

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6465766号
(P6465766)

(45) 発行日 平成31年2月6日(2019.2.6)

(24) 登録日 平成31年1月18日(2019.1.18)

(51) Int.Cl.	F 1
B82B 1/00	(2006.01)
B81B 7/02	(2006.01)
B29C 67/00	(2017.01)
B33Y 10/00	(2015.01)
B82Y 40/00	(2011.01)
B82B	1/00
B81B	7/02
B29C	67/00
B33Y	10/00
B82Y	40/00

請求項の数 16 外国語出願 (全 18 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2015-136862 (P2015-136862)
(22) 出願日	平成27年7月8日(2015.7.8)
(65) 公開番号	特開2016-117149 (P2016-117149A)
(43) 公開日	平成28年6月30日(2016.6.30)
審査請求日	平成30年6月27日(2018.6.27)
(31) 優先権主張番号	14/493,041
(32) 優先日	平成26年9月22日(2014.9.22)
(33) 優先権主張国	米国(US)

早期審査対象出願

(73) 特許権者	500520743 ザ・ボーイング・カンパニー The Boeing Company アメリカ合衆国、60606-2016 イリノイ州、シカゴ、ノース・リバーサイド・プラザ、100
(74) 代理人	100108453 弁理士 村山 靖彦
(74) 代理人	100133400 弁理士 阿部 達彦
(74) 代理人	100163522 弁理士 黒田 晋平
(74) 代理人	100154922 弁理士 崔 允辰

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】ナノチューブ粒子デバイス及びそれを用いた方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第一の端部及び第二の端部を有するカーボンナノチューブ(10)と、

粒子射出装置(12)と、

位置決め機構(16)と、

検出センサー(22)とを備えたナノチューブ粒子デバイスであって、

前記粒子射出装置(12)がレーザーを備え、前記粒子射出装置(12)が、前記ナノチューブ(10)の第一の端部に結合されていて、前記粒子射出装置(12)が、前記ナノチューブ(10)から、前記ナノチューブ(10)の第二の端部を越えて位置するターゲット(20)に粒子(14)を射出するように構成されていて、

前記位置決め機構(16)が、前記ターゲット(20)に対して前記ナノチューブ(10)を位置決めするように構成されていて、

前記検出センサー(22)が、前記粒子(14)と前記ターゲット(20)との間の相互作用から発生するエネルギー又は運動を受信して前記位置決め機構(16)に送信して、前記ターゲット(20)に対する前記ナノチューブの相対的な位置を決定するように構成されていて、

前記粒子射出装置(12)が、前記ナノチューブ(10)を位置決めするための低出力で粒子(14)を射出するように構成されていて、前記粒子射出装置(12)が、前記ターゲット(20)の一つ以上の粒子を変位させるための高出力で一つ以上の粒子(14)を射出するように構成されている、ナノチューブ粒子デバイス。

10

20

【請求項 2】

前記粒子(14)が、光子、電子、陽子、原子、及び分子から成る群から選択されている、請求項 1に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【請求項 3】

前記位置決め機構(16)が、機械的結合機構、静電結合機構、電磁的結合機構、又は圧電結合機構を含む、請求項 1又は2に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【請求項 4】

単一原子、原子間の結合、原子間の空間、原子結合、複数の原子結合、分子、又は分子の集団を含むターゲット(20)の特定領域に粒子(14)を照準合わせするように、前記ナノチューブ(10)が位置決めされる、請求項 1から3のいずれか一項に記載のナノチューブ粒子デバイス。 10

【請求項 5】

前記検出センサー(22)が、光学的エネルギー又は運動、機械的エネルギー又は運動、振動のエネルギー又は運動、電気的エネルギー又は運動、感熱的エネルギー又は運動、又は電磁的エネルギー又は運動を含むエネルギー又は運動を感知するための複数のセンサーを備えたセンサーシステムである、請求項 1から4のいずれか一項に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【請求項 6】

前記粒子射出装置(12)が二つのレーザーを備え、第一のレーザーが、前記ナノチューブ(10)を位置決めするための低出力で粒子を射出するように構成されていて、第二のレーザーが、前記ターゲット(20)の一つ以上の粒子を変位させるための高出力で一つ以上の粒子(14)を射出するように構成されている、請求項 1から5のいずれか一項に記載のナノチューブ粒子デバイス。 20

【請求項 7】

請求項 1から6のいずれか一項に記載のナノチューブ粒子デバイスの粒子射出装置(12)を照準合わせするための方法であって、

ナノチューブ(10)をターゲット(20)に向けて位置決めするステップと、

第一の出力で前記ナノチューブから前記ターゲット(20)に向けて粒子(14)を射出するステップと、

前記粒子(14)が当たった箇所を感知するステップと、 30

前記粒子(14)が当たった箇所を感知するステップに基づいて、前記ナノチューブ(10)を再位置決めするステップとを備えた方法。

【請求項 8】

前記感知するステップが、前記粒子(14)が、前記ターゲット(20)の粒子に直接当たったのか、前記ターゲットの六員環の中心を通り抜けたのか、粒子間の結合を通り抜けたのか、又は粒子間の結合に直接当たったのかを検出することを含む、請求項 7に記載の方法。

【請求項 9】

前記感知するステップが、前記ターゲット(20)から振動又は光学的運動を検出し、前記振動の強度、振動数及び時間遅延差を測定して、前記粒子(14)が何に当たったのかを計算することを含む、請求項 7又は8に記載の方法。 40

【請求項 10】

前記粒子がレーザーによって前記ナノチューブ(10)の一端から他端に射出される、請求項 7から9のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 11】

前記ナノチューブ(10)を前記ターゲット(20)に対して整列させた後に、前記第一の出力よりも高出力で前記ナノチューブ(10)から前記ターゲット(20)に向けて他の粒子(14)を射出するステップを更に備える、請求項 7から10のいずれか一項に記載の方法。

【請求項 12】

10

20

30

40

50

前記高出力で射出される粒子（14）が、前記ターゲット（20）の粒子に当たり前記ターゲット（20）の粒子を変位させるか、前記ターゲット（20）の粒子を置換するか、又は前記ターゲット（20）の粒子の上に堆積する、請求項11に記載の方法。

【請求項13】

前記ターゲット（20）の上に一つ以上の層が形成されるまで、複数の粒子（14）が前記高出力で射出されて、前記ターゲットの一つ以上の粒子に当たり、前記ターゲット（20）の上に堆積する、請求項11又は12に記載の方法。

【請求項14】

前記粒子（14）が、光子、電子、原子、又は分子である、請求項11から13のいずれか一項に記載の方法。

10

【請求項15】

請求項1から6のいずれか一項に記載のナノチューブ粒子デバイスを用いたアディティブ／サブトラクティブ・マニュファクチャリングの方法であって、

ナノチューブ（10）をターゲット（20）に向けて位置決めするステップと、

前記ナノチューブ（10）の下方へ低出力で前記ターゲット（20）に粒子（14）を射出するステップと、

前記粒子が当たった前記ターゲット（20）の箇所を感知するステップと、

前記感知するステップが、前記ターゲット（20）に直接当たっていないことを示す場合に、前記ナノチューブ（10）を再位置決めして、低出力で前記ターゲット（20）に粒子（14）を射出すること及び該粒子（14）が当たった前記ターゲット（20）の箇所を感知することを繰り返すステップと、

20

前記感知するステップが、前記ターゲット（20）に直接当たったことを示す場合に、前記ナノチューブ（10）の下方に高出力で前記ターゲットに粒子（14）を射出して、該粒子（14）を前記ターゲット（20）に結合させて、前記ターゲット（20）の上に層を形成するステップとを備えた方法。

【請求項16】

前記粒子を前記ターゲット（20）に結合させた後に、前記ターゲット（20）に向けた新たな位置に前記ナノチューブ（10）を再位置決めするステップを更に備えた請求項15に記載の方法。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、ナノチューブ粒子デバイス、照準合わせ装置、射出装置、及び粒子射出装置を照準合わせするための方法に関する。また、本開示は、ナノチューブ粒子デバイスを用いた二次元印刷、三次元印刷、アディティブ／サブトラクティブ・マニュファクチャリングの方法にも関する。

【背景技術】

【0002】

現在では、粒子の層状の二次元（2D）及び三次元（3D）アレイが、多様な物品の生産及び製造において使用されている。そのような層状アレイを用いたデバイスの例は、3Dプリンターである。3Dプリンターとの用語は、アディティブ・マニュファクチャリング（積層造形）及び／又はサブトラクティブ・マニュファクチャリングを行うデバイスを含む一般的な用語である。

40

【0003】

現状において、2Dデバイス及び3Dデバイスは、一原子ずつ、又は一粒子ずつで層をプリント又は形成することができない。代わりに、基板又は既存の層の上に粒子を配置するために、現状のデバイス及び方法では、単純にその表面に粒子を衝突させて、表面を分析して、基板又は既存の層の表面に何かが積層したかどうかを決定する。現状の2D／3Dデバイス及び方法では、粒子が実際に何処に行くのかを制御することができず、また、現状の2D／3Dデバイス及び方法では、基板又は層の上にどの位の量の粒子が配置され

50

るかを制御することもできない。

【0004】

3D印刷用の層として、グラフェンが使用されることが多い。グラフェンは炭素の同素体である。その構造は、蜂の巣格子状に密に並べられた s p² 結合炭素原子の一原子厚さの平坦なシートである。多くの場合、製造欠陥による蜂の巣格子の不完全性が、2D構造及び3D構造の生産及び製造における問題を生じさせ得る。

【0005】

グラフェンシートから炭素原子を取り除いて、“孔”を残すことにも利点がある。現状においても、これを、STMチップ、フォトニック結晶、イオンビーム、又はプロトンビームを用いて炭素 炭素結合を機械的に破壊することを含む多様な機構で行うことができる。しかしながら、現状のデバイスは、照準合わせの性能を有さず、単純に粒子をグラフェン上に衝突させているだけである。また、現状のデバイスはグラフェンに激突し得て、グラフェンの表面領域が破壊され及び／又はデバイスが破壊され得る。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

従って、基板、層、2D構造又は3D構造の特定の箇所又は粒子に照準を合わせ、制御することができるデバイスが必要とされている。また、一粒子ずつで一つ以上の粒子層を作製するためのデバイス及び方法も必要とされている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

開示される実施形態は、粒子デバイス、粒子照準合わせ装置、粒子射出装置、原子ドーピング装置、及び／又は、分子操作装置として、ナノチューブを含む。更なる実施形態は、粒子射出装置を照準合わせする方法、ナノチューブ粒子デバイスを用いたアディティブ／サブトラクティブ・マニュファクチャリング及び／又は2D印刷若しくは3D印刷の方法に関する。

【0008】

本開示の一実施形態では、ナノチューブを介して、グラフェン層等のターゲットの上に粒子を射出又は推進させる。グラフェン層は、データ読み取り機又はセンサーに結合されて、そのデータ読み取り機又はセンサーは、電気的信号の振動若しくは変化、及び／又は、物理的信号、機械的信号若しくは光学的信号の振動若しくは効果を検出することができる。振動の信号、電気的信号、物理的信号、及び／又は光学的信号は、グラフェン層に粒子を射出することによって生じる相互作用の種類に対応している。例えば、炭素の六員環の中心に直接射出された粒子（つまり、粒子は、弱まることなく、六員環の中心を通り抜ける）についての相互作用の種類は、六員環の炭素原子に直接射出されてその炭素原子に衝突する粒子について観測される相互作用（例えば、直接的な衝突のため、強力な振動及び他の効果が観測され得る）とは、異なる。

【0009】

一実施形態に従って提供されるナノチューブ粒子デバイスは、第一の端部及び第二の端部を有するナノチューブと、粒子射出装置と、位置決め機構と、検出センサーとを備え、粒子射出装置はナノチューブの第一の端部に結合され、粒子射出装置は、ナノチューブから、場合によってはナノチューブの第一の端部から、ナノチューブの第二の端部の下方に位置するターゲットに粒子を射出するように構成され、位置決め機構はターゲットに対してナノチューブを位置決めするように構成され、検出センサーは、粒子とターゲットとの間の相互作用から発生するエネルギー又は運動を受信して位置決め機構に送信して、ターゲットに対するナノチューブデバイスの相対的な位置を決定するように構成される。一態様では、ナノチューブはカーボンナノチューブであり、粒子射出装置はレーザーであり、粒子は光子、電子、陽子、原子、又は分子である。他の態様では、粒子射出装置は、ナノチューブを位置決めするための低出力で粒子を射出するように構成され、また、ターゲットの一つ以上の粒子を変位させるためのより高い出力で一つ以上の粒子を射出するよう

10

20

30

40

50

構成される。更なる態様では、粒子射出装置は、ナノチューブのあらゆる点に位置することができる。

【0010】

他の実施形態に従って提供される粒子射出装置を照準合わせするための方法は、ターゲットに向けてナノチューブを位置決めするステップと、高出力でナノチューブからターゲットに向けて粒子を射出するステップと、粒子が当たった箇所を感知するステップと、粒子が当たった箇所を感知するステップに基づいて、ナノチューブを再位置決めするステップとを備える。一態様では、感知ステップは、粒子がターゲットに直接当たったか、粒子の六員環の中心を通り抜けたか、粒子間の結合を通り抜けたか、又は結合に直接当たったのかを検出することを含む。他の態様では、本方法は、ナノチューブをターゲットに対して整列させた後に高出力でナノチューブからターゲットに向けて他の粒子を射出するステップを更に備える。更なる態様では、高出力で射出される粒子は、ターゲットの粒子に当たり、ターゲットの粒子を変位させ、ターゲットの粒子を置換し、及び／又は、ターゲットの粒子の上に堆積して新たな層を形成する。10

【0011】

他の実施形態に従って提供されるアディティブ／サブトラクティブ・マニュファクチャリングの方法は、ターゲットに向けてナノチューブを位置決めするステップと、ナノチューブの下方へ高出力でターゲットに粒子を射出するステップと、粒子が当たったターゲットの箇所を感知するステップと、その感知が、ターゲットに直接当たっていないことを示す場合に、ナノチューブを再位置決めして、高出力でターゲットに粒子を射出すること及び粒子が当たったターゲットの箇所を感知することを繰り返すステップと、その感知がターゲットに直接当たったことを示す場合に、ナノチューブの下方へ高出力でターゲットに粒子を射出して、粒子をターゲットに結合させて、ターゲットの上に層を形成するステップとを備える。更なる態様では、粒子をターゲットに結合させた後に、本方法は、ターゲットに向けた新たな位置にナノチューブを再位置決めして、上記ステップを繰り返すステップを備える。更に他の態様では、本方法は、層が形成されるまで上記ステップを繰り返すステップを備える。更に他の態様では、本方法は、ターゲットの上の層が物体を形成するまで上記ステップを繰り返すステップを備える。更なる実施形態では、本方法は、2D印刷若しくは3D印刷及び／又はアディティブ／サブトラクティブ・マニュファクチャリング用に使用可能である。20

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】本開示の実施形態に係るナノチューブ粒子デバイスの斜視図である。

【図2】図1のナノチューブ粒子デバイスのA A'に沿った断面図である。

【図3】圧電体の図である。

【図4】ナノチューブ粒子デバイスの更なる実施形態の図である。

【図5】本開示の実施形態の方法を示すフローチャートである。

【図6A】本開示の実施形態の方法の斜視図である。

【図6B】本開示の実施形態の方法の斜視図である。

【図6C】本開示の実施形態の方法の斜視図である。40

【図7】ターゲットに衝突した後で粒子が反応する様子の例を示す。

【図8A】本開示の実施形態のナノチューブ粒子デバイスからの粒子が当たった結果としてターゲットから一つ以上の粒子が取り除かれる実施形態を示す。

【図8B】本開示の実施形態のナノチューブ粒子デバイスからの粒子が当たった結果としてターゲットから一つ以上の粒子が取り除かれる実施形態を示す。

【図8C】本開示の実施形態のナノチューブ粒子デバイスからの粒子が当たった結果としてターゲットから一つ以上の粒子が取り除かれる実施形態を示す。

【図8D】本開示の実施形態のナノチューブ粒子デバイスからの粒子が当たった結果としてターゲットから一つ以上の粒子が取り除かれる実施形態を示す。

【図9】ナノチューブ粒子デバイスから射出された粒子が、ターゲットの粒子を置換する50

実施形態を示す。

【図10】ナノチューブ粒子デバイスから射出された粒子シートが、ターゲットの粒子の上に形成される実施形態を示す。

【発明を実施するための形態】

【0013】

本開示の実施形態は、ナノチューブデバイス、照準合わせ装置及び／又は射出装置に関する。その照準合わせ装置や射出装置は、2D印刷、3D印刷、又は、原子若しくは分子のアディティブ及び／又はサブトラクティブ・マニュファクチャリングプロセスに使用可能である。更なる実施形態では、そうしたデバイス、照準合わせ装置や射出装置は、ドーピングプロセス、例えば、トランジスタ又は半導体製造中に使用されるドーピング等に使用される。更に他の実施形態では、そうしたデバイス、照準合わせ装置や射出装置は、生物学的応用、例えば、酵素の形成、タンパク質合成、DNA合成等に使用される。

【0014】

図1は、本開示のナノチューブデバイス、照準合わせ装置、又は射出装置の実施形態の一例である。図1に示される実施形態はナノチューブ10を含む。ナノチューブは、例えば、カーボンナノチューブであり得る。ナノチューブは、多様な直径のものであり得て、また多層であり得る。一実施形態では、粒子射出装置12がナノチューブ10の一端に結合される。粒子射出装置12は、機械的に及び／又は光学的にナノチューブ10に結合され得る。粒子射出装置をナノチューブに結合することは、例えば、多数の標準的な光学素子によって達成可能であり、典型的には、粒子射出装置の放出サイズを、粒子がナノチューブ内に入るのに十分小さな直径に集束させることを含む。代替実施形態では、粒子射出装置は、ナノチューブから離れた位置、例えば上方に配置される。更なる実施形態では、粒子射出装置は、MEMS (Micro Electro Mechanical System, 微小電気機械システム)、例えば、X-Y方向制御を有する反射ミラーに向かわれる。粒子射出装置は、MEMSに向けて粒子を放出する。MEMSは、粒子を直接ナノチューブに向けるX-Y制御機構を有する。

【0015】

粒子射出装置は、単一の粒子14を図1及び図2に示されるように下方に、つまりナノチューブ10のほぼ一端から他端に向けて射出、送る、加速、又は伝達するものである。代わりに、一つよりも多くの粒子又は粒子流をナノチューブの下方へ射出することができる。一実施形態では、粒子がナノチューブの下方へ伝わることを保証するため、粒子がナノチューブの壁を突破するのに十分なエネルギーを有さないように、粒子のエネルギー及び運動量を調節する。ナノチューブに入るよう最初に定められた運動量では、粒子が壁を突破することができないので、粒子は他端に向けて伝わり、他端からナノチューブを出て行く。更なる実施形態では、粒子が粒子射出装置からナノチューブ壁まで伝わる経路の屈折率は20度未満である。

【0016】

更なる実施形態では、粒子射出装置はレーザーである。レーザーは、光子等の粒子を放出することによって、粒子を“射出”する。一秒当たりに放出される粒子又は光子の数は、レーザー出力に等しく、標準的な強度制御によって変更可能である。ナノチューブと共に使用可能なレーザーの例として、パルスレーザー、連続レーザー、半導体、発光デバイス(LED, light emitting device)が挙げられる。更なる実施形態では、レーザーは、オン／オフにすることができるもの、又は出力調節可能なものであり得る。更なる実施形態では、レーザーの周波数及び／又は強度が変更可能である。更に他の実施形態では、レーザーの形式、例えば連続又はパルスを変更することができる。

【0017】

ナノチューブの下方へ射出、送る、加速、伝達させることができる粒子の例として、光子、電子、陽子、原子、分子が挙げられる。代わりに、原子の小さな集団、原子のナノ粒子、例えば、 3×3 の原子キューブをナノチューブの下方へ射出する。単一粒子や、離散的又は少数の粒子流等の粒子の量の方が、非離散的な量の粒子よりも、粒子又は粒子流が

10

20

30

40

50

ターゲットに衝突する際の結果としての振動及び時間遅延を容易に検出することができる。

【0018】

本開示の一実施形態では、位置決め機構16がナノチューブ10に結合される。考えられる位置決め機構の例として、機械的結合のもの、静電結合のもの、及び／又は電磁的結合のものが挙げられる。更なる実施形態では、位置決め機構は機械的アームであり得る。位置決め機構は、あらゆる点でナノチューブ10に結合可能である。他の実施形態では、位置決め機構は、ナノチューブの正確な移動のためのデバイスを提供する圧電体(PZT, piezoelectric)であり得る。PZTは、外場を印加した際に変形する固体結晶構造である。その変形が線形変位を可能にする。XYZ配置の三つの固体結晶圧電体構造が、ナノチューブの正確な位置決めを提供することができる。PZTの一例が図3に示されている。図3Aでは、PZT30は、例えばフレキシブル膜34を取り付けられた四つの圧電性結晶32を有する。PZT30は、例えば図3Bに示されるようにナノチューブの頂部に位置し得る。圧電性結晶を用いて、ナノチューブを正確に移動させて照準合わせすることができる。

10

【0019】

位置決め機構16は、ナノチューブ10の下方へ粒子14を最初に射出する間に収集される情報に基づいて、ナノチューブ10を所望の箇所に移動させる。位置決め機構は、X

Y方向又はX Y Z方向でナノチューブを移動させることができる。図4に示される更なる実施形態では、X Y Z軸制御機構18を位置決め機構16に結合させて、X Y Z方向の移動を制御することができる。代替実施形態では、ナノチューブの下方へ粒子を射出する間に収集される情報に基づいて、ターゲットを移動させることができる。更なる実施形態では、ナノチューブの下方へ粒子を射出する間に収集される情報に基づいて、ナノチューブ及び／又はターゲットを移動させることができる。

20

【0020】

粒子射出装置12の反対側のナノチューブ10の他端には、ターゲット20が位置する。ナノチューブからターゲットまでの距離は、例えば粒子(ナノチューブから射出される粒子と、ターゲットの粒子との両方)のサイズ、構成、速度に基づいて変化することができる。ターゲットの考えられる例は、多層グラフェン、グラフェンシート、ナノチューブ、フラーレン、半導体、基板のうち一つを含む。他の例では、ターゲットは、例えば、酵素の形成、タンパク質合成、DNA合成等の生物学的特性のものである。更なる実施形態では、上述の各ターゲットは、それ以前に堆積させた粒子の層(一層又は多層)である。

30

【0021】

更なる実施形態では、本開示のデバイスにおいて、検出センサー22が用いられる。検出センサーは、ターゲットの上方、下方、又は、上方及び下方の両方に配置され得る。図1及び図4は、複数の位置に検出センサー22を示す。本開示の実施形態では、一つ以上の検出位置及びセンサーを用いることができる。追加的に又は代替的に、検出センサーをターゲットと同じ平面内に配置することができる。検出センサーは、例えば、粒子がターゲットに当たる際に生じる物理的、光学的、熱的、電気的、電磁的、ドップラー及び／又は干渉の、振動(オシレーション、バイブレーション)や効果を感じる。そして、検出センサーは、振動及び／又は効果を測定して、ターゲットに射出された粒子の位置に関する情報を位置決め機構16に提供する。他の実施形態では、検出センサー22は、その情報をX Y Z制御装置18に提供して、そのX Y Z制御装置18は、その情報を用いて、ナノチューブ10を正確な位置に誘導するよう位置決め機構16に命令する。

40

更なる実施形態では、フィードバック回路が、検出回路22とX Y Z制御装置18又は位置決め機構16との間に位置する。検出センサーの一例は、レーザー振動計である。一実施形態では、検出センサーは測定システムを含む。他の実施形態では、測定システムは検出センサーから離れている。上述の実施形態では、そのシステムは、物理的、光学的、電気的及び／又は電磁的振動を、移動システムを制御するのに用いることができる電気信号(アナログ又はデジタル)に変換する。そして、位置決め機構は、その情報に基づいて

50

ナノチューブの相対的位置を調整する（X軸、Y軸、Z軸を介して）。

【0022】

上述のように、物理的、光学的、電磁的、光子の振動／効果の強度、振動数、時間遅延差を検出及び測定するように、一つ以上の検出センサー22を多様な戦略的箇所に配置することができる。他の実施形態では、光／フォトニック及び電磁的センサーをターゲットの上方及び下方に配置する一方で、物理的及び電気的振動センサーをターゲットに直接物理的に結合させる。

【0023】

図5は、ナノチューブ粒子デバイスを照準合わせして、粒子デバイスでの造形を行う本開示の方法の一実施形態における全体的なステップを示す。ステップ102では、ナノチューブ10をターゲット20に向けて位置決めする。図6A参照。その後、ステップ104では、ナノチューブ10の下方へと粒子射出装置12からナノチューブの他端に、そしてターゲット20に向けて粒子を射出する。図6B参照。一実施形態では、粒子射出装置12は、低出力、例えばターゲットに孔を生じさせないように十分低い出力に設定される。こうしたレベルは、ターゲットの結合強度に応じて変化する。こうした低出力の一例は略10eVである。粒子又は粒子流14をその低出力で射出する。粒子がターゲットの何処に当たるのかが分かるように、ターゲットに粒子を射出する。図6C参照。ステップ106では、検出センサーが当たったことを検出する。図7は、粒子14がターゲット20に衝突した後にどのように反応するのかと、検出センサー22が衝突を検出するためにどのように位置決めされるのかの例を示す。そして、ステップ108では、検出された情報に基づいて、所望の整列が達成されているのかどうかが決定される。

【0024】

例えば、粒子（又は粒子流）がターゲットの原子又は粒子に当たる場合、射出された粒子は、射出された粒子が当たる箇所に応じた多様な角度でターゲットの原子／粒子から反射される。そして、検出センサー22を用いて、原子／粒子が当たった箇所を検出及び測定することができる。例えば、どの位強く原子／粒子に当たったのかに基づいて、また、当たる角度に基づいて、物理的、電気的／電磁的、場合によっては光学的な振動／効果が、射出された粒子が当たった原子／粒子に生じる。更なる実施形態では、光学的振動／効果は、電磁スペクトルの赤外（IR）振動数範囲におけるものである。振動／効果は、物質中に広がり、場合によっては（光学的、電磁的に）周囲の三次元空間に広がる。そして、振動／効果の振幅、強度、振動数、位相、時間遅延差に基づいて、測定を行うことができる。また、当てられた原子／粒子がどの位長く振動するのかに基づいて、測定を行うこともできる。検出センサー22は、射出された粒子と当てられる原子／粒子との間の衝突を光学的に検出するように構成可能である。この情報を用いて、ターゲットのどの原子又は粒子に当たったのか、及び何処に当たったのかを計算することができる。原子／粒子に接線方向で当たった場合には、接線方向の衝突が検出されて、より直接的に当たるように位置が調整される。直接的に当たることは、ナノチューブが適切に整列されていることを示す。

【0025】

代わりに、直接的に当てるため、射出された粒子14は、例えばターゲットの原子又は粒子の六員環の中心を通る。この場合、反射及び振動が最小となるが、これは検出センサー22を介して観測及び／又は測定可能である。一実施形態では、検出センサー、例えばフォトニック及び電磁センサーがターゲットの下方に配置されて、センサーが、衝突せずにやって来た粒子又は波を検出する。この情報は、粒子が、その粒子の所望の部分から外れていることを示し、ナノチューブの位置を調整する必要がある。

【0026】

他の代替例では、射出された粒子14が、原子に当たらず、原子と原子との間の結合を通ることができる。この場合、粒子と結合との間の衝突が、原子間の検出可能な相互作用を生じさせる。例えば、粒子が結合に当たるか結合を通る場合、それが、結合の両端の二つの原子を、検出可能な振幅、振動数、及び時間遅延で振動させる。粒子が結合を通り

10

20

30

40

50

抜け一時的に結合に干渉する際にその粒子が各原子にどの位近いのかに応じて、各原子における振幅、振動数、及び時間遅延は異なる。

【0027】

例えば、粒子が、二つの原子の中間点において結合を通り抜ける場合、粒子は結合を一時的に破壊して、各原子に同じ“乱れ”又は干渉を生じさせて、二つの原子を同じ振動数で等しく振動させる。多様な複数センサーに対する時間遅延差が、どの原子及びどの原子結合が影響を受けたのかをピンポイントで示すことを可能にする。他の例では、粒子が、原子Aから $1/3$ の点で原子Bから $2/3$ の点で結合を通り抜けると、粒子と結合の破壊に近い方の原子Aが、原子Bよりも強力に及び／又は大きな振幅で、また原子Bとは僅かに異なる振動数で振動する。原子間の結合との衝突からの情報は、粒子が、その粒子の所望の部分から外れていることを示し、ナノチューブの位置を調整する必要がある。10

【0028】

所望の整列が達成されていない場合、ステップ110において、検出された情報に基づいて、ナノチューブのX位置、Y位置及び／又はZ位置を調整する。そして、ステップ104～108を繰り返す。所望の整列が依然として達成されていない場合、所望の整列が達成されるまで、ステップ110、そしてステップ104～108を繰り返す。

【0029】

更なる実施形態では、ステップ112において、所望の整列が達成されると、ナノチューブの下方へ第二の粒子又は粒子流が、より高い出力で射出されて、ターゲットの“照準の合わされた”原子又は粒子を除去若しくは変位させ、又は、その原子又は粒子の上に成長する。この第二の粒子又は粒子流は、粒子射出装置12によって、又は他の粒子射出装置、例えば図1の粒子射出装置12に位置する第二のレーザーによって射出され得る。第二の粒子は、第一の粒子と同じ種類のものでも、異なる種類の粒子でもあり得る。一実施形態では、第二の粒子はより重い粒子である。この第二の粒子は、高出力で射出されて、ターゲットの粒子に直接当たる。射出された第二の粒子又は粒子流についてはいくつかの結果が考えられる。20

【0030】

一実施形態では、第二の粒子は、ターゲットに存在している粒子を除去又は“叩き出す”（例えば、グラフエンシートに孔を生じさせる）。この一例が図8A1に示されていて、既存の粒子がグラフエンターゲットから叩き出されている。図8A2はその斜視図を示す。図8Bは、二つの隣接する既存の粒子がグラフエンターゲットから叩き出される例を示す。このような場合、上述のように、本開示のナノチューブは、グラフエンシートの粒子に対して整列される。一旦整列すると、第二の粒子／粒子流をターゲットに射出して、ターゲットの所望の既存粒子を叩き出す。そして、ナノチューブをグラフエンシートの第二の隣接する既存粒子に対して整列させる。同じ方法を用いて、例えば図8Cに示されるように、ターゲットの三つの隣接する既存粒子を除去又は叩き出すことができる。また、この方法を用いて、例えば図8Dに示されるように、シート全体にわたって叩き出された粒子のパターンを形成することもできる。30

【0031】

代わりに、ナノチューブから射出された第二の粒子は、ターゲットの既存の粒子を“叩き出して”、その粒子と置き換わることによって、既存の粒子を置換する。その様子が例えば図9に示されている。更なる実施形態では、第二の粒子が既存の粒子を除去して、上述のように孔を残し、その後、他の射出粒子自体が孔の中に位置する。40

【0032】

他の代替例では、第二の粒子が、ターゲットから既存の粒子を叩き出したり除去したりせずに、ターゲットの既存の粒子の上に堆積する。その様子が例えば図10に示されている。ステップ114では、所望の構造が得られるまで、例えば新たな層が形成されるまで、このプロセスを続けることができる。例えば3D物体を造形するため、このプロセスを繰り返して、所望の3D形状に複数の層を造形することができる。

【0033】

50

ターゲットの粒子を除去することが望まれる場合、射出される粒子は、ターゲットの粒子の上に堆積することが望まれる場合よりも高い出力で射出される。ターゲット粒子の上に射出粒子を堆積させるのに用いられる出力は、最初に粒子デバイスを照準合わせするのに用いられる出力よりも、一般的には高い。

【0034】

更なる実施形態では、具体的な応用に応じて、下方の物質の分子結合又は原子結合を破壊することが望まれ得る。他の場合、既存の構造の中に原子を介在させることが望まれ得る。他の応用では、基板に孔を生じさせることが望まれ得る。上記各場合では、本開示の実施形態のナノチューブ粒子デバイスを使用することができる。ターゲット表面に向けて加速していく特定の粒子に関するエネルギーには違いがある。粒子に与えられる比較的小さな運動エネルギーでは、粒子は表面のいくつかの原子結合を破壊又は再構成するのみであり、粒子自体は表面で跳ね返る。僅かに高い運動エネルギーでは、周囲の原子結合の構成を大部分維持しながら、粒子をターゲット表面内に格子間から差し込むことができる。最も高い運動エネルギーでは、粒子が、周囲の原子を叩き出すのに十分なエネルギーで、基板又はターゲット表面を強打して、周囲の原子及び分子が、生じた孔の周りでその結合を再構成する。

【0035】

更に、本開示は、以下の項に係る実施形態を有する。

【0036】

項 1 第一の端部及び第二の端部を有するナノチューブと、粒子射出装置と、位置決め機構と、検出センサーとを備えたナノチューブ粒子デバイスであって、粒子射出装置がナノチューブの第一の端部に結合されていて、粒子射出装置がナノチューブからナノチューブの第二の端部を越えて位置するターゲットに粒子を射出するように構成されていて、位置決め機構が、ターゲットに対してナノチューブを位置決めするように構成されていて、検出センサーが、粒子とターゲットとの間の相互作用から発生するエネルギー又は運動を受信して位置決め機構に送信して、ターゲットに対するナノチューブデバイスの相対的な位置を決定するように構成されている、ナノチューブ粒子デバイス。

【0037】

項 2 ナノチューブがカーボンナノチューブである、項 1 に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【0038】

項 3 粒子が、光子、電子、陽子、原子、及び分子から成る群から選択されている、項 1 に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【0039】

項 4 粒子射出装置がレーザーである、項 1 に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【0040】

項 5 レーザーが、パルスレーザー、連続レーザー、LED、出力調整可能レーザー、及び波長調整可能レーザーから成る群から選択されている、項 4 に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【0041】

項 6 位置決め機構が、機械的結合のもの、静電結合のもの、電磁的結合のもの、及び圧電結合のものから成る群から選択されている、項 1 に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【0042】

項 7

10

20

30

40

50

位置決め機構が圧電体である、項1に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【0043】

項8

単一原子、原子間の結合、原子間の空間、原子結合、複数の結合、複数の原子結合、分子、及び分子の集団から成る群から選択されたターゲットの特定の領域に粒子を照準を合わせるようにナノチューブが位置決めされる、項1に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【0044】

項9

ターゲットが、グラフェン、グラフェンシート、ナノチューブ、フラーレン、半導体、基板、及びそれらのいずれかの複数の層から成る群から選択される、項1に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【0045】

項10

検出センサーが、光学的エネルギー又は運動、機械的エネルギー又は運動、振動のエネルギー又は運動、電気的エネルギー又は運動、感熱的エネルギー又は運動、及び電磁的エネルギー又は運動から成る群から選択されたエネルギー又は運動を感知するための複数のセンサーを備えたセンサーシステムである、項1に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【0046】

項11

検出センサーが、ターゲットの上方、下方、上方及び下方の両方、又はターゲットと同一平面内に配置されている、項1に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【0047】

項12

粒子射出装置が、ナノチューブを位置決めするための低出力で粒子を射出するように構成されていて、粒子射出装置が、ターゲットの一つ以上の粒子を変位させるためのより高出力で一つ以上の粒子を射出するように構成されている、項1に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【0048】

項13

粒子射出装置が二つのレーザーを備え、第一のレーザーがナノチューブを位置決めするための低出力で粒子を射出するように構成されていて、第二のレーザーがターゲットの一つ以上の粒子を変位させるためのより高出力で一つ以上の粒子を射出するように構成されている、項1に記載のナノチューブ粒子デバイス。

【0049】

項14

粒子射出装置を位置決めするための方法であって、ターゲットに向けてナノチューブを位置決めするステップと、低出力でナノチューブからターゲットに向けて粒子を射出するステップと、粒子が当たった箇所を感知するステップと、粒子が当たった箇所を感知するステップに基づいてナノチューブを再位置決めするステップとを備えた方法。

【0050】

項15

感知するステップが、粒子がターゲットの粒子に直接当たったのか、粒子の六員環の中心を通り抜けたのか、粒子間の結合を通り抜けたのか、又は結合に直接当たったのかを検出することを含む、項14に記載の方法。

【0051】

項16

感知するステップが、ターゲットからの振動又は光学的な運動を検出して、振動の強度、振動数及び時間遅延差を測定して、粒子が何に当たったのかを計算することを含む、項14に記載の方法。

【0052】

10

20

30

40

50

項 1 7

粒子が、レーザーによってナノチューブの一端から他端に射出される、項 1 4 に記載の方法。

【 0 0 5 3 】

項 1 8

ターゲットに対してナノチューブを整列させた後に、高出力でナノチューブからターゲットに向けて他の粒子を射出するステップを更に備えた項 1 4 に記載の方法。

【 0 0 5 4 】

項 1 9

高出力で射出される粒子が、ターゲットの粒子に当たり、ターゲットの粒子を変位させる、項 1 8 に記載の方法。 10

【 0 0 5 5 】

項 2 0

高出力で射出される粒子が、ターゲットの粒子に当たり、ターゲットの粒子を置換する、項 1 8 に記載の方法。

【 0 0 5 6 】

項 2 1

高出力で射出される粒子が、ターゲットの粒子に当たり、その粒子の上に堆積する、項 1 8 に記載の方法。

【 0 0 5 7 】

項 2 2

ターゲットの上に一つ以上の層が形成されるまで、複数の粒子が高出力で射出されて、ターゲットの一つ以上の粒子に当たり、ターゲットの上に堆積する、項 1 8 に記載の方法。
。

【 0 0 5 8 】

項 2 3

粒子が、光子、電子、原子、及び分子から成る群から選択される、項 1 4 に記載の方法。
。

【 0 0 5 9 】

項 2 4

粒子が、ナノチューブの一端から他端へとターゲットに向けて射出される、項 1 4 に記載の方法。

【 0 0 6 0 】

項 2 5

粒子が、ナノチューブのいずれの点からもターゲットに向けて射出可能である、項 1 4 に記載の方法。

【 0 0 6 1 】

項 2 6

アディティブ / サブトラクティブ・マニュファクチャリングの方法であって、ターゲットに向けてナノチューブを位置決めするステップと、ナノチューブの下方へ低出力でターゲットに粒子を射出するステップと、粒子が当たったターゲットの箇所を感知するステップと、感知がターゲットに直接当たっていないことを示す場合に、ナノチューブを再位置決めして、低出力でターゲットに粒子を射出すること及び粒子が当たったターゲットの箇所を感知することを繰り返すステップと、感知がターゲットに直接当たったことを示す場合に、ナノチューブの下方へ高出力でターゲットに粒子を射出して、ターゲットに粒子を結合させて、ターゲットの上に層を形成するステップとを備えた方法。 40

【 0 0 6 2 】

項 2 7

ターゲットに粒子を結合させた後に、ターゲットに向けた新たな位置にナノチューブを再位置決めして、項 2 6 に記載のステップを繰り返すステップを更に備えた項 2 6 に記載 50

の方法。

【0063】

項28

層が形成されるまで、項27に記載のステップを繰り返すステップを更に備えた項27に記載の方法。

【0064】

項29

ターゲットの上の層が物体を形成するまで、項28に記載のステップを繰り返すステップを更に備えた項28に記載の方法。

【0065】

10

項30

二次元印刷又は三次元印刷に使用される項29に記載の方法。

【0066】

上記説明は、例示目的のものであって、本発明を限定するものではない。

【0067】

言及される全ての文献は参考として本願に組み込まれる。本発明又はその例示的な態様や実施形態の要素を紹介する際ににおける単数形での説明は、その要素が一つ又は複数で存在していることを意味するものである。“備える”、“含む”、“有する”との記載は、包含的なものであり、挙げられている要素以外の追加の要素が存在し得る。具体的な実施形態を参照して本発明を説明してきたが、それら実施形態の細部は限定的なものではない
。

20

【0068】

新規なものであり本願によって保護が望まれる特許請求の範囲は添付の請求項に与えられている。

【符号の説明】

【0069】

- 10 ナノチューブ
- 12 射出装置
- 14 粒子
- 16 位置決め機構
- 20 ターゲット
- 22 検出センサー

30

【図1】

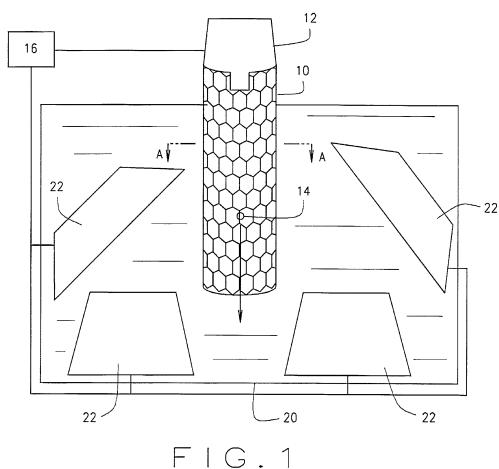


FIG. 1

【図3】

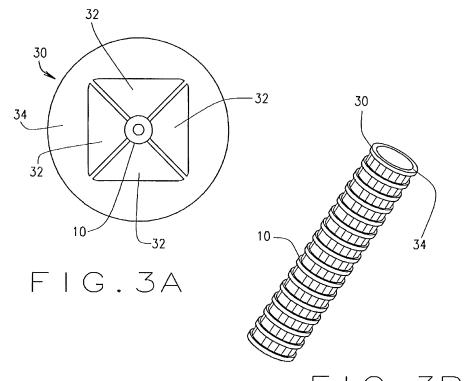


FIG. 3A

FIG. 3B

【図2】

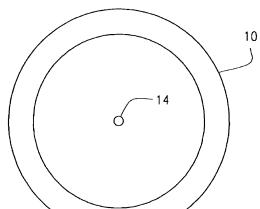


FIG. 2

【図4】

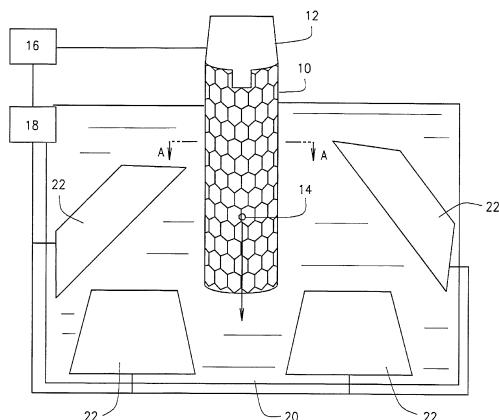


FIG. 4

【図5】

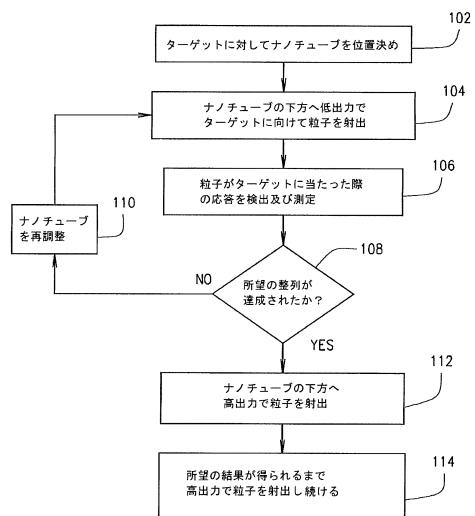
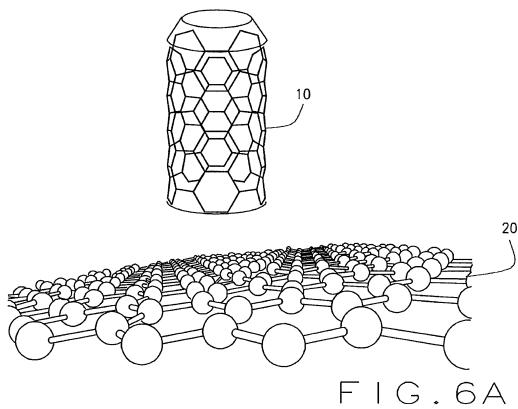
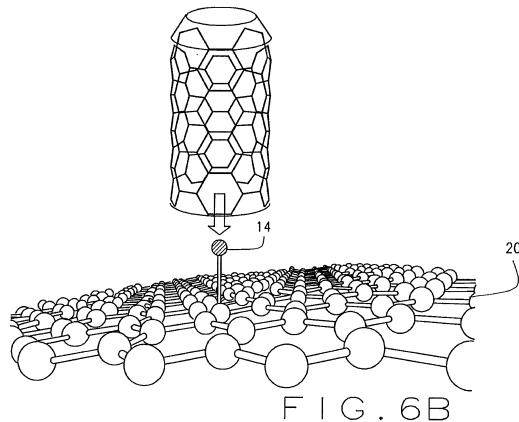


FIG. 5

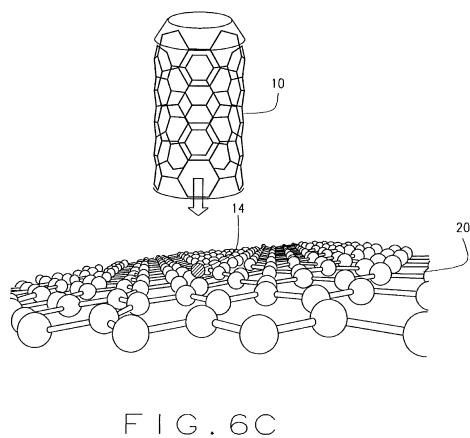
【図 6 A】



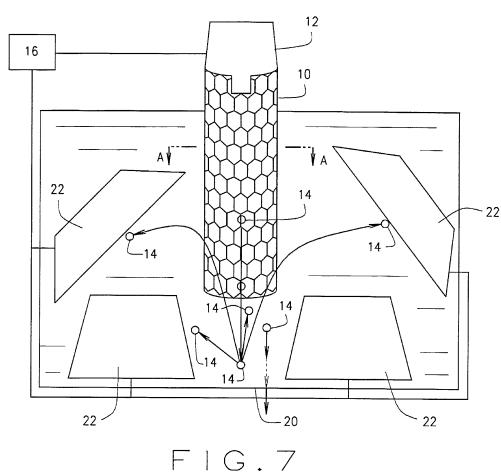
【図 6 B】



【図 6 C】



【図 7】



【図 8 A】

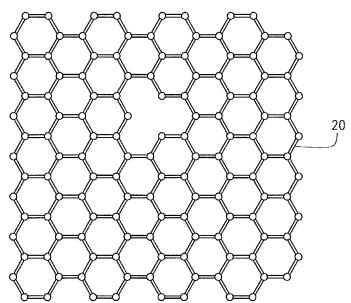


FIG. 8A1

【図 8 B】

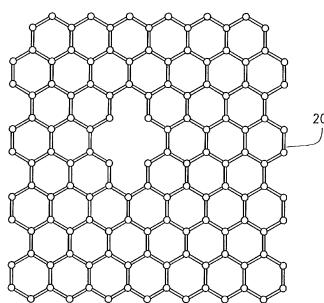


FIG. 8B

【図 8 C】

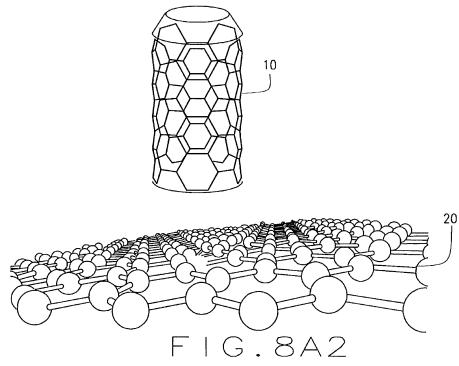


FIG. 8A2

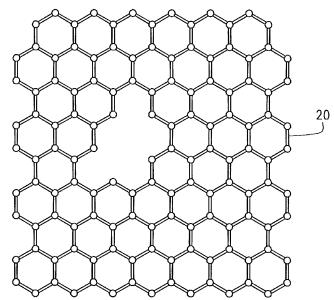


FIG. 8C

【図 8 D】

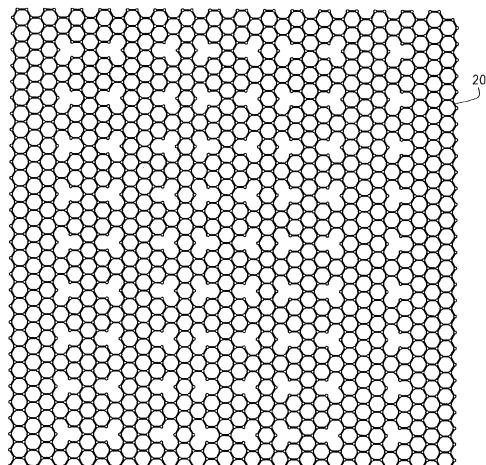


FIG. 8D

【図 9】

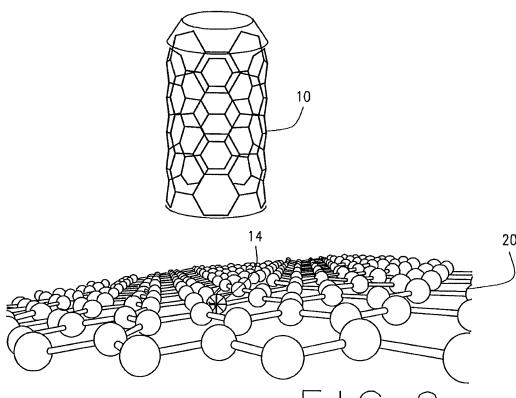
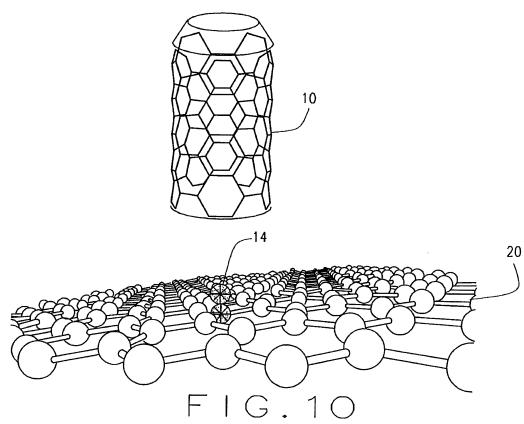


FIG. 9

【図10】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.		F I
B 8 2 Y	30/00	(2011.01) B 8 2 Y 30/00
B 8 2 Y	35/00	(2011.01) B 8 2 Y 35/00
H 0 1 J	37/30	(2006.01) H 0 1 J 37/30
B 8 1 C	99/00	(2010.01) B 8 1 C 99/00
B 3 3 Y	30/00	(2015.01) B 3 3 Y 30/00

(72)発明者 ウェイン・アール・ハウ

アメリカ合衆国・カリフォルニア・92647・ハンティントン・ビーチ・ボルサ・アベニュー
・5301

(72)発明者 ジエフリー・エイチ・ハント

アメリカ合衆国・カリフォルニア・90245・エル・サガンド・ノース・セパルヴェーダ・ブー
ルバード・900

(72)発明者 アンジェラ・ダブリュー・リー

アメリカ合衆国・ワシントン・98203・エヴァレット・ウェスト・カジノ・ロード・3003

(72)発明者 デニス・エル・コード

アメリカ合衆国・アラバマ・35824・ハンツヴィル・ボーアング・ブルバード・499・ジ
エーダブリュー-56

審査官 山口 敦司

(56)参考文献 特開2002-267590(JP,A)

特開平06-283129(JP,A)

米国特許第08159157(US,B1)

特開2003-208855(JP,A)

特開2007-214117(JP,A)

米国特許出願公開第2005/0077468(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B 8 2 B	1 / 0 0
B 2 9 C	6 7 / 0 0
B 3 3 Y	1 0 / 0 0
B 3 3 Y	3 0 / 0 0
B 8 1 B	7 / 0 2
B 8 1 C	9 9 / 0 0
B 8 2 Y	3 0 / 0 0
B 8 2 Y	3 5 / 0 0
B 8 2 Y	4 0 / 0 0
H 0 1 J	3 7 / 3 0