

# 大規模集積回路(LSI) とは何か?

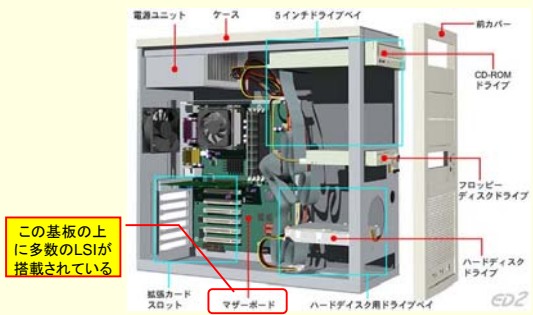
理工学部電子情報デザイン学科 藤野 毅

## LSI(Large Scale Integration)概要

- LSIはどこに入っているか?
  - PC, 携帯電話, デジカメ, 自動車 etc.
- LSIの中身にあるトランジスタとその進歩
  - 集積度と速度向上
- LSIはどのように計算しているか?
- LSIはどのようにしてつくられるか?
  - 設計工程
  - 製造工程
- LSIに関するホットな話題
  - ゲーム機PS3 vs XBox360
  - マルチプロセッサCPU

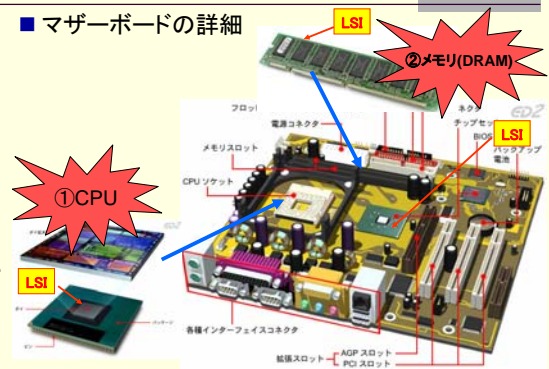
## LSIはどこに入っているか(1)

- デスクトップパソコンを例にとる



## LSIはどこに入っているか(2)

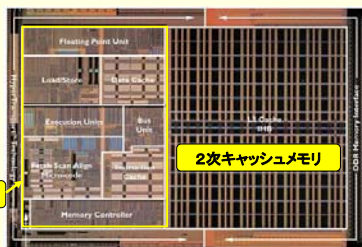
- マザーボードの詳細



## ① CPU(マイクロプロセッサ)

- 各種の演算を実行する、パソコンの心臓部

**AMD Athlon64**  
 ・0.13 μmルール  
 ・トランジスタ数  
 1億500万  
 ・ダイサイズ  
 193平方mm



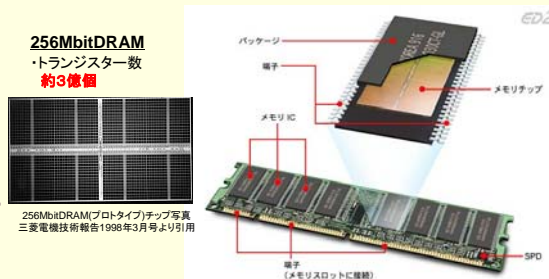
演算回路・制御回路

<http://pc.watch.impress.co.jp/docs/2003/0924/amd.htm>より引用

## ②メモリ(DRAMモジュール)

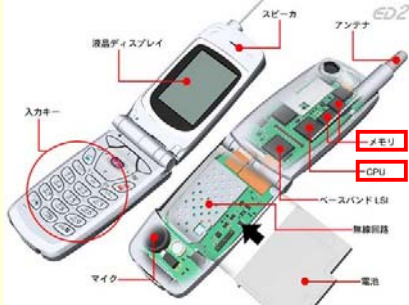
- 演算処理データ、プログラムを保存しておく、記憶装置

**256MbitDRAM**  
 ・トランジスタ数  
 約3億個



## 携帯電話もミニパソコン

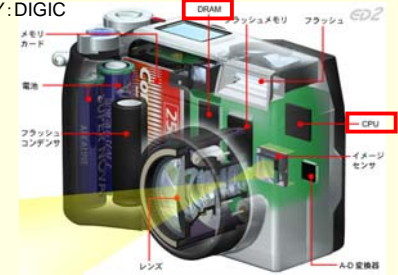
- 通信用LSIに加えて、デジカメ、音楽再生、インターネット接続などの機能をサポートするCPUとメモリを搭載



7

## デジカメの差別化はLSIによって(1)

- デジカメ向けに画像処理技術を駆使したLSIを独自開発
  - Panasonic LUMIX: ウィーナスエンジン
  - CASIO: EXILIMエンジン
  - キヤノン IXY: DIGIC



8

## デジカメの差別化はLSIによって(2)

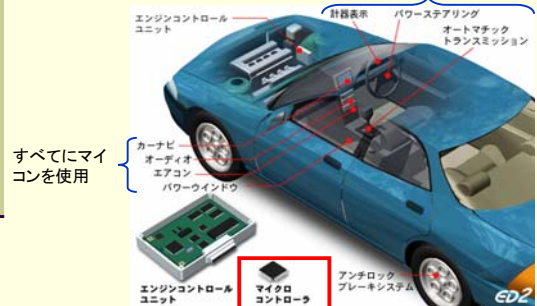
- CASIO EXILIM EX-S500の最新機種のカタログより抜粋
  - 高圧縮動画(MPEG-4)対応
  - 長電池寿命設計
  - スリム
  - 手振れ防止



9

## 自動車はマイコンの塊

- CPUとメモリを一体化したLSI ⇒ マイクロコントローラ(マイコン) すべてにマイコンを使用



10

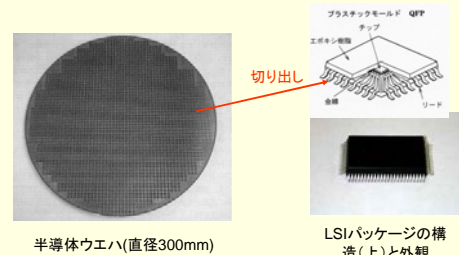
## LSI概要

- LSIはどこに入っているか?
  - PC, 携帯電話, デジカメ, 自動車 etc.
- LSIの中身にあるトランジスタとその進歩
  - 集積度と速度向上
- LSIはどのように計算しているか?
- LSIはどのようにしてつくられるか?
  - 設計工程
  - 製造工程
- LSIに関するホットな話題
  - ゲーム機PS3 vs Xbox360
  - マルチプロセッサCPU

11

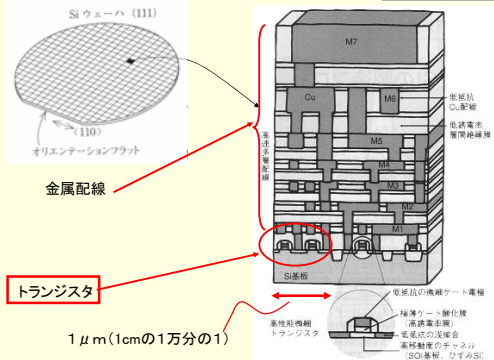
## LSIのマクロな姿

- 半導体ウエハ
  - LSIは下記のように多数のチップが乗った半導体ウエハ上に多数個製造され、それぞれがパッケージに格納されて最終的な製品となる。



12

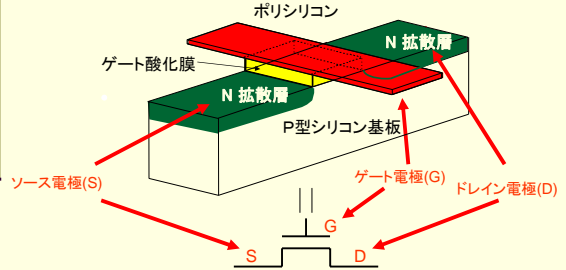
## LSIのマイクロな姿



13

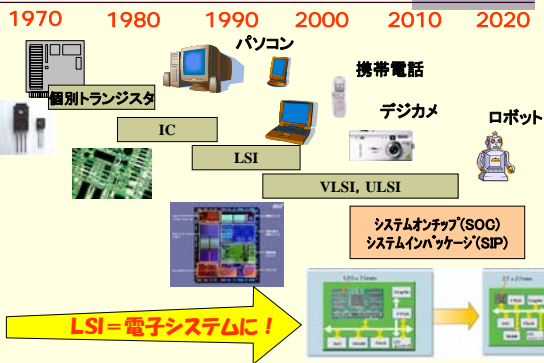
## トランジスタとは？

- 下記のような構造をしている
- 3端子の素子で、ゲート電圧によって、ソースとドレインの導通を制御するスイッチと考えられる。



14

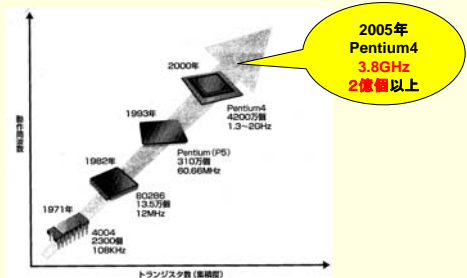
## トランジスタからVLSIへの進化



15

## CPUに見る動作速度と容量の進歩

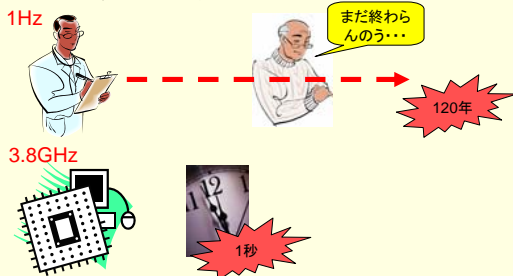
- ムーアの法則
  - Intel社の創設者の一人であるGordon Moore博士が1965年に経験則として提唱した、「半導体の集積密度は18~24ヶ月で倍増する」という法則
  - 集積密度の向上により、動作速度の向上、メモリ容量の増大を実現できた



16

## 動作周波数の向上 (3.8GHzの威力)

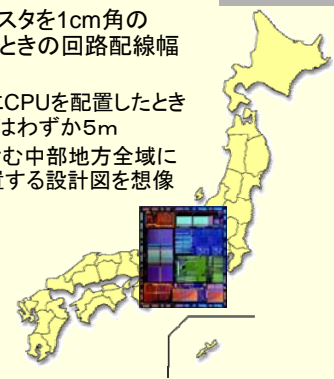
- 3.8GHzは1秒間に38億回計算できる能力
  - 1秒間に1回計算できる人間が寝ずに120年かかる計算を1秒で実行



17

## 集積度の向上 (2億個のトランジスタ)

- 2億個のトランジスタを1cm角のCPUに配置するときの回路配線幅は0.1 μm
  - 東京・大阪間にCPUを配置したときの回路配線幅はわずか5m
  - 東京・大阪を含む中部地方全域に5m道路を配置する設計図を想像してください



18

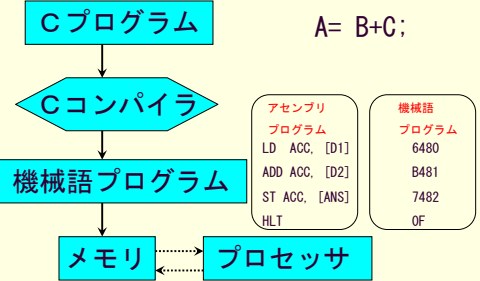
## LSI概要

- LSIはどこに入っているか？
  - PC, 携帯電話, デジカメ, 自動車 etc.
- LSIの中身にあるトランジスタとその進歩
  - 集積度と速度向上
- LSIはどのように計算しているか？
- LSIはどのようにしてつくられるか？
  - 設計工程
  - 製造工程
- LSIに関するホットな話題ゲーム機
  - PS3 vs XBox360
  - マルチプロセッサCPU

19

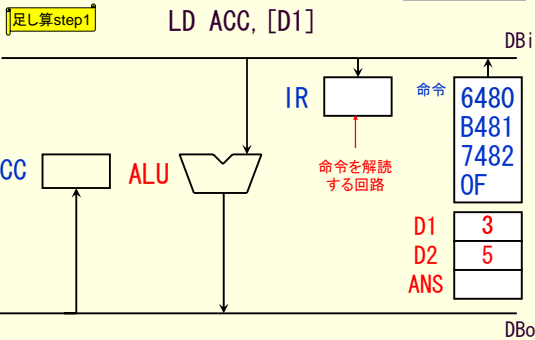
## コンピュータ内での演算

- $A=B+C$ という計算をコンピュータに実行させる
  - コンピュータは機械語命令を解読して演算



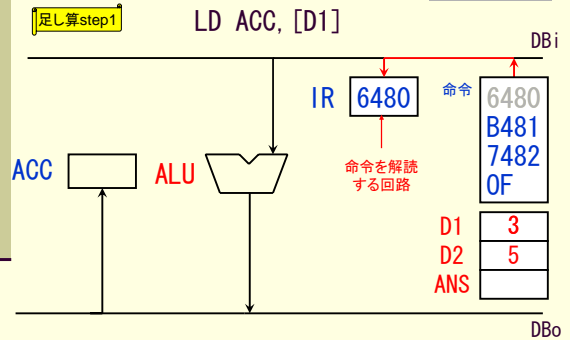
20

### ACCにD1データ[3]を代入



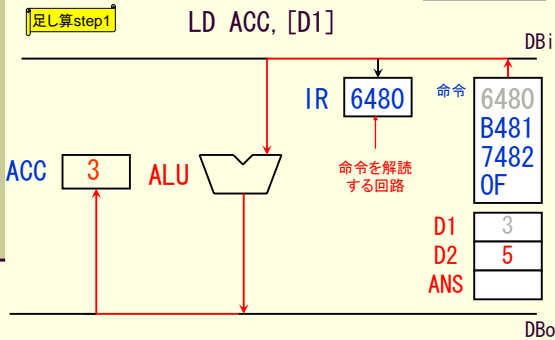
21

### ACCにD1データ[3]を代入



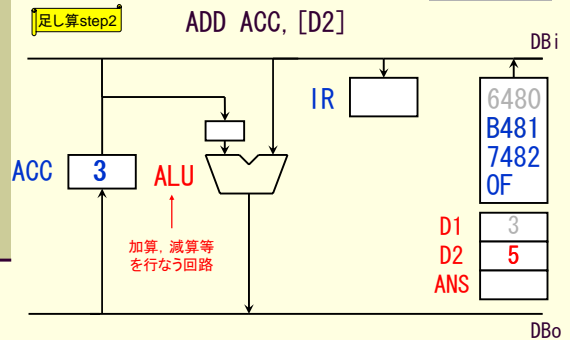
22

### ACCにD1データ[3]を代入

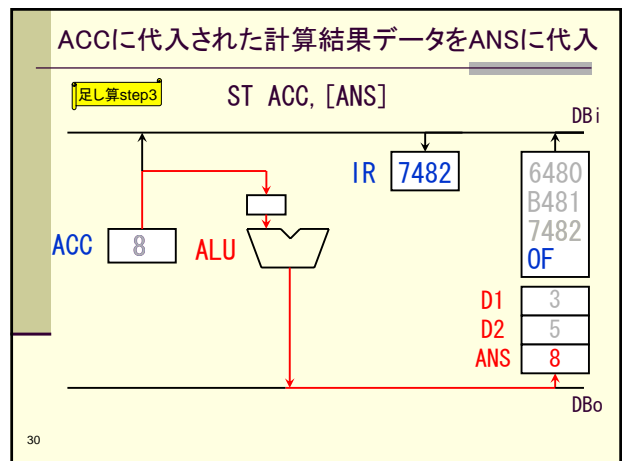
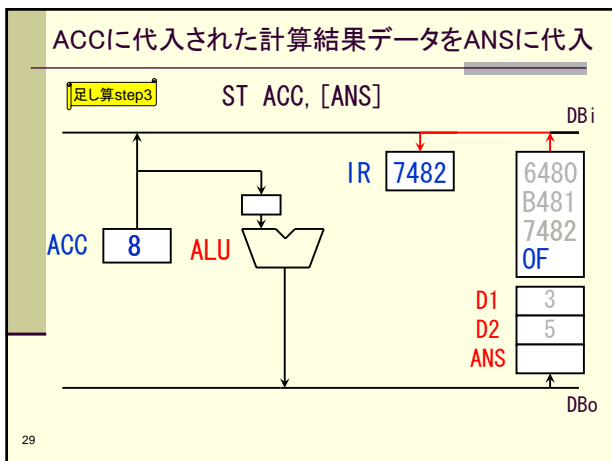
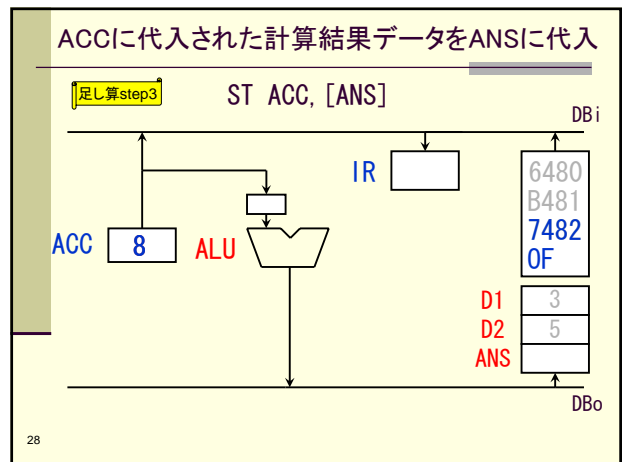
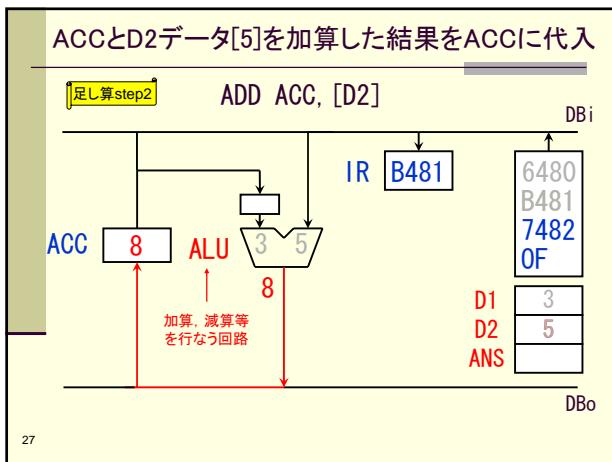
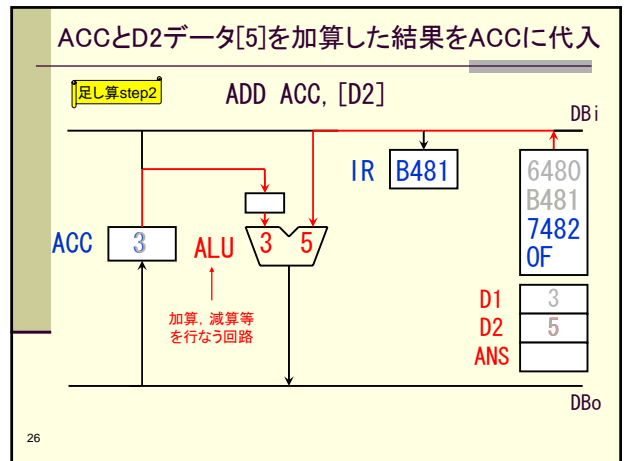
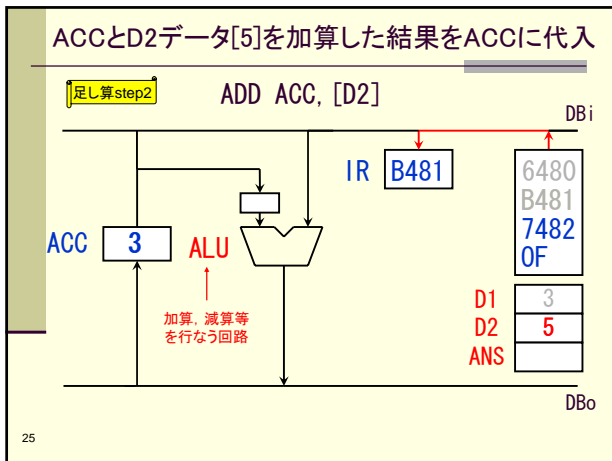


23

### ACCとD2データを加算した結果をACCに代入



24



## 2値(デジタル)論理

- コンピュータ内部の演算は"1"と"0"の2値で行われる(2進数が基本)
  - 電源電圧(Vdd)になっている場合"1"
  - GND電位(0V)になっている場合"0"
- 内部計算の例: 2進数の加算(正の数)
  - $0+0=0$
  - $0+1=1$
  - $1+0=1$
  - $1+1=10$ (桁上げが発生)
- 上記演算をLSI中で実行するため論理回路を使用する
  - NOT, AND, OR回路 etc.

31

## 予習問題2回答

A) 1 0 0 1      2進数1001  
↓

B) 1 1 0 1 0      2進数11010  
↓

32

## 予習問題2回答

A) 1 0 0 1      2進数1001  
↓ ↓ ↓ ↓  
 $2^3 + \cancel{2^2} + \cancel{2^1} + 2^0 = 9$       10進数9  
↓

B) 1 1 0 1 0      2進数11010  
↓ ↓ ↓ ↓ ↓  
 $2^4 + 2^3 + \cancel{2^2} + 2^1 + \cancel{2^0} = 26$       10進数26  
↓

33

## 予習問題3回答

A)      B)  $2 \overline{) 38}$   
 $2 \overline{) 10}$

10進数10  
↓

10進数38  
↓

34

## 予習問題3回答

A)      B)  $2 \overline{) 38} \dots 0$   
 $2 \overline{) 10} \dots 0$        $2 \overline{) 19} \dots 1$   
 $2 \overline{) 5} \dots 1$        $2 \overline{) 9} \dots 1$   
 $2 \overline{) 2} \dots 0$        $2 \overline{) 4} \dots 0$   
1       $2 \overline{) 2} \dots 0$   
1

10進数10



2進数1010

10進数38



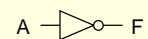
2進数100110

35

## 否定(NOT)

- インバータで実現される論理: 否定  $F=\bar{A}$ 
  - 入力が"1"の時,出力Fは"0"
  - 入力が"0"の時,出力Fは"1"
  - F,A,Bは"1"と"0"の値しかとらない論理変数

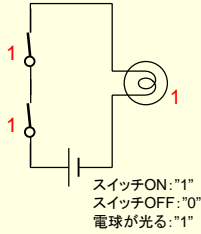
A	$F=\bar{A}$
0	1
1	0



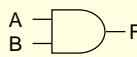
36

## 論理積(AND)

- $F = A \cdot B$  または  $A \times B$  または  $A \cap B$ 
  - 入力A,Bの両方が"1"の時,出力Fは"1"
  - F,A,Bは"1"と"0"の値しかとらない論理変数



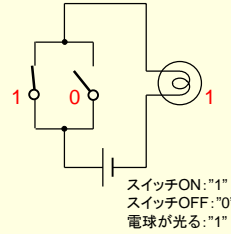
A	B	$F = A \cdot B$
0	0	0
0	1	0
1	0	0
1	1	1



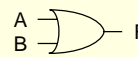
37

## 論理和(OR)

- $F = A + B$  または  $A \cup B$ 
  - 入力A,Bのどちらかが"1"の時,出力Fは"1"
  - F,A,Bは"1"と"0"の値しかとらない論理変数



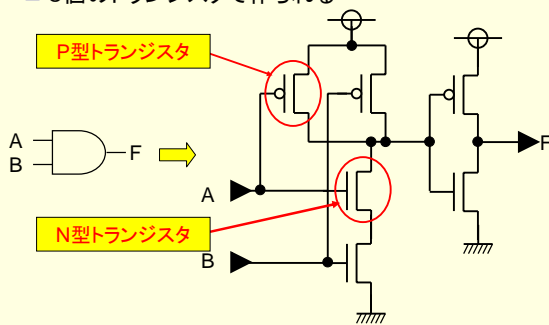
A	B	$F = A + B$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1



38

## AND回路をトランジスタで作成

- 6個のトランジスタで作られる



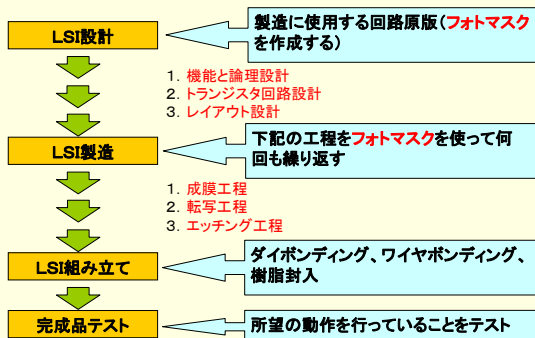
39

## LSI概要

- LSIはどこに入っているか?
  - PC, 携帯電話, デジカメ, 自動車 etc.
- LSIの中身にあるトランジスタとその進歩
  - 集積度と速度向上
- LSIはどのように計算しているか?
- LSIはどのようにしてつくられるか?
  - 設計工程
  - 製造工程
- LSIに関するホットな話題
  - ゲーム機PS3 vs XBox360
  - マルチプロセッサCPU

40

## LSI製造の流れ



41

## LSIの設計フロー1: 機能と論理設計

- LSIで実現するデジタル回路の論理設計は下記に示すような、ハードウェア記述言語(verilog HDL)を使用することが一般的です。

```

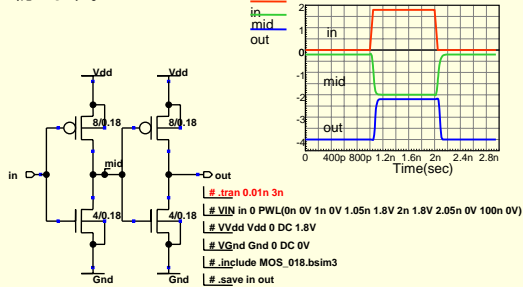
module Counter (D10, ck, Reset, PinCtr, CarryOut);
  inout [3:0] D10;
  input ck, Reset, PinCtr;
  output CarryOut;
  reg CarryOut;
  reg [3:0] D;
  assign D10 = (PinCtr == 0 ? (D):( 'bz));
  always @(posedge ck) begin
    if (Reset) begin CarryOut = 0; D=0; end
    else if (PinCtr) begin CarryOut = 0; D = D10; end
    else if (D = 15) begin CarryOut = 1; D = 0; end
    else begin D = D + 1; CarryOut = 0; end
  end
end
endmodule
    
```

42



## LSIの設計フロー2: トランジスタ回路設計

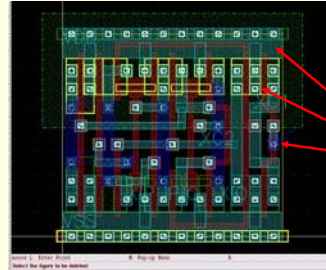
- ハードウェア記述言語で行った設計をトランジスタ回路に変換し、所望の動作周波数、消費電力で動作するかを確認します。



43

## LSIの設計フロー3: レイアウト設計

- トランジスタ回路をウエハ上に作りこむための設計図(レイアウト)を作成します。

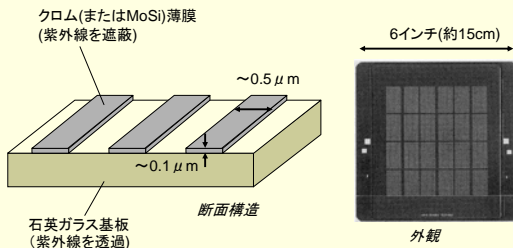


それぞれの色ごとに異なるフォトマスクを作ります。このため、1つのLSIを完成させるためには20枚から40枚のフォトマスクが必要になります。

44

## フォトマスク

- レイアウト設計データは下記のような石英ガラス上に工程ごとに焼き付けられます。



45

## LSI製造が行なわれている工場

- クリーンルームと呼ばれる、ごみや塵のほとんどない部屋をもつ工場で作られています

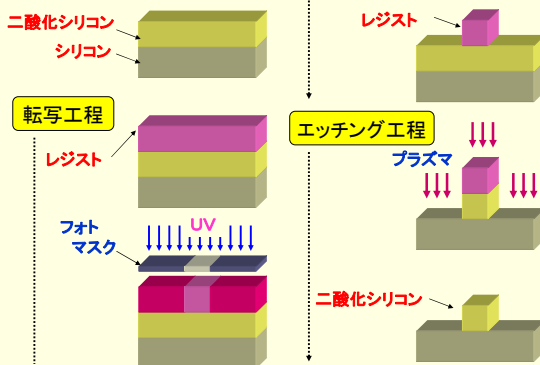


半導体ウエハ

半導体ウエハを左の装置の容器に20枚程度重ねてセットする。  
加工装置はウエハを自動で処理室に取り込んで加工している。

46

## 転写工程とエッチング工程



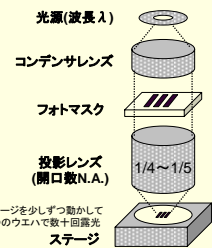
47

## 転写装置

- 半導体ウエハ上にレジストを塗布し、マスクパターンを縮小して転写した後に現像することで微細パターンを作成できる。



ステッパと呼ばれる転写装置

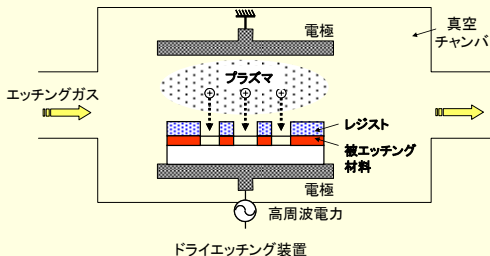


48



## エッチング装置

- レジストでパターンの一部が保護されたウエハをプラズマ中のイオンと化学反応をさせると、露出部分がエッチングされパターンが形成される。



49

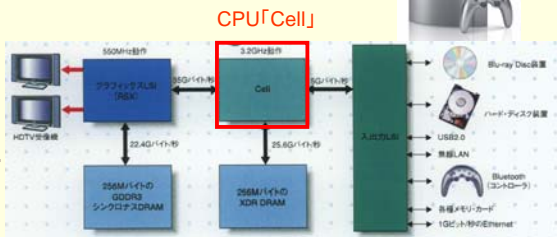
## LSI概要

- LSIはどこに入っているか？
  - PC, 携帯電話, デジカメ, 自動車 etc.
- LSIの中身にあるトランジスタとその進歩
  - 集積度と速度向上
- LSIはどのように計算しているか？
- LSIはどのようにしてつくられるか？
  - 設計工程
  - 製造工程
- LSIに関するホットな話題
  - ゲーム機PS3 vs Xbox360
  - マルチプロセッサCPU

50

## ホットなLSIの話題:次世代ゲーム機(1)

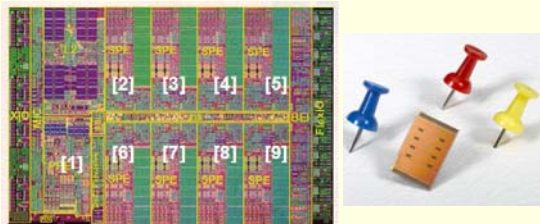
- 次世代ゲーム機 Playstation 3
  - CPU「Cell」
  - グラフィクスLSI「RSX」



51

## ホットなLSIの話題:次世代ゲーム機(2)

- 次世代ゲーム機 Playstation 3用LSI
  - CPU「Cell」はソニー・IBM・東芝が設計
  - 1つのLSI中に3.2GHz動作の9つのプロセッサを搭載
    - ⇒ マルチプロセッサ技術
  - 2005年2月のISSCC(世界固体素子回路国際会議)で発表



52

## ゲーム機ハード開発競争≒LSI開発競争

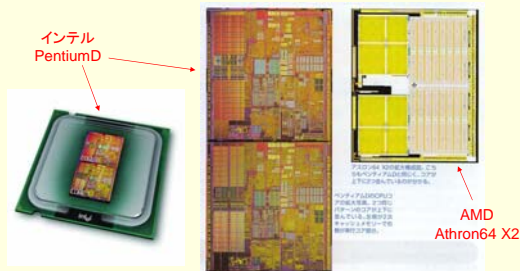
発売開始時点で、最先端のLSI設計 & 製造技術を使用

	Microsoft Xbox	Xbox 360
マイクロプロセッサ	733MHz動作	3.2GHz動作
グラフィクスLSI	1.466GFLCPS	1.115.2GFLCPS
標準出力	233MHz動作	300MHz動作
標準外部	256MB/11ns GDDR3 シンクロータスDRAM	256MB/11ns XDR DRAM
インターフェース	USB1.1x2	IEEE1394
外形寸法	311mmX248mmX86mm	320mmX255mmX63mm
	Sony PS	プレイステーション 3
マイクロプロセッサ	295MHz動作	3.2GHz動作
グラフィクスLSI	1.6GFLCPS	2.16GFLCPS
標準出力	147MHz動作	500MHz動作
標準外部	AVマルチ端子	HDMI端子x2
インターフェース	USB1.1x2	IEEE1394
外形寸法	301mmX162mmX78mm	320mmX240mmX50mm

53

## パソコン用LSIもマルチプロセッサに

- 2005年春に、インテル、AMDから相次いでパソコン用マルチプロセッサCPUが発売された



54

## 話の終わりに

- 理工学部 電子情報デザイン学科
    - 2004年に作られた新学科
    - 電子工学(ハードウェア)
    - 情報工学(ソフトウェア)
    - VLSI設計技術(学部教育で日本初)
- 両方学べるお得な学科

VLSI設計技術を修得し、  
自分の夢を実現する**電子情報システムを設計**できる  
エンジニアを育成する



55

## 参考文献

- 半導体ミニ辞典  
<http://www.sirij.jp/docs/mini040312.pdf>  
Web上で入手できる、とてもわかりやすい資料ですので、是非ご覧ください。
- よくわかるCPUの基本と仕組み 秀和システム  
西久保 靖彦 著
- よくわかる半導体LSIのできるまで 日刊工業新聞社 「半導体LSIのできるまで」編集委員会編
- 日経エレクトロニクス 2005年6・20号
- ASAHIパソコン 2005年7・15号

56