

(19) 日本国特許庁(JP)

## (12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6223903号  
(P6223903)

(45) 発行日 平成29年11月1日(2017.11.1)

(24) 登録日 平成29年10月13日(2017.10.13)

(51) Int.Cl.

F 1

H01L 23/373 (2006.01)

(2006.01)

H01L 23/36

23/36

M

H01L 23/36 (2006.01)

(2006.01)

H01L 23/36

23/36

D

C01B 32/152 (2017.01)

(2017.01)

C01B 32/152

31/02

101F

C01B 32/158 (2017.01)

(2017.01)

請求項の数 13 (全 17 頁)

(21) 出願番号

特願2014-93341 (P2014-93341)

(22) 出願日

平成26年4月30日 (2014.4.30)

(65) 公開番号

特開2015-211180 (P2015-211180A)

(43) 公開日

平成27年11月24日 (2015.11.24)

審査請求日

平成28年12月14日 (2016.12.14)

(73) 特許権者 000190688

新光電気工業株式会社

長野県長野市小島田町80番地

(74) 代理人 100091672

弁理士 岡本 啓三

(72) 発明者 黒澤 卓也

長野県長野市小島田町80番地 新光電気  
工業株式会社内

審査官 豊島 洋介

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】カーボンナノチューブシート及び電子機器とカーボンナノチューブシートの製造方法及び電子機器の製造方法

## (57) 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

一端側に第1くびれ部を備えた複数のカーボンナノチューブと、  
前記複数のカーボンナノチューブの間に充填された樹脂部と  
を有することを特徴とするカーボンナノチューブシート。

## 【請求項 2】

前記第1くびれ部は前記カーボンナノチューブの中央部と一端部との間に配置され、前記第1くびれ部の直径は前記カーボンナノチューブの中央部及び一端部の各直径よりも小さいことを特徴とする請求項1に記載のカーボンナノチューブシート。

## 【請求項 3】

前記カーボンナノチューブは、前記樹脂部の一方の表面側で前記第1くびれ部から横方向に折れ曲がっていることを特徴とする請求項1又は2に記載のカーボンナノチューブシート。

## 【請求項 4】

前記カーボンナノチューブは他端側に第2くびれ部を備えていることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか一項に記載のカーボンナノチューブシート。

## 【請求項 5】

前記カーボンナノチューブは、  
前記樹脂部の一方の表面側で前記第1くびれ部から横方向に折れ曲がっており、かつ、  
前記樹脂部の他方の表面側で前記第2くびれ部から横方向に折れ曲がっていることを特徴

とする請求項 4 に記載のカーボンナノチューブシート。

【請求項 6】

前記カーボンナノチューブはアルミナ膜で被覆されていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか一項に記載のカーボンナノチューブシート。

【請求項 7】

一端側に第 1 くびれ部を備えた複数のカーボンナノチューブと、前記複数のカーボンナノチューブの間に充填された樹脂部とを有し、前記カーボンナノチューブは、前記樹脂部の一方の表面側で前記第 1 くびれ部から横方向に折れ曲がっているカーボンナノチューブシートと。

前記カーボンナノチューブシートの一方の面に配置され、前記複数のカーボンナノチューブの一端側の前記第 1 くびれ部から折れた部分と接触する発熱体と、10

前記カーボンナノチューブシートの他方の面に配置され、前記カーボンナノチューブの他端側に接触する放熱部材と

を有することを特徴とする電子機器。

【請求項 8】

前記第 1 くびれ部は前記カーボンナノチューブの中央部と一端部との間に配置され、前記第 1 くびれ部の直径は前記カーボンナノチューブの中央部及び一端部の各直径よりも小さいことを特徴とする請求項 7 に記載の電子機器。

【請求項 9】

前記カーボンナノチューブは前記他端側に第 2 くびれ部を有し、20

前記カーボンナノチューブは、前記樹脂部の他方の表面側で前記第 2 くびれ部から横方向に折れ曲がっており、

前記放熱部材は、前記カーボンナノチューブの他端側の前記第 2 くびれ部から折れた部分と接触していることを特徴とする請求項 7 又は 8 に記載の電子機器。

【請求項 10】

基板の上に、少なくとも一端側にくびれ部を備えた複数のカーボンナノチューブを形成する工程と、

前記カーボンナノチューブの間に樹脂部を充填する工程と、

前記基板を除去する工程と

を有することを特徴とするカーボンナノチューブシートの製造方法。30

【請求項 11】

基板の上に、少なくとも一端側にくびれ部を備えた複数のカーボンナノチューブを形成する工程と、

前記カーボンナノチューブをアルミナ膜で被覆する工程と、

前記基板を除去する工程と

を有することを特徴とするカーボンナノチューブシートの製造方法。

【請求項 12】

基板の上に、少なくとも一端側にくびれ部を備えた複数のカーボンナノチューブを形成する工程と、

前記複数のカーボンナノチューブの間に樹脂部を充填する工程と、40

前記基板を除去する工程と

により、カーボンナノチューブシートを得る工程と、

発熱体の上に前記カーボンナノチューブシートを配置する工程と、

前記カーボンナノチューブシートの上に放熱部材を配置し、前記放熱部材を下側に押圧して、前記複数のカーボンナノチューブを前記くびれ部から横方向に折り曲げる工程と  
を有することを特徴とする電子機器の製造方法。

【請求項 13】

基板の上に、少なくとも一端側にくびれ部を備えた複数のカーボンナノチューブを形成する工程と、

前記複数のカーボンナノチューブをアルミナ膜で被覆する工程と、50

前記基板を除去工程と  
により、カーボンナノチューブシートを得る工程と、  
発熱体の上に前記カーボンナノチューブシートを配置する工程と、  
前記カーボンナノチューブシートの上に部材を配置し、前記部材を下側に押圧して、前記複数のカーボンナノチューブを前記くびれ部から折り曲げる工程と  
を有することを特徴とする電子機器の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、カーボンナノチューブシート及び電子機器とカーボンナノチューブシートの  
10  
製造方法及び電子機器の製造方法に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、サーバやパーソナルコンピュータでは、半導体素子から発する熱を効率よく放熱するため、半導体素子が熱伝導性シートを介して放熱部材に接続されている。熱伝導性シートとしてインジウムシートなどが使用され、放熱部材は高い熱伝導率を有する銅などから形成される。

【0003】

しかし、熱伝導性シートの材料として使用されるインジウムは、需要増加によって価格が高騰しているため、コスト高を招くおそれがある。また、半導体素子から発する熱を効率よく放熱させるという観点からは、インジウムの熱伝導度は十分に高いとはいえない。  
20

【0004】

このような背景から、熱伝導性シートの材料として、インジウムよりも高い熱伝導度を有し、低コストで形成できるカーボンナノチューブを使用する技術が提案されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2011-204749号公報

【特許文献2】特開2013-107781号公報

【発明の概要】

30

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

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の密度が低く、発熱体及び放熱部材との接触面積が小さいため、高い熱伝導度を有するカーボンナノチューブの本来の特性を活かしきれない課題がある。

【0007】

発熱体及び放熱部材との十分な接触面積をもって結合されるカーボンナノチューブシート及び電子機器とそれらの製造方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0008】

40

以下の開示の一観点によれば、一端側に第1くびれ部を備えた複数のカーボンナノチューブと、前記複数のカーボンナノチューブの間に充填された樹脂部とを有することを特徴とするカーボンナノチューブシートが提供される。

【0009】

また、その開示の他の観点によれば、一端側に第1くびれ部を備えた複数のカーボンナノチューブと、前記複数のカーボンナノチューブの間に充填された樹脂部とを有し、前記カーボンナノチューブは、前記樹脂部の一方の表面側で前記第1くびれ部から横方向に折れ曲がっているカーボンナノチューブシートと、前記カーボンナノチューブシートの一方の面に配置され、前記複数のカーボンナノチューブの一端側の前記第1くびれ部から折れた部分と接触する発熱体と、前記カーボンナノチューブシートの他方の面に配置され、前

50

記カーボンナノチューブの他端側に接触する放熱部材とを有する電子機器が提供される。

【発明の効果】

【0010】

以下の開示によれば、カーボンナノチューブシートでは、複数のカーボンナノチューブシートがくびれ部をそれぞれ備えている。これにより、発熱体の上に配置されたカーボンナノチューブシートを下側に押圧することにより、各カーボンナノチューブをくびれ部から横方向に容易に折り曲げることができる。

【0011】

そして、各カーボンナノチューブのくびれ部から折れた部分を発熱体及び放熱部材と接触させる。

10

【0012】

これにより、カーボンナノチューブと発熱体及び放熱部材との接触面積を増加させることができるので、カーボンナノチューブの高い熱伝導性を十分に引き出すことができ、熱伝導性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】図1(a)及び(b)は予備的事項に係るカーボンナノチューブシートの課題を説明するため断面図である。

【図2】図2(a)～(c)は第1実施形態のカーボンナノチューブシートの製造方法を示す断面図(その1)である。

20

【図3】図3(a)及び(b)は第1実施形態のカーボンナノチューブシートの製造方法を示す断面図(その2)である。

【図4】図4(a)及び(b)は第1実施形態のカーボンナノチューブシートの製造方法を示す断面図(その3)である。

【図5】図5は第1実施形態のカーボンナノチューブシートの製造方法を示す断面図(その4)である。

【図6】図6は第1実施形態のカーボンナノチューブシートを示す断面図である。

【図7】図7は第1実施形態のカーボンナノチューブシートを備えた電子機器の製造方法を示す断面図である。

【図8】図8は第1実施形態のカーボンナノチューブシートを備えた電子機器を示す断面図(その1)である。

30

【図9】図9は第1実施形態のカーボンナノチューブシートを備えた電子機器を示す断面図(その2)である。

【図10】図10は第1実施形態の変形例のカーボンナノチューブシートを示す断面図である。

【図11】図11は第1実施形態の変形例のカーボンナノチューブシートを備えた電子機器の製造方法を示す断面図である。

【図12】図12は第1実施形態の変形例のカーボンナノチューブシートを備えた電子機器を示す断面図である。

【図13】図13(a)～(c)は第1実施形態のカーボンナノチューブシートを半導体装置に適用する方法を示す断面図(その1)である。

40

【図14】図14は第1実施形態のカーボンナノチューブシートを半導体装置に適用する方法を示す断面図(その2)である。

【図15】図15は第1実施形態のカーボンナノチューブシートを備えた半導体装置を示す断面図である。

【図16】図16(a)及び(b)は第2実施形態のカーボンナノチューブシートの製造方法を示す断面図(その1)である。

【図17】図17は第2実施形態のカーボンナノチューブシートの製造方法を示す断面図(その2)である。

【図18】図18(a)及び(b)は第2実施形態のカーボンナノチューブシートを備え

50

た電子機器の製造方法を示す断面図（その1）である。

【図19】図19（a）及び（b）は第2実施形態のカーボンナノチューブシートを備えた電子機器の製造方法を示す断面図（その2）である。

【図20】図20は第2実施形態のカーボンナノチューブシートを備えた電子機器を示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0014】

以下、実施の形態について、添付の図面を参照して説明する。

【0015】

実施形態を説明する前に、基礎となる予備的事項について説明する。図1は予備的事項に係るカーボンナノチューブシートの課題を説明するための図である。 10

【0016】

図1（a）に示すように、カーボンナノチューブ200は、CVD法によって基板100の上に成長される。カーボンナノチューブ200は基端から先端までほぼ同じ直径で形成される。

【0017】

カーボンナノチューブ200の直径は15nm程度と小さいため、基板100上でカーボンナノチューブ200が占有するトータル面積の密度は5%程度しかない。

【0018】

その後に、図1（b）に示すように、カーボンナノチューブ200の集合体に樹脂部300を充填した後に、基板100が剥離されてカーボンナノチューブシート400が得られる。 20

【0019】

そのようなカーボンナノチューブシート400をそのまま半導体装置の熱伝導性シートとして使用すると、半導体素子及び放熱部材との接触面積が小さいため、カーボンナノチューブ200の本来の高い熱伝導性を引き出すことができない課題がある。

【0020】

この対策として、半導体素子の上にカーボンナノチューブシート400を配置し、放熱部材でカーボンナノチューブシート400を下側に押圧して、各カーボンナノチューブ200の両端側を曲げて接触面積を増加させることができると考えられる。 30

【0021】

しかし、各カーボンナノチューブ200を曲げるには、比較的高い圧力でカーボンナノチューブシート400を押圧する必要があるため、半導体素子に過剰な押圧力がかかり、半導体素子が破壊することがある。

【0022】

以下に説明する実施形態では、前述した課題を解消することができる。

【0023】

（第1実施形態）

図2～図5は第1実施形態のカーボンナノチューブシートの製造方法を示す図、図6は第1実施形態のカーボンナノチューブシートを示す図である。 40

【0024】

第1実施形態のカーボンナノチューブシートの製造方法では、図2（a）に示すように、まず、シリコン基板10を用意する。シリコン基板10は、カーボンナノチューブを形成するための土台として使用される。シリコン基板10の両面にシリコン酸化層などの絶縁層が形成されていてもよい。

【0025】

シリコン基板10上には複数のカーボンナノチューブ形成領域が画定されており、図2（a）では一つのカーボンナノチューブ形成領域が示されている。

【0026】

基板としてシリコン基板10を例示するが、セラミックス基板又はガラス基板などの各 50

種の基板を使用することができる。

【0027】

次いで、図2(b)に示すように、シリコン基板10上の全面に、スパッタ法などにより膜厚が2.5nm程度の鉄(Fe)膜を形成して触媒金属膜12とする。触媒金属膜12は、CVD法によってカーボンナノチューブを形成するための触媒として形成される。

【0028】

触媒金属膜12としては、鉄以外に、コバルト(Co)、ニッケル(Ni)、金(Au)、銀(Ag)、又は白金(Pt)を使用してもよい。

【0029】

次いで、図2(c)に示すように、シリコン基板10を650<sup>10</sup>の温度で5分～10分間、加熱処理する。これにより、触媒金属膜12が微粒子化されて触媒金属微粒子12aが得られる。

【0030】

続いて、熱CVD(Chemical Vapor Deposition)法により、カーボンナノチューブを成長させる方法について説明する。本実施形態では、カーボンナノチューブの成長条件として、第1の成長条件及び第2の成長条件を使用する。

【0031】

第1の成長条件は、直径が15nm程度のカーボンナノチューブを成長させる条件である。

【0032】

第1の成長条件は、例えば、原料ガスとして分圧比が1:9のアセチレン・アルゴンガスの混合ガスを20sccmの流量でチャンバに流し、チャンバの総ガス圧が1kPa、温度が650<sup>20</sup>に設定される。

【0033】

一方、第2の成長条件は、直径が10nm程度のカーボンナノチューブを成長させる条件であり、第1の成長条件を使用する場合よりもカーボンナノチューブの直径が小さくなる条件である。

【0034】

第2の成長条件は、第1の成長条件において、アセチレン・アルゴンガスの混合ガスの流量を半分に減らし、10sccmの流量でチャンバに流す。その他の条件は第1の成長条件と同じである。

【0035】

あるいは、第2の成長条件は、第1の成長条件において、温度を650から700に上昇させてもよい。又は、温度を650から600に下降させてもよい。その他の条件は第1の成長条件と同じである。

【0036】

第1の成長条件及び第2の成長条件を使用することにより、カーボンナノチューブの成長過程で直径を変えることができる。

【0037】

具体的に説明すると、図3(a)に示すように、まず、第1の成長条件で、触媒金属微粒子12aを触媒としてシリコン基板10の上に第1カーボンナノチューブ部21を高さが20μm程度になるまで成長させる。このとき、第1カーボンナノチューブ部21はその直径が15nm程度で成長する。

【0038】

図3(a)の部分拡大図に示すように、触媒金属微粒子12aに成長する各々の第1カーボンナノチューブ部21は、シリコン基板10の表面に対して垂直方向に配向して形成される。

【0039】

続いて、同じく図3(a)に示すように、第2の成長条件に変更し、連続して第1カーボンナノチューブ部21にカーボンナノチューブを成長させる。このとき、カーボンナノ

10

20

30

40

50

チューブはその直径が 10 nm 程度と小さくなつて成長し、第 1 カーボンナノチューブ部 21 に繋がる第 1 くびれ部 A となる。第 1 くびれ部 A の高さは 2 μm ~ 5 μm、例えば 3.5 μm に設定される。

【0040】

さらに、図 3 (b) に示すように、第 1 の成長条件に戻し、第 1 くびれ部 A に繋がる第 2 カーボンナノチューブ部 22 を成長させる。第 2 カーボンナノチューブ部 22 の第 1 くびれ部 A からの高さは 150 μm 程度に設定される。

【0041】

続いて、図 4 (a) に示すように、再度、第 2 の成長条件に変更し、連続して第 2 カーボンナノチューブ部 22 に繋がるカーボンナノチューブを成長させる。このとき同様に、カーボンナノチューブはその直径が 10 nm 程度と小さくなつて成長し、第 2 カーボンナノチューブ部 22 に繋がる第 2 くびれ部 B となる。

10

【0042】

さらに、同じく図 4 (a) に示すように、再度、第 1 の成長条件に戻し、第 2 くびれ部 B に繋がる第 3 カーボンナノチューブ部 23 を成長させる。第 3 カーボンナノチューブ部 23 は、第 1 カーボンナノチューブ部 21 と同様に、その高さは 20 μm 程度であり、直径は 15 nm に設定される。

【0043】

このようにして、第 1 カーボンナノチューブ部 21 と第 2 カーボンナノチューブ部 22 とが第 1 くびれ部 A で繋がり、第 2 カーボンナノチューブ部 22 と第 3 カーボンナノチューブ部 23 とが第 2 くびれ部 B で繋がるカーボンナノチューブ 20a が形成される。

20

【0044】

これにより、シリコン基板 10 の上に、複数のカーボンナノチューブ 20a が横方向に並んで配列されたカーボンナノチューブ集合体 20 が得られる。各カーボンナノチューブ 20a は、基端側に第 1 くびれ部 A を備え、先端側に第 2 くびれ部 B を備える。

【0045】

後述するように、カーボンナノチューブ集合体 20 は熱伝導性シートとして使用され、発熱体と放熱部材との間に配置される。このとき、各カーボンナノチューブ 20a は、第 1 くびれ部 A 及び第 2 くびれ部 B から横方向に折り曲げられ、第 1、第 3 カーボンナノチューブ部 21, 23 が横方向に延在して発熱体及び放熱部材に接触する。

30

【0046】

これにより、カーボンナノチューブ集合体 20 と、発熱体及び放熱部材との接触面積を大きくすることができる。

【0047】

次いで、図 4 (b) に示すように、熱可塑性樹脂シート 30a をカーボンナノチューブ集合体 20 の上に配置し、押圧部材 (不図示) で熱可塑性樹脂シート 30a を下側に押圧しながら、200 度程度の温度で加熱処理を行う。

【0048】

これにより、熱可塑性樹脂シート 30a を軟化させ、カーボンナノチューブ集合体 20 の隙間に樹脂を流し込んで含侵させる。

40

【0049】

このようにして、図 5 に示すように、カーボンナノチューブ集合体 20 の隙間に樹脂部 30 が充填される。これにより、カーボンナノチューブ集合体 20 は、樹脂部 30 によってシート状に一体化される。

【0050】

あるいは、液状の熱可塑性樹脂をディスペンサなどで塗布して樹脂部 30 を形成してもよい。

【0051】

続いて、樹脂部 30 によってシート状に一体化されたカーボンナノチューブ集合体 20 をシリコン基板 10 から引き剥がす。その後に、シート状のカーボンナノチューブ集合体

50

20を個々のカーボンナノチューブ形成領域が得られるように切断する。

【0052】

以上により、図6に示すように、実施形態のカーボンナノチューブシート1が製造される。カーボンナノチューブシート1は、カーボンナノチューブ集合体20を樹脂部30で一体化して一枚のシート状にしているため、良好なハンドリング性を有する。

【0053】

次に、カーボンナノチューブシート1を熱伝導性シートとして使用する方法について説明する。図7に示すように、半導体素子などの発熱体40の上に上記した図6のカーボンナノチューブシート1を配置する。さらに、カーボンナノチューブシート1の上に放熱部材50を配置し、放熱部材50を下側に押圧しながら、250程度の温度で加熱処理を行う。

10

【0054】

これにより、図8に示すように、カーボンナノチューブシート1の熱可塑性の樹脂部30が溶融しながら、各カーボンナノチューブ20aがその第1くびれ部A及び第2くびれ部Bから横方向に折れ曲がる。その結果、下端側の第1カーボンナノチューブ部21及び上端側の第3カーボンナノチューブ部23が横方向に配置される。

【0055】

これにより、各カーボンナノチューブ20aの下端側の第1くびれ部Aから折れた第1カーボンナノチューブ部21が発熱体40に接触する。第1カーボンナノチューブ部21の長さは20μm程度であり、その全体が発熱体40に接触する。

20

【0056】

また同様に、各カーボンナノチューブ20aの上端側の第2くびれ部Bから折れた第3カーボンナノチューブ部23が放熱部材50に接触する。第3カーボンナノチューブ部23においても、その長さは20μm程度であり、その全体が放熱部材50に接触する。

【0057】

以上により、図8に示すように、図6のカーボンナノチューブシート1を備えた電子機器2が製造される。

【0058】

予備的事項で説明したように、本実施形態と違って、カーボンナノチューブを折り曲げない場合は、発熱体及び放熱部材の各面上でカーボンナノチューブ集合体が占有するトータルの面積の密度は5%程度である。

30

【0059】

これに対して、本実施形態の電子機器2では、各カーボンナノチューブ20aの両端側を折り曲げて発熱体40及び放熱部材50に接触させている。このため、発熱体40及び放熱部材50の各面上でカーボンナノチューブ集合体20が占有するトータルの面積の密度を40~60%程度に増加させることができる。

【0060】

これにより、カーボンナノチューブシート1と発熱体40及び放熱部材50との熱伝導経路の熱抵抗が小さくなる。よって、発熱体40から発する熱を、カーボンナノチューブシート1を介して放熱部材50側に十分に伝導して放熱することができる。

40

【0061】

このように、カーボンナノチューブ集合体20と発熱体40及び放熱部材50との接触面積を増加させることができるので、カーボンナノチューブシート1の本来の特性を引き出すことができ、熱伝導性を向上させることができる。

【0062】

また、本実施形態と違って、カーボンナノチューブにくびれ部を形成しないで、カーボンナノチューブを折り曲げる場合は、1MPa程度の高い圧力でカーボンナノチューブシートを押圧する必要がある。発熱体が半導体素子の場合、半導体素子に過剰な押圧力がかかると、半導体素子が破壊することがある。

【0063】

50

しかし、本実施形態では、カーボンナノチューブ 20a の両端側に第 1 くびれ部 A 及び第 2 くびれ部 B を形成し、それらを基点としてカーボンナノチューブ 20a を折り曲げている。

【0064】

このため、0.5 MPa 程度の低い圧力でカーボンナノチューブシート 1 を押圧することにより、各カーボンナノチューブ 20a を容易に折り曲げることができる。従って、発熱体 40 が半導体素子の場合であっても、半導体素子が破壊するおそれがなくなる。

【0065】

図 8 では、全てのカーボンナノチューブ 20a が同じ方向に折れ曲がっている。

【0066】

あるいは、図 9 に示すように、多数のカーボンナノチューブ 20a の中で、屈曲方向が逆の方向になっていてもよい。

【0067】

さらには、多数のカーボンナノチューブ 20a がランダムな方向に折れ曲がる場合もある。

【0068】

このように、カーボンナノチューブ 20a の成長条件、第 1、第 2 くびれ部 A、B の直径や長さ、及び押圧条件などによって、カーボンナノチューブ 20a の屈曲方向は様々な様となる。

【0069】

本実施形態では、好適な様として、各カーボンナノチューブ 20a の両端側に第 1、第 2 くびれ部 A、B をそれぞれ形成し、両端側においてカーボンナノチューブ 20a を折り曲げている。これ以外に、各カーボンナノチューブ 20a の一端側（下端側）及び他端側（上端側）のうちの少なくとも一端側にくびれ部が形成されればよい。

【0070】

図 10 の変形例のカーボンナノチューブシート 1a では、各カーボンナノチューブ 20a の一端側のみにくびれ部 A が形成されており、他端側にはくびれ部が形成されていない。また同様に、カーボンナノチューブ集合体 20 の隙間に樹脂部 30 が充填されている。

【0071】

そして、図 11 に示すように、発熱体 40 の上に図 10 の変形例のカーボンナノチューブシート 1a を配置する。さらに、カーボンナノチューブシート 1a の上に放熱部材 50 を配置し、放熱部材 50 を下側に押圧しながら、加熱処理を行う。

【0072】

これにより、図 12 に示すように、各カーボンナノチューブ 20a の第 1 カーボンナノチューブ部 21 が一端側のくびれ部 A で横方向に折れ曲がる。その結果、横方向に折り曲がって配置された第 1 カーボンナノチューブ部 21 が発熱体 40 に接触する。

【0073】

一方、各カーボンナノチューブ 20a の上端側では、くびれ部が形成されていないため、第 2 カーボンナノチューブ部 22 は折れ曲がらず、各カーボンナノチューブ 20a の先端面が放熱部材 50 に接触する。

【0074】

あるいは、図 10 とは逆に、各カーボンナノチューブ 20a の他端側（上端側）のみにくびれ部を形成し、一端側（下端側）にくびれ部を形成しない形態としてもよい。この形態では、カーボンナノチューブの上端側では、折れ曲がって横方向に配置されたカーボンナノチューブ部が放熱部材に接触する。また、カーボンナノチューブの一端側では、カーボンナノチューブの先端面が発熱体に接触する。

【0075】

このように、各カーボンナノチューブ 20a の一端側（下端側）及び他端側（上端側）のうち少なくともいずれかにくびれ部を形成して折り曲げてもよい。発熱体及び放熱部材のうちのいずれかとの接触面積を増加させることができるので、折り曲げない場合よりも

10

20

30

40

50

熱伝導性を向上させることができる。

【0076】

本実施形態のカーボンナノチューブシート1、1aは各種の発熱体から発する熱を放熱部材に放熱する熱伝導性シートとして使用することができる。

【0077】

発熱体40としては、半導体素子の他に、LED (Light Emitting Diode)、自動車などのモーター、太陽光パネルシステムなどで使用される直流を交流に変換するインバータ装置などがある。

【0078】

次に、本実施形態の図6のカーボンナノチューブシート1を半導体装置に適用する例について説明する。半導体装置は電子機器の一例である。 10

【0079】

図13(a)に示すように、まず、配線基板60を用意する。配線基板60は、上面側に銅などからなる接続パッドPを備え、下面側にはんだなどからなる外部接続端子Tを備えている。接続パッドPは、配線基板60の内部に形成された多層配線(不図示)を介して外部接続端子Tに電気的に接続されている。

【0080】

さらに、図13(b)に示すように、下面側にバンプ電極72を備えた半導体素子70(LSIチップ)を用意する。そして、半導体素子70のバンプ電極72をはんだ(不図示)を介して配線基板60の接続パッドPにフリップチップ接続する。半導体素子70としては、動作時に発熱量が大きなCPUチップなどが使用される。 20

【0081】

その後に、半導体素子70と配線基板60との隙間にアンダーフィル樹脂74が充填される。

【0082】

次いで、図13(c)に示すように、前述した図6の折り曲げる前の状態のカーボンナノチューブシート1を半導体素子70の背面に配置する。

【0083】

さらに、図14に示すように、放熱部材としてヒートスプレッダ80を用意する。ヒートスプレッダ80は、平板部82と、その周縁から下側に突き出る環状の突出部84とを備えており、下面側の中央部に凹部Cが設けられている。ヒートスプレッダ80の一例としては、無酸素銅部材の外面にニッケルめっきを施したものが使用される。 30

【0084】

そして、ヒートスプレッダ80の突出部84を熱硬化性の接着剤86を介して配線基板60の周縁部に配置する。

【0085】

さらに、押圧部材(不図示)でヒートスプレッダ80を下側に押圧しながら、250程度の温度で加熱処理を行う。

【0086】

これにより、図15に示すように、前述した図7及び図8と同様に、各カーボンナノチューブ20aがその第1くびれ部A及び第2くびれBから横方向に折れ曲がる。その結果、各カーボンナノチューブ20aの下端側の第1カーボンナノチューブ部21が横方向に配置されて半導体素子70の背面に接触する。 40

【0087】

また同様に、各カーボンナノチューブ20aの上端側の第3カーボンナノチューブ部23が横方向に配置されてヒートスプレッダ80の凹部Cの底面に接触する。

【0088】

ヒートスプレッダ80の凹部Cの底面と半導体素子70の背面との間に折れ曲がった複数のカーボンナノチューブ20aが収容されるように、ヒートスプレッダ80の凹部Cの深さが調節されている。 50

## 【0089】

以上により、実施形態の半導体装置3が得られる。

## 【0090】

また、図15の半導体装置3のヒートスプレッダ80の上に熱伝導材を介してヒートシンクがさらに設けられてもよい。ヒートシンクは平板部とその上に突き出る多数の放熱フィンとから形成される。熱伝導材として、前述した図6のカーボンナノチューブシート1を使用してもよい。

## 【0091】

さらには、図15の半導体装置3のヒートスプレッダ80の上に熱伝導材を介してヒートパイプがさらに設けられてもよい。ヒートパイプでは、密閉したパイプ内に封入された作動液体の蒸発・凝縮の相変化で熱を輸送して放熱する。  
10

## 【0092】

この場合も、熱伝導材として、前述した図6のカーボンナノチューブシート1を使用してもよい。

## 【0093】

(第2実施形態)

前述した第1実施形態では、カーボンナノチューブ集合体20に樹脂部30を充填してシート状に一体化している。

## 【0094】

第2実施形態では、カーボンナノチューブ集合体にアルミナ膜を被覆することにより、シート状に一体化する。  
20

## 【0095】

第2実施形態のカーボンナノチューブシートの製造方法では、図16(a)に示すように、前述した図2(a)~図4(a)の工程を遂行することにより、図4(a)と同様なカーボンナノチューブ集合体20をシリコン基板10の上に形成する。

## 【0096】

その後に、図16(a)及び(b)に示すように、ALD(Atomic Layer Deposition)法により、各カーボンナノチューブ20aの表面を原子層レベルの超薄膜のアルミナ膜( $\text{Al}_2\text{O}_3$ 膜)24で被覆する。

## 【0097】

図16(a)では、複数のカーボンナノチューブ20aは分離されて描かれているが、実際には、図16(b)の模式図に示すように、複数のカーボンナノチューブ20aはお互いに絡み合うようにして一部が接触した状態で形成される。  
30

## 【0098】

このため、各カーボンナノチューブ20aを超薄膜のアルミナ膜24で被覆して、カーボンナノチューブ20a同士をアルミナ膜24で連結することにより、一体化されたカーボンナノチューブシート1bを得ることができる。以下の工程は、図16(a)を使用して説明する。

## 【0099】

次いで、図17に示すように、アルミナ膜24で一体化されたカーボンナノチューブシート1bをシリコン基板10から引き剥がす。このとき、カーボンナノチューブシート1bはアルミナ膜24で一体化されているため、ばらばらになることなく、シート状に扱うことができる。  
40

## 【0100】

続いて、図18(a)に示すように、図17のカーボンナノチューブシート1bを発熱体40の上に配置する。さらに、図18(b)に示すように、カーボンナノチューブシート1bの上に押圧部材52を配置し、押圧部材52を下側に押圧する。この時点では、カーボンナノチューブシート1bに樹脂部が充填されていないため、加熱処理を行う必要はない。

## 【0101】

これにより、前述した図8と同様に、各カーボンナノチューブ20aが第1くびれ部A及び第2くびれBから横方向に折れ曲がる。その結果、各カーボンナノチューブ20aの下端側の第1くびれ部Aから折れた第1カーボンナノチューブ部21が横方向に配置されて発熱体40に接触する。

【0102】

また同様に、各カーボンナノチューブ20aの上端側の第2くびれ部Bから折れた第3カーボンナノチューブ部23が横方向に配置されて押圧部材52に接触する。

【0103】

第2実施形態では、カーボンナノチューブシート1bを折り曲げる際に、樹脂部が充填されていないため、第1実施形態よりも低い圧力で各カーボンナノチューブを折り曲げることができる。従って、発熱体40として半導体素子を使用する場合に、第1実施形態よりも半導体素子へのダメージを低減することができる。10

【0104】

次いで、図19(a)に示すように、押圧部材52をカーボンナノチューブシート1bから取り外す。このとき、各カーボンナノチューブ20aの上端側の第3カーボンナノチューブ部23は、横方向に折れ曲がった状態のままで維持される。

【0105】

次いで、図19(b)に示すように、前述した図4(b)及び図5と同様な方法により、カーボンナノチューブシート1b内の隙間に熱可塑の樹脂部30を充填する。

【0106】

続いて、図20に示すように、カーボンナノチューブシート1bの上に放熱部材50を配置し、放熱部材50を下側に押圧しながら、250程度の温度で加熱処理を行う。20

【0107】

このとき、各カーボンナノチューブ20aの上端面に薄皮状の樹脂部30が残っている場合は、樹脂部30が再溶融して外側に排出される。これにより、各カーボンナノチューブ20aの上端側の折り曲げられた第3カーボンナノチューブ部23が放熱部材50に接触する。

【0108】

なお、前述した図18(b)の工程で、押圧部材52でカーボンナノチューブシート1bを押圧しているが、放熱部材50で押圧してもよく、押圧できる各種の部材を使用することができる。30

【0109】

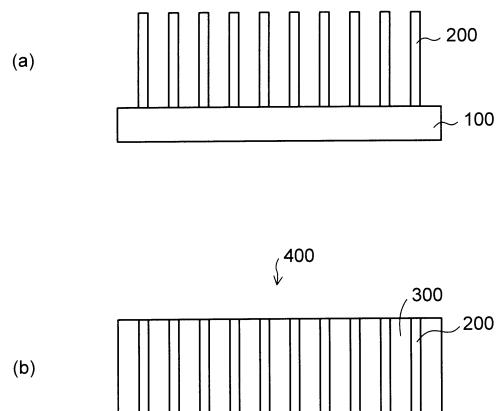
以上により、図20に示すように、第2実施形態のカーボンナノチューブシート1bを備えた電子機器2aが製造される。図20の電子機器2aは、前述した第1実施形態の図8の電子機器2と実質的に同一構造あり、同様な効果を奏する。

【符号の説明】

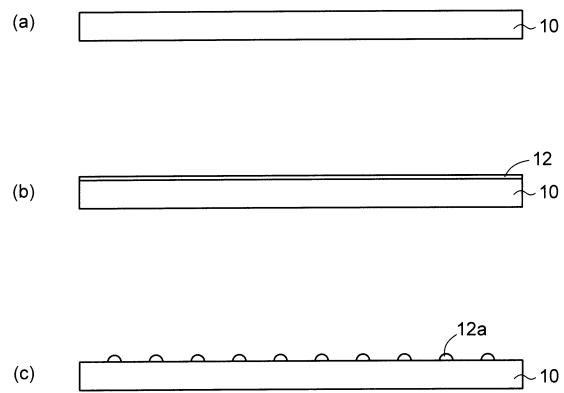
【0110】

1, 1a, 1b…カーボンナノチューブシート、2, 2a…電子機器、3…半導体装置、10…シリコン基板、12…触媒金属膜、12a…触媒金属微粒子、20, 20x…カーボンナノチューブ集合体、20a…カーボンナノチューブ、21…第1カーボンナノチューブ部、22…第2カーボンナノチューブ部、23…第3カーボンナノチューブ部、24…アルミナ膜、30a…熱可塑性樹脂シート、30…樹脂部、40…発熱体、50…放熱部材、52…押圧部材、60…配線基板、70…半導体素子、72…バンプ電極、74…アンダーフィル樹脂、80…ヒートスプレッダ、82…平板部、84…突出部、86…接着剤、A…第1くびれ部、B…第2くびれ部、C…凹部、P…接続パッド、T…外部接続端子。40

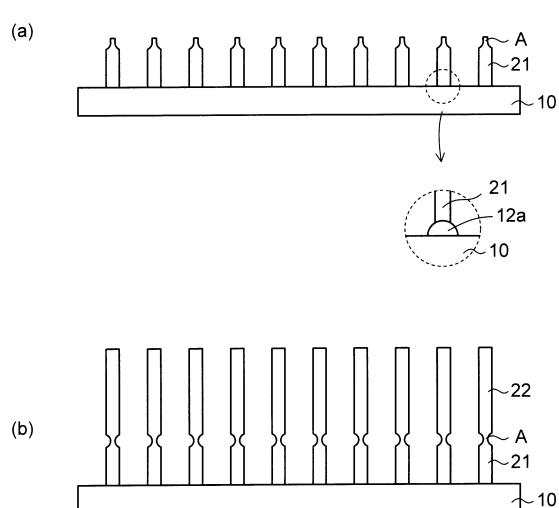
【図1】



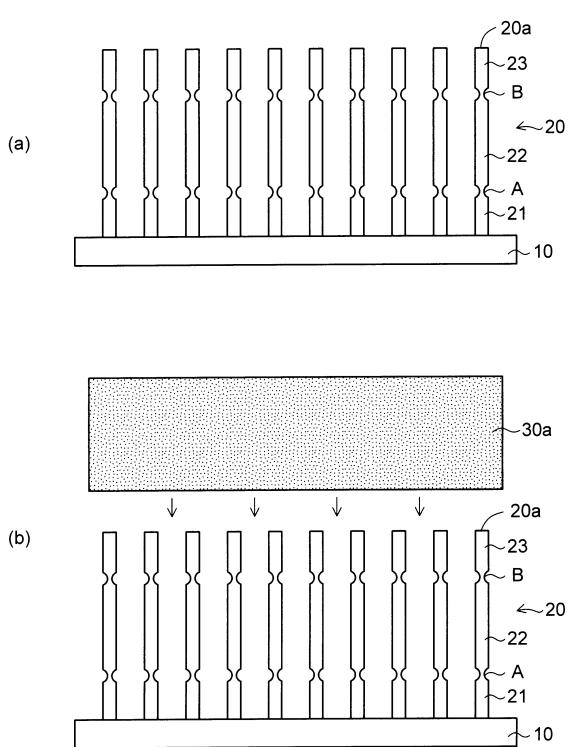
【図2】



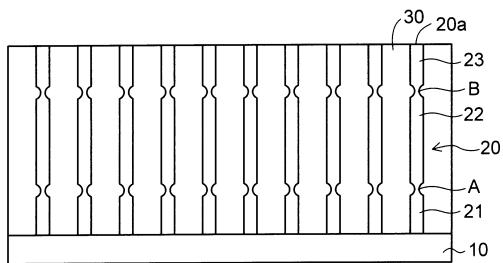
【図3】



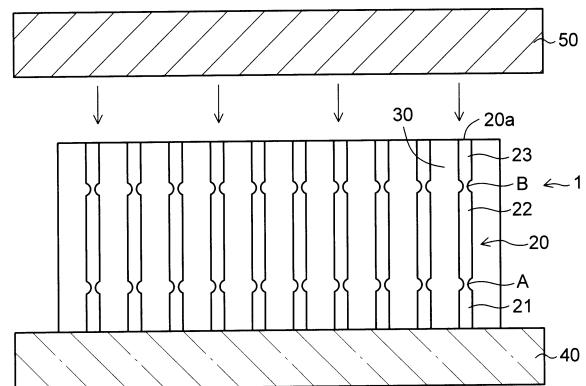
【図4】



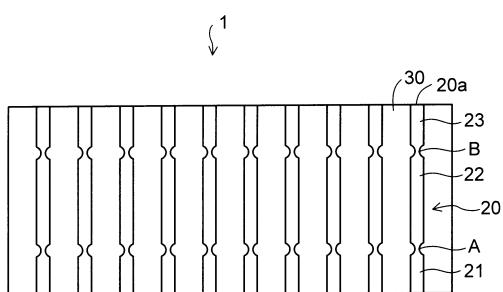
【図5】



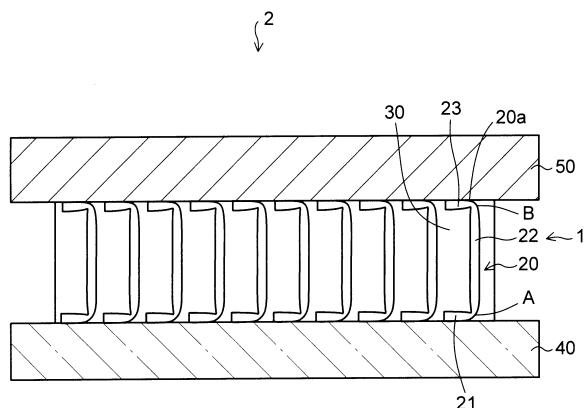
【図7】



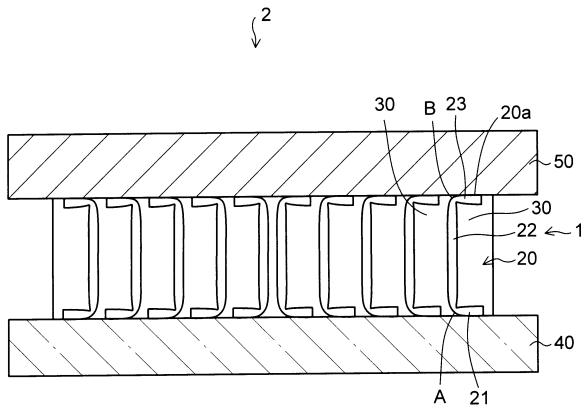
【図6】



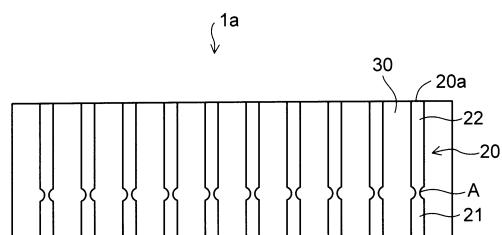
【図8】



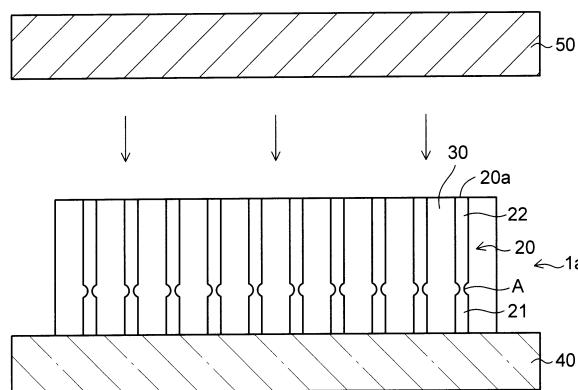
【図9】



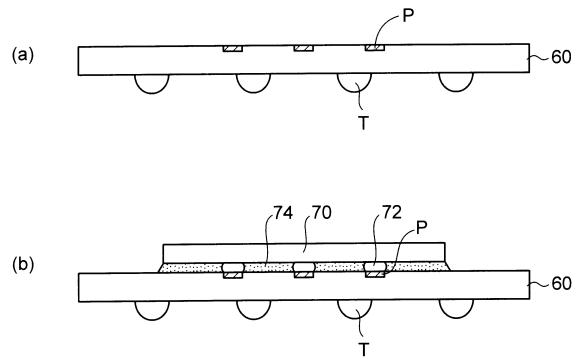
【図10】



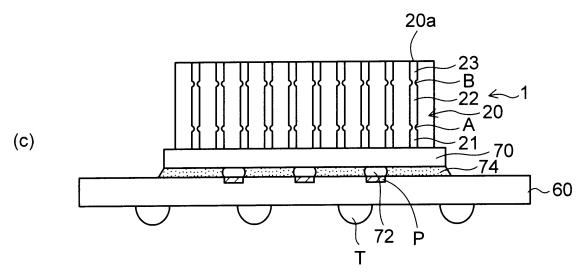
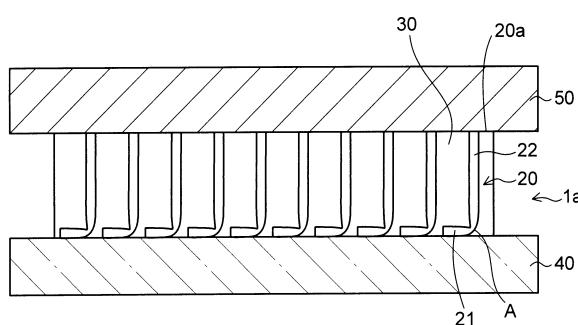
【図11】



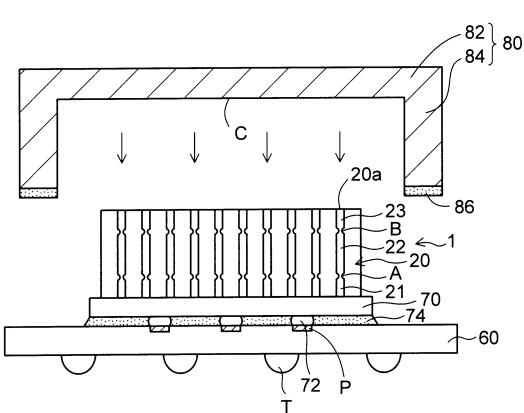
【図13】



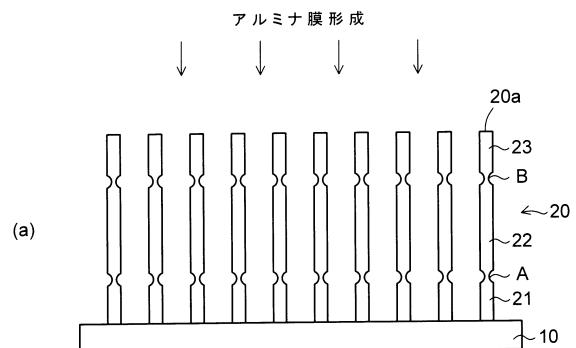
【図12】



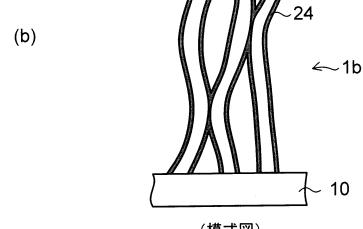
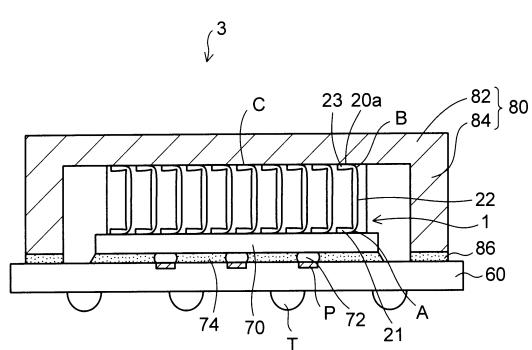
【図14】



【図16】

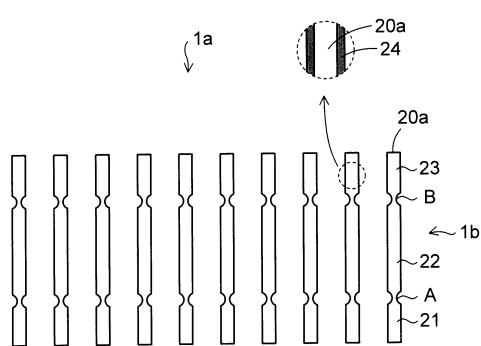


【図15】

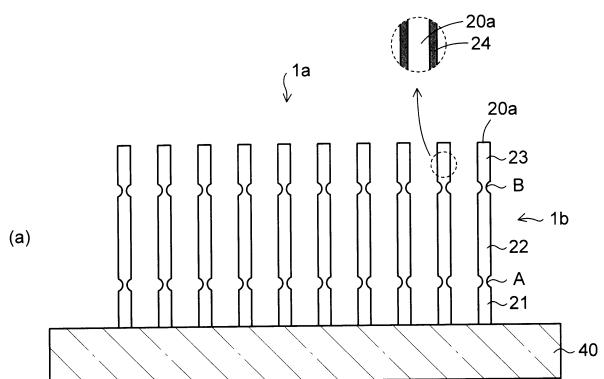


(模式図)

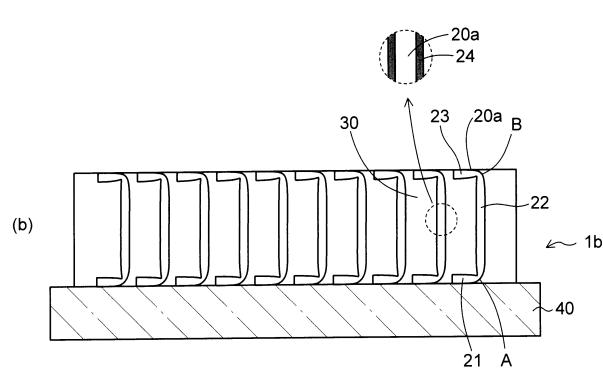
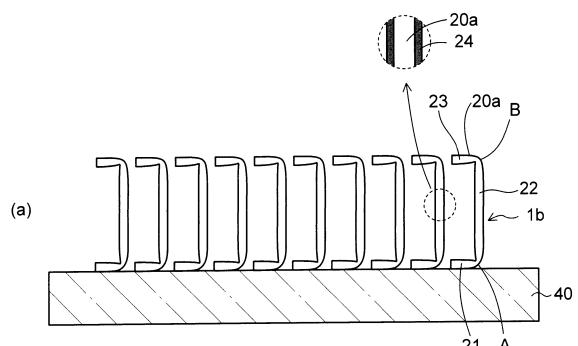
【図17】



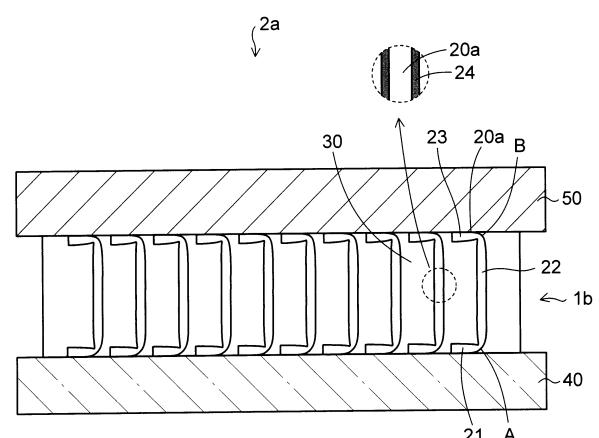
【図18】



【図19】



【図20】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 特開2005-238708(JP,A)  
特開2011-204749(JP,A)  
特開2009-155127(JP,A)  
特開2012-199335(JP,A)  
特開2009-260238(JP,A)  
特開2006-290736(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

C 01 B	31/00 - 31/36
H 01 L	23/29
H 01 L	23/34 - 23/36
H 01 L	23/373 - 23/427
H 01 L	23/44
H 01 L	23/467 - 23/473
H 05 K	7/20