



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 102449076 B

(45) 授权公告日 2014. 10. 01

(21) 申请号 201080023881. 9

(22) 申请日 2010. 05. 18

(30) 优先权数据

12/474, 965 2009. 05. 29 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2011. 11. 29

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/US2010/035193 2010. 05. 18

(87) PCT国际申请的公布数据

W02010/138336 EN 2010. 12. 02

(73) 专利权人 波音公司

地址 美国伊利诺伊州

(72) 发明人 M·M·莱德

(74) 专利代理机构 北京纪凯知识产权代理有限公司

公司 11245

代理人 赵蓉民

(51) Int. Cl.

C09D 5/00 (2006. 01)

B64D 45/02 (2006. 01)

(56) 对比文件

WO 2008/025959 A1, 2008. 03. 06,

WO 2008/025959 A1, 2008. 03. 06,

US 4793669, 1988. 12. 27,

CN 1143415 A, 1997. 02. 19,

审查员 宋雪

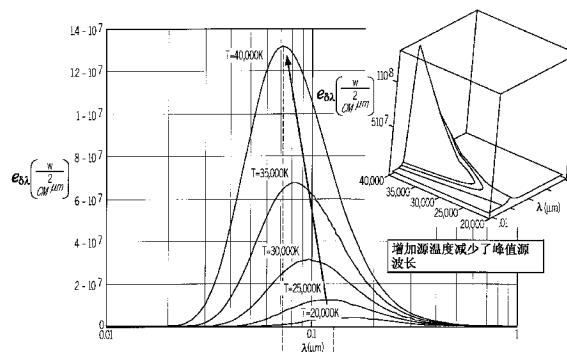
权利要求书1页 说明书7页 附图8页

(54) 发明名称

用于最小化雷击影响的光谱选择性涂层及相关方法

(57) 摘要

本发明涉及用于减少由衬底和等离子体之间相互作用引起的对衬底的结构破坏的方法, 该方法的步骤包括: 确定等离子体的光谱辐射率处于峰值的波长, 该波长是等离子体温度的函数; 制备能够给予衬底在围绕该波长的光谱波段上的阈值电磁反射率的涂层和将涂层施加到衬底。



1. 一种用于减少由衬底和等离子之间相互作用引起的对衬底的结构破坏的方法,所述方法包含以下步骤:

确定波长,所述等离子体的光谱辐射率在该波长处于峰值,所述波长是所述等离子体的温度的函数;

制备包括多个颜料颗粒的涂层(10),所述颜料颗粒被布置为给予所述衬底(14)在围绕所述波长的光谱波段上的至少90%的阈值电磁反射率以及在红外光谱中的至少0.8的发射率;和

将所述涂层(10)施加到所述衬底(14)。

2. 根据权利要求1所述的方法,其中所述等离子体是闪电等离子体。

3. 根据权利要求1或2所述的方法,其中所述衬底(14)是复合衬底(14)。

4. 根据权利要求1-2中任一项所述的方法,其中所述衬底(14)是复合衬底并且包括碳纤维。

5. 根据权利要求1-2中任一项所述的方法,其中所述波长是至多500nm。

6. 根据权利要求1-2中任一项所述的方法,其中所述波长是100nm。

7. 根据权利要求1-2中任一项所述的方法,其中所述涂层(10)包括大体上球状颗粒和粘合剂(12)。

8. 根据权利要求1-2中任一项所述的方法,其中所述涂层(10)包括大体上片状颗粒和粘合剂(12)。

9. 根据权利要求1-2中任一项所述的方法,其中所述涂层(10)包括多个颜料颗粒,所述多个颜料颗粒包括四分之一波长片,该四分之一波长片包括二氧化硅和二氧化钛。

10. 根据权利要求1-2中任一项所述的方法,其中所述涂层(10)包括多个颜料颗粒,所述多个颜料颗粒包括四分之一波长片,该四分之一波长片包括第一材料和第二材料,其中所述第一材料具有与所述第二材料不同的折射率。

11. 根据权利要求10所述的方法,其中在铝层上方接收所述四分之一波长片。

12. 根据权利要求1-2中任一项所述的方法,其中所述阈值电磁反射率是至少99%。

13. 一种结构,其包含:

衬底(14);和

用于减少由所述衬底和等离子之间相互作用引起的对衬底的结构破坏的涂层(10),其中所述涂层包括多个颜料颗粒,所述颜料颗粒被布置为给予所述衬底(14)在围绕波长的光谱波段上的至少90%的阈值电磁反射率以及在红外光谱中的至少0.8的发射率,所述等离子体的光谱辐射率在所述波长处于峰值,所述波长是所述等离子体的温度的函数。

用于最小化雷击影响的光谱选择性涂层及相关方法

技术领域

[0001] 本专利申请涉及用于阻止等离子破坏和退化的涂层和方法，并且更具体地涉及用于将经得起雷击和暴露于类似的等离子体的能力给予衬底的涂层和相关方法。

背景技术

[0002] 碳纤维增强塑料（“CFRP”）材料逐渐地用于代替铝形成商用飞机的蒙皮壁板（skin panels）和结构组件。由于碳纤维复合材料所提供的较高的强度-重量比，与铝相比，CFRP 材料是有优势的。然而，CFRP 材料似乎比铝材料对于来自雷击的灾难性破坏（catastrophic damage）更敏感。

[0003] CFRP 材料中与典型雷击相关的缺陷似乎是由高温驱动的。当受到雷击时，复合材料中的碳纤维变为非常热。该温度可以超过树脂的气化温度（pyrolyzation temperature），使树脂从固体转变为气体。内部气压的相应增加通过分层和可能地击穿下层系统或结构造成对结构的破坏。该高温还能够引起对纤维的永久性破坏，导致纤维直径的膨胀。与材料热膨胀系数结合的局部加热也影响破坏。与雷击有关的撞击力起源于声学、电磁学和气体学。这些力在相应高温下能够超过材料拉力强度极限。

[0004] 电流解决方法使用电通路有效传导并分配电流，努力地远离闪电附着地带以避免火花。这些电通路整合到CFRP材料设计中，例如在外部漆层（例如，聚氨酯（polyurethane）层）下面。然而，尽管使用设计良好的电通路传导电流，仍旧观察到实质上的结构破坏。

[0005] 因此，本领域技术人员继续寻找用于避免由雷击引起的结构破坏的新技术。

发明内容

[0006] 在一个方面，本发明公开的用于减少由衬底和等离子体之间相互作用引起的对衬底的结构破坏的方法可以包括的步骤有：确定等离子体的光谱辐射率处于峰值的波长，其中该波长是等离子体的温度的函数；制备能够给予衬底在围绕波长的光谱波段上的阈值电磁反射率的涂层和将涂层施加到衬底。

[0007] 在另一个方面，本发明公开的用于减少由衬底和雷击之间接触所引起的对衬底的结构破坏的方法可以包括以下步骤：制备能够给予衬底在真空紫外光谱中的阈值电磁反射率的涂层和将该涂层施加到衬底。

[0008] 本发明公开的用于最小化雷击影响的光谱选择性涂层及其相关方法的其他方面从下列描述、附图和权利要求中会显而易见。

附图说明

[0009] 图1是黑体模型（black body modeling）辐射能的光谱辐射率随波长和温度变化的图解说明；

[0010] 图2A是具有0.2的辐射加热吸收系数的衬底的外表面和内表面温度随时间变化的图解说明；

[0011] 图 2B 是具有 0.1 的辐射加热吸收系数的衬底的外表面和内表面温度随时间变化的图解说明；

[0012] 图 3A 是对于不同闪电等离子温度的有效紫外吸收率随波长变化的图解说明；

[0013] 图 3B 是对于不同表皮温度的有效红外发射率随波长变化的图解说明；

[0014] 图 4 是对不同金属的等离子波长的图解说明；

[0015] 图 5A 是用包含球状颜料的光谱选择性涂层涂覆的衬底的示意横断面图；

[0016] 图 5B 是用包含片状颜料的光谱选择性涂层涂覆的衬底的示意横断面图；

[0017] 图 6 是光谱和接近 20000K 等离子体的厚铝层的净余反射率的图解说明；

[0018] 图 7 是对置于 20000K 等离子体和 CFRP 衬底之间的铝层的净余反射率 (net reflectivity) 随厚度变化的图解说明；和

[0019] 图 8 是按照本发明的一个方面的具有光谱选择性涂层的 CFRP 衬底的方框图。

具体实施方式

[0020] 闪电对衬底具有直接和间接影响。具体地，现在已经发现除了其他的直接影响之外，例如电阻式加热、电磁和声学力和电火花，辐射加热具有显著的直接影响。间接影响包括导线束和航空电子装置收到的强的电磁脉冲 (EMP)、束缚电荷和感生电压。

[0021] 通常的闪电 (lightning) 直接影响保护提供了这样的衬底 (例如，飞机的外部结构)，其能够经得起在高达 200000 安培电流闪电等离子体的初始和随后附着而没有有害后果。通常的闪电直接影响保护也可以保证随着电流在闪电附着和出口点之间传输，在结构结点或者在燃料和液压耦合器上没有火花发生。

[0022] 依照本发明，闪电直接影响保护也可以包括保护不受闪电等离子体 (或者任何其他破坏的高温等离子体) 和衬底之间的辐射加热。具体地，在本发明的一个方面中，衬底可以拥有光谱选择性涂层，其被设计并制造成用于提供从闪电等离子体源辐射的入射紫外线 (“UV”) 能的高水平反射率。在另一个方面，该光谱选择性涂层也可以在红外 (“IR”) 波段发射，由此有助于通过将从闪电等离子体中吸收的能量再辐射回环境而将其耗散，从而最小化渗入衬底的热量，如上所述该热量可以不利地影响衬底。

[0023] 如这里所使用的，“衬底”广义上指能够由雷击或者其他破坏性等离子体破坏的任何衬底。该衬底可以是任何不是固有反射 UV 能量的衬底或者是需要额外的 UV 反射率的衬底。CFRP 材料只是适合的衬底的一个示例。

[0024] 闪电被认为具有大约 28000K 的等离子体温度，可能从大约 25000 到大约 30000K 的范围变化。因此，参考图 1，其是关于从黑体放射的电磁辐射的光谱辐射率的普朗克定律 (Planck's law) 的图解说明，闪电的峰值波长出现在大约 100nm。在较高等离子体温度下，峰值波长向左移动 (即，较高能量 UV)。在较低温度下，峰值波长向右移动 (即，较低能量 UV)。

[0025] 因此，在一个方面，本发明的光谱选择性涂层可以被配置成反射或者反向散射 (backscatter) 来自闪电等离子体的较短波长 (例如，大约 100nm) 的入射 UV 能量。在另一个方面，本发明的光谱选择性涂层可以被配置成反射或者反向散射在真空紫外 (“VUV”) 状态 (regime) (即 200nm 到 10nm) 中的入射 UV 能量。在还另一个方面，本发明的光谱选择性涂层可以被配置成反射或者反向散射在影响雷击性能的其他 UV 状态中的入射 UV 能量，其

他 UV 状态包括 UVC (低于 280nm) 、 UVB (320nm-280nm) 和 UVA (400nm-320nm) 。在还另一个方面,本发明的光谱选择性涂层可以在低于 500nm 下提供高反射率。

[0026] 图 2A 和 2B 示出衬底的外表面和内表面温度如何受到对 UV 能量的吸收系数的影响。第一衬底具有 20 密耳铌涂层 (高熔点反射金属 / 反光金属), 以产生 0.2 的等离子辐射的加热吸收系数 (20% 的入射能被吸收到面板表面中)。铌被选作为外层, 以便避免与材料相变和氧化相关的能量项, 以便在参数趋势中仅示出吸收率的影响。在暴露于具有 30500K 的等离子温度的 10.28kA 模拟雷击时, 第一衬底的外表面达到大约 3354 °F 的峰值温度, 并且内表面达到大约 500 °F 的峰值温度 (参看图 2A) 。相比, 具有 0.1 的等离子辐射加热吸收系数的第二衬底达到大约 1869 °F 的峰值外表面温度, 峰值内表面温度相对较低 (参看图 2B) 。因此, 吸收系数的减小减少了背侧吸热温度, 并且同样地减少了与破坏相关的辐射加热。

[0027] 类似的分析示出在雷击之后较高的 IR 发射率的益处, 其中较高的发射率有效地再辐射来自面板雷击后表面 (the panel post-strike surface) 的热量, 这是由于与周围环境相比升高但在低于闪电等离子体的温度下的表面温度引起的。

[0028] 上文确定了控制衬底光谱吸收率的益处。在这个情形中, 如果 UV 吸收率能够被减小到 0.1, 那么峰值外表面温度被限制在 1869 °F。如果在雷击之后 IR 发射率被最大化, 那么背侧吸热温度被限制。通过有选择地调整涂层发射率, 低 UV 吸收率和高 IR 发射率是有可能的。

[0029] 图 3A 示出暴露于 10000K、15000K 和 20000K 的闪电温度的表面的有效涂层吸收率。通过积分光谱吸收率与和温度相关的光谱黑体发射的乘积并且除以总的黑体发射, 执行这个分析。参数包括两个吸收系数值, 在 X 轴上示出低于跃迁波长时的一个, 和高于跃迁波长时的一个。低于跃迁波长, 该吸收系数是 0.3, 高于跃迁波长, 该吸收系数是 0.8 (阶梯函数) 。对于示出的较高的等离子温度的范围, 高于和低于 0.5 微米的跃迁波长, 有效 UV 吸收系数仍然接近于 0.3 的低值。高 IR (波长大于大约 1.0 微米) 吸收系数没有不利地影响期望的低 UV 吸收系数。这是因为在这些温度 IR 中只存在小部分源能量。

[0030] 图 3B 示出在沿着 X 轴的参数跃迁波长针对 1922K、1366K 和 811K 的表皮温度的有效 IR 发射率。低于跃迁波长, 该吸收系数是 0.3, 并且高于跃迁波长, 该吸收系数是 0.8。环境温度是 70 °F。这里, 对于较高的表皮温度, 该有效 IR 发射率被跃迁波长改变很少。

[0031] 因此, 通过闪电等离子温度和随后的表面温度的温度状态可以有助于涂层光谱选择性, 该随后的表面温度在从约 100nm UV 峰值 (根据 2897K 的源温度) 到大约 1 μ m 及以上的其中 IR 表面发射是显著的范围隔开峰值能量光谱的状态。

[0032] 在一个方面, 本发明的光谱选择性涂层可以通过在衬底的表面上沉积颗粒被设计并制造成在 UV 波长是反射的并且在 IR 波长是发射的 (emissive), 这些颗粒与 UV 波长相比是相对大的, 并且与 IR 波长相比是相对小的。包括 VUV 反射率测量的 UV 反射率测量可以用工业中可利用的专用工具。在一个实例中, 这些颗粒可以是金属 (例如, 铌颗粒) 。如另一个实例, 这些颗粒可以包括 SiO₂ 或者 TiO₂, 及其组合。

[0033] 颗粒可以被包含在可以是对可见光透明或者半透明的粘合剂中。例如, 该粘合剂可以是聚氨酯。颜料、粘合剂、环境和人视觉反应的相互作用产生所感知的亮度和颜色。这些特性也可以分解为方向性和光谱定量。

[0034] 金属暴露于 UV 能量通过金属传播的 VUV 光谱区的现象被认为是金属的紫外线透光度。图 4 确定候选金属（和非金属），示出材料内部可以发生传播的源黑体温度和波长。例如：在 30000K，该黑体峰值波长对应于小于 $1.0E-7m(100nm)$ 的数字。当暴露于 30000K 等离子时，具有超过该黑体峰值能量波长的等离子波长的金属将传播辐射能量。随着能量传播通过金属，其也被散射和吸收，由此导致净余高辐射吸收系数。因此，这些金属可以不被认为是用于 UV 反射率提高的适当候选。代替的，具有低于峰值能量黑体波长的金属等离子波长的金属可以用于提供在此 UV 波段中是反射的涂层材料。另外，在产生的雷击温度金属光学性质应该仍然起作用。

[0035] 在亚微米波长仍然透射的两种类型的材料是硅氧烷基聚合物 (silicone based polymers) 和含氟聚合物 (fluoropolymers)，尽管目前这些在 VUV 中不是透射的。硅氧烷基聚合物对于 60 微米厚度的膜在 250nm 具有百分之 85 的透光度。代替可用 VUV 透射粘合剂材料，颜料可以混合到例如聚氨酯的标准粘合剂。由于有适当调和的颜料 / 粘合剂体积分数，粘合剂被期望只腐蚀到下层颜料颗粒（包括粘合剂残渣）的深度而很少影响表面反射率的退化。

[0036] 在这一点上，本领域技术人员将理解 (1) 功能颜料颗粒可以束缚在衬底的上表面并且含在粘合剂材料内部的衬底的上表面，(2) 颜料颗粒可以被包含在在 VUV 中足够透明的粘合剂材料内，(3) 颜料颗粒可以被包含在在 VUV 中不透明（或者几乎不透明）的粘合剂材料内，和 (4) 其组合。

[0037] 在另一个方面，本发明的光谱选择性涂层也可以限制 IR 中的反射率，因而以类似于“冷光镜”的方式起作用。冷光镜是专门的介质镜，二向色滤光器，其反射可见光谱同时有效地传送 IR 波长。

[0038] 通常，与复合壁板涂层所需的覆盖层相比且与复合板涂层将容许的成本相比，用作光学目的的冷光镜相对小并且昂贵。该冷光镜通过堆积材料层制成，其通过光学性质和层厚度导致波前的相长和相消干扰。二向色滤光器通常不可用于与峰值雷击辐射能相关的波长（即，大约 100nm）。

[0039] 实现涂层想要的二向色功能性的一种方法是通过使用表面颗粒的分布，这些表面颗粒与 UV 波长相比相对大并且与 IR 波长相比相对小。如图 5A 所示，球状涂层颜料颗粒 10 可以悬浮在粘合剂 12 中并且在衬底 14（例如，CFRP 衬底）上方分层，从而形成光谱选择性涂层。类似地，如图 5B 所示，片状涂层颜料颗粒 16 可以悬浮在粘合剂 18 中并且在衬底 20 上方分层。该衬底能够包括碳纤维。

[0040] 根据米氏理论 (MIE theory)，根据颗粒光学性质，短波长将反向散射并且较大波长将正向散射。该颗粒材料也可以由多层堆叠制成，其中该材料是通过不同沉积过程生成，经研磨和过筛，从而产生适合的粒径分布 / 粒度分布。

[0041] 铝是选择用于被设计用于研究日光 VUV 的空间基光学传感器 (space-based optical sensors) 的普通反射材料。图 6 示出接近等离子体的非氧化铝的总光谱反射率。总光谱反射率包括横向电场 (TE) 和横向磁场 (TM) 偏振。如果朗伯扩展光源 (Lambertian extended source) 位于铝的前面，那么光子将作为波长和入射角的函数从铝反射。使用蒙特卡罗法 (Monte Carlo method) 询问该表面，从而模拟在 20000K 辐射环境中厚的铝层的净余反射率。基于光谱的 / 空间的反射率和入射光子的入射角的概率函数，该净余反射率是

0.87。

[0042] 图 7 示出夹在 20000K 闪电等离子和 CFRP 衬底之间时,铝的净余反射率随厚度的变化。铝的一个问题是其必须是大约 $10\text{ }\mu\text{m}$ (即,大约 0.5 密耳),以达到大约百分之 80 的净余反射率。因此,作为涂层颜料,铝可以需要可观的涂层厚度和重量。同样,铝可以更适合作为具有适合钝化层(铝快速氧化)的附饰膜(applique film),尽管例如铌的金属会更适合热环境。

[0043] 图 8 示出暴露于 20000K 闪电等离子具有涂层的衬底,其中涂层包括用 SiO_2 和 TiO_2 的 8 层四分之一波长片(wave stack)处理的 $1\text{ }\mu\text{m}$ 厚的铝层。该涂层子层 SiO_2 的厚度 T_{SiO_2} 可以使用等式 1 确定,如下:

$$[0044] \quad T_{\text{SiO}_2} = \frac{\lambda_{\text{peak}}}{4 \bullet n_{\text{SiO}_2}(\lambda_{\text{peak}})} \quad (\text{等式 1})$$

[0045] 并且该涂层子层 TiO_2 的厚度 T_{TiO_2} 可以使用等式 2 确定,如下:

$$[0046] \quad T_{\text{TiO}_2} = \frac{\lambda_{\text{peak}}}{4 \bullet n_{\text{TiO}_2}(\lambda_{\text{peak}})} \quad (\text{等式 2})$$

[0047] 其中 λ_{peak} 是峰值波长, $n_{\text{SiO}_2}(\lambda_{\text{peak}})$ 是作为波长函数的 SiO_2 的折射率,并且 $n_{\text{TiO}_2}(\lambda_{\text{peak}})$ 是作为波长函数的 TiO_2 的折射率。

[0048] 本领域技术人员将理解,铝层可以可替换地置于 TiO_2 层和 SiO_2 层之间。同时,本领域技术人员将理解,可以使用除了铝以外的金属。

[0049] 例如,当峰值波长是 100 纳米时,颜料颗粒层的成分和厚度可以如表格 1 所示。

[0050] 表格 1

[0051]

层	成分	厚度 (nm)
1A	二氧化钛	26
1B	二氧化硅	15
2A	二氧化钛	26
2B	二氧化硅	15
3A	二氧化钛	26
3B	二氧化硅	15
4A	二氧化钛	26
4B	二氧化硅	15
5A	二氧化钛	26
5B	二氧化硅	15
6A	二氧化钛	26
6B	二氧化硅	15
7A	二氧化钛	26
7B	二氧化硅	15
8A	二氧化钛	26
8B	二氧化硅	15
9	铝	100

[0052] 总颜料厚度可以小于大约 $1.4\ \mu\text{m}$, 并且可以提供大约百分之 96 的净余反射率。叠层 / 堆叠中层厚与真空中相比可以由折射构件的真实折射率减少。

[0053] 因此, 本发明的光谱选择性涂层提供了消除或减少由于雷击的极端辐射加热引起的材料和结构破坏的方法。在该雷击之后, 可以通过最大化 IR 波段中的热发射最小化吸热。因此, 本领域技术人员会理解本发明的光谱选择性涂层可以用于结合可利用的电导率设计, 包括导电粘合剂材料, 从而最小化或者防止由于雷击引起的面板破坏。

[0054] 此外, 本领域技术人员会理解, 参数示出具有高反射率的大约 $0.5\ \mu\text{m}$ 的光谱跃迁波长, 例如低于大约 $0.5\ \mu\text{m}$ 时大约为 0.1, 和高发射率, 例如高于大约 $0.5\ \mu\text{m}$ 时大约为 0.8, 在雷击期间和之后显著减少材料温度。

[0055] 而且, 本领域技术人员将理解通过包含尺寸适于向后散射 UV 能量但允许正向 IR 散射进入涂层的颗粒分布的涂层的研发, 可以得到选择性反射涂层。正向 IR 散射 (forward IR scattering) 导致吸收。该涂层同样将提供在 IR 波段中的高发射率, 这将有效辐射雷击后辐射能量到周围环境。通过在铝上方使用四分之一波长堆叠层叠可以得到高 UV 反射率。

[0056] 尽管本发明的用于最小化雷击影响的光谱选择性涂层及其相关方法的各个方面已经被示出并描述, 但是对于本领域技术人员根据阅读本说明书可以做出修改。本申请包

括此类修改,并且仅由权利要求的范围限制。

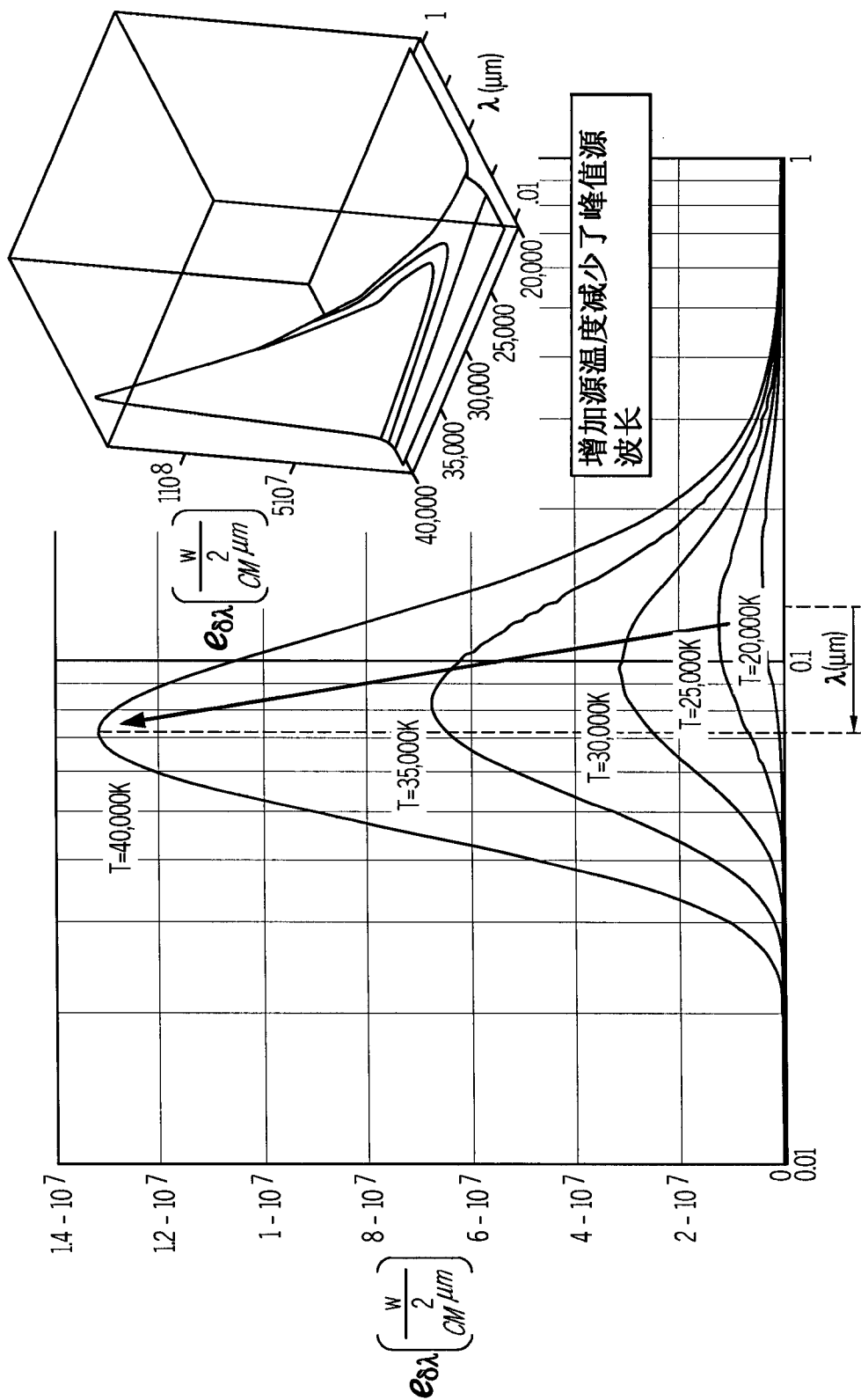


图 1

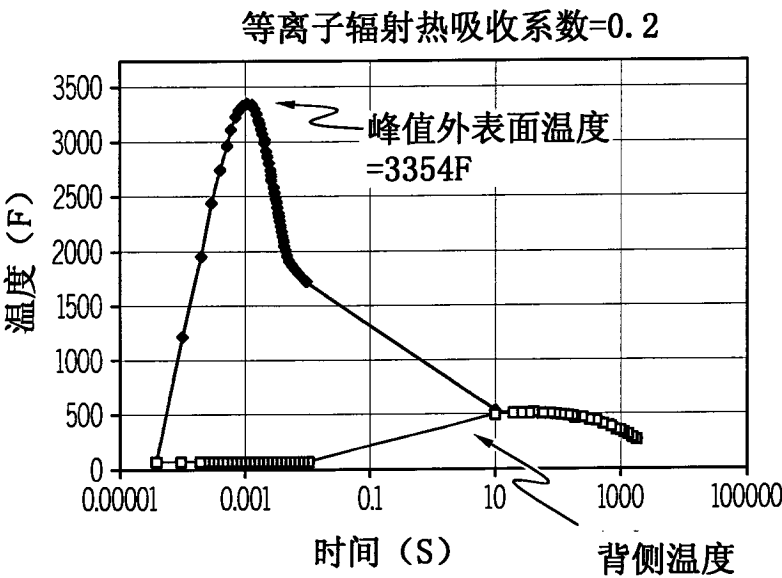


图 2A

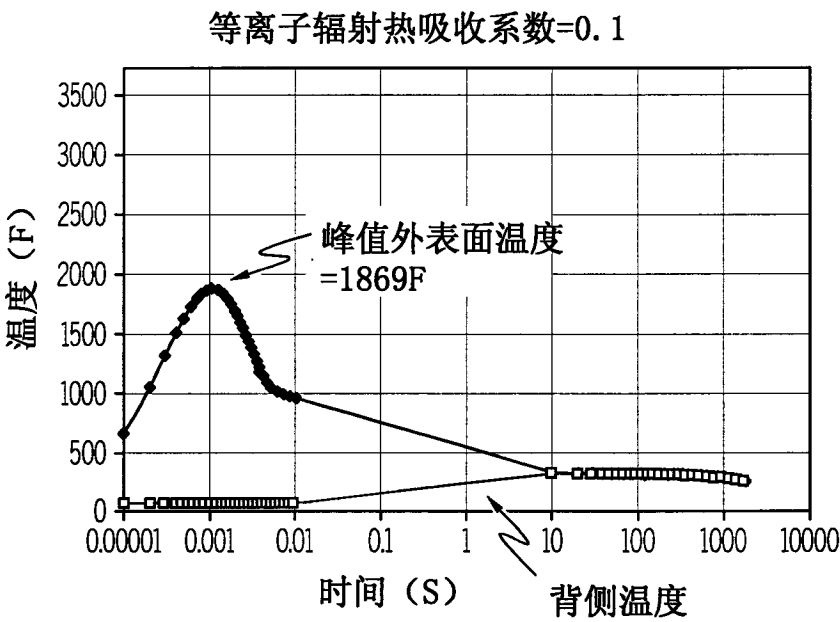


图 2B

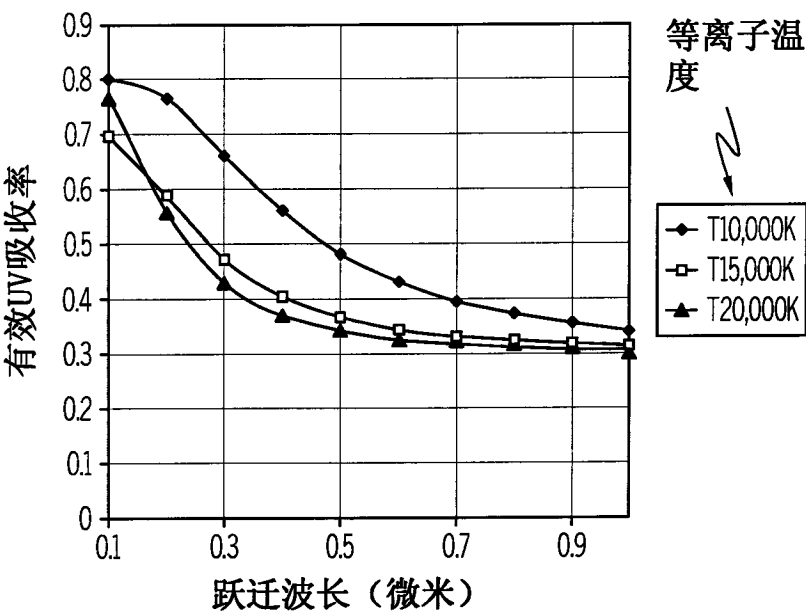


图 3A

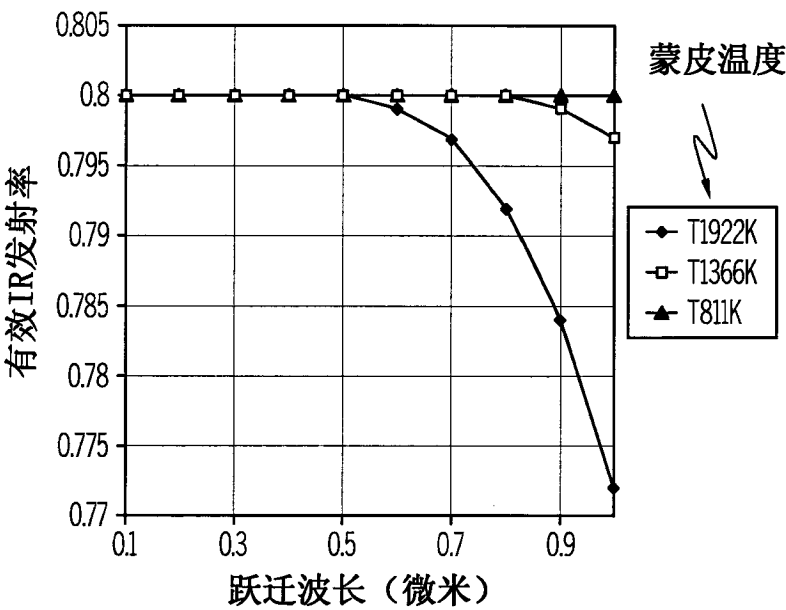


图 3B

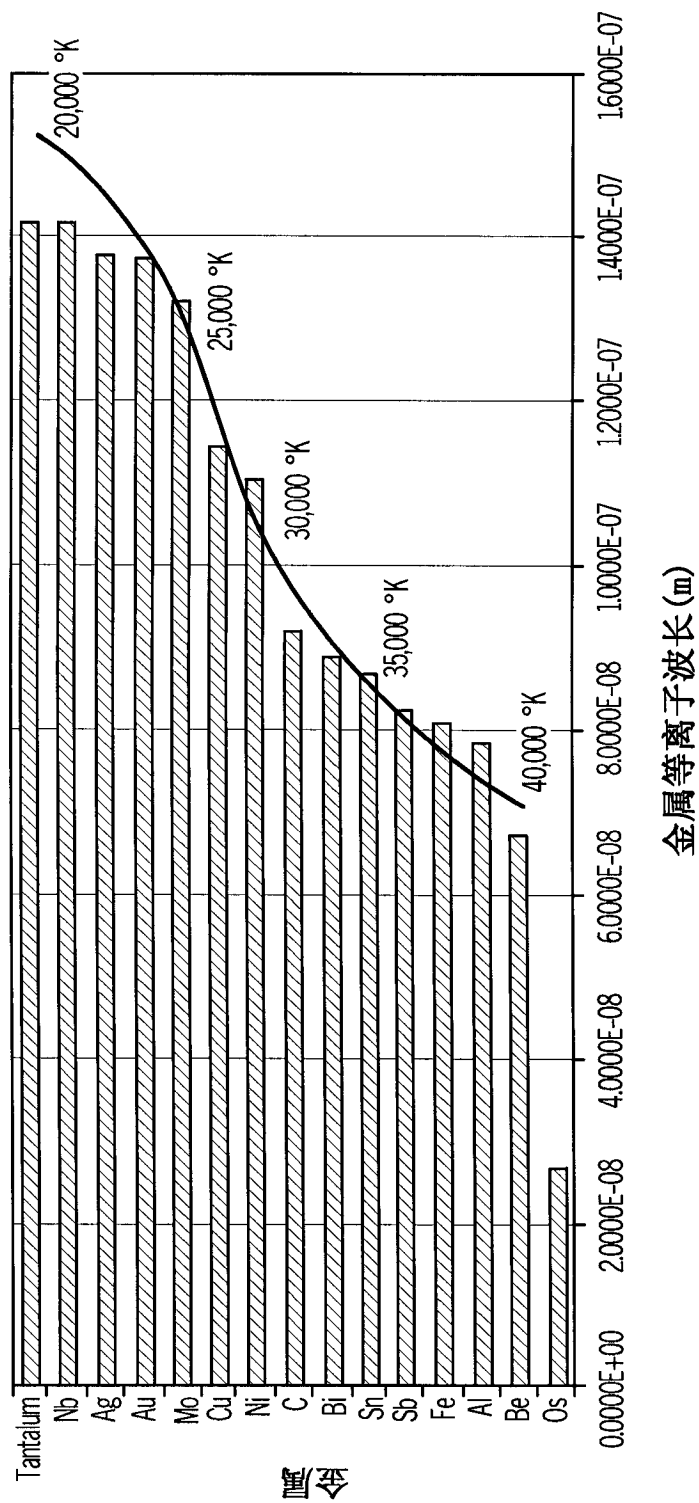


图 4

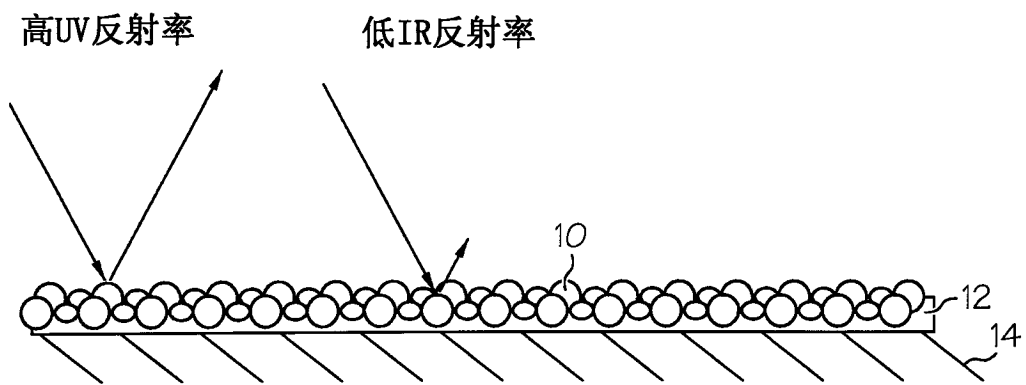


图 5A

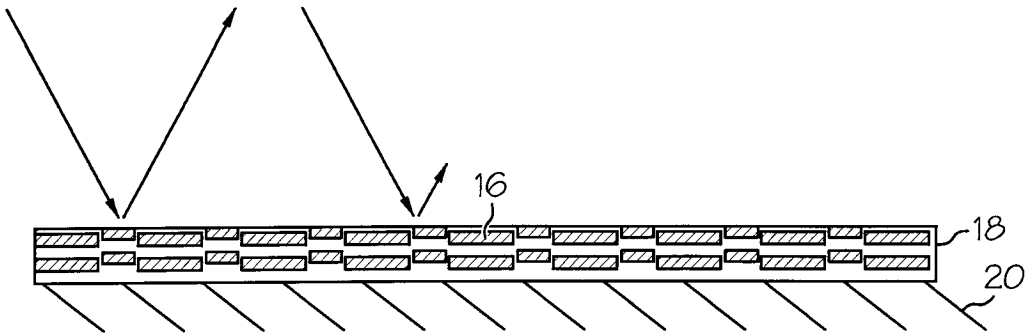


图 5B

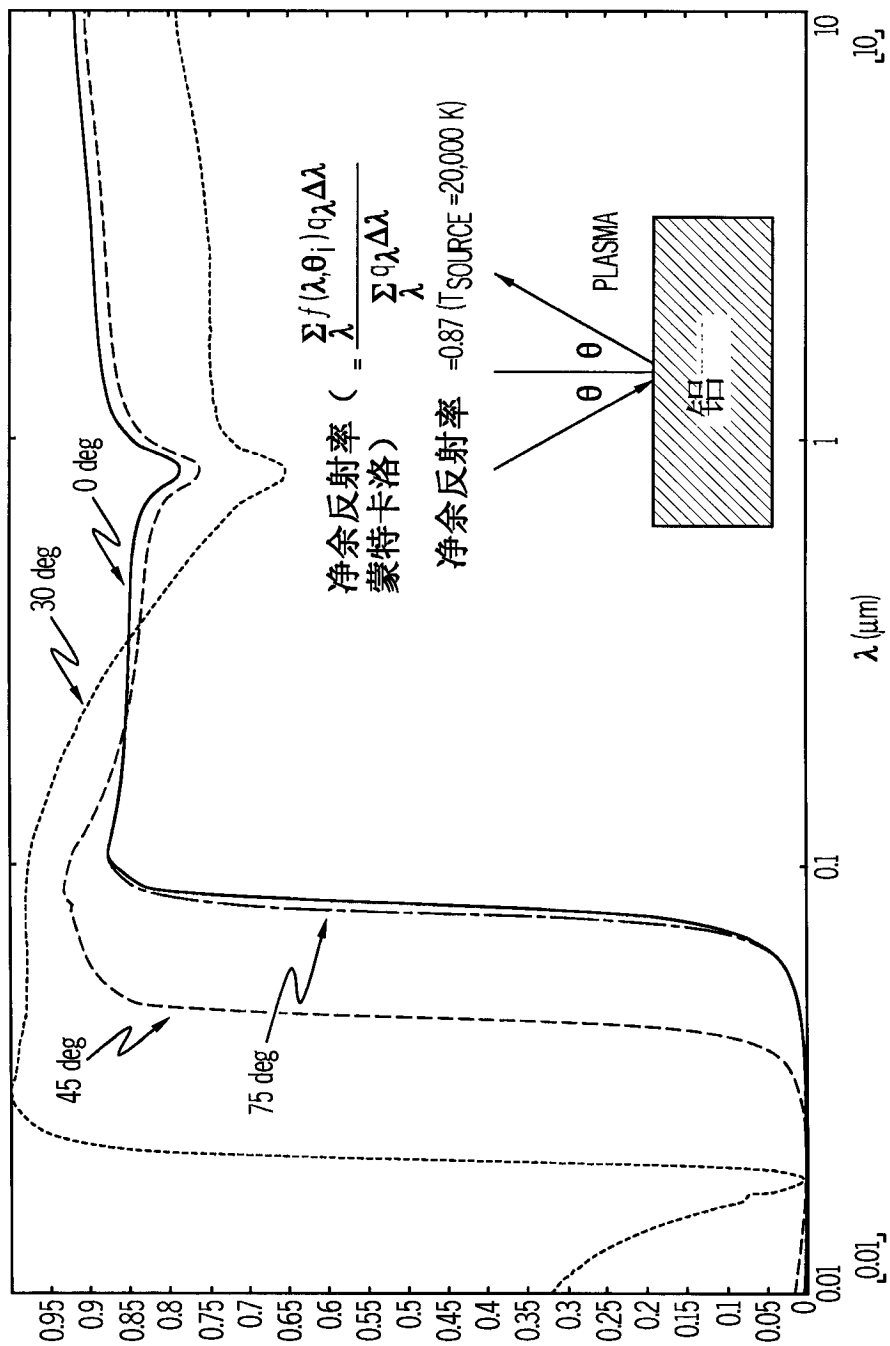


图 6

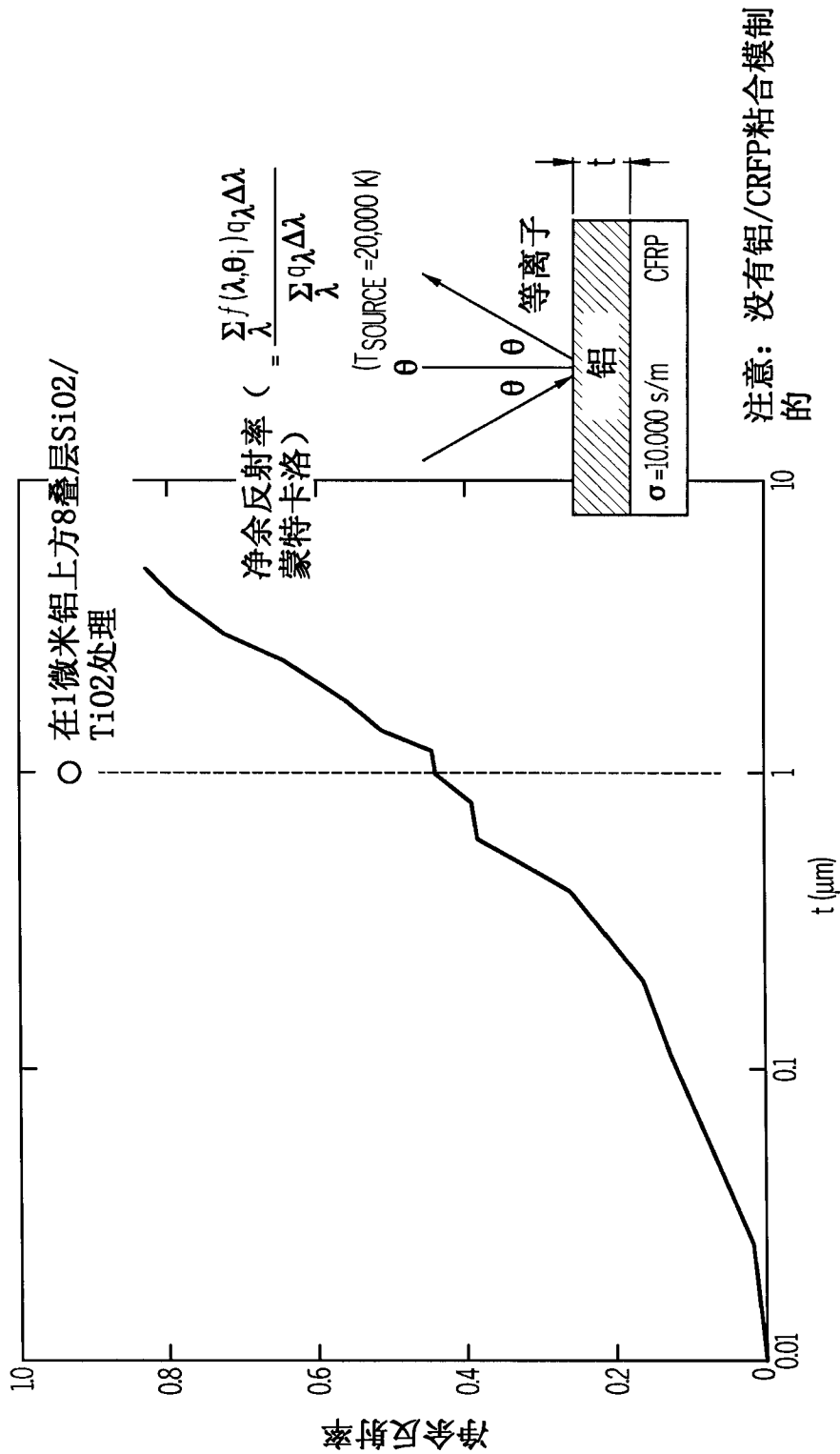


图 7

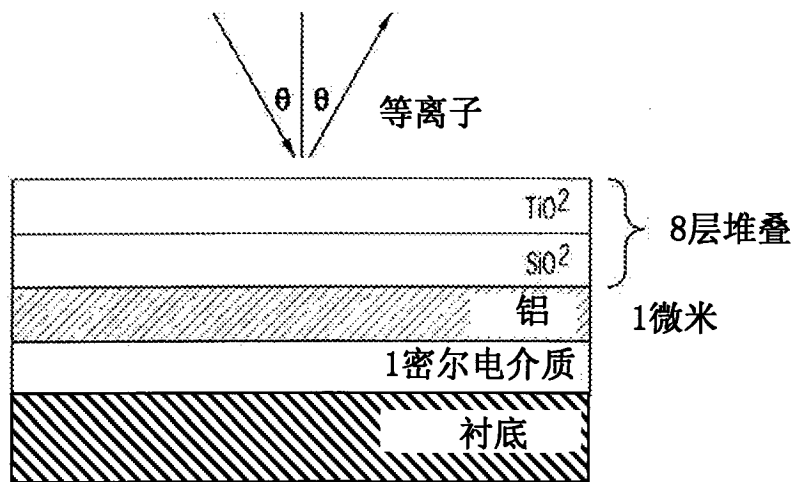


图 8