

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2014-123735

(P2014-123735A)

(43) 公開日 平成26年7月3日(2014.7.3)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
H 0 1 L 21/00	(2006.01)	H 0 1 L 21/00		5 B 0 4 6
G 0 6 F 17/50	(2006.01)	G 0 6 F 17/50	6 6 6 S	
B 8 2 Y 35/00	(2011.01)	B 8 2 Y 35/00		

審査請求 有 請求項の数 18 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2013-262911 (P2013-262911)	(71) 出願人	304039548
(22) 出願日	平成25年12月19日 (2013.12.19)		コリア・インスティテュート・オブ・サイ
(31) 優先権主張番号	10-2012-0150554		エンス・アンド・テクノロジー
(32) 優先日	平成24年12月21日 (2012.12.21)		大韓民国, ソウル 136-791, ソン
(33) 優先権主張国	韓国 (KR)		ブックーク, ファランノ 14-ギル 5
(特許庁注: 以下のものは登録商標)		(74) 代理人	110000338
1. WCDMA			特許業務法人HARAKENZO WOR
			LD PATENT & TRADEMA
			R K
		(72) 発明者	クァン リョル, イ
			大韓民国, 137-948, ソウル, ソチ
			ョーグ, チャムオン・ドン, トンア アパ
			ートメント, #103-2010

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ナノ素子設計用仮想実験装置およびナノ素子の設計のための仮想実験方法

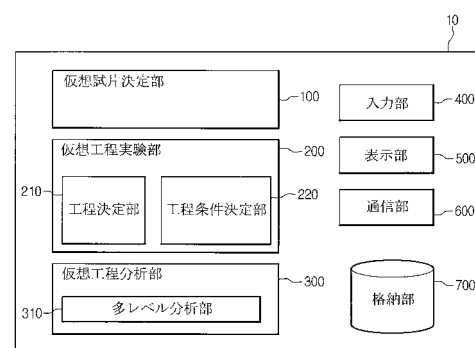
(57) 【要約】 (修正有)

【課題】ナノ素子設計用仮想実験装置およびその方法が提供される。

【解決手段】ナノ素子の設計のための仮想実験物質を決定する仮想試片決定部100と、仮想試片決定部で決定された仮想実験物質に一つ以上の工程を適用する仮想工程実験部200、および仮想工程実験部で仮想実験物質に適用されたそれぞれの工程結果を分析する仮想工程分析部300と、を含む、ナノ素子設計用仮想実験装置10を含む。仮想工程分析部は、工程結果を、一つ以上の粒子レベルを基準として分析する多レベル分析部をさらに含む。

【選択図】図1

図 1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

ナノ素子の設計のための仮想実験物質を決定する仮想試片決定部と、
前記仮想試片決定部で決定された仮想実験物質の一つ以上の工程を適用する仮想工程実験部と、
前記仮想工程実験部で前記仮想実験物質に適用されたそれぞれの工程結果を分析する仮想工程分析部と、
を含む、ナノ素子設計用仮想実験装置。

【請求項 2】

前記仮想工程分析部は、前記工程結果を、一つ以上の粒子レベルを基準として分析する多レベル分析部をさらに含む、請求項 1 に記載のナノ素子設計用仮想実験装置。 10

【請求項 3】

前記多レベル分析部は、前記工程結果を量子力学計算に基づいた電子レベル、原子間のポテンシャルを用いて古典力学的計算を行う分子レベル、および連続体レベルで分析する、請求項 2 に記載のナノ素子設計用仮想実験装置。

【請求項 4】

前記仮想工程実験部は、前記仮想実験物質に適用する一つ以上の工程の種類、回数、または順序を決定する工程決定部をさらに含む、請求項 1 または 2 に記載のナノ素子設計用仮想実験装置。

【請求項 5】

前記仮想工程実験部は、前記仮想実験物質に適用する一つ以上の工程条件を変更する工程条件決定部をさらに含む、請求項 1 または 2 に記載のナノ素子設計用仮想実験装置。 20

【請求項 6】

前記仮想試片決定部は、
仮想実験物質のうちのウェハー基板の材料、初期厚さ、結晶方向、または初期ドーピング、
実験領域の大きさおよび位置、
メッシュ (mesh) のレゾリューション (resolution) および特性、
のうちの少なくともいずれか一つを決定する、請求項 1 に記載のナノ素子設計用仮想実験装置。 30

【請求項 7】

前記工程は、アニーリング、酸化、拡散、蒸着、注入 (Implantation)、露光、エッチング、CMP (Chemical Mechanical Planarization)、ALD (atomic layer deposition)、スパッタリングのうちのいずれか一つである、請求項 1 に記載のナノ素子設計用仮想実験装置。

【請求項 8】

前記工程条件は、温度、圧力、不純物調節のうちのいずれか一つである、請求項 5 に記載のナノ素子設計用仮想実験装置。

【請求項 9】

前記仮想工程分析部は、電子構造、電流 - 電圧分布、原子力電子顕微鏡 (Atomic Force Microscope、AFM)、RDF、ストレス (Stress) を分析する、請求項 1 に記載のナノ素子設計用仮想実験装置。 40

【請求項 10】

ナノ素子の設計のための仮想実験物質を決定する段階と、
前記決定された仮想実験物質の一つ以上の工程を適用する段階と、
前記仮想実験物質に適用されたそれぞれの工程結果を分析する段階と、
を含む、ナノ素子の設計のための仮想実験方法。

【請求項 11】

前記工程結果を分析する段階は、前記工程結果を、一つ以上の粒子レベルを基準として分析する段階をさらに含む、請求項 10 に記載のナノ素子の設計のための仮想実験方法。 50

【請求項 1 2】

前記粒子レベルを基準として分析する段階は、前記工程結果を電子レベル、分子レベル、および連続体レベルで分析する、請求項 1 1 に記載のナノ素子の設計のための仮想実験方法。

【請求項 1 3】

前記一つ以上の工程を適用する段階は、前記仮想実験物質に適用する一つ以上の工程の種類、回数、または順序を決定する段階をさらに含む、請求項 1 0 または 1 1 に記載のナノ素子の設計のための仮想実験方法。

【請求項 1 4】

前記一つ以上の工程を適用する段階は、前記仮想実験物質に適用する一つ以上の工程条件を決定する段階をさらに含む、請求項 1 0 または 1 1 に記載のナノ素子の設計のための仮想実験方法。

【請求項 1 5】

前記仮想実験物質を決定する段階は、

仮想実験物質のうちのウェハー基板の材料、初期厚さ、結晶方向、または初期ドーピング、

実験領域の大きさおよび位置、

メッシュ (mesh) のレゾリューション (resolution) および特性、
のうちの少なくともいずれか一つを決定する段階をさらに含む、請求項 1 0 に記載のナノ素子の設計のための仮想実験方法。

【請求項 1 6】

前記工程は、アニーリング、酸化、拡散、蒸着、注入 (Implantation)、露光、エッチング、CMP (Chemical Mechanical Planarization)、ALD (atomic layer deposition)、スパッタリング (Sputtering) のうちのいずれか一つである、請求項 1 0 に記載のナノ素子の設計のための仮想実験方法。

【請求項 1 7】

前記工程条件は、温度、圧力、不純物調節のうちの一つである、請求項 1 4 に記載のナノ素子の設計のための仮想実験方法。

【請求項 1 8】

前記仮想実験物質を決定する段階は、電子構造、電流 - 電圧分布、原子力電子顕微鏡 (Atomic - Force Microscope、AFM)、RDF、ストレス (stress) を分析する段階をさらに含む、請求項 1 0 に記載のナノ素子の設計のための仮想実験方法。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】****【0001】**

本発明は、ナノ素子設計用多次元仮想実験装置およびその方法に関する。より詳しくは、多様な大きさと次元の物質構成粒子を利用して分析するナノ素子設計用仮想実験装置およびその方法に関する。

【背景技術】**【0002】**

Si 基盤の CMOS 素子は、ムーアの法則 (Moore's Law) によりその大きさが小さくなり続けてきて、2008 年には 50 ~ 60 ナノメートルに達するという技術的成果を見せている。しかしながら、素子の大きさがナノメートルのレベルに小さくなるに伴い、素子材料の量子力学的特性が素子の特性を支配するようになり、「Empirical parameters」に依存する既存の TCAD (Technology Computer - Aided Design) は、ナノ素子の特性を正しくシミュレートするのに困難があると予想される。ここで、TCAD は、半導体工程・素子現像に対するモデリングを基盤に製品の特性を予測する基盤技術分野であって、新規な半導体を作製す

10

20

30

40

50

るに際して生産ラインへの適用の前にシミュレーションを行って、１）最適な工程を見出したり、２）作製される半導体の物性および特性を確認したりする過程である。特許文献１は、モンテカルロ方式を用いた半導体スパッタ工程のシミュレーション方法に関するものであるが、原子／分子構造の予測についての開示は全くされていない。このように、次世代ナノ素子を記述するためには、量子力学を基盤とした電子レベルのコンピュータシミュレーション、古典力学に基づく原子レベルのコンピュータシミュレーション、中粒子レベルのモンテカルロコンピュータシミュレーション、および電流シミュレーションなどのコンピュータシミュレーションの結果とこれらをカップリングして素子の特性を解析する多角的コンピュータシミュレーション技術の開発が急がれている実情である。これに加えて、コンピュータシミュレーションと実際の実験との間の理解の隔たりを埋めるための実験室形態のコンピュータシミュレーション道具も必要である。

10

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００３】

【特許文献１】韓国公開特許２００６－００６２６８１号公報（２００６年６月１２日公開）

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】

本発明は、上述の課題を解決するために、ナノ素子およびナノ工程の設計のための新規なパラダイムの解析システムを提供することを目的とする。

20

【０００５】

また、本発明は、巨視的領域で生じる現象とナノスケールで生じる現象のいずれもを考慮したナノ素子の設計技術を提供することを目的とする。

【０００６】

さらに、本発明は、ナノ素子の設計の際に様々な変数を柔軟に変更することができるナノ素子の設計技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【０００７】

一実施例によれば、ナノ素子の設計のための仮想実験物質を決定する仮想試片決定部と、前記仮想試片決定部で決定された仮想実験物質に一つ以上の工程を適用する仮想工程実験部、および前記仮想工程実験部で前記仮想実験物質に適用されたそれぞれの工程結果を分析する仮想工程分析部と、を含む、ナノ素子設計用仮想実験装置が提供される。

30

【０００８】

他の実施例によれば、前記仮想工程分析部は、前記工程結果を、一つ以上の粒子レベルを基準として分析する多レベル分析部をさらに含む、ナノ素子設計用仮想実験装置が提供される。

【０００９】

また他の実施例によれば、前記多レベル分析部は、前記工程結果を量子力学計算に基づいた電子レベル、分子レベル、および連続体レベルで分析する、ナノ素子設計用仮想実験装置が提供される。

40

【００１０】

さらに他の実施例によれば、前記仮想工程実験部は、前記仮想実験物質に適用する一つ以上の工程の種類、回数または、順序を決定する工程決定部をさらに含む、ナノ素子設計用仮想実験装置が提供される。

【００１１】

また他の実施例によれば、前記仮想工程実験部は、前記仮想実験物質に適用する一つ以上の工程条件を変更する工程条件決定部をさらに含む、ナノ素子設計用仮想実験装置が提供される。

【００１２】

50

さらに他の実施例によれば、前記仮想試片決定部は、仮想実験物質のうちのウェハー基板の材料、初期厚さ、結晶方向、または初期ドーピング、実験領域の大きさおよび位置、メッシュ (mesh) のレゾリューション (resolution)、特性のうちの少なくともいずれか一つを決定する、ナノ素子設計用仮想実験装置が提供される。

【 0 0 1 3 】

また更なる実施例によれば、前記工程は、アニーリング、酸化、拡散、蒸着、注入 (Implantation)、露光、エッチング、CMP (Chemical Mechanical Planarization)、ALD (atomic layer deposition)、スパッタリングのうちのいずれか一つである、ナノ素子設計用仮想実験装置が提供される。

10

【 0 0 1 4 】

また他の実施例によれば、前記工程条件は、温度、圧力、不純物調節のうちのいずれか一つである、ナノ素子設計用仮想実験装置が提供される。

【 0 0 1 5 】

また他の実施例によれば、前記仮想工程分析部は、電子構造、電流 - 電圧分布、原子力電子顕微鏡 (Atomic - Force Microscope、AFM)、RDF、ストレス (Stress) を分析する、ナノ素子設計用仮想実験装置が提供される。

【 0 0 1 6 】

他の実施例によれば、ナノ素子の設計のための仮想実験物質を決定する段階と、前記決定された仮想実験物質に一つ以上の工程を適用する段階、および前記仮想実験物質に適用されたそれぞれの工程結果を分析する段階と、を含む、ナノ素子の設計のための仮想実験方法が提供される。

20

【 0 0 1 7 】

また他の実施例によれば、前記工程結果を分析する段階は、前記工程結果を、一つ以上の粒子レベルを基準として分析する段階をさらに含む、ナノ素子の設計のための仮想実験方法が提供される。

【 0 0 1 8 】

さらなる実施例によれば、前記粒子レベルを基準として分析する段階は、前記工程結果を電子レベル、分子レベル、および連続体レベルで分析する、ナノ素子の設計のための仮想実験方法が提供される。

30

【 0 0 1 9 】

また他の実施例によれば、前記一つ以上の工程を適用する段階は、前記仮想実験物質に適用する一つ以上の工程の種類、回数、または、順序を決定する段階をさらに含む、ナノ素子の設計のための仮想実験方法が提供される。

【 0 0 2 0 】

また他の実施例によれば、前記一つ以上の工程を適用する段階は、前記仮想実験物質に適用する一つ以上の工程条件を決定する段階をさらに含む、ナノ素子の設計のための仮想実験方法が提供される。

【 0 0 2 1 】

また他の実施例によれば、前記仮想実験物質を決定する段階は、仮想実験物質のうちのウェハー基板の材料、初期厚さ、結晶方向、または初期ドーピング、実験領域の大きさおよび位置、メッシュ (mesh) のレゾリューション (resolution)、特性のうちの少なくともいずれか一つを決定する段階をさらに含む、ナノ素子の設計のための仮想実験方法が提供される。

40

【 0 0 2 2 】

また他の実施例によれば、前記工程は、アニーリング、酸化、拡散、蒸着、注入 (Implantation)、露光、エッチング、CMP (Chemical Mechanical Planarization)、ALD (atomic layer deposition)、スパッタリング (Sputtering) のうちのいずれか一つである、ナノ素子の設計のための仮想実験方法が提供される。

50

【 0 0 2 3 】

また他の実施例によれば、前記工程条件は、温度、圧力、不純物調節のうちの一つである、ナノ素子の設計のための仮想実験方法が提供される。

【 0 0 2 4 】

また他の実施例によれば、前記仮想実験物質を決定する段階は、電子構造、電流 - 電圧分布、原子力電子顕微鏡 (A t o m i c - F o r c e M i c r o s c o p e 、 A F M) 、 R D F 、 ス ト レ ス (s t r e s s) を分析する段階をさらに含む、ナノ素子の設計のための仮想実験方法が提供される。

【 発 明 の 効 果 】

【 0 0 2 5 】

10

一実施例によれば、次世代ナノ素子を記述するための、1) 量子力学、2) 原子レベル、および3) 連続体レベルの計算を基盤として素子の特性についての解析技術を提供する効果を奏する。

【 0 0 2 6 】

すなわち、分子動力学シミュレーション、k - M C シミュレーション、第一原理電子構造計算、量子力学基盤の電子輸送計算技法を用いて実際の実験環境とほぼ類似した仮想の実験空間を構築することができる効果を奏する。

【 0 0 2 7 】

さらには、ナノ素子の設計時の工程の種類、順序、回数、または工程条件を変更自在にして、融通性 (h i g h l y - f l e x i b l e) のあるナノ素子の設計技術を提供することができる効果を奏する。

20

【 図 面 の 簡 単 な 説 明 】

【 0 0 2 8 】

【 図 1 】 一実施例に係るナノ素子設計用仮想実験装置の内部構成を示す図である。

【 図 2 】 一実施例に係るナノ素子設計用仮想実験方法を示すフローチャートである。

【 発 明 を 実 施 す る た め の 形 態 】

【 0 0 2 9 】

後述する本発明に関する詳細な説明は、本発明が実施され得る特定の実施例を例示する添付の図面を参照する。これらの実施例では、当業者が本発明を容易に実施できるように詳細に説明されている。本発明の種々の実施例は、互いに異なるものであるが、相互排他的である必要はないということが理解できるであろう。例えば、これに記載されている特定の形状、構造、および特性は、一実施例に関連して本発明の精神および範囲を逸脱することなく他の実施例で具現できる。また、それぞれの開示された実施例中の個別の構成要素の位置または配置は、本発明の精神および範囲を逸脱することなく変更してよいことが理解できるであろう。したがって、後述する詳細な説明は限定的な意味として読み取られるものではなく、また、本発明の範囲は、適切に説明されているならば、その請求項が主張する範囲と均等なすべての範囲とともに添付の請求項のみによって限定される。図面において類似の図面符号は、様々な側面にわたって同一または類似の機能を指し示す。

30

【 0 0 3 0 】

ナノスケールで生じる現象自体がマクロ (m a c r o) 規模のそれとは異なり、工程中の観察が不可能であり且つ実験的分析もまた極めて制限的である。そのため、計算科学を用いた研究の重要性と価値が大きく増大している。すなわち、原子と電子レベルで工程をシミュレートし、また当該規模で界面と素子の構造をシミュレートする必要がある、これを深く理解するためには、量子力学に基づいた電子の移動特性をシミュレートできなければならない。このためには、量子化学的反應解析技術、分子動力学、およびモンテカルロ解析技術、量子論的電子輸送論、巨大規模計算技術、およびこのような多次元のコンピュータシミュレーション技法の多レベルスケールブリッジング (s c a l e b r i d g i n g) による多次元計算技法などの新規な技術が必要である。

40

【 0 0 3 1 】

図 1 は、一実施例に係るナノ素子設計用仮想実験装置 1 0 の内部構成を示す図である。

50

ナノ素子設計用仮想実験装置 10 は、仮想試片決定部 100、仮想工程実験部 200、仮想工程分析部 300 を含んでいてよい。また、入力部 400、表示部 500、通信部 600、格納部 700 をさらに含んでいてよい。

【0032】

仮想試片決定部 100 は、ナノ素子の設計のための仮想実験物質を決定する役割をする。仮想試片決定部 100 では、ナノ素子の設計のための仮想実験物質のうちのウェハ基板の材料、初期厚さ、結晶方向、または初期ドーピングを決定することができる。初期ドーピングは、単位体積当たり原子数の濃度にて設定してよい。また、実験領域 (simulation domain) の大きさおよび位置を決定してよい。さらには、幾何構造を表現するのに用いるメッシュのレゾリューション (resolution) および特徴を決定していてもよい。なお、これらに制限されるものではなく、仮想実験物質に関わるあらゆる情報を設定することが可能である。例えば、回路基板は、シリコン物質であり、 $0.6\mu\text{m}$ の初期厚さを有し、 $\langle 110 \rangle$ の結晶方向を有してよい。ドーピングは、 $1.017\text{atoms}/\text{cm}^3$ 濃度のホウ素 (Boron) のドーピングの量であり、 $(0.0, 0.1, -0.1) \sim (0.4, 0.5, 1.5)$ の実験領域において、メッシュのレゾリューションは、X 軸方向に $0.02\mu\text{m}$ 、Y 軸方向に $0.01\mu\text{m}$ 、Z 軸方向に $0.05\mu\text{m}$ の基本レベルで設定してよい。

【0033】

仮想工程実験部 200 は、仮想試片決定部 100 で決定された仮想実験物質の一つ以上の実験的工程をコンピュータシミュレーションの次元で適用する役割をする。すなわち、予め実現された工程アルゴリズムを仮想実験物質に適用し、実際の仮想実験物質を操作する役割をする。工程アルゴリズムは、仮想工程実験部内に直接格納されていてよいが、格納部 700 に格納され、仮想工程実験部 200 の駆動の際に参照する形でなされていてもよい。また、工程アルゴリズムは、必ずしもナノ素子設計用仮想実験装置 10 の内部に存在する必要はない。通信部 600 を介してインフィニバンド (Infiniband) などの高速の有線・無線通信を用いて、ナノ素子設計用仮想実験装置 10 の外部の格納部に格納された工程アルゴリズムを参照していてもよい。

【0034】

仮想工程実験部 200 で実行できる工程は、アニーリング、酸化、拡散、蒸着、注入 (Implantation)、露光、エッチング、CMP (Chemical Mechanical Planarization)、ALD (atomic layer deposition)、スパッタリング (Sputtering) を含んでいてよい。また、実験で実際に使用中の工程も追加されていてよい。

【0035】

なお、明細書において具体的に言及しなくても、ナノ素子の設計のためのあらゆる工程を含んでいてよく、特に前記工程に制限されるものではない。

【0036】

仮想工程実験部 200 は、工程決定部 210 と工程条件決定部 220 をさらに含んでいてよい。工程決定部 210 は、仮想実験物質に適用する一つ以上の工程の種類、回数、または順序を決定する役割をする。後述する仮想工程分析部 300 の当該工程結果の分析に応じて、最初の工程決定の以降でもリアルタイムに工程の種類、回数、または順序を再び決定 (変更) することもできる。仮想工程実験部 200 は、仮想実験物質にいずれの工程を適用するかを決定する。すなわち、前述した様々な工程の中から、完成されるナノ素子の性質、仮想実験物質の特性などの要素を考慮して、いずれの工程を適用するかを先に決定する。適用する工程の種類が決定すれば、次いで、工程の回数も決定することができる。一種の工程を一回だけ適用すればよいが、実験の内容によっては、当該工程を複数回適用してもよいためである。すなわち、工程を重複して実施することができる。工程の種類、回数が決定すれば、次いで、工程の順序が決定される。同じ種類、回数の工程といっても、工程の順序によって仮想実験物質に作用する効果は異なることがあるためである。例えば、仮想実験物質 X に A、B、C の 3 工程を適用すると決定した場合、 $B \rightarrow A \rightarrow C \rightarrow A$

10

20

30

40

50

→ B → A の順に工程の順序を決定する。すなわち、A は 3 回、B は 2 回、C は 1 回といったように工程の回数が決定される。

【0037】

工程条件決定部 220 は、後述する仮想工程分析部 300 の仮想実験物質に適用する一つ以上の工程条件を変更する役割をする。後述する仮想工程分析部 300 の工程結果の分析に応じて、最初の工程条件の設定以降でもリアルタイムに工程条件を決定（変更）することもできる。工程条件は、温度、圧力、不純物調節のうちの一つであってよい。例えば、USJ (Ultra-shallow Junction) モデリングにおいて、シリコンに対するホウ素のドーピング温度を変更しながら、シリコン表面の変化、ホウ素の移動のような材料や材料中の物性および化学的特性の変化を検討することができる。

10

【0038】

仮想工程分析部 300 は、仮想工程実験部 200 において仮想実験物質に適用されたそれぞれの工程結果を分析する役割をする。電子構造、電流 - 電圧分布、原子力電子顕微鏡 (Atomic-Force Microscope、AFM) 画面、RDF、ストレス (Stress) 等を分析できる仮想の分析道具が構築されている。なお、分析の種類はこれらに制限されず、その他多様な分析道具がモジュール化されて追加されていてよく、且つそうすることが予定されている。モジュール化されて追加できるという点は、当該仮想実験装置の主な特徴でもある。すなわち、ナノ素子の特性および単位工程の特性を理解できる分析であれば、いかなる分析でも追加可能である。前記分析は、分子動力学シミュレーション、k-MCシミュレーション、第一原理電子構造計算、量子力学基盤の電子輸送計算技法などに基づいて行われていてよい。

20

【0039】

仮想工程分析部 300 は、多レベル分析部 310 をさらに含んでいてよい。多レベル分析部 310 は、工程結果を、一つ以上の粒子レベルを基準として分析する役割をする。すなわち、多レベル分析部 310 は、工程結果を多レベル (multi-scale) で分析する。1) 量子力学基盤の電子輸送解析、2) 原子および分子レベルの工程解析、3) 素子レベルの工程解析に分けられる。一実施例において、量子力学基盤の電子輸送解析は、スピン偏向した量子、および電荷電流、スピン電流に基づいて関連する 3 次元ナノ電子素子を解析し、また、関連する半導体素子内部の量子力学的効果に基づいて、関連する P 型 MOSFET の電流値を計算することができる。さらには、関連する MOS デバイスにおける電流 - 電圧特性を解析することができる。一実施例において、原子および分子レベルの工程解析は、関連する 2 次元間相互作用エネルギーなどで常温接合状態を予測し、関連する分子動力学的計算方法を適用した原子および分子レベルの工程シミュレーションを行うことができる。一実施例において、素子レベルの工程解析では、関連する半導体素子の特性に応じて、一つ以上のシミュレーションモデルを生成することができる。

30

【0040】

自然科学あるいは材料科学分野を多レベルでシミュレートする場合、電子レベルを用いる量子モデルの分析、分子レベルを用いる電子モデルの分析、および連続体モデルの分析などが考えられる。半導体製造工程を例に挙げると、シリコン電子レベルを用いてシリコン酸化過程を明確に究明する QM (quantum mechanics) 分析、これを基盤として酸化シリコンが構成する半導体の形態を用いる原子モデルの MM (molecular mechanics) 分析、そして半導体の作動特性を穿鑿する連続体モデルの輸送 (transport) 分析を行うことができる。

40

【0041】

入力部 400 は、ナノ素子設計用仮想実験装置 10 を使用する実験者から各種の入力を受け付ける役割をする。実験者から仮想試験物質の決定、仮想実験物質に適用する一つ以上の工程の種類、回数、または順序の決定、工程条件の決定、工程の指示、分析方法の決定をするための入力を受け付ける。入力部 400 は、キーボード、マウス、ジョイスティック、タッチスクリーン、デジタルカメラ、光学式マーク読取装置 (OMR)、バーコード読取装置、磁気インク文字読取装置 (MICR) であってよい。また、後述する通信部

50

600を介して外部へ転送された情報を受信して入力することもできる。入力部400は、実験者からの入力を受け付ける機能さえ遂行できるものであればよく、その形態は制限されない。

【0042】

表示部500は、ナノ素子設計用仮想実験装置10の現在の状態を表示する役割をする。入力部400を介して受け取った入力情報、仮想工程実験部200で仮想実験物質に適用された工程結果、仮想工程分析部300で分析された分析結果を実験者に表示することができる。表示部500は、LCD(Liquid Crystal Display)、PDP(Plasma Display Panel)、プロジェクターディスプレイであればよく、また、シャッター・ガラス(shutter glass)方式、レンチキュラー(Lenticular)方式、パララックスバリア(parallax barrier)方式などのオートステレオグラフィ(autostereography)、またはホログラム(hologram)を用いた3次元ディスプレイであってもよく、さらには、タッチ入力を認識できるタッチスクリーン形態のディスプレイであってもよい。表示部500は、ナノ素子設計用仮想実験装置10の現在の状態を表示する機能さえ遂行できるものであれば、その形態は制限されない。

【0043】

通信部600は、ナノ素子設計用仮想実験装置10の外部の任意のオブジェクトと通信する役割をする。通信方法は、オブジェクトとオブジェクトがネットワーキングできるすべての通信方法を含むものであってよく、有線/無線通信、3G、4G、あるいはその他の方法に制限されない。ナノ素子設計用仮想実験装置10が有する入力部400を介して受け付けた入力情報、仮想工程実験部200で仮想実験物質に適用された工程結果、仮想工程分析部300で分析された分析結果を含む、やり取り可能なすべての情報は外部のオブジェクトに転送できる。また、前述したとおり、入力部400を介して、外部のオブジェクトからの入力、外部DBからのデータなどを受け取ることができる。無線LAN(Local Area Network)、MAN(Metropolitan Area Network)、GSM(Global System for Mobile Network(登録商標))、EDGE(Enhanced Data GSM Environment)、HSDPA(High Speed Downlink Packet Access)、W-CDMA(Wideband Code Division Multiple Access)、CDMA(Code Division Multiple Access)、TDMA(Time Division Multiple Access)、ブルートゥース(Bluetooth(登録商標))、ジグビー(Zigbee(登録商標))、Wi-Fi、VoIP(Voice over Internet Protocol)、LTE Advanced、IEEE802.16m、WirelessMAN-Advanced、HSPA+、3GPP Long Term Evolution(LTE)、Mobile WiMAX(IEEE 802.16e)、UMB(formerly EV-DO Rev.C)、Flash-OFDM、iBurst and MBWA(IEEE 802.20) systems、HIPERMAN、Beam-Division Multiple Access(BDMA)、Wi-MAX(World Interoperability for Microwave Access)および超音波活用通信からなる群より選択される一つ以上の通信方法にて通信できるが、これらに制限されるものではない。

【0044】

格納部700は、ナノ素子設計用仮想実験装置10内においてデータを格納する役割をする。前述した通り、仮想試片決定部100、仮想工程実験部200、仮想工程分析部300で用いられるデータ、アルゴリズム、および実験ヒストリーデータを格納しておくことができる。格納部700は、公知のデータベース、格納媒体、クラウド格納システムなどであってよく、その形態は制限されない。実施例に従い、仮想試片決定部100、仮想工程実験部200、仮想工程分析部300が自己格納機能を備えていてもよい。また他の

10

20

30

40

50

実施例では、格納部 700 がナノ素子設計用仮想実験装置 10 の外部に存在していてもよい。

【0045】

図 2 は、一実施例に係るナノ素子設計用仮想実験方法を示すフローチャートである。先ず、仮想実験物質を決定する (S10)。前述した通り、ナノ素子の設計のための仮想実験物質のうちのウェハー基板の材料、初期厚さ、結晶方向 (c r y s t a l o r i e n t a t i o n)、または初期ドーピング (i n i t i a l d o p i n g) 等を決定することができる。次いで、仮想実験物質に適用する工程の種類、順序、回数を決定する (S20)。前述した通り、実行できる工程は、アニーリング、酸化、拡散、蒸着、注入 (I m p l a n t a t i o n)、露光、エッチング、CMP (C h e m i c a l M e c h a n i c a l P l a n a r i z a t i o n)、ALD (a t o m i c l a y e r d e p o s i t i o n)、スパッタリング (S p u t t e r i n g) を含んでいてよい。なお、本明細書で具体的に言及しなくても、ナノ素子の設計のためのあらゆる工程を実行可能であり、特にこれらに制限されるものではない。次いで、工程条件を決定する (S30)。前述した通り、温度、圧力、不純物の種類と量などを調節してよい。次いで、S20 段階で決定された工程の種類、順序、回数、および S30 で決定された工程条件に基づいて、仮想実験物質に工程を適用する (S40)。工程の適用後、仮想実験物質に適用されたそれぞれの工程結果を分析する。より具体的に、多レベル (m u l t i - l e v e l) で工程結果を分析する (S50)。工程結果の分析では、前述した通り、電子構造、電流 - 電圧分布、原子力電子顕微鏡 (A t o m i c - F o r c e M i c r o s c o p e、A F M) 画面、RDF、ストレス (S t r e s s) を分析することができる。工程分析の結果が工程目標に到達した場合、実験は終了し (S60; YES)、そうではない場合は (S60; NO)、工程の種類、順序、回数、または工程条件を変更して、仮想工程実験などを再び行わせる (S70)。変更する要因に応じて、S20 段階または S30 段階を繰り返し実施する。

10

20

【0046】

以上、本発明を具体的な構成要素などのような特定の事項と限定された実施例および図面に基づいて説明してきたが、これらは本発明のより全般的な理解を助けるために提示したものに過ぎず、本発明が前記実施例によって限定されるものではなく、本発明の属する技術分野における通常の知識を有する者であれば、このような記載から種々の修正および変形を試みることができる。

30

【0047】

したがって、本発明の思想は、前記説明された実施例に限定されてはならず、添付の特許請求の範囲だけでなく、該特許請求の範囲と均等なもの、または等価的に変形されたあらゆるものが本発明の思想の範疇に属するといえよう。

【符号の説明】

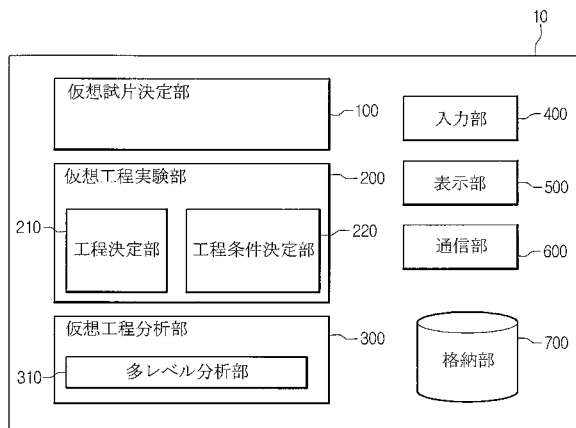
【0048】

- 10 ナノ素子設計用仮想実験装置
- 100 仮想試片決定部
- 200 仮想工程実験部
- 210 工程決定部
- 220 工程条件決定部
- 300 仮想工程分析部
- 310 多レベル分析部
- 400 入力部
- 500 表示部
- 600 通信部
- 700 格納部

40

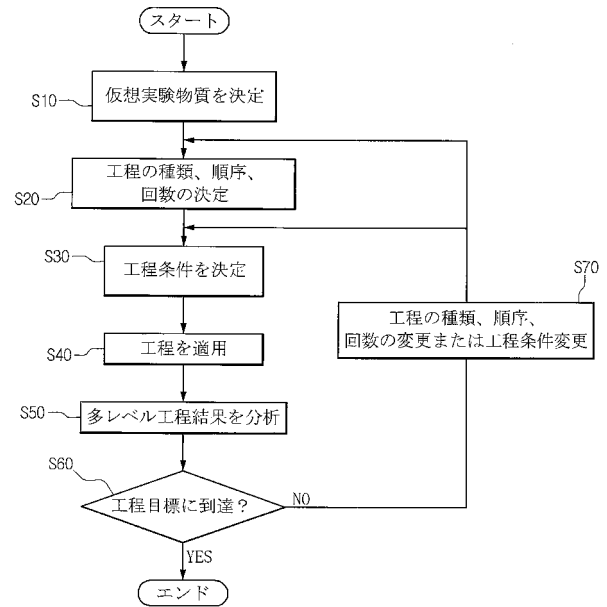
【図 1】

図 1



【図 2】

図 2



フロントページの続き

- (72)発明者 ビョン - ヒョン, キム
大韓民国, 150 - 073, ソウル, ヨンドウンポ - グ, テリム 3 - ドン, 751 - 24
- (72)発明者 チャンス, キム
大韓民国, 139 - 898, ソウル, ノウォン - グ, サンゲ 3 - ドン, 1285, サンゲ トン
ア プラム アパートメント, #101 - 709
- (72)発明者 キュ ボン, キム
大韓民国, 157 - 015, ソウル, カンソ - グ, ウジャンサン - ドン, 73 - 78
- (72)発明者 スンチョル, キム
大韓民国, 136 - 130, ソウル, ソンブク - ク, ファウォルゴク - トン, 21 - 70, #21
0
- (72)発明者 ミノ, イ
大韓民国, 136 - 781, ソウル, ソンブク - ク, チョンアム - ロ 24ガ - キル, 53, エス
ケー アパートメント, #106 - 311
- Fターム(参考) 5B046 AA08 JA04