



# イメージセンサ (賢い電子の目)

## AIPS (NPPO) 代表

半導体産業人協会 教育委員会 運営委員長

元 崇城大学 情報学部 情報学科 教授

カリフォルニア工科大学 客員教授

群馬大学 客員教授

神奈川工科大学 講師

ソニー(株) 半導体技術企画室長

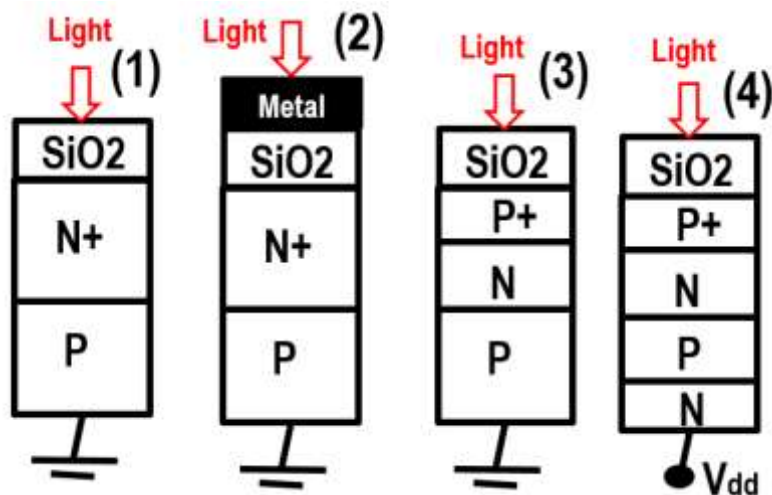
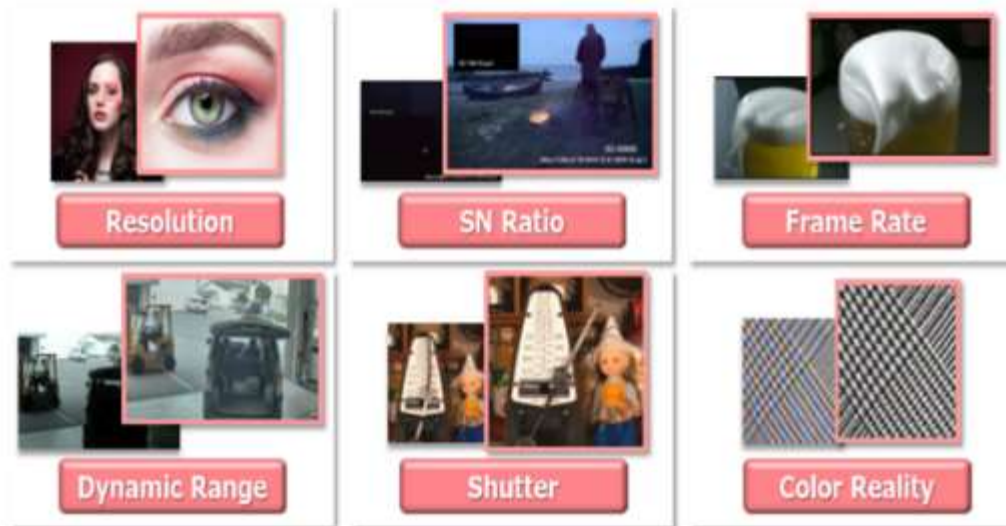
工博 IEEE Life フェロー 萩原良昭



# 目次

1. イメージセンサとは
2. イメージセンサの歴史と市場動向
3. イメージセンサの基本構造
4. イメージセンサの動作原理
5. 賢いイメージセンサとは？

## ●イメージセンサーのいろいろな特徴



## ●イメージセンサーは感度が命



Front-illuminated CIS



Back-illuminated CIS

# 1. イメージセンサとは



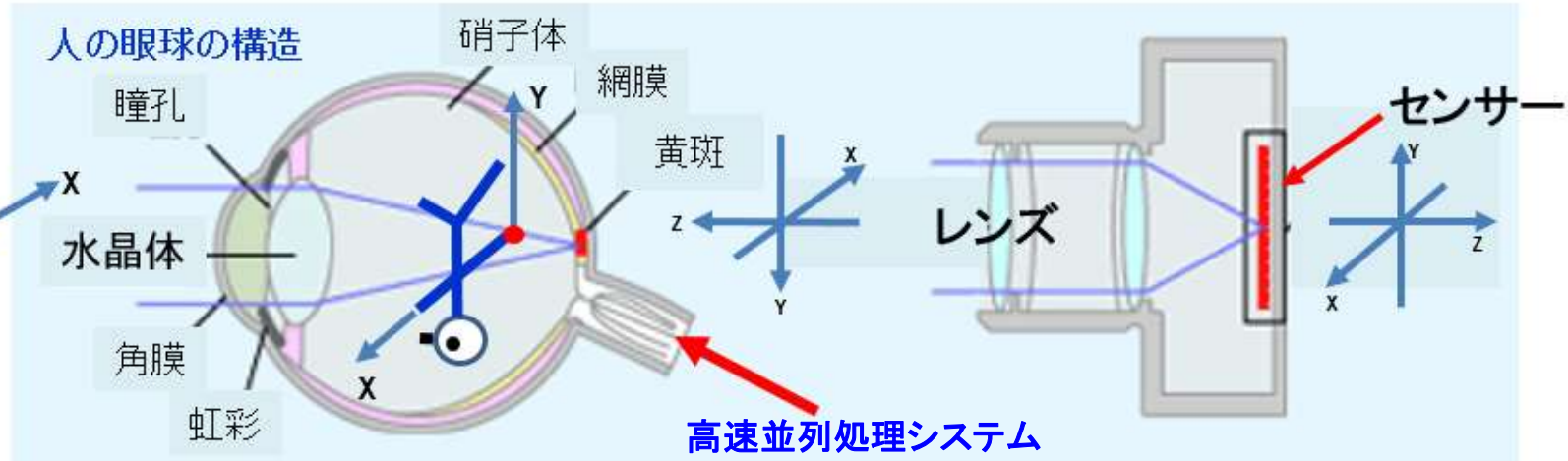
## Image Sensor Size



# 1. イメージセンサとは

- レンズからの光を電気信号に変換する半導体(撮像素子) : 例 人間の目の網膜
- その性能(感度と解像度)がデジタルカメラの画質を左右

レンズにより像は 左右 (X)上下 (Y)前後 (Z) とも反対に結像します。

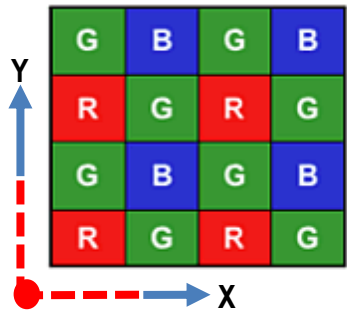


高速並列処理システム  
網膜細胞の数だけの信号伝達線(神経)があります。

- ・フォトセンサと呼ばれる小さな素子を多数、平面状の2次元行列に配置
- ・光の像を検知し、それを電気信号に変換
- ・変換した電気信号の取り扱い方法が2種類: CCDとCMOSイメージセンサ

CCD : Charge Coupled Device (電荷結合素子)  
MOS: Metal Oxide Semiconductor (金属・酸化膜・半導体)

色の識別はカラーフィルターをチップの上に置き、それぞれの色の光を電気信号に変換します。

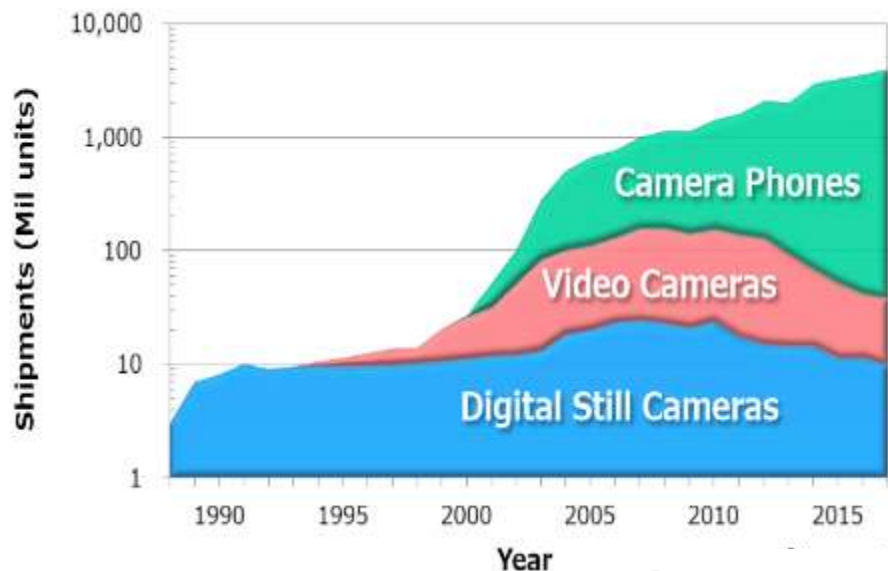


原色RGBフィルターの2次元配列の場合



## 2. イメージセンサの歴史と市場動向

### History & Prospects of Camera Products



【Source: TSR et al.】

### ●世界のCMOSイメージセンサ市場

2017年 1.3兆円 前年比 +19% (出典 Insights)

2019年 SONYの半導体売上高が国内TOPとなる。  
イメージセンサの売上高が大きく貢献。

### ●SONYのCMOSイメージセンサ市場シェア

世界シェア50%以上、世界のスマホの約60%、  
世界のデジカメの約80%のシェアをSONYが持つ。

### ●国内半導体15社の2019年度売上高は前年比3%減の5.1兆円の規模に。

### 2018年 CIS\* 2兆円市場用途別シェア

用途	シェア	前年比
モバイル向け	66.4%	12%
コンピュータ向け	8.2%	-7%
コンシューマ向け	7.8%	3%
セキュリティ向け	6.4%	20%
車載向け	6.3%	27%
産業向け	4.4%	17%
医療向け	0.6%	20%

### 国内半導体メーカーの売上高 単位: 億円

国内メーカー	2019年度	2018年度
ソニー	10,400	8,793
キオクシア	9,700	12,639
ルネサス	...	7,050
シャープ	...	4,990
ローム	3,900	3,989
東芝	3,430	3,549
日亜化学	3,100	2,914
三菱電機	1,850	1,700

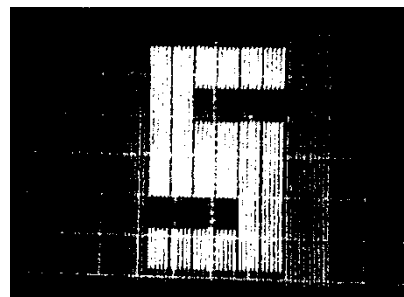
出典: マイナビニュース

## 2. イメージセンサの歴史と市場動向

1969年: CCDはベル研究所で発明 残像のないCCD型受光素子  
と同時に、clock 雑音のないCCD型電荷転送装置を実現

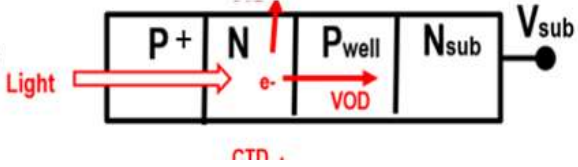
1972年: 国内でCCD構造の半導体で文字の撮影に成功

8 \* 8 = 64画素で「S」の字を表示 →



● P+NPNsub 接合型HAD受光素子 (JAP 1975-134985)

萩原(1975) 基板(Nsub)にP+NP接合を形成する。



1978年: P+NP接合のDynamic Photo Transistor (PPD) 型受光素子の開発に成功。 FT方式CCD に採用してSSDM1978で発表。残像のない、超感度 CCD カメラの商品化の動きが本格化。

1980年4月: Sony は CCD/MOS 容量型受光素子を採用した 2chip ILT方式CCD カメラの商品化。全日空ジャンボ機に搭載



1980年7月: 世界初のOne Chip CCD video camera 発表  
光超感度の要因は独自考案のP+NP接合型の Dynamic Photo Transistor 型 受光素子(PPD)の採用



1982年 残像のあるPNP接合BPD をILT 方式 CCDを開発 (NEC)

1984年 残像のないP+NP接合PPDをILT 方式CCD を開発 (KODAK)

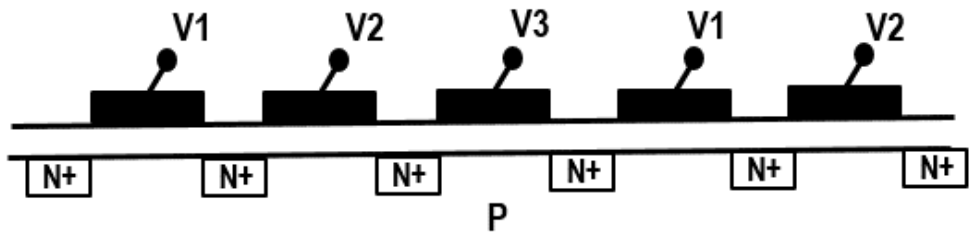
1987年 P+NPN 接合の電子shutter 機能付きHADを  
ILT 方式CCD カメラを開発 (SONY)

2020年: 撮像・演算 1 チップ化 & 3次元  
集積回路の実現: 自動運転に応用 →

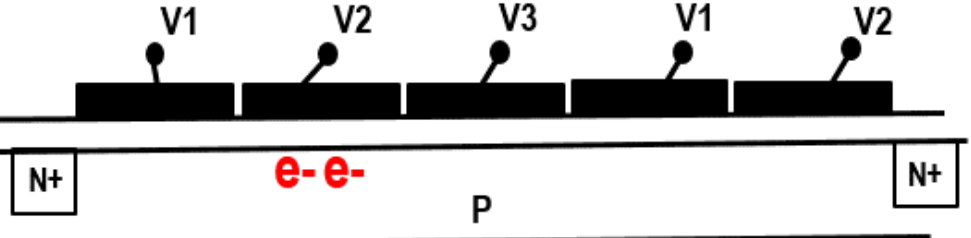


出典: テスラ

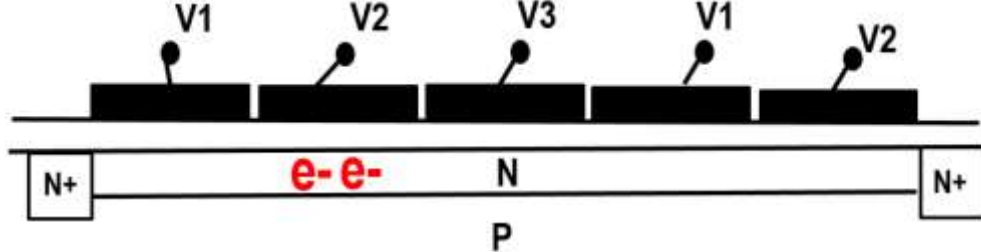
# 2. イメージセンサの歴史と市場動向



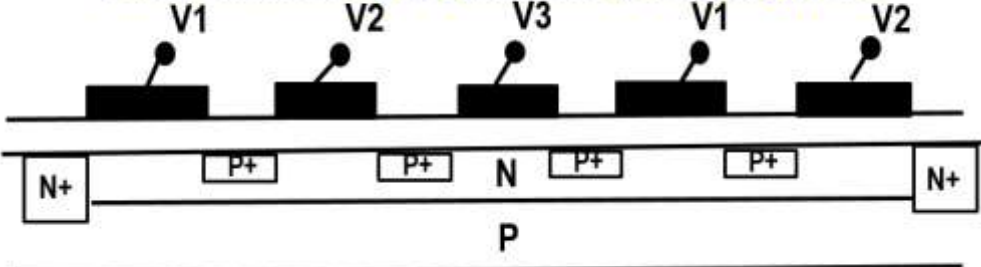
従来の Bucket Bridge-gate Device (BBD) 型電荷転送装置 (before 1970)



Surface Channel Charge Coupled Device (SCCD) の発明 1970



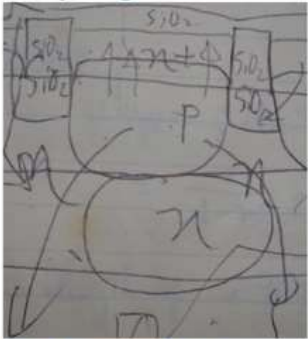
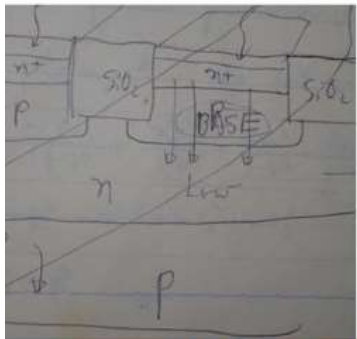
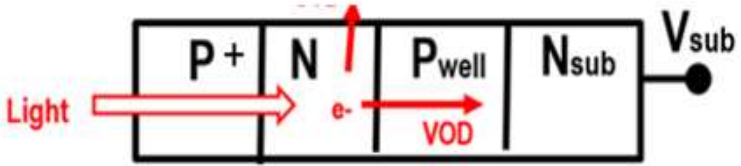
Buried Channel Charge Coupled Device (BCCD) の発明 1972



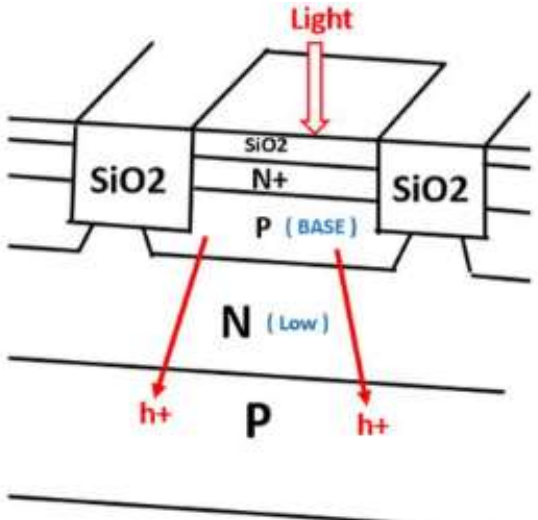
Pinned Photodiode (PPD) の発明 in 1975 by Hagiwara @ Sony

●P+NPNsub 接合型HAD受光素子 (JAP 1975-134985)

萩原(1975) 基板(Nsub)にP+NP接合を形成する。



Hagiwara's Lab Note at Sony in February 1975





# 2. イメージセンサの歴史と市場動向

## ●イメージセンサーの開発背景(感度が命)

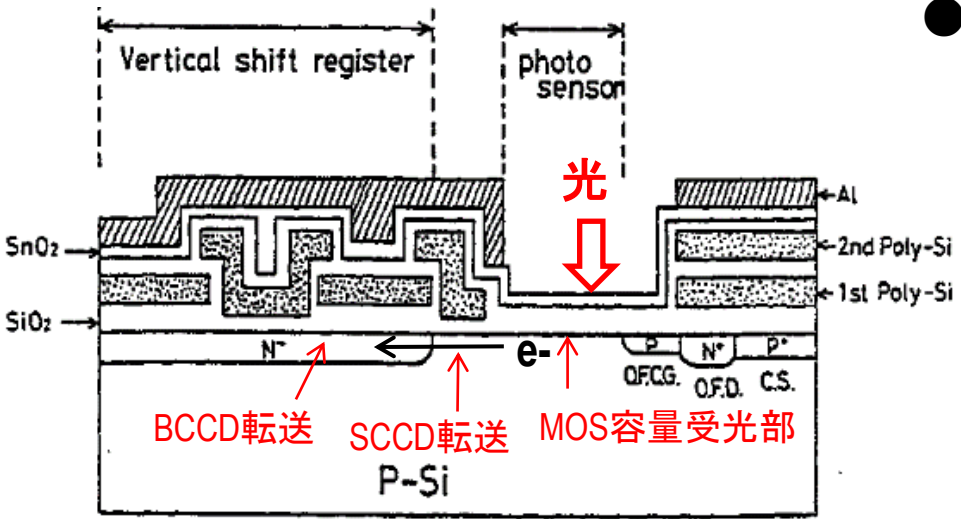
全日空ジャンボ機に2チップ構成カメラとしてソニーが商品化  
 ジャンボ機の離着時のもようを機内スクリーンに映し出す

XC-1 1980  
 Two-Chip Color Video Camera

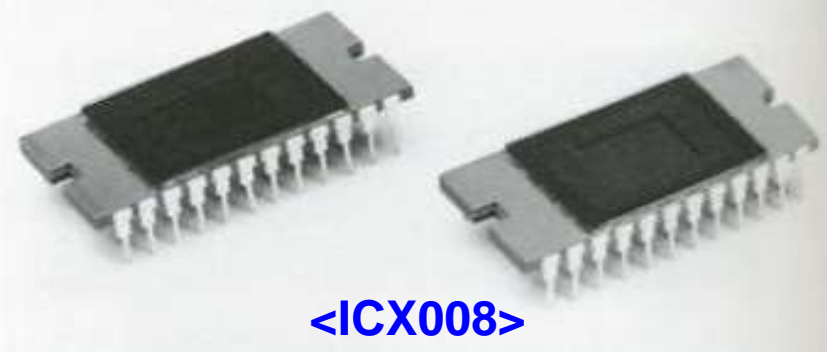


all solid state = robustness

ジャンボ機の  
 コックピットに搭載



●CCD/MOS容量型 Dynamic Photo Capacitor を採用して完全電荷転送を実現して残像のない。高速撮影が可能な映像を実現した



<ICX008>

MOS 容量で受光して CCD 転送で 残像のない映像を実現した。

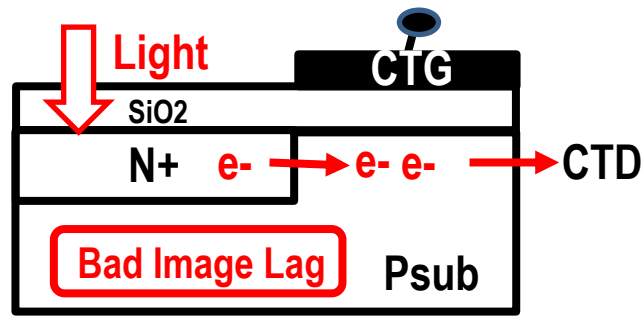
発明協会の公式WEBにも掲載



### 3. イメージセンサの基本構造

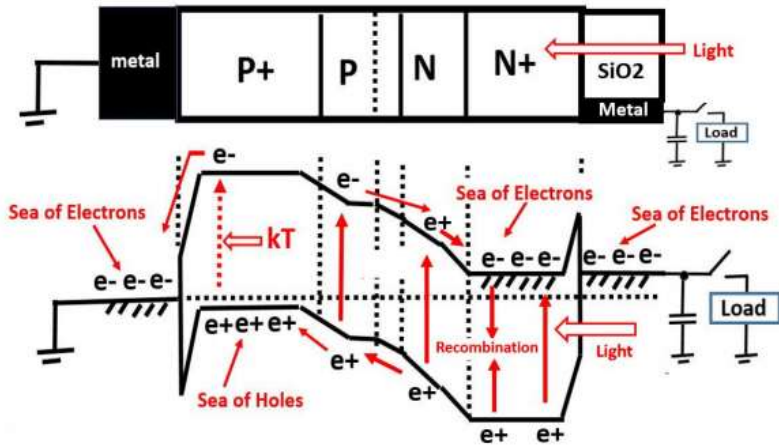
## いろいろな受光素子構造

#### (1) N+P junction Photodiode in 1960s

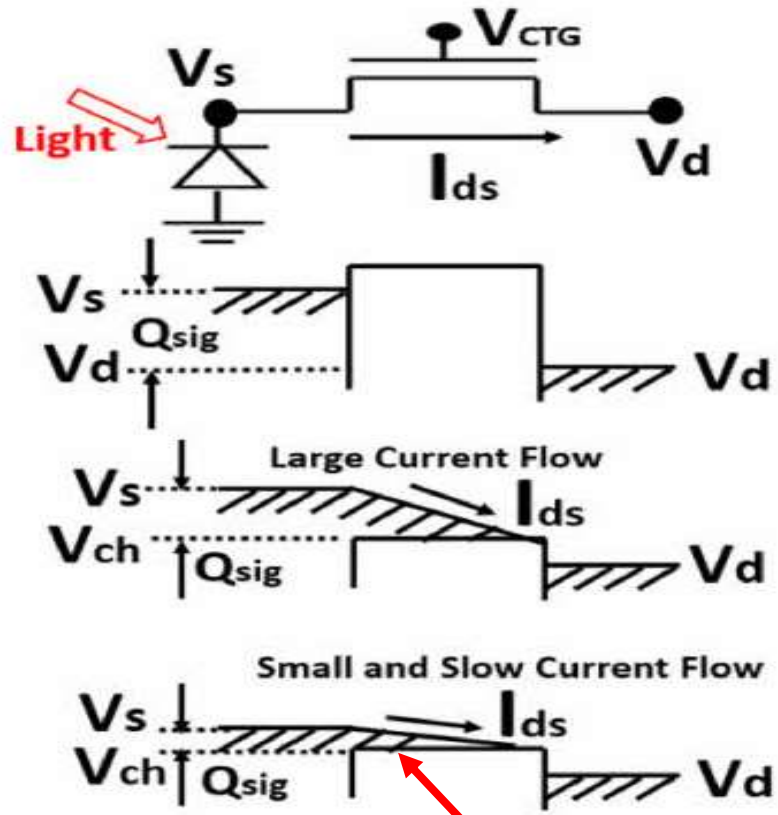


### もうひとつの欠点

短波長青色光は空乏層に届かない



Single 接合 N+P 型 太陽電池は  
量子効率が悪い~20%程度



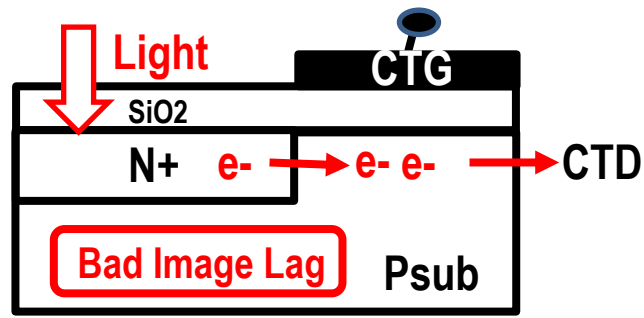
電荷転送電極の実行抵抗が  
大きくなり S/D間の電流が少なく  
残留信号電荷により残像がある。



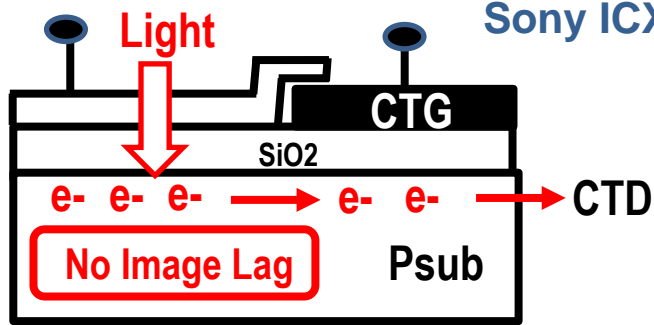
### 3. イメージセンサの基本構造

#### いろいろな受光素子構造

(1) N+P junction Photodiode in 1960s



(2) Transparent Electrode CCD/MOS Photo Capacitor (1980)

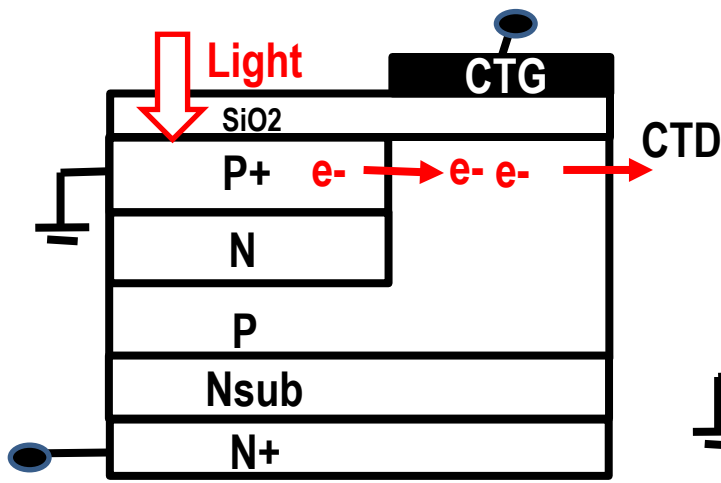


Sony ICX-008 CCD chips (1980)



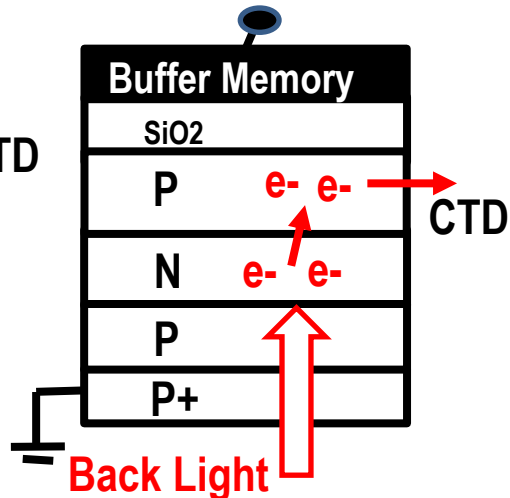
<ICX008>

(3) P+NPNsub 接合型 Photodiode Hole Accumulation Diode (HAD)



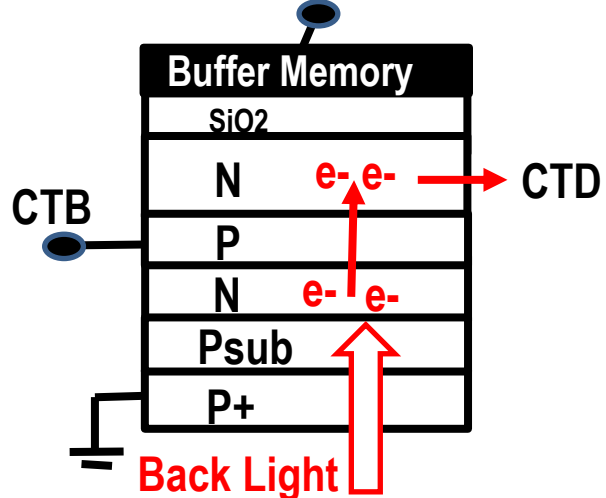
VOD JAP 1975-134985

(4) P+PNP 接合型 Photodiode Global Shutter Buffer MOS Memory



Back Light JAP 1975-127647

(5) P+PNPN 接合型 Photodiode Global Shutter Buffer MOS Memory

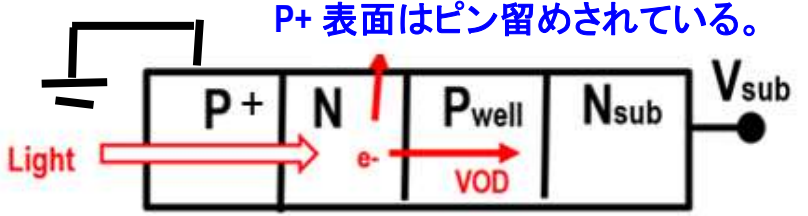


Back Light JAP 1975-127646

# 4. イメージセンサの動作原理

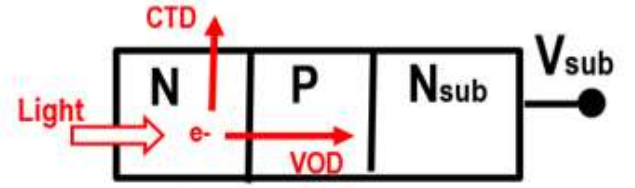
## ●P+NPNsub 接合型HAD受光素子 (JAP 1975-134985)

萩原(1975) 基板(Nsub)にP+NP接合を形成する。



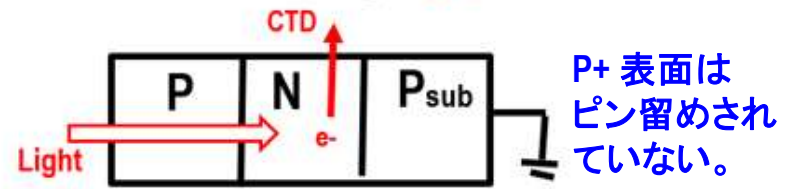
## ●NPNsub 接合型VOD受光素子 (JAP 1978-1971)

山田(1978) 基板(Nsub)にNP接合を形成する。



## ●PNPsub 接合型埋込み型受光素子 (JAP 1980-138026)

寺西(1980) 基板(Psub)にPN接合を形成する。



Comparison of Various Light Detecting Photo Sensor Structures

feature \ type	Classical N+Psub Photodiode	Surface Channel CCD	Buried Channel CCD	Yamada 1978 NPNsub	Teranishi 1980 PNPsub	Hagiwara 1975 PNPsub
Blue Light Sensitivity	△	X	X	○	○	○
Low Image Lag	X	○	○	X	○	○
Surface Dark Current	○	X	X	X	○	○
Surface Trap Noise	○	X	○	X	○	○
Vertical OFD (VOD)	X	X	X	○	X	○
Electrical Shutter	X	X	X	X	X	○

### 3. イメージセンサの基本構造

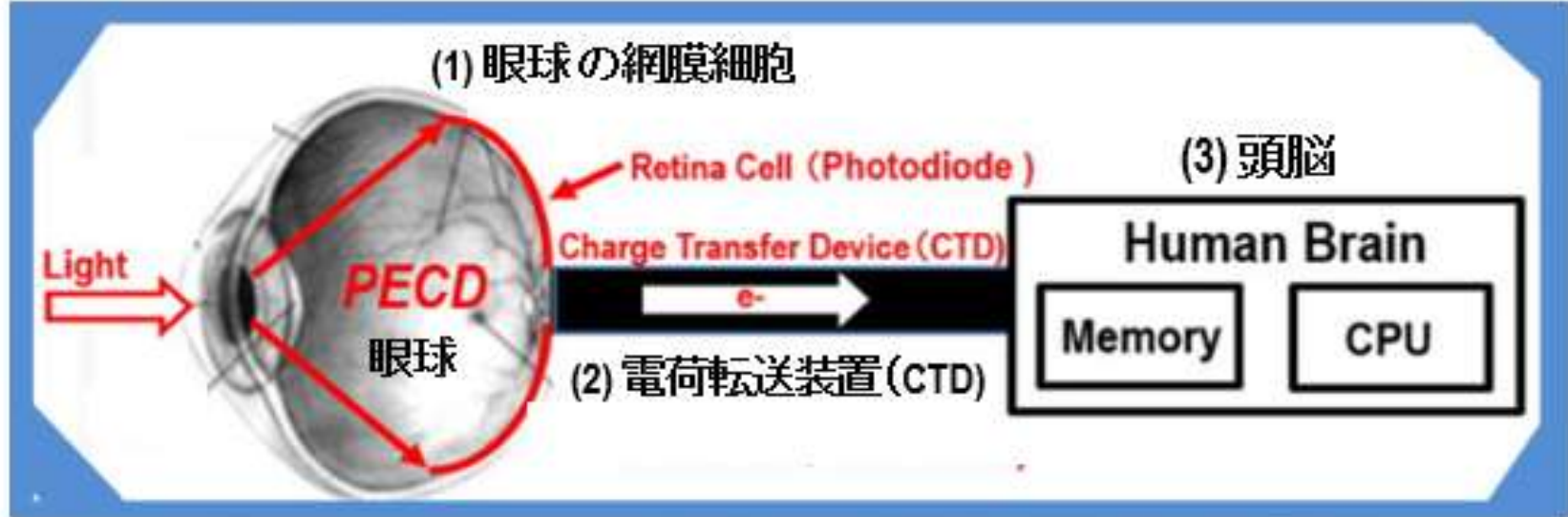
Image Sensorの基本構造は2つの重要な部分に分岐&進化。

(1)人間の目の網膜細胞に相当する、光を電気信号に変換する半導体受光素子。

- (A) N+P接合型 (光感度が悪く、青色感度不足し、残像がひどかった。)
- (B) P+NP 型接合 (光感度良好、残像なし。しかし過剰照射光からの画像保護機能なし。)
- (C) P+NPNsub接合型 (別称HAD、光感度良好、残像なし、かつ過剰照射光保護機能あり。)

(2)信号電荷を脳まで伝達する神経細胞の束に相当する、電荷転送装置 (CTD)

- (A) MOS 型電荷転送装置 (配線容量雑音とClock雑音が大きかった。)
- (B) CCD型電荷転送装置 (配線容量雑音もClock雑音なし、しかし消費電力が大きい。)
- (C) CMOS型電荷転送装置 (配線容量雑音もClock雑音なし、消費電力も小さい。)





### 3. イメージセンサの基本構造

- 表面照射型(1)
- 表面照射型(2)
- 裏面照射型

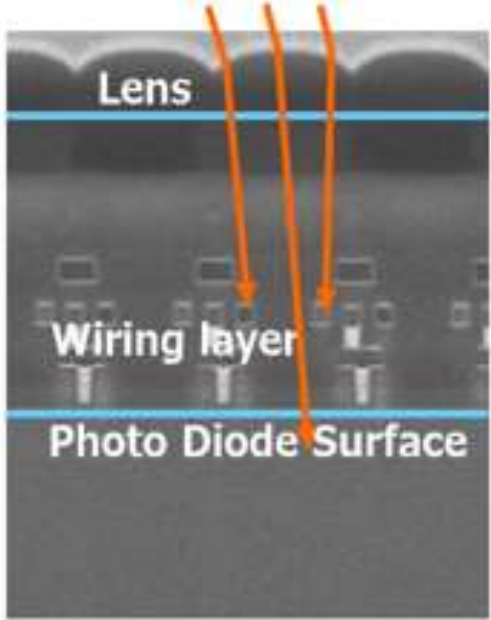
光集率が悪い

光集率の改善(光ガイド構造)

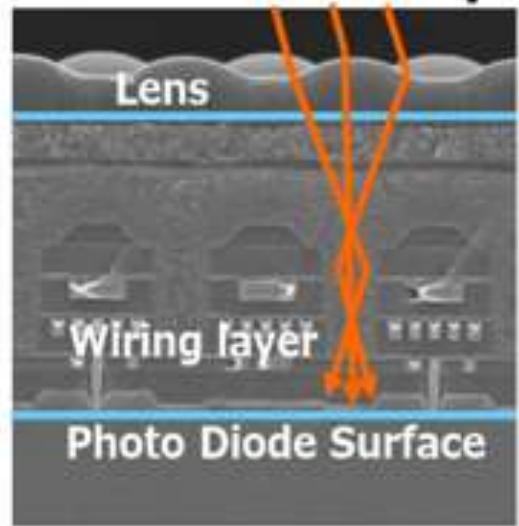
光集率の最適化(積層型集積回路の実現)

### 構造断面写真

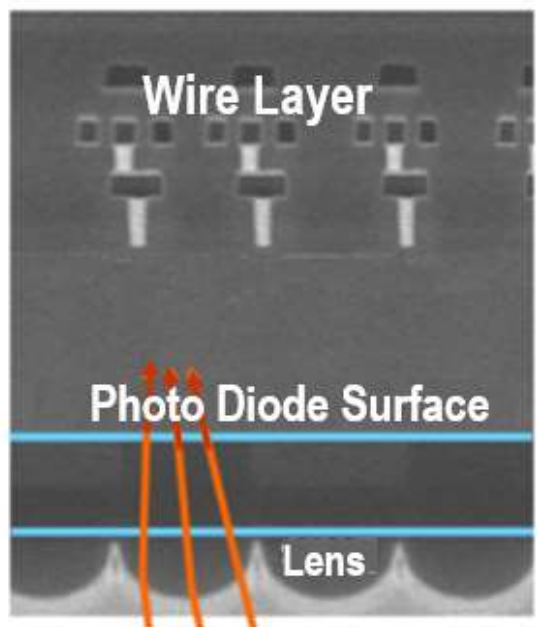
金属配線やトランジスタなどの回路が形成されている面を表面側と定義します。



表面照射型(1)



表面照射型(2)

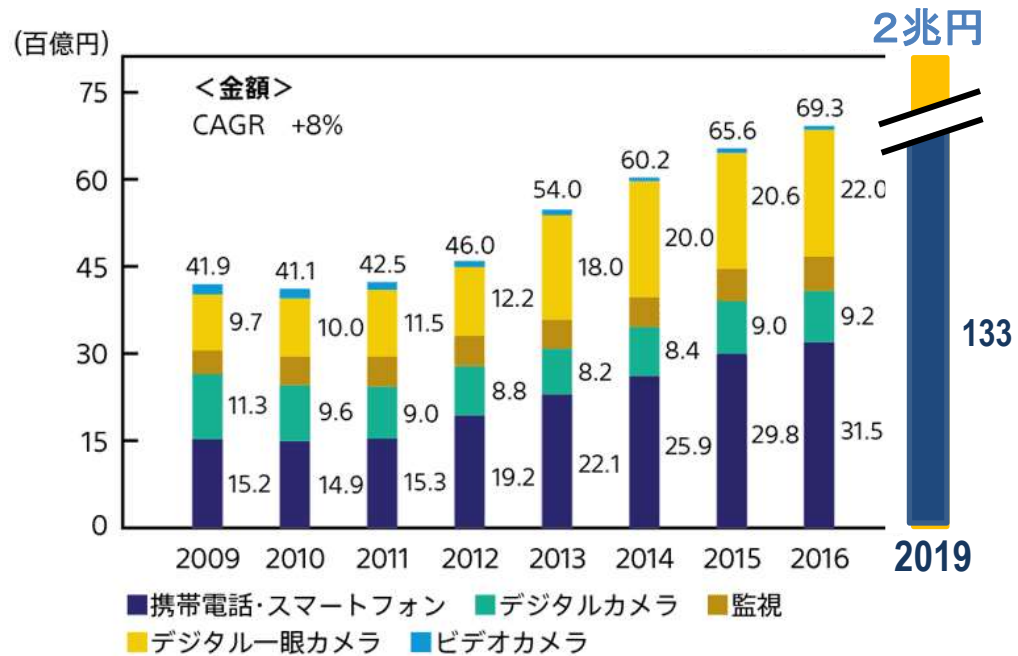


裏面照射型

## 2. イメージセンサの歴史と市場動向

CMOSイメージセンサ (CIS: CMOS Image Sensor) 産業は、急速に変化している。

携帯電話機市場と自動車市場にけん引されて、CIS市場は2014年から2020年の間に年平均成長率 (CAGR) 10.6%で成長し、2020年には200億ドル (2兆円) 規模へと成長。大きなビジネスチャンスが出現した応用分野は、自動車と医療機器、そして監視カメラといったところである。安全性を高める用途だけでなく、イメージングを「自動化」する用途に使われるためだ。



2018年のCIS2兆円市場用途別シェア

用途	シェア	前年比
モバイル向け	66.4%	12%
コンピュータ向け	8.2%	-7%
コンシューマ向け	7.8%	3%
セキュリティ向け	6.4%	20%
車載向け	6.3%	27%
産業向け	4.4%	17%
医療向け	0.6%	20%

2017年のCMOSイメージセンサ市場は前年比19%増の125億ドル規模に達した。(Insights調査報告)  
 2019年度のSONYのイメージセンサの売り上げは1兆円を超え、世界シェア 50% 以上に。

See <https://news.mynavi.jp/article/20190717-860632>

## 2. イメージセンサの歴史と市場動向

### CMOSイメージセンサの製造企業

設計・製造技術の進化が CMOSイメージセンサの性能向上を推し進め、それにより CIS の応用事例にも 変化が生じている。スマートフォンが小型カメラに取って代わり、そしてアクションカメラが ビデオカメラに取って代わってしまった。

2015年 ランク	2015年 シェア	2019年 ランク	2019年 シェア
(1) Sony	32%	(1) Sony	50%
(2) OmniVision	22%	(2)samsung	24%
(3) Samsung	19%	(3)OmniVision	14%
(4) Sharp	12%	(4)STMicoro	6%
(5) SK Hynix	8%	(5)Panasonic	1%
Others	7%	Others	5%
売上高合計	100% 62.5億 \$	売上高合計	100% 200億 \$



See <https://news.mynavi.jp/article/20190717-860632>

出典:イーサプライ

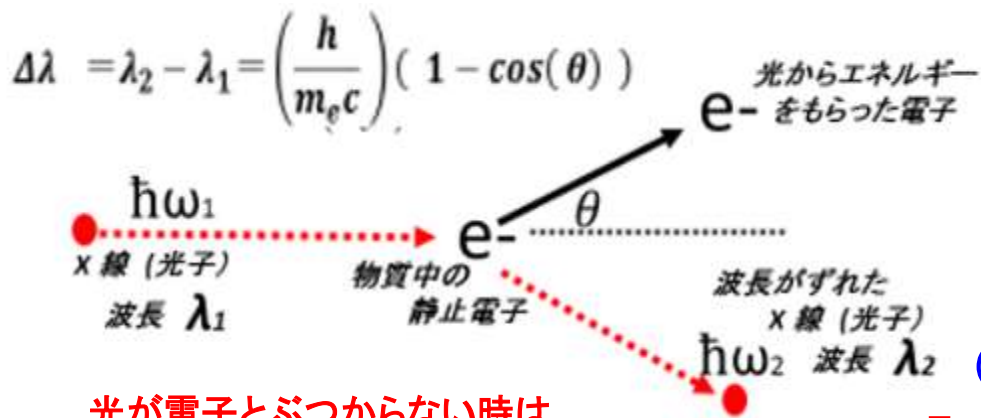
2017年のCMOSイメージセンサ市場は前年比19%増の125億ドル規模に達した。(Insights調査報告)  
2019年度のSONYのイメージセンサの売り上げは1兆円を超え、世界シェア 50% 以上に。



# 4. イメージセンサの動作原理

## ● 光は波でもあり、また粒子(光子)でもある (Albert Einstein 1900)

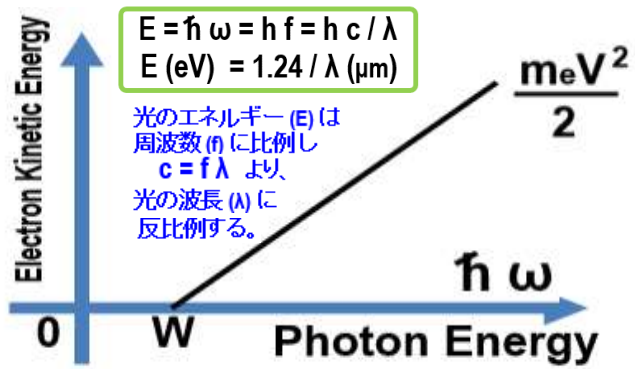
- 玉突きと同じ古典物理モデルで記述できる。
- 反射光の角度と波長の関係から電子の質量が求まる！



(脱出エネルギー) = 半導体の Energy Gap  
**For Silicon,  $E_g = 1.10 \text{ eV}$  and  $\lambda = 1.12 \mu\text{m}$**

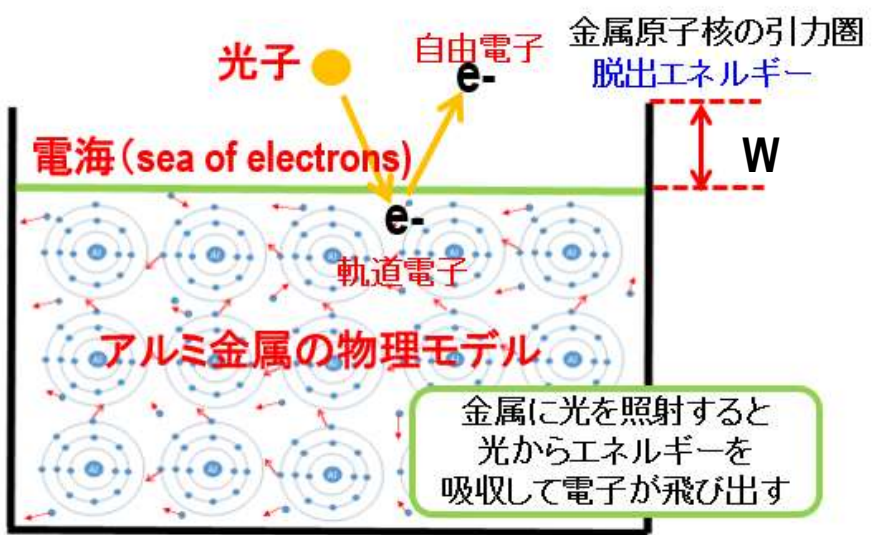
光が電子とぶつからない時は  $\theta = 0$  で光は直進し波長の変化はない。

- 光の速度  $C = 2.99792458 \times 10^{10} \text{ cm/sec}$
- Plank 定数  $h = 6.62606957 \times 10^{-34} \text{ Joule}\cdot\text{sec}$
- 電子の質量  $m_e = 9.10938291 \times 10^{-31} \text{ kg}$



Work Function (W) の値から金属の種類が判明する。

- 金属の物理モデル (器の中に入った水モデル)

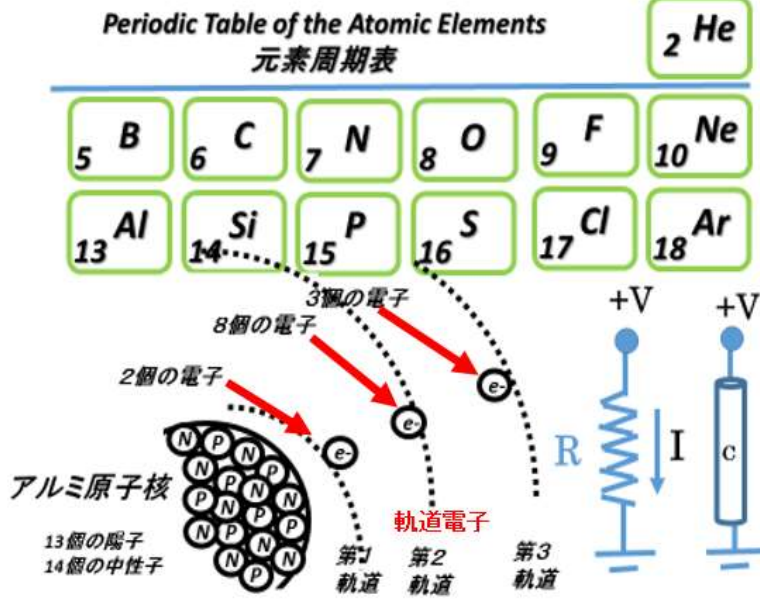






# 4. イメージセンサの動作原理

軌道電子の物理モデルは地球や火星などの軌道惑星に類似する。



●自由電子は当然空間を自由に浮遊し移動する。しかし、結晶体の中でも、結晶体の原子核の引力圏の外では自由に電子は浮遊することができる。

●シリコン結晶体では、電子を1つ失ったシリコンイオン(Si+) は隣接する中性のシリコン原子から電子を1つ盗み、中性にもどる。その電子を盗まれた、シリコンイオン(Si+) は、また別の中性のシリコン原子から電子を盗む。ホールはこうして移動する。

## ●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

$$\text{アルミ原子(中性)}_{13} = \text{アルミイオン}(Al^+)_{12} + \text{自由電子}(e^-)$$

$$\text{シリコン原子(中性)}_{14} = \text{シリコンイオン}(Si^+)_{13} + \text{自由電子}(e^-)$$

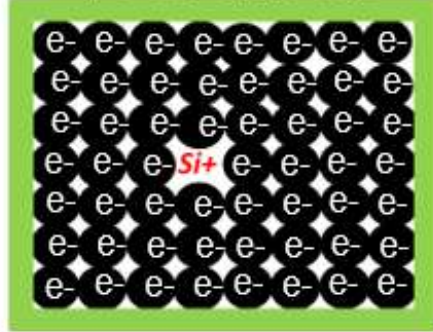
$$\text{りん原子(中性)}_{15} = \text{りんイオン}(P^+)_{14} + \text{自由電子}(e^-)$$

$$\text{ボロンの原子(中性)}_5 + \text{自由電子}(e^-) = \text{ボロンイオン}(B^-)_6$$

### P型半導体の物理モデル

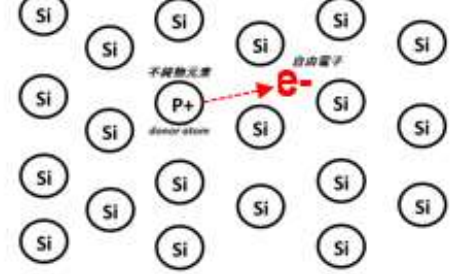


ボールがぎっしり詰まった箱



Holeが主役

### N型半導体の物理モデル



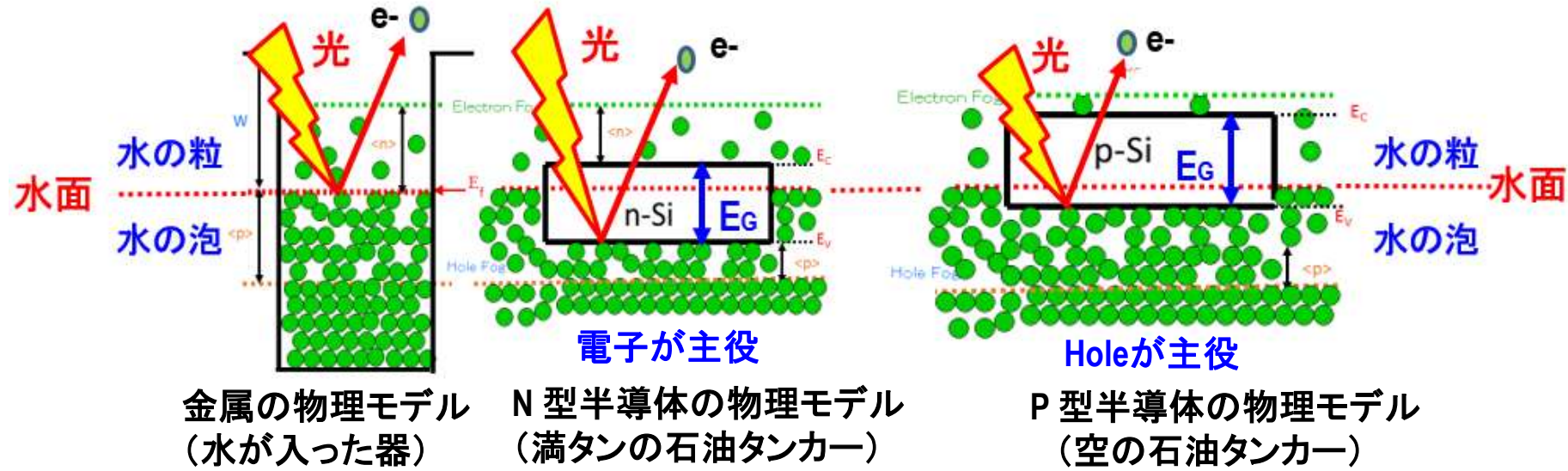
空っぽの箱



電子が主役

# 4. イメージセンサの動作原理

- 金属の物理モデルは、器に入った水にたとえる事が可能。
- N型半導体の物理モデルは満タンの石油タンカー船に、
- P型半導体の物理モデルは空の石油タンカー船に似ている。



$$E = \hbar \omega = h f = h c / \lambda$$

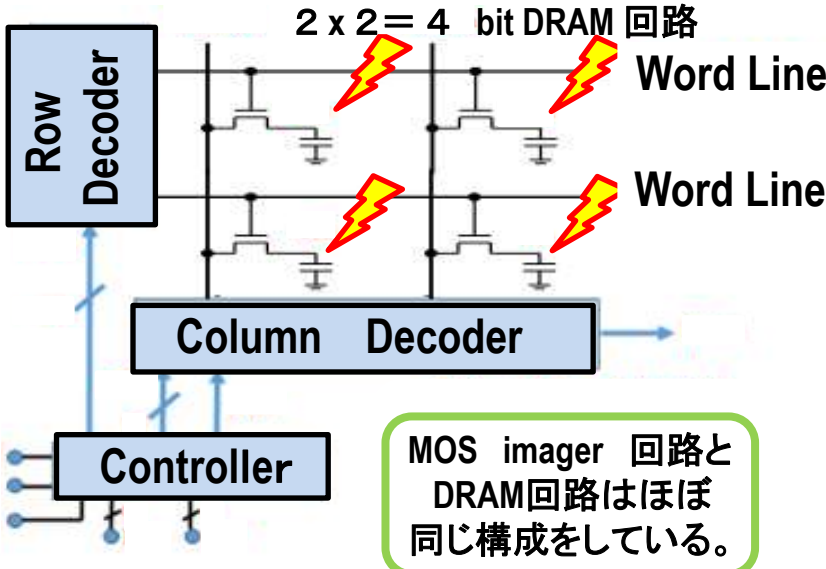
$$E \text{ (eV)} = 1.24 / \lambda \text{ (\mu m)}$$

For Silicon,  $E_g = 1.10 \text{ eV}$  and  $\lambda = 1.12 \text{ }\mu\text{m}$

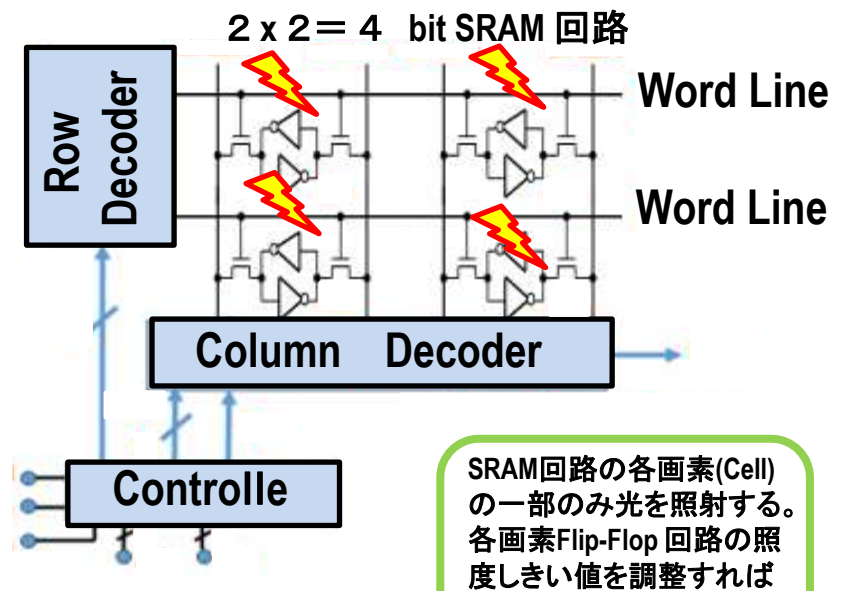
光のエネルギー (E) は周波数 (f) に比例し  $c = f\lambda$  より、光の波長 ( $\lambda$ ) に反比例する。

# 4. イメージセンサの動作原理

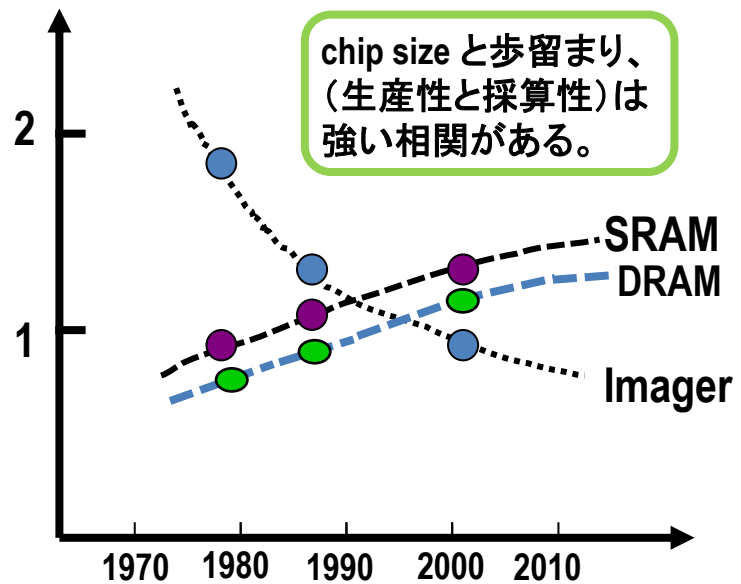
● 1T1C型DRAM電荷転送 mode で動作する



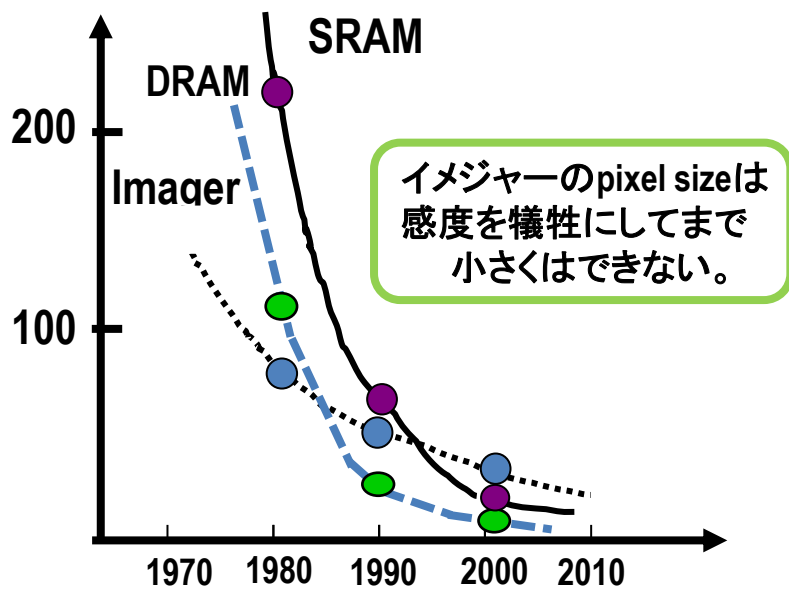
● SRAM回路をアナログdata比較回路に使う



Chip Size (cm<sup>2</sup>)



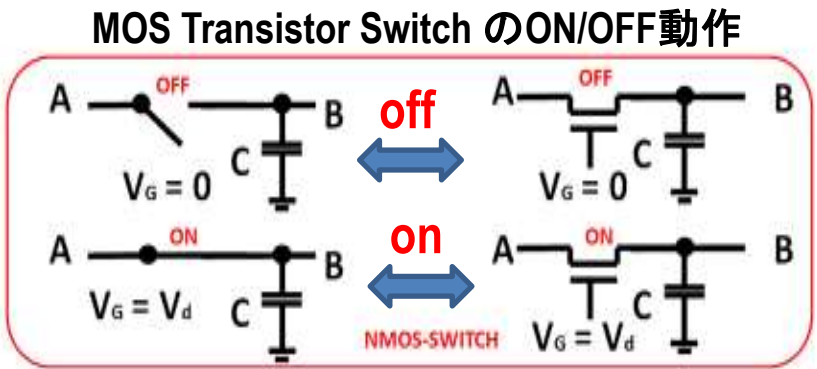
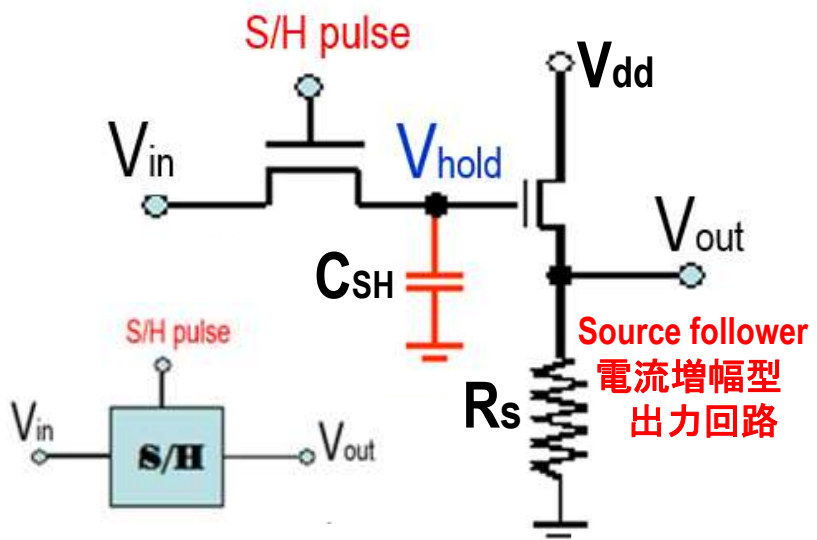
Pixel Size (μm<sup>2</sup>)



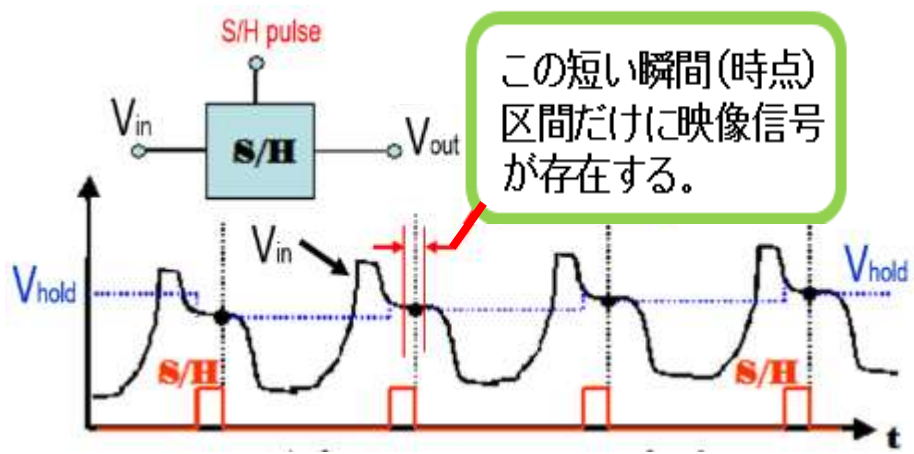


# 4. イメージセンサの動作原理

●CMOS イメジャーが有利になった理由は、最初は CCDイメジャーに応用された技術であった、S/H回路を3個使う手法（Correlated Double Sampling Hold 回路 by M. White, 1972）により、雑音が激減し実用に耐えるレベルになったことが大きい。



## 従来の Single Sampling Hold 回路



## Correlated Double Sampling Hold 回路

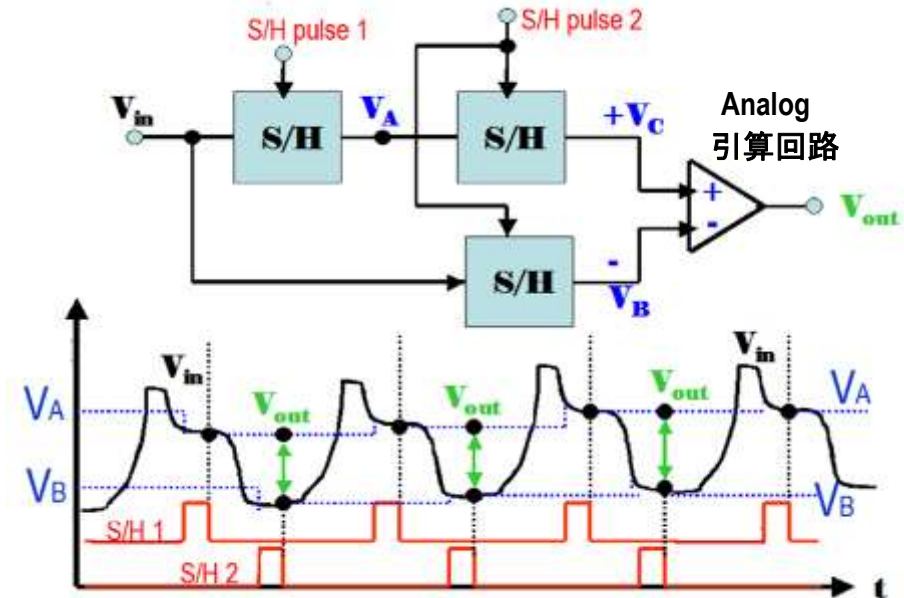
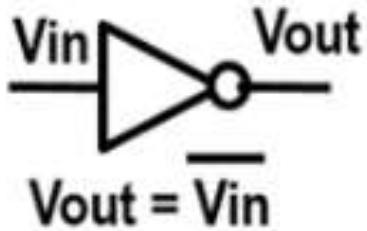


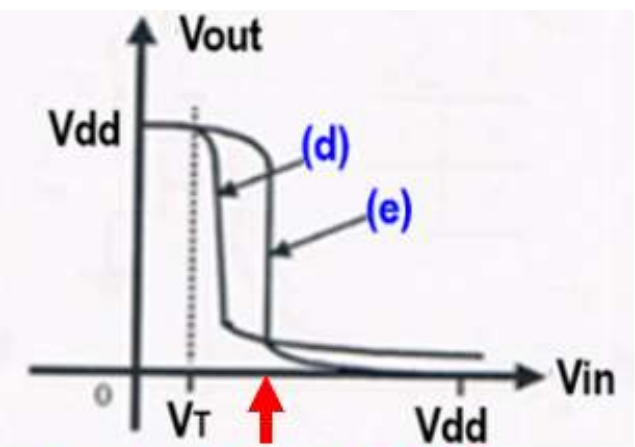
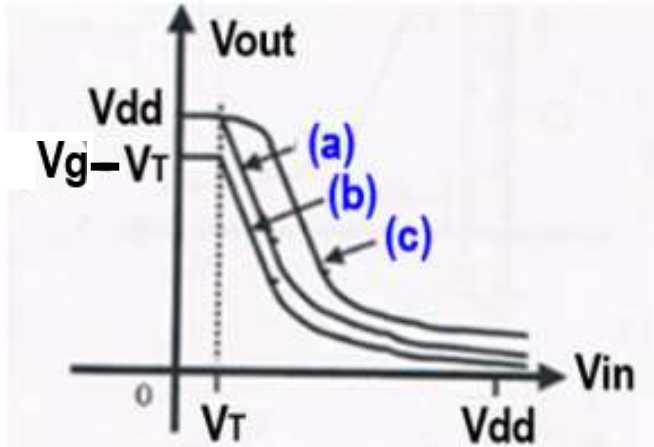
Image sensor の映像信号は雑音の中に埋もれている！

# 4. イメージセンサの動作原理

## Inverter



## Inverter Input Output Curves

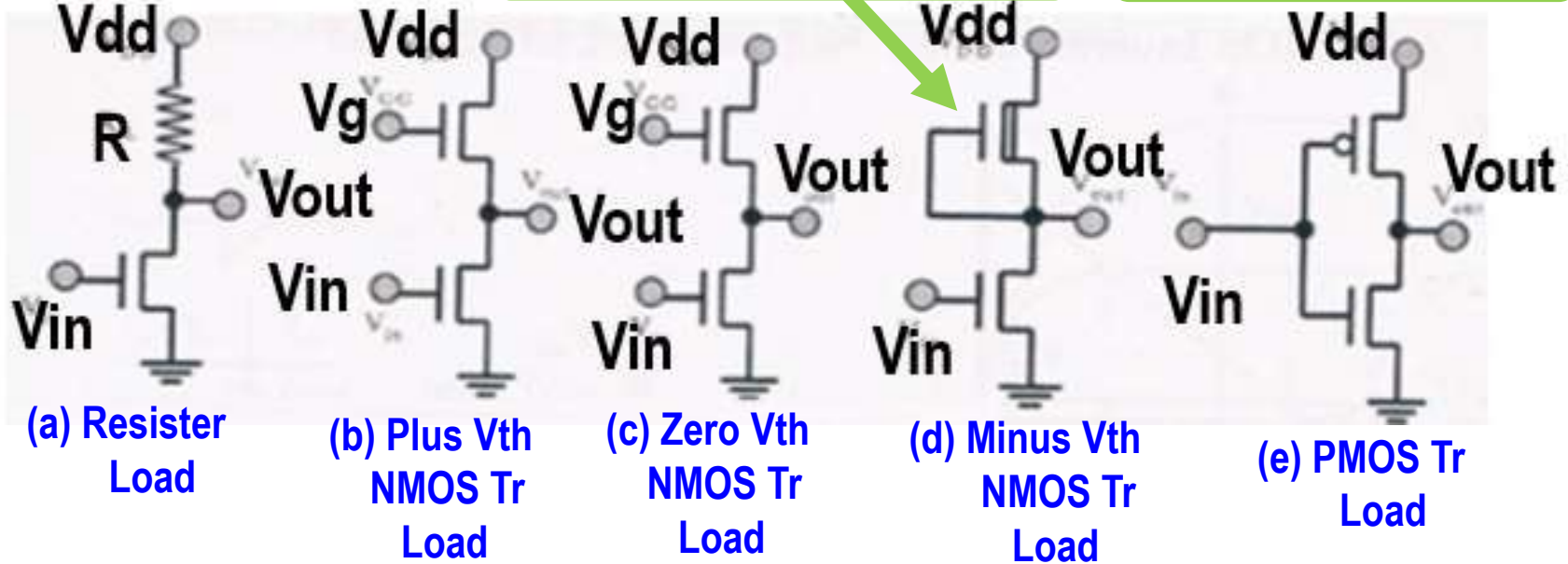


Logical  $V_{th} = V_{dd} / 2$

電流が流れている！

少量の電流が流れる

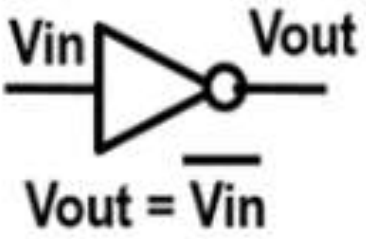
CMOS Inverter



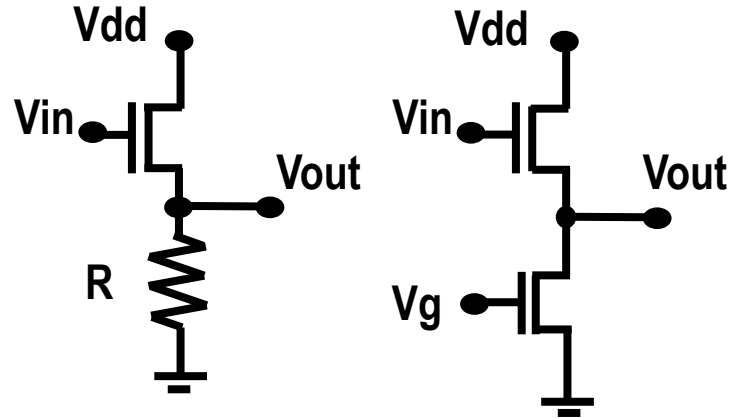
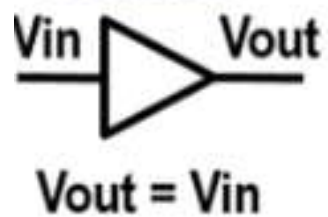
# 4. イメージセンサの動作原理

# Source Follower Current Amplifier

## Inverter

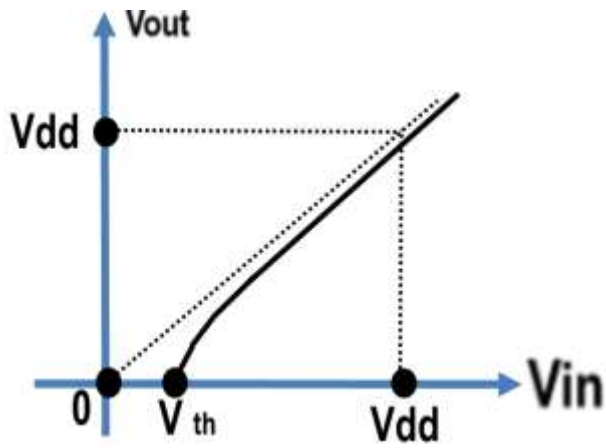
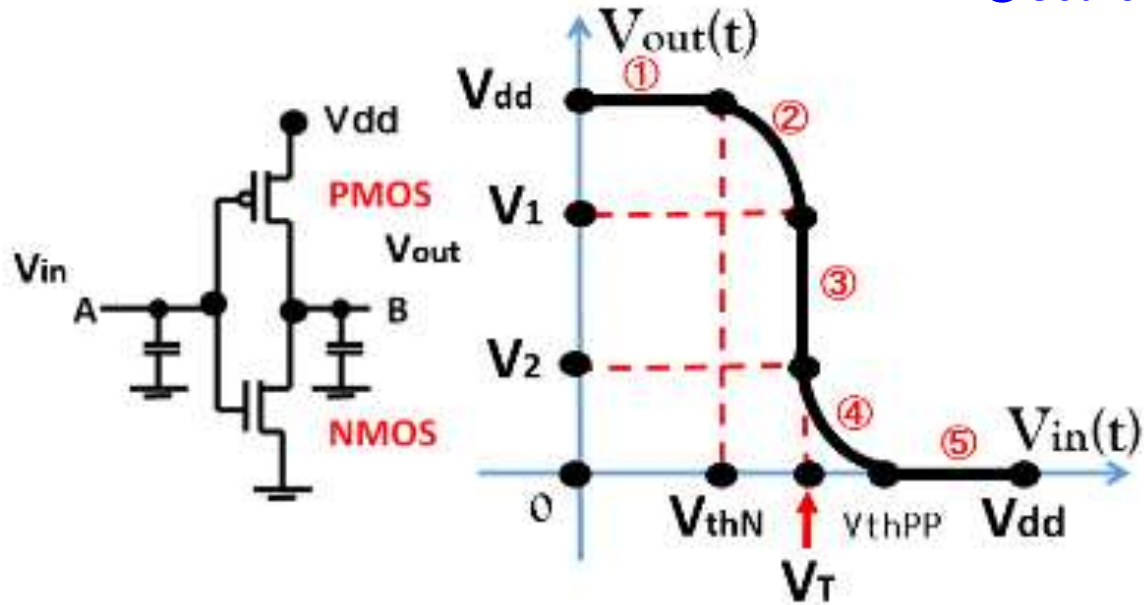


## Source Follower



### ● CMOS inverter回路の入出力特性

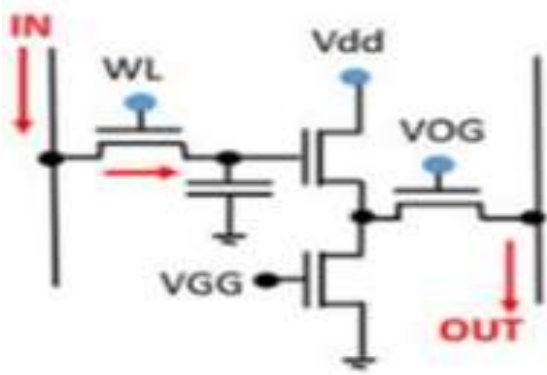
### ● Source Follower 回路の入出力特性



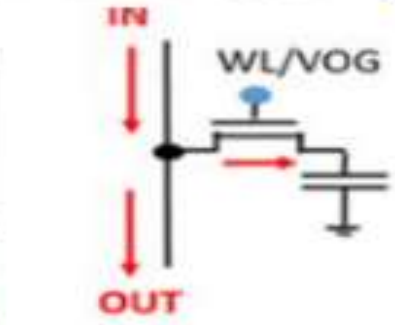
**最終的に CMOS Inverterのみ生き残った。**

# 4. イメージセンサの動作原理

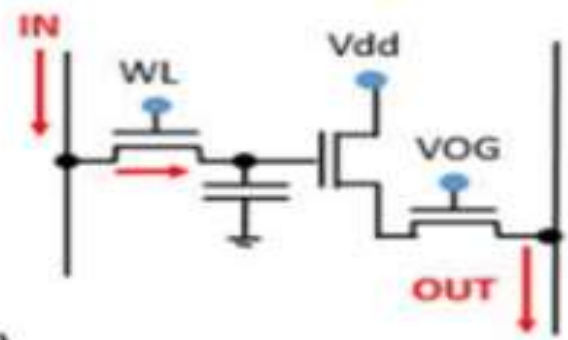
## History of DRAM Cell (Source Follower)



Conventional DRAM Cell before 1966



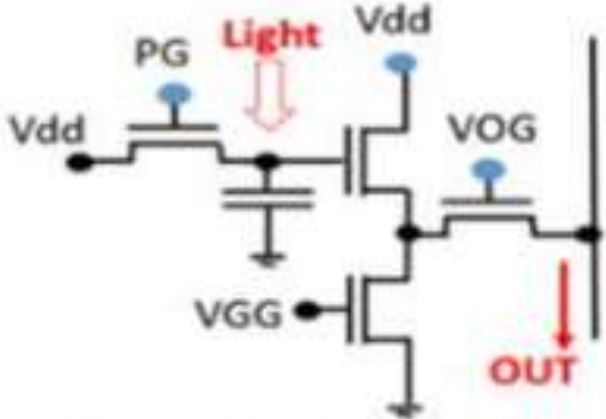
R.H.Dennard (IBM 1966)



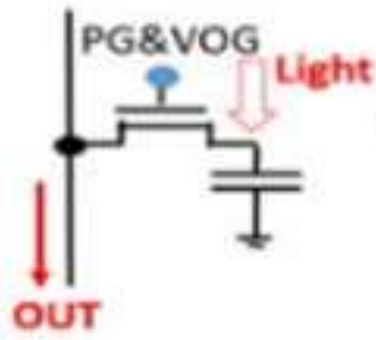
Bill Regitz (Honeywell 1969)

Intel 1101 @ISSCC1970, Philadelphia.

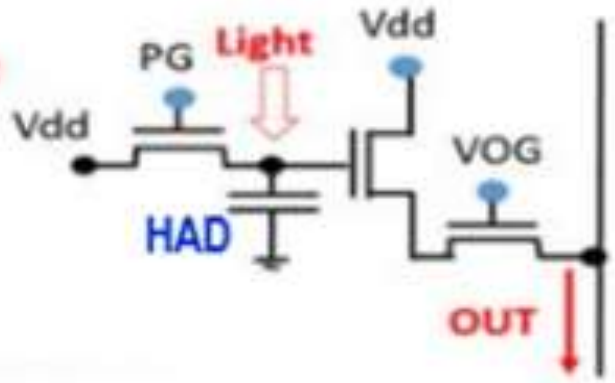
## History of Photo Diode Cell (Source Follower)



Conventional Active Pixel Circuit Photo Diode in 1966



after Peter Nobel, 1966~1968

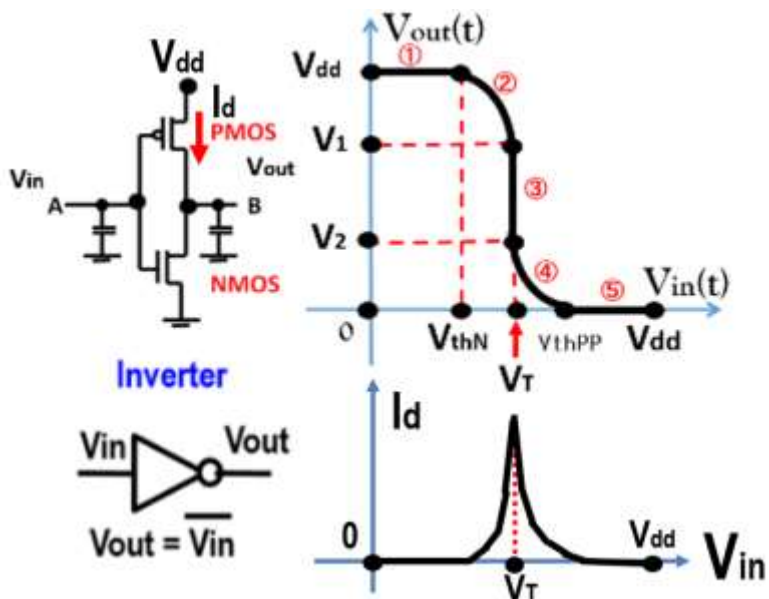




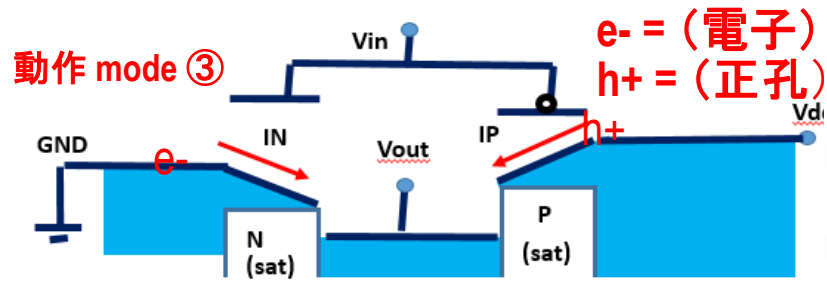
# 4. イメージセンサの動作原理

● CCDイメージャーより CMOSイメージャーが有利になった理由は、低消費電力のCMOS デジタル回路が使える為で、CMOS inverter回路特性から理解できる。

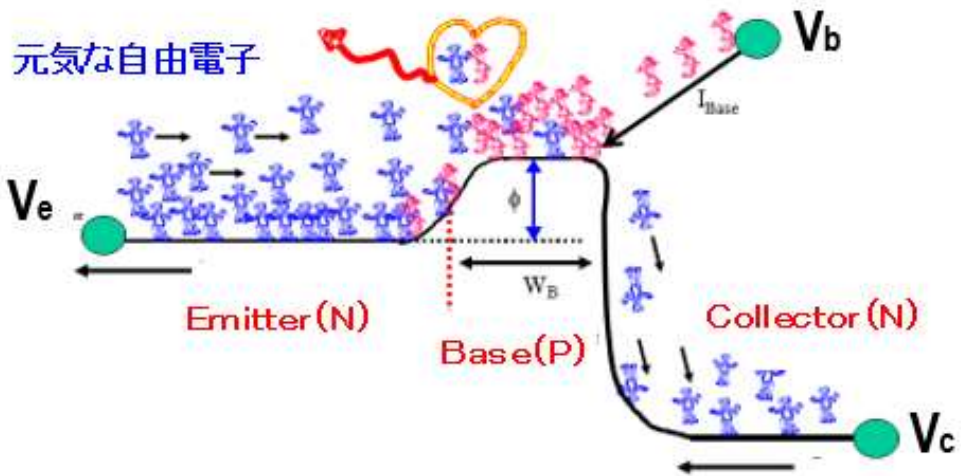
## ● CMOS inverter回路の入出力特性



## ● CMOS inverter回路の水門モデル

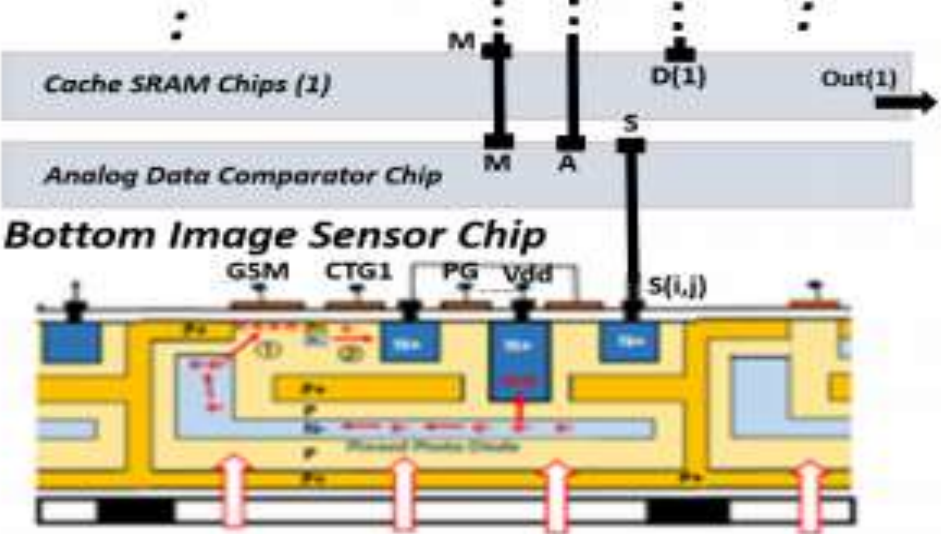


## ● NPN transistor の動作原理



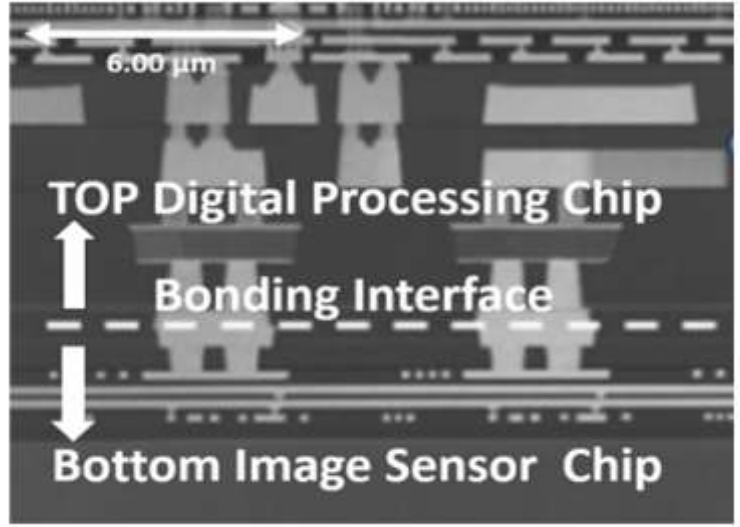
賢いイメージセンサーを支える技術は CMOS とBipolar の融合技術である。

## 2枚のchipを張り合わせる

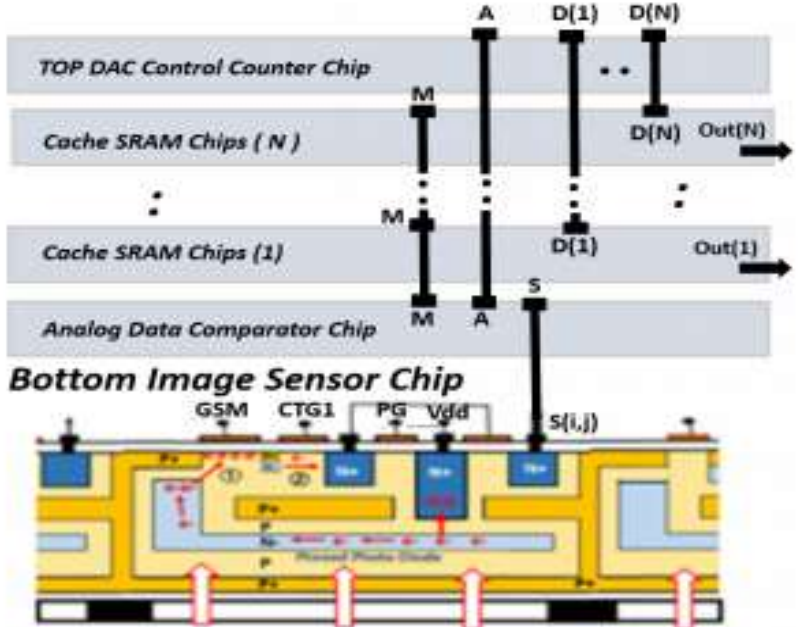


# 4. イメージセンサの動作原理

## 裏面照射型 CMOS Image Sensor (2020)



## Multi-chips three dimensional LSI chip



## P+PNPP+接合型 Buried Pinned Photodiode を採用した 裏面照射型 CCD Image Sensor (JAP 1975-127647)

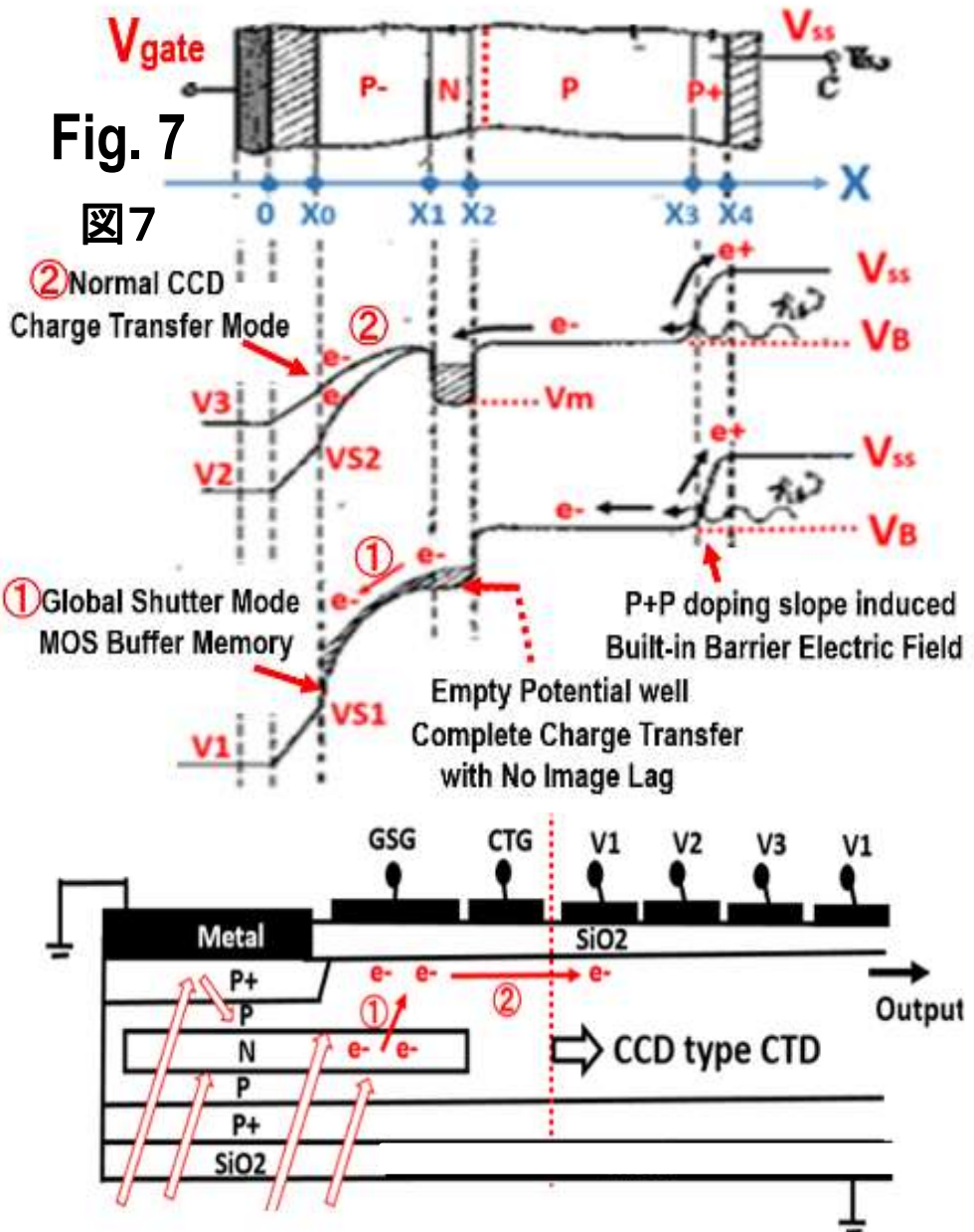
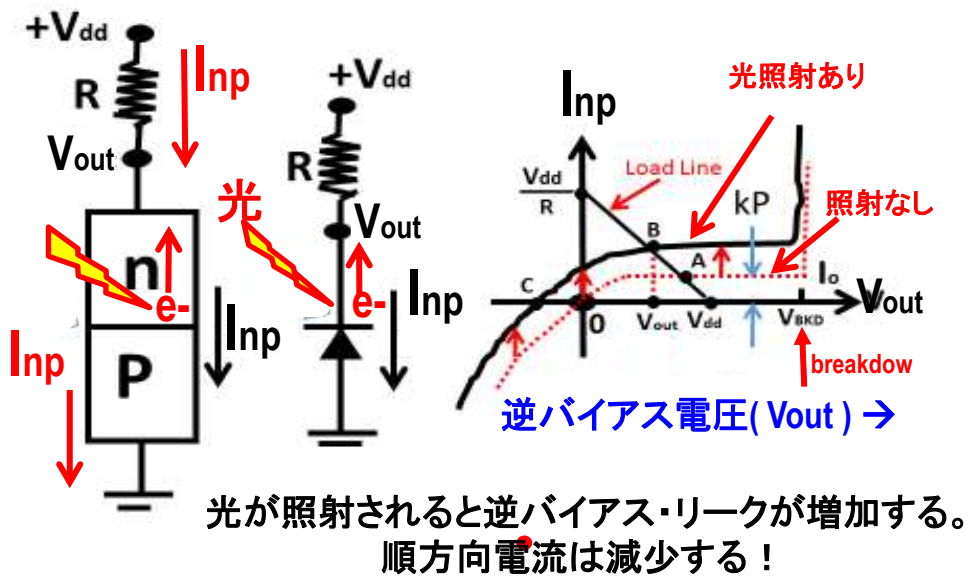


Fig. 7

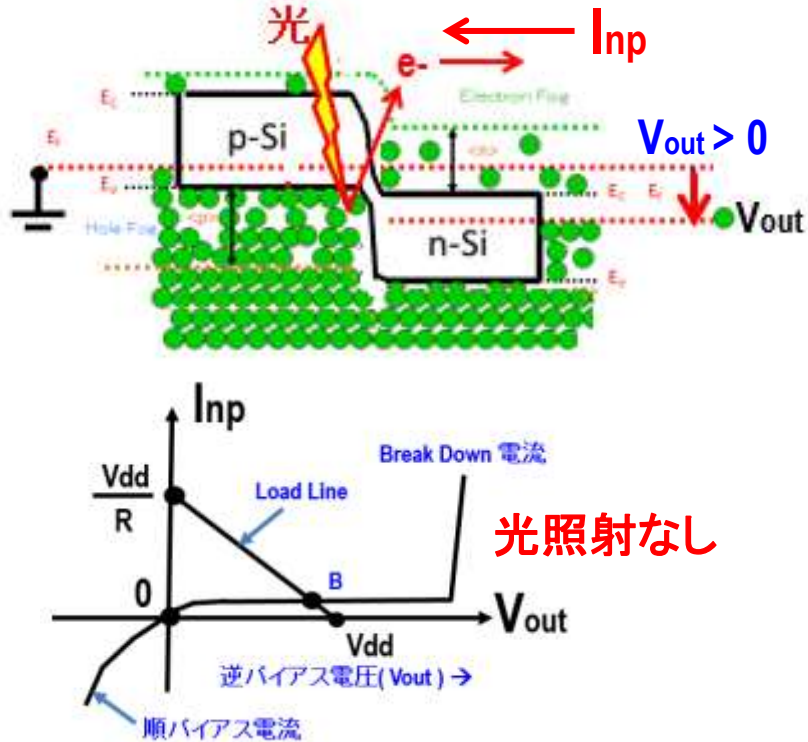
図7

# 4. イメージセンサの動作原理

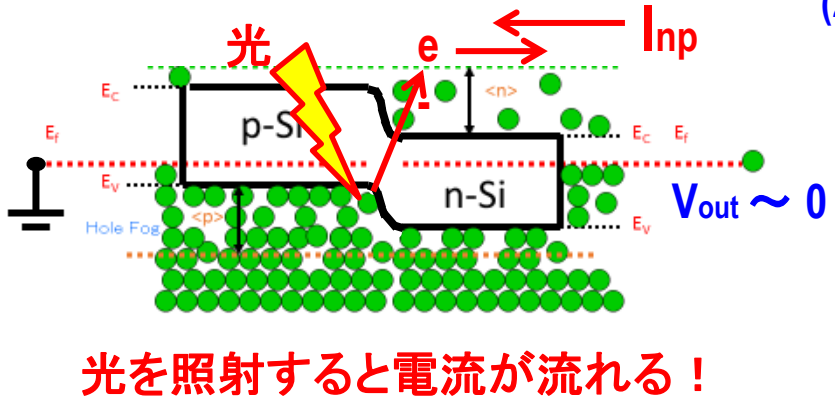
● イメージセンサーと太陽電池の動作原理は同じだが、  
 ただ受光絵素構造の個数と大きさが違う！



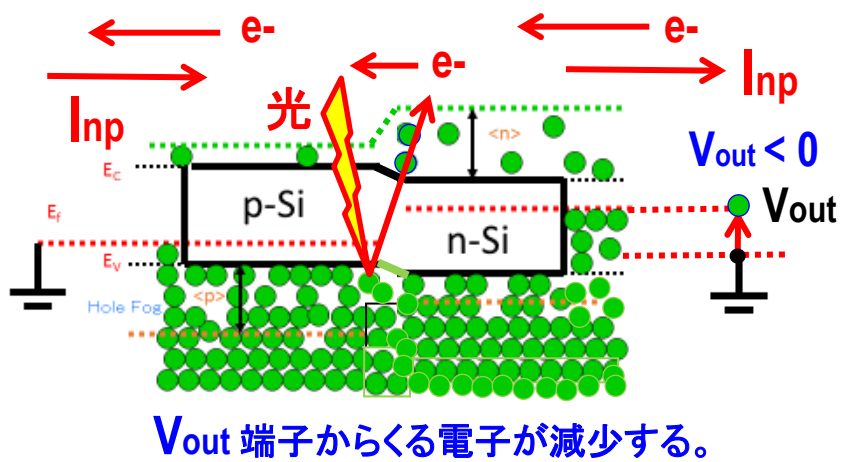
## (3) $V_{dd} > 0$ 逆バイアス mode の場合



## (1) NO バイアス mode の場合 太陽電池 mode



## (2) $V_{dd} < 0$ 順バイアス mode の場合



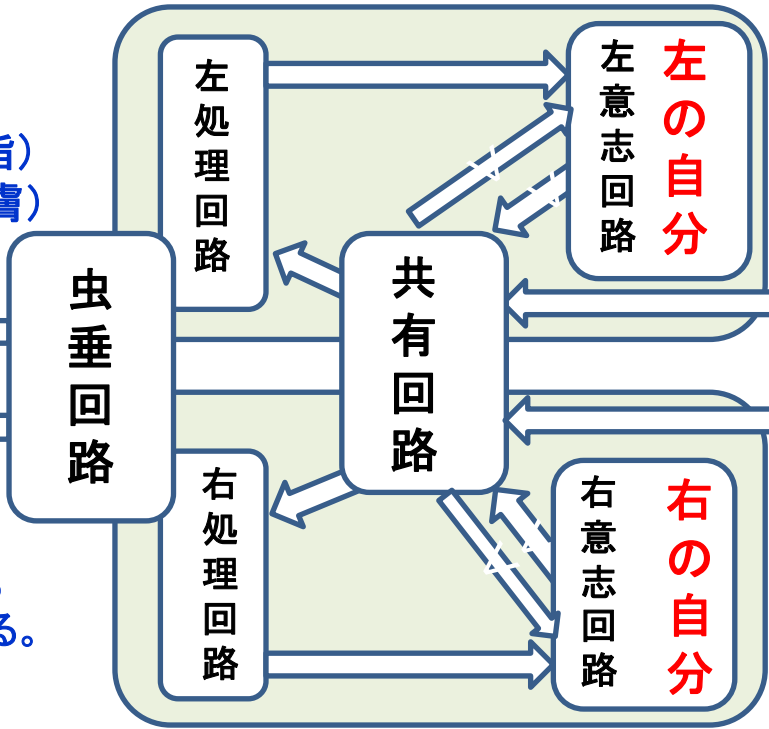


# 5. 賢いイメージセンサーとは？

●イメージセンサー(賢い電子の目)にはいろいろな信号処理用の賢い回路が必要である。

## 人工知能回路

アクチュエーター～(腕、足、手、指)  
 センサー～(目、耳、鼻、舌、皮膚)

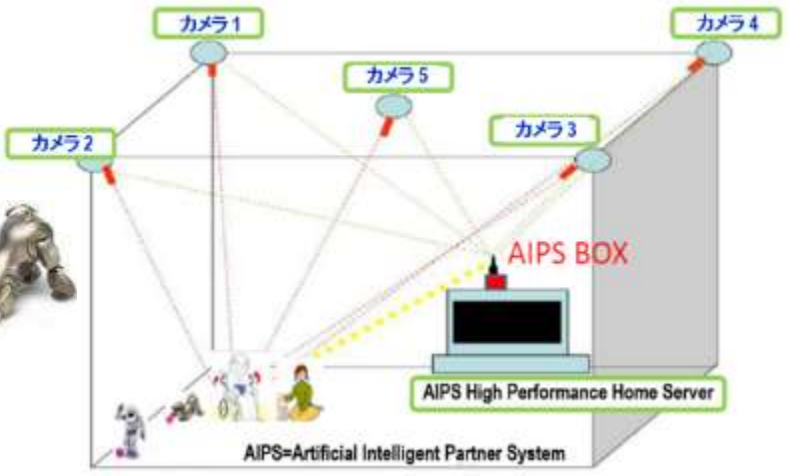
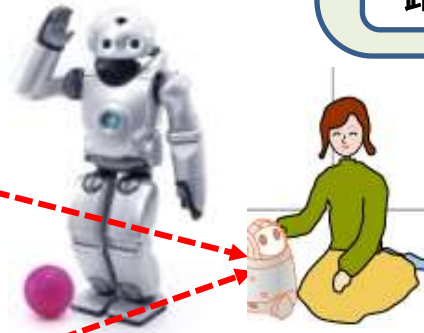
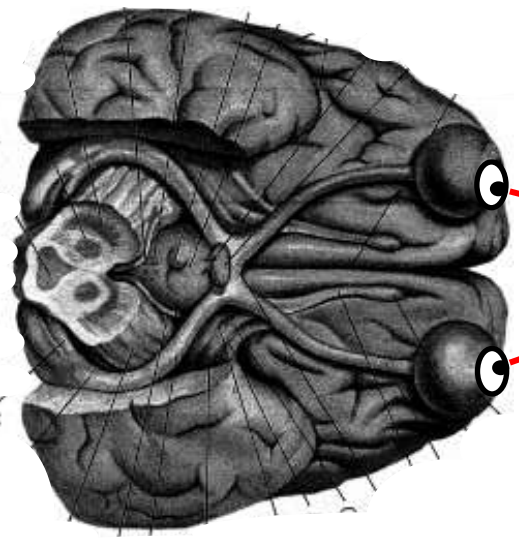


左右2つの  
電子頭脳をもつ  
人工知能回路

センサー

眼球と比較して、頭脳ははるかに大きいが、  
 同様にセンサーよりも、画像情報を処理する  
 演算回路の方がはるかに大きくて複雑である。

賢いイメージセンサー  
 回路システムは  
 人間の頭脳と目  
 の様な構造になる。



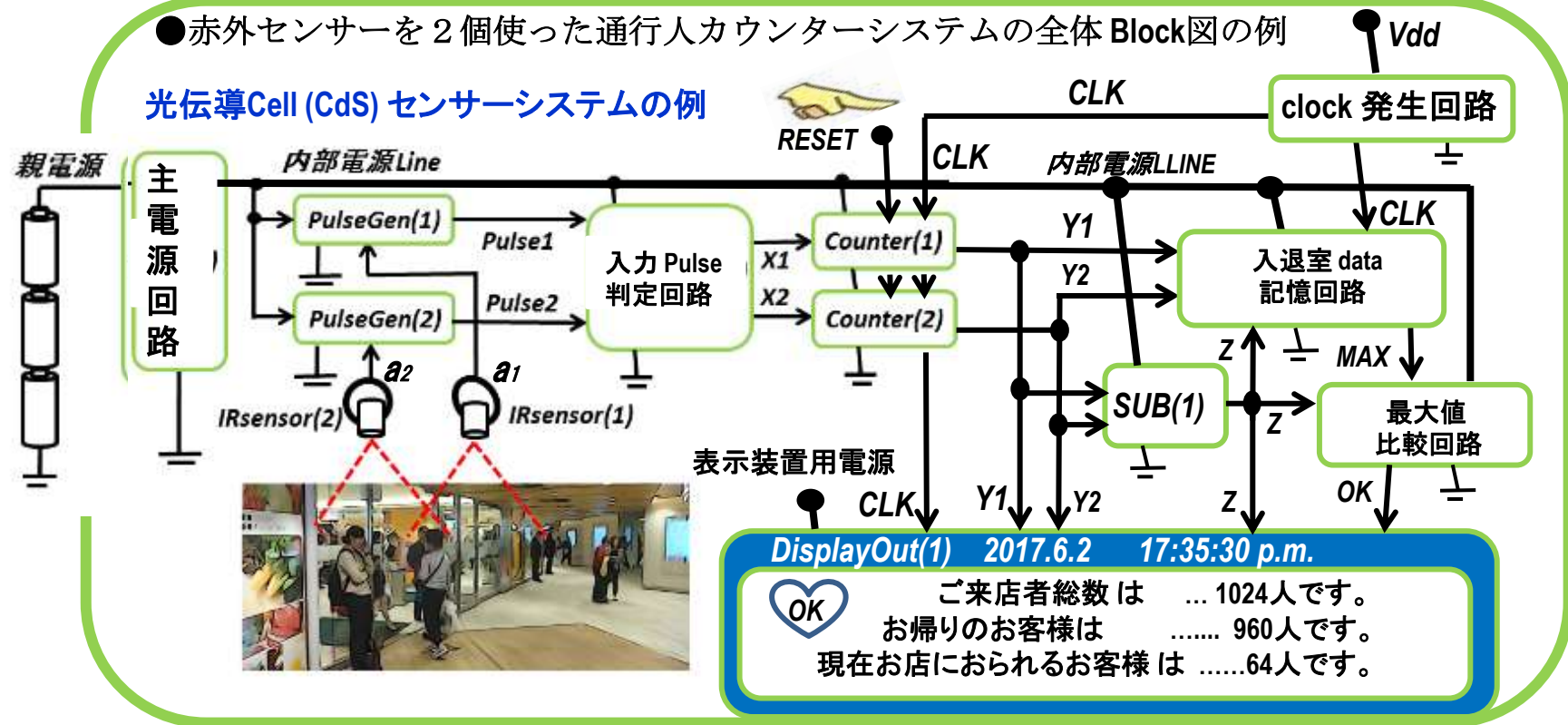


# 5. 賢いイメージセンサーとは？

●イメージセンサー(賢い電子の目)にはいろいろな信号処理用の賢い回路が必要である。

●赤外センサーを2個使った通行人カウンターシステムの全体Block図の例

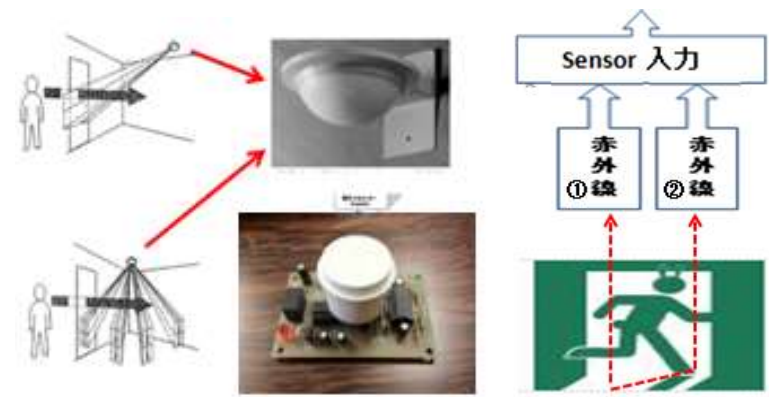
光伝導Cell (CdS) センサーシステムの例



DisplayOut(1) 2017.6.2 17:35:30 p.m.

OK

ご来店者総数は ... 1024人です。  
 お帰りのお客様は ..... 960人です。  
 現在お店におられるお客様は ..... 64人です。



街中での通行人の映像



# まとめ

Active in-Pixel MOS Image Sensor の1969年の発明は1970年のCCDの発明より早かったが、MOSの微細化技術の進歩を待つ必要があった。

開発実用化が初めて実現したのは1990年NHKの技研の技術者により実現した。その後CMOSデジタル回路の進化により絵素ごとにin-Pixel Amp回路だけでなく、CDS回路やADC回路がカラムごとに、組み込まれて、現在の省電力のCMOSデジタル出力処理回路が実現した。

\*\*\*\*\*  
理解度アップの基本復習問題  
\*\*\*\*\*

- 受光素子とは何か？
- 電荷転送装置 (CTD) とは？
- 感度 [Sensitivity] とは？
- CCD Image Sensor とは？
- CMOS Image Sensor とは？

\*\*\*\*\*

SSIS 半導体ステップアップ講座

\*\*\*\*\*

参考技術書のご紹介

\*\*\*\*\*

「イメージセンサーの本質と基礎」

黒田隆男 著

コロナ社 A5版 199頁

ISBN978-4-339-00845-6

「固体撮像素子の基礎」

安藤隆男・菟淵寛仁 共著

日本理工出版会 A5版 上製 246頁

ISBN4-89019-193-3

「CCD/CMOS イメージ・センサの基礎と応用」

米本和也 著

CQ出版社 A5版 271頁

ISBN4-7898-3626-6

「CCD/CMOS カメラの原理と実践」

安藤幸司 著

オーム社 A5版 214頁

ISBN978-4-274-06851-5

人工知能パートナーシステム(AIPS)を支える

「デジタル回路の世界」

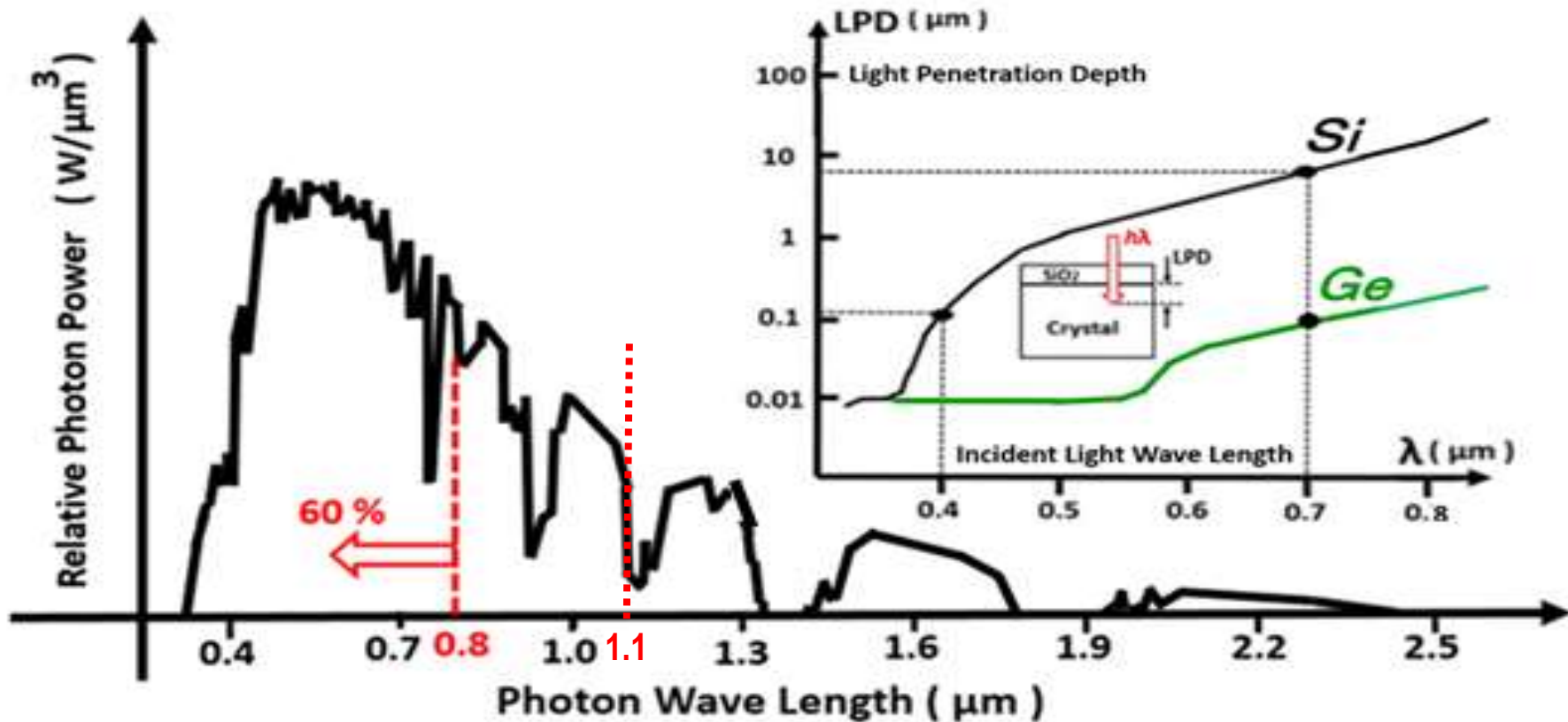
萩原良昭 著

青山社 B5版 上製 475頁

ISBN978-4-88359-339-2

\*\*\*\*\*

## 太陽光の波長スペクトラム



$$E = \hbar \omega = h f = h c / \lambda$$

$$E \text{ (eV)} = 1.24 / \lambda \text{ (}\mu\text{m)}$$

For Silicon,  $E_g = 1.10 \text{ eV}$  and  $\lambda = 1.12 \mu\text{m}$

波長が1.12 μm 以上の遠赤外線は原理的にシリコン結晶太陽電池では光電変換できない。







\*\*\*\*\*

ビデオカメラの感度とは？ Image Sensor の 最終感度とは？

\*\*\*\*\*

- Image Sensorの最終感度は、最終信号出力値 (Sout)と最終雑音出力(Nout)の比で決定します。

(Image Sensorの最終感度) = ( Sout / Nout ) となります。

- 最終信号出力 (Sout) は 受光素子の感度 (S) に、  
受光素子の初段での電流増幅率 A をかけたものから、  
電荷転送装置の雑音 (Nctd) で失う信号成分を差し引いたものです。

$Sout = S * A * (1 - Nctd)$  となります。

- 最終雑音出力(Nout) は 受光素子の雑音 (N) に、  
受光素子の初段での電流増幅率 A をかけたものに、  
電荷転送装置の雑音成分 (Nctd) を加算したものです。

$Nout = N * A * (1 + Nctd)$  となります。

- 従って、Image Sensorの最終感度 (Sout/Nout)で 次式で決定されます。

(ビデオカメラの最終感度) = { S/N } \* (1 - Nctd) / (1 + Nctd) となります。

- 従ってビデオカメラの最終感度を表す指数の出力信号雑音比(Sout/Nout)には、CMOS Image Sensorの場合は、分母にも分子にも In Pixel Source AMP 回路の増幅率 A があります。

- 分母と分子の A が消え、ビデオカメラの最終感度は A には関係しません。

\*\*\*\*\*

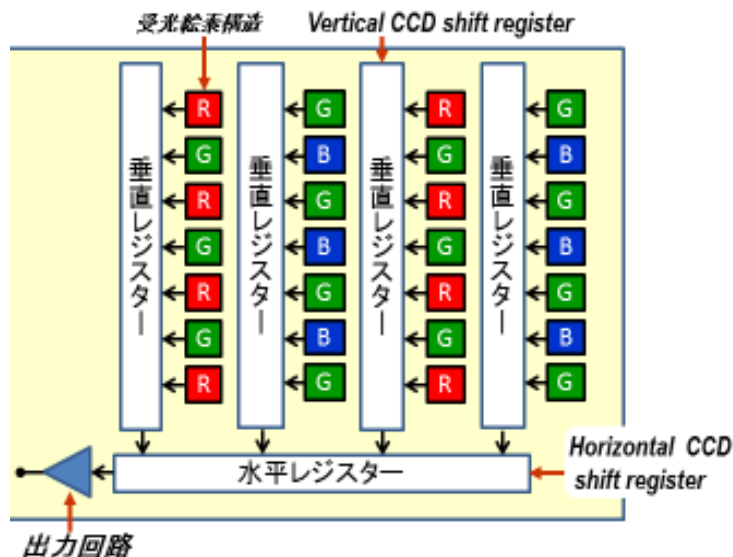
## Interline 方式 CCD イメジャー

- ①光信号電荷のかたまり(charge packet)を各画素の接合容量に蓄積する。
- ②垂直CCD registerへの全画素(行と列)の同時露光一括読み出し。
- ③1行ごとに水平CCD registerに高速CCD転送modeで転送される。
- ④水平CCD registerの信号電荷を順次に最終段の出力回路で出力される。

(長所) 出力段の端子容量Cが小さくてすむ。

容量 $CkT$ 雑音が小さい。低照度でも雑音が少なく感度がよい。

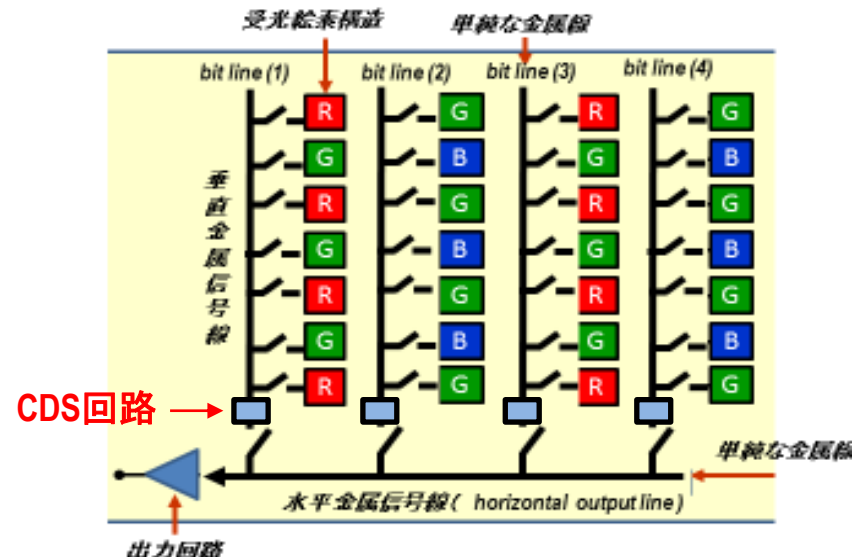
(短所) 転送効率に限界がある。CR充放電による消費電力が大きい。



## Active Pixel Amp 方式 CMOS イメジャー

- ①光信号電荷のかたまり(charge packet)を各画素の接合容量に蓄積する。
- ②各絵素のGlobal Shutter Memoryへの全画素(行と列)の同時露光一括読み出し。
- ③テレビの走査線と同期させて順次に各絵素の電流増幅回路(Active Pixel 回路)で信号増幅して金属線(bit line)へ出力する。信号が大きい。
- ④さらに(CDS=correlated double sampling)回路でCLOCK雑音が除去され、大電流が水平信号線へ出力。

(長所)  $CkT$ 雑音は大きいですがそれ以上に信号が大きい。絵素数に関係なく、大きな信号電流を得ることが可能。4Kや8Kなど高解像度映像に最適である。CMOS Scaling 技術の進歩により、微細化が実現し、CR充放電による消費電力が小さい。(短所なし)。



まず、基本構造の材料となる  
金属と絶縁体や、抵抗体と  
半導体の性質を理解する。

SCCD 構造 と BCCD構造 が  
考案される前には BBD構造  
(バケツリレー転送)があった。  
その開発背景はどうだったか？  
結局 BBD構造が生き残った！

### ●いろいろな受光素子構造

光電子増幅管 (Al)  
PIN photo diode (Si)  
pinned photo diode(Si)  
Avalanche Photo Diode (Si)  
高周波数 FET (GaAs)  
Gbps 光通信 (InGaAs)  
光伝導Cell (CdS)

さらに原子構造から理解する！

II	III	IV	V	VI
	B <sub>5</sub>	C <sub>6</sub>	N <sub>7</sub>	O <sub>8</sub>
	Al <sub>13</sub>	Si <sub>14</sub>	P <sub>15</sub>	S <sub>16</sub>
Zn <sub>30</sub>	Ga <sub>31</sub>	Ge <sub>32</sub>	As <sub>33</sub>	Se <sub>34</sub>
Cd <sub>48</sub>	In <sub>49</sub>	Sn <sub>50</sub>	Sb <sub>51</sub>	Te <sub>52</sub>
Hg <sub>80</sub>	Ti <sub>81</sub>	Pb <sub>82</sub>	Bi <sub>83</sub>	Po <sub>84</sub>

●いろいろな電荷転送素子 (CTD = Charge Transfer Device) の構造

BBD (Bucket Brigade Device)  
PCD (Plasma Coupled Device)  
CSD (Charge Sweep Device)  
CID (Charge Injection Device)  
CPD (Charge Priming Device)  
CCD (Charge Coupled Device)  
CMD (Charge Modulation Device)  
BASIS (Base-Stored Image Sensor)  
MOS image Sensor (Passive, Original)  
CMOS image Sensor (Active Pixel Sensor)  
AMI (Amplified MOS Intelligent Imager)

- 賢いイメージセンサーは、正確にすばやくまわりの動きを感じとる(感度)だけでなく、雑音や不要な情報を排除し(フィルター機能)、必要な情報だけを抽出加工し(情報認識)、人間支援のための知的処理を敏速に実行する。

### 賢いイメージセンサー実現のためのさらなる検討努力項目

#### ●Dark Current (暗電流)の低減努力

- (1) 拡散電流
- (2) 発生電流
- (3) 表面リーク電流
- (4) トンネル電流

#### ●量子効率の向上努力

- (1) 素子表面での入射光の反射
- (2) 小数キャリアの表面再結合
- (3) 光電変換領域以外での光吸収
- (4) 空乏層内でのキャリアの再結合

#### ●雑音(ランダム)の低減努力

- (1) ショット雑音
- (2) 熱雑音
- (3) Avalanche過剰雑音
- (4)  $1/f$  雑音
- (5) reset雑音

#### ●High Beam ( overflow, blooming ) 抑制機能

#### ●固定パターン雑音の低減努力

- (1) Clock雑音
- (2) Amp Offset 雑音
- (3) 画像欠陥(画素開口形状むら、Photo Diode 部暗電流むら、転送部暗電流むら)

#### ●制御処理回路による性能改善努力

- (1) Correlated Double Sampling 回路
- (2) APS (Active Pixel Sensor) 回路
- (3) AMI (Amplified MOS Intelligent) 回路

#### ●賢いイメージセンサー実現のためのその他の努力改善項目

- (1) PN 接合容量に光を照射する
- (2) MOS増幅回路処理、ガンマー補正処理
- (3) 出力信号の選択処理
- (3) A/D変換回路処理
- (4) 出力信号の伝達処理
- (5) 信号情報の記憶保存回路処理



\*\*\*\*\*  
**Image Sensor の発明と開発背景に関する参考文献**  
 \*\*\*\*\*

\*\*\*\*\*  
 Active in-Pixel MOS Image Sensor  
 \*\*\*\*\*

発明(1968)

Peter J. W. Noble,

IEEE Transaction of Electron Devices, 15-4, pp.202-209, (1968)

開発報告(1990)

Fumihiko Andoh, Kazuhisa Taketoshi, Junichi Yamazaki,  
 Masayuki Sugawara, Yoshi hiro Fujita, Kohji Mitani,  
 Yukio Matuzawa, Kenji Miyata, Shuichi Araki,

"A 25 0,000-Pixel Image Sensor with FET Amplification  
 at Each Pixel for High-Speed Television Cameras",

ISSCC Digest of Technical Papers, pp. 212-213,298, February 1990.

\*\*\*\*\*  
 ●超光感度・低暗電流雑音・残像のない Pinned Photodiode  
 \*\*\*\*\*

発明(1975)

Japanese Patent Applications 1975-127646, 1975-127647,

and 1975-134985 invented by Y.Hagiwara

開発報告(1978)

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)

\*\*\*\*\*  
 ●CCD Image Sensor  
 \*\*\*\*\*

発明(1970)と開発報告(1970)

W.S.Boyle and G.E. Smith,

Bell System Technical Journal, 49, pp.587-593(1970)

\*\*\*\*\*  
 低雑音化 Correlated Double Sampling (CDS) 回路  
 \*\*\*\*\*

発明(1974)と開発報告(1974)

M.H.White, D.R.Lanpe, F.C.Blaha and I.A.Mack,

"Characterization of Surface Channel CCD Image Arrays at Low Light Level.  
 IEEE Journal of Solid State Circuits, SC-9, pp.1-13 (1974)

\*\*\*\*\*  
 ●アクションカメラ用の電子シャッター機能  
 \*\*\*\*\*

発明(1977)

Japanese Patent Application 1977-126885

invented by Y. Hagiwara, S. Ochi and T. Hashimoto.

開発報告(1987)

浜崎正治、鈴木智行、賀川能明、石川貴久枝、宮田克郎、神戸秀夫、

"可変速電子シャタ付IT-CCD撮像素子"、

テレビジョン学会技術報告、vol. 12, no. 12, pp. 31-36, (1988)

\*\*\*\*\*  
 Image Sensor の発明と開発背景に関する参考文献  
 \*\*\*\*\*

### Japanese Patent JPA 1977-126885 on Electrical Shutter Clocking Scheme invented by Y. Hagiwara, S. Ochi and T. Hashimoto in 1977.

①公開特許公報 (A) 昭54-51318

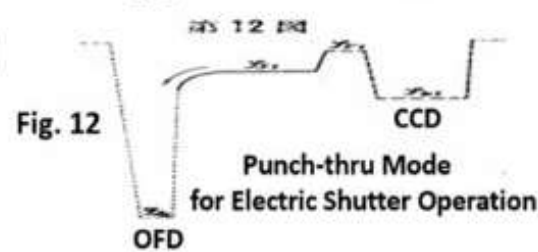
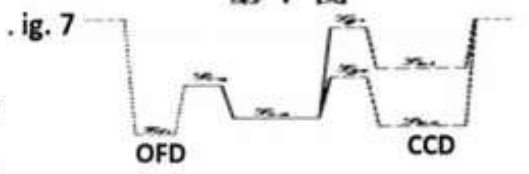
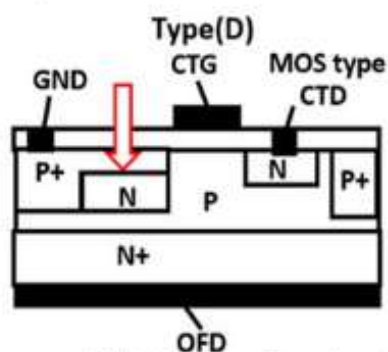
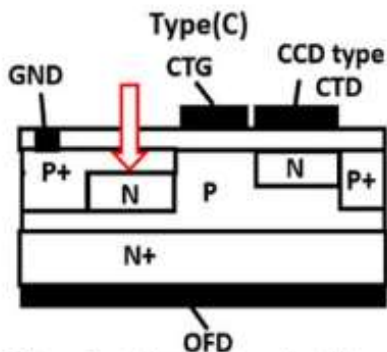
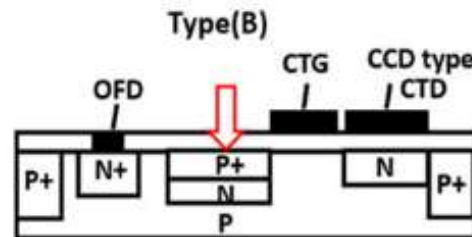
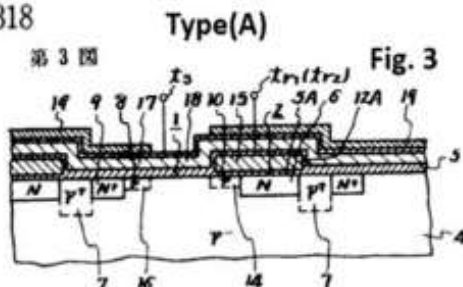
②特 願 昭52-126885

③出 願 昭52(1977) 9月29日

④公開 昭和54年(1979) 4月23日

⑤発 明 者 萩原良昭

⑥発 明 者 越智成之  
 同 橋本武夫



The electric shutter clocking scheme with the complete signal charge draining of no image lag can be achieved by the OFD punch-thru voltage control for any photodiodes, including not only the type (A) of the conventional CCD/MOS photo capacitor but also (B), (C) and (D) type Pinned Photodiodes.



\*\*\*\*\*  
 Image Sensor の発明と開発背景に関する参考文献  
 \*\*\*\*\*

ISSCC 2006 / SESSION 27 / IMAGE SENSORS / 27.5

Modern CMOS Image Sensors have (1) HAD (2) APS and (3) CDS.

27.5 High-Speed Digital Double Sampling with Analog CDS on Column Parallel ADC Architecture for Low-Noise Active Pixel Sensor

Yoshikazu Nitta, Yoshinori Muramatsu, Kiyotaka Amano, Takayuki Toyama, Jun Yamamoto, Koji Mishina, Atsushi Suzuki, Tadayuki Taura, Akihiko Kato, Masaru Kikuchi, Yukihiro Yasui, Hideo Nomura, Noriyuki Fukushima  
 Sony, Atsugi, Japan

Traditionally, the advantages of compact image sensors (CISs) over CCDs have been low power consumption and the capability for system integration. Additionally, the image quality of CISs has recently begun to rival and even surpass that of CCDs in the area of high-speed imaging [1]. Compared to high-speed CCDs, CISs utilize the advantage of a column-parallel pixel readout.

The pixels are conventional 4T active pixel sensor (APS) pixels that use hole accumulation diodes (HADs). HADs enable image sensors such as CCDs and CISs to realize ideal properties of low dark current, no kTC noise, and no image lag [2]

Digital double-sampling architecture is proposed to remove device variation and circuit offset that cause vertical FPN [3]. Our column-inline dual-CDS architecture (Fig. 27.5.2) implements digital double-sampling (digital CDS) and analog CDS in parallel columns. A high-speed 297MHz clock is utilized to reduce the double digital sampling period. Additionally, an analog CDS is used to reduce the ADC period for the reset signal  $V_{EST}$  by eliminating the analog offset of the pixel and the comparator output.

(1) HAD ( PPD ) was invented by Y. Hagiwara in 1975.

(2) APS was invented by Peter Noble in 1968.

(3) CDS was invented by M. White in 1972.

(4) Sony engineers perfected these technologies in 2006.

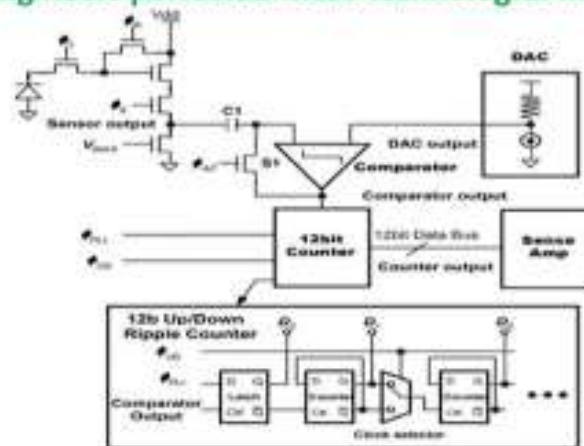


Figure 27.5.2: Column-inline dual CDS architecture.

References:

- [1] A. I. Krymski, N. E. Bock, N. Tu, D. Van Blerkom, E. R. Fossum, "A High Speed, 240frames/s, 4.1-Megapixel CMOS Sensor," *IEEE Trans. Electron Devices*, vol. 50, no. 1, pp. 130-135, Jan., 2003.
- [2] K. Mabuchi, N. Nakamura, E. Funatsu, T. Abe, T. Umeda, T. Hoshino, R. Suzuki, H. Sumi, "CMOS Image Sensor Using a Floating Diffusion Driving Buried Photodiode," *ISSCC Dig. Tech. Papers*, pp. 102-103, Feb., 2004.
- [3] W. Yang, O. Kwon, J. Lee, G. Hwang, S. Lee, "Integrated 800x600 CMOS Imaging System," *ISSCC Dig. Tech. Papers*, pp.304-305, Feb., 1999.

# Artificial Intelligence in Robot Vision



Mighty ATOM / ASTRO BOY © Osamu Tezuka



WALL·E © 2008 The Walt Disney Studios

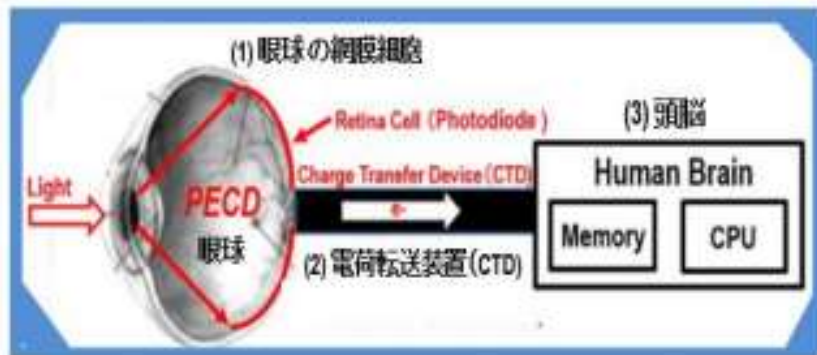


ご清聴ありがとうございました。

\*\*\*\*\*  
理解度アップの基本復習問題  
\*\*\*\*\*

[hagiwara-yoshiaki@aiplab.com](mailto:hagiwara-yoshiaki@aiplab.com)  
<http://www.aiplab.com/>

- 受光素子とは何か？
- 電荷転送装置 (CTD) とは？
- 感度 (Sensitivity) とは？
- CCD Image Sensor とは？
- CMOS Image Sensor とは？



\*\*\*\*\*