



2023 半導体初級講座

春 編

通信講座・オンラインハイブリッドセミナー

【第2セクション 半導体設計編】

No.06 半導体デバイスの用途

講師：小川 公裕

サクセスインターナショナル株式会社

GNC
Global Net Corp

SUCCESS
inter
サクセスインターナショナル株式会社
Sakusu International Corporation

半導体デバイスの用途

目次

半導体デバイスの用途	1
1 前書き	1
2 半導体基礎知識	1
2.1 真空管からトランジスタへ 半導体製品の始まり	1
2.2 そもそも半導体とは	2
2.3 バイポーラから MOS へ	4
2.4 CMOS の利点	5
2.5 2進数のおさらい	6
2.6 SI 接頭文字	8
3 LSI の基本知識	9
3.1 LSI の構造	9
3.2 アナログとデジタル	11
4 半導体デバイス	12
4.1 半導体デバイスの特徴	12
5 電気・電子製品の中	13
5.1 スマートフォン	14
5.2 HV 自動車	16
5.3 コンピュータ	17
6 半導体の微細化とドライブ製品の変遷	18
6.1 半導体デバイス開発の牽引役	18
7 システム LSI の構成デバイス	19
7.1 標準ロジック (Standard Logic)	20
7.2 アナログ (Analog)	21
7.2.1 アナログ回路とは	21
7.2.2 デジタルとアナログの違い	22
7.2.3 クロック	24

7.2.4	PLL.....	25
7.2.5	高速シリアル伝送.....	26
7.3	プロセッサ (Processor).....	28
7.3.1	CPU.....	28
7.3.2	GPU.....	28
7.3.3	AI 向けプロセッサ.....	29
7.4	メモリ (Memory).....	30
7.4.1	DRAM.....	30
7.4.2	SRAM.....	33
7.4.3	Flash メモリ.....	34
7.5	センサ (Sensor).....	37
7.6	IP (Intellectual Property).....	40
7.6.1	メモリ IP.....	40
7.6.2	プロセッサ IP.....	42
7.6.3	その他 IP.....	42
7.7	パワーデバイス (Power Device).....	43
8	最近の注目分野と半導体デバイス.....	44
8.1	2000 年代の半導体市場.....	45
8.2	AI (Artificial Intelligence).....	46
8.2.1	ニューラルネットワーク.....	47
8.2.2	AI の応用.....	47
8.2.3	生成型 AI.....	48
8.2.4	メタバース.....	49
8.2.5	AI チップの動向.....	50
8.3	5G (5'th Generation Mobile Communication System).....	52
8.4	IoT (Internet of Things).....	54
8.4.1	IoT 概略.....	54
8.4.2	エッジコンピューティング.....	55

8.5	データセンタ (Data Center).....	56
8.5.1	クラウドサーバー (Cloud Server).....	56
8.5.2	クラウド か オンプレミス (On-Premises) か.....	57
8.5.3	データセンタ と クラウド.....	58
8.6	自動運転 (Auto Driving).....	59
8.6.1	自動運転のレベル.....	59
8.6.2	自動運転における各社の提携関係.....	62
8.6.3	自動運転で発生した事故.....	63

図の目次

図 2.1-1	真空管から半導体デバイスへ.....	2
図 2.2-1	物質の電気伝導率.....	3
図 2.2-2	MOSFET はスイッチ.....	3
図 2.2-3	MOSFET のラジスタ.....	4
図 2.3-1	バイポーラトランジスタ.....	4
図 2.4-1	CMOS インバータ.....	5
図 2.4-2	Bipolar と NMOS インバータ.....	6
図 2.5-1	英文字キーボード.....	7
図 3.1-1	LSI のパターンを拡大.....	9
図 3.1-2	LSI の配線構造.....	10
図 3.2-1	アナログとデジタル.....	11
図 3.2-2	サンプリングによる離散化.....	12
図 4.1-1	半導体デバイス.....	13
図 4.1-1	あらゆる電気製品に半導体.....	14
図 5.1-1	スマートフォン.....	15
図 5.1-2	スマートフォンの中身.....	16
図 5.2-1	HV 自動車の駆動用パワー半導体.....	16
図 5.3-1	従来コンピュータの一般的な構成.....	17

2.4 CMOSの利点

図 2.4-1 に現在主流の CMOS インバータの構造 (左図) と回路図 (右図) を示す。

CMOS が勝ち残った最大の理由は直流電流が流れず消費電力が小さい事である。LSI の素子数があまり多く無く、かつ携帯用機器が全盛では無かった頃は問題にならなかったが、現在の様に 1 チップに 1 千億個ものトランジスタが搭載され、かつ携帯機器が数多く出るようになった状況では、トランジスタ 1 個ずつの僅かな消費電力も全体としては膨大なものとなってしまい、携帯機器ではバッテリー容量不足で稼働時間が制約される。

CMOS は PMOS (P 型 MOS) と NMOS (N 型 MOS) が相補的 (Complementary) に動作し、両 MOS が互い違いに ON/OFF するように設計されている。つまり図 2.4-1 中図 或いは簡略化した右図 の様に入力が (0 1) の時に (PMOS だけが ON NMOS だけが ON) して、出力は (1 0) となる。従って電源 (Vdd) と GND 間に直流電流が流れる事は無く、全ての電流は後段の充電か放電のどちらかに 100% しか使われない非常に電力効率の高い回路方式である。(正確に言うと PMOS、NMOS がスイッチする際に、僅かに時間的重なりがあり、多少は直流漏れ電流も流れる。これを買通電流と呼んでいる)

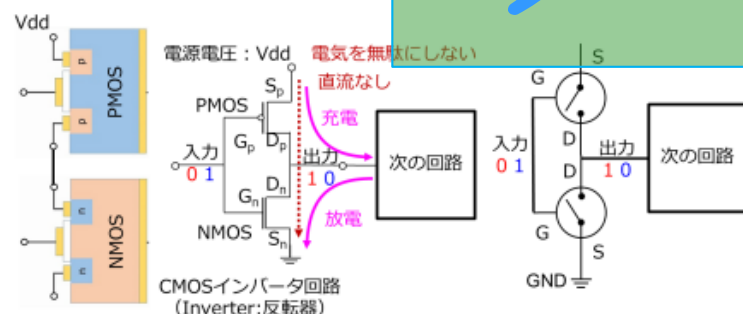


図 2.4-1 CMOS インバータと等価回路

では CMOS 以前はどうだったか？ 図 2.4-2 に示すようにバイポーラロジックや NMOS ロジックの時代には負荷抵抗を使ってインバータ回路を構成していた。この場合、

半導体の世界では小さい数は 10^{-18} から大きい数は 10^{18} と非常にダイナミックレンジが広く、10 のべき乗ではピンと来ないので、SI 接頭文字 (SI Prefix, SI: International system of units) 国際単位系を用いることが多い。この一覧を 表 2.6-1 に示す。半導体関連の会話をする場合、これらの文字に慣れておく必要がある。表 2.6-1 中、赤い文字は現在、既に日常的に使っている接頭文字である。

3 LSIの基本知識

3.1 LSIの構造

LSI (Large Scale Integrated Circuit) は多くのトランジスタを集積して作った 1 チップ IC (集積回路) のことである。1970 年代の用語でいうと規模によって、SSI (Small Scale IC)、MSI (Middle Scale IC)、そして LSI と分類されていたが、この時代の LSI は精々数千トランジスタ程度のものであった。

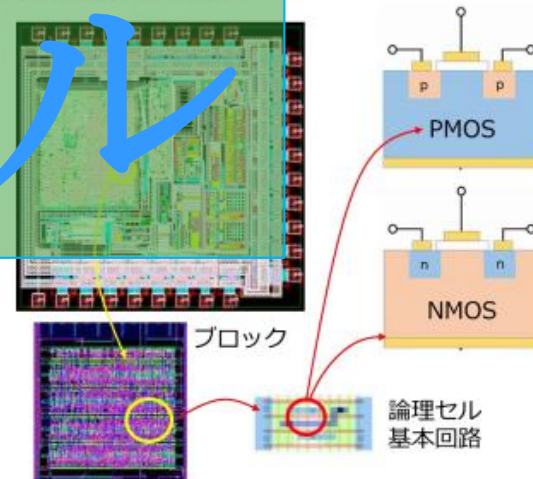


図 3.1-1 LSI のパターンを拡大

その後も微細化と集積化が年々進展し 1980 年代には、VLSI (Very Large Scale IC)、ULSI (Ultra Large Scale IC) と新たな表現が追加されたものの、所詮は 10 万個～数千万個の範囲であり、億の単位の集積度が登場した頃からは当てはめる言葉が無くなって、結

- ・ AIPU (AI Processing Unit) 現在 AI 向けとして GPU が広く使われているが、更に AI に特化したプロセッサとして、高並列度/比較的小(8, 16)ビット/プロセッサ・メモリ間高速データ転送 のものが開発されている。一部は既にスマホやデータセンタで実用化されている。

現在及び今後において半導体デバイス開発のドライバーとなるのは 5G/IoT/AI/自動運転/データセンタ/量子コンピュータ 等の関連製品群であると思われる。

デジタル化&大規模化により製品開発=LSI開発 となった。
CPU (Central Processing Unit) は常に牽引役
GPU (Graphics Processing Unit) は3Dグラフィックスから
AI、HPC (High Performance Computing) に拡大

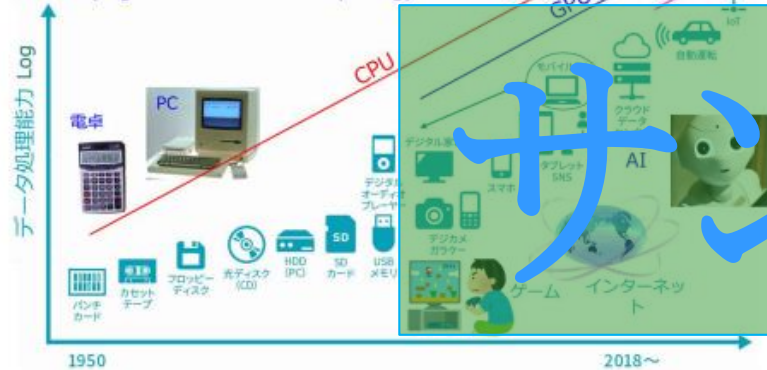


図 6.1-1 半導体デバイス開発の牽引役変遷

7 システム LSI の構成デバイス

現在の先端 LSI は 1 チップ上に 1 千億個ものトランジスタを集積している。かつてプリント基板上で複数の LSI を配置配線して作っていた機能が全て LSI の中に納まる。LSI の進化は 複数チップ ⇒ 1 チップ化 の繰り返しである。また近年は 3 次元実装が発達し、1 チップ化の次段階として複数チップを 1 パッケージ (見掛け上 1 個の LSI に見える) に入れる 1 パッケージ化の時代に入っている。

また半導体製品の中でも、特にプロセッサ、メモリ、演算器、その他様々な機能ブロッ

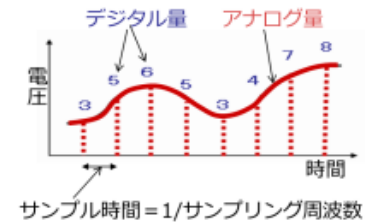


図 7.2-2-1 ADC と DSP、DAC

7.2.3 クロック

現在のデジタル回路はほとんどが同期式 (Synchronous) と呼ばれる方式を採用している。図 7.2.3-1 に示すようにデジタル回路はチップ全体あるいは機能ブロック毎に共通のクロック信号(CK)でタイミング制御され、一般的にはクロック波形の立ち上がりエッジで各状態の値で 0 か 1 を取り決める約束になっている。

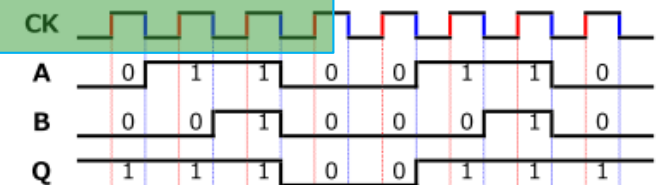


図 7.2.3-1 デジタル波形

図 7.2.3-1 の場合では各信号値 A、B、Q はクロックの立ち上がりエッジで値を読み、立ち下りで出力する。これはクロックの立ち上りで各状態が安定していて欲しいからである。波形を図中に示したような 0、1 の状態と解釈する。これが同期式の約束事である。

使っての CG (Computer Graphics) は 1993 年の映画 Jurassic Park で当時の人々の度肝を抜き広く知られるようになった。図 7.3.2-1 に GPU の利用例を示す。最近では AI 向けの利用が多くなっている。



図 7.3.2-1 GPU の利用例

数値計算処理に特化しているため行列計算など積和計算が得意で、既に同じ PC 上で CPU と共存し独自の地位を築いている。GPGPU (General purpose Computing on GPU) と呼ばれる製品では 1 万コア以上のものもあり、並列計算処理の強みをうまく書ければ桁違いの HPC (High Performance Computing) が可能となる。表 7.3.2-1 に CPU と GPU の比較を示す。

表 7.3.2-1 CPU と GPU の比較

項目	CPU	GPU
主な役割	一般的、複雑な問題の制御、計算処理	画像処理、Deep Learning
得意な計算処理	逐次計算処理	並列計算処理
コア数/チップ	64 (AMD Ryzen)	8448 (Nvidia H100)
計算速度の差	問題によっては GPU 処理能力 >> CPU 処理能力 × 100	

7.3.3 AI 向けプロセッサ

AI 処理に特化したプロセッサである。図 7.3.3-1 に AI 向けプロセッサの進化の様子を示す。これはまだ現在進行形である。元々は CPU から始まった AI 向け計算であるが、

下図は×4ビットプリフェッチ *個々のメモリ速度は同じでデータ転送のみが高速化

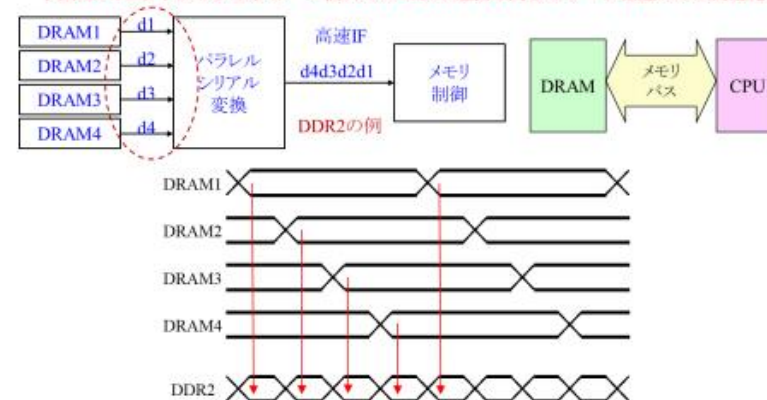
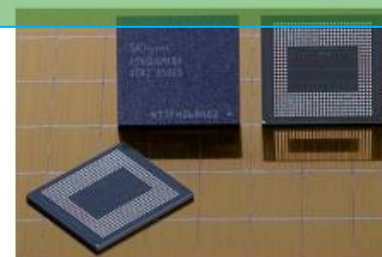


図 7.4.1-2 DRAM の速度向上策 DDR2

図 7.4.1-2 で DDR2 を説明する。DRAM メモリ自体の動作速度は変わらないので、4 本の DRAM から順番にデータを引き出し、1/4 周期ずつずらせて並べ、4 倍速クロックでパラレル→シリアル変換して高速 IF で CPU に転送する。見かけ上 4 倍高速になった。つまり DRAM と CPU 間の速度ギャップを埋める。



CPU/GPU	バンド幅 [bit/S]
Intel Xeon Gold 6000	128G
Intel Core i7-8700	42G
AMD EPYC 7000	170G
AMD Ryzen 5 2600	46G
NVIDIA Quadro RTX 6000	672G
NVIDIA Tesla V100	900G
京(SPARC64 VIIIfx)	64G
SX-Aurora TSUBASA	1.22T
富士(A64FX/Arm)	11T

図 7.4.1-3 DRAM の商品例、各種計算機のパンド幅

図 7.4.1-3 左図は DRAM の商品例で SK hynix 18G バイト LPDDR5 型 DRAM (2021) である。右には代表的な計算機の水タ転送パンド幅 [bit/S] を示す。さすがに富士のパンド幅は圧倒的でスーパーコンピュータたる所以である。

い易さ(壊れ難さ)、静音、高速、省スペース 等優位性を多く持っているのが当然である。

2023 年第一四半期には HDD の売れ行きが前年比 35%減と大きく落ち込んだ。

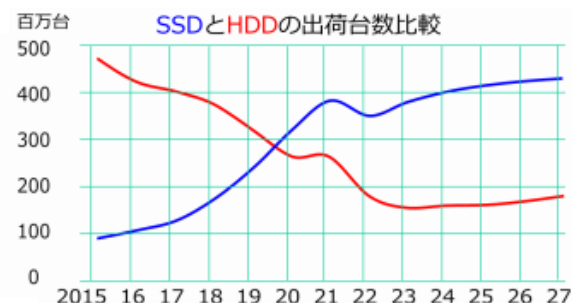


図 7.4.3-3 HDD 対 SSD 出荷台数

表 7.4.3-1 HDD 対 SSD 比較表

比較ポイント	HDD	SSD
データ量	大きい	小さい
容量単価	安い	まだ高い
速度	遅い	非常に速い
騒音	有る	無い
サイズ	大きい/重い	小さく軽い
形状	固定的	自由度高い
消費電力	大きい	小さい
故障	衝撃、振動に弱い	突発的故障あり

表 7.4.3-1 に HDD と SSD の長短比較を示す。

図 7.4.3-4 は 2021 年のフラッシュメモリのマーケットシェアである。提携関係も考慮すると サムスン、キオクシア連合 (キオクシアとウエスタンデジタルは提携関係にある)、SK ハイニクス (インテルからフラッシュを買収) が 3 分している状況で、韓国勢だけで 50%を超えている。

の認知は少しずつ進んでいる。日本では富士ソフト (システム開発) やエン・ジャパン (人材紹介)、HIKKY (ヒッキー、VR 事業) など従業員がアバターを利用して働く企業が増えている。銀行や医薬品メーカーなど従来型の企業でも、メタバースプラットフォーム『クラスター』を活用してイベントを開き、テクノロジー人材の確保に努めている。メタバースはゆっくりだが着実に日本人の生活文化に浸透しつつある。

8.2.5 AI チップの動向

7.3.3 で AI 向けプロセッサのおおまかな分類を説明した。ここでは各 AI プロセッサの近況を示す。



図 8.2.5-1 Nvidia の H100 と AI クラスタ



図 8.2.5-2 Google の TPU クラウド

まず GPU に関しては Nvidia が ARM の CPU と自社の GPU を大量に組み合わせた AI クラスタを開発しサービスを行っている。(図 8.2.5-1)

Google も自社開発の TPU v4 を多数並べた TPU クラウド を開発、サービス開始した