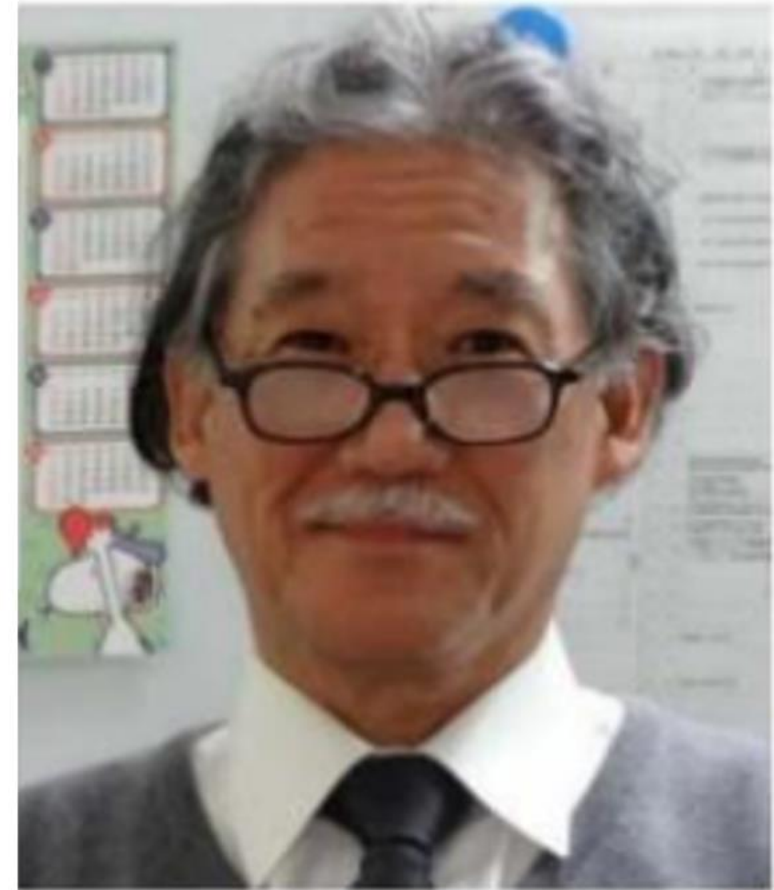


受光表面P+層と裏面のP+層の両面がピン留め接地された、P+PNPP+接合型新型太陽電池の提案

非常に複雑な半導体電子デバイスの物理動作とその構造の説明に挑戦する事になる。できるだけ直観に訴える方法で説明し、数式は極力さけて、基本原理動作を直観的なイメージで理解できる様に工夫をこらして文系の一般社会人の皆様にも親しみを感じる半導体の基礎知識の紹介となればと希望する。

- (1) 金属と絶縁体の違い
- (2) 半導体の基本特性
- (3) single接合型のダイオードの整流特性
- (4) double 接合型バイポーラトランジスタの電流増幅特性
- (5) triple 接合型サイリスタ型の理想的な高速Switch動作特性
- (6) MOS型のトランジスタの電流増幅特性
- (7) CMOS型インバータ回路の省エネ特性
- (8) 超光感度のCMOS型イメージセンサーの特性
- (9) double接合型の新型太陽電池の構造とその動作原理



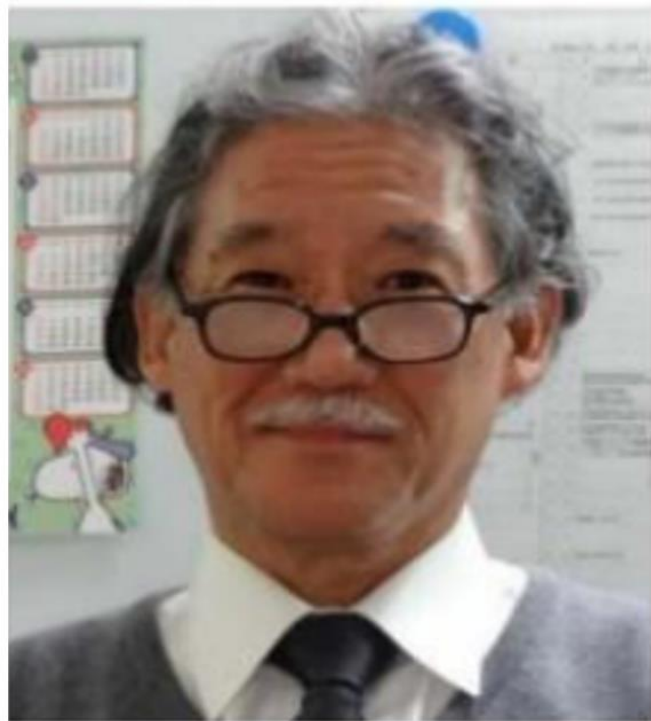
崇城大学 理事長付き 特任教授
IEEE Life Fellow, Ph.D., 工学博士

(4) double 接合型バイポーラトランジスタの電流増幅特性

詳細は青山社出版の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」に記載。

<https://www.seizansha.co.jp/ISBN/ISBN978-4-88359-339-2.html>

<https://www.seizansha.co.jp/>



崇城大学 理事長付き 特任教授
IEEE Life Fellow, Ph.D., 工学博士

仕様:B5判上製

475ページ

ISBN978-4-88359-339-2

発行日:2016/03/01



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

IEEE Life Fellow, Ph.D.

萩原 良昭 著

ISBN978-4-88359-339-2 B5判 上製 475頁

定価(本体9,000円+税)

未来の人間社会には人工知能パートナーシステム(AIPS)とも言える人間にやさしい支援システムが出現すると期待している。AIPS搭載の自動走行車や老人介護システム、人間型歩行ロボットやロボット・ハウスなどである。そこで本書では、そのAIPSを支える「デジタル回路の世界」と題し、ハードとソフトの両面で、人とコンピュータをつなぐデジタル技術について紹介している。図や絵をたくさん用意して、基礎からやさしく解説している。

Periodic Table of the Atomic Elements
元素周期表

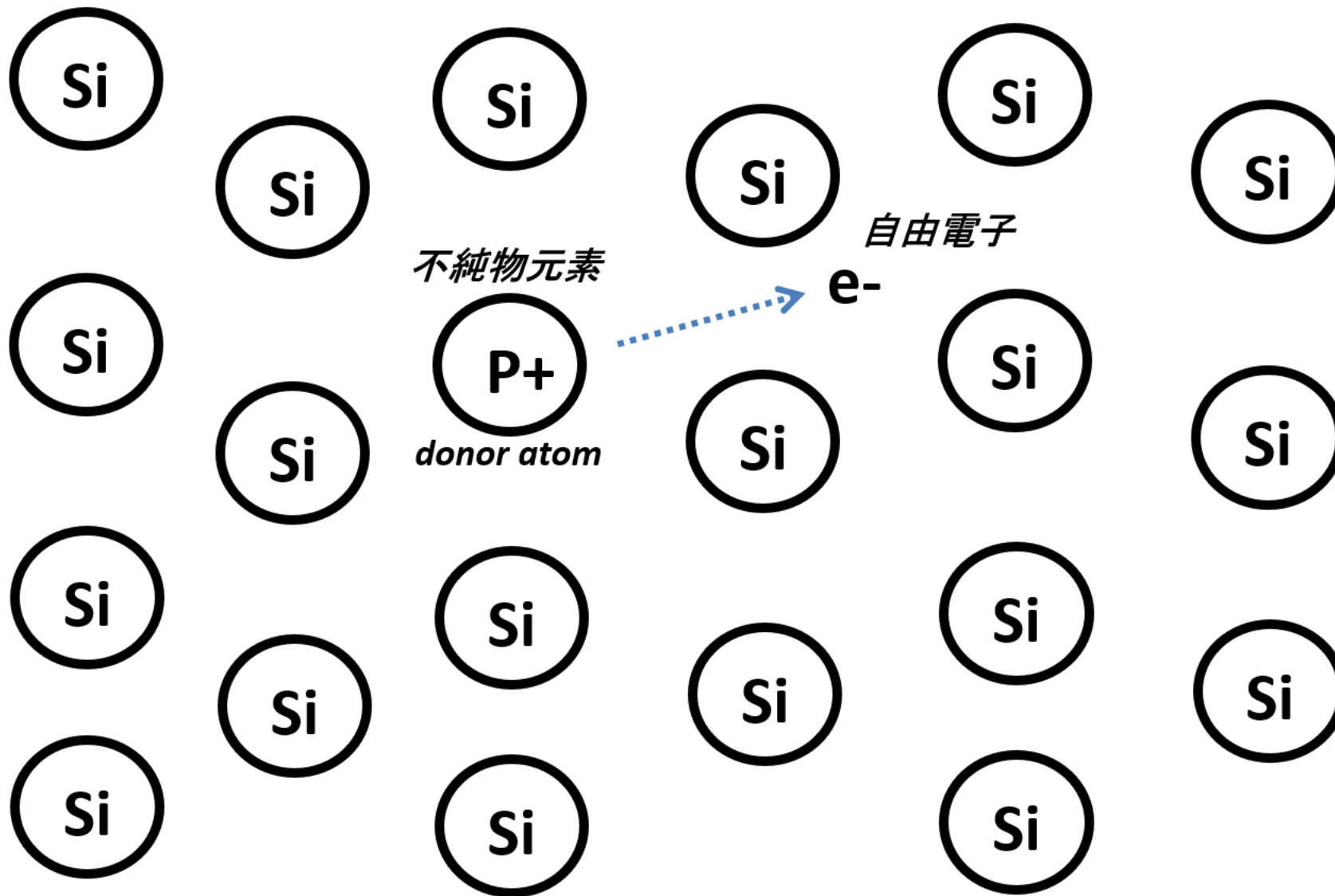
					2 He
5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
33 Ga	34 Ge	35 As	35 Se	37 Br	38 Kr

P-type Silicon の不純物
 *Silicon原子より電子1つ不足している
 Silicon原子より電子を1つ盗む！*

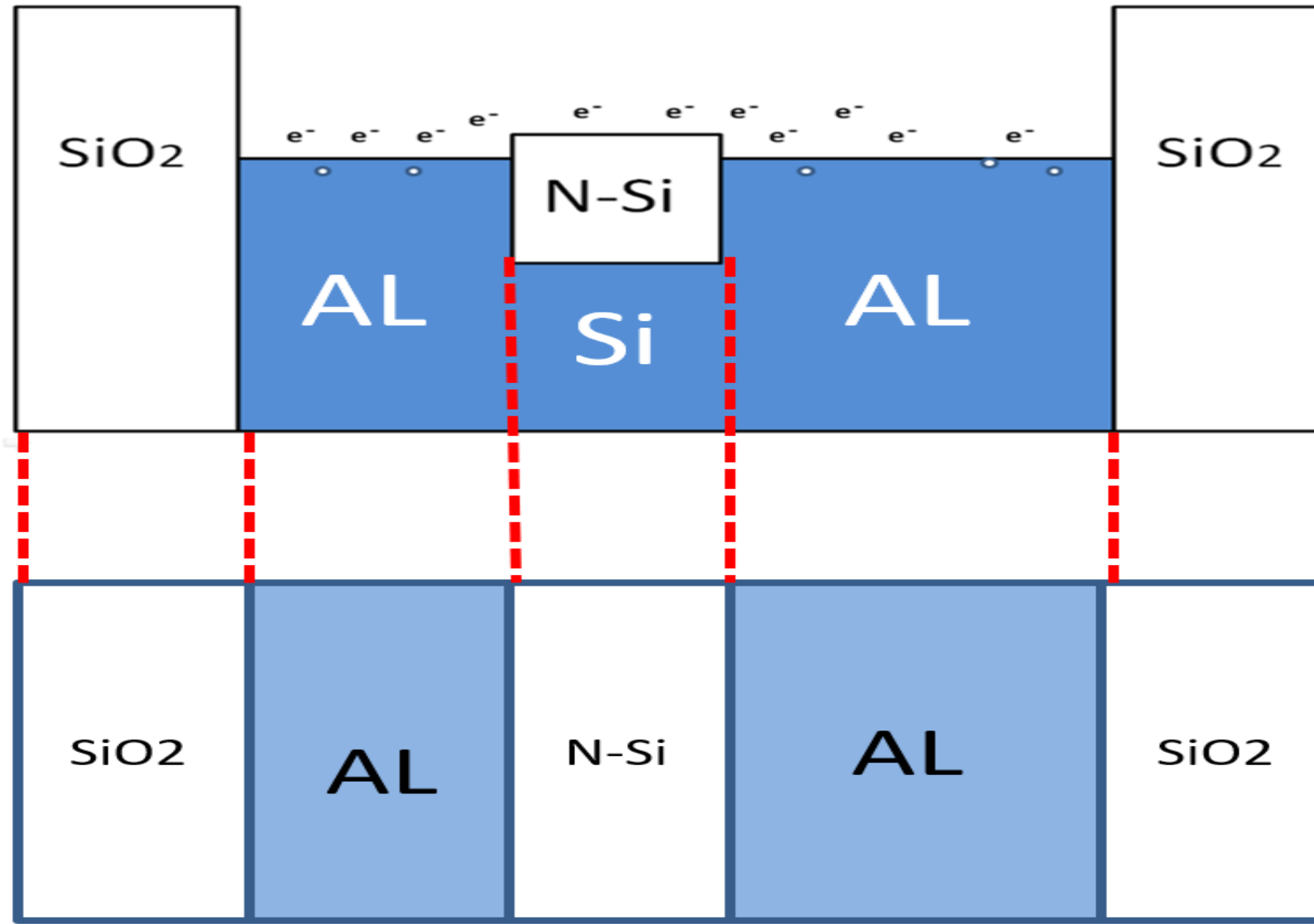
半導体の母体

N-type Silicon の不純物
 *Silicon原子より電子1つ多い
 余分な原子が放出されて
 自由電子になる。*

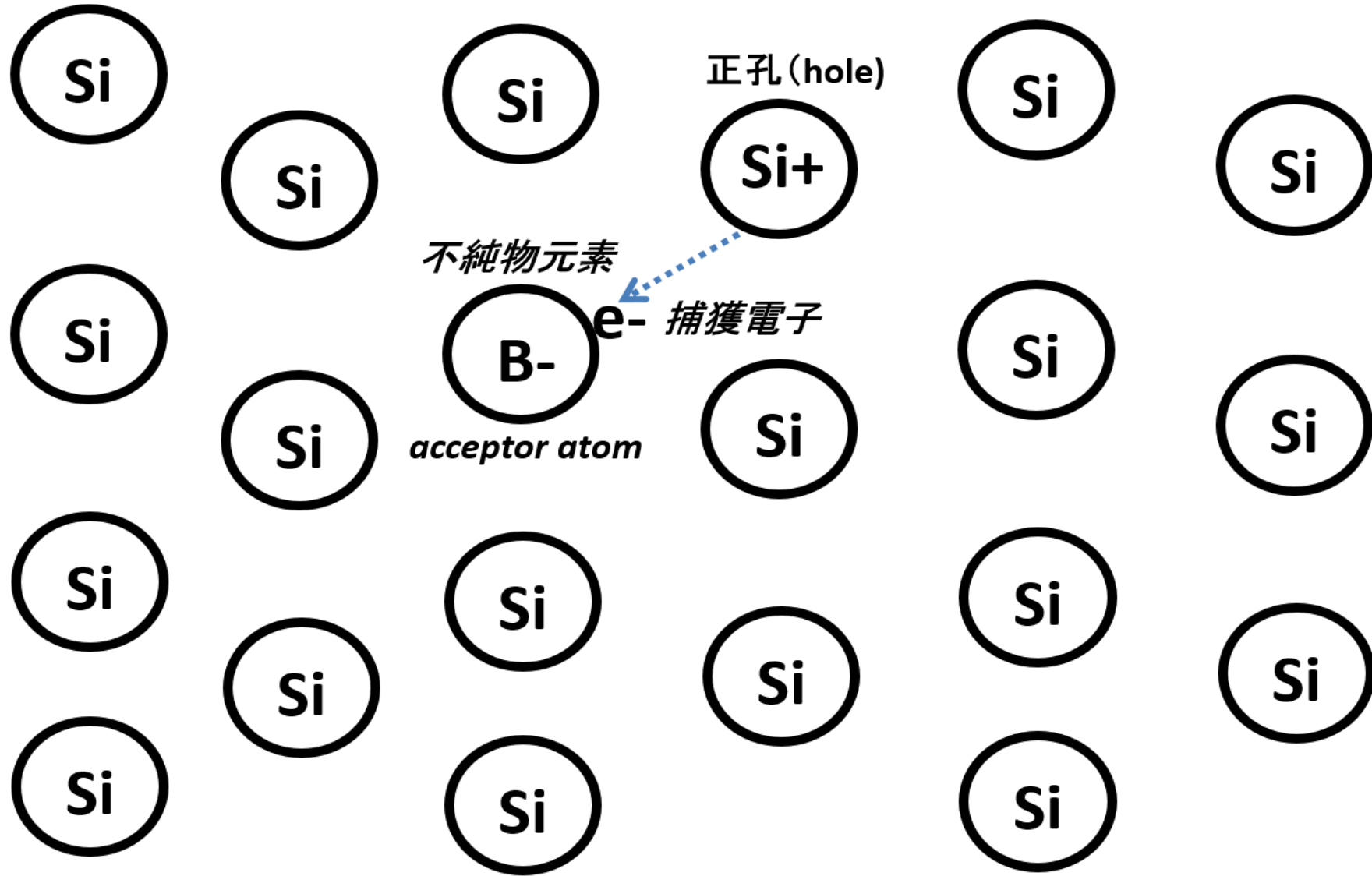
シリコン (Si) 元素を取り巻く仲間たち



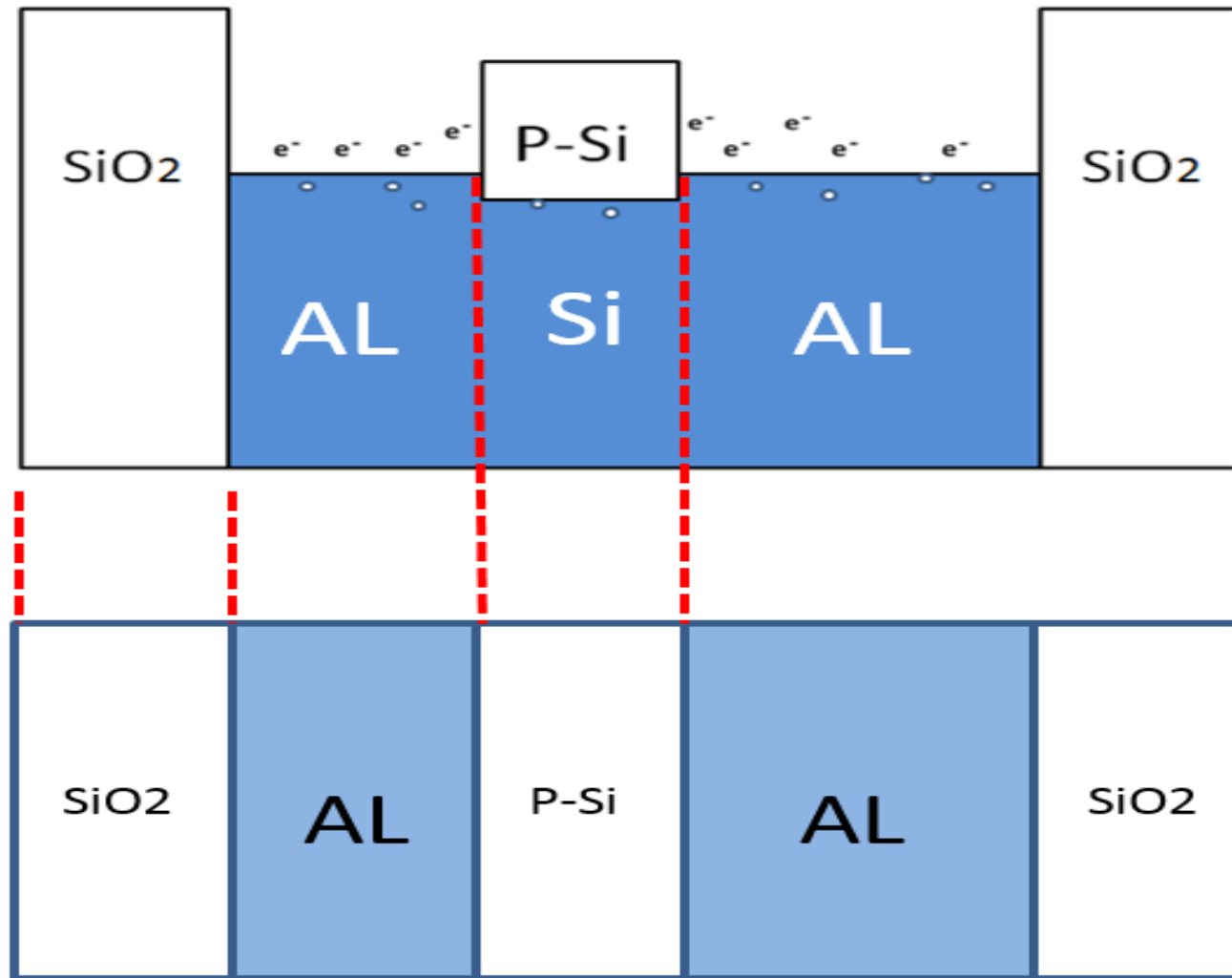
N 型シリコン半導体結晶の中を移動する自由電子の様子



N型シリコン半導体結晶の物理モデル

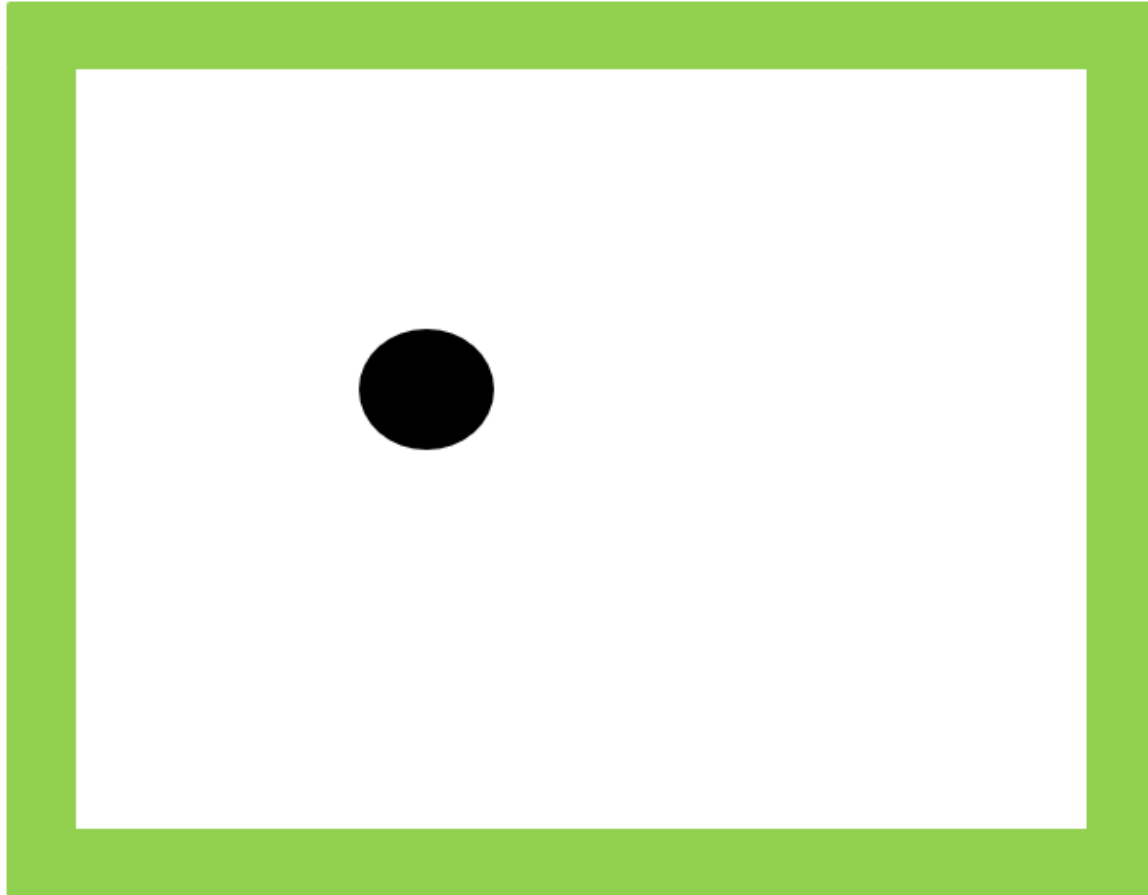


P 型シリコン半導体結晶の中を移動する正孔 (hole)の様子

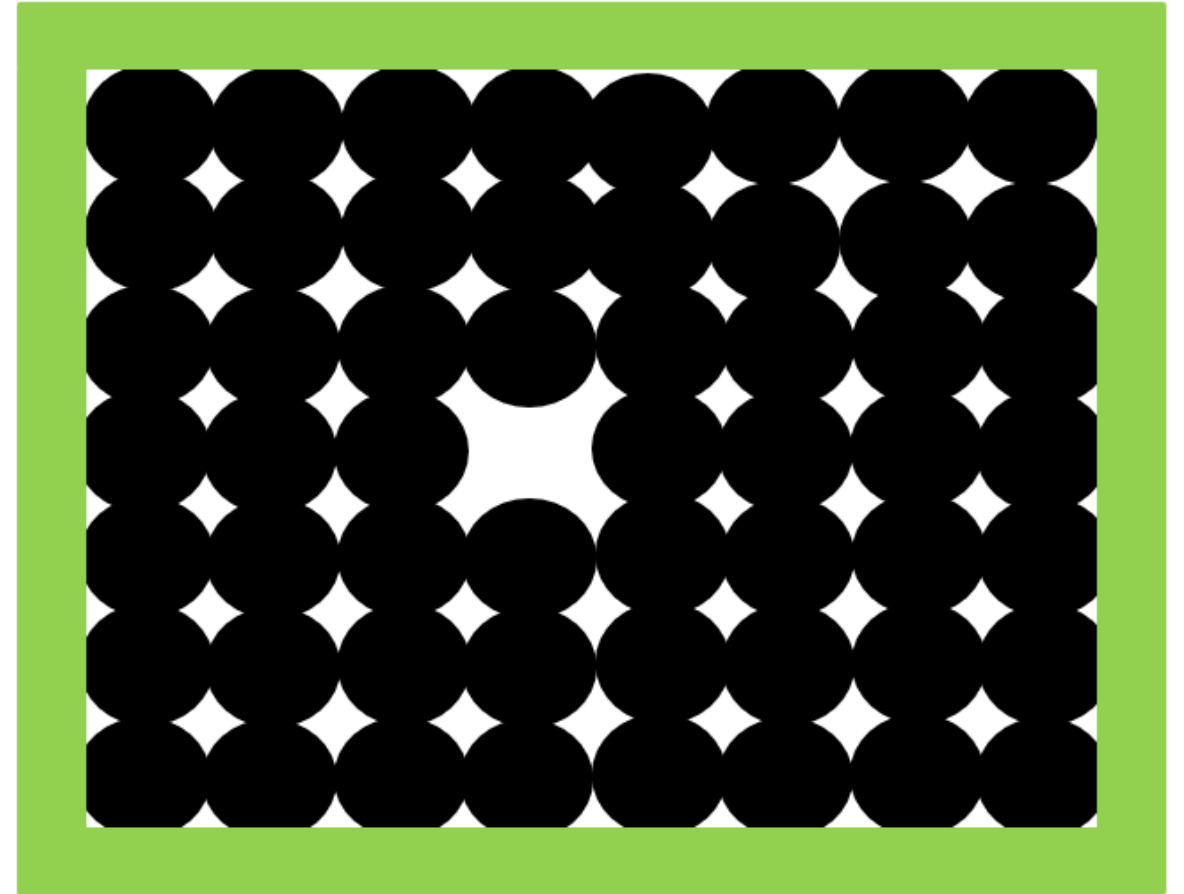


P 型シリコン半導体結晶の物理モデル

空っぽの箱



ボールがぎっしり詰まった箱

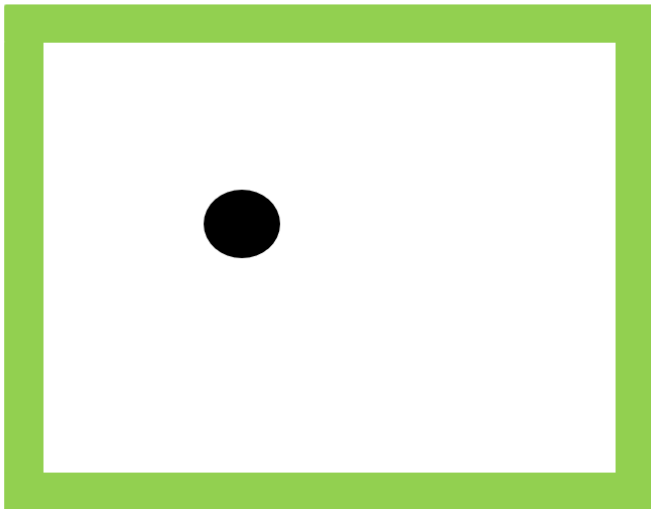


箱に中でボールが動く様子

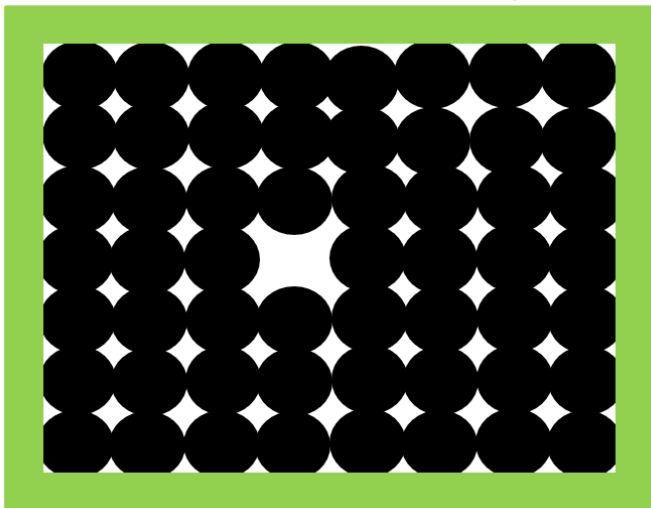
半導体の物理モデル

箱の中でボールが動く様子

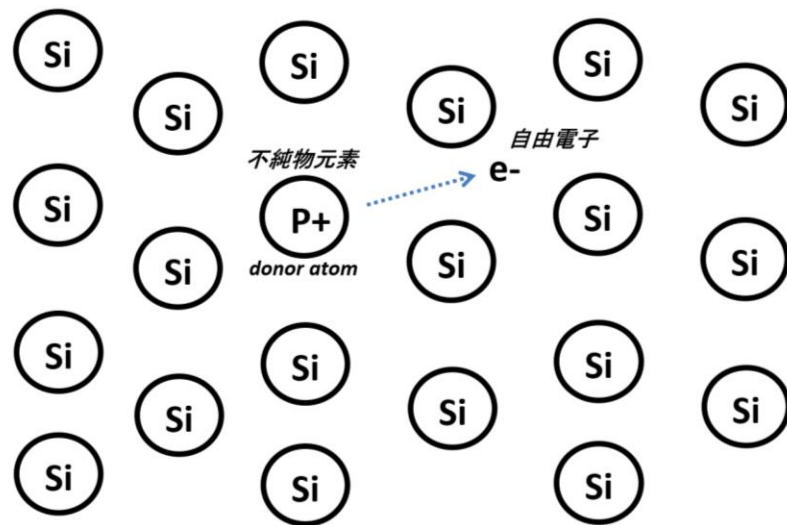
空っぽの箱



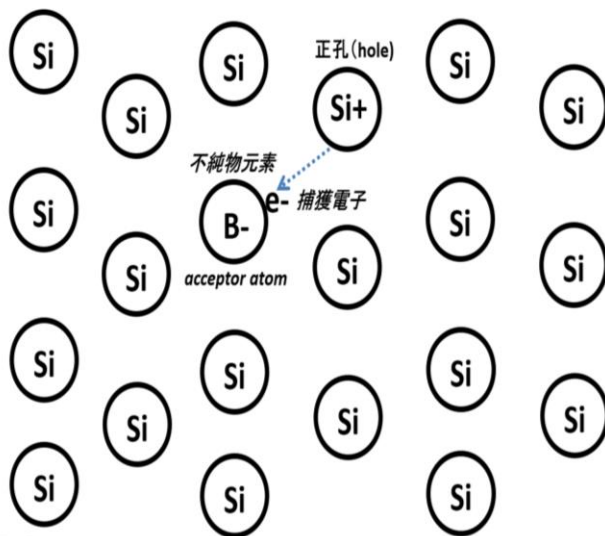
ボールがぎっしり詰まった箱



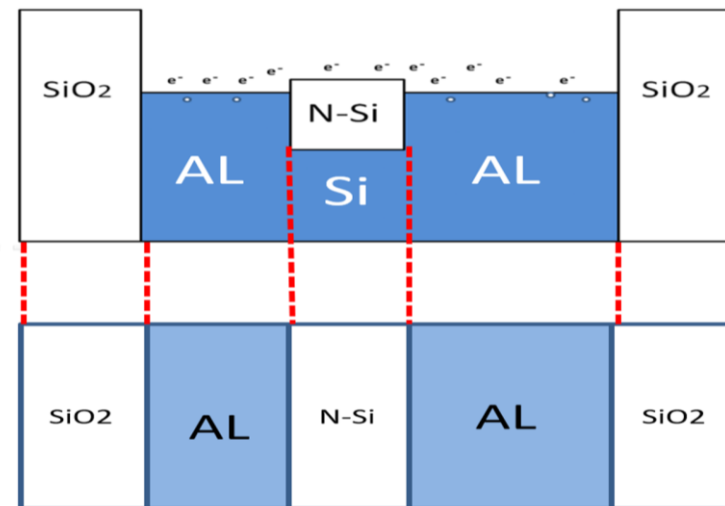
N型シリコン半導体結晶の中を移動する自由電子の様子



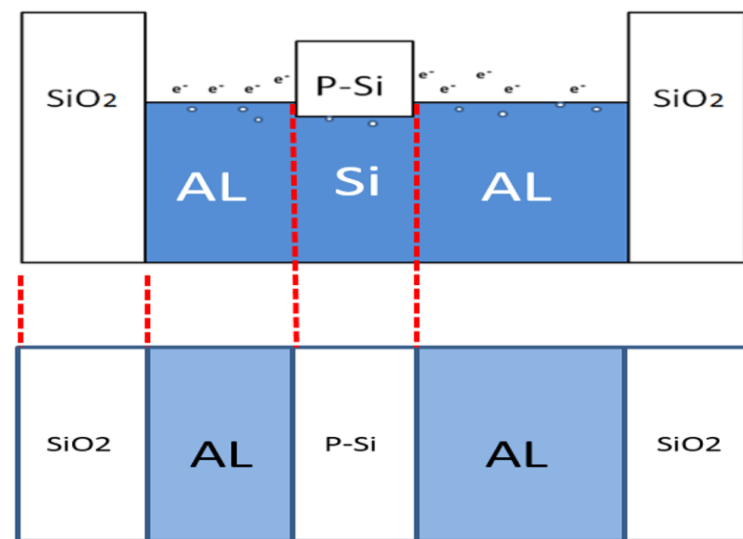
P型シリコン半導体結晶の中を移動する正孔 (hole)の様子

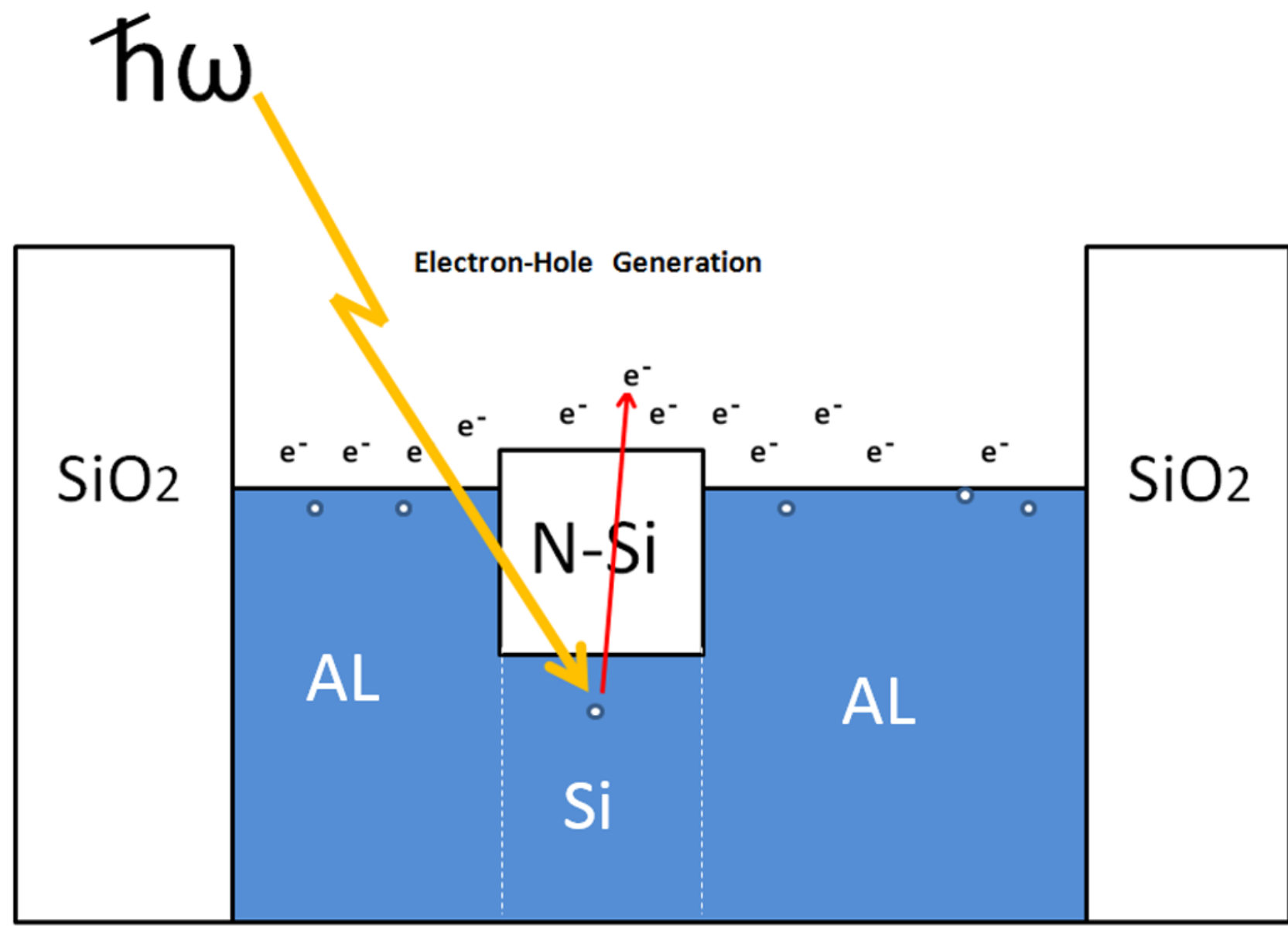


N型シリコン半導体結晶の物理モデル



P型シリコン半導体結晶の物理モデル





N 型シリコンに光を照射すると実効抵抗値が下がる

DiodeのI-V 特性

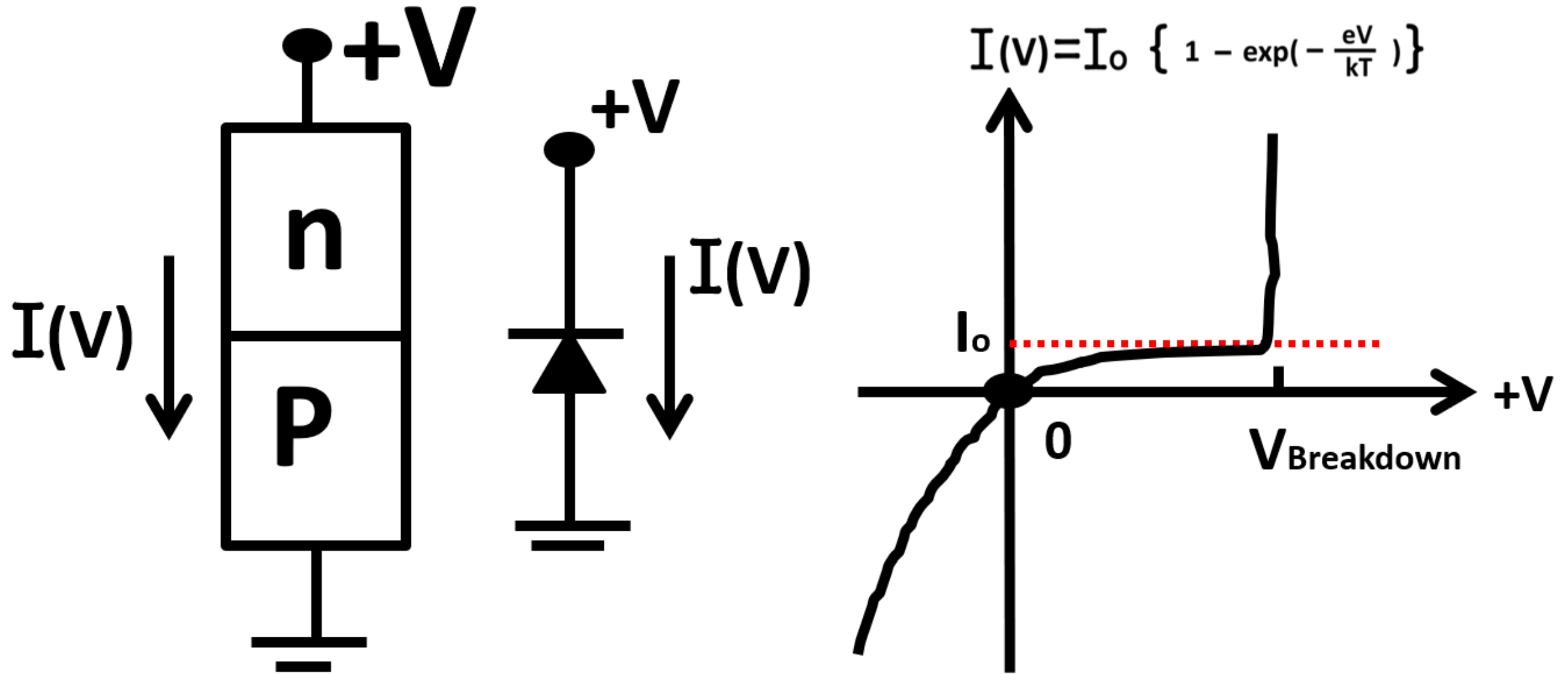


図 4-2-2

逆バイアスされたPN接合の中の電子の様子

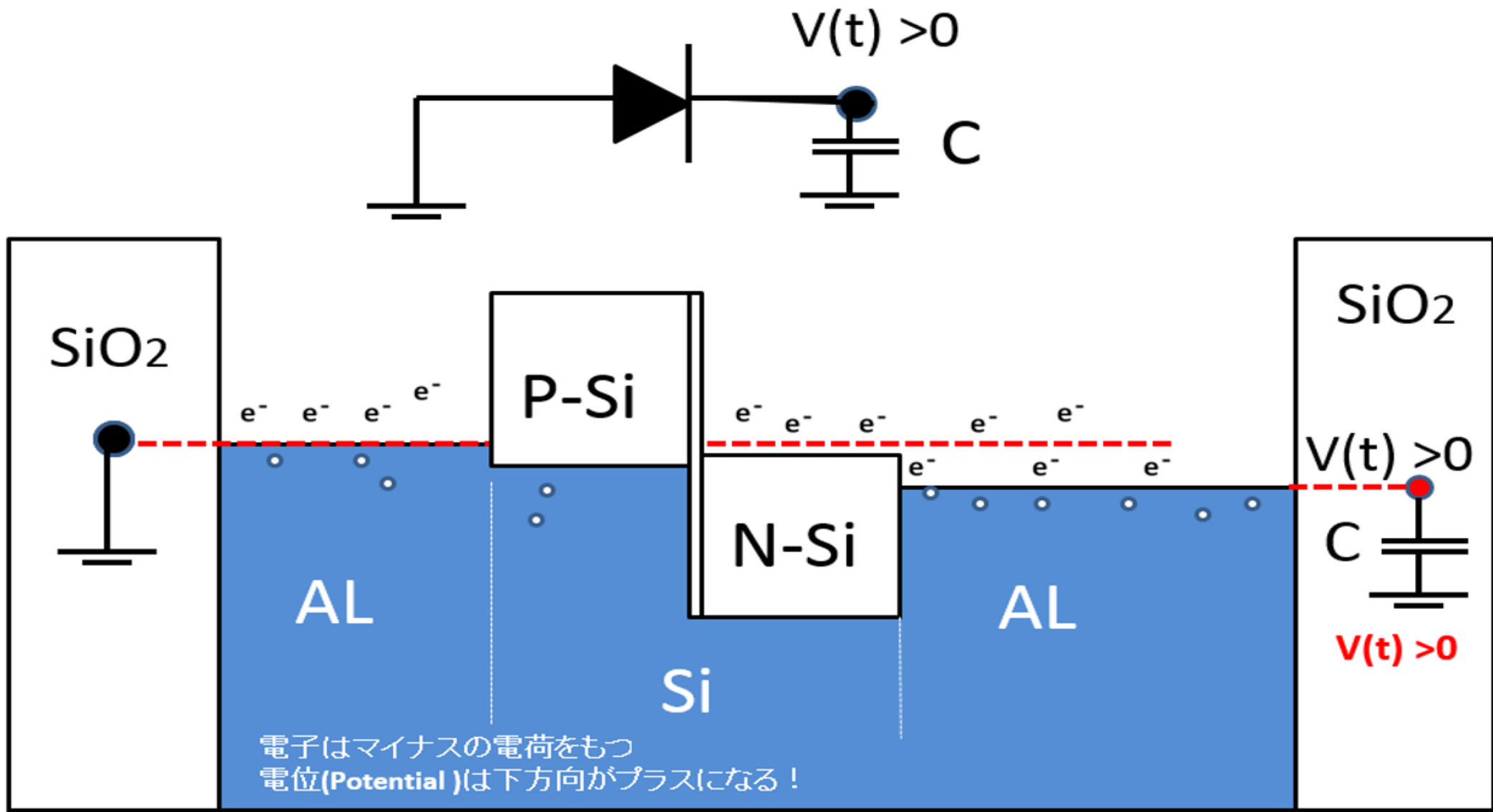
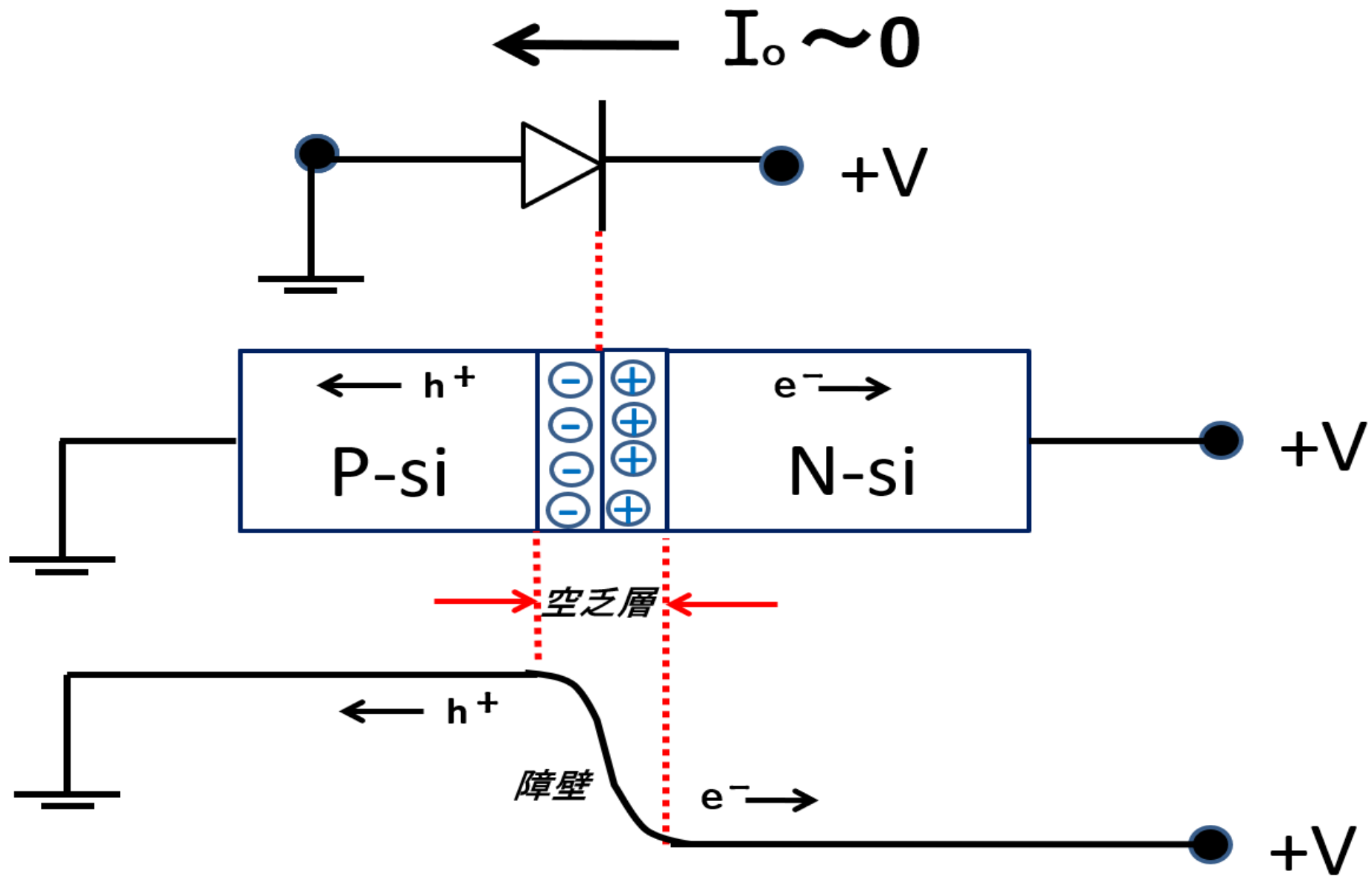
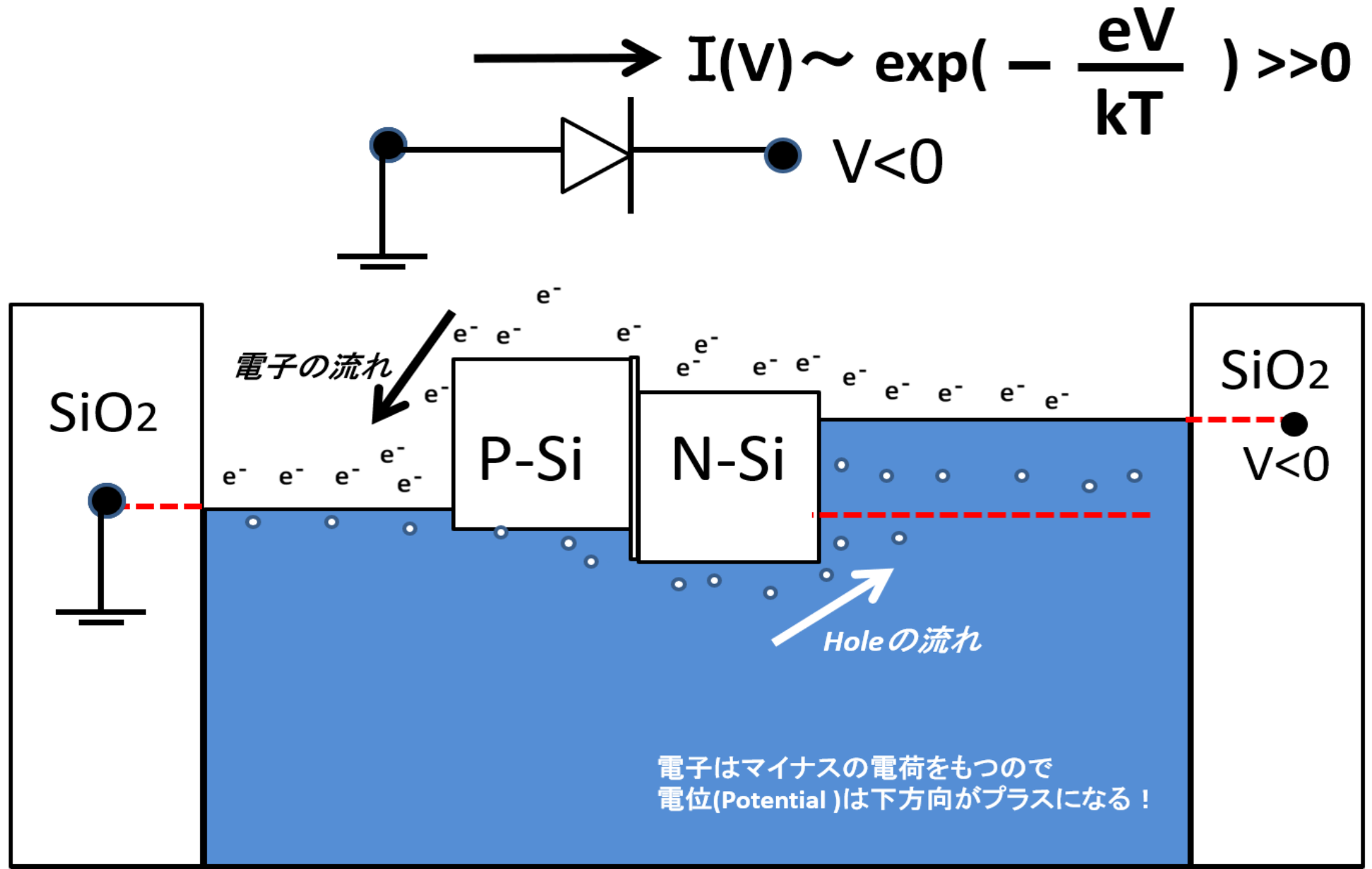


図 4-2-3

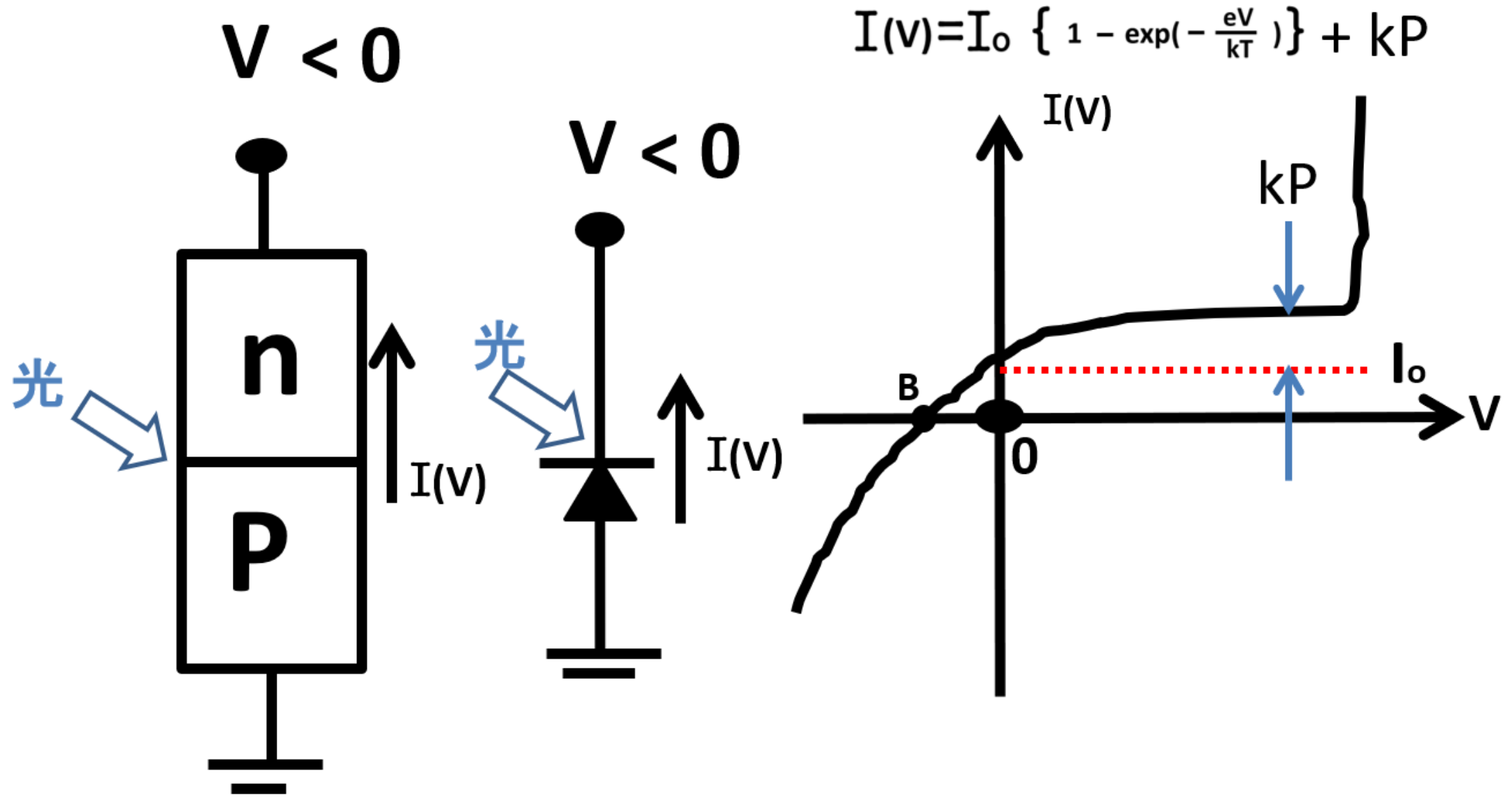


逆biasされたdiodeの障壁バリアと空乏層のイメージ図



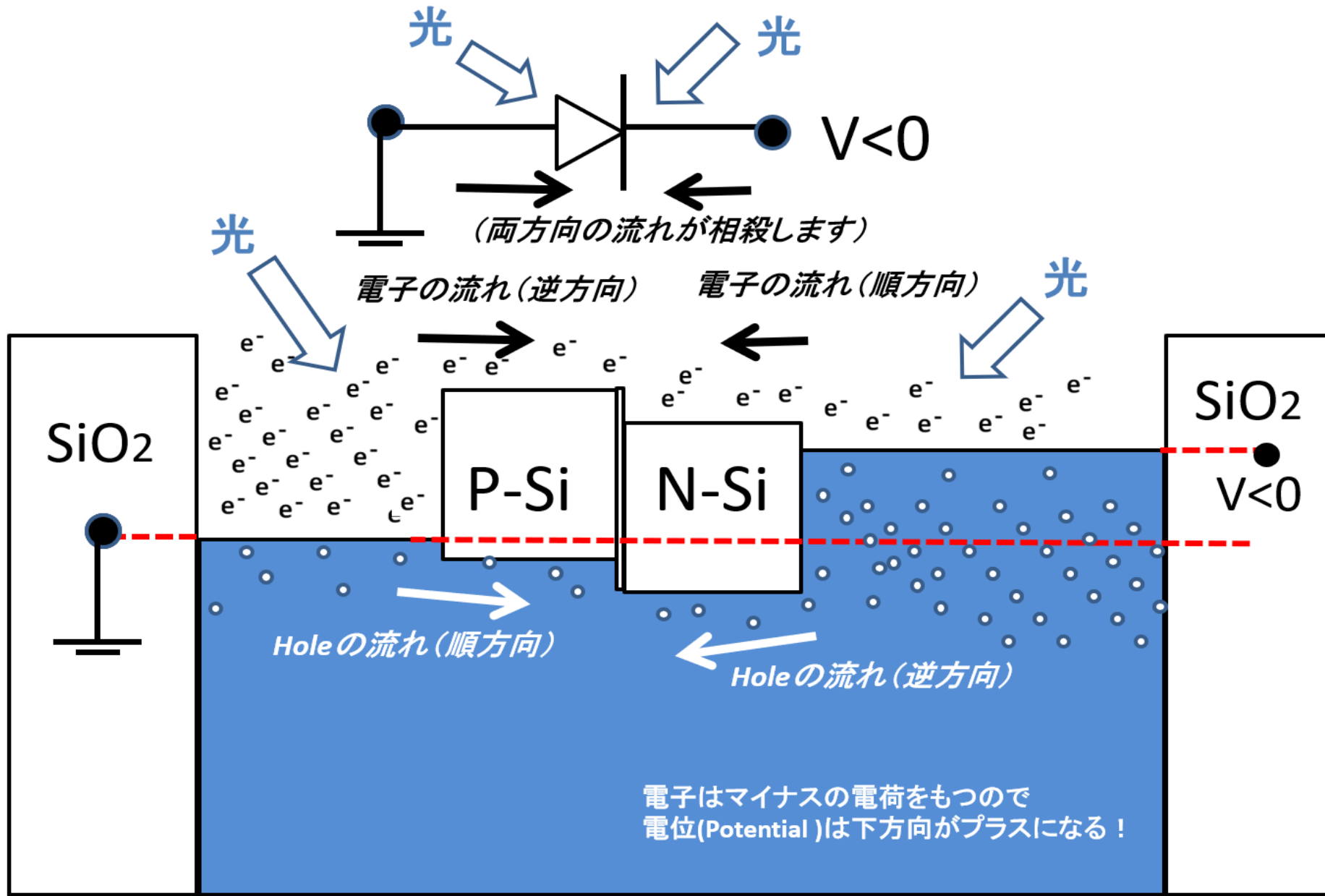
順方向biasのdiodeの中の電子の動き

図 4-2-5(1)

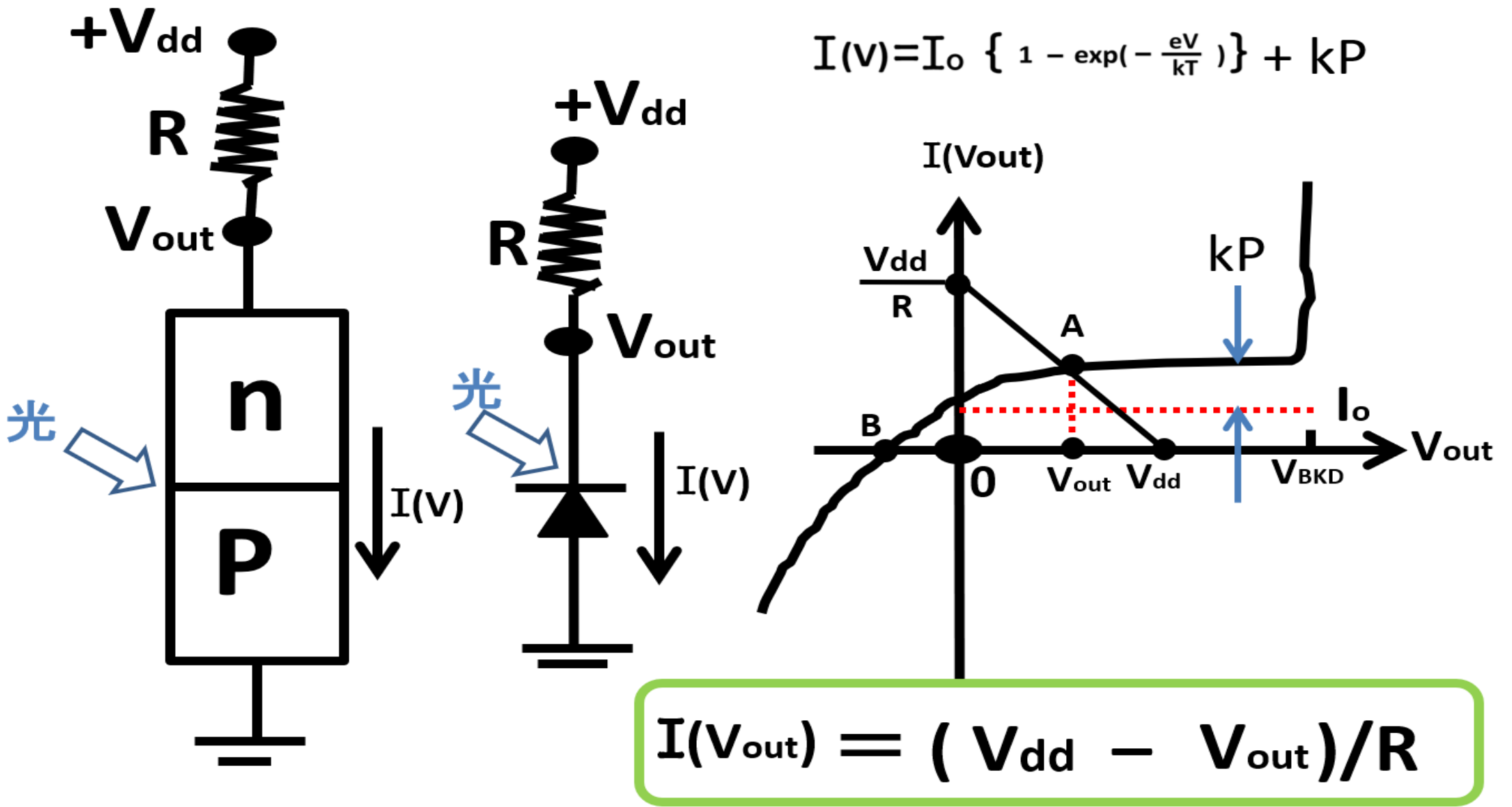


順方向にバイアスされたdiodeに光を照射した場合のdiodeのI-V 特性

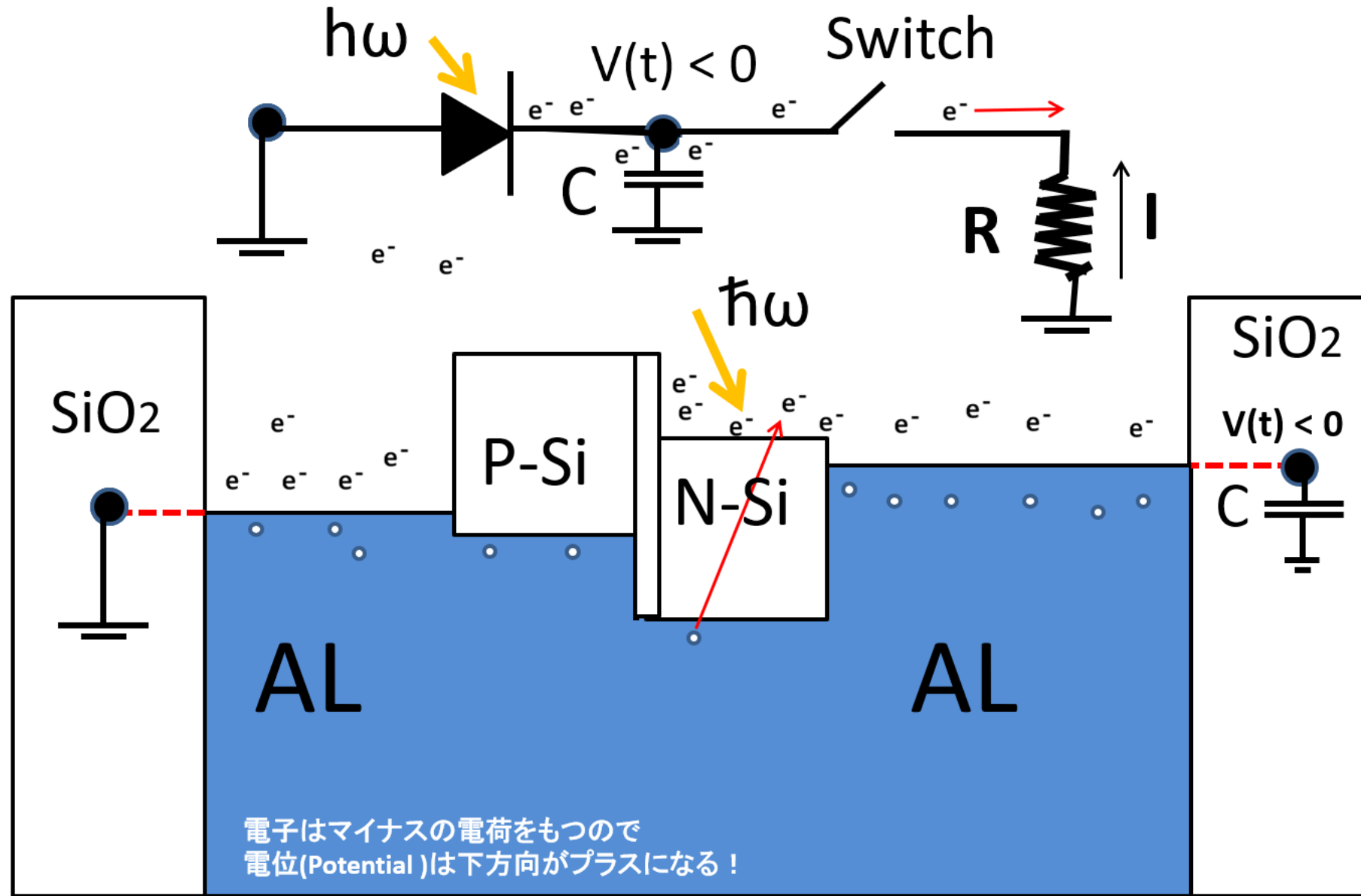
図 4-2-5(2)



光を照射した場合の順方向biasのdiodeの中の電子の動き

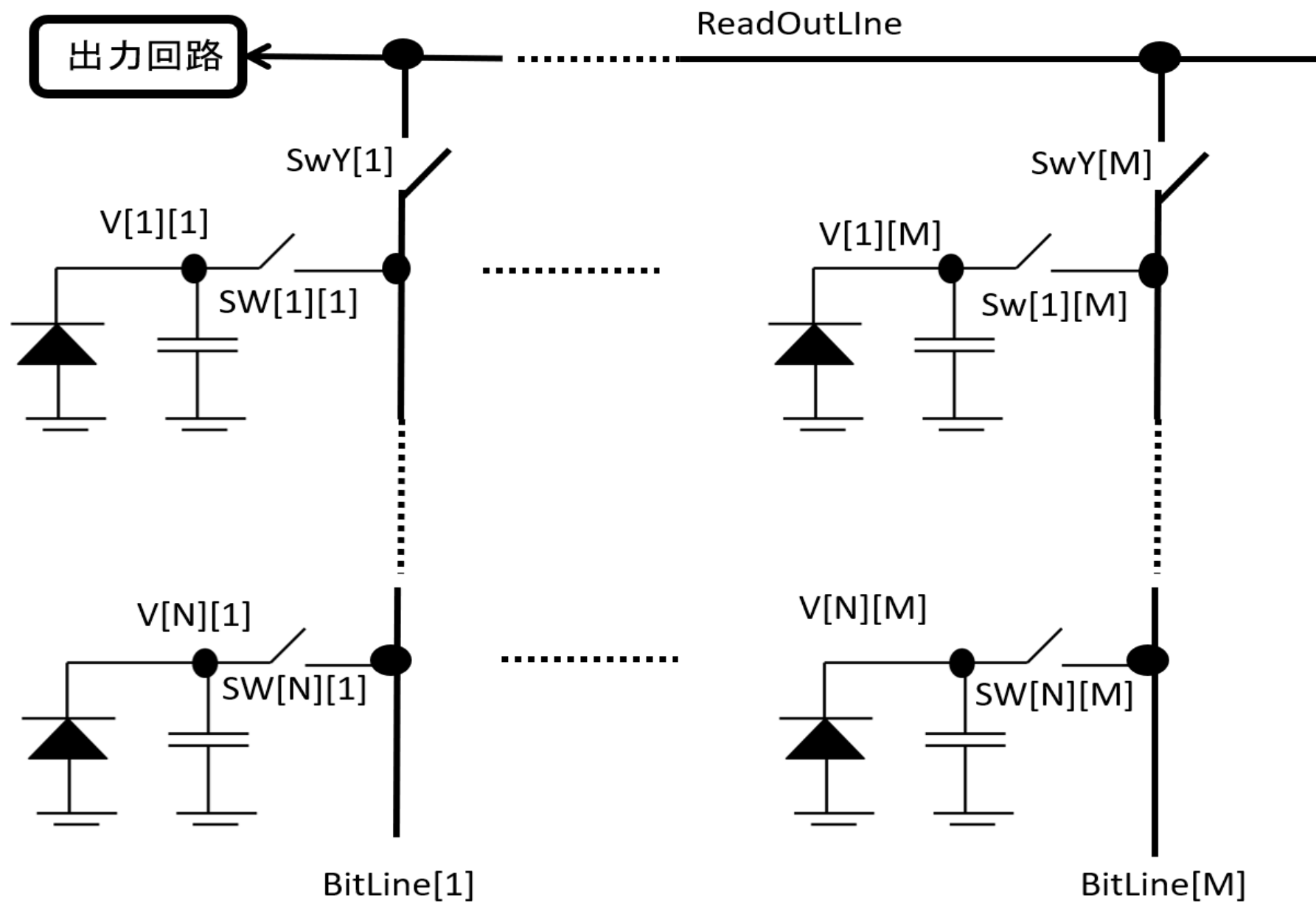


光を検出する光センサー(photo sensor)としてのdiode

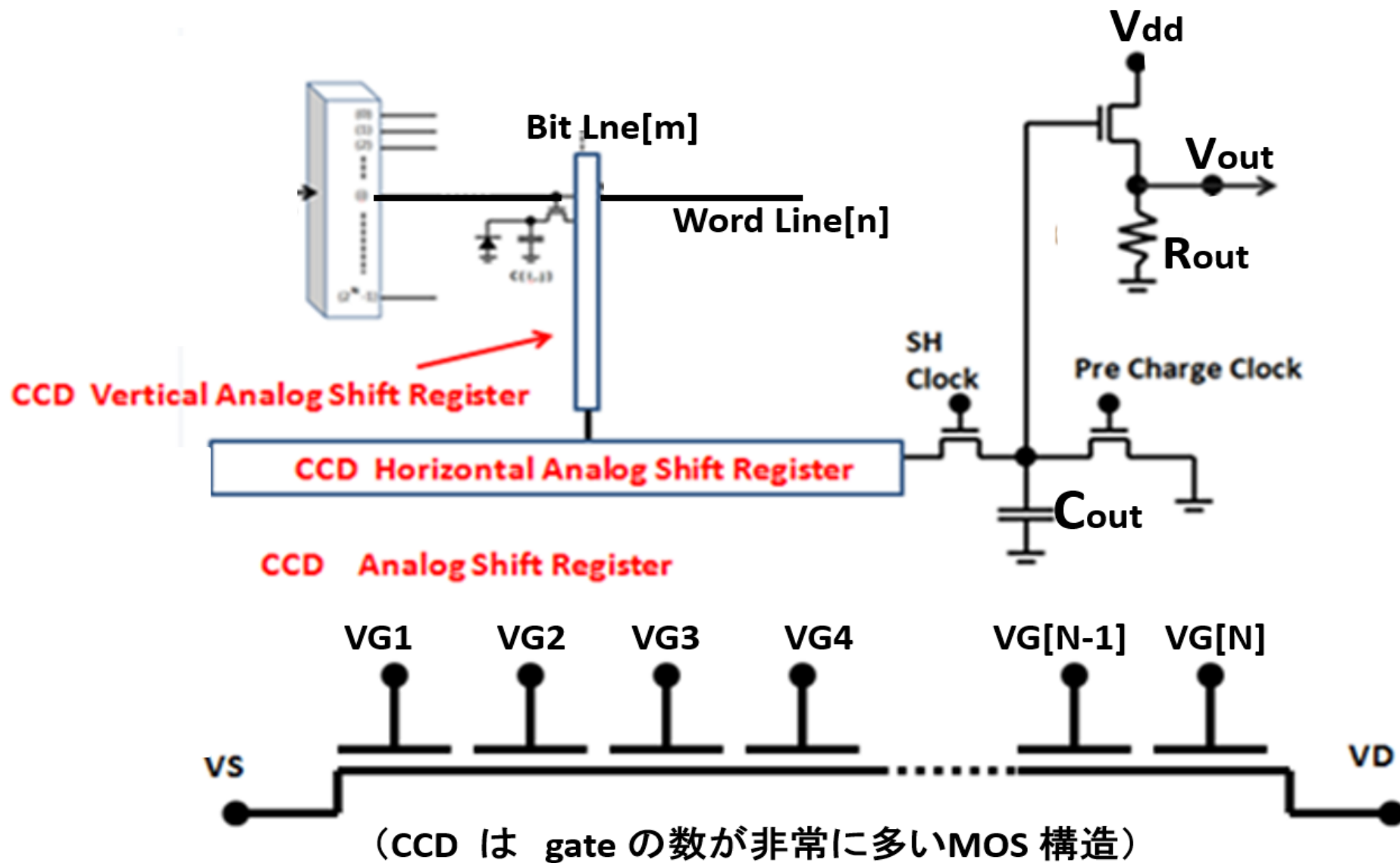


太陽電池の動作原理 mode(2)

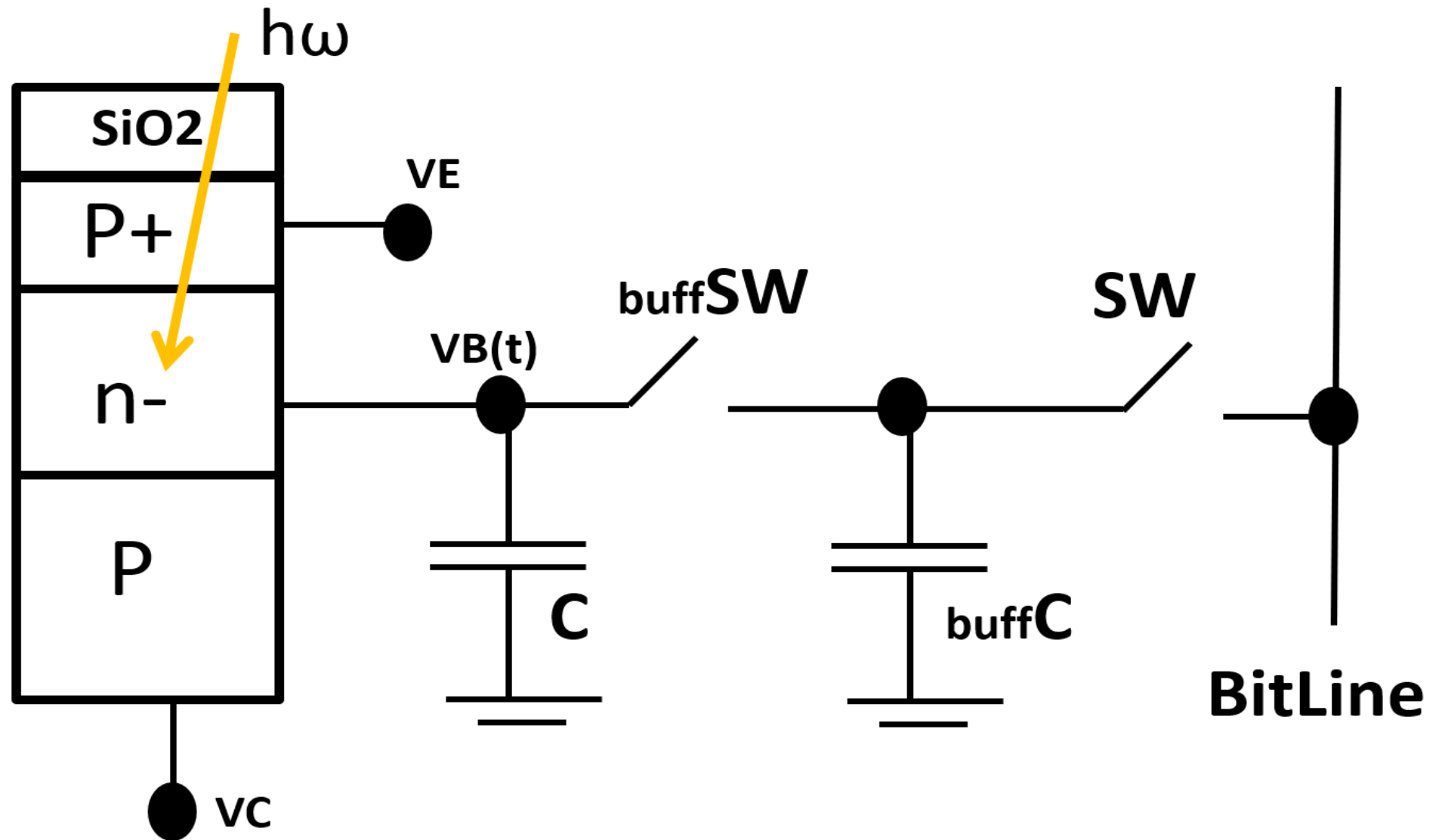
図 4-2-8



$N \times M$ 個の絵素を持つ CMOS image sensorの配列図

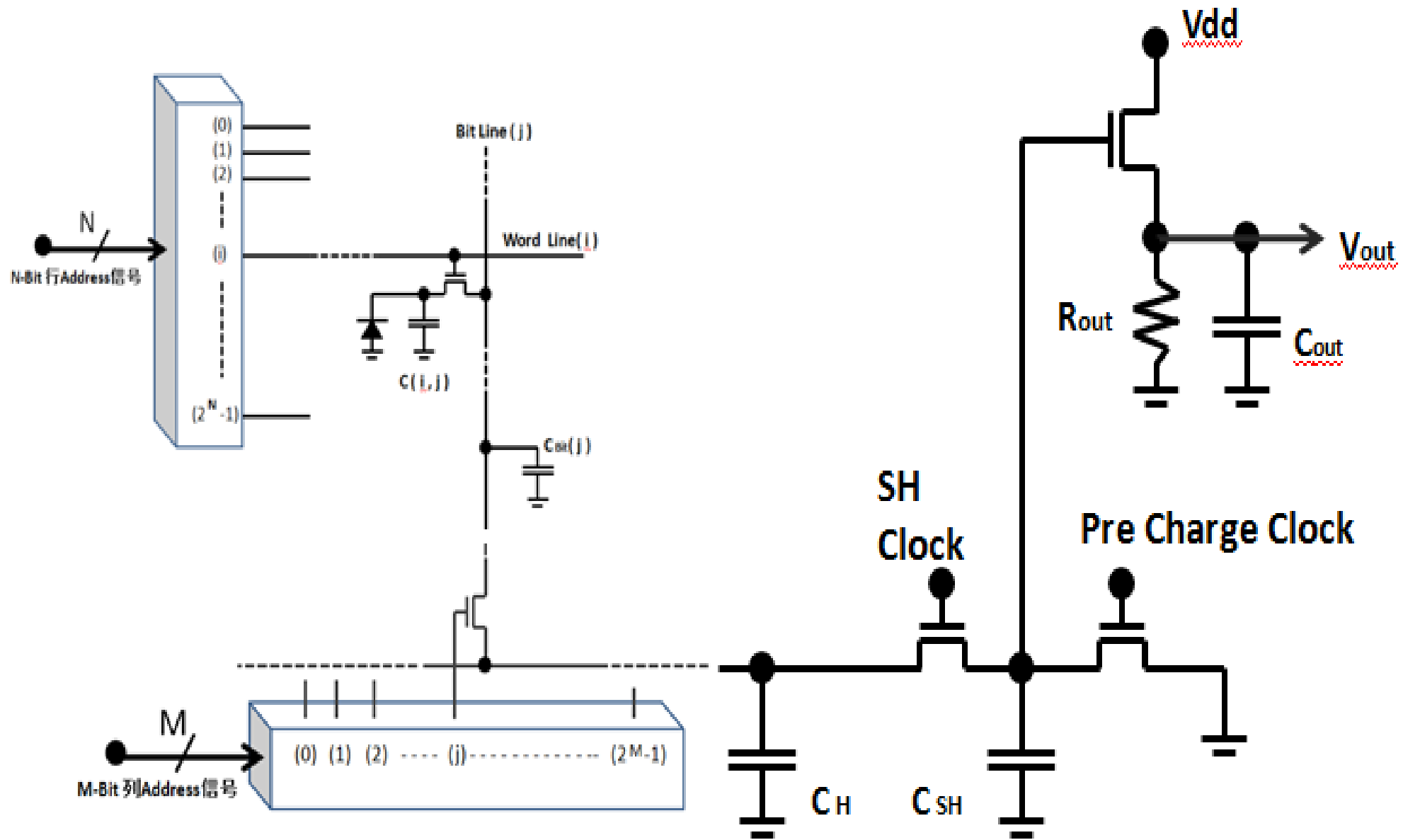


CCD Imager の基本回路構成

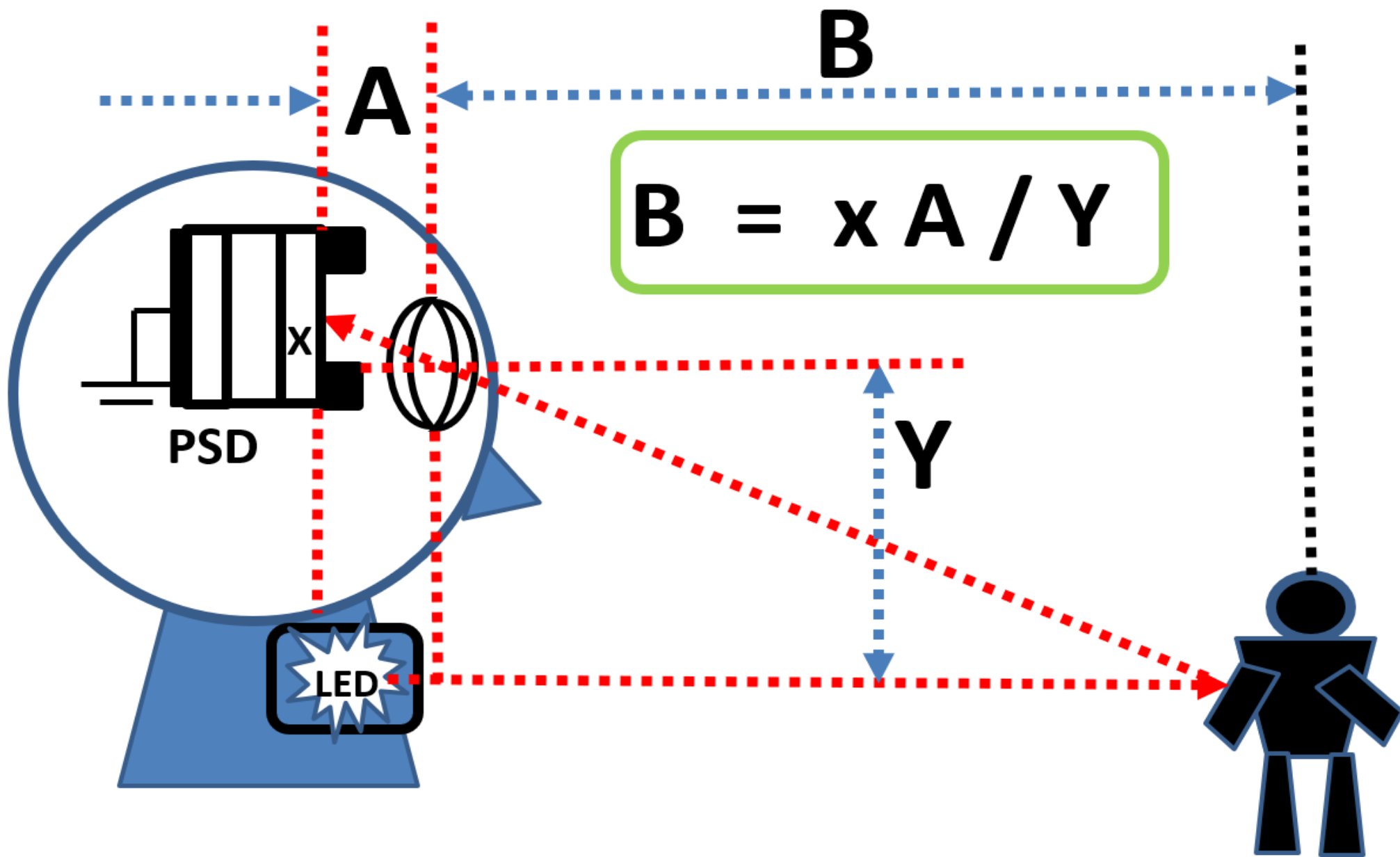


完全空乏化が可能で残像Freeでかつ暗電流を低減したP+N-P受光素子構造

図 4-2-11

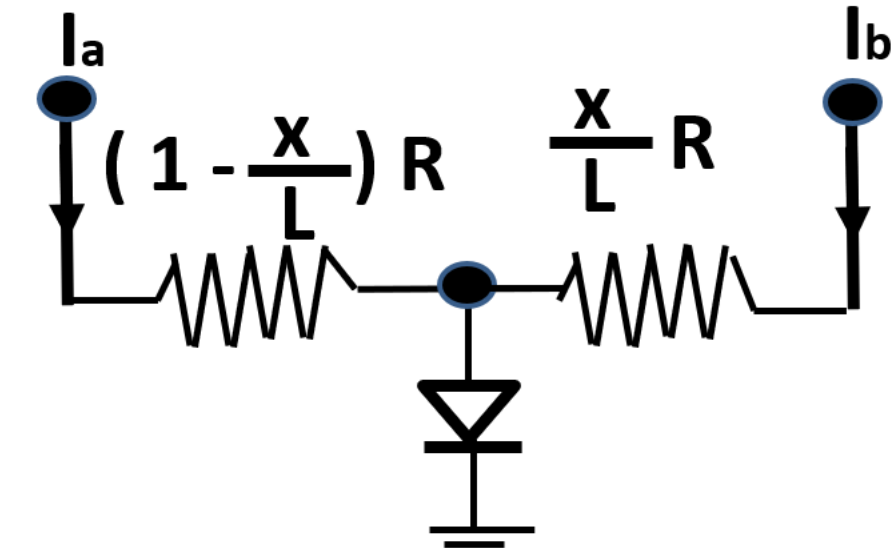
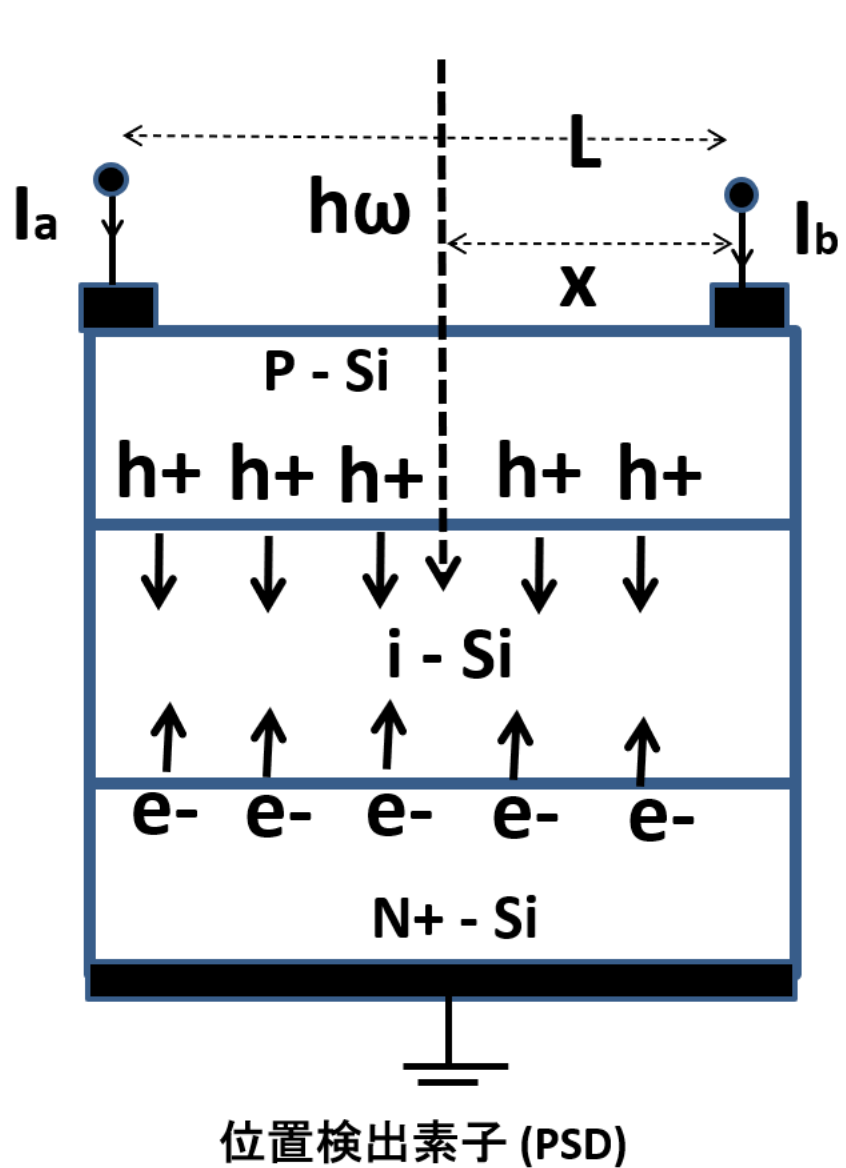


CMOS Image Sensor の基本構成回路



ロボットの目の網膜として位置検出素子(PSD)を使ったイメージ図

図 4-2-13

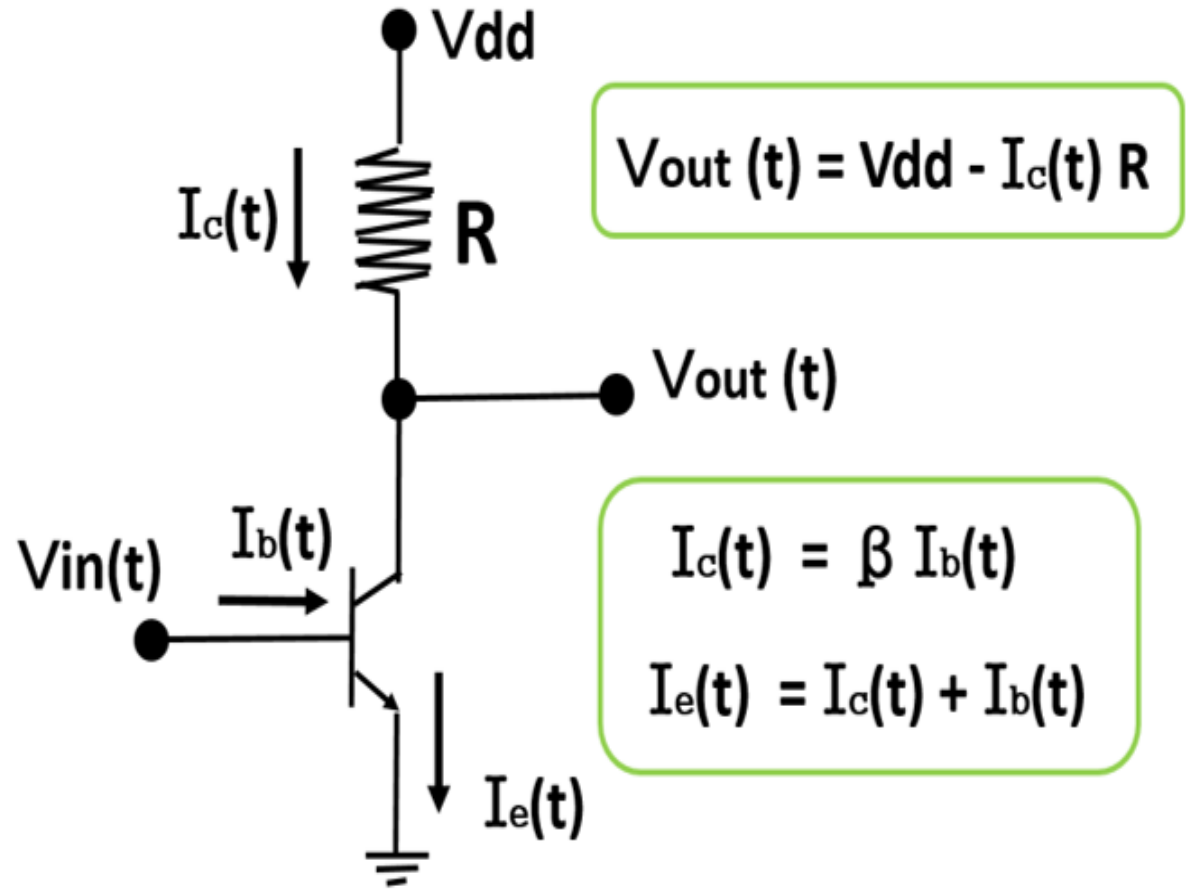
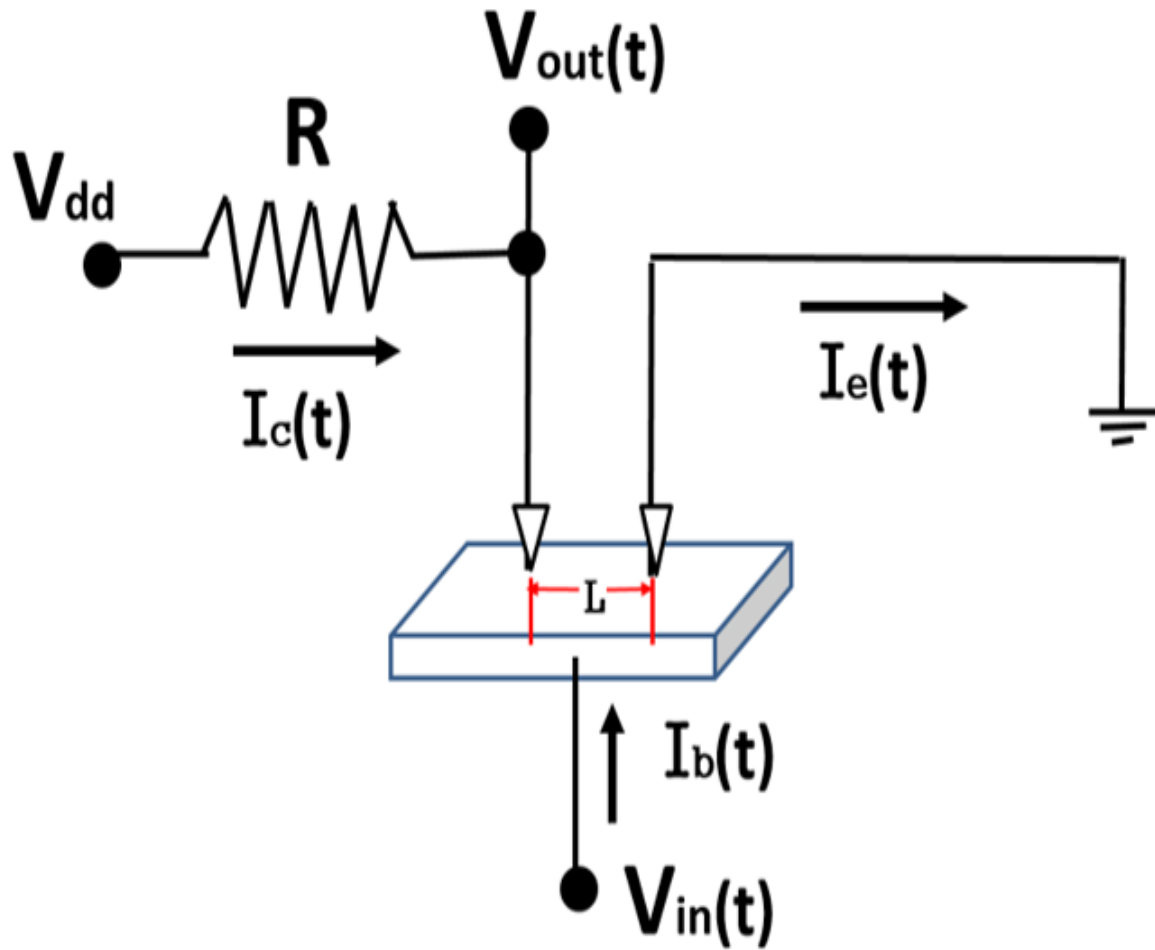


$$\frac{I_b}{I_a} = \frac{\left(1 - \frac{X}{L}\right) R}{\frac{X}{L} R}$$

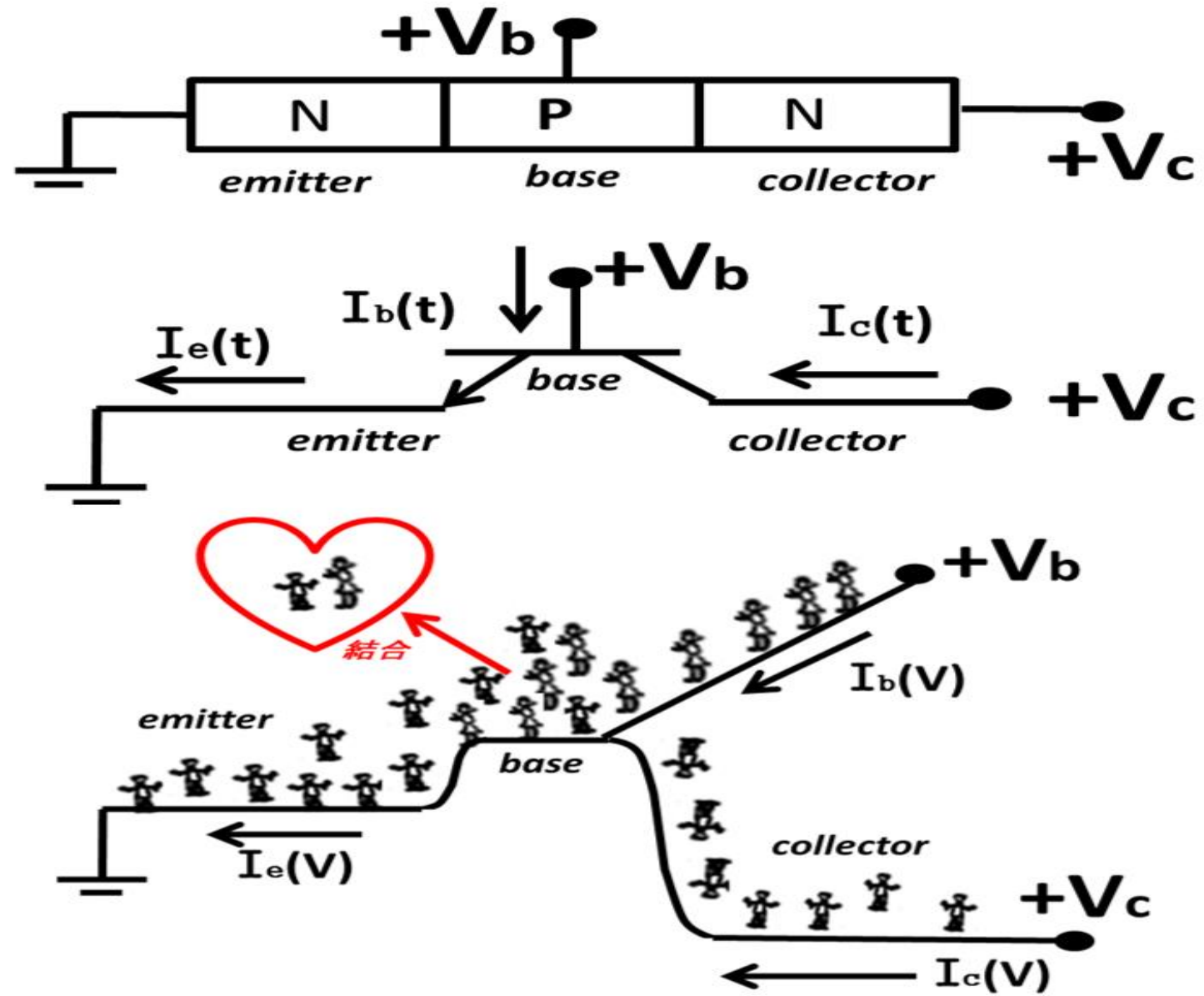
$$X = \frac{L}{1 + \frac{I_b}{I_a}}$$



位置検出素子 (PSD)の構造と原理

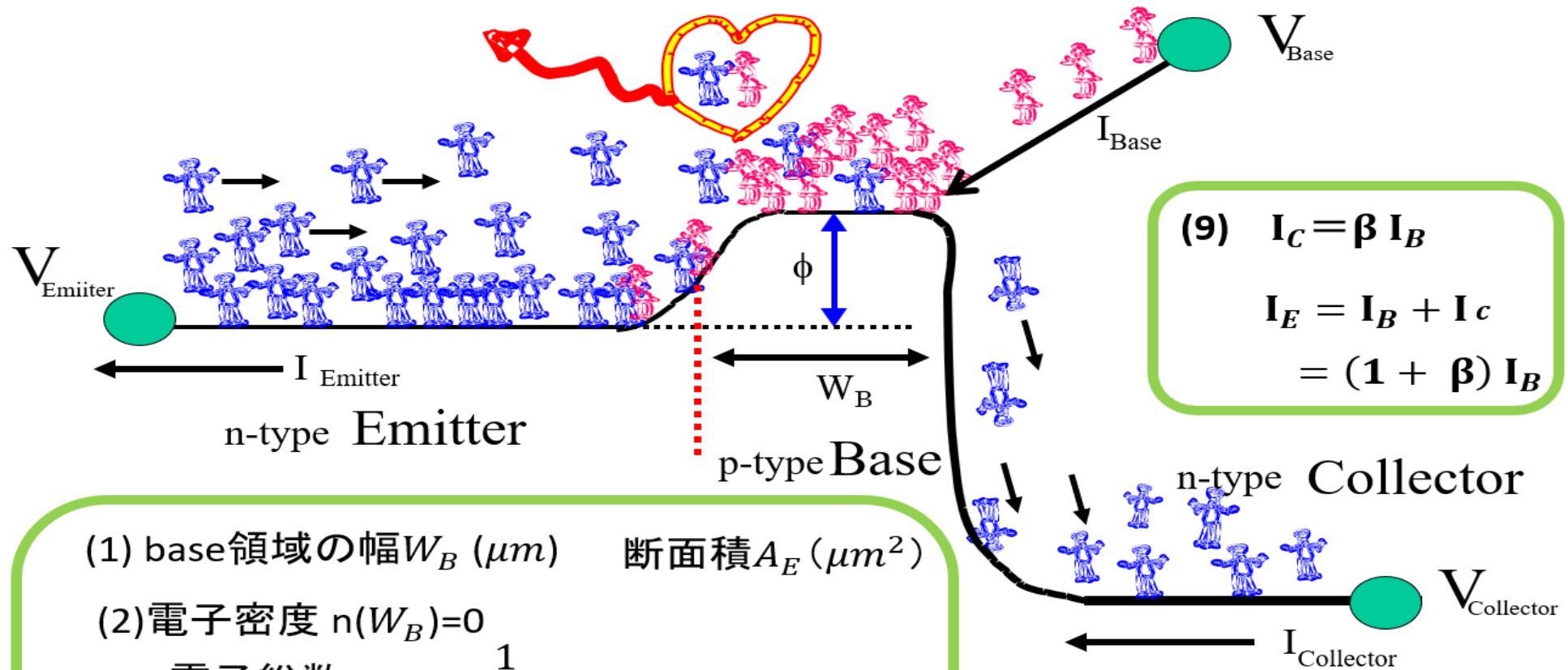


接触型のNPN型のbipolar transistor構造（1948年）



NPN bipolar transistor の動作の物理モデル

図 4-3-3



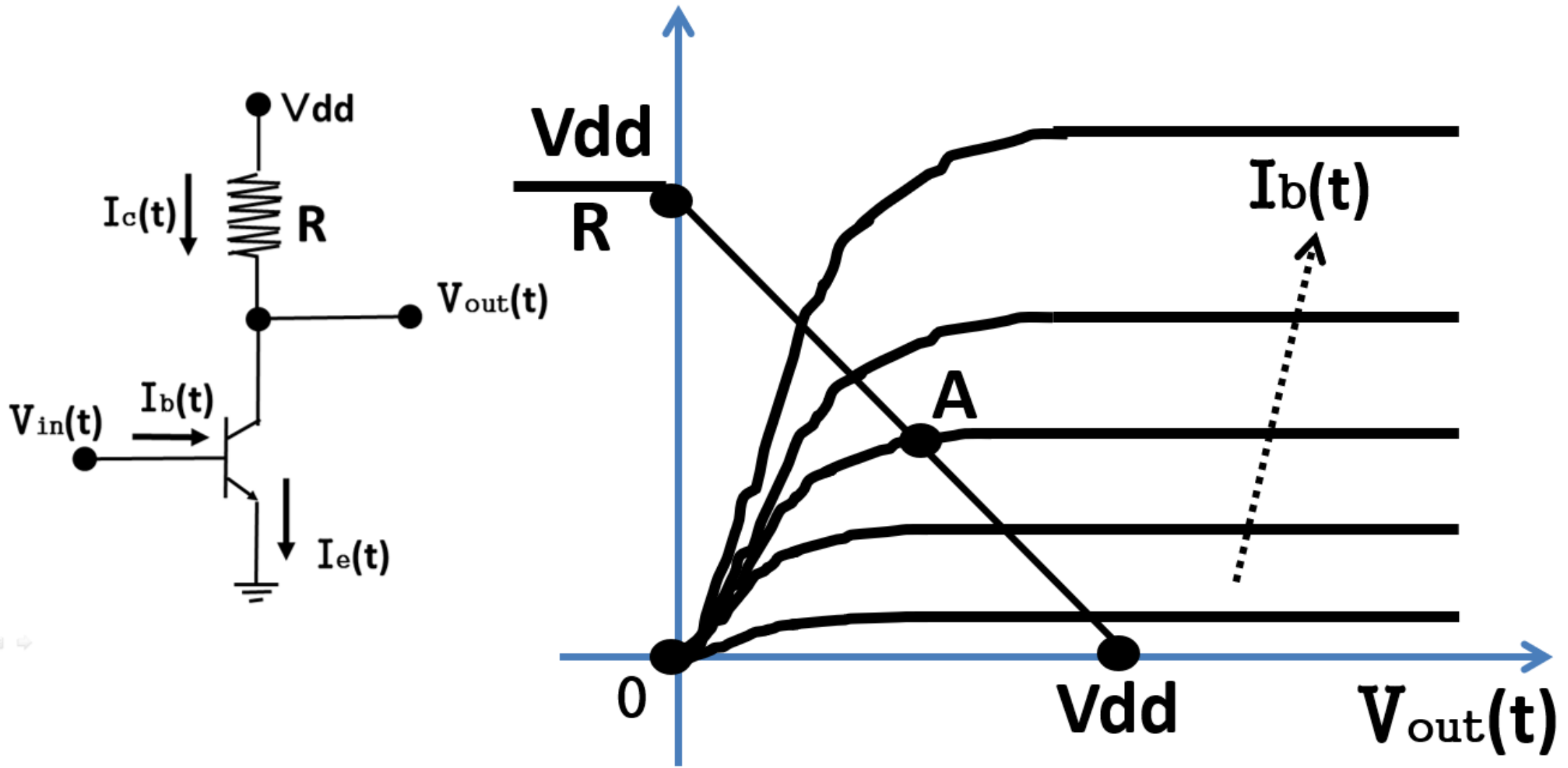
(9) $I_C = \beta I_B$
 $I_E = I_B + I_C$
 $= (1 + \beta) I_B$

- (1) base領域の幅 W_B (μm) 断面積 A_E (μm^2)
- (2) 電子密度 $n(W_B)=0$
 電子総数 $Q_n = \left(\frac{1}{2}\right)A_E n(0)W_B$
- (3) リーク電流 $I_o = \frac{qA_E D_n n_i^2}{N_a W_B}$
- (4) base電流 $I_B = Q_n / \tau_n$
- (5) 拡散距離、 $L_n = \sqrt{\tau_n D_n}$

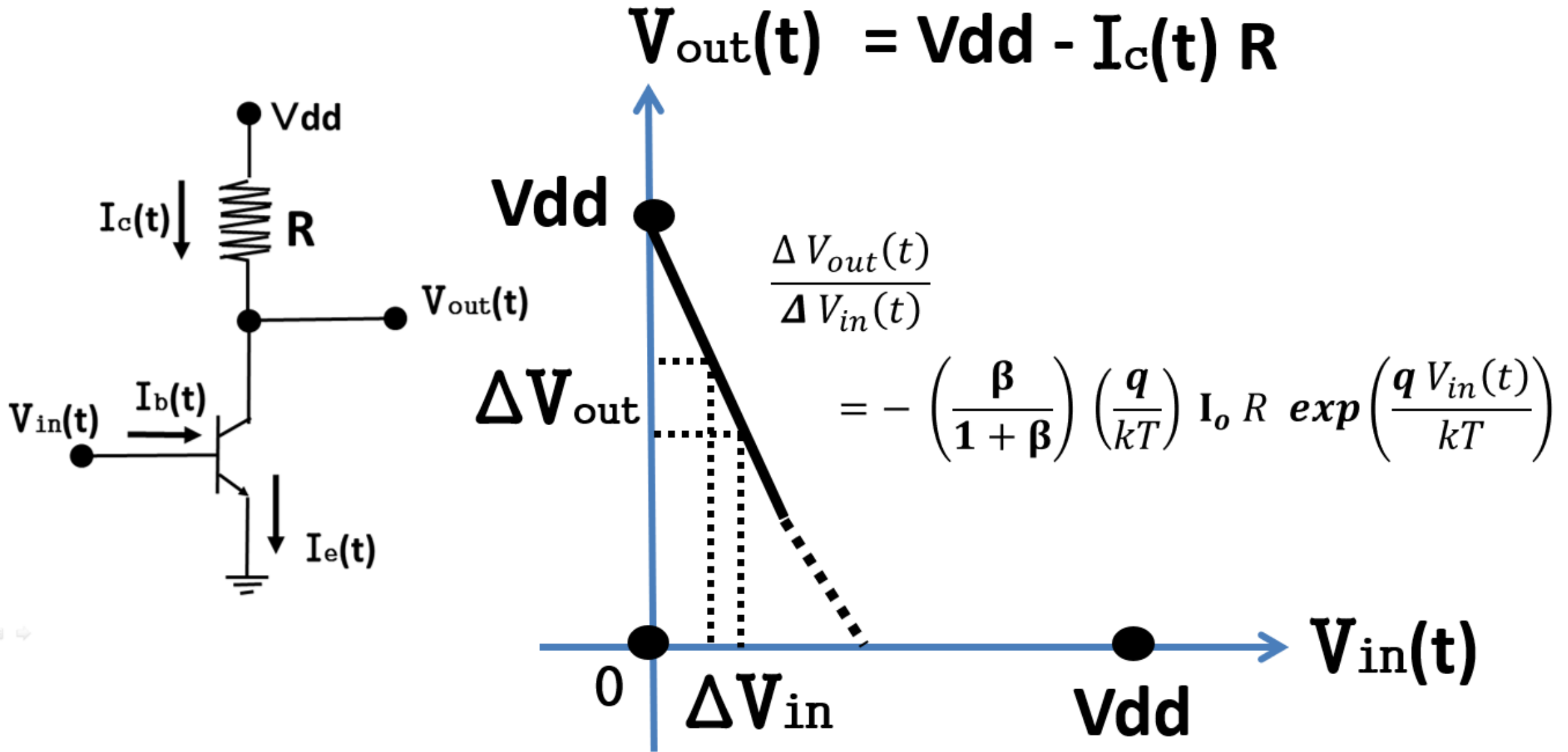
- (6) Base通過時間 $\tau_t = W_B^2 / 2D_n$
- (7) 丘の高さ $\phi = \phi_i - V_{BE}$
- (8) $I_E = I_o \left\{ \exp\left(\frac{q V_{BE}}{kT}\right) - 1 \right\}$

NPN bipolar transistorの関係するいろいろな物理定数

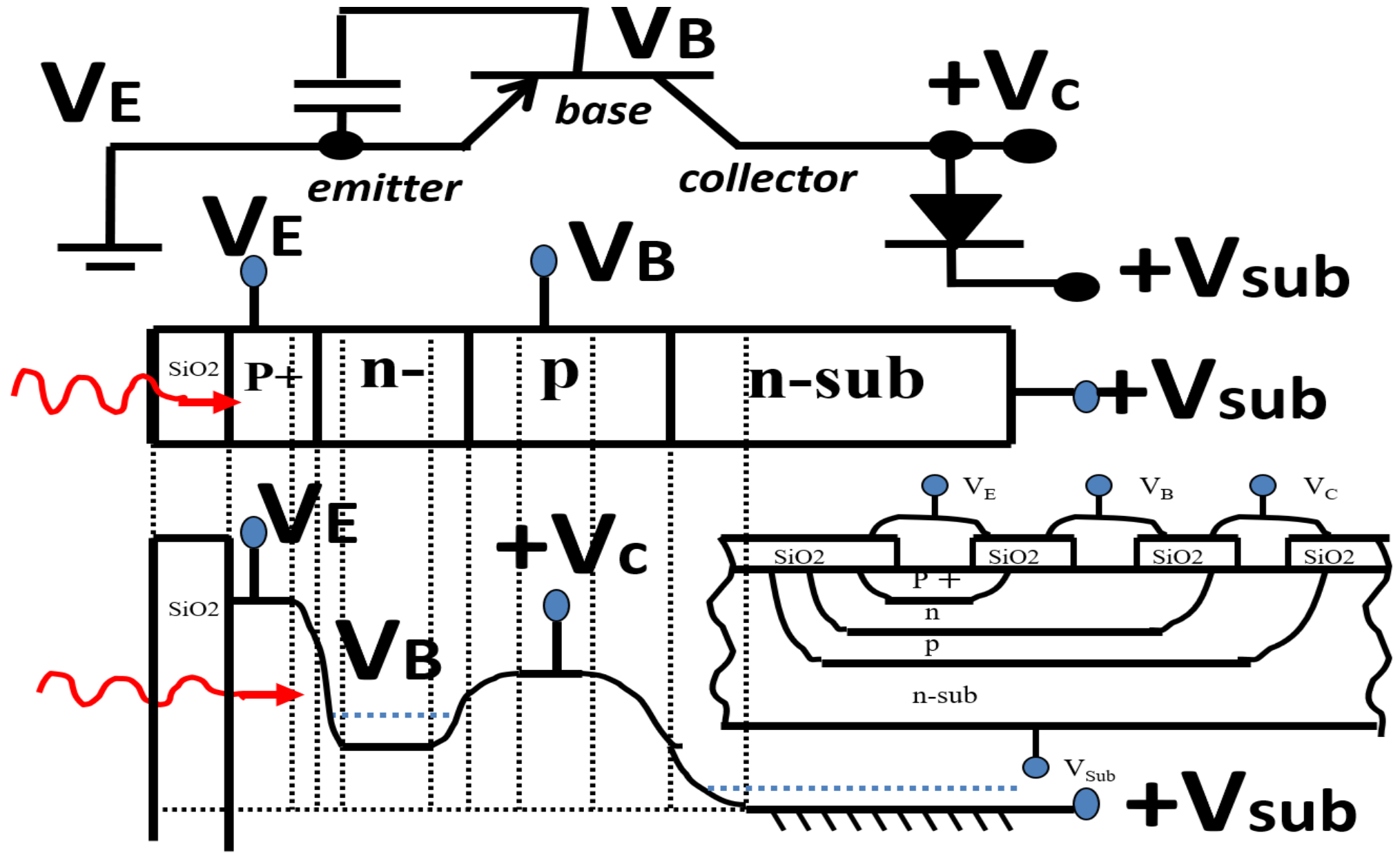
$$I_c(t) = V_{dd} / R - V_{out}(t) / R$$



NPN bipolar transistorを使った電圧増幅回路 BipAmp() の I-V 特性



NPN bipolar transistor 増幅回路 BipAmp() の入出力特性

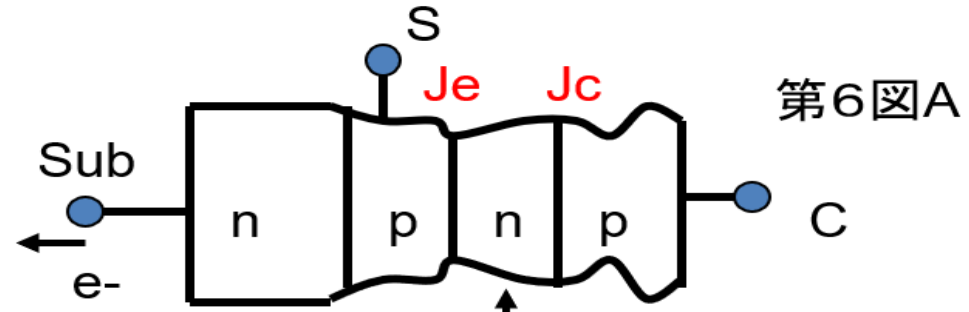


PNP bipolar transistor 型のセンサー構造の提案 (1975)

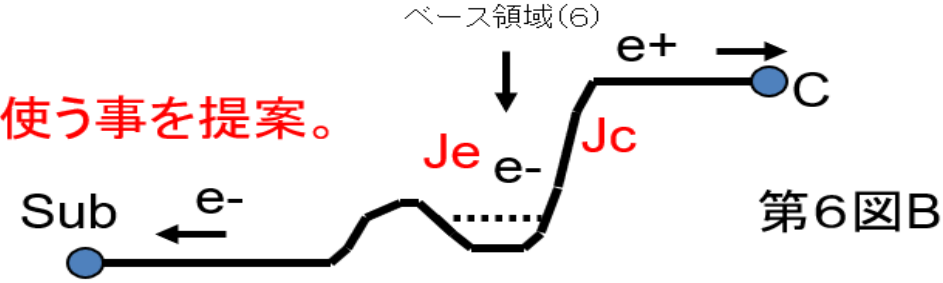
* 1960~1970年代の Bip Trの製造方法は こちらが 主流。

* 通常のBipolarTrの製造方法では Sub(半導体基体)が Emitter領域と異なる導電性タイプの場合もあり得ることは周知である。

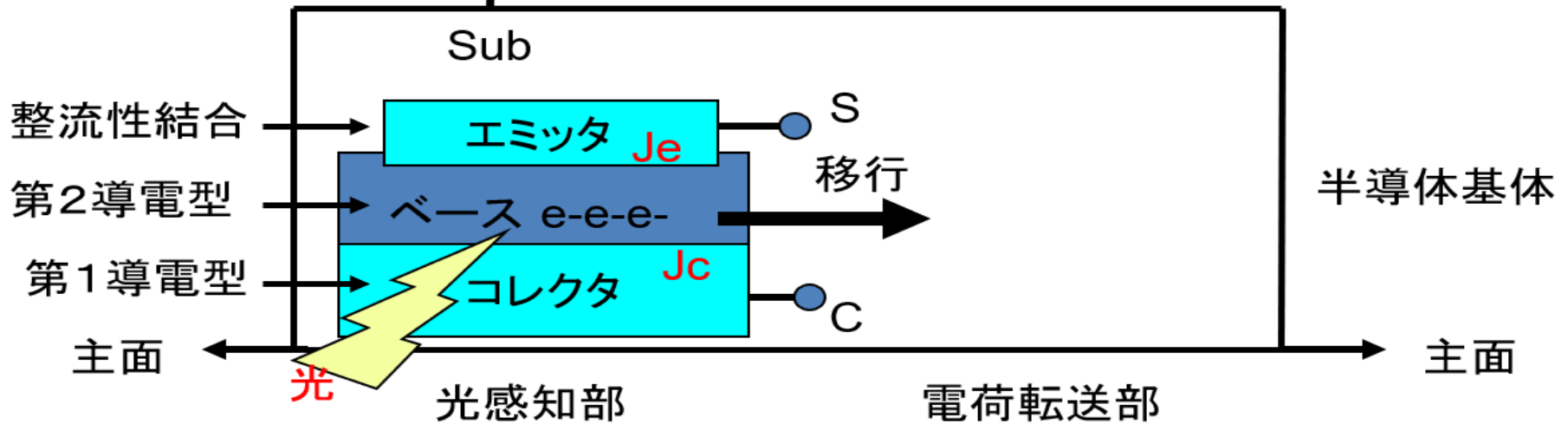
●単純に Bip Tr 構造を撮像素子と使う事を提案。



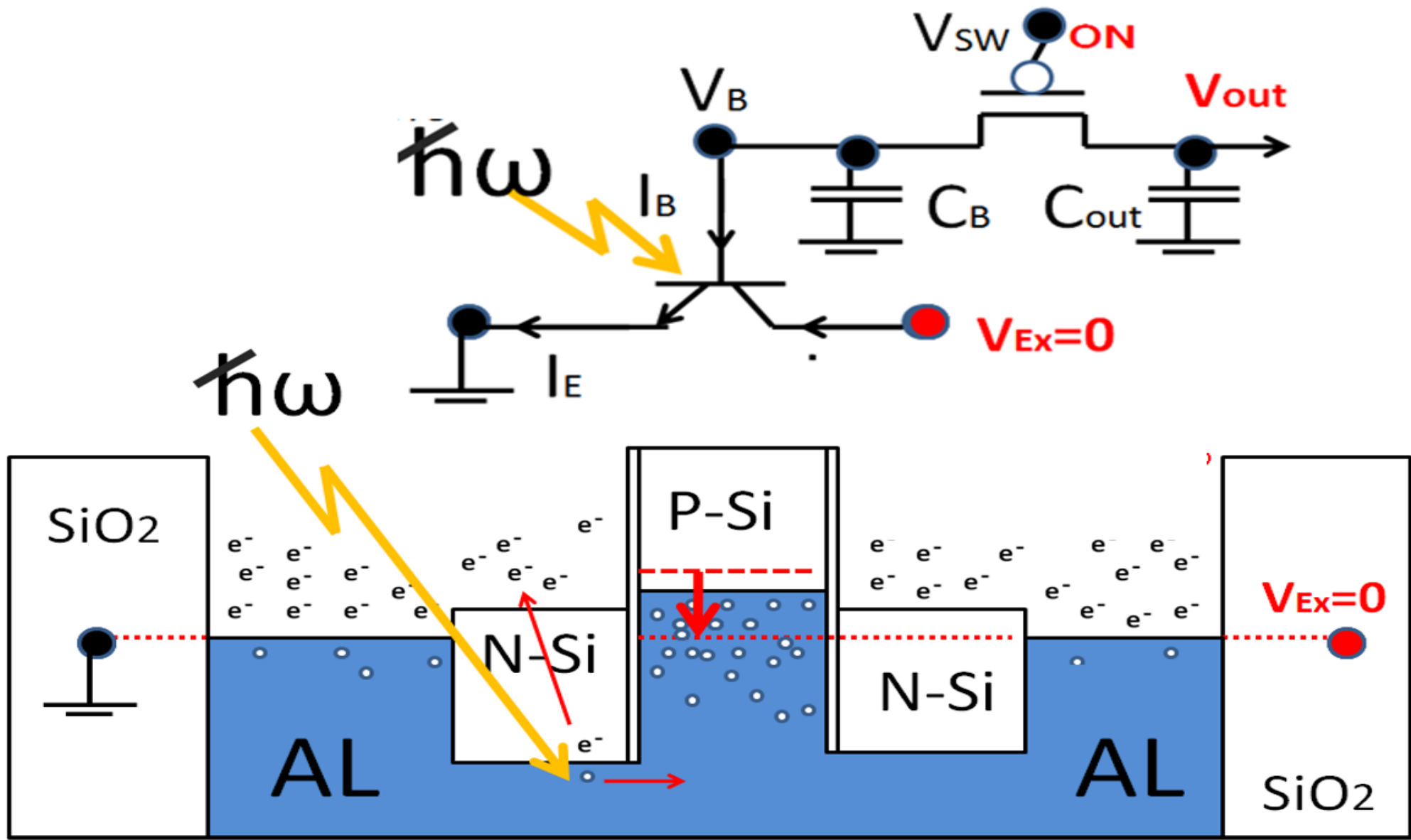
第6図A



第6図B

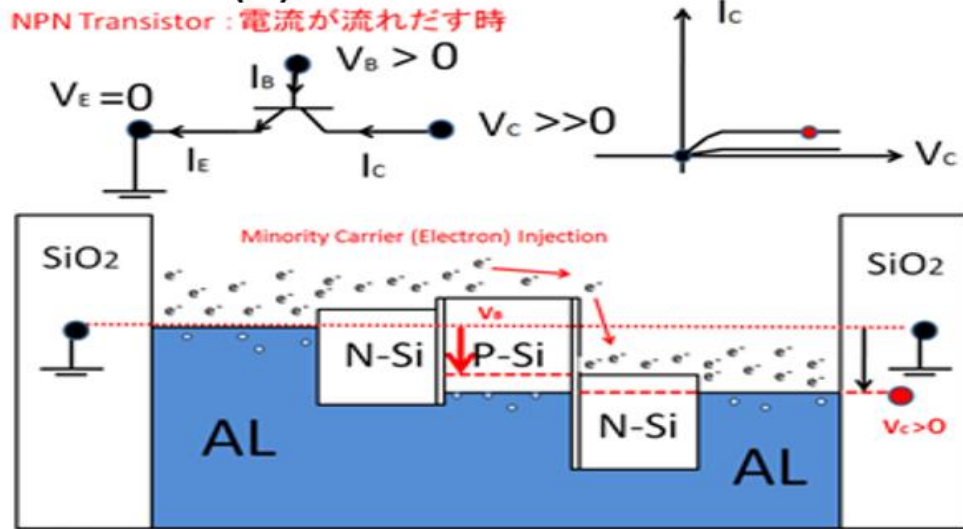


電子shutter 機能を持つtriple接合のPinned Photodiode型の固体撮像装置の提案 (1975.11.10)

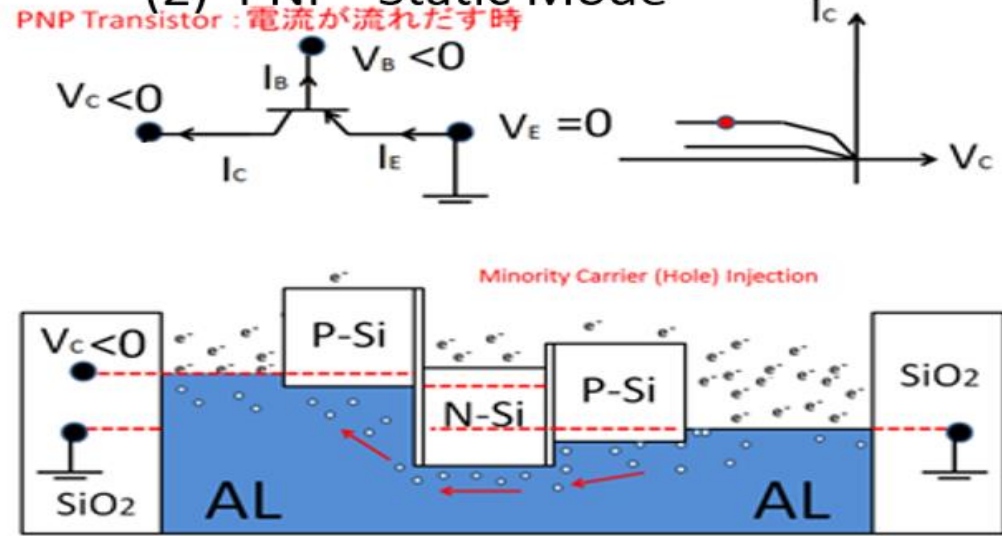


NPN bipolar transistor 型の場合のセンサーの物理モデル

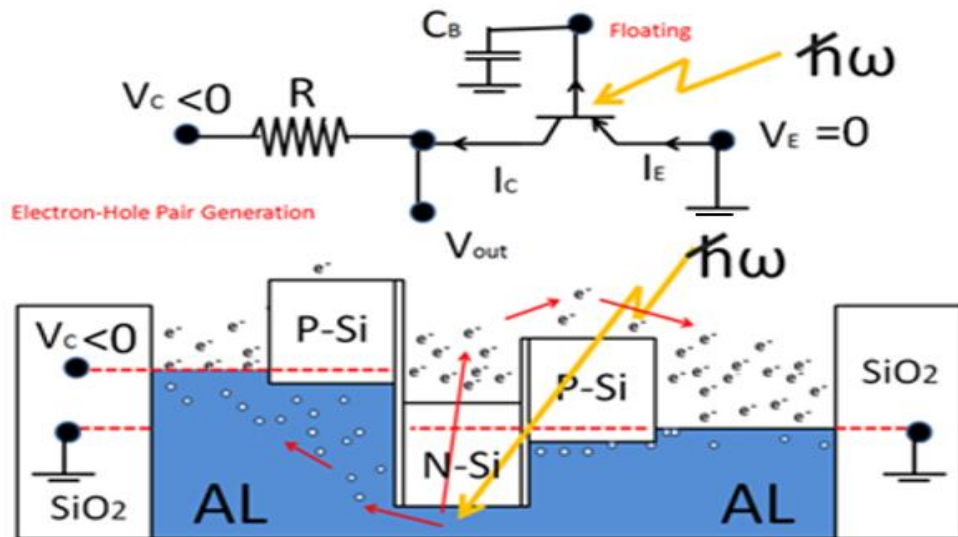
(1) NPN Static Mode



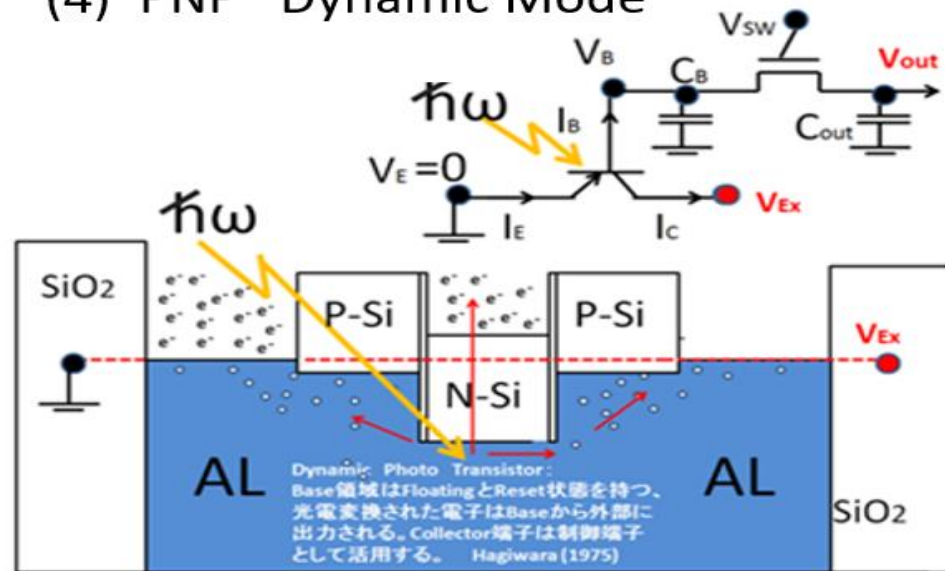
(2) PNP Static Mode



(3) NPN Dynamic Mode



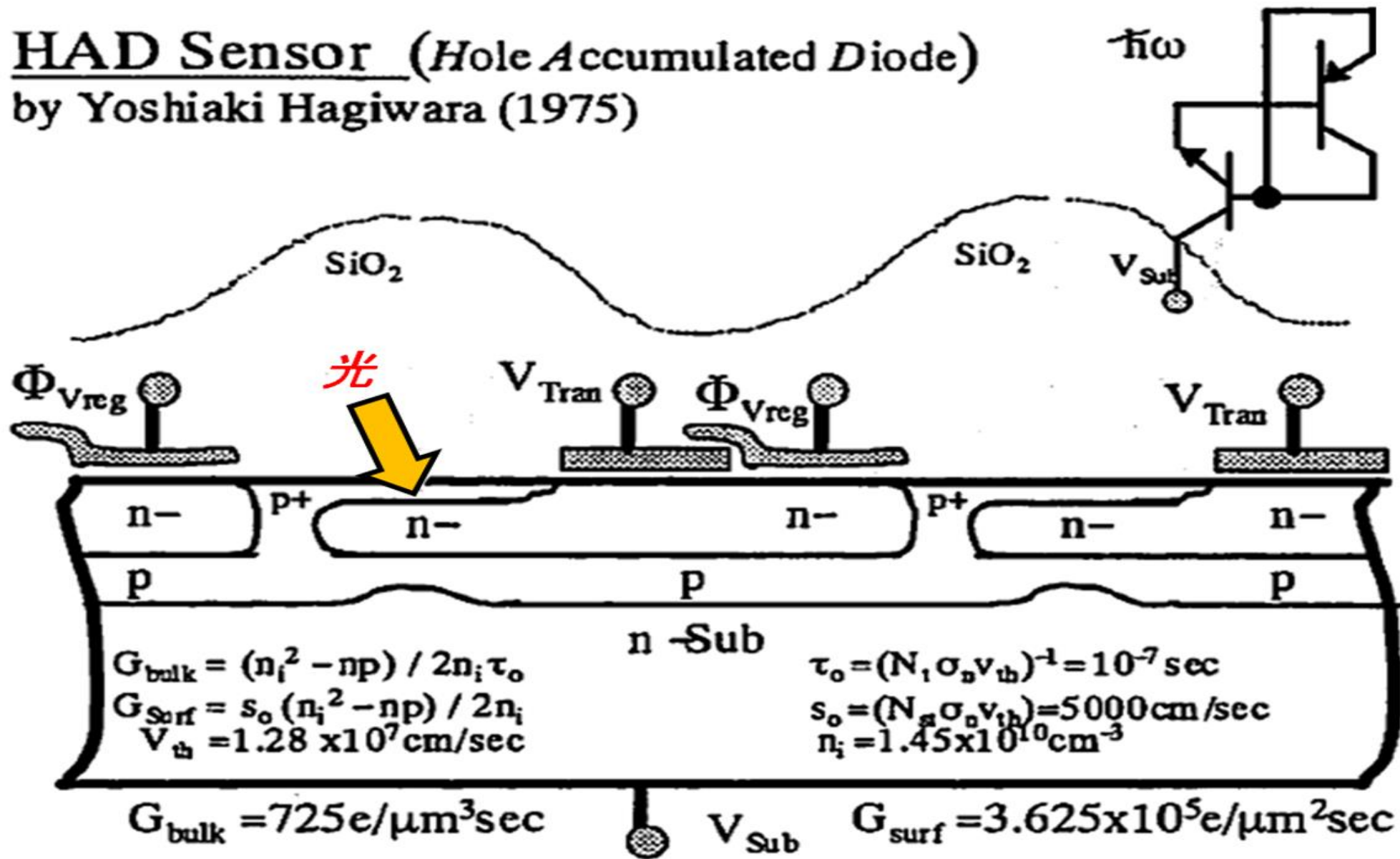
(4) PNP Dynamic Mode



NPN bipolar transistor 型の場合のセンサーの物理モデル

HAD Sensor (Hole Accumulated Diode)

by Yoshiaki Hagiwara (1975)

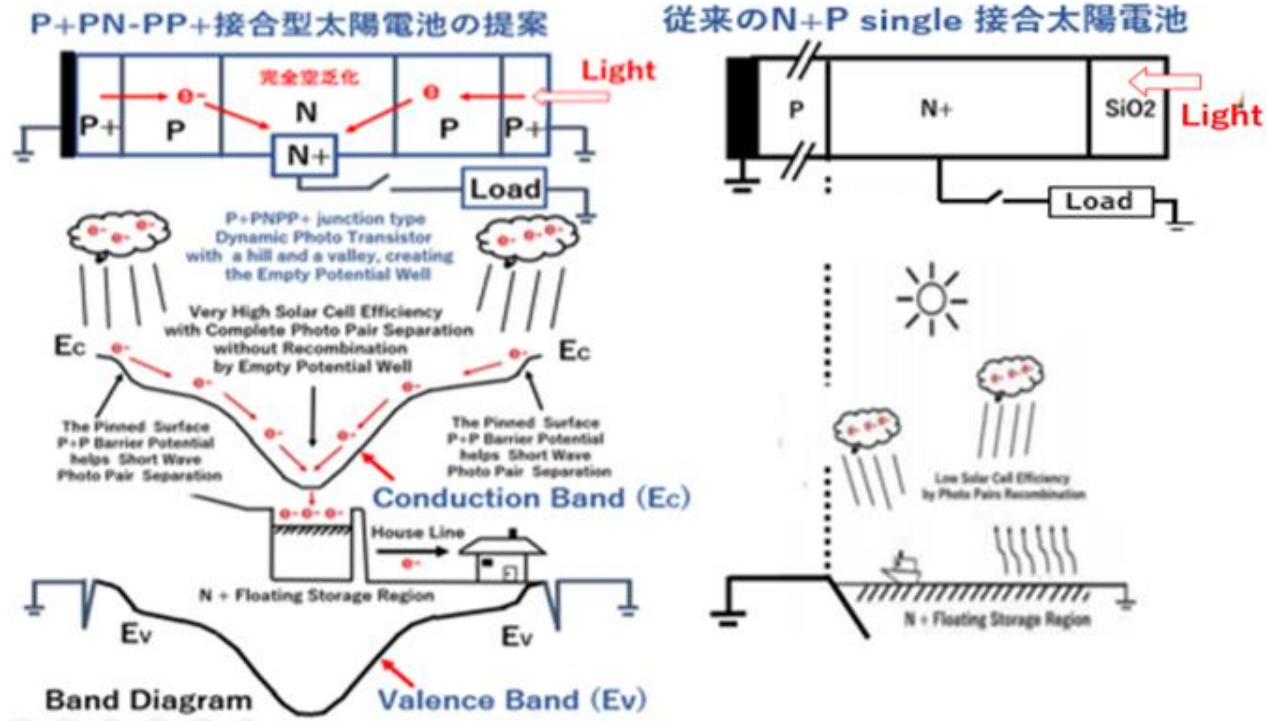
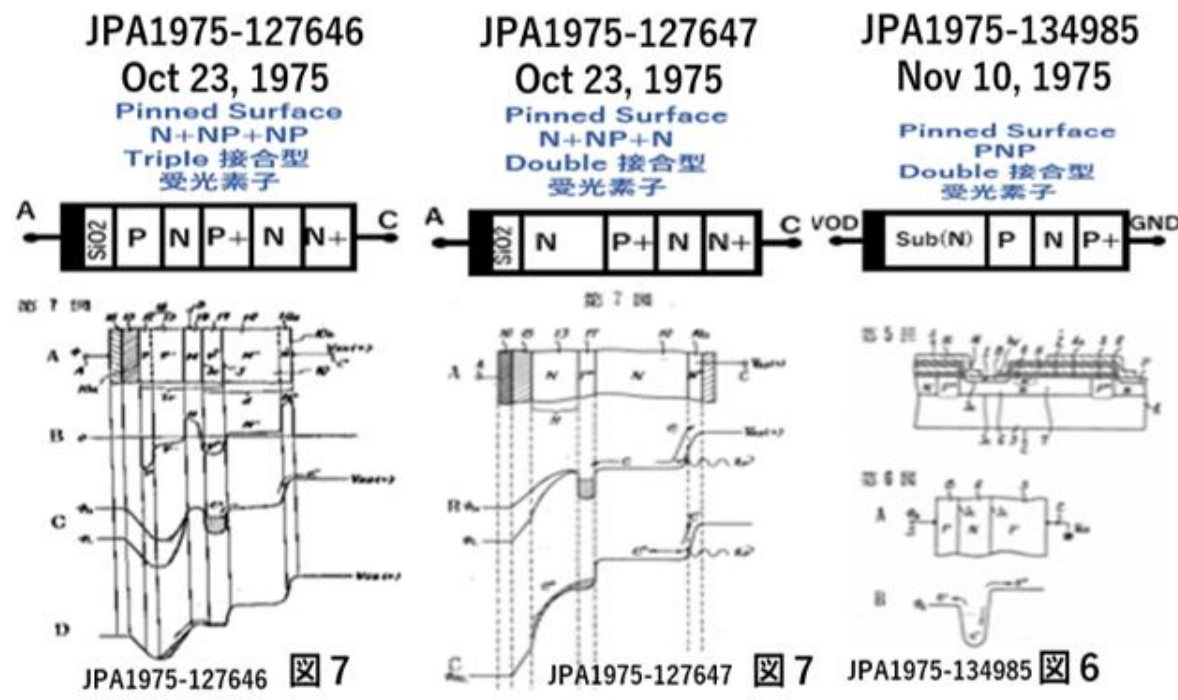


SonyのHAD sensor 構造 (Hagiwara, 1975)

(3) single接合型のダイオードの整流特性

新型電池はぜひ一般の人にも関心をもっていたきたいです。

政府も企業も自治体も動かして、この萩原が提案する新型の太陽電池を含めて、半導体電子デバイス国の戦略製品として産業のコメとして政府の支援で国産化を推進してほしいです。



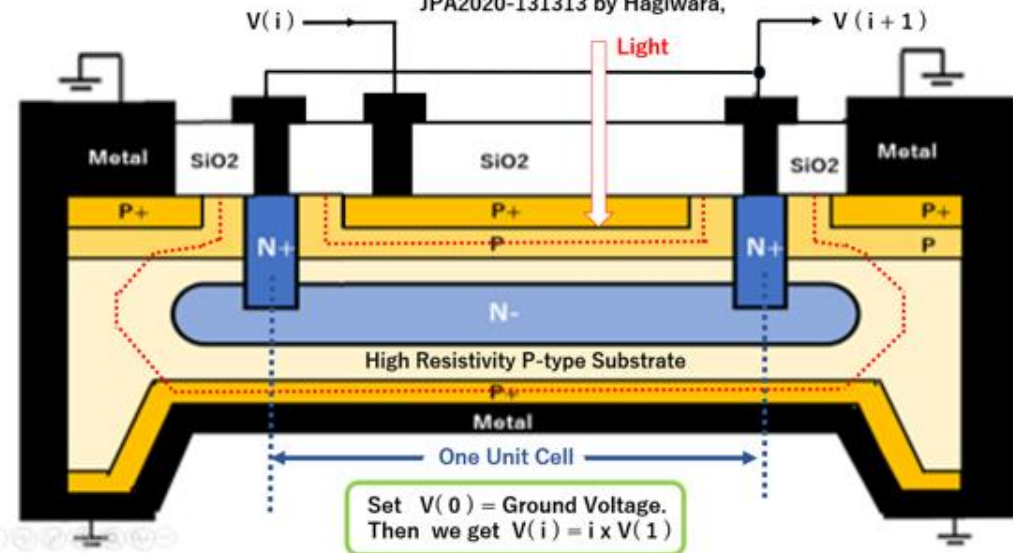
題目： 人工知能ロボットを支える、超光感度の賢い電子の目を太陽電池に応用する

概要

まず超光感度イメージセンサーの発明と歴史的な開発努力について解説する。半導体の集積化技術の進歩により賢い電子の目を持つ AI ROBOT が実現し身近にスマホやコンピュータが多数存在し多くの半導体部品がその原動力となる電気エネルギーを必要とする時代となったが、石油エネルギーから脱却しよりクリーンな水力、風力、地熱エネルギーや太陽光エネルギーを必要とする。超光感度のイメージセンサーも、太陽電池もその動作原理は同じものである。

One Unit Cell of P+PN-PP+ junction type Solar Cell, which can be connected in series.

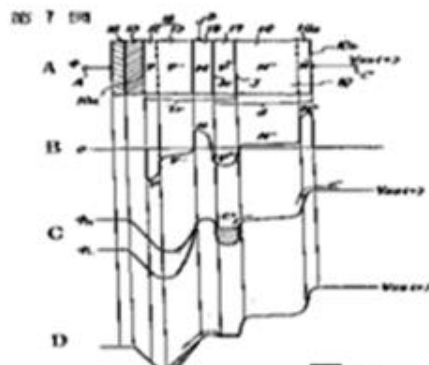
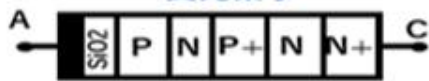
JPA2020-131313 by Hagiwara,



JPA1975-127646

Oct 23, 1975

Pinned Surface
N+NP+NP
Triple 接合型
受光素子

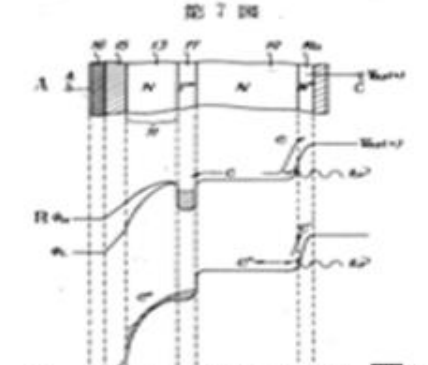
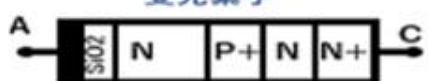


JPA1975-127646 図 7

JPA1975-127647

Oct 23, 1975

Pinned Surface
N+NP+N
Double 接合型
受光素子

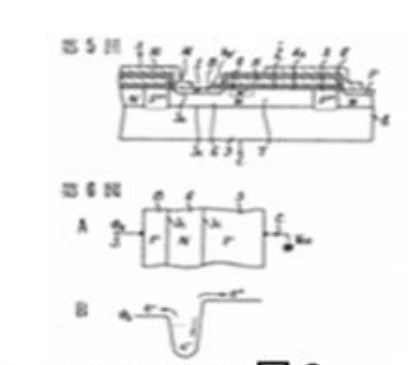
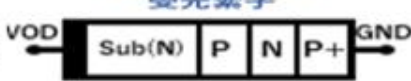


JPA1975-127647 図 7

JPA1975-134985

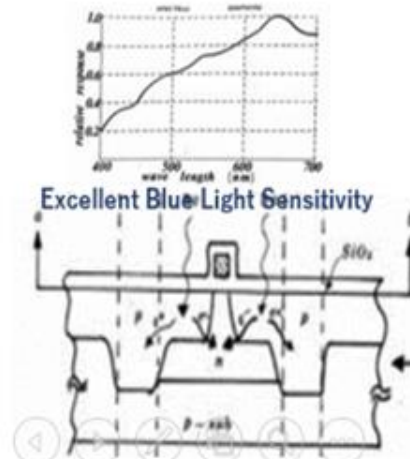
Nov 10, 1975

Pinned Surface
PNP
Double 接合型
受光素子



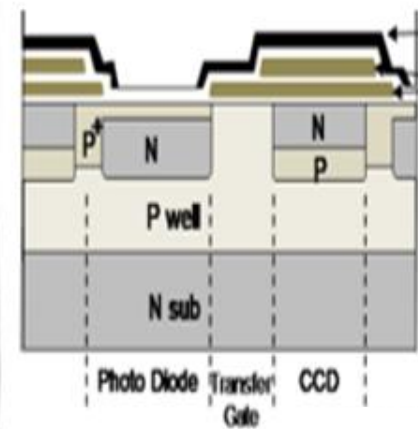
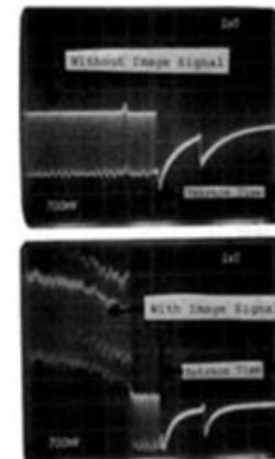
JPA1975-134985 図 6

SSDM1978 Paper



Excellent Blue Light Sensitivity

SSIS Semiconductor History Museum

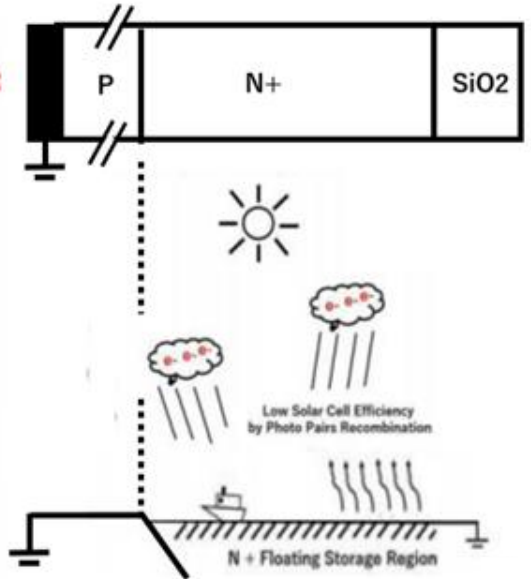
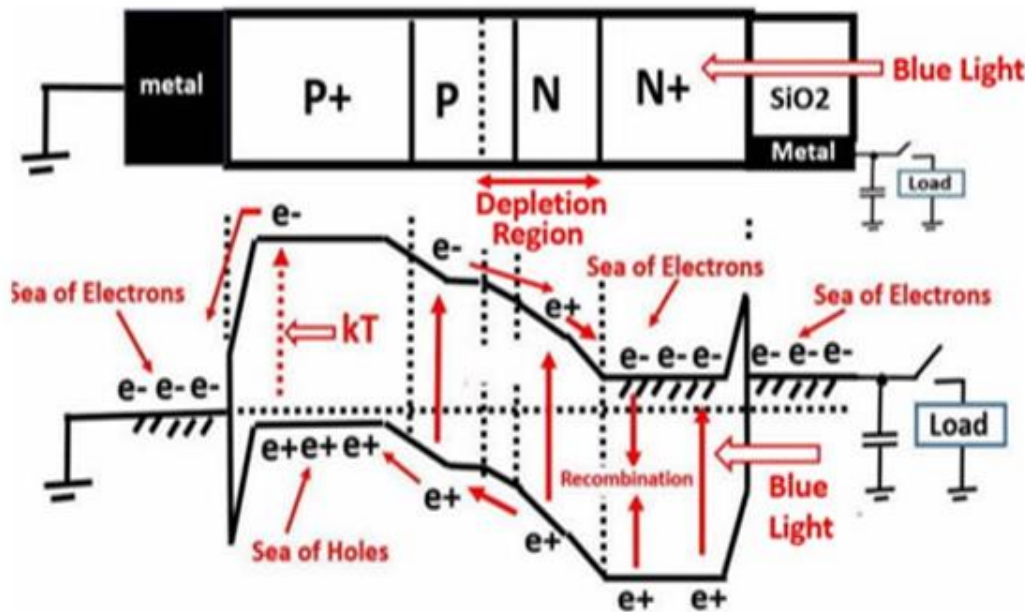
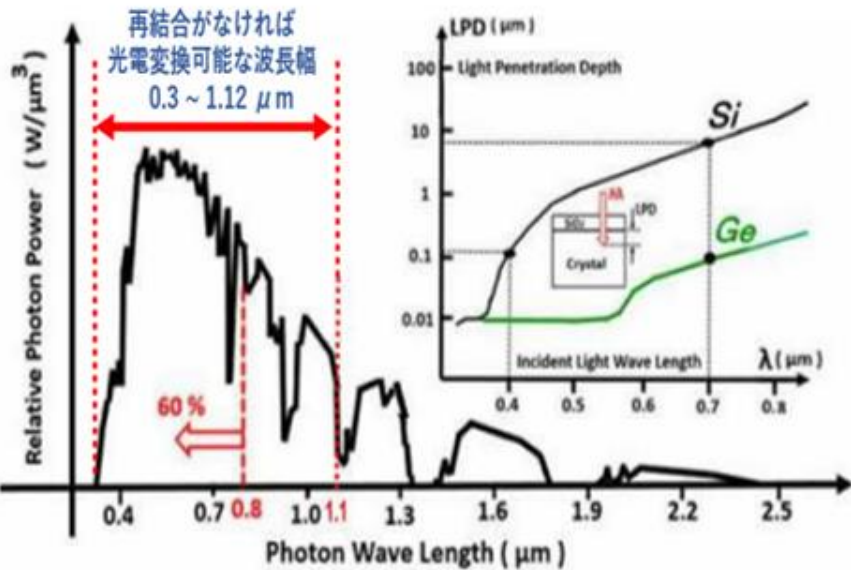
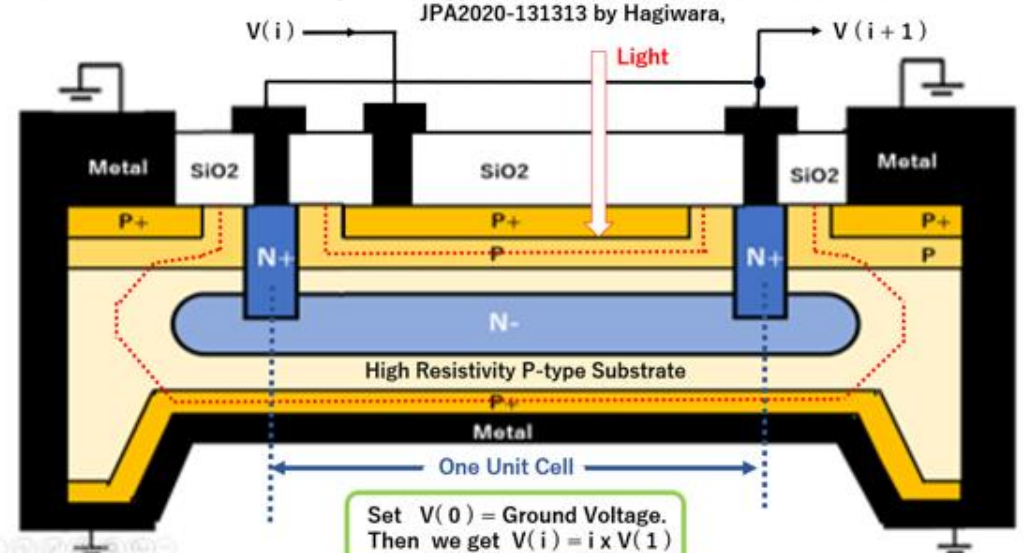


題目： 人工知能ロボットを支える、超光感度の賢い電子の目を太陽電池に応用する

概要

両者とも光エネルギー（情報）を電気エネルギー（情報）に変換する半導体素子である。一方、色再現豊かな映像の実現の為に短波長青色感度特性は不可欠である。また太陽光には短波長エネルギー成分が豊富である。しかし短波長青色光は半導体結晶体内を透過する深度が非常に浅い。従来構造の受光面（N+）が浮遊状態にあるN+P接合型の受光素子では受光表面の近傍の電位は平坦となる。従って、受光表面には電界がない。半導体結晶体の表面近傍では、せっかく光電変換して生じた光電子とホールペアであるが電界が不在である為に、光電子とホールのペアは分離移動することができない。その場にとどまり遂は再結合して熱となり無駄になっているのが現状である。

One Unit Cell of P+PN-PP+ junction type Solar Cell, which can be connected in series.



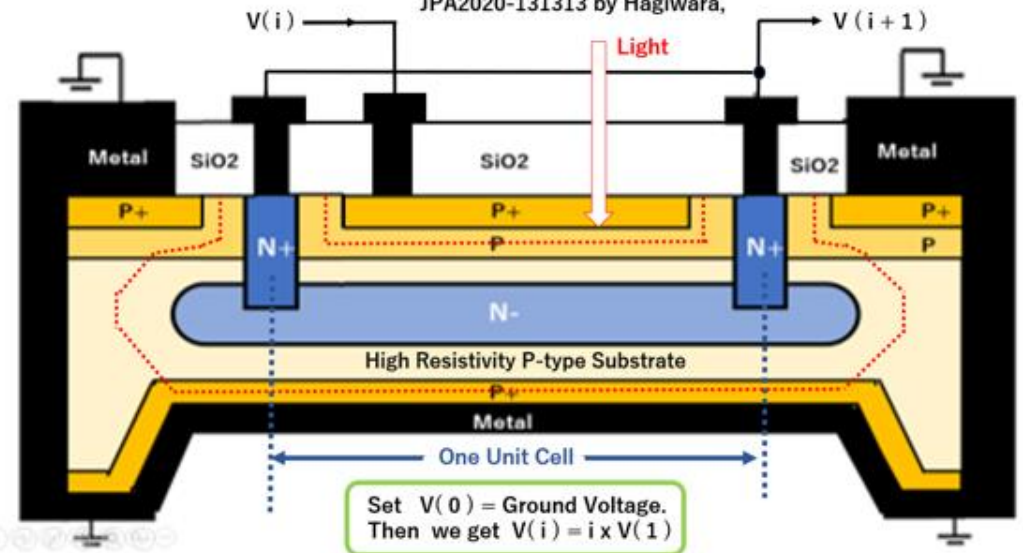
題目： 人工知能ロボットを支える、超光感度の賢い電子の目を太陽電池に応用する

概要

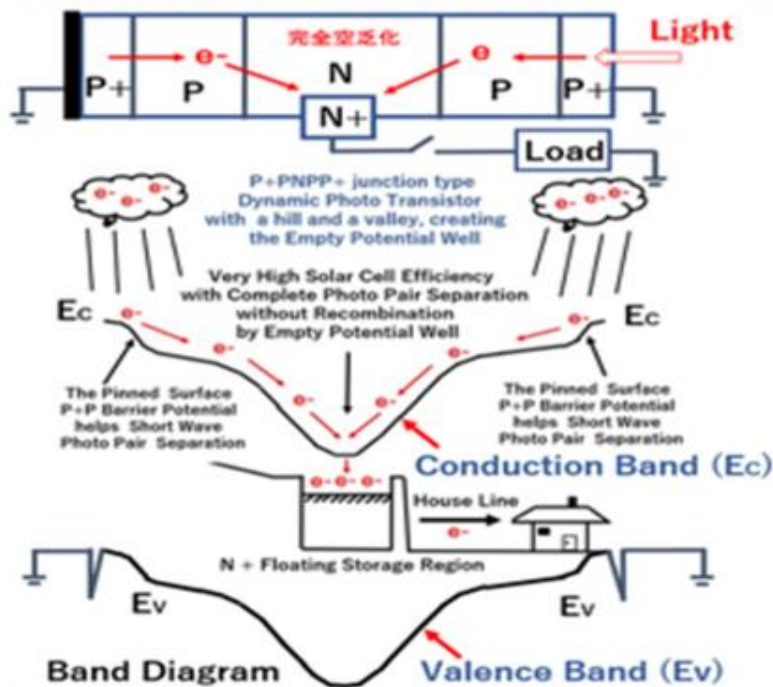
1975年に萩原良昭が発明(JPA1975-127646, JPA1975-127647, JPA1975-134985)考案した超光感度のイメージセンサーの受光素子構造は、Double 接合型の受光素子である。通称、Pinned Photodiodeと呼ばれる受光素子である。短波長青色光に対する感度特性が優れている事が知られているが、その受光素子構造を太陽電池の光電変換効率向上のために採用することを提案する。

One Unit Cell of P+PN-PP+ junction type Solar Cell, which can be connected in series.

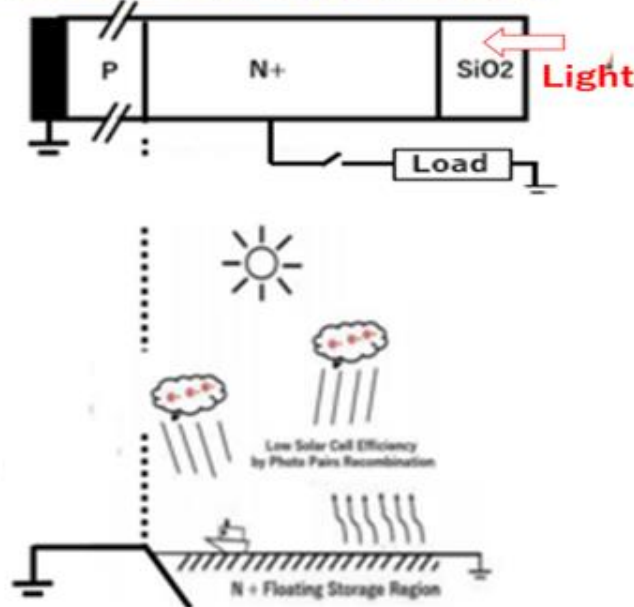
JPA2020-131313 by Hagiwara,



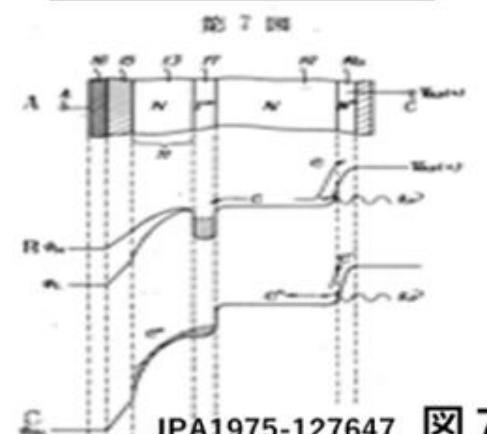
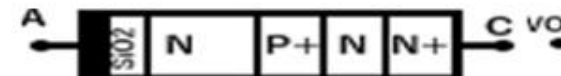
P+PN-PP+接合型太陽電池の提案



従来のN+P single 接合太陽電池



JPA1975-134985 図 6



JPA1975-127647 図 7

38万画素に達した固体撮像素子

最低照度5lxの高感度 インターライン型CCD

基板に余剰電荷を掃き出し、可変電子シャッタを実現

ソニー 半導体事業本部 CCD 事業部

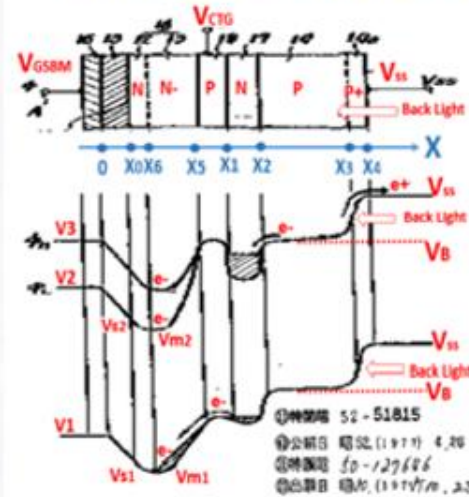
浜崎 正治
鈴木 智行
賀川 能明
石川 貴久枝
宮田 克郎

ソニー国分セミコンダクタ CCD 製造部

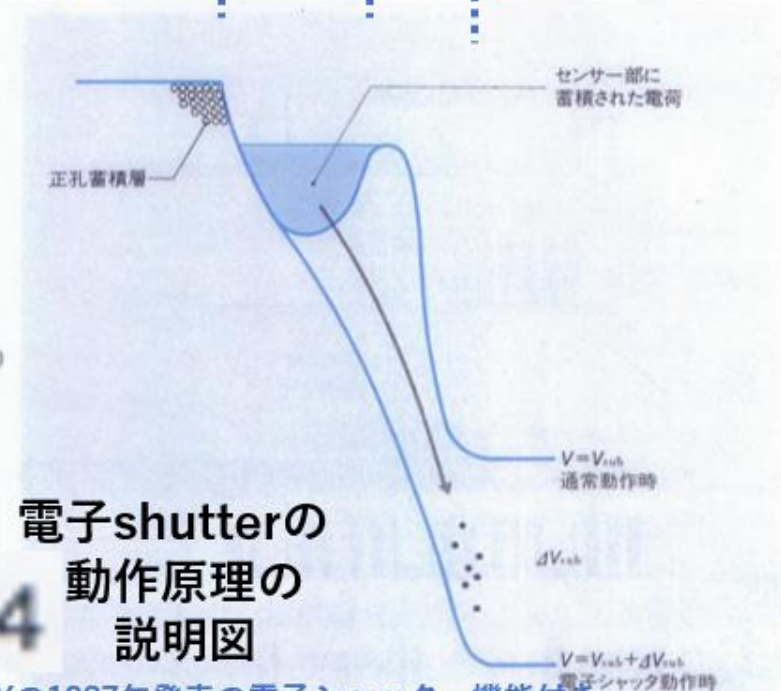
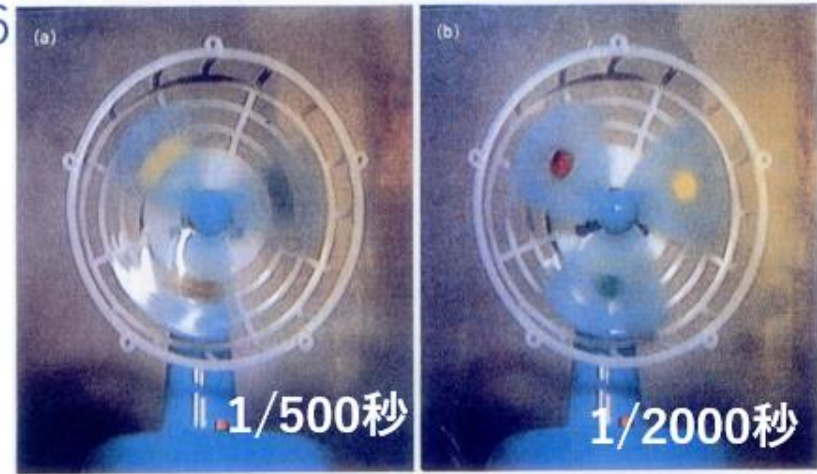
神戸 秀夫

最も一般的な固体撮像素子であるインターライン型CCDで、2/3インチで38万と大規模な画素数を持つ素子をソニーが製品化した。画素面積が小さくなることで減少する信号量を確保するため、縦型オーバーフロー・ドレインを採用して開口率を上げ、補色フィルタで光の利用効率を上げた。さらに界面準位からの暗電流を抑えている。この結果、81dBのダイナミック・レンジが得られた。

JPA1975-127646



JPA1975-127646の図7と同一受光構造である。受光表面はGNDにピン留めされた、P+NPNsub 接合型、すなわち Triple 接合型の Pinned Photodiode.



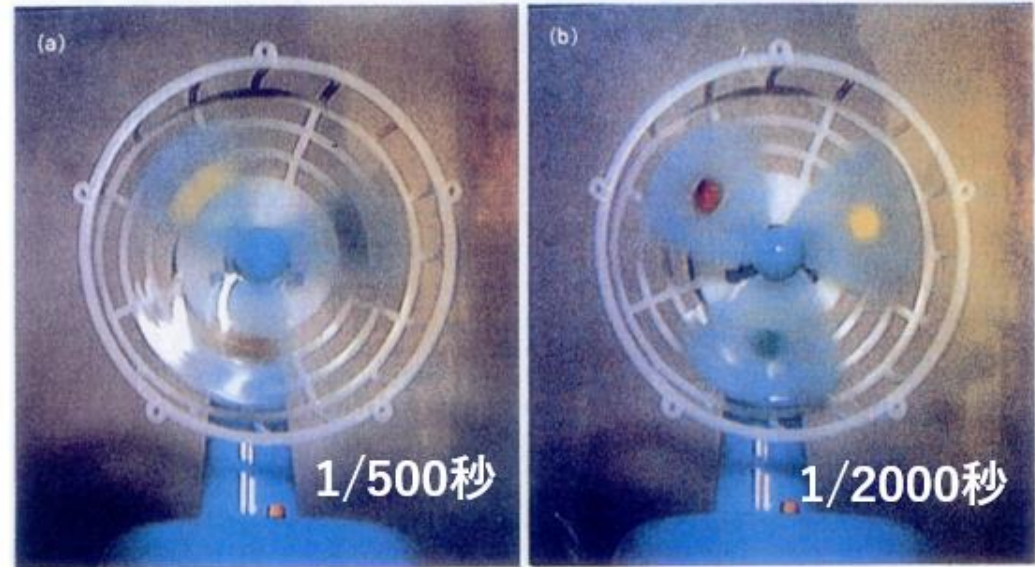
電子shutterの動作原理の説明図

SONYの1987年発表の電子シャッター機能付き Hole Accumulation Diode (HAD) 受光素子構造

題目： 人工知能ロボットを支える、超光感度の賢い電子の目を太陽電池に応用する

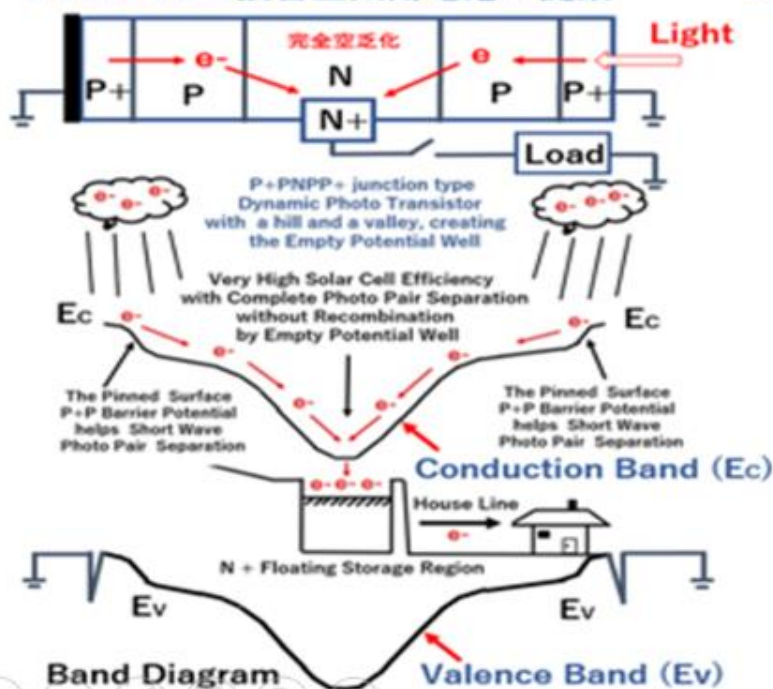
概要

1975年に萩原良昭が発明(JPA1975-127646, JPA1975-127647, JPA1975-134985)考案した超光感度のイメージセンサーの受光素子構造は、Double 接合型の受光素子である。通称、Pinned Photodiodeと呼ばれる受光素子である。短波長青色光に対する感度特性が優れている事が知られているが、その受光素子構造を太陽電池の光電変換効率向上のために採用することを提案する。

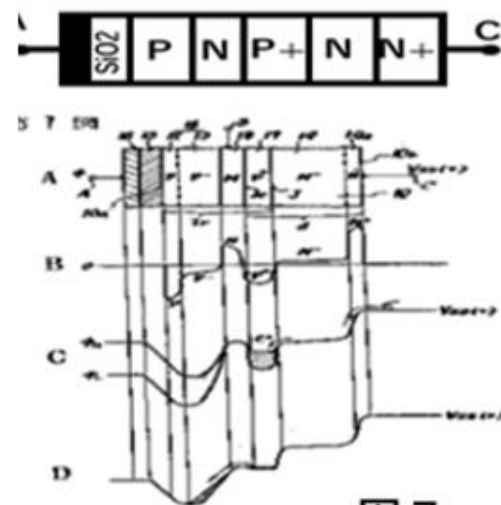
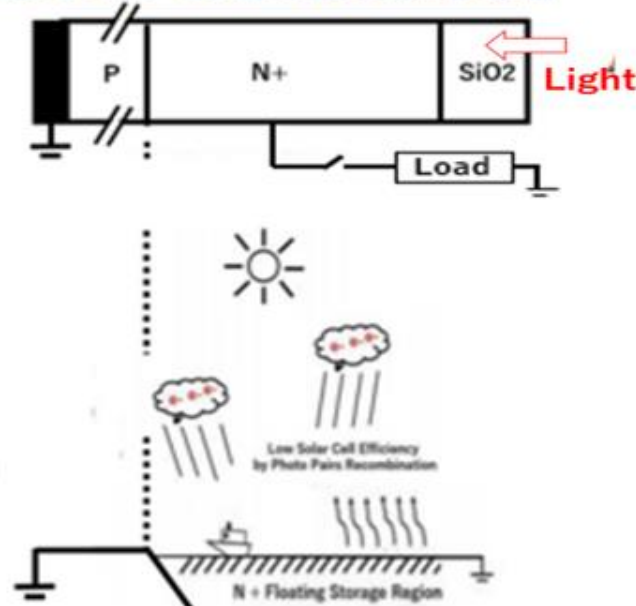


電子シャッター機能付きビデオカメラ Sony 1987

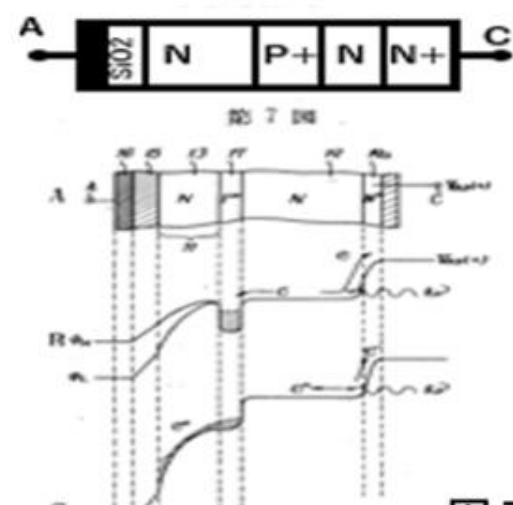
P+PN-PP+接合型太陽電池の提案



従来のN+P single 接合太陽電池



JPA1975-127646 図 7



JPA1975-127647 図 7

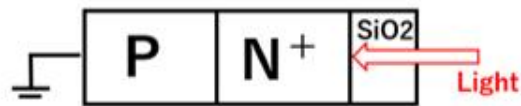
題目： 人工知能ロボットを支える、超光感度の賢い電子の目を太陽電池に応用する

概要

1975年に萩原良昭が発明(JPA1975-127646, JPA1975-127647, JPA1975-134985)考案した超光感度のイメージセンサーの受光素子構造は、Double 接合型の受光素子である。通称、Pinned Photodiodeと呼ばれる受光素子である。短波長青色光に対する感度特性が優れている事が知られているが、その受光素子構造を太陽電池の光電変換効率向上のために採用することを提案する。

Pinned Photodiodeの発明と開発努力

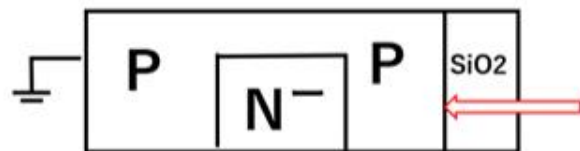
(1) Before 1970



(2) CCD Bell Lab, USA 1970

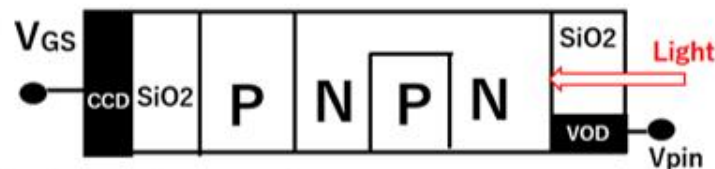


(3) Philips Netherland, June 9, 1975

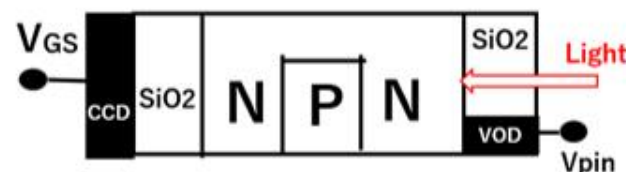


Netherland Patent 7506795 (JPA1976-65705)

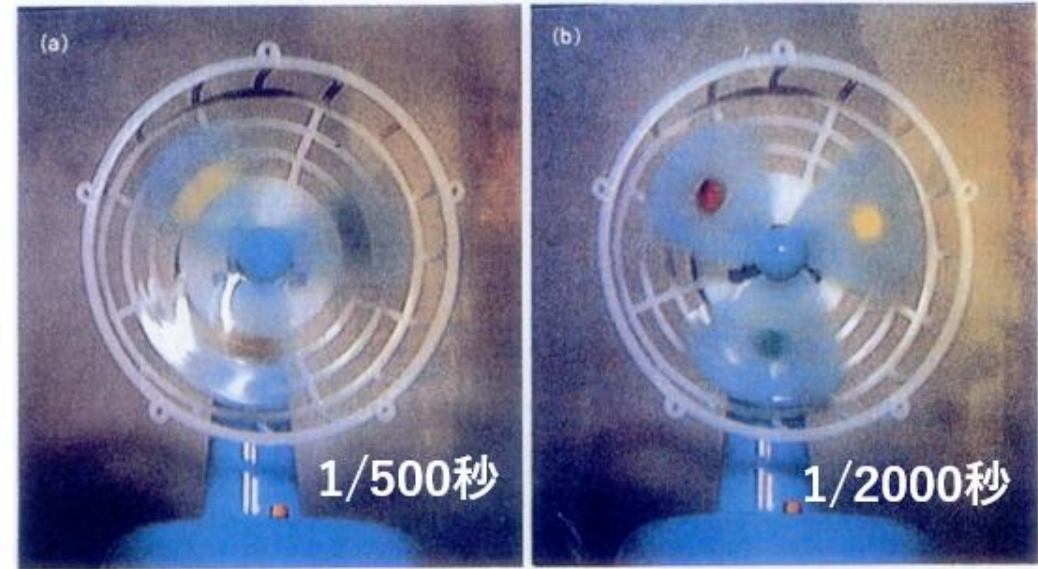
(4a) Sony (Hagiwara) Oct 23, 1975 JPA1975-127646



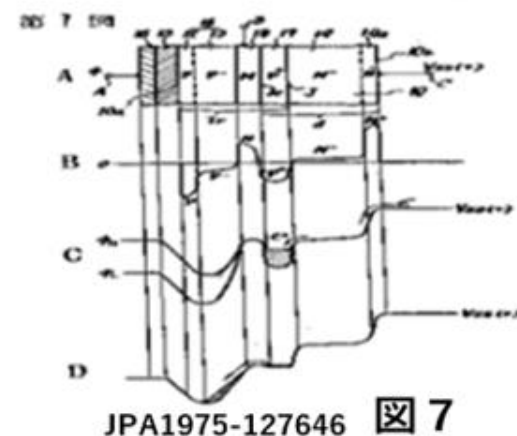
(4b) Sony (Hagiwara) Oct 23, 1975 JPA1975-127647



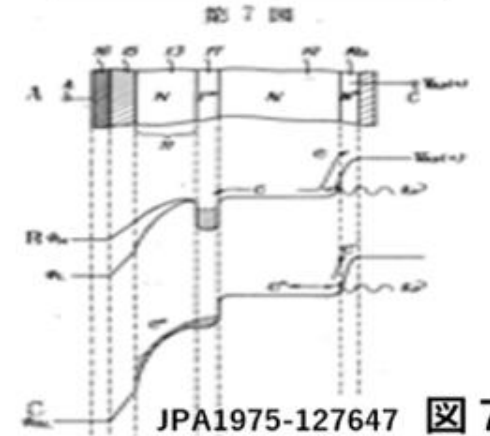
(5) Sony (Hagiwara) Nov 10, 1975 JPA1975-134985



電子シャッター機能付きビデオカメラ Sony 1987

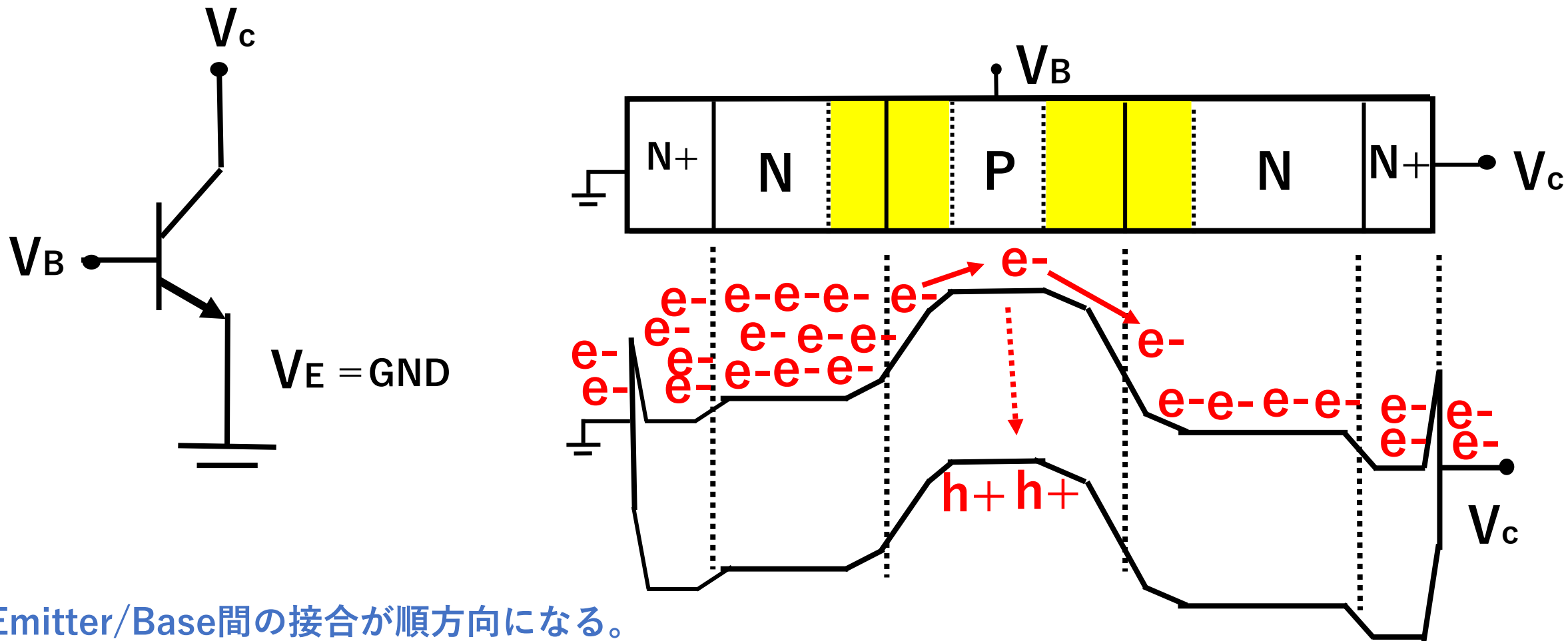


JPA1975-127646 図 7



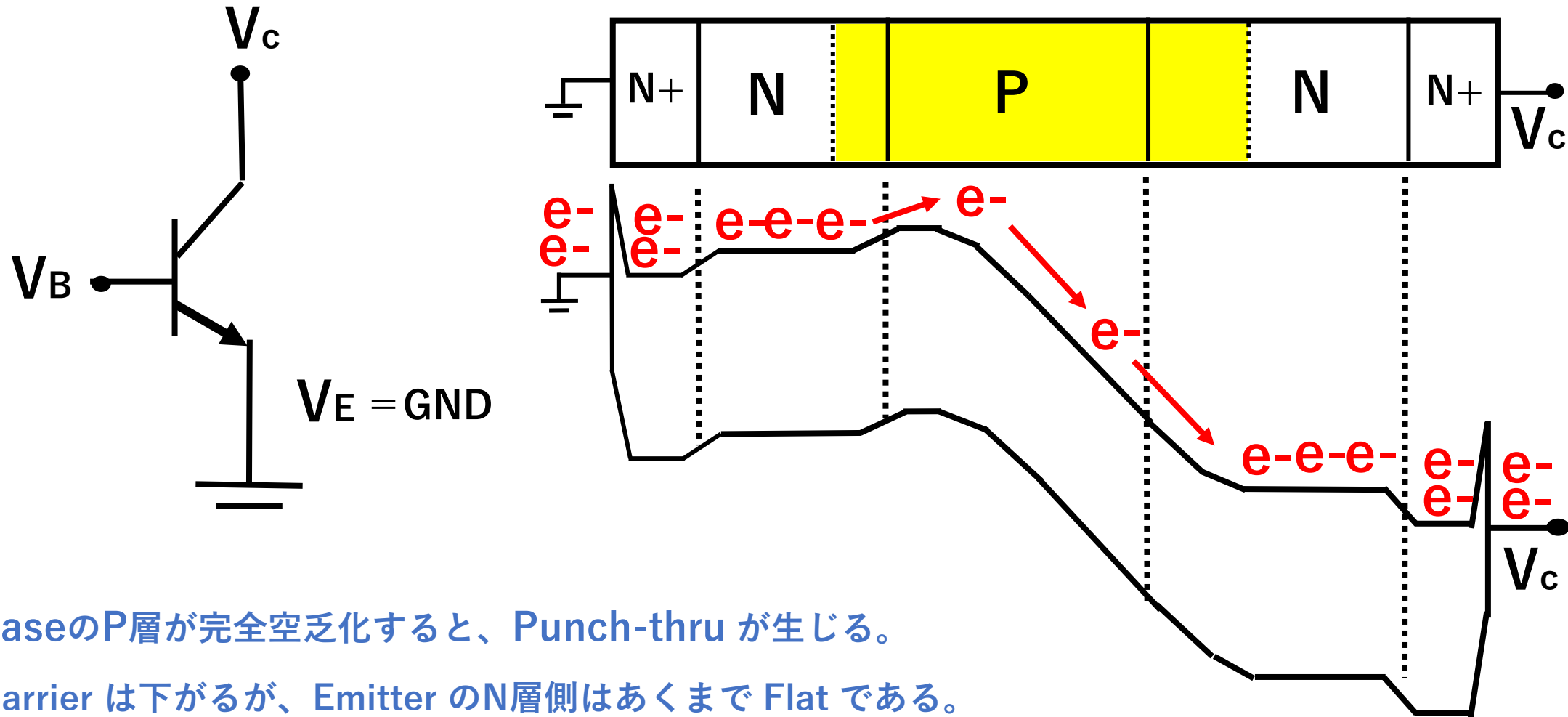
JPA1975-127647 図 7

通常のNPN Bipolar Transistorの動作原理



Emitter/Base間の接合が順方向になる。
電子の雲が丘 (Base) を乗り越える。一部はBaseでホールと再結合する。
ほとんどの元気な電子は、隣接するCollector端子側の絶壁を電子が滝のように流れ落ちる。
太平洋に低気圧がある時に、山を乗り越えて、雪雲が日本海側 (新潟) から関東平野に流れるこむ様子に似ている。

BaseのP層が完全空乏化し Punch-thru している Bipolar Transistor



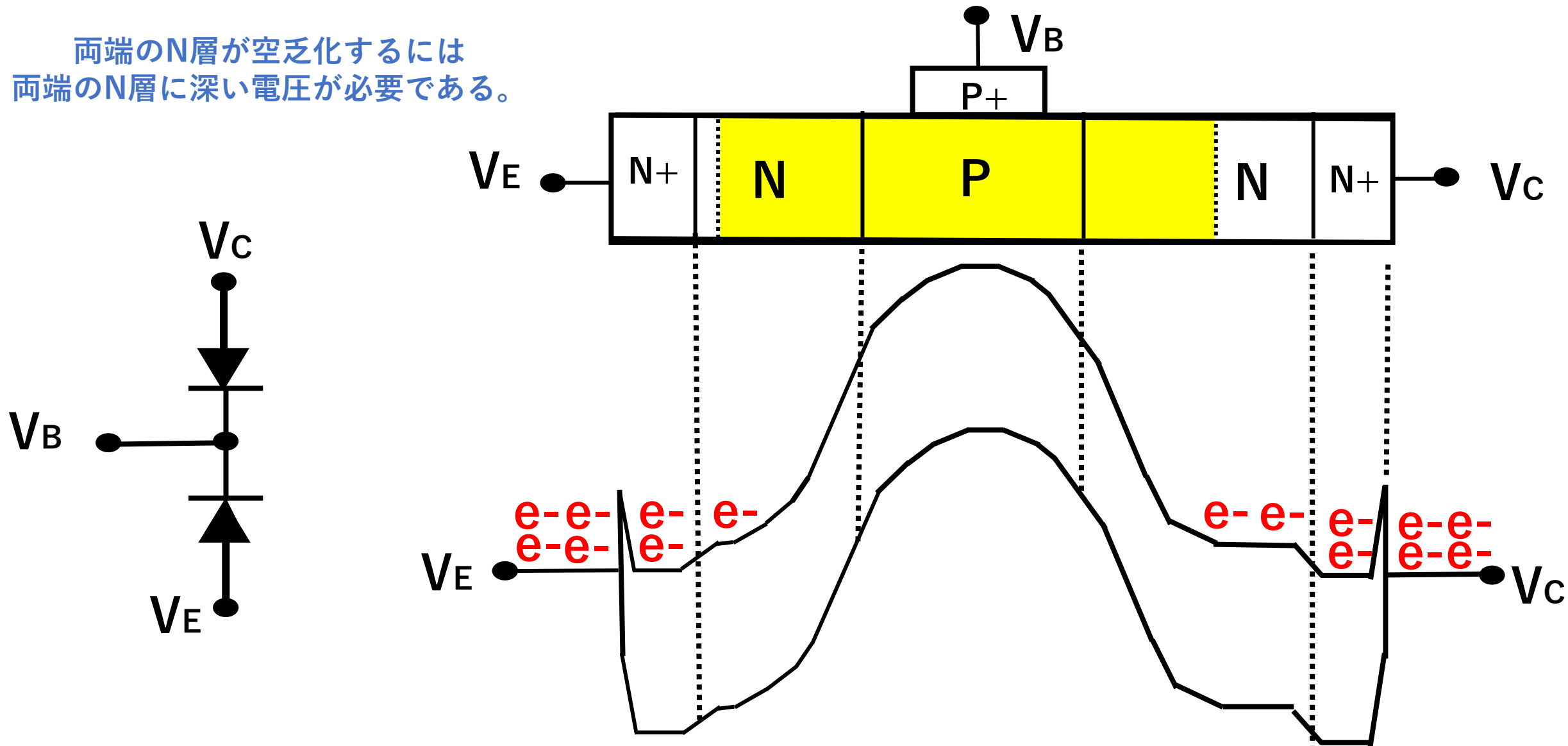
BaseのP層が完全空乏化すると、Punch-thru が生じる。

Barrier は下がるが、Emitter のN層側はあくまで Flat である。

Emitter のN層の表面には金属端子とのコンタクトがあり電界がない。
深い電圧が必要となり、通常の電圧では、Emitter のN層は完全空乏化できない。

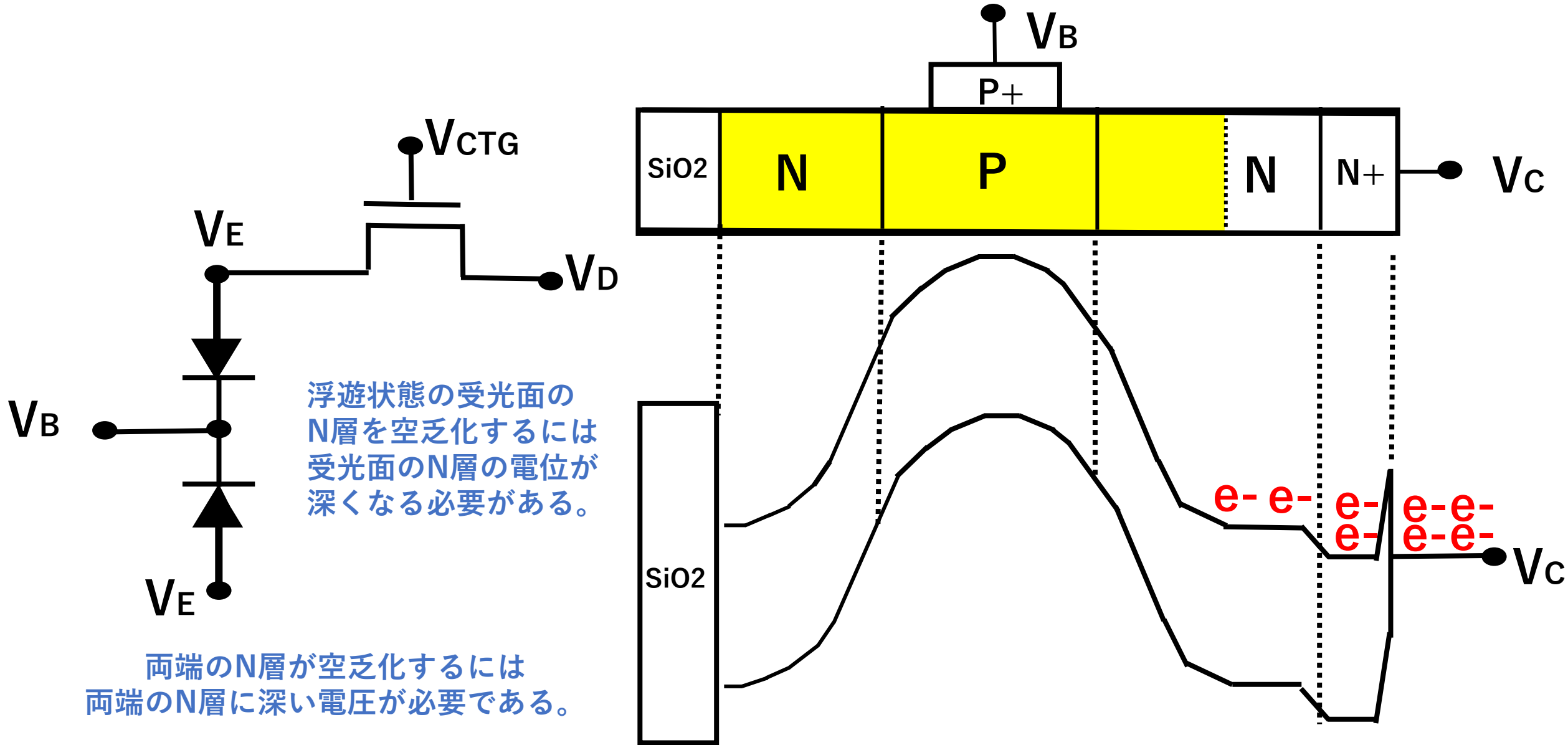
両端ともに逆バイアスされた NPN Double 接合の電位 Profile

両端のN層が空乏化するには
両端のN層に深い電圧が必要である。



Emitter のN層の表面には金属端子とのコンタクトがあり電界がない。
深い電圧が必要となり、通常の電圧では、Emitter のN層は完全空乏化できない。

受光表面のN層が浮遊状態（Floating Surface）のありかつ完全空乏化している場合



浮遊状態の受光面のN層を空乏化するには受光面のN層の電位が深くなる必要がある。

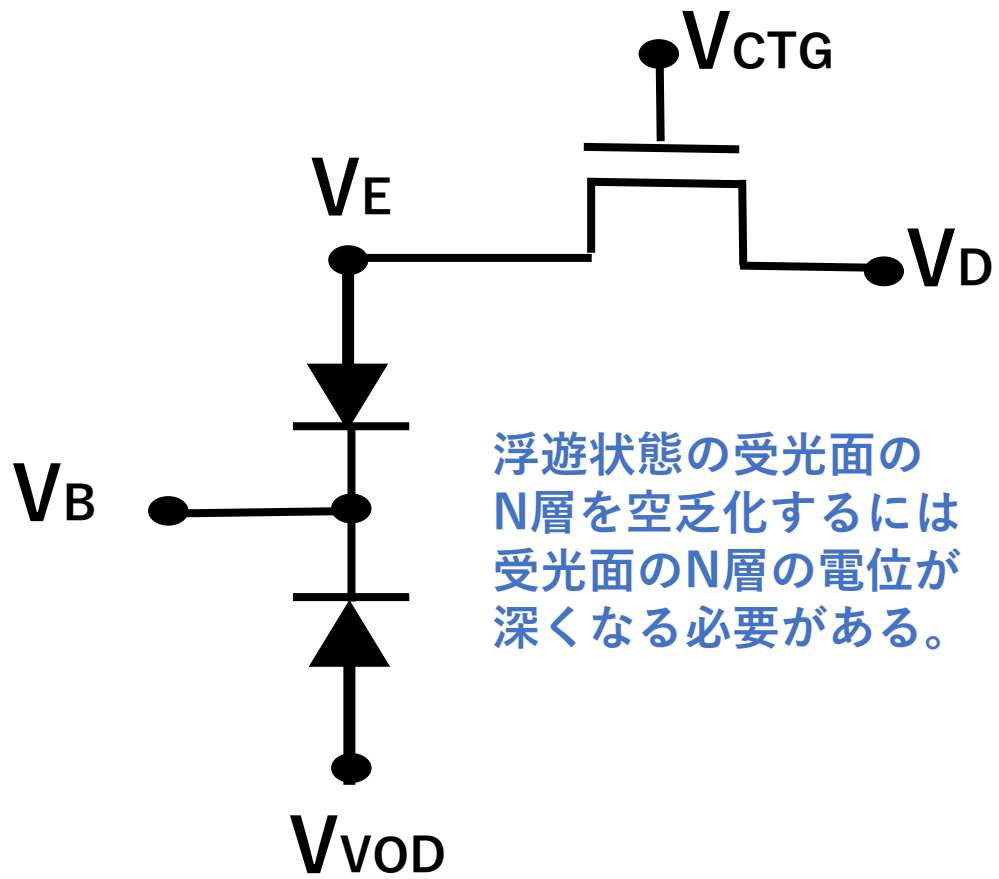
両端のN層が空乏化するには両端のN層に深い電圧が必要である。

深い電圧が必要となり、通常の電圧では、EmitterのN層は完全空乏化できない。

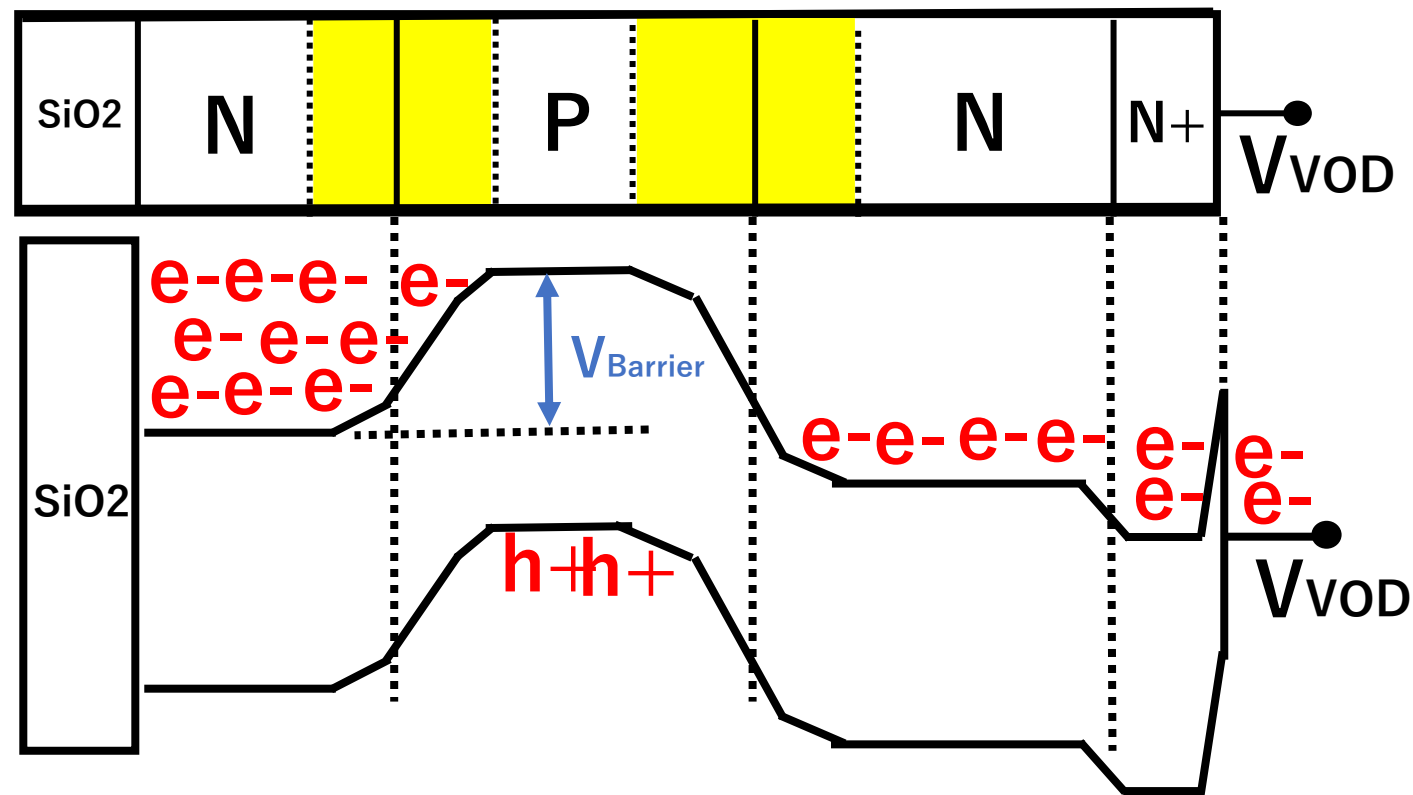
表面が浮状態 (Floating Surface) の NPNN+ Double 接合型受光素子

(東芝1977) JPA1978-1971 特許 on Vertical Overflow Drain (VOD)

VOD として機能するが電子シャッター機能はない。



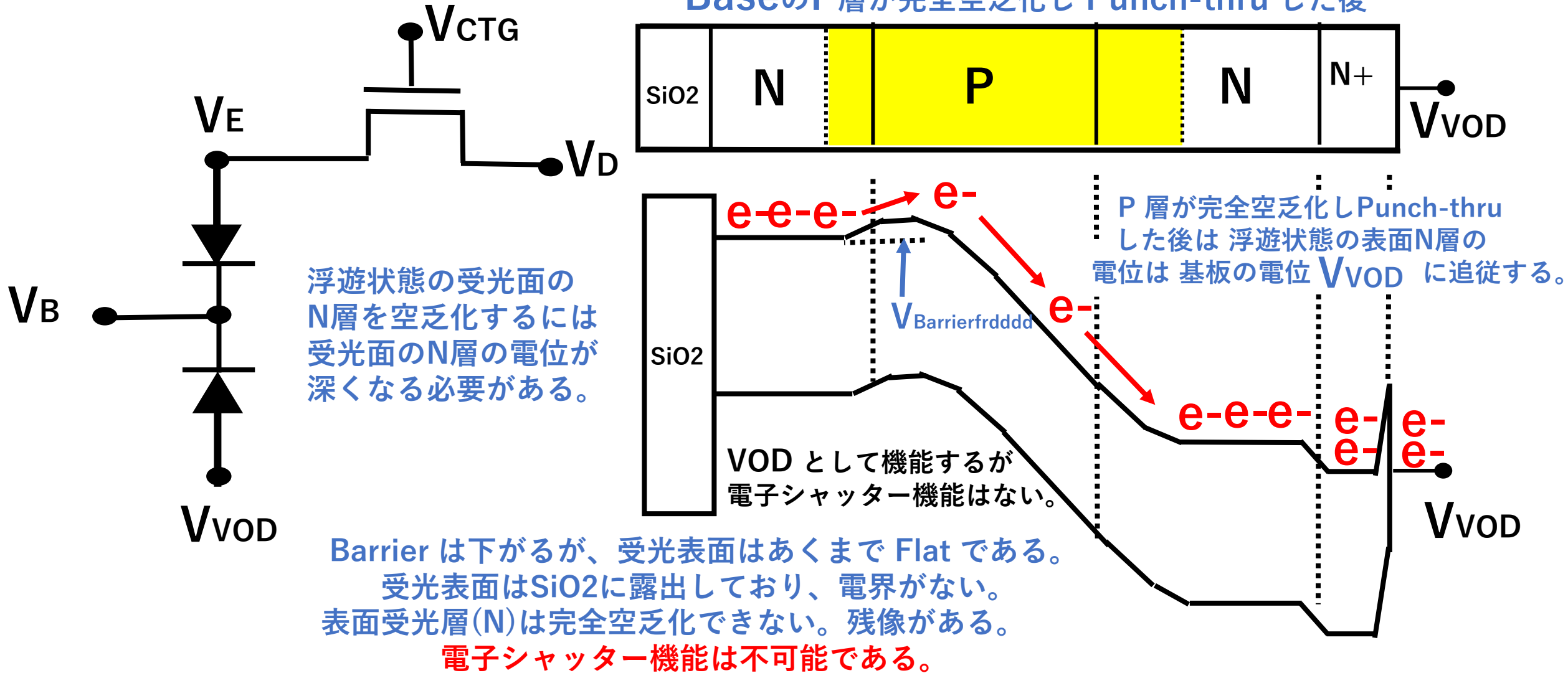
浮遊状態の受光面の
N層を空乏化するには
受光面のN層の電位が
深くなる必要がある。



表面が浮状態 (Floating Surface) の NPNN+ Double 接合型受光素子

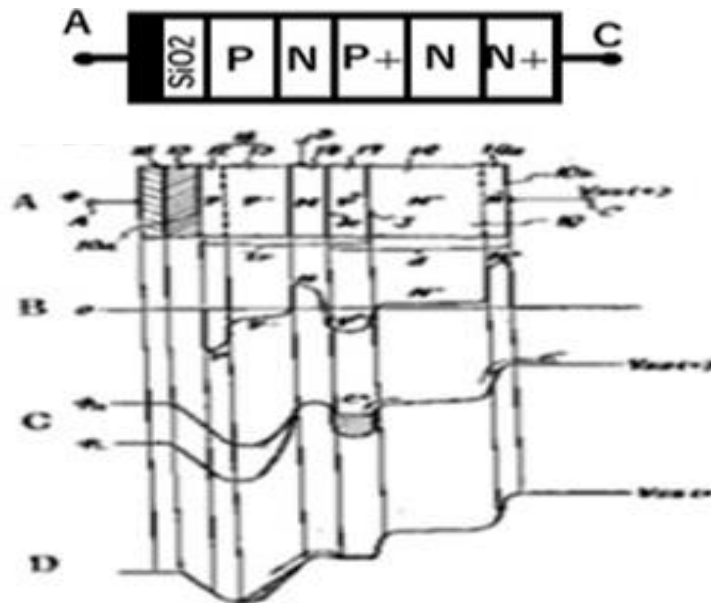
(東芝1977) JPA1978-1971 特許 on Vertical Overflow Drain (VOD)

VOD として機能するが電子シャッター機能はない。

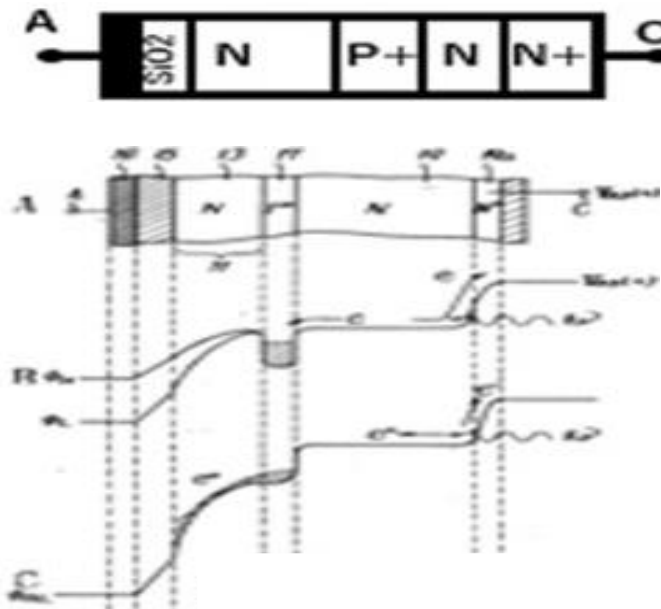


Who invented Pinned Photodiode ?

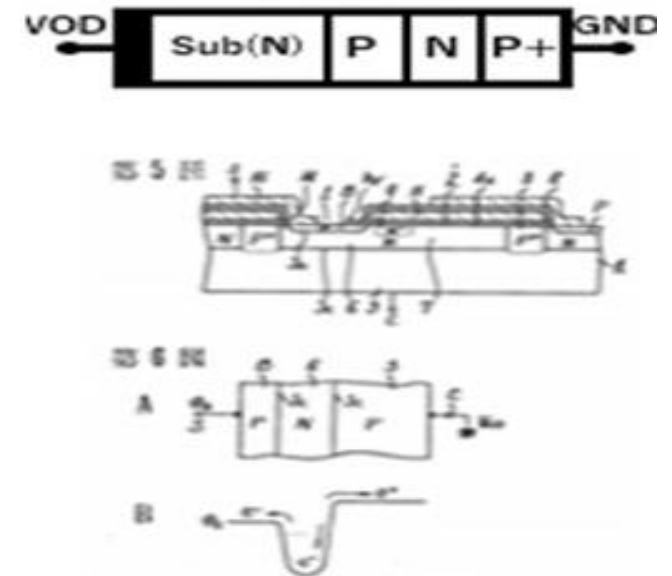
Hagiwara at Sony invented Pinned Photodiode in 1975. The evidence is given by the three Japanese patent applications, JPA1975-127646, JPA1975-127647 and JPA1975-134985. The first Pinned Photodiode was defined in October 23, 1975 as the N+NPNP triple junction (in Fig. 7 of JAP1975-127646) type and the N+NPN double junction type (in Fig. 7 of JAP1975-127647) type photodiodes with the N+ type pinned surface and the P type buried photo charge storage region with the complete charge transfer capability and the no-image-lag feature. The photo charge is transferred and drained to the CCD/MOS type charge storage buffer memory quickly by the strong punch-thru action. The second Pinned Photodiode was defined in November 10, 1975 as the PNP double junction (in Fig. 6 of JAP1975-134985) type photodiode with the vertical overflow drain action also with the complete charge transfer capability and the no-image-lag feature as evidence the empty potential well of the buried photo charge storage, completely depleted of the charge.



JPA1975-127646 Fig. 7



JPA1975-127647 Fig. 7



JPA1975-134985 Fig. 6

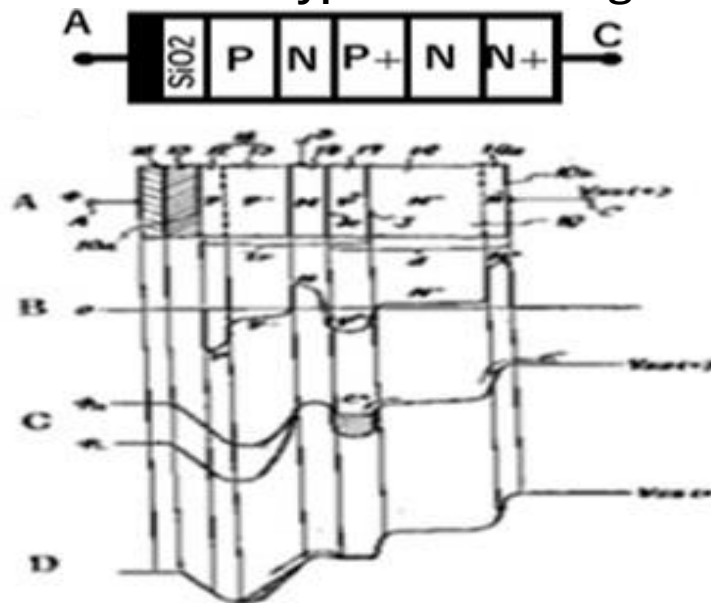
Who invented Electric Shutter ?

Hagiwara at Sony invented Electric Shutter in October 23, 1975. The evidence is give and explained in Fig. 7 of the Japanese patent application, JPA1975-127646, in which the first Electric Shutter function was defined. The photo charge is transferred and drained to the in-pixel buried channel type vertical overflow drain (VOD) region, which is defined as the buried channel region of the buried channel type CCD/MOS buffer memory capacitor. The three-voltage-level clocking scheme (Clock C and D) of the first Electric Shutter Function mode was defined in Fig. 7 of JPA1975-127646, using the strong punch-thru action mode between the buried P type photo charge storage region and the P-type in-pixel vertical overflow drain (VOD) region. The strong draining gate clock D voltage as shown by creates the very deep potential well in the in-pixel P-type buried vertical overflow drain (VOD) region in case of Fig. 7 of JPA1975-127646 while the strong draining gate clock C voltage creates the very deep potential well in the in-pixel surface N-type inverted region in case of Fig. 7 of JPA1975-127647.

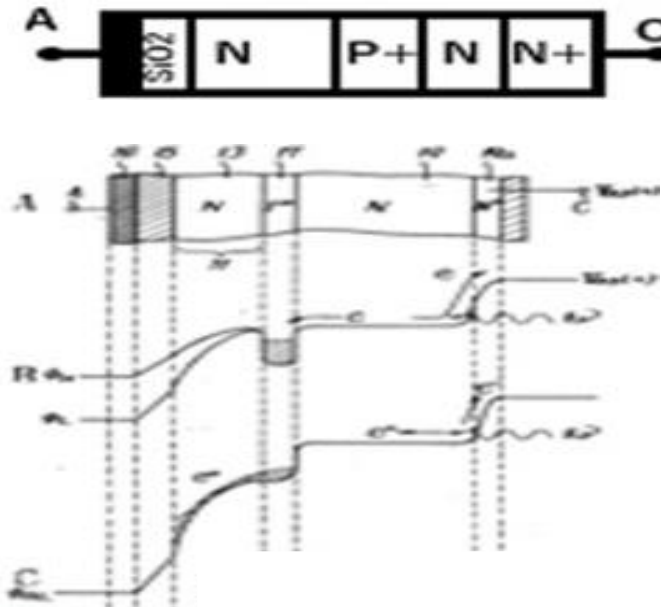
Hagiwara at Sony invented in 1975 the first Electric Shutter Function.

To achieve the complete Electric Shutter function, the surface of the photodiode must be pinned and fixed by the external constant voltage with the zero resistance.

The first Pinned Photodiode was invented by Hagiwara in 1975 to achieve the electric shutter function.



JPA1975-127646 Fig. 7

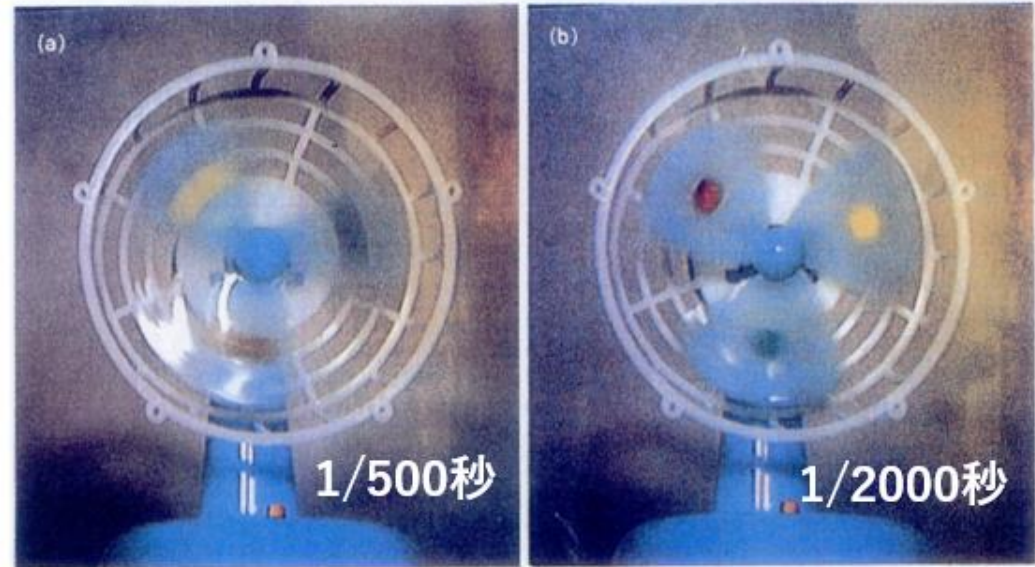


JPA1975-127647 Fig. 7

題目： 人工知能ロボットを支える、超光感度の賢い電子の目を太陽電池に応用する

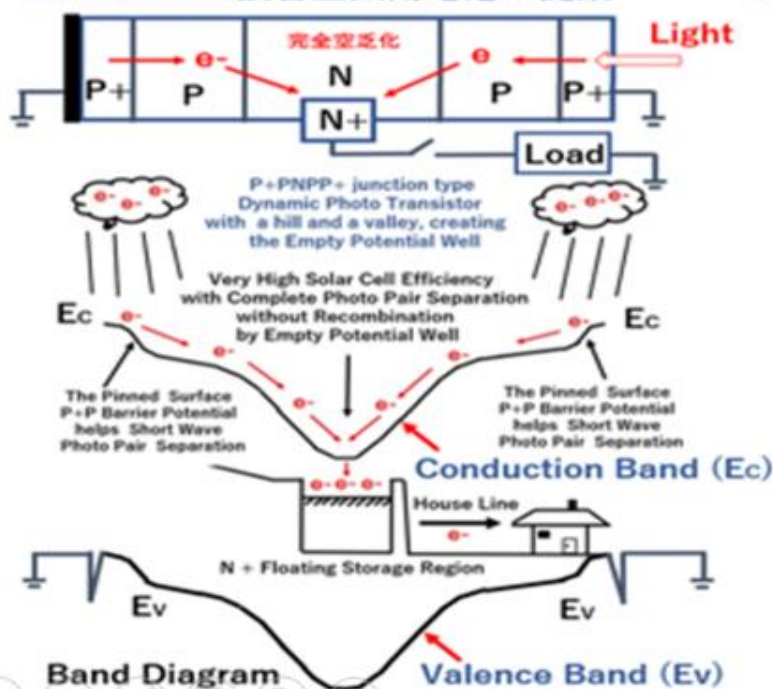
概要

1975年に萩原良昭が発明(JPA1975-127646, JPA1975-127647, JPA1975-134985)考案した超光感度のイメージセンサーの受光素子構造は、Double 接合型の受光素子である。通称、Pinned Photodiodeと呼ばれる受光素子である。短波長青色光に対する感度特性が優れている事が知られているが、その受光素子構造を太陽電池の光電変換効率向上のために採用することを提案する。

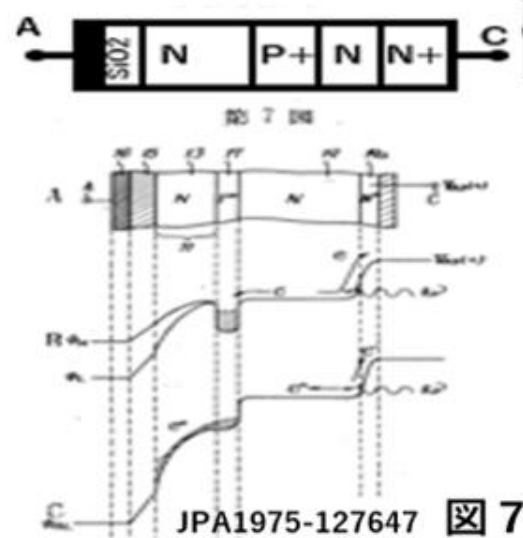
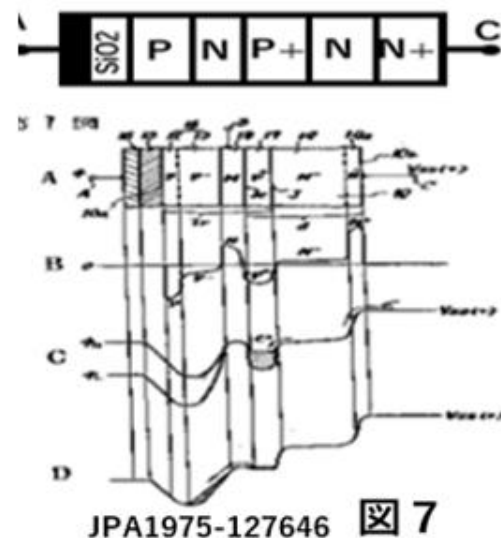
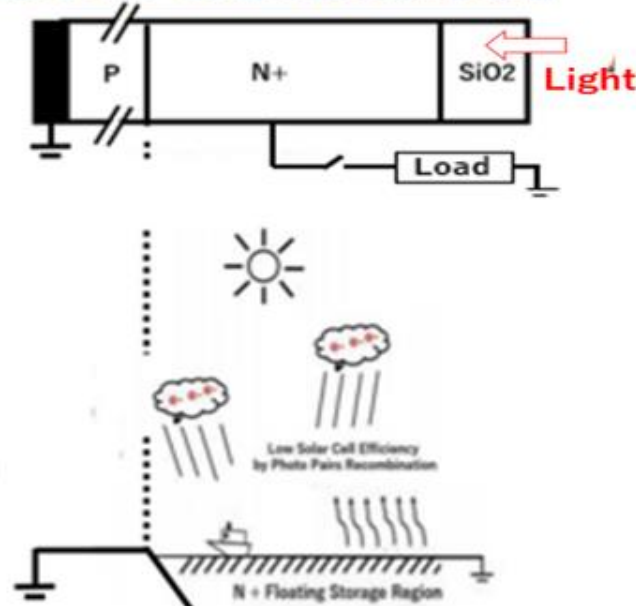


電子シャッター機能付きビデオカメラ Sony 1987

P+PN-PP+接合型太陽電池の提案



従来のN+P single 接合太陽電池



38万画素に達した固体撮像素子

最低照度5lxの高感度 インターライン型CCD

基板に余剰電荷を掃き出し、可変電子シャッタを実現

ソニー 半導体事業本部 CCD 事業部

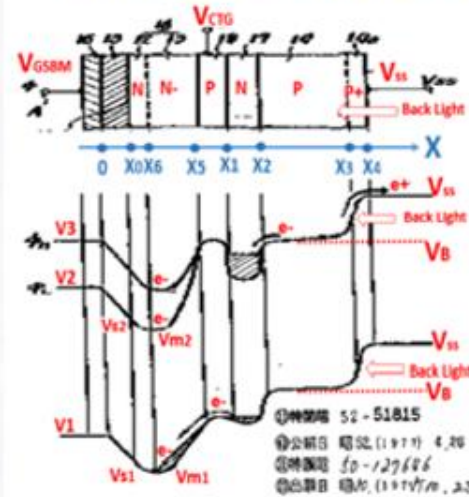
浜崎 正治
鈴木 智行
賀川 能明
石川 貴久枝
宮田 克郎

ソニー国分セミコンダクタ CCD 製造部

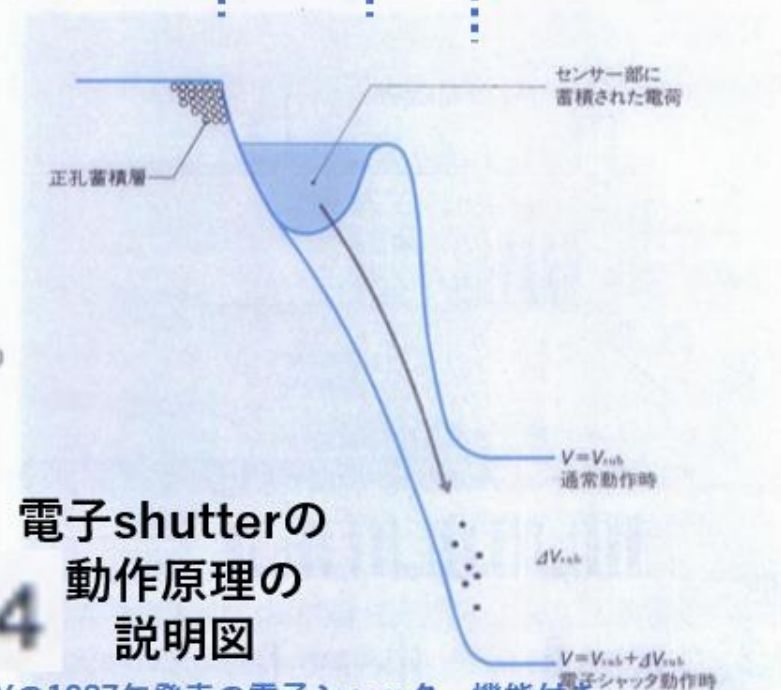
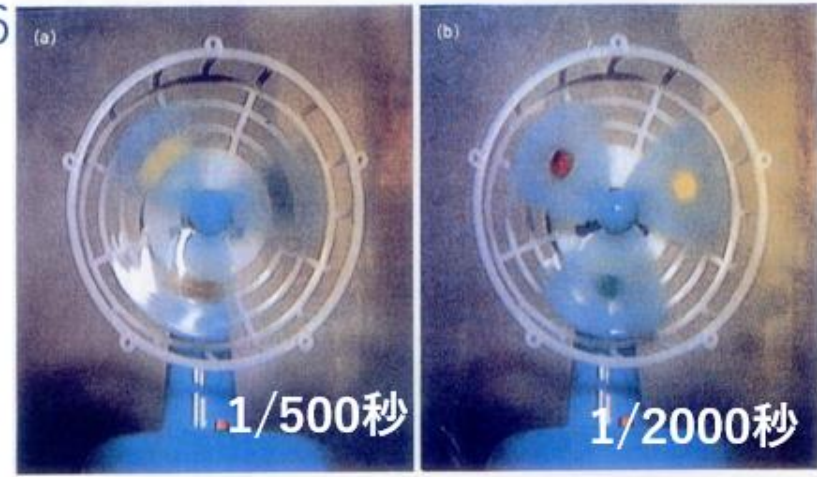
神戸 秀夫

最も一般的な固体撮像素子であるインターライン型CCDで、2/3インチで38万と大規模な画素数を持つ素子をソニーが製品化した。画素面積が小さくなることで減少する信号量を確保するため、縦型オーバーフロー・ドレインを採用して開口率を上げ、補色フィルタで光の利用効率を上げた。さらに界面準位からの暗電流を抑えている。この結果、81dBのダイナミック・レンジが得られた。

JPA1975-127646



JPA1975-127646の図7と同一受光構造である。受光表面はGNDにピン留めされた、P+NPNsub 接合型、すなわち Triple 接合型の Pinned Photodiode.



電子shutterの動作原理の説明図

SONYの1987年発表の電子シャッター機能付き Hole Accumulation Diode (HAD) 受光素子構造

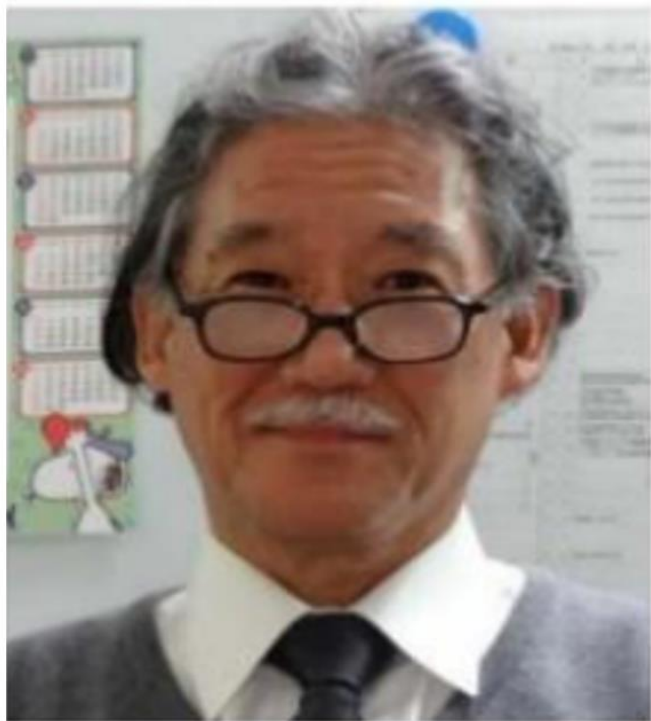
受光表面P+層と裏面のP+層の両面がピン留め接地された、P+PNPP+接合型新型太陽電池の提案

(4) double 接合型バイポーラトランジスタの電流増幅特性

詳細は青山社出版の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」に記載。

<https://www.seizansha.co.jp/ISBN/ISBN978-4-88359-339-2.html>

<https://www.seizansha.co.jp/>



崇城大学 理事長付き 特任教授
IEEE Life Fellow, Ph.D., 工学博士

仕様:B5判上製

475ページ

ISBN978-4-88359-339-2

発行日:2016/03/01



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

IEEE Life Fellow, Ph.D.

萩原 良昭 著

ISBN978-4-88359-339-2 B5判 上製 475頁

定価(本体9,000円+税)

未来の人間社会には人工知能パートナーシステム(AIPS)とも言える人間にやさしい支援システムが出現すると期待している。AIPS搭載の自動走行車や老人介護システム、人間型歩行ロボットやロボット・ハウスなどである。そこで本書では、そのAIPSを支える「デジタル回路の世界」と題し、ハードとソフトの両面で、人とコンピュータをつなぐデジタル技術について紹介している。図や絵をたくさん用意して、基礎からやさしく解説している。

Thank You !