

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2017-517137

(P2017-517137A)

(43) 公表日 平成29年6月22日(2017.6.22)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H 0 1 L 23/373 (2006.01)</b>	H 0 1 L 23/36	Z N M M 4 G 1 4 6
<b>C O 1 B 32/15 (2017.01)</b>	C O 1 B 31/02	1 O 1 Z 4 K O 3 O
<b>C O 1 B 32/18 (2017.01)</b>	C 2 3 C 16/26	5 E 3 2 2
<b>C O 1 B 32/182 (2017.01)</b>	H 0 1 L 23/36	Z 5 F 1 3 6
<b>C 2 3 C 16/26 (2006.01)</b>	B 8 2 Y 30/00	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 25 頁) 最終頁に続く		

(21) 出願番号 特願2016-556314 (P2016-556314)  
 (86) (22) 出願日 平成27年2月23日 (2015. 2. 23)  
 (85) 翻訳文提出日 平成28年11月1日 (2016. 11. 1)  
 (86) 国際出願番号 PCT/US2015/017043  
 (87) 国際公開番号 W02015/138110  
 (87) 国際公開日 平成27年9月17日 (2015. 9. 17)  
 (31) 優先権主張番号 14/202, 451  
 (32) 優先日 平成26年3月10日 (2014. 3. 10)  
 (33) 優先権主張国 米国 (US)

(71) 出願人 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 110002077  
 園田・小林特許業務法人  
 (72) 発明者 リー, アンジェラ ダブリュ.  
 アメリカ合衆国 ワシントン 98203  
 , エバレット, ウェスト カジノ ロード 3003

最終頁に続く

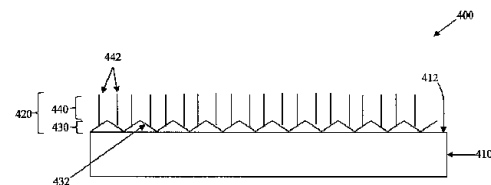
(54) 【発明の名称】 グラフェン系熱管理システム

## (57) 【要約】

1つの態様では、熱管理された電子部品が、本明細書に記載される。いくつかの実施態様では、熱管理された電子部品は、電子部品と、電子部品の表面に配置された熱管理コーティングとを含む。熱管理コーティングは、部品の表面に配置されたグラフェンコーティング層を含む。グラフェンコーティング層は、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を含みうる。更に、熱管理コーティングは、グラフェンコーティング層に配置された、位置合わせされたカーボンナノ粒子の追加の層を更に含みうる。別の態様では、熱管理コーティングの電子部品への適用方法が開示される。いくつかの実施態様では、そのような方法は、電子部品の表面にグラフェンコーティング層を配置することを含む。グラフェンコーティング層は、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を含みうる。そのような方法は、グラフェンコーティング層に、位置合わせされたカーボンナノ粒子の追加の層を配置することを更に含みうる。

【選択図】 図4

FIG. 4



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

熱管理された電子部品であって、  
前記電子部品の表面に配置されたグラフェンコーティング層と、  
前記グラフェンコーティング層に配置された、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層と  
を含む、前記電子部品の前記表面に配置された熱管理コーティングを含む電子部品。

## 【請求項 2】

前記電子部品の前記表面と前記熱管理コーティングとの間に配置された電気絶縁材料層を更に含む、請求項 1 に記載の熱管理された電子部品。

## 【請求項 3】

前記グラフェンコーティング層が、1 から 30 の間の原子層を含む、請求項 1 又は 2 に記載の熱管理された電子部品。

## 【請求項 4】

前記グラフェンコーティング層が、約 500 nm 以下の厚さを有している、請求項 1 から 3 の何れか一項に記載の熱管理された電子部品。

## 【請求項 5】

前記カーボンナノ粒子が、単層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブ、フラーレン、ヘテロフラーレン、又はそれらの組み合わせを含む、請求項 1 から 4 の何れか一項に記載の熱管理された電子部品。

## 【請求項 6】

前記位置合わせされたカーボンナノ粒子の層が、対称構造を有している、請求項 1 から 5 の何れか一項に記載の熱管理された電子部品。

## 【請求項 7】

前記位置合わせされたカーボンナノ粒子の層が、非対称構造を有している、請求項 1 から 5 の何れか一項に記載の熱管理された電子部品。

## 【請求項 8】

前記位置合わせされたカーボンナノ粒子の層が、右側構造又は左側構造を有している、請求項 1 から 7 の何れか一項に記載の熱管理された電子部品。

## 【請求項 9】

前記熱管理コーティングが、前記熱管理された電子部品の総重量に対し、前記熱管理された電子部品の約 0.2 重量パーセント以下を含んでいる、請求項 1 から 8 の何れか一項に記載の熱管理された電子部品。

## 【請求項 10】

前記熱管理コーティングが、約 25 MW / m<sup>2</sup> K を上回る熱コンダクタンスを示す、請求項 1 から 9 の何れか一項に記載の熱管理された電子部品。

## 【請求項 11】

熱管理コーティングを電子部品に適用する方法であって、  
グラフェンコーティング層を前記電子部品の表面に配置することと、  
位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を前記グラフェンコーティング層に配置することと  
を含む方法。

## 【請求項 12】

前記グラフェンコーティング層を前記電子部品の前記表面に配置する前に、電気絶縁材料層を前記電子部品の前記表面に配置することを更に含む、請求項 11 に記載の方法。

## 【請求項 13】

前記カーボンナノ粒子が、単層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブ、フラーレン、ヘテロフラーレン、又はそれらの組み合わせを含む、請求項 11 又は 12 に記載の方法。

10

20

30

40

50

**【請求項 14】**

前記位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を配置することが、化学気相蒸着を用いて実行される、請求項 11 に記載の方法。

**【請求項 15】**

前記位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を前記グラフェンコーティング層に配置する前に、触媒膜が前記グラフェンコーティング層に堆積される、請求項 11 から 14 の何れか一項に記載の方法。

**【請求項 16】**

前記触媒膜が、ニッケル、コバルト、鉄、又はそれらの組み合わせの粒子を含む、請求項 15 に記載の方法。

**【請求項 17】**

前記位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を配置することが、前記触媒膜から前記カーボンナノ粒子を成長させることを含む、請求項 15 に記載の方法。

**【請求項 18】**

DC 電場が、前記カーボンナノ粒子の前記成長中に前記電子部品に印加される、請求項 17 に記載の方法。

**【請求項 19】**

磁場が、前記カーボンナノ粒子の前記成長中に前記電子部品に印加される、請求項 18 に記載の方法。

**【請求項 20】**

AC 電場が、前記カーボンナノ粒子の前記成長中に前記電子部品に印加される、請求項 17 に記載の方法。

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本開示は、電子部品から熱エネルギーを奪うためのシステム及び方法に関し、具体的には、グラフェン系ヒートシンク及び熱コンジットに関する。

**【背景技術】****【0002】**

電子部品及び電子接続又はコネクタは、一般的に、熱応力に敏感である。加えて、多くの電子部品又は電子部品のサブ要素は、廃熱を発生させる。結果として、熱応力による電子部品、電子接続又は電子コネクタへの一時的又は永続的な損傷を防止するために、電子部品、電子接続又は電子コネクタから熱エネルギーを送出するのが望ましいことが多い。いくつかの以前の方法では、熱エネルギーを電子部品から吸収し奪うために、銅ベースなどの金属ベースが使用される。あいにく、そのような方法は、重く及び／又はかさばり、ゆえに極端に重量が増し及び／又は極端に体積を占める金属ベースの使用を必要とすることがある。航空宇宙応用などの多くの用途では、更なる重量及び体積は好ましくない。したがって、電子部品及び電子接続又は電子コネクタのための改良された熱管理システム及び方法が必要になる。

**【発明の概要】****【0003】**

1つの態様では、いくつかの実施態様において、これまでの熱管理された電子部品と比較して一又は複数の利点を提供しうる、熱管理された電子部品が開示される。例えば、いくつかの実施態様では、本明細書に記載される熱管理された電子部品は、いくつかの他の熱管理された電子部品と比較して、低減された体積及び／又は質量を有している。加えて、本明細書に記載される熱管理された電子部品は、改善された熱コンダクタンスなど、改善された放熱特性及び／又は熱コンジット特性を示す可能性がある。したがって、いくつかの実施態様では、本明細書に記載される熱管理された電子部品は、部品の質量又は体積が実質的に増加することなく、改善された熱輸送特徴を示す可能性がある。本明細書における参考のため、「電子部品」とは、集合的に、電子部品、及び電子部品から電子部品ま

10

20

30

40

50

で、若しくは電子部品間の任意の電子コネク又は接続を指す可能性がある。

【0004】

いくつかの実施態様では、本明細書に記載される熱管理された電子部品は、電子部品と、電子部品の表面に配置された熱管理コーティングとを含む。場合によっては、熱管理された電子部品は、電子部品の表面と熱管理コーティングとの間に配置された絶縁材料層を更に含む。いくつかの実施態様における熱管理コーティングは、電子部品の表面に配置されたグラフェンコーティング層を含む。更に、場合によっては、グラフェンコーティング層は、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を含む。加えて、場合によっては、熱管理コーティングは、グラフェンコーティング層に配置された、位置合わせされたカーボンナノ粒子の追加の層を更に含む。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、一又は複数のグラフェンシートを含む。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、1から30の間の原子層を含む。いくつかの実施態様では、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、単層カーボンナノチューブ(SWNT)、多層カーボンナノチューブ(MWNT)、フラーレン、ヘテロフラーレン、又はそれらの組み合わせを含む。更に、場合によっては、カーボンナノ粒子は、対称構造又は非対称構造で配置又は構成することができる。いくつかの例では、位置合わせされたカーボンナノ粒子の一又は複数の層は、右側構造又は左側構造を有している。

10

【0005】

別の態様では、熱管理コーティングの電子部品への適用方法が、本明細書に記載される。いくつかの実施態様では、熱管理コーティングを電子部品に適用する方法は、電子部品の表面にグラフェンコーティング層を配置することを含む。いくつかの例では、グラフェンコーティング層は、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を含む。加えて、場合によっては、方法は、グラフェンコーティング層に、位置合わせされたカーボンナノ粒子の追加の層を配置することを更に含む。いくつかの実施態様では、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、化学気相蒸着(CVD)などの蒸着プロセスを使用して堆積される。更に、場合によっては、本明細書に記載の方法は、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を堆積させる前に、触媒膜又は触媒粒子の層をグラフェンコーティング層に堆積させることを更に含む。更に、いくつかの実施態様では、電場及び/又は磁場が、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層の成長中に、電子部品に提供される。加えて、場合によっては、本明細書に記載の方法は、電子部品の表面に熱管理コーティングを堆積させる前に、電子部品の表面に電気絶縁材料層を堆積させることを更に含む。

20

30

【0006】

本開示の態様によれば、電子部品の表面に配置された熱管理コーティングであって、電子部品の表面に配置されたグラフェンコーティング層と、グラフェンコーティング層に配置された、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層とを含む熱管理コーティングを含む、熱管理された電子部品が提供される。

【0007】

有利には、熱管理された電子部品は、電子部品の表面と熱管理コーティングとの間に配置された電気絶縁材料層を更に含む。

【0008】

有利には、グラフェンコーティング層は、1から30の間の原子層を含む。

40

【0009】

有利には、グラフェンコーティング層は、約500nm以下の厚さを有している。

【0010】

有利には、カーボンナノ粒子は、単層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブ、フラーレン、ヘテロフラーレン、又はそれらの組み合わせを含む。

【0011】

有利には、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、対称構造を有している。

【0012】

有利には、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、非対称構造を有している。

50

## 【 0 0 1 3 】

有利には、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、右側構造又は左側構造を有している。

## 【 0 0 1 4 】

有利には、熱管理コーティングが、熱管理された電子部品の総重量に対し、熱管理された電子部品の約 0.2 重量パーセント以下を含んでいる。

## 【 0 0 1 5 】

有利には、熱管理コーティングは、約 25 MW / m<sup>2</sup> K を上回る熱コンダクタンスを示す。

## 【 0 0 1 6 】

本開示の別の態様によれば、熱管理コーティングを電子部品に適用する方法であって、グラフェンコーティング層を電子部品の表面に配置することと；位置合わせされたカーボンナノ粒子の層をグラフェンコーティング層に配置することを含む方法が提供される。

## 【 0 0 1 7 】

有利には、方法は、グラフェンコーティング層を電子部品の表面に配置する前に、電気絶縁材料層を電子部品の表面に配置することを更に含む。

## 【 0 0 1 8 】

有利には、カーボンナノ粒子は、単層カーボンナノチューブ、多層カーボンナノチューブ、フラーレン、ヘテロフラーレン、又はそれらの組み合わせを含む。

## 【 0 0 1 9 】

有利には、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を配置することは、化学気相蒸着を用いて実行される。

## 【 0 0 2 0 】

有利には、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層をグラフェンコーティング層に配置する前に、触媒膜がグラフェンコーティング層に堆積される。

## 【 0 0 2 1 】

好ましくは、触媒膜が、ニッケル、コバルト、鉄、又はそれらの組み合わせの粒子を含む。

## 【 0 0 2 2 】

有利には、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を配置することは、触媒膜からカーボンナノ粒子を成長させることを含む。

## 【 0 0 2 3 】

有利には、DC 電場が、カーボンナノ粒子の成長中に電子部品に印加される。

## 【 0 0 2 4 】

有利には、磁場が、カーボンナノ粒子の成長中に電子部品に印加される。

## 【 0 0 2 5 】

任意選択的には、AC 電場が、カーボンナノ粒子の成長中に電子部品に印加される。

## 【 0 0 2 6 】

これらの実施態様及び他の実施態様が、以下に続く詳細な説明でより詳しく記載される。

## 【 図面の簡単な説明 】

## 【 0 0 2 7 】

【 図 1 】 本明細書に記載の 1 つの実施態様による、熱管理された電子部品の側面図を概略的に示す。

【 図 2 】 本明細書に記載の 1 つの実施態様による、熱管理された電子部品の側面図を概略的に示す。

【 図 3 】 本明細書に記載の 1 つの実施態様による、熱管理された電子部品の側面図を概略的に示す。

【 図 4 】 本明細書に記載の 1 つの実施態様による、熱管理された電子部品の側面図を概略的に示す。

10

20

30

40

50

## 【発明を実施するための形態】

## 【0028】

本明細書に記載の実施態様は、以下に続く詳細な説明、実施例、及び図面を参照することによって、より容易に理解することができる。しかしながら、本明細書に記載の要素、装置、及び方法は、詳細な説明、実施例、及び図面に提示された特定の実施態様に限定されない。これらの実施態様が本開示の原理を単に説明しているに過ぎないことを認識すべきである。当業者であれば、本開示の精神及び範囲から逸脱することなく、多数の修正及び改造がすぐに明らかになるだろう。

## 【0029】

加えて、本明細書に記載のすべての範囲が、本明細書内に包含される任意のすべての部分範囲を含むと理解すべきである。例えば、「1.0から10.0」の指定範囲は、最小値1.0以上で始まり、最大値10.0以下で終わる任意のすべての部分範囲、例えば、1.0から5.3、4.7から10.0、又は3.6から7.9など、を含むと見なすべきである。

## 【0030】

本明細書で開示されたすべての範囲はまた、特別に別の方法で指定されない限り、範囲の終点を含むと見なすべきである。例えば、「5から10まで」の範囲は、一般的に、終点5及び10を含むと見なすべきである。

## 【0031】

更に、「～に至るまで (up to)」というフレーズが量 (amount) 又は分量 (quantity) と関連付けて使用されると、量が少なくとも検出可能な量又は分量であると理解すべきである。例えば、特定の量「に至るまで」の量に存在する材料は、検出可能な量から、特定の量に至るまで、かつ特定の量を含んで存在する可能性がある。

## 【0032】

## I. 熱管理された電子部品

1つの態様では、熱管理された電子部品が、本明細書に記載される。いくつかの実施態様では、熱管理された電子部品は、電子部品と、電子部品の表面に配置された熱管理コーティングとを含む。場合によっては、熱管理された電子部品は、電子部品の表面と熱管理コーティングとの間に配置された絶縁材料層を更を含む。いくつかの実施態様では、熱管理された電子部品の電気絶縁材料層は、電子部品の表面での熱管理コーティングと露出した導電性材料との間の電氣的接触を防止するために使用することができる。本明細書に記載の、熱管理された電子部品の熱管理コーティングは、電子部品の表面に配置されたグラフェンコーティング層を含む。場合によっては、グラフェンコーティング層は、配向され又は位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を含む。加えて、場合によっては、熱管理コーティング層は、グラフェンコーティング層に配置された、配向され又は位置合わせされたカーボンナノ粒子の追加の層を更を含む。

## 【0033】

ここで熱管理された電子部品の特定の部品に注目すると、本明細書に記載の、熱管理された電子部品は、電子部品の表面に配置されたグラフェンコーティング層を含む熱管理コーティングを含む。本開示の目的と不整合でない任意のグラフェンコーティング層が使用されうる。本明細書での参考のため、「グラフェン」コーティング層は、 $sp^3$ -結合炭素とは対照的に、主要炭素成分として $sp^2$ -結合炭素を含む。いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層は、 $sp^3$ -混成炭素を含まない、又は $sp^3$ -混成炭素を実質的に含まない。例えば、いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、グラフェンコーティング層における炭素の総量に対して、約10原子パーセント未満又は約5原子パーセント未満の $sp^3$ -混成炭素を含む。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、約2原子パーセント未満又は約1原子パーセント未満の $sp^3$ -混成炭素を含む。更に、いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層は、ダイヤモンド状炭素(DLC)を含まず、DLCから構成されず、又は本質的にDLCから構成されない。

10

20

30

40

50

## 【0034】

いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、一又は複数のグラフェンシートを含み、一又は複数のグラフェンシートから構成され、又は本質的に一又は複数のグラフェンシートから構成される。いくつかの実施態様では、グラフェンシートは、平らな平面構造を有する単分子層又は単原子層を含む。本開示の目的と不整合でない任意の数のグラフェンシートが使用されうる。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、複数のグラフェンシートを含む。いくつかの実施態様では、複数のグラフェンシートは、積層構造又は層構造で配置することができる。他の実施態様では、グラフェンコーティング層は、単一のグラフェンシートを含み、又は単一のグラフェンシートから構成される。したがって、いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層は、グラフェンの一又は複数の原子層を含む。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、グラフェンの1から30の間の原子層を含む。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、グラフェンの1から20の間の原子層、又はグラフェンの1から10の間の原子層を含む。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、グラフェンの1つの原子層を含む。

10

## 【0035】

図1は、グラフェンシートを含むグラフェンコーティング層を含む熱管理コーティングを含む、熱管理された電子部品の側面図を示す。当業者には分かるように、図1に示された様々な要素は、単に表示されたに過ぎず、必ずしも正確な縮尺で描かれているわけではない。図1の実施態様では、熱管理された電子部品(100)は、電子部品(110)と、電子部品(110)の表面(112)に配置された熱管理コーティング(120)とを含む。熱管理コーティング(120)は、グラフェンシート(132)を含むグラフェンコーティング層(130)を含む。グラフェンシート(132)が、アルカン鎖に似た線によって、図1に概略的に示されている。しかしながら、当業者には分かるように、そのような表現は、例示目的のために過ぎない。加えて、電子部品(110)は、長方形の断面及び平らな平面を有するものとして、図1に概略的に示されている。しかしながら、他の実施態様もまた可能である。例えば、いくつかの実施態様では、電子部品は、円形、楕円形、又は他の断面形状を有することができる。本開示の目的と不整合でない任意のサイズ及び形状が使用されうる。同様に、いくつかの実施態様では、電子部品(110)の表面(112)は、凸状の湾曲、凹状の湾曲、断続的又は起伏する湾曲を含む湾曲を有することができる。いくつかの実施態様では、電子部品(110)の表面(112)は、変圧器、抵抗器、蓄電器、誘導子、集積回路、及び/又は他の電子部品などの電子部品を含む。いくつかの実施態様では、電子部品(110)の表面(112)は、織目加工された表面又は不規則な表面を形成する、電子部品の上に配置された一又は複数の電子サブコンポーネントを有する。例えば、場合によっては、一又は複数の変圧器、抵抗器、蓄電器及び/又は誘導子が、表面(112)に配置され、グラフェンシート(132)が、サブコンポーネントの上に配置される。加えて、場合によっては、中間の電気絶縁材料層(図示されず)が、表面(112)に配置されうる一又は複数の電子サブコンポーネントを含む表面(112)と、熱管理コーティング(120)との間に配置されうる。

20

30

## 【0036】

他の実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層は、グラフェンチューブの層を含み、グラフェンチューブの層から構成され、又は本質的にグラフェンチューブの層から構成される。本開示の目的と不整合でない任意のグラフェンチューブが使用されうる。いくつかの実施態様では、グラフェンチューブは、単層カーボンナノチューブ(SWNT)又は多層カーボンナノチューブ(MWNT)などのカーボンナノチューブ(CNT)を含む。更に、グラフェンチューブは、本開示の目的と不整合でない任意のサイズを有することができる。例えば、いくつかの実施態様では、グラフェンチューブは、約500nm未満、約300nm未満、又は約100nm未満の少なくとも1次元のサイズを有している。いくつかの実施態様では、グラフェンチューブは、約1nmから約200nmまでの、約1nmから約150nmまでの、又は約5nmから約100nmまでの少なく

40

50

とも1次元のサイズを有している。いくつかの実施態様では、グラフェンチューブは、約5 nmから約75 nmまでの、又は約15 nmから約60 nmまでの少なくとも1次元のサイズを有している。いくつかの実施態様では、グラフェンチューブは、約20 nmから約30 nmまでの、又は約45 nmから約55 nmまでの少なくとも1次元のサイズを有している。いくつかの実施態様では、グラフェンチューブは、約300 nm未満、又は約100 nm未満の少なくとも2次元のサイズを有している。いくつかの実施態様では、グラフェンチューブは、約1 nmから約200 nmまでの、約1 nmから約150 nmまでの、又は約5 nmから約100 nmまでの少なくとも2次元のサイズを有している。いくつかの実施態様では、グラフェンチューブは、約5 nmから約75 nmまでの、又は約15 nmから約60 nmまでの少なくとも2次元のサイズを有している。

10

#### 【0037】

更に、いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層のグラフェンチューブは、低アスペクト比を有している。いくつかの実施態様では、グラフェンチューブは、約20以下又は約10以下のアスペクト比を有している。いくつかの実施態様では、グラフェンチューブは、約2から約15までの、又は約3から約10までのアスペクト比を有している。加えて、いくつかの実施態様では、約20以下のアスペクト比を有するグラフェンチューブは、約5 nmから約200 nmまで、又は約10 nmから約100 nmまでの範囲の長さを有している。

#### 【0038】

更に、いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層のグラフェンチューブは、層の中で配向又は位置合わせすることができる。いくつかの実施態様では、一又は複数のグラフェンチューブは、層の中で水平に又は実質的に水平に配向することができる。他の実施態様では、一又は複数のグラフェンチューブは、層の中で垂直に又は実質的に垂直に配向することができる。更に、いくつかの実施態様では、層の中の垂直に又は実質的に垂直に配向されたグラフェンチューブは、アレイ内を含め、互いに位置合わせされる又は実質的に位置合わせされる。

20

#### 【0039】

図2及び図3は各々、本明細書に記載のいくつかの実施態様による、グラフェンチューブの層を含むグラフェンコーティング層を含む熱管理コーティングを示す。図2を参照すると、熱管理された電子部品(200)は、電子部品(210)と、電子部品(210)の表面(212)に配置されたグラフェンコーティング層(230)を含む、熱管理コーティング(220)とを含む。更に、場合によっては、中間の電気絶縁層(図示されず)は、表面(212)とグラフェンコーティング層(230)との間に位置決めすることができる。図2の実施態様では、熱管理された電子部品(200)のグラフェンコーティング層(230)は、電子部品(210)の表面(212)に水平に又は実質的に水平に配向された複数のグラフェンチューブ(232)を含む。水平配向は、表面(212)に比例する。本明細書での参考のため、「水平な」配向は、グラフェンチューブ(232)の長軸が表面(212)に平行に配向されるような配向を含む。図2の実施態様では、グラフェンチューブ(232)のすべてが、表面(212)に平行に配向された長軸を有するように示されている。しかしながら、他の配置も可能である。例えば、いくつかの実施態様では、一又は複数のグラフェンチューブは、図2の線A'に沿った、又は表面(212)に平行でない別の方向に沿った長軸を有することができる。本明細書での参考のため、「実質的に水平な」配向は、グラフェンチューブの長軸(A')が、電子部品(210)の表面(212)に平行な線(A)と約45度未満の角度( $\theta_1$ )を形成するような配向を含む。いくつかの実施態様では、角度( $\theta_1$ )は、約30度未満又は約15度未満である。いくつかの実施態様では、角度( $\theta_1$ )は、約0度から約30度までである。いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層のグラフェンチューブの大半は、水平な又は実質的に水平な配向を有している。更に、いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層のグラフェンチューブの少なくとも約60パーセント、少なくとも約70パーセント、少なくとも約80パーセント、又は少なくとも約90パーセント

30

40

50



が、水平な又は実質的に水平な配向を有している。

【0040】

他の実施態様では、グラフェンコーティング層のグラフェンチューブは、垂直に又は実質的に垂直に配向することができる。例えば、図3を参照すると、熱管理された電子部品(300)は、電子部品(310)と、電子部品(310)の表面(312)に配置されたグラフェンコーティング層(330)を含む、熱管理コーティング(320)とを含む。更に、場合によっては、中間の絶縁層(図示されず)は、表面(312)とグラフェンコーティング層(330)との間に位置決めすることができる。図3の実施態様では、熱管理された電子部品(300)のグラフェンコーティング層(330)は、電子部品(310)の表面(312)に垂直に又は実質的に垂直に配向された複数のグラフェンチューブ(332)を含む。垂直配向は、表面(312)に比例する。本明細書での参考のため、「垂直な配向」は、グラフェンチューブ(332)の長軸が表面(312)に直角に配向されるような配向を含む。図3の実施態様では、グラフェンチューブ(332)のすべてが、表面(312)に直角に配向された長軸を有するように示されている。しかしながら、他の配置も可能である。例えば、いくつかの実施態様では、一又は複数のグラフェンチューブは、図3の線B'に沿った、又は表面(312)に平行でない別の方向に沿った長軸を有することができる。本明細書での参考のため、「実質的に垂直な」配向は、グラフェンチューブの長軸(B')が、電子部品の表面に直角な線(B)と約45度未満の角度( $\theta_2$ )を形成するような配向を含む。いくつかの実施態様では、角度( $\theta_2$ )は、約30度未満又は約15度未満である。いくつかの実施態様では、角度( $\theta_2$ )は、約0度から約30度までである。いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層のグラフェンチューブの大半は、垂直な又は実質的に垂直な配向を有している。更に、本明細書に記載のいくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層のグラフェンチューブの少なくとも約60パーセント、少なくとも約70パーセント、少なくとも約80パーセント、又は少なくとも約90パーセントが、垂直な又は実質的に垂直な配向を有している。

10

20

【0041】

加えて、いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層は、水平に若しくは実質的に水平に配向されたグラフェンチューブの単分子層、又は垂直に若しくは実質的に垂直に配向されたグラフェンチューブの単分子層を含む、グラフェンチューブの単分子層を含み、グラフェンチューブの単分子層から構成され、又は本質的にグラフェンチューブの単分子層から構成される。

30

【0042】

更に、本明細書に記載のグラフェンコーティング層は、本開示の目的と不整合でない任意の厚さを有することができる。いくつかの実施態様では、例えば、グラフェンコーティング層は、約500nm以下、約300nm以下、又は約200nm以下の平均厚さを有している。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、約100nm以下の平均厚さを有している。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、約50nm以下、約10nm以下、又は約5nm以下の平均厚さを有している。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、約3nm以下、約2nm以下、又は約1nm以下の平均厚さを有している。例えば、いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層は、約1nmから約300nmまでの、約1nmから約200nmまでの、約1nmから約100nmまでの、約10nmから約300nmまでの、約10nmから約200nmまでの、又は約10nmから約100nmまでの平均厚さを有しうる。更に、いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、約50nmから約300nmまでの、約50nmから約200nmまでの、約50nmから約100nmまでの、又は約100nmから約300nmまでの平均厚さを有しうる。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、約100nmを上回る又は約300nmを上回る平均厚さを有しうる。

40

【0043】

50

更に、いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層は、グラフェンチューブの層を含み、グラフェンコーティング層の平均厚さは、グラフェンチューブの平均直径の約50倍以下である。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層の平均厚さは、グラフェンチューブの平均直径の約20倍以下又は約10倍以下である。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層の平均厚さは、グラフェンチューブの平均直径の約5倍以下、約3倍以下又は約2倍以下である。他の実施態様では、グラフェンコーティング層の平均厚さは、グラフェンチューブの平均長さの約3倍以下である。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層の平均厚さは、グラフェンチューブの平均長さの約2倍以下、約1.5倍以下又は約1倍以下である。

#### 【0044】

いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層は、マイクロワイヤによって結合された複数のグラフェンプレートレット (platelet) を含み、又は複数のグラフェンプレートレットから形成される。いくつかの実施態様では、複数のグラフェンプレートレットは、電子部品の表面に配置することができ、複数のグラフェンプレートレットは、一又は複数のマイクロワイヤによって結合することができる。いくつかの実施態様では、グラフェンプレートレットは、電子部品とは別個に事前に製造し、続いて、後続のマイクロワイヤによる結合のために、電子部品の表面に配置することができる。加えて、グラフェンプレートレットは、本開示の目的と不整合でない任意のサイズ又は形状を有することができる。例えば、場合によっては、グラフェンプレートレットは、約1 $\mu$ mから約2000 $\mu$ mまでの幅又は直径を有している。いくつかの実施態様では、グラフェンプレートレットは、約50 $\mu$ mから約1800 $\mu$ mまでの、約200 $\mu$ mから約1500 $\mu$ mまでの、又は約400 $\mu$ mから約1200 $\mu$ mまでの幅又は直径を有している。更に、いくつかの実施態様では、グラフェンプレートレットは、約1 $\mu$ mから約1500 $\mu$ mまでの、約500 $\mu$ mから約1300 $\mu$ mまでの、約1000 $\mu$ mから約2000 $\mu$ mまでの、又は約50 $\mu$ mから約1000 $\mu$ mまでの幅又は直径を有している。

#### 【0045】

加えて、本明細書に記載のグラフェンコーティング層のマイクロワイヤは、本開示の目的と不整合でない任意の材料から形成することができる。例えば、いくつかの実施態様では、マイクロワイヤは、金ナノ粒子、ポリマーミクロスフェア、及び/又はそれらの組み合わせなどの金属ナノ粒子から形成される。いくつかの実施態様では、マイクロワイヤは、金及びサブミクロンサイズのポリスチレンラテックスミクロスフェアの混合懸濁液から形成することができる。更に、マイクロワイヤは、本開示の目的と不整合でない任意のサイズ又は形状を有することができる。例えば、いくつかの実施態様では、マイクロワイヤは、約1nmから約100nmまでの、約10nmから約40nmまでの、又は約15nmから約50nmまでの直径を有している。いくつかの実施態様では、マイクロワイヤは、約1nmから約30nmまでの、約15nmから約30nmまでの、又は約15nmから約100nmまでの直径を有している。更に、いくつかの実施態様では、マイクロワイヤは、約15nmから約5cmまでの、約100nmから約5cmまでの、約500nmから約5cmまでの、約1 $\mu$ mから約5cmまでの、又は約1mmから約5cmまでの長さを有している。いくつかの実施態様では、マイクロワイヤは、約15nmから約1cmまでの、約500nmから約1cmまでの、約1cmから約5cmまでの、約1 $\mu$ mから約1cmまでの、約1mmから約1cmまでの、又は約5mmから約3cmまでの長さを有している。マイクロワイヤの形成、堆積及び/又は配置は、本開示の目的と不整合でない任意の方法で実行することができる。いくつかの実施態様では、例えば、マイクロワイヤは、更に以下に記載されるように、誘電泳動アセンブリプロセスによって形成される。

#### 【0046】

加えて、本明細書に記載の熱管理コーティングのグラフェンコーティング層は、電子部品の表面に配置される。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、電子部品の上面に直接配置される。他の例では、グラフェンコーティング層は、グラフェンコー

ティング層と電子部品の表面との間に配置された電気絶縁材料層に配置される。更に、いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、電気絶縁材料層に又は電子部品の表面に結合又は接着される。いくつかの実施態様では、結合は、化学的結合を含む。いくつかの実施態様では、結合は、物理的結合を含む。いくつかの実施態様では、結合は、共有結合、イオン結合、水素結合、静電的相互作用、及びファンデルワールス相互作用の一又は複数を含む、又はそれらの一又は複数から構成される。いくつかの実施態様では、例えば、結合は、ファンデルワールス相互作用を含む、又はファンデルワールス相互作用から構成される。いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層は、Zongらによる「Direct measurement of graphene adhesion on silicon surface by intercalation of nanoparticles」J. Appl. Phys., 107巻、026104-1頁から026104-3頁まで(2007)の方法による走査型電子顕微鏡(SEM)によって測定すると、少なくとも約75 mJ/m<sup>2</sup>又は少なくとも約100 mJ/m<sup>2</sup>の接着エネルギーで、電気絶縁材料層又は電子部品の表面に結合又は接着される。具体的には、接着エネルギー( )は、方程式(1)によって与えられ：

$$= E h (w/a)^4 \quad (1)、$$

この場合、 $h$ は1/16に等しい幾何学因子であり、 $E$ は0.5 TPaであり、 $h$ はグラフェンコーティング層の厚さであり、 $w$ は挿入されたナノ粒子の直径に等しい中心ブリスターの変位(central blister displacement)であり、 $a$ はSEMによって測定されたブリスター半径である。ブリスターは、Zongらによって教示されたように、コーティング層と基板との間のいわゆるウェッジ粒子又は挿入されたナノ粒子を配置することによって提供される。ウェッジ粒子は、本開示の目的と不整合でない任意の適した粒子を含むことができる。いくつかの実施態様では、例えば、ウェッジ粒子は、約10 nmから約100 nmまでの直径を有する金又は銀のナノ粒子を含み、測定目的で、電子部品とコーティング層との間に配置される。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、前述のように測定すると、少なくとも約150 mJ/m<sup>2</sup>の接着エネルギーで、電気絶縁材料層又は電子部品の表面に結合又は接着される。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、約50 mJ/m<sup>2</sup>から約300 mJ/m<sup>2</sup>までの、又は約100 mJ/m<sup>2</sup>から約200 mJ/m<sup>2</sup>までの接着エネルギーで、電気絶縁材料層又は電子部品の表面に結合又は接着される。いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層は、極端な温度、高い湿度、粉塵若しくは電磁放射への露出など、不利な環境条件に曝されたり、又はそのような条件への露出の変化又はサイクルに曝されたりすることを含む時間の経過に伴った、層間剥離又は電子部品からの他の脱離に耐性がある。更に、いくつかの実施態様では、本明細書に記載のグラフェンコーティング層は、電子部品の表面全体にわたって連続的又は実質的に連続的である。

#### 【0047】

本明細書に記載の熱管理された電子部品の熱管理コーティングは、いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層に配置された、配向又は位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を更に含む。本開示の目的と不整合でない任意のカーボンナノ粒子が使用される。例えば、場合によっては、本明細書に記載の位置合わせされたナノ粒子層のカーボンナノ粒子は、SWNT又はMWN Tなどの異方性のカーボンナノ粒子又は長尺カーボンナノ粒子を含む。いくつかの例では、位置合わせされたナノ粒子層のカーボンナノ粒子は、グラフェンコーティング層に対して先ほど記載された特徴を有するグラフェンナノチューブを含む。

#### 【0048】

加えて、いくつかの実施態様では、位置合わせされたナノ粒子層のカーボンナノチューブは、対称構造を有している。他の場合、カーボンナノチューブは、非対称構造を有している。本明細書での参考のため、「対称構造」を有するカーボンナノチューブは、回転型の鏡映面及び/又は滑面对称を示す。当業者には分かるように、回転対称とは、ナノ材料の成長方向に平行な軸周囲における180度の回転に存在する対称(C<sub>2v</sub>対称など)を

指す。鏡映面对称とは、一般的に、ナノ材料の成長方向に直角に存在する平面全域での反射を指す。滑面对称とは、一般的に、ナノ材料の成長方向に直角に存在する平面全域での反射を指し、反射面と平行な並進運動が続く。いくつかの実施態様では、本明細書に記載の対称なカーボンナノチューブは、2以上の回転型の鏡映面及び/又は滑面对称を示す。同様に、本明細書での参考のため、「非対称構造」を有するカーボンナノチューブは、比較的低下の回転型の鏡映面及び/又は滑面对称を示す。場合によっては、本明細書に記載の非対称なカーボンナノチューブは、0又は1つの回転型の鏡映面及び/又は滑面对称を示す。

#### 【0049】

更に、位置合わせされたナノ粒子層のカーボンナノチューブはまた、右側構造又は左側構造を有することもできる。本明細書での参考のため、「右側」構造を有するカーボンナノチューブは、右手キラリティを有するナノチューブを含む。同様に、本明細書での参考のため、「左側」構造を有するカーボンナノチューブは、左手キラリティを有するナノチューブを含む。

#### 【0050】

加えて、本明細書での参考のため、「位置合わせされた」カーボンナノ粒子の層は、すべての又は実質的にすべてのカーボンナノ粒子が、層内部で同一の又は実質的に同一の配向を有している層を含む。配向は、カーボンナノチューブの長軸など、カーボンナノ粒子の長軸に対するとすることができ。例えば、場合によっては、位置合わせされたカーボンナノ粒子は、グラフェンコーティング層のグラフェンナノチューブについて先ほど記載されたように、グラフェンナノチューブ又はカーボンナノチューブを含み、すべての又は実質的にすべてのカーボンナノチューブは、垂直な又は実質的に垂直な配向を有する。位置合わせされたナノ粒子層内部でのカーボンナノチューブのそのような垂直な又は実質的に垂直な配置は、いくつかの実施態様では、下部のグラフェンコーティング層が、一又は複数のグラフェンシートを含む又は一又は複数のグラフェンシートから形成されるときに、特に役立つ可能性がある。他の例では、位置合わせされたナノ粒子層のすべての又は実質的にすべてのカーボンナノチューブは、水平な又は実質的に水平な配向を有している。いくつかの実施態様では、すべての又は実質的にすべてのカーボンナノチューブは、電子部品の表面に対して約45度から55度までの配向など、水平配向と垂直配向との間に配向を有している。更に、場合によっては、カーボンナノ粒子の配向の標準偏差（電子部品の表面に対する程度に関する）は、約15度以下、約10度以下、又は約5度以下である。更に、いくつかの実施態様では、本明細書に記載の位置合わせされた層の大半のカーボンナノチューブは、実質的に垂直配向など、本明細書に記載の配向を有している。加えて、いくつかの実施態様では、位置合わせされた層のカーボンナノチューブの少なくとも約60パーセント、少なくとも約70パーセント、少なくとも約80パーセント、又は少なくとも約90パーセントが、本明細書に記載の配向を有している。

#### 【0051】

本明細書に記載の位置合わせされたナノ粒子の層は、場合によっては、対称構造、非対称構造、右側構造、又は左側構造を有することもできる。本明細書での参考のため、そのような層の中で、大半のカーボンナノ粒子は、列挙された構造を示す。例えば、位置合わせされたナノ粒子の対称な層の中で、大半の位置合わせされたナノ粒子は、先ほど記載されたような対称構造を有している。同様に、右側構造を有する位置合わせされたナノ粒子の層の中で、大半の位置合わせされたナノ粒子は、先ほど記載されたような右側構造を有している。加えて、対称構造、非対称構造、右側構造、又は左側構造を有する層のいくつかの実施態様では、層のカーボンナノ粒子の少なくとも約60パーセント、少なくとも約70パーセント、少なくとも約80パーセント、又は少なくとも約90パーセントが、対称構造、非対称構造、右側構造、又は左側構造を有している。

#### 【0052】

図4は、電子部品、並びにグラフェンコーティング層、及びグラフェンコーティング層に配置された位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を含む、熱管理コーティングを含む

10

20

30

40

50

熱管理された電子部品の側面図を示す。当業者には分かるように、図4に示された様々な要素は、単に表示されたに過ぎず、必ずしも正確な縮尺で描かれているわけではない。図4の実施態様では、熱管理された電子部品(400)は、電子部品(410)と、熱管理コーティング(420)とを含む。熱管理コーティング(420)は、電子部品(410)の表面(412)に配置されたグラフェンコーティング層(430)を含む。更に、場合によっては、中間の電気絶縁層(図示されず)は、表面(412)とグラフェンコーティング層(430)との間に位置決めすることができる。図4に示されるように、位置合わせされたカーボンナノ粒子(440)の層は、グラフェンコーティング層(430)に配置される。グラフェンコーティング層(430)は、グラフェンシート(432)を含む。位置合わせされたカーボンナノ粒子(440)の層は、垂直に配向されたカーボンナノチューブ(442)のアレイを含む。カーボンナノチューブ(442)は、垂直に延びる線として概略的に示される。

10

20

30

40

50

#### 【0053】

本明細書に記載の位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、本開示の目的と不整合でない任意の厚さを有することができる。いくつかの実施態様では、例えば、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、約500nm以下、約300nm以下、又は約200nm以下の平均厚さを有している。いくつかの実施態様では、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、約100nm以下、又は約50nm以下の平均厚さを有している。場合によっては、本明細書に記載の位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、約1nmから約300nmまでの、約1nmから約200nmまでの、約1nmから約100nmまでの、約10nmから約300nmまでの、約10nmから約200nmまでの、又は約10nmから約100nmまでの平均厚さを有しうる。更に、いくつかの実施態様では、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、約50nmから約300nmまでの、約50nmから約200nmまでの、約50nmから約100nmまでの、又は約100nmから約300nmまでの平均厚さを有しうる。いくつかの実施態様では、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、約100nmを上回る又は約300nmを上回る平均厚さを有しうる。

#### 【0054】

加えて、本明細書に記載の熱管理コーティングは、本開示の目的と不整合でない任意の電子部品の任意の表面に配置することができる。例えば、いくつかの実施態様では、表面は、電子部品の熱発生面である。加えて、場合によっては、電子部品は、集積回路、変圧器、抵抗器、蓄電器、誘導子、又は電子部品への、電子部品からの若しくは電子部品間の電気接続を含む。いくつかの実施態様では、電子部品は、一又は複数の電子接続又はコネクタを含みうる、プリント回路基板などの回路基板を含む。更に、電子部品は、本開示の目的と不整合でない任意の材料を含むことができ、又はそのような任意の材料から形成することができる。例えば、いくつかの実施態様では、電子部品は、銅被覆積層板などの積層板、樹脂含浸B-ステージ布、エポキシ、液体フォトリソレジストはんだマスクインク及び/又は乾燥フィルムフォトリソレジストはんだマスクを含む、又はそれらから形成される。いくつかの実施態様では、電子部品は、Si、Ge、又はInPなどの半導体材料；ステンレス鋼、金、銀、又は銅などの金属；並びに/又はサファイア、SiO<sub>2</sub>、及びSiCなどの誘電材料を含む、又はそれらから形成される。他の材料もまた、使用されうる。

#### 【0055】

本明細書に記載の熱管理された電子部品は、場合によっては、グラフェンコーティング層と電子部品の表面との間に配置された電気絶縁材料層を更に含む。本開示の目的と不整合でない任意の絶縁材料層が使用されうる。場合によっては、例えば、絶縁材料層は、プラスチック材料又はゴム材料などのポリマー材料を含む、又はそのようなポリマー材料から形成される。他の場合には、絶縁材料層は、二重層グラフェン(BLG)又はグラフェン酸化物を含む、又はBLG又はグラフェン酸化物から形成される。いくつかの実施態様では、絶縁材料層は、二酸化ケイ素又はセラミックなどの無機材料を含む、又はそのよう

な無機材料から形成される。他の電気絶縁材料もまた使用されうる。

【0056】

更に、本明細書に記載の絶縁材料層は、本開示の目的と不整合でない任意の厚さを有することができる。いくつかの実施態様では、例えば、絶縁材料層は、約 $10\text{ }\mu\text{m}$ 以下、又は約 $1\text{ }\mu\text{m}$ 以下の平均厚さを有している。いくつかの実施態様では、絶縁材料層は、約 $500\text{ nm}$ 以下の平均厚さを有している。いくつかの実施態様では、絶縁材料層は、約 $100\text{ nm}$ から約 $10\text{ }\mu\text{m}$ までの、約 $500\text{ nm}$ から約 $10\text{ }\mu\text{m}$ までの、又は約 $100\text{ nm}$ から約 $1\text{ }\mu\text{m}$ までの平均厚さを有している。いくつかの実施態様では、電気絶縁材料層は、約 $10\text{ }\mu\text{m}$ を上回る平均厚さを有しうる。

【0057】

10

更に、本明細書に記載の熱管理された電子部品は、いくつかの実施態様では、一又は複数の所望の特性を示すことができる。いくつかの実施態様では、例えば、本明細書に記載の熱管理された電子部品の熱管理層は、熱管理された電子部品全体の重量又は質量に対して低い重量又は質量を示す。例えば、いくつかの実施態様では、熱管理コーティングは、熱管理された電子部品の総重量に対し、熱管理された電子部品の $0.3$ 重量パーセント以下、 $0.2$ 重量パーセント以下、 $0.1$ 重量パーセント以下、 $0.05$ 重量パーセント以下、又は $0.01$ 重量パーセント以下を含んでいる。場合によっては、熱管理コーティングは、熱管理された電子部品の総重量に対し、熱管理された電子部品の約 $0.001$ 重量パーセントから約 $0.3$ 重量パーセントまで、約 $0.001$ 重量パーセントから約 $0.1$ 重量パーセントまで、約 $0.001$ 重量パーセントから約 $0.01$ 重量パーセントまで、又は約 $0.005$ 重量パーセントから約 $0.05$ 重量パーセントまでを含む。場合によっては、熱管理コーティングは、熱管理された電子部品の総重量に対し、熱管理された電子部品の約 $0.001$ 重量パーセント未満、又は約 $0.3$ 重量パーセント超を含む。

20

【0058】

加えて、いくつかの実施態様では、本明細書に記載の熱管理された電子部品の熱管理コーティングは、高い熱コンダクタンスを示す。例えば、場合によっては、熱管理コーティングは、少なくとも約 $10\text{ MW/m}^2\text{ K}$ 、少なくとも約 $15\text{ MW/m}^2\text{ K}$ 、少なくとも約 $20\text{ MW/m}^2\text{ K}$ 、少なくとも約 $25\text{ MW/m}^2\text{ K}$ 、少なくとも約 $30\text{ MW/m}^2\text{ K}$ 、又は少なくとも約 $35\text{ MW/m}^2\text{ K}$ の熱コンダクタンスを示す。いくつかの実施態様では、本明細書に記載の熱管理された電子部品の熱管理コーティングは、約 $10\text{ MW/m}^2\text{ K}$ から約 $50\text{ MW/m}^2\text{ K}$ までの、約 $15\text{ MW/m}^2\text{ K}$ から約 $50\text{ MW/m}^2\text{ K}$ までの、約 $20\text{ MW/m}^2\text{ K}$ から約 $50\text{ MW/m}^2\text{ K}$ までの、約 $25\text{ MW/m}^2\text{ K}$ から約 $50\text{ MW/m}^2\text{ K}$ までの、約 $25\text{ MW/m}^2\text{ K}$ から約 $45\text{ MW/m}^2\text{ K}$ までの、約 $25\text{ MW/m}^2\text{ K}$ から約 $40\text{ MW/m}^2\text{ K}$ までの、又は約 $25\text{ MW/m}^2\text{ K}$ から約 $30\text{ MW/m}^2\text{ K}$ までの熱コンダクタンスを示す。いくつかの実施態様では、本明細書に記載の熱管理された電子部品の熱管理コーティングは、約 $30\text{ MW/m}^2\text{ K}$ から約 $50\text{ MW/m}^2\text{ K}$ までの熱コンダクタンスを示す。更に、場合によっては、本明細書に記載の熱管理コーティングは、垂直( $z$ )方向ではなく、コーティングの横( $x$ 、 $y$ )平面内の方向における本明細書に記載の熱コンダクタンスを示す。いくつかの実施態様では、本明細書に記載の熱管理コーティングは、横平面内の任意の方向又は複数の方向における本明細書に記載の熱コンダクタンスを示す。更に、本明細書に記載の熱コンダクタンスは、本開示の目的と不整合でない任意の方法で測定することができる。例えば、いくつかの実施態様では、熱コンダクタンスは、例えば、Liらによる「Heat Conduction across Multilayered Carbon Nanotube/Graphene Hybrid Films」IEEE 2011年第13回電子パッケージング技術会議、63-66頁に記載の、パルス光熱反射率(PPR)技術によって測定される。

30

40

【0059】

更に、いくつかの実施態様では、本明細書に記載の熱管理された電子部品は、本明細書に記載の特性の組み合わせを示すことができる。本明細書に記載の熱管理された部品は、本開示の目的と不整合でない特性及び特徴の任意の組み合わせを示すことができる。例え

50

ば、いくつかの実施態様では、熱管理された電子部品は、以下の特徴の一又は複数を有している：

- (1) 少なくとも約  $75 \text{ mJ/m}^2$  又は少なくとも約  $100 \text{ mJ/m}^2$  の接着エネルギーを有するグラフェンコーティング層、
- (2) 約 30 未満の原子層又は約 10 未満の原子層のグラフェンコーティング層厚、
- (3) 約 0.3 重量パーセント未満の熱管理された電子部品の総重量に対する重量パーセントを有する熱管理層、及び
- (4) 約  $25 \text{ MW/m}^2 \text{ K}$  を上回る熱コンダクタンスを有する熱管理層。

#### 【0060】

##### II. 熱管理コーティングの適用方法

10

更に別の態様では、熱管理コーティングの電子部品への適用方法が、本明細書に記載される。いくつかの実施態様では、熱管理コーティングの適用方法は、電子部品の表面にグラフェンコーティング層を配置することを含む。いくつかの実施態様では、グラフェンコーティング層は、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を含む。加えて、場合によっては、方法は、グラフェンコーティング層に、位置合わせされたカーボンナノ粒子の追加の層を配置することを更に含む。更に、場合によっては、本明細書に記載の方法は、電子部品の表面に電気絶縁材料の層を配置することを更に含み、絶縁材料の層は、表面とグラフェンコーティング層との間に位置決めされる。

#### 【0061】

20

ここで方法の特定のステップに注目すると、熱管理コーティングの適用方法は、電子部品の表面にグラフェンコーティング層を配置することを含む。グラフェンコーティング層は、本開示の目的と不整合でない任意の方法で、電子部品の表面に配置することができる。いくつかの実施態様では、例えば、グラフェン層を配置することは、蒸着を用いて実行される。蒸着は、いくつかの実施態様では、化学気相蒸着 (CVD) を含む。例えば、いくつかの実施態様では、CVD は、一又は複数のグラフェンシートを含むグラフェンコーティング層を提供するために使用することができる。本開示の目的と不整合でない任意の CVD が使用されうる。例えば、いくつかの実施態様では、気圧 CVD、超高真空 CVD、又は熱フィラメント (又は熱ワイヤ若しくは触媒) CVD の一又は複数を使用することができる。いくつかの実施態様では、CVD 方法は、一又は複数の炭素含有気相反応物からグラフェン層を配置することを含む。いくつかの実施態様では、ガス気相反応物は、炭

30

#### 【0062】

40

他の実施態様では、グラフェンコーティング層を配置することは、触媒気相蒸着を用いて実行される。例えば、いくつかの実施態様では、触媒蒸着は、本明細書に記載の垂直な又は実質的に垂直な配向を有するグラフェンチューブの層を含むグラフェンコーティング層を提供するために使用することができる。本開示の目的と不整合でない任意の触媒気相蒸着方法が使用されうる。いくつかの実施態様では、触媒気相蒸着方法は、電子部品の上面に金属触媒粒子を堆積させることを含む。金属触媒粒子は、いくつかの実施態様では、等しく間隔を空けた粒子の規則正しいアレイなどの、アレイの電子部品に堆積させることができる。更に、金属触媒粒子は、本開示の目的と不整合でない任意のサイズ及び化学組成を有することができる。更に、金属触媒粒子のサイズは、いくつかの実施態様では、所望のグラフェンチューブ直径を得るように選択される。いくつかの実施態様では、例えば、金属触媒粒子は、約  $1 \text{ nm}$  から約  $20 \text{ nm}$  まで、又は約  $1 \text{ nm}$  から約  $10 \text{ nm}$  までの範囲の平均直径を有している。いくつかの実施態様では、金属触媒粒子は、約  $1 \text{ nm}$  未満の平均直径を有している。更に、いくつかの実施態様では、金属触媒粒子は、純金属、金属合金、又は金属の混合物を含む、一又は複数の遷移金属を含む。いくつかの実施態様では、金属触媒粒子は、ニッケル、コバルト、鉄、又はそれらの組み合わせを含む。他の実施態様では、金属触媒粒子は、金又は銀などの貴金属を含む。

50

## 【0063】

加えて、いくつかの実施態様では、本明細書に記載の触媒気相蒸着方法は、真空チャンバの中に電子部品を配置することと、電子部品を加熱することとを更に含む。金属触媒粒子の層を含む電子部品は、真空チャンバの中で、本開示の目的と不整合でない任意の温度まで加熱することができる。いくつかの実施態様では、電子部品は、約600 から約800 の温度まで加熱される。いくつかの実施態様では、電子部品は、約700 の温度まで加熱される。

## 【0064】

いくつかの実施態様では、触媒気相蒸着方法は、一又は複数のガスを真空チャンバ内に導入することを更に含み、少なくとも1つのガスは、炭素含有種を含む。いくつかの実施態様では、アセチレン又はエチレンなどの炭素含有ガスは、アンモニア又は窒素などのプロセスガスと共に導入される。このように、いくつかの実施態様では、グラフェンチューブの層は、電子部品の上に配置された金属触媒粒子において成長することができる。

## 【0065】

更に、いくつかの実施態様では、グラフェン層は、複数のグラフェンプレートレットを表面に配置し、一又は複数のマイクロワイヤでプレートレットを互いに連結することによって、形成される。複数のグラフェンプレートレットは、マイクロワイヤ技術による連結と不整合でない任意のグラフェン形成技術によって、形成することができる。例えば、いくつかの実施態様では、グラフェンプレートレットは、事前に製造されたグラフェンシートから成る。更に、マイクロワイヤによるグラフェンプレートレットの連結は、本開示の目的と不整合でない任意のマイクロワイヤ技術によって実行することができる。

## 【0066】

いくつかの実施態様では、複数のグラフェンプレートレットを連結することは、誘電泳動方法によって実行される。例えば、表面に配置されたグラフェンプレートレットを含む電子部品は、本開示の目的と不整合でない任意の方法で電極間の距離が変化する誘電泳動にさらすことができる。いくつかの実施態様では、例えば、電極間の距離は、所望の長さのマイクロワイヤ次第で、約1  $\mu\text{m}$  から約1 cm 以上まで変化する可能性がある。導電率など特定の特性のために選択された材料から形成されたナノ粒子は、次に、電極上方のチャンバ内に導入することができる。いくつかの実施態様では、ナノ粒子は、約15 nm から約30 nm までの直径を有する金ナノ粒子を含むことができる。次に、交番電圧を誘電泳動チャンバに印加することができる。いくつかの実施態様では、約50 Hz から約200 Hz までの周波数を有する約50 V から約250 V までの交番電圧を電極に印加することができる。交番電圧の印加により、薄型の金属繊維を形成することができる。グラフェンプレートレットなどの炭素含有体の領域は、他の均質の基板上に島を形成することができ、これにより、プレートレットの方向にマイクロワイヤが成長し、プレートレットが両電極に連結される。いくつかの実施態様では、マイクロワイヤは、Hermansonらによる「Dielectrophoretic Assembly of Electrically Functional Microwires from Nanoparticle Suspensions」Science, 294 巻(5544)、1082 - 1086 頁(2001)に記載された誘電泳動アセンブリプロセスによって形成されうる。

## 【0067】

いくつかの実施態様では、グラフェン層を配置することは、熱浸炭性を用いて実行される。本開示の目的と不整合でない任意の熱浸炭性方法が用いられ得る。いくつかの実施態様では、熱浸炭性方法は、SiC 又は炭素鋼基板又は部品などの、本明細書に記載の炭素含有基板又は電子部品を超高真空又は不活性雰囲気下で高温まで加熱することを含む。更に、場合によっては、熱浸炭性方法は、本明細書に記載の基板又は電子部品を炭素含有雰囲気の中で高温に加熱することを含む。高温は、いくつかの実施態様では、約1000 を超えた温度を含む。いくつかの実施態様では、高温は、約800 を超える、又は約900 を超える可能性がある。理論に束縛されるつもりはないが、非炭素基板原子は、炭

10

20

30

40

50



素が豊富な表面を残したまま、本明細書に記載の熱浸炭性方法中に表面から脱着することができると考えられる。いくつかの実施態様では、熱浸炭性は、Van Bommelらによる「LEED and Auger electron observations of the SiC(0001) surface」Surface Science, 48(2), 463-472頁(1975);又はGullapalliらによる「Graphene Growth via Carburization of Stainless Steel and Application in Energy Storage」Small, 12, 1697-1700頁(2011)に記載された方法と整合する方法で実行することができる。

#### 【0068】

例えば、いくつかの実施態様では、グラフェン層を配置することは、サブコンポーネントを炭素含有基板上に配置することを含むことができ、続いて基板が約1000を超えた温度でアニーリングされる。温度上昇と時間の経過に伴って、基板の中の非炭素原子は、基板及び電子サブコンポーネント上に炭素が豊富なコーティングを残したまま、着脱することができる。いくつかの実施態様では、炭素が豊富なコーティングは、電子部品上に配置されたグラフェン層である。更に、いくつかの実施態様では、グラフェン層を配置することは、炭素を含まない基板上に電子サブコンポーネントを配置することを含むことができる。基板及び電子サブコンポーネントは、次に炭素が豊富な雰囲気を含む高温環境に配置することができる。いくつかの実施態様では、高温は、約950とすることができる。更に、いくつかの実施態様では、炭素が豊富な雰囲気は、ヘキサン又は別の炭化水素を含むことができる。そのような実施態様では、グラフェンコーティング層は、電子サブコンポーネント及び基板の上に形成することができる。

#### 【0069】

他の実施態様では、グラフェン層を配置することは、電子部品上に配置された酸化黒鉛(GO)の薄膜上で直接レーザ書込又はレーザスクライビングを使用して実行される。本開示の目的と不整合でない任意の直接レーザ書込又はスクライビング方法を使用することができる。いくつかの実施態様では、直接レーザ書込又はスクライビング方法は、周囲条件下で固体状のグラフェン膜を低減しパターン化するために酸化黒鉛(GO)膜の直接レーザ照射を含む。更に、レーザ強度及びレーザ照射処理を変更することは、生じるレーザスクライビングされたグラフェン(LSG)の電気特性を調整することができる。更に、レーザ強度、レーザ周波数、レーザパルス特性、パルス周波数、パルスデューティサイクル、及び/又は酸化黒鉛(GO)膜の厚さを変えることによって、グラフェンコーティング層の所望の厚さを得ることができる。いくつかの実施態様では、直接レーザ書き込みは、El-Kady及びKanerによる「Scalable fabrication of high-power graphene micro-supercapacitors for flexible and on-chip energy storage」Nature Communications, 4, 記事番号1475, (2013年2月12日)、又はStrongらによる「Patterning and Electronic Tuning of Laser Scribed Graphene for Flexible All-Carbon Devices」ACS Nano, 6(2), 1395-1403(2012)に記載された方法に整合する方法で実行することができる。

#### 【0070】

本明細書に記載の方法によって提供されたグラフェンコーティング層は、先ほど第I節に記載されたグラフェンコーティング層の任意の特性を有することができる。例えば、いくつかの実施態様では、本明細書に記載の方法によって製作されたグラフェンコーティング層は、約300nm以下の厚さを有している。更に、本明細書に記載のグラフェンコーティング層の厚さは、いくつかの実施態様では、電子部品上へのコーティング層の堆積中に、一又は複数のパラメータを変更することによって選択することができる。例えば、いくつかの実施態様では、コーティング層の厚さは、堆積時間を変更することによって選択

10

20

30

40

50

され、堆積時間が短くなるほど、コーティング層が薄くなる。更に、堆積時間は、いくつかの実施態様では、電子部品に堆積した材料の質量を決定するために配置された微量天秤（水晶微量天秤など）から得られた情報を使用して、選択することができる。いくつかの実施態様では、微量天秤の出力に関する情報（例えば、電子部品の測定された質量変化など）を化学気相蒸着システムなどの堆積装置に提供し、これによって、フィードバックループが形成されることによって、情報がリアルタイムで得られる。

#### 【0071】

熱管理コーティングを電子部品に適用する方法は、いくつかの実施態様では、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層をグラフェンコーティング層上に配置することを更に含む。位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、本開示の目的と不整合でない任意の方法で、電子部品の表面に配置することができる。いくつかの実施態様では、例えば、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を配置することは、前述のCVD方法などの蒸着を用いて実行される。加えて、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層について先ほど第I節に記載された構造及び/又は特徴を有することができる。

10

#### 【0072】

場合によっては、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、一又は複数のグラフェンシートを含むグラフェンコーティング層の表面に形成される。いくつかのそのような実施態様では、触媒粒子の触媒膜又は層が、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層をグラフェンコーティング層の上に形成する前に、グラフェンコーティング層に堆積される。触媒粒子の触媒膜又は層は、次に、複数の位置合わせされたグラフェンチューブを含むグラフェンコーティング層について先ほど記載されたように、カーボンナノ粒子を成長させるために使用することができる。したがって、いくつかの例では、本明細書に記載の方法による位置合わせされたカーボンナノ粒子の層を配置することは、触媒膜又は粒子からカーボンナノ粒子を成長させることを含む。

20

#### 【0073】

更に、いくつかの実施態様では、磁場及び/又は電場は、位置合わせされたカーボンナノ粒子の成長中に電子部品に印加することができる。磁場及び/又は電場は、本開示の目的と不整合でない任意の強度及び/又は周波数を有することができる。本開示の目的と不整合でない方法で印加することができる。場合によっては、電場は、直流（DC）電場である。別の場合には、電場は、交流（AC）電場である。例えば、いくつかの実施態様では、印加されたDC電場は、一定であり（したがって、DC電場と関連した周波数はない）、成長表面までの距離で除算した印加された電圧として定義された大きさを有している。印加された電圧は、場合によっては、約1ボルト（V）から約100Vまでの範囲であり、距離は、約1cmから約10cmの範囲である。したがって、いくつかの実施態様では、DC電場の大きさは、約1V/cmから約100V/cmの範囲とすることができる。

30

#### 【0074】

本明細書に記載の電場の印加は、場合によっては、前述の対称構造、非対称構造、右側構造、又は左側構造など、所望の構造を有する層を提供することができる。いくつかの実施態様では、例えば、非対称構造を有する層は、位置合わせされたカーボンナノ粒子を形成するために使用されるカーボン含有ガスのプラズマ周波数を上回る周波数を有するAC電場を印加することによって、CVDプロセスの中で形成することができる。例えば、いくつかの実施態様では、印加されたAC電場は、約 $10^{15}$ Hzから約 $10^{17}$ Hzまでの周波数と、成長表面までの距離で除算した印加された電圧として定義された大きさを有することができる。印加された電圧は、場合によっては、約1Vから約100Vまでの範囲であり、距離は、約1cmから約100cmの範囲である。したがって、いくつかの実施態様では、AC電場の大きさは、約1V/cmから約100V/cmの範囲とすることができる。

40

#### 【0075】

他の例示的实施態様では、右側又は左側構造を有する層は、位置合わせされたカーボン

50

ナノ粒子の成長中に、本明細書に記載のDC電場と磁場の両方を印加することによって、CVDプロセスの中で形成することができる。場合によっては、磁場は、右側構造を有する層を提供するために印加された電場に平行に印加される。別の場合には、磁場は、左側構造を有する層を提供するために印加された電場に非平行に印加される。いくつかのそのような場合には、印加された磁場は、約1ガウス(G)から約100Gまでの大きさを有することができる。

#### 【0076】

更に、場合によっては、本明細書に記載の方法は、電子部品の表面に電気絶縁材料の層を配置することを更に含み、絶縁材料の層は、表面とグラフェンコーティング層との間に位置決めされる。電気絶縁材料の層は、本開示の目的と不整合でない任意の方法で、電子部品の表面に配置することができる。場合によっては、例えば、電気絶縁層は、浸漬コーティング又はスプレーコーティングによって形成される。更に、本明細書に記載の方法によって提供された絶縁材料層は、先ほど第I節に記載された絶縁材料の任意のプロパティを有することができる。

10

#### 【0077】

本明細書に記載のいくつかの実施態様は、以下の非限定的な実施例で更に説明される。

#### 【実施例1】

#### 【0078】

熱管理された電子部品

熱管理された電子部品が、以下のように用意される。電子部品をCVDチャンバの中に配置し、電子部品をCVD堆積条件に曝すことによって、平らな平面のグラフェンシートを含むグラフェンコーティング層が、洗浄された電子部品の表面に適用される。具体的には、堆積は、およそ101トルの全圧において、100トルの分圧のベンゼン、エタン又はメタンと、1トルの分圧の $H_2$ との雰囲気でおおよそ100分間、500で実行される。生じるグラフェンコーティング層の厚さは、およそ100nmである。上述のように、より薄いグラフェンコーティング層は、堆積時間を短縮することによって得られ、より厚いグラフェンコーティング層は、堆積時間を増加させることによって得られる。さらに、堆積時間は、上述のように、チャンバの中に配置され、電子部品に堆積した材料の質量を決定するために配置された微量天秤から得られた情報を用いて選択することができる。

20

#### 【0079】

グラフェンコーティング層の配置後に、65nmのニッケル膜が、触媒としてグラフェンコーティング層の上に配置される。プラズマ増強CVD(PECVD)は、炭素源としてアセチレンを、成長促進用のプラズマ増強剤としてアンモニアを用いて実行される。具体的には、堆積は、表1に列挙された成長条件で実行される(この場合、SCCMは標準立方センチメートル毎分を、Aはアンペアを、Vはボルトを、そしてWはワットを指す)。結果として生じた、位置合わせされたカーボンナノチューブの層は、対称構造を有している。

30

表1

温度範囲 (°C)	$C_2H_2$ (SCCM)	$NH_3$ (SCCM)	フィラメント電流 (A)	プラズマ強度 (A/V/W)	成長時間 (分)
600-800	40	160	7.2	0.13/6 50/90	14

40

#### 【実施例2】

#### 【0080】

熱管理された電子部品

50

熱管理された電子部品が、以下のように用意される。グラフェンコーティング層が、実施例 1 で先ほど述べられた方法によって、電子部品の上に配置される。その際、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層の成長中に、約  $100\text{ V/cm}$  の大きさを有する DC 電場を加え、実施例 1 で先ほど述べられた方法によって、配置される。結果として生じた、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、対称構造を有している。

【実施例 3】

【0081】

熱管理された電子部品

熱管理された電子部品が、以下のように用意される。グラフェンコーティング層が、実施例 1 で先ほど述べられた方法によって、電子部品の上に配置される。その際、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層の成長中に、約  $10^{15}\text{ Hz}$  の周波数及び約  $100\text{ V/cm}$  の大きさを有する AC 電場を加え、実施例 1 で先ほど述べられた方法によって、配置される。結果として生じた、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、非対称構造を有している。

10

【実施例 4】

【0082】

熱管理された電子部品

熱管理された電子部品が、以下のように用意される。グラフェンコーティング層が、実施例 1 で先ほど述べられた方法によって、電子部品の上に配置される。その際、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、DC 電場に平行な磁場を加え、実施例 2 で先ほど述べられた方法によって配置され、結果としてナノ材料成長に対する正味の (net) キラリティを生じ、右側構造を有するカーボンナノチューブの層をもたらす。磁場は、約  $100\text{ G}$  の大きさを有している。

20

【実施例 5】

【0083】

熱管理された電子部品

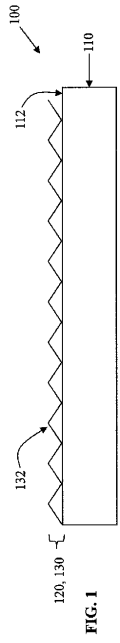
熱管理された電子部品が、以下のように用意される。グラフェンコーティング層が、実施例 1 で先ほど述べられた方法によって、電子部品の上に配置される。その際、位置合わせされたカーボンナノ粒子の層は、磁場が印加された電場に逆平行に位置合わせされる修正を加え、実施例 4 で先ほど述べられた方法によって配置される。このようにして、左側構造を有する層が提供される。

30

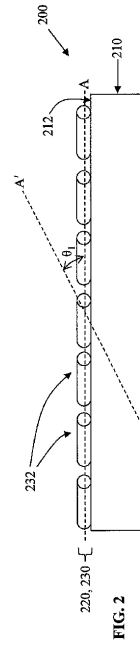
【0084】

本開示の様々な目的を実現する際の本開示の様々な実施態様が記載されてきた。これらの実施態様が本開示の原理を単に説明しているに過ぎないことを認識すべきである。当業者であれば、本開示の精神及び範囲から逸脱することなく、多数の修正及び改造がすぐに明らかになるだろう。

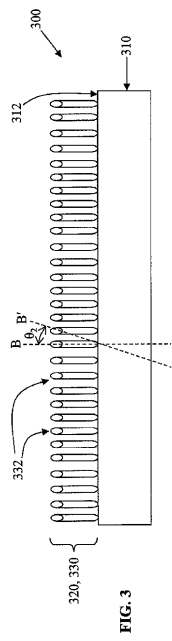
【図 1】



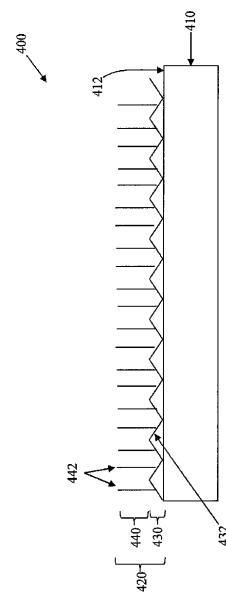
【図 2】



【図 3】



【図 4】



## 【国際調査報告】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2015/017043

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. H01L23/373

ADD.

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01L

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

EPO-Internal, PAJ, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	WO 2009/069684 A1 (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES [JP]; UNIV NAGOYA NAT UNIV CORP [JP]; JAP) 4 June 2009 (2009-06-04) abstract figures	1,4-6, 11,13-17  2,3, 7-10,12, 18-20
X Y	----- EP 2 104 141 A2 (FUJITSU LTD [JP]) 23 September 2009 (2009-09-23) figures paragraph [0080] - paragraph [0089] -----	1,2,4-6  3,7-20
X Y	EP 2 269 948 A1 (FUJITSU LTD [JP]) 5 January 2011 (2011-01-05) figures paragraph [0022] - paragraph [0051] paragraph [0184] - paragraph [0185] ----- -/-	1,4-6  2,3,7-20

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☒ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents :

\*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

\*E\* earlier application or patent but published on or after the international filing date

\*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

\*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

\*P\* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

\*T\* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

\*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

\*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

\*&amp;\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

2 June 2015

Date of mailing of the international search report

10/06/2015

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Hofer-Weissenfels, C

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/US2015/017043

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2008 205273 A (FUJITSU LTD) 4 September 2008 (2008-09-04)	1,6
A	abstract figures	2-5,7-20
A	----- US 2011/032678 A1 (ALTMAN DAVID H [US] ET AL) 10 February 2011 (2011-02-10) figures paragraph [0029] - paragraph [0032]	1-20
A	----- Tom Grace: "AN INTRODUCTION TO CARBON NANOTUBES",  26 June 2003 (2003-06-26), XP055192255, Center on Polymer Interfaces and Macromolecular Assemblies, (CPIMA); CPIMA RET Program Retrieved from the Internet: URL:http://web.stanford.edu/group/cpima/education/nanotube_lesson.pdf [retrieved on 2015-05-29] page 6 - page 10	6-8
A	----- John Sinclair: "An Introduction to Carbon Nanotubes",  24 March 2009 (2009-03-24), XP055192250, Retrieved from the Internet: URL:http://scs.phys.utk.edu/~dagotto/condensed/HW1_2009/Carbon_Nanotube_John_Sinclair.pdf [retrieved on 2015-05-29] figures 1, 2	6-8
A	----- ERIC POP ET AL: "Thermal properties of graphene: Fundamentals and applications", MRS BULLETIN, vol. 37, no. 12, 23 November 2012 (2012-11-23), pages 1273-1281, XP055192279, ISSN: 0883-7694, DOI: 10.1557/mrs.2012.203 figure 3 page 6, paragraph 2	10
A	----- US 2011/204020 A1 (RAY WILLIAM JOHNSTONE [US] ET AL) 25 August 2011 (2011-08-25) figures 10, 12 paragraph [0090]	18-20
	-----	

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/US2015/017043

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 2009069684	A1	04-06-2009	NONE
EP 2104141	A2	23-09-2009	CN 101540302 A 23-09-2009 EP 2104141 A2 23-09-2009 JP 5146256 B2 20-02-2013 JP 2009260238 A 05-11-2009 KR 20090100257 A 23-09-2009 TW 200951210 A 16-12-2009 US 2009237886 A1 24-09-2009
EP 2269948	A1	05-01-2011	CN 101959788 A 26-01-2011 EP 2269948 A1 05-01-2011 JP 5506657 B2 28-05-2014 US 2010327444 A1 30-12-2010 US 2012295078 A1 22-11-2012 WO 2009107229 A1 03-09-2009
JP 2008205273	A	04-09-2008	JP 4992461 B2 08-08-2012 JP 2008205273 A 04-09-2008
US 2011032678	A1	10-02-2011	EP 2462613 A1 13-06-2012 JP 5628312 B2 19-11-2014 JP 2013501379 A 10-01-2013 US 2011032678 A1 10-02-2011 US 2012094484 A1 19-04-2012 WO 2011017136 A1 10-02-2011
US 2011204020	A1	25-08-2011	US 2011204020 A1 25-08-2011 US 2011205688 A1 25-08-2011 US 2014139975 A1 22-05-2014 US 2014182099 A1 03-07-2014 WO 2011103025 A1 25-08-2011



## フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H 0 1 L 23/36 (2006.01)</b>	B 8 2 Y 40/00	
<b>B 8 2 Y 30/00 (2011.01)</b>	H 0 5 K 7/20	Z
<b>B 8 2 Y 40/00 (2011.01)</b>		
<b>H 0 5 K 7/20 (2006.01)</b>		

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US

(72)発明者 ハント, ジェフリー エイチ.  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 0 2 4 5, エル セグンド, ノース セプルベダ ブールヴァード 9 0 0

(72)発明者 ハウ, ウェイン アール.  
アメリカ合衆国 カリフォルニア 9 0 7 4 0, シール ピーチ, シール ピーチ ブールヴァード 2 2 0 1

F ターム(参考) 4G146 AA01 AA11 AA16 AA19 AB07 AC01A AC26A AC27A AD15 AD17  
AD20 AD28 BA12 BA40 BA48 BB22 BB23 BC07 BC09 BC25  
BC29 BC33B BC37B BC41 BC44  
4K030 AA09 AA17 BA27 FA01 FA10 JA01 LA01 LA11  
5E322 AA01 AA03 AA11 FA09  
5F136 FA22 JA05