

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6246785号
(P6246785)

(45) 発行日 平成29年12月13日(2017.12.13)

(24) 登録日 平成29年11月24日(2017.11.24)

(51) Int.Cl.	F 1
CO 1 B 32/194	(2017.01)
BO 1 D 69/06	(2006.01)
BO 1 D 69/10	(2006.01)
BO 1 D 69/12	(2006.01)
BO 1 D 71/02	(2006.01)
	C O 1 B 32/194
	B O 1 D 69/06
	B O 1 D 69/10
	B O 1 D 69/12
	B O 1 D 71/02

請求項の数 15 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2015-501729 (P2015-501729)
(86) (22) 出願日	平成25年3月12日 (2013.3.12)
(65) 公表番号	特表2015-516357 (P2015-516357A)
(43) 公表日	平成27年6月11日 (2015.6.11)
(86) 国際出願番号	PCT/US2013/030344
(87) 国際公開番号	W02013/142133
(87) 国際公開日	平成25年9月26日 (2013.9.26)
審査請求日	平成28年3月7日 (2016.3.7)
(31) 優先権主張番号	61/613,938
(32) 優先日	平成24年3月21日 (2012.3.21)
(33) 優先権主張国	米国(US)

(73) 特許権者	596134851 ロッキード・マーチン・コーポレーション アメリカ合衆国、メリーランド州 208 17、ベセスタ、ロックレッジ・ドライブ 6801
(74) 代理人	100091982 弁理士 永井 浩之
(74) 代理人	100117787 弁理士 勝沼 宏仁
(74) 代理人	100107537 弁理士 磯貝 克臣
(72) 発明者	ピーター、ブイ、ペッドワース アメリカ合衆国カリフォルニア州、ロス、 ガトス、コマンチ、トレイル、17724

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】活性化ガス流を用いてグラフェンを穿孔するための方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ガスの流れを大気圧プラズマに曝し、前記大気圧プラズマの下流に当該大気圧プラズマから分離された活性化ガス流を生成する工程と、

前記大気圧プラズマから分離された前記活性化ガス流をグラフェンシートに向けて方向付ける工程と、

前記活性化ガス流で前記グラフェンシートを穿孔する工程と、
を備え、

前記ガスの流れは、ある濃度の活性化ガスを有し、

前記活性化ガスは、酸素、窒素、またはそれらの組合せ、の1つから選択されることを特徴とするグラフェンを穿孔するための方法。 10

【請求項 2】

前記グラフェンシート内に所望の開口寸法を得るために当該グラフェンシートへの前記活性化ガス流の適用を制御する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項 3】

前記穿孔工程に先立ち、前記グラフェンシートと金属基板との複合材シートを形成する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項2に記載の方法。

【請求項 4】

前記穿孔工程の後に、前記グラフェンシートと高分子基板との複合材シートを形成する工程を更に備えたことを特徴とする請求項2に記載の方法。

【請求項5】

5nm未満の直径の所望の開口寸法を得る工程
を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項6】

10nm未満の直径の所望の開口寸法を得る工程
を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項7】

1.5nm未満の直径の所望の開口寸法を得る工程
を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

10

【請求項8】

0.5nmから1.5nmに及ぶ大きさの所望の開口寸法を得る工程
を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項9】

所望の範囲の開口寸法を得るために、前記活性化ガス流が前記グラフェンシートに適用される時間を調整する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項10】

前記グラフェンシート内に所望の範囲の開口寸法を得るために、前記活性化ガス流と前記グラフェンシートとの間の隔離距離を調整する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

20

【請求項11】

前記グラフェンシート内に所望の開口寸法を得るために、前記活性化ガス流と前記グラフェンシートとの間の距離を調整する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項12】

前記グラフェンシート内に所望の開口寸法を得るために、前記グラフェンシート上における前記活性化ガス流の接触滞留時間を調整する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

30

【請求項13】

前記グラフェンシート内に所望の開口寸法を得るために、前記活性化ガス流に適用されるプラズマの電力量を調整する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項14】

前記ガスの流れの中に3%以下の酸素、窒素、またはそれらの組合せを利用する工程と
、
を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

【請求項15】

以下のうちの少なくとも1つ：
前記グラフェンシートに前記活性化ガス流が適用される時間、
前記活性化ガス流と前記グラフェンシートとの間の距離、
前記グラフェンシート上における前記活性化ガス流の接触滞留時間、及び、
前記活性化ガス流に適用されるプラズマの電力量、
を調整することによって前記グラフェンシート内に所望の開口寸法を得る工程
を更に備えたことを特徴とする請求項1に記載の方法。

40

【発明の詳細な説明】

【関連出願の相互参照】

【0001】

本出願は、2012年3月21日に出願された米国仮出願No.61/613,938

50

の優先権を主張し、当該仮出願は、参照によってここに組み込まれる。

【技術分野】

【0002】

本発明は、全体としてグラフェンに関し、より詳しくは、グラフェンシートに複数の孔を穿孔するための方法に関する。特に、本発明は、孔を有するグラフェンシート、及び、1 nm以下から100 nmという大きさに寸法決めされた開口を得るための関連する方法、に向けられる。

【背景技術】

【0003】

グラフェンは、その有利な機械的及び電気的特性のために、数多くの応用において使用するための広汎な関心を獲得している。グラフェンの電気伝導率は、当該グラフェン上の化学官能基化(chemical functionalization)の量及びタイプ、並びに、当該グラフェンの基底面内の欠陥の量によって影響され得る。本来のグラフェンは典型的には最も高い電気伝導率の値を示すが、それは時に、電気伝導率を調節すること、及び、バンドギャップを調整すること、が望まれ得る。バンドギャップの適合は、グラフェンの基底面内に複数の欠陥(孔)を導入することによって達成され得る。バンドギャップは、存在する開口の寸法及び数の双方によって影響され得る。

【0004】

有孔グラフェンはまた、濾過能力を有することも見出されている。実際、適切に寸法決めされた孔を有するグラフェンは、水からナトリウムイオン及び塩素イオンを除去し得るということが見出されている。この濾過能力は、気体、粒子、溶質、分子及び炭化水素、または、他のあらゆるナノサイズの成分、の溶媒からの除去に適合可能であると信じられている。

【0005】

孔は、選択的酸化によって作られ得ることが知られており、当該選択的酸化とは、選択された時間に亘り酸化剤に曝すことが意味される。孔は、レーザードリルによっても開けられ得ると信じられている。刊行物Nano Lett. 2008, Vol.8, No. 7, pp 1965-1970で説明されているように、最も簡単な穿孔手法は、アルゴン内に希釈された酸素を用いて、高温でグラフェンフィルムを処理することである。そこで説明されているように、500で2時間に亘り1気圧(atm)のアルゴン内の350 m Torrの酸素を用いると、20から180 nmの範囲の貫通孔がグラフェン内にエッチングされる。文献は、孔の数がグラフェンシート内の欠陥に関連し、孔の寸法が滞留時間に関連する、ということを合理的に提唱している。このことは、単一のシートまたは複数のシートを有するグラフェンの構造内に所望の孔を形成するための好ましい方法であると信じられている。前記構造は、グラフェンナノプレートレット(graphen nanoplatelets)及びグラフェンナノリボンであり得る。従って、所望の範囲の孔が、より短い酸化時間によって形成され得る。Kimらの“Fabrication and Characterization of Large Area, Semiconducting Nanoperforated Graphene Materials,” Nano Letters 2010 Vol.10, No. 4, 2010年3月1日, pp 1125-1131に記載されたような、より入り組んだ他の方法は、反応性イオンエッティングを使用したパターンングに好適なマスクを生成する自己組織化ポリマー(self assembling polymer)を使用する。P(S-ブロックMMA)ブロック共重合体は、再構築(redveloping)の際にRIEのためのビアを形成するPMMAコラムの配列を形成する。孔のパターンは、非常に密集している。孔の数及び大きさは、PMMAブロックの分子量及びP(S-MMA)内のPMMAの重量分率によって、制御される。どちらの方法も、1または複数の有孔グラフェンシートを生産するための可能性を有している。

【0006】

現在、約2.5 nm以下の大きさの孔を信頼性をもってグラフェンに導入するための方法は、存在しない。約2.5 nmから約10 nmの範囲の大きさでは、グラフェンを穿孔するための現在の技術は、1つの孔につき何ミリ秒也要し、一度の操作で複数の孔を形成する能力はない。約10 nm超では、多段階で労力を要するリソグラフィ技術が用いられ

10

20

30

40

50

得る。これらのどの技術も、広い表面積に亘って孔を導入することにはなじまない。

【0007】

前述の観点において、グラフェンシートに複数の孔が同時に導入されること、及び、孔の大きさを調整するための能力、を許容する簡素な技術が、この技術分野において極めて有益である。本発明は、このニーズを満たすと共に、関連する利点をも提供するものである。

【発明の概要】

【0008】

前述の内容を考慮して、活性化（された）ガス流を用いてグラフェンを穿孔するための方法、及び、当該方法から作製される有孔グラフェン、を提供することが本発明の第1の特徴である。

10

【0009】

活性化ガス流を生成するためにガスの流れをプラズマの中に曝す工程と、前記活性化ガス流をグラフェンシートに向けて方向付ける工程と、前記活性化ガス流で前記グラフェンシートを穿孔する工程と、によってグラフェンを穿孔するための方法を提供することが、本発明の他の特徴である。

【0010】

前記発明の一実施の形態では、前記方法は、前記グラフェンシート内に所望の開口寸法を得るために当該グラフェンシートへの当該活性化ガス流の適用を制御する。

20

【0011】

前記穿孔工程に先立ち、前記グラフェンシートと金属基板との複合材シートを形成すること、または、前記穿孔工程の後に、前記グラフェンシートと高分子基板との複合材シートを形成すること、が前述の実施の形態の1つの特徴である。

【0012】

前記発明の他の実施の形態では、前記方法は、5nm未満の直径の所望の開口寸法を得る。

【0013】

前記発明の更に他の実施の形態では、前記方法は、10nm未満の直径の所望の開口寸法を得る。

【0014】

30

前記発明の更に他の実施の形態では、前記方法は、1.5nm未満の直径の所望の開口寸法を得る。

【0015】

前記発明の更に他の実施の形態では、前記方法は、約0.5nmから約1.5nmに及ぶ大きさの所望の開口寸法を得る。

【0016】

前述の方法の他の実施の形態は、所望の範囲の開口寸法を得るために、前記活性化ガス流が前記グラフェンシートに適用される時間を調整する。

【0017】

前述の方法の更に他の実施の形態は、前記グラフェンシート内に所望の範囲の開口寸法を得るために、前記活性化ガス流と前記グラフェンシートとの間の隔離距離を調整する。

40

【0018】

前述の方法の更に他の実施の形態は、前記グラフェンシート内に所望の開口寸法を得るために、前記活性化ガス流と前記グラフェンシートとの間の距離を調整する。

【0019】

前述の方法の更に他の実施の形態は、前記グラフェンシート内に所望の開口寸法を得るために、前記グラフェンシート上における前記活性化ガス流の接触滞留時間を調整する。

【0020】

前述の方法の更に他の実施の形態は、前記グラフェンシート内に所望の開口寸法を得るために、前記活性化ガス流に適用されるプラズマの電力量を調整する。

50

【0021】

前述の方法の更に他の実施の形態は、前記活性化ガスとして、酸素、窒素、または、それらの組合せ、のうちの1つを選択すると共に、前記活性化ガス流の中に3%以下の活性ガスを利用する。

【0022】

前述の方法の更に他の実施の形態は、前記グラフェンシートに前記活性化ガス流が適用される時間、前記活性化ガス流と前記グラフェンシートとの間の距離、前記グラフェンシート上における前記活性化ガス流の接触滞留時間、前記活性化ガス流に適用されるプラズマの電力量、のいずれか1つを調整することによって、前記グラフェンシートにおいて所望の開口寸法を得る。

10

【図面の簡単な説明】**【0023】**

本開示及びその利点のより完全な理解のために、今、本開示の特定の実施の形態を説明する添付図面を伴って、後述の説明への言及がなされる。

【図1】有孔グラフェンシートの平面図である。

【図2】活性化ガスでどのようにグラフェンが穿孔され得るか、を説明する例示的な概略図を示している。

【図3】グラフェンと支持金属基板との複合材シートの概略断面図を示している。**【図4】グラフェンと支持重合体との複合材シートの概略断面図を示している。****【発明を実施するための形態】**

20

【0024】

本開示は、グラフェンシートの基底面内に複数の孔を導入するための方法を説明する。その方法は、プラズマに接触させられた活性化ガスにグラフェンシートを接触させる工程を含む。そして、前記方法は、孔の数とそれらの寸法とが容易に調整されることを許容する。

【0025】

内部に複数の孔を有するグラフェンシートもまた説明される。そのようなグラフェンシートは、ここでは「有孔グラフェン」とも言及されるであろう。いくつかの実施の形態では、孔は、約5nm以下の大きさであり得る。いくつかの実施の形態では、孔は、約10nm以下の大きさであり得る。いくつかの実施の形態では、孔は、約100nm以下の大きさであり得る。そして、他の実施の形態では、孔は、約0.5nmから約1.5nmの範囲に亘り得る。

30

【0026】

いくつかの実施の形態では、高分子マトリックスと内部に複数の孔を有するグラフェンシートとを含む複合材料が、説明される。

【0027】

後に続く詳細な説明がより良く理解されるために、前述の部分は、本開示の特徴を大まかに概説している。本開示の更なる特徴及び利点は、この後に説明される。これらの及び他の利点及び特徴は、後の説明からより明らかになる。

40

【0028】

グラフェンは、図1に示されるように、シート10を規定するべく互いに結合された、炭素原子の単一原子層厚(single-atomic-layer-thic)の層である。1枚のグラフェンシートの厚みは、およそ0.2乃至0.3ナノメートル(nm)である。多層グラフェンシートが形成され得て、より大きな厚みと相応するより大きな強度とを有する。多層グラフェンシートは、シートが成長させられ、または、形成されるにつれて、多重の層に提供され得る。あるいは、多層グラフェンシートは、1枚のシートを他のシートの上に、積層する、または、位置付ける、ことによって達成され得る。ここで開示される全ての実施の形態に、グラフェンの単一のシートまたは多層グラフェンシートが使用され得る。グラフェンの複数の層が、自己粘着性の結果としてそれらの一体性及び機能を維持するということ

50

を、試験が明らかにしている。これは、シートの強度、及び、いくつかの場合において電流性能 (flow performance)、を改善する。グラフェンシートの炭素原子は、炭素原子のハニカム格子を形成する 6 個の炭素原子から構築される、六角形の環状構造 (ベンゼン環) の繰り返しのパターンを規定する。各 6 個の炭素原子の環状構造によって格子間開口 12 がシート内に形成されており、この格子間開口は、1 ナノメートル未満の幅である。実際、格子間開口の開口 12 がその最長の寸法に亘っては約 0.23 ナノメートルであると信じられているということを、当業者は理解するであろう。従って、開口 12 の寸法及び形態、並びに、グラフェンの電子特性 (electron nature) は、孔が無いならば、グラフェンの厚みを横切るあらゆる分子の移動を排除する。この寸法は、水やイオンの通過を許容するには、あまりにも小さい。1 または複数の孔 14 を有する有孔グラフェンシート 10 0 の形成が、以下に説明されるように、なされる。

【 0 0 2 9 】

本開示は、一部において、内部に複数の孔を包含するグラフェンシート (「有孔グラフェン」) 向けられている。本開示はまた、一部において、グラフェンシート内に複数の孔を導入するための方法にも向けられている。更に、本開示はまた、一部において、内部に複数の孔を包含するグラフェンシートを含む高分子複合材にも向けられている。

【 0 0 3 0 】

有孔グラフェンは、例えば、分子フィルターとしての使用、規定されたバンドギャップ材料としての使用、及び、高分子複合材内で調整可能な電気的特性を有する導電性の充填材料としての使用、を含む数多くの可能性ある応用を有する。有孔グラフェンにとって数多くの可能性ある用途が存在するにも関わらず、約 10 nm 以下、特には約 5 nm 以下の寸法範囲でグラフェンに孔を導入する信頼性ある方法が存在しない。約 10 nm より大きい孔を加工するためには、多段階で労力を要するリソグラフィ技術が用いられ得る。しかしながら、毎分数平方メートル以上の規模で有孔グラフェンを作製するのに好適な技術は、現在のところ存在しない。

【 0 0 3 1 】

いくつかの実施の形態では、有孔グラフェンは、グラフェンシートを活性化ガスに接触させることによって用意され得る。活性化ガスは、限定されないが、プラズマ内に導入された酸素または窒素を含み得る。いくつかの実施の形態では、プラズマは、例えば大気圧アルゴンプラズマまたは大気圧ヘリウムプラズマ等の、大気圧プラズマであり得る。

【 0 0 3 2 】

様々な実施の形態において、活性化ガスは、約 0.1 秒乃至約 120 秒の範囲に亘る時間の長さでグラフェンシートに接触させられ得る。所望の場合、より長い接触時間が用いられ得る。得られる孔の大きさに影響を与える要因は、例えば、隔離距離 (すなわち、活性ガス源からグラフェンシートまでの距離)、接触滞留時間、活性ガスの濃度、及び、プラズマの電力量、を含む。本方法は、1 回の操作で数平方メートルのグラフェンシートを穿孔するのに好適であり得る。要因の任意の組み合わせにおいて、隔離値 (standoff values) が 1 から 20 mm の範囲に亘り、滞留時間が 0.1 から 120 秒の範囲に亘り、活性ガスがガスの全量の 0 から 3 % の範囲に亘り、適用されるプラズマの電力量が 40 から 400 W / in² である、という大気圧プラズマを用いて、所望の孔の大きさが獲得され得る。一実施の形態では、約 1 mm の隔離距離、約 3 秒の滞留時間、及び、約 80 W / in² の電力量を伴う約 1 % の窒素ガス、を用いることによって、大部分が 1.1 nm である 0.5 至 1.75 nm の孔が獲得され得る。

【 0 0 3 3 】

いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 100 nm 以下の大きさであり得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 10 nm 以下の大きさであり得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 5 nm 以下の大きさであり得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 2 nm 以下の大きさであり得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 1 nm 以下の大きさであり得る。そしていくつ

10

20

30

40

50

かの実施の形態では、孔は、約 0 . 5 nm から約 1 . 5 nm の範囲に亘り得る。

【 0 0 3 4 】

いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 0 . 1 nm から約 100 nm の大きさの範囲に亘り得る。前述の通り、グラフェンシートにとっての格子間開口は、0 . 23 nm である。しかしながら、いくつかの実施の形態では、炭素の未結合手が取り除いた炭素から離れない。結果として、H、OH、NH、NH₂ または他の終端部が提供され、それは、格子間開口の直径よりも小さな 0 . 1 nm という孔の直径に帰結する。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 0 . 1 nm から約 5 nm の大きさの範囲に亘り得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 0 . 1 nm から約 10 nm の大きさの範囲に亘り得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 0 . 5 nm から約 100 nm の大きさの範囲に亘り得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 0 . 5 nm から約 1 . 5 nm の大きさの範囲に亘り得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 0 . 5 nm から約 5 nm の大きさの範囲に亘り得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 0 . 5 nm から約 10 nm の大きさの範囲に亘り得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 1 . 5 nm から約 5 nm の大きさの範囲に亘り得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 1 . 5 nm から約 10 nm の大きさの範囲に亘り得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 1 . 5 nm から約 100 nm の大きさの範囲に亘り得る。いくつかの実施の形態では、グラフェンシートに導入される孔は、約 10 nm 以上の大さり得る。10

【 0 0 3 5 】

図 2 は、全体として数字 20 によって明示されるような活性化ガスを用いて、前述の要因及びそれらの範囲を用いて、どのようにしてグラフェンが穿孔され得るか、を説明する例示的な概略図を示している。図 2 に示されるように、酸素または窒素であり得る活性ガス流 22 は、活性化ガス流 26 を生成するために、大気圧のアルゴンまたはヘリウムのプラズマであり得るプラズマ 24 に曝され得る。そして、活性化ガス流 26 は、0 . 1 秒から 120 秒までの制御された長さの時間に亘ってグラフェンシート 10 と相互作用することが許容される。活性化ガス流 26 とグラフェンシート 10 との相互作用が、その内部に複数の孔 32 が配置された有孔グラフェンシート 30 を作製する。孔 32 の周縁部には、プロセス状況に関連した官能基が補充される。官能基（図 2 において X として特定されている）は、限定されないが、-H、-O、-OH、-N、-NH、-NH₂ であり得る。図 2 における孔 32 の数及び配置は、例示的であって限定的でないことが意図されている、ということが認識されるべきである。ここで議論されるように、グラフェンシート内に導入される孔の数及び大きさは、いくつかの要因を変更することを通じて、調整され得る。30

【 0 0 3 6 】

いくつかの実施の形態では、図 3 に見られるように、実質的にグラフェンシート 10 と同一であるグラフェンシート 36 が、全体として数字 40 によって明示された複合材シートを形成するために、成長基板 38 の上にある間に、活性化ガスに接触させられ得る。いくつかの実施の形態では、成長基板 38 は、銅基板であり得る。前述の実施の形態と同様にして、プラズマによって活性化されたガス流が複合材シート 40 に向けて射出され、複数の適切に寸法決めされた開口 42 がグラフェンシート 36 内に形成される。いくつかの実施の形態では、グラフェンシート 36 は、そこへの孔の導入に次いで、成長基板 38 から他の基板またはマトリックスに分離または移転され得る。40

【 0 0 3 7 】

いくつかの実施の形態では、図 4 に見られるように、有孔グラフェン 30 / 36 は、高分子複合材 50 を形成するために高分子マトリックス 48 に移転される。高分子複合材 50 の高分子マトリックス 48 は、特に限定されず、当該技術分野で知られているあらゆるタイプの高分子マトリックスが使用され得る。高分子マトリックス 48 は、グラフェンシ50

ート36の開口42と整列される必要が無い複数の孔52を有している。更に、孔52は、典型的には開口42よりもずっと大きい。高分子マトリックスは、熱可塑性、熱硬化性または弾性であり得る。いくつかの実施の形態では、有孔グラフェンを含む高分子複合材は、センサ応用での使用のために導電性であり得る。様々な実施の形態において、高分子複合材内の有孔グラフェンの量は、当該高分子複合材の約0.1重量%乃至約90重量%の範囲に亘り得る。そのような実施の形態は、メタンからCO₂を分離するために使用され得る。

【0038】

前述の内容に基づき、本発明の利点は容易に明らかである。開示された方法を用いて、多数の一貫して寸法決めされた孔が、1枚のグラフェンシートにおいて獲得され得る。結果として、グラフェンシートには、特定のナノサイズの成分の通過を信頼性をもって許容する一方で、他の成分をロックする孔が、設けられ得る。結果として、液体／気体フィルターとして使用されるグラフェン膜が、多種多様の応用において使用され得る。開示されたプロセスはまた、大規模な製造プロセスにおいてグラフェン内に孔を生成するのに貢献することも信じられる。

【0039】

本発明は、開示された実施の形態を参照して説明されたが、当業者は、それらが本発明の例示に過ぎないということを容易に理解するであろう。本発明の精神から逸脱することなく、様々な修正が行われ得るということが理解されるべきである。本発明は、これまで説明されていない、あらゆる数の変化、変更、代用、または、等価な配置、を含んで修正され得るが、それらは本発明の精神及び範囲に対応する。更に、本発明の様々な実施の形態が説明されたが、本発明の特徴は、説明された実施の形態のいくつかのみを含み得るということが理解されるべきである。従って、本発明は、前述の説明によって限定されると理解されるべきでない。

【図1】

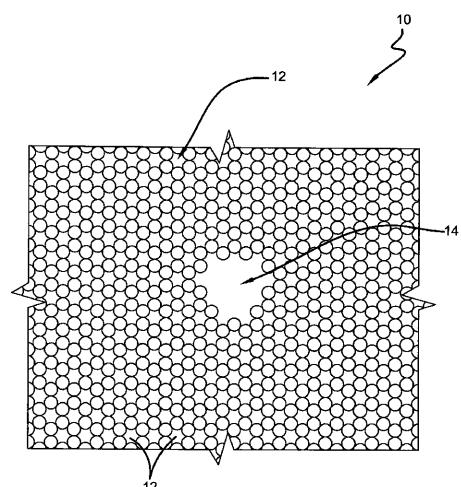


FIG. 1

【図2】

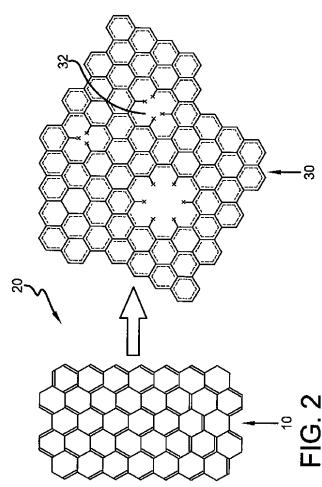
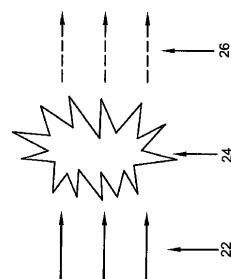


FIG. 2



【図3】

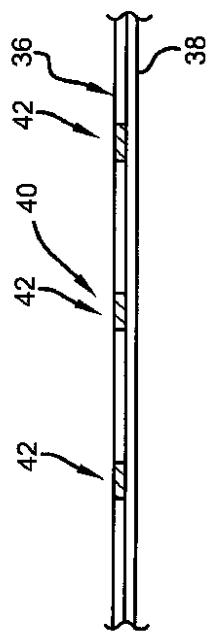


FIG. 3

【図4】

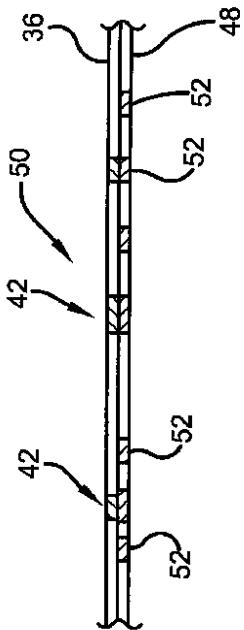


FIG. 4

フロントページの続き

審査官 山口 俊樹

(56)参考文献 特開2004-179014(JP,A)

特開2011-241479(JP,A)

中国特許出願公開第101996853(CN,A)

X. LIANG et al., Formation of Bandgap and Subbands in Graphene Nanomeshes with Sub-10nm Ribbon Width Fabricated via Nanoimprint Lithography., Nano Letters, 2010年 6月 11日, PP.2454-2460

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C01B32/00 - 32/991

JSTPlus (JDreamIII)

JST7580 (JDreamIII)

JSTChina (JDreamIII)