

問合せ先： 崇城大学工学部ナノサイエンス学科

責任者： 草壁克己（内線：2846, E-mail: kusakabe@nano.sojo-u.ac.jp）

担当： 八田泰三（内線：2886, E-mail: hatta@nano.sojo-u.ac.jp）

第4回半導体講習会（講演会）

講演題目： 半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

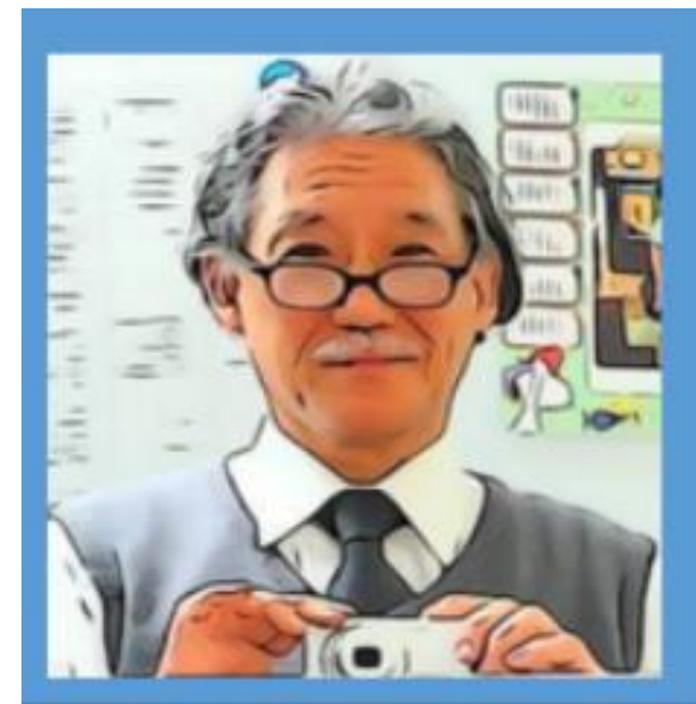
日時： 2022年12月14日（水）14:50～16:20（4限目）

会場： アクティブcommons（M号館）3階M303, 306

主催： 崇城大学工学部ナノサイエンス学科

講演者： 崇城大学特任教授

萩原 良昭



問合せ先： 崇城大学工学部ナノサイエンス学科

責任者： 草壁克己（内線：2846, E-mail: kusakabe@nano.sojo-u.ac.jp）

担当： 八田泰三（内線：2886, E-mail: hatta@nano.sojo-u.ac.jp）

第4回半導体講習会（講演会）

講演題目： 半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

これは半導体講座（15回講義）の紹介です。
資料の一部を利用して90分でご紹介します。

Part Q1_1

Part Q2_1

Part Q3_1

Part Q4_1

Part Q5_1

Part Q1_2

Part Q2_2

Part Q3_2

Part Q4_2

Part Q5_2

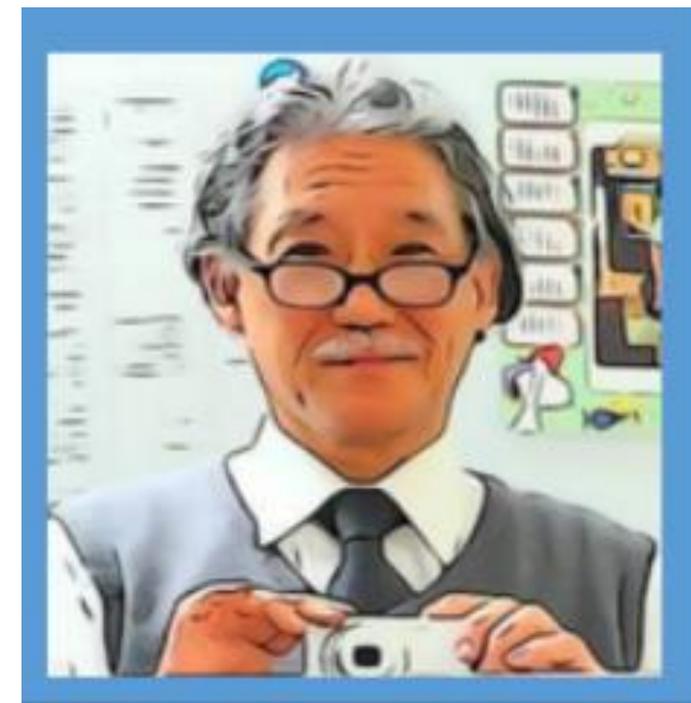
Part Q1_3

中間試験

Part Q4_3

期末試験

Part Q1_4



バイデン氏、TSMC工場訪問 米国内で供給網完結へ

【ワシントン＝飛田臨太郎、フェニックス＝佐藤浩実】バイデン米大統領は6日、半導体受託生産で世界最大手の台湾積体回路製造（TSMC）が建設を進めるアリゾナ州フェニックスの工場を訪問した。2024年に生産が始まる同工場を軸に、米国内で完結できるサプライチェーン（供給網）の構築を目指す。中国の影響を排除し有事に備える。

TSMCはバイデン氏の訪問に合わせる形で米



式典にはTSMC創業者の張忠謀氏も出席し、演説した

半導体、中国の影響排除

バイデン氏、TSMC工場訪問 米国内で供給網完結へ

国での新計画を発表。アリゾナ州への総投資額は従来計画比3倍強の400億ドル(約5兆5000億円)にする。米政府によると米国では過去最大級の海外投資となる。

半導体は最終製品になるまで様々な工程を通る。米企業は設計や半導体製造装置に強みをもつ一方、ファウンドリーと呼ばれる受託生産会社は育たなかった。これが国内で一貫した供給網を築こうとするうえで大きな穴となってきた。



式典にはTSMC創業者の張忠謀氏も出席し、演説した

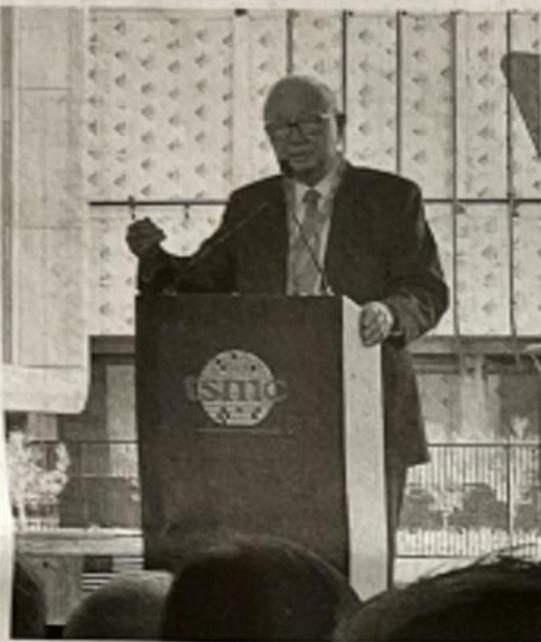
半導体、中国の影響排除

バイデン氏、TSMC工場訪問 米国内で供給網完結へ

バイデン氏は工場建設を祝う式典でTSMCの誘致が「ゲームチェンジャーになりえる」と強調した。米国旗と「メイド・イン・アメリカ」と書いた幕を掲げ「米国の製造業が戻ってきた」とも訴えた。

半導体の供給網が寸断されるような有事の際に、TSMCの影響力は大きい。台湾の半導体受託生産会社が1年間生産を止めると、世界の電子産業は1年間で4900億ドル減収するとの試算もある。米政府は8月に成立した新法に総額527億ドル(約7兆円)の半導体補助金を盛り込んだ。こうした巨額補助金が悲願のTSMC誘致につながった。

巨額の補助金は市場をゆがめ、保護主義につながるとの指摘がある。TSMC創業者の張忠謀(モリス・チャン)氏は式典で「地政学的な変化



式典にはTSMC創業者の張忠謀氏も出席し、演説した

半導体、中国の影響排除

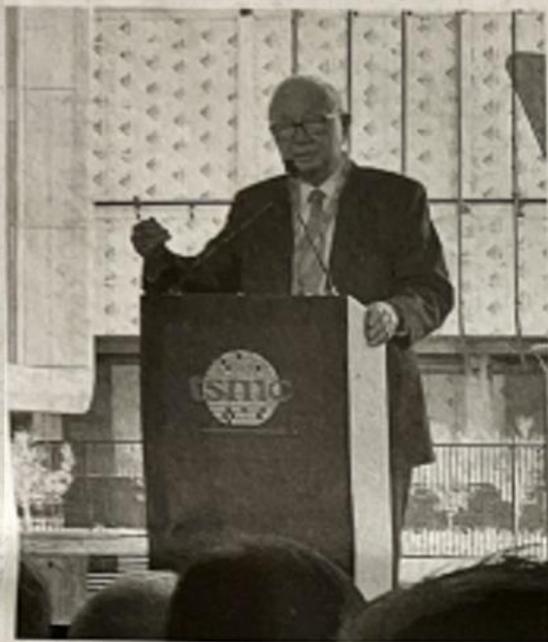
バイデン氏、TSMC工場訪問 米国内で供給網完結へ

があった。自由貿易はほぼ死んだ」と言及した。台湾の武力統一も辞さない中国を念頭においた発言とみられる。

台湾有事のリスクが高まるなかで、TSMCも米国の対中政策に足並みをそろえる。自由貿易の流れは逆回転し、安全保障の観点から経済を考える「経済安全保障」が国境をまたいだ企業活動にも表れる象徴的事例になる。

バイデン氏は「アリゾナは技術革新のためのハブであるとのビジョンを共有している」と説いた。アリゾナはTSMC進出を起爆剤に企業の進出計画が相次ぐ。

バイデン政権は半導体を中心に電気自動車なども含めたハイテク産業の一大集積地にしようとしている。カリフォルニア州よりも運営コストが大幅に安いことなどが背景にある。



式典にはTSMC創業者の張忠謀氏も出席し、演説した

半導体、中国の影響排除

日本経済新聞

12月14日

水曜日

ラピダス、米IBMと提携

次世代半導体 量産へ技術補完

次世代半導体の国産化を目指すラピダスは13日、米IBMと提携すると発表した。スーパーコンピュータなどに使う最先端製品の技術提供を受ける。経済安全保障上、半導体は重要な製品だが、国内では技術不足で先端品をつくれぬ。微細な回路の形成など日本にない技術を米欧との連

携で補い、国内で量産できるようにする。(関連記事3面に)

電子機器の「頭脳」にあたるロジック半導体(3面きょうのことば)

の技術の提供を受ける。半導体は回路の幅が細いほど高性能になる。世界でまだ生産技術の確立していない回路線幅2ナ

製品の技術のライセンスを購入する。IBMが中心となっている米国の研究機関にも技術者を派遣する。契約料などは明らかにしていない。

IBMは半導体の生産から2015年に撤退した。研究開発は続けており、2ナジの製品の試作に成功している。日本には回路の詳細な

同日の記者会見でラピダスの小池淳義社長は「IBMの基礎技術を一日でも早く自分のものにし量産技術を確認する」と語った。IBMシニアバイスプレジデントのダリオ・ギル氏は「2ナジ製品の技術を継続的に開発し、長期的な協業に取り組む」と述べた。ラピダスはトヨタ自動車やNTT、デンソーなど国内企業8社が出資して発足した半導体の生産会社。政府も700億円の補助金を出し、27年に次世代半導体を国内の工場で生産することを目指している。

米中、深まる半導体対立

輸出規制巡り 中国がWTOに提訴

米、同盟国に追随要請

【北京―川手伊織、ワシントン―飛田臨太郎】先端技術を巡る米中の対立が一段と深まっている。中国は12日、米国の先端半導体などを巡る対中輸出規制が不当だとして世界貿易機関(WTO)に提訴した。米

国は日本やオランダをはじめ同盟国に規制への追隨を要請し、中国包囲網の構築を急ぐ。米国は10月、スーパーコンピュータなど先端技術の対中取引を幅広く制限する措置を発表した。

半導体そのものだけでなく製造装置や設計ソフト、人材も含めて許可制とした。中国商務省は12日夜の

方針で基本合意したと報じた。

【国家安全保障担当】は同日の記者会見で、協議が進んでいることを認め「幅広い連携が行われることを望んでいる」と強調した。

半導体製造装置市場は首位の米アプライドマテリアルズ、2位のオランダ・ASML、3位の東京エレクトロンが競り合う。

米国の規制は外国企業でも米国製の技術を使っていれば、対中輸出を認めない。韓国や台湾の企業は米国製の設計ソフトなどを活用するケースが多く、規制の網をかけやすい。ASMLや東京エレクトロンは米国に頼らず作れる製品が多いとみられる。

先端半導体 日米欧で

ラピダス、IBMから技術提供

経済安保も念頭に

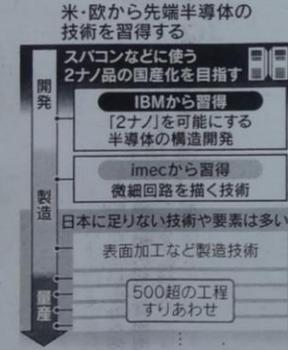
ラピダスが次世代半導体の国産化に向けて米欧からの技術導入を急いでいる。日本は半導体の製造装置などに強みを持つが、「2ナ」品と呼ばれる次世代半導体の生産で微細な回路を描く技術などをもち、米IBMなど米欧から足りない技術を補完する。半導体には500を超す工程があり、量産には課題も多い。(一面参照)

人材確保など課題多く

日本には半導体の製造を伴った、洗浄をした装置や素材などの分野で、製造装置では東京エレクトロンが強い。素材では信越化学工業が回路の基板となるシリコンウエハーのシェアで世界首位だ。回路の製造過程で基板表面に膜



撮影に応じるラピダスの小池社長(中央)、米IBMシニアバイスプレジデントのギル氏(同右)ら(13日、都内)



日本には半導体の製造に必要な要素はそろってると語った。一方、国内の半導体メーカーは2010年代にスマートフォンの「頭脳」にあたるロジック半導体の先端技術を生産設備に投資を続けてこられなかった。日本企業が次世代半導体を量産するには、欠けている技術やノウハウも多い。

次世代半導体を生産するにはまず回路の詳細な構造を把握しなければならない。これまでのロジック半導体は回路の構造が平面に近かったが、回路線幅2ナノ(ナは10億分の1)の次世代品では一段の微細化のため、立体的に見直さなければならなかった。

IBMは21年、新たな構造を使った2ナノ品の試作に成功している。ラピダスはこの回路の開発に関する技術ライセンスを得ることになる。同日に会見したラピダスの小池淳義社長は「テクノロジーを持つIBMと信頼関係を築いた。確実に(量産を)実現できる」と力

を込めた。生産面での技術も必要だ。ラピダスは6日、最新の製造技術を持つベルギーの研究機関imec(アイメック)との連携にも合意した。微細化に欠かせない「EUV(極端紫外線)露光」とよばれる技術を取り込む。

現在、国内で製造できるロジック半導体は15年ほど前に量産が始まった40ナノの製品にとどまっている。電子機器の頭脳としては性能が不足している。台湾積体回路製造(TSMC)とソニーグループなどが熊本で製造する半導体も12ナノ品と、先端品は比べれば数世代の遅れがある。

半導体の生産には500を超える工程があり、微細な回路を形成する加工技術などは「原子レベルの精度」(ギル氏)が必要になっている。先端装置を組み合わせて製造ラインを立ち上げた後、効率的に動かしたり、このことができる技術者や専門人材も国内では手薄になっている。

世界の大手も量産には苦戦している。かつてロジック半導体の技術的なリーダーだった米インテルは、10年代後半には先端品の立ち上げに手間取り、TSMCなどに後れを取った。現在、TSMCと競争を続ける韓国サムスン電子も、先端品の生産効率を高められていない。

先端半導体の国産化はロジックや、米欧との技術提携が矢張り先に進むのは、地政学リスクの高まりを国や企業が強く意識しているためだ。ロジック半導体の先端品は台湾が9割を生産する一極集中の構造になっている。米国がTSMCの先端工場を国内に積極的に誘致するのも、台湾有事を念頭に、自国内に生産網を確保しようとしているからだ。

(江口良輔)

シリコン
アイランド

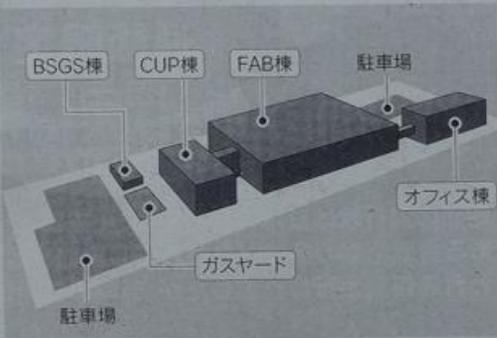
半導体受託生産の世界最大手、台湾積体回路製造(TSMC)の日本への工場進出が決まってから1年あまり。熊本県菊陽町ではおよそ1兆円を投じる工場の建設が2024年12月の出荷開始に向け、急ピッチで進んでいる。巨大工場の全容が徐々に見え始めてきた中、地域の経済や雇用の底上げへの期待も膨らんでいる。

「工場の建設工事は非常に順調に進んでいる。TSMC子会社で新工場を運営するJASM(熊本市)の堀田祐一社長は10月、建設現場を訪れた西村康徳経済産業相にこう説明した。通常なら3年くらいかかるような作業などを、1年半程度で済ませるとしている。

2022年春に着工したTSMCの新工場は敷地面積が約21・3万と、東京ドーム4・5個分に相当する広さがある。このほど明らかになった工

見えてきた熊本新工場

TSMC新工場のイメージ



(注)JASMの資料に基づき、日経新聞が作成

場の完成イメージによる。と、広大な敷地には4つの棟とガスヤード、従業員らが使用する駐車場などの施設ができる。まずはJASMの本社「Bulk Specimen」がある「オフイス棟」がある。同社は現在、熊本市内に本社を置いているが、工場完成後は同棟に移る計画だ。FAB棟は工場を意味し、広大な敷地内でも最大規模の施設となる。クリーンルームをはじめ半導体製造を担うさまざまな設備が入る生産現場となる。計画では23年末から生

TSMC 1兆円投資 建設急ピッチ



建設工事が進む台湾積体回路製造(TSMC)の新工場予定地(10月、熊本県菊陽町)

産に必要な機器を搬入し、24年12月の出荷開始を目指している。回路の線幅が10・20ナノ(ナノは10億分の1)級の半導体で、月に5万5000枚(300ミウエハー換算)生産する予定だ。「操業開始時から100%再生可能エネルギーを使用する予定」(堀田氏)と説明するように、環境にも配慮する。TSMC自体も30年までにすべての生産、事業拠点の使用電力の40%を再生エネルギーにする目標を掲げる。50年までに100%再生エネルギーにする長期目標もあり、熊本の新工場もその流れに沿ったものだ。

新工場を巡っては、県内への経済波及効果が22年からの10年間で4兆3000億円規模に上るとの試算がある。同県の県内総生産(19年度名目)は6兆3634億円だけに、地域経済の押し上げが期待される。新工場では約1700人が従事する。台湾から約320人が来日するほか、新卒や中途での約700人の採用などを予定する。雇用面でも好影響が想定されている。一方で、周辺の渋滞対策や増加が見込まれる人口に対応した住宅の整備、台湾からの帯同家族の教育など、受け入れに伴い解決すべき課題は残っている。工事現場では11月24日にクレーン車が横転する事故が発生した。けが人はいなかったが、大規模工事だけに作業に従事する人や使用する車両・機械も多く、安全確保は最重要事項だ。地元からは安全、順調に工事を進め、計画通り生産を始めることへの期待が高まっている。(近藤康介)

2022年(令和4年)

12月14日

水曜日



令和4年(2022年)12月14日 水曜日

3 総合

ルーテル学院に小学部

TSMC進出で 24年春に開校へ 英語教育を充実

学校法人九州ルーテル学院(熊本市中心区)がインターナショナルスクールの「TSMC」進出に合わせ、関係者の子どもや県内からの受け入れを進めたい考え。

学院によると、1学年1クラスで各学年20人弱の受け入れを想定。外国人職員ら約10人も新たに採用する。来年夏以降に同窓会事務局と会議室が入る「エカド会館」を改修し、24年春の開校を目指す。今後事業計画を具に提出し、県が諮問する私学審議会の了承や知事の認可手続きを経た後に募集を開始する。

学院の松本充石学長によると、小学部設置は26年の



九州ルーテル学院が改修して小学部校舎とするエカド会館。熊本市中心区

を導入する計画で「英語を軸に特色ある学校づくりを進め、県民にインターナショナルスクールという選択肢を提供したい」と話している。

県私学振興課は「充実した英語教育は、TSMC関係者のニーズも高いと考えられている。費用面での支援も検討したい」と期待する。(小山智史)

有明沿岸道 整備加速

国交省と 連絡会議の初会合

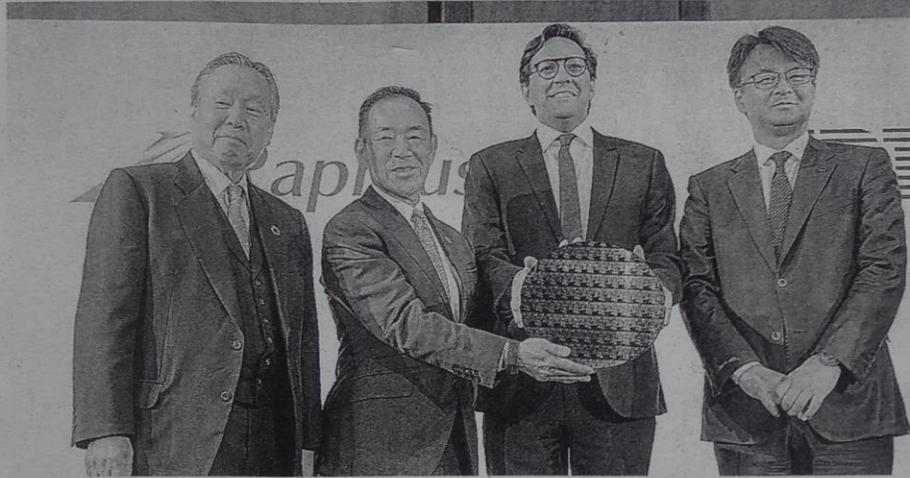
国土交通省と県、熊本市は13日、佐賀、福岡、熊本3県を結ぶ「有明海沿岸道」(有明道)の県内区間整備に向けた連絡会議の初会合を県庁で開催。地域の災害リスクや経済状況などの課題を整理し、整備を加速することを確認した。

有明道は昨年、県と熊本

市の今後20〜30年間の道路整備構想「新広域道路交通計画」の一つに位置付けられており、具体化に向けた条件整備を進める。国交省熊本河川国道事務所の三保木悦幸所長は、佐賀や福岡と比べて熊本県内の整備が大きく出遅れていることに触れ「情報共有を深めたい」と述べた。

記者会見で撮影に応じる「Rapidus」の小池淳義社長（左から2人目）と米IBMシニア・バイス・プレジデントのダリオ・ギル氏（同3人目）ら＝13日、東京都内

国産化めざす「ラピダス」と米IBM



日本の主要企業が出資し次世代半導体の国産化を目指す新会社「Rapidus（ラピダス）」と米IBMが13日、東京都内で記者会見し、半導体の共同開発パートナーシップを締結したと発表した。ラピダスはIBMの協力を得て、回路線幅が2ナノ（ナノは10億分の1）相当の微細な半導体を2027年から製造する目標を掲げている。

次世代半導体開発で提携

ラピダスの研究者と技術者は、世界最先端とされる米ニューヨーク州の半導体研究拠点でIBMと協働する。

ラピダスの小池淳義社長は記者会見で、次世代半導体の開発に関し「IBMのテクノロジを習得し、日本政府の支援を得て確実に実現できる自信がある」と強調。IBMシニア・バイス・プレジデントのダリオ・ギル氏はラピダスとの連携により「米国、欧州、日本で生産能力のバランスを取り、強靱な世界を構築できる」と話した。

デジタル化の進展を背景に次世代半導体の開発が世界的に加速する中、日本は台湾や韓国、米国の企業に大きく後れを取っている。ラピダスは先行するIBMと連携し、次世代半導体の製造技術の開発を急ぐ。

ラピダスはトヨタ自動車やNTT、ソニーグループなど8社が計73億円を出資し、今年8月に設立した。政府も700億円の開発費を出し事業を後押しする。

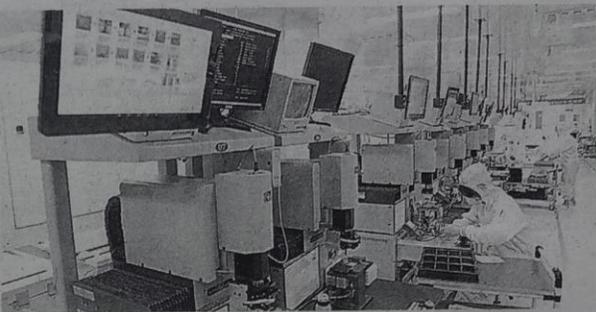
また、ギル氏は米政府が先端半導体関連の対中輸出規制に協力するよう日本に

要請したことによる両社の事業への影響は「特になく」とし、日米両政府の支援があると説明した。

中国、米をWTO提訴

半導体規制 不当と主張

【北京共同】中国商務省は12日、米国による半導体関連の対中輸出規制は不当だとして世界貿易機関（WTO）に提訴したと発表した。「米国は安全保障の概念を拡大して輸出規制を乱用している」と主張した。ハイテクを巡る米中対立が



中国黒竜江省牡丹江市にある半導体製品の工場＝8月（新華社＝共同）

さつに激しくなりそうだ。

商務省は「米国は半導体の正常な国際貿易を阻害し、世界のサプライチェーン（供給網）の安定を脅かしている」とし、「典型的な保護主義の手法だ」と非難。「WTOへの提訴という法的手段で中国の権利を守る」と強調した。

中国外務省の汪文斌報道局長は13日の記者会見で「ワシントンのやりたい放題にさせないよう、各国が立ち上がるべきだ」と述べ、国際社会の理解と同調を求めた。

米通商代表部（USTR）は12日、中国の提訴について「規制は安全保障に関連しており、WTOで議論するのは不適切だ」と反論した。サリバン米大統領補佐官（国家安全保障問題担当）は、半導体の対中輸出規制を巡り「日本やオランダな

どと話し合っている」と述べた。

米国は最先端技術が中国に軍事利用されることを防ぐため、中国への先端半導体に関する幅広い輸出管理規則の導入を10月に発表した。半導体製造装置や関連部品の中国への輸出に加え、中国の施設で先端半導体の開発や生産を支援する米国人の行動も米政府への許可申請の対象とした。

中国は高性能な半導体や製造装置を輸入に頼っており、米国による規制は製造業への打撃となる。

WTOの紛争処理小委員会（パネル）は今月9日、米国が鉄鋼・アルミニウム製品に課した関税がWTO協定に反すると結論付けた報告を公表。米国を提訴していた中国は「客観的、公正な判断を称賛する」とのコメントを出していた。

富士フイルム 韓国に新工場

半導体材料生産
24年春稼働予定

富士フイルムは13日、スマートフォンやデジタルカ

メラに使う半導体「イメージセンサー」向けの材料を生産する新工場を、韓国に建設すると発表した。投資額は数十億円規模で、2024年春に稼働予定。イメージセンサーは市場拡大が見込まれており、生産体制を強化する。

ソウル近郊の京畿道平沢に延べ床面積約4100平方メートルの工場を建てる。映像の色彩を豊かにする「カラーフィルター」の材料を手がけ、韓国の半導体メーカーに納品する。顧客企業

に近い場所で生産し、供給の迅速化を図る。

この材料を生産する工場は既に静岡県吉田町と台湾で稼働しており、韓国での新設により能力が1・3倍になる見通し。

アップル5年間で
対日支出額13兆円

【ニューヨーク共同】米アップルは12日、部品の購入など日本のメーカーに対する支出額が2018年以降で1千億ドル（約1兆8千億円）以上になったと発表

スマホやパソコンの頭脳

▽スマートフォンの頭脳に「メモリ」や温度などの情報をCPU(中央演算処理装置)などとして搭載され、電子機器の「頭脳」の役割を担う。回路を微細にしてトランジスタ(素子)の数を増やし計算能力を高めてきた。米アップルの「iPhone」に使われている最先端半導体には160億個のトランジスタが敷き詰められている。

▽最先端のロジック半導体の生産には1工場当たり1兆円を超える巨額投資が必要となる。量産できる企業は台湾積体回路製造(TSMC)や韓国のサムスン電子などに限られる。米中対立の激化などで経済安全保障上の重要性が高まり、TSMCの工場を熊本県に誘致するなど政府も国産化を後押ししている。

ロジック半導体

主な半導体の種類		
種類	機能や用途	搭載製品
ロジック	データ処理、機器の制御	スマホ、パソコン
メモリー	データ保存	スマホ、パソコン
アナログ	音や光、温度などの情報をデジタル信号に変換	パソコン、電気自動車(EV)
パワー	電圧を制御し、機器を省エネ化	EV、発電機器

ぎょうのくま

来年度の主要企業 最高益ほぼ横ばい

大和証券業績予想

大和証券は13日までにとめた主要上場企業の業績見通しで、金融と投資損益の影響が大きいソフトバンクグループを除く約200社の2022年度の経常利益が前年度比9・6%増で過去最高となり、23年度も0・6%増とほぼ横ばいながら最高益を更新する予想した。ただ23年度は半導体不足による自動車の生産

回復遅れなどのため、8月時点の4・2%増益予想から下方修正した。

大和証券のアナリストの予想を集計した。22年度は円安が押し上げ要因となり、経常利益の合計は46兆円になると予想。23年度は円安効果の一巡や欧米の金融引き締めによる世界景気減速の懸念もあり、増益は維持するものの微増の46兆

2千億円になると見込んだ。8月時点の予想では47兆5千億円を見込んでいた。ソフトバンクグループを含めた経常利益予想は22年度が12・9%増、23年度が0・9%増とした。

大和証券は「23年度は3年連続の増収増益で過去最高益を更新する予想だが、増益率は小幅であり、薄水の増益予想と言える」と分析。今後は円高や米景気の減速、人件費の増加がリスク要因となる一方、中国の新型コロナウイルス対策の緩和や原油価格の下落、企業のコスト転嫁のための値上げが進めば押し上げ要因になるとみている。

スマホやパソコンの頭脳

ロジック半導体

主な半導体の種類

種類	機能や用途	搭載製品
ロジック	データ処理、機器の制御	スマホ、パソコン
メモリー	データ保存	スマホ、パソコン
アナログ	音や光、温度などの情報をデジタル信号に変換	パソコン、電気自動車(EV)
パワー	電圧を制御し、機器を省エネ化	EV、発電機器

▽：スマートフォンやパソコンにCPU（中央演算処理装置）などとして搭載され、電子機器の「頭脳」の役割を担う。回路を微細にしてトランジスタ（素子）の数を増やし計算能力を高めてきた。米アップルの「iPhone」に使われている最先端半導体には160億個のトランジスタが敷き詰められている。

▽：最先端のロジック半導体の生産には1工場当たり1兆円を超える巨額投資が必要となる。量産できる企業は台湾積体回路製造（TSMC）や韓国のサムスン電子などに限られる。米中対立の激化などで経済安全保障上の重要性が高まり、TSMCの工場を熊本県に誘致するなど政府も国産化を後押ししている。

▽：半導体にはデータを保存する「メモリー」や温度などの情報をデジタル信号に変換する「アナログ」など4分野ある。ロジック半導体は付加価値が最も高く、2021年の世界市場規模は1548億ドル（約21兆円）と半導体全体の3割弱を占める。日本にはメモリなどの工場はあるが、最先端のロジック半導体の工場はない。

▽：最先端のロジック半導体の生産には1工場当たり1兆円を超える巨額投資が必要となる。量産できる企業は台湾積体回路製造（TSMC）や韓国のサムスン電子などに限られる。米中対立の激化などで経済安全保障上の重要性が高まり、TSMCの工場を熊本県に誘致するなど政府も国産化を後押ししている。

●Sensor 技術に関する言及が全くない。

●一体、どんな製品に半導体電子部品が必要か？

●半導体はすべての電気製品の部品です。

●電車から医療機器、通信、生産ロボット、自動走行車からリニアモーターカーから、ATM関連まで

きょうの「トク」は

みなさんが当然のように使っているビデオカメラがここでも大活躍、その技術は何か？

【W杯】日本勝たせた進化したVAR、ボール内蔵チップで1ミリ以下まで驚異の計測 開発者証言

12/2(金) 12:00 配信 1303



日刊スポーツ



日本対スペイン 後半、ボールに反応し、白線上で折り返す三笥（手前）（撮影・江口和貴）

<FIFAワールドカップ（W杯）カタール大会：日本2-1
スペイン>◇1次リーグE組◇1日◇ドーハ・ハリファ国際
競技場

【イラスト】ひと目でわかる「ボールインプレー」「アウトオブプレー」

ゴールラインを割った？ 割ってない？

サッカーのW杯（ワールドカップ）の1次リーグE組最終戦、日本-スペイン戦の決勝ゴールにつながった三笥薫（ブライトン）の折り返し。一見するとボールがラインを出たように見えた場面で、ビデオ・アシスタント・レフェリー（VAR）での確認が入った。

結果はボールがラインに触れていると判定され、「インゴール」。田中碧（デュッセルドルフ）が押し込んだ得点は認められ、日本の勝利につながった。

もとSONYの萩原良昭が1975年に26歳で発明特許出願した残像のない高速アクション撮影を可能にする P+NPN のtriple接合型 Pinned Photodiode (Sony Hole Accumulation Diode) の超光感度受光素子を採用した CMOS Image Sensor (CIS) だからこそ実現しました。その超光感度CISカメラを複数個同時使用して画像処理をReal Timeで実行する事が可能となります。ボール内蔵チップと連携させた並列画像処理システム（VAR）は半導体電子部品の塊です。半導体電子産業は産業のコメです。

“三笥の1ミリ”



<https://www.techgoing.com/qatar-world-cup-2022-var-semi-automatic-offside-technology/>

Evidently, the ball bottom point is touching at the ground point outside of the field line .

However, the ball is still on the line when looked from the top.

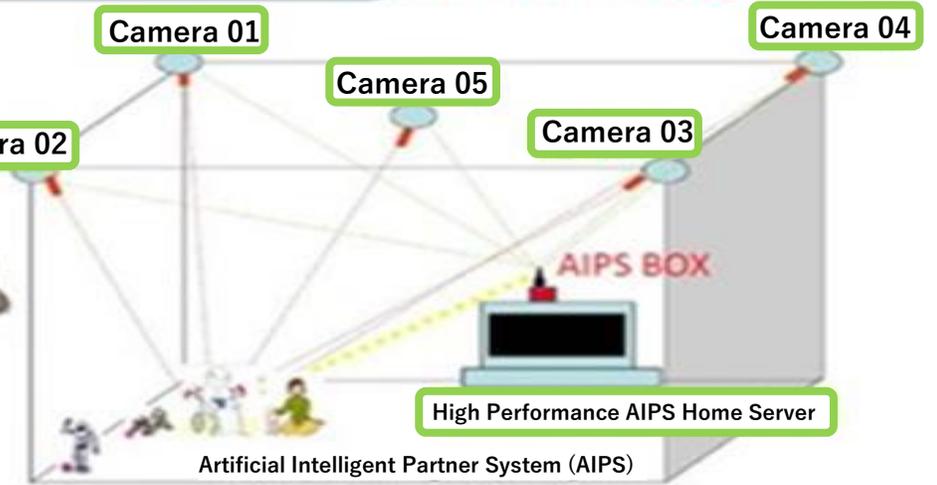
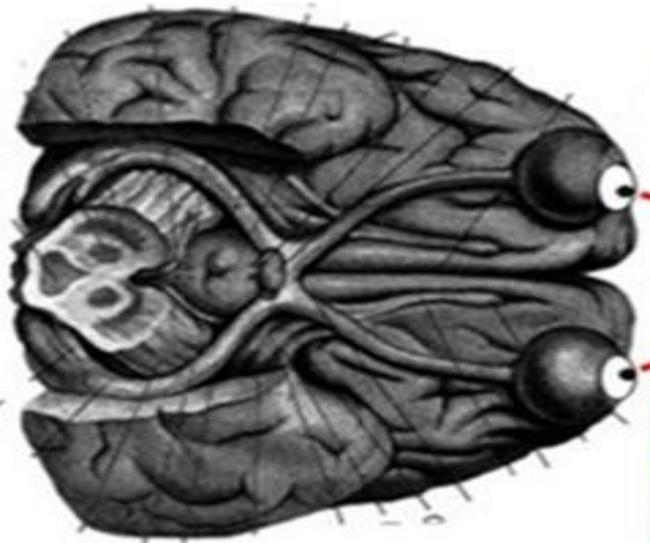
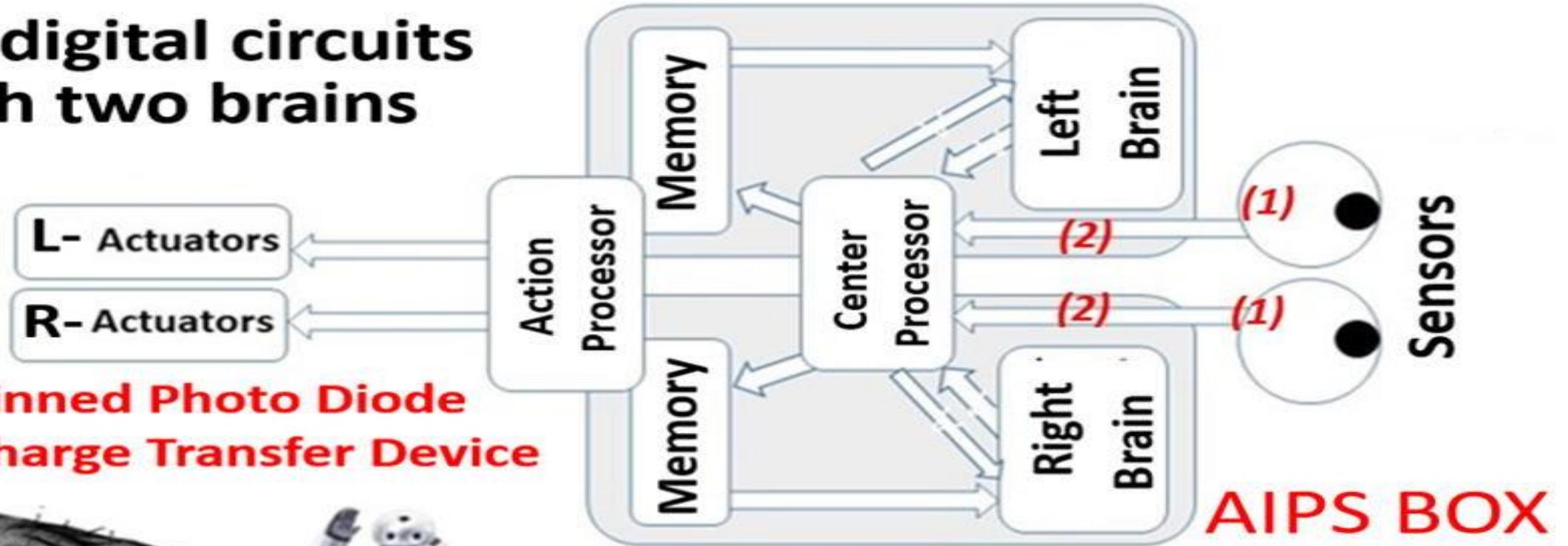
Qatar World Cup 2022: VAR semi-automatic offside technology

VAR at the 2022 World Cup in Qatar has 12 dedicated cameras. These camera have the triple junction type Pinned Photodiode, with the very high light sensitivity and the no image lag problem, realizing very fast action pictures with Global Shutter Function and completely mechanical-parts-free Electronic Shutter Function. Hagiwara at Sony invented Pinned Photodiode in 1975 and developed originally in 1978. See JPA1975-127646 applied on Oct 23 in 1975 and the SSDM1978 Conference Paper reported by Yoshiaki Hagiwara at Sony in Tokyo Japan in Sept 1978.



FIFA's use of VAR at the 2022 World Cup in Qatar will be different from the Premier League's use with the addition of a semi-automatic offside system. The new element uses 12 dedicated cameras that will track the ball and all players to calculate their exact position on the pitch.

AIPS digital circuits with two brains



<http://icccas.org/>



Yoshiaki Hagiwara is invited at ICCA2023 to talk on

“Artificial Intelligent Partner System (AIPS)

with Pinned Photodiode used for Robot Vision and Solar Panel”



Chronology of Silicon-based Image Sensor Development

Yoshiaki Daimon Hagiwara, IEEE Life Fellow

Sojo University, Kumamoto-city, Japan

Introduction

In 1970, the CCD image sensor was invented that provided complete charge transfer capability without image lag. The CCD image sensors were intensively studied and refined [1-5]. However, the MOS photo capacitor used in the CCD image sensor employs metallic electrodes which impede the short-wave blue light transmission.

Historically, the P+P doping variation in the base region of a bipolar transistor was first proposed by Herbert Kroemer in 1953 to realize the drift-field transistor for high frequency operations as shown in Fig. 1. The forward biased emitter-base junction injects electrons from the electron fog in the emitter into the base. There, the minority carriers swiftly migrate towards the collector thanks to the electric field induced by the P+P doping variation in the base region.

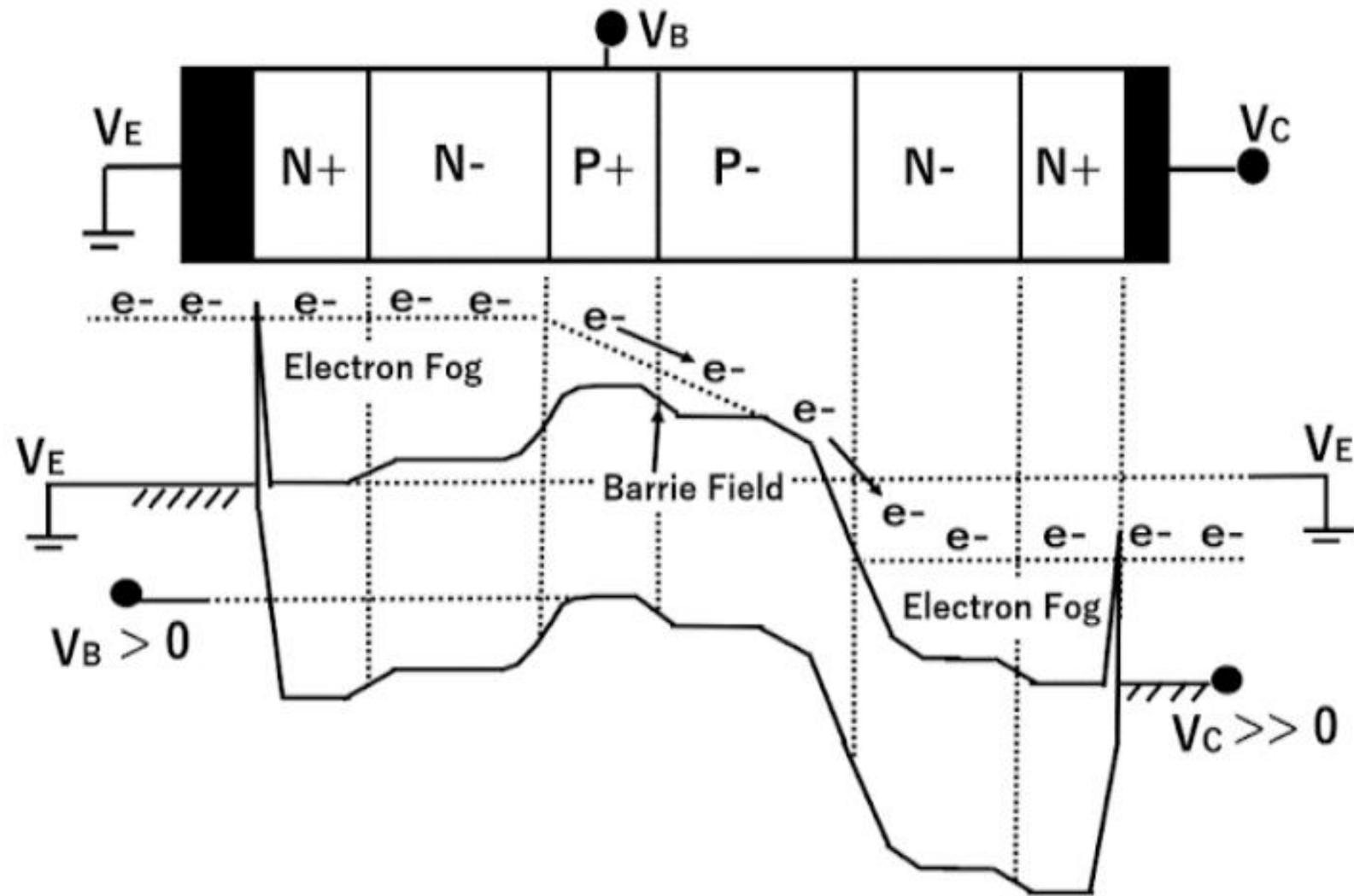


Fig. 1: The drift-field transistor for high frequency operations, invented by Herbert Kroemer in 1953.

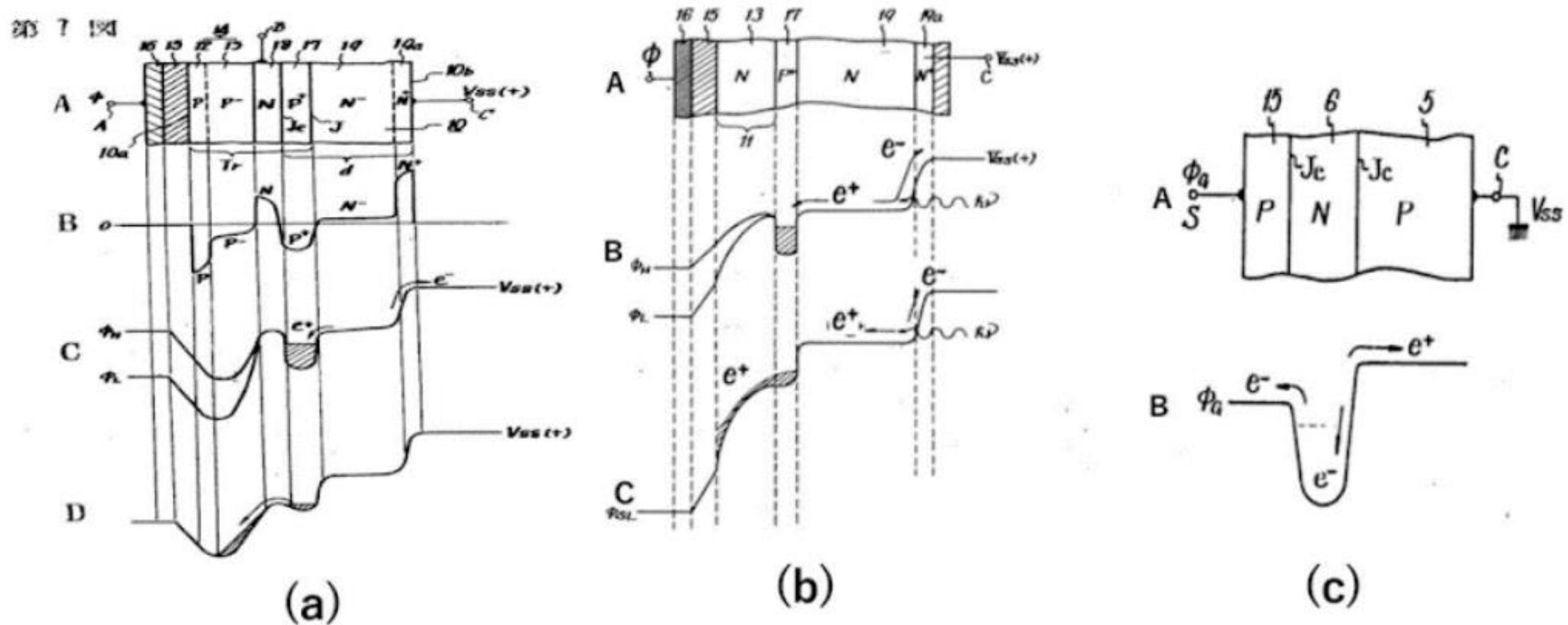


Fig. 2: Reproductions from the Japanese Patent Applications of (a) the N+N-P+NP-P triple junction PPD, (b) the N+N-P+N double junction PPD, and (c) the PNP double junction PPD.

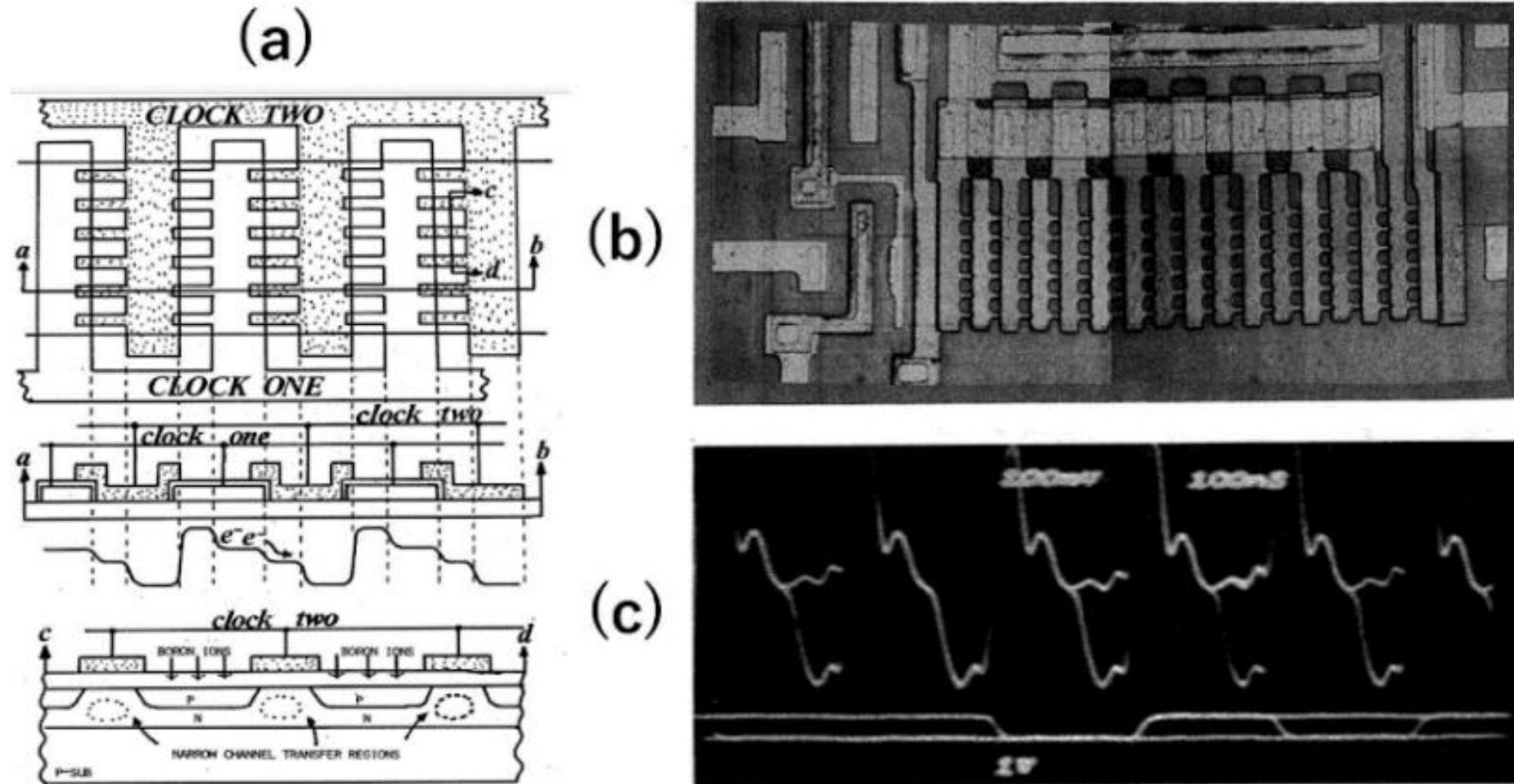


Fig. 3: (a) Top and cross-sectional views with the PPD type SiO₂-exposed light-receiving windows; (b) the chip photograph at both ends of the two-phase narrow-channel CCD analog delay line; (c) the output waveform showing the complete charge transfer capability without image lag.

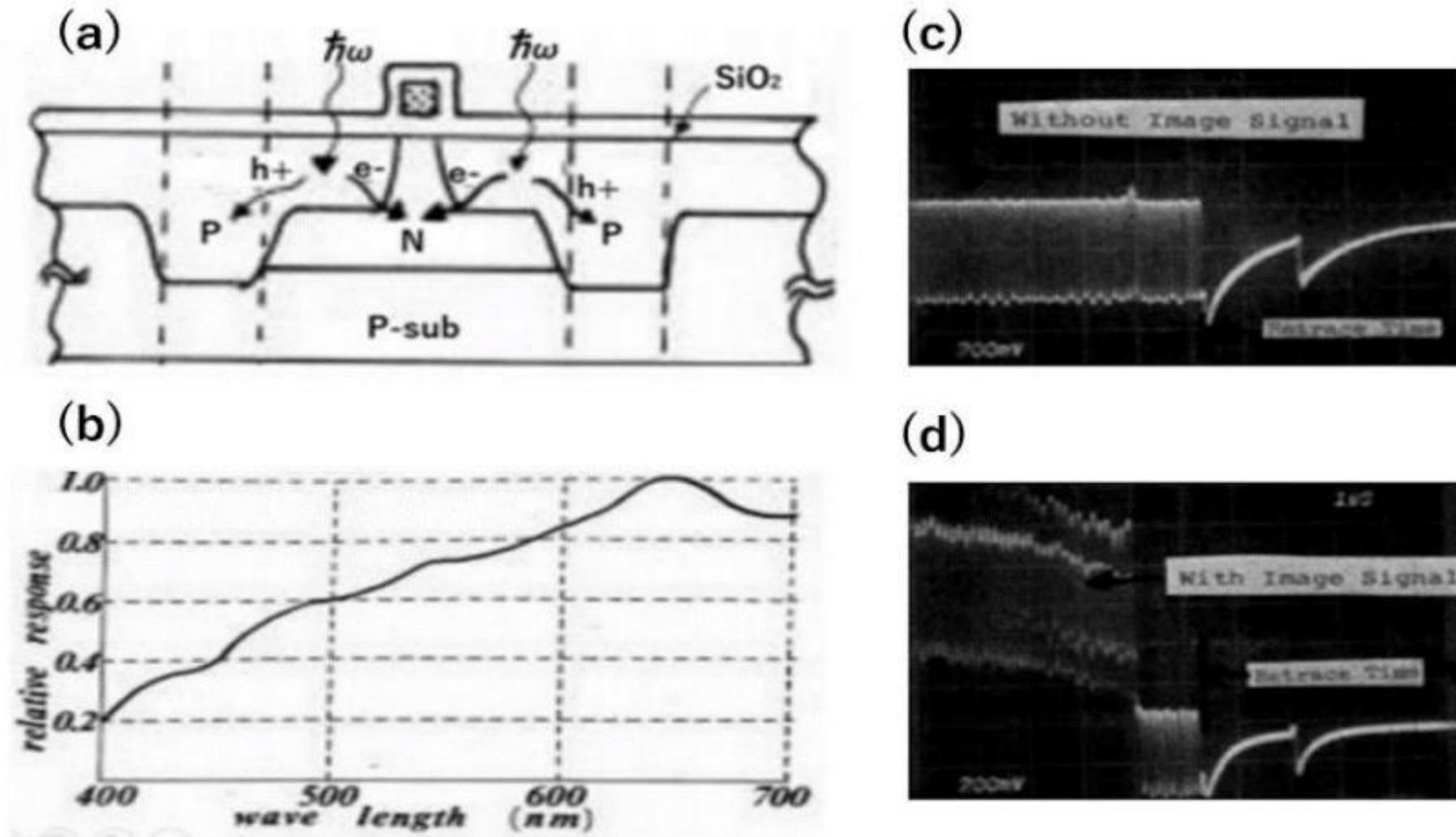


Fig. 4 (a) Pinned-surface and buried-storage PNP photodiode; (b) spectral response of the blue-light sensitive imager; output signal (c) without (d) with illumination.

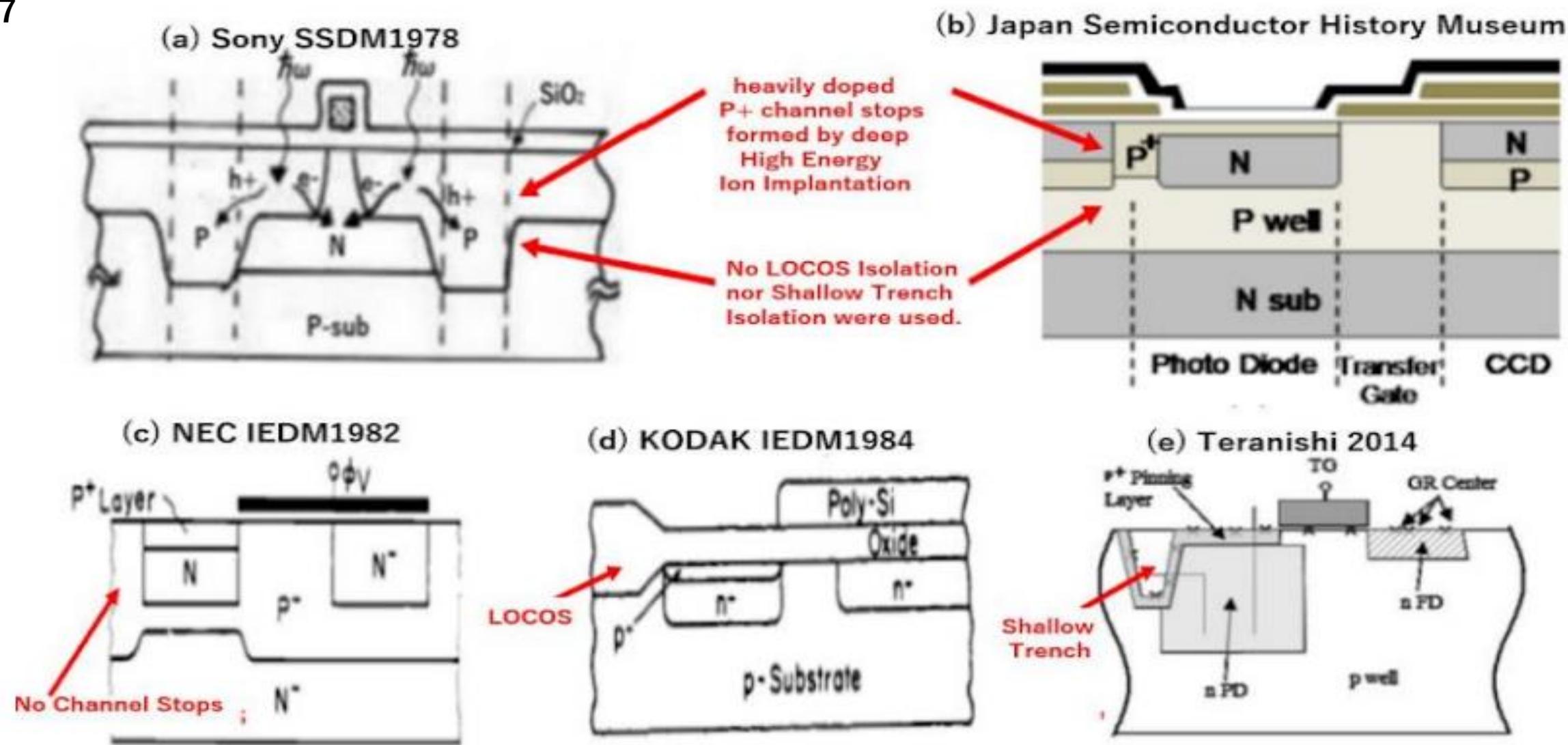


Fig. 5: (a) PNP double junction PPD developed by Hagiwara team at Sony in 1978; (b) PPD defined and shown by Semiconductor History Museum of Japan, (c) NEC buried photodiode [17], (d) Kodak PPD [18], (e) PPD reported by Teranishi [25,26].

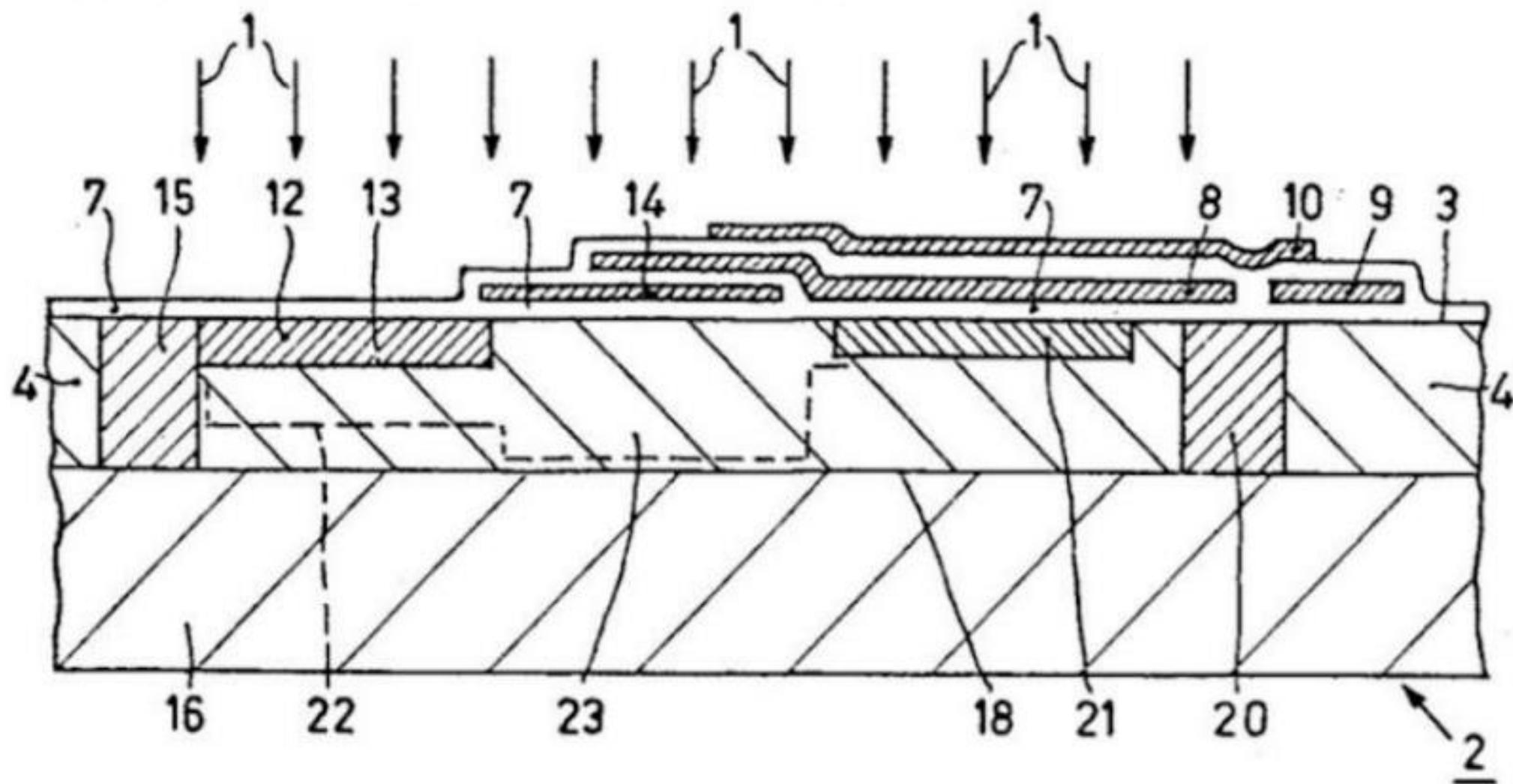


Fig. 6: The double junction type buried photodiode image sensor; reproduced from Netherland Patent Application NPA [6].

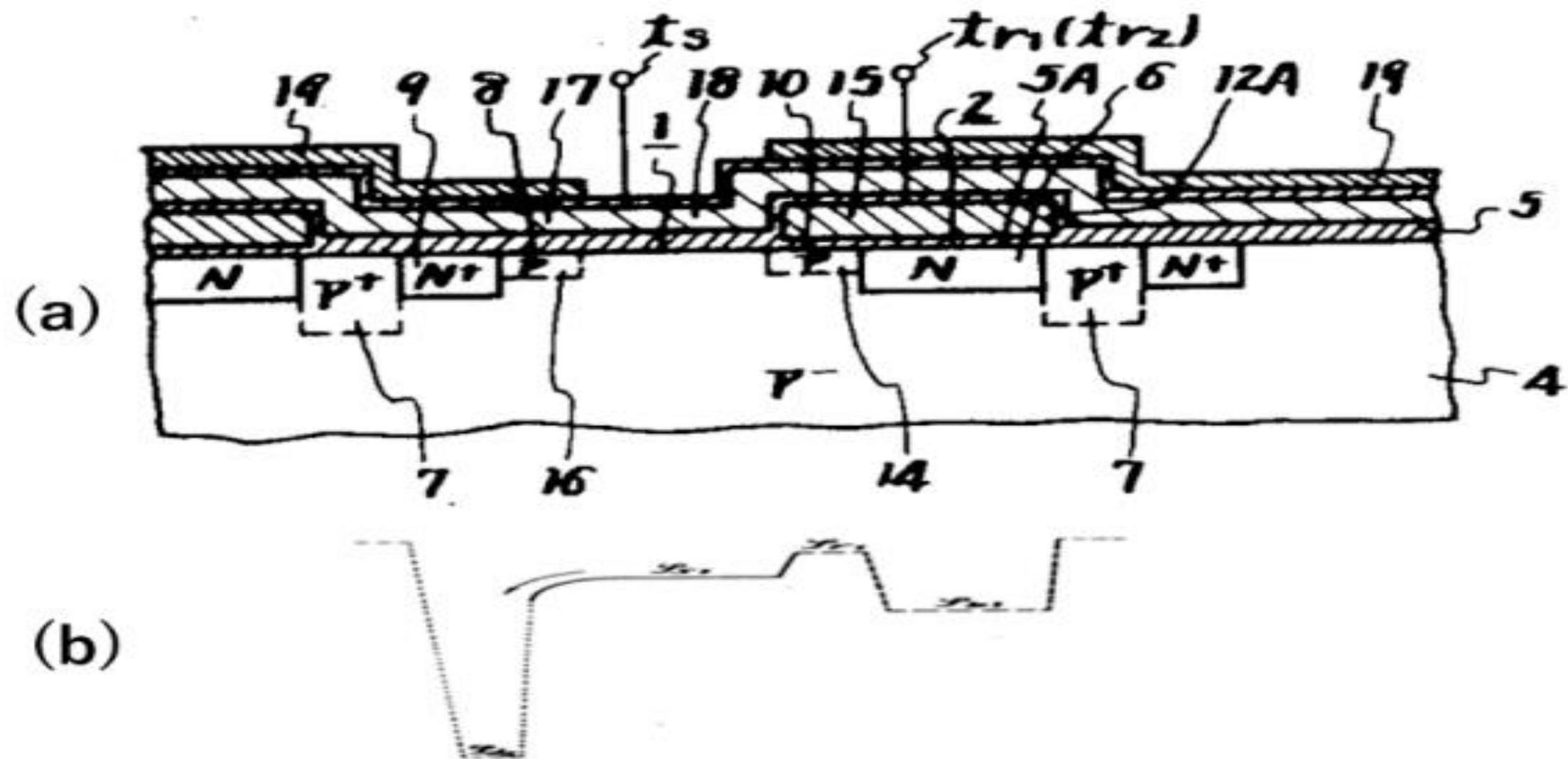


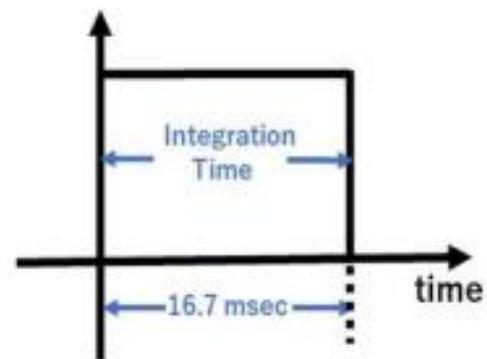
Fig. 7: Figures reproduced from Japanese Patent Application JPA1977-126885 [10]: (a) sensor, (b) potential profile for the OFD punch-through action.

Summary:

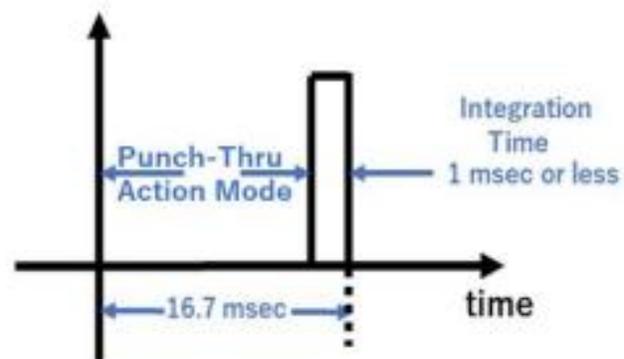
The article reviews the chronology of development of the double and triple-junction pinned photodiodes. Steps towards achieving the excellent short-wave blue-light sensitivity are emphasized.

The world's first double junction type buried photodiode was invented by Philips on June 9, 1975 while on Oct 23, 1975, Sony invented the triple junction type pinned photodiodes, with the pinned surface P+P barrier field to realize excellent QE for short-wave blue light. The pinned photodiode with CCD-like complete charge transfer capability and with the no-image-lag feature is used widely for modern CMOS image sensor applications. Sony invented in 1977 the global and electronic shutter structures and their clocking schemes. In 1987, Sony developed the completely mechanical-parts-free image sensor of fast-moving action pictures. Historically, the P+P doping variation in the base region of a bipolar transistor was first proposed by Herbert Kroemer in 1953 to realize the drift-field transistor for high-frequency operations. In 1970, the CCD image sensor was invented that provided complete charge transfer capability without image lag. However, the MOS photo capacitor used in a CCD image sensor employs metallic electrodes which impede the short-wave blue-light transmission. In 1975, this problem was solved for image sensor applications by using the pinned surface P+P doping variation to enhance the short-wave blue-light sensitivity in the PNP triple-junction photo thyristor pinned photodiode, which preserves the CCD-like complete charge transfer capability without image lag in the blue-light transmission. Double and multi junction type pinned photodiodes with the excellent QE for the short-wave blue-light spectrum may have a possible application for future solar cells by using the low-cost silicon crystals.

(a) Normal Global Shutter Mode



(b) Electronic Shutter Mode



(c) Analogy of Potential-Profile and Rubber-Belt

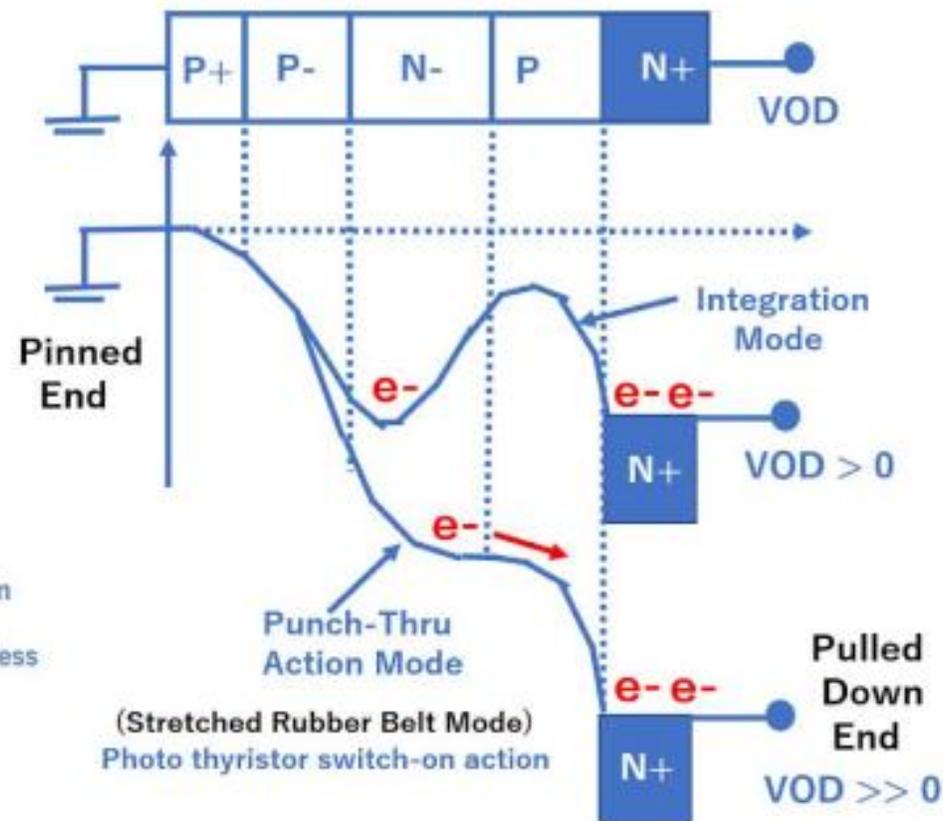


Fig. 8: (a), (b) Global shutter clocking schemes for CMOS image sensors: normal global shutter mode, electronic shutter mode; (c) the electrical potential profile of the P+PN-PN+ triple junction type PPD in the photo thyristor switch-on mode and in the integration mode.

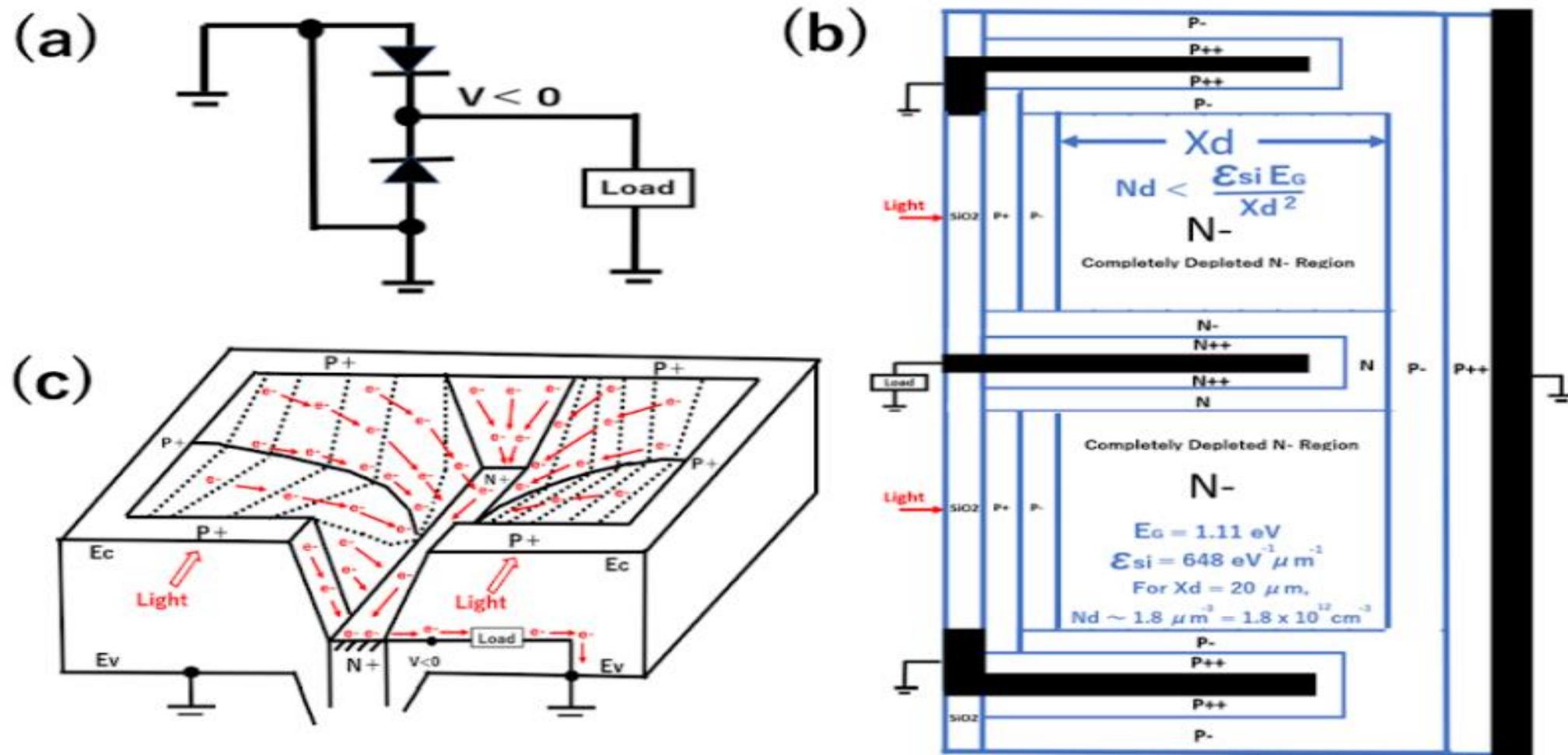


Fig. 9 (a) The equivalent circuit of double junction pinned photodiode type solar cell, (b) the cross-sectional view and (c) the two-dimensional potential profile with a completely-depleted buried N- region of strong electric field, guiding photo electrons swiftly into the heavily doped metallic N+ charge collecting region.

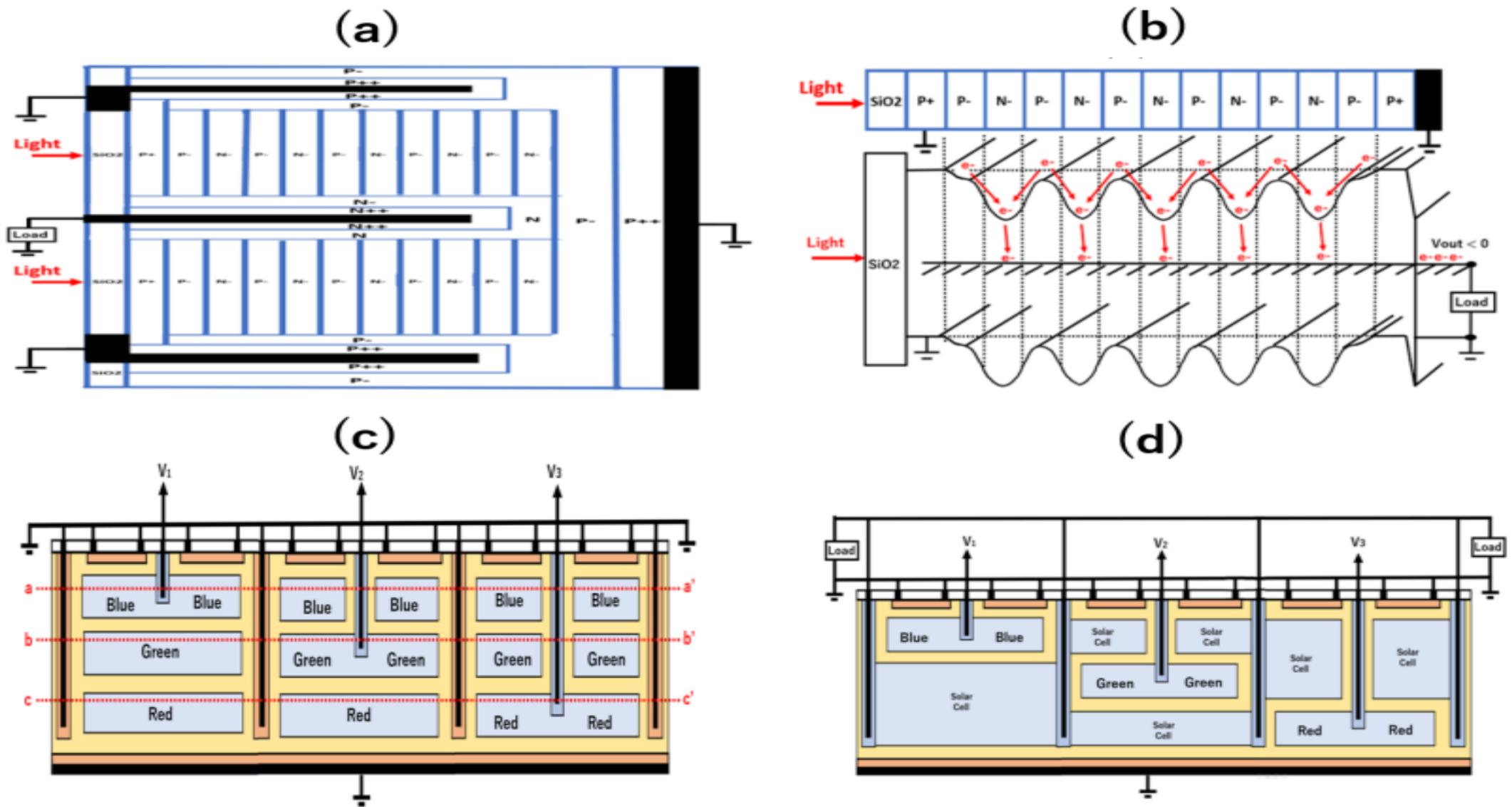
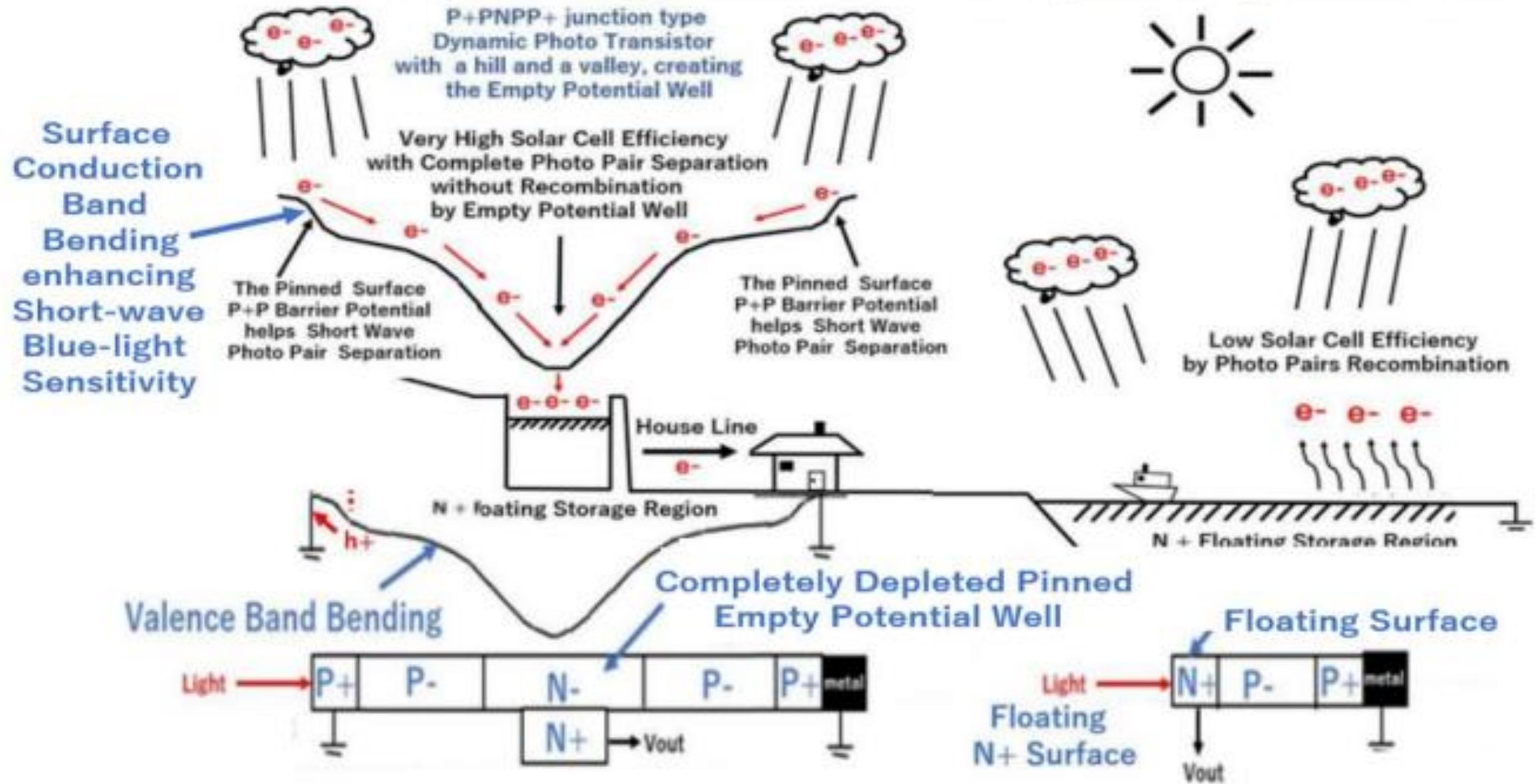


Fig. 10 (a) The cross-sectional view and (b) the potential profile of a multi-junction pinned photodiode type solar cell; (c) a color-filter-less color image sensor; (d) a combination of a color-filter-less color image sensor and a solar cell.

P+PNPP+ junction type Solar Cell

N+P junction type Solar Cell



半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) PNP接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) CCD Image Sensor とは?
- (16) CMOS Image Sensor とは?
- (17) Wide Band 化合物半導体とは?
- (18) Power Transistor とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

● 6月には、ナノサイエンス科の八田先生のご紹介のもと熊本県産業技術センター研究所の土持所長をご紹介していただき、萩原が今後努力し貢献したい日本の半導体電子産業育成についてその抱負を語り、土持所長のご賛同を頂きました。崇城大学の器の中で、萩原がどのような形で、個人としては微力ながら、熊本県の半導体電子産業の発展とその人材育成に貢献できるかを、今後、さらに連携の輪を広げ、模索し努力していく所存であることをご理解いただきました。

● 9月には、萩原のソニー時代の孫弟子後輩の石川耀弓様と一緒にソニー時代の後輩の山口社長と慶児技監のご好意により、ソニー熊本テクノロジーセンターを訪問し特別講演をソニーの若手技術者の前ですることができました。またその後、石川耀弓様とともに、熊本県産業技術センター研究所の土持所長を訪問しました。

● 11月には、トランジスタ生誕75周年を記念して来年1月のI E E EのElectron Device Societyが刊行する新年特別号のNewsletterに、「イメージセンサーの発明と開発史」と題して一般読者向けに論説解説記事を掲載する機会をいただきました。これは特別招待でたいへん名誉なことです。たいへん萩原もSONYも喜んでおります。

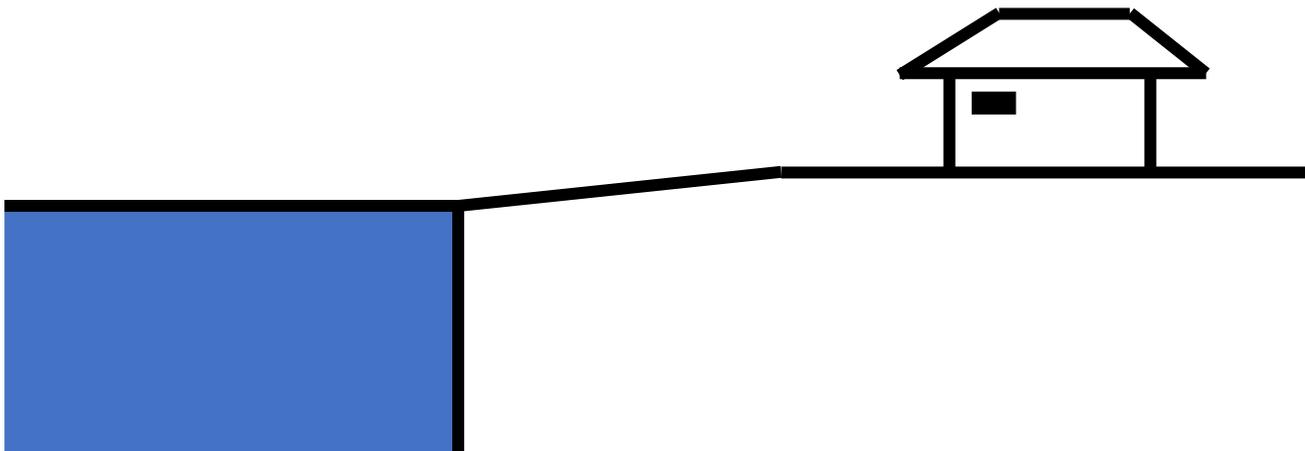
● 12月になり、さらにうれしいNEWSが飛び込んできました。来年5月5日～7日にシンガポールで開催のI E E Eの主催の国際会議で招待論文を受けました。その論文投稿の準備に着手しております。

●実は、もとNECの寺西氏が Pinned Photodiode の開発について 1982 年に I E E E の国際学会で発表した事が評価され、「Pinned Photodiode の発明者」として誤解され、2017 年に英国女王賞を受賞し 2018 年に紫綬褒章を受賞しました。そのことを 2019 年 6 月になり、初めて萩原はSONYの先輩から聞かされ、SONYも萩原もびっくりしました。SONYも萩原も学会活動で自分たちの開発製品の技術内容に関しては他社の追従を恐れてあまり発明知的財産や生産 Knowhow に関する情報を国際学会で開示しておらず、それが誤解を招く原因を造りました。2019 年 9 月の I E E E の学会からはじまり、萩原はSONYのご好意とSONYの後輩の資料をいただき今までの 5 件の英文技術論文を I E E E の学会に発表することができました。その結果、萩原の発明と開発に関する記事が Wikipedia フリー百科事典にも掲載される事になり、一般社会認知されるようになりました。そして今回は、権威ある IEEE からトランジスタ 75 周年記念特別号に一般読者向けの記事の掲載の招待を受けました。さらに来年 5 月には、I E E E の学会で招待講演を受けることとなりました。やっとSONYも萩原も事実関係を明らかにして、「誤解」を正す機会をいただいたことになり、たいへん名誉回復につながるという事でたいへん、SONYも萩原も、母校の Caltech も喜んでおります。これからはさらにこのすばらしい発明に関してさらに広く社会認知されPRされる事を母校もSONYの後輩先輩たちも応援して見守ってくれております。

半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

人間はまず火を使うことを覚えた。そして川の水を使って食べものを煮ることを覚えた。

川のそばに住むようになったが、洪水などの被害を受けた。



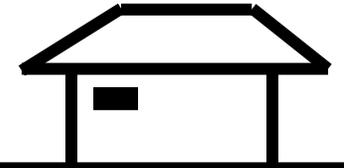
半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

人間はまず火を使うことを覚えた。そして川の水を使って食べものを煮ることを覚えた。

川のそばに住むようになったが、洪水などの被害を受けた。

- それで、堤防を造ったり、川のそばで、水が手に入りやすい小高い丘に住むようになった。

小高い、バリアのある丘 = Diodeの発明



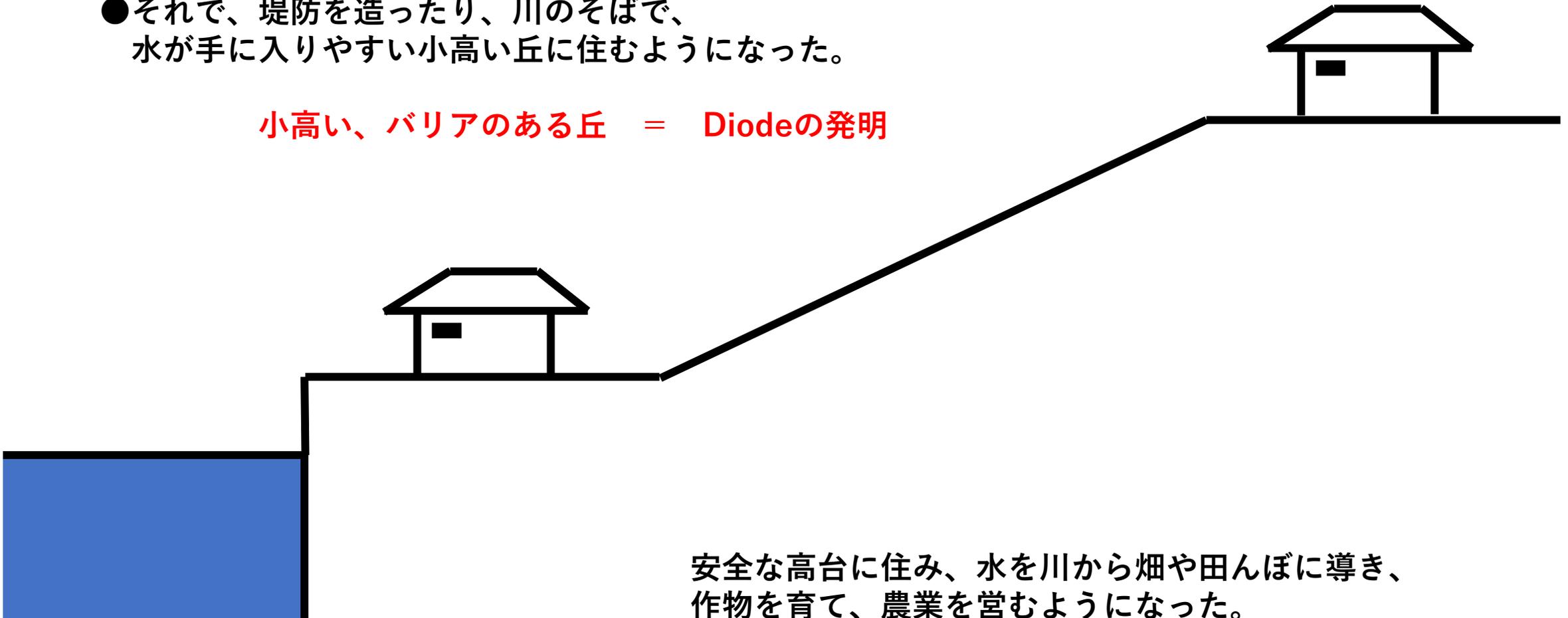
安全な高台に住み、水を川から畑や田んぼに導き、作物を育て、農業を営むようになった。

人間はまず火を使うことを覚えた。そして川の水を使って食べものを煮ることを覚えた。

川のそばに住むようになったが、洪水などの被害を受けた。

- それで、堤防を造ったり、川のそばで、水が手に入りやすい小高い丘に住むようになった。

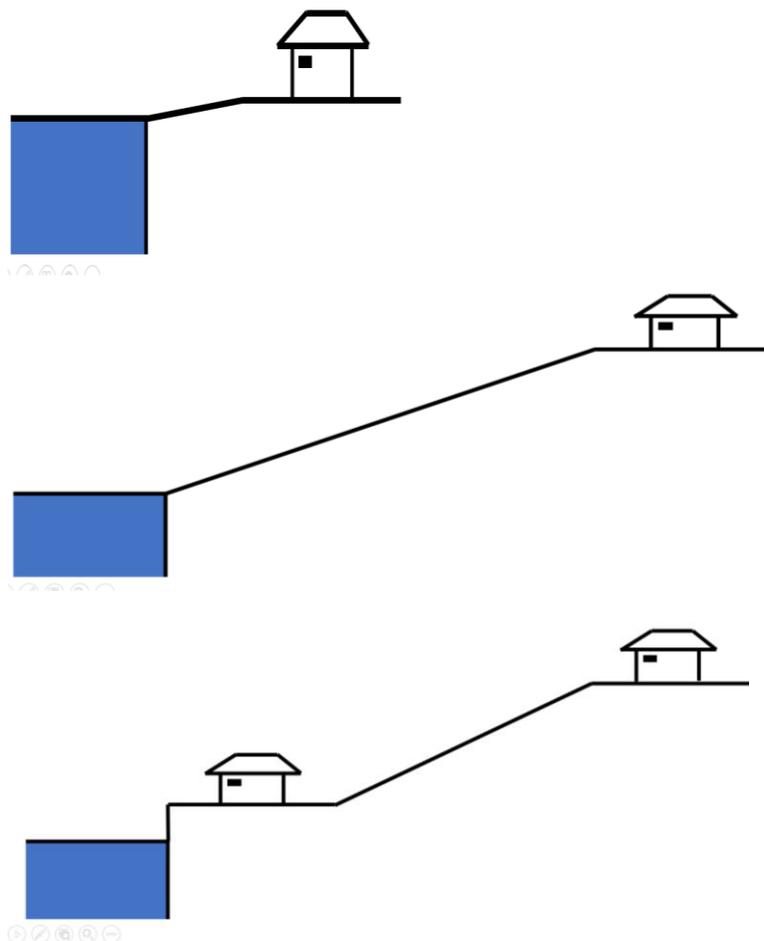
小高い、バリアのある丘 = Diodeの発明



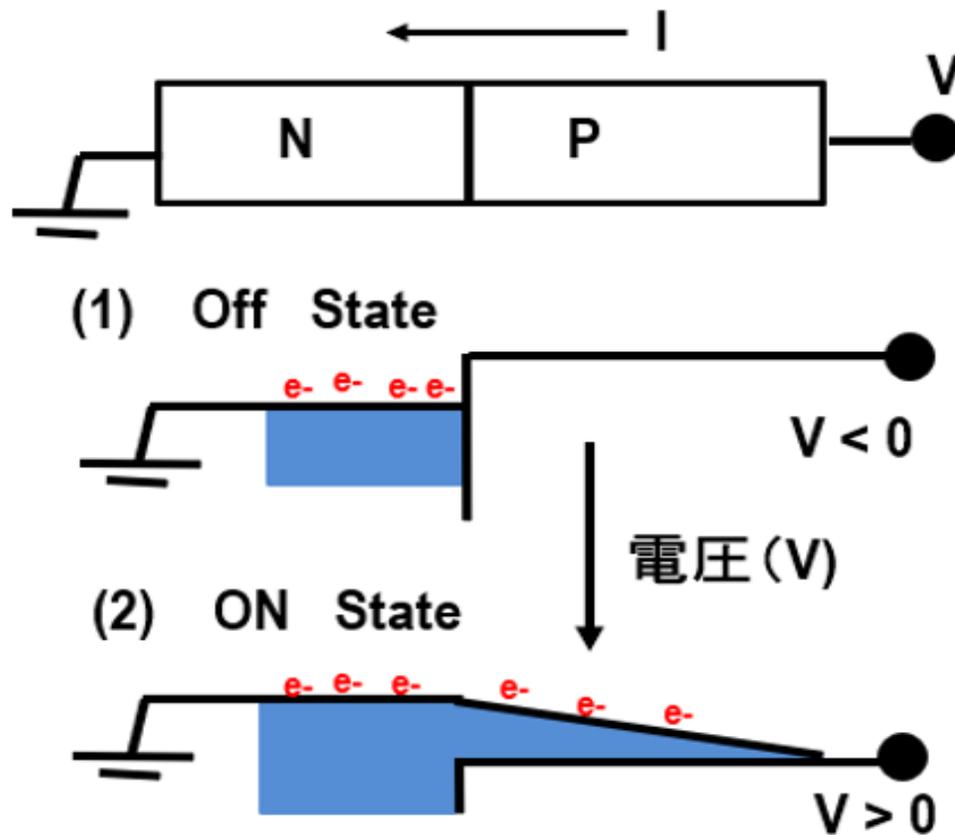
●それで、堤防を造ったり、川のそばで、水が手に入りやすい小高い丘に住むようになった。

小高い、バリアのある丘 = Diodeの発明

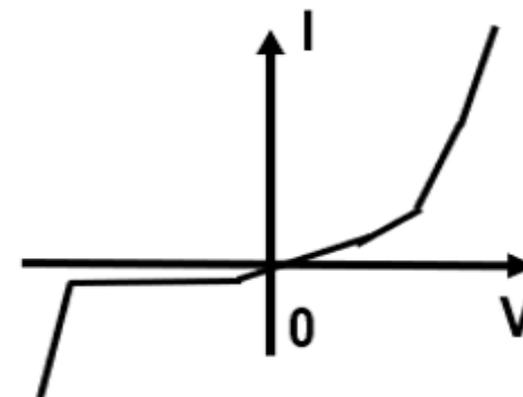
安全な高台に住み、水を川から畑や田んぼに導き、作物を育て、農業を営むようになった。



●電子やホールが移動する時に、PN接合の中では電位障壁(バリア)が存在する。



PN接合のIV特性

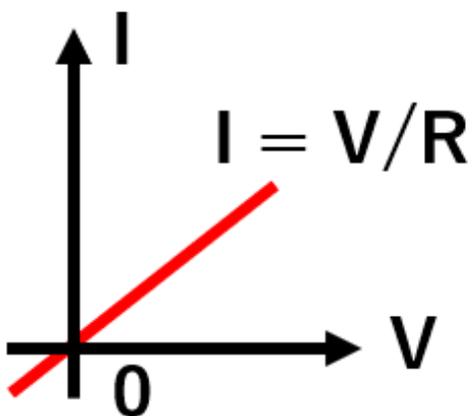


- $V > 0$ の時は順方向バイアス
- $V < 0$ の時は逆方向バイアス
- PN接合の中の電子の流れを水の流れと比較するとどうもPN接合の中では電子が見る障壁(バリア)があると説明すると理解しやすい。

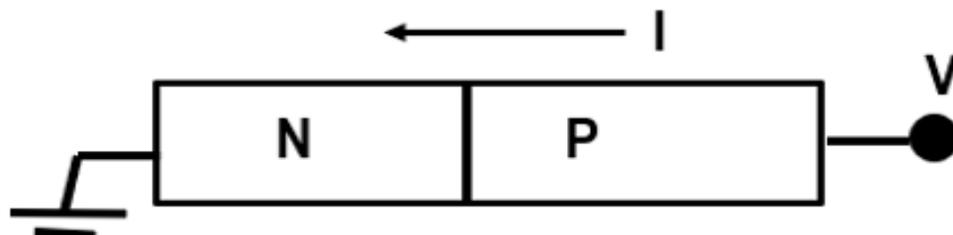
●それで、堤防を造ったり、川のそばで、水が手に入りやすい小高い丘に住むようになった。

小高い、バリアのある丘 = Diodeの発明

安全な高台に住み、水を川から畑や田んぼに導き、作物を育て、農業を営むようになった。



●電子やホールが移動する時に、PN接合の中では電位障壁(バリア)が存在する。



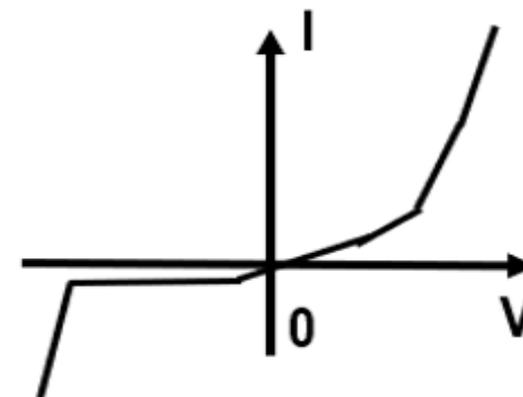
(1) Off State



(2) ON State



PN接合のIV特性

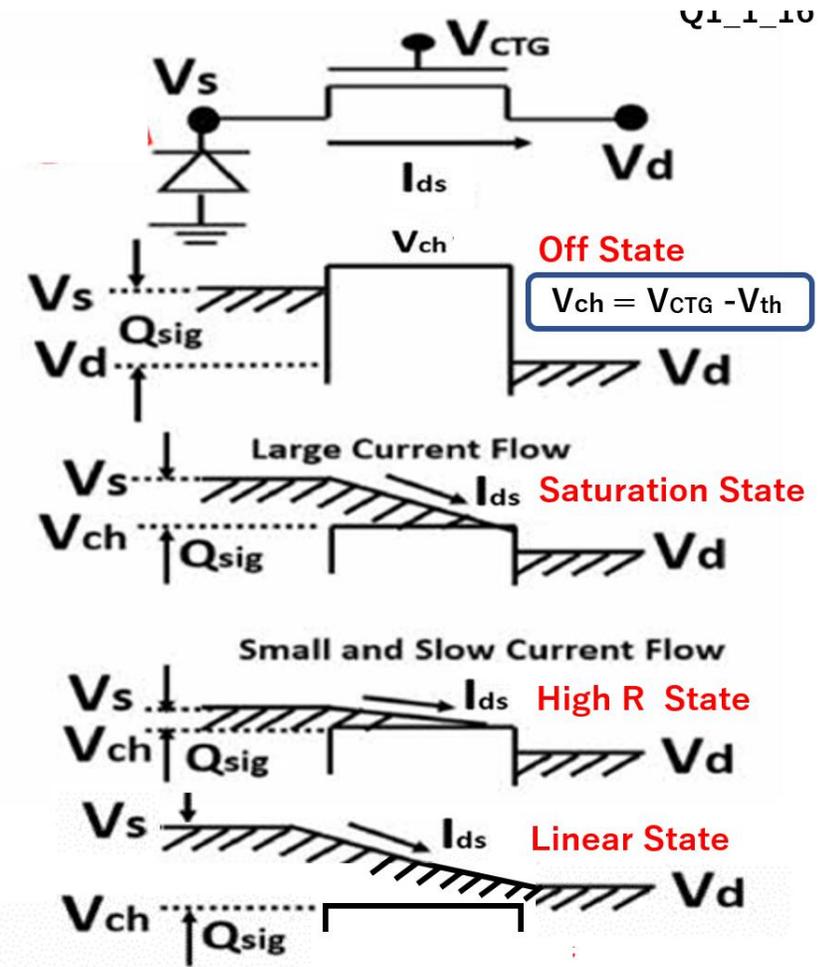
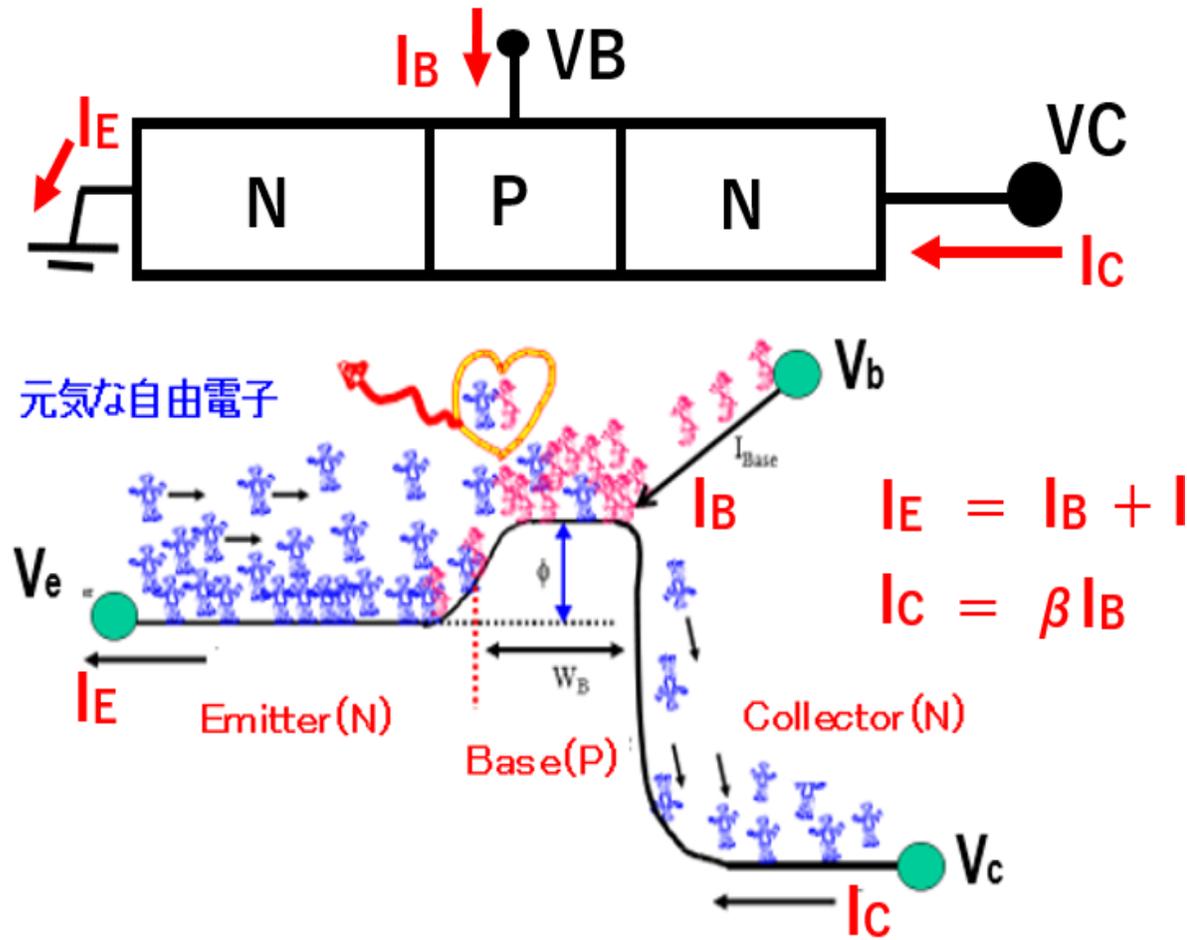


- $V > 0$ の時は順方向バイアス
- $V < 0$ の時は逆方向バイアス
- PN接合の中の電子の流れを水の流れと比較するとどうもPN接合の中では電子が見る障壁(バリア)があると説明すると理解しやすい。

●川の水を畑や田んぼに自由に引くために人類は水門を造った。

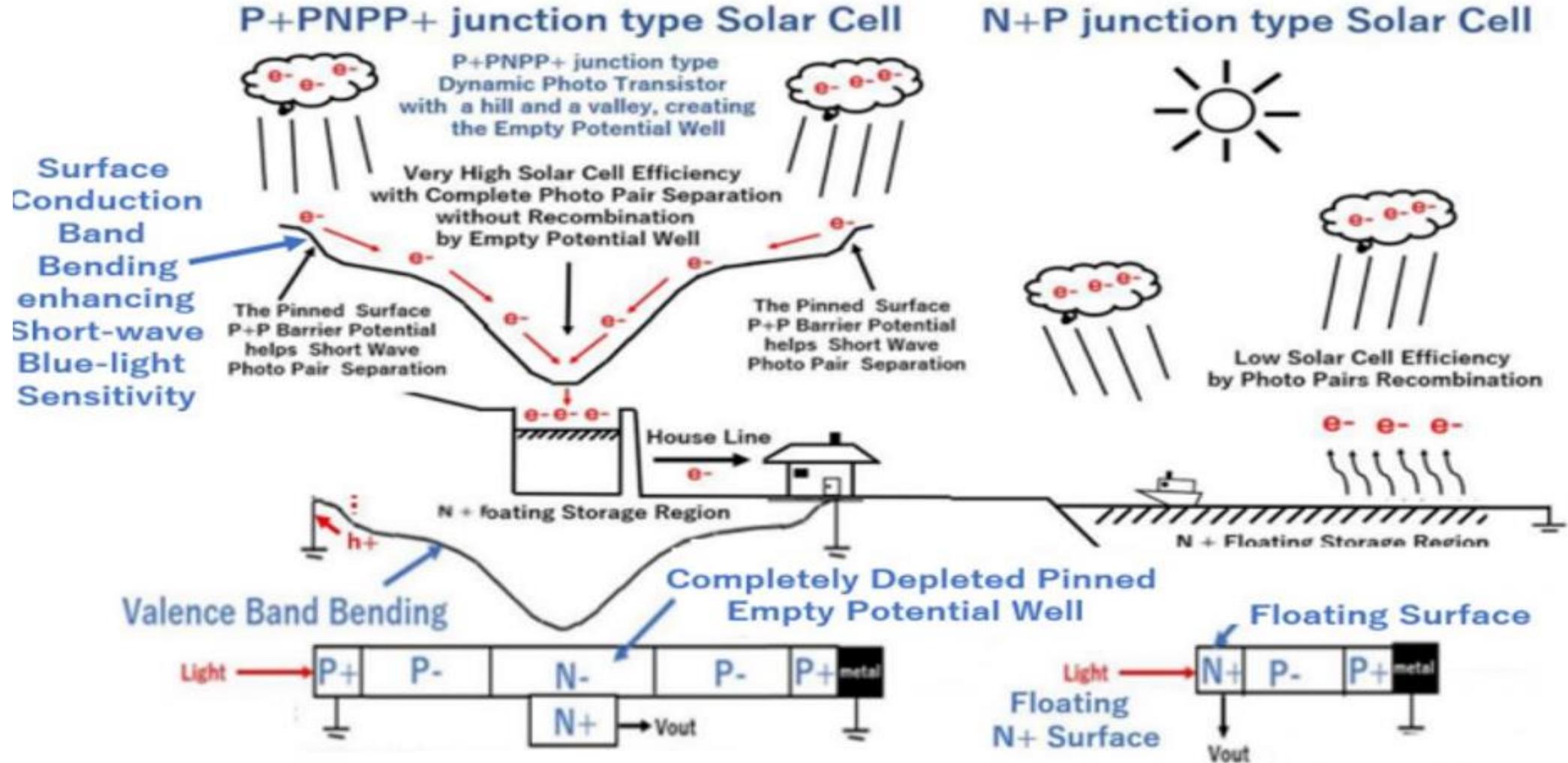
水門 = トランジスタの発明 (1947年)

●NPN transistor の動作原理



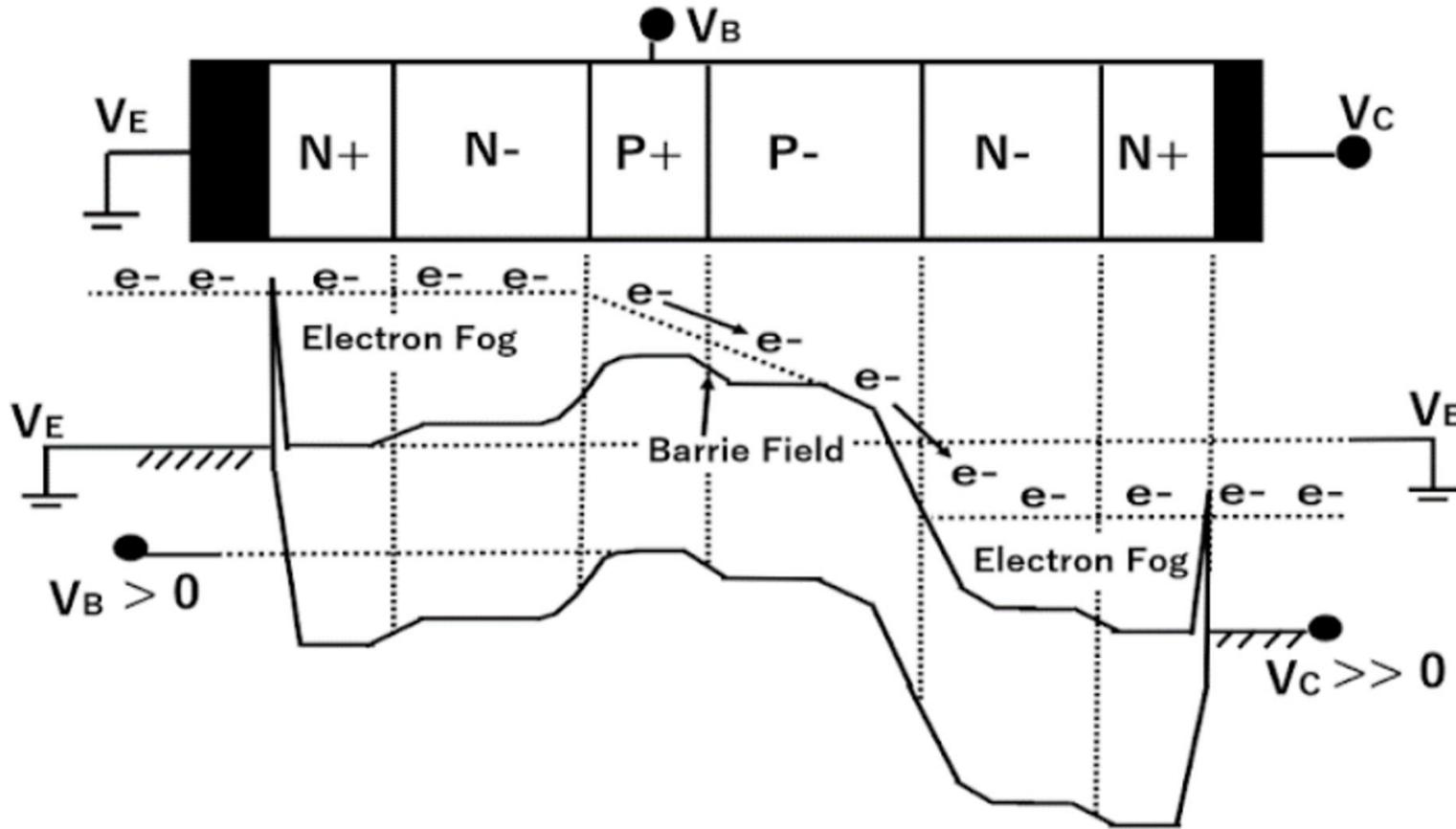
- そして、日照りなどが続いたり、砂漠地帯には雨が降らない場所では水はたいへん少なく貴重である。降った雨を大切に集め保管する必要があった。

大切に集めて貯蓄するダムを人類は発明した。

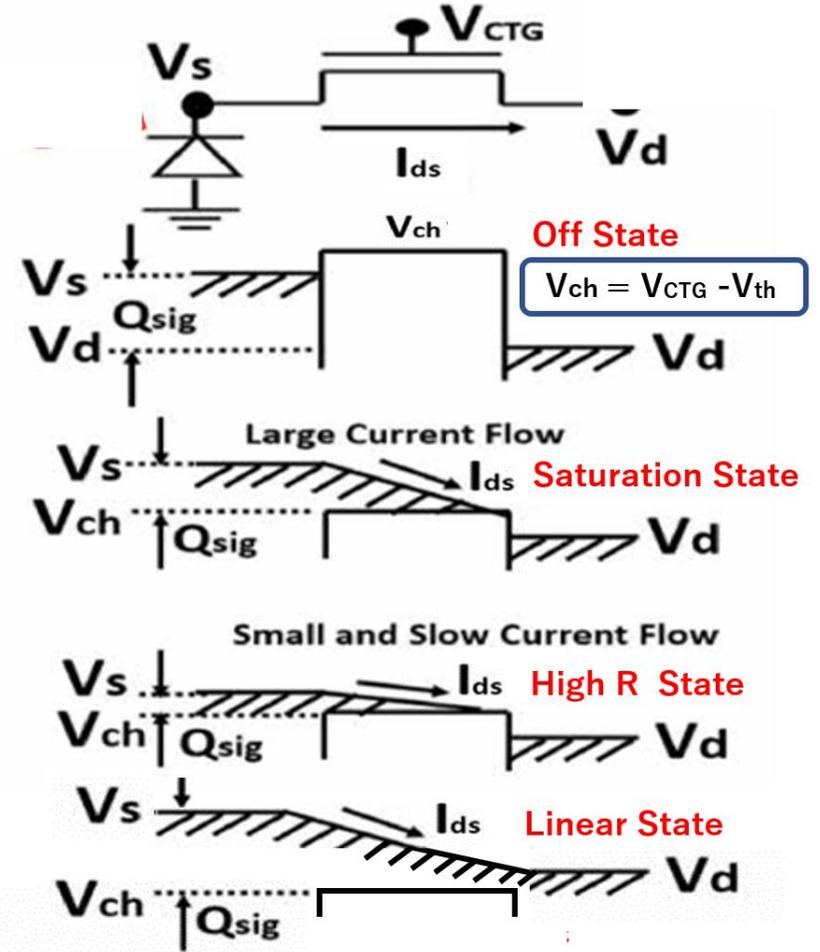


●川の水を畑や田んぼに自由に引くために人類は水門を造った。

水門 = トランジスタの発明 (1947年)



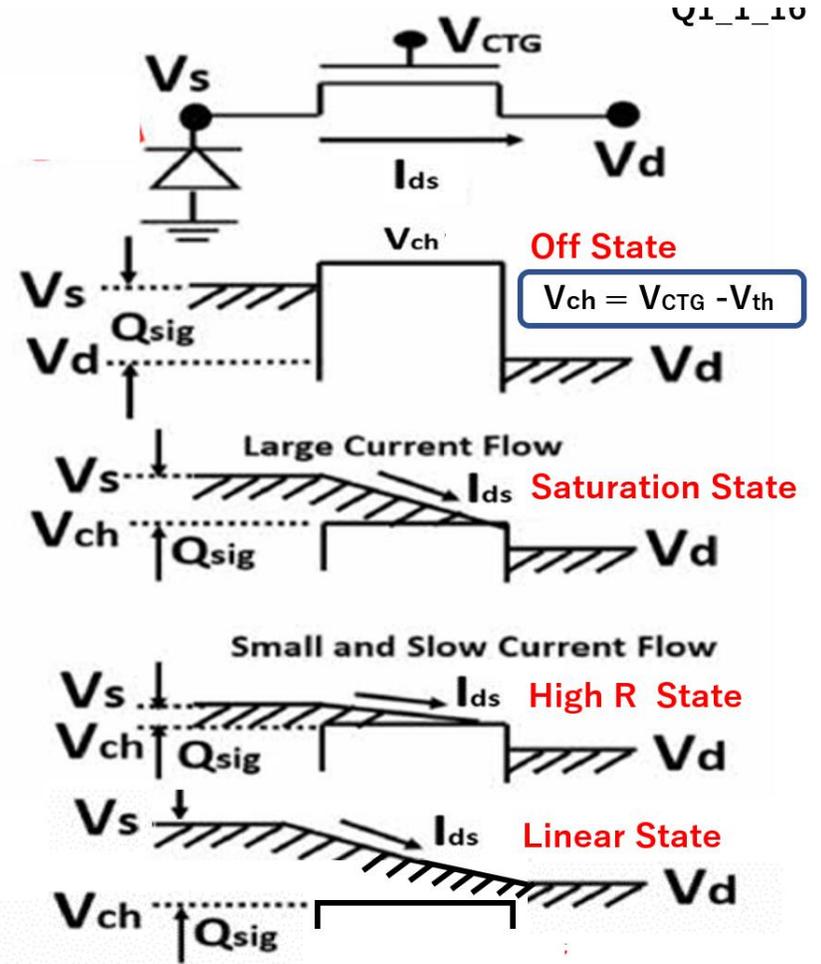
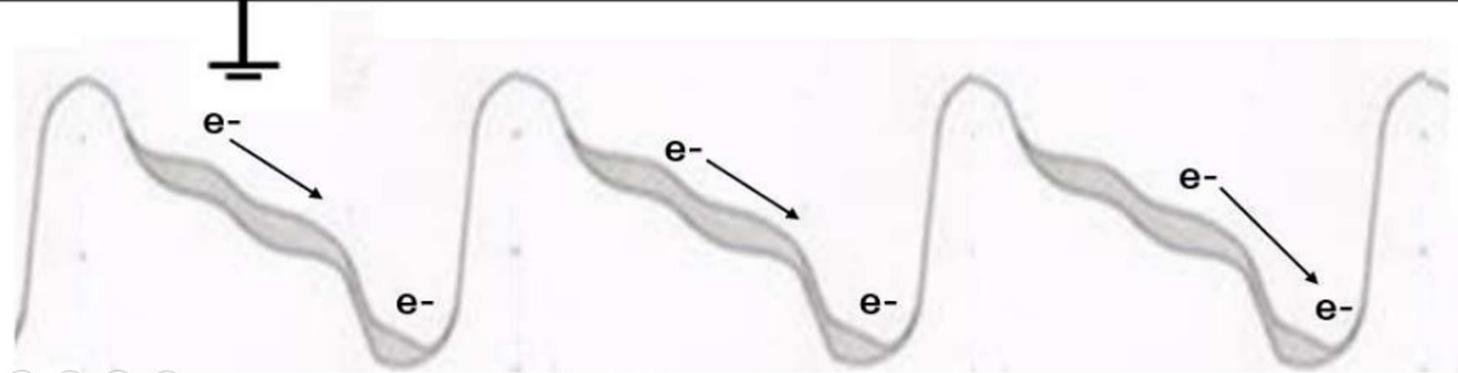
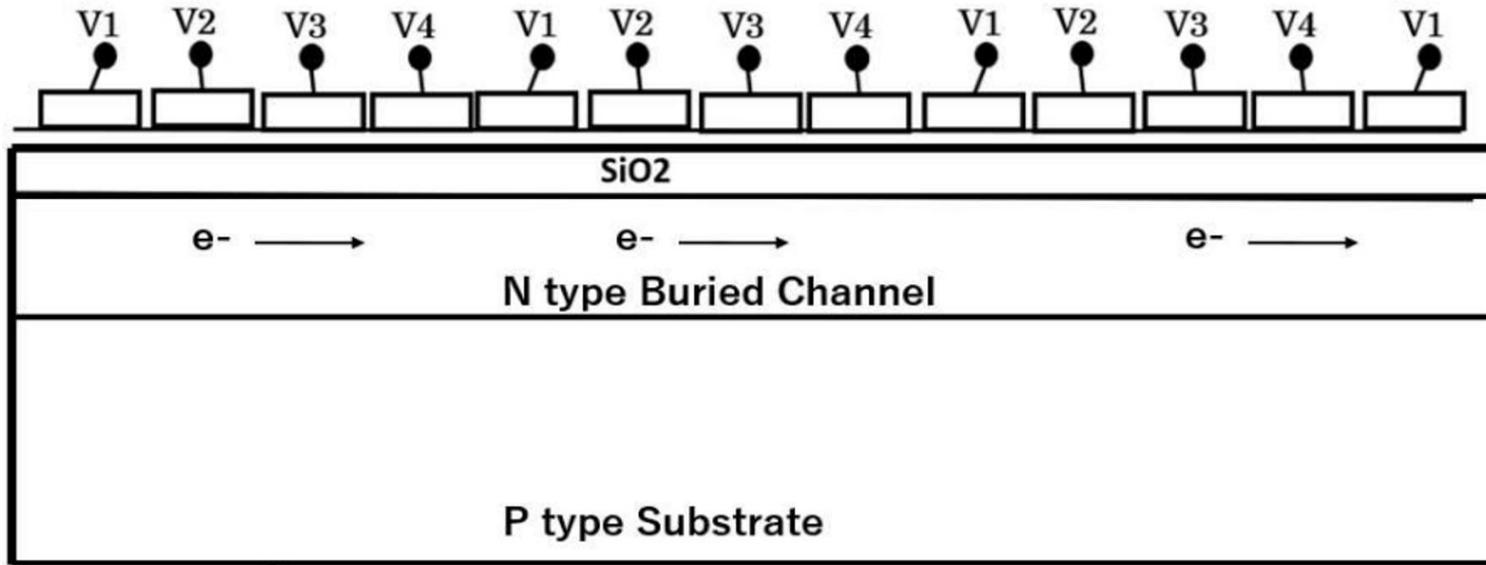
The drift-field transistor for high frequency operations, invented by Herbert Kroemer in 1953.



●そして、水を入れて川から運ぶ、桶や器を作った。

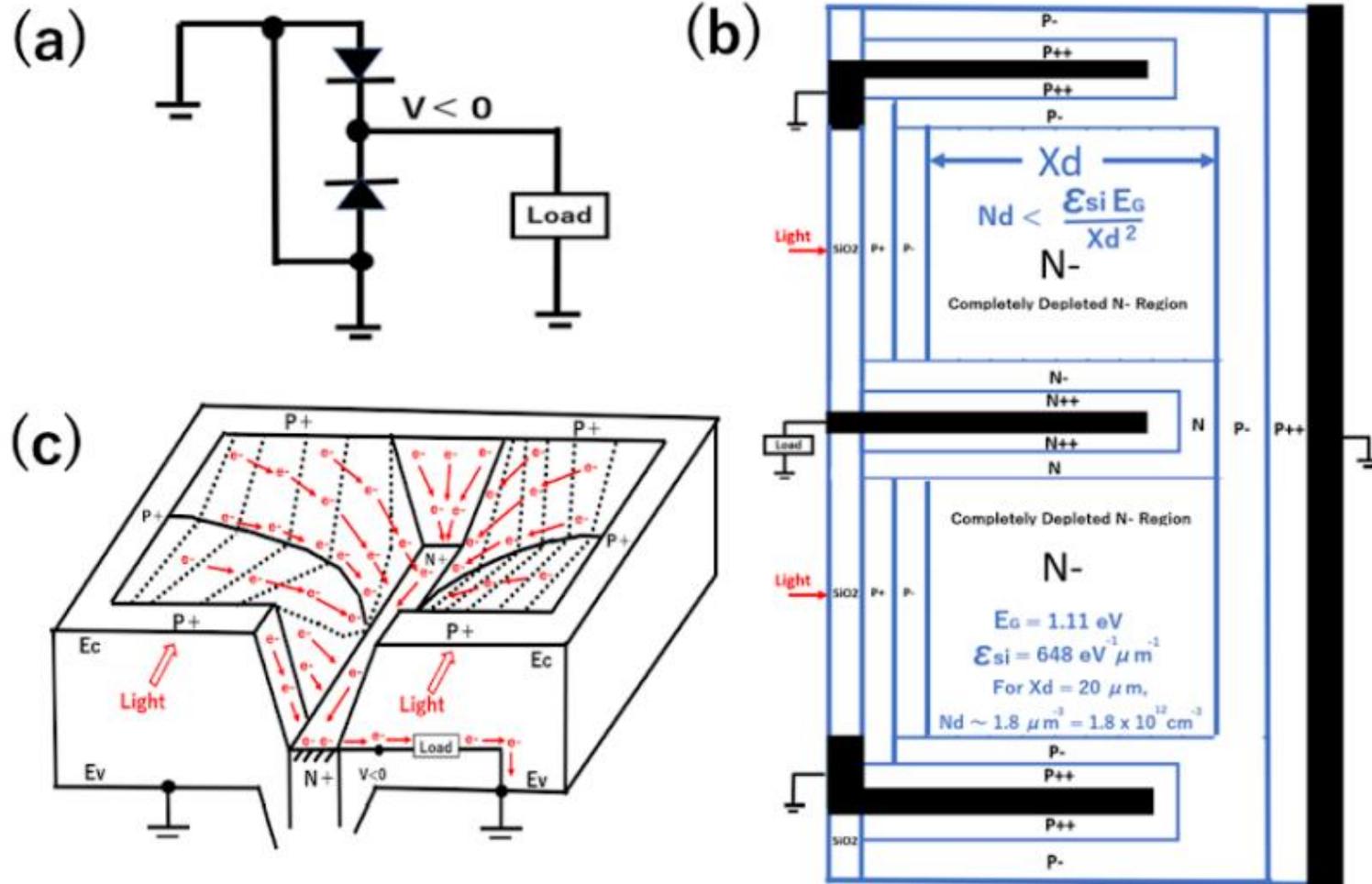
桶や器 = 電荷結合装置 (CCD) の発明 (1970年)

Buried Channel type CCD structure and its potential profile.



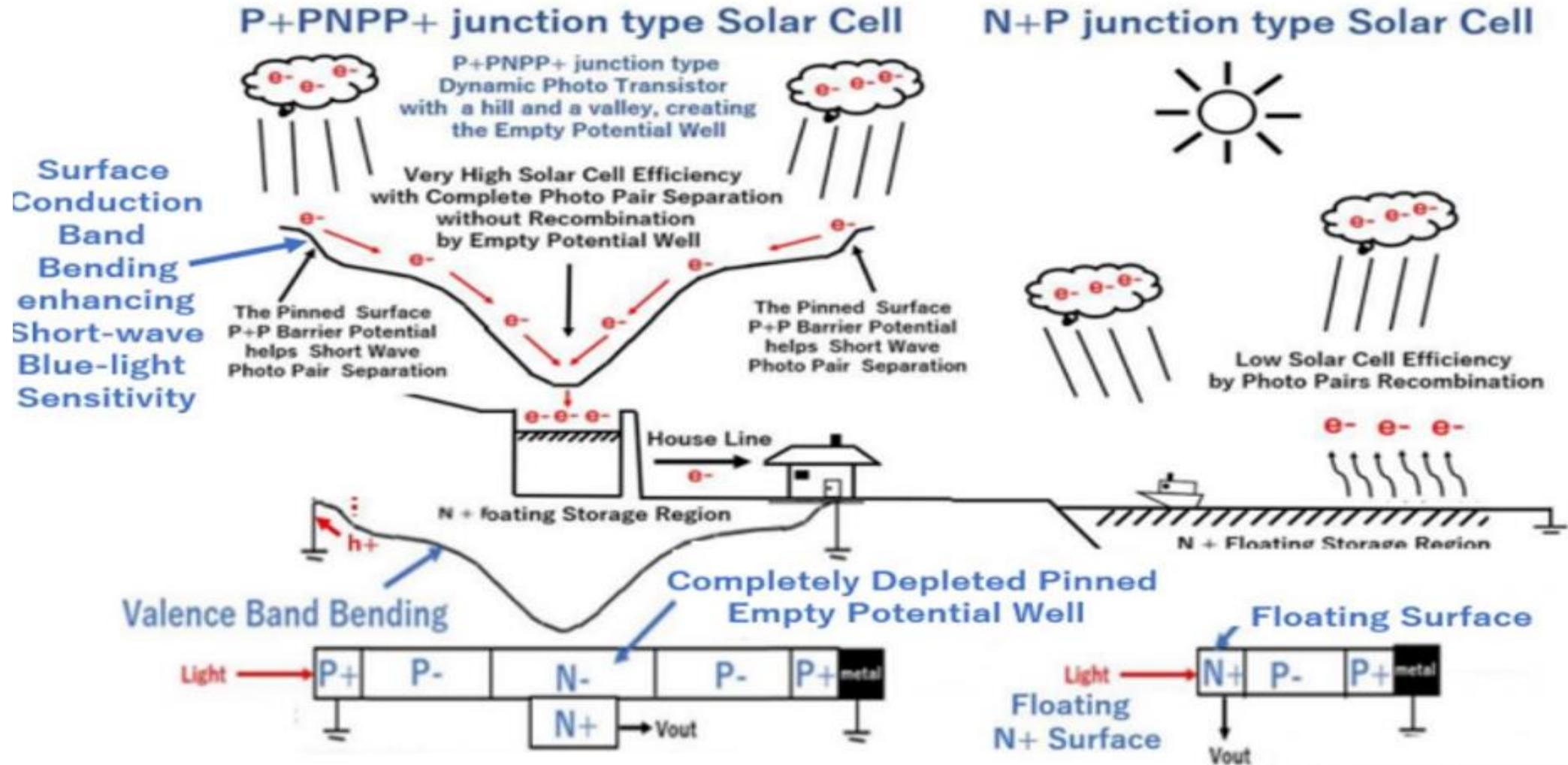
●砂漠に大きなダムを造っても、強い太陽で、少ない大切な水はすぐ蒸発するので、雨季などで、大雨が降ったら、すぐにダムの底に地下の貯水庫を造ることになった。

非常に少ない雨を集め、保管するダム = Pinned Photodiodeの発明 (1975年)



- 砂漠に大きなダムを造っても、強い太陽で、少ない大切な水はすぐ蒸発するので、雨季などで、大雨が降ったら、すぐにダムの底に地下の貯水庫を造ることになった。

非常に少ない雨を集め、保管するダム = Pinned Photodiodeの発明 (1975年)



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。)

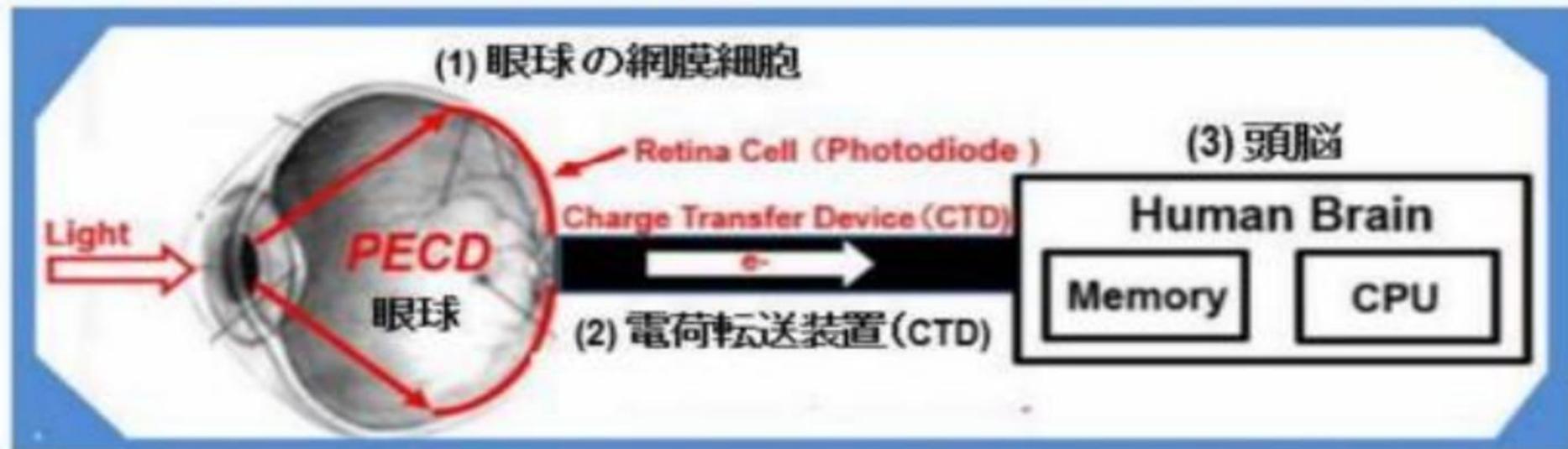
(C) P+NPNsub接合型 (別称HAD、光感度良好、残像なし、かつ過剰照射光保護機能あり。)

(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)

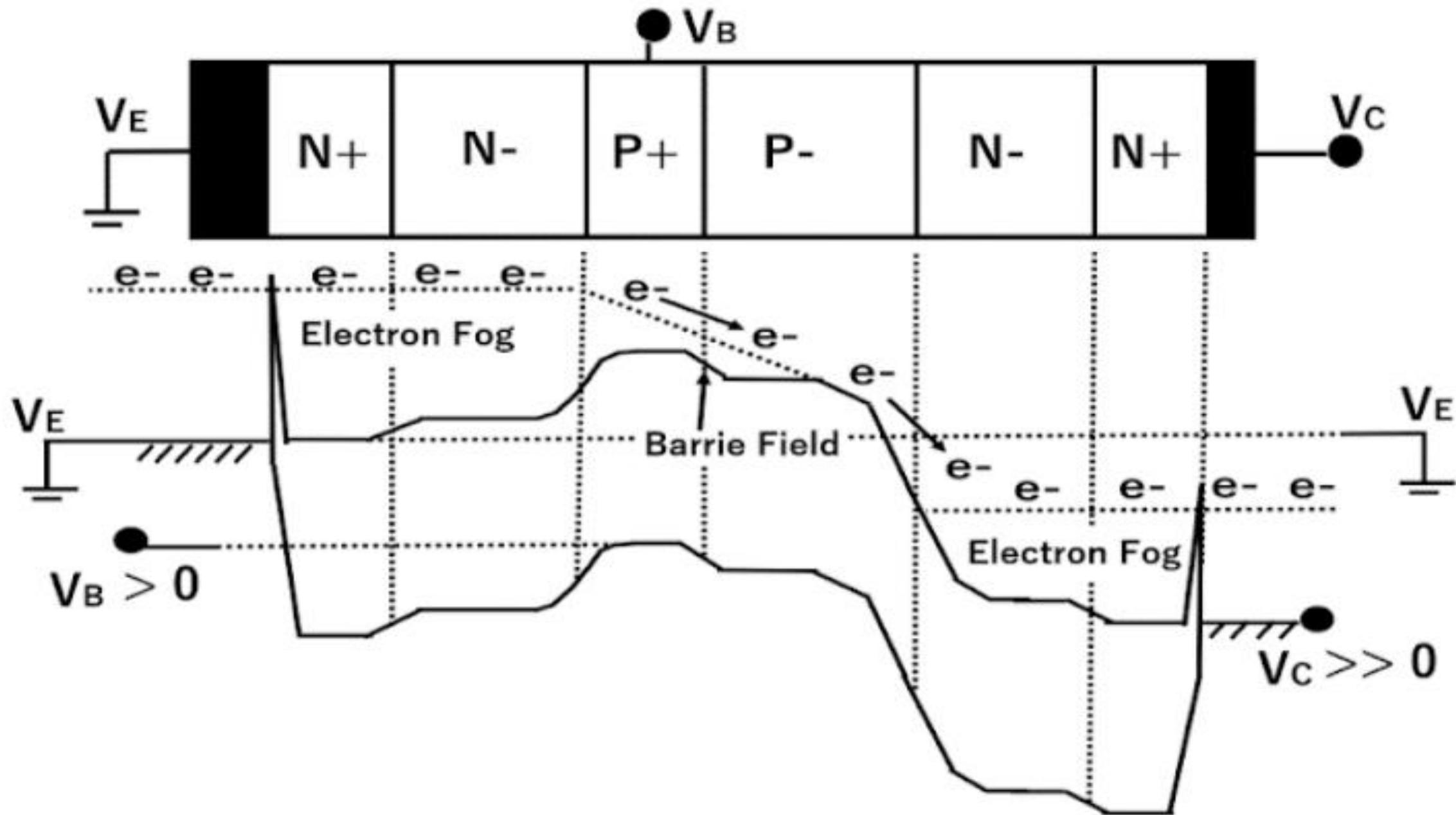
(A) MOS 型電荷転送装置 (配線容量雑音とClock雑音が大きかった。)

(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。)



The drift-field transistor for high frequency operations, invented by Herbert Kroemer in 1953.



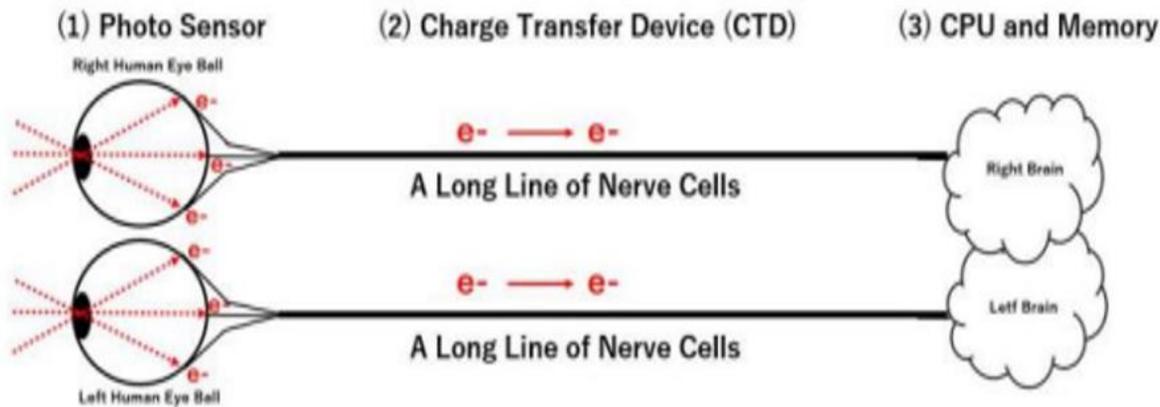
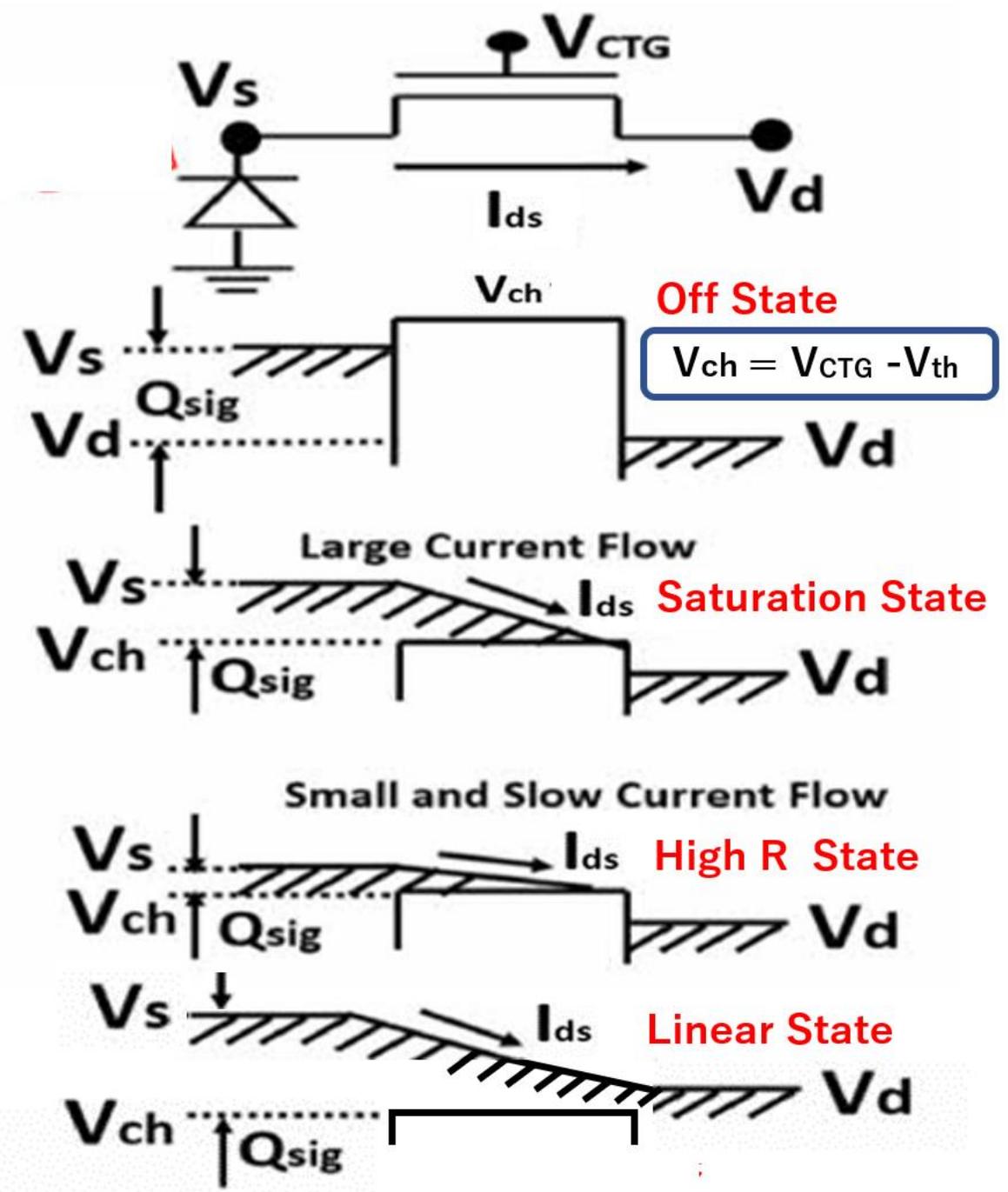
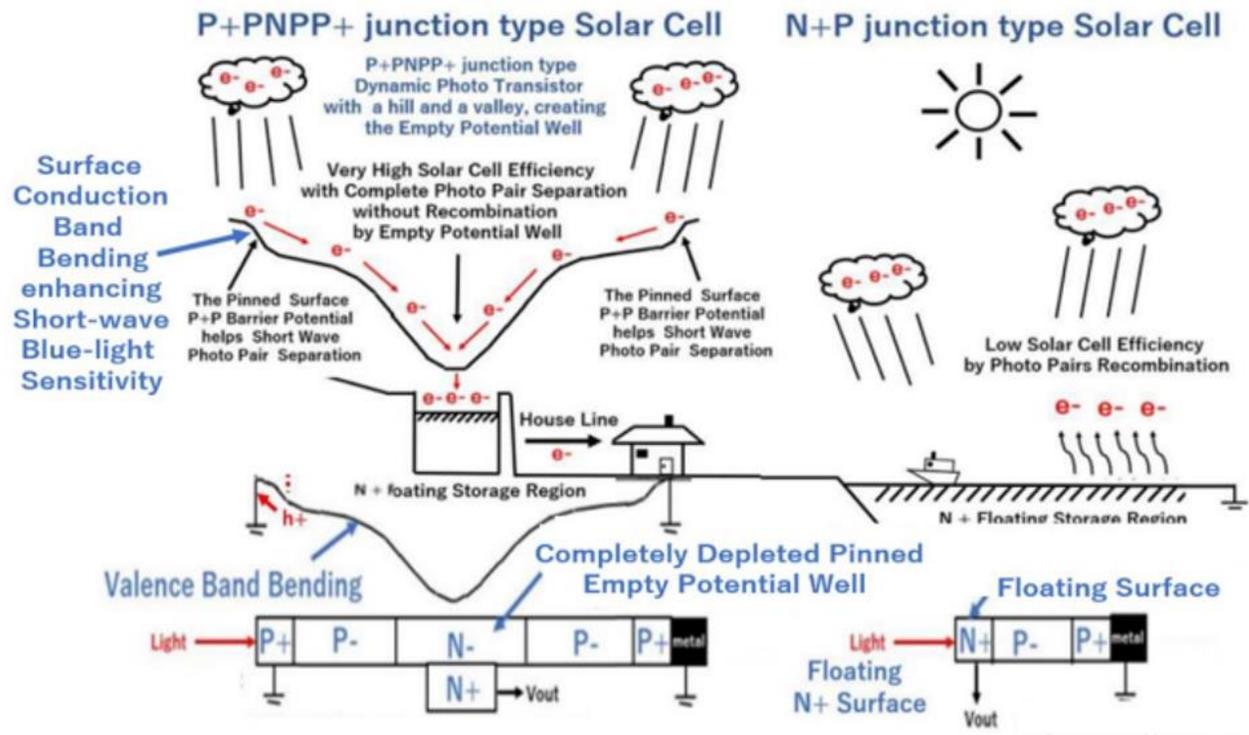


Figure 1. Artificial Intelligent (AI) Image Sensor Structure with Three Basic Parts.



半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

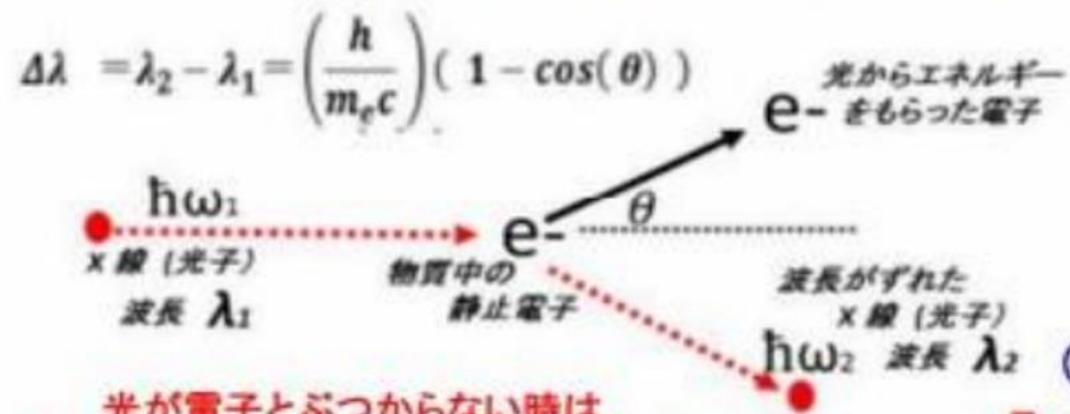
半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

イメージセンサの動作原理

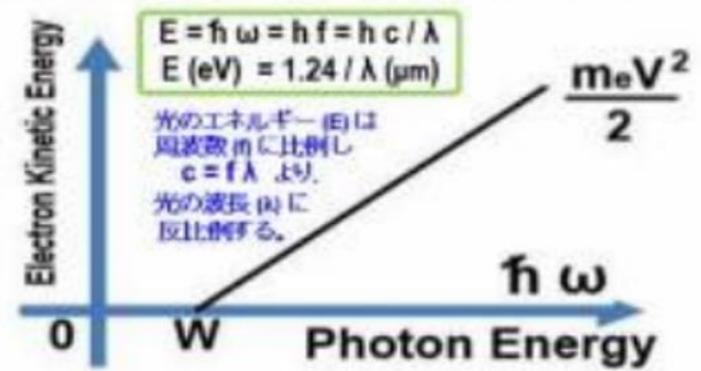
●光は波でもあり、また粒子(光子)でもある (Albert Einstein 1900)

- 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！



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。

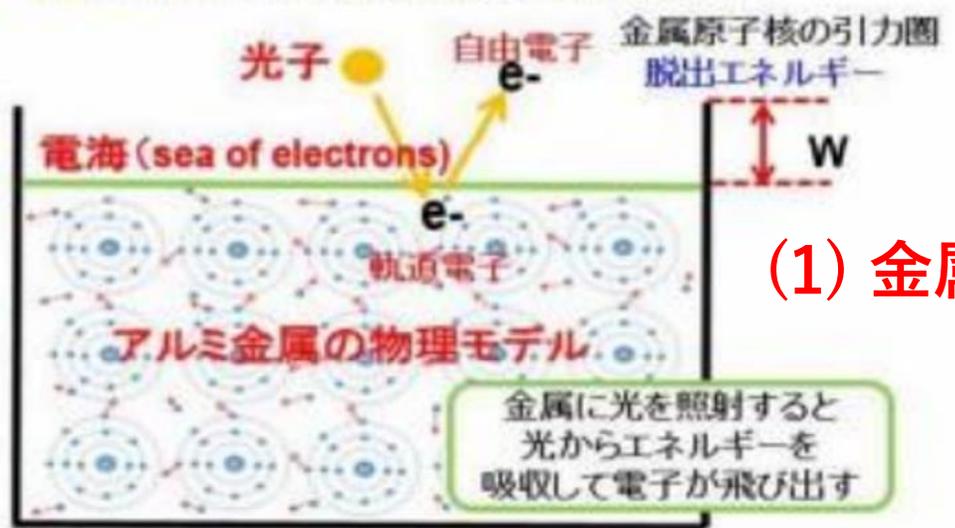
光の速度 $C = 2.99792458 \times 10^{10}$ cm/sec
 Plank 定数 $h = 6.62606957 \times 10^{-34}$ Joule·sec
 電子の質量 $m_e = 9.10938291 \times 10^{-31}$ kg



Work Function (W)の値から金属の種類が判明する。

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

- 金属の物理モデル(器の中に入った水モデル)



(1) 金属とは？

金属に光を照射すると光からエネルギーを吸収して電子が飛び出す

半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

抵抗率 ($\Omega \cdot m$) 10^{-8} 10^{-6} 10^{-4} 10^{-2} 1 10^1 10^3 10^5 10^7 10^9

導体

Al, Ag, Au, Fe

半導体

Silicon, GaAs, Germanium, GaN, Ga₂O₃

絶縁体

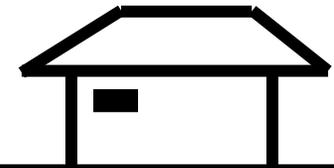
SiO₂, Al₂O₃,

(1) 金属とは？

電気を通す。

(2) 絶縁体とは？

電気を通さない。



絶縁体

e⁻ e⁻ e⁻ e⁻ e⁻

Metal

半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

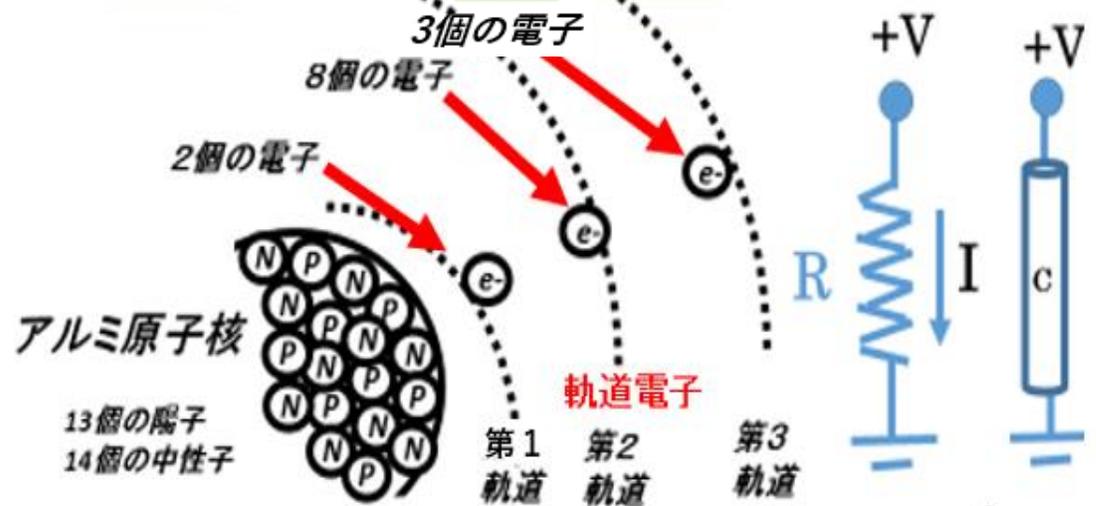
●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

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。

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



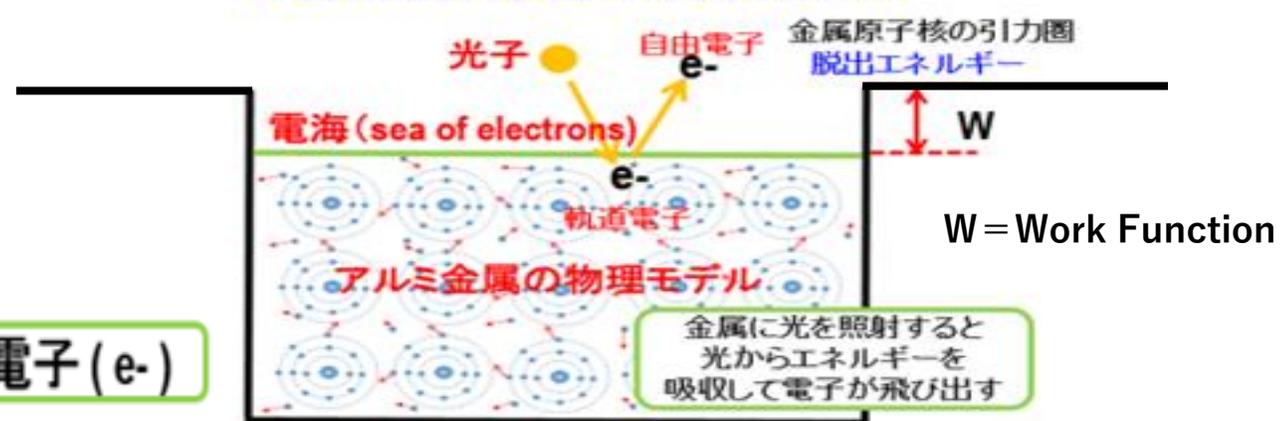
アルミ原子(中性 AL)₁₃ = アルミイオン (AL⁺)₁₂ + 自由電子 (e⁻)

電気容量 (C) とは? ^{Q1_1_06}

$Q = C V$



●金属の物理モデル(器の中に入った水モデル)



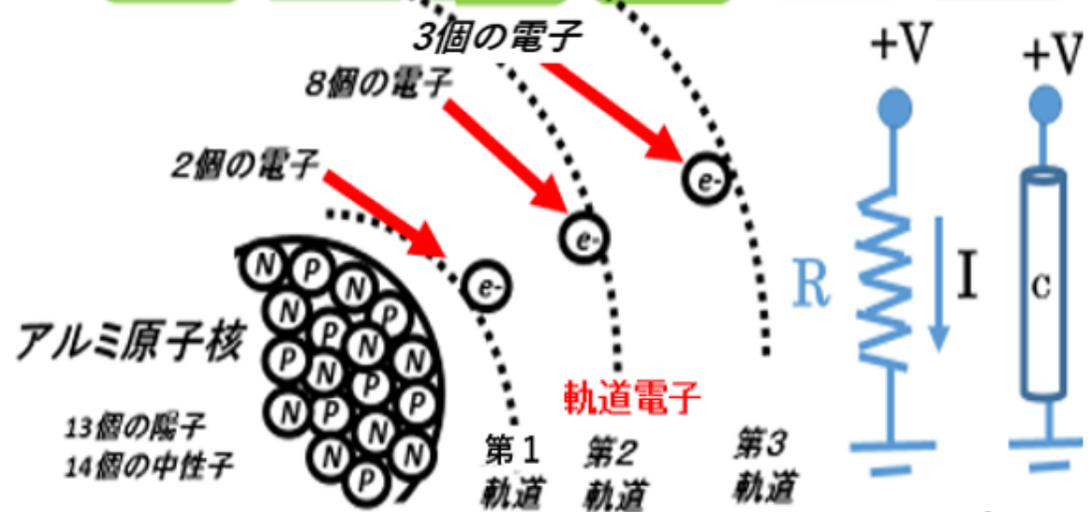
●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

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。

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

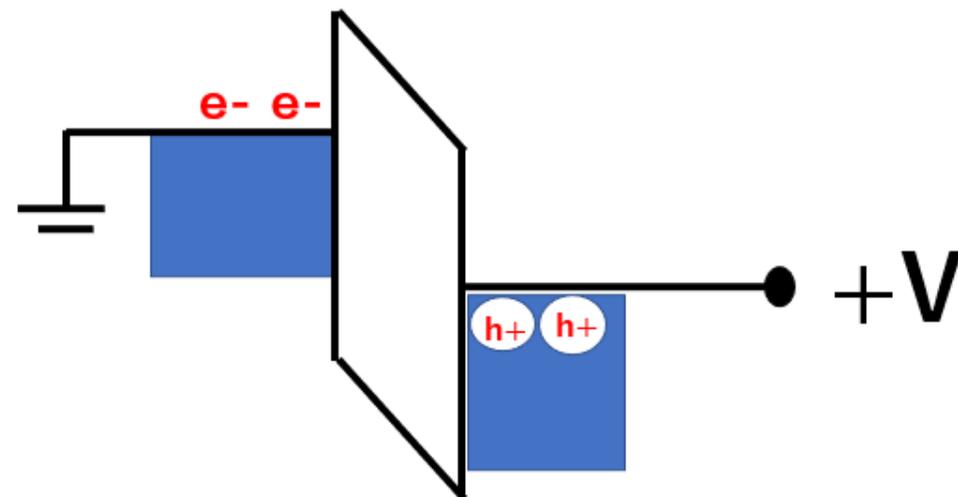
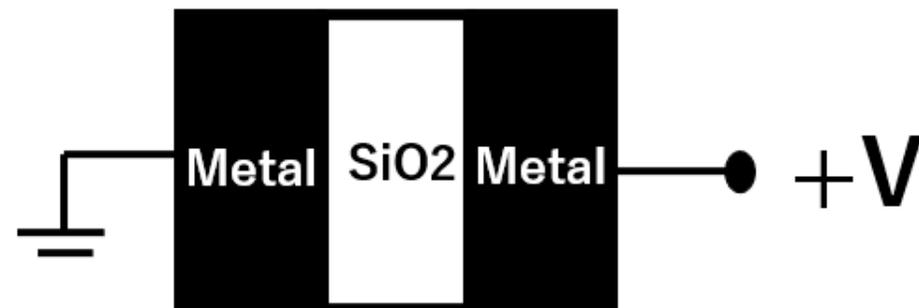
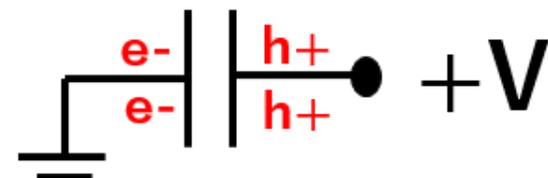


アルミ原子(中性 AL)₁₃ = アルミイオン (AL⁺)₁₂ + 自由電子 (e⁻)



電気容量 (C) とは? ^{Q1_1_07}

$$Q = C V$$



半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

抵抗率 ($\Omega \cdot m$) 10^{-8} 10^{-6} 10^{-4} 10^{-2}

1

 10^1 10^3 10^5 10^7 10^9

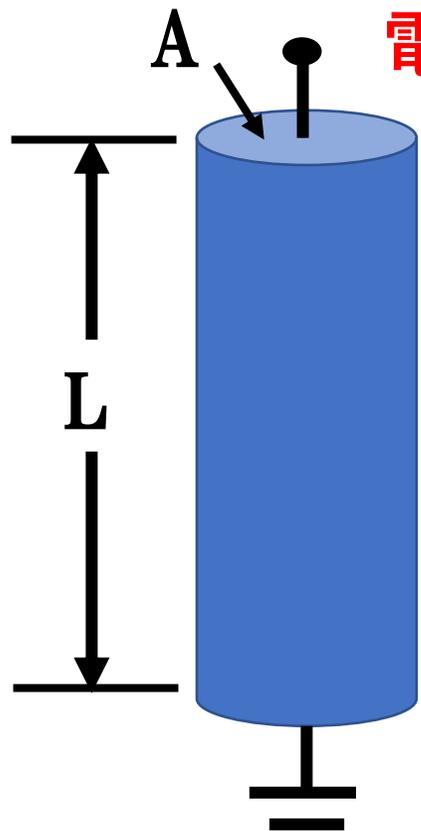
導体

Al, Ag, Au, Fe

半導体

Silicon, GaAs, Germanium, GaN, Ga₂O₃

絶縁体

SiO₂, Al₂O₃,

電圧 (V)

$$\sigma = 1 / \rho$$

電圧値 (V)の単位は volt

電流値 (I)の単位は ampere

抵抗値 (R)の単位は ohm (Ω)

$$\text{電流 (I)} = \frac{\text{電圧 (V)}}{\text{抵抗値 (\Omega)}}$$

抵抗率 (ρ)の単位は $\Omega \cdot \text{cm}$ 伝導率 (σ)の単位は $(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$

$$\text{抵抗値 (\Omega)} = \text{抵抗率 (\rho)} \frac{\text{長さ (L)}}{\text{面積 (A)}}$$

半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

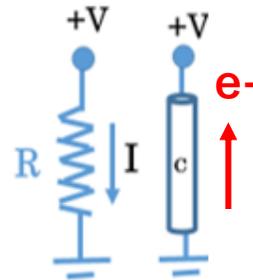
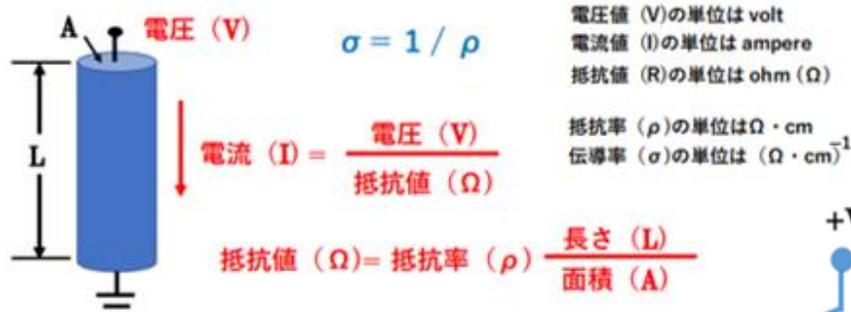
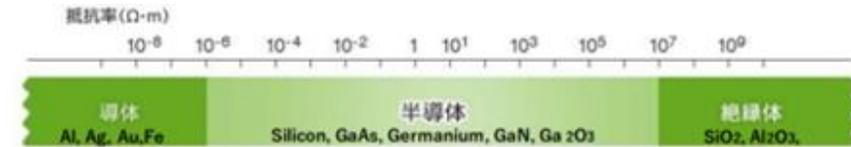
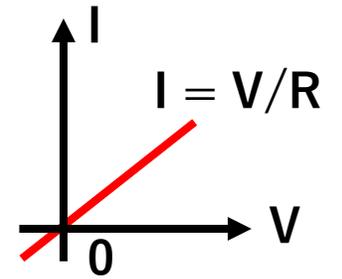
電流とは？

金属線や半導体に流れる電子の流れのこと
絶縁体の中では電流は流れない。

人類がはじめて電気を発見したとき人類は
電流が電子の流れであることを知らなかった。

電子の粒が、川の中を水の分子が流れるように、
金属線の中を流れることを人類は知った。

電流の流れる方向と電子の流れる方向は反対である。
電子は負(negative)の電荷(charge)を持つと知った。
金属は電子をたくさんその中に存在する電子の器である。

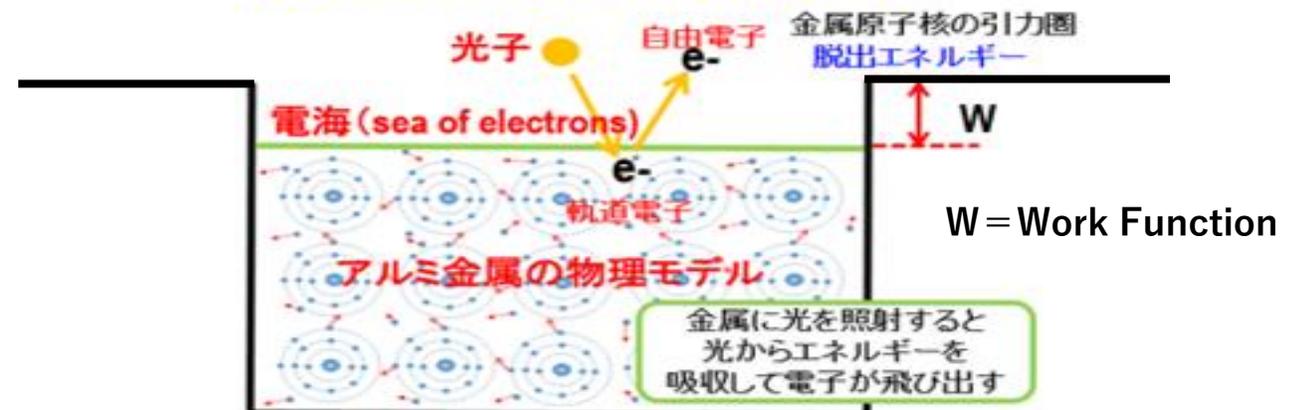


物質には電気を通す「導体」と、電気を通さない「絶縁体」とがあります。

- 導体は抵抗が低くて電気が通しやすい金、銀、銅などがあります。
- 絶縁体は抵抗が高く、電気が通りにくいゴム、ガラス、セラミックスなどがあります。

半導体とはその中間の性質を備えた物質で、人間の力で電気を通したり、電気の流れを止めたりできる便利な物質です。半導体には、いろいろな複雑な電氣的性質を備えた物質です。電気の流れにくさを示すものに抵抗率があります。「導体」と、電気を通さない「絶縁体」の中間的な性質を備える半導体は、温度によって抵抗率が変化します。低温時ではほとんど電気を通しませんが、温度が上昇するにつれて、電気が通りやすくなります。また不純物をほとんど含まない状態の半導体は、ほとんど電気を通しません。しかし、ある種の元素などを含ませることで電気を通りやすくなります。こうした性質が、多くの電化製品の制御を行なう上でとても役立つのです。

●金属の物理モデル(器の中に入った水モデル)



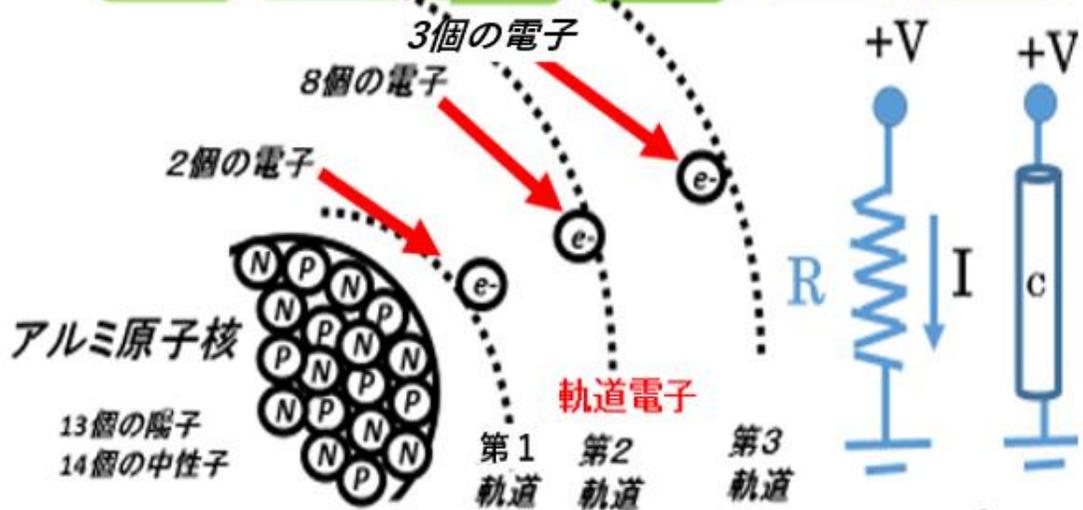
●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

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。

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



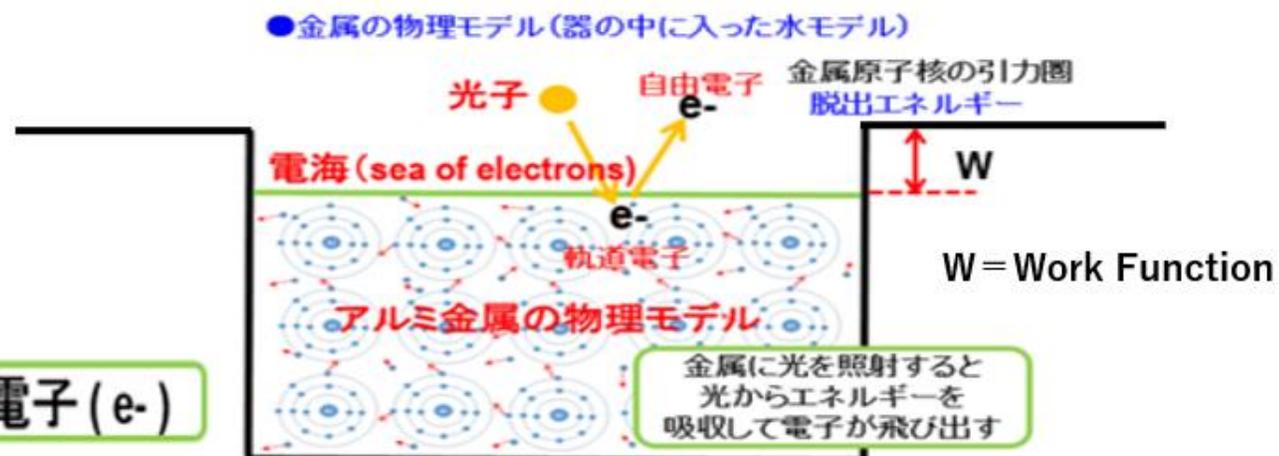
アルミ原子(中性 AL)₁₃ = アルミイオン (AL⁺)₁₂ + 自由電子 (e⁻)



(脱出エネルギー) = Energy Gap

For Aluminum, $E_g \ll 0.025 \text{ eV}$ $\lambda \gg 40 \mu\text{m}$

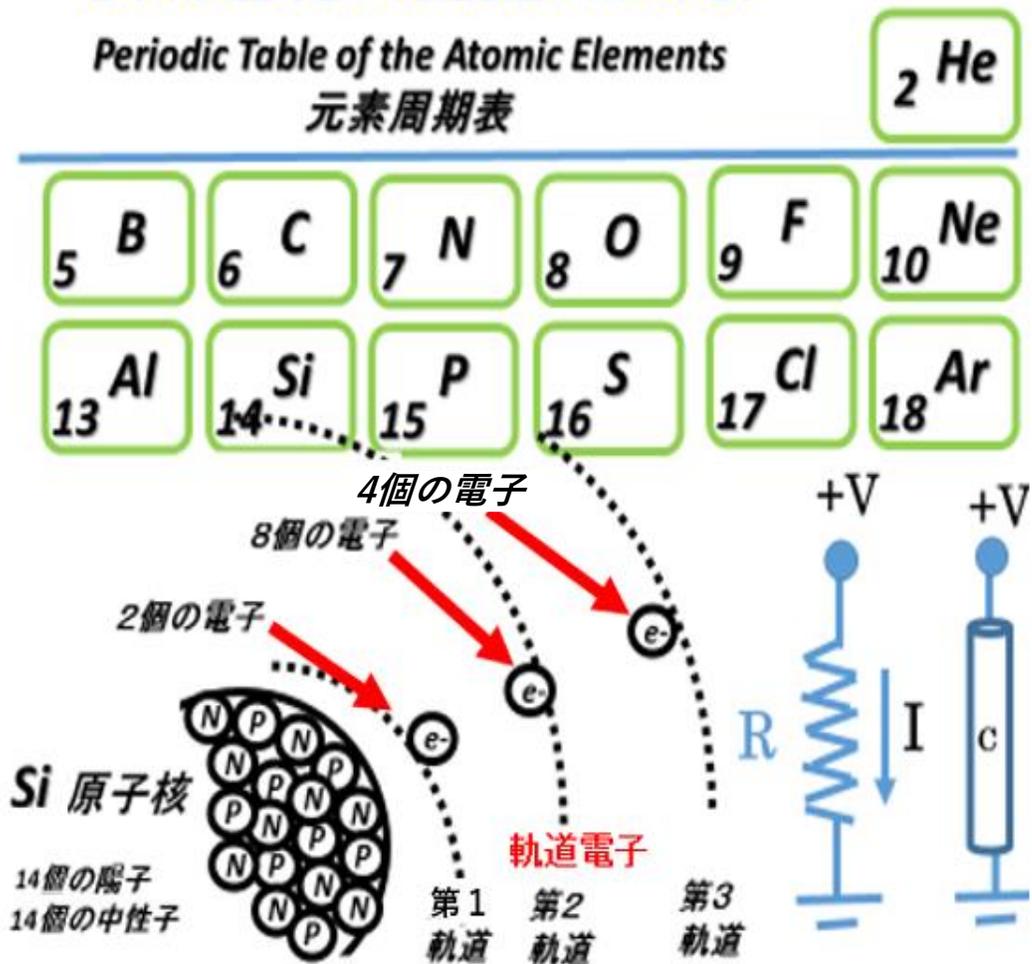
For Silicon, $E_g = 1.10 \text{ eV}$ and $\lambda = 1.12 \mu\text{m}$



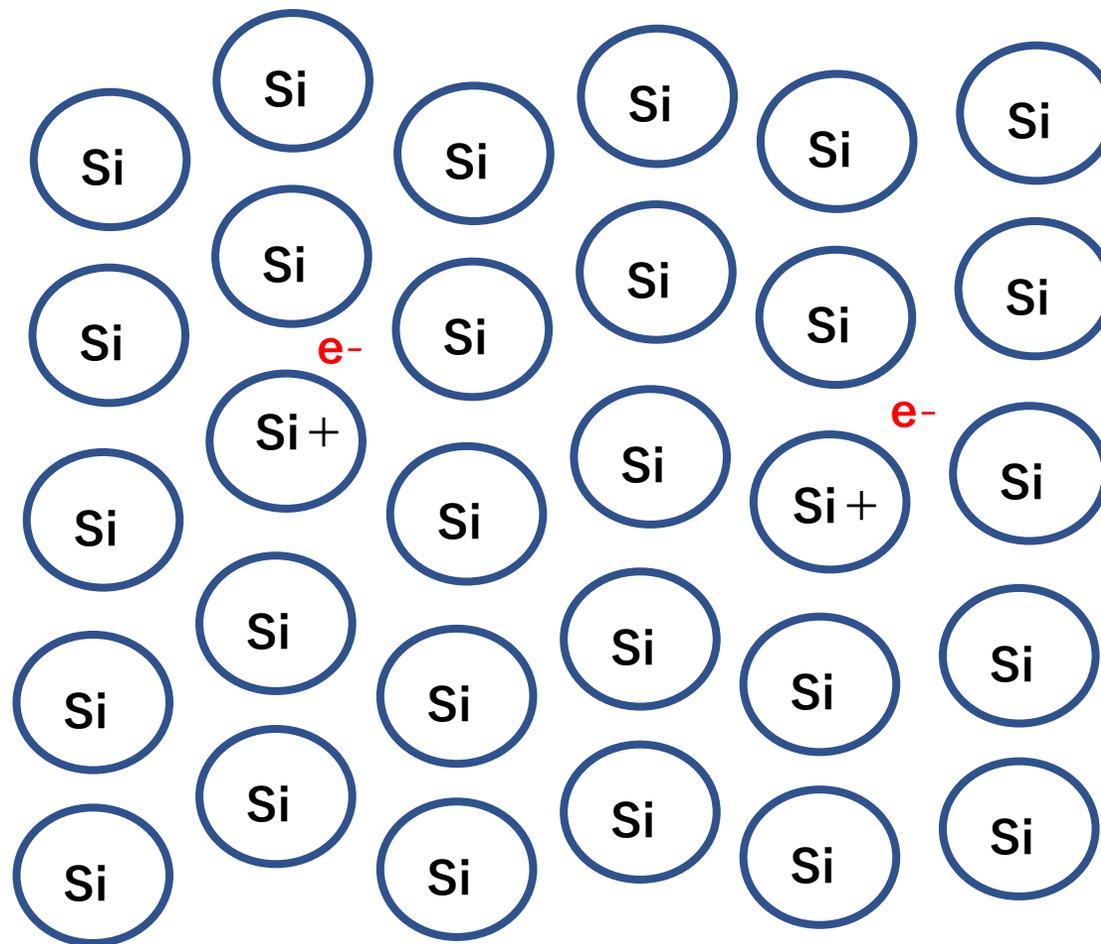
●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

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。

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



Intrinsic (純粹の) silicon では分離した自由電子が少ない。



抵抗率が大きい

半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

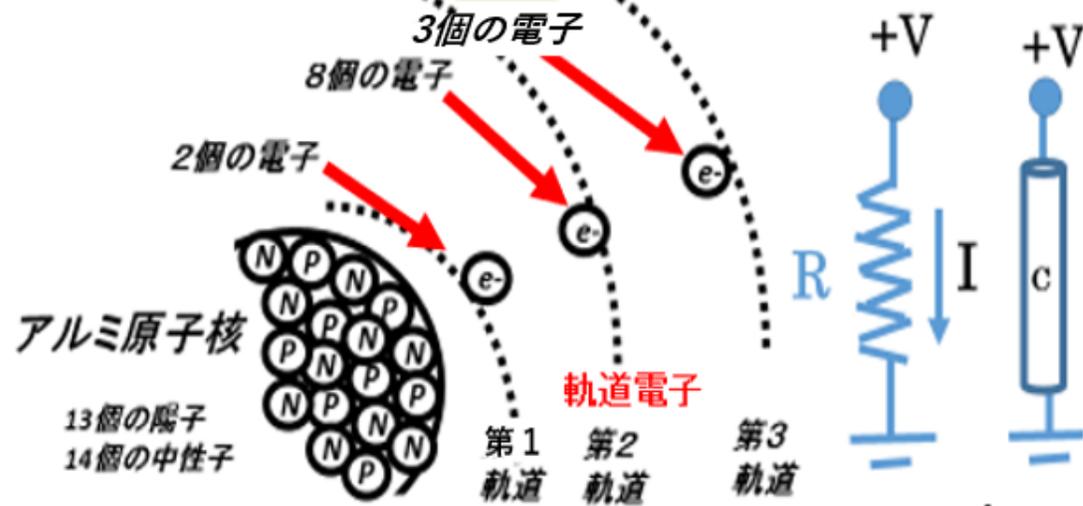
●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

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。

Periodic Table of the Atomic Elements
元素周期表

2 He

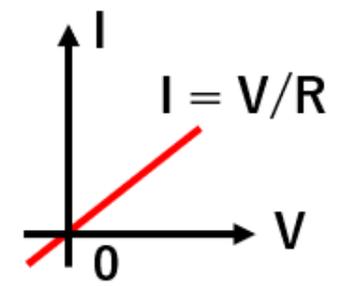
5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar



アルミ原子(中性 AL)₁₃ = アルミイオン (AL⁺)₁₂ + 自由電子 (e⁻)

電流とは？

金属線や半導体に流れる電子の流れのこと
絶縁体の中では電流は流れない。

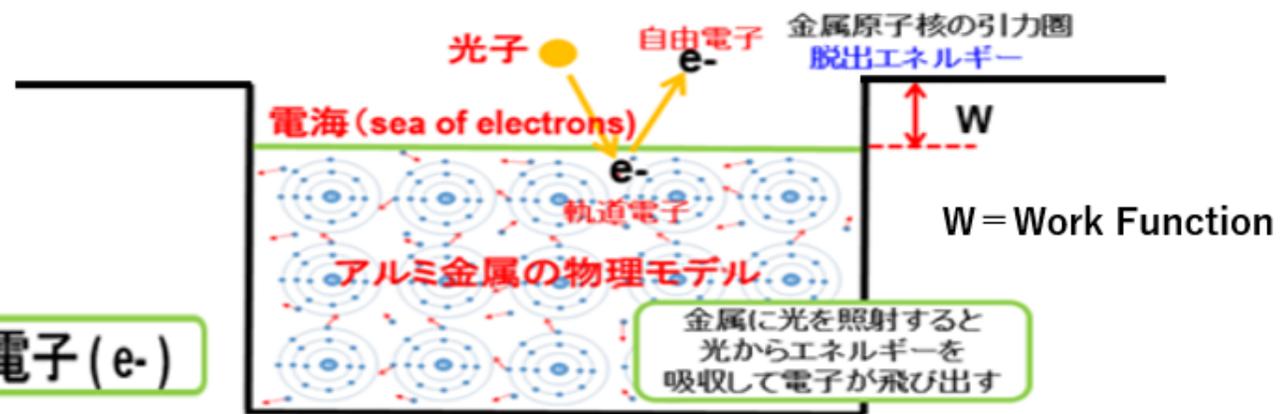


人類がはじめて電気を発見したとき人類は電流が電子の流れであることを知らなかった。

電子の粒が、川の中を水の分子が流れるように、金属線の中を流れることを人類は知った。

電流の流れる方向と電子の流れる方向は反対である。
電子は負(negative)の電荷(charge)を持つと知った。
金属は電子をたくさんその中に存在する電子の器である。

●金属の物理モデル(器の中に入った水モデル)

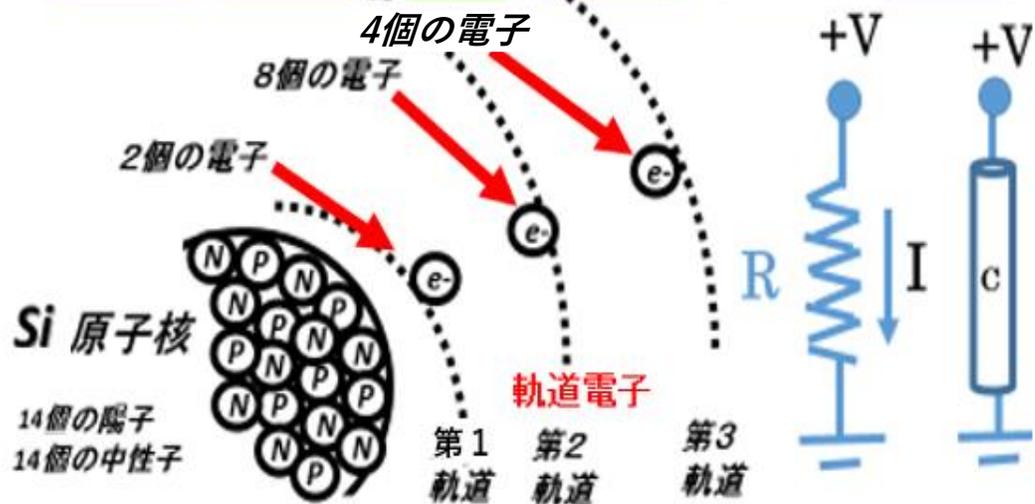


●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

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。

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	



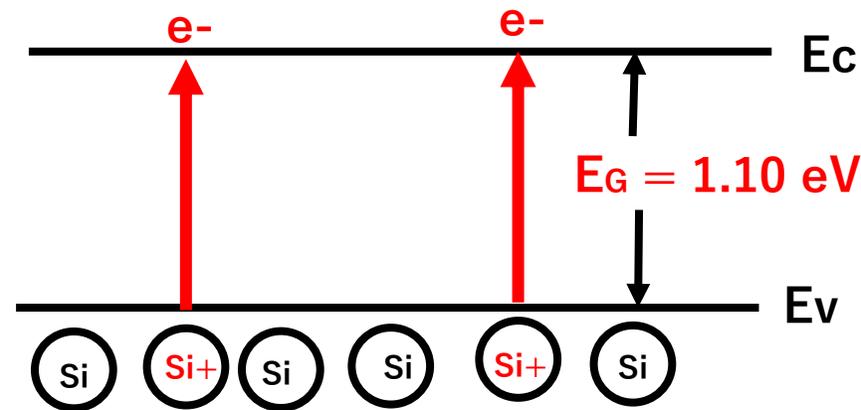
シリコン原子(中性)₁₄ = シリコンイオン (Si⁺)₁₃ + 自由電子 (e⁻)



(脱出エネルギー) = Energy Gap

For Aluminum, $E_G \ll 0.025 \text{ eV}$ $\lambda \gg 40 \mu\text{m}$

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

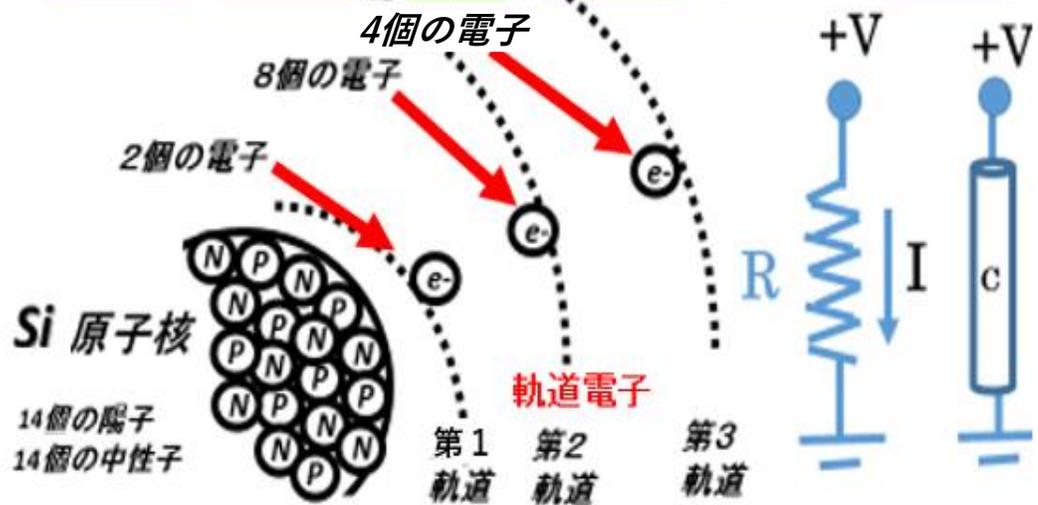


●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

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。

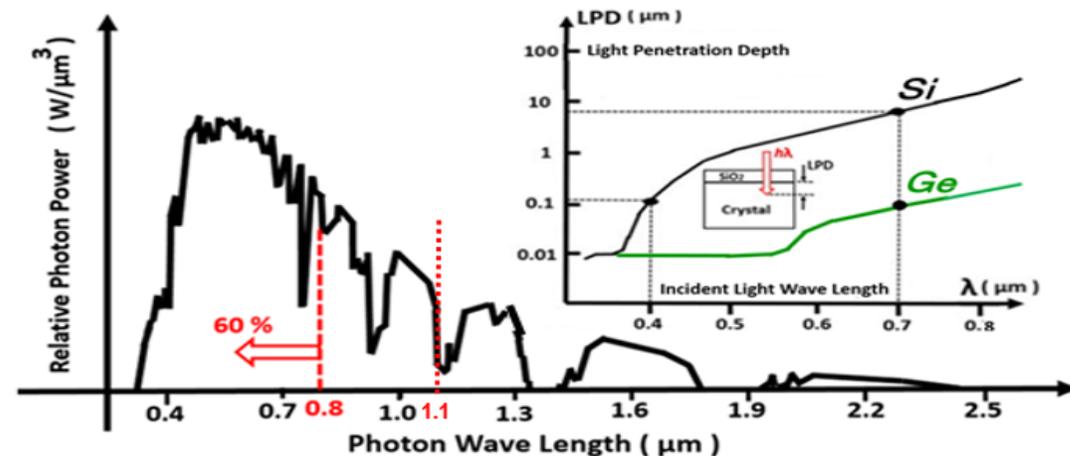
Periodic Table of the Atomic Elements
元素周期表

					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



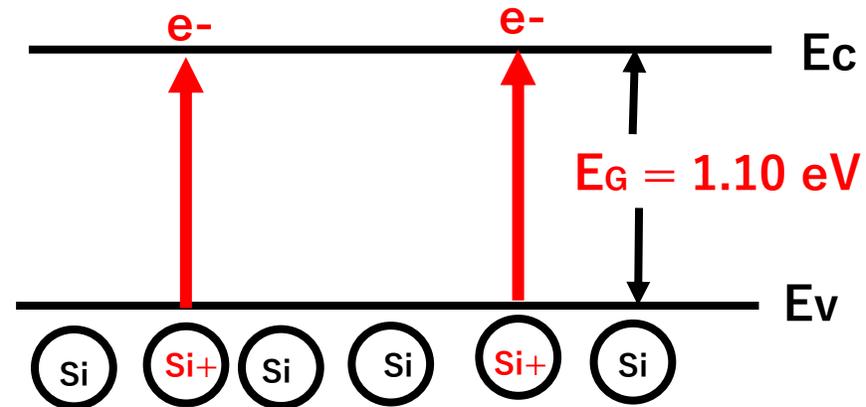
シリコン原子(中性)₁₄ = シリコンイオン (Si⁺)₁₃ + 自由電子 (e⁻)

太陽光の波長スペクトラム



太陽光のエネルギー成分は青色光が豊富である。
遠赤外線は光電変換不可能で熱になる。

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

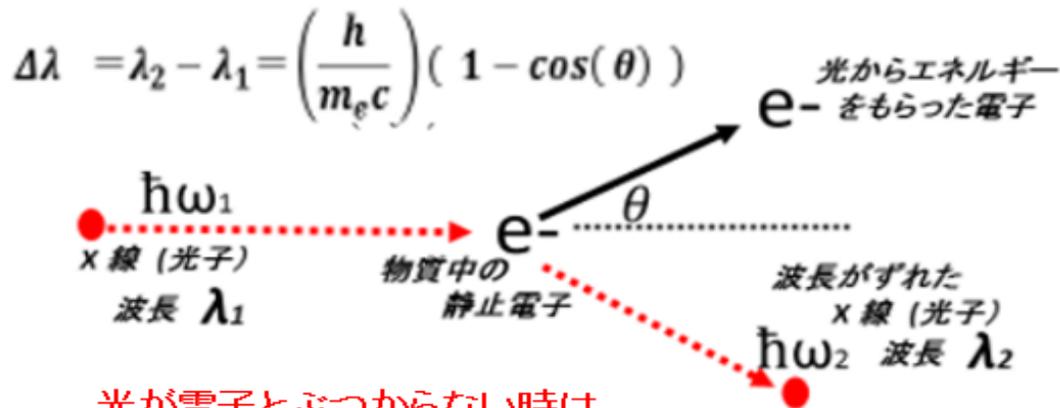


半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) **N型半導体とは?** 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

- 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！

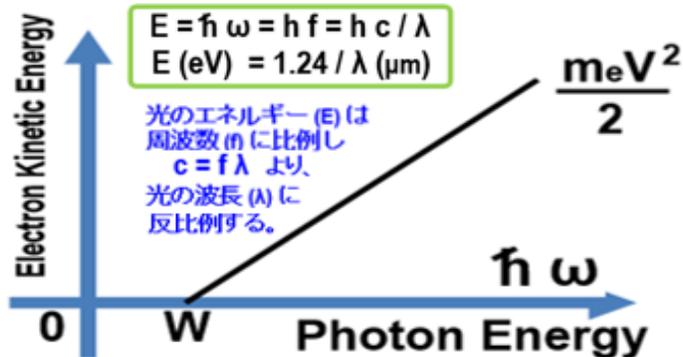


光が電子とぶつからない時は $\theta=0$ で光は直進し波長の変化はない。

光の速度 $C = 2.99792458 \times 10^{10}$ cm/sec

Plank 定数 $h = 6.62606957 \times 10^{-34}$ Joule·sec

電子の質量 $m_e = 9.10938291 \times 10^{-31}$ kg



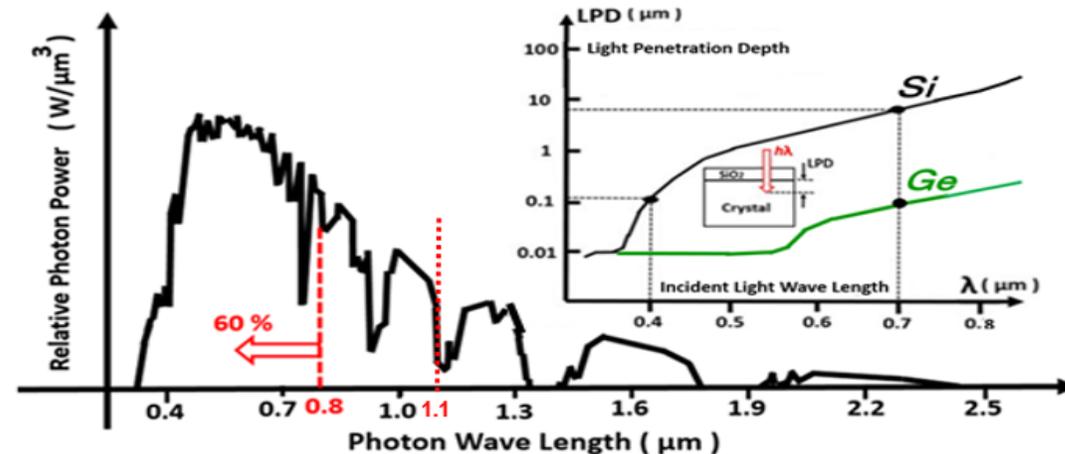
$$E = \hbar \omega = hf = hc / \lambda$$

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

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 (λ) に反比例する。

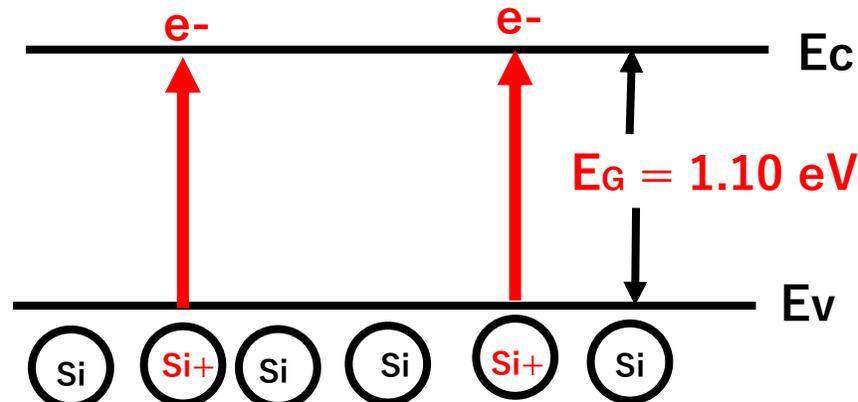
Work Function (W)の値から金属の種類が判明する。

太陽光の波長スペクトラム



太陽光のエネルギー成分は青色光が豊富である。遠赤外線は光電変換不可能で熱になる。

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



●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

アルミ原子(中性)₁₃ = アルミイオン (Al⁺)₁₂ + 自由電子 (e⁻)

シリコン原子(中性)₁₄ = シリコンイオン (Si⁺)₁₃ + 自由電子 (e⁻)

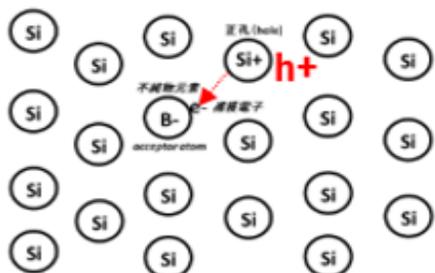
Donor Phosphorus Atom (As)

りん原子(中性)₁₅ = りんイオン (P⁺)₁₄ + 自由電子 (e⁻)

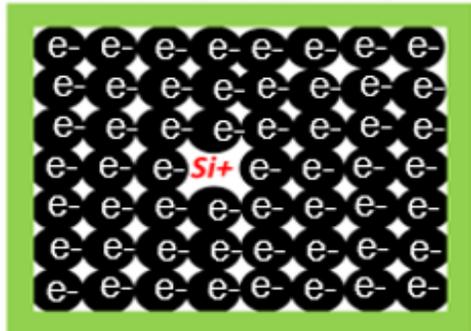
Acceptor Boron Atom (B)

ボロンの原子(中性)₅ + 自由電子 (e⁻) = ボロンイオン (B⁻)₆

P型半導体の物理モデル



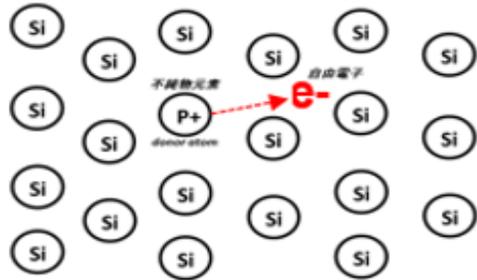
ホールがぎっしり詰まった箱



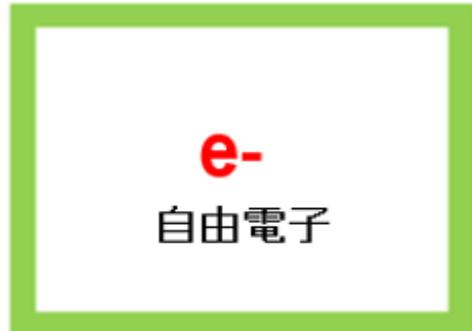
Holeが主役

Donor Phosphorus Atom (As)

N型半導体の物理モデル



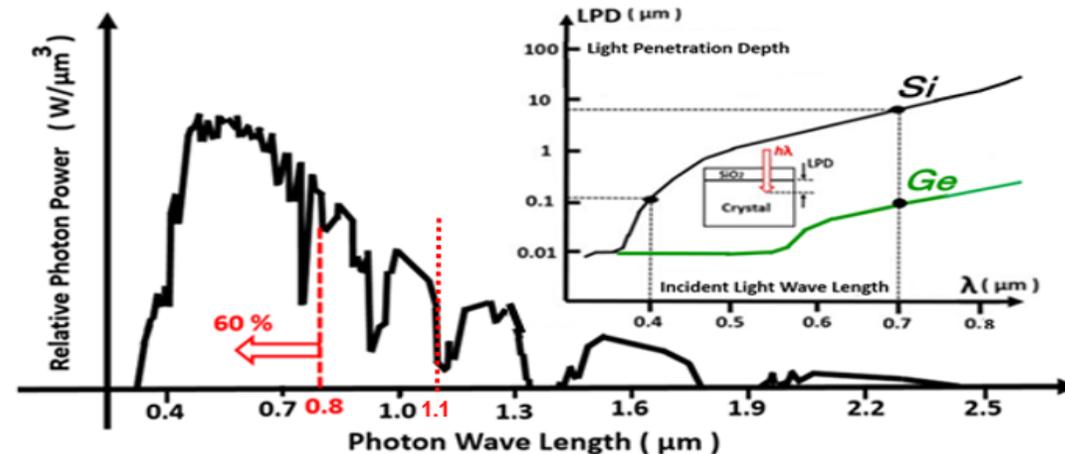
空っぽの箱



電子が主役

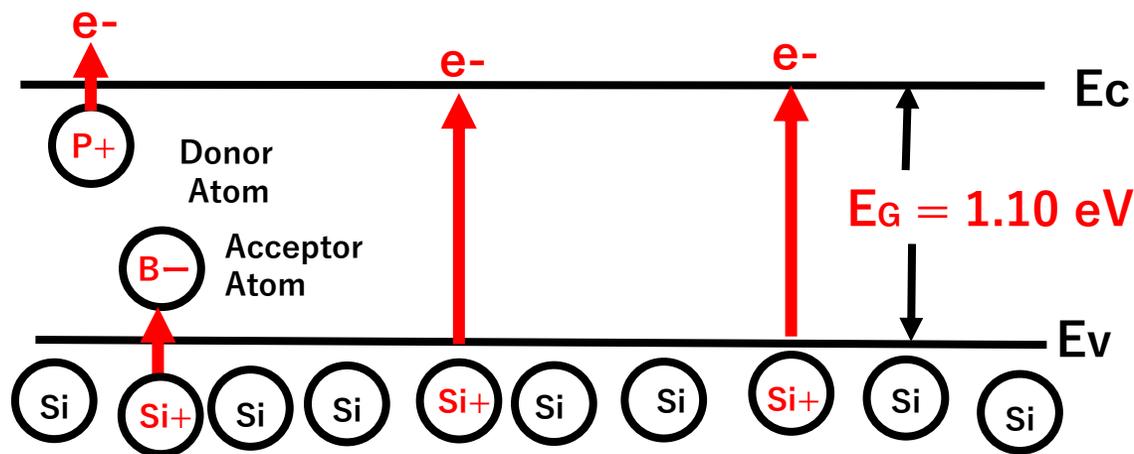
Acceptor Boron Atom (B)

太陽光の波長スペクトラム



太陽光のエネルギー成分は青色光が豊富である。
遠赤外線は光電変換不可能で熱になる。

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



●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

アルミ原子(中性)₁₃ = アルミイオン (Al⁺)₁₂ + 自由電子 (e⁻)

シリコン原子(中性)₁₄ = シリコンイオン (Si⁺)₁₃ + 自由電子 (e⁻)

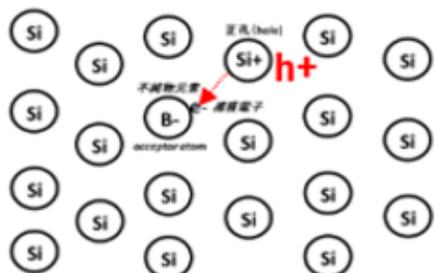
Donor Phosphorus Atom (As)

りん原子(中性)₁₅ = りんイオン (P⁺)₁₄ + 自由電子 (e⁻)

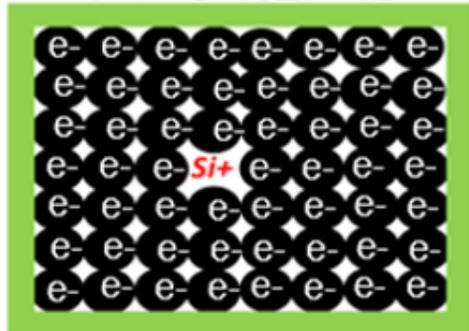
Acceptor Boron Atom (B)

ボロンの原子(中性)₅ + 自由電子 (e⁻) = ボロンイオン (B⁻)₆

P型半導体の物理モデル



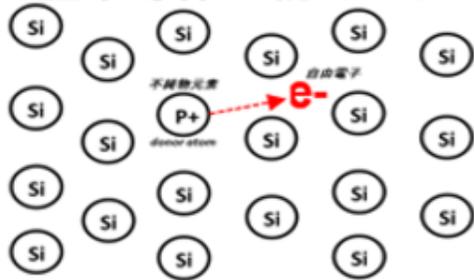
ホールがぎっしり詰まった箱



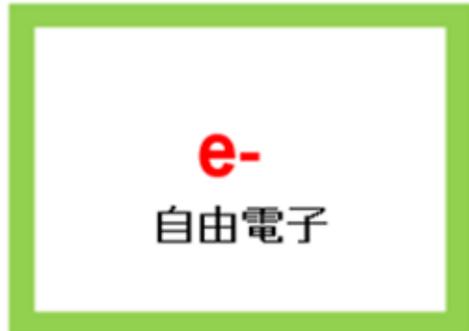
Holeが主役

Donor Phosphorus Atom (As)

N型半導体の物理モデル



空っぽの箱

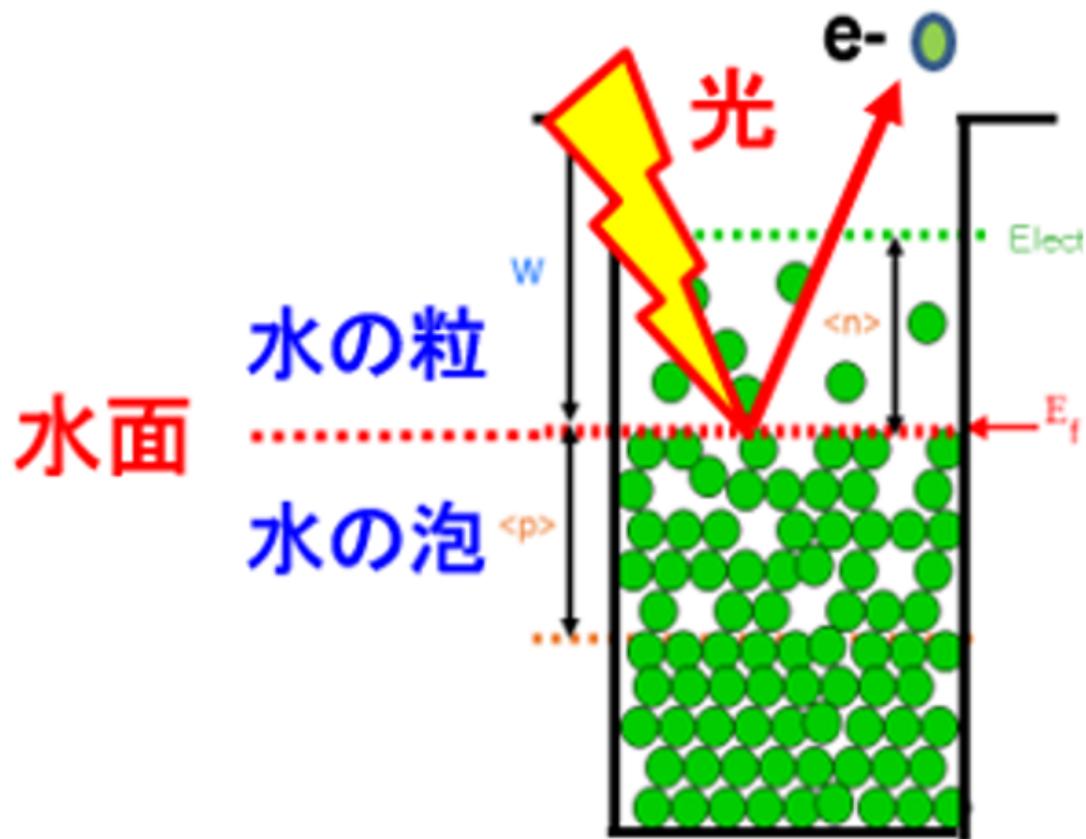


電子が主役

Acceptor Boron Atom (B)

金属の物理モデル (水が入った器)

水面 = Fermi Level



●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

アルミ原子(中性)₁₃ = アルミイオン (Al⁺)₁₂ + 自由電子 (e⁻)

シリコン原子(中性)₁₄ = シリコンイオン (Si⁺)₁₃ + 自由電子 (e⁻)

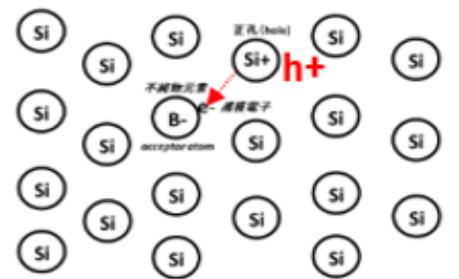
Donor Phosphorus Atom (As)

りん原子(中性)₁₅ = りんイオン (P⁺)₁₄ + 自由電子 (e⁻)

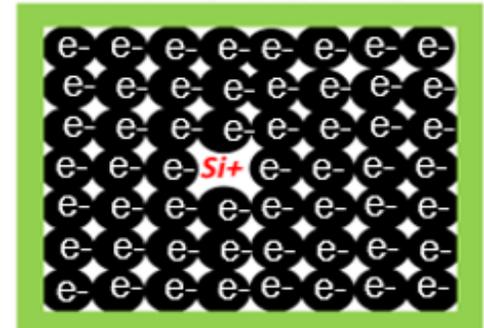
Acceptor Boron Atom (B)

ボロンの原子(中性)₅ + 自由電子 (e⁻) = ボロンイオン (B⁻)₆

P型半導体の物理モデル



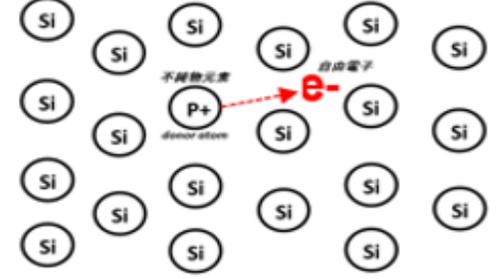
ホールがぎっしり詰まった箱



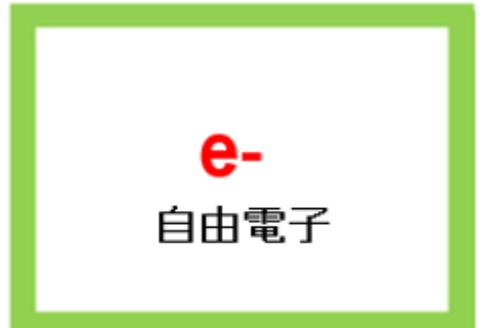
Holeが主役

Donor Phosphorus Atom (As)

N型半導体の物理モデル



空っぽの箱

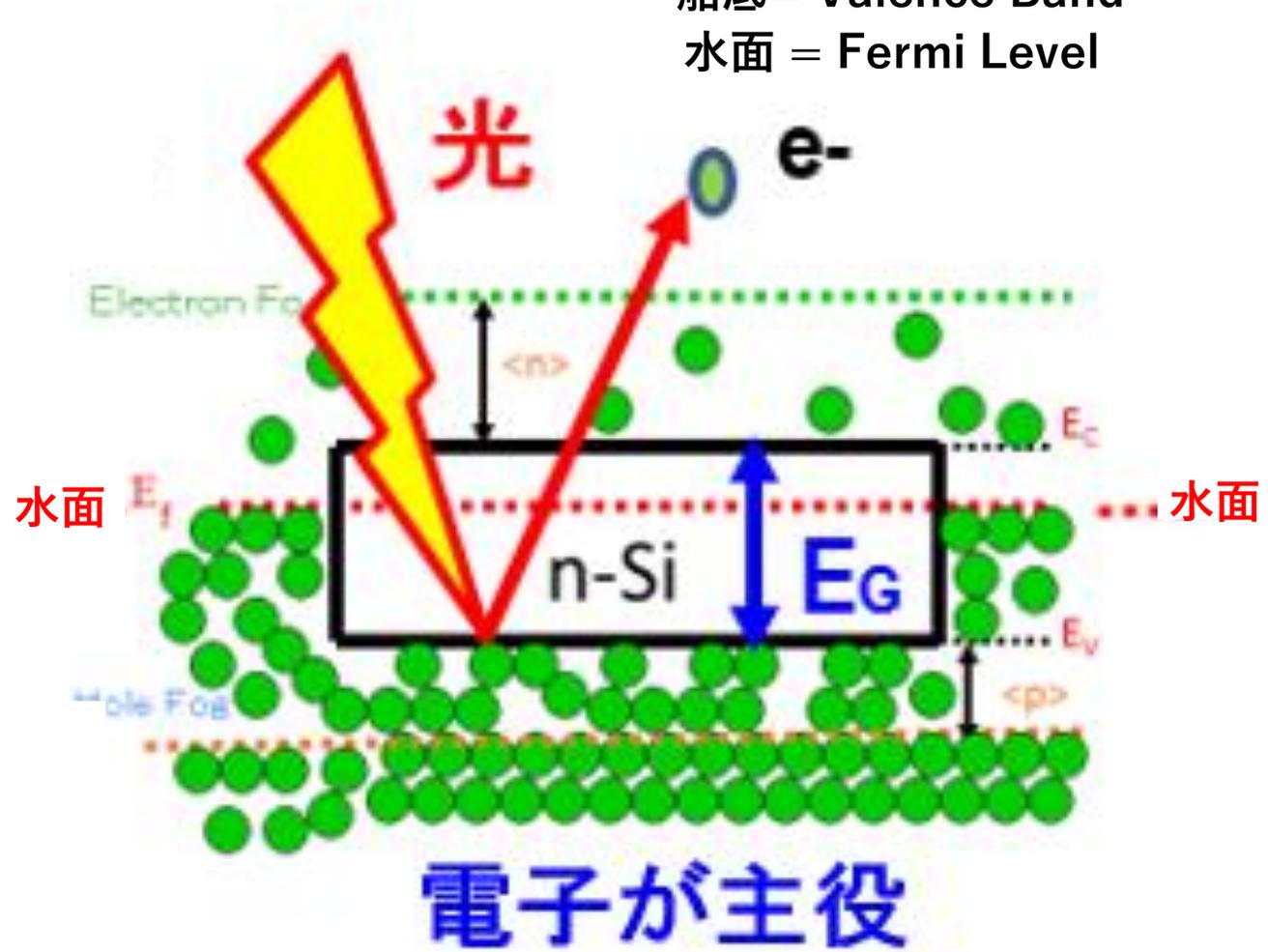


電子が主役

Acceptor Boron Atom (B)

N型半導体の物理モデル
(満タンの石油タンカー)

甲板 = Conduction Band
船底 = Valence Band
水面 = Fermi Level



半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

アルミ原子(中性)₁₃ = アルミイオン (Al⁺)₁₂ + 自由電子 (e⁻)

シリコン原子(中性)₁₄ = シリコンイオン (Si⁺)₁₃ + 自由電子 (e⁻)

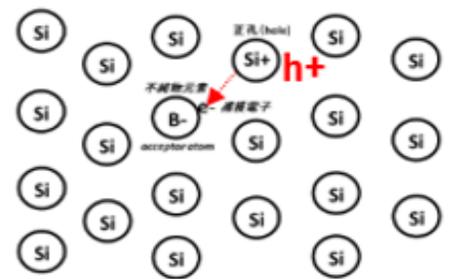
Donor Phosphorus Atom (As)

りん原子(中性)₁₅ = りんイオン (P⁺)₁₄ + 自由電子 (e⁻)

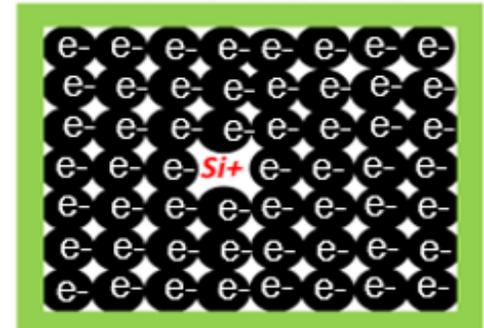
Acceptor Boron Atom (B)

ボロンの原子(中性)₅ + 自由電子 (e⁻) = ボロンイオン (B⁻)₆

P 型半導体の物理モデル

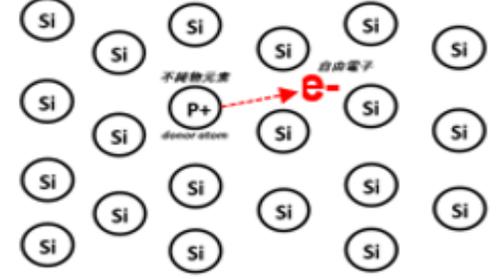


ホールがぎっしり詰まった箱

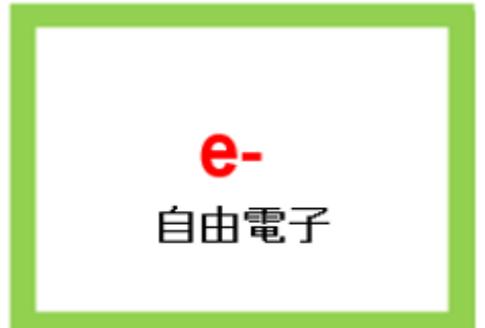


Holeが主役

N 型半導体の物理モデル



空っぽの箱



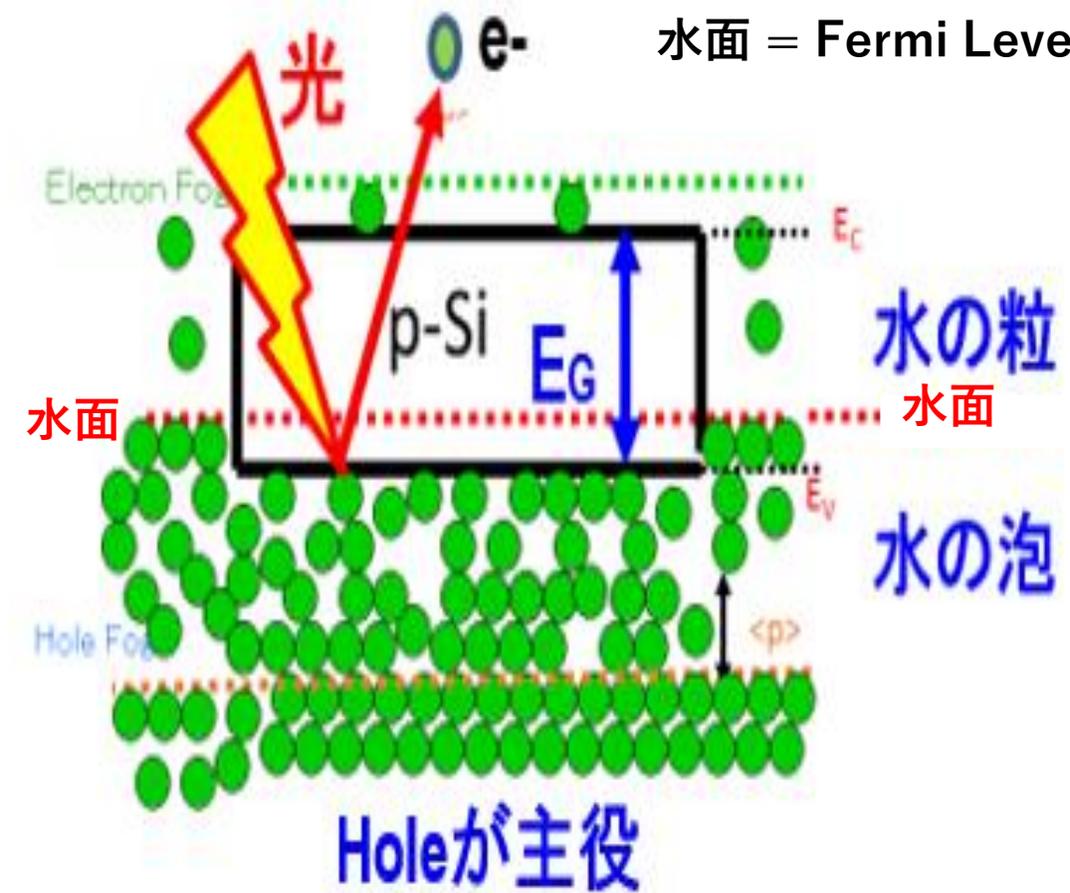
電子が主役

Donor Phosphorus Atom (As)

Acceptor Boron Atom (B)

P 型半導体の物理モデル (空の石油タンカー)

甲板 = Conduction Band
船底 = Valence Band
水面 = Fermi Level



●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

アルミ原子(中性)₁₃ = アルミイオン (Al⁺)₁₂ + 自由電子 (e⁻)

シリコン原子(中性)₁₄ = シリコンイオン (Si⁺)₁₃ + 自由電子 (e⁻)

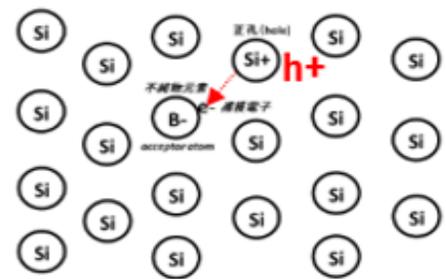
Donor Phosphorus Atom (As)

りん原子(中性)₁₅ = りんイオン (P⁺)₁₄ + 自由電子 (e⁻)

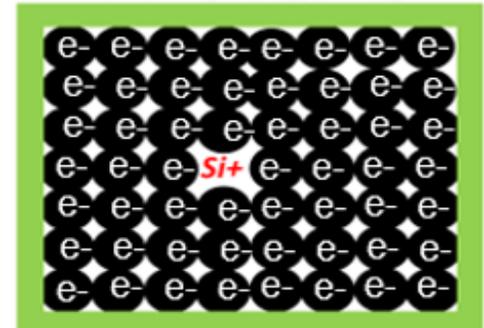
Acceptor Boron Atom (B)

ボロンの原子(中性)₅ + 自由電子 (e⁻) = ボロンイオン (B⁻)₆

P 型半導体の物理モデル



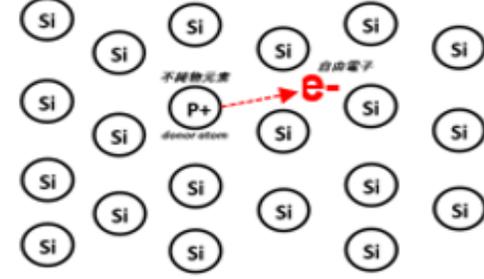
ホールがぎっしり詰まった箱



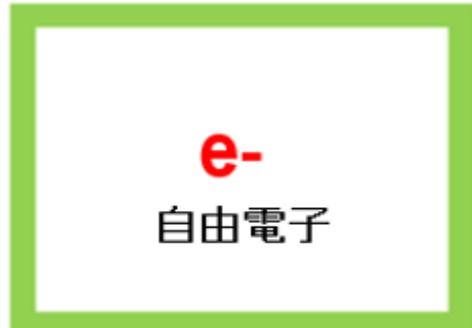
Holeが主役

Donor Phosphorus Atom (As)

N 型半導体の物理モデル



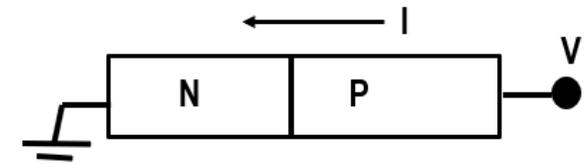
空っぽの箱



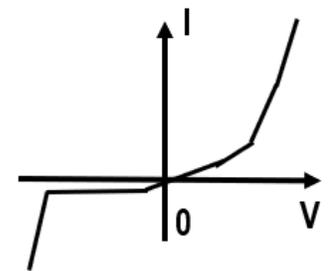
電子が主役

Acceptor Boron Atom (B)

●電子やホールが移動する時に、PN接合の中では電位障壁(バリア)が存在する。



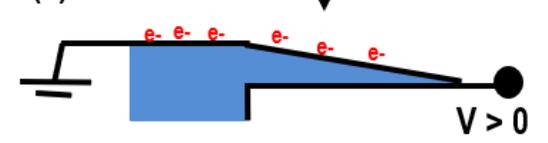
PN接合のIV特性



(1) Off State

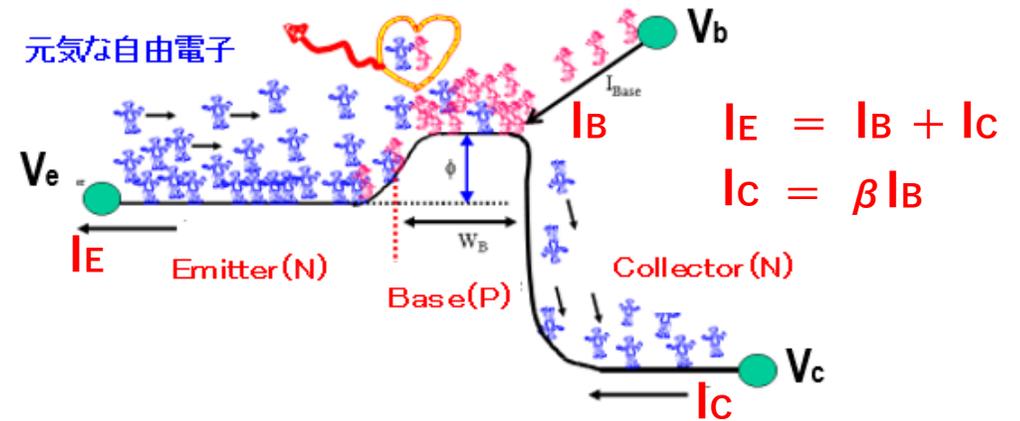
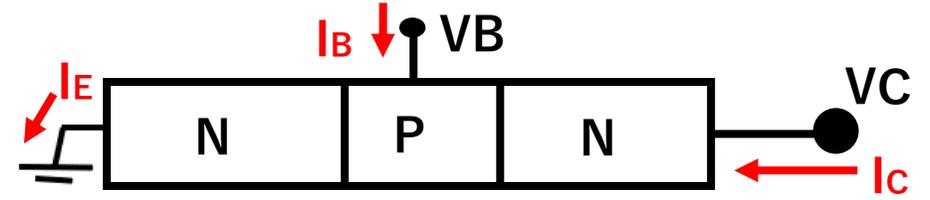


(2) ON State



- V > 0 の時は順方向バイアス
- V < 0 の時は逆方向バイアス
- PN接合の中の電子の流れを水の流と比較するとどうもPN接合の中では電子が見る障壁(バリア)があると説明すると理解しやすい。

●NPN transistorの動作原理



●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

アルミ原子(中性)₁₃ = アルミイオン (Al⁺)₁₂ + 自由電子 (e⁻)

シリコン原子(中性)₁₄ = シリコンイオン (Si⁺)₁₃ + 自由電子 (e⁻)

Donor Phosphorus Atom (As)

りん原子(中性)₁₅ = りんイオン (P⁺)₁₄ + 自由電子 (e⁻)

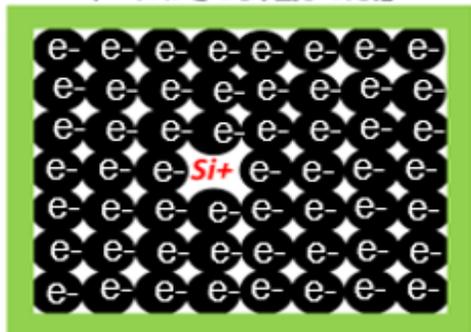
Acceptor Boron Atom (B)

ボロンの原子(中性)₅ + 自由電子 (e⁻) = ボロンイオン (B⁻)₆

P型半導体の物理モデル



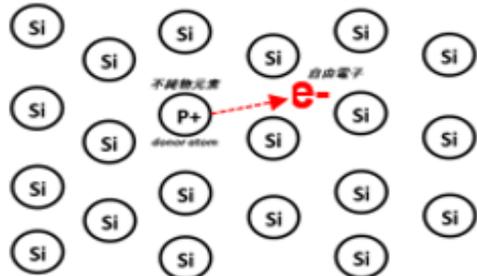
ホールがぎっしり詰まった箱



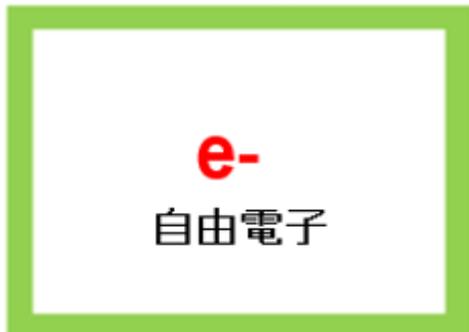
Holeが主役

Donor Phosphorus Atom (As)

N型半導体の物理モデル

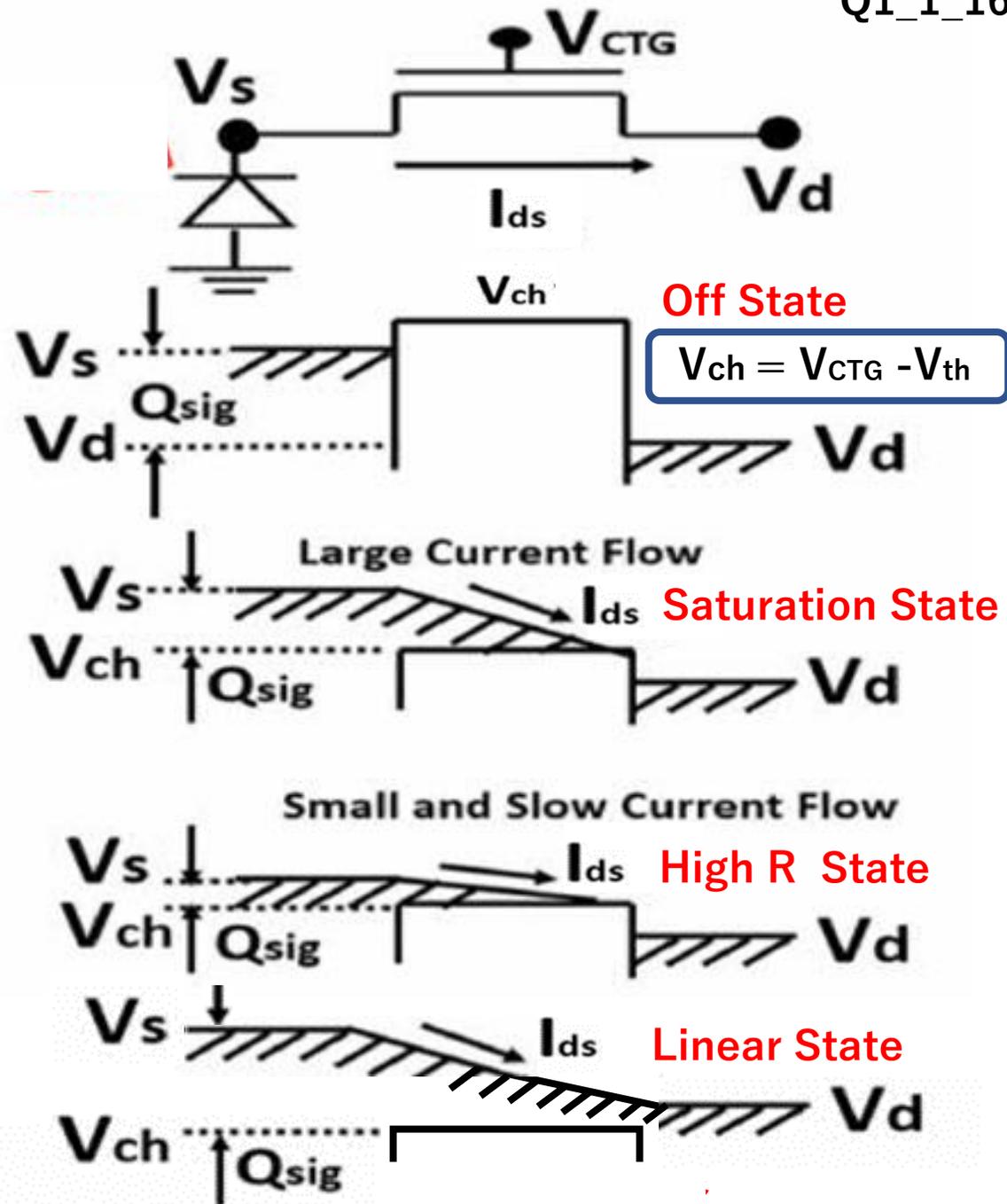


空っぽの箱



電子が主役

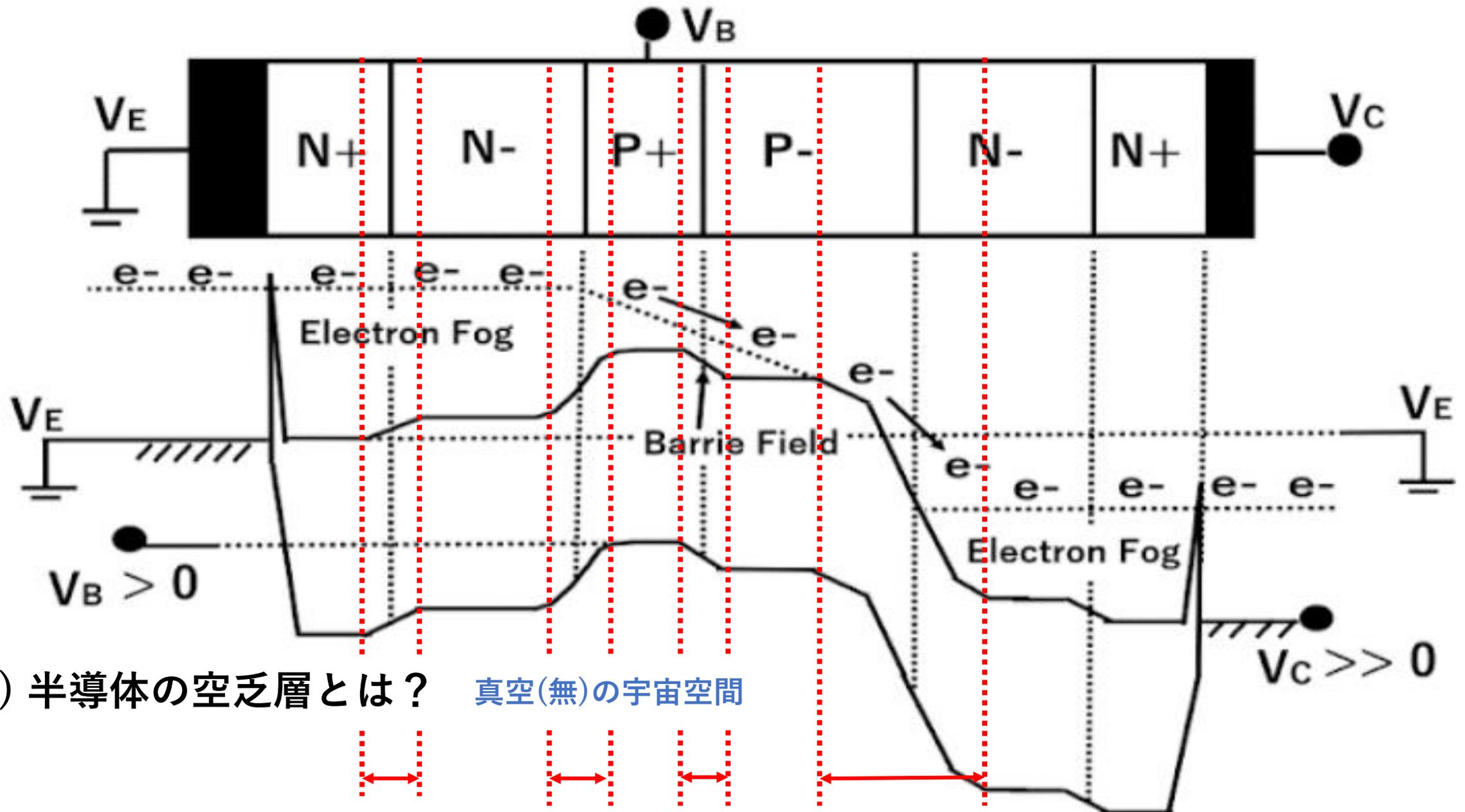
Acceptor Boron Atom (B)



半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

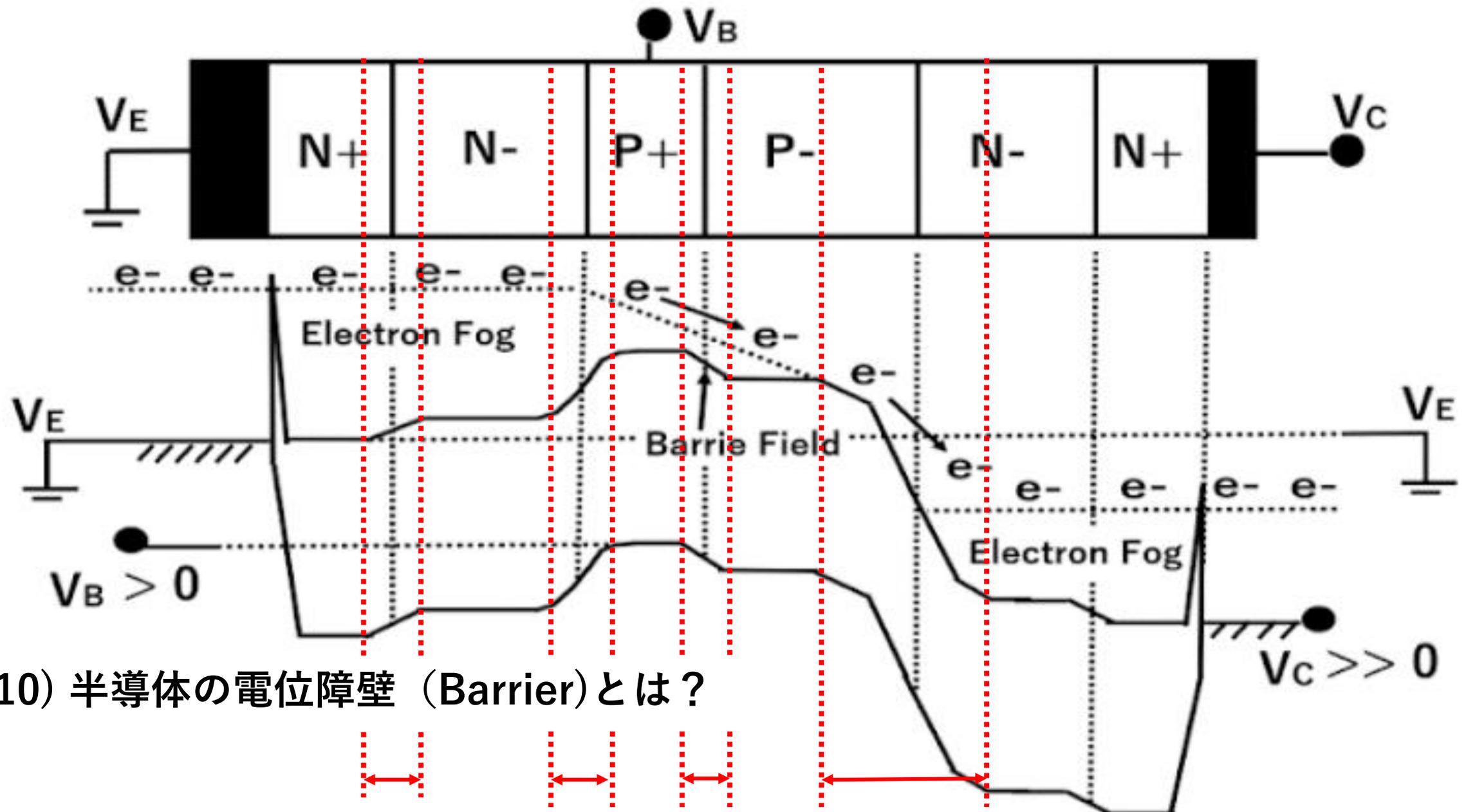
The drift-field transistor for high frequency operations, invented by Herbert Kroemer in 1953.



(9) 半導体の空乏層とは？ 真空(無)の宇宙空間

半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

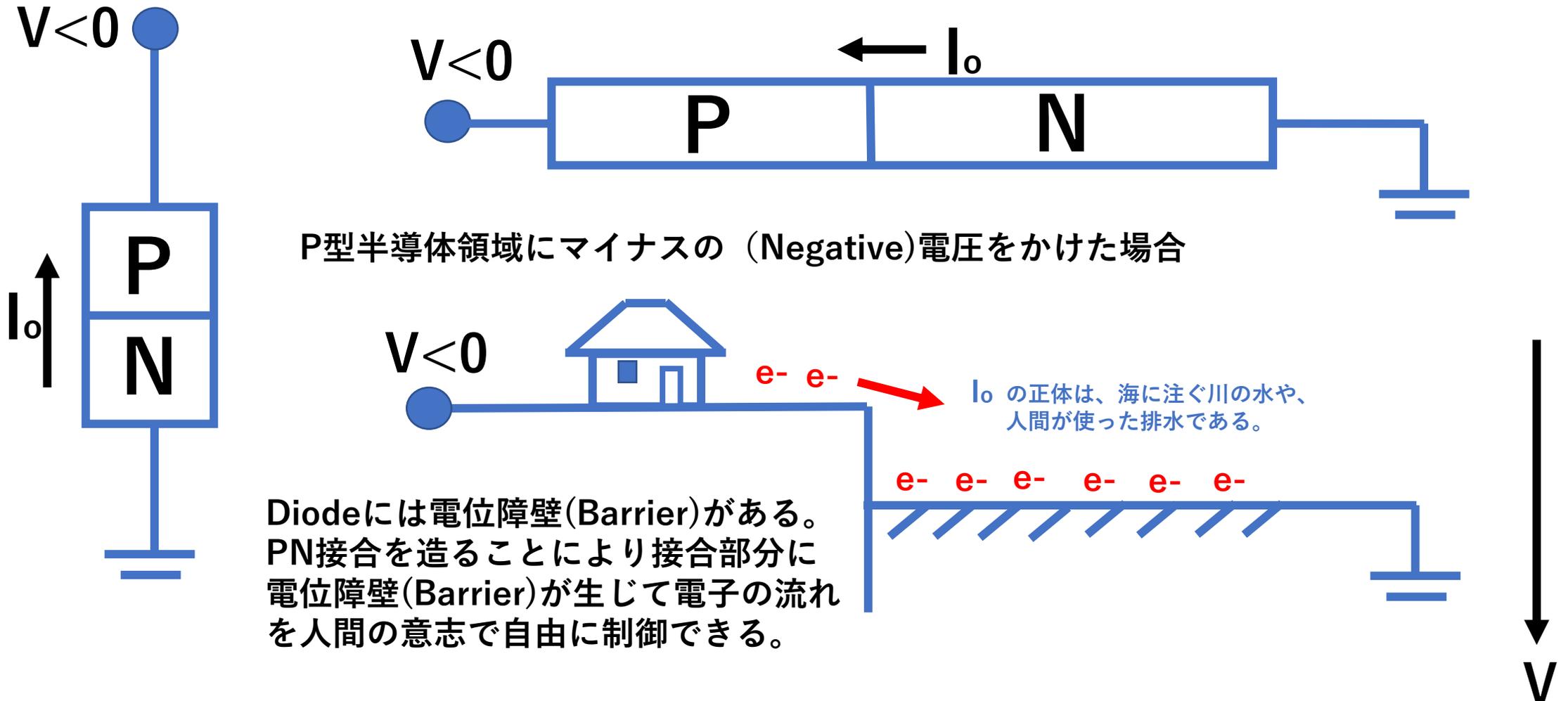


(10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは？

(11) PN接合(Diode)とは？

海（N領域）より陸地（P領域）が高い場合、
海の水（電子）は陸地（P領域）には押し寄せない。

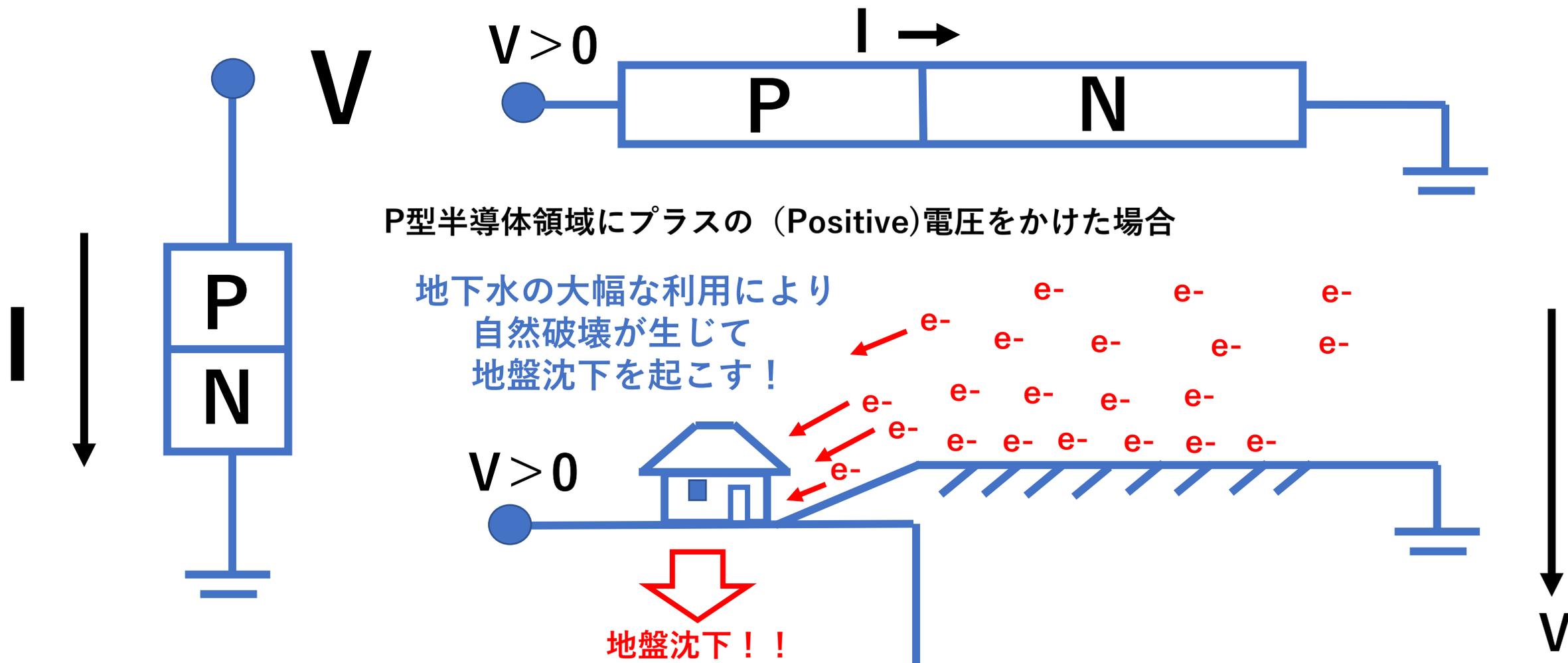
一方、海水面（GNDレベル）より陸地（P領域）が低くなるとこれは大変だ！



(11) PN接合(Diode)とは？

海（N領域）より陸地（P領域）が高い場合、
海の水（電子）は陸地（P領域）には押し寄せない。

一方、海水面（GNDレベル）より陸地（P領域）が低くなるとこれは大変だ！

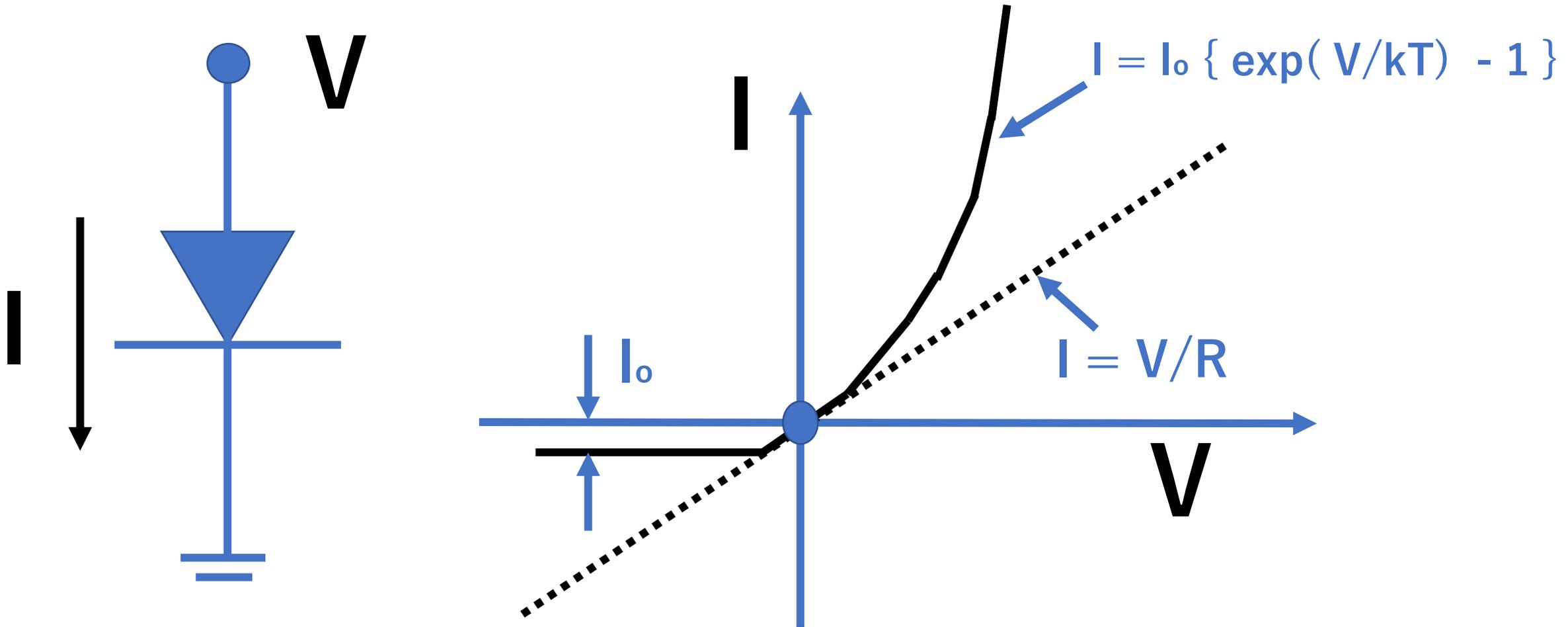


半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNP 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

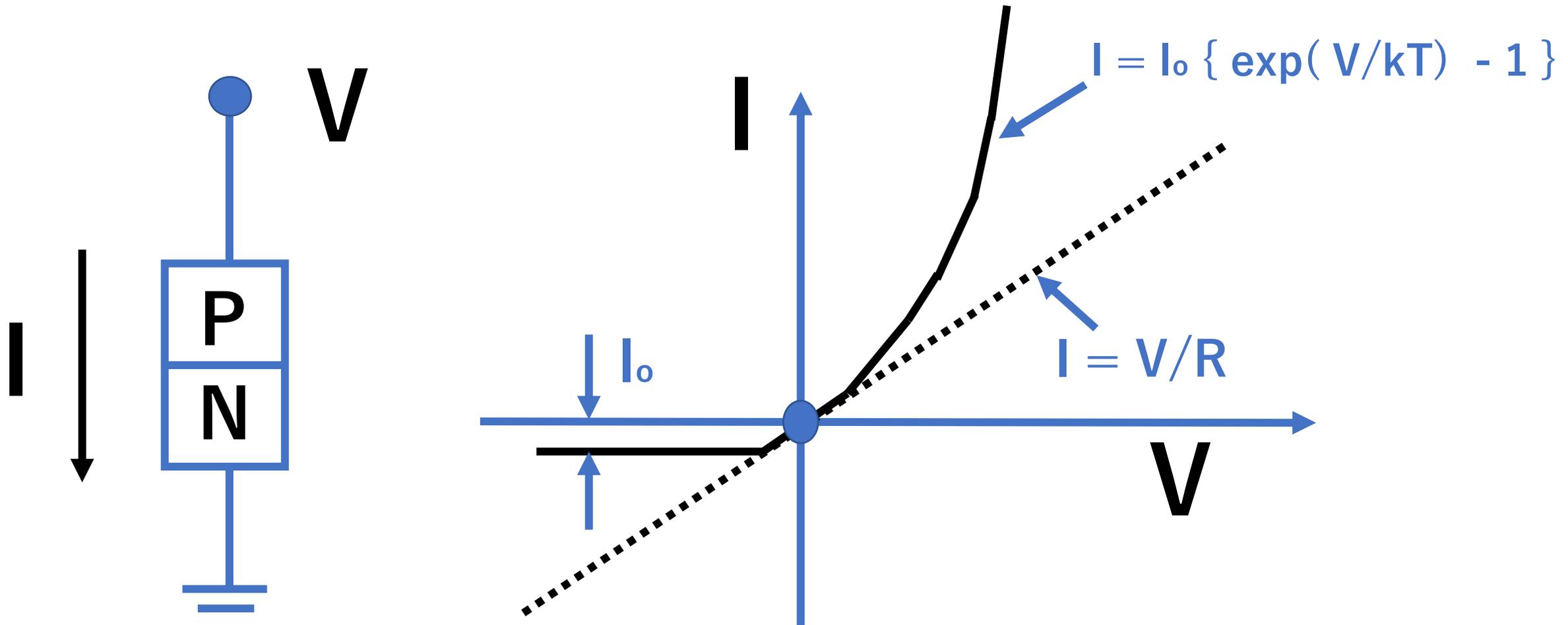
(11) PN接合(Diode)とは？

Diode とはPN接合のことで、P型半導体領域のプラス (Positive)の電圧をかけると電流が指数関数的に増加する。一方、P型半導体領域にマイナス (Negative)の電圧をかけると電流がほとんど流れない。そのリーク電流 I_0 はほぼ一定である。このリーク電流が実は、「チリも積もれば山となり」、半導体大集積回路 (LSI)規模になると無視できない大きな消費電流となる。



(11) PN接合(Diode)とは？

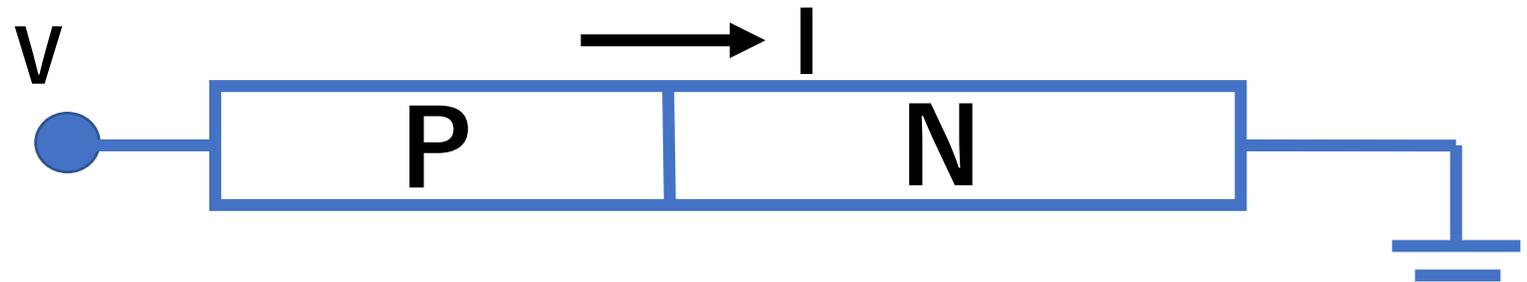
Diode (PN接合) はプラス (P) の電圧を領域にかけると電流が流れ、マイナス (Negative) 電圧をかけると電流が流れない。一見、不思議な半導体素子の理解が困難な複雑な動作に感じるが、電子の粒子を、水の粒子に置き換えて共通類似点を直観的に理解してみるとまったく不思議でもなんでもない、単純な自然現象であることが理解できる。



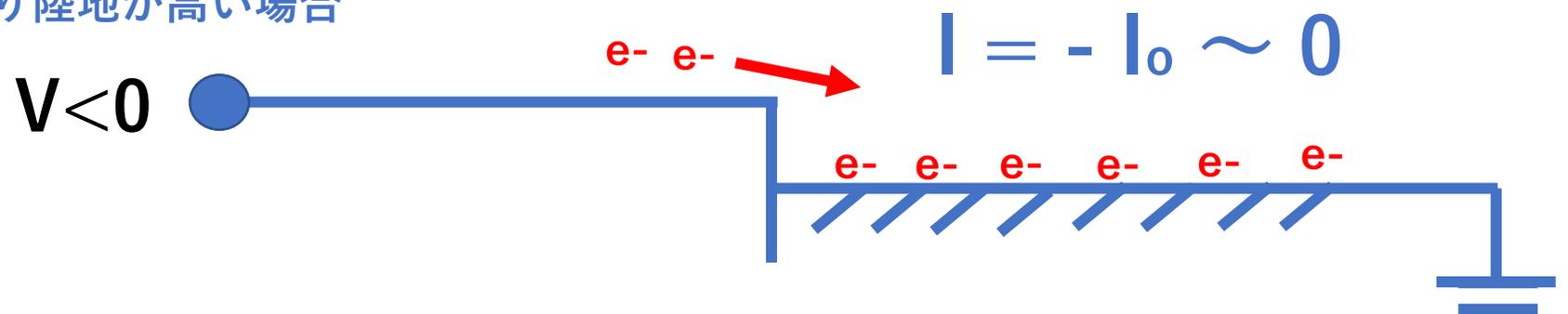
(11) PN接合(Diode)とは？

海（N領域）より陸地（P領域）が高い場合、
海の水（電子）は陸地（P領域）には押し寄せない。

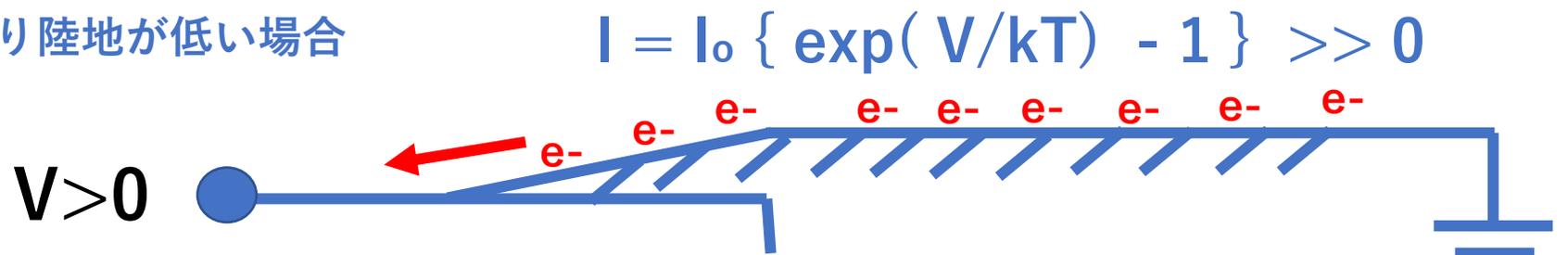
一方、海水面（GNDレベル）より陸地（P領域）が低くなるとこれは大変だ！



海水面（GNDレベル）より陸地が高い場合



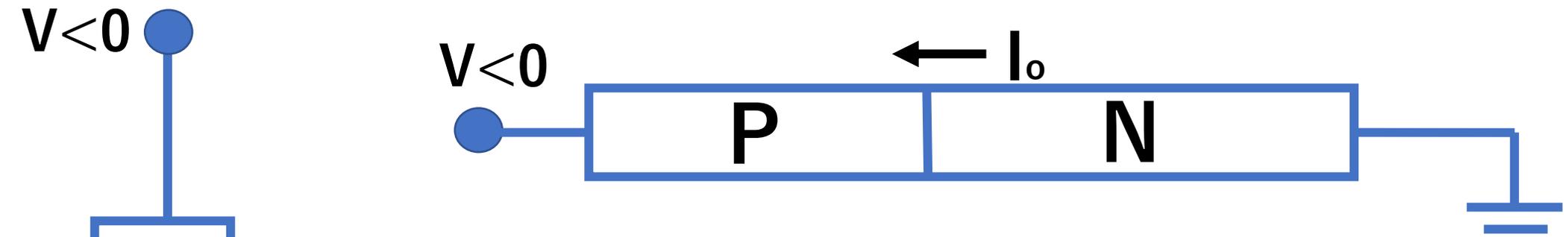
海水面（GNDレベル）より陸地が低い場合



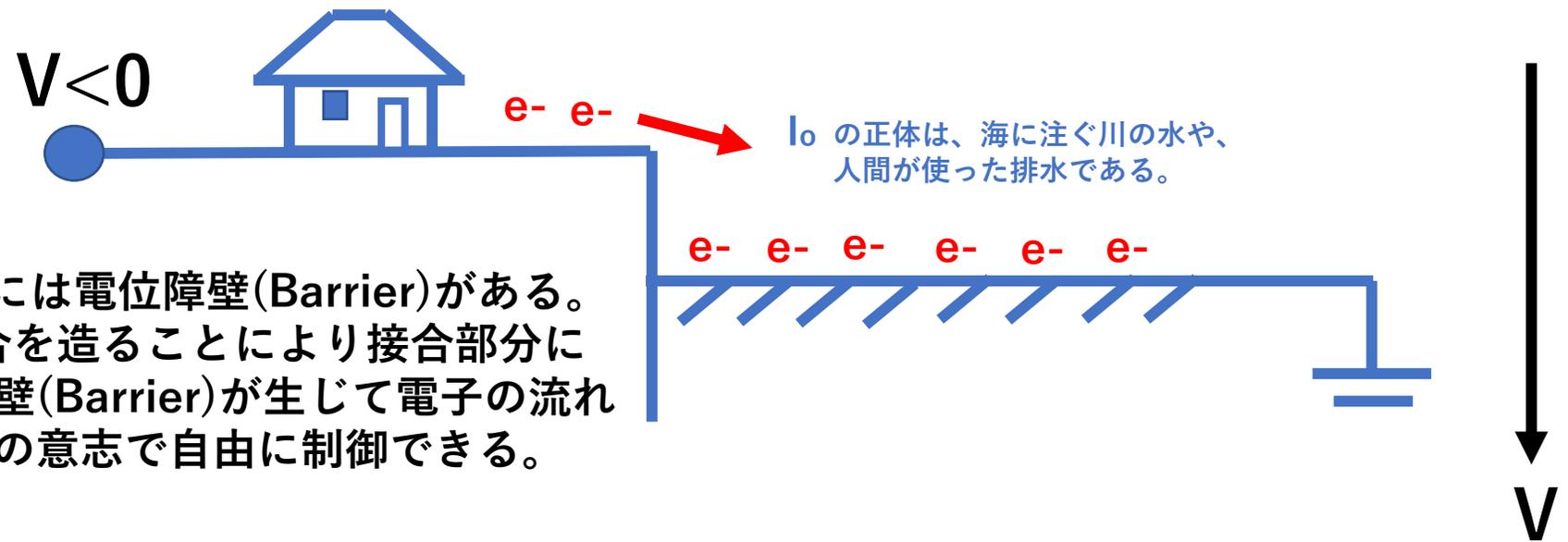
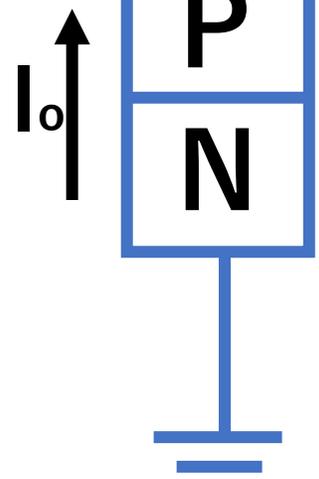
(11) PN接合(Diode)とは？

海（N領域）より陸地（P領域）が高い場合、
海の水（電子）は陸地（P領域）には押し寄せない。

一方、海水面（GNDレベル）より陸地（P領域）が低くなるとこれは大変だ！

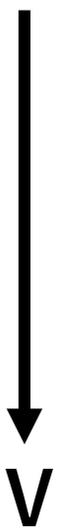


P型半導体領域にマイナスの (Negative)電圧をかけた場合



I_0 の正体は、海に注ぐ川の水や、人間が使った排水である。

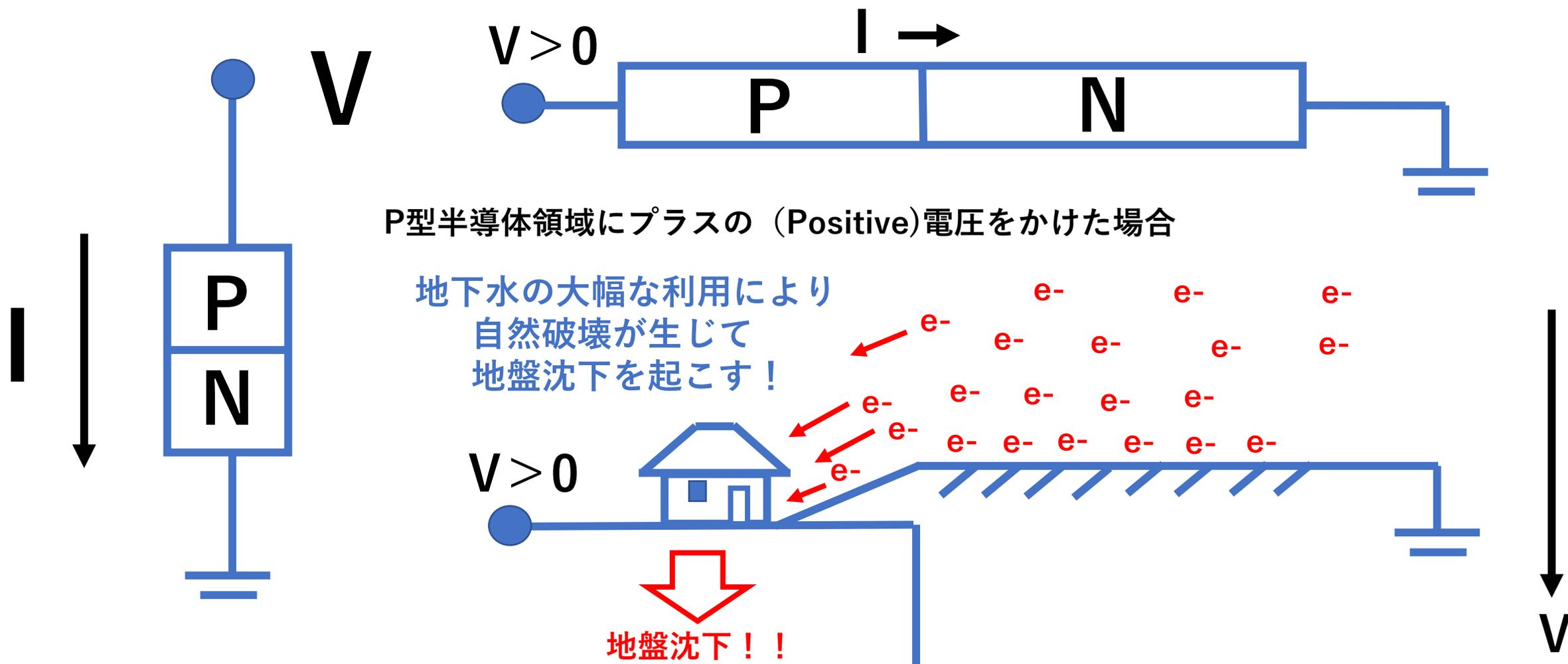
Diodeには電位障壁(Barrier)がある。
PN接合を造ることにより接合部分に電位障壁(Barrier)が生じて電子の流れを人間の意志で自由に制御できる。



(11) PN接合(Diode)とは？

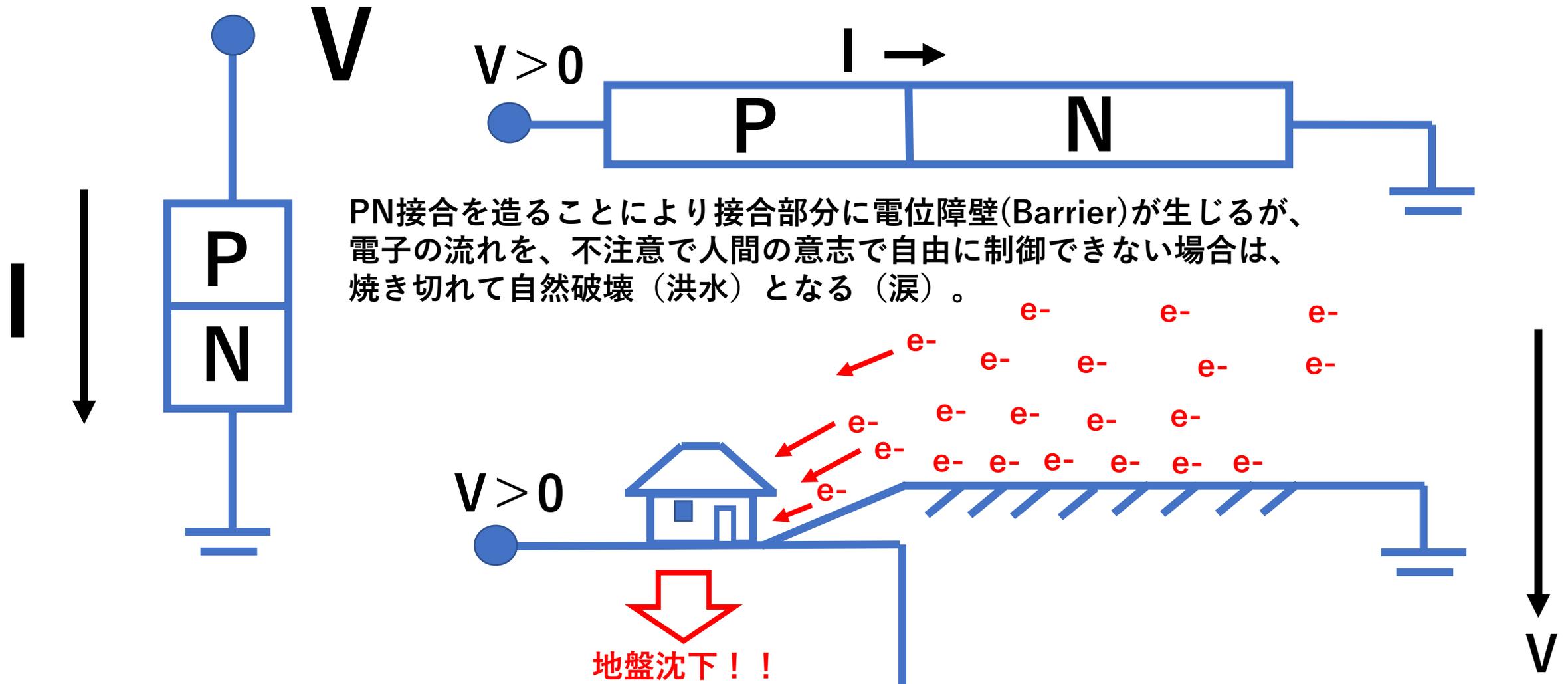
海（N領域）より陸地（P領域）が高い場合、
海の水（電子）は陸地（P領域）には押し寄せない。

一方、海水面（GNDレベル）より陸地（P領域）が低くなるとこれは大変だ！



(11) PN接合(Diode)とは？

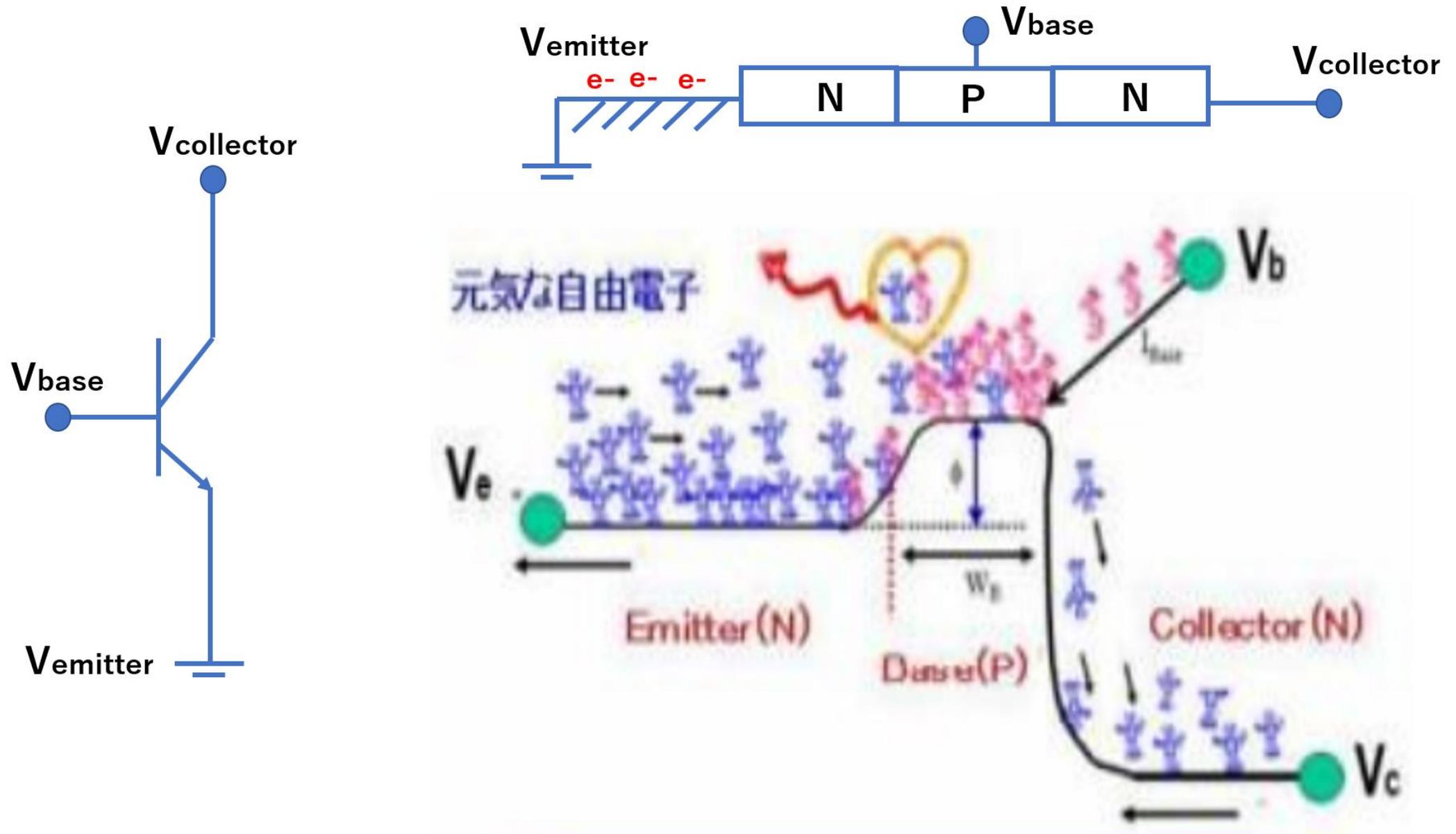
Diode とはPN接合のことで、P型半導体領域のプラス (Positive)の電圧をかけると電流が指数関数的に増加する。一方、P型半導体領域にマイナス (Negative)の電圧をかけると電流がほとんど流れない。そのリーク電流 I_0 はほぼ一定である。このリーク電流が実は、「チリも積もれば山となり」、半導体大集積回路 (LSI)規模になると無視できない大きな消費電流となる。



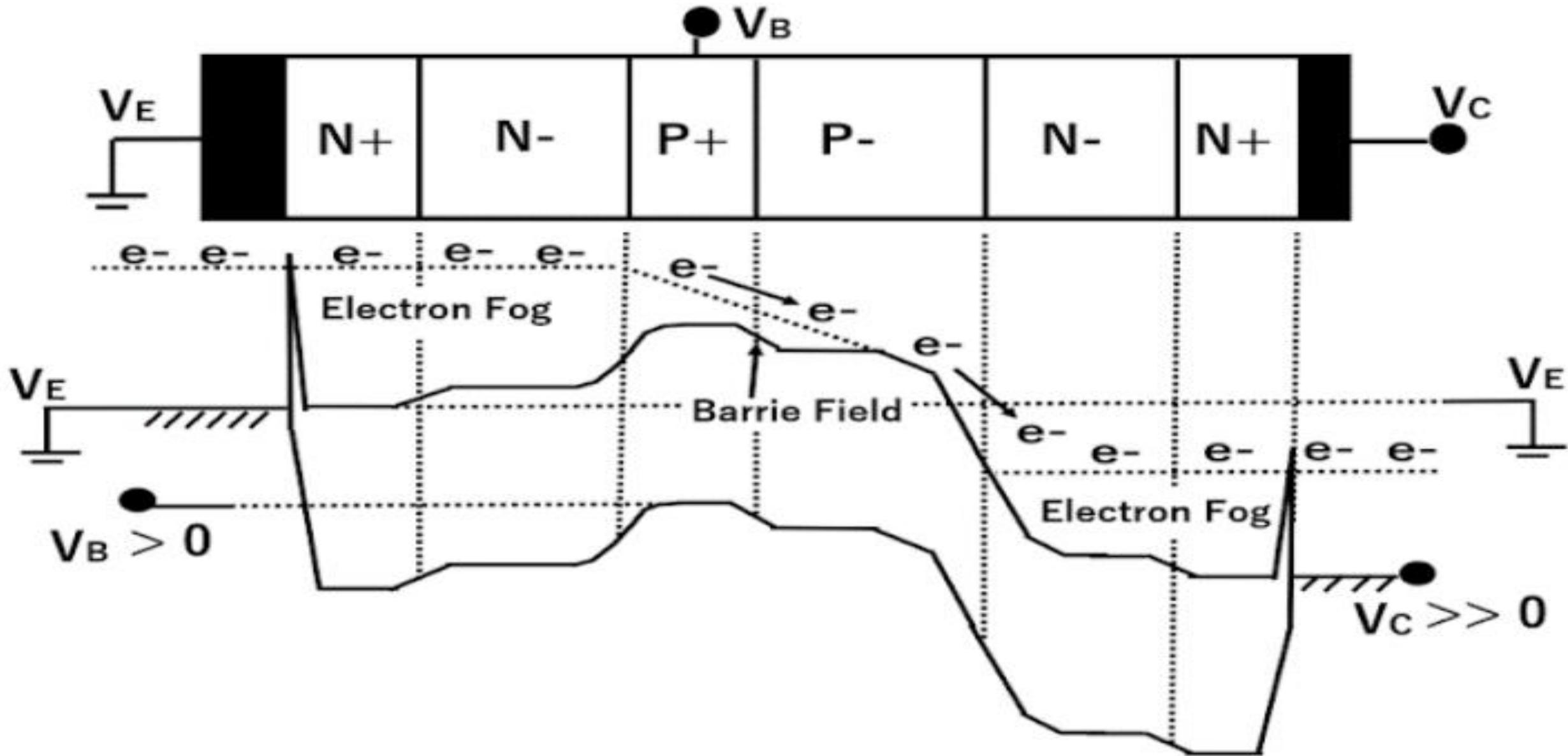
半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?**
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?**

(12) NPN接合Transistorとは？



(12) NPN接合Transistorとは？



The drift-field transistor for high frequency operations, invented by Herbert Kroemer in 1953.

半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは？ 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは？ 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは？ 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは？ 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは？ 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは？ 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは？ 電子が主役。
- (8) P型半導体とは？ ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは？ 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは？
- (11) PN接合(Diode)とは？
- (12) NPN接合Transistorとは？
- (13) PNPN 接合Thyristorとは？**
- (14) MOS 接合型Transistorとは？
- (15) Power Transistor とは？
- (16) CCD Image Sensor とは？
- (17) CMOS Image Sensor とは？
- (18) Wide Band 化合物半導体とは？
- (19) Pinned Photodiode とは？
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは？**

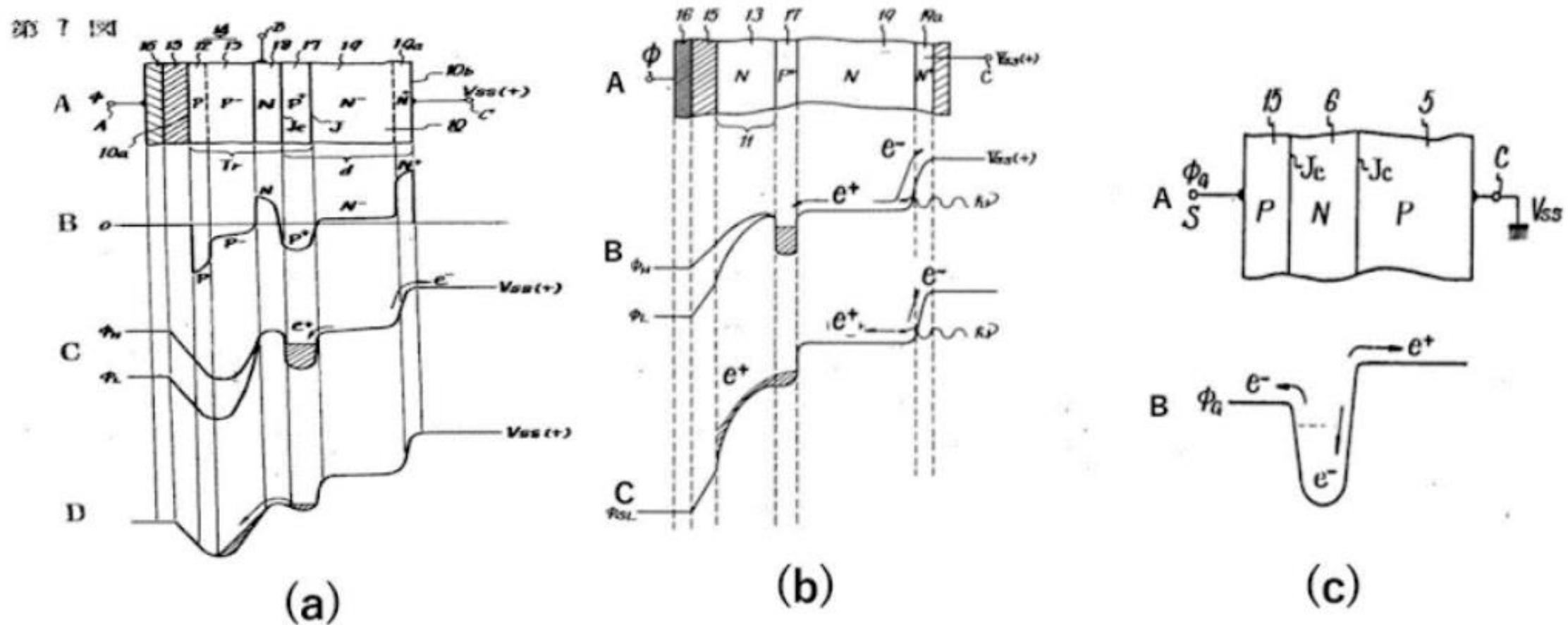
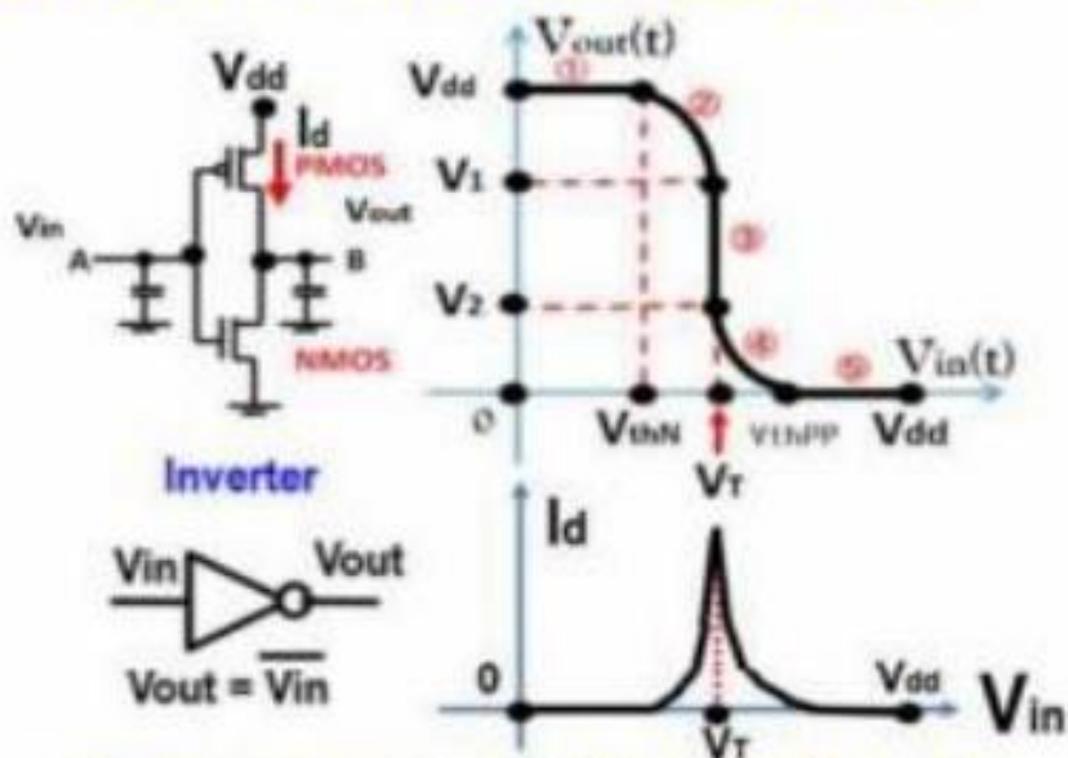


Fig. 2: Reproductions from the Japanese Patent Applications of (a) the N+N-P+NP-P triple junction PPD, (b) the N+N-P+N double junction PPD, and (c) the PNP double junction PPD.

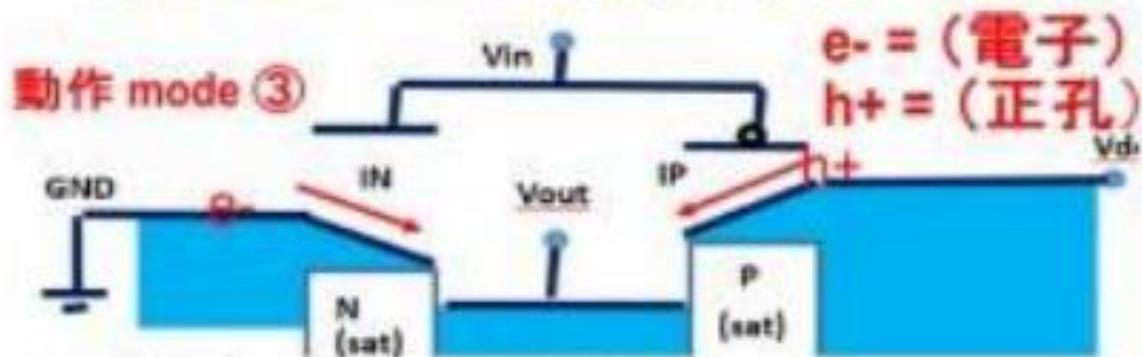
半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?**
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?**

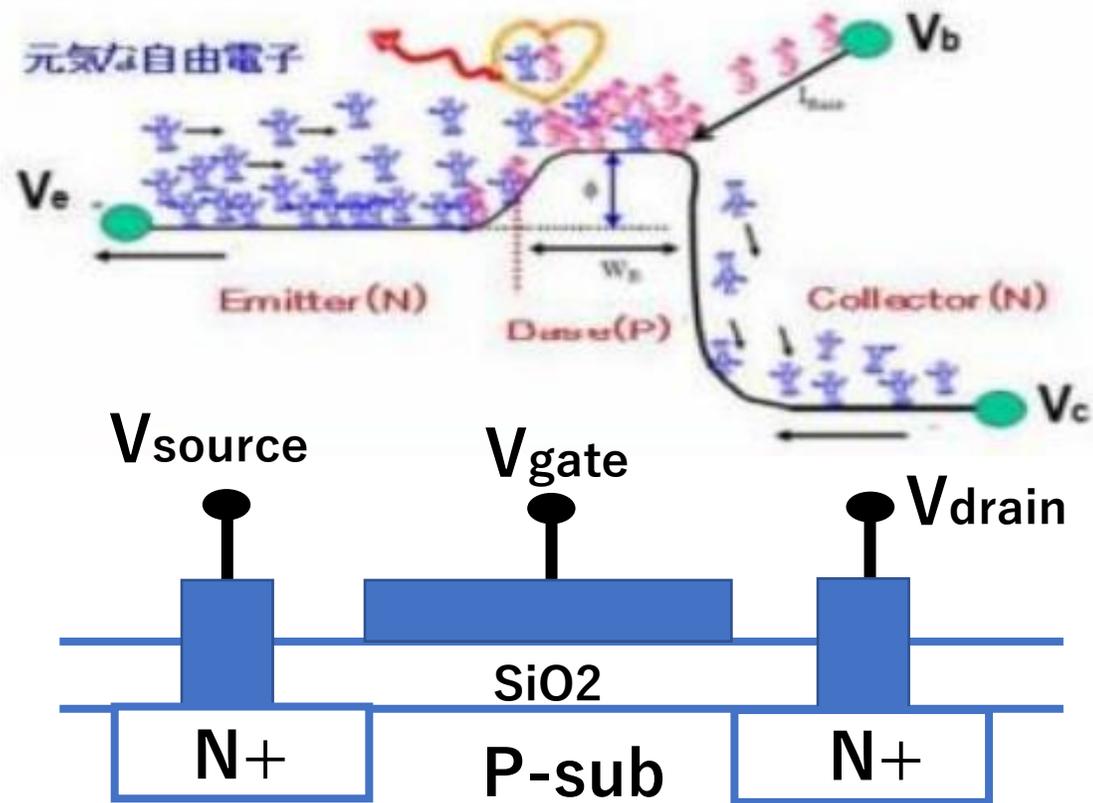
●CMOS inverter回路の入出力特性



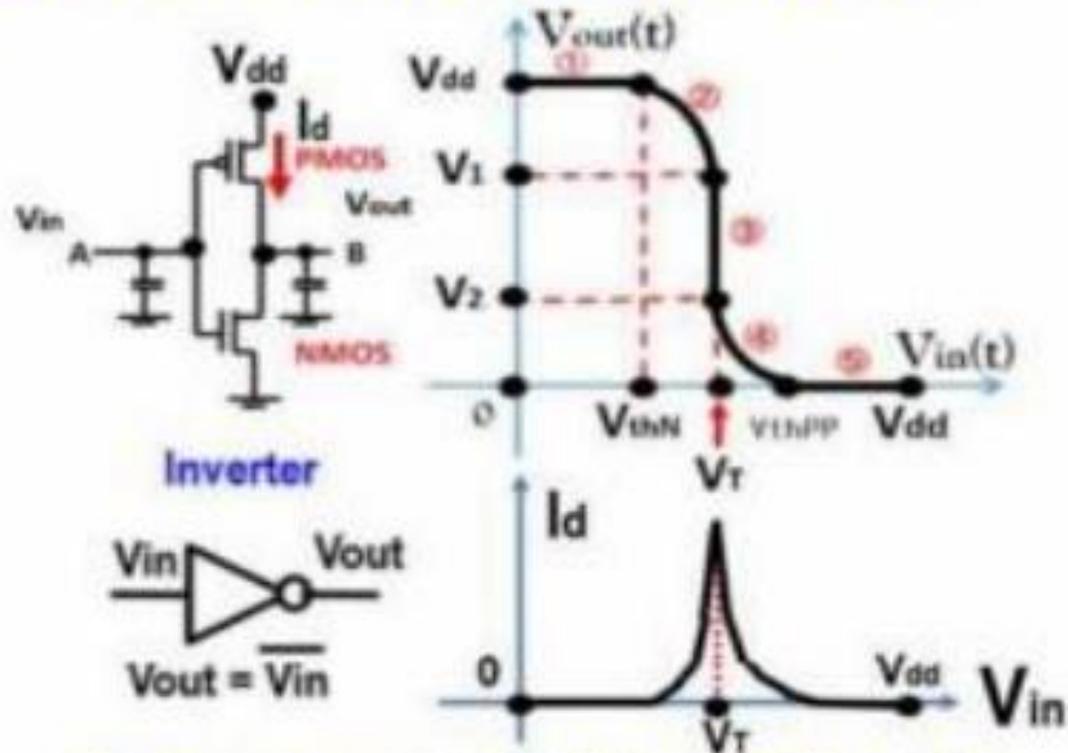
●CMOS inverter回路の水門モデル



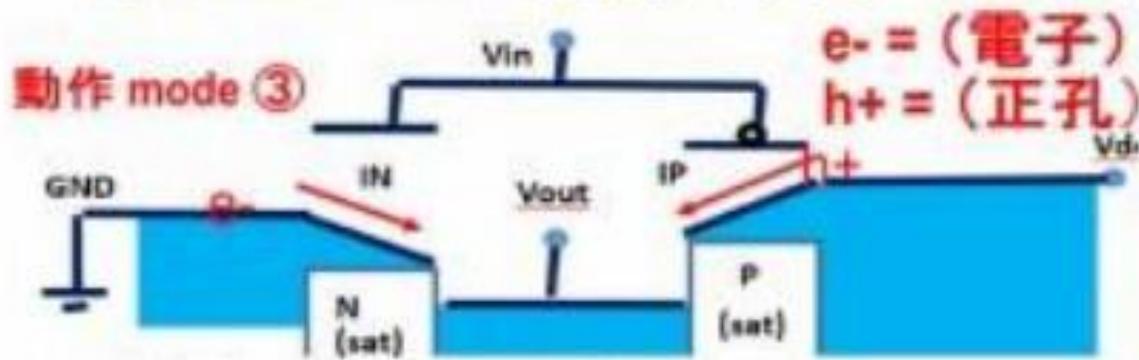
●NPN transistorの動作原理



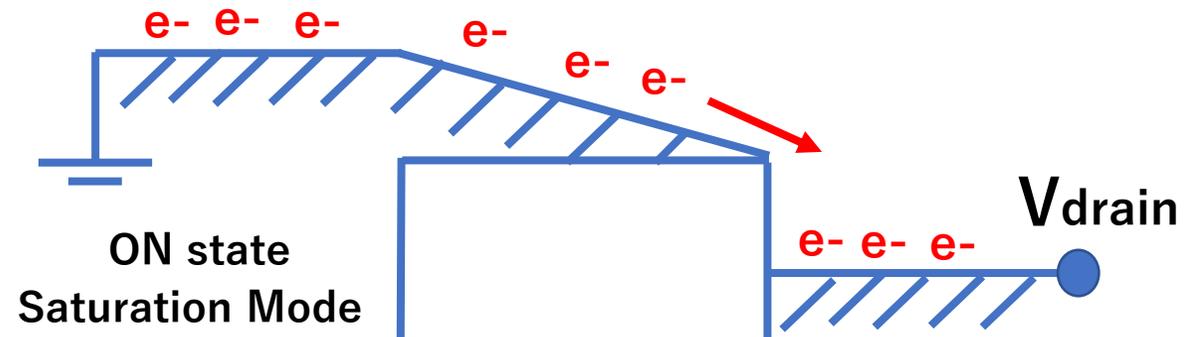
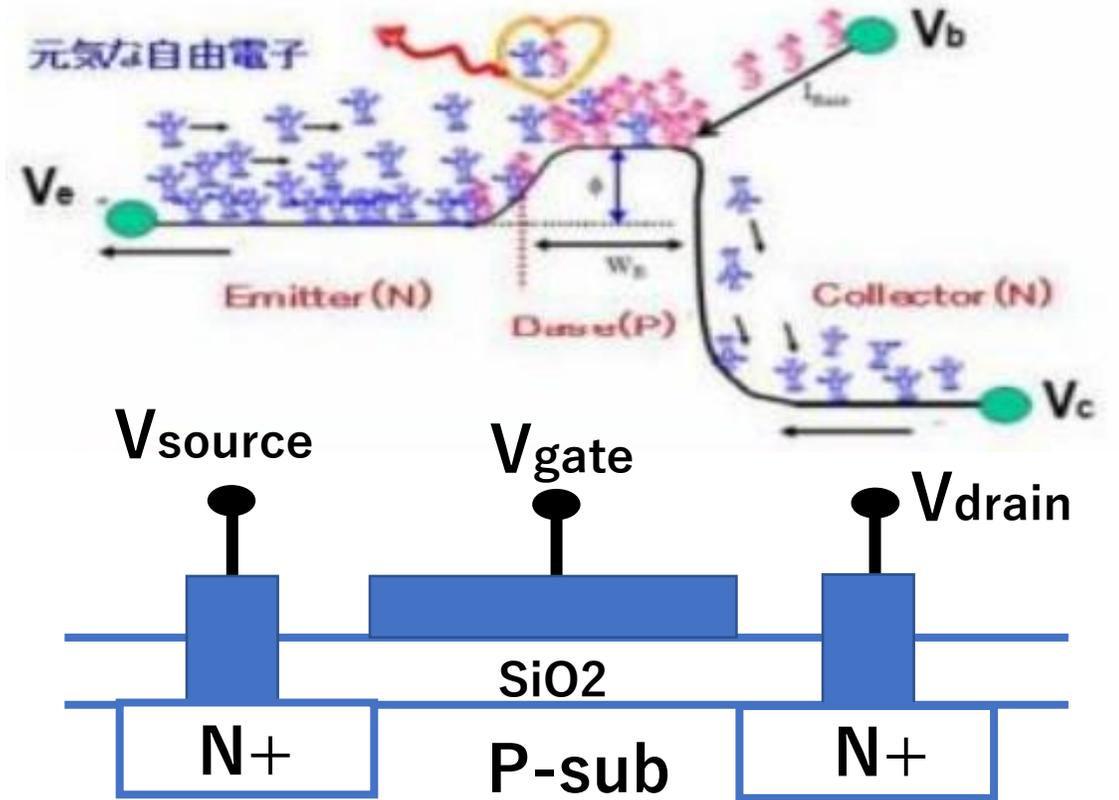
●CMOS inverter回路の入出力特性



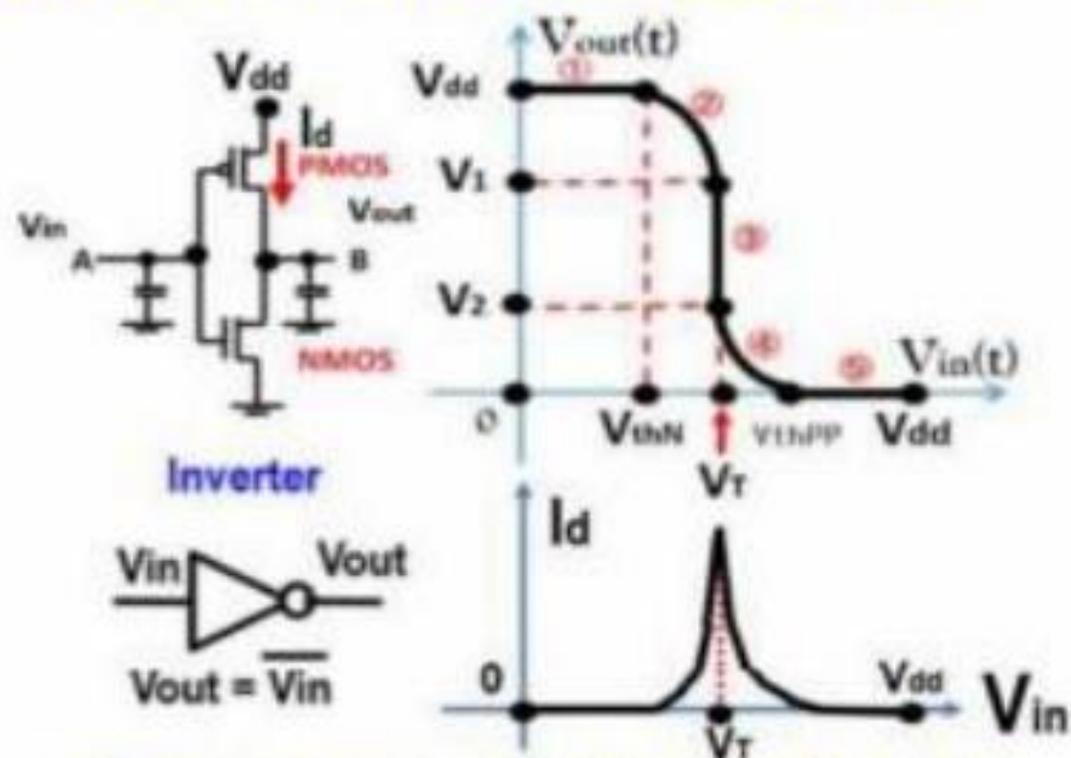
●CMOS inverter回路の水門モデル



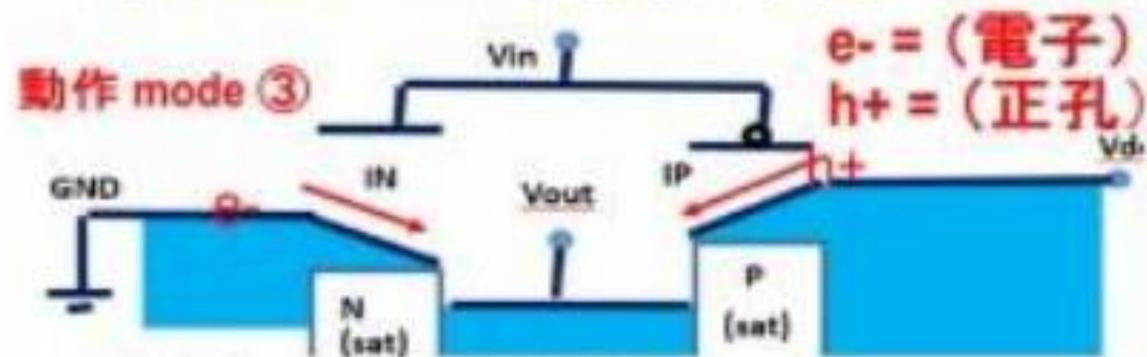
●NPN transistorの動作原理



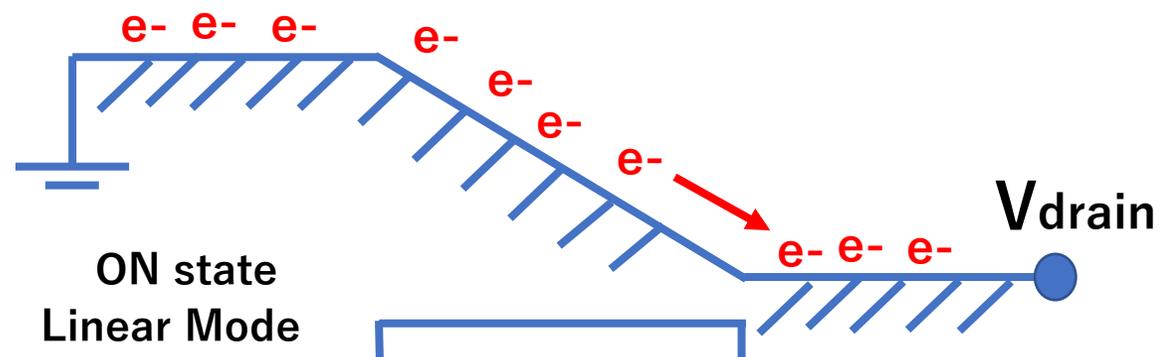
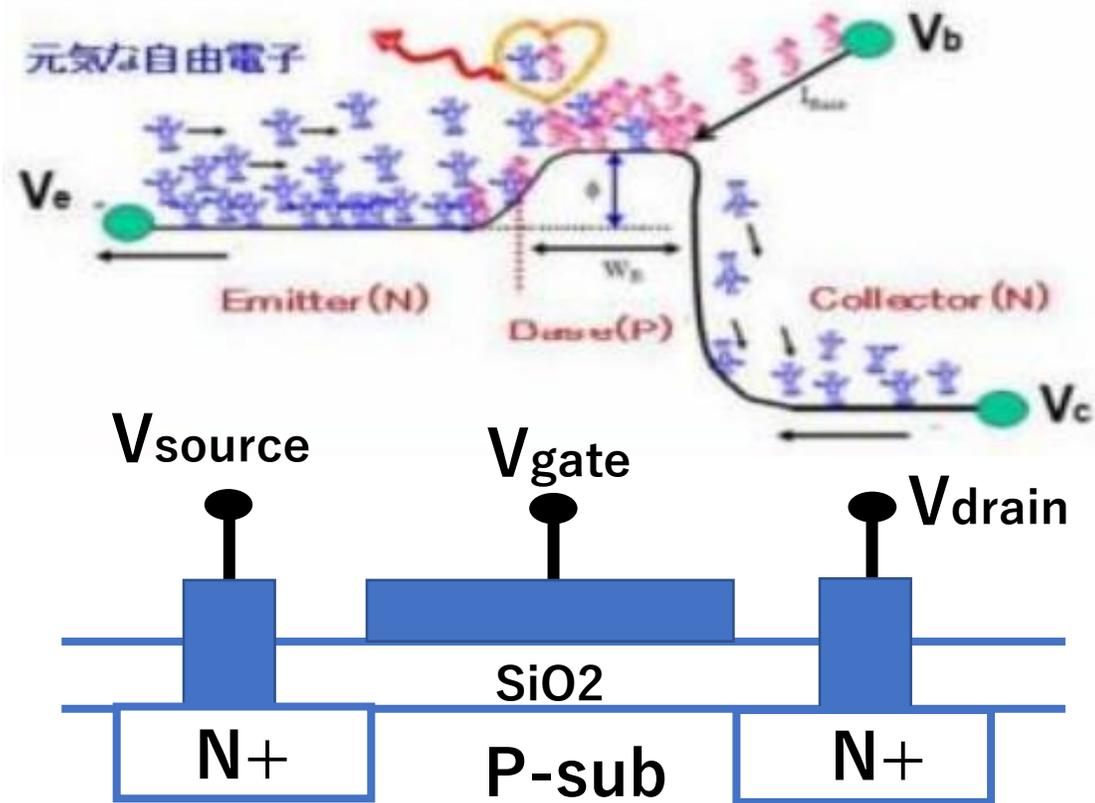
●CMOS inverter回路の入出力特性



●CMOS inverter回路の水門モデル



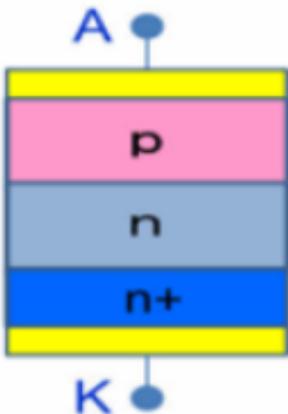
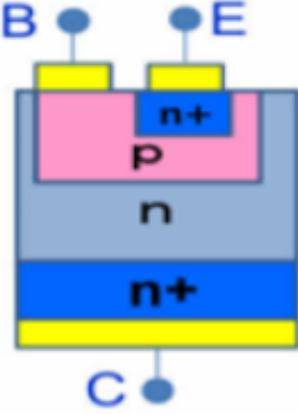
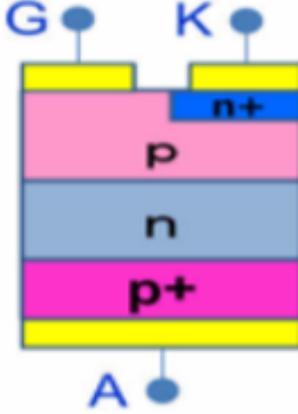
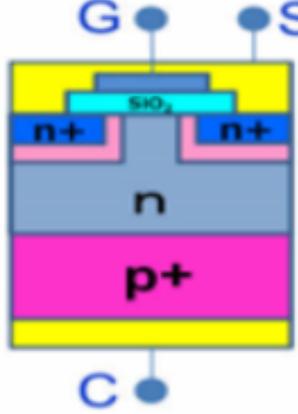
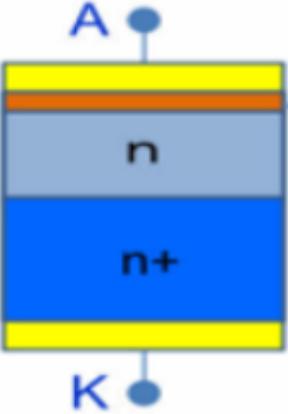
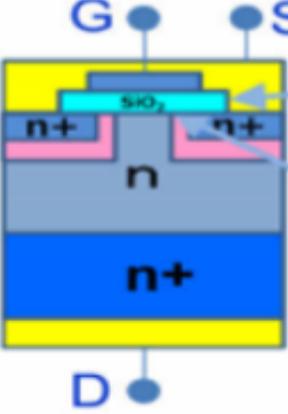
●NPN transistorの動作原理



半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?**
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?**

パワーデバイスの種類と基本構造

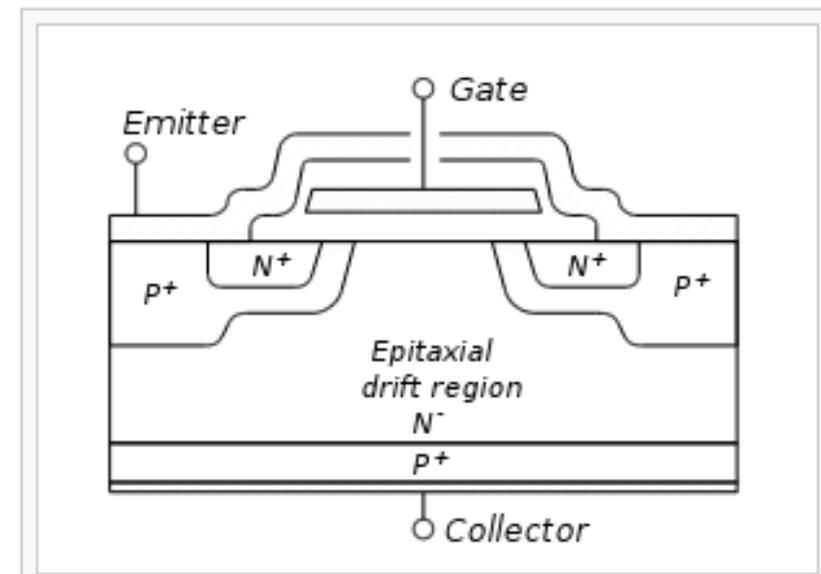
バイポーラデバイス	ダイオード	トランジスタ	サイリスタ	IGBT	特徴
					<ol style="list-style-type: none"> 1. オン抵抗が低い 2. 高電圧に適する 3. スイッチングスピードが遅い
ユニポーラデバイス	SBD		MOSFET		特徴
			 <div data-bbox="1549 1096 1967 1273" style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p>端子名称</p> <p>A : アノード K : カソード</p> <p>G : ゲート B : ベース</p> <p>E : エミッタ C : コレクタ</p> <p>S : ソース D : ドレイン</p> </div>		<ol style="list-style-type: none"> 1. オン抵抗が高い 2. 低電圧に適する 3. スイッチングスピードが速い

IGBTはサイリスタと同様にP-N-P-Nの4層からなる半導体素子でありながら、サイリスタ動作をさせずにMOSゲートで電流を制御できる素子である。このIGBT動作モードは1968年に山上倅三によって特許公報昭47-21739で最初に提案された。

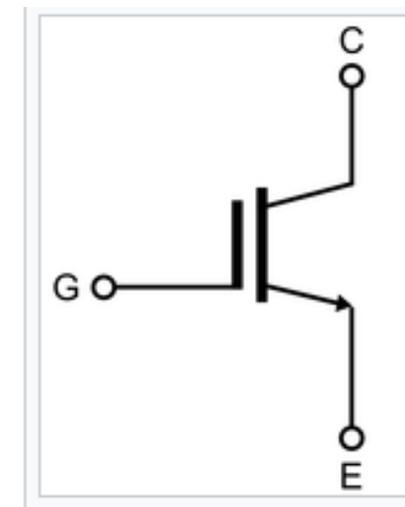
また、1978年にはB.W. Scharf とJ.D. Plummerが4層の横型サイリスタでこのIGBT動作モードを実験的に初めて確認している^[1]。この動作モードを持つ最初の縦型素子は1982年にB. J. BaligaがIEDMで論文を発表しており^[2]、また、同様な論文が1982年にJ.P. Russel等がIEEE Electron Device Letterに投稿している^[3]。このIGBT動作をする素子はInsulated-Gate Rectifier (IGR)^[2]、 Insulated-Gate Transistor (IGT)^[4]、 Conductivity-Modulated Field-Effect Transistor (COMFET)^[3]、やBipolar-mode MOSFET^[5]などと呼ばれた。

完全なラッチアップの抑制は1984年、中川明夫等がIEDMで論文発表したノンラッチアップIGBTの発明によって初めて実現された^[5]。このノンラッチアップIGBTの設計概念は「IGBTの飽和電流をラッチアップする電流値よりも小さく設定する」というもので、1984年に特許出願された^[8]。完全にラッチアップしないことを証明するため、1200 Vの素子を600 VのDC電源に直結して負荷なしで25 μs の期間、素子をオンさせた。600 Vの電圧が素子に直接印加され、流れるだけの短絡電流が素子に流れたが、素子は破壊せずに25 μs 後に電流をオフできた。この素子特性は負荷短絡耐量と呼ばれるものでIGBTで初めて実現された^[9]。これによって、Hans W. BeckeとCarl F. Wheatleyによって特許提案された「素子の動作領域全体でラッチアップしないIGBT」が1984年に実現した。ラッチアップが完全に抑制されたノンラッチアップIGBTでは電流密度と電圧の積は $5 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$ に達した^[10]。この値はバイポーラトランジスタの理論限界 $2 \times 10^5 \text{ W/cm}^2$ を超えており、ノンラッチアップIGBTは破壊耐量が強く、安全動作領域が広いことが検証された。ノンラッチアップIGBTの実現によってHans W. BeckeとCarl F. Wheatleyの特許がIGBTの概念上の基本特許となり、中川等が発明したノンラッチアップIGBTの設計原理が実際にIGBTを実現する上での基本特許となった。これにより現在のIGBTが誕生した。

IGBTの断面図



IGBTの記号



次世代半導体材料の本命、窒化ガリウム 特許世界一の日本勢の実力



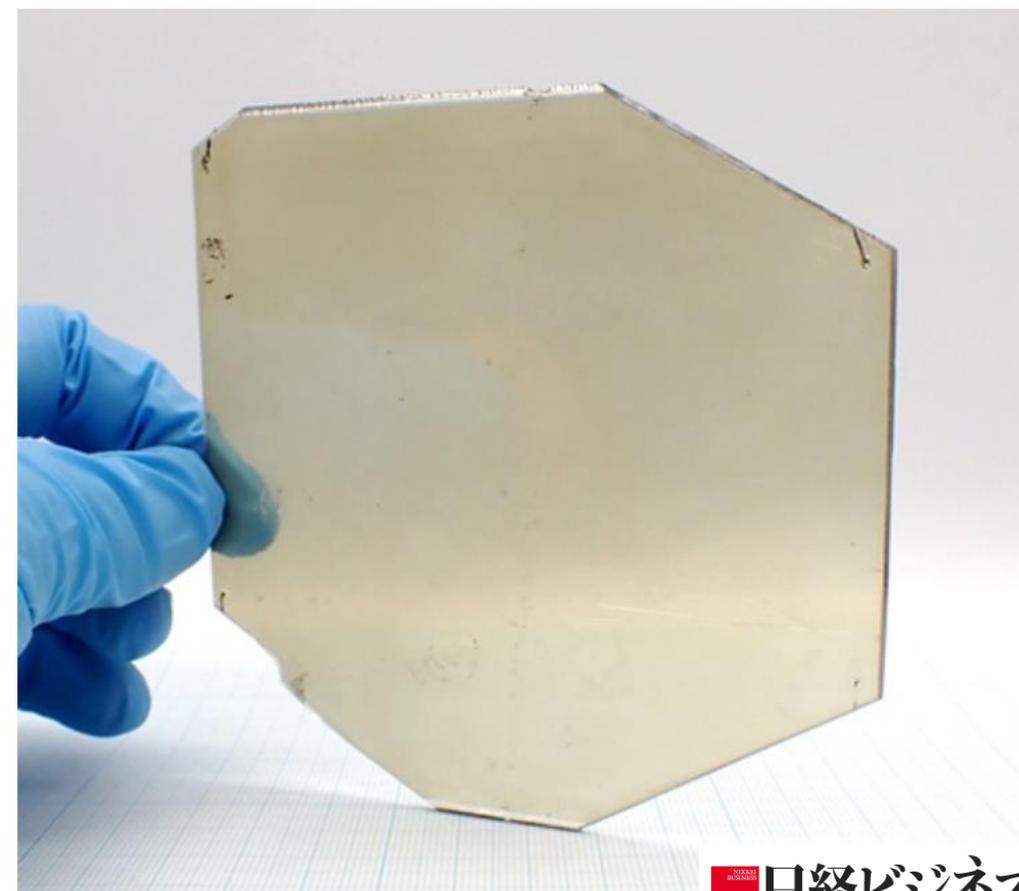
上阪 欣史

日経ビジネス副編集長

通信機器の電力制御などに使う次世代パワー半導体材料の本命として注目を浴びる窒化ガリウム（ガリウムナイトライド、GaN）。現在主流のシリコンより格段に高い省エネ性能を持つ「脱炭素時代の申し子」だ。関連特許の出願数は日本企業が断トツで、日本製鋼所や住友化学子会社は量産準備に入った。世界のテックジャイアントなど最終の大口顧客をどこまで引きつけられるかが収益化のカギを握る。

北海道室蘭市のはずれに位置する日本製鋼所（JSW）子会社の日本製鋼所M&E（JSWM&E）。ここは知る人ぞ知る鍛造の“聖地”だ。工場には世界に類をみない1万4千トンの超大型鍛造プレスが鎮座し、オレンジに燃える巨大な鋼の塊をたたく。成形されるのは、火力発電所の発電ローターやタービン部材、原子力発電プラントの圧力容器などの巨大な鋳鍛鋼品。日本でもこの類の逸品を造れるのはこの地だけだ。

だが、今回工場を探訪した目的は別にある。この鋳鍛鋼品の技術を母に生まれてきたGaN材料の基板だ。



次世代半導体材料の本命、窒化ガリウム 特許世界一の日本勢の実力

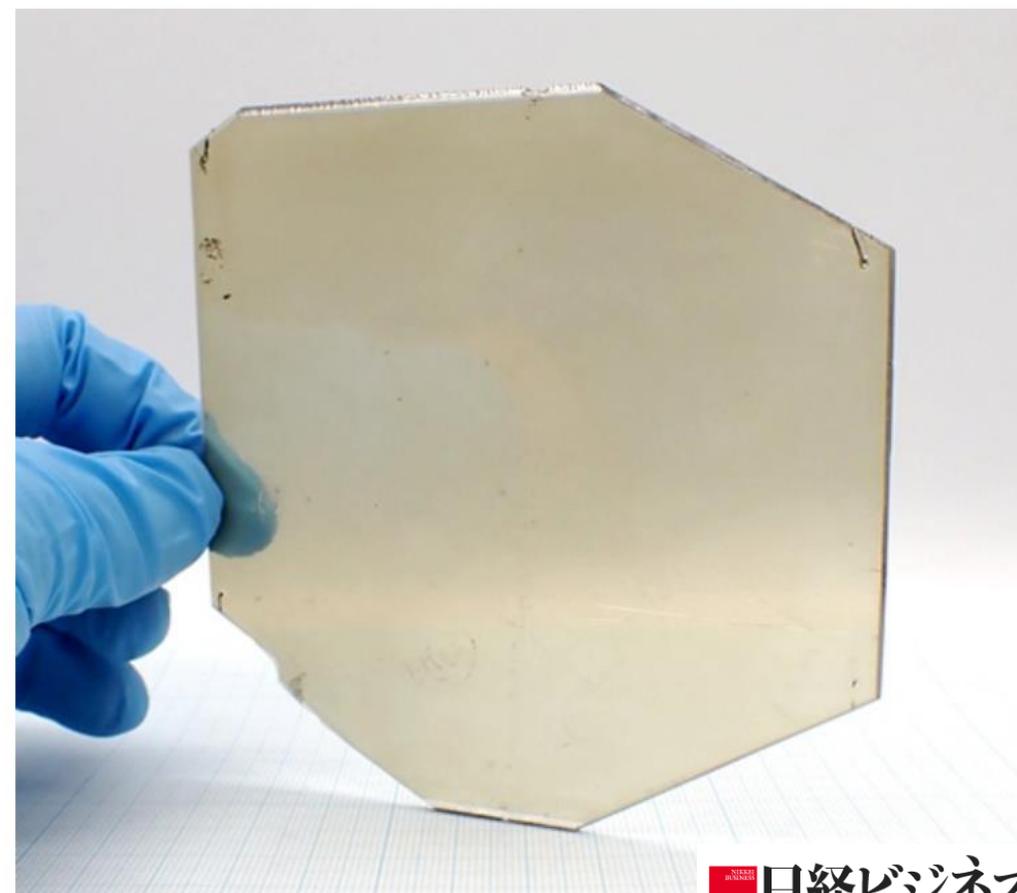


上阪 欣史

日経ビジネス副編集長

GaNはガリウムと窒素の化合物で、ガリウムナイトライドとも呼ばれる。この化合物の基板は主に大電流で高い電圧に耐えられるパワー半導体の材料として需要が眠っている。省電力につながる照明やレーザーのほか、サーバーや高速通信規格「5G」基地局の電源や通信機器などに用途がある。さらに、機械や電気自動車（EV）向けなどにも有望だ。

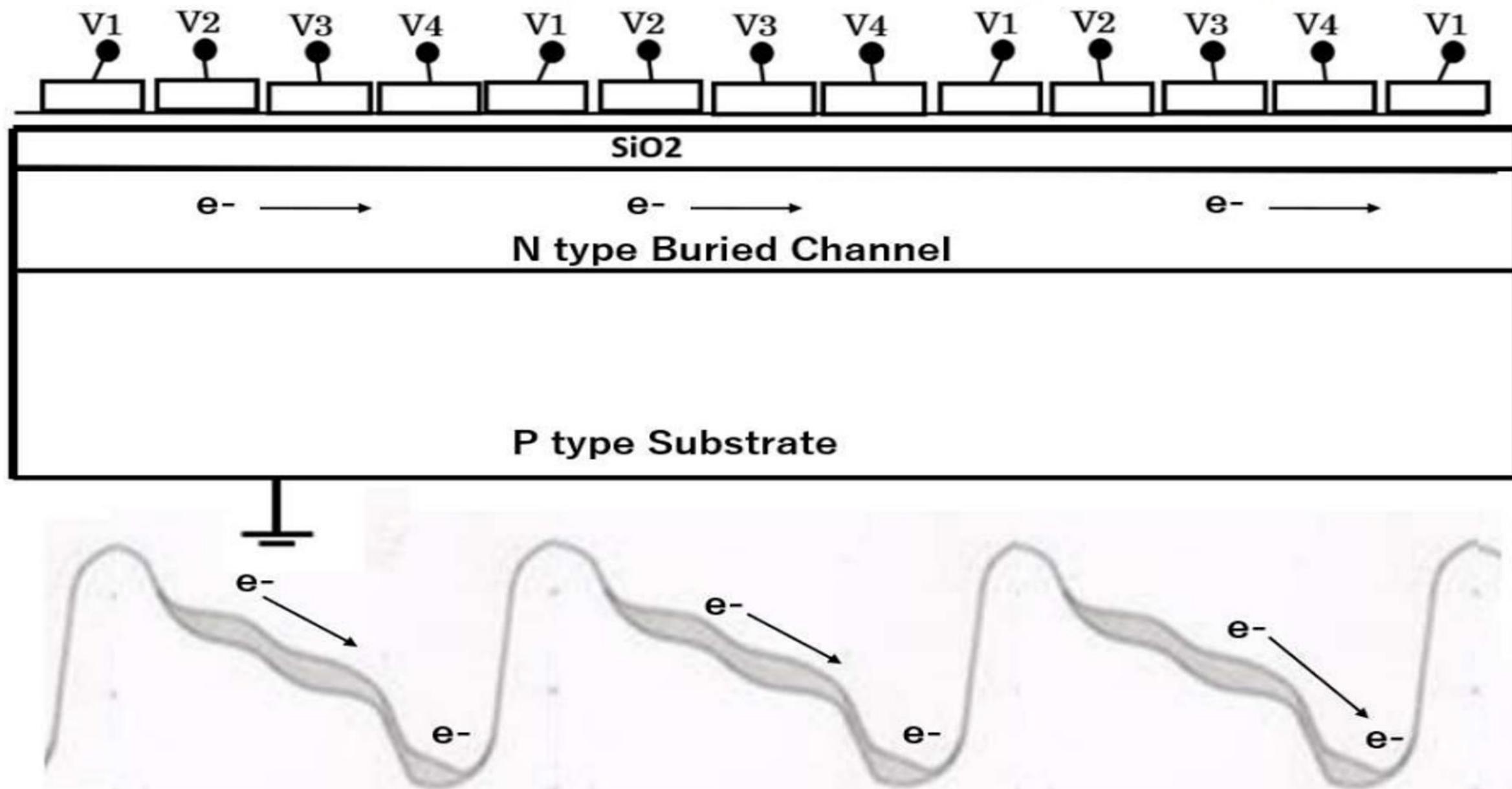
現在、半導体材料の主流であるシリコンと比べればその優位性は圧倒的だ。電力損失は85%低減でき、高電圧に耐えられる性能も10倍。1000分の1に小型化しても同じ性能を引き出せる。GaNと同じく次世代材料と目され、量産で先行する炭化ケイ素（SiC）に対しても、電力損失の低さなどで上を行く。その省エネ性能は、まさに「脱炭素時代の申し子」と言える。



半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) **CCD Image Sensor とは?**
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

Buried Channel type CCD structure and its potential profile.



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。)

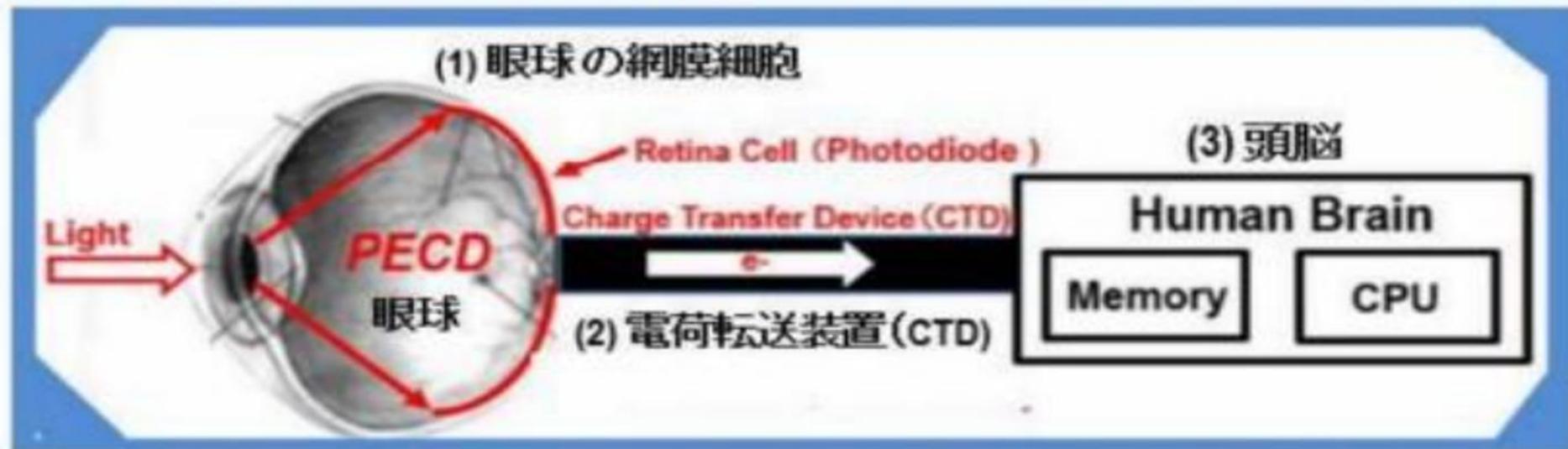
(C) P+NPNsub接合型 (別称HAD、光感度良好、残像なし、かつ過剰照射光保護機能あり。)

(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。)

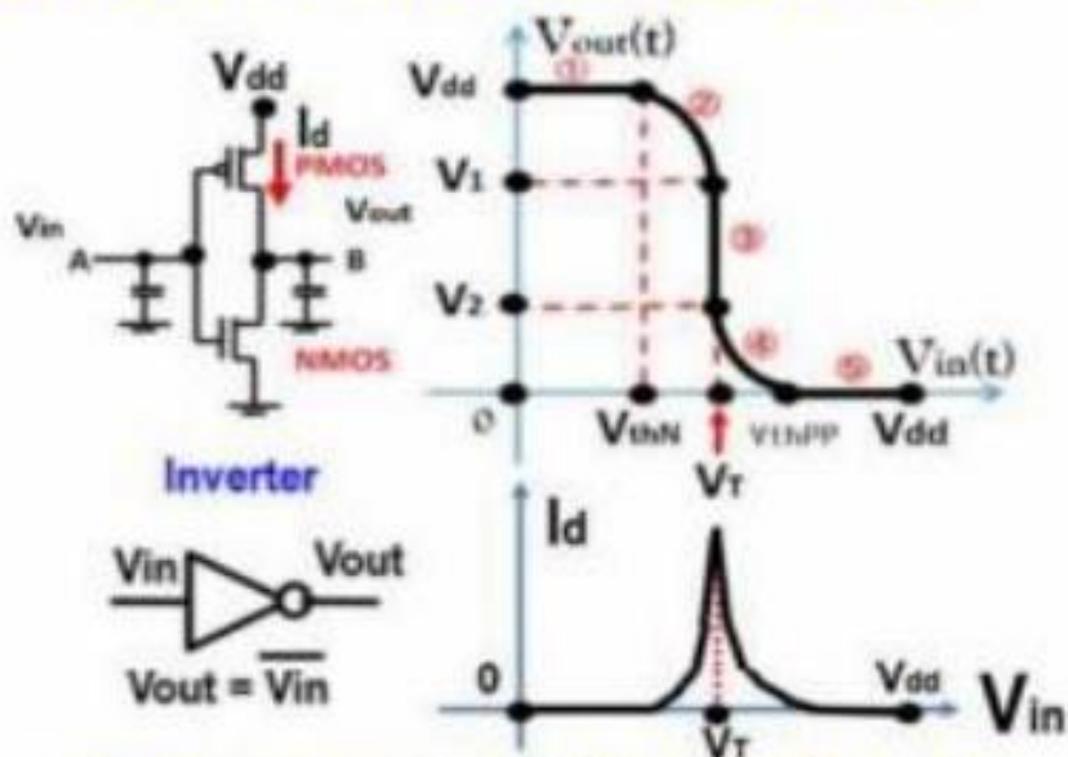
(C) CMOS型電荷転送装置 (配線容量雑音もClock雑音なし、消費電力も小さい。)



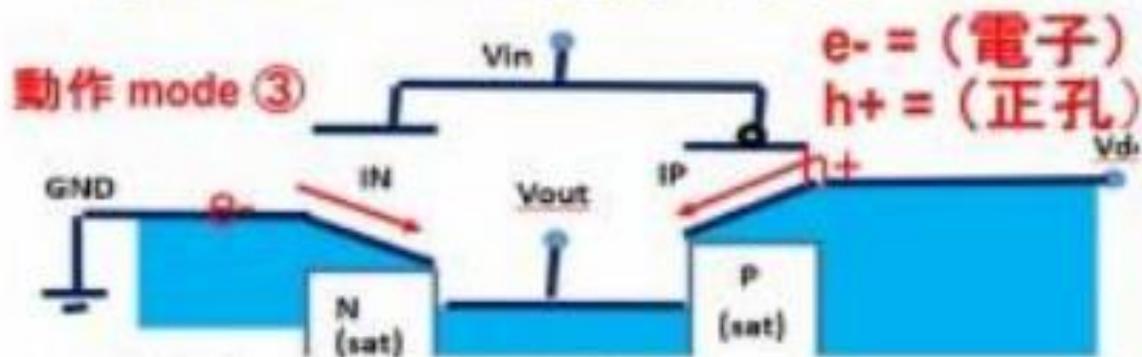
半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

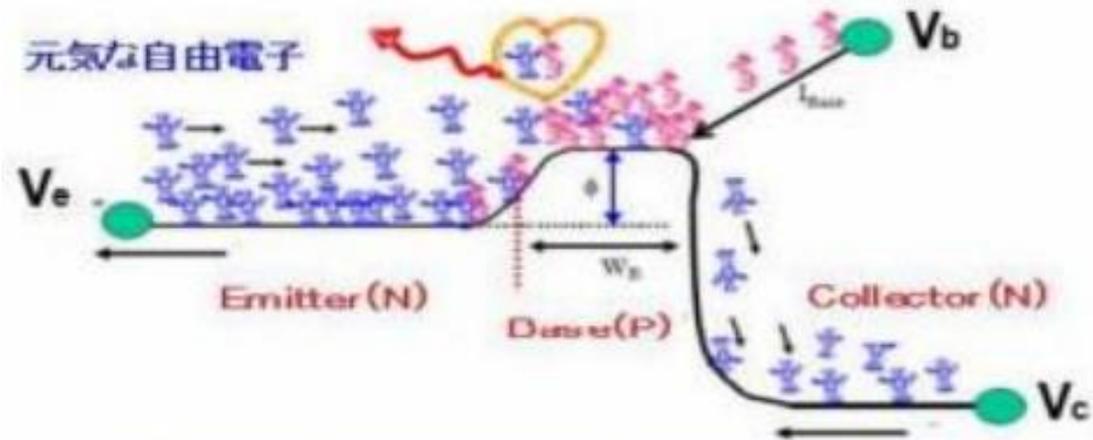
● CMOS inverter回路の入出力特性



● CMOS inverter回路の水門モデル

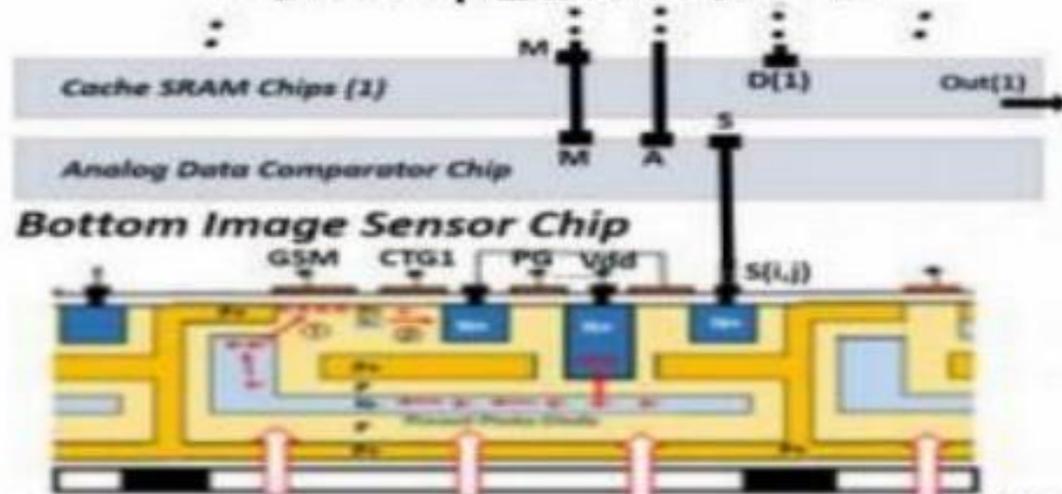


● NPN transistorの動作原理



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



Sonyの裏面照射型CMOS Image Sensor 2019年

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。)

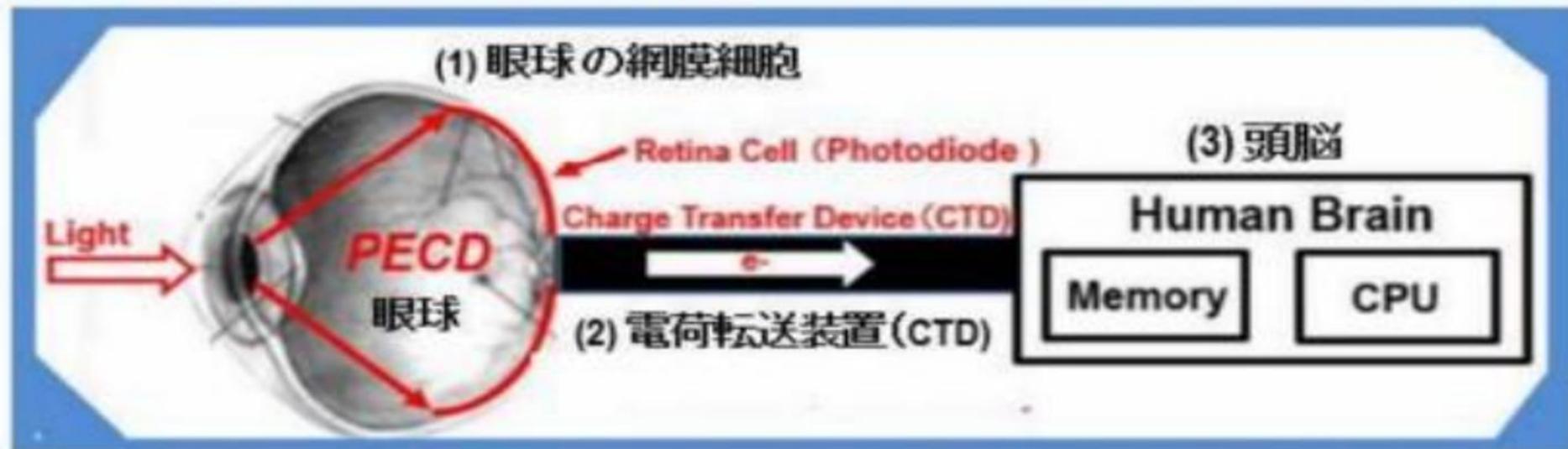
(C) P+NPNsub接合型 (別称HAD、光感度良好、残像なし、かつ過剰照射光保護機能あり。)

(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。)

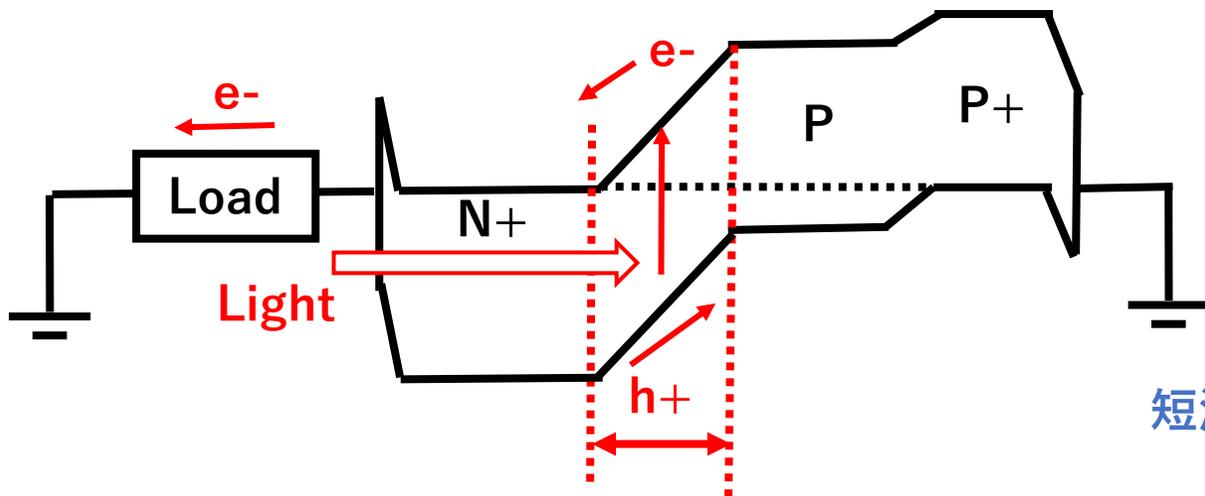


半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

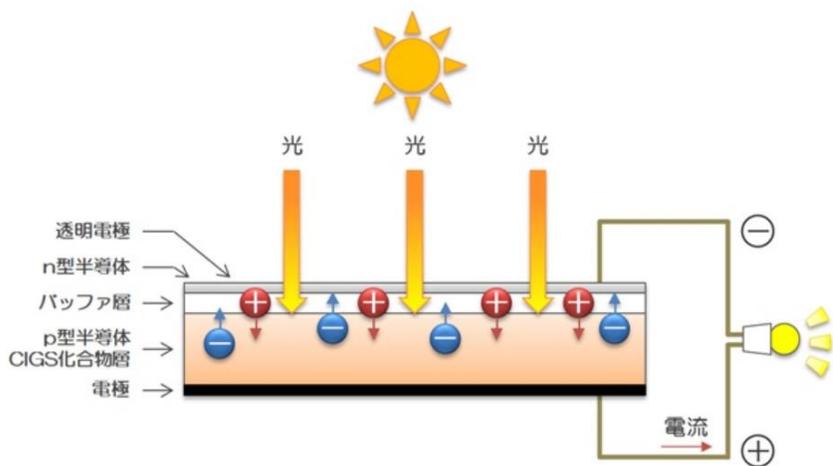
- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

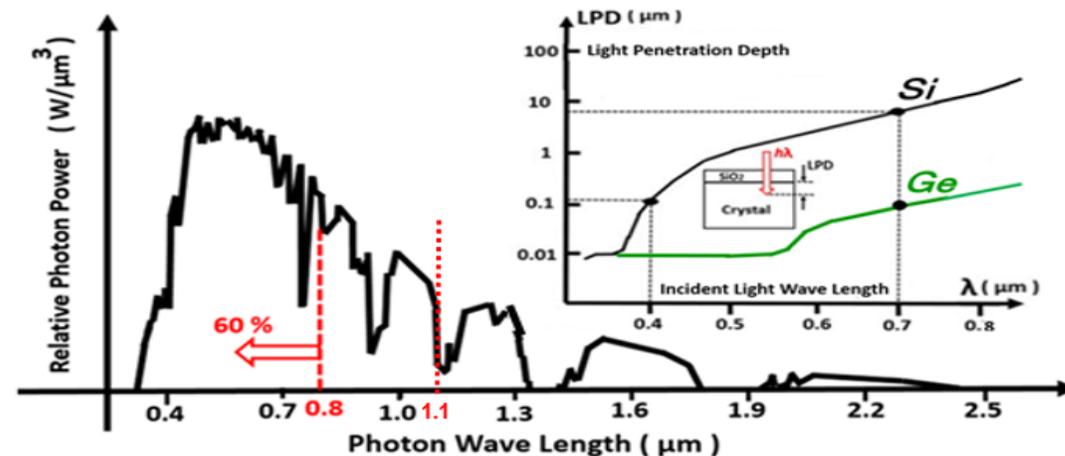
Conventional N+P 接合 Solar Cell



CIS、CIGS太陽電池



太陽光の波長スペクトラム



短波長光はすぐにシリコン表面で光電変換され吸収される。

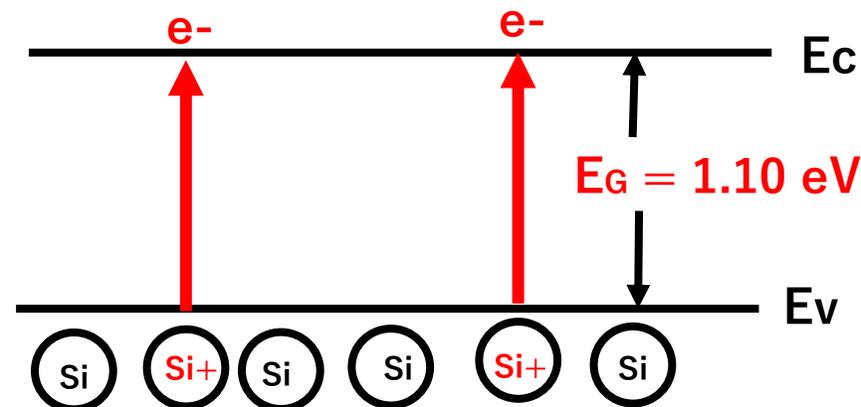
太陽光のエネルギー成分は青色光が豊富である。
遠赤外線は光電変換不可能で熱になる。

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

$$E = \hbar \omega = hf = hc / \lambda$$

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

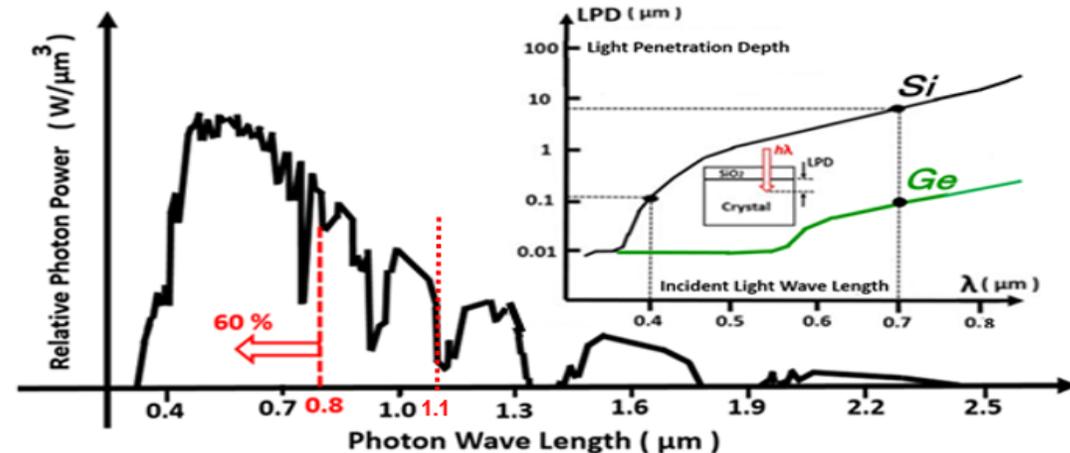
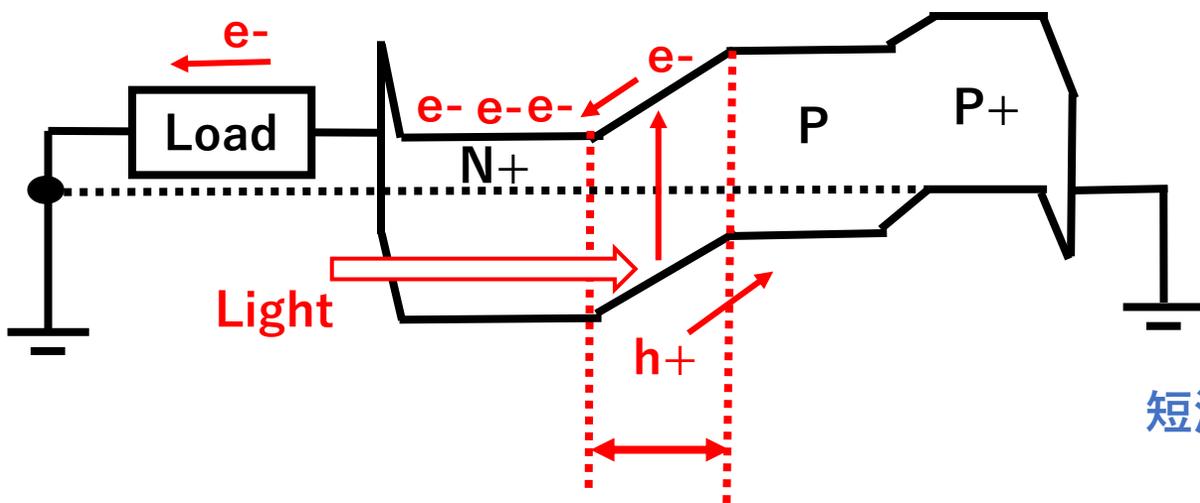
光のエネルギー (E) は
周波数 (f) に比例し
 $c = f\lambda$ より、
光の波長 (λ) に 反比例する。



●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

太陽光の波長スペクトラム

Conventional N+P 接合 Solar Cell

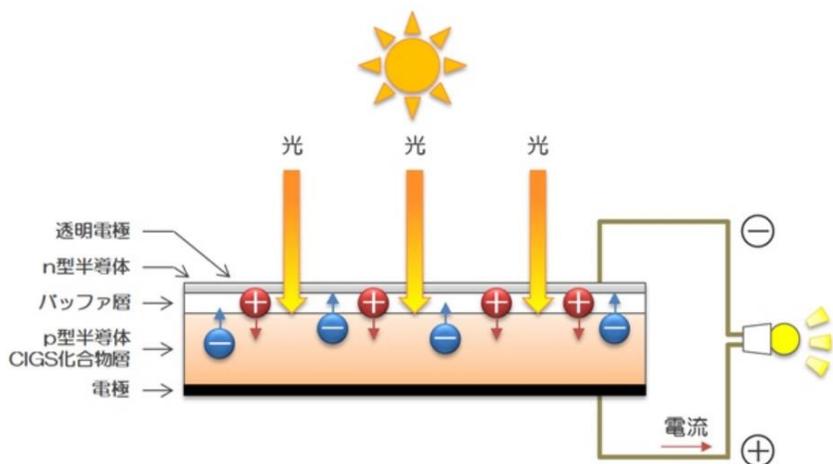


短波長光はすぐにシリコン表面で光電変換され吸収される。

太陽光のエネルギー成分は青色光が豊富である。
遠赤外線は光電変換不可能で熱になる。

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

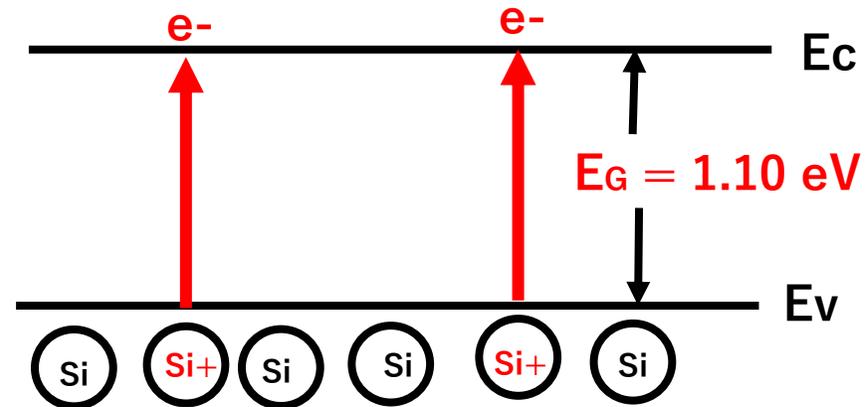
CIS、CIGS太陽電池



$$E = \hbar \omega = hf = hc / \lambda$$

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

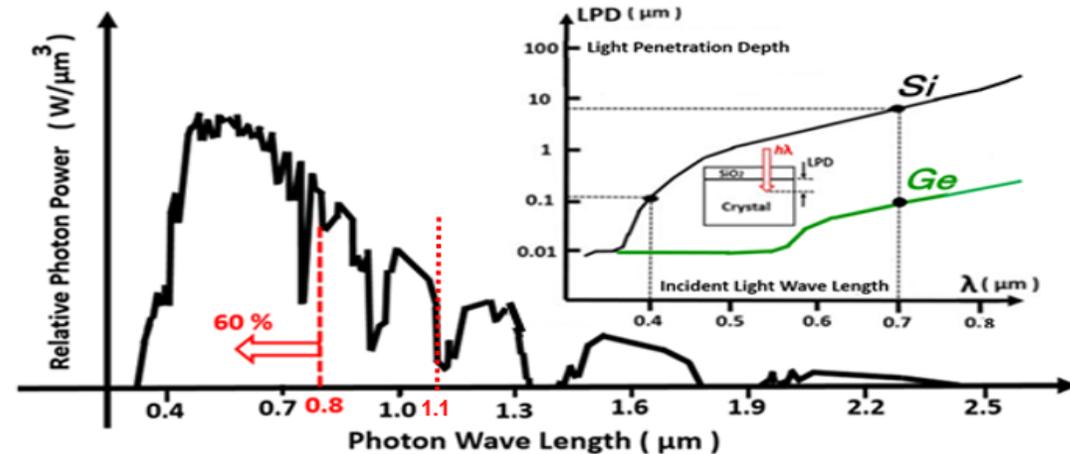
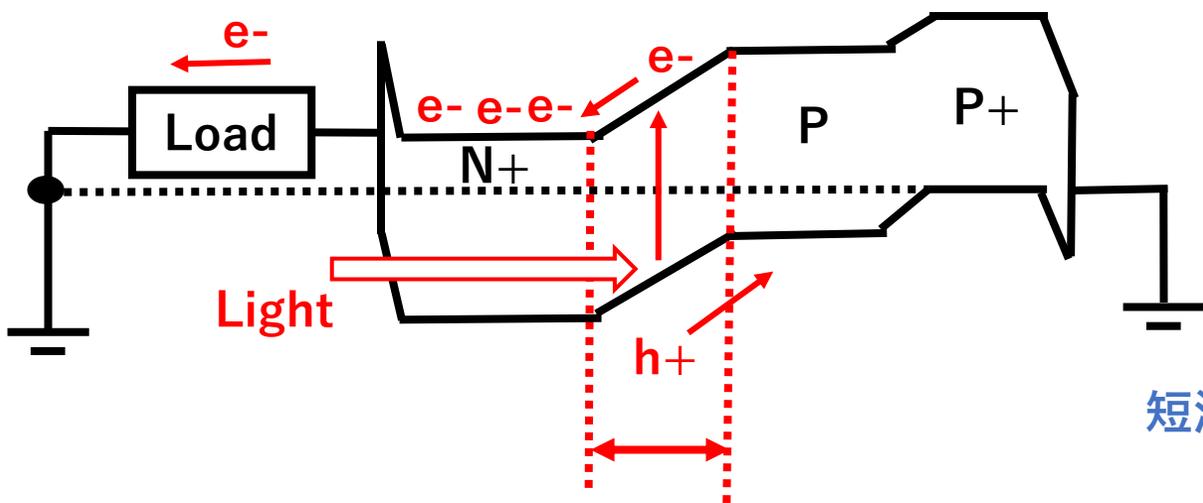
光のエネルギー (E) は
周波数 (f) に比例し
 $c = f\lambda$ より
光の波長 (λ) に 反比例する。



●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

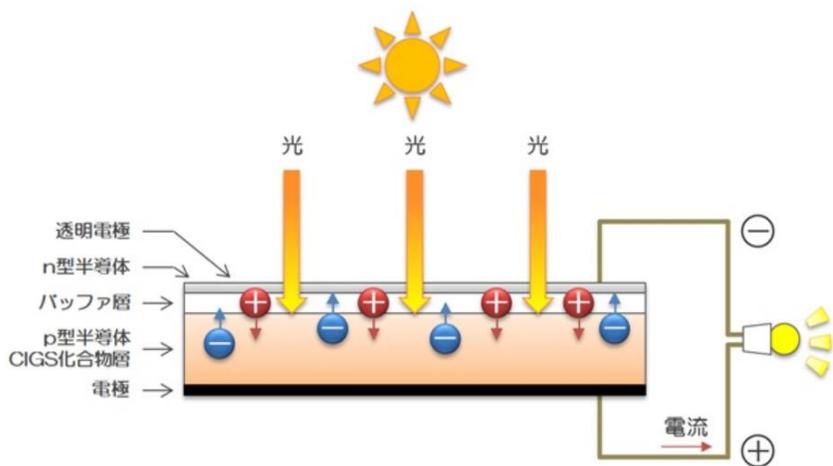
太陽光の波長スペクトラム

Conventional N+P 接合 Solar Cell



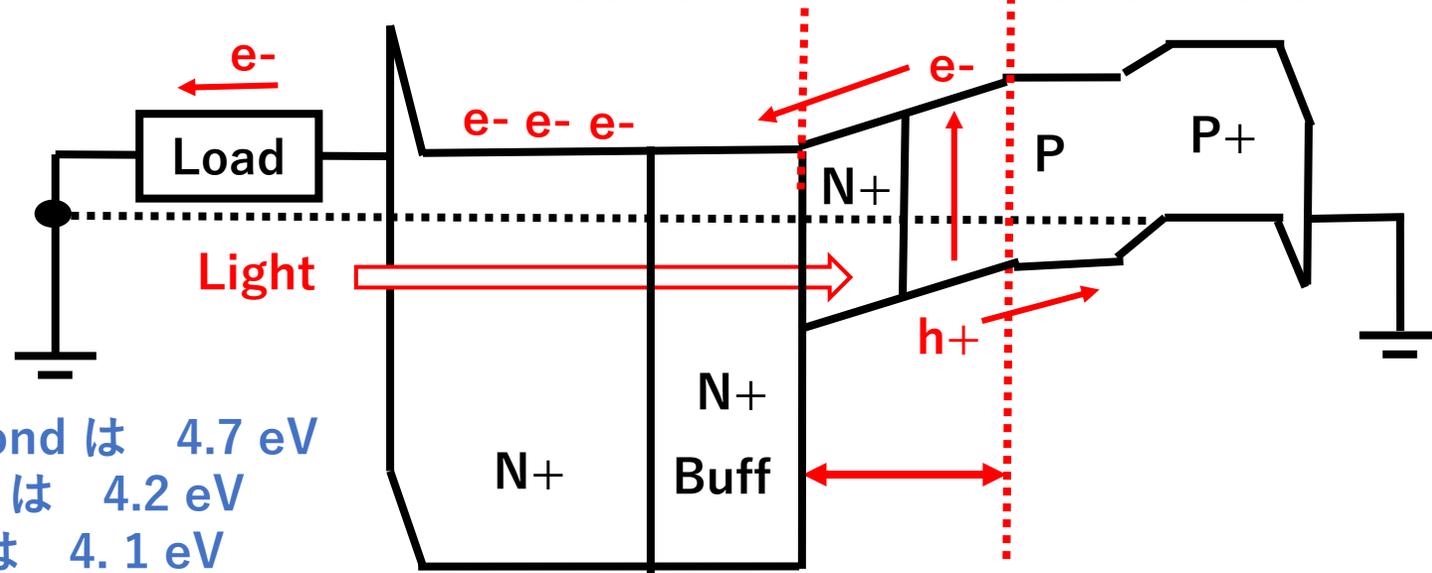
短波長光はすぐにシリコン表面で光電変換され吸収される。

CIS、CIGS太陽電池



Wide Band

Narrow Band



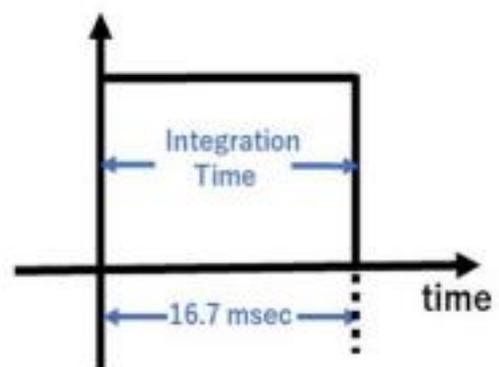
Diamond は 4.7 eV
Ga₂O₃ は 4.2 eV
GaN は 4.1 eV

Wide Band 化合物の複合接合型Solar Cell

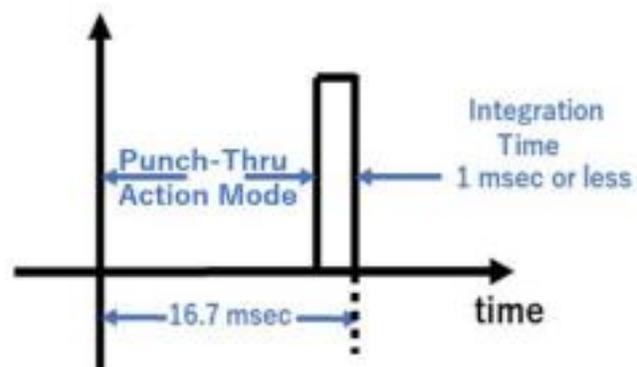
半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?
- (20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?

(a) Normal Global Shutter Mode



(b) Electronic Shutter Mode



(c) Analogy of Potential-Profile and Rubber-Belt

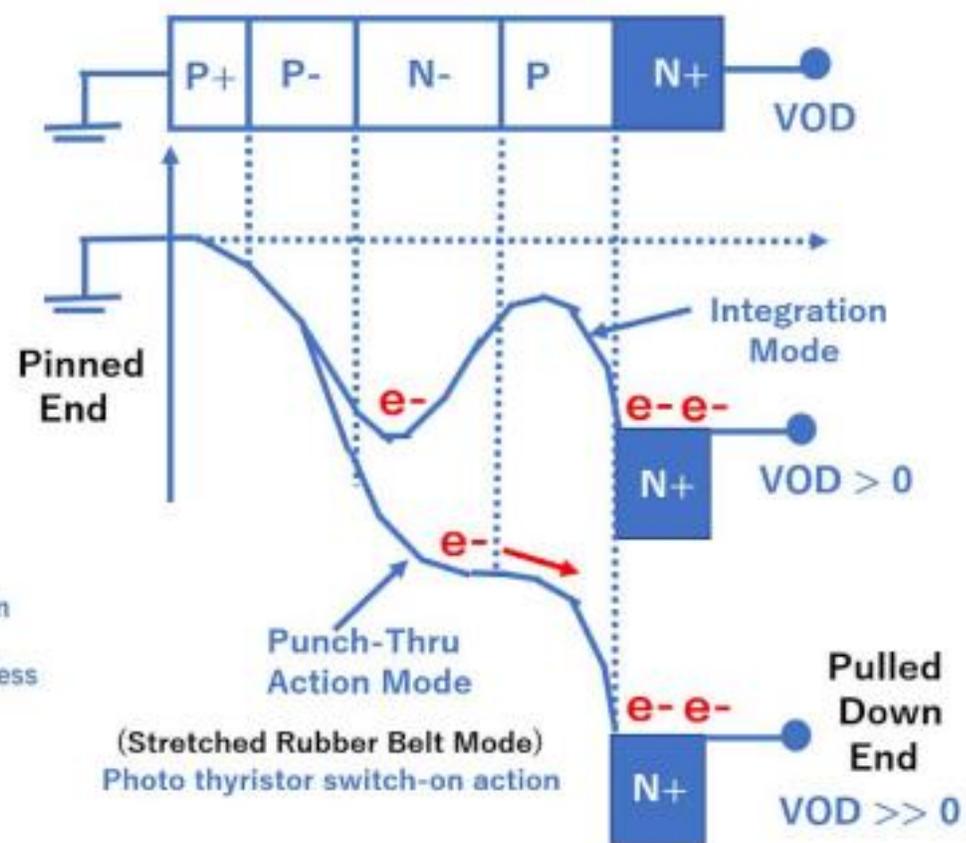
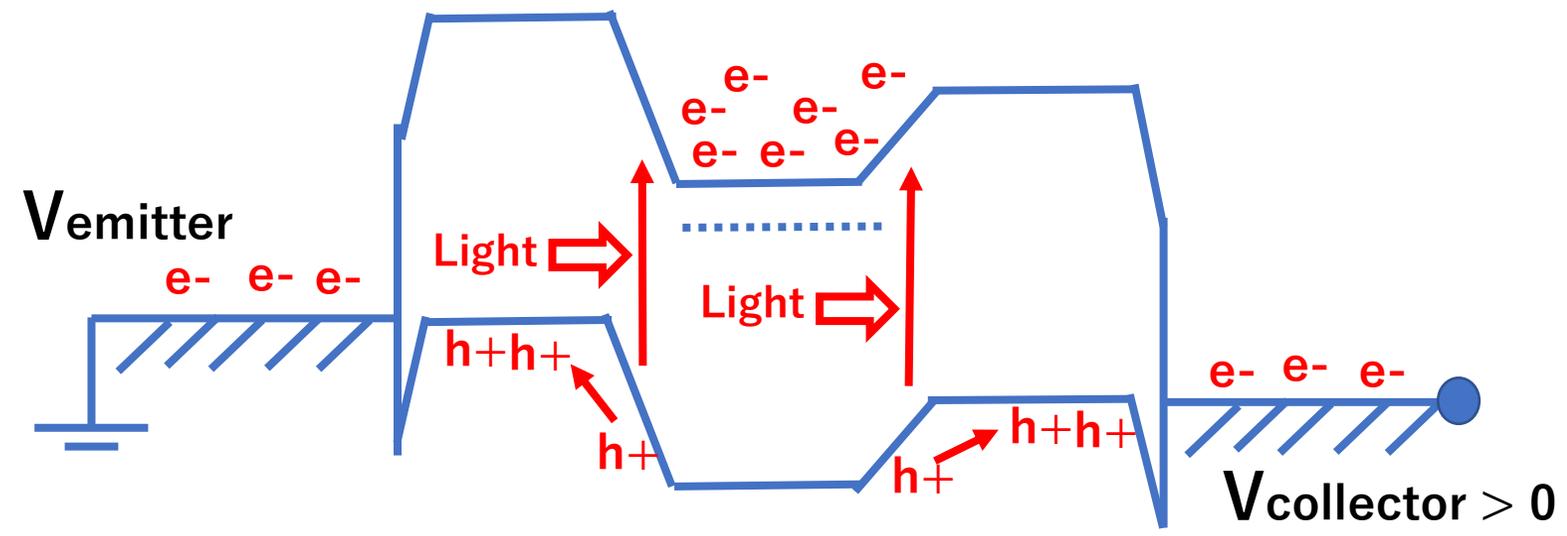
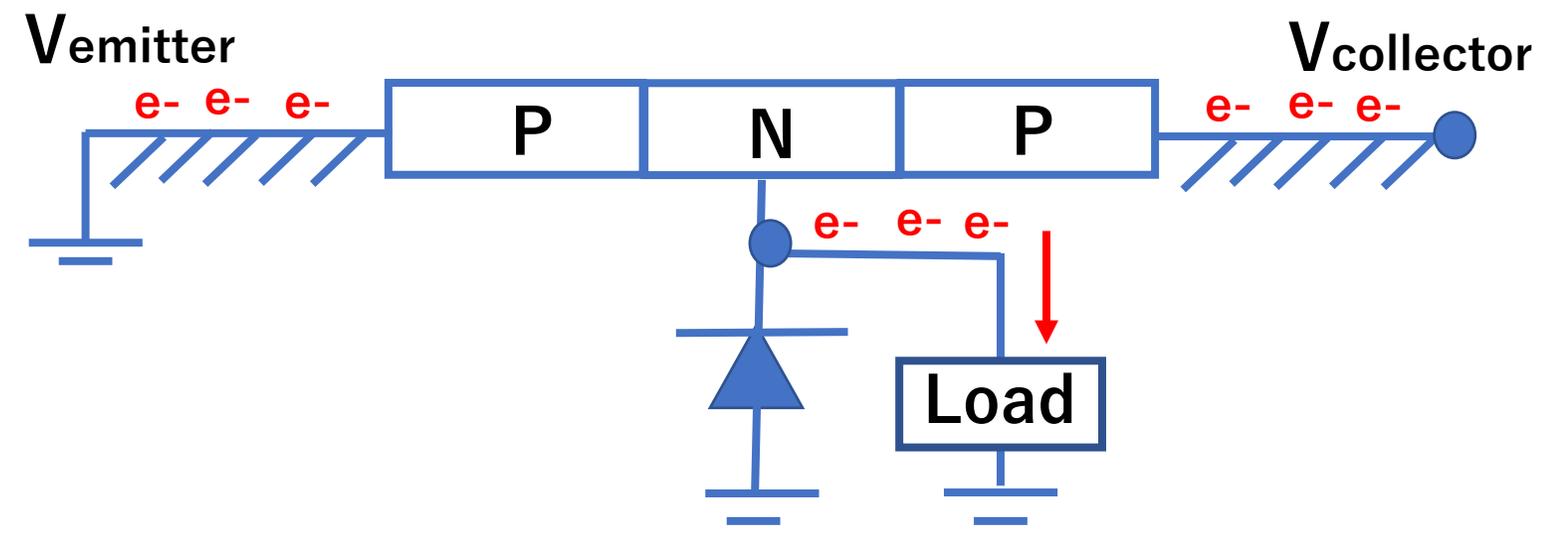
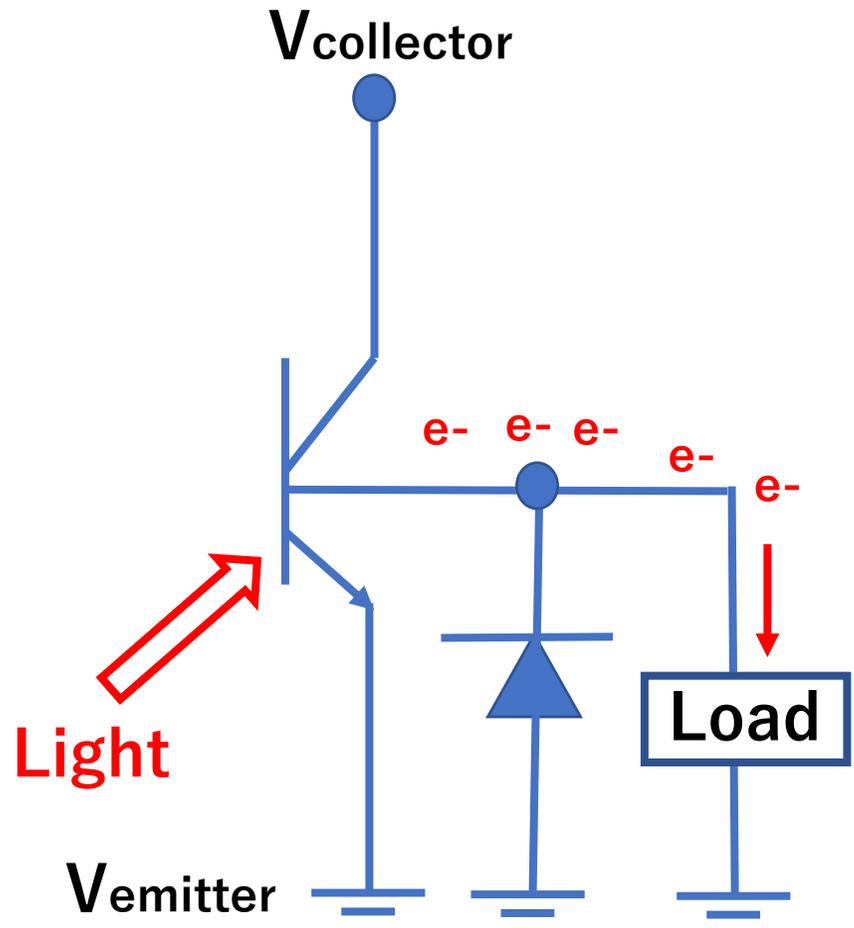


Fig. 8: (a), (b) Global shutter clocking schemes for CMOS image sensors: normal global shutter mode, electronic shutter mode; (c) the electrical potential profile of the P+PN-PN+ triple junction type PPD in the photo thyristor switch-on mode and in the integration mode.

半導体は「産業のコメ」です。それって、なあに??

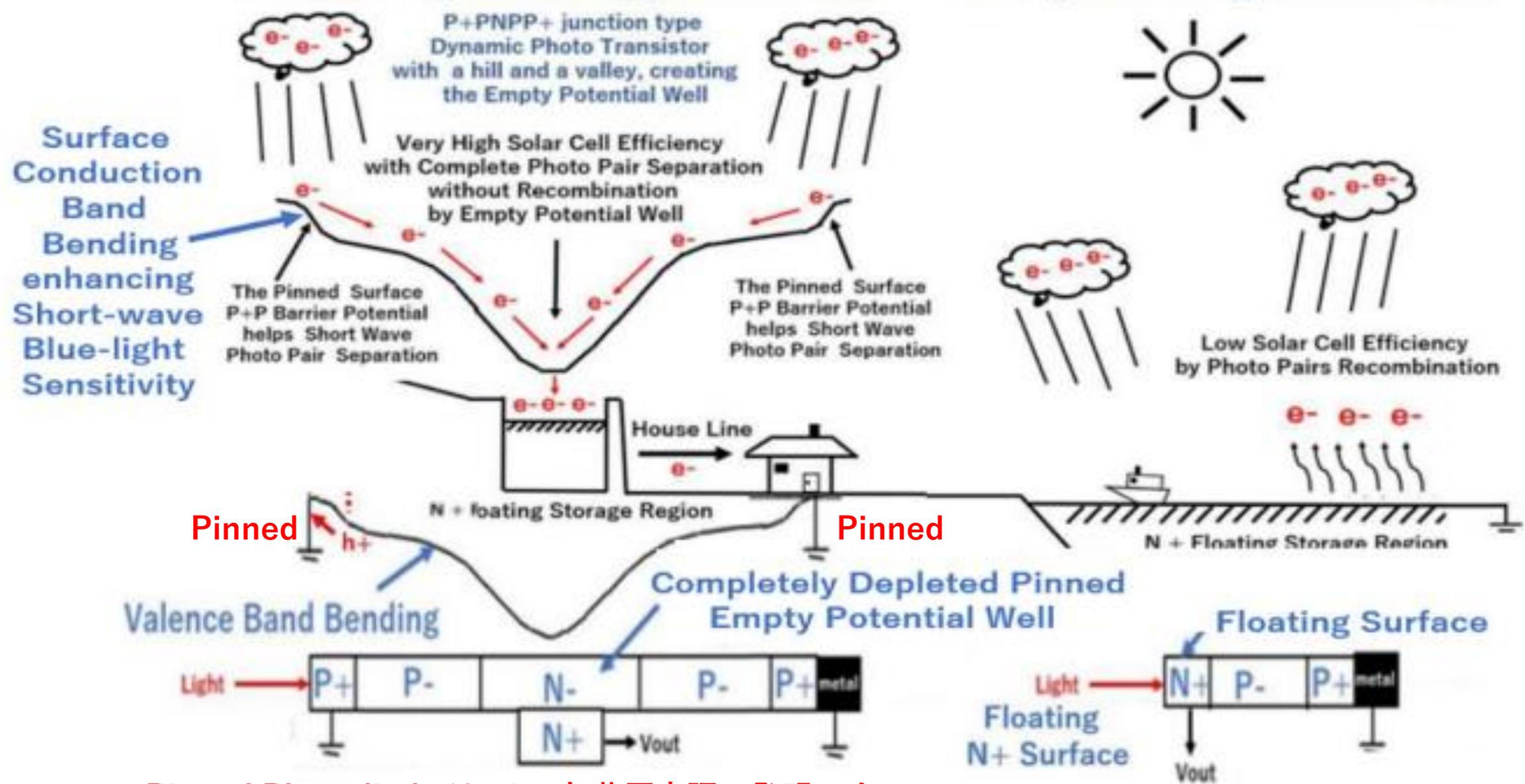
- (1) 金属とは? 電気を通す。
- (2) 絶縁体とは? 電気を通さない。
- (3) 金属容量とは? 電気をためる。
- (4) 抵抗体とは? 電圧に比例して電流が流れる。
- (5) 半導体とは? 電流が流れたり流れなくなる。
- (6) 半導体のBand Gapとは? 軌道脱出エネルギー
- (7) N型半導体とは? 電子が主役。
- (8) P型半導体とは? ホールが主役。
- (9) 半導体の空乏層とは? 真空(無)の宇宙空間
- (10) 半導体の電位障壁 (Barrier)とは?
- (11) PN接合(Diode)とは?
- (12) NPN接合Transistorとは?
- (13) PNPN 接合Thyristorとは?
- (14) MOS 接合型Transistorとは?
- (15) Power Transistor とは?
- (16) CCD Image Sensor とは?
- (17) CMOS Image Sensor とは?
- (18) Wide Band 化合物半導体とは?
- (19) Pinned Photodiode とは?

(20) Pinned Photodiode 型 Solar Cell とは?



P+PNPP+ junction type Solar Cell

N+P junction type Solar Cell



Pinned Photodiode は 1975年萩原良昭の発明です。

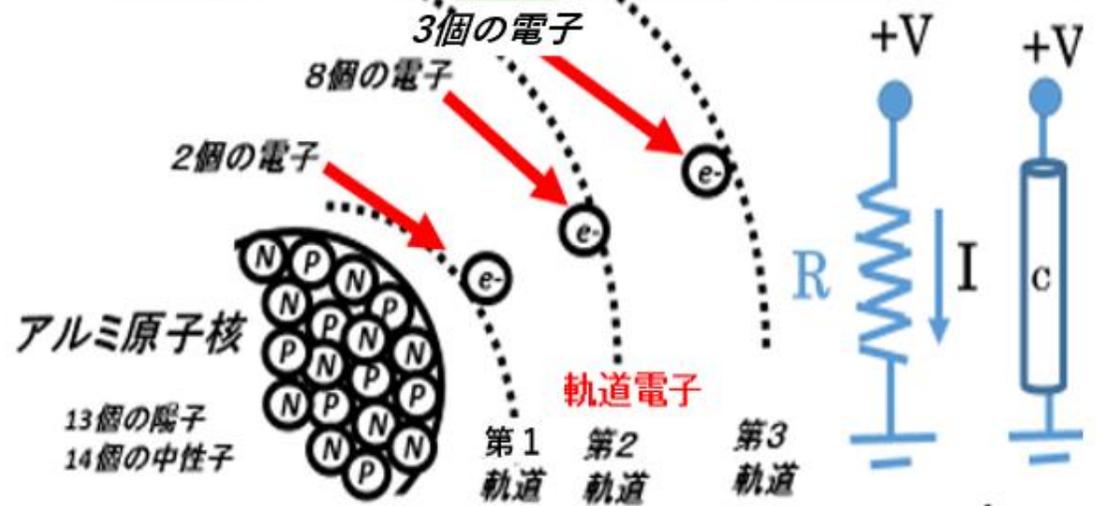
●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

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。

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



アルミ原子(中性 Al)₁₃ = アルミイオン (Al⁺)₁₂ + 自由電子 (e⁻)

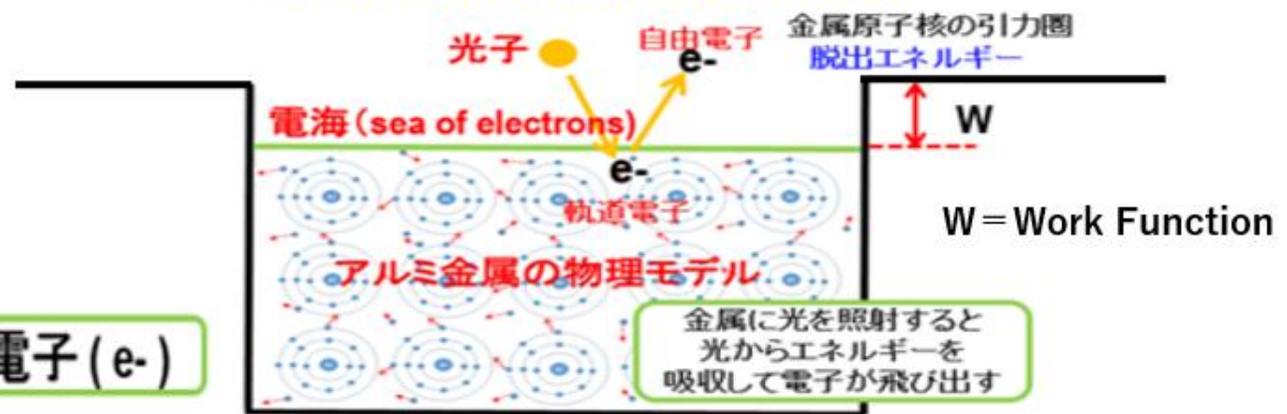


(脱出エネルギー) = Energy Gap

For Aluminum, $E_g \ll 0.025 \text{ eV}$ $\lambda \gg 40 \mu\text{m}$

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

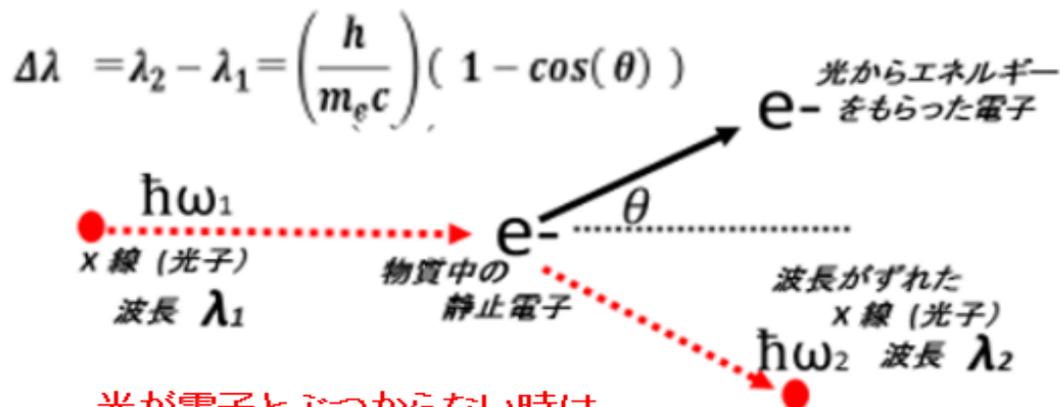
●金属の物理モデル(器の中に入った水モデル)



金属に光を照射すると光からエネルギーを吸収して電子が飛び出す

●原子構造(原子核と電子)と太陽系(太陽と惑星)の類似

- 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！

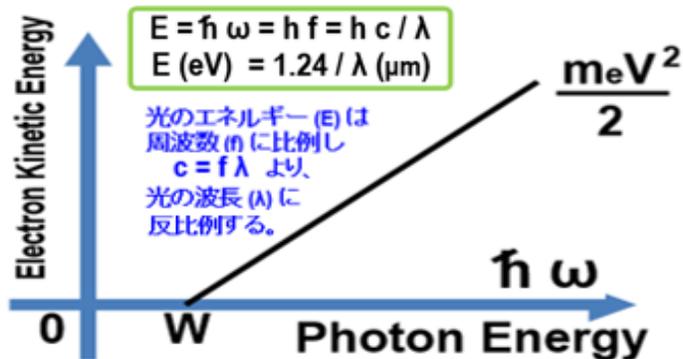


光が電子とぶつからない時は $\theta=0$ で光は直進し波長の変化はない。

光の速度 $C = 2.99792458 \times 10^{10}$ cm/sec

Planck 定数 $h = 6.62606957 \times 10^{-34}$ Joule·sec

電子の質量 $m_e = 9.10938291 \times 10^{-31}$ kg



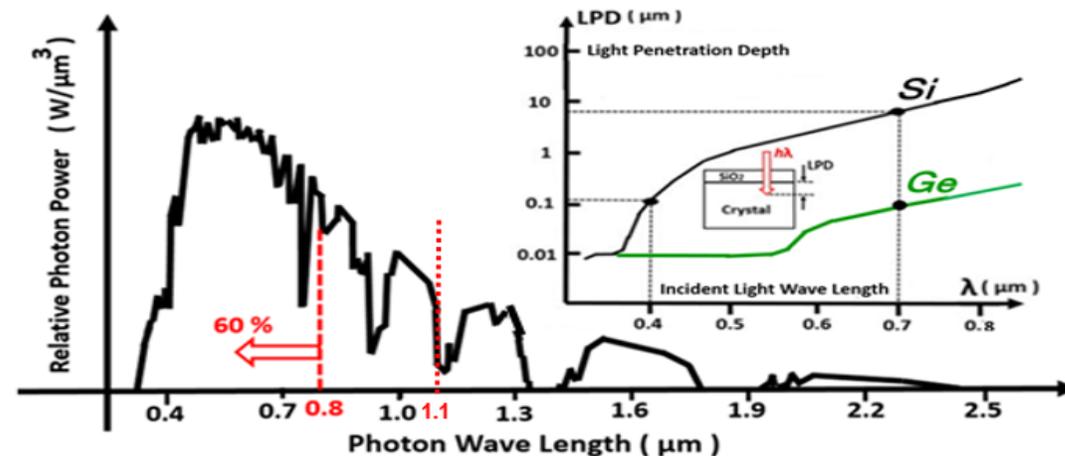
$$E = \hbar\omega = hf = hc/\lambda$$

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

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 (λ) に反比例する。

Work Function (W)の値から金属の種類が判明する。

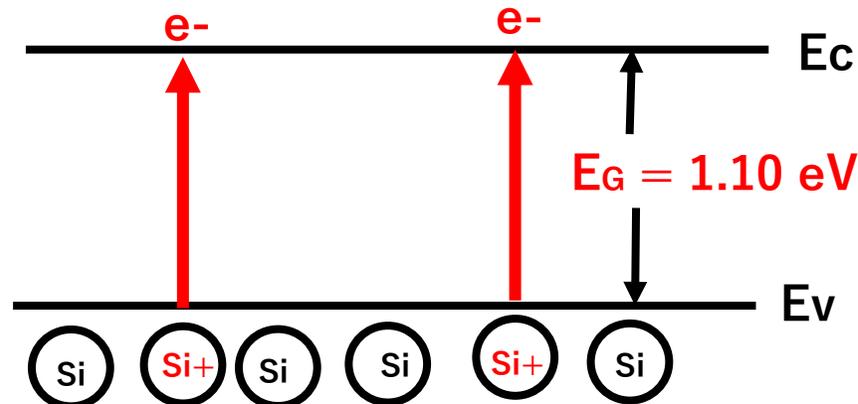
太陽光の波長スペクトラム



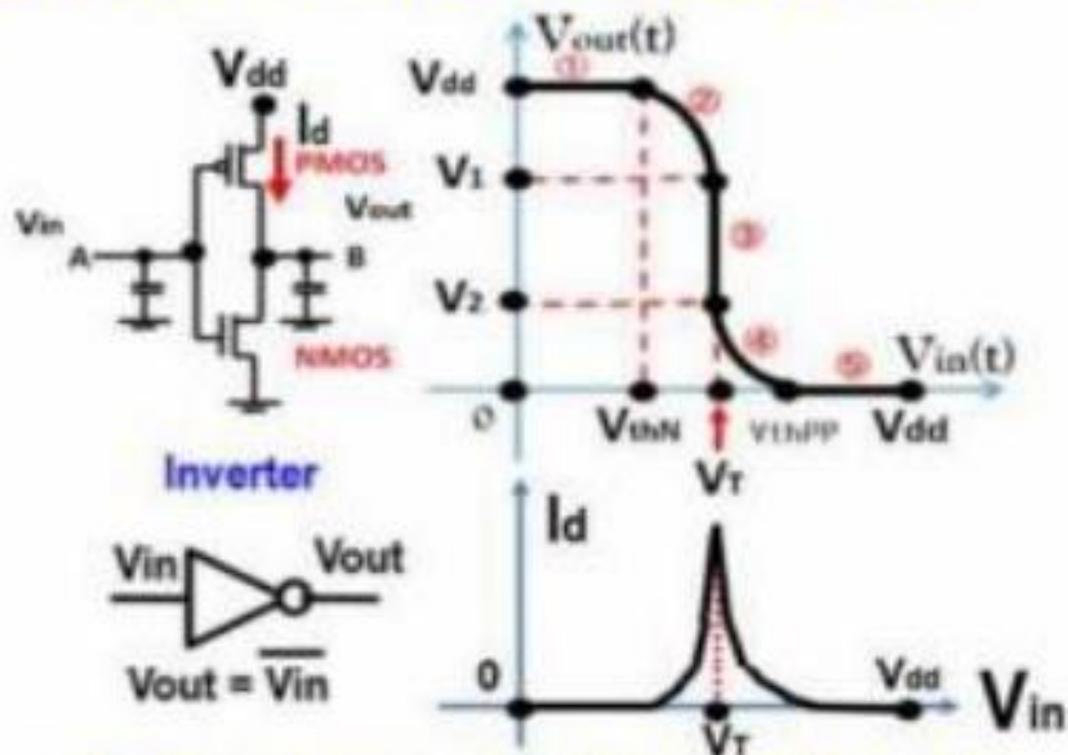
太陽光のエネルギー成分は青色光が豊富である。
 遠赤外線は光電変換不可能で熱になる。

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

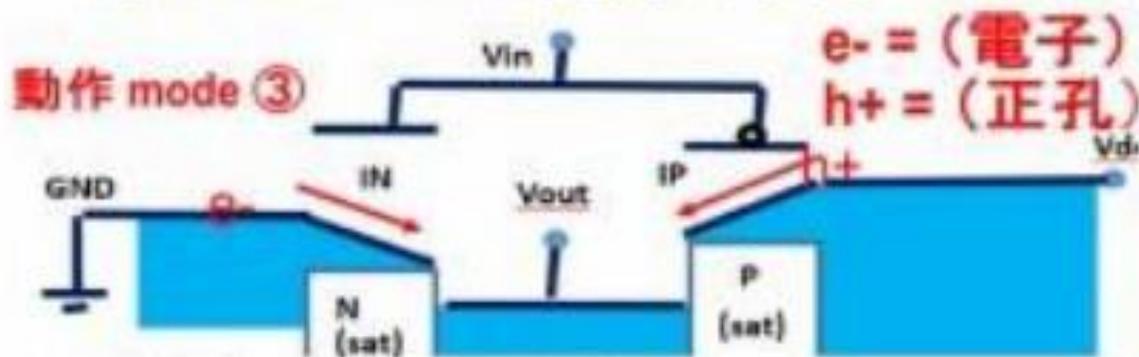
短波長光はすぐにシリコン表面で光電変換され吸収される。



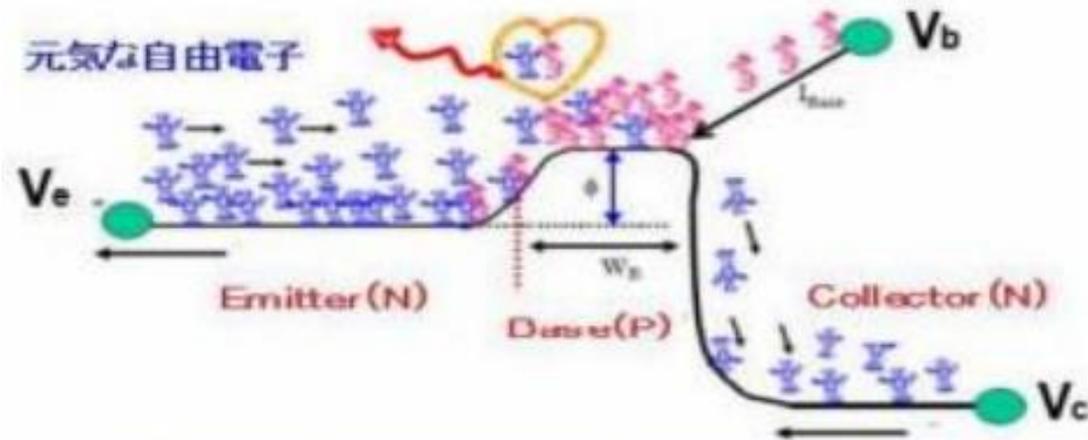
●CMOS inverter回路の入出力特性



●CMOS inverter回路の水門モデル

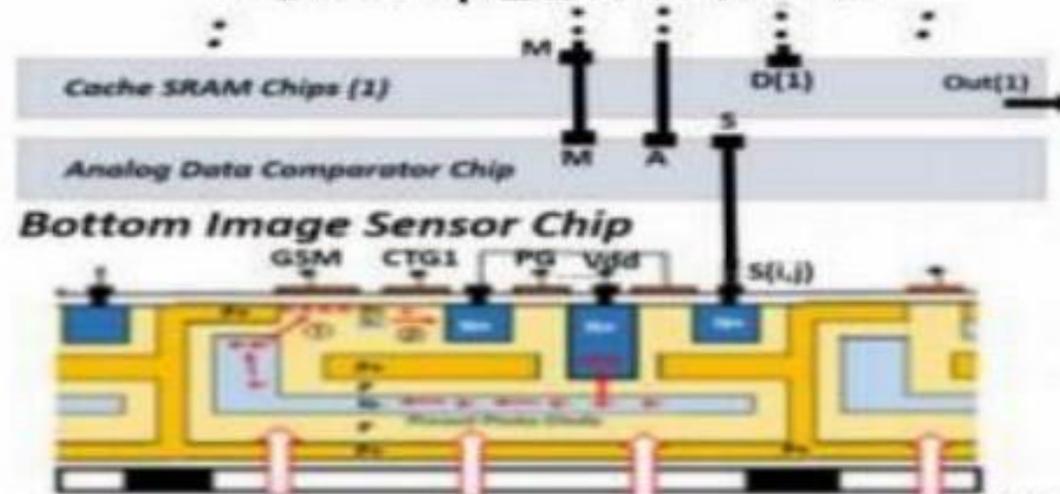


●NPN transistorの動作原理



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



Sonyの裏面照射型CMOS Image Sensor 2019年

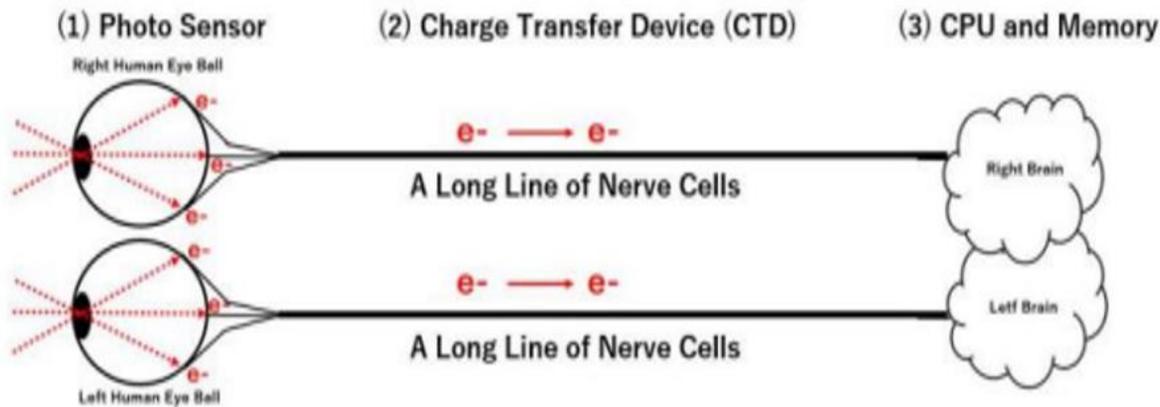
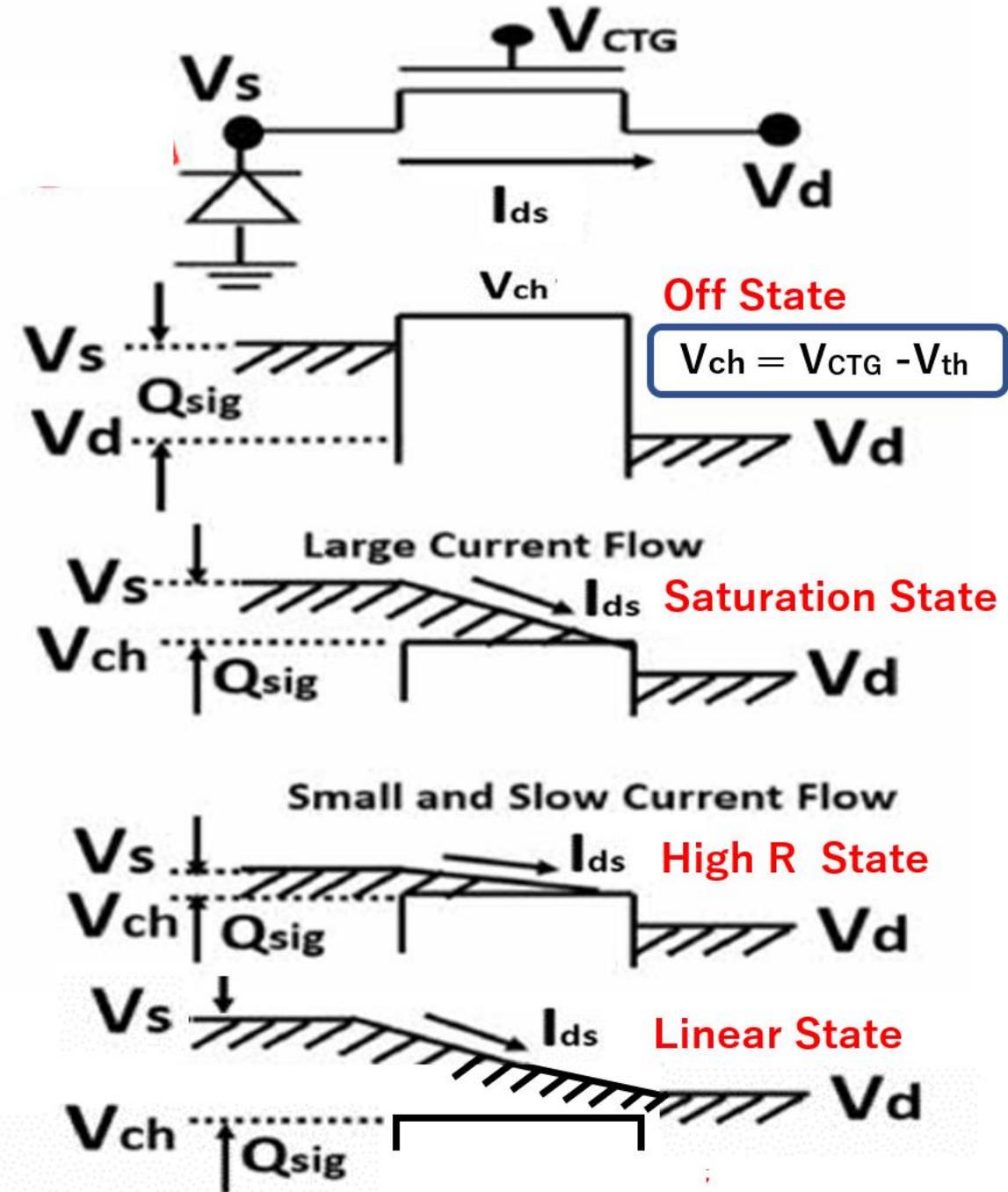
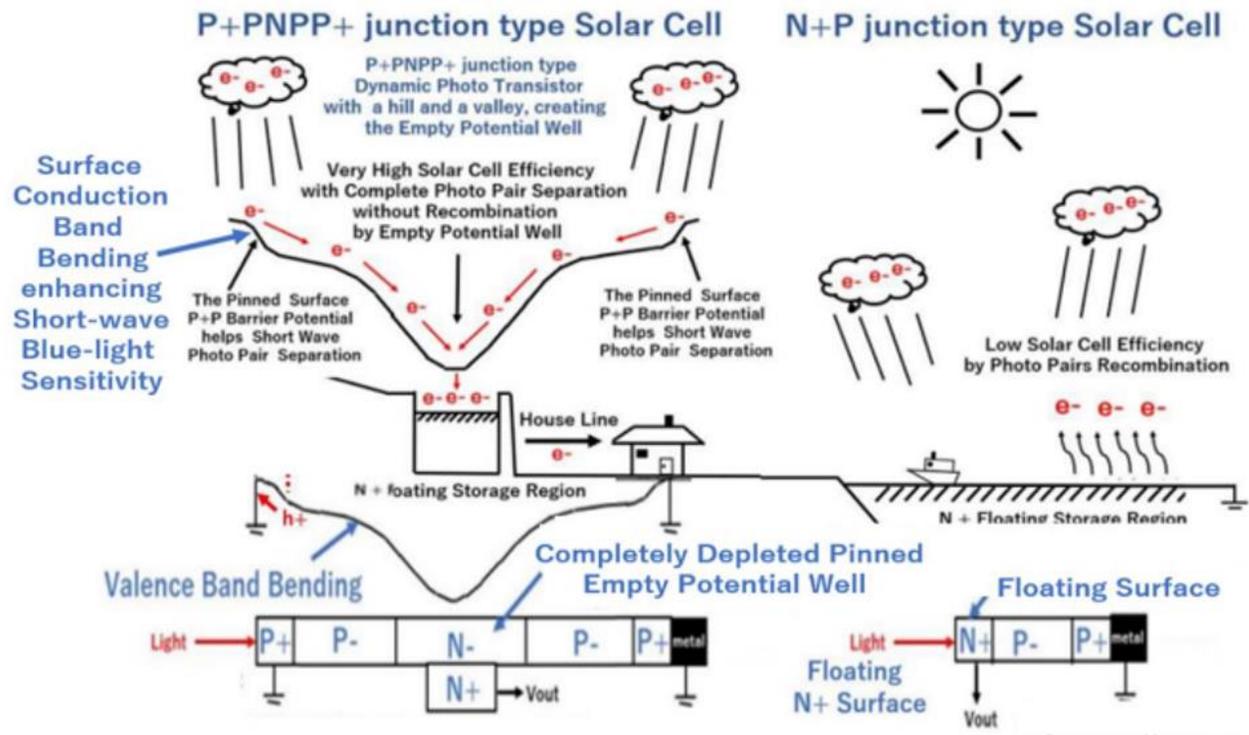


Figure 1. Artificial Intelligent (AI) Image Sensor Structure with Three Basic Parts.

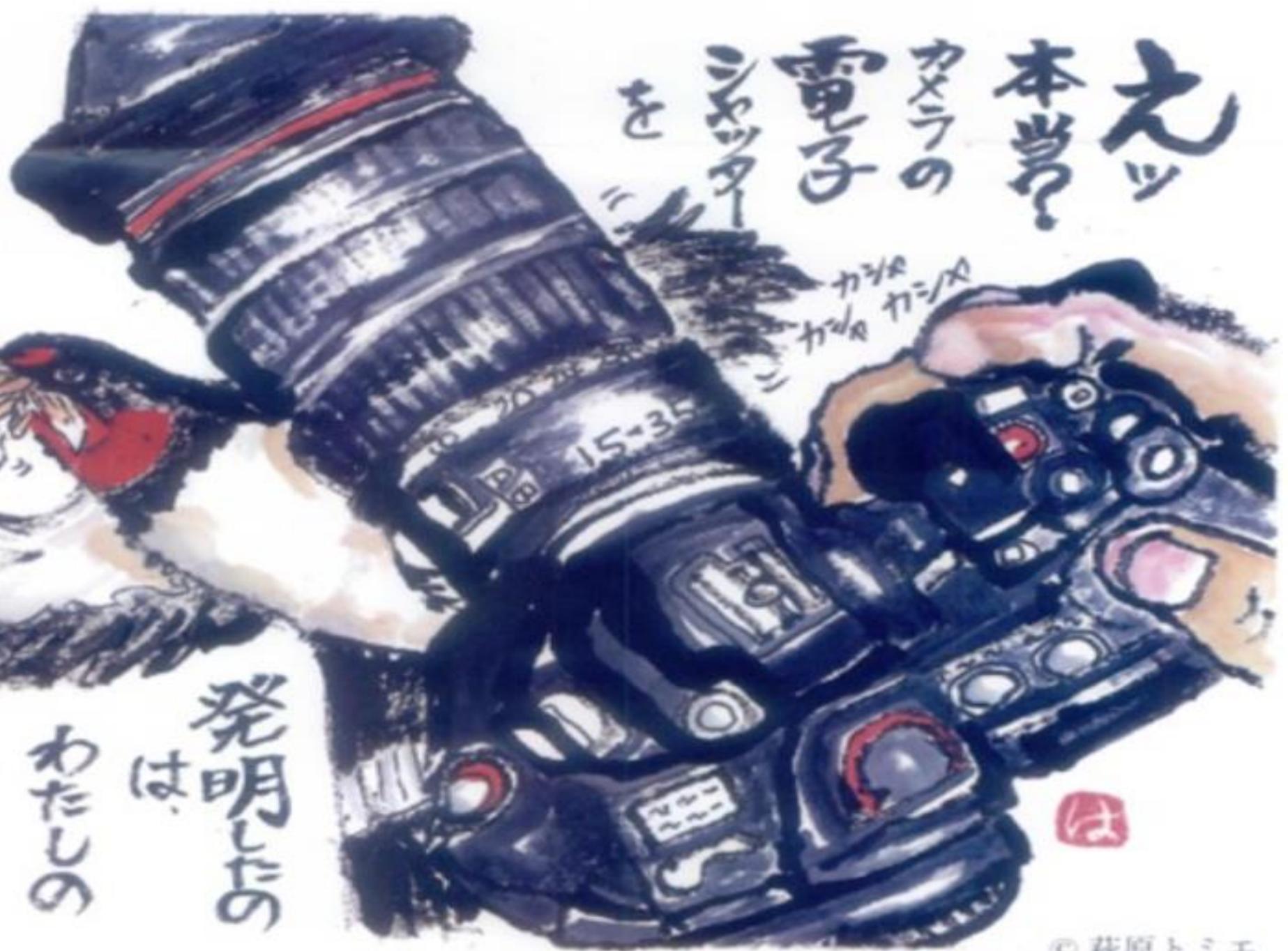




ピンピンピン

えッ
本当？
カメラの
電子
シッター
ま

カキカキ
カキカキ



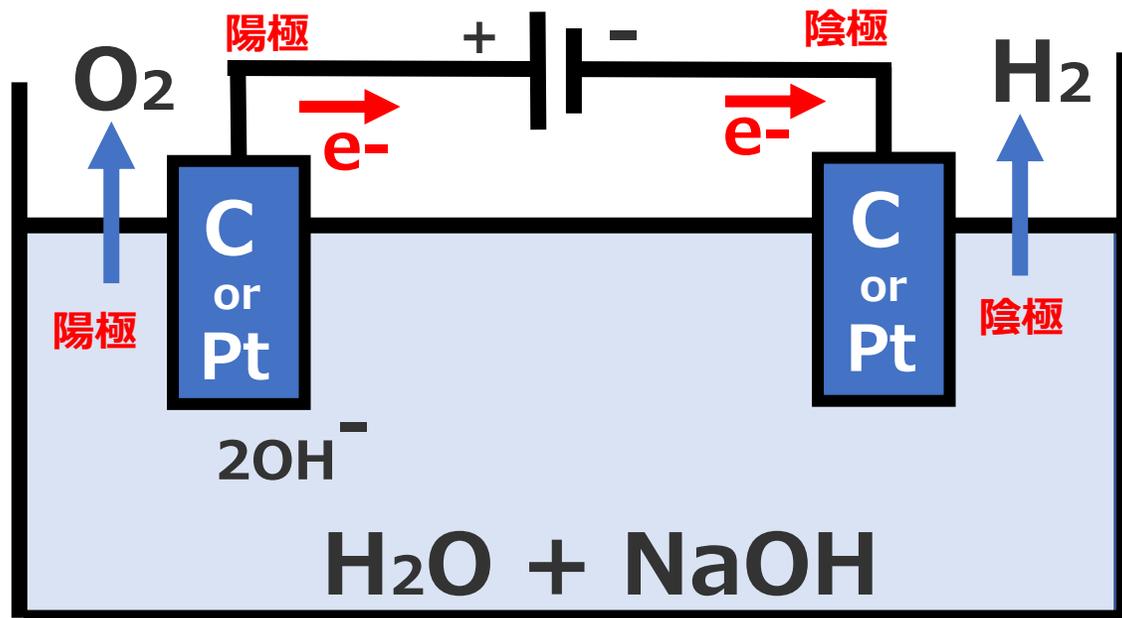
發明したの
は、
わたしの
ハッピ
夫人です
本当です。
ハ
スバライイ



Killer Application (最終商品のイメージと特許戦略) のない企業 (ビジネス計画) はつぶれる!

https://kenkou888.com/category31/h2o_denkibunbunai.html

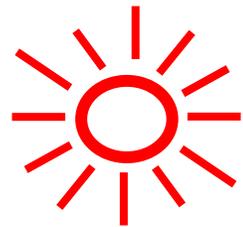
イオンが陽極や陰極での反応に関与する。



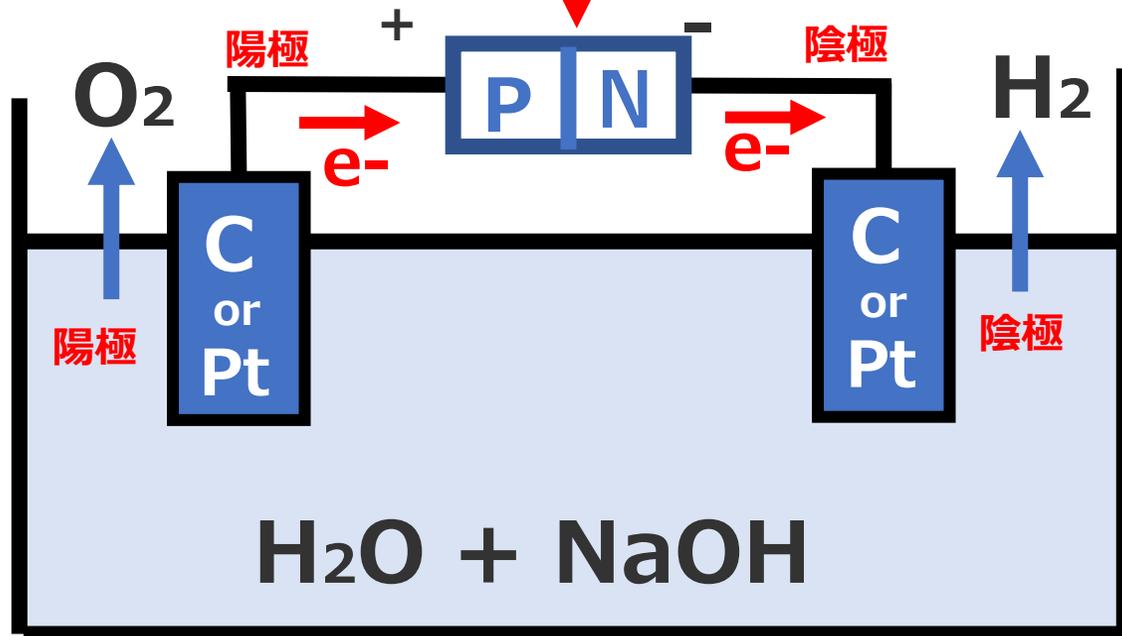
Killer Application (最終商品のイメージと特許戦略) のない企業 (ビジネス計画) はつぶれる!

https://kenkou888.com/category31/h2o_denkibunbai.html

イオンが陽極や陰極での反応に関与する。



光





ごみ箱



data



良昭じい様の昔話



2022_12_07_熊本



2022_11_11



2022_11_15



2022_11_17



2022_11_21



2022_11_22



2022_11_23



2022_11_25



2022_12_14



ウイルスバスター クラウド



Microsoft Edge



Zoom



Outlook



Thank you very much !