



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 107584709 B

(45)授权公告日 2020.04.03

(21)申请号 201710717275.0

(22)申请日 2012.03.28

(65)同一申请的已公布的文献号  
申请公布号 CN 107584709 A

(43)申请公布日 2018.01.16

(30)优先权数据  
13/082,469 2011.04.08 US

(62)分案原申请数据  
201280023304.9 2012.03.28

(73)专利权人 NCC纳诺责任有限公司  
地址 美国得克萨斯州

(72)发明人 K·A·施罗德 I·M·罗森  
S·C·麦克库 A·E·埃德  
R·I·达斯

(74)专利代理机构 北京市中咨律师事务所  
11247

代理人 牛南辉 杨晓光

(51)Int.Cl.  
B29C 35/08(2006.01)  
B29C 35/10(2006.01)  
B29C 71/02(2006.01)  
F26B 3/28(2006.01)  
F26B 13/10(2006.01)  
H05B 1/02(2006.01)  
H05B 3/00(2006.01)  
H05K 3/12(2006.01)

(56)对比文件  
WO 2006/015328 A2,2006.02.09,  
US 2010/0007285 A1,2010.01.14,  
审查员 熊军

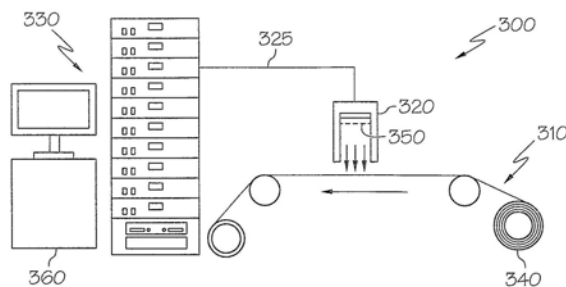
权利要求书2页 说明书7页 附图4页

(54)发明名称

以能量有效方式干燥薄膜的方法

(57)摘要

本发明涉及以能量有效方式干燥薄膜的方法。公开了一种以选择性方式最小吸收薄膜的热处理方法。两个邻近设置的吸收痕迹与薄膜热接触地被构图。脉冲的辐射源被用来加热两个吸收痕迹，薄膜通过两个吸收痕迹间的传导而被热处理。该方法可被用来制造薄膜晶体管(TFT)，其中薄膜是半导体而吸收体是TFT的源极和漏极。



1. 一种用于干燥具有位于基板上的薄膜的薄膜叠层的方法,所述方法包括:

将所述薄膜叠层传送通过闪光灯;以及

用复合光脉冲照射所述薄膜叠层以将溶剂从所述薄膜移除,其中所述复合光脉冲由来自所述闪光灯的多个微脉冲形成,其中所述复合光脉冲的总持续时间短于所述薄膜叠层的总热平衡时间,其中所述薄膜叠层的所述总热平衡时间等于所述薄膜的热平衡时间和所述基板的热平衡时间的组合,其中所述薄膜叠层的总热平衡时间是:

$$\tau = (\sqrt{\tau_1} + \sqrt{\tau_2})^2$$

其中 $\tau_1$ 和 $\tau_2$ 分别是所述薄膜和基板的热平衡时间,

$$\text{其中 } \tau_1 = \frac{c_1 \rho_1 x_1^2}{4\kappa_1}$$

其中 $c_1$ =所述薄膜的比热

$\rho_1$ =所述薄膜的质量密度

$x_1$ =所述薄膜的厚度

$\kappa_1$ =所述薄膜的导热率

$$\text{以及,其中 } \tau_2 = \frac{c_2 \rho_2 x_2^2}{4\kappa_2}$$

$C_2$ =所述基板的比热

$\rho_2$ =所述基板的质量密度

$x_2$ =所述基板的厚度

$\kappa_2$ =所述基板的导热率。

2. 如权利要求1所述的方法,其中所述传送还包括在所述复合光脉冲正被传递的时间期间,在传递方向上将所述薄膜叠层传送小于10%的所述闪光灯的照射区域的长度。

3. 如权利要求1所述的方法,其中所述薄膜叠层的所述总热平衡时间与所述基板的热平衡时间近似相同。

4. 如权利要求1所述的方法,其中所述微脉冲具有相同的定时。

5. 如权利要求1所述的方法,其中所述微脉冲具有不同的定时。

6. 如权利要求1所述的方法,其中所述微脉冲通过电压、脉冲长度、入射所述基板上任何给定区域中的微脉冲的平均数量、脉冲重复频率、微脉冲的数量和占空比而整形。

7. 如权利要求1所述的方法,其中所述基板具有小于450°C的最大加工温度。

8. 如权利要求1所述的方法,其中所述复合光脉冲的瞬时面功率密度大于相同脉冲长度的单脉冲损坏阈值。

9. 如权利要求1所述的方法,其中在处理期间在所述薄膜叠层内的位置处维持恒定温度。

10. 如权利要求1所述的方法,其中沉积到所述薄膜叠层的总能量小于加热所述薄膜叠层达到所述基板的最大加工温度所需的能量的量。

11. 一种用于热处理具有位于基板上的薄膜的薄膜叠层的设备,所述设备包括:  
闪光灯;

传送器,用于将所述薄膜叠层传送通过所述闪光灯;以及

闪光灯控制器,用于控制所述闪光灯以用复合光脉冲照射所述薄膜叠层以将溶剂从所述薄膜移除,其中所述复合光脉冲由来自所述闪光灯的多个微脉冲形成,其中所述复合光脉冲的总持续时间短于所述薄膜叠层的总热平衡时间,其中所述薄膜叠层的所述总热平衡时间等于所述薄膜的热平衡时间和所述基板的热平衡时间的组合,其中所述薄膜叠层的总热平衡时间是:

$$\tau = (\sqrt{\tau_1} + \sqrt{\tau_2})^2$$

其中 $\tau_1$ 和 $\tau_2$ 分别是所述薄膜和基板的热平衡时间,

$$\text{其中 } \tau_1 = \frac{c_1 \rho_1 x_1^2}{4\kappa_1}$$

其中 $c_1$ =所述薄膜的比热

$\rho_1$ =所述薄膜的质量密度

$x_1$ =所述薄膜的厚度

$\kappa_1$ =所述薄膜的导热率

$$\text{以及,其中 } \tau_2 = \frac{c_2 \rho_2 x_2^2}{4\kappa_2}$$

$C_2$ =所述基板的比热

$\rho_2$ =所述基板的质量密度

$x_2$ =所述基板的厚度

$\kappa_2$ =所述基板的导热率。

12.如权利要求11所述的设备,其中所述传送还包括在所述复合光脉冲正被传递的时间期间,在传递方向将所述薄膜叠层传送小于10%的所述闪光灯的照射区域的长度。

13.如权利要求11所述的设备,其所述薄膜叠层的所述总热平衡时间与所述基板的热平衡时间近似相同。

14.如权利要求11所述的设备,其中所述微脉冲具有相同的定时。

15.如权利要求11所述的设备,其中所述微脉冲具有不同的定时。

16.如权利要求11所述的设备,其中所述微脉冲通过电压、脉冲长度、入射在所述基板上任何给定区域中的微脉冲的平均数量、脉冲重复频率、微脉冲的数量和占空比而整形。

17.如权利要求11所述的设备,其中所述基板具有小于450°C的最大加工温度。

18.如权利要求11所述的设备,其中所述复合光脉冲的瞬时面功率密度大于相同脉冲长度的单脉冲损坏阈值。

19.如权利要求11所述的设备,其中在处理期间在所述薄膜叠层内的位置处维持恒定温度。

20.如权利要求11所述的设备,其中沉积到所述薄膜叠层的总能量小于加热所述薄膜叠层达到所述基板的最大加工温度所需的能量的量。

## 以能量有效方式干燥薄膜的方法

[0001] 本申请是申请日为2012年3月28日、申请号为201280023304.9、名称为“以能量有效方式干燥薄膜的方法”的专利申请的分案申请。

### 技术领域

[0002] 本申请是于2011年4月8日提交的美国专利申请13/082,469系列继续申请,其全部内容通过引用结合于此。

### 背景技术

[0003] 本发明一般涉及热处理薄膜,特别是涉及一种通过使用来自闪光灯的光脉冲而干燥薄膜的方法。

[0004] 当选择用于支撑薄膜的基板时,由于成本原因,通常更优选使用便宜基板,诸如聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)、聚碳酸酯、纤维素等而非昂贵的基板,例如硅树脂、碳氟化合物、陶瓷、玻璃等。但是,便宜的基板一般比昂贵的基板具有更低的最大加工温度,这样仅可利用相对低的温度来干燥位于便宜基板上的薄膜。

[0005] 根据阿伦尼乌斯(Arrhenius)方程,热驱动的过程,诸如干燥(即驱离溶剂)、颗粒烧结、密实化、化学反应引发、化学反应调制、相变换、晶粒生长、退火、热处理等,都涉及以指数方式的热处理。因此,干燥温度的较小减少将要求明显更长的干燥时间和更多的能量,这将转换为代价更高的干燥操作。

[0006] 因此,想要提供一种用于热处理位于便宜基板上的薄膜而不需要延长处理时间的改善的方法。

### 发明内容

[0007] 根据本发明的优选实施例,通过将薄膜叠层传送通过闪光灯热处理薄膜叠层,在处理期间薄膜叠层被来自闪光灯的复合光脉冲照射。复合光脉冲由多个微脉冲组成。复合光脉冲的持续时间短于薄膜叠层的总热平衡时间。此外,当薄膜叠层被传送通过闪光灯时,在复合光脉冲的传递期间,薄膜叠层在传送方向上移动小于10%的照射区域的长度。

[0008] 本发明的所有特点和优势将从以下详细撰写的描述中变得明显。

### 附图说明

[0009] 将参考以下结合附图阅读的说明性实施例的详细描述而最佳理解本发明本身以及优选使用模式、进一步的目的及其优势,在附图中:

[0010] 图1是薄膜叠层的图;

[0011] 图2A示出了单个光脉冲和复合光脉冲的强度和脉冲长度,每个都可被用于加热来自图1的薄膜叠层;

[0012] 图2B是示出在由来自图2A的单个光脉冲照射基板后,基板的温度对时间的图;

[0013] 图2C是示出在由来自图2A的复合光脉冲照射基板后,基板的温度对时间的图;

- [0014] 图2D是能提供两种不同的恒定处理稳定区域的复合光脉冲；  
 [0015] 图2E是示出在由来自图2D的复合光脉冲照射基板后，基板的温度对时间的图；  
 [0016] 图3是根据本发明的优选实施例用于生成来自图2A的复合光脉冲的干燥设备的图；以及  
 [0017] 图4是来自图3的干燥设备内的闪光灯控制器的框图。

### 具体实施方式

[0018] A. 薄膜叠层的热平衡时间

[0019] 材料层的热平衡时间 $\tau$ 是通过以下计算的：

$$[0020] \quad \tau = \frac{c \rho x^2}{4k}$$

[0021] 其中 $c$ =材料的比热

[0022]  $\rho$ =材料的质量密度

[0023]  $x$ =材料的厚度

[0024]  $k$ =材料的导热率

[0025] 用于具有多层厚度的不同材料的薄膜叠层的总热平衡时间 $\tau_{stack}$ 可通过下式计算：

$$[0026] \quad \tau_{stack} = \left( \sqrt{\tau_1} + \sqrt{\tau_2} + \sqrt{\tau_3} \dots \sqrt{\tau_i} \right)^2$$

[0027] 其中 $\tau_1, \tau_2, \tau_3, \dots$ 等分别是薄膜叠层的各层的每个的热平衡时间。

[0028] 尽管薄膜叠层可包括不同材料的多个层，实际上薄膜叠层通常包括用于支撑薄膜的相对较厚的基板顶部上的薄膜层。在这样的情况下，薄膜叠层的热平衡时间通常由基板决定。例如，对于在位于基板192的顶上的薄膜191组成的薄膜叠层190，如图1所示，其中薄膜191具有厚度 $x_f$ 和热平衡时间 $\tau_f$ ，而基板192具有厚度 $x_s$ 以及热平衡时间 $\tau_s$ ，当 $x_s \gg x_f$ 时，薄膜叠层190的总热平衡时间 $\tau_{stack}$ 简单地是基板192的热平衡时间 $\tau_s$ 。

[0029] 上述原理可用实际例子来解释。当基板192由聚对苯二甲酸乙二醇酯(PET)制成时，其中 $c_s = 730 \text{ J/kg-K}$ ， $\rho_s = 1.4 \text{ g/cm}^3$ ， $x_s = 150 \text{ 微米}$ 且 $k_s = 0.24 \text{ W/m-K}$ ，而薄膜191由银制成，其中 $c_f = 235 \text{ J/kg-K}$ ， $\rho_f = 1.05 \text{ g/cm}^3$ ， $x_f = 1 \text{ 微米}$ 且 $k_f = 420 \text{ W/m-K}$ ，基板192的热平衡时间( $\tau_s$ )和薄膜191的热平衡时间( $\tau_f$ )分别是 $24 \text{ ms}$ 和 $1.5 \times 10^{-6} \text{ ms}$ 。因此，当 $x_s \gg x_f$ 时，薄膜叠层191的热平衡时间几乎难以与基板192分辨。

[0030] B. 薄膜叠层的热处理

[0031] 当热处理基板192上的薄膜191时，整个薄膜叠层190可被加热到基板192的最大加工温度以最小化热处理时间。重要地，当基板被快速加热和快速冷却时，甚至可能将基板192上的薄膜191加热到远超过基板192的最大加工温度，而不损坏基板192。

[0032] 为了实现用于基板192的非常快速的冷却速度和非常短的加热时间，图2A中示出的具有时长 $t_p$ 的单个光脉冲201可被用来加热薄膜191和基板192到温度 $T_{peak}$ 。温度 $T_{peak}$ 可以高于基板192的最大加工温度 $T_{max}$ ，如图2B所示，因为基板192的邻近薄膜191的一侧仅以非常短的时间处于温度 $T_{peak}$ ，这样基板192没有机会来显著改变其特性。此外，薄膜191通过到导体192的传导而被快速冷却。

[0033] 结合薄膜191和基板192的物理特性和尺寸，薄膜叠层190的加热时间和冷却速率

都由光脉冲的热分布确定(即,光脉冲的形状)。

[0034] 根据本发明的优选实施例,图2A的光脉冲201可以复合光脉冲202的形式被传递给基板192。复合光脉冲202由多个光脉冲组成。当使用具有正确的热分布的复合光脉冲202时,基板192可被加热到远超过其最大加工温度的温度,以便实现最短干燥时间。当干燥薄膜叠层190时,复合光脉冲202的脉冲长度优选地短于薄膜叠层190的热平衡时间 $\tau_{stack}$ 。

[0035] 如图2A所示,复合光脉冲202包括多个微脉冲,以允许薄膜叠层中的温度分布,诸如来自图1的薄膜叠层190,被定制用于最佳固化。以最简单的形式,复合光脉冲202包括均匀的微脉冲。在这种情况下,复合光脉冲202可以被六个不同的参数整形:i.强度(电压);ii.复合脉冲长度;iii.入射在薄膜叠层的任何给定区域中的基板上的复合脉冲的平均数量;iv.脉冲重复频率;v.微脉冲的数量;以及vi.微脉冲的占空比。当使用不均匀微脉冲时,每个单个微脉冲的脉冲长度和延迟可被制定。

[0036] 当加热时间非常短且冷却速率非常快时,利用具有最大加工温度 $T_{max}$ 的基板192,位于基板192上的薄膜191可被来自图2A的复合光脉冲202加热到温度 $T_{peak}$ 。如图2C所示,当基板192表面的温度短暂达到 $T_{peak}$ 时,且基板192表面处的温度快速拉平到小于最大加工温度 $T_{max}$ 。而且,在被复合光脉冲加热后,基板192快速达到热平衡。

[0037] 用于处理薄膜的最优复合光脉冲的参数可被实验地确定。首先,来自单个光脉冲的在薄膜叠层上的损坏阈值是通过选择比薄膜叠层的热平衡时间更短的脉冲长度以及将薄膜叠层暴露给一系列增加面功率密度的单个光脉冲直到观测到薄膜叠层的一些损坏而确定的。用于该单个光脉冲长度的最佳热处理通常是略小于损坏阈值功率的功率。由于损坏机制通常是热驱动的,即与沉积的能量的量有关,更短的脉冲长度通常具有更高的面功率密度阈值。此外,当薄膜吸收光时,更短的脉冲长度通常优选地加热基板之上的薄膜,这提高处理的能量效率。但是,在干燥处理或产生气体的任何处理器的情况下,损坏阈值也与气体可逃离而不引起薄膜叠层中的局部“爆炸”的速率有关。因此,基本上还存在与脉冲长度无关的最大面功率密度,这是指有效的热处理不能通过简单地持续减少脉冲长度而实现。

[0038] 当上述单个光脉冲被转换为相同的总脉冲长度的一阵较短脉冲时(即,微脉冲),在沉积足够的能量来处理薄膜的同时,可实现非常短的脉冲的能量效率。该处理可通过超过单个脉冲损坏阈值的瞬间功率(例如,微脉冲期间的功率)进行,而不损坏薄膜叠层。

[0039] 用于热处理的复合光脉冲的优化可通过使用软件模拟而被进一步改善,诸如,来自德克萨斯州的NovaCentrix of Austin的SimPulse™,以模拟由于暴露给复合光脉冲的薄膜叠层的热响应。通过输入薄膜叠层中每个层的热物理特定以及从闪光灯的输出,在暴露给复合脉冲期间或之后,模拟软件可提供在薄膜叠层内的每个位置处的温度。当这个完成时,对薄膜叠层的损坏可揭示引起损坏的物理机制。这允许人们设计最佳复合脉冲以避免特定损坏机制。例如,当损坏机制是薄膜叠层内的温度限制时,诸如基板的气化温度,可以接近该特定温度但不超过该特定温度地处理薄膜。类似地,当干燥具有多种溶剂的膜时,每种溶剂可在特定温度沸腾。因此,该薄膜的最佳处理可包括具有多个恒定温度处理区域的复合脉冲,在该恒定温度处理区域中干燥首先在较低的恒定温度下执行以蒸发更多的挥发性溶剂,接下来时以较高的恒定温度处理以蒸发相对不易挥发的溶剂。

[0040] 尽管可以以比基板的最大加工温度明显更高的温度以及比薄膜叠层的热平衡时

间更短的时间来处理薄膜,在热平衡后薄膜叠层达到的温度仍然需要低于基板的最大加工温度,否则会出现损坏。因此,到薄膜叠层的总能量不能超过将薄膜叠层加热到基板的最大加工温度所需的总能量。该数量可通过计算薄膜叠层的总焓(包括薄膜中的任何溶剂的任意汽化热),来确定。

[0041] 复合光脉冲也可提供薄膜叠层上的两个不同的恒定处理温度区域。例如,如图2D所示,复合光脉冲包括能提供两个不同的处理温度区域的多个微脉冲,且复合光脉冲的定时(timing)(用 $\mu\text{s}$ 表示)在表1中列出。

[0042] 表1

打开	关断
0	87
193	238
473	508
763	793
1063	1093
1276	1341
1536	1581
1816	1856

[0044] 图2E示出了在基板已被来自图2D的复合光脉冲照射后,基板温度对时间。

[0045] C. 用于干燥薄膜叠层上的薄膜的设备

[0046] 现在参考图3,示出了根据本发明的一个优选实施例的用于干燥薄膜的设备的图。如图所示,干燥设备300包括传送系统310、闪光灯控制器330和具有闪光灯350的闪光灯头320。低电感缆325被连接在闪光灯控制器330与闪光灯头320之间。传送系统310将薄膜叠层340移动通过闪光灯头320,而闪光灯控制器330使用脉冲宽度调制(PWM)提供整形的电流脉冲给闪光灯350,以便整形的脉冲被同步化为传送系统310上的薄膜叠层340的传送速度。优选地,闪光灯350是填充有诸如氙、氩或氙的气体的密封的闪光灯。闪光灯350也可以是水壁闪光灯,有时候被称为定向等离子体弧(DPA)灯。

[0047] 闪光灯控制器330包括控制计算机360。控制计算机360优选地包括处理单元、诸如键盘、鼠标、触摸屏等的输入装置、诸如监视器的输出装置,如本领域技术人员所公知的。

[0048] 为了脉宽调制给定长时的脉冲串,每个单个脉冲需要相对较短,以便提供脉冲整形。而且,脉冲需要比提供单个脉冲的源更强,因为其在一部分时间内不被打开。因此,干燥设备300需要能提供短至10微秒的脉冲长度,具有超过 $100\text{kW}/\text{cm}^2$ 的峰功率。此外,用于脉冲的PWM频率可以快到50kHz。

[0049] 从闪光灯350发射的光脉冲的形状以及薄膜和基板的物理特性和尺寸可影响热梯度和随后的温度,在该温度薄膜可被干燥同时不损坏基板。因此,干燥设备300也包括用于搜集来自干燥设备300的不同部分以及该膜叠层340上的膜和基板的各种信息的多个传感器(未示出)。来自各个传感器的搜集的信息和用户输入被馈送回计算机控制系统360,其中可重新计算热分布。使用重新计算的热分布,闪光灯控制器330通过闪光灯350控制将被传递给薄膜叠层340的光的波形,同时薄膜叠层340在闪光灯350之下传送。

[0050] 现在参考图4,示出了闪光灯控制器330的框图。如图所示,闪光灯控制器330包括

编码器510、任意波形生成器520、热模拟器525和控制计算机360。用户首先将薄膜叠层特性540和希望的处理水平550输入到闪光灯控制器330。在接收来自传送系统310(来自图3)的诸如传送速度的输入和额外的系统限制570之后,编码器510提供触发信号给计算机,该计算机在合适的时间发送信号到任意的波形生成器520,以固化位于传送系统310上的薄膜。利用触发信号,基于用户输入540和550,任意波形生成器520能生产各种形状和定时的波形。任意波形生成器520发送波形信号给闪光灯驱动器530,其放大波形信号以驱动闪光灯350(来自图3)。

[0051] 当干燥设备300时,反馈信息允许参数(诸如脉冲能量、脉冲持续时间等)的持续和实时调整。所有上述参数可在具有0.1%的分辨率的毫秒时间框架(frame)内在软件和/或硬件控制下被改变。

[0052] 当薄膜叠层340正在移动且闪光灯脉冲频率被同步化到传送速度时,频率由下式给出:

$$f = \frac{1.67 \times S \times O}{W}$$

[0054] 其中f=闪光灯复合脉冲速率[Hz]

[0055] S=传送速度[m/min]

[0056] O=覆盖因子(即,在任意给定点由基板接收的复合脉冲的平均数量)

[0057] W=传送方向上的闪光灯350的宽度[cm]

[0058] 例如,利用100m/min的传送速度、4的覆盖因子和7cm的固化头宽度,频闪的脉冲率是95.4Hz。对于更快的传送速度,这种关系可通过增加闪光灯450的宽度或增加额外的闪光灯而满足。

[0059] 为了达到比被闪光灯350照射的区域更大的基板区域中的均匀固化,要求闪光灯350将复合光脉冲的传递与基板的传动同步。但是,如果传递速度快到以致基板在复合光脉冲的传递期间明显移动,则基板上的均匀固化是不可能的。

[0060] 根据本发明的优选实施例,如果在复合光脉冲的传递期间薄膜叠层340移动少于传送方向上闪光灯350的宽度的10%,在移动基板上的均匀固化可在薄膜叠层340的任意长距离内获得。在等式中被如下表示:

$$t < 60 \times W/S$$

[0062] 其中

[0063] t=复合脉冲的长度[ms]

[0064] W=传送方向上的闪光灯350的宽度[cm]

[0065] S=传送速度[m/min]

[0066] 表II示出了用于均匀固化复合脉冲[ms]的最大脉冲长度对传送速度以及传送速度方向上的光脉冲的宽度。用微秒表示的时间,复合脉冲必须短于该时间以获得传送方向上的均匀处理。

[0067] 表II



速度[m/min]	光脉冲宽度		
	7 厘米	14 厘米	28 厘米
<b>1</b>	<b>420</b>	<b>840</b>	<b>1,680</b>
<b>10</b>	<b>42</b>	<b>84</b>	<b>168</b>
<b>100</b>	<b>4.2</b>	<b>8.4</b>	<b>16.8</b>
<b>1,000</b>	<b>0.42</b>	<b>0.84</b>	<b>1.68</b>

[0069] 例子1:干燥和烧结PET上的纳米银墨

[0070] 制备了在PET上的纳米银墨的两个样本,每个样本是在在150微米厚的PET基板上印刷的1微米厚的纳米银薄膜。第一样本在150°C的炉子中被干燥5分钟,以驱离溶剂并在10m/min的网速(webspeed)被以4的覆盖因子暴露给1.6kW/cm<sup>2</sup>的时长1ms的单个光脉冲,总6.4J/cm<sup>2</sup>的能量被沉积在基板上以烧结银,每个单脉冲的传递沉积1.6J/cm<sup>2</sup>的能量。

[0071] 没有在炉中被干燥,第二样本被暴露给1ms长的复合光脉冲,其由6个具有不同长度和延迟的不同微脉冲组成,且复合光脉冲的定时(以μms表示)在表III中示出。

[0072] 表III

	开启	关断
	<b>0</b>	<b>100</b>
	<b>289</b>	<b>374</b>
	<b>439</b>	<b>474</b>
	<b>604</b>	<b>644</b>
	<b>789</b>	<b>829</b>
	<b>999</b>	<b>1,037</b>

[0075] 光脉冲的强度被增加到4.7kW/cm<sup>2</sup>,以便沉积的总能量的量与第一样本相同。材料以10m/min的网速和4的重叠因子被处理,每个光脉冲沉积1.6J/cm<sup>2</sup>,总的6.4×1.6J/cm<sup>2</sup>被沉积在基板上以便以单道次干燥或烧结银。

[0076] 这种类型的处理的含义在于利用比常规炉更少的总能量可以完成更多的处理。在常规炉处理中,整个基板,其周围的空气和围绕处理区域的常规炉必须被加热以处理薄膜。

[0077] 薄膜处以及单个脉冲忽略溶剂蒸发所吸收的焓的基板的背面的热响应与图2B中示出的曲线类似。来自薄膜处和基板背面处的复合光脉冲的热响应与图2C示出的曲线类似。对图2B和图2C的曲线的对比示出了与单个光脉冲相比,采用复合光脉冲薄膜在升高温度下的时间量明显更多。特别地,薄膜处于大约800°C的时间(参见图2C)几乎是单个光脉冲时(参见图2B)的2倍。由于两个情况都使用相同的辐射曝光量,对于沉积的相同能量的量,这将转化为更多的热处理。总之,可用更少的能量达到相同的热处理量。

[0078] 注意这与持续的小的、快速的光脉冲具有非常不同的效果。在该情况下,加热时标将大于薄膜叠层的热平衡时标,且与常规炉的加热的类似。因此,表面不会在不损坏薄膜叠层的情况下达到在本发明中实现的峰值温度。因此,将具有比本发明更低的处理速率。

[0079] 此外,复合光脉冲具有热处理中的另一个显著优势,其释出( evolve) 气体,具有干燥或气体释出化学反应。由于复合光脉冲包括多个微脉冲,被干燥的薄膜被允许“呼吸”,即,在微脉冲之间释放气体。该反应阻止了在薄膜中积聚气体,否则薄膜会经历由于快速膨胀的气体而导致的内聚破坏( cohesive failure)。

[0080] 实例2:解决溶剂蒸发的多温度区域处理

[0081] 脉冲分布的可调谐性对于干燥薄膜特别有用,其中多个不同的处理可以单道次执行。简而言之,含有溶剂的薄膜不能像已经被干燥的薄膜那样被快速地加热。即,当溶剂在薄膜中时,高功率将快速扩张溶剂并使薄膜“爆炸”,导致内聚破坏。理想地,首先期望在较低功率移除溶剂,直到溶剂被移除,接下来是更高功率的曝光以执行额外的热处理,诸如烧结。图2D示出了实例1的对于复合脉冲的薄膜和基板的代表性热响应分布,其中第一部分的脉冲以第一个1.2ms将薄膜表面的温度维持在大约700℃,接下来为更高的功率曝光,以便在剩余的0.5ms将薄膜的温度维持在1000℃。在该实例中,溶剂蒸发在较低功率处理区域中发生,且烧结在较高温度处理区域中发生。因此与其中材料在具有不同温度的不同区或区域的炉中传送的传统区域处理不同,本发明允许及时执行相同类型的处理,因此被称为“时间区域处理”。

[0082] 相同的原理可被应用到含有多种溶剂的薄膜中,其中多个加热区域可被形成以便以挥发性递减的顺序蒸发每种溶剂。在实例1的系统中,脉冲分布可通过考虑当被暴露给6.4J/cm<sup>2</sup>时主要的溶剂成分、银墨颜料和基板的总焓变化而被计算,假设系统是完美吸收的且没有能量损失在周围环境中,发现仅需要4.4J/cm<sup>2</sup>以加热并蒸发溶剂。剩余的银金属非常快速地加热到大约1000℃,这要求0.15J/cm<sup>2</sup>的总焓变化。在脉冲之间的时间期间,能量泄露到基板使得其上升到约146℃,要求1.85J/cm<sup>2</sup>的焓变化。要求的总能量是大约6.4J/cm<sup>2</sup>。

[0083] 实例3:通过调制气体生成而防止薄膜中的内聚破坏

[0084] 配制含水的铜前体墨,其包括在含有乙二醇和丙三醇的基液中的10.0重量%的氧化铜(II)、4.5重量%的醋酸铜(II)。使用爱普生Stylus C88喷墨打印机在125微米厚的PET片上打印出痕迹。一旦用闪光灯固化,氧化铜和醋酸铜被乙二醇和丙三醇还原以形成导电的铜金属膜。该还原过程产生适度量的气体。

[0085] 使用本发明的方法和设备利用以下条件来固化印刷的薄膜:电压250V,复合光脉冲持续时长=1050微秒,具有0.6的占空比的4个微脉冲(即,每个微脉冲是175微秒长,脉冲间具有117μs的延迟),覆盖因子=3,网速=6.4m/min。样本产量是100%,具有3.7Ω/□的平均薄层电阻。

[0086] 当用相同的设备但仅用单个脉冲固化相同的痕迹时,气体释出造成痕迹的内聚破坏,这导致仅64%的样本产量。平均薄膜电阻为5.2Ω/□。改变任何输入变量导致更少的导电或更差的痕迹产量。

[0087] 如上所述,本发明提供了一种热处理移动基板上的薄膜的方法。本发明允许薄膜在升高的温度下比现有技术停留明显更长的时长。这是通过以相同的总时间量使用相同量的辐射能量而完成的,因此基板没有发生损坏。

[0088] 尽管参考优选实施例特别示出和描述了本发明,本领域技术人员将理解可做出各种形式和细节上的变化,而不脱离本发明的精神和范围。

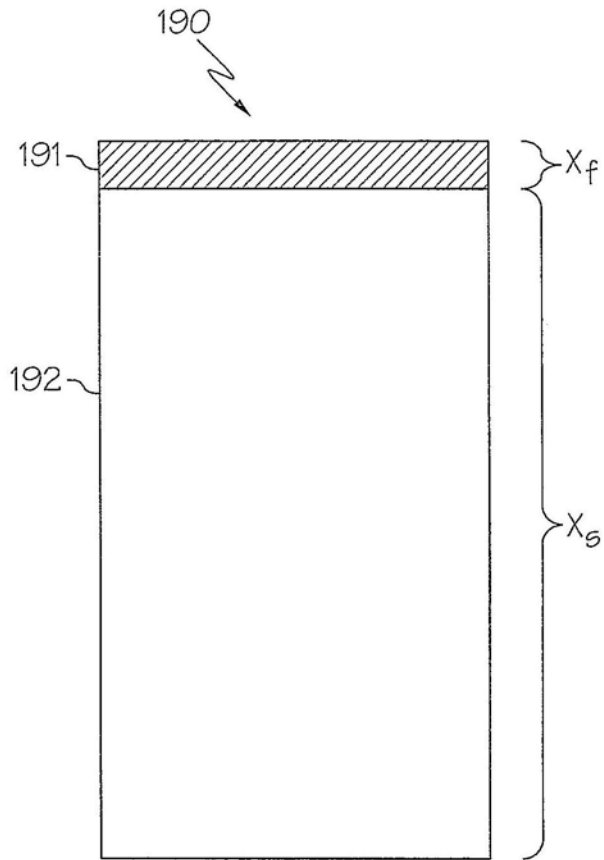


图1

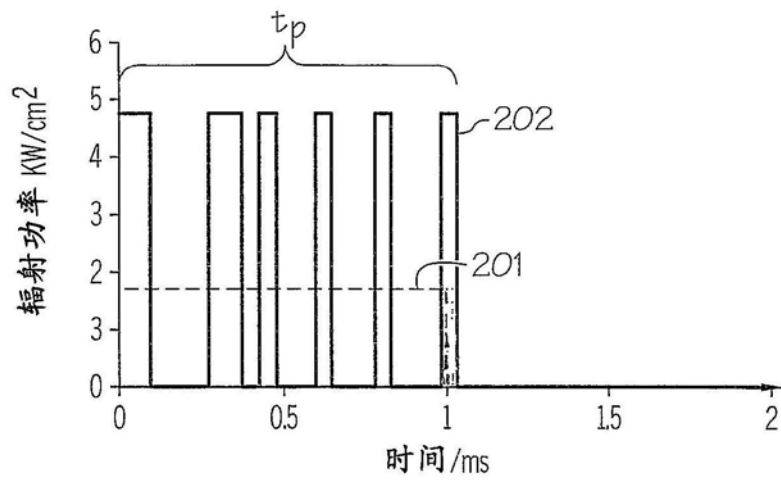


图2A

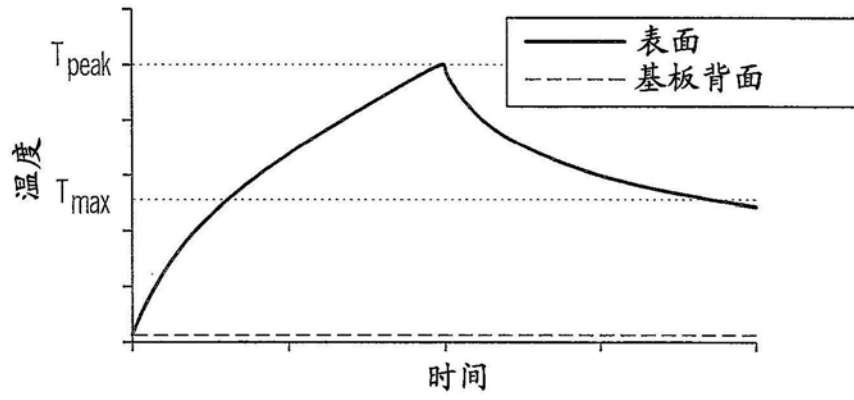


图2B

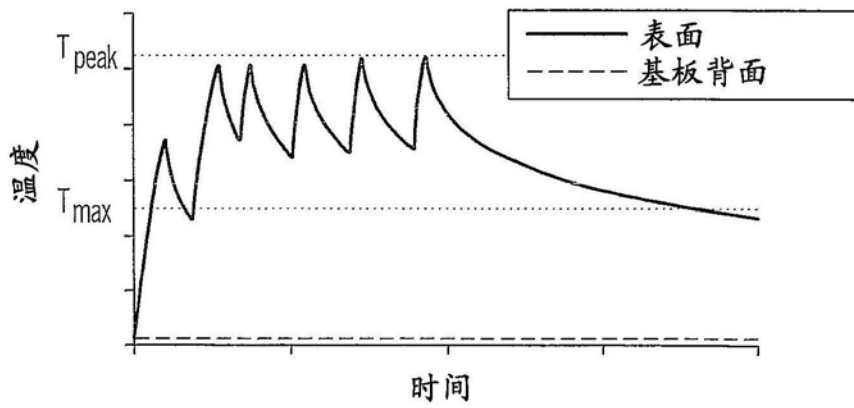


图2C

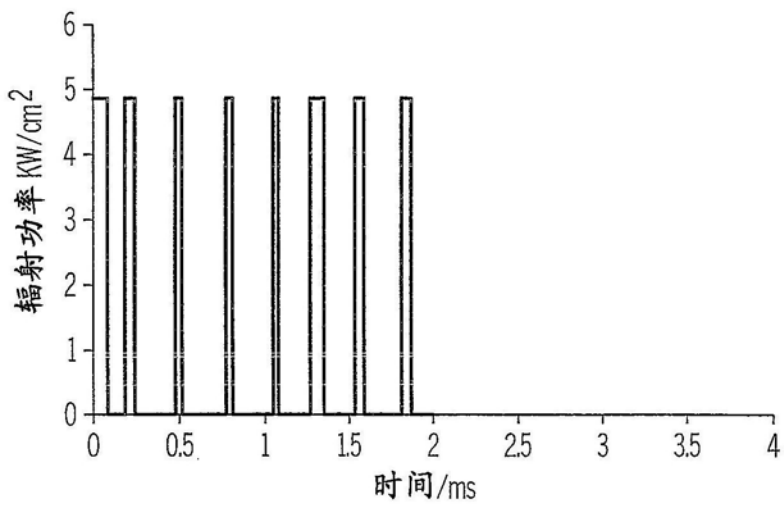


图2D

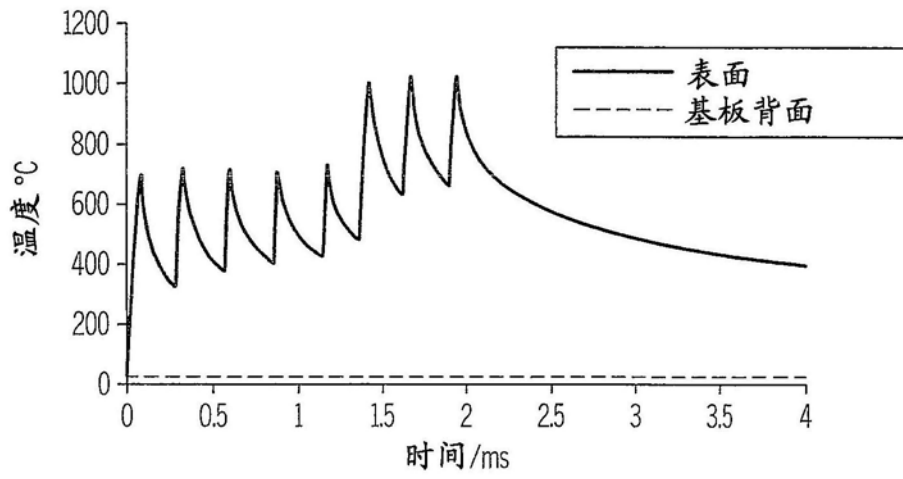


图2E

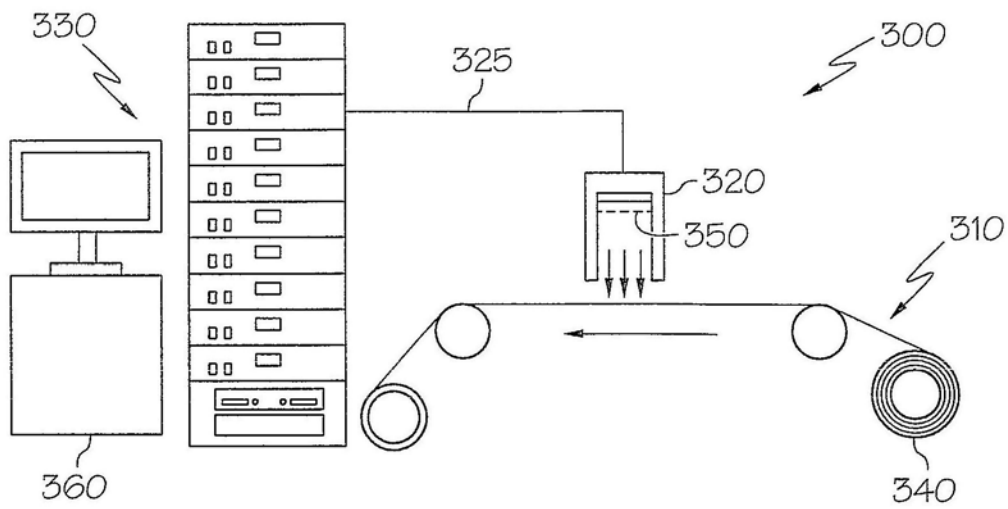


图3

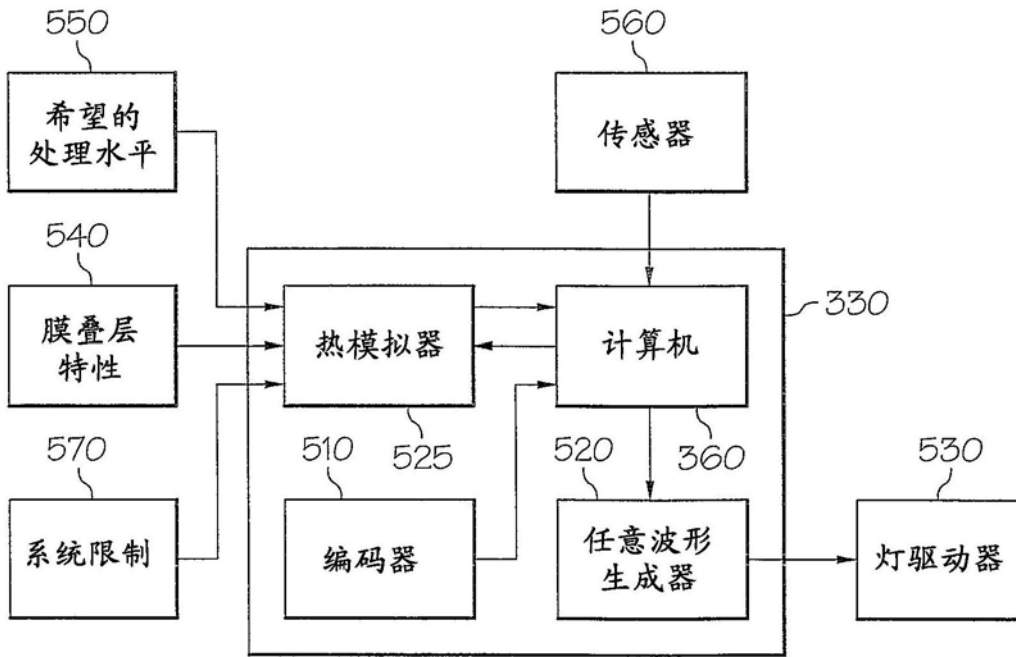


图4