

PLDとFPGA

VLD講習会
2001/08/08
京都大学 小林和淑

2001/06/27

1

内容

- ◆ 1週目 FPGAの基礎
 - PLD, FPGAとは
 - PLD, FPGAの構造
 - ボードによるデモ
 - FPGAの種類
- ◆ 2週目 FPGA応用
 - エミュレーション技術
 - 携帯電話基地局
 - SOPC System On Programmable Chip

2001/06/27

2

PLD、FPGAって何

- ◆ PLD: Programmable Logic Device
 - プログラム可能な論理素子
- ◆ FPGA: Field Programmable Gate Array
 - 野外でプログラム可能な門の隊列?
 - Field: 設計現場
 - Gate Array: 論理ゲートをアレイ上に敷き詰めたLSI
 - MPGA: Mask Programmable Gate Array
 - » マスクでプログラムするゲートアレイ
 - FPGA:
 - » 設計現場でプログラムするゲートアレイ
 - » 街中でプログラムするゲートアレイ

2001/06/27

3

FPGAの現状

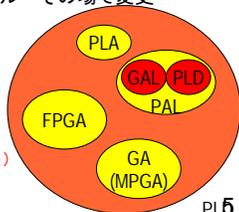
- ◆ FPGAはLSIの大規模化に伴い、その用途を広げてきた。FPGAで、メモリや高速乗算器まで実現できる
- ◆ FPGAの2大ベンダのAltera, Xilinxの業績は好調。飛ぶ鳥を落とす勢い
- ◆ システムすべてがFPGAの上に乗る時代がやってきた。
 - DVDや、W-CDMA端末がひとつのFPGAで

2001/06/27

4

プログラマブルロジックデバイス(PLD)

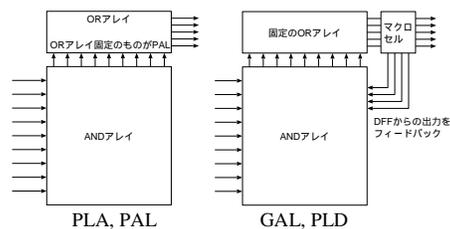
- ◆ 設計者が自由にその機能を変更できるLSIの総称(広義)
 - MPD: マスクプログラマブル→製造時に変更
 - FPD: フィールドプログラマブル→その場で変更
- ◆ 小規模PLDの種類
 - PLA: Programmable Logic Array
 - » AND-OR アレイ
 - PAL: Programmable Array Logic
 - » ORアレイが固定
 - » 派生品として、GAL, PLD(製品名)



2001/06/27

PL5

PLDの構造

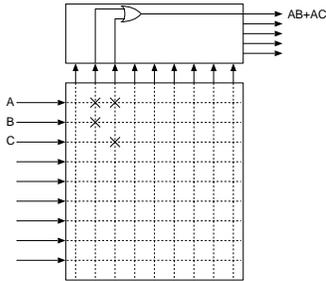


- ◆ PLA, PALは組合せ論理回路のみ
- ◆ GAL, PLDは順序論理回路
 - カウンタ、制御回路等

2001/06/27

6

PALのプログラム例



2001/06/27

7

FPGA (Field Programmable Gate Array)

- ◆ フィールドプログラマブルな大規模集積回路
 - ようは大規模なPLD
- ◆ 論理ゲートとフリップフロップをアレイ上に敷き詰めて、その間の結線を自由に変更
 - ただし論理ゲートそのものが内蔵されているとは限らない
- ◆ コンフィグレーションデータを書き込むことにより機能が変化する

MPGA: Mask Programmable Gate Array
一般的にGA

2001/06/27

8

FPGAの構造

- ◆ 組み替え可能な論理ブロック
- ◆ 論理ブロック間を接続する組み替え可能な配線



2001/06/27

9

FPGAのプログラム記憶方式

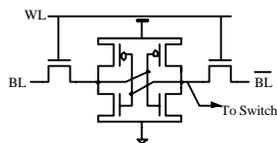
FPGAの現在の構成(コンフィグレーション)を覚えておく方法

- ◆ SRAM等の揮発性メモリに書き込む。
 - もっともポピュラー
 - 特別なプロセスを必要としない
- ◆ EPROM, EEPROM等の不揮発性メモリに書き込む。
 - 電源を切っても消えない
- ◆ 電圧をかけて、アンチヒューズを短絡させる。
 - 書きこみは一度のみ

2001/06/27

10

FPGAのプログラム方式: SRAM



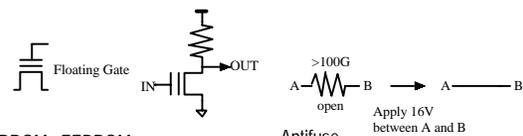
SRAM

- ◆ ロジックと同じプロセスで製造できる。
- ◆ 冗長度が大きい。
 - 1SRAMセル: 6Tr
 - さらに、デコーダ、センスアンプ等も必要
- ◆ 電源を切ると消える(揮発性)

2001/06/27

11

FPGAのプログラム方式(2) 不揮発



EPROM, EEPROM

- ◆ 特殊なプロセスを要求
- ◆ 冗長度は小さい。
 - ◆ 1Trのみ

Antifuse

- ◆ 小さくて高速
- ◆ 書き込みは一度だけ

2001/06/27

12

SRAM方式FPGAの構造

- ◆ FPGA:
 - 変更可能な組合せ回路
 - 変更可能な配線
- ◆ 組合せ論理回路の基本はLUT (Look-Up Table)
 - 組合せ論理回路を1ビットSRAMの記憶内容で表現
- ◆ 配線の変更は
 - トランジスタによるスイッチ
 - » スイッチのON, OFFの情報もSRAMに格納

2001/06/27

13

LUT(Look-up Table)

- ◆ SRAM型FPGAの**可変論理**を実現する。
- ◆ A, B, C, Dの4ビット入力をワード線とした1ビットのSRAM
 - 入力数が増えるとSRAMが大きくなる
 - 小さいと効率が悪い
- ◆ SRAMの中身を書き換えることで**任意の論理**を実現
- ◆ (A|B)&(C|D)に対するLUT→
- ◆ 真理値表をそのまま表現すればよい。

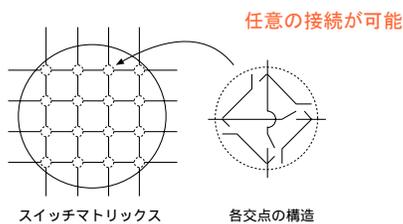
| A | B | C | D | 設定値 |
|---|---|---|---|-----|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

2001/06/27

14

可変配線: スイッチマトリックス

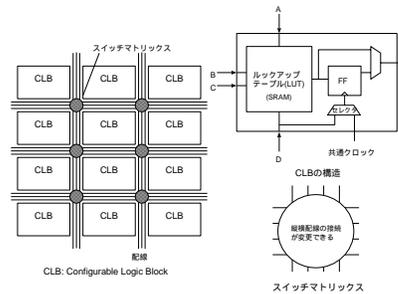
- ◆ SRAM型FPGAの可変配線を実現



2001/06/27

15

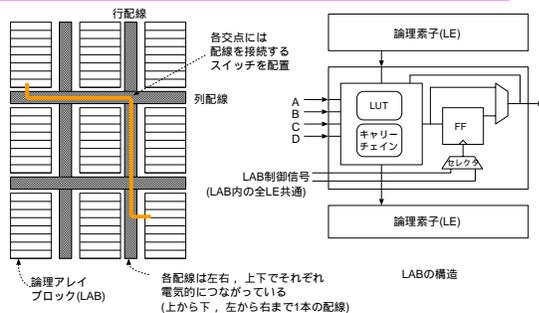
XILINX XCシリーズの構造



2001/06/27

16

ALTERA FLEXの構造 (CPLD構造)



2001/06/27

17

FPGAの特性分類

| プログラム方式 | 再書込 | 不揮発性 | 動作速度 | 冗長度 |
|----------|-----|------|------|-----|
| SRAM | | x | 遅い | 大 |
| EPROM | x | | 中 | 中 |
| EEPROM | | | 中 | 中 |
| フラッシュメモリ | | | 中 | 中 |
| アンチヒューズ | x | | 速い | 小 |

- ◆ SRAM型のFPGAは最新のプロセス技術により、スピード面での欠点は解消されている。
 - 最新のものは、0.15μm銅配線プロセスを用いている。

2001/06/27

18

FPGAベンダ

- ◆ FPGAの2大ベンダは、XILINXとALTERA
 - 2社で世界の5割から6割
- ◆ その他のベンダ
 - Actel: antifuse型, Mars Path-Finderに搭載
 - Lucent: PCIやATMコントローラを内蔵したFPGA
 - Philips, Lattice: CPLD (Complex PLD)

2001/06/27

19

XILINXの製品マップ

| | ファミリ | プログラム方式 | マクロセル数 | 特徴 |
|------|----------|---------|----------|-----------------------|
| CPLD | XC9500 | Flash | 36-288MC | 安価 (Glue Logic 置き換え) |
| | XCR3000 | EEPROM | 32-512MC | 低消費電力 |
| | ファミリ | プログラム方式 | ゲート数 | 特徴 |
| FPGA | XC4000 | SRAM | 13k-85k | 3.3V 標準 |
| | SPARTAN | SRAM | 5k-200k | ASIC 代替 |
| | VIRTEX | SRAM | 50k-10M | システムFPGA、プラットフォームFPGA |
| | VIRTEXII | SRAM | ? | CPU 内蔵 |

2001/06/27

20

ALTERAの製品マップ

| ファミリ | プログラム方式 | マクロセル数 | 特徴 |
|-----------|---------|-----------|-------------------------------------|
| MAX | EEPROM | 32-512MC | 安価 |
| ファミリ | プログラム方式 | ゲート数 | 低消費電力 |
| ACEX | SRAM | 10k-100k | 安価かつ大容量 |
| FLEX | SRAM | 10k-250k | 高速大容量 |
| APEX | SRAM | 30k-1500k | SOPC(System on a Programmable Chip) |
| Excalibur | SRAM | 100k-100k | CPU コア集積 |

2001/06/27

21

FPGAの製品展開

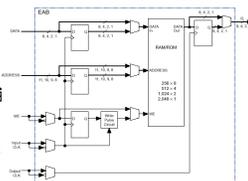
- ◆ SRAM型FPGAは、LUTで実現する組合せ論理回路だけでなく、メモリまで内蔵する。
- ◆ メモリは、RAM, ROM, CAM(Content Addressable Memory), FIFO, 乗算器等に使用できる
- ◆ さらに、CPUコアを内蔵。LSIの製造プロセス微細化のおかげで、チップ全体の1/10程度でARM, MIPS等の32bitプロセッサが集積可能
 - 詳しくは来週

2001/06/27

22

FPGA内のメモリ

- ◆ FLEX 10Kの内蔵メモリ (Embedded Array Block)
 - 大規模SRAMに付加回路
 - 通常のLUTでは実現不可能な論理を実現
 - 同期SRAM, 非同期SRAM, FIFO, デュアルポートRAM, CAM
 - 大規模なLUTとしても利用可
 - 乗算器: 9ビット入力(5bit × 4bit), 9ビット出力
 - デバイスとメモリ容量(別添資料)



2001/06/27

23

FPGAのメリット、デメリット

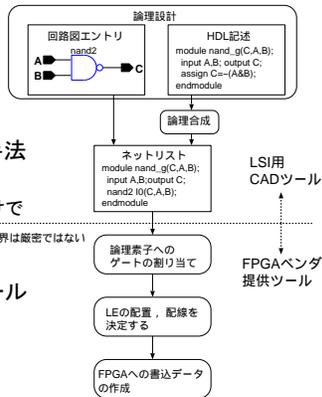
- ◆ メリット
 - 設計のTAT(Turn-Around Time)が短い
 - 論理設計とタイミングの検証のみで動作する。(物理設計がいらぬ)
 - 少数の製品に使用できる
 - IP(Intellectual Property)が豊富
- ◆ デメリット
 - スピードが遅い、チップ面積が大きい
 - 量産時のコストが高い
 - » 同じ設計データを用いて安く量産できるサービスもある(Hardcopy by ALTERA)

2001/06/27

24

FPGAの設計法

- ◆ 通常のLSIと同じ設計手法を取る。
 - LUTを直接設計するわけではない
- ◆ FPGAの配置配線は各FPGAベンダ配布のツールにより行う



2001/06/27

25

CAD、FPGAベンダのツール

| ベンダ名 | ツール名 | 用途 |
|---------------------|----------------------|----------------|
| CAD ベンダ | | |
| Synopsys | FPGA Compiler II | 論理合成 |
| Exemplar | spectrum | |
| Synplicity | Synplify | |
| Synopsys(Viewlogic) | WorkView Office | |
| FPGA ベンダ | | |
| ALTERA | MAX+plus II, Quartus | 回路図エントリ, 論理合成, |
| XILINX | Alliance 等 | シミュレーション, |
| Actel | DeskTop | タイミング解析 |

- ◆ FPGA Compiler IIはVDECのライセンスで利用可能
- ◆ 各社FPGAの無償ツールあり。大学向けのプログラムもあり
- ◆ See <http://www.ベンダ名.com/>

2001/06/27

26

FPGA設計(デモ)

- ◆ Verilog-HDLからFPGAまで



- ◆ FPGA搭載ボード Power Medusa EA-10

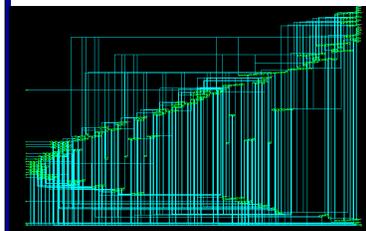
2001/06/27

27

HDLから回路図へ(論理合成)

```

module calc01plus_minus_equal_clk_rst_ce_ignoverflow_out
input [P] clk
input CLK_CE_RST plus_minus_equal
output [Q] out
wire [Q] e
wire [P] clk_out
reg [P] count
reg [Q] REGA_REGB
reg [P] count
reg [Q] out_sar
always @(posedge CLK or negedge RST)
begin
    REGA<-0;
    REGB<-0;
    out_sar<-0;
end
endmodule
    
```



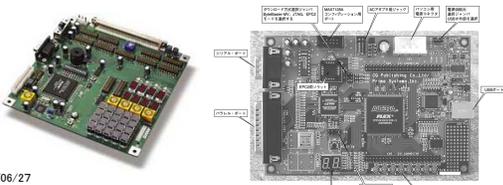
回路図

HDLソース(一部)
2001/06/27

28

FPGA搭載ボード

- ◆ FPGA単体を買ってきて何もできないので、FPGAを搭載したボードが多数販売されている
- ◆ 三菱電機マイコン機器ソフトウェア Power Medusa
- ◆ CQ出版 Flex10KE評価キット



2001/06/27