



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년04월25일  
(11) 등록번호 10-1852024  
(24) 등록일자 2018년04월19일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 21/302 (2006.01) F26B 3/347 (2006.01)  
(21) 출원번호 10-2013-7029615  
(22) 출원일자(국제) 2013년03월28일  
심사청구일자 2016년09월20일  
(85) 번역문제출일자 2013년11월07일  
(65) 공개번호 10-2014-0034184  
(43) 공개일자 2014년03월19일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2012/030845  
(87) 국제공개번호 WO 2012/138516  
국제공개일자 2012년10월11일  
(30) 우선권주장  
13/082,469 2011년04월08일 미국(US)  
(56) 선행기술조사문헌  
US20100007285 A1\*  
(뒷면에 계속)

(73) 특허권자  
엔씨씨 나노, 엘엘씨  
미국 텍사스주 78728 오스틴 파커 드라이브 400 스위트 1110  
(72) 발명자  
슈로더, 쿠르트, 에이.  
미국 78615 텍사스 커플랜드 플라저 버크먼 레인 13501  
라우손, 란, 엠.  
미국 78751 텍사스 오스틴 제니아 스트리트 에이. 501  
(뒷면에 계속)  
(74) 대리인  
특허법인 남앤드남

전체 청구항 수 : 총 22 항

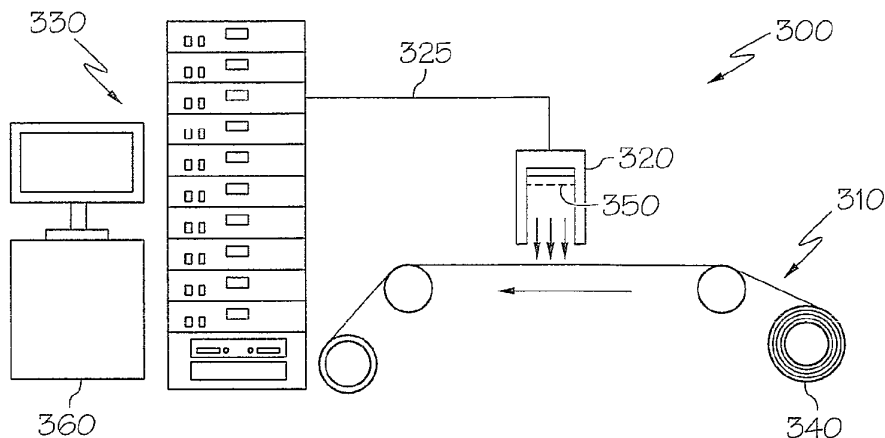
심사관 : 계원호

(54) 발명의 명칭 에너지 효율적인 방식으로 박막들을 건조하는 방법

(57) 요약

공칭적으로 흡수성인 박막을 선택적인 방식으로 열적으로 처리하는 방법이 개시된다. 2개의 근접하게 이격된 흡수성 트레이스들이 박막과 열 접촉하여 패터닝된다. 펄스형 복사 소스가 2개의 흡수성 트레이스들을 가열하는데 사용되고, 박막이 2개의 흡수성 트레이스들 간의 전도를 통해 열적으로 처리된다. 이러한 방법은, 박막이 반도체이고 흡수체들이 TFT의 소스 및 드레인인 박막 트랜지스터(TFT)를 제조하는데 활용될 수 있다.

대표도 - 도3



(72) 발명자

**맥쿨, 스티븐, 씨.**

미국 78728 텍사스 오스틴 도리아 드라이브 14971

**애드, 앤드류, 이.**

미국 78727 텍사스 오스틴 웨스트 파머 레인 3401  
#1312

**다스, 로날드, 아이.**

미국 78753 텍사스 오스틴 이스트 윈슬리 615 #213

(56) 선행기술조사문헌

JP2009277759 A\*

JP2009099758 A

W02006015328 A2

US20090305483 A1

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기관 상에 위치된 박막을 갖는 박막 스택을 건조하는 방법으로서,  
 상기 박막 스택을 플래시램프를 지나 이송하는 단계 - 상기 기관은 상기 박막보다 더 두꺼움 -;  
 특정 열적 프로파일(profile)에 따라 복수의 마이크로펄스들의 펄스 폭들을 변경함으로써 특정 파형을 생성하는 단계 - 상기 특정 열적 프로파일은 상기 박막 및 상기 기관의 스택 특성들에 따라 설계됨 -; 및  
 상기 박막으로부터 용매를 제거하기 위해 상기 박막 스택을 합성 광 펄스로 조사하는 단계를 포함하고,  
 상기 합성 광 펄스는 상기 박막 및 상기 기관을 상기 기관의 최대 작동 온도보다 높은 온도까지 가열하기 위해, 상기 특정 파형의 형태 및 타이밍에 따라 총 시간 지속기간( $t_p$ )을 갖는, 상기 플래시램프로부터의 복수의 마이크로펄스들에 의해 형성되고,  
 상기 합성 광 펄스의 총 시간 지속기간은 상기 박막 스택의 총 열 평형 시간보다 더 짧고,  
 상기 박막 스택의 총 열 평형 시간은 상기 박막의 열 평형 시간과 상기 기관의 열 평형 시간의 조합인,  
 박막 스택을 건조하는 방법.

#### 청구항 2

제 1 항에 있어서,  
 상기 이송하는 단계는, 상기 합성 광 펄스가 전달되고 있는 시간 동안 상기 박막 스택을 이송 방향으로 상기 플래시램프의 조사 영역의 길이의 10% 미만으로 이송하는 단계를 더 포함하는, 박막 스택을 건조하는 방법.

#### 청구항 3

제 1 항에 있어서,  
 상기 박막 스택의 상기 총 열 평형 시간은,

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

이며, 여기서,  $\tau_1$  및  $\tau_2$ 는, 각각, 상기 박막 및 기관의 열 평형 시간인, 박막 스택을 건조하는 방법.

#### 청구항 4

제 1 항에 있어서,  
 상기 박막 스택의 상기 총 열 평형 시간은 상기 기관의 열 평형 시간과 동일한, 박막 스택을 건조하는 방법.

#### 청구항 5

제 1 항에 있어서,  
 상기 마이크로펄스들은 동일한 타이밍들을 갖는, 박막 스택을 건조하는 방법.

#### 청구항 6

제 1 항에 있어서,  
 상기 마이크로펄스들은 상이한 타이밍들을 갖는, 박막 스택을 건조하는 방법.

**청구항 7**

제 1 항에 있어서,

상기 마이크로펄스들은 전압, 펄스 길이, 임의의 주어진 영역에서 상기 기관에 침입하는 마이크로펄스들의 평균 개수, 펄스 반복 주파수, 마이크로펄스들의 수, 및 듀티 사이클에 의해 형성화되는, 박막 스택을 건조하는 방법.

**청구항 8**

제 1 항에 있어서,

상기 기관은 450°C 미만의 최대 작동 온도를 갖는, 박막 스택을 건조하는 방법.

**청구항 9**

제 1 항에 있어서,

상기 합성 광 펄스의 순시 면적 전력 밀도(instantaneous areal power density)는 동일한 펄스 길이의 단일 펄스 손상 임계값보다 더 큰, 박막 스택을 건조하는 방법.

**청구항 10**

제 1 항에 있어서,

일정한 온도가 처리 동안 상기 박막 스택 내의 위치에서 유지되는, 박막 스택을 건조하는 방법.

**청구항 11**

제 1 항에 있어서,

상기 박막 스택에 예치된 총 에너지는 상기 박막 스택을 상기 기관의 최대 작동 온도까지 가열하는데 요구되는 에너지의 양보다 더 적은, 박막 스택을 건조하는 방법.

**청구항 12**

기관상에 위치된 박막을 갖는 박막 스택을 열적으로 처리하는 방법으로서,

상기 박막 스택을 플래시램프를 지나 이송하는 단계 - 상기 기관은 상기 박막보다 더 두꺼움 -;

특정 열적 프로파일에 따라 복수의 마이크로펄스들의 펄스 폭들을 변경함으로써 특정 파형을 생성하는 단계 - 상기 특정 열적 프로파일은 상기 박막 및 상기 기관의 스택 특성들에 따라 설계됨 -; 및

상기 박막을 열적으로 처리하기 위해 상기 박막 스택을 합성 광 펄스로 조사하는 단계를 포함하고,

상기 합성 광 펄스는 상기 특정 파형의 형태 및 타이밍에 따라 상기 플래시램프로부터의 복수의 마이크로펄스들에 의해 형성되고,

상기 합성 광 펄스는 상기 박막 및 상기 기관을 상기 기관의 최대 작동 온도보다 높은 온도까지 가열하기 위해, 상기 특정 파형의 형상 및 타이밍에 따라 총 시간 지속기간( $t_p$ )을 갖는, 상기 플래시램프로부터의 복수의 마이크로펄스들에 의해 형성되고,

상기 합성 광 펄스의 총 시간 지속기간은 상기 박막 스택의 총 열 평형 시간보다 더 짧고,

상기 박막 스택의 총 열 평형 시간은 상기 박막의 열 평형 시간과 상기 기관의 열 평형 시간의 조합인,

박막 스택을 열적으로 처리하는 방법.

**청구항 13**

제 12 항에 있어서,

상기 이송하는 단계는, 상기 합성 광 펄스가 전달되고 있는 시간 동안 상기 박막 스택을 이송 방향으로 상기 플래시램프의 조사 영역의 길이의 10% 미만으로 이송하는 단계를 더 포함하는, 박막 스택을 열적으로 처리하는 방

법.

**청구항 14**

제 12 항에 있어서,

상기 박막 스택의 상기 총 열 평형 시간은,

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

이며, 여기서,  $\tau_1$  및  $\tau_2$ 는, 각각, 상기 박막 및 기관의 열 평형 시간인, 박막 스택을 열적으로 처리하는 방법.

**청구항 15**

제 12 항에 있어서,

상기 박막 스택의 상기 총 열 평형 시간은 상기 기관의 열 평형 시간과 동일한, 박막 스택을 열적으로 처리하는 방법.

**청구항 16**

제 12 항에 있어서,

상기 마이크로펄스들은 동일한 타이밍들을 갖는, 박막 스택을 열적으로 처리하는 방법.

**청구항 17**

제 12 항에 있어서,

상기 마이크로펄스들은 상이한 타이밍들을 갖는, 박막 스택을 열적으로 처리하는 방법.

**청구항 18**

제 12 항에 있어서,

상기 마이크로펄스들은 전압, 펄스 길이, 임의의 주어진 영역에서 상기 기관을 침입하는 마이크로펄스들의 평균 개수, 펄스 반복 주파수, 마이크로펄스들의 수, 및 듀티 사이클에 의해 형상화되는, 박막 스택을 열적으로 처리하는 방법.

**청구항 19**

제 12 항에 있어서,

상기 기관은 450°C 미만의 최대 작동 온도를 갖는, 박막 스택을 열적으로 처리하는 방법.

**청구항 20**

제 12 항에 있어서,

상기 합성 광 펄스의 순시 면적 전력 밀도는 동일한 펄스 길이의 단일 펄스 손상 임계값보다 더 큰, 박막 스택을 열적으로 처리하는 방법.

**청구항 21**

제 12 항에 있어서,

일정한 온도가 처리 동안 상기 박막 스택 내의 위치에서 유지되는, 박막 스택을 열적으로 처리하는 방법.

**청구항 22**

제 12 항에 있어서,

상기 박막 스택에 예치된 총 에너지는 상기 박막 스택을 상기 기관의 최대 작동 온도까지 가열하는데 요구되는

에너지의 양보다 더 적은, 박막 스택을 열적으로 처리하는 방법.

**발명의 설명**

**기술 분야**

[0001]

**우선권 주장**

[0002]

본 출원은, 2011년 4월 8일자로 출원된 미국 특허출원번호 제13/082,469호의 일부 계속 출원이고, 그 내용들은 인용에 의해 본원에 포함된다.

[0003]

본 발명은 일반적으로 박막들을 열적으로 처리하는 것에 관한 것으로서, 상세하게는, 플래시램프로부터의 광 펄스들을 이용함으로써 박막들을 건조하는 방법에 관한 것이다.

**배경 기술**

[0004]

박막들을 지지하기 위한 기판들을 선택하는 것에 관해서라면, 비용의 이유들로 인해, 실리콘들(silicones), 플루오로카본들, 세라믹, 유리 등과 같은 고가의 기판들에 비해 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 폴리카보네이트, 셀룰로스 등과 같은 저렴한 기판들을 채용하는 것이 일반적으로 더 바람직하다. 하지만, 저렴한 기판들은 그들의 고가의 대응물들보다 더 낮은 최대 작동 온도들을 갖는 경향이 있어서, 저렴한 기판들 상에 위치한 박막들을 건조하는데 오직 비교적 낮은 온도들만이 활용될 수 있다.

[0005]

아레니우스 식에 따르면, 건조(즉, 용매 제거(driving off)), 입자 소결, 치밀화(densification), 화학 반응 개시, 화학 반응 조정, 상 변환, 결정립 성장, 어닐링, 가열 처리 등과 같이 열적으로 구동되는 프로세스들은 비직선적으로(in an exponential fashion) 처리 온도에 관련된다. 따라서, 건조 온도에서의 작은 감소는 현저하게 더 긴 건조 시간 및 더 많은 에너지를 요구할 것이고, 이는 더 고가의 건조 동작으로 전환시킨다.

[0006]

결과적으로, 처리 시간을 연장하지 않으면서 저렴한 기판들 상에 위치되는 박막들을 열적으로 처리하기 위한 개선된 프로세스를 제공하는 것이 바람직할 것이다.

**발명의 내용**

**해결하려는 과제**

**과제의 해결 수단**

[0007]

본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, 박막 스택은 박막 스택을 플래시램프를 지나서 이송함으로써 열적으로 처리되며, 그 동안 박막 스택은 플래시램프로부터의 합성 광 펄스(composite light pulse)로 조사된다. 합성 광 펄스는 다수의 마이크로펄스들로 이루어진다. 합성 광 펄스의 시간 지속기간은 박막 스택의 총 열 평형 시간보다 더 짧다. 부가적으로, 박막 스택이 플래시램프를 지나서 이송되고 있을 경우, 박막 스택은 합성 광 펄스의 전달 동안 이송 방향으로 조사 영역의 길이의 10% 미만으로 이동할 것이다.

[0008]

본 발명의 모든 특징들 및 이점들은 다음의 상세히 기재된 설명에서 명백하게 될 것이다.

**도면의 간단한 설명**

[0009]

본 발명 자체뿐 아니라 그 바람직한 사용 모드, 추가의 목적들, 및 그의 이점들은, 첨부 도면들과 함께 관독될 경우, 예시적인 실시예의 다음의 상세한 설명을 참조함으로써 가장 잘 이해될 것이다.

도 1은 박막 스택의 다이어그램이다.

도 2a는, 각각이 도 1로부터의 박막 스택을 가열하는데 사용될 수 있는 단일 광 펄스 및 합성 광 펄스의 강도 및 펄스 길이를 도시한 것이다.

도 2b는 기판이 도 2a로부터의 단일 광 펄스에 의해 조사된 이후 기판의 온도 대 시간을 도시한 그래프이다.

도 2c는 기판이 도 2a로부터의 합성 광 펄스에 의해 조사된 이후 기판의 온도 대 시간을 도시한 그래프이다.

도 2d는 2개의 상이한 일정 처리 온도 준들을 제공할 수 있는 합성 광 펄스이다.

도 2e는 기관이 도 2d로부터의 합성 광 펄스에 의해 조사된 이후 기관의 온도 대 시간을 도시한 그래프이다.

도 3은 본 발명의 바람직한 실시예에 따른, 도 2a로부터의 합성 광 펄스를 생성하는 건조 장치의 다이어그램이다.

도 4는 도 3으로부터의 건조 장치 내의 플래시램프 제어기의 블록 다이어그램이다.

**발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**

A. 박막 스택의 열 평형 시간

재료의 층의 열 평형 시간  $\tau$ 는,

$$\tau = \frac{c \rho x^2}{4\kappa}$$

에 의해 계산되며,

여기서,

$c$  = 재료의 비열(specific heat)

$\rho$  = 재료의 질량 밀도

$x$  = 재료의 두께

$\kappa$  = 재료의 열 전도율이다.

상이한 두께들을 갖는 상이한 재료들의 다수의 층들을 갖는 박막 스택에 대한 총 열 평형 시간  $\tau_{stack}$ 은,

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

에 의해 계산되며, 여기서,  $\tau_1, \tau_2, \tau_3$  등은, 각각, 박막 스택의 개별 층들 각각의 열 평형 시간이다.

비록 박막 스택이 상이한 재료들의 다수의 층들을 포함할 수도 있지만, 실제, 박막 스택은 통상적으로, 박막을 지지하기 위해 비교적 더 두꺼운 기관의 상부 상의 박막의 층으로 이루어진다. 그러한 경우, 박막 스택의 열 평형 시간은 종종 기관에 의해 지배된다. 예를 들어, 도 1에 도시된 바와 같이, 기관(192) 상부 상에 위치한 박막(191)으로 이루어진 박막 스택(190)의 경우(여기서, 박막(191)은 두께  $x_f$  및 열 평형 시간  $\tau_f$ 를 갖고 기관(192)은 두께  $x_s$  및 열 평형 시간  $\tau_s$ 를 가짐), 박막 스택(190)의 총 열 평형 시간  $\tau_{stack}$ 은,  $x_s \gg x_f$ 일 경우, 단순히, 기관(192)의 열 평형 시간  $\tau_s$ 이다.

상기 서술된 원리는 실례로 예시될 수 있다. 기관(192)이  $c_s = 730 \text{ J/kg-K}$ ,  $\rho_s = 1.4 \text{ g/cm}^3$ ,  $x_s = 150 \text{ 미크론}$  및  $\kappa_s = 0.24 \text{ W/m-K}$ 인 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET)로 제조되고 박막(191)이  $c_f = 235 \text{ J/kg-K}$ ,  $\rho_f = 10.5 \text{ g/cm}^3$ ,  $x_f = 1 \text{ 미크론}$  및  $\kappa_f = 420 \text{ W/m-K}$ 인 은으로 제조될 경우, 기관(192)의 열 평형 시간  $\tau_s$  및 박막(191)의 열 평형 시간  $\tau_f$ 는 각각  $24 \text{ ms}$  및  $1.5 \times 10^{-6} \text{ ms}$ 이다. 따라서, 박막 스택(191)의 열 평형 시간은  $x_s \gg x_f$ 인 경우 기관(192) 단독의 열 평형 시간과 거의 구별할 수 없다.

B. 박막 스택의 열 처리

기관(192) 상의 박막(191)을 열적으로 처리할 경우, 전체 막 스택(190)은 기관(192)의 최대 작동 온도까지 가열되어, 열 처리 시간을 최소화할 수 있다. 중요하게는, 심지어, 기관(192)이 신속하게 가열되고 신속하게 냉각될 경우 기관(192)을 손상시키지 않으면서 기관(192)의 최대 작동 온도를 훨씬 초과하는 온도로 기관(192) 상의 박막(191)을 가열하는 것도 가능하다. 일 실시예에서, 기관은  $450^\circ\text{C}$  미만의 최대 작동 온도를 갖는다.

기관(192)에 대한 매우 빠른 냉각 레이트와 함께 매우 짧은 가열 시간을 달성하기 위해, 도 2a에 도시된 바와

같이 지속기간  $t_p$ 를 갖는 단일 광 펄스(201)가 박막(191) 및 기관(192) 양자 모두를 온도  $T_{peak}$ 까지 가열하기 위해 사용될 수 있다. 도 2b에 도시된 바와 같이, 온도  $T_{peak}$ 는 기관(192)의 최대 작동 온도  $T_{max}$ 보다 더 높을 수 있는데, 이는 박막(191)에 인접한 기관(192)의 면(side)이 오직 매우 짧은 시간 동안에만 온도  $T_{peak}$ 로 되어 기관(192)이 그 특성들을 현저하게 변경할 기회를 갖지 않기 때문이다. 부가적으로, 박막(191)은 기관(192)으로의 전도를 통해 급속하게 냉각된다.

[0027] 박막(191) 및 기관(192)의 물리적 특성들 및 치수들과 함께, 박막 스택(190)의 가열 시간 및 냉각 레이트 양자 모두는 광 펄스의 열적 프로파일(즉, 광 펄스의 형상)에 의해 결정된다.

[0028] 본 발명의 바람직한 실시예에 따르면, 도 2a의 광 펄스(201)는 합성 광 펄스(202)의 형태로 기관(192)으로 전달될 수 있다. 합성 광 펄스(202)는 다수의 광 펄스들로 이루어진다. 정확한 열적 프로파일을 갖는 합성 광 펄스(202)가 활용될 경우, 기관(192)은 최단(shortest) 건조 시간을 달성하기 위해 그 최대 작동 온도를 훨씬 초과한 온도까지 가열될 수 있다. 박막 스택(190)을 건조할 경우, 합성 광 펄스(202)의 펄스 길이는 바람직하게, 박막 스택(190)의 열 평형 시간  $\tau_{stack}$ 보다 더 짧다.

[0029] 도 2a에 도시된 바와 같이, 합성 광 펄스(202)는 다수의 마이크로펄스들을 포함하여, 도 1로부터의 박막 스택(190)과 같은 박막 스택에서의 온도 프로파일이 최적의 경화를 위해 커스터마이즈되게 한다. 그의 가장 간단한 형태로, 합성 광 펄스(202)는 균일한 마이크로펄스들을 포함한다. 이 경우, 합성 광 펄스(202)는 6개의 상이한 파라미터들, 즉, i. 강도(전압), ii. 합성 펄스 길이, iii. 박막 스택 상의 임의의 주어진 영역에서 기관에 침입하는(impinge) 합성 펄스들의 평균 개수, iv. 펄스 반복 주파수, v. 마이크로펄스들의 수, 및 vi. 마이크로펄스들의 듀티 사이클에 의해 형상화될 수 있다. 불균일한 마이크로펄스들이 활용될 경우, 각각의 개별 마이크로펄스의 펄스 길이 및 지연이 특정될 수 있다.

[0030] 최대 작동 온도  $T_{max}$ 를 갖는 기관(192)에 있어서, 기관(192) 상에 위치된 박막(191)은, 가열 시간이 매우 짧고 냉각 레이트가 매우 빠를 경우, 도 2a로부터의 합성 광 펄스(202)에 의해 온도  $T_{peak}$ 까지 가열될 수 있다. 도 2c에 도시된 바와 같이, 기관(192)의 표면에서의 온도가 일시적으로(briefly)  $T_{peak}$ 에 도달할 경우, 기관(192)의 표면에서의 온도는 최대 작동 온도  $T_{max}$  미만으로 신속히 레벨링한다. 또한, 기관(192)은 합성 광 펄스에 의해 가열된 이후 신속히 열 평형에 도달한다.

[0031] 박막의 처리를 위한 최적의 합성 광 펄스의 파라미터들은 실험적으로 결정될 수 있다. 먼저, 단일 광 펄스로부터의 박막 스택에 대한 손상 임계값은 박막 스택의 열 평형 시간보다 더 짧은 펄스 길이를 선택함으로써 그리고 박막 스택에 대한 일부 손상이 관측될 때까지 증가하는 면적 전력 밀도(areal power density)의 일련의 단일 광 펄스들에 박막 스택을 노출시킴으로써 확정된다. 해당 단일 광 펄스 길이에 대한 최적의 열 처리는, 일반적으로, 손상 임계 전력보다 조금 더 적은 전력이다. 손상 메커니즘이 종종 열 구동형, 즉, 예치된(deposited) 에너지량과 관련되기 때문에, 더 짧은 펄스 길이는 일반적으로 더 높은 면적 전력 밀도 임계값을 갖는다. 부가적으로, 박막이 광을 흡수하고 있을 경우, 더 짧은 펄스 길이들이 기관 상의 박막을 일반적으로 우선적으로 가열하며, 이는 프로세스의 에너지 효율을 증가시킨다. 하지만, 건조 프로세스 또는 가스를 발생시키는 임의의 열적 프로세스의 경우, 손상 임계값은 또한, 가스가 박막 스택에서 국부적인 "폭발"을 야기하지 않으면서 배출될 수 있는 레이트와 관련된다. 따라서, 펄스 길이와 무관하게 기본적으로 최대 면적 전력 밀도가 또한 존재하며, 이는 펄스 길이를 단순히 계속 감소시킴으로써 효율적인 열 처리가 달성될 수는 없음을 의미한다.

[0032] 상기 논의된 단일 광 펄스가 동일한 총 펄스 길이의 더 짧은 펄스들(즉, 마이크로펄스들)의 버스트로 변환될 경우, 적당한 에너지를 예치하여 박막을 처리하는 동안에 매우 짧은 펄스의 에너지 효율이 실현될 수 있다. 이러한 처리는, 박막 스택을 손상시키지 않으면서 단일 펄스 손상 임계값을 초과하는 순시 전력(instantaneous power)(예를 들어, 마이크로펄스 동안의 전력)에서 수행될 수 있다.

[0033] 열 처리를 위한 합성 광 펄스의 최적화는, 텍사스 오스틴의 NovaCentrix로부터의 SimPulse<sup>TM</sup>과 같은 소프트웨어 시뮬레이션을 이용하여 합성 광 펄스로부터의 노출로 인한 박막 스택의 열 응답을 시뮬레이션함으로써, 추가로 개선될 수 있다. 플래시램프로부터의 출력뿐 아니라 박막 스택에서의 각각의 층의 열-물리 특성들을 입력함으로써, 시뮬레이션 소프트웨어는 합성 펄스에 대한 노출 동안 및 그 이후 박막 스택 내의 모든 위치에서의 온도를 제공할 수 있다. 이것이 수행될 경우, 박막 스택에 대한 손상은, 손상을 야기한 물리적 메커니즘들을 드러낼 수 있다. 이는 최적의 합성 펄스를 설계하여 특정 손상 메커니즘을 회피하게 한다. 예를 들어, 손상 메커



니즘이 기관의 가스화(gasification) 온도와 같이 박막 스택 내의 온도 제한일 경우, 그 특정 온도를 초과하지 않고 그 근방에서 박막을 처리할 수도 있다. 유사하게, 다수의 용매들을 갖는 막을 건조할 경우, 각각의 용매는 특정 온도에서 끓을 수도 있다. 따라서, 해당 박막의 최적의 처리는, 더 휘발성인 용매를 증발시키기 위해 더 낮은 일정 온도에서 건조가 먼저 수행된 이후 덜 휘발성인 용매를 증발시키기 위해 더 높은 일정 온도에서 처리가 이루어지는 다수의 일정 온도 처리 존들을 갖는 합성 펄스를 포함할 수도 있다.

[0034] 비록 박막이 박막 스택의 열 평형 시간보다 더 짧은 처리 시간들 동안 기관의 최대 작동 온도보다 현저히 더 높은 온도에서 처리될 수 있지만, 열 평형 이후에 박막 스택이 도달하는 온도는 여전히 기관의 최대 작동 온도보다 더 낮을 것을 필요하거나 또는 손상이 존재할 것이다. 따라서, 박막 스택에 배치될 수 있는 에너지의 총량은 박막 스택을 기관의 최대 작동 온도까지 가열하는데 필요한 총 에너지를 초과할 수 없다. 그 수치(number)는, 박막 내의 임의의 용매의 임의의 증발열을 포함하여 박막 스택의 총 엔탈피를 계산함으로써 결정될 수 있다.

[0035] 합성 광 펄스는 또한, 2개의 상이한 일정 처리 온도 존들을 박막 스택 상에 제공할 수 있다. 예를 들어, 도 2d에 도시된 바와 같이, 합성 광 펄스는 2개의 상이한 처리 온도 존들을 제공할 수 있는 다수의 마이크로펄스들을 포함하고, 합성 광 펄스의 타이밍( $\mu s$  단위)이 표 1에 열거된다.

[0036] 표 1

턴온	턴오프
0	87
193	238
473	508
763	793
1,063	1,093
1,276	1,341
1,536	1,581
1,816	1,856

[0037]

[0038] 도 2e는 기관이 도 2d로부터의 합성 광 펄스에 의해 조사된 이후 기관의 온도 대 시간을 도시한다.

[0039] C. 박막 스택 상의 박막을 건조하는 장치

[0040] 이제, 도 3을 참조하면, 본 발명의 바람직한 실시예에 따른, 박막들을 건조하는 장치의 다이어그램이 도시된다. 도시된 바와 같이, 건조 장치(300)는 이송 시스템(310), 플래시램프 제어기(330), 및 플래시램프(350)를 갖는 플래시램프 헤드(320)를 포함한다. 저(low) 인덕턴스 케이블(325)이 플래시램프 제어기(330)와 플래시램프 헤드(320) 사이에 연결된다. 이송 시스템(310)은 플래시램프 헤드(320)를 지나서 박막 스택(340)을 이동시키면서, 플래시램프 제어기(330)는 펄스 폭 변조(PWM)를 사용하여 플래시램프(350)에 형상화된 펄스들의 전류를 제공하여 형상화된 펄스들이 이송 시스템(310) 상의 박막 스택(340)의 이송 속도에 동기화되게 한다. 바람직하게, 플래시램프(350)는, 크세논, 크립톤 또는 아르곤과 같은 가스들로 채워진 밀봉형 플래시램프이다. 플래시램프(350)는 또한, 때때로 DPA(Directed Plasma Arc) 램프로서 지칭되는 워터-윌 플래시램프일 수 있다.

[0041] 플래시램프 제어기(330)는 제어 컴퓨터(360)를 포함한다. 바람직하게, 제어 컴퓨터(360)는, 당업자에게 널리 공지된 바와 같이, 처리 유닛, 입력 디바이스들(예컨대 키보드, 마우스, 터치스크린 등), 그리고 출력 디바이스들(예컨대 모니터)를 포함한다.

[0042] 주어진 지속시간의 펄스 트레인을 펄스-폭 변조하기 위해, 각각의 개별 펄스는 펄스 형상화를 제공하기 위해 상대적으로 짧아질 필요가 있다. 더욱이, 펄스들은, 시간의 일부 동안 턴온되지 않기 때문에 단일 펄스를 제공하는 소스보다 더 강렬할 필요가 있다. 따라서, 건조 장치(300)는,  $100 \text{ kW/cm}^2$  초과의 피크 전력으로 10 마이크로초만큼 짧은 펄스 길이들을 제공하는 것이 가능할 필요가 있다. 부가적으로, 펄스들에 대한 PWM 주파수는 50kHz 만큼 빠를 수 있다.

[0043] 플래시램프(350)로부터 방출된 광 펄스들의 형상뿐 아니라 박막 및 기관의 물리적 특성들 및 치수들은, 기관을

손상시키지 않으면서 박막이 건조될 수 있는 열 경사(thermal gradient) 및 후속 온도에 영향을 줄 수 있다. 따라서, 건조 장치(300)는 또한, 건조 장치(300)의 상이한 부분들뿐 아니라 박막 스택(340) 상의 막 및 기관으로부터 다양한 정보를 수집하기 위한 다수의 센서들(도시 안됨)을 포함한다. 다양한 센서들 및 사용자 입력들로부터의 수집된 정보는, 열 프로파일들이 재계산될 수 있는 컴퓨터 제어 시스템(360)으로 피드백된다. 재계산된 열 프로파일들을 사용하여, 플래시램프 제어기(330)는, 박막 스택(340)이 플래시램프(350) 아래에서 이송되고 있는 동안에 플래시램프(350)에 의해 박막 스택(340)으로 전달되는 광의 파형들을 제어한다.

[0044] 이제, 도 4를 참조하면, 플래시램프 제어기(330)의 블록 다이어그램이 도시된다. 도시된 바와 같이, 플래시램프 제어기(330)는 인코더(510), 임의 파형 생성기(520), 열 시뮬레이터(525), 및 제어 컴퓨터(360)를 포함한다. 처음에, 사용자는 박막 스택 특성들(540) 및 원하는 처리 레벨(550)을 플래시램프 제어기(330)에 입력한다. 입력들, 예컨대, 추가적인 시스템 제한들(570) 및 (도 3으로부터의) 이송 시스템(310)으로부터의 이송 속도를 수신한 후, 인코더(510)는, 이송 시스템(310) 상에 위치한 박막들을 경화하기 위해 적절한 시간들에서 임의 파형 생성기(520)로 신호들을 전송하는 컴퓨터에 트리거 신호들을 제공한다. 트리거 신호들을 사용하여, 임의 파형 생성기(520)는 사용자 입력들(540 및 550)에 기초하여 다양한 형상들 및 타이밍의 파형들을 생성할 수 있다. 임의 파형 생성기(520)는, (도 3으로부터의) 플래시램프(350)를 구동하기 위해 파형 신호들을 증폭하는 플래시램프 구동기(530)로 파형 신호들을 전송한다.

[0045] 피드백 정보는, 건조 장치(300)인 경우, 펄스 에너지, 펄스 지속기간, 펄스 파형 등과 같은 파라미터들의 연속적 및 실시간 조절력(adjustability)을 허용한다. 상기 논의된 파라미터들 모두는 0.1%의 분해능으로, 밀리초 시간 프레임에 대한 소프트웨어 및/또는 하드웨어 제어 하에 변경될 수 있다.

[0046] 박막 스택(340)이 이동하고 있고 플래시램프 펄스 주파수가 이송 속도에 동기화될 경우, 주파수는,

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

[0047]

로 주어지며, 여기서,

f = 플래시램프 합성 펄스 레이트[Hz]

S = 이송 속도[m/min]

O = 오버랩 팩터(즉, 임의의 주어진 포인트에서 기관에 의해 수신된 합성 펄스들의 평균 개수)

W = 이송 방향에서의 플래시램프(350)의 폭[cm]이다.

[0053] 예를 들어, 100 m/min의 이송 속도, 4의 오버랩 팩터, 및 7cm의 경화 헤드 폭에 있어서, 스트로브의 펄스 레이트는 95.4Hz이다. 더 빠른 이송 속도들에 있어서, 이러한 관계는 플래시램프(450)의 폭을 증가시키거나 추가적인 플래시램프들을 추가함으로써 만족될 수 있다.

[0054] 플래시램프(350)에 의해 조사된 영역보다 더 큰 기관 영역 상에서 균일한 경화를 달성하기 위하여, 플래시램프(350)는 합성 광 펄스들의 전달을 기관의 이송에 동기화하도록 요구된다. 하지만, 이송 속도가 너무 빨라서 합성 광 펄스의 전달 동안 기관이 상당히 많이(significantly) 이동한다면, 기관 상에서의 균일한 경화는 불가능하다.

[0055] 본 발명의 바람직한 실시예에 따라, 박막 스택(340)이 합성 광 펄스의 전달 동안 이송 방향으로 플래시램프(350)의 폭의 10% 미만으로 이동한다면, 이동 기관 상에서의 균일한 경화가 박막 스택(340)의 임의적으로 긴 거리에 걸쳐 획득될 수 있다. 식 형태로 표현하면,

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

이며, 여기서,

t = 합성 펄스의 길이[ms]

W = 이송 방향에서의 플래시램프(350)의 폭[cm]

S = 이송 속도[m/min]이다.

[0061] 표 2는 균일한 경화를 위한 합성 펄스의 최대 펄스 길이[ms] 대 이송 방향에서의 광 펄스들의 폭 및 이송 속도를 나타낸 것이다. 이송 방향에서 균일한 처리를 획득하기 위해 합성 펄스가 더 짧아야 하는 밀리초 단위의 시간이 주어진다.

[0062] 표2

속도 [m/min]	광 펄스 폭		
	7 cm	14 cm	28 cm
1	420	840	1,680
10	42	84	168
100	4.2	8.4	16.8
1,000	0.42	0.84	1.68

[0063]

[0064] 예 1: PET 상의 나노 은 잉크의 건조 및 소결

[0065] PET 상의 나노 은 잉크의 2개의 샘플들이 준비되었으며, 각각의 샘플은, 150 마이크로 두께의 PET 기판 상에 인쇄된 1 마이크로 두께의 나노 은 박막이다. 제 1 샘플은, 용매를 제거하기 위해 150°C의 오븐에서 5분 동안 건조되었고, 은을 소결하기 위해 기판상에 예치된 총 6.4 J/cm<sup>2</sup>의 에너지에 대한 단일 광 펄스의 각각의 전달에 의해 1.6 J/cm<sup>2</sup>의 에너지를 예치하는 4의 오버랩 팩터로, 10m/min의 웹속도에서 1.6 kW/cm<sup>2</sup>에서 지속시간이 1ms인 단일 광 펄스에 노출되었다.

[0066] 오븐에서 건조되지 않으면, 제 2 샘플은 상이한 펄스 길이들 및 지연들의 6개의 상이한 마이크로펄스들로 이루어진 1ms 길이의 합성 광 펄스에 노출되었으며, 합성 광 펄스의 타이밍(μs 단위)이 표 3에 나타내어진다.

[0067] 표 3

턴온	턴오프
0	100
289	374
439	474
604	644
789	829
999	1,037

[0068]

[0069] 광 펄스들의 강도는 4.7 kW/cm<sup>2</sup>까지 증가하여, 예치된 에너지의 총량이 제 1 샘플과 동일하였다. 재료는, 단일 패스에서 은을 건조 및 소결하기 위해 기판 상에 예치되는 총 6.4×1.6 J/cm<sup>2</sup>에 대한 각각의 광 펄스에 의해 1.6 J/cm<sup>2</sup>를 예치하는 4의 오버랩 팩터로 10m/min의 웹속도에서 처리되었다.

[0070] 이러한 타입의 처리에 대한 결과(implication)는, 더 많은 처리가 종래의 오븐보다 더 적은 총 에너지로 수행될 수 있다는 것이다. 종래의 오븐 처리의 경우, 전체 기판, 기판 주위의 공기, 및 처리 존을 둘러싼 종래의 오븐이 박막을 처리하기 위해 가열되어야 한다.

- [0071] 용매들의 증발에 의해 흡수된 엔탈피를 무시하는 단일 펄스에 대한 기관의 후면뿐 아니라 박막에서의 열 응답은 도 2b에 도시된 곡선과 유사하다. 박막에서의 그리고 기관의 후면에서의 합성 광 펄스로부터의 열 응답은 도 2c에 도시된 곡선과 유사하다. 도 2b 및 도 2c로부터의 곡선들의 비교는, 박막이 상승된 온도에 있는 시간량이 단일 광 펄스로부터 합성 광 펄스로부터 상당히 더 많음을 나타낸다. 구체적으로, 박막이 약 800°C에서 소비한 시간량(도 2c 참조)은 단일 광 펄스로부터의 시간량(도 2b 참조)의 대략 2배 많다. 양자 모두의 경우들이 동일한 양의 복사 노출(radiant exposure)을 사용함에 따라, 이는 예치된 동일한 양의 에너지에 대해 더 많은 열 처리로 전환된다. 요컨대, 동일한 양의 열 처리가 더 적은 에너지로 달성될 수 있다.
- [0072] 이는 작고 급속한 광 펄스들의 연속 트레인과는 매우 상이한 효과를 가짐을 유의한다. 그 경우, 가열하는 타임 스케일은 박막 스택의 열 평형 타임스케일보다 더 클 것이고, 종래의 오븐에 의해 가열되는 것과 유사할 것이다. 따라서, 표면은, 박막 스택을 손상시키지 않으면서 본 발명에서 달성되는 피크 온도들에 도달하지 않을 것이다. 결과적으로, 본 발명에 비해 더 낮은 처리율을 가질 것이다.
- [0073] 부가적으로, 합성 광 펄스는, 건조 또는 가스 발생형 화학 반응들을 갖는, 이러한 가스를 발생하는 열적 프로세스들에서 또 다른 상당한 이점을 갖는다. 합성 광 펄스가 다수의 마이크로펄스들을 포함하기 때문에, 건조되는 박막은 마이크로펄스들 사이에서 "브리딩(breath)"하도록, 즉, 가스를 방출하도록 허용된다. 이러한 동작은 박막에서의 가스의 증강을 방지(그렇지 않으면 급속하게 팽창하는 가스로 인해 응집 파괴를 당할 수 있음)한다.
- [0074] 예 2: 용매 증발을 설명하는 다중-온도 존 처리
- [0075] 펄스 프로파일의 조정력은 박막들을 건조시키는데 특히 유용하며, 여기서, 다수의 별개의 프로세스들이 단일 패스에서 수행될 수 있다. 요컨대, 용매를 포함하는 박막은 이미 건조된 것과 같이 급속하게 가열될 수 없다. 즉, 용매가 박막 내에 있을 경우, 고(high) 전력은 용매를 급속하게 팽창시키고 박막을 "과열"시켜 응집 파괴를 발생시킬 것이다. 이상적으로, 먼저, 용매가 제거될 때까지 저 전력에서 용매를 제거한 다음에 더 높은 전력 노출을 실시하여 소결과 같은 부가적인 열 처리를 수행하길 원한다. 도 2d는 합성 펄스로부터 예 1의 막 및 기관의 대표적인 열 응답 프로파일을 도시한 것이고, 이 합성 펄스에서, 그 펄스의 제 1 부분은 먼저 1.2ms 동안 약 700°C로 박막의 표면에서의 온도를 유지한 후 더 높은 전력 노출을 실시하여 나머지 0.5ms 동안 1,000°C로 박막의 온도를 유지한다. 이 예에 있어서, 용매 증발이 저 전력 처리 존 동안에 발생하고 소결은 더 높은 온도 처리 존 동안에 발생한다. 따라서, 상이한 영역들 또는 존들을 갖는 오븐에서 상이한 온도들로 재료가 전달되는 통상의 존 처리와 대조적이다. 본 발명은 시간적으로 동일한 타임의 처리가 수행되도록 허용하고, 이에 따라, "시간 존 처리"로 명명된다.
- [0076] 동일한 원리가 다수의 용매들을 포함하는 박막에 적용될 수 있고, 여기에서, 휘발성을 감소시키는 순서로 각각의 용매를 증발시키기 위해 다수의 가열 존들이 형성될 수 있다. 예 1의 시스템에서, 펄스 프로파일은 6.4 J/cm<sup>2</sup>에 노출될 경우 주 용매 컴포넌트들, 은 잉크 안료 및 기관의 총 엔탈피 변화를 설명함으로써 계산될 수 있으며, 시스템이 완전히 흡수성이고 어떠한 에너지도 주위 환경으로 손실되지 않는다고 가정하면, 용매들을 가열 및 증발시키는데 단지 4.4 J/cm<sup>2</sup>가 요구됨을 발견하였다. 나머지 은 금속은 약 1,000°C까지 매우 신속하게 가열하여 0.15 J/cm<sup>2</sup>의 총 엔탈피 변화를 요구한다. 펄스들 간의 시간 동안, 에너지가 기관으로 누설되어, 기관이 추정치 146°C로 상승되게 하며 1.85J/cm<sup>2</sup>의 엔탈피 변화를 요구한다. 요구된 에너지의 총량은 약 6.4 J/cm<sup>2</sup>이다.
- [0077] 예 3: 가스 생성의 조정에 의해 박막에서의 응집 파괴의 방지
- [0078] 에틸렌 글리콜 및 글리세롤을 함유하는 베이스에 10.0 질량%의 구리(II) 산화물, 4.5 질량%의 구리(II) 아세테이트를 포함하는 수성 구리 전구체 잉크가 포물레이팅되었다. 엡슨 스타일러스 C88 잉크젯 프린터를 사용하여 125 마이크로 두께의 PET 시트 상에 트레이스들이 인쇄되었다. 플래시랩프로 경화될 시, 구리 산화물 및 구리 아세테이트가 에틸렌 글리콜 및 글리세롤에 의해 환원되어, 전도성 구리 금속의 막을 형성한다. 환원 반응은 적당한 양의 가스를 생성한다.
- [0079] 인쇄된 막은 다음의 조건들을 갖는 본 발명의 방법 및 장치를 사용하여 경화되었다: 즉, 전압 250V, 합성 광 펄스 지속기간=1,050 마이크로초, 0.6의 듀티 사이클을 갖는 4개의 마이크로펄스들(즉, 각각의 마이크로펄스는 펄

스들 간에 117  $\mu$ s의 지연을 갖고 길이가 175 마이크로초였음), 오버랩 팩터=3, 웹 속도=6.4 m/min. 샘플 수율은 3.7  $\Omega/\square$ 의 평균 시트 저항으로 100%였다.

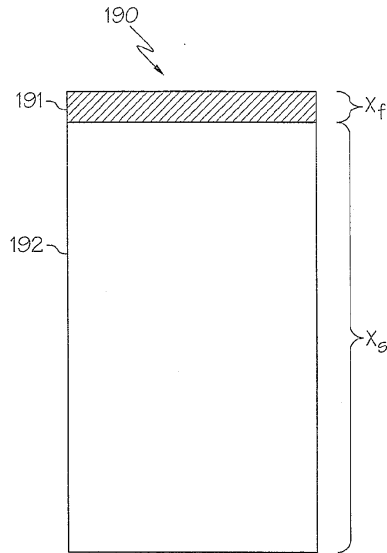
[0080] 동일한 장비지만 오직 단일 펄스만을 사용하여 동일한 트레이스가 경화되었던 경우, 가스 발생이 트레이스들의 응집 파괴를 야기하여 오직 64%의 샘플 수율을 산출했다. 평균 시트 저항은 5.2  $\Omega/\square$ 였다. 임의의 입력 변수들을 변경하는 것은 더 적은 전도성 또는 더 열악한 수율 트레이스를 산출했다.

[0081] 설명되었던 바와 같이, 본 발명은 이동 기관 상에서 박막을 열적으로 처리하는 방법을 제공한다. 본 발명은 박막이 종래 기술보다 실질적으로 더 긴 시간 기간 동안 상승된 온도에 있게 한다. 이는 동일한 양의 총 시간에 서 동일한 양의 복사 에너지를 이용하여 수행되어, 기관에 어떠한 손상도 발생시키지 않는다.

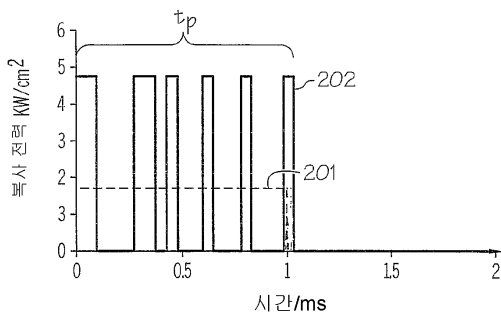
[0082] 본 발명이 바람직한 실시예를 참조하여 특별히 도시 및 설명되었지만, 본 발명의 사상 및 범위로부터 이탈함없이, 형태 및 상세사항에 있어서의 다양한 변경들이 그 내부에서 실시될 수도 있음을 당업자는 이해할 것이다.

도면

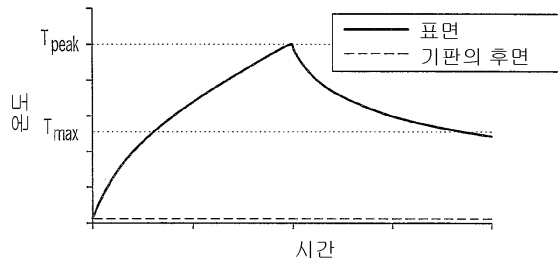
도면1



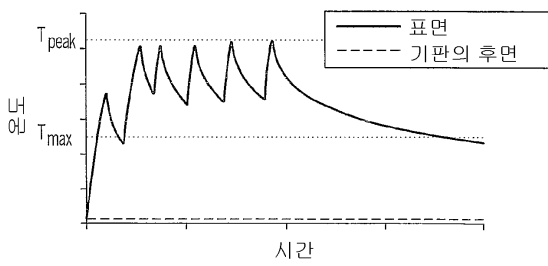
도면2a



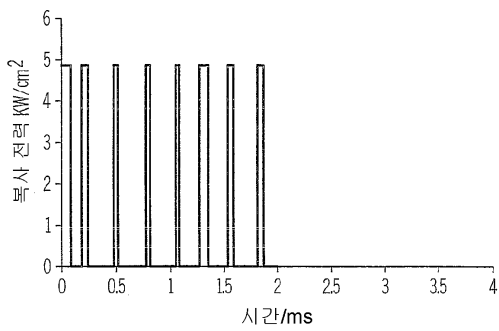
도면2b



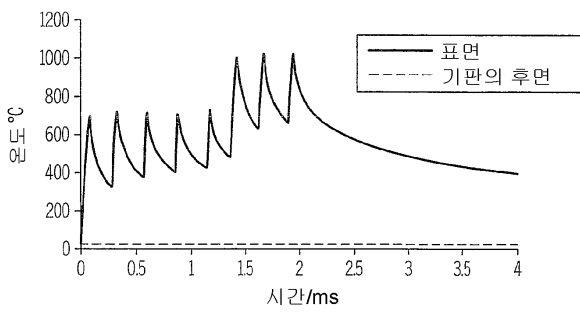
도면2c



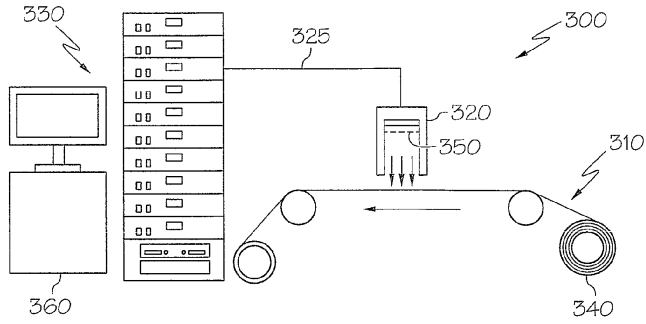
도면2d



도면2e



도면3



도면4

