

(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2010-118609

(P2010-118609A)

(43) 公開日 平成22年5月27日(2010.5.27)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)  
 HO 1 L 23/373 (2006.01) HO 1 L 23/36 M 5 F 1 3 6

審査請求 未請求 請求項の数 10 O L (全 31 頁)

(21) 出願番号 特願2008-292320 (P2008-292320)  
 (22) 出願日 平成20年11月14日 (2008.11.14)

(71) 出願人 000005223  
 富士通株式会社  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
 1号  
 (74) 代理人 100087479  
 弁理士 北野 好人  
 (74) 代理人 100114915  
 弁理士 三村 治彦  
 (72) 発明者 山口 佳孝  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
 1号 富士通株式会社内  
 (72) 発明者 岩井 大介  
 神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
 1号 富士通株式会社内

最終頁に続く

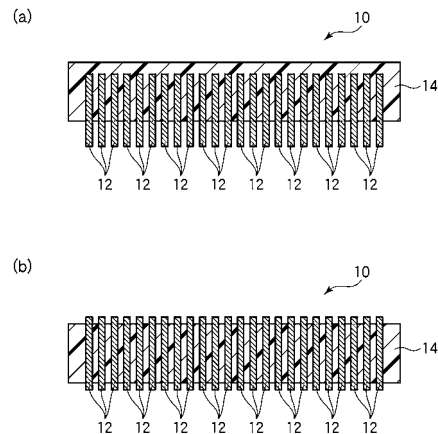
(54) 【発明の名称】 放熱材料並びに電子機器及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】本発明の目的は、炭素元素の線状構造体を用いた熱伝導度及び電気伝導度が極めて高い放熱材料、並びにこのような放熱材料を用いた高性能の電子機器及びその製造方法を提供する。

【解決手段】複数の炭素元素の線状構造体 1 2 と、複数の線状構造体 1 2 間に配置された熱可塑性樹脂の充填層 1 4 とを有する

【選択図】 図 1



- 【特許請求の範囲】
- 【請求項 1】  
複数の炭素元素の線状構造体と、  
複数の前記線状構造体間に配置された熱可塑性樹脂の充填層と  
を有することを特徴とする放熱材料。
- 【請求項 2】  
請求項 1 記載の放熱材料において、  
複数の前記線状構造体の少なくとも一方の端部に形成され、前記熱可塑性樹脂よりも熱  
伝導率の高い材料の被膜を更に有する  
ことを特徴とする放熱材料。 10
- 【請求項 3】  
請求項 1 又は 2 記載の放熱材料において、  
前記熱可塑性樹脂は、温度に応じて液体と固体との間で状態変化する  
ことを特徴とする放熱材料。
- 【請求項 4】  
請求項 3 記載の放熱材料において、  
前記熱可塑性樹脂は、液体から固体に状態変化する際に接着性を発現する  
ことを特徴とする放熱材料。
- 【請求項 5】  
請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の放熱材料において、 20  
前記充填層は、前記熱可塑性樹脂の第 1 の層と、前記第 1 の層上に配置され前記熱可塑  
性樹脂とは異なる材料の第 2 の層と、前記第 2 の層上に配置され前記熱可塑性樹脂の第 3  
の層とを有する  
ことを特徴とする放熱材料。
- 【請求項 6】  
発熱体と、  
放熱体と、  
前記発熱体と放熱体との間に配置され、複数の炭素元素の線状構造体と、複数の前記線  
状構造体間に配置された熱可塑性樹脂の充填層とを含む放熱材料と  
を有することを特徴とする電子機器。 30
- 【請求項 7】  
請求項 6 記載の電子機器において、  
前記熱可塑性樹脂の融解温度は、前記発熱体の発熱温度よりも高く、前記発熱体及び放  
熱体の耐熱温度よりも低い  
ことを特徴とする電子機器。
- 【請求項 8】  
発熱体と放熱体との間に、複数の炭素元素の線状構造体と、複数の前記線状構造体間に  
配置された熱可塑性樹脂の充填層とを有する放熱材料を配置する工程と、  
前記放熱材料を加熱して前記熱可塑性樹脂を融解する工程と、  
前記放熱材料を冷却して前記熱可塑性樹脂を固化する工程と 40  
を有することを特徴とする電子機器の製造方法。
- 【請求項 9】  
請求項 8 記載の電子機器の製造方法において、  
前記発熱体と前記放熱体との間に前記放熱材料を配置する工程は、前記放熱体上に、複  
数の前記線状構造体を成長する工程と、複数の前記線状構造体間に前記熱可塑性樹脂を浸  
透させ、前記充填層を形成する工程とを有する  
ことを特徴とする電子機器の製造方法。
- 【請求項 10】  
放熱体と、  
前記放熱体上に形成され、複数の炭素元素の線状構造体と、複数の前記線状構造体の間 50

際に配置された熱可塑性樹脂の充填層とを有する放熱材料とを有することを特徴とする放熱部品。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放熱材料に係り、特に、炭素元素の線状構造体を有する放熱材料、並びにこのような放熱材料を用いた電子機器及びその製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

サーバーやパーソナルコンピュータの中央処理装置（CPU：Central Processing Unit）などに用いられる電子部品には、半導体素子から発する熱を効率よく放熱することが求められる。このため、半導体素子の直上に設けられたサーマルインターフェイスマテリアルを介して、銅などの高い熱伝導度を有する材料のヒートスプレッドが配置された構造を有している。

【0003】

サーマルインターフェイスマテリアルには、それ自身が高い熱伝導率を有する材料であることに加え、発熱源及びヒートスプレッド表面の微細な凹凸に対して広面積に接触する特性が求められる。現状では、サーマルインターフェイスマテリアルとして、PCM（フェイズチェンジマテリアル）やインジウムなどが一般に用いられている。

【0004】

しかしながら、PCMは、微細な凹凸に対する接触性はよいものの、熱伝導度（ $1\text{ W/m}\cdot\text{K}\sim 5\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 程度）は低く、効果的な放熱特性を得るためにはその膜厚を薄くする必要がある。発熱源とヒートスプレッドの間には熱膨張係数の違いに起因してギャップが生じるが、このギャップに追従して凹凸を吸収するためには、薄膜化には限界がある。

【0005】

また、近年におけるレアメタルの大幅な需要増加によりインジウム価格は高騰しており、インジウムよりも安価な代替材料が待望されている。また、物性的に見てもインジウムの熱伝導度（ $50\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ）は高いとはいえず、半導体素子から生じた熱をより効率的に放熱させるために更に高い熱伝導度を有する材料が望まれている。

【0006】

このような背景から、PCMやインジウムよりも高い熱伝導度を有する材料として、カーボンナノチューブに代表される炭素元素の線状構造体が注目されている。カーボンナノチューブは、非常に高い熱伝導度（ $1500\text{ W/m}\cdot\text{K}$ ）を有するだけでなく、柔軟性や耐熱性に優れた材料であり、放熱材料として高いポテンシャルを有している。

【0007】

カーボンナノチューブを用いた熱伝導シートとしては、樹脂中にカーボンナノチューブを分散した熱伝導シートや、基板上に配向成長したカーボンナノチューブ束を樹脂等によって埋め込んだ熱伝導シートが提案されている。

【特許文献1】特開2005-150362号公報

【特許文献2】特開2006-147801号公報

【特許文献3】特開2006-290736号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0008】

しかしながら、カーボンナノチューブを用いた従来の放熱材料では、カーボンナノチューブの有する高い熱伝導度を十分に生かすことができなかった。

【0009】

本発明の目的は、炭素元素の線状構造体を用いた熱伝導度及び電気伝導度が極めて高い

10

20

30

40

50

放熱材料、並びにこのような放熱材料を用いた高性能の電子機器及びその製造方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0010】

実施形態の一観点によれば、複数の炭素元素の線状構造体と、複数の前記線状構造体間に配置された熱可塑性樹脂の充填層とを有する放熱材料が提供される。

【0011】

また、実施形態の他の観点によれば、発熱体と、放熱体と、前記発熱体と放熱体との間に配置され、複数の炭素元素の線状構造体と、複数の前記線状構造体間に配置された熱可塑性樹脂の充填層とを含む放熱材料とを有する電子機器が提供される。

10

【0012】

また、実施形態の更に他の観点によれば、発熱体と放熱体との間に、複数の炭素元素の線状構造体と、複数の前記線状構造体間に配置された熱可塑性樹脂の充填層とを有する放熱材料を配置する工程と、前記放熱材料を加熱して前記熱可塑性樹脂を融解する工程と、前記放熱材料を冷却して前記熱可塑性樹脂を固化する工程とを有する電子機器の製造方法が提供される。

【0013】

また、実施形態の更に他の観点によれば、放熱体と、前記放熱体上に形成され、複数の炭素元素の線状構造体と、複数の前記線状構造体の間に配置された熱可塑性樹脂の充填層とを有する放熱材料とを有する放熱部品が提供される。

20

【発明の効果】

【0014】

本発明によれば、複数の線状構造体を支持する充填層を熱可塑性樹脂により形成するので、被着体に対する接触性が向上し、被着体に対する接触熱抵抗の小さい放熱材料を形成することができる。また、充填材の浸透量は、熱処理温度及び時間によって容易に制御することができる。これにより、線状構造体の端部が露出した放熱材料を容易に形成することができる。

【0015】

また、発熱体と放熱体との間にこのような放熱材料を配置することにより、これらの間の熱伝導度を大幅に向上することができる。これにより、放熱体から発せられる熱の放熱効率を高めることができ、電子機器の信頼性を向上することができる。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0016】

[第1実施形態]

第1実施形態によるカーボンナノチューブシート及びその製造方法について図1乃至図3を用いて説明する。

【0017】

図1は、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの構造を示す概略断面図である。図2及び図3は、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す工程断面図である。

40

【0018】

はじめに、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの構造について図1を用いて説明する。図1(a)は本実施形態によるカーボンナノチューブシートの第1の例であり、図1(b)は本実施形態によるカーボンナノチューブシートの第2の例である。

【0019】

本実施形態によるカーボンナノチューブシート10は、図1(a)及び図1(b)に示すように、間隔を開けて配置された複数のカーボンナノチューブ12を有している。カーボンナノチューブ12の間隙には熱可塑性樹脂の充填層14が形成されており、充填層14によってカーボンナノチューブ12が支持されている。本実施形態によるカーボンナノチューブシート10は、シート状の構造体を形成しており、複数のカーボンナノチューブ

50

12は、シートの膜厚方向、すなわちシートの面と交差する方向に配向している。

【0020】

カーボンナノチューブ12は、単層カーボンナノチューブ及び多層カーボンナノチューブのいずれでもよい。カーボンナノチューブ12の面密度は、特に限定されるものではないが、放熱性及び電気伝導性の観点からは、 $1 \times 10^{10}$ 本/cm<sup>2</sup>以上であることが望ましい。

【0021】

カーボンナノチューブ12の長さは、カーボンナノチューブシート10の用途によって決まり、特に限定されるものではないが、好ましくは5μm~500μm程度の値に設定することができる。カーボンナノチューブシート10を、発熱源(例えば半導体素子)と放熱部品(例えばヒートスプレッド)との間に形成するサーマルインターフェイス材料として使用する場合、少なくとも発熱源及び放熱部品の表面の凹凸を埋める長さ以上であることが望ましい。

【0022】

また、本実施形態によるカーボンナノチューブシート10は、図1(a)及び図1(b)に示すように、カーボンナノチューブ12の少なくとも一方の端部が露出している。図1(a)に示すカーボンナノチューブシートでは、カーボンナノチューブ12の一方の端部が露出している。図1(b)に示すカーボンナノチューブシートでは、カーボンナノチューブ12の両方の端部が露出している。

【0023】

これにより、カーボンナノチューブシート10を放熱体又は発熱体と接触したとき、カーボンナノチューブ12が放熱体又は発熱体に対して直に接するため、熱伝導効率を大幅に高めることができる。また、カーボンナノチューブ12は導電性を有しているため、カーボンナノチューブ12の両端部を露出することにより、カーボンナノチューブ12を、シートを貫く配線体として用いることもできる。すなわち、本実施形態によるカーボンナノチューブシート10は、熱伝導シートとしてのみならず、縦型配線シートとしても利用可能である。

【0024】

充填層14は、熱可塑性樹脂によって形成されている。充填層14を形成する熱可塑性樹脂は、温度に応じて液体と固体との間で可逆的に状態変化するものであり、室温では固体であり、加熱すると液状に変化し、冷却すると接着性を発現しつつ固体に戻るものであれば、特に限定されるものではない。

【0025】

このような熱可塑性樹脂としては、例えば、以下に示すホットメルト樹脂が挙げられる。ポリアミド系ホットメルト樹脂としては、例えば、ヘンケルジャパン株式会社製の「Micromelt 6239」(軟化点温度:140)が挙げられる。また、ポリエステル系ホットメルト樹脂としては、例えば、ノガワケミカル株式会社の「DH598B」(軟化点温度:133)が挙げられる。また、ポリウレタン系ホットメルト樹脂としては、例えば、ノガワケミカル株式会社製の「DH722B」が挙げられる。また、ポリオレフィン系ホットメルト樹脂としては、例えば、松村石油株式会社製の「EP-90」(軟化点温度:148)が挙げられる。また、エチレン共重合体ホットメルト樹脂としては、例えば、ノガワケミカル株式会社製の「DA574B」(軟化点温度:105)が挙げられる。また、SBR系ホットメルト樹脂としては、例えば、横浜ゴム株式会社製の「M-6250」(軟化点温度:125)が挙げられる。また、EVA系ホットメルト樹脂としては、例えば、住友スリーエム株式会社製の「3747」(軟化点温度:104)が挙げられる。また、ブチルゴム系ホットメルト樹脂としては、例えば、横浜ゴム株式会社製の「M-6158」が挙げられる。

【0026】

充填層14を形成する熱可塑性樹脂は、カーボンナノチューブシート10の使用目的に応じて、熱可塑性樹脂の融解温度をもとに選択することができる。熱可塑性樹脂の融解温

10

20

30

40

50

度の下限值は、稼働時の発熱温度の上限値よりも高いことが望ましい。稼働時に熱可塑性樹脂が溶解すると、カーボンナノチューブシート10が変形してカーボンナノチューブ12が配向性を損なうなど、熱伝導性を低下するなどの不具合を引き起こす虞があるからである。熱可塑性樹脂の溶解温度の上限値は、発熱体及び放熱体の耐熱温度の下限値よりも低いことが望ましい。本実施形態によるカーボンナノチューブシート10は、放熱体及び発熱体に接触させた後にリフローを行うことが望ましいが、熱可塑性樹脂の溶解温度が耐熱温度より高いと、発熱体及び/又は放熱体にダメージを与えることなくリフローをすることが困難となるからである。なお、カーボンナノチューブシート10のリフローについては、後述する。

#### 【0027】

例えば、カーボンナノチューブシート10をCPUなどの電子機器の放熱用途に用いる場合、CPU稼働時の発熱温度の上限がおよそ125度であり、CPU電子部品の耐熱温度がおよそ250度であることに鑑み、融解温度が125～250程度の熱可塑性樹脂が好適である。例えば、自動車エンジンのエキゾーストシステム等の用途に用いる場合、部位によるが発熱温度は500～800程度であることに鑑み、融解温度が600～900程度の熱可塑性樹脂が好適である。

#### 【0028】

また、充填層14には、必要に応じて、添加物を分散混合してもよい。添加物としては、例えば熱伝導性の高い物質や導電性の高い物質が考えられる。充填層14部分に熱伝導性の高い添加物を分散混合することにより、充填層14部分の熱伝導率を向上することができる。また、カーボンナノチューブシート10の全体としての熱伝導率を向上することができる。また、カーボンナノチューブシートを導電性シートとして用いる場合にあっては、充填層14部分に電導性の高い添加物を分散混合する。これにより、充填層14部分の導電率を向上することができる。カーボンナノチューブシート10の全体としての導電率を向上することができる。熱伝導性の高い材料としては、カーボンナノチューブ、金属材料、窒化アルミニウム、シリカ、アルミナ、グラファイト、フラーレン等を適用することができる。電導性の高い材料としては、カーボンナノチューブ、金属材料等を適用することができる。

#### 【0029】

次に、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法について図2及び図3を用いて説明する。

#### 【0030】

まず、カーボンナノチューブシート10を形成するための土台として用いる基板30を用意する(図2(a))。基板30としては、シリコン基板などの半導体基板、アルミナ(サファイア)基板、MgO基板、ガラス基板などの絶縁性基板、金属基板などを用いることができる。また、これら基板上に薄膜が形成されたものでもよい。例えば、シリコン基板上に膜厚300nm程度のシリコン酸化膜が形成されたものを用いることができる。

#### 【0031】

基板30は、カーボンナノチューブ12の成長後に剥離されるものである。この目的のもと、基板30としては、カーボンナノチューブ12の成長温度において変質しないことが望ましい。また、少なくともカーボンナノチューブ12に接する面がカーボンナノチューブ12から容易に剥離できる材料によって形成されていることが望ましい。また、カーボンナノチューブ12に対して選択的にエッチングできる材料によって形成されていることが望ましい。

#### 【0032】

次いで、基板30上に、例えばスパッタ法により、例えば膜厚2.5nmのFe(鉄)膜を形成し、Feの触媒金属膜32を形成する(図2(b))。なお、触媒金属膜32は、必ずしも基板30上の全面に形成する必要はなく、例えばリフトオフ法を用いて基板30の所定の領域上に選択的に形成するようにしてもよい。

#### 【0033】

10

20

30

40

50

触媒金属としては、Feのほか、Co（コバルト）、Ni（ニッケル）、Au（金）、Ag（銀）、Pt（白金）又はこれらのうち少なくとも一の材料を含む合金を用いてもよい。また、触媒として、金属膜以外に、微分型静電分級器（DMA：differential mobility analyzer）等を用い、予めサイズを制御して作製した金属微粒子を用いてもよい。この場合も、金属種については薄膜の場合と同様でよい。

#### 【0034】

また、これら触媒金属の下地膜として、Mo（モリブデン）、Ti（チタン）、Hf（ハフニウム）、Zr（ジルコニウム）、Nb（ニオブ）、V（バナジウム）、Ta<sub>2</sub>N（窒化タンタル）、TiSi<sub>x</sub>（チタンシリサイド）、Al（アルミニウム）、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>（酸化アルミニウム）、TiO<sub>x</sub>（酸化チタン）、Ta（タンタル）、W（タングステン）、Cu（銅）、Au（金）、Pt（白金）、Pd（パラジウム）、TiN（窒化チタン）などの膜又はこれらのうち少なくとも一の材料を含む合金からなる膜を形成してもよい。例えば、Fe（2.5 nm）/Al（10 nm）の積層構造、Co（2.6 nm）/TiN（5 nm）の積層構造等を適用することができる。金属微粒子を用いる場合は、例えば、Co（平均直径：3.8 nm）/TiN（5 nm）などの積層構造を適用することができる。

10

#### 【0035】

次いで、基板30上に、例えばホットフィラメントCVD法により、触媒金属膜32を触媒として、カーボンナノチューブ12を成長する。カーボンナノチューブ12の成長条件は、例えば、原料ガスとしてアセチレン・アルゴンの混合ガス（分圧比1：9）を用い、成膜室内の総ガス圧を1 kPa、ホットフィラメント温度を1000、成長時間を25分とする。これにより、層数が3層～6層（平均4層程度）、直径が4 nm～8 nm（平均6 nm）、長さが100 μm（成長レート：4 μm/min）の多層カーボンナノチューブを成長することができる。なお、カーボンナノチューブは、熱CVD法やリモートプラズマCVD法などの他の成膜方法により形成してもよい。また、成長するカーボンナノチューブは、単層カーボンナノチューブでもよい。また、炭素原料としては、アセチレンのほか、メタン、エチレン等の炭化水素類や、エタノール、メタノール等のアルコール類などを用いてもよい。

20

#### 【0036】

カーボンナノチューブ12の長さは、カーボンナノチューブシート10の用途によって決まり、特に限定されるものではないが、好ましくは5 μm～500 μm程度の値に設定することができる。カーボンナノチューブシート10を、発熱源（例えば半導体素子）と放熱部品（例えばヒートスプレッダ）との間に形成するサーマルインターフェイス材料として使用する場合、少なくとも発熱源及び放熱部品の表面の凹凸を埋める長さ以上であることが望ましい。

30

#### 【0037】

こうして、基板30上に、基板30の法線方向に配向（垂直配向）した複数のカーボンナノチューブ12を形成する（図2（c））。なお、上記の成長条件で形成したカーボンナノチューブ12では、カーボンナノチューブ12の面密度は、 $1 \times 10^{11}$ 本/cm<sup>2</sup>程度であった。これは、基板30表面の面積のおよそ10%の領域上にカーボンナノチューブ12が形成されていることに相当する。

40

#### 【0038】

次いで、基板30に成長したカーボンナノチューブ12上に、フィルム状に加工した熱可塑性樹脂（熱可塑性樹脂フィルム34）を載置する（図3（a））。熱可塑性樹脂フィルム34の膜厚は、カーボンナノチューブ12の長さに応じて適宜設定することが望ましい。例えば図1（a）に示すカーボンナノチューブシート10を形成する場合には、カーボンナノチューブ12の長さと同程度、例えば5 μm～500 μm程度が好適である。また、例えば図1（b）に示すカーボンナノチューブシート10を形成する場合には、カーボンナノチューブ12の長さよりも僅かに薄い程度、例えば4 μm～400 μm程度が好適である。

50

## 【0039】

熱可塑性樹脂フィルム34の熱可塑性樹脂としては、例えば、以下に示すホットメルト樹脂を適用することができる。ポリアミド系ホットメルト樹脂としては、例えば、ヘンケルジャパン株式会社製の「Micromelt6239」が挙げられる。また、ポリエステル系ホットメルト樹脂としては、例えば、ノガワケミカル株式会社製の「DH598B」が挙げられる。また、ポリウレタン系ホットメルト樹脂としては、例えば、ノガワケミカル株式会社製の「DH722B」が挙げられる。また、ポリオレフィン系ホットメルト樹脂としては、例えば、松村石油株式会社製の「EP-90」が挙げられる。また、エチレン共重合体ホットメルト樹脂としては、例えば、ノガワケミカル株式会社製の「DA574B」が挙げられる。また、SBR系ホットメルト樹脂としては、例えば、横浜ゴム株式会社製の「M-6250」が挙げられる。また、EVA系ホットメルト樹脂としては、例えば、住友スリーエム株式会社製の「3747」が挙げられる。また、ブチルゴム系ホットメルト樹脂としては、例えば、横浜ゴム株式会社製の「M-6158」が挙げられる。

10

## 【0040】

ここでは、一例として、ヘンケルジャパン株式会社製の「Micromelt6239」を厚さ100 $\mu$ mのフィルム状に加工した熱硬化性樹脂フィルム34を用いた場合について説明する。なお、「Micromelt6239」は、融解温度が135～145、融解時粘度が5.5Pa $\cdot$ s～8.5Pa $\cdot$ s(225)のホットメルト樹脂である。

20

## 【0041】

次いで、熱可塑性樹脂フィルム34を載置した基板30を、例えば195の温度で加熱する。これにより、熱可塑性樹脂フィルム34の熱可塑性樹脂が溶解し、カーボンナノチューブ12の間隙に徐々に浸透していく。こうして、熱可塑性樹脂フィルム34を、基板30の表面に達しない程度まで浸透させる。

## 【0042】

熱可塑性樹脂を予めシート状に加工しておくことにより、そのシート膜厚で充填材量のコントロールが可能となる。これにより、加熱温度や加熱時間のコントロールで、充填材が基板30まで浸潤しないようにコントロールすることができる。

## 【0043】

なお、基板30に達しないところで熱可塑性樹脂フィルム34の浸透を停止するのは、カーボンナノチューブシート10を基板30から剥離するのを容易にするためである。カーボンナノチューブシート10を基板30から容易に剥離できるような場合などは、基板30に達するまで熱可塑性樹脂フィルム34を浸透させるようにしてもよい。

30

## 【0044】

カーボンナノチューブ12の間隙に浸透する熱可塑性樹脂フィルム34の厚さは、熱処理時間によって制御することができる。例えば、上記条件で成長した長さ100 $\mu$ mのカーボンナノチューブ12に対しては、195で1分間の熱処理を行うことにより、熱可塑性樹脂フィルム34が基板30に達しない程度まで浸透させることができる。

## 【0045】

熱可塑性樹脂フィルム34の加熱時間は、熱可塑性樹脂フィルム34を基板30の表面に達しない程度に浸透させるように、カーボンナノチューブ12の長さ、熱可塑性樹脂の融解時の粘度、熱可塑性樹脂フィルム34の膜厚等に応じて適宜設定することが望ましい。

40

## 【0046】

なお、熱可塑性樹脂の形状は、予めフィルム状に加工しておくことが好適であるが、ペレット状や棒状でも構わない。

## 【0047】

次いで、熱可塑性樹脂フィルム34を所定の位置まで浸透させた後、室温まで冷却し、熱可塑性樹脂フィルム34を固化する。こうして、熱可塑性樹脂フィルム34の熱可塑性

50



樹脂により形成され、カーボンナノチューブ 1 2 の間に充填された充填層 1 4 を形成する。

【 0 0 4 8 】

次いで、カーボンナノチューブ 1 2 及び充填層 1 4 を、基板 3 0 から剥離し、本実施形態によるカーボンナノチューブシートを得る（図 3（c））。前述のように充填層 1 4（熱可塑性樹脂フィルム 3 4）を基板 3 0 まで到達しないように形成しておけば、カーボンナノチューブ 1 2 と基板 3 0 との間の接合は弱いため、カーボンナノチューブ 1 2 及び充填層 1 4 を基板 3 0 から容易に剥離することができる。

【 0 0 4 9 】

図 1（b）に示すカーボンナノチューブシートを製造する場合にあっては、カーボンナノチューブ 1 2 の長さよりも薄い熱可塑性樹脂フィルム 3 4 を用い、カーボンナノチューブ 1 2 の上端部が露出するまで熱可塑性樹脂フィルム 3 4 を浸透させるようにすればよい。

10

【 0 0 5 0 】

このように、本実施形態によれば、カーボンナノチューブを支持する充填層の材料として熱可塑性樹脂を用いるので、充填層のリフローが可能であり被着体に対する接触熱抵抗の小さいカーボンナノチューブシートを容易に形成することができる。また、充填材の浸透量は、熱処理温度及び時間によって容易に制御することができる。これにより、カーボンナノチューブの端部を容易に露出することができる。また、カーボンナノチューブの成長に用いる基板からシートを容易に剥離することができる。

20

【 0 0 5 1 】

[ 第 2 実施形態 ]

第 2 実施形態によるカーボンナノチューブシート及びその製造方法について図 4 乃至図 8 を用いて説明する。なお、図 1 乃至図 3 に示す第 1 実施形態によるカーボンナノチューブシート及びその製造方法と同一の構成要素には、同一の符号を付して説明を省略または簡潔にする。

【 0 0 5 2 】

図 4 は、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの構造を示す概略断面図である。図 5 は、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す概略断面図である。図 6 乃至図 8 は、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図である。

30

【 0 0 5 3 】

はじめに、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの構造について図 4 を用いて説明する。

【 0 0 5 4 】

本実施形態によるカーボンナノチューブシート 1 0 は、図 4 に示すように、カーボンナノチューブ 1 2 の一端側に、被膜 1 6 が形成されているほかは、図 1 に示す第 1 実施形態によるカーボンナノチューブシート 1 0 と同様である。

【 0 0 5 5 】

被膜 1 6 を形成する材料は、充填層 1 4 の構成材料よりも熱伝導率の高い材料であれば特に限定されるものではない。カーボンナノチューブシート 1 0 を電気伝導用途にも用いる場合には、導電性を有する材料、例えば、金属や合金等を適用することができる。被膜 1 6 の構成材料としては、例えば、銅（Cu）、ニッケル（Ni）、金（Au）等を用いることができる。また、被膜 1 6 は、単層構造である必要はなく、例えばチタン（Ti）と金（Au）との積層構造など、2 層或いは 3 層以上の積層構造であってもよい。

40

【 0 0 5 6 】

被膜 1 6 の膜厚は、製造過程において熱可塑性樹脂フィルム 3 4 の浸透を阻害しない膜厚であれば、特に限定されるものではない。被膜 1 6 の膜厚は、熱可塑性樹脂フィルム 3 4 の浸透性、カーボンナノチューブシート 1 0 に要求される特性、被膜 1 6 の構成材料等に応じて適宜設定することが望ましい。

50

## 【0057】

熱伝導性の高い被膜16を設けることにより、被膜16を設けない場合と比較して、カーボンナノチューブシート10の被着体（放熱体、発熱体）に対する接触面積を増加することができる。これにより、カーボンナノチューブ12と被着体との間の接触熱抵抗が低減され、カーボンナノチューブシート10の熱伝導性を高めることができる。カーボンナノチューブシート10を導電性シートとしても用いる場合には、導電性を高めることができる。

## 【0058】

なお、図4では、図1(a)のカーボンナノチューブシート10におけるカーボンナノチューブ12の一方の端部に被膜16を形成した場合を示したが、カーボンナノチューブ12の他方の端部にも被膜16を形成してもよい。また、図1(b)に示されるカーボンナノチューブシートにおけるカーボンナノチューブ12の一方の端部又は両方の端部に被膜16を形成してもよい。

10

## 【0059】

次に、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法について図5乃至図8を用いて説明する。

## 【0060】

まず、例えば図2(a)乃至図2(c)に示す第1実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法と同様にして、基板30上に、カーボンナノチューブ12を成長する。

20

## 【0061】

なお、図1乃至図5では、図面の簡略化のためにカーボンナノチューブ12を単純な円筒形状で描いたが、成長初期における成長ばらつき等により、必ずしも完全な円筒形状にはならない。カーボンナノチューブ12は、全体的に見ればシートの膜厚方向に配向するが、例えば、図6に示すようにカーボンナノチューブ12の上端部が基板30の法線方向に対して傾いて成長したり、カーボンナノチューブ12の長さにはばらつきが生じたりすることがある。

## 【0062】

次いで、カーボンナノチューブ12上に、例えば蒸着法により、300nm程度の膜厚のAu(金)堆積し、Auの被膜16を形成する(図5(a))。被膜16は、カーボンナノチューブ12にダメージを与えない方法であれば、他の成膜方法(例えばスパッタ法等)を用いて形成してもよい。

30

## 【0063】

被膜16を形成する材料は、充填層14の構成材料よりも熱伝導率の高い材料であれば特に限定されるものではない。カーボンナノチューブシート10を電気伝導用途にも用いる場合には、導電性を有する材料、例えば、金属や合金等を適用することができる。被膜16の構成材料としては、例えば、銅(Cu)、ニッケル(Ni)、金(Au)等を用いることができる。また、被膜16は、単層構造である必要はなく、例えばチタン(Ti)と金(Au)との積層構造など、2層或いは3層以上の積層構造であってもよい。

## 【0064】

被膜16は、成長初期段階では、例えば図7に示すように、各カーボンナノチューブ12の先端部分を覆うように形成される。成長膜厚が増加してくると、隣接する各カーボンナノチューブ12の先端部分に形成された被膜16が互いに接続される。これにより、被膜16は、例えば図8に示すように、複数本の各カーボンナノチューブ12の先端部分を束ねるように形成される。被膜16の成長膜厚を更に増加すると、被膜16がシートの面に平行な2次元方向に完全に接続され、隙間のない完全な膜となる。

40

## 【0065】

形成する被膜16の膜厚は、充填層14を形成する際の熱可塑性樹脂フィルム34の浸透性等を考慮して、カーボンナノチューブ12の直径や面密度に応じて適宜設定することが望ましい。

50

## 【0066】

例えば、カーボンナノチューブ12の直径が10nm、面密度が $1 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ の場合、互いに隣接するカーボンナノチューブ12の間隙はおよそ50nmである。この場合、隣接するカーボンナノチューブ12間が被膜16により接続されるためには、少なくとも間隙の半分以上の膜厚、すなわち膜厚25nm程度以上の被膜16を形成することが望ましい。また、被膜16を厚くしすぎると被膜16が隙間のない完全な膜となり熱可塑性樹脂フィルム34の浸透性が低下するため、被膜16の上限膜厚は、熱可塑性樹脂フィルム34の浸透性の面から設定することが望ましい。これらの観点から、上記条件のカーボンナノチューブ12では、被膜16の膜厚は、25nm~1000nm程度に設定することが望ましい。

10

## 【0067】

次いで、例えば図3(a)乃至図3(b)に示す第1実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法と同様にして、カーボンナノチューブ12の間隙に熱可塑性樹脂フィルム34を浸透させ、充填層14を形成する(図5(b))。

## 【0068】

被膜16は、必ずしも隣接するカーボンナノチューブ12が互いに接続されるに十分な膜厚を形成する必要はないが、これには被膜16によって複数本のカーボンナノチューブ12を束ねる効果がある(図8参照)。また、横方向への熱の伝導が可能となる。これにより、熱可塑性樹脂フィルム34がカーボンナノチューブ12間に浸透する際に、カーボンナノチューブ12同士がばらばらになることを抑制することができる。

20

## 【0069】

次いで、カーボンナノチューブ12、被膜16及び充填層14を基板30から剥離し、本実施形態によるカーボンナノチューブシートを得る(図5(c))。

## 【0070】

この後、カーボンナノチューブ12の基板30の剥離面側に、必要に応じて、被膜16と同様の被膜(図示せず)を形成する。この被膜の形成方法や形成材料等は、被膜16と同様である。

## 【0071】

このように、本実施形態によれば、カーボンナノチューブを支持する充填層の材料として熱可塑性樹脂を用いるので、充填層のリフローが可能であり被着体に対する接触熱抵抗の小さいカーボンナノチューブシートを容易に形成することができる。また、充填材の浸透量は、熱処理温度及び時間によって容易に制御することができる。これにより、カーボンナノチューブの端部を容易に露出することができる。また、カーボンナノチューブの成長に用いる基板からシートを容易に剥離することができる。また、カーボンナノチューブの端部に充填層よりも熱伝導率の高い材量の被膜を形成するので、被着体に対する接触熱抵抗を大幅に低減することができる。

30

## 【0072】

## [第3実施形態]

第3実施形態によるカーボンナノチューブシート及びその製造方法について図9乃至図14を用いて説明する。なお、図1乃至図8に示す第1及び第2実施形態によるカーボンナノチューブシート及びその製造方法と同一の構成要素には、同一の符号を付して説明を省略または簡潔にする。

40

## 【0073】

図9は、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの構造を示す斜視図である。図10乃至図13は、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図である。図14は、本実施形態によるカーボンナノチューブシート及びその製造方法の他の例を示す斜視図である。

## 【0074】

はじめに、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの構造について図9を用いて説明する。図9(a)は本実施形態によるカーボンナノチューブシートの第1の例であり

50

、図9(b)は本実施形態によるカーボンナノチューブシートの第2の例である。

【0075】

本実施形態によるカーボンナノチューブシート10は、図9(a)及び図9(b)に示すように、複数のカーボンナノチューブ12が互いに間隔を開けて配置され、この間隙に熱可塑性樹脂の充填層14が埋め込み形成された構造を有している点で、第1及び第2実施形態によるカーボンナノチューブシートと共通している。

【0076】

本実施形態によるカーボンナノチューブシート10は、複数のカーボンナノチューブ12aと、複数のカーボンナノチューブ12bとを有している。複数のカーボンナノチューブ12aは、カーボンナノチューブシート10の一方の面側(図面において上側)の端部に被膜16aを有している。一方、複数のカーボンナノチューブ12bは、カーボンナノチューブシート10の他方の面側(図面において下側)の端部に被膜16bを有している。

10

【0077】

図9(a)に示す第1の例のカーボンナノチューブシート10と図9(b)に示す第2の例のカーボンナノチューブシート10は、被膜16a, 16bの膜厚が異なっている。すなわち、図9(a)に示す第1の例のカーボンナノチューブシート10では、図7において説明したように、各カーボンナノチューブ12a, 12bの先端部分をそれぞれ覆うように、被膜16a, 16bが形成されている。また、図9(b)に示す第2の例のカーボンナノチューブシート10では、図8において説明したように、複数本の各カーボンナノチューブ12a, 12bの先端部分を束ねるように、被膜16a, 16bがそれぞれ形成されている。

20

【0078】

充填材14及び被膜16の構成材料は、第1又は第2実施形態によるカーボンナノチューブシートと同様である。

【0079】

次に、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法について図10乃至図13を用いて説明する。なお、ここでは、図9(b)に示す第2の例のカーボンナノチューブシートの製造方法を示すが、図9(a)に示す第1の例のカーボンナノチューブシートの製造方法は、被膜16の膜厚が異なるほかは第2の例のカーボンナノチューブシートの製造方法と同様である。

30

【0080】

まず、例えば図2(a)乃至図2(c)に示す第1実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法と同様にして、基板30a上に、複数のカーボンナノチューブ12aを成長する(図10(a))。

【0081】

次いで、例えば図5(a)に示す第2実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法と同様にして、カーボンナノチューブ12a上に、被膜16aを形成する(図10(b))。

40

【0082】

次いで、例えば図5(b)に示す第2実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法と同様にして、カーボンナノチューブ12a間に熱可塑性樹脂フィルムを浸透させ、熱可塑性材料の充填層14aを形成する(図11(a))。なお、図11(a)では基板30に達するまで熱可塑性樹脂フィルム(充填層14)を浸透させているが、第1及び第2実施形態の場合と同様、基板30aに達しない程度まで熱可塑性樹脂フィルムを浸透させるようにしてもよい。

【0083】

次いで、被膜16aが形成されたカーボンナノチューブ12a及び充填層14aを基板30aから剥離し、カーボンナノチューブシート10aを形成する(図11(b))。このカーボンナノチューブシート10aは、第2実施形態によるカーボンナノチューブシ

50

ト 1 0 と同様のものである。

【 0 0 8 4 】

以上の手順により、カーボンナノチューブシート 1 0 a とは別に、充填層 1 4 b 内に被膜 1 6 b が形成されたカーボンナノチューブ 1 2 b が埋め込まれたカーボンナノチューブシート 1 0 b を用意する。

【 0 0 8 5 】

次いで、カーボンナノチューブシート 1 0 a とカーボンナノチューブシート 1 0 b とを、被膜 1 6 a , 1 6 b が形成されていない面側が向き合うように重ね合わせる ( 図 1 2 ) 。

【 0 0 8 6 】

次いで、カーボンナノチューブシート 1 0 a とカーボンナノチューブシート 1 0 b との積層体を、加重を加えながら加熱する。例えば、充填層 1 4 a , 1 4 b を形成する熱可塑性樹脂としてヘンケルジャパン株式会社製の「 M i c r o m e l t 6 2 3 9 」を用いた場合には、圧力  $1 0 \text{ N} / \text{c m}^2$  の加重を加えながら、 $1 9 5$  で加熱する。これにより、充填層 1 4 a , 1 4 b が液状融解して一体となり、カーボンナノチューブ 1 2 a はカーボンナノチューブ 1 2 b の間に、カーボンナノチューブ 1 2 b はカーボンナノチューブ 1 2 a の間に、互いに挿入される。

【 0 0 8 7 】

次いで、室温まで冷却し、充填層 1 4 a , 1 4 b ( 以下、充填層 1 4 という ) を固化する。

【 0 0 8 8 】

こうして、被膜 1 6 a が形成されたカーボンナノチューブ 1 2 a と、被膜 1 6 b が形成されたカーボンナノチューブ 1 2 b とが充填層 1 4 内に埋め込まれた本実施形態によるカーボンナノチューブシート 1 0 が形成される ( 図 1 3 ) 。

【 0 0 8 9 】

カーボンナノチューブ 1 2 a , 1 2 b の面密度は、カーボンナノチューブの成長条件によって変化する。例えば  $1 \times 1 0^{12} \text{ c m}^{-2}$  程度の面密度でカーボンナノチューブ 1 2 を形成したとしても、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を用いることにより、カーボンナノチューブ 1 2 の面密度を 2 倍にすることができる。これにより、カーボンナノチューブシートの熱伝導率、放熱性を大幅に向上することができる。

【 0 0 9 0 】

また、重ね合わせるカーボンナノチューブシートのシートを更に増やすことにより、カーボンナノチューブの面密度を更に高めることができる。

【 0 0 9 1 】

例えば、図 1 4 に示すように、上述のカーボンナノチューブシート 1 0 a , 1 0 b の間に、充填層 1 4 c 内にカーボンナノチューブ 1 2 c が埋め込まれたカーボンナノチューブシート 1 0 c と、充填層 1 4 d 内にカーボンナノチューブ 1 2 d が埋め込まれたカーボンナノチューブシート 1 0 d とを挟み込むことも可能である。このようにすることで、カーボンナノチューブの面密度を 4 倍にすることができる。重ね合わせるカーボンナノチューブシートのシートの枚数は、要求される熱伝導率や放熱性に応じて適宜設定することができる。

【 0 0 9 2 】

また、カーボンナノチューブシートのシートを 3 枚以上重ね合わせる場合、必ずしも総てのシートを同時に一体化する必要はない。例えば、図 1 4 の例では、カーボンナノチューブシート 1 0 a とカーボンナノチューブシート 1 0 c とを、カーボンナノチューブシート 1 0 b とカーボンナノチューブシート 1 0 d とを、それぞれ一体化した後、一体化した 2 つのシートを一体化することができる。或いは、カーボンナノチューブシート 1 0 a とカーボンナノチューブシート 1 0 c とを一体化した後、これとカーボンナノチューブシート 1 0 d とを一体化し、その後更にカーボンナノチューブシート 1 0 b を一体化するようにしてもよい。

10

20

30

40

50

## 【0093】

なお、カーボンナノチューブシート10b, 10cは、カーボンナノチューブ12b, 12cが他のシートのカーボンナノチューブの間隙に挿入されやすいように、端部に被膜を形成しなくてもよい。カーボンナノチューブシート10b, 10cは、例えば第1実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法と同様の手順により、製造することができる。

## 【0094】

このように、本実施形態によれば、カーボンナノチューブを支持する充填層の材料として熱可塑性樹脂を用いたカーボンナノチューブシートを複数積層し、熱処理によりこれを一体化するので、カーボンナノチューブの面密度を大幅に向上することができる。これにより、シートの熱伝導率を大幅に向上することができる。

10

## 【0095】

## [第4実施形態]

第4実施形態によるカーボンナノチューブシート及びその製造方法について図15乃至図19を用いて説明する。なお、図1乃至図14に示す第1乃至第3実施形態によるカーボンナノチューブシート及びその製造方法と同一の構成要素には、同一の符号を付して説明を省略または簡潔にする。

## 【0096】

図15は、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの構造を示す斜視図である。図16乃至図19は、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図である。

20

## 【0097】

はじめに、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの構造について図15を用いて説明する。図15(a)は本実施形態によるカーボンナノチューブシートの第1の例であり、図15(b)は本実施形態によるカーボンナノチューブシートの第2の例である。

## 【0098】

本実施形態によるカーボンナノチューブシート10は、図15(a)及び図15(b)に示すように、複数のカーボンナノチューブ12が互いに間隔を開けて配置され、この間隙に熱可塑性樹脂の充填層14が埋め込み形成された構造を有している点で、第1乃至第3実施形態によるカーボンナノチューブシートと共通している。

30

## 【0099】

本実施形態によるカーボンナノチューブシート10は、充填層14が、充填層14A, 14B, 14Cの積層体により形成されている。カーボンナノチューブ12の両端部には、被膜16が形成されている。

## 【0100】

充填層14A, 14Cは、第1乃至第3実施形態によるカーボンナノチューブシートの充填層14と同様の、熱可塑性樹脂により形成されている。また、被膜16の構成材料も、第1乃至第3実施形態によるカーボンナノチューブシートと同様である。

## 【0101】

充填層14Bは、カーボンナノチューブ12の埋め込みの際に液体状の性質を示し、その後硬化できるものであれば特に限定されるものではない。例えば、有機系充填材としては、アクリル樹脂、エポキシ樹脂、シリコン樹脂、ポリイミド樹脂などを適用することができる。また、無機系充填材としては、SOG (Spin On Glass) などの塗布型絶縁膜形成用組成物などを適用することができる。また、インジウム、はんだ、金属ペースト(例えば、銀ペースト)などの金属材料を適用することもできる。また、例えばポリアニリン、ポリチオフェンなどの導電性ポリマを適用することもできる。

40

## 【0102】

また、充填層14Bには、必要に応じて、添加物を分散混合してもよい。添加物としては、例えば熱伝導性の高い物質や導電性の高い物質が考えられる。充填層14B部分に熱伝導性の高い添加物を分散混合することにより、充填層14B部分の熱伝導率を向上する

50

ことができ、カーボンナノチューブシート全体としての熱伝導率を向上することができる。熱伝導性の高い材料としては、カーボンナノチューブ、金属材料、窒化アルミニウム、シリカ、アルミナ、グラファイト、フラーレン等を適用することができる。電導性の高い材料としては、カーボンナノチューブ、金属材料等を適用することができる。

#### 【0103】

充填層14に熱伝導率の高い材料を用いることにより、シート全体の熱伝導率も向上する。しかし、熱可塑性樹脂の熱伝導率は通常 $0.1\text{ W/m}\cdot\text{K}$ 以下であり、充填層14の全体を熱可塑性樹脂で形成した場合は、充填層14はほとんど熱伝導に寄与しない。充填層14B部分に熱可塑性樹脂ではなく、ある程度熱伝導率の高い材料、例えば導電性ポリマを用い、充填層14A, 14C部分には、使用時の密着性、界面熱抵抗を考慮して熱可塑性樹脂を用いることで、シート全体の熱伝導率を向上することができる。

10

#### 【0104】

図15(a)に示す第1の例のカーボンナノチューブシート10と図15(b)に示す第2の例のカーボンナノチューブシート10は、被膜16の膜厚が異なっている。すなわち、図15(a)に示す第1の例のカーボンナノチューブシート10では、図7において説明したように、各カーボンナノチューブ12の先端部分をそれぞれ覆うように、被膜16が形成されている。また、図15(b)に示す第2の例のカーボンナノチューブシート10では、図8において説明したように、複数本の各カーボンナノチューブ12の先端部分を束ねるように、被膜16が形成されている。

20

#### 【0105】

次に、本実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法について図16乃至図19を用いて説明する。なお、ここでは、図15(b)に示す第2の例のカーボンナノチューブシートの製造方法を示すが、図15(a)に示す第1の例のカーボンナノチューブシートの製造方法は、被膜16の膜厚が異なるほかは第2の例のカーボンナノチューブシートの製造方法と同様である。

#### 【0106】

まず、例えば図2(a)乃至図2(c)に示す第1実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法と同様にして、基板30上に、複数のカーボンナノチューブ12を成長する(図16(a))。

#### 【0107】

次いで、例えば図5(a)に示す第2実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法と同様にして、カーボンナノチューブ12の一端上に、被膜16を形成する(図16(b))。

30

#### 【0108】

次いで、基板30とは別の基板40を用意する。

#### 【0109】

次いで、基板40上に、例えばスピコート法により、例えば膜厚 $6\mu\text{m}$ のフォトリソ膜42を塗布する。基板40は、特に限定されるものではないが、例えばサファイア基板等を適用することができる。また、フォトリソ膜42の代わりに、充填層14Bに対してエッチング選択性のある他の材料の膜を形成してもよい。

40

#### 【0110】

次いで、基板40のフォトリソ膜42の塗布面上に、カーボンナノチューブ12の被膜16の形成面が向き合うように基板30を載置し、フォトリソ膜42を硬化させる。これにより、カーボンナノチューブ12の被膜16により覆われた端部は、フォトリソ膜42によって覆われることになる。

#### 【0111】

次いで、カーボンナノチューブ12から基板30を剥離する。こうして、被膜16が形成されたカーボンナノチューブ12を、基板40上に転写する(図17(a))。

#### 【0112】

次いで、例えば図5(a)に示す第2実施形態によるカーボンナノチューブシートの製

50

造方法と同様にして、カーボンナノチューブ12の他端上に、被膜16を形成する(図17(b))。

【0113】

次いで、例えばスピンコート法により、充填層14Bとなる充填材を塗布する。この際、被膜16上の充填材の厚さが数十nm以下になるように、塗布溶液の粘度やスピンの回転数を適宜設定する。

【0114】

充填層14Bとなる充填材は、その後に硬化できるものであれば特に限定されるものではない。例えば、有機系充填材としては、アクリル樹脂、エポキシ樹脂、シリコン樹脂、ポリイミド樹脂などを適用することができる。また、無機系充填材としては、SOG (Spin On Glass) などの塗布型絶縁膜形成用組成物などを適用することができる。また、インジウム、はんだ、金属ペースト(例えば、銀ペースト)などの金属材料を適用することもできる。また、例えばポリアニリン、ポリチオフェンなどの導電性ポリマを適用することもできる。ここでは、充填層14Bとなる充填材として、シリコン系樹脂を用いるものとする。

10

【0115】

次いで、熱処理や紫外線照射等により充填材を硬化し、充填層14Bを形成する(図18(a))。

【0116】

次いで、例えば有機溶剤により、フォトレジスト膜42を選択的に除去し、充填層14Bに埋め込まれ端部に被膜16が形成されたカーボンナノチューブ12を、基板40から剥離する(図18(b))。この際、フォトレジスト膜42により覆われていたカーボンナノチューブ12の一端部は、充填層14Bにより覆われていない。

20

【0117】

次いで、例えば図5(b)に示す第2実施形態によるカーボンナノチューブシート10の製造方法と同様にして、充填層14Bの両面に、熱可塑性材料の充填層14A, 14Cを形成する。

【0118】

こうして、被膜16が形成されたカーボンナノチューブ12が充填層14A, 14B, 14Cの積層体の充填層14に埋め込まれた本実施形態によるカーボンナノチューブシート10が形成される(図19)。

30

【0119】

このように、本実施形態によれば、カーボンナノチューブを支持する充填層の表面部分に熱可塑性樹脂の層を設けるので、被着体に対する接触熱抵抗の小さいカーボンナノチューブシートを形成することができる。

【0120】

[第5実施形態]

第5実施形態による電子機器及びその製造方法について図20乃至図22を用いて説明する。なお、図1乃至図19に示す第1乃至第4実施形態によるカーボンナノチューブシート及びその製造方法と同一の構成要素には、同一の符号を付して説明を省略または簡潔にする。

40

【0121】

図20は、本実施形態による電子機器の構造を示す概略断面図である。図21は、本実施形態による電子機器の製造方法を示す工程断面図である。図22は、本実施形態による電子部品の構造を示す概略断面図である。

【0122】

本実施形態では、第1乃至第4実施形態によるカーボンナノチューブシートを熱伝導シートとして適用した電子機器及びその製造方法について説明する。

【0123】

はじめに、本実施形態による電子機器の構造について図20を用いて説明する。

50



## 【0124】

多層配線基板などの回路基板50上には、例えばCPUなどの半導体素子54が実装されている。半導体素子54は、はんだバンプなどの突起状電極52を介して回路基板50に電氣的に接続されている。

## 【0125】

半導体素子54上には、半導体素子54を覆うように、半導体素子54からの熱を拡散するためのヒートスプレッド58が形成されている。半導体素子54とヒートスプレッド58との間には、第1乃至第4実施形態のいずれかに記載のカーボンナノチューブシート56が形成されている。ヒートスプレッド58は、例えば有機シーラント60によって回路基板50に接着されている。

10

## 【0126】

このように、本実施形態による電子機器では、半導体素子54とヒートスプレッド58との間、すなわち発熱部と放熱部との間に、第1乃至第4実施形態によるカーボンナノチューブシート56が設けられている。

## 【0127】

上述のように、第1乃至第4実施形態によるカーボンナノチューブシートは、カーボンナノチューブ12がシートの膜厚方向に配向しており、面直方向の熱伝導度が極めて高いものである。また、第2乃至第4実施形態によるカーボンナノチューブシートは、カーボンナノチューブ12の一方の端部或いは両端に被膜16が形成されており、接触熱抵抗を大幅に低減することができる。

20

## 【0128】

したがって、開示のカーボンナノチューブシートを、半導体素子54とヒートスプレッド58との間に形成する熱伝導シートとして用いることにより、半導体素子54から発せられた熱を効率よくヒートスプレッド58に垂直方向に伝えることができ、放熱効率を高めることができる。これにより、電子機器の信頼性を向上することができる。

## 【0129】

また、カーボンナノチューブシート56は、カーボンナノチューブ12を支持する充填層14の少なくとも表面層が、熱可塑性樹脂材料により形成されている。これにより、半導体素子54及びヒートスプレッド58に対するカーボンナノチューブシート56の接着性を高めるとともに、カーボンナノチューブシート56による熱伝導性をも高めることができる。

30

## 【0130】

次に、本実施形態による電子機器の製造方法について図21を用いて説明する。

## 【0131】

まず、回路基板50上に、突起状電極52を介して半導体素子54を実装する(図21(a))。なお、本実施形態の図面では、本実施形態による電子機器の効果を判りやすくするために、半導体素子54とヒートスプレッド58との対向する面の凹凸を強調して描いている。

## 【0132】

次いで、回路基板50上に実装した半導体素子54上に、第1乃至第4実施形態のいずれかに記載のカーボンナノチューブシート56を載置する(図21(b))。本実施形態の図面では、第1実施形態によるカーボンナノチューブシートを用いた場合を示しているが、第2乃至第4実施形態によるカーボンナノチューブシートを用いてもよい。

40

## 【0133】

次いで、回路基板50上に、ヒートスプレッド58を固定するための有機シーラント60を塗布した後、カーボンナノチューブシート56を載置した半導体素子54上にヒートスプレッド58を被せる(図21(c))。

## 【0134】

次いで、ヒートスプレッド58に荷重をかけた状態で熱処理を行い、カーボンナノチューブシート56をリフローする。充填層14として例えばヘンケルジャパン株式会社製の

50

「Micromelt 6239」を用いたカーボンナノチューブシート56では、例えば荷重0.25MPaを加えた状態で、例えば195、10分間の熱処理を行う。

【0135】

この熱処理により、カーボンナノチューブシート56の充填層14を形成する熱可塑性樹脂が液状融解し、半導体素子54及びヒートスプレッド58の表面凹凸に沿ってカーボンナノチューブシート56が変形する。また、カーボンナノチューブシート54内のカーボンナノチューブ12は、充填層14による拘束がゆるみ、その端部は半導体素子54及びヒートスプレッド58に直に接するようになる。この際、カーボンナノチューブ12はしなやかで柔軟性に富んだ材料であるため、半導体素子54及びヒートスプレッド58が有する凹凸形状に追従して撓むことができる。これにより、半導体素子54及びヒートスプレッド58に直に接するカーボンナノチューブ12が増加し、カーボンナノチューブシート56と半導体素子54及びヒートスプレッド58との間の接触熱抵抗を大幅に低減することができる。

10

【0136】

このときの荷重は、カーボンナノチューブシート56が、半導体素子54及びヒートスプレッド58の表面に存在する凹凸に沿って変形して十分な接触状態を形成する荷重範囲であればよい。また、熱処理の温度及び時間は、半導体素子54とヒートスプレッド58との界面に介在する熱可塑性樹脂が融解して移動し、カーボンナノチューブ12の端部が半導体素子54及びヒートスプレッド58に対して直に接する表面状態になる範囲を選択すればよい。

20

【0137】

次いで、室温まで冷却し、充填層14の熱可塑性樹脂を固化するとともに、ヒートスプレッド58を有機シラント60によって回路基板50上に固定する。この際、熱可塑性樹脂は接着性を発現し、半導体素子54とヒートスプレッド58の間をカーボンナノチューブシート56によって接着固定することができる。これにより、室温に冷却した後も、カーボンナノチューブシート56と半導体素子54及びヒートスプレッド58との間の低い接触熱抵抗を維持することができる。

【0138】

なお、充填層14として熱可塑性樹脂ではない材料を用いたカーボンナノチューブシートでは、一度固化した充填層14に接着性を発現することはできないため、カーボンナノチューブシートと半導体素子54及びヒートスプレッド58とは加圧圧着で接触せざるを得ない。また、半導体素子54とヒートスプレッド58を加圧圧着しても、カーボンナノチューブ12の端部が半導体素子54及びヒートスプレッド58に対して直に接することはできない。カーボンナノチューブ12の端部を予め露出しておくことも考えられるが、カーボンナノチューブ12と充填層14と間の選択性を十分に確保しつつ充填層14だけをエッチングすることは困難である。これらのことにより、半導体素子54とヒートスプレッド58との間の接触熱抵抗を十分に低減することができない。

30

【0139】

上記の例では、カーボンナノチューブシート56とヒートスプレッド58とを別々の電子部品としたが、カーボンナノチューブシート56は、予めヒートスプレッド58の内面に形成しておいてもよい。この場合、例えば図22(a)に示すように、カーボンナノチューブシート56の充填層14の形成面を、ヒートスプレッド58の内面に接着することができる。或いは、例えば図22(b)に示すように、カーボンナノチューブシート56のカーボンナノチューブ12の露出面を、ヒートスプレッド58の内面に接着することができる。

40

【0140】

図22(a)の電子部品は、カーボンナノチューブシート56とヒートスプレッド58とを別々に製造した後、ヒートスプレッド58の内面にカーボンナノチューブシート56を載置し、必要に応じて荷重をかけながら熱処理を行い、カーボンナノチューブシート56を接着することにより、製造することができる。図22(a)の電子部品は、カーボン

50

ナノチューブシート56として、第1又は第2実施形態によるカーボンナノチューブシートのみならず、第3及び第4実施形態によるカーボンナノチューブシートをも適用することができる。

【0141】

また、図22(b)の電子部品は、ヒートスプレッド58を基板30として用いることにより、第1又は第2実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法と同様に製造することができる。

【0142】

このように、本実施形態によれば、半導体素子とヒートスプレッドとの間に、第1乃至第4実施形態によるカーボンナノチューブシートを配置するので、これらの間の熱伝導度を大幅に向上することができる。これにより、半導体素子から発せられる熱の放熱効率を高めることができ、電子機器の信頼性を向上することができる。

【0143】

[第6実施形態]

第6実施形態による電子機器及びその製造方法について図23及び図24を用いて説明する。なお、図1乃至図19に示す第1乃至第4実施形態によるカーボンナノチューブシート及びその製造方法、並びに図20乃至図22に示す第5実施形態による電子機器及びその製造方法と同一の構成要素には、同一の符号を付して説明を省略または簡潔にする。

【0144】

図23は、本実施形態による電子機器の構造を示す概略断面図である。図24は、本実施形態による電子機器の製造方法を示す工程断面図である。

【0145】

はじめに、本実施形態による電子機器の構造について図23を用いて説明する。

【0146】

本実施形態による電子機器は、図23に示すように、第5実施形態による電子機器において、半導体素子54とヒートスプレッド58との間に設けるカーボンナノチューブシート56として、第3実施形態によるカーボンナノチューブシートを適用したものである。

【0147】

次に、本実施形態による電子機器の製造方法について図24を用いて説明する。

【0148】

まず、例えば図10(a)乃至図11(b)に示す第3実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法と同様にして、充填層14a内に被膜16aが形成されたカーボンナノチューブ12aが埋め込まれたカーボンナノチューブシート10aと、充填層14b内に被膜16bが形成されたカーボンナノチューブ12bが埋め込まれたカーボンナノチューブシート10bとを用意する。

【0149】

次いで、図21(a)に示す第5実施形態による電子機器の製造方法と同様にして、回路基板50上に、突起状電極52を介して半導体素子54を実装する。

【0150】

次いで、半導体素子54の上面上に、カーボンナノチューブシート10bを接着する。また、ヒートスプレッド58の内面に、カーボンナノチューブシート10aを接着する。カーボンナノチューブシート10a、10bは、半導体素子54、ヒートスプレッド58上に載置した後、必要に応じて荷重をかけながら熱処理を行うことにより、接着することができる。

【0151】

次いで、回路基板50上に、ヒートスプレッド58を固定するための有機シーラント60を塗布した後、カーボンナノチューブシート10bを接着載置した半導体素子54上に、カーボンナノチューブシート10aを接着したヒートスプレッド58を被せる(図24(a))。

【0152】

10

20

30

40

50

次いで、例えば図 1 2 乃至図 1 3 に示す第 3 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法と同様にして、ヒートスプレッド 5 8 に荷重をかけた状態で熱処理を行う。これにより、充填層 1 4 a , 1 4 b が液状融解して一体となり、カーボンナノチューブ 1 2 a はカーボンナノチューブ 1 2 b の間に、カーボンナノチューブ 1 2 b はカーボンナノチューブ 1 2 a の間に、互いに挿入される。こうして、半導体素子 5 4 とヒートスプレッド 5 8 との間には、第 3 実施形態によるカーボンナノチューブシート 5 6 が形成される。

#### 【 0 1 5 3 】

また、カーボンナノチューブシート 5 6 が形成されると同時に、カーボンナノチューブシート 5 6 は、半導体素子 5 4 及びヒートスプレッド 5 8 の表面凹凸に沿って変形する。また、カーボンナノチューブシート 5 4 内のカーボンナノチューブ 1 2 a , 1 2 b は充填層 1 4 による拘束がゆるみ、その端部（被膜 1 6 a , 1 6 b が形成された状態も含む）は半導体素子 5 4 及びヒートスプレッド 5 8 に直に接するようになる。これにより、カーボンナノチューブシート 5 6 と半導体素子 5 4 及びヒートスプレッド 5 8 との間の接触熱抵抗を大幅に低減することができる。

10

#### 【 0 1 5 4 】

このときの荷重は、カーボンナノチューブシート 1 0 a , 1 0 b が一体化されるとともに、カーボンナノチューブシート 5 6 が半導体素子 5 4 及びヒートスプレッド 5 8 の表面に存在する凹凸に沿って変形して十分な接触状態を形成する荷重範囲であればよい。また、熱処理の温度及び時間は、半導体素子 5 4 とヒートスプレッド 5 8 との界面に介在する熱可塑性樹脂が融解して移動し、カーボンナノチューブ 1 2 の端部が半導体素子 5 4 及びヒートスプレッド 5 8 に対して直に接する表面状態になる範囲を選択すればよい。

20

#### 【 0 1 5 5 】

次いで、室温まで冷却し、充填層 1 4 の熱可塑性樹脂を固化するとともに、ヒートスプレッド 5 8 を有機シーラント 6 0 によって回路基板 5 0 上に固定する。この際、熱可塑性樹脂は接着性を発現し、半導体素子 5 4 とヒートスプレッド 5 8 との間をカーボンナノチューブシート 5 6 によって接着固定することができる。これにより、室温に冷却した後も、カーボンナノチューブシート 5 6 と半導体素子 5 4 及びヒートスプレッド 5 8 との間の低い接触熱抵抗を維持することができる。

#### 【 0 1 5 6 】

このように、本実施形態によれば、半導体素子とヒートスプレッドとの間に、第 1 乃至第 4 実施形態によるカーボンナノチューブシートを配置するので、これらの間の熱伝導度を大幅に向上することができる。これにより、半導体素子から発せられる熱の放熱効率を高めることができ、電子機器の信頼性を向上することができる。

30

#### 【 0 1 5 7 】

##### [ 第 7 実施形態 ]

第 7 実施形態による電子機器について図 2 5 を用いて説明する。

#### 【 0 1 5 8 】

図 2 5 は、本実施形態による電子機器の構造を示す概略断面図である。

#### 【 0 1 5 9 】

本実施形態では、第 1 乃至第 4 実施形態によるカーボンナノチューブシートを、導電性シートを兼ねる熱伝導性シートとして適用した電子機器について説明する。

40

#### 【 0 1 6 0 】

図 2 5 に示すように、無線通信基地局などに用いられる高出力増幅器（H P A : High Power Amplifier）7 0 は、パッケージ 7 2 に組み込まれ、パッケージ 7 2 の裏面においてヒートシンク 7 4 に接合される。高出力増幅器 7 0 から発せられた熱は、パッケージ 7 2 の裏面を通してヒートシンク 7 4 に放熱される。同時に、パッケージ 7 2 は、電気的なグラウンド（接地面）としても用いられるものであり、ヒートシンク 7 4 に対しても電氣的に接続する必要がある。このため、パッケージ 7 2 とヒートシンク 7 4 との接合には、電気及び熱に対する良導体を用いることが望ましい。

50

## 【0161】

第1乃至第4実施形態によるカーボンナノチューブシートは、第1乃至第4実施形態で説明したように、発熱体或いは放熱体に対して、カーボンナノチューブ12或いは被膜16が形成されたカーボンナノチューブ12を直に接触させることができる。つまり、第1乃至第4実施形態によるカーボンナノチューブシートは、放熱シートのみならず、導電性シートとしても用いることができる。

## 【0162】

したがって、図25に示すように、パッケージ72とヒートシンク74との接合部に、第1乃至第4実施形態のいずれかによるカーボンナノチューブシート76を用いることにより、パッケージ72とヒートシンク74とを電氣的に接続することができる。また、高出力増幅器70から発せられた熱を効率よくヒートシンク74に伝えることができ、放熱効率を高めることができる。これにより、電子機器の信頼性を向上することができる。

10

## 【0163】

本実施形態による電子機器は、第5又は第6実施形態による電子機器の製造方法と同様にして製造することができる。

## 【0164】

このように、本実施形態によれば、高出力増幅器のパッケージとヒートシンクとの間に、第1乃至第4実施形態によるカーボンナノチューブシートを配置するので、これらの間の熱伝導度を大幅に向上することができる。これにより、高出力増幅器から発せられる熱の放熱効率を高めることができる。これにより、電子機器の信頼性を向上することができる。また、高出力増幅器とグラウンドとしてのヒートシンクとを電氣的に接続することもできる。

20

## 【0165】

## [変形実施形態]

上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。

## 【0166】

例えば、上記実施形態では、炭素元素の線状構造体を用いた放熱材料の例としてカーボンナノチューブシートを示したが、炭素元素の線状構造体を用いた放熱材料は、これに限定されるものではない。炭素元素の線状構造体としては、カーボンナノチューブのほか、カーボンナノワイヤ、カーボンロッド、カーボンファイバが挙げられる。これら線状構造体は、サイズが異なるほかは、カーボンナノチューブと同様である。これら線状構造体を用いた放熱材料においても適用することができる。

30

## 【0167】

また、上記実施形態に記載の構成材料や製造条件は、当該記載に限定されるものではなく、目的等に応じて適宜変更が可能である。

## 【0168】

また、カーボンナノチューブシートの使用目的も、上記実施形態に記載のものに限定されるものではない。開示のカーボンナノチューブシートは、熱伝導シートとしては、例えば、CPUの放熱シート、無線通信基地局用高出力増幅器、無線通信端末用高出力増幅器、電気自動車用高出力スイッチ、サーバー、パーソナルコンピュータなどへの適用が考えられる。また、カーボンナノチューブの高い許容電流密度特性を利用して、縦型配線シートやこれを用いた種々のアプリケーションにも適用可能である。

40

## 【0169】

以上の実施形態に関し、更に以下の付記を開示する。

## 【0170】

(付記1) 複数の炭素元素の線状構造体と、  
複数の前記線状構造体間に配置された熱可塑性樹脂の充填層と  
を有することを特徴とする放熱材料。

## 【0171】

(付記2) 付記1記載の放熱材料において、

50

複数の前記線状構造体の少なくとも一方の端部に形成され、前記熱可塑性樹脂よりも熱伝導率の高い材料の被膜を更に有することを特徴とする放熱材料。

## 【0172】

(付記3) 付記1又は2記載の放熱材料において、前記熱可塑性樹脂は、温度に応じて液体と固体との間で状態変化することを特徴とする放熱材料。

## 【0173】

(付記4) 付記3記載の放熱材料において、前記熱可塑性樹脂は、液体から固体に状態変化する際に接着性を発現することを特徴とする放熱材料。

10

## 【0174】

(付記5) 付記1乃至4のいずれか1項に記載の放熱材料において、前記充填層は、前記熱可塑性樹脂の第1の層と、前記第1の層上に配置され前記熱可塑性樹脂とは異なる材料の第2の層と、前記第2の層上に配置され前記熱可塑性樹脂の第3の層とを有することを特徴とする放熱材料。

## 【0175】

(付記6) 付記1乃至5のいずれか1項に記載の放熱材料において、複数の前記線状構造体は、前記充填層の膜厚方向に配向している

20

## 【0176】

(付記7) 付記1乃至6のいずれか1項に記載の放熱材料において、複数の前記線状構造体の少なくとも一方の端部は、前記充填層から露出している

## 【0177】

(付記8) 発熱体と、放熱体と、

前記発熱体と放熱体との間に配置され、複数の炭素元素の線状構造体と、複数の前記線状構造体間に配置された熱可塑性樹脂の充填層とを含む放熱材料と

30

を有することを特徴とする電子機器。

## 【0178】

(付記9) 付記8記載の電子機器において、

前記放熱材料は、複数の前記線状構造体の少なくとも一方の端部に形成され、前記熱可塑性樹脂よりも熱伝導率の高い材料の被膜を更に有することを特徴とする電子機器。

## 【0179】

(付記10) 付記8又は9記載の電子機器において、

前記熱可塑性樹脂の融解温度は、前記発熱体の発熱温度よりも高く、前記発熱体及び放熱体の耐熱温度よりも低い

40

ことを特徴とする電子機器。

## 【0180】

(付記11) 付記8乃至10のいずれか1項に記載の電子機器において、複数の前記線状構造体は、前記充填層の膜厚方向に配向している

ことを特徴とする電子機器。

## 【0181】

(付記12) 付記8乃至11のいずれか1項に記載の電子機器において、

前記発熱体及び前記放熱体は、前記熱可塑性樹脂によって前記放熱材料に接着されている

ことを特徴とする電子機器。

50

## 【0182】

(付記13) 発熱体と放熱体との間に、複数の炭素元素の線状構造体と、複数の前記線状構造体間に配置された熱可塑性樹脂の充填層とを有する放熱材料を配置する工程と、前記放熱材料を加熱して前記熱可塑性樹脂を融解する工程と、前記放熱材料を冷却して前記熱可塑性樹脂を固化する工程とを有することを特徴とする電子機器の製造方法。

## 【0183】

(付記14) 付記13記載の電子機器の製造方法において、前記熱可塑性樹脂を融解する工程では、前記発熱体の発熱温度よりも高く、前記発熱体及び放熱体の耐熱温度よりも低い温度で加熱することにより、前記熱可塑性樹脂を融解することを特徴とする電子機器の製造方法。

10

## 【0184】

(付記15) 付記13又は14記載の電子機器の製造方法において、前記熱可塑性樹脂は、液体から固体に状態変化する際に接着性を発現する材料であり、前記放熱材料を冷却する際に、前記放熱材料と前記発熱体及び/又は放熱体とを接着することを特徴とする電子機器の製造方法。

## 【0185】

(付記16) 付記13乃至15のいずれか1項に記載の電子機器の製造方法において、前記発熱体と前記放熱体との間に前記放熱材料を配置する工程は、前記放熱体上に、複数の前記線状構造体を成長する工程と、複数の前記線状構造体間に前記熱可塑性樹脂を浸透させ、前記充填層を形成する工程とを有することを特徴とする電子機器の製造方法。

20

## 【0186】

(付記17) 付記13乃至15のいずれか1項に記載の電子機器の製造方法において、前記発熱体と前記放熱体との間に前記放熱材料を配置する工程では、前記発熱体と前記放熱体との間に複数の前記放熱材料を配置し、前記熱可塑性樹脂を融解する工程では、複数の前記放熱材料の複数の前記線状構造体を互いの間に挿入することを特徴とする電子機器の製造方法。

30

## 【0187】

(付記18) 付記17記載の電子機器の製造方法において、複数の前記放熱材料のうちの少なくとも一つを、前記発熱体又は前記放熱体に予め接着しておくことを特徴とする電子機器の製造方法。

## 【0188】

(付記19) 付記13乃至18のいずれか1項に記載の電子機器の製造方法において、前記熱可塑性樹脂を融解する工程では、前記発熱体の発熱温度よりも高く、前記発熱体及び放熱体の耐熱温度よりも低い温度で前記熱可塑性樹脂を融解することを特徴とする電子機器の製造方法。

40

## 【0189】

(付記20) 放熱体と、前記放熱体上に形成され、複数の炭素元素の線状構造体と、複数の前記線状構造体の間隙に配置された熱可塑性樹脂の充填層とを有する放熱材料とを有することを特徴とする放熱部品。

## 【図面の簡単な説明】

50

## 【 0 1 9 0 】

【図 1】図 1 は、第 1 実施形態によるカーボンナノチューブシートの構造を示す概略断面図である。

【図 2】図 2 は、第 1 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す工程断面図（その 1）である。

【図 3】図 3 は、第 1 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す工程断面図（その 2）である。

【図 4】図 4 は、第 2 実施形態によるカーボンナノチューブシートの構造を示す概略断面図である。

【図 5】図 5 は、第 2 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す概略断面図である。

【図 6】図 6 は、第 2 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図（その 1）である。

【図 7】図 7 は、第 2 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図（その 2）である。

【図 8】図 8 は、第 2 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図（その 3）である。

【図 9】図 9 は、第 3 実施形態によるカーボンナノチューブシートの構造を示す斜視図である。

【図 10】図 10 は、第 3 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図（その 1）である。

【図 11】図 11 は、第 3 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図（その 2）である。

【図 12】図 12 は、第 3 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図（その 3）である。

【図 13】図 13 は、第 3 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図（その 4）である。

【図 14】図 14 は、第 3 実施形態によるカーボンナノチューブシート及びその製造方法の他の例を示す斜視図である。

【図 15】図 15 は、第 4 実施形態によるカーボンナノチューブシートの構造を示す斜視図である。

【図 16】図 16 は、第 4 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図（その 1）である。

【図 17】図 17 は、第 4 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図（その 2）である。

【図 18】図 18 は、第 4 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図（その 3）である。

【図 19】図 19 は、第 4 実施形態によるカーボンナノチューブシートの製造方法を示す斜視図（その 4）である。

【図 20】図 20 は、第 5 実施形態による電子機器の構造を示す概略断面図である。

【図 21】図 21 は、第 5 実施形態による電子機器の製造方法を示す工程断面図である。

【図 22】図 22 は、第 5 実施形態による電子部品の構造を示す概略断面図である。

【図 23】図 23 は、第 6 実施形態による電子機器の構造を示す概略断面図である。

【図 24】図 24 は、第 6 実施形態による電子機器の製造方法を示す工程断面図である。

【図 25】図 25 は、第 7 実施形態による電子機器の構造を示す概略断面図である。

## 【符号の説明】

## 【 0 1 9 1 】

1 0 ...カーボンナノチューブシート

1 2 ...カーボンナノチューブ

1 4 ...充填層

10

20

30

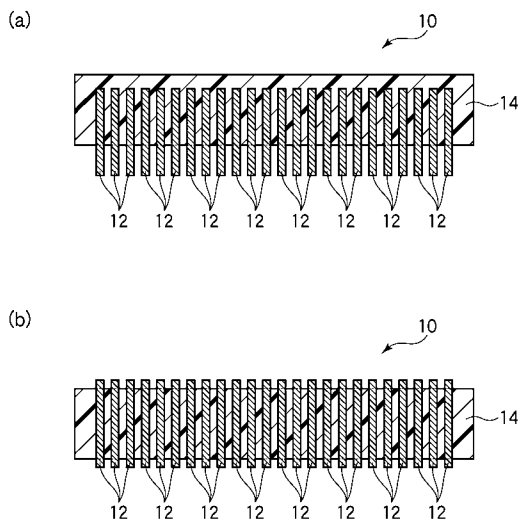
40

50

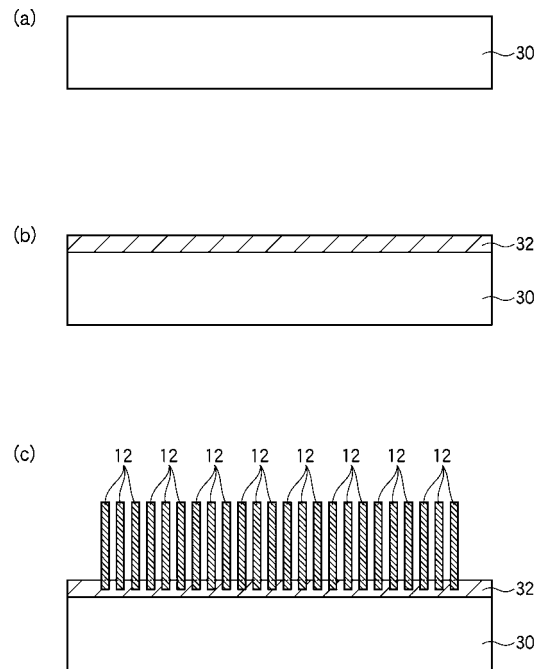


- 1 6 ... 被膜
- 3 0 ... 基板
- 3 2 ... 触媒金属膜
- 3 4 ... 熱可塑性樹脂フィルム
- 5 0 ... 回路基板
- 5 2 ... 突起状電極
- 5 4 ... 半導体素子
- 5 6 ... カーボンナノチューブシート
- 5 8 ... ヒートスプレッド
- 6 0 ... 有機シーラント
- 7 0 ... 高出力増幅器
- 7 2 ... パッケージ
- 7 4 ... ヒートシンク
- 7 6 ... カーボンナノチューブシート

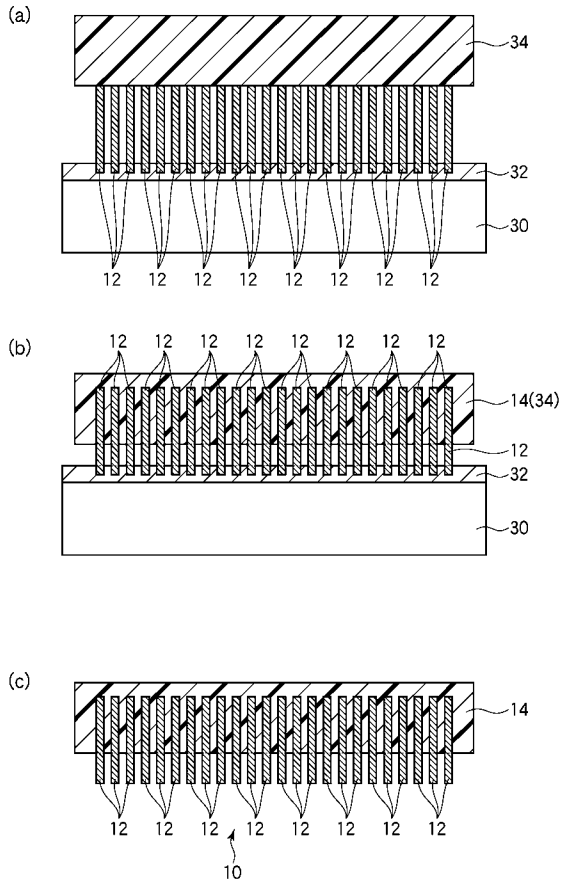
【 図 1 】



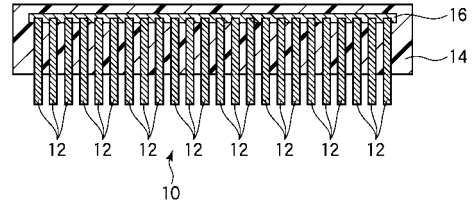
【 図 2 】



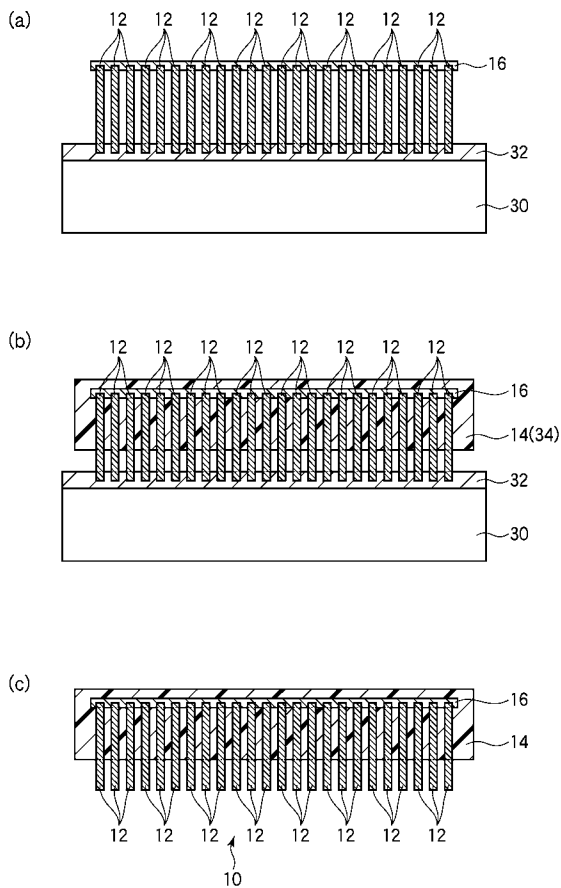
【 図 3 】



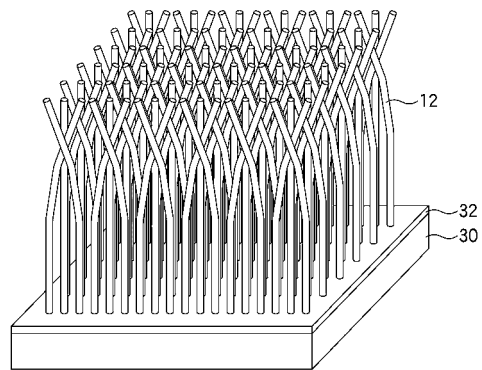
【 図 4 】



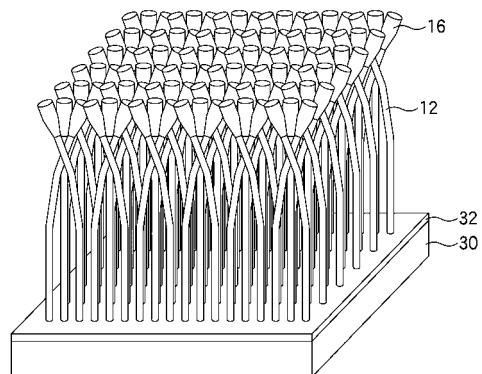
【 図 5 】



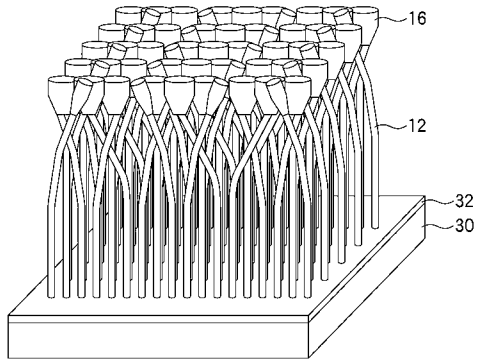
【 図 6 】



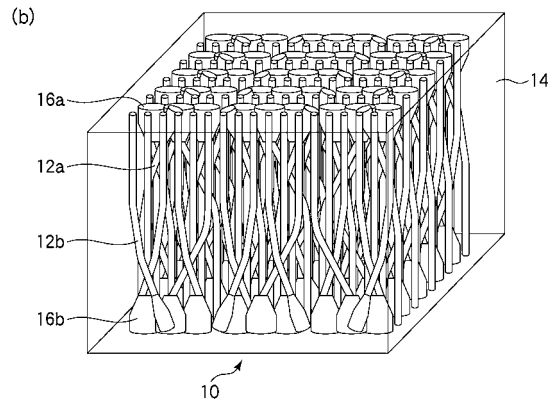
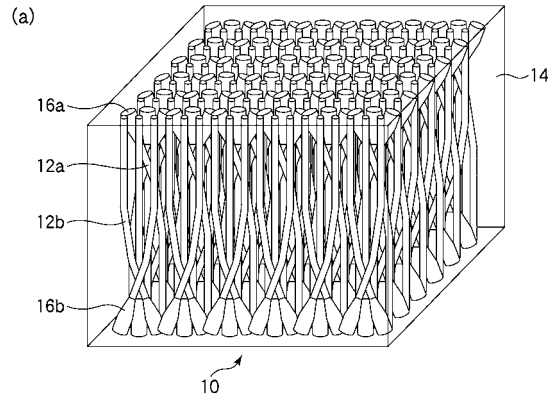
【 図 7 】



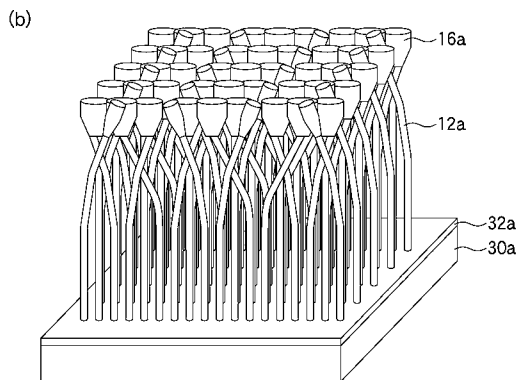
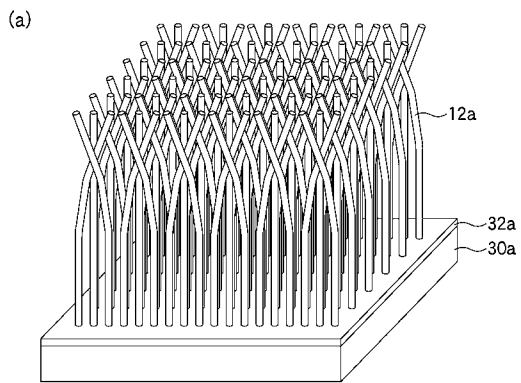
【 図 8 】



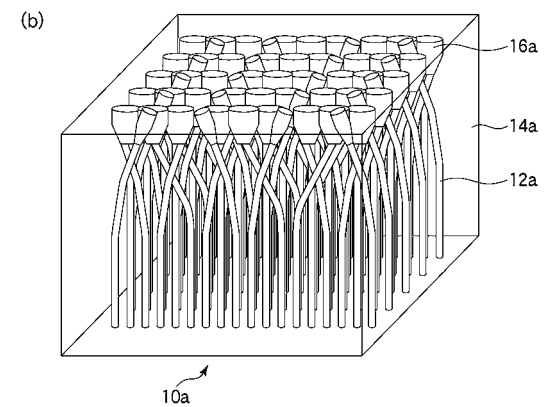
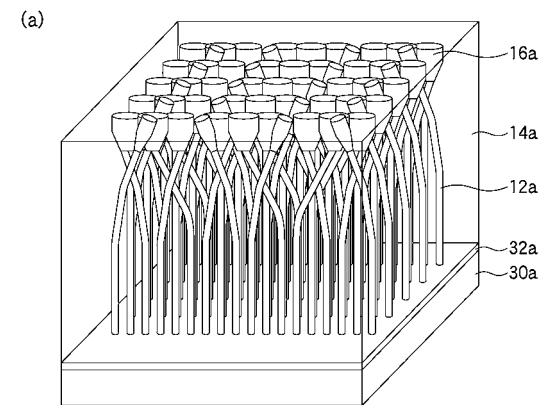
【 図 9 】



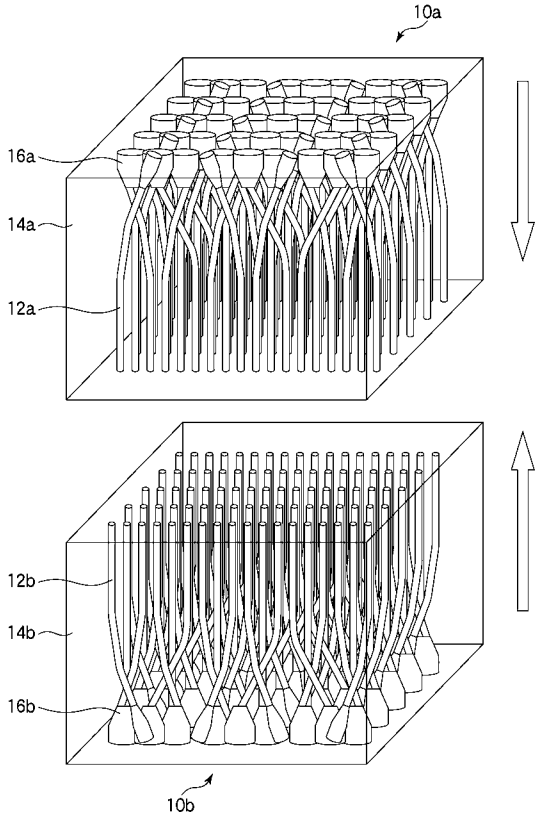
【 図 10 】



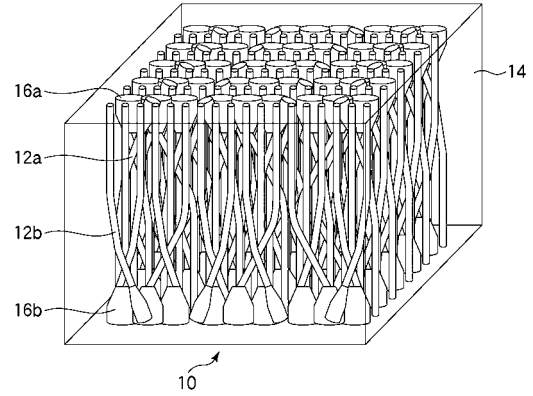
【 図 11 】



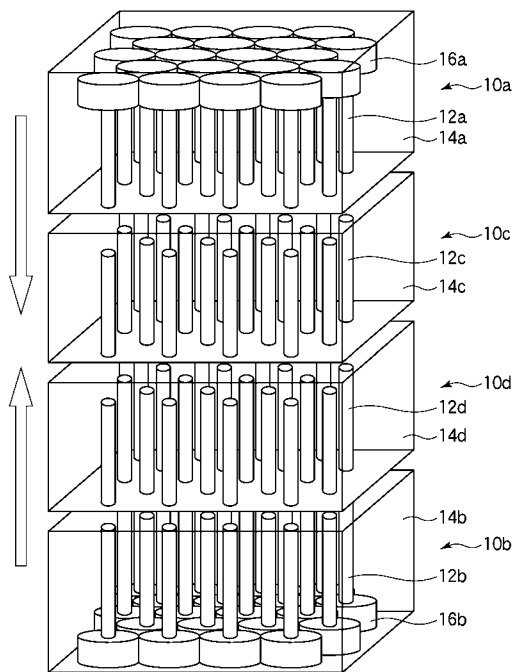
【 図 1 2 】



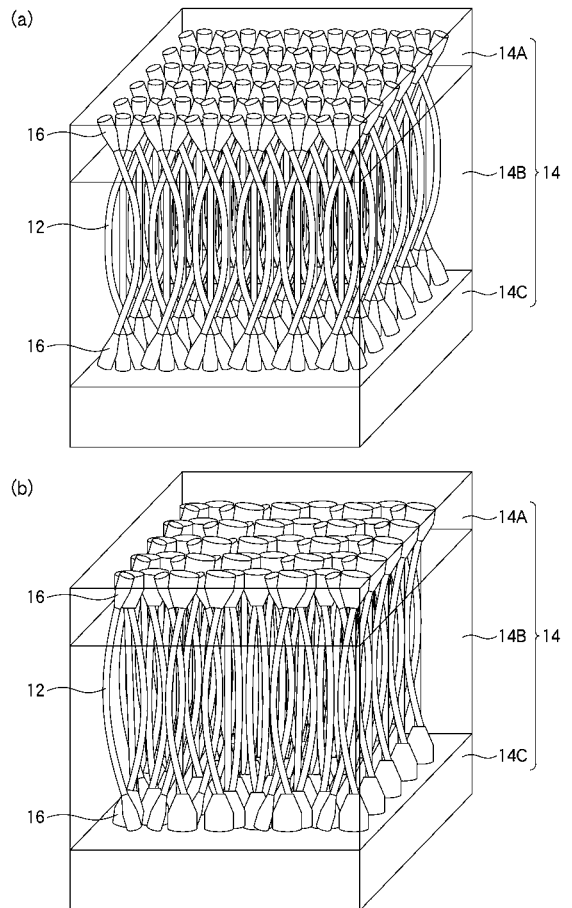
【 図 1 3 】



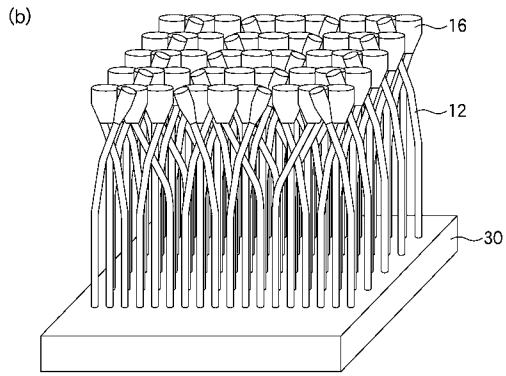
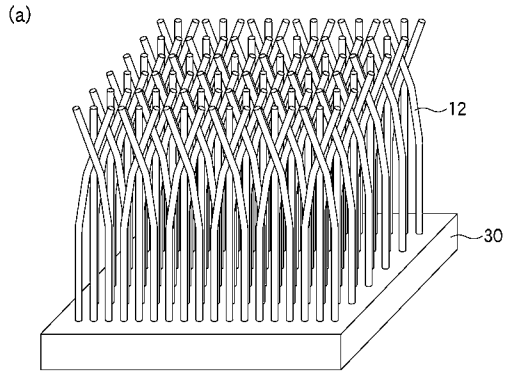
【 図 1 4 】



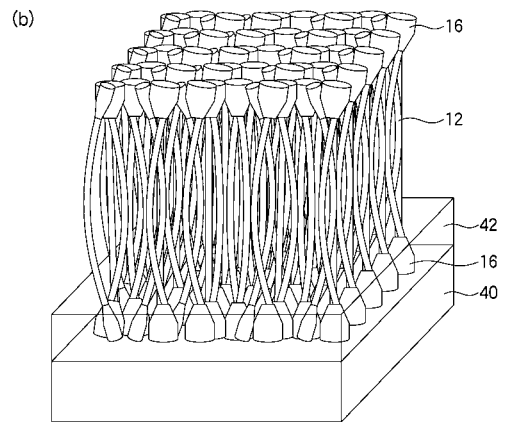
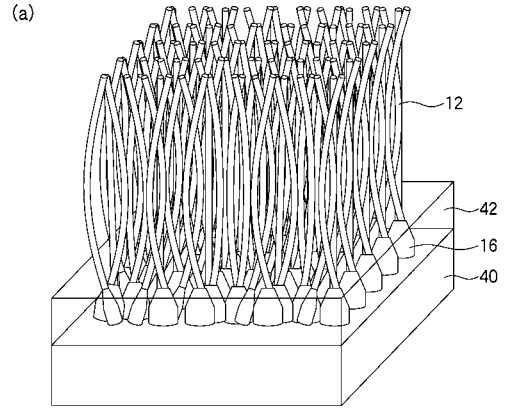
【 図 1 5 】



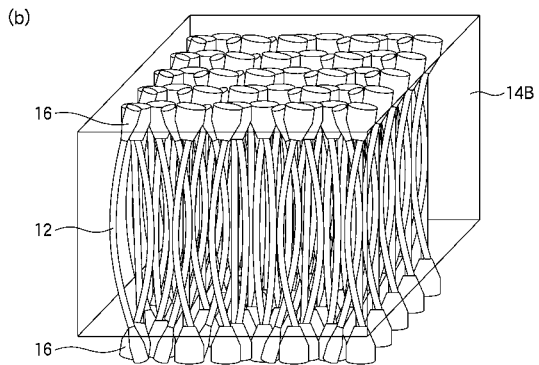
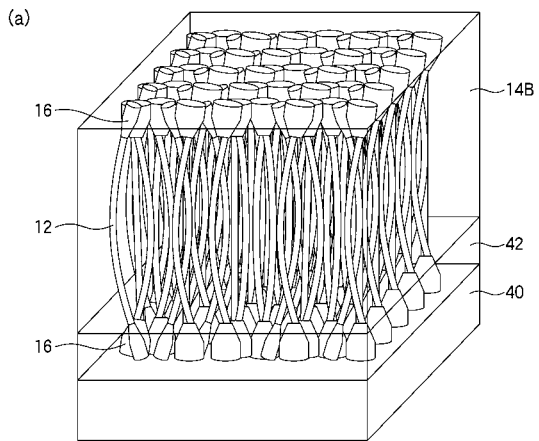
【 図 1 6 】



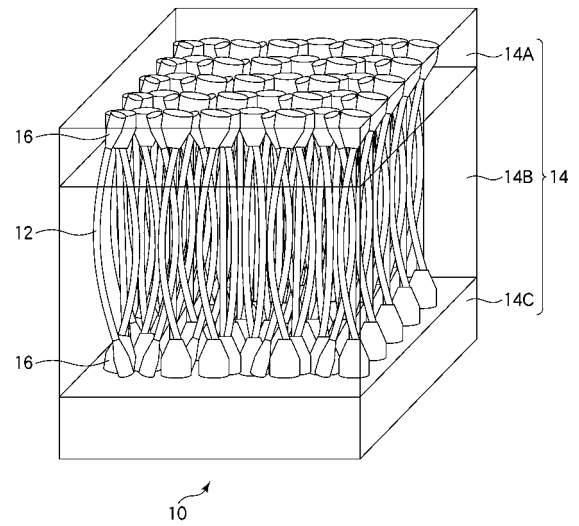
【 図 1 7 】



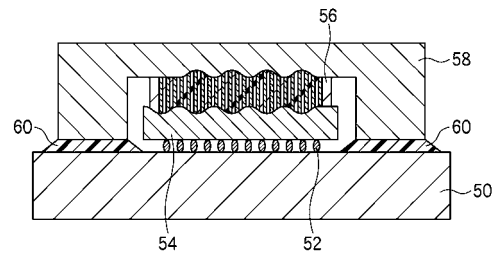
【 図 1 8 】



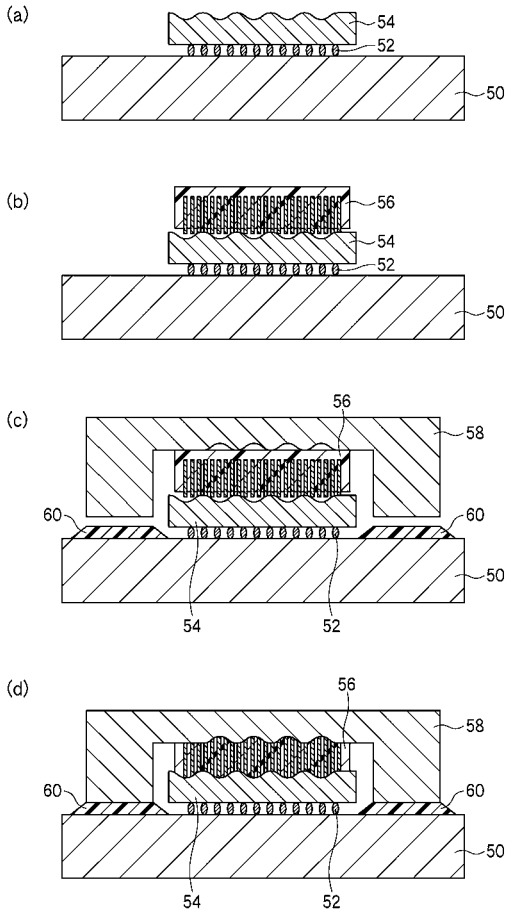
【 図 1 9 】



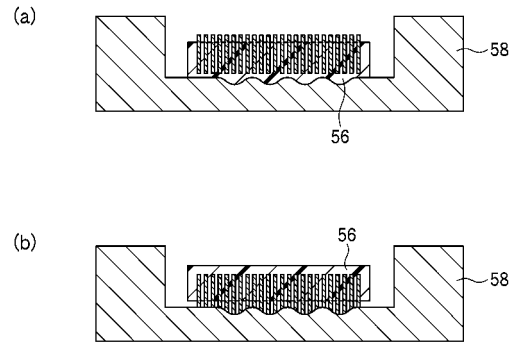
【 図 2 0 】



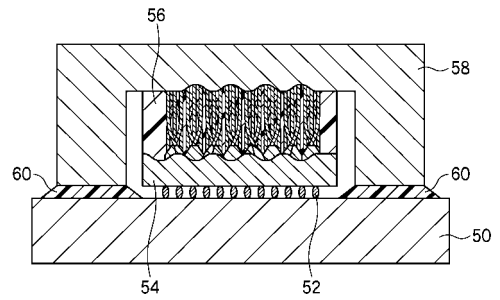
【 図 2 1 】



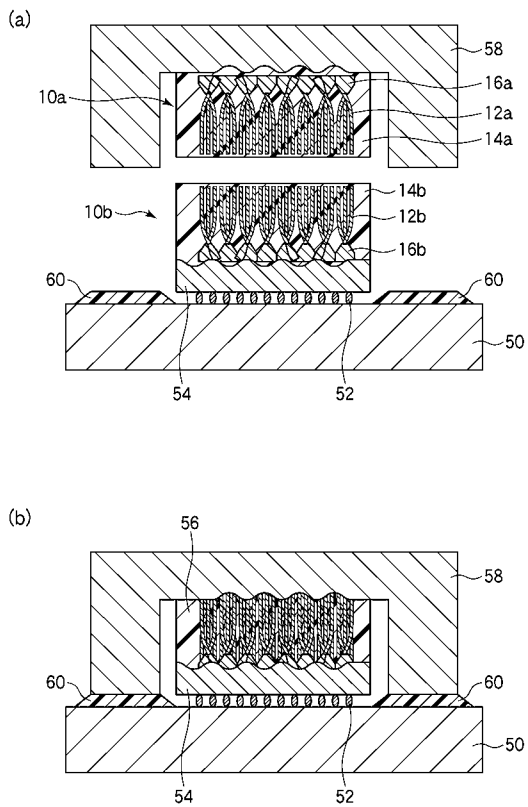
【 図 2 2 】



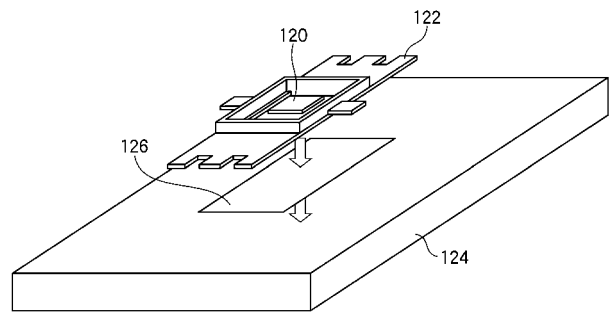
【 図 2 3 】



【 図 2 4 】



【 図 2 5 】



---

フロントページの続き

- (72)発明者 廣瀬 真一  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 近藤 大雄  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 曾我 育生  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 八木下 洋平  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- (72)発明者 崎田 幸恵  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番1号 富士通株式会社内
- Fターム(参考) 5F136 BA30 BB18 BC03 BC07 DA31 FA25