode explained by Semiconductor History Museum

