

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4792460号  
(P4792460)

(45) 発行日 平成23年10月12日(2011.10.12)

(24) 登録日 平成23年7月29日(2011.7.29)

(51) Int.Cl. F I  
H O 1 L 21/00 (2006.01) H O 1 L 21/00

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2007-508004 (P2007-508004)	(73) 特許権者	000005223 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号
(86) (22) 出願日	平成17年3月17日 (2005.3.17)	(74) 代理人	100092978 弁理士 真田 有
(86) 国際出願番号	PCT/JP2005/004809	(72) 発明者	古屋 篤史 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
(87) 国際公開番号	W02006/098034	(72) 発明者	清水 香壺 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
(87) 国際公開日	平成18年9月21日 (2006.9.21)	審査官	田代 吉成
審査請求日	平成19年6月27日 (2007.6.27)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 シミュレーション装置、シミュレーション方法、シミュレーション用プログラムおよび同プログラムを記録したコンピュータ読取可能な記録媒体

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

構造物の構造をシミュレーションするシミュレーション装置であって、  
 該構造物を含む解析対象領域を、複数の格子点と該格子点を相互に連結する格子線とにより形成された複数のメッシュ要素に分割するメッシュ分割部と、  
 該構造物に対する加工処理に関する計算条件を設定する加工条件設定部と、  
 該加工条件設定部により設定された該計算条件に基づいて前記加工処理に関する界面形状変化の演算を行なう界面演算部と、  
 該界面演算部によって算出された該界面形状に基づいて、該格子点毎に、当該格子点と該界面との距離に関するレベル値を設定するレベル値設定部と、  
 該格子点毎に、該レベル値設定部によって設定された該レベル値を当該界面に対応付けてレベル値情報として格納するレベル値情報格納部とをそなえ、  
 前記構造物は多層膜であり、前記多層膜を構成する各層の厚さは前記メッシュ要素のサイズより小さい寸法を有することを特徴とする、シミュレーション装置。

【請求項2】

構造物の構造をシミュレーションするシミュレーション方法であって、  
 該構造物を含む解析対象領域を、複数の格子点と該格子点を相互に連結する格子線とにより形成された複数のメッシュ要素に分割するメッシュ分割ステップと、  
 該構造物に対する加工処理に関する計算条件を設定する加工条件設定ステップと、  
 該加工条件設定ステップにおいて設定された該計算条件に基づいて前記加工処理に関する

る界面形状変化の演算を行なう界面演算ステップと、

該界面演算ステップにおいて算出された該界面形状に基づいて、該格子点毎に、当該格子点と該界面との距離に関するレベル値を設定するレベル値設定ステップと、

該格子点毎に、該レベル値設定ステップにおいて設定された該レベル値を当該界面に対応付けてレベル値情報として格納するレベル値情報格納ステップとをそなえ、

前記構造物は多層膜であり、前記多層膜を構成する各層の厚さは前記メッシュ要素のサイズより小さい寸法を有することを特徴とする、シミュレーション方法。

【請求項 3】

構造物の構造をシミュレーションするシミュレーション機能をコンピュータに実行させるためのシミュレーション用プログラムであって、

該構造物を含む解析対象領域を、複数の格子点と該格子点を相互に連結する格子線とにより形成された複数のメッシュ要素に分割するメッシュ分割ステップと、

該構造物に対する加工処理に関する計算条件を設定する加工条件設定ステップと、

該加工条件設定ステップにおいて設定された該計算条件に基づいて前記加工処理に関する界面形状変化の演算を行なう界面演算ステップと、

該界面演算ステップにおいて算出された該界面形状に基づいて、該格子点毎に、当該格子点と該界面との距離に関するレベル値を設定するレベル値設定ステップと、

該格子点毎に、該レベル値設定ステップにおいて設定された該レベル値を当該界面に対応付けてレベル値情報として格納するレベル値情報格納ステップとを、該コンピュータに実行させ、

前記構造物は多層膜であり、前記多層膜を構成する各層の厚さは前記メッシュ要素のサイズより小さい寸法を有することを特徴とする、シミュレーション用プログラム。

【請求項 4】

該界面と当該界面を形成する該加工処理に係る情報とを対応付けて加工処理情報として格納する加工処理情報格納ステップと、

前記構造物の構造を検証する検証位置を取得する位置取得ステップと、

該位置取得ステップにおいて取得された該検証位置に基づいて、該レベル値の補間計算を行なう補間計算ステップと、

該補間計算ステップにおいて算出された該レベル値に基づいて、該レベル値情報格納ステップにおいて格納された、該レベル値情報を参照することにより、予め設定された界面選択条件を満たす該レベル値に対応する該界面を特定する界面特定ステップと、

該界面特定ステップにおいて認識された該界面に基づいて、該加工処理情報格納ステップにおいて格納された該加工処理情報を参照して、当該界面に対応する前記加工処理に係る情報を取得する情報取得ステップと、

該情報取得ステップにおいて取得された前記加工処理に係る情報を、該検証位置についての前記加工処理に係る情報として出力する出力ステップとを、該コンピュータに実行させることを特徴とする、請求項 3 記載のシミュレーション用プログラム。

【請求項 5】

前記格子点と界面との距離が最大となる場合における該レベル値を最大レベル値として格納する最大レベル値格納ステップを、該コンピュータに実行させることを特徴とする、請求項 3 又は 4 記載のシミュレーション用プログラム。

【請求項 6】

前記格子点と界面との距離が最小となる場合における該レベル値を最小レベル値として格納する最小レベル値格納ステップを、該コンピュータに実行させることを特徴とする、請求項 3 ~ 5 のいずれか 1 項に記載のシミュレーション用プログラム。

【請求項 7】

該格納ステップを該コンピュータに実行させる際に、一の該格子点に対して、複数の該加工処理にかかる複数の該レベル値を対応付けて格納するように、該コンピュータに実行させることを特徴とする、請求項 3 ~ 6 のいずれか 1 項に記載のシミュレーション用プログラム。

10

20

30

40

50

## 【請求項 8】

構造物の構造をシミュレーションするシミュレーション機能をコンピュータに実行させるためのシミュレーション用プログラムを記録したコンピュータ読取可能な記録媒体であって、

該シミュレーション用プログラムが、

該構造物を含む解析対象領域を、複数の格子点と該格子点を相互に連結する格子線とにより形成された複数のメッシュ要素に分割するメッシュ分割ステップと、

該構造物に対する加工処理に関する計算条件を設定する加工条件設定ステップと、

該加工条件設定ステップにおいて設定された該計算条件に基づいて前記加工処理に関する界面形状変化の演算を行なう界面演算ステップと、

該界面演算ステップにおいて算出された該界面形状に基づいて、該格子点毎に、当該格子点と該界面との距離に関するレベル値を設定するレベル値設定ステップと、

該格子点毎に、該レベル値設定ステップにおいて設定された該レベル値を当該界面に対応付けてレベル値情報として格納するレベル値情報格納ステップとを該コンピュータに実行させ、

前記構造物は多層膜であり、前記多層膜を構成する各層の厚さは前記メッシュ要素のサイズより小さい寸法を有することを特徴とする、シミュレーション用プログラムを記録したコンピュータ読取可能な記録媒体。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、例えば半導体やMR (Magneto-Resistive) ヘッド等の多層膜の加工形状のシミュレーションを行なう技術に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

例えば、半導体やハードディスク装置におけるMR (Magneto-Resistive) ヘッドのように、複数種類の素材を層状に形成して構成される部品の開発製造において、その試作や評価を行なうことは設計の上で重要であるが、近年では、このような試作に要する時間やコストを低減すべく、コンピュータを用いたシミュレーションを行なうことが一般的に行なわれている。

## 【0003】

例えば、下記特許文献1には、セル(直交格子)を用いて解析領域を分割し、これらのセル毎に体積率を定義することにより、複数の素材形状を表現する形状シミュレーション手法が開示されている。

しかしながら、上述した従来の形状シミュレーション手法では、ハードディスク装置におけるMRヘッドの多層膜等のように、数(オングストローム)の薄膜を積層して形成された多層膜構造を表現するためには、セルサイズを薄膜の厚さ程度に小さくする必要があり、それによりメモリ領域を大量に消費し、かつ計算時間の増大が避けられないという課題がある。

## 【0004】

本発明は、このような課題に鑑み創案されたもので、メッシュ要素サイズよりも小さな寸法を持つ複数の素材形状の表現を可能とすることにより、メッシュ要素サイズを大きくことができ、メモリ消費量や計算実行速度を向上できるようにすることを目的とする。

## 【特許文献1】特開平4-133326号公報

## 【発明の開示】

## 【0005】

上記の目的を達成するために、本発明のシミュレーション装置は、構造物の構造をシミュレーションするシミュレーション装置であって、該構造物を含む解析対象領域を、複数の格子点と該格子点を相互に連結する格子線とにより形成された複数のメッシュ要素に分

10

20

30

40

50

割するメッシュ分割部と、該構造物に対する加工処理に関する計算条件を設定する加工条件設定部と、該加工条件設定部により設定された該計算条件に基づいて前記加工処理に関する界面形状変化の演算を行なう界面演算部と、該界面演算部によって算出された該界面形状に基づいて、該格子点毎に、当該格子点と該界面との距離に関するレベル値を設定するレベル値設定部と、該格子点毎に、該レベル値設定部によって設定された該レベル値を当該界面に対応付けてレベル値情報として格納するレベル値情報格納部とをそなえ、前記構造物は多層膜であり、前記多層膜を構成する各層の厚さは前記メッシュ要素のサイズより小さい寸法を有することを特徴としている。

【 0 0 0 6 】

なお、該界面と当該界面を形成する該加工処理に係る情報とを対応付けて加工処理情報として格納する加工処理情報格納部と、前記構造物の構造を検証する検証位置を取得する位置取得部と、該位置取得部によって取得された該検証位置に基づいて、該レベル値の補間計算を行なう補間計算部と、該補間計算部により算出された該レベル値に基づいて該レベル値情報を参照して、予め設定された界面選択条件を満たす該レベル値に対応する該界面を特定する界面特定部と、該界面特定部により認識された該界面に基づいて該加工処理情報を参照して、当該界面に対応する前記加工処理に係る情報を取得する情報取得部と、該情報取得部によって取得された前記加工処理に係る情報を、該検証位置についての前記加工処理に係る情報として出力する出力部とをそなえてもよい。

10

【 0 0 0 7 】

また、前記格子点と界面との距離が最大となる場合における該レベル値を最大レベル値として格納する最大レベル値格納部をそなえてもよく、前記格子点と界面との距離が最小となる場合における該レベル値を最小レベル値として格納する最小レベル値格納部をそなえてもよい。

20

さらに、該レベル値情報格納部が、一の該格子点に対して、複数の該加工処理にかかる複数の該レベル値を対応付けて格納してもよい。

【 0 0 0 8 】

また、本発明のシミュレーション方法は、構造物の構造をシミュレーションするシミュレーション方法であって、該構造物を含む解析対象領域を、複数の格子点と該格子点を相互に連結する格子線とにより形成された複数のメッシュ要素に分割するメッシュ分割ステップと、該構造物に対する加工処理に関する計算条件を設定する加工条件設定ステップと、該加工条件設定ステップにおいて設定された該計算条件に基づいて前記加工処理に関する界面形状変化の演算を行なう界面演算ステップと、該界面演算ステップにおいて算出された該界面形状に基づいて、該格子点毎に、当該格子点と該界面との距離に関するレベル値を設定するレベル値設定ステップと、該格子点毎に、該レベル値設定ステップにおいて設定された該レベル値を当該界面に対応付けてレベル値情報として格納するレベル値情報格納ステップとをそなえ、前記構造物は多層膜であり、前記多層膜を構成する各層の厚さは前記メッシュ要素のサイズより小さい寸法を有することを特徴としている。

30

【 0 0 0 9 】

なお、該界面と当該界面を形成する該加工処理に係る情報とを対応付けて加工処理情報として格納する加工処理情報格納ステップと、前記構造物の構造を検証する検証位置を取得する位置取得ステップと、該位置取得ステップにおいて取得された該検証位置に基づいて、該レベル値の補間計算を行なう補間計算ステップと、該補間計算ステップにおいて算出された該レベル値に基づいて、該レベル値情報格納ステップにおいて格納された、該レベル値情報を参照することにより、予め設定された界面選択条件を満たす該レベル値に対応する該界面を特定する界面特定ステップと、該界面特定ステップにおいて認識された該界面に基づいて、該加工処理情報格納ステップにおいて格納された該加工処理情報を参照して、当該界面に対応する前記加工処理に係る情報を取得する情報取得ステップと、該情報取得ステップにおいて取得された前記加工処理に係る情報を、該検証位置についての前記加工処理に係る情報として出力する出力ステップとをそなえてもよい。

40

【 0 0 1 0 】

50

また、前記格子点と界面との距離が最大となる場合における該レベル値を最大レベル値として格納する最大レベル値格納ステップをそなえてもよく、前記格子点と界面との距離が最小となる場合における該レベル値を最小レベル値として格納する最小レベル値格納ステップをそなえてもよい。

さらに、該レベル値情報格納ステップにおいて、一の該格子点に対して、複数の該加工処理にかかる複数の該レベル値を対応付けて格納してもよい。

#### 【0011】

また、本発明のシミュレーション用プログラムは、構造物の構造をシミュレーションするシミュレーション機能をコンピュータに実行させるためのシミュレーション用プログラムであって、該構造物を含む解析対象領域を、複数の格子点と該格子点を相互に連結する格子線とにより形成された複数のメッシュ要素に分割するメッシュ分割ステップと、該構造物に対する加工処理に関する計算条件を設定する加工条件設定ステップと、該加工条件設定ステップにおいて設定された該計算条件に基づいて前記加工処理に関する界面形状変化の演算を行なう界面演算ステップと、該界面演算ステップにおいて算出された該界面形状に基づいて、該格子点毎に、当該格子点と該界面との距離に関するレベル値を設定するレベル値設定ステップと、該格子点毎に、該レベル値設定ステップにおいて設定された該レベル値を当該界面に対応付けてレベル値情報として格納するレベル値情報格納ステップとを、該コンピュータに実行させ、前記構造物は多層膜であり、前記多層膜を構成する各層の厚さは前記メッシュ要素のサイズより小さい寸法を有することを特徴としている。

#### 【0012】

なお、該界面と当該界面を形成する該加工処理に係る情報とを対応付けて加工処理情報として格納する加工処理情報格納ステップと、前記構造物の構造を検証する検証位置を取得する位置取得ステップと、該位置取得ステップにおいて取得された該検証位置に基づいて、該レベル値の補間計算を行なう補間計算ステップと、該補間計算ステップにおいて算出された該レベル値に基づいて、該レベル値情報格納ステップにおいて格納された、該レベル値情報を参照することにより、予め設定された界面選択条件を満たす該レベル値に対応する該界面を特定する界面特定ステップと、該界面特定ステップにおいて認識された該界面に基づいて、該加工処理情報格納ステップにおいて格納された該加工処理情報を参照して、当該界面に対応する前記加工処理に係る情報を取得する情報取得ステップと、該情報取得ステップにおいて取得された前記加工処理に係る情報を、該検証位置についての前記加工処理に係る情報として出力する出力ステップとを、該コンピュータに実行させてもよい。

#### 【0013】

また、前記格子点と界面との距離が最大となる場合における該レベル値を最大レベル値として格納する最大レベル値格納ステップを、該コンピュータに実行させてもよく、前記格子点と界面との距離が最小となる場合における該レベル値を最小レベル値として格納する最小レベル値格納ステップを、該コンピュータに実行させてもよい。

さらに、該格納ステップを該コンピュータに実行させる際に、一の該格子点に対して、複数の該加工処理にかかる複数の該レベル値を対応付けて格納するように、該コンピュータに実行させてもよい。

#### 【0014】

そして、本発明のコンピュータ読取可能な記録媒体は、上述したシミュレーション用プログラムを記録したものである。

本発明によれば、メッシュ要素サイズよりも小さな寸法を持つ複数の素材形状の表現が可能であり、メッシュ要素サイズを大きくすることができ、メモリ消費量や計算実行速度を向上できる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0015】

【図1】本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置の構成を模式的に示す図である。

10

20

30

40

50

【図2】本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置により構造をシミュレートされる多層膜の構造を模式的に示す部分側面図である。

【図3】本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置におけるメッシュ分割部によって形成されるセルの例を示す図である。

【図4】本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置の補間計算部によって用いられる補間関数式を説明するための図である。

【図5】本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置におけるレベル値の設定手法を説明するためのフローチャートである。

【図6】本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置における多層膜の任意位置での素材の判定手法を説明するためのフローチャートである。

10

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

図1は本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置の構成を模式的に示す図、図2は本シミュレーション装置により構造をシミュレートされる多層膜の構造を模式的に示す部分側面図である。なお、図2においては、多層膜3の側断面を部分的に破断して示している。

【0017】

本シミュレーション装置1は、例えば、半導体やMR (Magneto-Resistive) ヘッドの多層膜のように、複数種類の素材を層状に形成（堆積）もしくは、その表面に対してエッチングや切削等の加工を行なうことにより製造される構造物の構造をシミュレーションするものである。

20

このシミュレーション装置1は、OS (Operating System) や各種アプリケーションをCPU (Central Processing Unit) 10によって実行することにより、種々の機能を実現可能なパーソナルコンピュータとして構成され、図1に示すように、CPU10、ハードディスク20、入出力インターフェース21、ROM22、RAM23、ディスプレイ26、キーボード24、マウス25およびバス27をそなえたコンピュータシステムとして構成されている。

【0018】

本実施形態においては、構造物として例えばMRヘッドにおける多層膜（構造物）3の構造をシミュレートする例を示す。多層膜3は、図2に示すように、素材a、素材b、素材c、素材dの4つの素材を順次堆積させることにより形成された層状構造をそなえている。なお、本実施形態においては、多層膜3を構成する素材a、素材b、素材c、素材dは互いに異なる素材として構成されている。

30

【0019】

また、図2に示す例は、素材a、素材bおよび素材cを形成した後に、新たに素材dを形成する過程を示しており、素材dを点線で示している。

そして、本シミュレーション装置1においては、多層膜3の構造をシミュレーションすることにより、多層膜3における任意の位置での素材（加工処理に係る情報）を知る（素材判定）ことができる。

40

【0020】

ディスプレイ（出力部）26は、種々の情報を表示するものであって、例えばCRT (Cathode Ray Tube) やLCD (Liquid Crystal Display: 液晶ディスプレイ) によって構成されている。このディスプレイ26は、後述する情報取得部によって取得された加工処理に係る情報（詳細は後述）を表示させることにより、この加工処理に係る情報を出力する出力部として機能するようになっている。

【0021】

なお、このディスプレイ26は、後述する入出力インターフェース21によって制御されるようになっている。

キーボード24はオペレータが種々の情報をキー入力するものであり、マウス25はオ

50

ペレータがディスプレイ 26 に表示されたポインタ ( 図示省略 ) を操作して種々の選択・入力操作を行なうものである。

【 0022 】

入出力インターフェース 21 は、キーボード 24 やマウス 25 等の入力機器からの入力を制御したり、ディスプレイ 26 等の出力機器への出力を制御するものである。

なお、本実施形態においては、入力機器としてキーボード 24 およびマウス 25 がそなえられているが、これに限定されるものではなく、例えば、フレキシブルディスクや CD ( CD - ROM , CD - R , CD - RW 等 ) , DVD ( DVD - ROM , DVD - RAM , DVD - R , DVD + R , DVD - RW , DVD + RW 等 ) 等の種々の媒体からデータを取り込み可能な機器 ( フレキシブルディスクドライブ , CD - ROM ドライブ , DVD ドライブ 等 ) や LAN ( Local Area Network ) 等を入力手段として用いてもよく、入出力インターフェース 21 が、これらの入力手段の制御を行なってもよい。

10

【 0023 】

同様に、本実施形態においては、出力部としてディスプレイ 26 がそなえられているが、これに限定されるものではなく、例えば、フレキシブルディスクや CD , DVD , 紙等の種々の媒体にデータを出力可能な機器 ( フレキシブルディスクドライブ , CD ドライブ , DVD ドライブ 等 ) や LAN ( Local Area Network ) , 印刷装置等を出力手段として用いてもよく、入出力インターフェース 21 が、これらの出力手段の制御を行なってもよく、又、他のアプリケーションや情報処理装置等で利用可能なデータファイルとして出力 ( ファイル出力 ) してもよい。

20

【 0024 】

ROM ( Read Only Memory ) 22 は、種々のデータやアプリケーションを格納するものであり、後述する CPU 10 がこの ROM 22 に格納されたデータ等を用いて種々の演算処理を行なう。RAM ( Random Access Memory ) 23 は、種々のデータやアプリケーションを一時的に格納するものであり、後述する CPU 10 が種々の演算処理を行なう際に、データ等を一時的に格納・展開するために用いられる。

【 0025 】

ハードディスク 20 は、OS や種々のデータ , アプリケーションを書き込み / 読み出し自在に格納可能な記憶装置である。このハードディスク 20 は、後述の如く、格子点毎に、レベル値設定部 14 によって設定されたレベル値をその界面に対応付けて形成されたレベル値情報 28 を格納するレベル値情報格納部として機能するようになっている。

30

また、ハードディスク 20 は、後述の如く、界面とその界面を形成する加工処理に係る情報とを対応付けて加工処理情報 29 として格納する加工処理情報格納部としても機能するようになっている。

【 0026 】

さらに、ハードディスク 20 は、後述する如く、格子点と界面との距離が最大となる場合におけるレベル値 ( 最大レベル値 max ) を格納する最大レベル値格納部としても機能するとともに、格子点と界面との距離が最小となる場合におけるレベル値 ( 最小レベル値 min ) を格納する最小レベル値格納部としても機能するようになっている。

バス 27 は、CPU 10 , 入出力インターフェース 21 , ROM 22 , RAM 23 およびハードディスク 20 を相互に通信可能に接続するものである。

40

【 0027 】

CPU 10 は、ハードディスク 20 や ROM 22 , RAM 23 に記録された OS や各種アプリケーションを実行することにより各種機能を実現するものであり、本実施形態においては、この CPU 10 がシミュレーション用プログラムを実行することにより、メッシュ分割部 11 , 加工条件設定部 12 , 界面演算部 13 , レベル値設定部 14 , 位置取得部 15 , 補間計算部 16 , 界面特定部 17 および情報取得部 18 として機能するようになっている。

【 0028 】

なお、これらのメッシュ分割部 11 , 加工条件設定部 12 , 界面演算部 13 , レベル値

50

設定部 14, 位置取得部 15, 補間計算部 16, 界面特定部 17 および情報取得部 18 としての機能を実現するためのプログラム(シミュレーション用プログラム)は、例えばフレキシブルディスク, CD, DVD, 磁気ディスク, 光ディスク, 光磁気ディスク等の、コンピュータ読取可能な記録媒体に記録された形態で提供される。そして、コンピュータはその記録媒体からプログラムを読み取って内部記憶装置または外部記憶装置に転送し格納して用いる。又、そのプログラムを、例えば磁気ディスク, 光ディスク, 光磁気ディスク等の記憶装置(記録媒体)に記録しておき、その記憶装置から通信経路を介してコンピュータに提供するようにしてもよい。

【0029】

メッシュ分割部 11, 加工条件設定部 12, 界面演算部 13, レベル値設定部 14, 位置取得部 15, 補間計算部 16, 界面特定部 17 および情報取得部 18 としての機能を実現する際には、内部記憶装置(本実施形態ではROM 22 やRAM 23)に格納されたシミュレーション用プログラムがコンピュータのマイクロプロセッサ(本実施形態ではCPU 10)によって実行される。このとき、記録媒体に記録されたシミュレーション用プログラムをコンピュータが読み取って実行するようにしてもよい。

【0030】

なお、本実施形態において、コンピュータとは、ハードウェアとオペレーティングシステムとを含む概念であり、オペレーティングシステムの制御の下で動作するハードウェアを意味している。又、オペレーティングシステムが不要でアプリケーションプログラム単独でハードウェアを動作させるような場合には、そのハードウェア自体がコンピュータに相当する。ハードウェアは、少なくとも、CPU等のマイクロプロセッサと、記録媒体に記録されたコンピュータプログラムを読み取るための手段とをそなえており、本実施形態においては、情報処理装置 1 がコンピュータとしての機能を有しているのである。

【0031】

さらに、本実施形態における記録媒体としては、上述したフレキシブルディスク, CD, DVD, 磁気ディスク, 光ディスク, 光磁気ディスクのほか、ICカード, ROMカートリッジ, 磁気テープ, パンチカード, コンピュータの内部記憶装置(RAMやROMなどのメモリ), 外部記憶装置等や、バーコードなどの符号が印刷された印刷物等のコンピュータ読取可能な種々の媒体を利用することができる。

【0032】

図3は本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置 10 におけるメッシュ分割部 11 によって形成されるセル(メッシュ要素) 100 の例を示す図である。

セル 100 は、図3に示すように、複数の格子点(ノード) 101 (101a, 101b, 101c, 101d, 101e, 101f, 101g, 101h)とこれらの格子点 101 を相互に連結する格子線 102 とにより六面体(ヘキサ)要素として形成され、メッシュ分割部 11 は、多層膜 3 を含む解析対象領域を、このような複数のセル 100 に分割するようになっている。

【0033】

本実施形態においては、メッシュ分割部 11 は、解析対象領域を、図3に示すような六面体要素として形成されたセル 100 を用いてメッシュ分割するようになっており、これにより、解析対象領域における任意の点が、メッシュ分割して作成され前後左右上下方向に連続する複数のセル 100 のうち、いずれかのセル 100 に内包されるようになっている。

【0034】

なお、本実施形態においては、図3に示すように、セル 100 を構成する 8 つの格子点に、それぞれ符号 101a, 101b, 101c, 101d, 101e, 101f, 101g, 101h を付して示しており、以下、格子点を示す符号としては、複数の格子点のうち 1 つを特定する必要があるときには符号 101a, 101b, 101c, 101d, 101e, 101f, 101g, 101h を用いるが、任意の格子点を指すときには符号 101 を用いる。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 3 5 】

また、解析対象領域をメッシュ分割する手法は、既知の種々の手法を用いて実現することができ、本実施形態においては、その具体的手法の説明は省略する。

加工条件設定部 1 2 は、多層膜 3 に対する加工処理（プロセス）に関するシミュレーション計算条件（計算条件）の設定を行なうものであり、例えば、多層膜 3 の製造過程において、その表面に対して行なわれる堆積（膜堆積）やエッチング、切削等の各加工処理のシミュレーション計算条件の設定を行なうようになっている。

## 【 0 0 3 6 】

具体的には、加工条件設定部 1 2 は、切削量や成膜量、堆積量、物質定数の他、タイムステップ数やメッシュ数等の計算精度に関するパラメータ等を計算条件として設定するようになっている。

10

界面演算部 1 3 は、加工条件設定部 1 2 により設定された計算条件に基づいて加工処理に関する界面形状変化の演算を行なうものであって、加工条件設定部 1 2 によって設定された計算条件に基づいて、各加工処理後の表面形状（界面形状）を算出するようになっている。

## 【 0 0 3 7 】

なお、本実施形態においては、界面は、図 2 に示すように、多層膜 3 を構成する各素材 a , b , c , d の表面であり、素材 a , b , c , d を構成する素材を堆積することによって形成される面のみならず、これらの素材 a , b , c , d に対してエッチングや切削等の加工を行なうことによって形成される面を含むものである。

20

レベル値設定部 1 4 は、界面演算部 1 3 によって算出された界面形状に基づいて、格子点 1 0 1 毎に、その格子点 1 0 1 と界面との距離に関するレベル値 を設定するものである。レベル値 は、格子点 1 0 1 から多層膜 3 を構成する各素材 a , b , c , d の表面（界面）までの距離を表わす値であり、界面からの距離を絶対値として有するものである。

## 【 0 0 3 8 】

このレベル値 は、複数の素材形状を表す値であって、各プロセス、または素材に対応した計算処理毎に生成されるようになっている。そして、多層膜 3 の製造過程において、加工処理が行なわれる度に、その加工処理後の界面に対応してレベル値 の追加処理がそれぞれなされるようになっている。

また、レベル値 においては、格子点 1 0 1 が構造物（多層膜 3）の内側に位置する場合（例えば、図 2 の格子点 1 0 1 b , 1 0 1 c）には、-（マイナス）の符号を、又、格子点 1 0 1 が構造物（多層膜 3）の外側に位置する場合（例えば、図 2 の格子点 1 0 1 a , 1 0 1 d）には、+（プラス）の符号を、それぞれ付すようになっている。

30

## 【 0 0 3 9 】

そして、本実施形態においては、レベル値 [ n ] と示すことにより、多層膜 3 における n 層目（n は自然数）の素材の界面に対するレベル値を表わすものとする。

図 2 に示す例においては、格子点 1 0 1 c について、素材 a の表面（素材 a と素材 b との界面）に対してレベル値 [ 1 ] = - 0 . 3 を、素材 b の表面（素材 b と素材 c との界面）に対してレベル値 [ 2 ] = - 0 . 4 を、素材 c の表面（素材 c と素材 d との界面）に対してレベル値 [ 3 ] = - 0 . 5 を、それぞれ設定することにより、多層膜 3 の構造が表現されている。

40

## 【 0 0 4 0 】

同様に、格子点 1 0 1 d について、素材 a の表面（素材 a と素材 b との界面）に対してレベル値 [ 1 ] = + 0 . 7 を、素材 b の表面（素材 b と素材 c との界面）に対してレベル値 [ 2 ] = + 0 . 6 を、素材 c の表面（素材 c と素材 d との界面）に対してレベル値 [ 3 ] = + 0 . 5 を、それぞれ設定することにより、多層膜 3 の構造が表現されている。

## 【 0 0 4 1 】

また、前述したように、図 2 に示す例は素材 d を形成する過程を示しており、この素材 d の表面（形状変化部分）を見ている状態を示しているため、格子点 1 0 1 c に対しての

50

、形状変化部分のレベル値  $n o w = - 0 . 6$ 、格子点  $1 0 1 d$  についての形状変化部分のレベル値  $n o w = 0 . 4$  となっている。

そして、上述の如く設定された各素材  $a, b, c, d$  の界面のレベル値 は、その界面に対応付けて、格子点  $1 0 1$  毎に、ハードディスク  $2 0$  にレベル値情報  $2 8$  として格納されるようになっている。具体的には、本実施形態においては、レベル値 は、その界面を表面としてそなえる層（素材）を特定するための番号  $N L$ （ $N L$  は自然数）および格子点  $1 0 1$  を特定するためのコード等と対応付けて、レベル値情報  $2 8$  としてハードディスク  $2 0$  に格納されている。

#### 【 0 0 4 2 】

また、ハードディスク  $2 0$  においては、界面とその界面を形成する該加工処理に係る情報とを対応付けて構成された加工処理情報  $2 9$  が格納されている。具体的には、加工処理情報  $2 9$  は、本実施形態においては、界面を特定するための番号  $N L$  と、この番号  $N L$  によって特定される素材に関する情報（素材情報；加工処理に係る情報）とを対応付けることにより構成されている。

#### 【 0 0 4 3 】

なお、格子点  $1 0 1$  を特定するための情報としては、各格子点  $1 0 1$  に予め設定したコード等を用いることができ、又、素材情報としては、例えば、その素材に予め設定されたコードや素材名等を用いることができる。

位置取得部  $1 5$  は、多層膜  $3$  の構造を検証する検証位置を取得するものであり、オペレータによりキーボード  $2 4$  やマウス  $2 5$  等を介して入力されたり、他のアプリケーションから通知される素材判定位置座標（検証位置）を、入出力インターフェース  $2 1$  を介して取得するようになっている。

#### 【 0 0 4 4 】

また、位置取得部  $1 5$  は、取得した素材判定位置座標に基づいて、解析対象領域において前後左右上下方向に連続する複数のセル  $1 0 0$  のうち、その素材判定位置座標を含む（内包する）セル  $1 0 0$  を特定するようになっている。

補間計算部  $1 6$  は、位置取得部  $1 5$  によって取得された検証位置座標（ $S X, S Y, S Z$ ）に基づいて、以下に示す補間関数式（ $1$ ）を用いてレベル値の補間計算を行なうものである。

$$\begin{aligned} (X, Y, Z) = & (-, -, -) * (1 - SX) * (1 - SY) * (1 - SZ) / 8 \\ + & (-, -, +) * (1 - SX) * (1 - SY) * (1 + SZ) / 8 \\ + & (-, +, -) * (1 - SX) * (1 + SY) * (1 - SZ) / 8 \\ + & (-, +, +) * (1 - SX) * (1 + SY) * (1 + SZ) / 8 \\ + & (+, -, -) * (1 + SX) * (1 - SY) * (1 - SZ) / 8 \\ + & (+, -, +) * (1 + SX) * (1 - SY) * (1 + SZ) / 8 \\ + & (+, +, -) * (1 + SX) * (1 + SY) * (1 - SZ) / 8 \\ + & (+, +, +) * (1 + SX) * (1 + SY) * (1 + SZ) / 8 \quad \dots (1) \end{aligned}$$

なお、上記補間関数式（ $1$ ）中の  $(+, -, +), (+, -, -), (+, +, -), (+, +, +), (-, -, +), (-, -, -), (-, +, -), (-, +, +)$  は、それぞれ図  $3$  に示すセル  $1 0 0$  を構成する格子点  $1 0 1 a, 1 0 1 b, 1 0 1 c, 1 0 1 d, 1 0 1 e, 1 0 1 f, 1 0 1 g, 1 0 1 h$  に設定されたレベル値である。

#### 【 0 0 4 5 】

図  $4$  は本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置  $1 0$  の補間計算部  $1 6$  によって用いられる補間関数式（ $1$ ）を説明するための図である。この図  $4$  においては、図  $3$  に示すセル  $1 0 0$  を構成する格子点  $1 0 1 a, 1 0 1 b, 1 0 1 c, 1 0 1 d, 1 0 1 e, 1 0 1 f, 1 0 1 g, 1 0 1 h$  にそれぞれ設定されたレベル値を、 $(+, -, +), (+, -, -), (+, +, -), (+, +, +), (-, -, +), (-, -, -), (-, +, -), (-, +, +)$  として表わしている。

## 【 0 0 4 6 】

例えば、 $(+, +, +)$ は、図2において、格子点101dに設定されたレベル値 [ 1 ] , [ 2 ] , [ 3 ] , nowを示すものである。なお、図4に示すセル100の各辺の長さ(セルサイズ)はそれぞれ1とする。

補間計算部16は、位置取得部15によって特定されたセル100について、その各格子点101に対してそれぞれ設定された各レベル値を取得し、上述した補間関数式(1)に対して、これらのレベル値を用いて計算することにより、各レベル値の補間計算を行なうようになっている。

## 【 0 0 4 7 】

界面特定部17は、補間計算部16により算出されたレベル値に基づいてハードディスク20に格納されたレベル値情報28を参照して、予め設定された素材選択条件を満たすレベル値に対応する素材を特定するものである。素材選択条件をみたす素材を判定するフローチャートは図6に示される。

この素材選択条件は、具体的には、(1)レベル値 [ NL ] が0よりも小さく、且つ、レベル値 [ NL - 1 ] が0以上であること、および(2)NLが0であること、の3つの条件のいずれか1つに該当することである。NLが-1となる場合はそこには素材が存在しないことを示す。

## 【 0 0 4 8 】

情報取得部18は、界面特定部17により認識された界面に基づいてハードディスク20に格納された加工処理情報29を参照して、その界面に対応する加工処理に係る情報(本実施形態においては素材情報)を取得するものである。

そして、この情報取得部18によって取得された素材情報は、素材判定位置について素材情報としてディスプレイ26に表示(出力)され、オペレータに通知されるようになっている。

## 【 0 0 4 9 】

上述の如く構成された本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置10においては、先ず、メッシュ分割部11が、多層膜3を含む解析対象領域を、複数のセル100にメッシュ分割し(メッシュ分割ステップ)、このようにメッシュ分割された解析対象領域において、多層膜3の製造工程のシミュレーションが行なわれる。

そして、このシミュレーションを行なうに際して、解析対象領域内のセル100を構成する全ての格子点101について、多層膜3を形成する各層の界面に対するレベル値がそれぞれ設定される。

## 【 0 0 5 0 】

ここで、本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置10におけるレベル値の設定手法を、図5に示すフローチャート(ステップA10~A80)に従って説明する。なお、以下、変数NLには自然数が設定されるものとする。

先ず、レベル値設定部14は、初期のレベル値、すなわち、素材aの表面のレベル値を、レベル値 now および [ 1 ] に設定するとともに、変数NL = 1 と設定することにより、初期化を行なう(ステップA10; レベル値設定ステップ)。又、多層膜3の製造において、その表面に対して最初に行なわれる加工処理(プロセス)が選択される。

## 【 0 0 5 1 】

次に、加工条件設定部12が、多層膜3の製造において、その表面に対して行なわれる加工処理(プロセス)について、計算条件の設定を行う(ステップA20; 加工条件設定ステップ)。界面演算部13が、加工条件設定部12によって設定された計算条件に基づいて、各加工処理での表面形状(界面形状)に対応するレベル値 now および max と min を算出する(ステップA30; 界面演算ステップ, レベル値設定ステップ, 最小レベル値格納ステップ)。

## 【 0 0 5 2 】

また、この界面と界面を形成する層の素材情報とが対応付けられて加工処理情報29としてハードディスク20に格納される(加工処理情報格納ステップ)。

10

20

30

40

50

次に、レベル値設定部 14 は、ステップ A 20 において設定された計算条件に基づいて、そのプロセスにおいて、「A：界面が内向き（内側）にのみ移動する（例えば、エッチングや現像）」、「B：界面が外向き（外側）にのみ移動する（例えば製膜）」および「C：界面が内向きと外向きの両方に移動しうる」のいずれに該当するかを判断する（ステップ A 40）。

【0053】

ここで、「A：界面が内向きにのみ移動する」もしくは「B：界面が外向きにのみ移動する」場合には（ステップ A 40 の A、B ルート参照）、ハードディスク 20 のレベル値情報 28 における  $[NL + 1]$  に  $now$  の値を格納するとともに（レベル値情報格納ステップ）、NL をインクリメント ( $NL = NL + 1$ ) する（ステップ A 50）。

10

また、「C：面が内向きと外向きの両方に移動しうる」場合には（ステップ A 40 の C ルート参照）、ハードディスク 20 のレベル値情報 28 における  $[NL + 1]$  に  $min$  の値を格納するとともに、レベル値情報 28 における  $[NL + 2]$  に  $max$  の値を格納し（レベル値情報格納ステップ）、更に、NL の値を 2 増加 ( $NL = NL + 2$ ) する（ステップ A 60）。

【0054】

なお、上述したステップ A 20 ~ A 60 にかかる処理は、各ステップで解析対象領域内の全ての格子点 101 についてそれぞれ行なわれる。

そして、レベル値設定部 14 は、多層膜 3 の製造において、その表面に対して行なわれる全ての加工処理（プロセス）について処理が完了したか否かを判断し（ステップ A 70）、

20

【0055】

全てのプロセスについて処理を完了した場合には（ステップ A 70 の YES ルート参照）、処理を完了する。

次に、本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置 10 における多層膜 3 の任意位置での素材の判定手法を、図 6 に示すフローチャート（ステップ B 10 ~ B 80）に従って説明する。

【0056】

例えば、オペレータが、キーボード 24 やマウス 25 を用いて素材判定位置の入力を行なうと、位置取得部 15 が、その素材判定位置座標を取得して（ステップ B 10；位置取得ステップ）、その素材判定位置座標が含まれるセル 100 を特定する。描画プログラム等の他のプログラムで形状を表示する場合も描画プログラムから素材判定位置が指定される。

30

【0057】

次に、補間計算部 16 が、位置取得部 15 によって取得された素材判定位置座標 ( $SX, SY, SZ$ ) と、ステップ B 10 において選択されたセル 100 の各格子点 101 に設定された各レベル値 とに基づいて、前述した補間関数式 (1) を用いて、その素材判定位置におけるレベル値 を算出（補間計算）する（ステップ B 20；補間計算ステップ）。

40

【0058】

また、補間計算部 16 は、ハードディスク 20 のレベル値情報 28 を参照して、格納されているレベル値 の総数 ( $NLM_{max}$ ) を取得して、変数 NL にこの  $NLM_{max}$  の値を設定することにより、変数 NL の初期化を行なう（ステップ B 30）。

本実施形態においては、多層膜 3 については、その外側（表面に最後に形成された層）から順番に検証を行なうことにより、製造プロセスにおいて一旦形成された層が切削（削除）された場合においても、支障なく検証を行なうことができるようになっている。

【0059】

そして、補間計算部 16 は、NL の値に基づいてレベル値情報 28 を参照して、レベル値  $[NL]$  を取得し、そのレベル値  $[NL]$  が 0 以上であるか否かを判断する（ステ

50

ップB40)。0以上であれば、素材なしを示す $NL = -1$ を値として返却する。

レベル値 [NL]が0よりも小さい場合には(ステップB40のNOルート参照)、補間計算部16は、次に、そのレベル値 [NL]が0よりも小さく、且つ、レベル値 [NL - 1]が0以上であるか、もしくは、NLが0であるか否かを判断する(ステップB60; 界面特定ステップ)。

#### 【0060】

なお、レベル値 [NL]が0よりも小さい、すなわち、レベル値 [NL]の値が負であることは、その検証位置には素材が存在する(埋まっている)ことを示しており、レベル値 [NL - 1]が0以上であることは、その検証位置には素材が存在しない(埋まっていない)ことを示している。

10

ここで、レベル値 [NL]が0よりも小さく、且つ、レベル値 [NL - 1]が0以上である、もしくは、NLが0である場合には(ステップB60のYESルート参照)、その変数NLを取得(出力)し、情報取得部18が、ハードディスク20に格納されたレベル値情報28を参照して、多層膜3の製造工程におけるNL番目に対応する工程で形成される素材を、素材判定位置での素材として取得し(情報取得ステップ)、処理を終了する(ステップB80)。そして、この取得された素材の情報がディスプレイ26等に表示・出力され(出力ステップ)、オペレータに提示される。

#### 【0061】

また、レベル値 [NL]が0よりも小さく、且つ、レベル値 [NL - 1]が0以上という条件を満たさない、もしくは、NLが0以外の値である場合には(ステップB60

20

のNOルート参照)、NLの値をデクリメント( $NL = NL - 1$ )して(ステップB70)、ステップB60に戻る。

#### 【0062】

このように、本発明の一実施形態としてのシミュレーション装置10によれば、格子点101毎に、その格子点と多層膜3における各界面との距離に関するレベル値を設定することにより、このレベル値を用いて多層膜3の構造を表現することができ、セルサイズに関係なく多層膜3の構造を表現することができる。これにより、セルサイズよりも小さな寸法を持つ複数の素材形状の表現が可能であり、又、セルサイズを大きくすることが

30

でき、メモリ消費量や計算実行速度を向上できる。

#### 【0063】

そして、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、本発明の趣旨を逸脱しない範囲で種々変形して実施することができる。

例えば、上述した実施形態では、メッシュ分割部11が、解析対象領域を立方体として形成されたセル100を用いてメッシュ分割しているが、これに限定されるものではなく、例えば、四面体(テトラ)要素として形成されたセルや、直交格子や八分木メッシュ等、種々の形状をそなえたセルを用いてメッシュ分割してもよい。

#### 【0064】

なお、セルの形状を六面体要素以外の形状として本発明を実施する場合には、補間計算部16は、上述した補間関数式(1)に代えて、そのセルの形状に合った補間関係式を用いて、検証位置座標にかかるレベル値の補間計算を行なう必要があることは言うまでもない。かかる補間関数式は、例えば、非構造分野における有限要素法の基礎(原武久著、昭晃堂)を参照する等により導くことができる。

40

#### 【0065】

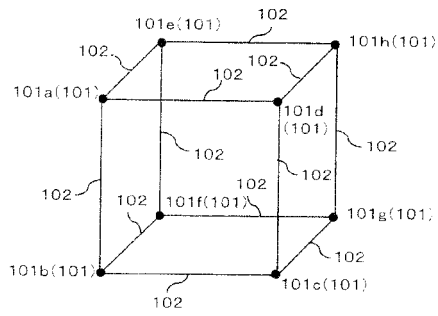
また、上述した実施形態においては、多層膜3の形状シミュレーションを行なう例について説明しているが、これに限定されるものではなく、LSI等の半導体部品等の種々の形状シミュレーションに用いてもよい。

すなわち、本発明は、複数の素材を堆積して形成される構成をそなえた構造物や、複数の加工処理をその表面に順次行なうことにより形成される構造物の形状シミュレーション

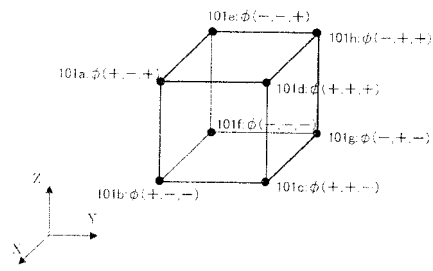
50



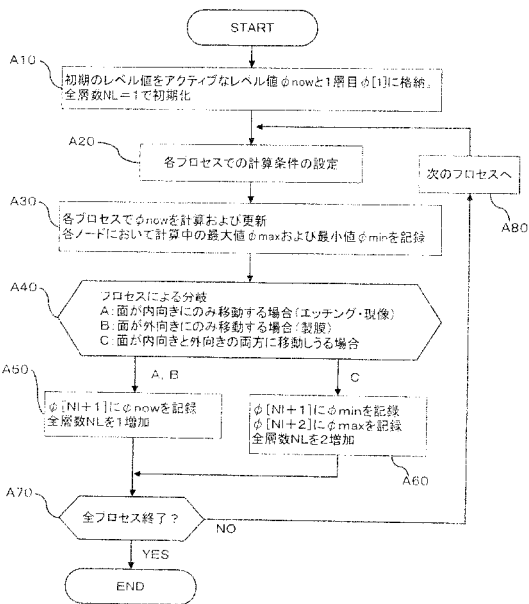
【図3】



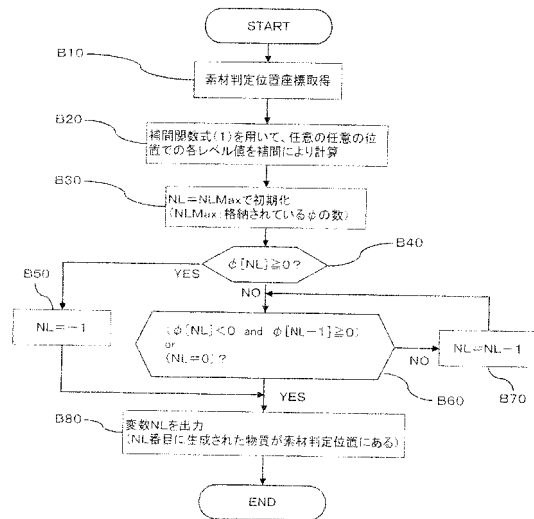
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2000-340476(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 21/00