

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第3654190号
(P3654190)

(45) 発行日 平成17年6月2日(2005.6.2)

(24) 登録日 平成17年3月11日(2005.3.11)

(51) Int. Cl.⁷

F I

H O 1 L 21/82

H O 1 L 21/82

W

G O 6 F 17/50

G O 6 F 17/50

6 5 8 E

H O 1 L 21/82

C

請求項の数 16 (全 15 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2001-9075 (P2001-9075) (22) 出願日 平成13年1月17日 (2001.1.17) (65) 公開番号 特開2002-217296 (P2002-217296A) (43) 公開日 平成14年8月2日 (2002.8.2) 審査請求日 平成13年12月21日 (2001.12.21)</p>	<p>(73) 特許権者 000004237 日本電気株式会社 東京都港区芝五丁目7番1号 (74) 代理人 100084250 弁理士 丸山 隆夫 (72) 発明者 白鳥 優子 東京都港区芝五丁目7番1号 日本電気株式会社社内 審査官 大嶋 洋一 (56) 参考文献 特開平10-150107 (JP, A)</p>
--	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 配線設計方法および配線設計装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

半導体集積回路上の複数の機能ブロックを電氣的に相互に接続するための配線設計方法において、

前記複数の機能ブロック間において、該機能ブロックのうち負荷として機能するブロックの入力端を含む配線分岐点を得るステップと、

前記配線分岐点について、前記機能ブロックの信号源側から負荷側方向へ検索を行い、前記信号源に近い順に前記電流密度の検証を行って前記配線分岐点における電流密度を求め

るステップと、

前記電流密度が所定の制限値を越えているか否かを判定するステップと、
 前記判定の結果をもとに、前記電流密度が前記制限値を超過している配線分岐点を末端とし、該配線分岐点とその信号源方向に位置する他の配線分岐点とで示される区間、または、該配線分岐点とその信号源方向に位置する前記機能ブロックの出力端とで示される区間に対して電流密度を低減する処理を施すステップとを備えることを特徴とする配線設計方法。

【請求項2】

前記所定の制限値は、前記区間における配線が溶断しない最大電流密度であることを特徴とする請求項1記載の配線設計方法。

【請求項3】

前記最大電流密度は、前記区間の信号源側に位置する前記機能ブロックの出力端の駆動能

10

20

力、および、当該区間の配線抵抗の合計値によって規定されることを特徴とする請求項 2 記載の配線設計方法。

【請求項 4】

前記電流密度を低減する処理には、前記配線部分の電気抵抗を低減する処理が含まれることを特徴とする請求項 3 記載の配線設計方法。

【請求項 5】

半導体集積回路上の複数の機能ブロックを電氣的に相互に接続するための配線設計装置において、

前記複数の機能ブロック間において該機能ブロックのうち負荷として機能するブロックの入力端を含む配線分岐点を得る手段と、

前記配線分岐点について、前記機能ブロックの信号源側から負荷側方向へ検索を行い、前記信号源に近い順に前記電流密度の検証を行って前記配線分岐点における電流密度を求める手段と、

前記電流密度が所定の制限値を越えているか否かを判定する手段と、

前記判定の結果をもとに、前記電流密度が前記制限値を超過している配線分岐点を末端とし、該配線分岐点とその信号源方向に位置する他の配線分岐点とで示される区間、または、該配線分岐点とその信号源方向に位置する前記機能ブロックの出力端とで示される区間に対して電流密度を低減する処理を施す手段とを備えることを特徴とする配線設計装置。

【請求項 6】

前記所定の制限値は、前記区間における配線が溶断しない最大電流密度であることを特徴とする請求項 5 記載の配線設計装置。

【請求項 7】

前記最大電流密度は、前記区間の信号源側に位置する前記機能ブロックの出力端の駆動能力、および、当該区間の配線抵抗の合計値によって規定されることを特徴とする請求項 6 記載の配線設計装置。

【請求項 8】

前記電流密度を低減する処理には、前記配線部分の電気抵抗を低減する処理が含まれることを特徴とする請求項 7 記載の配線設計装置。

【請求項 9】

半導体集積回路上の複数の機能ブロックを電氣的に相互に接続するための配線設計方法を実行するプログラムを記録したコンピュータ可読記録媒体において、

前記複数の機能ブロック間において、該機能ブロックのうち負荷として機能するブロックの入力端を含む配線分岐点を得るステップのプログラムコードと、

前記配線分岐点について、前記機能ブロックの信号源側から負荷側方向へ検索を行い、前記信号源に近い順に前記電流密度の検証を行って前記配線分岐点における電流密度を求めるステップのプログラムコードと、

前記電流密度が所定の制限値を越えているか否かを判定するステップのプログラムコードと、

前記判定の結果をもとに、前記電流密度が前記制限値を超過している配線分岐点を末端とし、該配線分岐点とその信号源方向に位置する他の配線分岐点とで示される区間、または、該配線分岐点とその信号源方向に位置する前記機能ブロックの出力端とで示される区間に対して電流密度を低減する処理を施すステップのプログラムコードとを備えることを特徴とするコンピュータ可読記録媒体。

【請求項 10】

前記所定の制限値は、前記区間における配線が溶断しない最大電流密度であることを特徴とする請求項 9 記載のコンピュータ可読記録媒体。

【請求項 11】

前記最大電流密度は、前記区間の信号源側に位置する前記機能ブロックの出力端の駆動能力、および、当該区間の配線抵抗の合計値によって規定されることを特徴とする請求項 10 記載のコンピュータ可読記録媒体。

10

20

30

40

50

【請求項 1 2】

前記電流密度を低減する処理には、前記配線部分の電気抵抗を低減する処理が含まれることを特徴とする請求項 1 1 記載のコンピュータ可読記録媒体。

【請求項 1 3】

半導体集積回路上の複数の機能ブロックを電氣的に相互に接続するための配線設計処理を実行するプログラムにおいて、

前記複数の機能ブロック間において、該機能ブロックのうち負荷として機能するブロックの入力端を含む配線分岐点を得る処理と、

前記配線分岐点について、前記機能ブロックの信号源側から負荷側方向へ検索を行い、前記信号源に近い順に前記電流密度の検証を行って前記配線分岐点における電流密度を求め

10

る処理と、

前記電流密度が所定の制限値を越えているか否かを判定する処理と、

前記判定の結果をもとに、前記電流密度が前記制限値を超過している配線分岐点を末端とし、該配線分岐点とその信号源方向に位置する他の配線分岐点とで示される区間、または、該配線分岐点とその信号源方向に位置する前記機能ブロックの出力端とで示される区間に対して電流密度を低減する処理を施す処理とを実行させるためのプログラム。

【請求項 1 4】

前記所定の制限値は、前記区間における配線が溶断しない最大電流密度であることを特徴とする請求項 1 3 記載のプログラム。

【請求項 1 5】

20

前記最大電流密度は、前記区間の信号源側に位置する前記機能ブロックの出力端の駆動能力、および、当該区間の配線抵抗の合計値によって規定されることを特徴とする請求項 1 4 記載のプログラム。

【請求項 1 6】

前記電流密度を低減する処理には、前記配線部分の電気抵抗を低減する処理が含まれることを特徴とする請求項 1 5 記載のプログラム。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、半導体集積回路上の複数の機能ブロックを電氣的に相互に接続するための配線設計方法および配線設計装置に関するものである。

30

【0002】

【従来の技術】

近年、大規模集積回路(LSI)では、高集積化、並びに高速化が著しく、これに伴って、回路における消費電力も増加している。このため、回路を構成する配線における電流密度が大きい箇所では、エレクトロマイグレーション(electromigration)による配線の溶断が生じる可能性が大きくなっている。

【0003】

エレクトロマイグレーションとは、配線金属膜中の電流密度が増大したり、チップ当たりの消費電力が増大してデバイスの温度が上昇し、それによる高温の状態では高密度の電流が流れると、キャリアから電極構成電子に金属膜中の金属イオンの移動が起こって空孔が生じ、そのため、さらに電流密度が上がって、ついには配線が溶断することをいう。

40

【0004】

このエレクトロマイグレーションを防ぐには、単に配線幅を広げたり、配線中に中継バッファ等を挿入して配線長を分断する等の対策が考えられる。例えば、特開平11-97541号公報には、半導体集積回路における配線設計方法に係る発明であって、機能ブロック間の配線を通る電流密度を求め、それが規格内にあるか否かに応じて、配線の分枝ごとに必要な配線の本数を算出して、分枝ごとに再度、配線を行う技術が開示されている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】

50

しかしながら、上記の問題を回避するため、従来は、エレクトロマイグレーションにより断線する可能性のあるネットについては、配線結果を手手で修正している例もあり、このような場合、人手による配線修正工数が増大するという問題がある。

【0006】

また、上記特開平11-97541号公報に記載の配線設計方法では、配線を通る電流密度が規格内にないとき、分枝ごとに必要な配線の本数を算出して、再配線を行っているため、場合によっては、初期配線が全く生かされないという事態も発生する。さらには、その再配線が、基板あるいはサブストレート上において多大な面積を占有することになる場合、配線上の制約が多くなるという問題がある。

【0007】

本発明は、上述の課題に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、半導体集積回路における電流密度過多によるエレクトロマイグレーションの影響で生じる配線の溶断を防止する配線設計方法および配線設計装置を提供することである。

【0008】

また、本発明の他の目的は、半導体集積回路の配線において溶断を生じやすい、あるいは、その可能性のある個所を効率的かつ迅速に発見、修正できる配線設計方法および配線設計装置を提供することである。

【0009】

【課題を解決するための手段】

上記の目的を達成するため、本発明は、第1の態様として、半導体集積回路上の複数の機能ブロックを電氣的に相互に接続するための配線設計方法において、前記複数の機能ブロック間において、該機能ブロックのうち負荷として機能するブロックの入力端を含む配線分岐点を得るステップと、前記配線分岐点について、前記機能ブロックの信号源側から負荷側方向へ検索を行い、前記信号源に近い順に前記電流密度の検証を行って前記配線分岐点における電流密度を求めるステップと、前記電流密度が所定の制限値を越えているか否かを判定するステップと、前記判定の結果をもとに、前記電流密度が前記制限値を超過している配線分岐点を末端とし、該配線分岐点とその信号源方向に位置する他の配線分岐点とで示される区間、または、該配線分岐点とその信号源方向に位置する前記機能ブロックの出力端とで示される区間に対して電流密度を低減する処理を施すステップとを備えることを特徴とする配線設計方法を提供するものである。

【0010】

上記本発明の第1の態様においては、所定の制限値は、前記区間における配線が溶断しない最大電流密度であることが好ましい。これに加えて、最大電流密度は、前記区間の信号源側に位置する前記機能ブロックの出力端の駆動能力、および、当該区間の配線抵抗の合計値によって規定されることがより好ましい。さらに加えて、電流密度を低減する処理には、前記配線部分の電気抵抗を低減する処理が含まれることがより好ましい。

【0011】

また、上記目的を達成するため、本発明は第2の態様として、半導体集積回路上の複数の機能ブロックを電氣的に相互に接続するための配線設計装置において、前記複数の機能ブロック間において該機能ブロックのうち負荷として機能するブロックの入力端を含む配線分岐点を得る手段と、前記配線分岐点について、前記機能ブロックの信号源側から負荷側方向へ検索を行い、前記信号源に近い順に前記電流密度の検証を行って前記配線分岐点における電流密度を求める手段と、前記電流密度が所定の制限値を越えているか否かを判定する手段と、前記判定の結果をもとに、前記電流密度が前記制限値を超過している配線分岐点を末端とし、該配線分岐点とその信号源方向に位置する他の配線分岐点とで示される区間、または、該配線分岐点とその信号源方向に位置する前記機能ブロックの出力端とで示される区間に対して電流密度を低減する処理を施す手段とを備えることを特徴とする配線設計装置を提供するものである。

【0012】

上記本発明の第2の態様においては、所定の制限値は、前記区間における配線が溶断しな

10

20

30

40

50

い最大電流密度であることが好ましい。これに加えて、最大電流密度は、前記区間の信号源側に位置する前記機能ブロックの出力端の駆動能力、および、当該区間の配線抵抗の合計値によって規定されることがより好ましい。さらに加えて、電流密度を低減する処理には、前記配線部分の電気抵抗を低減する処理が含まれることがより好ましい。

【 0 0 1 3 】

また、上記目的を達成するため、本発明は、第3の態様として、半導体集積回路上の複数の機能ブロックを電氣的に相互に接続するための配線設計方法を実行するプログラムを記録したコンピュータ可読記録媒体において、前記複数の機能ブロック間において、該機能ブロックのうち負荷として機能するブロックの入力端を含む配線分岐点を得るステップのプログラムコードと、前記配線分岐点について、前記機能ブロックの信号源側から負荷側方向へ検索を行い、前記信号源に近い順に前記電流密度の検証を行って前記配線分岐点における電流密度を求めるステップのプログラムコードと、前記電流密度が所定の制限値を越えているか否かを判定するステップのプログラムコードと、前記判定の結果をもとに、前記電流密度が前記制限値を超過している配線分岐点を末端とし、該配線分岐点とその信号源方向に位置する他の配線分岐点とで示される区間、または、該配線分岐点とその信号源方向に位置する前記機能ブロックの出力端とで示される区間に対して電流密度を低減する処理を施すステップのプログラムコードとを備えることを特徴とするコンピュータ可読記録媒体を提供するものである。

10

【 0 0 1 4 】

上記本発明の第3の態様においては、所定の制限値は、前記区間における配線が溶断しない最大電流密度であることが好ましい。これに加えて、最大電流密度は、前記区間の信号源側に位置する前記機能ブロックの出力端の駆動能力、および、当該区間の配線抵抗の合計値によって規定されることがより好ましい。さらに加えて、電流密度を低減する処理には、前記配線部分の電気抵抗を低減する処理が含まれることがより好ましい。

20

【 0 0 1 5 】

また、上記目的を達成するため、本発明は、第4の態様として、半導体集積回路上の複数の機能ブロックを電氣的に相互に接続するための配線設計処理を実行するプログラムにおいて、前記複数の機能ブロック間において、該機能ブロックのうち負荷として機能するブロックの入力端を含む配線分岐点を得る処理と、前記配線分岐点について、前記機能ブロックの信号源側から負荷側方向へ検索を行い、前記信号源に近い順に前記電流密度の検証を行って前記配線分岐点における電流密度を求める処理と、前記電流密度が所定の制限値を越えているか否かを判定する処理と、前記判定の結果をもとに、前記電流密度が前記制限値を超過している配線分岐点を末端とし、該配線分岐点とその信号源方向に位置する他の配線分岐点とで示される区間、または、該配線分岐点とその信号源方向に位置する前記機能ブロックの出力端とで示される区間に対して電流密度を低減する処理を施す処理とを実行させるためのプログラムを提供するものである。

30

【 0 0 1 6 】

上記本発明の第4の態様においては、所定の制限値は、前記区間における配線が溶断しない最大電流密度であることが好ましい。これに加えて、最大電流密度は、前記区間の信号源側に位置する前記機能ブロックの出力端の駆動能力、および、当該区間の配線抵抗の合計値によって規定されることがより好ましい。さらに加えて、電流密度を低減する処理には、前記配線部分の電気抵抗を低減する処理が含まれることがより好ましい。

40

【 0 0 1 7 】

【 発明の実施の形態 】

以下、添付図面を参照しながら、本発明の実施の形態について詳細に説明する。図1は、本発明の実施の形態に係るエレクトロマイグレーション・エラー改善システム（以下、適宜、システムともいう）の全体構成を示すブロック図である。同図に示すように、本システムは、論理接続情報格納部11、物理接続情報格納部12、電流密度制限値格納部16、論理/物理接続情報入力部13、配線トレース部14、配線分岐点取得部15、電流密度制限値取得部17、電流密度計算部18、電流密度検証部19、検証結果格納部20、

50

そして、配線幅変更部 2 1 からなる。

【 0 0 1 8 】

これらの構成要素の内、論理接続情報格納部 1 1 は、回路を構成するブロック間の論理接続情報等を格納する。ここで「ブロック」とは、フリップフロップ (F / F) やゲート等、論理回路を構成している全ての素子の総称とする。また、物理接続情報格納部 1 2 は、ブロックの配置結果、ブロック間接続の配線結果、各ネット/ブロックの性質を示す情報等からなる物理接続情報を格納する。

【 0 0 1 9 】

電流密度制限値格納部 1 6 は、ネットのソース (信号源あるいは電流源) 出力端の駆動能力ごと、かつ、ソース出力端から配線分岐点間の配線抵抗合計値ごとに定義された電流密度制限値からなる電流密度制限値情報を格納する。

10

【 0 0 2 0 】

論理 / 物理接続情報入力部 1 3 は、論理接続情報格納部 1 1 に格納された論理接続情報、物理接続情報格納部 1 2 に格納された物理接続情報、および、電流密度制限値格納部 1 6 に格納された電流密度制限値情報を入力する。

【 0 0 2 1 】

配線トレース部 1 4 は、論理 / 物理接続情報入力部 1 3 が入力した論理接続情報、および物理接続情報を参照して、ネットの配線接続情報をトレースする。また、配線分岐点取得部 1 5 は、配線トレース部 1 4 で取得した配線接続情報を参照して、ネットの配線分岐点を取得する。

20

【 0 0 2 2 】

電流密度制限値取得部 1 7 は、論理 / 物理接続情報入力部 1 3 が電流密度制限値格納部 1 6 より入力した電流密度制限値情報を参照して、配線分岐点取得部 1 5 で取得した配線分岐点における電流密度制限値を取得する。

【 0 0 2 3 】

また、電流密度計算部 1 8 は、配線分岐点取得部 1 5 で取得した配線分岐点における電流密度値を計算し、電流密度検証部 1 9 は、配線分岐点取得部 1 5 で取得した配線分岐点での電流密度を検証する。そして、電流密度検証部 1 9 は、電流密度制限値取得部 1 7 で取得した電流密度制限値と、電流密度計算部 1 8 で計算した電流密度値とを比較して、電流密度値が電流密度制限値を越えている場合、その配線分岐点では電流密度超過エラーが起きているものと判定して、エラー情報を検証結果格納部 2 0 に送る。

30

【 0 0 2 4 】

検証結果格納部 2 0 は、上述のように電流密度検証部 1 9 で判定された電流密度超過エラー情報を格納する。そして、配線幅変更部 2 1 は、検証結果格納部 2 0 に格納されたエラー情報を参照して、電流密度超過エラーが起きていると判定されたネットについて、ソース出力端と、電流密度超過エラーが起きている配線分岐点とを接続する配線の幅を、エラーとならない幅に広げる。

【 0 0 2 5 】

そこで、図 1 に示すエレクトロマイグレーション・エラー改善システムの各部の動作について、さらに詳細に説明する。論理 / 物理接続情報入力部 1 3 は、論理接続情報格納部 1 1 に格納された論理接続情報、物理接続情報格納部 1 2 に格納された物理接続情報と各ネット/ブロックの性質を示す情報 (電流密度計算に必要な情報も含む)、および、電流密度制限値格納部 1 6 に格納された電流密度制限値を入力する。

40

【 0 0 2 6 】

配線トレース部 1 4 は、論理 / 物理接続情報入力部 1 3 が入力した論理接続情報、および物理接続情報を参照して、ネットのソース側ブロック、ロード (負荷) 側ブロック、および、それらのブロック間を接続する配線等の配線接続情報を取得する。

【 0 0 2 7 】

次に、配線分岐点取得部 1 5 は、配線トレース部 1 4 でトレースした配線接続情報を参照して、ネットの配線分岐点を取得する。また、電流密度制限値取得部 1 7 は、論理 / 物理

50

接続情報入力部 13 で入力した電流密度制限値の中から、配線分岐点取得部 15 で取得した配線分岐点における電流密度制限値を取得する。

【0028】

電流密度計算部 18 は、配線分岐点取得部 15 で取得した配線分岐点での電流密度値を計算する。ここでは、配線の接続関係をソース側からロード側方向に調べて、ソース側に近い配線分岐点から順番に、電流密度値を計算していく。

【0029】

電流密度検証部 19 は、配線分岐点取得部 15 で取得した配線分岐点での電流密度を検証する。すなわち、電流密度検証部 19 は、電流密度制限値取得部 17 で取得した電流密度制限値と、電流密度計算部 18 で計算した電流密度値とを比較する。そして、この電流密度値が電流密度制限値を越えている場合、電流密度検証部 19 は、その配線分岐点では、電流密度超過エラーが起きているものと判定して、エラー情報を検証結果格納部 20 へ出力する。

10

【0030】

ネットの全配線分岐点における電流密度検証を終了後、電流密度超過エラーが起きている配線分岐点がある場合、配線幅変更部 21 は、検証結果格納部 20 に格納されたエラー情報を参照して、ソース出力端と電流密度超過エラーが起きている配線分岐点とを接続する配線の幅を、エラーが発生しない幅に広げる。

【0031】

配線幅を変更することによって電流密度も変化するので、当該ネットについて、再び、電流密度計算部 18 において電流密度を計算し、電流密度検証部 19 で電流密度を検証し、さらに、配線幅変更部 21 において、電流密度超過エラーが起きている配線分岐点の配線幅変更を行う。ここでは、これらの処理を、後述するように、電流密度超過エラーが起きている配線分岐点が無くなるまで繰り返す。

20

【0032】

次に、本実施の形態に係るエレクトロマイグレーション・エラー改善システムの動作について詳細に説明する。

【0033】

既に述べたように、一般的には、回路を構成する配線の電流密度が大きい箇所において、エレクトロマイグレーションによる配線の溶断が生じる可能性が大きくなる。また、配線の電流密度は、その配線を通る電流値を配線の断面積で割ることにより計算できる。

30

【0034】

また、配線が途中で分岐する場合、その分岐点以降の配線には、電流が分散されて流れるため、ソース出力端から分岐点を通るに従って、配線を通る電流は減少する。そのため、電流密度は配線分岐点、および、配線の断面積の変化点において変化する。

【0035】

ここで、ネットの配線幅が配線分岐点のみで変更できるものとする、電流密度は配線分岐点でのみ変化するようになる。

【0036】

本実施の形態に係るエレクトロマイグレーション・エラー改善システムでは、電流密度の変化点である配線分岐点での電流密度値と、あらかじめ設定した、エレクトロマイグレーションの影響による配線の溶断が生じない最大電流密度値（電流密度制限値）とを比較して、電流密度超過エラーを判定する。

40

【0037】

電流密度超過エラーが起きている配線分岐点では、エレクトロマイグレーションによる配線の溶断が生じる可能性が大きいため、ソース出力端とその配線分岐点とを接続する配線の幅を広げることによって電流密度を低減して、エレクトロマイグレーションによる配線の溶断を防止する。

【0038】

図 2 は、本実施の形態に係るシステムにおける電流密度超過エラーの判定、および配線幅

50

の変更処理手順を示すフローチャートである。また、図3は、エラーの判定および配線幅変更処理の対象となるネットの例を示している。図2のステップA01において、論理/物理接続情報入力部13は、論理接続情報格納部11に格納された論理接続情報、物理接続情報格納部12に格納された物理接続情報、および、電流密度制限値格納部16に格納された電流密度制限値を入力する。入力された論理接続情報と物理接続情報は、図1に示すシステムの各部によって参照される。

【0039】

論理接続情報には、対象とする回路を構成するブロック間の論理接続情報等があり、物理接続情報としては、ブロックの配置結果、ブロック間接続の配線結果、および、各ネット/ブロックの性質を示す情報等がある。

10

【0040】

上記の物理接続情報としてのブロックの配置結果、および、ブロック間接続の配線結果は、ここでは、従来のレイアウト手法を用いて配置配線処理を行った結果とし、配線の電流密度は特に考慮していないものとする。また、各ネット/ブロックの性質を示す情報として、例えば、ネットの配線幅/高さ、配線単位面積当たりの抵抗値/容量値、ブロックの端子抵抗値/容量値等が記述されているものとする。

【0041】

次に、ステップA02において、回路中の任意のネットについて、各配線分岐点での電流密度を検証する。ここでは、図3に示すネット3を例に説明する。まず、配線トレース部14は、論理/物理接続情報入力部13で入力した論理接続情報、および、物理接続情報を参照する。そして、配線トレース部14は、ネット3が、ソース側ブロック31とロード側ブロック32~35とを接続する配線から構成され、ソース出力端(A)、配線分岐点(B)、(D)、(F)、および、ロード入力端(C)、(E)、(G)、(H)が存在するという配線接続情報を取得する。

20

【0042】

なお、図3に示すネット3における配線抵抗値や配線電流値等は、以下の一覧表に示すようになっている。すなわち、

ソース出力端(A)の端子抵抗 $R_{g1} = 0.07 [K]$

であり、

配線部分	配線抵抗値 [Ω] / 電流値 [A]
ソース出力端(A) - 配線接続点(B)間	$R_{w1} = 30.0 / I_{w1} = 10.0$
配線接続点(B) - ロード入力端(C)間	$R_{w2} = 30.0 / I_{w2} = 10.0$
配線接続点(B) - 配線接続点(D)間	$R_{w3} = 20.0 / I_{w3} = 6.0$
配線接続点(D) - ロード入力端(E)間	$R_{w4} = 30.0 / I_{w4} = 10.0$
配線接続点(D) - 配線接続点(F)間	$R_{w5} = 40.0 / I_{w5} = 15.0$
配線接続点(F) - ロード入力端(G)間	$R_{w6} = 30.0 / I_{w6} = 10.0$
配線接続点(F) - ロード入力端(H)間	$R_{w7} = 40.0 / I_{w7} = 15.0$

30

40

である。

【0043】

また、

ロード入力端(C)内配線の電流値 $I_{g1} = 1.0 [A]$

ロード入力端(E)内配線の電流値 $I_{g2} = 1.0 [A]$

ロード入力端(G)内配線の電流値 $I_{g3} = 1.0 [A]$

ロード入力端(H)内配線の電流値 $I_{g4} = 1.0 [A]$

である。

【0044】

50

配線トレース部 14 は、これらの配線接続情報を参照して、ソース側からロード側方向に配線の接続関係を調べて、ソース側に近い配線分岐点から順に電流密度を検証していく。このとき、ロード入力端も配線分岐点とみなして、電流密度の検証の対象に含める。

【0045】

例えば、図3に示すネット3において、配線分岐点をソース側に近い順に列挙すると、配線分岐点(B) 配線分岐点(D) ロード入力端(C) ロード入力端(E) 配線分岐点(F) ロード入力端(G) ロード入力端(H)となっている。なお、ここでは、配線分岐点(B)で電流密度超過エラーが起きているものとして説明する。

【0046】

次に、ステップA03において、配線分岐点取得部15は、未処理の配線分岐点の中で一番ソース側に近いものを調べて、配線分岐点(B)を取得し、その配線分岐点(B)における配線抵抗合計値 $R_{total}(B)$ を計算する。なお、ここでは、配線抵抗合計値は、ソース出力端と配線分岐点とを一筆書きで接続する配線の抵抗値を合計したものである。

10

【0047】

例えば、配線分岐点(B)における、ソース出力端(A)と配線分岐点(B)とを接続する配線の抵抗値 R_{w1} は、上記の一覧表より $30.0 [\quad]$ であるから、配線抵抗合計値 $R_{total}(B)$ は $30.0 [\quad]$ となる。

【0048】

次に、ステップA04において、電流密度制限値取得部17は、配線分岐点(B)での電流密度制限値 $J_{limit}(B)$ を取得する。電流密度制限値は、例えば、回路シミュレーションの実行結果等から決定された、エレクトロマイグレーションの影響による配線の溶断が生じない最大電流密度値であり、ソース出力端の駆動能力毎、かつ、配線抵抗合計値毎に定義する。また、ソース出力端の駆動能力は、端子抵抗で指定する。

20

【0049】

図4は、本実施の形態に係るシステムにおける電流密度制限値の定義の一例を示している。同図において、1行が1レコードであり、各レコードにそれぞれユニークなレコード番号 n が付与されている。そして、以下の電流密度制限値選択条件(a), (b)を両方も満たすレコードの電流密度制限値 $J_{limit}(n)$ が、その配線分岐点での電流密度制限値になる。

30

【0050】

条件(a)：駆動能力最小値 $Resource_MIN(n)$ ソース出力端の駆動能力 < 駆動能力最大値 $Resource_MAX(n)$

条件(b)：配線抵抗合計最小値 $Resist_MIN(n)$ 配線分岐点での配線抵抗合計値 < 配線抵抗最大値 $Resist_MAX(n)$

【0051】

上述のように、ソース出力端(A)の端子抵抗 R_{g1} は、 $0.07 [K]$ であり、配線抵抗合計値 $R_{total}(B)$ は、 $30.0 [\quad]$ であるから、図4において、上記の条件(a), (b)両方を満たすレコード番号は“8”となる。よって、この場合、レコード番号8の電流密度制限値である $30.0 [A/mm^2]$ を、配線分岐点(B)での電流密度制限値 $J_{limit}(B)$ とする。

40

【0052】

次に、ステップA05で、電流密度計算部18は、配線分岐点(B)での電流密度値 $J_{total}(B)$ を計算する。図3において、配線分岐点(B)を流れる電流値は、配線分岐点(B)とロード入力端(C), (E), (G), (H)とを接続する配線を流れる電流値の合計となる。このため、これらの区間の配線における電流値の合計を、配線分岐点(B)の断面積で割ったものが、配線分岐点(B)での電流密度値 $J_{total}(B)$ となる。

【0053】

図3に示すネット3の各分岐点間の配線における電流値が、 $I_{w1} \sim I_{w7}$ であり、各口

50

ード側ブロック内の配線の電流密度値が $I_{g1} \sim I_{g4}$ であるから、これらの区間での電流値は、 $I_{w2} \sim I_{w7}$ と $I_{g1} \sim I_{g4}$ との合計値、すなわち、 $70.0 [A]$ となる。そこで、配線分岐点 (B) の断面積を $1 [mm^2]$ すると、そこでの電流密度値 $J_{total}(B)$ は、 $70.0 [A/mm^2]$ となる。以上が、図2のステップA05で実行される処理である。

【0054】

続くステップA06において、配線分岐点 (B) での電流密度を検証する。すなわち、電流密度検証部19は、電流密度制限値取得部17で取得した電流密度制限値 $J_{limit}(B)$ と、電流密度計算部18で計算した電流密度値 $J_{total}(B)$ とを比較する。

【0055】

上述のように、配線分岐点 (B) における電流密度制限値 $J_{limit}(B)$ が $30.0 [A/mm^2]$ で、電流密度値 $J_{total}(B)$ が $70.0 [A/mm^2]$ であるから、電流密度値 $J_{total}(B)$ は、電流密度制限値 $J_{limit}(B)$ を越えている。この結果から、電流密度検証部19は、配線分岐点 (B) において電流密度超過エラーが起きているものと判定して、検証結果格納部20にエラー情報を出力する(図2のステップA07)。

【0056】

ここでは、エラー情報として、ネット名、配線分岐点 (B) の座標と端子抵抗 R_{g1} 、配線抵抗合計値 $R_{total}(B)$ 、電流密度値 $J_{total}(B)$ 、電流密度制限値 $J_{limit}(B)$ 等が出力される。そして、これらのエラー情報の出力後、ステップA08において、全配線分岐点におけるチェックが終了したかどうか判断される。

【0057】

すなわち、配線分岐点 (B) に対する処理が終了した後、未処理の配線分岐点があれば、ステップA08での判定は“no”であるから、ステップA03に戻り、次の配線分岐点の処理に移行する。

【0058】

このように、配線分岐点 (B) での処理が終了したならば、次に、配線分岐点取得部15は、未処理の配線分岐点の中で一番ソース側に近いものを調べる。その結果、配線分岐点 (D) が取得され、その配線分岐点 (D) での配線抵抗合計値 $R_{total}(D)$ を計算する(ステップA03)。

【0059】

配線抵抗合計値 $R_{total}(D)$ は、図3から明らかなように、ソース出力端 (A) と配線分岐点 (B) を接続する配線の抵抗値 $R_{w1} (30.0 [\quad])$ と、配線分岐点 (B) と配線分岐点 (D) を接続する配線の抵抗値 $R_{w3} (20.0 [\quad])$ との合計値である、 $50.0 [\quad]$ となる。

【0060】

次に、ステップA04において、電流密度制限値取得部17は、論理/物理接続情報入力部13で入力された電流密度制限値の定義の中から、配線分岐点 (D) における電流密度制限値 $J_{limit}(D)$ を取得する。

【0061】

配線分岐点 (D) について、ソース出力端 (A) の端子抵抗 R_{g1} は、 $0.07 [K]$ であり、配線抵抗合計値 $R_{total}(D)$ は、上記のように $50.0 [\quad]$ であるから、図4より、上記の電流密度制限値の選択条件 (a), (b) を両方満たすレコード番号は、“9”となる。よって、レコード番号9の電流密度制限値 $60.0 [A/mm^2]$ を、配線分岐点 (D) での電流密度制限値 $J_{limit}(D)$ とする。

【0062】

次に、ステップA05において、電流密度計算部18は、配線分岐点 (D) での電流密度値 $J_{total}(D)$ を計算する。配線分岐点 (D) を流れる電流値は、配線分岐点 (D) と、ロード入力端 (E), (G), (H) とを接続する配線を流れる電流値の合計となる。そして、これらの区間の配線における電流値の合計を、配線分岐点 (D) の断面積で

10

20

30

40

50

割ったものが、配線分岐点 (D) での電流密度値 $J_{total}(D)$ となる。

【0063】

具体的には、上記の区間における電流値は、 $I_{w4} \sim I_{w7}$ と $I_{g2} \sim I_{g4}$ との合計値である、 $53.0 [A]$ となる。配線分岐点 (D) の断面積を $1 [mm^2]$ すると、電流密度値 $J_{total}(D)$ は、 $53.0 [A/mm^2]$ となる。

【0064】

次に、ステップ A06 で、電流密度検証部 19 による、配線分岐点 (D) での電流密度の検証が行われる。具体的には、電流密度検証部 19 は、電流密度制限値取得部 17 で取得した電流密度制限値 $J_{limit}(D)$ と、電流密度計算部 18 で計算した電流密度値 $J_{total}(D)$ とを比較する。

10

【0065】

その結果、電流密度制限値 $J_{limit}(D)$ が、 $60.0 [A/mm^2]$ で、電流密度値 $J_{total}(D)$ が、 $53.0 [A/mm^2]$ であるから、電流密度値 $J_{total}(D)$ は、電流密度制限値 $J_{limit}(D)$ を越えていないことが分かる (ステップ A06 で “no”)。

【0066】

よって、電流密度検証部 19 は、配線分岐点 (D) において電流密度超過エラーが起きていないものと判定する。そこで、ステップ A08 において、全配線分岐点におけるチェックが終了したかどうか判断され、その判断結果に応じて、次の配線分岐点の処理に移る。

20

【0067】

全配線分岐点におけるチェックが終了していなければ、上記の配線分岐点 (B), (D) と同様に、ロード入力端 (C)、ロード入力端 (E)、配線分岐点 (F)、ロード入力端 (G)、ロード入力端 (H) についても、それぞれ電流密度の検証を順次、行う。なお、上述したように、これらの配線分岐点 ((B) 以外) では、電流密度超過エラーは起きていないものとする。

【0068】

各配線分岐点での電流密度の検証が終了したならば、次に、配線幅変更部 21 は、電流密度超過エラーとなっている区間の配線幅を変更する。しかし、電流密度超過エラーが起きている配線分岐点が存在しない場合には、かかるネットの処理を終了して、次のネットの処理に移る。

30

【0069】

電流密度超過エラーが起きている配線分岐点が存在する場合、ステップ A09 での判定結果は “yes” となるから、配線幅変更部 21 は、検証結果格納部 20 に格納されたエラー情報を参照して、ソース出力端とエラーとなっている配線分岐点とを接続する配線の幅を、エラーとならない幅に広げる (ステップ A10)。

【0070】

図3のネット3では、配線分岐点 (B) で電流密度超過エラーが起きているので、配線幅変更部 21 は、ソース出力端 (A) と配線分岐点 (B) とを接続する配線の幅を広げる。そして、配線幅を変更することによって、電流密度も変化するので、配線幅の変更後、再び、ネット3の各配線分岐点での電流密度の検証を行い、変更後の配線幅で電流密度制限エラーが起きていないかを検証する。

40

【0071】

上記の処理および検証を、電流密度制限エラーが起きている配線分岐点が存在しなくなるまで繰り返す。その結果、電流密度制限エラーが起きている配線分岐点が存在しなくなったならば、対象とするネットの処理を終了して、次のネットの処理に移る (ステップ A11 で “no”)。

【0072】

上記の手順を繰り返して、回路中の全ネットについて処理を行い、ステップ A11 での判定が “yes” となったならば、全ネットの処理が終了したとして、本エラー判定および

50

配線幅変更処理を終える。

【0073】

以上説明したように、本実施の形態によれば、半導体集積回路のネットの配線分岐点毎に電流密度値を計算して、これを電流密度制限値と比較することによりエレクトロマイグレーションの検証を行い、電流密度超過を起こしている部分の配線のみを、例えば、最適な配線幅に広げて電流密度低減を行うことで、エレクトロマイグレーションの影響による配線の溶断を未然に防止することができ、そのための再配線も不要になる。

【0074】

このことは、大規模集積回路(LSI)のレイアウト設計において、電流密度過多によるエレクトロマイグレーションの影響で生じる配線の溶断を考慮に入れて、その防止を図ることにつながる。

10

【0075】

また、エレクトロマイグレーションによる配線の溶断が、配線分岐点で生じる可能性が大きいことに着目して、ソース側からロード側方向に配線の接続関係を調べて、ソース側に近い配線分岐点から順に電流密度を検証し、ソース出力端とその配線分岐点とを接続する配線における電流密度を低減することで、エレクトロマイグレーションによる配線の溶断を防止するために、効率的に電流密度過度な配線分岐点を発見できる。

【0076】

なお、上記の実施の形態では、回路中の全ネットについて検証を行っているが、本発明は、これに限定されるものではなく、例えば、任意のネットについてのみ検証を行ってもよい。また、任意のネットを除いた全ネットについて、かかる検証を行うようにしてもよい。

20

【0077】

【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、半導体集積回路上の複数の機能ブロックを電氣的に相互に接続するための配線設計方法において、複数の機能ブロック間において、該機能ブロックのうち負荷として機能するブロックの入力端を含む配線分岐点を得るステップと、配線分岐点について、機能ブロックの信号源側から負荷側方向へ検索を行い、信号源に近い順に電流密度の検証を行って配線分岐点における電流密度を求めるステップと、電流密度が所定の制限値を越えているか否かを判定するステップと、判定の結果をもとに、電流密度が制限値を超過している配線分岐点を末端とし、該配線分岐点とその信号源方向に位置する他の配線分岐点とで示される区間、または、該配線分岐点とその信号源方向に位置する機能ブロックの出力端とで示される区間に対して電流密度を低減する処理を施すステップとを備えることで、エレクトロマイグレーションの影響による配線の溶断を生じやすい個所、あるいは、その可能性のある個所を効率的かつ迅速に発見、修正して、かかる溶断を未然に防止できる。また、エレクトロマイグレーションによる配線の溶断を防止するための、電流密度過度な配線分岐点の発見を効率的に行える。

30

【0078】

また、他の発明によれば、半導体集積回路上の複数の機能ブロックを電氣的に相互に接続するための配線設計装置において、複数の機能ブロック間において該機能ブロックのうち負荷として機能するブロックの入力端を含む配線分岐点を得る手段と、配線分岐点について、機能ブロックの信号源側から負荷側方向へ検索を行い、信号源に近い順に電流密度の検証を行って配線分岐点における電流密度を求める手段と、電流密度が所定の制限値を越えているか否かを判定する手段と、判定の結果をもとに、電流密度が制限値を超過している配線分岐点を末端とし、該配線分岐点とその信号源方向に位置する他の配線分岐点とで示される区間、または、該配線分岐点とその信号源方向に位置する機能ブロックの出力端とで示される区間に対して電流密度を低減する処理を施す手段とを備えることで、エレクトロマイグレーションによる配線の溶断を生じやすい個所、溶断の可能性のある個所を効率的、かつ迅速に発見、修正でき、かかる溶断を未然に防止できるという効果がある。また、エレクトロマイグレーションによる配線の溶断を防止するための、電流密度過度な配

40

50

線分岐点の発見を効率的に行える。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係るエレクトロマイグレーション・エラー改善システムの全体構成を示すブロック図である。

【図2】本実施の形態に係る電流密度超過エラーの判定、および配線幅の変更処理手順を示すフローチャートである。

【図3】エラーの判定および配線幅変更処理の対象となるネットの例を示す図である。

【図4】本実施の形態に係るシステムにおける電流密度制限値の定義の一例を示す図である。

【符号の説明】

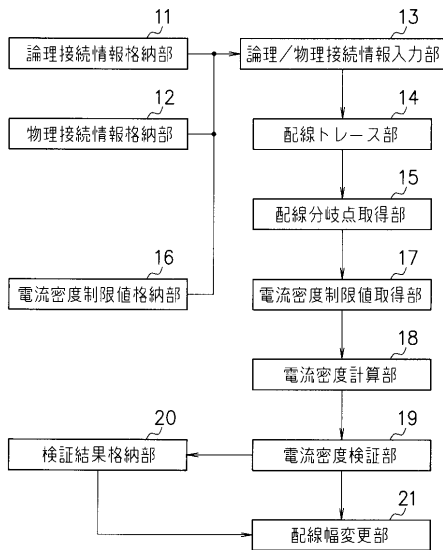
3 ネット

- 1 1 論理接続情報格納部
- 1 2 物理接続情報格納部
- 1 3 論理/物理接続情報入力部
- 1 4 配線トレース部
- 1 5 配線分岐点取得部
- 1 6 電流密度制限値格納部
- 1 7 電流密度制限値取得部
- 1 8 電流密度計算部
- 1 9 電流密度検証部
- 2 0 検証結果格納部
- 2 1 配線幅変更部
- 3 1 ソース側ブロック
- 3 2 ~ 3 5 ロード側ブロック

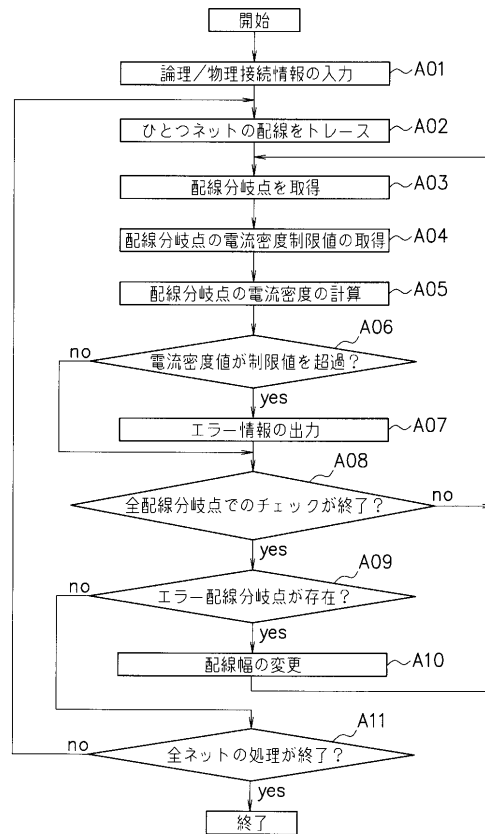
10

20

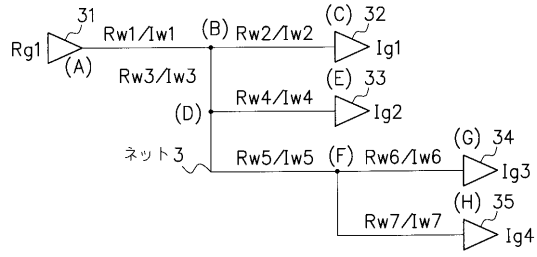
【図1】



【図2】



【 図 3 】



【 図 4 】

レコード番号 <Record>	駆動能力 (kΩ)		配線抵抗合計値 (Ω)		電流密度制限値 (A/mm ²) <Jlimit>
	最小値 <Resource MIN>	最大値 <Resource MAX>	最小値 <Resist MIN>	最大値 <Resist MAX>	
7	0.03	0.06	150.0	200.0	200.0
8	0.06	0.09	0.0	50.0	30.0
9	0.06	0.09	50.0	100.0	60.0
10	0.06	0.09	100.0	150.0	100.0
11	0.06	0.09	150.0	200.0	200.0
12	0.09	1.20	0.0	50.0	40.0
...

フロントページの続き

(58)調査した分野(Int.Cl.⁷, DB名)

H01L 21/82

H01L 21/822

H01L 27/04

G06F 17/50