



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104081518 A

(43) 申请公布日 2014. 10. 01

(21) 申请号 201380007369. 9

(51) Int. Cl.

(22) 申请日 2013. 01. 08

H01L 23/373(2006. 01)

(30) 优先权数据

H01L 23/427(2006. 01)

1250240 2012. 01. 10 FR

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2014. 07. 30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/EP2013/050217 2013. 01. 08

(87) PCT国际申请的公布数据

W02013/104620 FR 2013. 07. 18

(71) 申请人 原子能和替代能源委员会

地址 法国巴黎

(72) 发明人 杰罗姆·加文莱特 让·第戎

(74) 专利代理机构 北京派特恩知识产权代理有

限公司 11270

代理人 王艳波 张颖玲

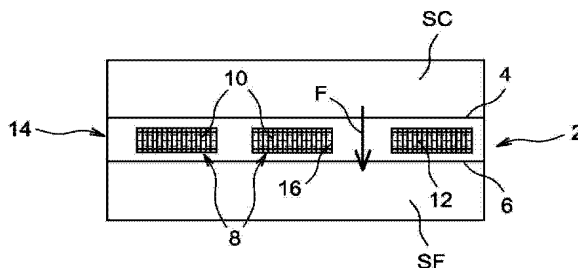
权利要求书2页 说明书8页 附图8页

## (54) 发明名称

无源热管理装置

## (57) 摘要

本发明提供一种包括热管理装置,包括用于与热源(SC)接触的第一面(4)和与第一面相对的用于与冷源(SF)接触第二面(6),填充有固/液相变材料(10)的至少一个单元网状结构(8)被安置在第一面(4)和第二面(6)之间的凹处中,其中,单元包括由碳纳米管形成的壁,其中,所述碳纳米管大致从第一面(4)延伸到第二面(6),从而将第一面(2)热连接到第二面(4)。



1. 一种热管理装置,包括用于与热源 (SC) 接触的第一面 (4) 以及与所述第一面相对的用于与冷源 (SF) 接触第二面 (6),填充有固 / 液相变材料 (10) 的至少一个单元网状结构 (8) 被安置在所述第一面 (4) 和所述第二面 (6) 之间,所述单元包括由碳纳米管形成的壁,所述纳米管大致从所述第一面 (4) 延伸到所述第二面 (6),从而将所述第一面 (2) 热连接到所述第二面 (4)。

2. 根据权利要求 1 所述的热管理装置,其中,所述单元的壁形成了连续的横向隔板。

3. 根据权利要求 1 或 2 所述的热管理装置,其中,所述单元的壁由以形成致密材料的方式接触的碳纳米管形成。

4. 根据权利要求 1 至 3 中任意一项所述的热管理装置,其中,每个单元的横向尺寸小于或等于熔体前沿距离,其中,所述熔体前沿距离为约  $\sqrt{\frac{2.k.\Delta T.t}{L}}$ , 其中, k 是相变材料的导热系数, L 是相变材料熔化的潜热,  $\Delta T$  是热过载期间的单元壁温度与相变材料的相变温度之间的温度差, t 是时间。

5. 根据权利要求 1 至 4 中任意一项所述的热管理装置,所述热管理装置包括:具有至少一个腔体 (16) 的支撑体 (14) 和密封所述腔体 (18) 的盖罩 (18),其中,所述腔体 (18) 包括填充有相变材料 (10) 的由碳纳米管制成的单元网状结构 (8)。

6. 根据权利要求 5 所述的热管理装置,所述热管理装置包括插入所述盖罩 (18) 和所述单元网状结构 (8) 之间或者插入所述腔体 (16) 的底部和所述单元网状结构 (8) 之间的延性导热材料。

7. 根据前述权利要求所述的热管理装置,其中,所述单元网状结构 (8) 固定于所述盖罩 (18)。

8. 根据权利要求 5 所述的热管理装置,其中,所述单元网状结构 (8) 固定于所述腔体 (16) 的底部。

9. 根据权利要求 5 至 8 中任意一项所述的热管理装置,所述热管理装置包括若干腔体 (16)。

10. 根据权利要求 5 至 9 中任意一项所述的热管理装置,其中,所述腔体 (16) 的面积介于  $1000 \mu\text{m}^2$  和  $10\text{cm}^2$  之间。

11. 根据权利要求 5 至 10 中任意一项所述的热管理装置,其中,所述支撑体 (14) 的厚度介于 0.5mm 和 1mm 之间,优选为  $750 \mu\text{m}$ ,并且所述腔体 16 的深度介于  $50 \mu\text{m}$  和  $500 \mu\text{m}$  之间。

12. 一种电子系统,包括至少一个形成热源 (SC) 的电子元件、至少一个形成冷源 (SF) 的散热装置以及至少一个根据权利要求 1 至 11 中任意一项所述的热管理装置,其中,所述电子元件与所述热管理装置的第一面 (4) 热接触,所述散热装置与所述热管理装置的第二面 (6) 热接触。

13. 一种用于制造根据权利要求 1 至 11 中任意一项所述的热管理装置的方法,所述方法包括以下步骤:

- a) 通过树脂 (22) 的沉积和光刻,在基板上限定单元网状结构的图案,
- b) 沉积催化剂层 (24),

- c) 去除所述树脂 (22),
- d) 通过化学气相沉积使所述碳纳米管生长,
- e) 用所述相变材料 (10) 填充所述单元。

14. 根据权利要求 13 所述的制造方法, 其中, 所述催化剂 (24) 是铁, 或铁和铝的双层体系。

15. 根据权利要求 13 或 14 所述的制造方法, 其中, 所述制造方法包括: 通过将所述单元网状结构浸入醇溶液中来压缩碳纳米管并在空气中进行干燥的步骤。

16. 根据权利要求 13 至 15 中任意一项所述的制造方法, 所述制造方法包括: 在步骤 a) 至步骤 d) 之前, 在支撑体 (14) 中产生一个或多个腔体 (16) 的步骤, 其中, 所述腔体 (16) 容纳单元网状结构 (8); 以及在步骤 d) 之后, 用盖罩 (18) 封闭所述腔体的步骤。

17. 根据权利要求 16 所述的制造方法, 其中, 所述基板由腔体 (16) 的底部形成, 并且在所述腔体 (16) 的底部上实施步骤 a) 至步骤 d)。

18. 根据权利要求 17 所述的制造方法, 所述制造方法包括: 朝向所述腔体的内部将延性导热材料层沉积在所述腔体的底部上的步骤。

19. 根据权利要求 18 所述的制造方法, 其中, 所述基板由所述盖罩 (18) 形成, 并且在所述盖罩上实施步骤 a) 至步骤 d)。

20. 根据权利要求 19 所述的制造方法, 所述制造方法包括: 朝向所述腔体的内部将延性导热材料层沉积在盖罩面上的步骤。

## 无源热管理装置

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种无源热管理装置,该装置可用于例如冷却电子元件。

### 背景技术

[0002] 越来越多的功能被限制在电子系统中。与此同时,寻求降低这些元件的尺寸。这种趋势导致元件的每单位容积(或质量)的热耗散增加。

[0003] 传统的冷却方式,诸如空气对流,无论是自然的还是强制的,都不足以使此热量疏散。

[0004] 当热通量相对较高且负载持续时间相对较短时,除较大量的热量待疏散之外,也造成了在瞬变状态模式中的疏散热问题。

[0005] 已经设想将微通道集成在与外部有源传热流体循环系统相关联的元件内。这种技术在限制接触处的热阻的同时在排热上是相对比较有效的。外部有源系统例如由微型泵形成。这种技术产生了相当笨重的产品;此外,随着时间的推移可能会造成可靠性问题,并且需要维护。

[0006] 除了非常有效的对流冷却之外,使用冷冻液具有在相变期间使用汽化潜热的优点。使用冷冻液在保持表面温度相对较低且均匀的同时产生更大的热功率耗散。例如,对于在 85°C 下的芯片结点,在碳氟化合物 FC72 型的传热流体的池沸腾能够使得约 50W/cm<sup>2</sup> 的热通量得以耗散,而对于同等尺寸的空气冷却散热器仅能够耗散 0.1W/cm<sup>2</sup> 的额定功率。然而,相变的散热仍然受高热负载所限制。事实上,沸腾或蒸发的最大耗散阈值取决于传热流体的热物理特性、流体动力学的两相流态以及表面能量情况,并且仍然受临界热通量所限制,从而导致表面的不可逆干燥,并且导致通过此表面的传热自发回落。

[0007] 文件 US 2006/0231970 描述了一种用于安置在热源和散热装置之间的热界面材料。该材料包括浸入由相变材料诸如石蜡制成的基质中的碳纳米管。碳纳米管以离散方式沿着热源和散热装置之间纵向延伸。纳米管的端部从热界面材料的表面突出,并且与热源和散热装置接触,从而在热源和散热装置之间形成导热路径。该热源和散热装置之间的传热主要通过碳纳米管进行。当相变材料在热源所发出的热量的影响下从固态变为液态时,这种材料填充了在热源和散热装置之间的空间,并且在热源和散热装置之间提供了热界面。

[0008] 热界面材料的厚度为约一微米,以提供一定的柔韧性。在标称状态(nominal regime)下,即,当热通量相对较低且负载持续时间相对较长时,这种材料允许有效地疏散热量。然而,在瞬变状态下,当热通量相对较高且负载持续时间相对较短时,这种材料不再允许进行有效的热管理。

### 发明内容

[0009] 因此,本发明的一个目的是提供一种有效的无源热管理装置(passive thermal management device)以在标称状态和瞬变状态下疏散热量。

[0010] 本发明的目的通过一种热管理装置而得以实现,该热管理装置包括单元,所述单元含有固/液相变材料,其中,所述单元的壁由碳纳米管形成,且纳米管在热源和散热器之间形成了热短路。

[0011] 由于其非常令人满意的导热率,纳米管在标称状态下通过传导使热量疏散。在瞬变状态下,相变材料通过从固态变为液态来暂时吸收热量。所述单元的尺寸优选相对较小,以便所述单元的碳纳米管壁能够使热量以可控且预定的方式分布在相变材料内。

[0012] 因此,在标称状态下,热量主要通过纳米管以传导进行疏散;并且,在瞬变状态下,热量主要通过相变而得以储存,然后通过纳米管以传导进行疏散。

[0013] 在非常有利的过程中,纳米管以所述单元的壁由致密材料制成的方式彼此接触,从而在横向方向上提供了改进的导热率,并且为相变材料提供了更大的可用容积。

[0014] 本发明的一个主题则是一种热管理装置,所述热管理装置包括用于与热源 (SC) 接触的第一面以及与第一面相对的用于与冷源 (SF) 接触第二面,填充有固/液相变材料的至少一个单元网状结构被安置在第一面 (4) 和第二面 (6) 之间,所述单元包括由碳纳米管形成的壁,所述纳米管大致从第一面延伸到第二面,从而将第一面热连接到第二面。

[0015] 所述单元的壁优选形成连续的横向隔板。

[0016] 所述单元的壁非常有利地由以形成致密材料的方式接触的碳纳米管形成。

[0017] 每个单元的横向尺寸优选小于或等于熔体前沿距离,其中,所述熔体前沿距离为

约  $\sqrt{\frac{2k\Delta T t}{L}}$ , 其中,  $k$  是相变材料的导热系数,  $L$  是相变材料熔化的潜热,  $\Delta T$  是热过载期间的

的单元壁温度与相变材料的相变温度之间的温度差,  $t$  是时间。

[0018] 在一个实施方式中,该装置包括具有至少一个腔体的支撑体和密封所述腔体的盖罩,其中,所述腔体包括填充有相变材料的由碳纳米管制成的单元网状结构。

[0019] 延性 (ductile) 导热材料可以被有利地插入在盖罩和单元网状结构之间,或者在腔体的底部和单元网状结构之间。

[0020] 在一个示例性实施方式中,单元网状结构被固定于盖罩。

[0021] 在另一个示例性实施方式中,单元网状结构被固定于腔体的底部。

[0022] 根据本发明的热管理装置可以包括若干腔体。

[0023] 例如,腔体的面积介于  $1000 \mu\text{m}^2$  和  $10\text{cm}^2$  之间。

[0024] 所述支撑体的厚度介于  $0.5\text{mm}$  和  $1\text{mm}$  之间,优选为  $750 \mu\text{m}$ , 并且所述腔体 16 的深度介于  $50 \mu\text{m}$  和  $500 \mu\text{m}$  之间。

[0025] 本发明的另一个主题是一种电子系统,该电子系统包括至少一个形成热源 (SC) 的电子元件、至少一个形成冷源 (SF) 的散热装置和至少一个根据本发明的热管理装置,电子元件与热管理装置的第一面热接触,而散热装置与热管理装置的第二面热接触。

[0026] 本发明的另一个主题是一种用于制造根据本发明的热管理装置的方法,所述方法包括以下步骤:

[0027] a) 通过树脂的沉积和光刻,在基板上限定单元网状结构的图案,

[0028] b) 沉积催化剂层,

[0029] c) 去除所述树脂,

[0030] d) 通过化学气相沉积使所述碳纳米管生长,

[0031] e) 用相变材料填充所述单元。

[0032] 催化剂可以是铁,或铁和铝的双层体系。

[0033] 该制造方法有利地包括:通过将单元网状结构浸入醇溶液中来压缩碳纳米管并在空气中对其进行干燥的步骤。

[0034] 该制造方法可以包括:在步骤 a) 至步骤 d) 之前,在支撑体中产生一个或多个腔体的步骤,其中,所述腔体容纳单元网状结构;以及,在步骤 d) 之后,用盖罩封闭腔体的步骤。

[0035] 该基板可以由腔体的底部形成,并且,步骤 a) 至步骤 d) 能够在腔体的底部上实施。

[0036] 该制造方法可以有利地包括:朝向所述腔体的内部将延性导热材料层沉积在所述腔体的底部上的步骤。

[0037] 该基板可以由盖罩形成,然后,步骤 a) 至步骤 d) 可以在盖罩上实施。该制造方法可以有利地包括:朝向所述腔体的内部将延性导热材料层沉积在盖罩面上的步骤。

#### 附图说明

[0038] 参照下面的描述和附图将会更好地理解本发明:

[0039] 图 1A 和图 1B 分别是根据本发明的热管理装置的示例性实施方式的图示的纵截面图和横截面图,

[0040] 图 1C 是与若干热源接触的热管理装置的另一个实施例的纵截面图,

[0041] 图 2A 和图 2B 是根据本发明的装置的生产步骤的实施例的图示,

[0042] 图 2A' 和图 2B' 是根据本发明的装置的生产步骤的另一个实施例的图示,

[0043] 步骤 3A 至步骤 3E 是碳纳米管单元网状结构的生产步骤的图示,

[0044] 图 4A 至图 4D 是四种不同的相变材料根据热负载频率而能够存储的功率通量密度的图示,其中,每个图示的相变材料的厚度是不同的。

[0045] 图 5A 至图 5C 是在四种不同的相变材料、铜和碳纳米管中根据热负载频率的平均热渗透深度的图示。

#### 具体实施方式

[0046] 在图 1A 和图 1B 中,示意性地示出安置了热源 SC 和冷源 SF 的热管理装置 2 的示例性实施方式。

[0047] 例如,热源 SC 是电子系统而冷源 SF 是具有散热片的散热器。

[0048] 大致扁平形的装置包括用于与热源 SC 接触的第一面 4 和与第一表面 4 相对的用于与冷源接触的第二面 6。

[0049] 该装置包括例如由单晶硅制成的导热支撑体 14,在导热支撑体中产生多个呈现在支撑体 14 的一个面中的腔体 16。每个腔体 16 含有由碳纳米管制成的单元网状结构 8 和相变材料。每个腔体 16 被盖罩 18 封闭。第一面 4 由盖罩 18 形成而第二面 6 由支撑体 14 的底部形成。

[0050] 该装置还包括安置在其两个面 4、6 之间的容纳在腔体 16 中的若干单元网状结构 8。该单元由封闭的侧壁 10 界定。壁 10 大致在由箭头表示的热通量的方向 F 上延伸。该装置还包括安置在上述单元中的相变材料 12。壁 10 由碳纳米管制成,碳纳米管具有非常高

的例如介于  $6W \cdot cm^{-1} \cdot K^{-1}$  和  $20W \cdot cm^{-1} \cdot K^{-1}$  之间的导热系数。

[0051] 在碳纳米管的方向上,单元网状结构 8 的每个端部与腔体 16 的底部和盖罩 18 热接触。该纳米管的长度例如接近腔体 16 的深度。在有利的实施例中,将具有一定延性的导热材料,例如金属,诸如钛、铜或金等,安置在盖罩 18 与碳纳米管之间,以便在纳米管的生产中提供一定的容差的同时提供令人满意的热接触。

[0052] 正如我们随后将看到的,可以通过在上述盖罩的一个面上生长而在盖罩 18 上直接产生碳纳米管,或者通过在上述腔体的底部上生长而在腔体 16 中直接产生碳纳米管。或者,可以预期生产由碳纳米管制成的单元网状结构和固体相变材料所形成的独立组件。该组件可以被处理,并且组件将被安置在每个腔体中。

[0053] 在非常有利的方式中,以纳米管塌陷并且形成致密材料的方式来产生壁 10,其中,纳米管通过其横向表面进行接触。

[0054] 然后,降低壁的厚度,从而增加单元的容积,因此增加相变材料的可用容积。此外,也提高了壁的导热率。

[0055] 例如,取决于壁的初始密度,压缩比介于 2 和 10 之间。

[0056] 在图 1B 中,可以看出图 1A 的装置的横截面细节,具体是具有蜂窝结构的单元网状结构的俯视图。然而,这种形式不是排他性的,而且正方形或长方形单元形式的网状结构也没有超出本发明的范围。蜂窝结构具有在平面内提供热的各向同性的优点。

[0057] 在所示的实施例中,单元全部是相同尺寸的;然而,在相同的无源热管理装置内可存在尺寸不同和/或形状不同的单元。

[0058] 优选选择上述单元的截面,以便全部相变材料在瞬变状态下熔化,从而使得装置的尺寸和所使用的相变材料量得以优化。

[0059] 以上述相变材料在热源 SC 产生热过载时从固态变为液态的方式选择上述相变材料。例如,在电子元件的情况下,其操作温度,也被称为其标称温度,为约  $90^{\circ}C$ ;相变材料的固/液相变温度则高于  $90^{\circ}C$ 。在下面的表中,给出了适合于这种应用的相变材料的实例。相变温度示于第二列。

[0060]

PCM	T( $^{\circ}C$ )	J/g	密度 ( $Kg/m^3$ )	$KJ/cm^3$	比热 ( $J/g \cdot K$ )	$\Delta V$ (%)	导热率 ( $W/K \cdot m$ )	扩散率( $m^2/s$ )
Erythriol	118	340	1480	0.5	1.38	13.8%	2.64	1.29 E-06
PlusICE X180	180	301	1330	0.4	1.38	9.0%	0.99	5.41 E-07
AI64	164	306	1500	0.5	1.38	10.0%	0.20	9.66 E-08
H110	110	243	2145	0.5	2.41	10.0%	0.45	8.70 E-08

[0061] 在图 1C 中,可以看到根据本发明的热管理装置的另一个示例性实施方式。此装置用于与若干热源 SC 进行接触。此外,在热源(例如电子芯片型的微电子装置)和热交换装置之间产生 TSV(硅通孔(Through-Silicon Via))互连体 19。

[0062] 我们现将解释图 1A 的热交换装置的操作。图 1C 的操作类似于图 1A 的操作。

[0063] 在标称状态下:负载对应于热源 SC 的正常操作。热通量相对较低,例如小于  $1W/cm^2$ ,而负载的持续时间相对较高,例如大于 10 秒。热量通过由纳米管制成的单元网状结构 8 的壁以传导传递到冷源 SF。热管理装置的温度则低于相变材料的相变温度,因此相变材料保持处于固态:则在标称状态下未激活相变材料中的储热。

[0064] 在瞬变状态下:负载对应于热源 SC 的异常操作。热通量相对较高,例如大于  $1\text{W}/\text{cm}^2$ ,而负载的持续时间相对较短,例如小于 10 秒。热通量导致局部温度升高,使得相变材料变为液态:储热被激活。热量通过由围绕相变材料的纳米管制成的壁而传递至相变材料。

[0065] 在瞬变状态结束时,相变材料 10 固化,从而将其潜热转移至系统,潜热通过传导至冷源而得以耗散;温度同时变为低于相变温度,而热管理装置再次可用于下一次瞬变状态。储热未被激活。

[0066] 在所描述的操作实例中,标称状态和瞬变状态发生在不同的时刻;然而,例如如果该装置与多个热源接触,那么可以设想它们同时发生。根据本发明的装置能够使得标称状态和 / 或瞬变状态热负载得以同时进行热管理。

[0067] 在图 4A 至图 4D 中,可以看到不同的相变材料在相变材料的不同厚度下的可储存的功率通量密度 DS ( $\text{kW}/\text{cm}^2$ ) 作为热负载的频率 (Hz) 的函数,可储存的功率通量密度表示相变材料的储存容量。

[0068] 待冷却的元件的标称温度被认为是约  $90^\circ\text{C}$ 。

[0069] 功率通量密度是可存储的能量表面密度和热过载频率的乘积。

[0070] 可存储的能量表面密度是在相变材料的厚度 H 的可用潜热和在以下温度间隔:  $T_{\text{max}}-T_{\text{nominal}}$  中的相同相变材料的可用显热的总和,其中,  $T_{\text{max}}$  是元件在热过载期间所达到的最大温度。

[0071] 对于图 4A 至图 4D 的所有图示,  $T_{\text{max}}-T_{\text{nominal}} = 10^\circ\text{C}$ 。

[0072] 对于图 4A,  $H = 50\ \mu\text{m}$ , 对于图 4B,  $H = 100\ \mu\text{m}$ , 对于图 4C,  $H = 500\ \mu\text{m}$ , 对于图 4D,  $H = 1\text{mm}$ 。

[0073] 所考虑的材料是:

[0074] I: Erythriol, 其熔点为  $118^\circ\text{C}$ ;

[0075] II: **PlusICEX180®**, 由 PCMprocess 制造, 其熔点为  $180^\circ\text{C}$ ;

[0076] III: **Al64®**, 由 PCMprocess 制造, 其熔点为  $164^\circ\text{C}$ ;

[0077] IV: **H110®**, 由 PCMprocess 制造, 其熔点为  $110^\circ\text{C}$ 。

[0078] 可存储的功率通量密度是可存储的能量表面密度和热过载频率的乘积。热过载频率以下面的用于  $10^\circ\text{C}$  的温度间隔  $T_{\text{max}}-T_{\text{MCP}}$  和相变材料的各种厚度的曲线所表示。

[0079] 据观察:

[0080] 厚度为  $50\ \mu\text{m}$  的相变材料:在  $100\text{Hz}$  下大约可以存储  $0.3\text{kW}/\text{cm}^2$ , 在  $1\text{kHz}$  下大约可以存储  $3\text{kW}/\text{cm}^2$ , 在  $10\text{kHz}$  下大约可以存储  $30\text{kW}/\text{cm}^2$ , 并且在  $100\text{kHz}$  下大约可以存储  $300\text{kW}/\text{cm}^2$ ;

[0081] 厚度为  $100\ \mu\text{m}$  的相变材料可以存储两倍的厚度为  $50\ \mu\text{m}$  的相变材料的可存储能量;

[0082] 厚度为  $500\ \mu\text{m}$  的相变材料可以存储 10 倍的厚度为  $50\ \mu\text{m}$  的相变材料的可存储能量;

[0083] 厚度为  $1000\ \mu\text{m}$  的相变材料可以存储 20 倍的厚度为  $50\ \mu\text{m}$  的相变材料的可存储能量。

[0084] 在图 5A 至图 5C 中,以  $\mu\text{m}$  计的热渗透深度的变化被表示为在瞬变状态下的热负



载频率的函数。

[0085] 热渗透深度是相当于相变材料变化至液态的深度。如果已知此深度,那么单元的尺寸可以被优化,以便在热过载的情况下相变材料的量对应于热量的存储。

[0086] 在相变材料被包括在单元中的情况下,热量在相变材料内进行传导。在相变材料内的传热动力学则取决于温度情况、单元的壁和相变材料的物理性质

$$[0087] \quad s(t) = \sqrt{2 \frac{\lambda \Delta T}{L} t} \quad (I)$$

[0088] 其中,  $s(t)$  是在时刻  $t$  时相变前沿的位置 (或热渗透深度),

[0089]  $\lambda$  是以  $W/k \cdot m$  计的相变材料的导热率,

[0090]  $\Delta T$  是单元壁和未转化的相变材料之间的温度差,

[0091]  $L$  是以  $J/m^3$  计的相变材料的相变潜热。

[0092] 在储存装置的情况中,热量沿着由碳纳米管制成的壁进行传导。转递动力学则取决于入射热通量、单元网状结构的体系结构和物理性质。在统计学上,平均热渗透深度可以定义如下:

$$[0093] \quad \delta(\omega) = \sqrt{\frac{2 \cdot D}{\omega}} \quad (II)$$

[0094] 其中,  $D$  是以  $m^2/s$  计的材料热扩散率,而  $\omega$  是热信号的频率。

[0095] 在图 5A 至图 5C 的图示中,作为参考,可以看到在相变材料 I、II、III 和 IV、碳纳米管 (曲线 V) 以及铜 (曲线 VI) 中的热渗透深度。

[0096] 对于所有的图,标称温度为  $90^\circ C$ 。对于图 5A,  $\Delta T = 1^\circ C$ ,对于图 5B,  $\Delta T = 10^\circ C$ ,而且对于图 5C,  $\Delta T = 20^\circ C$ 。

[0097] 通过读取图 5A 至图 5C 的曲线,能够确定单元的尺寸,以便在热过载的情况下熔化全部相变材料。

[0098] 因此,观察到,对于待熔化的全部相变材料:

[0099] 对于  $1^\circ C$  的  $\Delta T$ ,且取决于相变材料,对于小于或等于  $100Hz$  的热过载频率的最佳的单元尺寸介于  $3 \mu m$  和  $10 \mu m$  之间;

[0100] 对于  $1^\circ C$  的  $\Delta T$ ,且取决于相变材料,对于小于或等于  $1kHz$  的热过载频率的最佳的单元尺寸介于  $1 \mu m$  和  $3 \mu m$  之间;

[0101] 对于  $1^\circ C$  的  $\Delta T$ ,且取决于相变材料,对于小于或等于  $10kHz$  的热过载频率的最佳的单元尺寸介于  $0.3 \mu m$  和  $1 \mu m$  之间;

[0102] 对于  $1^\circ C$  的  $\Delta T$ ,且取决于相变材料,对于小于或等于  $100kHz$  的热过载频率的最佳的单元尺寸介于  $0.1 \mu m$  和  $0.3 \mu m$  之间;

[0103] 对于  $10^\circ C$  的  $\Delta T$ ,且取决于相变材料,对于小于或等于  $100Hz$  的热过载频率的最佳的单元尺寸介于  $10 \mu m$  和  $30 \mu m$  之间;

[0104] 对于  $10^\circ C$  的  $\Delta T$ ,且取决于相变材料,对于小于或等于  $1kHz$  的热过载频率的最佳的单元尺寸介于  $3 \mu m$  和  $10 \mu m$  之间;

[0105] 对于  $10^\circ C$  的  $\Delta T$ ,且取决于相变材料,对于小于或等于  $10kHz$  的热过载频率的最佳的单元尺寸介于  $1 \mu m$  和  $3 \mu m$  之间;

[0106] 对于 10°C 的  $\Delta T$ , 且取决于相变材料, 对于小于或等于 100kHz 的热过载频率的最佳的单元尺寸介于 0.3  $\mu\text{m}$  和 1  $\mu\text{m}$  之间;

[0107] 对于 20°C 的  $\Delta T$ , 且取决于相变材料, 对于小于或等于 100Hz 的热过载频率的最佳的单元尺寸介于 15  $\mu\text{m}$  和 45  $\mu\text{m}$  之间;

[0108] 对于 20°C 的  $\Delta T$ , 且取决于相变材料, 对于小于或等于 1kHz 的热过载频率的最佳的单元尺寸介于 3  $\mu\text{m}$  和 10  $\mu\text{m}$  之间;

[0109] 对于 20°C 的  $\Delta T$ , 且取决于相变材料, 对于小于或等于 10kHz 的热过载频率的最佳的单元尺寸介于 1  $\mu\text{m}$  和 3  $\mu\text{m}$  之间;

[0110] 对于 20°C 的  $\Delta T$ , 且取决于相变材料, 对于小于或等于 100kHz 的热过载频率的最佳的单元尺寸介于 0.3  $\mu\text{m}$  和 1  $\mu\text{m}$  之间。

[0111] 我们现将描述根据本发明的热管理装置的生产方法的实施例, 该生产方法的步骤示意性地表示在图 2A 至图 3D 中。

[0112] 在图 2A 和图 2B 中, 可以看出生产方法的第一实施例, 其中, 在盖罩上产生单元网状结构。

[0113] 在第一步骤中, 在由导热材料例如单晶硅制成的支撑体 14 中产生腔体 16。例如通过使用例如使用 KOH 的水基化学刻蚀, 或者通过深干法刻蚀例如通过反应离子刻蚀 (RIE) 来产生腔体 16。

[0114] 基板的厚度为例如约 0.5mm 至 1mm。腔体 16 的深度为约 50  $\mu\text{m}$  至 500  $\mu\text{m}$ 。腔体的面积通常介于 1000  $\mu\text{m}^2$  和 100 $\text{cm}^2$  之间。

[0115] 有利地将延性金属层 (未示出) 沉积在腔体 16 的底部, 以提供与随后将被安置在腔体中的碳纳米管进行物理接触和热接触。此层可以通过物理气相沉积、化学气相沉积、电镀等来进行沉积; 此层可以由钛、金、铜、铝等制成; 此层的厚度通常介于 10nm 和 10  $\mu\text{m}$  之间。

[0116] 在图 2A 中可以看出这种结构。

[0117] 在下面的步骤中, 如图 2A 中所示, 在盖罩上产生单元网状结构。

[0118] 为了这个目的, 在盖罩 18 的面上沉积树脂层 22, 并且完成待产生的图案的光刻 (图 3A)。在所示的情况下, 待产生的图案是蜂窝图案。

[0119] 在下面的步骤 (图 3B) 中, 通过物理气相沉积进行沉积催化剂 24。催化剂 24 是例如厚度介于 0.5nm 和 10nm 之间优选为 1nm 的铁层, 或者包括 10nm 的铝层和 1nm 的铁层的双层体系。

[0120] 在下面的步骤中, 去除树脂 22 (图 3C)。

[0121] 在下面的步骤中, 例如在介于 550°C 和 750°C 之间的温度下且在介于 0.1mbar 和 10mbar 之间的压力下, 通过使用气体流量为 10、50、50 $\text{cm}^3/\text{min}$  的  $\text{C}_2\text{H}_2$ 、 $\text{H}_2$ 、He 的共混物进行化学气相沉积来使碳纳米管 23 生长。通过生长时间来确定管的高度 (图 3D)。

[0122] 在有利的下面步骤中, 通过浸入醇溶液来将管压缩。在空气干燥期间, 纳米管壁塌陷并形成致密材料, 其中, 纳米管是接触的 (图 3E)。

[0123] 形成了单元网状结构 8。

[0124] 在下面的步骤中, 用相变材料 12 填充腔体。

[0125] 最后, 将具有单元网状结构 8 的盖罩 18 转移到腔体 16, 并且网状结构渗透进入腔

体 16 中。而且,盖罩 18 密封在支撑体 14 上。在盖罩和支撑体之间制成密封件 26。

[0126] 在图 2A' 和图 2B' 中,可以看出生产方法的另一个实施例,其中,在腔体 16 中直接产生单元网状结构 10。

[0127] 首先,如上所述,在支撑体 14 中产生腔体 16。

[0128] 在腔体 16 的底部上进行步骤 3A 至步骤 3E。碳纳米管的高度接近腔体 16 的深度,大致小于或大于腔体的深度。

[0129] 然后,用相变材料 10 填充腔体 16。

[0130] 然后,优选将具有一定的延性的金属层(未示出)局部沉积在盖罩 18 上,以在纳米管和盖罩 18 之间提供物理接触和热接触。以如上所述的方式生产此层。

[0131] 最后,将盖罩 18 转移到支撑体 14 以密封腔体 16。而且,将盖罩 18 密封在支撑体 14 上。在盖罩 18 和支撑体 14 之间制成密封件 26。

[0132] 虽然通过上述方法所生产的装置仅含有一个腔体,但是应清楚地理解,上述制造步骤适用于生产如图 1A 和图 1C 所示的包括多个腔体的装置。

[0133] 通过本领域技术人员众所周知的微电子技术,将热管理装置转移到电子元件上。

[0134] 因此,特别是在 3D 电子系统中,根据本发明的热管理装置能够使得瞬变热源或间歇热源得以进行热管理以例如使用通孔或 TSV 形成集成在电子元件中的装置。

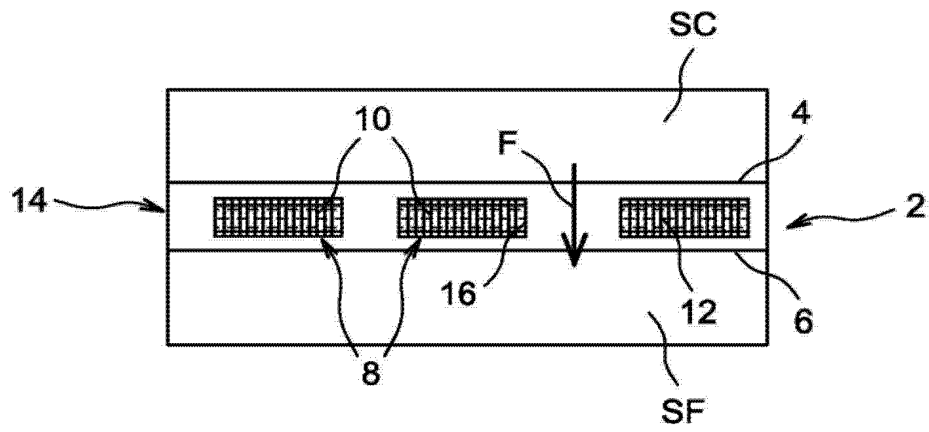


图 1A

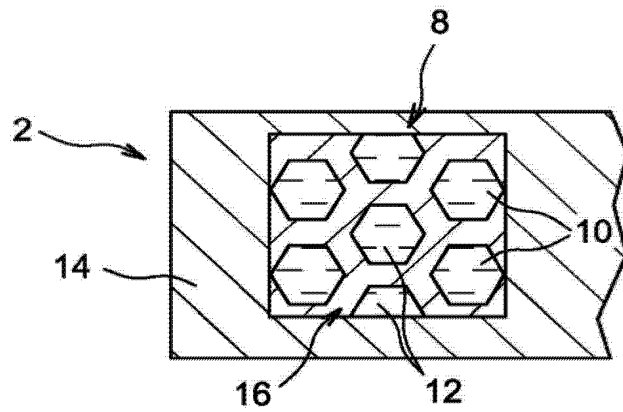


图 1B

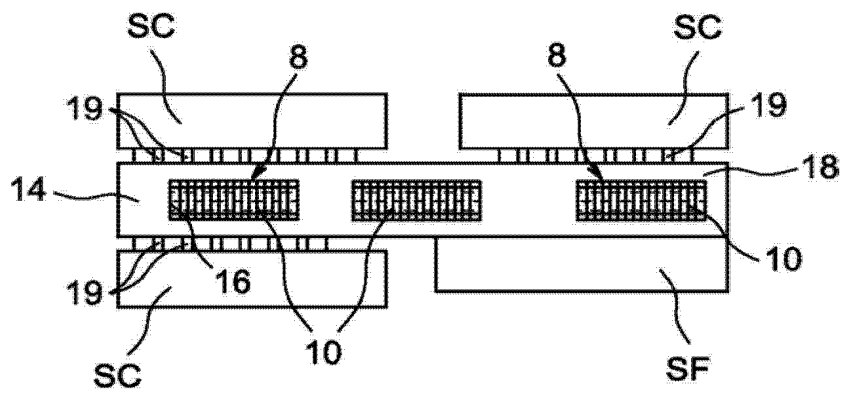
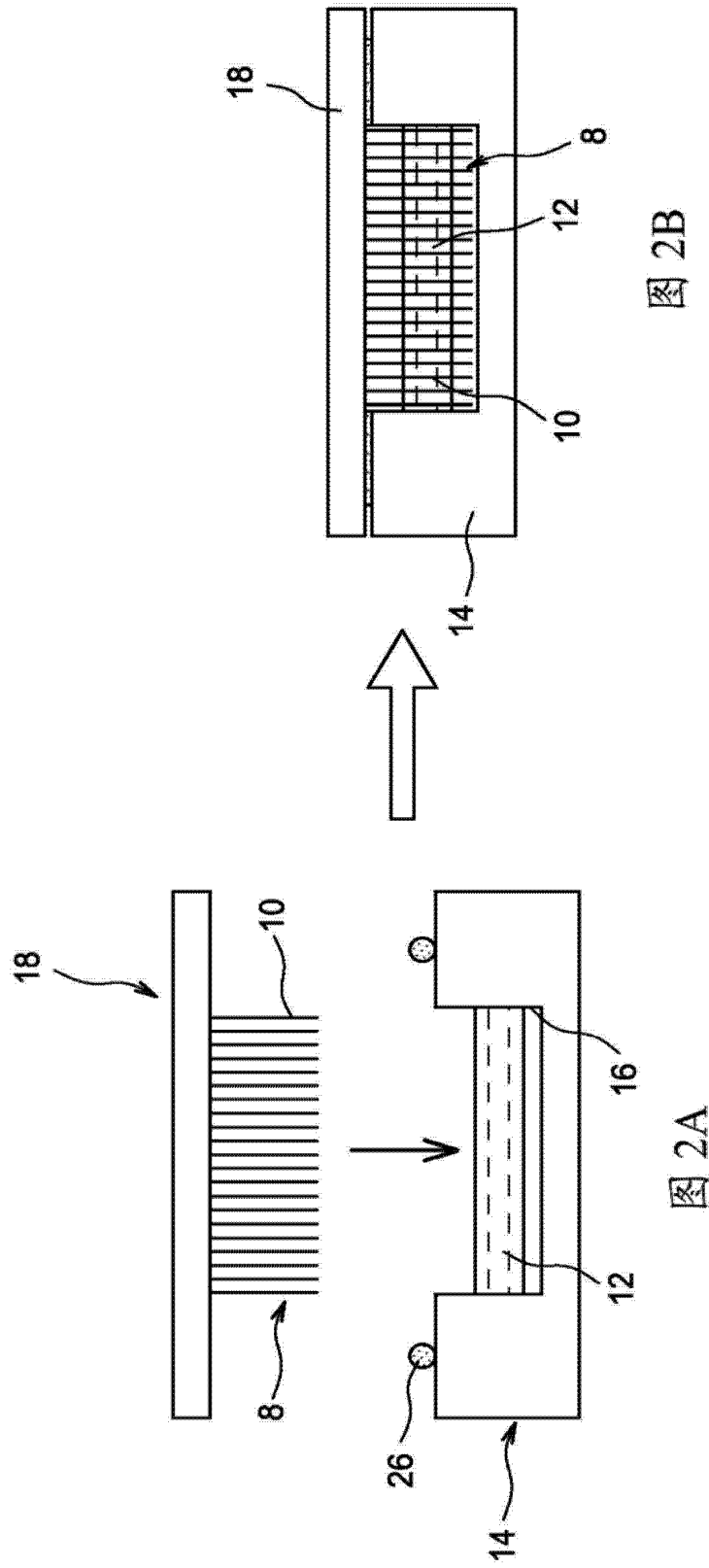


图 1C



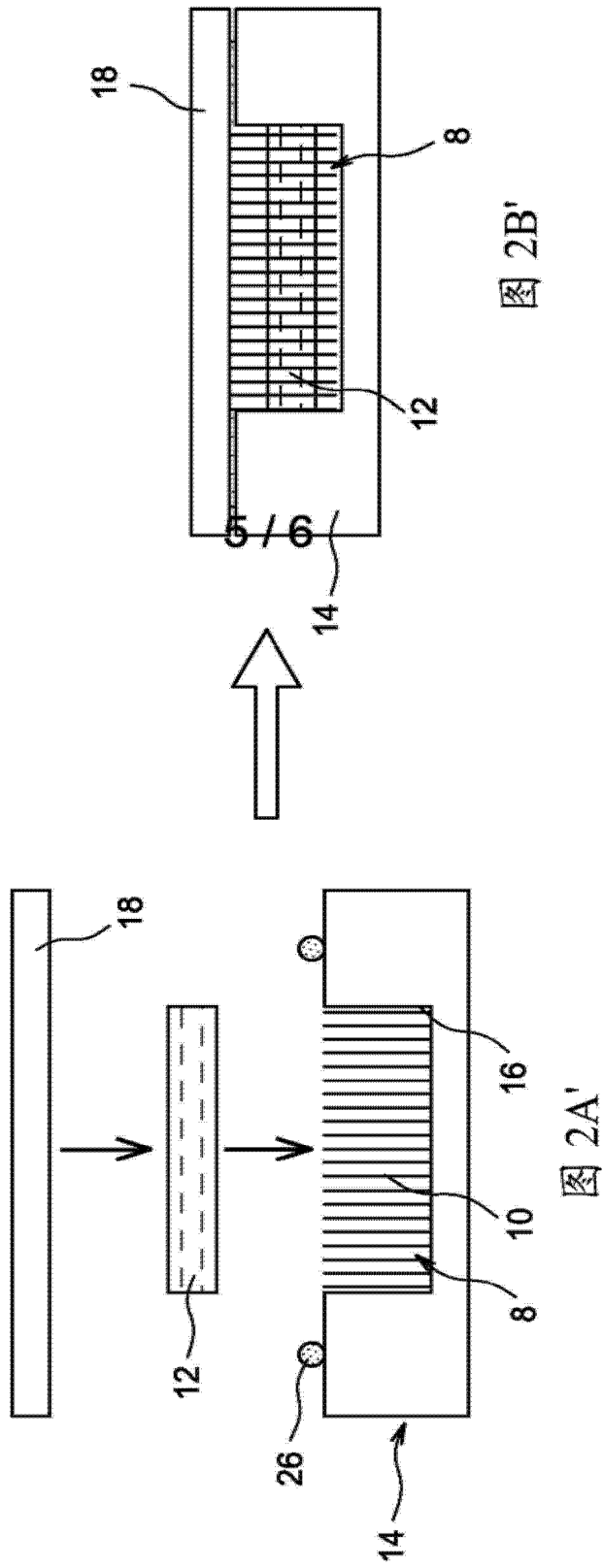


图 2B'

图 2A'

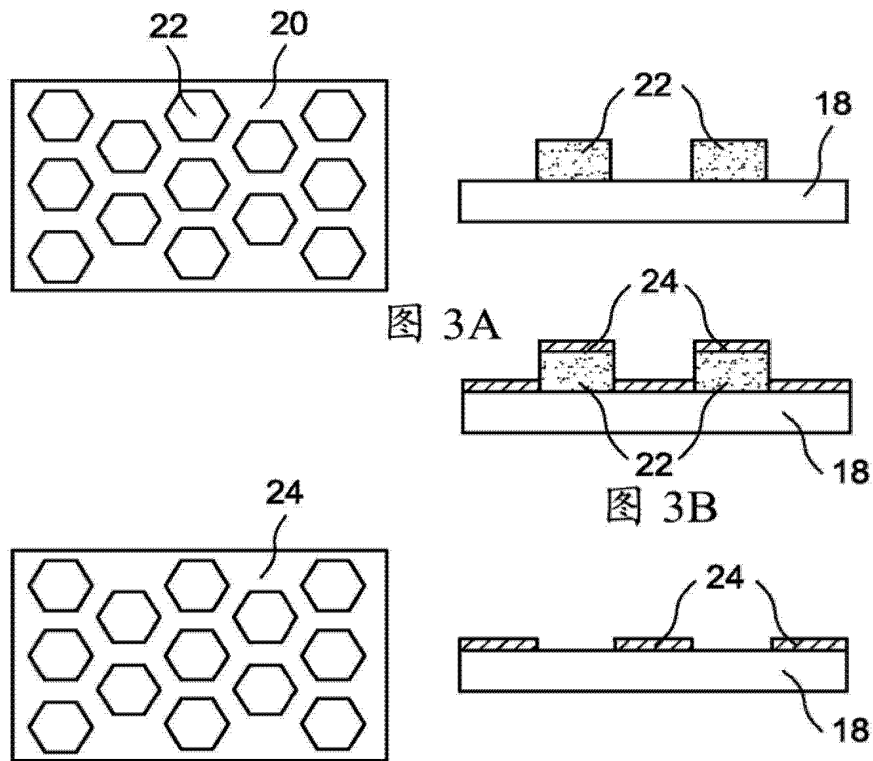


图 3A

图 3B

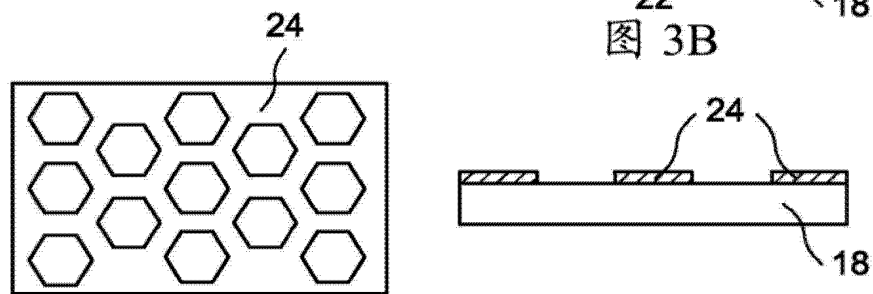


图 3C

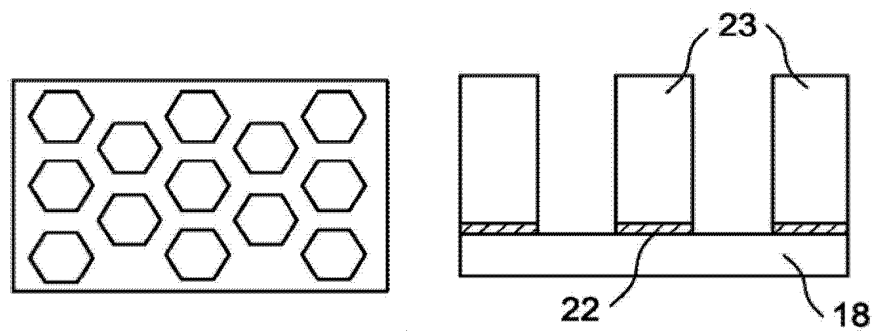


图 3D

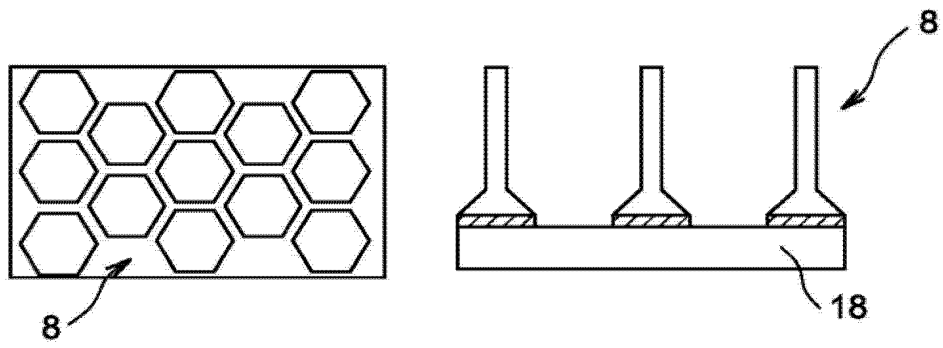


图 3E

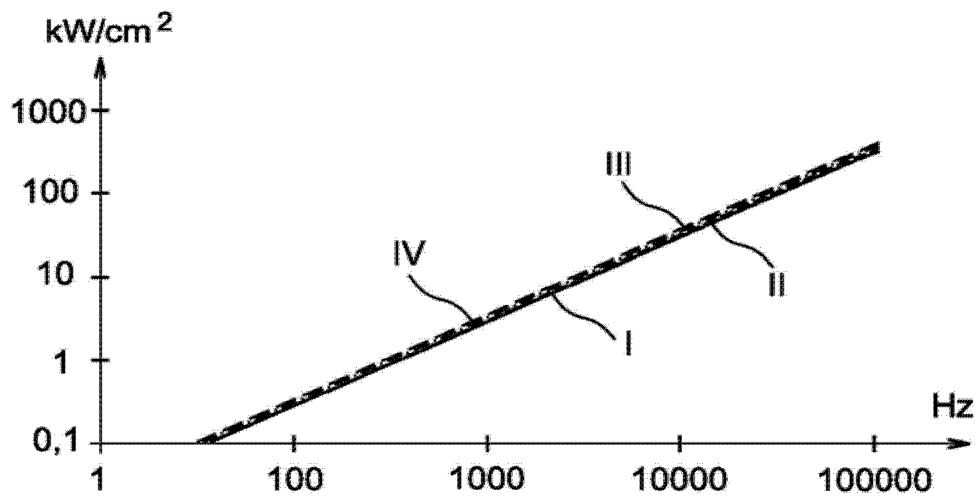


图 4A

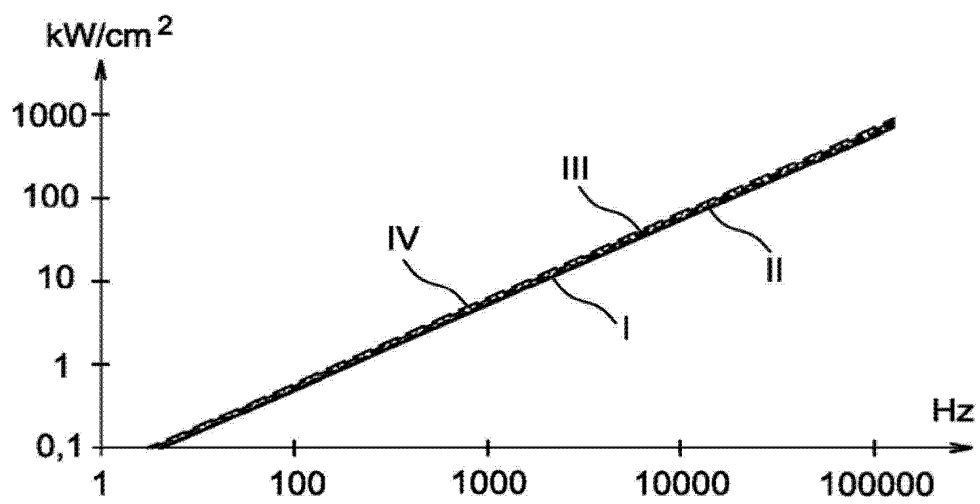


图 4B



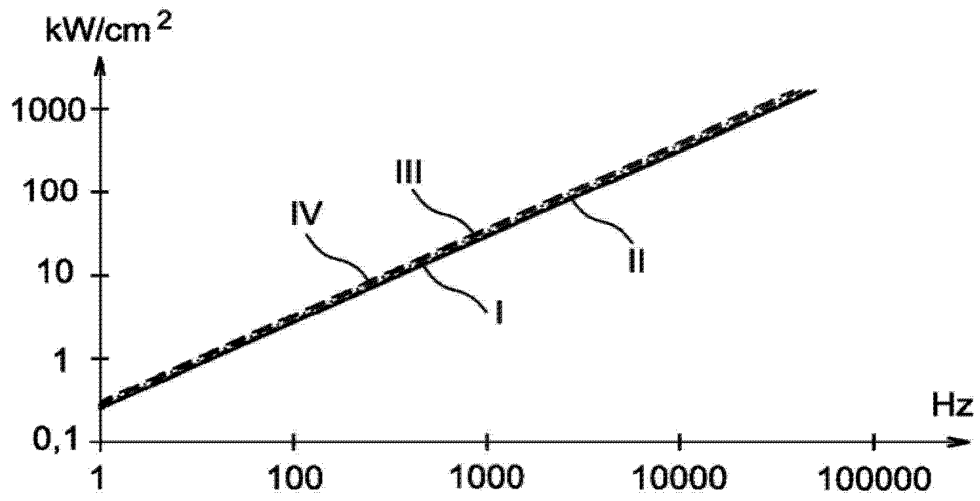


图 4C

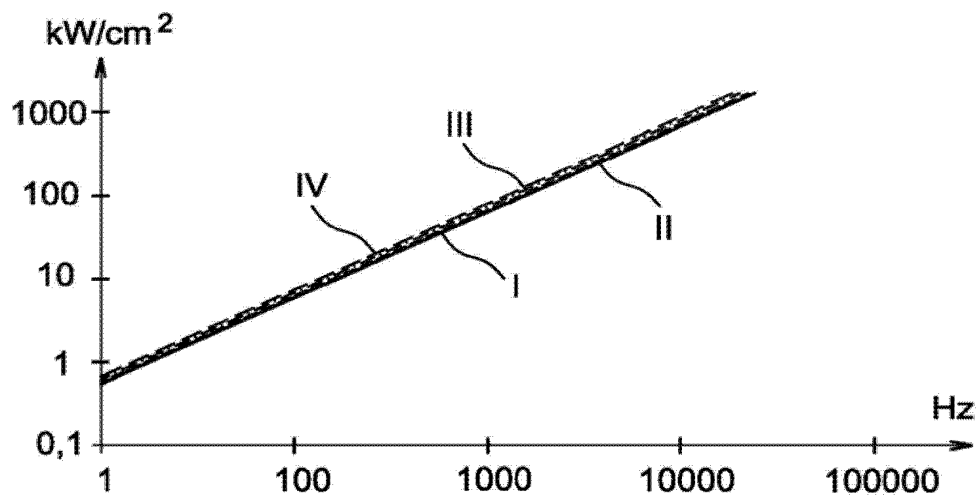


图 4D

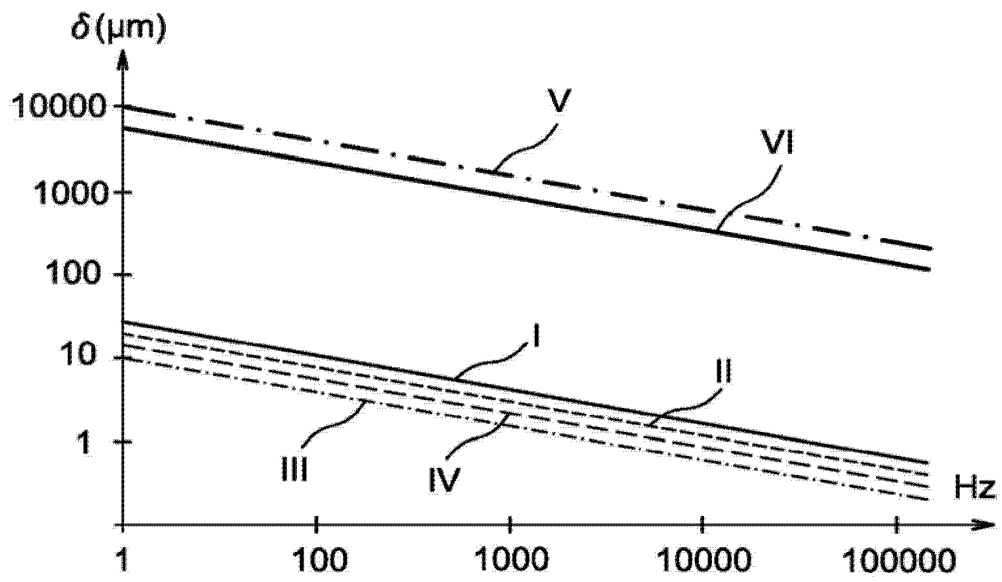


图 5A

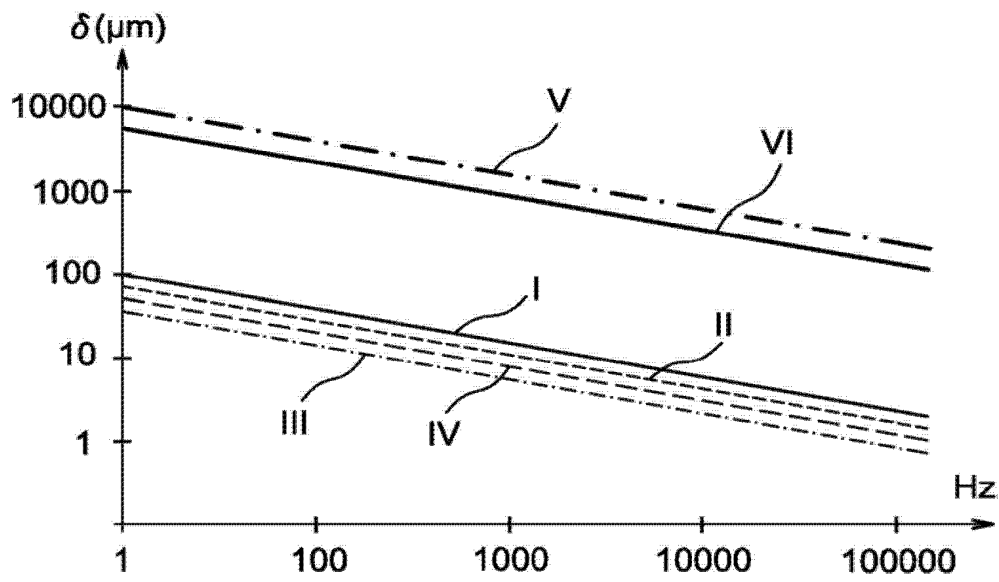


图 5B

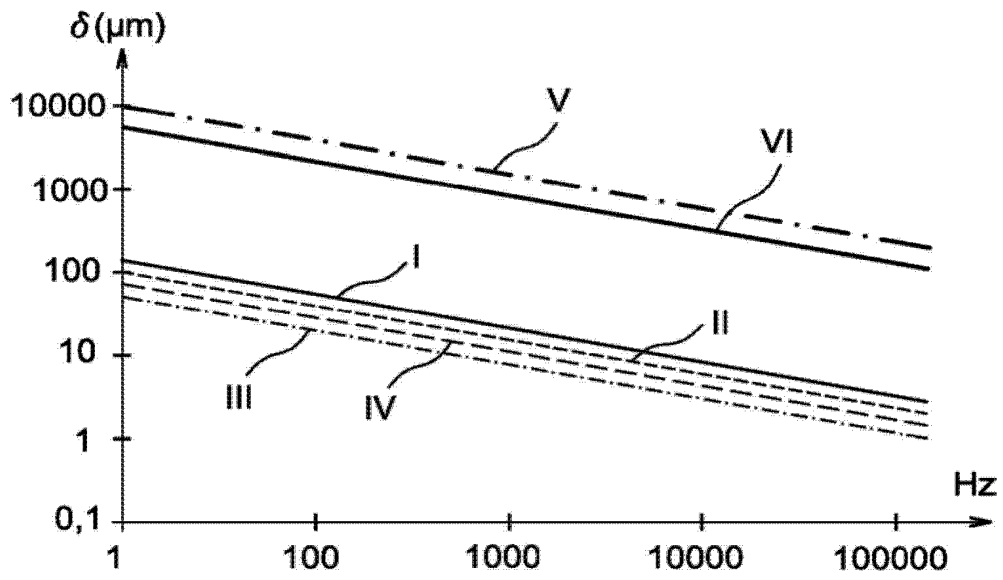


图 5C