

LSI のレイアウト設計用 CAD ソフトウェア : LADY

苔 米 地 宣 裕 *

The CAD Software for LSI Layout Design : LADY

Nobuhiro TOMABECHI

Abstract

This paper reports the development of the CAD (computer aided design) software called "LADY" which can be applied to LSI layout design using personal computer. A displaying/printing method of multi-layered color-graphs corresponding the physical structures on LSI and a set of editing functions of the color-graphs are realized. It is found that the operational functions and the operational speed of the completed software are sufficient for personal use.

1. まえがき

近年の L S I , V L S I 技術の進展にともない、電子回路設計においては、L S I 化の検討が重要となっている^{1,2)}。L S I においては、回路のハードウェアの簡単さは、回路がシリコンチップ上で占有する面積によって測られる。従って、電子回路設計に当たっては、レイアウト設計を行なって、回路の占有面積を明らかにすることが必要となる³⁾。

本研究は、以上のような必要性に基づき、パソコン上で使用することのできる、簡便性にすぐれた L S I のレイアウト設計用 C A D (Computer-Aided Design) ソフトウェアを作成しようとしている。本ソフトウェアを L A D Y (personal computer based LSI LAYout Design sYstem) と呼ぶことにする。L S I のレイアウトは色のついた図形を組み合わせで表わされる²⁾。この色のついた図形の表示・編集・ハードコピーの作成が、本研究の課題となる。ソフトウェアは、B a s i c 言語を用いて作成し、完成したプログラムの全ステップ数は 1 3 6 2 ステップとなった。動作速度を測定した結果、

昭和 6 3 年 1 2 月 1 5 日受理

* 電気工学科教授

B a s i cコンパイラを用いて高速化をすると、100個の図形の描画時間が2.7秒という結果が得られた。これは、充分実用的な処理速度であると考えられる。

2. レイアウト設計のC A Dに必要とされる機能

ここでは、M O S素子を用いるL S I設計について考えることとする。M O S素子を用いた電子回路は、シリコン基板上に、不純物拡散領域、ポリシリコン膜、イオン打ち込み領域、金属配線、などを組み合わせることによって形成される。レイアウト設計においては、各領域は、色のついた図形で表わされる。各領域の色約束を表1に示している²⁾。

この色のついた図形を組み合わせ、占有面積が最小となる配置を求めることとなる。このようなレイアウト設計を支援するソフトウェアに必要とされる機能としては、表2のようなものが考えられる。

パソコンの色彩表示は、通常、赤・青・緑の3原色の組み合わせによって行なわれる。本研究では、表1に示す6個の原色が用いられる。従って、多数の混合色が必要となり、その色彩の合成法が一つの課題となる。

色のついた図形の作図においては、図形が交叉した場合、重なった部分を見易いように、混合色に表示することが重要となる。このとき、一旦表示した図形を削除する場合、重なった部分をもとの色に戻すことが必要となる。この色の重なり表示・削除アルゴリズムが一つの課題となる。

ルールチェック機能については、別報で論ずる。

表1 L S Iの領域と色約束

ポリシリコン膜	桃色
p型不純物拡散領域	紫
n型不純物拡散領域	緑
金属配線	水色
イオン打ち込み領域	黄
アイソレーション領域	橙
コンタクトホール	黒

表2 レイアウト設計のC A Dに必要な機能

色のついた図形を作図する機能
同上の訂正機能
図面の保存機能
ハードコピー機能
ルールチェック機能

3. L A D Yの仕様の制定

まず、コマンドの選択、図形の座標入力、すべてマウスを用いて行う。また、ハードコピーはプリンタで印刷することとする。

作成するソフトウェアの仕様を、表3のように制定した。機能は、簡易性

を重視して、必要度の高いものを選んでいる。

表 3 L A D Y の仕様

分類	機能	内容
作図機能	色選択	赤、緑、紫、橙、黄、水色、黒の中から選択する
	描画 取り消し	画面に指定された色の長方形を描く 直前の操作を取り消す
編集機能	削除	図形を削除する
	ブロック削除	指定した範囲の図形をすべて削除する
	複写	図形を複写する
	移動	図形を移動する
	伸縮	図形を伸ばしたり、短縮したりする
文字機能	文字表示	文字を表示する
バック機能	バックキング	複数の図形を一まとめにする
	バック削除	バックされた図形群の削除をする
	バック複写	バックされた図形群の複写をする
	バック移動	バックされた図形群の移動をする
ファイル機能	セーブ ロード	画面上の図を磁気ディスクにセーブする 磁気ディスクから画面に図をロードする
表示機能	画面	1 画面 80 × 119 メッシュ
	図面寸法	1 図面は最大 16 画面作図可能
	表示窓移動	表示範囲を上下左右に移動する
	全体縮小表示	図面全体を縮小して一画面に表示する
印刷機能	カラー印刷	図面のハードコピーをカラーでとる
	白黒印刷	図面のハードコピーを白黒でとる

4. 機能の実現方法

4. 1 色彩の合成方法

一般に、原色の数を n とすると、混合して得られる色彩の総数 N は、次式で与えられる。

$$N = 2^n - 1$$

パソコンの色彩表示は、通常、赤・青・緑の3原色の組み合わせによって行なわれる。このとき、利用できる色の数は7個となる。本研究では、表1に示す6個の原色を用いるので、 $N = 6^3$ の色彩が必要となる。また、表1の原色は独立ではないので、混合した色が互いに識別できることが必要となる。これらの混合色を次のように合成する。

1. 原色は、赤・紫・青・緑・黄・撓、とする。
2. 二つの原色の混合色は、それぞれの色のドットを交互に表示する。
3. 3色以上の混合色は、すべて白とする。

本方法による混合色の構成を、表4に示している。表においてR, B, G, は、赤、青、緑の3原色を表わし、RBは、RとBを加算した色を、R/Bは、RとBのドットを交互に表示することを表わしている。RBとR/Bは、3原色の組み合わせは同じであるが、彩度が異なるので相互に識別することができる。なお、撓は混合色の作成では、GRB（白）として扱っている。

表4 混合色の合成法

	赤	紫	青	緑	黄	撓
赤 R	R	R/RB	R/B	R/G	R/GR	R/GRB
紫 RB	RB/R	RB	RB/B	RB/G	RB/GR	RB/GRB
青 B	B/R	B/RB	B	B/G	B/GR	B/GRB
緑 G	G/R	G/RB	G/B	G	G/GR	G/GRB
黄 GR	GR/R	GR/RB	GR/B	GR/G	GR	GR/GRB
撓 GR/R	GRB/R	GRB/RB	GRB/B	GRB/G	GRB/GR	GR/R

カラー印刷は、パソコンのハードコピー機能によって行なう。すなわち、表示画面をドット単位でプリンタに印刷する。印刷における色の合成は、背景が白で、赤・青・黄を3原色とする減算法となる。表4の、黄をY, 緑をBY, 撓をYRと替えた印刷用の色彩を画面に作成し、コピーする。

白黒印刷は、カラー印刷のできない印刷物において、色彩の表現に有効となる。この場合、色彩は、各色に対応するパターンによって表わす。パターンは、図形の重なりが識別し易いように選定することが重要となる。図1に、

選定したパターンを示している。

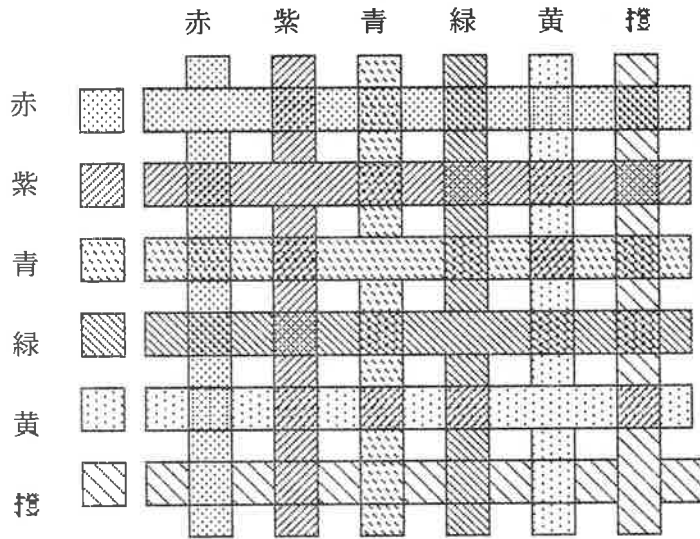


図1 色彩のパターン表現

4. 2 描画と削除のアルゴリズム

色のついた図形の重なりを混合色で描いたり、削除によってもとの色に戻したりするアルゴリズムについては、文献(4)において詳細に検討している。その結果を要約すると、以下ようになる。

一つの色のかいた長方形Aを次のように表現する。

$$A = B \circ X [x_1, y_1; x_2, y_2; z]$$

ただし、 (x_1, y_1) は始点座標、 (x_2, y_2) は終点座標、 z は色の符号を表わしている。ここで、長方形の4個の頂点のうち、原点に最も近い頂点を始点座標、原点から最も遠い頂点を終点座標にとる。色の符号 z としては、素数を割り当てる。

二つの図形A、Bの重なった部分の図形を $A \cap B$ と表わす。図A、Bが交叉するか否かは次式によって判別できる。 $A = B \circ X [x_{A1}, y_{A1}; x_{A2}, y_{A2}; z_A]$ 、 $B = B \circ X [x_{B1}, y_{B1}; x_{B2}, y_{B2}; z_B]$ とすると、

$$(x_{B1} \geq x_{A2} \text{ OR } x_{A1} \geq x_{B2})$$

AND

$$(y_{B1} \geq y_{A2} \text{ OR } y_{A1} \geq y_{B2})$$

ならば、AとBは交叉する。

また、重なった部分の図形を $C = B \circ X [x_{C1}, y_{C1}; x_{C2}, y_{C2}; z_C]$ とすると

$$x_{C1} = \text{MAX}(x_{A1}, x_{B1})$$

$$X_{C2} = \text{MIN} (X_{A2}, X_{B2})$$

$$Y_{C1} = \text{MAX} (Y_{A1}, Y_{B1})$$

$$Y_{C2} = \text{MIN} (Y_{A2}, Y_{B2})$$

$$Z_C = Z_A Z_B$$

となる。ただし、MAXは、大きい方の数値を、MINは小さい方の数値をとる演算を意味している。また、 $Z_A Z_B$ は Z_A で表わされる色と Z_B で表わされる色の混合色の符号を表わしている。

a 描画

まず、作図した図形の始点座標、終点座標、色符号を記憶する登録表を用意する。描画は次のような手順で行なうことができる。

[アルゴリズム1]

(手順1-1) 一つの図形Aの作図が指示されたとき、登録表にその図を登録する。同時に、その図を画面上に表示する。

(手順1-2) 登録表上にその図と交叉する図がないか調べる。交叉する図Bがあるときは、重なった部分の図形 $A \cap B$ を求め、新しい図形として追加登録する。同時に、追加図形を画面上に表示する。

例として、図形Aが表示されており、図形Bを新たに作図したとすると、登録表上には、A, B, $A \cap B$ が登録される。画面上にも、この順序で表示される。

b 削除

削除は次の手順で行なうことができる。

[アルゴリズム2]

(手順2-1) 一つの図形Aを削除する指示が与えられたとき、登録表からAを削除する。同時に、Aを画面から消去する。

(手順2-2) 登録表上にAを原画とする図形がないか調べる。そのような図形Cがあれば、その図も削除する。同時に、CからAの色を抜いた図を画面に表示する。塗り直す色 Z_D は、次のように求められる。

$$Z_D = Z_C / Z_A$$

例として、二つの図形A, Bが交叉しており、図形Aを削除したとき、まずAが消去され、ついで、AとBの重なった部分が、Bの色に塗り直される。

4. 3 その他の機能

複写・移動・伸縮は、描画と削除の機能を組み合わせて実現できる。パッキングは、一まとまりであることを示す群番号を登録表に登録して実現する。文字表示は、文字であることを示すフラグと文字データを登録表に記憶する。ロード・セーブは、登録表をそのままロード・セーブする。

5. プログラムの作成結果

表3に示した仕様をすべて満足するプログラムを作成した。言語はBasicを用い、完成したプログラムのステップ数は1362ステップとなった。

図2、図3に、完成したLADYを用いて作図したレイアウト図を示している。使用した結果、操作性は充分実用的なことが確認された。

プログラムの実行は、処理速度を高めるためにBasicコンパイラを用いて、コンパイラ形式で行なうことができる。処理速度を測定した結果、パソコンとして、NEC製PC9801VMを使用すると、100個の図形の描画に、インタプリタ方式では11秒、コンパイラ方式では2.7秒を要するという結果が得られた。これは、充分実用的な処理速度であると考えられる。

6. むすび

パーソナルコンピュータ上で使用できるLSIのレイアウト設計用CADソフトウェア：LADYの作成を行なった。完成したソフトウェアを使用して設計を行なった結果、実用性の高いことが確認された。本稿では、編集機能についてのみ報告したが、ルールチェック機能についても検討中であり、別途報告したい。

なお、ソフトウェアの作成に当たっては、本学電気工学科制御工学講座II卒業研究生、岡本英俊、居ヶ内昭浩、小笠原靖の諸君の協力を得たことを付記する。

参考文献

- 1) C. Mead and L. Conway, "Introduction to VLSI Systems", Addison-Wesley Publishing Co. (1980).
- 2) 松山・富沢、"VLSI設計入門"、共立出版(1983)。
- 3) 苦米地、亀山、樋口、"パルス列剰余数演算回路に基づくLSI向きデジタル信号処理システムの構成法"、電子通信学会論文誌、Vol. J68-D, No. 8 (Aug. 1985.)。
- 4) 苦米地宣裕、"多層カラー図形の画面表示"、八戸工業大学情報システム工学研究所紀要、Vol. 1 (1989)。

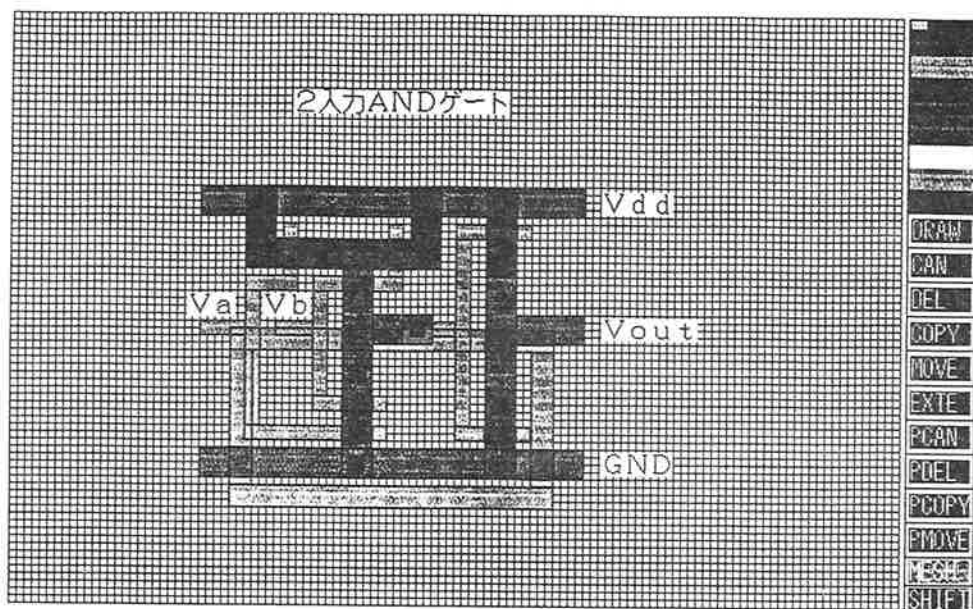


図2 LADYを用いた作図例（画面表示）

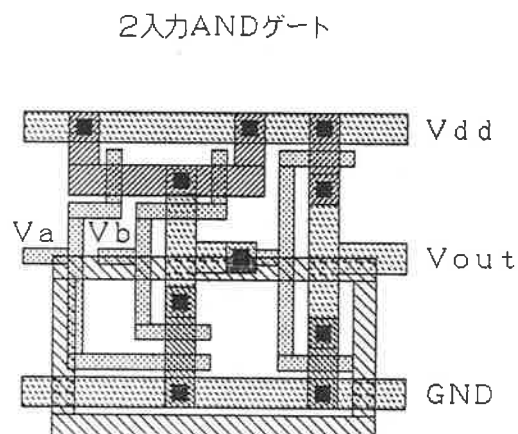


図3 LADYを用いた作図例（白黒印刷）