



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0127802
 (43) 공개일자 2014년11월04일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
B05B 7/14 (2006.01) **C23C 24/04** (2006.01)
- (21) 출원번호 10-2014-7018804
- (22) 출원일자(국제) 2013년01월25일
 심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2014년07월07일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2013/023320
- (87) 국제공개번호 WO 2013/158178
 국제공개일자 2013년10월24일
- (30) 우선권주장
 61/591,365 2012년01월27일 미국(US)
 61/691,112 2012년08월20일 미국(US)

- (71) 출원인
엔디에스유 리서치 파운데이션
 미국, 노스 다코타 58108-6050, 파고, 피.오. 박스 6050, 디파트먼트 넘버 4400, 엔디에스유 리서치 파크 드라이브 1735
- (72) 발명자
세일러, 로버트 에이.
 미국, 노스 다코타 58108-6050, 파고, 피오 박스 6050, 엔디에스유 디파트먼트 4310, 노스 다코타 스테이트 유니버시티-씨엔에스이
- 호이, 저스틴**
 미국, 노스 다코타 58108-6050, 파고, 피오 박스 6050, 노스 다코타 스테이트 유니버시티
 (뒷면에 계속)
- (74) 대리인
청운특허법인

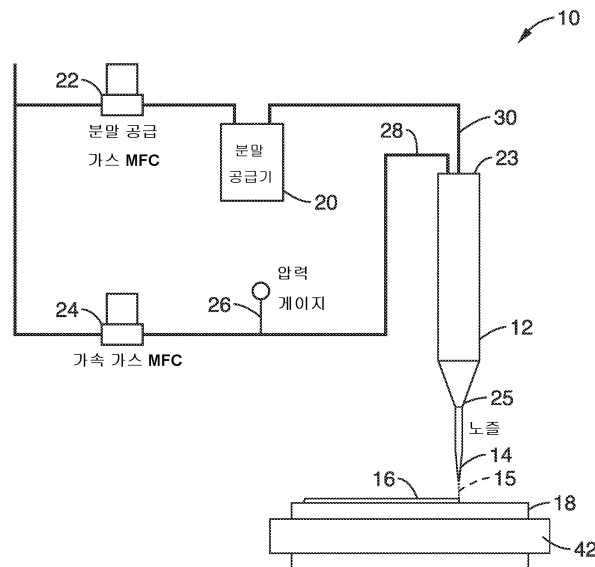
전체 청구항 수 : 총 50 항

(54) 발명의 명칭 **인쇄 마이크로 전자를 위한 마이크로 콜드 스프레이 직접 기록 시스템 및 방법**

(57) 요약

인쇄 회로 애플리케이션을 위한 기판 상에 고체 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 시스템 및 방법이 개시되며, 정형 형태를 형성하기 위해 상기 기판 상에 그러한 분무형 분말을 콜드 스프레이하는 것을 포함하고, 상기 정형 형태의 길이 및 폭의 치수 중 적어도 하나는 500 μ 이하이다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

아카토프, 이스칸데르

미국, 노스 다코타 58108-6050, 파고, 피.오. 박스
6050, 노스 다코타 스테이트 유니버시티

스웬슨, 오르벤

미국, 노스 다코타 58108-6050, 파고, 피.오. 박스
6050, 노스 다코타 스테이트 유니버시티

루트프라카마노프, 아르투르

러시아, 알유-450097 우파, 아파트먼트 #130, 자보
드스카야 스트리트, 2

로빈슨, 마이클

미국, 노스 다코타 58108-6050, 파고, 피.오. 박스
6050, 노스 다코타 스테이트 유니버시티

특허청구의 범위

청구항 1

기관 상에 고체 입자들의 증착을 위해 구성된 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템으로서,

증착 헤드;

상기 증착 헤드의 입력부에 연결되고, 고체 입자들을 포함하는 분무형 전구체 재료를 이송하도록 구성된 캐리어 가스 공급 라인; 및

상기 증착 헤드에 연결되고, 상기 증착 헤드에 가속 가스를 이송하도록 구성된 가속 가스 공급 라인을 포함하며,

상기 증착 헤드는 증착 헤드의 출력부에 노즐을 포함하고,

상기 노즐은 입구 개구 및 출구 개구를 갖추며,

상기 가속 가스는 기관 상에 정형 형태를 생성하기 위해 기관에 충돌됨에 따라 고체 입자들이 변형되도록 고속의 에어로졸 빔으로서 노즐의 출구 개구 밖으로 캐리어 가스를 몰아내도록 이루어진, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 증착 헤드는 적어도 상기 증착 헤드의 길이를 따라 입력부로부터 캐리어 가스를 전송하도록 구성된 제1채널을 포함하고,

상기 제1채널은 노즐의 입구 개구와 출구 포트간 갭을 형성하도록 상기 노즐의 입구 개구로부터 공간 이격된 출구 포트를 갖추며,

상기 증착 헤드는 캐리어 가스와 통합시키기 위해 상기 갭으로 가속 가스를 전송하도록 구성된 제2채널을 포함하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 3

청구항 1에 있어서,

상기 입자들은 금속 성분을 포함하며,

상기 정형 형태는 기관 상에 전도성 형태를 포함하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 4

청구항 3에 있어서,

상기 형태는 1 μm 내지 500 μm 범위의 폭을 갖는 라인을 포함하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 형태는 5 μm 와 100 μm 범위의 폭을 갖는 라인을 포함하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 6

청구항 5에 있어서,

상기 형태는 10 μm 와 50 μm 범위의 폭을 갖는 라인을 포함하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 7

청구항 1에 있어서,

출구 개구에서 에어로졸 빔은 200 m/s와 1000 m/s 사이 범위의 속도를 갖는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 8

청구항 2에 있어서,

제1채널은 노즐과 거의 동심으로 위치되고,

제2채널은 캐리어 가스에 대해 비스듬히 꺾으로 가속 가스를 전송하도록 구성된, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

제2채널은 꺾으로 이끌어지는 원뿔형 채널을 형성하고,

제1채널의 출구 포트는 상기 원뿔형 채널의 정점에서 끝나는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 10

청구항 2에 있어서,

노즐은 테이퍼진 합류 보어를 포함하고,

상기 노즐의 입구 개구는 출구 개구의 직경보다 큰, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 11

청구항 10에 있어서,

노즐은 상기 노즐의 입구 개구로부터 이어지는 테이퍼진 합류 보어를 포함하고,

상기 테이퍼진 합류 보어는 상기 노즐의 출구 개구로 이어지는 거의 일정한 직경의 보어가 뒤따르는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 12

청구항 10에 있어서,

에어로졸 빔의 직경은 보어의 출구 개구의 직경보다 상당히 작은 직경으로 포커스되는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 13

청구항 10에 있어서,

에어로졸 빔은 실질적으로 노즐의 출구 개구를 빠져나감에 따라 시준되는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 14

청구항 13에 있어서,

에어로졸 빔은 노즐의 출구 개구를 빠져나가기 전에 보어의 형태가 되는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 15

청구항 2에 있어서,

제1 및 제2채널에 인접하여 배치된 가열 요소를 더 포함하며,

상기 가열 요소는 노즐을 통해 가속됨에 따라 캐리어 및 가스 가스의 온도로 물방울을 보상하기 위해 미리 결정된 온도로 캐리어 및 가속 가스를 가열하도록 구성되는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템.

청구항 16

기관 상에 고체 입자들의 증착을 위해 구성된 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드로서,
 고체 입자들을 포함한 분무형 전구체 재료를 포함하는 캐리어 가스를 받아들이기 위한 제1입력부;
 가속 가스를 받아들이기 위한 제2입력부; 및
 증착 헤드의 출력부의 노즐을 포함하며,
 상기 노즐은 입구 개구 및 출구 개구를 갖추고,
 상기 가속 가스는 기관 상에 정형 형태를 생성하기 위해 기관에 충돌됨에 따라 고체 입자들이 변형되도록 고속의 에어로졸 빔으로서 노즐의 출구 개구 밖으로 캐리어 가스를 몰아내도록 이루어진, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 17

청구항 16에 있어서,
 적어도 상기 증착 헤드의 길이를 따라 입력부로부터 캐리어 가스를 전송하도록 구성되고, 노즐의 입구 개구와 출구 포트간 갭을 형성하도록 상기 노즐의 입구 개구로부터 공간 이격된 출구 포트를 갖춘 제1채널; 및
 캐리어 가스와 통합시키기 위해 상기 갭으로 가속 가스를 전송하도록 구성된 제2채널을 더 포함하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 18

청구항 16에 있어서,
 상기 입자들은 금속 성분을 포함하며,
 상기 정형 형태는 기관 상에 전도성 형태를 포함하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 19

청구항 18에 있어서,
 상기 형태는 1 μm 내지 200 μm 범위의 폭을 갖는 라인을 포함하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 20

청구항 19에 있어서,
 상기 형태는 5 μm 와 100 μm 범위의 폭을 갖는 라인을 포함하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 21

청구항 20에 있어서,
 상기 형태는 10 μm 와 50 μm 범위의 폭을 갖는 라인을 포함하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 22

청구항 16에 있어서,
 출구 개구에서 에어로졸 빔은 200 m/s와 1000 m/s 사이 범위의 속도를 갖는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 23

청구항 22에 있어서,

제1채널은 노즐과 거의 동심으로 위치되고,

제2채널은 캐리어 가스에 대해 비스듬히 꺾으로 가속 가스를 전송하도록 구성된, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 24

청구항 23에 있어서,

제2채널은 꺾으로 이끌어지는 원뿔형 채널을 형성하고,

제1채널의 출구 포트는 상기 원뿔형 채널의 정점에서 끝나는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 25

청구항 17에 있어서,

노즐은 테이퍼진 합류 보어를 포함하고,

상기 노즐의 입구 개구는 출구 개구의 직경보다 큰, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 26

청구항 25에 있어서,

노즐은 상기 노즐의 입구 개구로부터 이어지는 테이퍼진 합류 보어를 포함하고,

상기 테이퍼진 합류 보어는 상기 노즐의 출구 개구로 이어지는 거의 일정한 직경의 보어가 뒤따르는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 27

청구항 25에 있어서,

에어로졸 빔은 보어의 출구 개구의 직경보다 상당히 작은 직경으로 포커스되는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 28

청구항 25에 있어서,

에어로졸 빔은 실질적으로 노즐의 출구 개구를 빠져나감에 따라 시준되는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 29

청구항 28에 있어서,

에어로졸 빔은 노즐의 출구 개구를 빠져나가기 전에 보어의 형태가 되는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 30

청구항 17에 있어서,

제1 및 제2채널에 인접하여 배치된 가열 요소를 더 포함하며,

상기 가열 요소는 노즐을 통해 가속됨에 따라 캐리어 및 가소 가스의 온도로 물방울을 보상하기 위해 미리 결정된 온도로 캐리어 및 가속 가스를 가열하도록 구성되는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 31

청구항 16에 있어서,

상기 정형 형태는 변형가능 고체를 포함하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 32

청구항 16에 있어서,

상기 정형 형태는 폴리머를 포함하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 33

청구항 32에 있어서,

상기 폴리머는 절연체로서 작용하는, 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드.

청구항 34

인쇄 회로 애플리케이션을 위한 기판 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법으로서,

정형 형태를 형성하기 위해 기판 상에 분무형 분말을 콜드 스프레이하는 단계를 포함하며,

상기 정형 형태의 길이 및 폭의 치수 중 적어도 하나는 500 μ 미하인, 기판 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 35

청구항 34에 있어서,

상기 정형 형태는 5 μ m와 100 μ m 범위의 라인 폭을 포함하는, 기판 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 36

청구항 35에 있어서,

상기 정형 형태는 10 μ m와 50 μ m 범위의 라인 폭을 포함하는, 기판 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 37

청구항 34에 있어서,

고체 금속 분말은 기판 상에 정형 형태를 생성하기 위해 기판에 충돌됨에 따라 고체 입자들이 변형되도록 고속 에어로졸 빔으로서 증착되는, 기판 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 38

청구항 37에 있어서,

출구 개구에서 에어로졸 빔은 200 m/s와 1000 m/s 사이 범위의 속도를 갖는, 기판 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 39

청구항 34에 있어서,

분무형 분말을 콜드 스프레이하는 단계는;

상기 분무형 분말을 이송하는 캐리어 가스를 증착 헤드로 투입하는 단계;

금속 입자들을 가속하기 위해 증착 헤드로 가속 가스를 투입하는 단계; 및

고속 에어로졸 빔을 형성하기 위해 노즐의 출구 개구 밖으로 캐리어 가스를 몰아내도록 가속 가스를 캐리어 가수와 통합시키는 단계를 포함하며,

상기 증착 헤드는 이 증착 헤드의 출력부에 노즐을 포함하고,

상기 노즐은 입구 개구 및 출구 개구를 갖춘, 기관 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 40

청구항 39에 있어서,

노즐을 통과해 감에 따라 가속 및 캐리어 가스의 온도로 물방울을 보상하기 위해 미리 결정된 온도로 증착 헤드를 가열하는 단계를 더 포함하는, 기관 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 41

청구항 39에 있어서,

증착 헤드는 적어도 상기 증착 헤드의 길이를 따라 입력부로부터 캐리어 가스를 전송하도록 구성된 제1채널을 포함하고,

상기 제1채널은 노즐의 입구 개구와 출구 포트간 갭을 형성하도록 상기 노즐의 입구 개구로부터 공간 이격된 출구 포트를 갖추며,

상기 증착 헤드는 캐리어 가스와 통합시키기 위해 상기 갭에 가속 가스를 전송하도록 구성된 제2채널을 포함하는, 기관 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 42

청구항 37에 있어서,

정형 형태는 기관 상에 전도성 형태를 포함하는, 기관 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 43

청구항 41에 있어서,

제1채널은 노즐과 거의 동심으로 위치되고,

제2채널은 캐리어 가스에 대해 비스듬히 갭으로 가속 가스를 전송하도록 구성된, 기관 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 44

청구항 43에 있어서,

제2채널은 갭으로 이어지는 원뿔형 채널을 형성하고,

제1채널의 출구 포트는 상기 원뿔형 채널의 정점에서 끝나는, 기관 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 45

청구항 39에 있어서,

에어로졸 빔은 보어의 출구 개구의 직경보다 상당히 작은 직경으로 포커스되는, 기관 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 46

청구항 39에 있어서,

에어로졸 빔은 실질적으로 노즐의 출구 개구를 빠져나감에 따라 시준되는, 기관 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 47

청구항 46에 있어서,

에어로졸 빔은 노즐의 출구 개구를 빠져나가기 전에 보어의 형태가 되는, 기관 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 48

청구항 34에 있어서,

정형 형태는 변형가능 고체를 포함하는, 기관 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 49

청구항 34에 있어서,

정형 형태는 폴리머를 포함하는, 기관 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

청구항 50

청구항 49에 있어서,

상기 폴리머는 절연체로서 작용하는, 기관 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법.

명세서

기술분야

- [0001] 관련 출원에 대한 상호 참조
- [0002] 본 출원은 2012년 1월 27일 출원된 미국 가특허출원 제61/591,365호, 및 2012년 8월 20일 출원된 미국 가특허출원 제61/691,112호의 비가출원이며, 상기 특허 문헌의 내용은 참조를 위해 본 발명에 포함된다.
- [0003] 정부 지원 연구 또는 개발 관련 사항
- [0004] 본 발명은 미 국방부 마이크로일렉트로닉스 액티비티(DMEA; Defense Microelectronics Activity)와 계약 제 H94003-09-2-0905호에 따라 정부 지원을 받았다. 정부는 본 발명에 대한 일정 권리를 갖는다.
- [0005] 저작권 보호를 위한 자료의 통지
- [0006] 본 특허 문서의 자료의 일부는 미국 및 다른 국가의 저작권법 하에 저작권 보호를 받는다. 저작권 권리의 소유자는 미국 특허청 공개 파일 또는 기록에 나타나는 것과 같은 특허 문서 또는 특허 명세서에 대한 누군가의 모사 복사에는 이의가 없지만, 그렇지 않은 경우 무엇이든지 모든 저작권 권리를 소유한다. 저작권 소유자는 비밀로 유지된 이러한 특허 문서에 대한 어떠한 권리도 포기하지 않으며, 그러한 권리를 37 C.F.R. § 1.14에 따라 제한없이 포함한다.

배경기술

- [0007] 1. 발명의 분야
- [0008] 일반적으로, 본 발명은 직접 기록 제조 방법 및 장치에 관한 것으로, 보다 구체적으로 직접 기록 제조에 이용된 증착 헤드 또는 팁(tip)으로부터 방출된 입자의 포커싱에 관한 것이다.
- [0009] 2. 관련 기술 설명
- [0010] 2차 레벨의 패키징, 즉 인쇄회로보드의 제조는 전자 장치의 제조에 있어 주요한 부분을 구성한다. 그 1차 기능은 구성요소들을 위한 설치면을 제공하고, 구성요소들을 위한 입력/출력 패드, 또는 비아 홀(via hole)을 제공하고, 요소들간 상호작용을 위한 인터커넥트(interconnect)를 제공하고, 회로보드 테스트를 위한 프로브 포인트(probe point)를 제공하고, 어셈블리 중 식별 포인트를 제공함과 더불어 현장 유지관리 및 서비스 중 지원을 위한 식별 포인트를 제공하는 것을 포함한다.
- [0011] 단단하면서 유연한 기관 상에 2차 레벨의 패키징에서 인터커넥트를 인쇄하기 위해 몇몇 병렬 뿐만 아니라 직렬

기술들이 개발되었다. 구리 에칭 및 스크린 인쇄는 2차 레벨의 패키징에서 인터커넥트의 제조를 위한 가장 흔히 사용된 병렬 프로세스이다. 상기 구리 에칭 프로세스의 형태 크기는 보통 50 μm 로 제한된다. 그러한 에칭 프로세스는 많은 폴리머 기판 재료들과 호환되지 않는 몇몇 화학제품의 사용을 포함한다.

[0012] 스크린 인쇄 프로세스의 형태 크기는 100 μm 로 제한되며, 그러한 좀더 작은 형태의 인쇄는 특정 스크린의 사용을 필요로 한다. 몇몇 기존의 방법들은 인쇄용 마스크가 박막 리소그래피를 이용하여 생성되는 매우 복잡한 스크린 인쇄 프로세스를 이용하여 50 μm 폭 라인을 인쇄할 수 있다. 더욱이, 스크린 인쇄를 위해 사용된 가장 상업적으로 이용가능한 잉크는 15 μm 정도로 큰 금속 박편(metal flake)를 가지며, 이는 일관되게 50 μm 보다 작은 전도성 형태(conductive feature)를 거의 인쇄할 수 없게 한다. 또한, 병렬 프로세스는 잉크 및 전도성 재료를 낭비하며 아주 작은 디자인 변경은 새로운 마스크 또는 스크린을 필요로 한다. 이들 병렬 프로세스는 또한 비아 홀들을 채울 수 없고, 이에 따라 제조 비용이 증가되는 비아 홀을 채우기 위해 추가의 시린지(syringe) 기반 프로세스가 사용된다.

[0013] 다수의 직접 기록(직렬) 프로세스들은 병렬 프로세스들의 한계를 처리하기 위해 개발되었다. 마스크리스 중규모 재료 증착(Maskless Mesoscale Material Deposition)(M3D[®]) 프로세스는 기판 상에 형태를 인쇄하기 위해 전도성 나노 잉크의 에어로졸 빔(aerosol beam)을 사용한다. M3D[®] 프로세스의 변형인 시준된 에어로졸 빔 직접 기록 증착(CAB-DW; Collimated Aerosol Beam Direct Write De위치) 방법은 형태를 인쇄하기 위해 은 나노 잉크(silver nano ink)를 증착하도록 합류 및 분기 노즐의 조합을 이용한다. 잉크젯 인쇄 프로세스는 마이크로 모세관을 통해 잉크 방울을 기판 상에 제공한다. 시린지 기반 직접 기록 기술들은 기판 상에 전도성 트레이스 패턴(conductive trace pattern)을 인쇄하기 위해 "마이크로펜(micropen)"을 이용한다. 상기 직접 기록 프로세스 모두는 나노 잉크를 이용하며, 이는 그러한 형태가 전기 전도성을 갖게 하기 위해 추가의 소결 단계를 필요로 한다. 종종, 소결 온도는 폴리머 기판의 유리 전이 온도(transition temperature)보다 높으며, 이는 저비용의 유연한 전자 장치에 적절하지 않다. 더욱이, 그러한 잉크는 비아 홀을 채우는데 부적합하며, 이로 인해 열적으로 소결될 때 잉크의 솔벤트가 증발함에 따라 잉크량이 감소한다.

[0014] 또한, 다수의 레이저 기반 직접 기록 방법들이 개발되고 있다. 매트릭스 지원의 펄스 레이저 증착 직접 기록(MAPLE-DW; Matrix Assisted Pulsed Laser Evaporation Direct Write) 방법은 레이저를 이용하여 투명 소스로부터 수용 기판으로 소량의 증착 재료를 전달하는데 사용된다. 레이저 마이크로 클래딩 전자 페이스트(LMCEP; Laser Micro Cladding Electronic Paste) 프로세스에 있어서, 레이저는 전도성 재료를 포함하는 에폭시 페이스트로 코팅된 기판 상에 선택적으로 조사된다. 이후 나중에, 전도성 패턴을 얻기 위해 비경화의 페이스트는 씻어버린다. 그러나, 그러한 제조 프로세스에 있어서의 레이저의 도입은 제조된 제품의 비용을 실질적으로 증가시킨다.

[0015] 콜드 스프레이(cold spray) 또는 키네틱 스프레이(kinetic spray) 재료 증착 방법은 맨 처음 1980년대 초 풍동(wind tunnel)에서의 2-상 초음파 유동(two-phase supersonic flow)을 연구하던 중 발견했다. 만약 소정의 임계 속도 이상으로 유동 스트림의 입자가 표면에 충돌된다면, 그러한 입자가 순식간에 플라스틱 변형 되어 종종 고체 표면에 매우 강하게 접촉되는 스플랫(splat)이 그러한 고체 표면에 만들어지는 것을 발견하였다. 그러한 스플랫을 만드는데 필요한 임계 속도는 그러한 입자 재료에 좌우된다.

[0016] 상기한 콜드 스프레이 증착 프로세스는 표면 코팅 방법(큰 표면적을 코팅하는)으로서 독점 사용되나, 마이크로 전자 애플리케이션들을 위한 직접 기록 프로세스에서 요구된 것과 같은 작은 규정된 형태를 형성하는 데는 사용되지 않는다.

[0017] 높은 온도 플라즈마 플룸(plasma plume)에 의한 열적 스프레이를 이용한 미세 형태 증착이 개발되었다(U.S. No. 6,576,861 참조). 75 μ 정도로 작은 형태들이 보고되었다. 그러나, 이러한 증착 방법은 높은 온도 플라즈마 토치(plasma torch)에 좌우된다. 이는 유연한 마이크로전자, 및 솔라(solar) 애플리케이션들에 사용된 것과 같은 열적으로 민감한 기판에는 부적합하다. 또한, 이러한 프로세스는 특정 크기를 달성하기 위해 증착 패턴의 마스크를 위해 물리적 시준기를 이용한다.

[0018] 따라서, 본 발명의 대상은 인쇄된 마이크로전자 애플리케이션의 직접 기록을 위한 빔 증착에 초점을 맞춘 콜드 스프레이 증착 프로세스이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0019] 본 발명은 마이크로 콜드 스프레이 직접 기록 시스템 및 인쇄된 마이크로 전자를 위한 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0020] 본 발명은 단지 약간 상승된 온도에서 작은 크기를 갖는 금속성을 갖는 형태의 증착에 관한 것이다. 본 발명은 금속성 분말 전구체를 이용하여 금속성 라인을 직접 기록하도록 구성된 시스템 및 방법을 포함한다. 본 발명의 이러한 증착 시스템 및 방법은 높은 증착 비율로 온도 민감 기관 상에서 수행될 것이다.

[0021] 상기 본 발명의 시스템 및 방법은 각각의 분리된 가스 유동들(캐리어 및 가속)을 이용하는 것을 포함하며, 가스의 비율과 양 및 예열 온도는 마이크로 노즐을 통해 분말 스트림의 최대 포커싱을 얻도록 최적화될 것이다. 적절하게 포커싱 및 가속될 때, 최초의 전구체 입자 크기 및 시스템의 포커싱 특성에 의해 1차적으로 제한된 라인 폭을 갖는 10 μ 정도로 작은 형태가 가능할 것이다. 이러한 시스템을 위한 노즐은 50 μ와 500 μ 사이인 것으로 예상되는 노즐 쓰로트(throat) 직경에 의해 아음속(subsonic), 또는 초음속일 수 있다. 이러한 기술은 인터커넥트 및 다른 금속성 형태를 기록하기 위한 마이크로전자의 애플리케이션, 및 상부 금속화 층의 직접 기록을 위한 솔라 셀 애플리케이션이 있다. 이러한 프로세스의 주요한 장점은 소결의 필요성 없이, 또 다른 이후의 처리를 필요로 하지 않고 금속 라인의 증착을 제공하는 한편, 부피에 근사한 전도성을 달성하는데 있다.

[0022] 또 다른 형태는 인쇄 마이크로전자 애플리케이션을 위한 직접 기록 기술로서 콜드 스프레이 프로세스가 있다. 그러한 본 발명의 콜드 스프레이 프로세스를 이용하여, 0.5 μm에서 5 μm로 변경되는 크기를 갖는 알루미늄, 주석 및 동 입자들이 유리, 실리콘, BT, PEEK, 폴리이미드, 테플론, PES, LCP, 테슬린(Teslin), FR4 및 마일라(Mylar) 상에 증착된다. 75 μm 정도로 작은 라인들이 인쇄되고, 75 μm 정도로 작은 비아 홀들이 최적화 처리 파라미터 및 노즐 형태에 의해 채워진다. 다른 증착 헤드는 적절한 처리 파라미터들을 이용한 후 50 μm 형태의 가능한 인쇄를 실시한다. 동, 주석 및 알루미늄의 평균 크기의 저항률 값은 통상 각각 4.4 μΩ-cm, 28 μΩ-cm 및 4.08 μΩ-cm이다.

[0023] 본 발명의 또 다른 형태는 일정한 반경의 섹션으로 이어지는 합류의 반경 섹션을 구비한 노즐 구성이며, 이는 최소 크기를 갖는 정교한 형태를 생성할 수 있게 한다.

[0024] 본 발명의 또 다른 형태는 본 명세서의 이하의 부분에서 제공되며, 그러한 상세한 설명은 발명의 바람직한 실시 예를 충분히 기술하기 위한 것으로, 그것으로 한정하진 않는다.

도면의 간단한 설명

[0025] 본 발명은 단지 설명의 목적만을 위한 이하의 도면을 참조함으로써 좀더 잘 이해할 수 있을 것이다:

- 도 1은 본 발명의 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템을 나타내는 개략도이다.
- 도 2는 도 1의 증착 헤드의 내부 형태를 나타내는 개략 단면도이다.
- 도 3은 증착 헤드에 유동 콘이 없는(좌측) 그리고 유동 콘이 있는(우측) 유리 상에 증착된 동 라인들의 이미지를 나타낸다.
- 도 4a-4c는 각각 50 psi 압력, 80 psi 압력, 및 110 psi 압력으로 실리콘 상에 증착된 동 라인들의 횡단면 SEM 이미지들을 나타낸다.
- 도 5는 본 발명에 따른 동으로 채워진 150 μm 직경 비아 홀의 SEM 이미지이다.
- 도 6은 본 발명에 따른 알루미늄 동으로 채워진 150, 100 및 75 μm 비아 홀의 SEM 이미지이다.
- 도 7a 및 7b는 바람직하고 바람직하지 않은 마이크로구조를 나타내는 실리콘 상에 증착된 알루미늄 라인들의 고해상도 횡단면 SEM 이미지들을 나타낸다.
- 도 8a 및 8b는 종래의 노즐을 빠져나가는 2 μm 입자 궤적의 이미지들을 나타낸다.

도 9는 본 발명에 따른 노즐 구성을 나타낸다.

도 10은 400 μm 입구 및 100 μm 출구를 갖는 합류(수렴)의 일정 반경 노즐을 통해 유동되는 2 μm 직경의 에어로졸 입자들의 시뮬레이션을 나타낸다.

도 11은 카본-테이프(carbon-tape) 상의 실험용 에어로졸 유동을 위한 4 μm 실리카 분말의 스캐닝 전자 현미경(SEM; scanning electron microscope) 이미지이다.

도 12는 스토크스 힘(Stokes force)만을 이용하는 이론과 비교된 선형적-합류의 200 μm 노즐, 및 161 μm 합류의 알루미늄(세라믹) 노즐에 대한 노즐 출구로부터의 거리 대 빔 폭의 그래프이다.

도 13은 길이 11.84 mm, 17 mm, 및 30 mm의 200 μm 직선 섹션을 갖는 161 μm 합류의 알루미늄(세라믹) 노즐에 대한 노즐 출구로부터의 거리 대 빔 폭의 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 도 1은 본 발명에 따른 인쇄된 전자 애플리케이션에 대한 형태의 직접 기록 증착을 위한 마이크로 콜드 스프레이(MCS) 시스템(10)을 나타내는 개략도이다. 이러한 시스템은 고속 에어로졸 빔(15)을 기관(18) 상에 충돌시키고, 여기서 이들이 기관 및 스틱에 충돌됨에 따라 고체 입자들이 변형됨으로써, 근사-연속의 금속 형태(16)를 형성한다. 바람직한 실시예에 있어서, 그러한 금속 형태는 마이크로 전자들의 2차 레벨 패키징을 위한 전도성 인터커넥트(interconnect)를 포함한다. 상기 금속 형태는 500 μm 이하, 바람직하게 1 μm 내지 500 μm 범위, 보다 바람직하게 5 μm 와 100 μm 사이, 보다 더 바람직하게 10 μm 와 50 μm 사이의 라인 폭으로 기관 상에 인쇄될 것이다.

[0027] 상기 시스템(10)은 또한 재료가 가단성(malleable)이 있는 한 소정의 고체 재료를 이용하여 절연 또는 반도체 형태를 인쇄하는데 사용될 수도 있다. 이들 재료의 예는 한정하진 않지만 폴리에틸렌(Polyethylene), 폴리프로필렌(polypropylene), 폴리메틸메타크릴레이트(polymethylmethacrylate), 폴리설폰(polysulfone), 폴리에테르(polyethers), 폴리케톤(polyketones), 폴리테트로플루오로에틸렌(polytetrafluoroethylene), 폴리비닐디엔(poly vinylidene), 폴리 3-헥실티오펜(poly 3-hexylthiophene)과 같은 폴리머, 및 관련 재료들을 포함한다.

[0028] 헬륨은 분말 공급 가스 질량 유량 컨트롤러(22; MFC)에 의해 좌우되는 일정한 유량으로 분말 공급기(20) 내로 도입된다. 그러한 전구체(precursor) 재료(바람직하게는 금속 성분을 포함하는 건조 입자)가 상기 분말 공급기(20)로 분무되어 라인(30)을 통해 증착 헤드(12)의 근위 입력단(23; proximal input end)으로 이송된다. 이러한 설명의 목적을 위해, 분말 공급기(20)로부터의 라인(30)의 유동을 캐리어 가스 유동(f_c)이라 한다.

[0029] 헬륨(28)의 제2스트림(28)은 캐리어 가스 유동(f_c) 내에 입자들을 가속시키기 위해 증착 헤드(12)의 근위 입력단(23)으로 도입된다. 이러한 설명의 목적을 위해, 라인(28)에서의 유동을 가속 가스 유동(f_a)이라 한다. 라인(28)의 가속 가스 유동(f_a)은 가속 가스 MFC(24)에 의해 커버되고, 라인에 대한 피드백이 압력 게이지(26)에 의해 제공된다.

[0030] 증착 헤드(12)는 노즐(14)로부터 나와 기관(18) 상에 증착되어 전도성 트레이스(16)를 형성하는 금속 입자들을 포커스하도록 구성된 원단 또는 출력단(25)에 노즐(14)을 갖춘다. 그러한 증착 헤드(12)는 기관(18)에 연결된 간단한 X-Y-Z 로봇(도시하지 않음) 또는 XYZ 스테이지(42)를 이용하여 기동될 것이다.

[0031] 도 2는 증착 헤드(12)의 원단의 상세한 단면도를 나타낸다. 그러한 증착 헤드(12)는 캐리어 가스(f_c)를 공급하는 동심원으로 위치한 라인(30)을 포함한다. 가속 가스(f_a)는 상기 중심 라인(30)으로부터 공간 이격된 거리로 배치된 측면 라인(28; 또는 하나의 환형 라인)으로 분할된다. 라인(28)은 웨지(wedge) 또는 유동 콘(32; flow cone)에 의해 규정된 테이퍼 섹션(46; tapered section)에서 합류한다. 채널(28)이 환형인 실시예에 있어서, 웨지/유동 콘(32) 및 채널(46)은 캐리어 가스 라인(30)의 출구 포트(34)에 원뿔형 통로를 형성하며, 그 통로는 원뿔형 채널(46)의 정점에서 끝난다.

[0032] 도 2에 나타난 바와 같이, 상기 출구 포트(34)는 가속 가스 유동(f_a)이 캐리어 가스 유동(f_c)과 통합되어 노즐(14)의 합류 채널(44)로 가속될 수 있도록 노즐(14)의 넥(neck; 34) 상에 거리(d_f)를 유지한다. 그러한 거리(d_f)는 상기 노즐(14)로 입자 유동의 적절한 분배를 향상시키기 위한 적합한 크기(약 1mm의 길이, 그러나 다른 길이가 고려될 수 있다)가 된다. 도 1에 나타난 노즐(14)은 입구(48)에서 큰 직경을 갖고 출구 개구(36)에서

작은 직경을 갖는 테이퍼지거나 또는 합류되는 보어(44; bore)를 갖는다(약 50 μm 내지 500 μm). 바람직하게, 상기 출구 개구(36)는 0.5mm 내지 10mm 범위의 이격 거리(ds)로 기관(18)으로부터 공간 이격된다.

- [0033] 상기 증착 헤드(12)는 상기 합류 노즐(14)를 통과해 가는 헬륨의 온도로 그 물방울을 보상하여 노즐 입구(42)에서 억제된 유동 조건을 달성하기 위해 중심 라인(30)과 측면 라인(28)간 배치된 가열 요소(40)들을 통해 미리 결정된 온도로 가열된다. 노즐(14)에 걸친 물방울 온도의 대략적인 추정은 변경되는 단면 영역을 갖는 덕트를 통한 동일한 가스의 준 1차원 등엔트로피 유동(quasi one-dimensional isentropic flow) 식을 이용하여 결정될 것이다.
- [0034] 게이지 압력은 도 1에 나타난 압력 게이지(26)에 의해 측정된 것과 같은 증착 헤드(12)에서의 정압(static pressure)이다. 캐리어 가스 유량 및 가속 가스 유량은 각각 캐리어 가스(f_c) 및 가속 가스(f_a)에 대한 MKS 100B 질량 유량 컨트롤러(22, 24)들에 의해 측정된 것과 같은 부피 측정 유량으로서 정의된다. 그러한 유량은 사용되는 특정 입자에 따른 증착된 건조 입자들의 유출 속도를 생성하기 위해 설정된다. 통상적인 속도는 200 m/s 내지 1000 m/s의 범위인데, 예컨대 납 입자에 있어서는 250 m/s까지이고, 동 입자에 있어서는 500 m/s까지이다.
- [0035] 실험 #1 구성
- [0036] 2개의 프로토타입 MCS 증착 헤드가 구성된다. 제1프로토타입 테스트 MCS 증착 헤드는 유동 콘 없이 구성되며, 어느 하나는 도 2에 나타난 바와 같이 유동 콘(32)을 구비하여 구성된다. 그러한 제2프로토타입에서의 그러한 유동 콘의 도입은 인쇄된 라인에서의 과다 분무 및 상당한 형태 크기의 감소를 나타내는 것으로 밝혀졌다. 도 2에 나타난 바와 같은 선형적 합류의 노즐(14)은 1 mm의 입구(48) 직경, 200 μm 의 출구 또는 쓰로트(throat) 직경, 및 19 mm의 길이를 가지며, 이러한 설정의 실험에 이용된다. 게이지 압력을 변경하는 경우, 캐리어 가스 유량은 800 $\text{cm}^3/\text{minute}$ 으로 일정하게 유지되고, 가속 가스 유량은 50 psi 내지 90 psi의 노즐(14)의 입구(48)에서의 게이지 압력을 야기하는 2200 $\text{cm}^3/\text{minute}$ 내지 14000 $\text{cm}^3/\text{minute}$ 사이에서 변경한다.
- [0037] 적절한 조건을 이용하여, 0.5 μm - 5 μm 사이에서 변경되는 동, 알루미늄 및 주석 입자가 유리 기관 상에 증착된다. 라인의 평균 높이는 KLA Tencor's P-15 Longscan Stylus Contact Profiler를 이용하여 측정되고, 그러한 라인의 폭은 Olympus optical microscope를 이용하여 측정되며, 상기 라인의 저항은 Agilent Technologies B1500A Semiconductor Device Analyzer를 이용하여 측정된다. 임의 샘플링이 저항을 측정을 위해 이용된다.
- [0038] 또 다른 설정의 실시예에 있어서, 동, 주석 및 알루미늄 분말이 유리, 실리콘, BT, PEEK, 폴리 이미드, 테플론, PES, LCP, 테슬린(Teslin), FR4 및 마일라(Mylar) 기관 상에 인쇄된다. 기관 재료와 그러한 분말의 호환성을 연구하기 위해, 그러한 인쇄된 라인이 벌크 저항물로 특징되어 마이크로스코프 하에 시각적으로 시험했다. 또 다른 설정의 실시예에 있어서, 라인들이 노즐 형태를 변경하고 적절한 처리 파라미터를 변경함으로써 인쇄된다.
- [0039] 또한 비아 홀을 채우기 위한 본 발명의 MCS 증착 프로세스 이용의 효율성을 조사하기 위한 실험이 수행되었다. 150 μm , 100 μm and 75 μm 크기의 비아 홀이 두께 200 μm 의 사파이어 다이 상에서 미세가공되었다. 그러한 사파이어 다이는 퓨즈 실리카(fused silica) 유리 슬라이드 상에 고정되고, 확대경이 그러한 비아 홀 상에 MCS 증착 헤드의 노즐을 정렬하기 위해 이용된다. 분말 유량이 높은 값으로 설정되고, 상기 헤드가 비아 홀을 걸쳐 천천히 가로지른다. 상기 비아 홀의 채움은 광학 현미경을 이용하여 측정된다.
- [0040] 실험 #1 결과
- [0041] 동, 주석 및 알루미늄에 대한 벌크(bulk) 저항률 값은 통상 각각 4.4 $\mu\Omega\text{-cm}$, 28 $\mu\Omega\text{-cm}$ 및 4.08 $\mu\Omega\text{-cm}$ 이다. 라인 형태 상의 처리 파라미터들의 효과를 추정된 후, 보다 작은 쓰로트 직경의 노즐(14)들이 처리 파라미터들을 변경함으로써 형태를 인쇄하는데 사용된다. 도 3은 제1증착 헤드 프로토타입(유동 콘(32)이 없는)과의 형태 크기의 차이를 나타내며, 유동 콘(32)이 제2증착 헤드 프로토타입에 도입될 때를 나타낸다. 400 $\text{cm}^3/\text{minute}$ 의 캐리어 가스 유량, 110 psi의 게이지 압력, 0.5 mm의 이격 높이(d_s), 1 mm의 유동 콘 높이(d_f), 및 1 mm/second의 기관(18) 속도를 이용할 경우, 100 μm 의 쓰로트(36) 직경을 갖는 노즐(14)을 이용하여 50 μm 정도로 작은 라인이 인쇄되고, 이에 따라 노즐 출구(36) 너머로 증착된 파티클(16)의 포커싱을 나타낸다. 이들 라인의 저항률은 1.9 $\mu\Omega\text{-cm}$ 로 산출된 반면 순수 동은 벌크 저항률은 1.68 $\mu\Omega\text{-cm}$ 로 산출되었다. 이는 벌크 금속의 90%까지 전도성을 갖는 형태를 인쇄하기 위한 MCS 직접-기록 시스템(10)의 호환성을 보여준다.
- [0042] 도 4a 내지 4c는 각기 다른 게이지 압력들을 이용하여 실리콘 기관 상에 인쇄된 동 라인들의 높은 해상도의 단

면의 SEM 이미지들을 나타낸다. 50 psi(도 4a)에서, 동 파티클들이 서로 상에 스플랫되어 높은 다공성을 갖는 다층화 코팅을 형성한다. 만약 그러한 압력이 80 psi(도 4b)로 증가되면, 그러한 파티클의 속도, 및 그에 따른 에너지 또한 증가된다. 이는 동 증착의 다공성을 감소시키는 보다 높은 에너지 임팩트(impact)를 야기한다. 110 psi(도 4c)의 높은 압력에서, 그러한 형태의 다공성은 감소하고, 그러한 코팅에서의 동 층 두께 또한 감소한다.

[0043] 또 다른 설정의 실험에 있어서, 크기가 변경되는 비아 홀들이 동 및 알루미늄 분말로 채워진다. 도 5는 150 μm 의 비아 홀을 나타내고, 도 6은 150 μm , 100 μm , 및 75 μm 의 비아 홀을 나타내며, 그 모두는 본 발명의 MCS 직접-기록 프로세스를 이용하여 채워진다. 도 5는 유리 슬라이드 상에 배치된 비아의 "하부"측으로부터 취해진 것이다. 그러한 증착이 유리 기판에 매우 잘 부착됨에 따라 유리로부터 그 비아를 제거하기 위한 최초 시도가 성공하지 못했다. 다이가 들어 올려질 때, 상기 증착은 유리 슬라이드에 부착 유지되어 비아 상의 우측의 상부 접촉 라인 이외의 다른 섹션을 잡아당긴다. 다이를 제거하기 위한 미래의 시도가 다이의 측면에 힘을 인가함으로써 행해진다. 이는 그러한 증착이 기판의 전단(shear off)을 야기시켰다. 이는 MCS 증착 재료가 기판에 대해 매우 양호하게 접촉된다는 것을 확실히 보여주는 것이다. 알루미늄 분말로 채워진 비아 홀을 갖는 도 6에 있어서, 150 μm 및 75 μm 비아 홀들은 이들 비아 홀에 대한 증착 헤드 노즐의 오정렬로 인해 완전하게 채워지지 않는 것을 보여준다.

[0044] 도 7a 및 7b는 개별 입자들간 접촉 영역 및 다공성을 연구하기 위해 변경의 게이지 압력으로 실리콘 기판 상에 증착된 알루미늄 라인들의 고선명도 SEM 사진을 나타낸다. 각기 다른 게이지 압력을 이용하여 인쇄된 동 라인들의 경우와 유사하게, 낮은 게이지 압력으로 인쇄된 알루미늄 라인들은 높은 다공성을 가졌다. 매우 높은 게이지 압력으로 인쇄된 라인들은 금속 증착의 낮은 다공성 박막층을 나타냈다.

[0045] 이상적으로, 라인에서의 높은 전도성을 얻기 위해, 그러한 다공성은 최소가 되고, 금속 입자간 유효 접촉 영역은 최대가 될 것이다. 도 7a 및 7b는 양호한 접촉 뿐만 아니라 좋지 않은 접촉 모두가 개별 라인 상에서 얻어지고 있는 것을 나타낸다. 직접 표면을 때리는 입자들은 "스플랫"을 만들고 이에 따라 기판에 라인의 접촉에 기여한다. 다른 알루미늄 입자들에 충돌되어 퓨즈 인터페이스(fused interface)되는 입자들은 낮은 다공성을 갖는 양호한 마이크로구조를 갖는 반면, 다른 입자들과 언퓨즈 인터페이스(unfused interface)되는 입자들은 높은 벌크 저항률을 이끄는 높은 다공성을 갖는 좋지 않은 마이크로구조를 갖는다. 그와 같은 혼합된 인터페이스는 MCS 증착 프로세스가 최적화되지 않을 경우 예상되는 것을 알 수 있을 것이다.

[0046] 라인 형태 상에서의 처리 파라미터의 효과를 연구하기 위한 실험들이 수행되었다. 주석 분말이 25-60 psi간 변경되는 게이지 압력에 따라 200°C의 가스 온도로 실리콘 기판 상에 증착되었다. 시스템을 200°C 이상 상승시키는 것은 주석의 용융점이 231°C이므로 노즐의 막힘(clogging)을 야기한다. 게이지 압력을 신중하게 최적화함으로써, 삼각형의 단면 영역이 얻어질 수 있다는 것을 알아냈다. 주석 라인들의 벌크 저항률이 27.2 $\mu\Omega$ - cm에서 70 $\mu\Omega$ -cm으로 변경되었고, 이는 이론적인 주석의 벌크 저항률의 대략 2-6배이다. 또한, 상술한 바와 같이, 기판에서의 입자들의 근접 검사로부터, 입자 인터페이스는 라인의 마이크로구조가 기판에 가장 근접한다는 것을 나타낸다.

[0047] 마지막으로, 각기 다른 기판 상에 주석, 동 및 알루미늄 입자들을 증착시키는 실험이 수행되었다. 하기의 표 1은 테스트되는 금속 및 기판들의 모든 조합을 나타낸다. "예"는 기계적으로 연속 라인의 증착이 성공되나 그 라인이 전도성을 갖지 않는다는 것을 나타낸다. "아니오"는 이러한 조합이 기계적으로 연속 라인을 여전히 생산하지 못한다는 것을 나타낸다. 주석은 유리와 단단한 실리콘 기판의 양호한 접촉을 나타냈으나, 이는 가장 유연한 기판 상에서의 좋지 않은 증착 효율을 나타냈다. 알루미늄과 동은 가장 유연하면서 단단한 기판들에 있어 양호한 호환성 및 증착 효율을 나타냈다.

[0048] 이제 도 8a 내지 13에 따르면, CAB-DW(액체 방울) 시스템에서의 사용 뿐만 아니라 도 1 및 2의 마이크로 콜드 스프레이(고체 입자) 직접-기록 시스템(10)과 같은 에어로졸 인쇄 방법들에서의 사용을 위한 향상된 노즐 구성이 개발되었다.

[0049] 도 8a 및 8b는 CAB-DW 노즐을 통해 에어로졸 입자들의 궤적으로 조사되는 결과의 플롯을 나타내며, 이는 산출된 빔 폭들이 인가된 힘들에 의해 크게 영향받는다. 도 8a에는 노즐 출구에서 확대해서 본 도 8b의 모델링의 결과이다. 그러한 노즐 프로파일은 검은색으로 나타낸 반면, 인가된 스토크스 및 사프만(Saffman) 힘에 의한 입자들의 궤적은 어두운 회색으로 나타냈으며, 반면 단지 스토크스 힘만이 인가된 궤적은 밝은 회색으로 나타냈다. 2 μm 입자를 이용한 시뮬레이션의 결과는 사프만 힘이 인가 및 인가되지 않은 궤적의 크나큰 편차를 나타낸다. 노즐 출구를 통과한 약 1.25 mm의 초점은 사프만 힘 인가에 의해 발생하며, 반면

우수한 시준은 단지 스토크스 힘 인가에 의해서만 발생한다.

- [0050] 도 9 및 10은 보다 작은 줌더 시준된 빔 폭을 생성하도록 구성된 향상된 노즐(50)을 나타낸다. 도 9는 상기 노즐(50)의 단면도를 나타내며, 반면 도 10은 상기 노즐(50)의 내면(56)의 프로파일의 일측면을 나타낸다(x-축에 대해 도 10의 프로파일을 선회함으로써, 도 9에 노즐(50)의 내면(56)이 얻어진다). 도 9 및 10에 나타낸 바와 같이, 내면 프로파일(56)은 일정한 직경을 이끄는 약 400 μm 의 입구 직경(D_s)을 갖는 합류의 원뿔형 섹션(60), 또는 길이(L_s) 및 약 100 μm 의 직경(D_o)을 갖는 원통형 섹션(58)을 포함한다.
- [0051] 1.1 g/cm³의 밀도를 갖는 직경 2 μm 의 에어로졸 입자들은 총 유량 240 ccm에서 이러한 노즐 형태를 이용하여 포커스되는 것으로 보인다. 도 10에서 직선 섹션의 길이(L_s)는 75 mm이다. 이는 보다 짧은 길이의 노즐도 고려될 수 있다는 것을 알 수 있다. 도 10에서 볼 수 있는 바와 같이, 에어로졸 입자(70)들은 ~20 mm의 L_s 에서 노즐(54)의 단부 바로 앞에 포커스되며, 이는 보다 짧은 노즐이 이러한 특정 유동 파라미터들에 대한 유사한 품질 빔 특성들을 제공한다는 가설을 이끈다.
- [0052] 실험 #2 구성
- [0053] 설명의 실험용 결과로부터 야기되는 하나의 문제는 정확한 입자 크기를 알기 어렵다는 것이다. 이러한 미지의 것을 감소시키기 위해, 40 ccm 정도로 낮은 유량으로 250 mg 정도로 작은 분말 질량의 분말을 공급하기 위해 전자기 액추에이터와 조합된 고속 가스 체크를 이용하는 분말 공급기가 통합된다. 이러한 작업을 위해, 99% 정도로 둥글면서 CV<10%를 갖는 3.8 μm 공칭 직경의 구형에 가까운 실리카 분말(Cospheric Inc., Santa Barbara CA, USA, part # SiO2MS-4um)이 사용되었다. 도 11에는 실리카 입자들의 SEM 이미지가 나타나 있다. 사실상 이들 입자들 모두는 거의 구형에 가깝고 약 4 μm 의 직경을 갖는다는 것을 보여주고 있다. 몇몇 예에 있어서, 그러한 입자들은 평탄한 형태를 갖는 것으로 나타나 있지만, 이는 단지 이미징을 위한 입자들을 고정하기 위해 사용된 전도성 카본 테이프 때문이다.
- [0054] 실험 #2 결과
- [0055] 도 12는 800 μm 의 입구 직경, 및 161 μm 의 출구 직경을 갖는 알루미늄(세라믹) 합류 노즐 뿐만 아니라 텅스텐 카바이드 선형적-합류 노즐(200 μm 출구 직경에 대한 800 μm 입구 직경) 모두에 대한 빔 폭 측정 결과의 플롯을 나타낸다. 그 노즐 모두는 19.05 mm의 길이를 갖는다. 이들 실험 결과는 120 ccm N2(60 ccm 캐리어 가스, 및 60 ccm 차단 가스)의 총 유량을 갖는 3.8 μm 실리카 분말에 대한 결과이다. 빔 폭은 섀도우그래피(shadowgraphy) 및 레이저 산란 방법 모두를 이용하여 측정되고 에어로졸 빔의 예지에 대한 컷오프(cutoff)로서 전치 반폭(FWHM: Full-Width-Half-Max, 50%) 강도 레벨을 이용하여 산출되었다. 도 12에는 또한 유체-입자 상호작용의 스토크스 힘만을 이용한 이론적인 빔 폭들이 표시되어 있다. 그러한 빔 폭들은 그러한 이론적인 데이터 뿐만 아니라 빔 폭을 측정하는 방법 모두에 매우 잘 매칭된다. 이는 개발된 모델의 정확도를 제공하고 또 세라믹 노즐이 선형적으로 합류되는 것들에 대한 유사한 빔 폭을 달성할 수 있다는 것을 보여준다.
- [0056] 예비 데이터는 도 9 및 10의 노즐(50)로 상세히 기술한 바와 같이 직선 섹션이 이어진 유사-선형 합류 노즐을 빠져나가는 에어로졸 입자들의 빔 폭에서 실험적으로 얻어졌다. 이러한 테스트를 위해, 161 μm 최종 직경, 및 19.05 mm 길이를 갖는 알루미늄 노즐이 합류 섹션(60)을 근사하는데 사용되었다. 200 μm 직경을 가지면서 11.84 mm, 17 mm, 및 30 mm의 길이(L_s)를 갖는 텅스텐 카바이드 섹션들이 직선 섹션(58)으로 채용되었다. CW 레이저 접근을 이용하여 노즐 출구(54)로부터 1 mm 내지 6 mm의 빔 폭이 산출되었다. 이러한 실험들에 대한 유량은 앞서 이용된 것들과 동일하다(60 ccm 캐리어 가스, 60 ccm 차단 가스).
- [0057] 도 13에 나타낸 바와 같이, 도 9 및 10에 나타낸 노즐(50)과 유사한 합류-직선 노즐 디자인의 빔 폭 결과는 합류 노즐(예컨대, 도 2의 노즐 14)의 빔 폭 결과보다 크게 향상되었다. 최소 빔 폭은 부착된 30 mm 직선 섹션에 따라 161 μm 합류 노즐의 40 μm 에서 그 161 μm 합류 노즐의 6 μm 로 감소한다. 상기 노즐(50)의 추가적으로 인상적인 특징은 빔 폭이 매우 가까워지거나, 또는 소정 길이의 노즐에 시준된다는 것이다. 이는 더 포커스된 빔에 비해 노즐-기관 거리가 덜 결정적인 것에서 인쇄하는데 효과적일 것이다. 그러한 경향의 빔 폭은 직선 섹션의 길이가 증가함에 따라 감소하지만, 이는 빔 폭이 17 mm와 30 mm 섹션들간 거의 동일함에 따라 단지 17 mm 직선 섹션만이 필요하다는 것을 나타낸다.
- [0058] 직접 기록 기술과 같은 콜드 스프레이 기술은 상기 언급한 직접 기록 기술들 이상의 몇가지 장점을 갖는다. 금속 분말은 후처리를 필요로 하지 않고 단단할 뿐만 아니라 유연한 기관 상에 증착될 수 있으며, 이에 따라 낮은 온도의 기관 상에서 사용하는데 적합해진다. 두번째로, 금 및 은과 같은 비싼 분말 대신 보다 저렴한 대안

의 금속 분말(동, 알루미늄, 및 주석과 같은)들이 사용될 수 있다. 증착 프로세스 동안 솔벤트가 사용되지 않음에 따라 증착된 형태의 수축이 없다. 더욱이, 인터커넥트 인쇄 뿐만 아니라 비아 홀 채움에 동일한 증착 프로세스가 이용될 수 있다.

- [0059] 도 1 및 2에 기술된 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템이, 그 모든 내용이 참조에 의해 본 발명에 포함되는 2009년 2월 26일자로 미국 특허출원공개 US 2009/0053507 A1으로 공개된 계류중인 미국 특허출원 일련번호 12/192,315에 기술된 바와 같이, 노즐(14) 대신 시준 에어로졸 빔-직접 기록(CAB-DW; collimated aerosol beam-direct write) 노즐과 연관되어 사용될 수도 있다는 것을 알 수 있을 것이다. 이러한 기술은 마이크로전자 인터커넥트, 솔라 셀 탭 콘택트(금속화 층), 및 내장 센서 애플리케이션들의 고수율의 직접 기록에 사용될 것이다.
- [0060] 상기의 기술로부터 본 발명이 이하와 같은 다양한 방식으로 실시될 수 있다는 것을 알 수 있을 것이다:
- [0061] 1. 기관 상에 고체 입자들의 증착을 위해 구성된 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 시스템은: 증착 헤드; 상기 증착 헤드의 입력부에 연결되고, 고체 입자들을 포함하는 분무형 전구체 재료를 이송하도록 구성된 캐리어 가스 공급 라인; 및 상기 증착 헤드에 연결되고, 상기 증착 헤드에 가속 가스를 이송하도록 구성된 가속 가스 공급 라인을 포함하며, 상기 증착 헤드는 증착 헤드의 출력부에 노즐을 포함하고, 상기 노즐은 입구 개구 및 출구 개구를 갖추며, 상기 가속 가스는 기관 상에 정형 형태를 생성하기 위해 기관에 충돌됨에 따라 고체 입자들이 변형되도록 고속의 에어로졸 빔으로서 노즐의 출구 개구 밖으로 캐리어 가스를 몰아내도록 이루어진다.
- [0062] 2. 선행 실시예의 시스템에 있어서: 상기 증착 헤드는 적어도 상기 증착 헤드의 길이를 따라 입력부로부터 캐리어 가스를 전송하도록 구성된 제1채널을 포함하고, 상기 제1채널은 노즐의 입구 개구와 출구 포트간 갭을 형성하도록 상기 노즐의 입구 개구로부터 공간 이격된 출구 포트를 갖추며, 상기 증착 헤드는 캐리어 가스와 통합시키기 위해 상기 갭으로 가속 가스를 전송하도록 구성된 제2채널을 포함한다.
- [0063] 3. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 상기 입자들은 금속 성분을 포함하며, 상기 정형 형태는 기관 상에 전도성 형태를 포함한다.
- [0064] 4. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 상기 형태는 1 μm 내지 500 μm 범위의 폭을 갖는 라인을 포함한다.
- [0065] 5. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 상기 형태는 5 μm 와 100 μm 범위의 폭을 갖는 라인을 포함한다.
- [0066] 6. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 상기 형태는 10 μm 와 50 μm 범위의 폭을 갖는 라인을 포함한다.
- [0067] 7. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 출구 개구에서 에어로졸 빔은 200 m/s와 1000 m/s 사이 범위의 속도를 갖는다.
- [0068] 8. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 제1채널은 노즐과 거의 동심으로 위치되고, 제2채널은 캐리어 가스에 대해 비스듬히 갭으로 가속 가스를 전송하도록 구성된다.
- [0069] 9. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 제2채널은 갭으로 이끌어지는 원뿔형 채널을 형성하고, 제1채널의 출구 포트는 상기 원뿔형 채널의 정점에서 끝난다.
- [0070] 10. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 노즐은 테이퍼진 합류 보어를 포함하고, 상기 노즐의 입구 개구는 출구 개구의 직경보다 크다.
- [0071] 11. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 노즐은 상기 노즐의 입구 개구로부터 이어지는 테이퍼진 합류 보어를 포함하고, 상기 테이퍼진 합류 보어는 상기 노즐의 출구 개구로 이어지는 거의 일정한 직경의 보어가 뒤따른다.
- [0072] 12. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 에어로졸 빔의 직경은 보어의 출구 개구의 직경보다 상당히 작은 직경으로 포커스된다.
- [0073] 13. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 에어로졸 빔은 실질적으로 노즐의 출구 개구를 빠져나감에 따라 시준된다.
- [0074] 14. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 에어로졸 빔은 노즐의 출구 개구를 빠져나가기 전에 보어의

형태가 된다.

- [0075] 15. 선행 실시예의 어느 하나의 시스템에 있어서: 제1 및 제2채널에 인접하여 배치된 가열 요소를 더 포함하며, 상기 가열 요소는 노즐을 통해 가속됨에 따라 캐리어 및 가소 가스의 온도로 물방울을 보상하기 위해 미리 결정된 온도로 캐리어 및 가속 가스를 가열하도록 구성된다.
- [0076] 16. 기관 상에 고체 입자들의 증착을 위해 구성된 마이크로 콜드 스프레이 직접-기록 증착 헤드는: 고체 입자들을 포함한 분무형 전구체 재료를 포함하는 캐리어 가스를 받아들이기 위한 제1입력부; 가속 가스를 받아들이기 위한 제2입력부; 및 증착 헤드의 출력부의 노즐을 포함하며, 상기 노즐은 입구 개구 및 출구 개구를 갖추고, 상기 가속 가스는 기관 상에 정형 형태를 생성하기 위해 기관에 충돌됨에 따라 고체 입자들이 변형되도록 고속의 에어로졸 빔으로서 노즐의 출구 개구 밖으로 캐리어 가스를 몰아내도록 이루어진다.
- [0077] 17. 선행 실시예의 증착 헤드에 있어서: 적어도 상기 증착 헤드의 길이를 따라 입력부로부터 캐리어 가스를 전송하도록 구성되고, 노즐의 입구 개구와 출구 포트간 갭을 형성하도록 상기 노즐의 입구 개구로부터 공간 이격된 출구 포트를 갖춘 제1채널; 및
- [0078] 캐리어 가스와 통합시키기 위해 상기 갭으로 가속 가스를 전송하도록 구성된 제2채널을 더 포함한다.
- [0079] 18. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 상기 입자들은 금속 성분을 포함하며, 상기 정형 형태는 기관 상에 전도성 형태를 포함한다.
- [0080] 19. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 상기 형태는 1 μm 내지 200 μm 범위의 폭을 갖는 라인을 포함한다.
- [0081] 20. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 상기 형태는 5 μm 와 100 μm 범위의 폭을 갖는 라인을 포함한다.
- [0082] 21. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 상기 형태는 10 μm 와 50 μm 범위의 폭을 갖는 라인을 포함한다.
- [0083] 22. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 출구 개구에서 에어로졸 빔은 200 m/s와 1000 m/s 사이 범위의 속도를 갖는다.
- [0084] 23. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 제1채널은 노즐과 거의 동심으로 위치되고, 제2채널은 캐리어 가스에 대해 비스듬히 갭으로 가속 가스를 전송하도록 구성된다.
- [0085] 24. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 제2채널은 갭으로 이어지는 원뿔형 채널을 형성하고, 제1채널의 출구 포트는 상기 원뿔형 채널의 정점에서 끝난다.
- [0086] 25. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 노즐은 테이퍼진 합류 보어를 포함하고, 상기 노즐의 입구 개구는 출구 개구의 직경보다 크다.
- [0087] 26. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 노즐은 상기 노즐의 입구 개구로부터 이어지는 테이퍼진 합류 보어를 포함하고, 상기 테이퍼진 합류 보어는 상기 노즐의 출구 개구로 이어지는 거의 일정한 직경의 보어가 뒤따른다.
- [0088] 27. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 에어로졸 빔은 보어의 출구 개구의 직경보다 상당히 작은 직경으로 포커스된다.
- [0089] 28. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 에어로졸 빔은 실질적으로 노즐의 출구 개구를 빠져나감에 따라 시준된다.
- [0090] 29. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 에어로졸 빔은 노즐의 출구 개구를 빠져나가기 전에 보어의 형태가 된다.
- [0091] 30. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 제1 및 제2채널에 인접하여 배치된 가열 요소를 더 포함하며, 상기 가열 요소는 노즐을 통해 가속됨에 따라 캐리어 및 가소 가스의 온도로 물방울을 보상하기 위해 미리 결정된 온도로 캐리어 및 가속 가스를 가열하도록 구성된다.
- [0092] 31. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 상기 정형 형태는 변형가능 고체를 포함한다.
- [0093] 32. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 상기 정형 형태는 폴리머를 포함한다.

- [0094] 33. 선행 실시예의 어느 하나의 증착 헤드에 있어서: 상기 폴리머는 절연체로서 작용한다.
- [0095] 34. 인쇄 회로 애플리케이션을 위한 기판 상에 고체 금속 입자들의 분무형 분말을 증착하기 위한 방법은: 정형 형태를 형성하기 위해 기판 상에 분무형 분말을 콜드 스프레이하는 단계를 포함하며, 상기 정형 형태의 길이 및 폭의 치수 중 적어도 하나는 500 μ 이하이다.
- [0096] 35. 선행 실시예의 방법에 있어서: 상기 정형 형태는 5 μ m와 100 μ m 범위의 라인 폭을 포함한다.
- [0097] 36. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 상기 정형 형태는 10 μ m와 50 μ m 범위의 라인 폭을 포함한다.
- [0098] 37. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 고체 금속 분말은 기판 상에 정형 형태를 생성하기 위해 기판에 충돌됨에 따라 고체 입자들이 변형되도록 고속 에어로졸 빔으로서 증착된다.
- [0099] 38. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 출구 개구에서 에어로졸 빔은 200 m/s와 1000 m/s 사이 범위의 속도를 갖는다.
- [0100] 39. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 분무형 분말을 콜드 스프레이하는 단계는; 상기 분무형 분말을 이송하는 캐리어 가스를 증착 헤드로 투입하는 단계; 금속 입자들을 가속하기 위해 증착 헤드로 가속 가스를 투입하는 단계; 및 고속 에어로졸 빔을 형성하기 위해 노즐의 출구 개구 밖으로 캐리어 가스를 몰아내도록 가속 가스를 캐리어 가스와 통합시키는 단계를 포함하며, 상기 증착 헤드는 이 증착 헤드의 출력부에 노즐을 포함하고, 상기 노즐은 입구 개구 및 출구 개구를 갖는다.
- [0101] 40. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 노즐을 통과해 감에 따라 가속 및 캐리어 가스의 온도로 물방울을 보상하기 위해 미리 결정된 온도로 증착 헤드를 가열하는 단계를 더 포함한다.
- [0102] 41. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 증착 헤드는 적어도 상기 증착 헤드의 길이를 따라 입력부로부터 캐리어 가스를 전송하도록 구성된 제1채널을 포함하고, 상기 제1채널은 노즐의 입구 개구와 출구 포트간 갭을 형성하도록 상기 노즐의 입구 개구로부터 공간 이격된 출구 포트를 갖추며, 상기 증착 헤드는 캐리어 가스와 통합시키기 위해 상기 갭에 가속 가스를 전송하도록 구성된 제2채널을 포함한다.
- [0103] 42. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 정형 형태는 기판 상에 전도성 형태를 포함한다.
- [0104] 43. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 제1채널은 노즐과 거의 동심으로 위치되고, 제2채널은 캐리어 가스에 대해 비스듬히 갭으로 가속 가스를 전송하도록 구성된다.
- [0105] 44. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 제2채널은 갭으로 이어지는 원뿔형 채널을 형성하고, 제1채널의 출구 포트는 상기 원뿔형 채널의 정점에서 끝난다.
- [0106] 45. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 에어로졸 빔은 보어의 출구 개구의 직경보다 상당히 작은 직경으로 포커스된다.
- [0107] 46. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 에어로졸 빔은 실질적으로 노즐의 출구 개구를 빠져나감에 따라 시준된다.
- [0108] 47. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 에어로졸 빔은 노즐의 출구 개구를 빠져나가기 전에 보어의 형태가 된다.
- [0109] 48. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 정형 형태는 변형가능 고체를 포함한다.
- [0110] 49. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 정형 형태는 폴리머를 포함한다.
- [0111] 50. 선행 실시예의 어느 하나의 방법에 있어서: 상기 폴리머는 절연체로서 작용한다.
- [0112] 비록 상술한 설명이 많은 상세한 설명들을 포함할 지라도, 이러한 설명들은 발명의 범주를 한정하는 것으로 해석해서는 안되며, 단지 본 발명의 현재 바람직한 일부 실시예들의 설명을 제공할 뿐이다. 따라서, 본 발명의 범주가 통상의 기술자에게 자명한 다른 실시예들을 충분히 포함하며, 따라서 그러한 본 발명의 범주가 부가된 청구항들로 한정되는 것을 이해해야 하며, 단일 요소에 대한 참조는 특별히 언급하지 않는 한 "하나 그리고 단지 하나"를 의미하려는 것이 아니라, 오히려 "하나 또는 그 이상"을 의미하려는 것이라는 것을 이해해야 할 것이다. 통상의 기술자에게 잘 알려진 상술한 바람직한 실시예의 요소들에 대한 구조적, 화학적, 그리고 기능적인 등가물들은 참조에 의해 본원에 명백히 포함되며, 본 청구항들에 포함시키기 위한 것이다. 더욱이, 이는 본 발명에 의해 해결하려는 각각의 그리고 모든 문제를 처리하기 위한 장치 또는 방법을 반드시 필요로 하지 않

으며, 제공된 청구항들에 포함시키기 위한 것이다. 더욱이, 본 발명 개시의 요소, 구성요소, 또는 방법 단계는 그러한 요소, 구성요소, 또는 방법 단계가 명확하게 청구항에 기술되는지에 상관없이 공중에 공개하려는 것은 아니다. 본원의 청구항 요소는 이러한 청구항 요소가 문구 "을 위한 수단"을 이용하여 명확히 나타내지 않는 한, 35 U.S.C. 112 제6항의 규정 상의 요소로 해석되지 않는다.

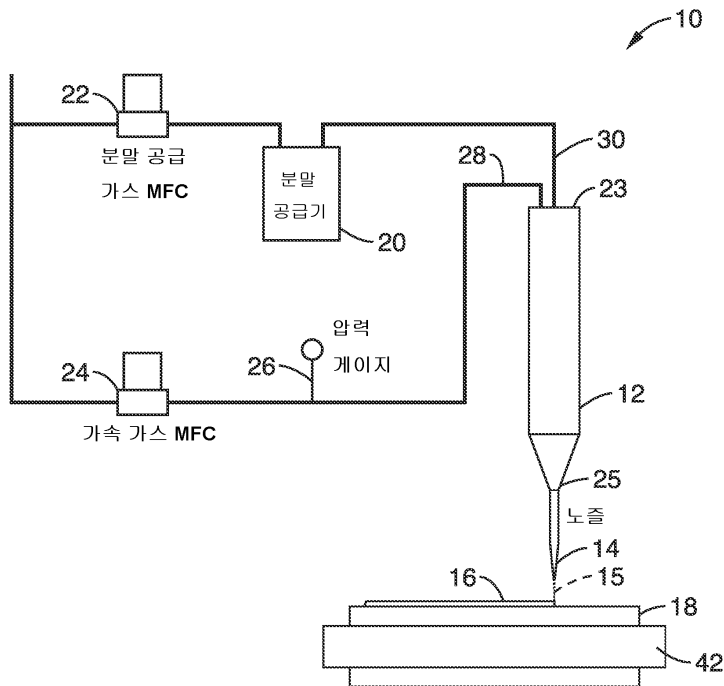
표 1

기관 및 금속 호환성

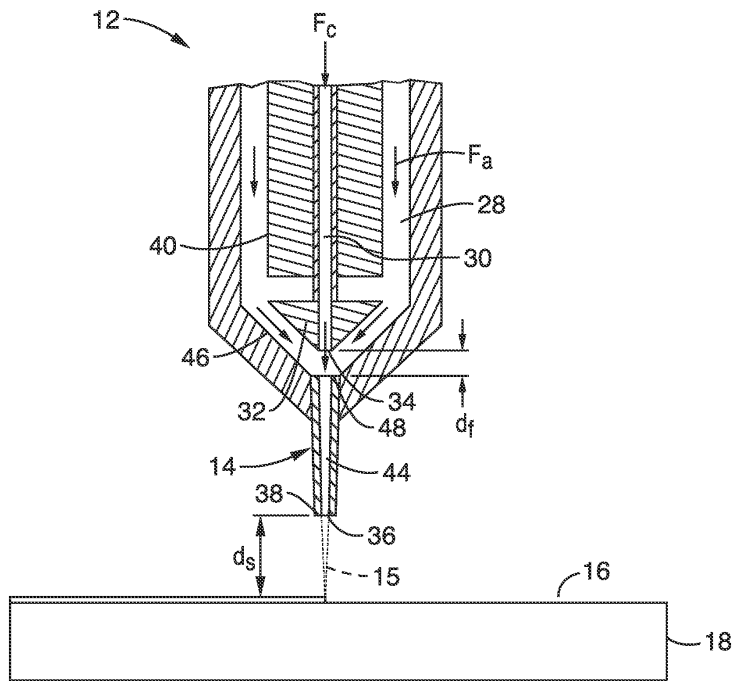
기관 재료	주석	알루미늄	동
유리	예	예	예
실리콘	예	예	예
BT	예	예	아니오
PEEK	아니오	예	예
캡톤(Kapton)	예	예	아니오
테플론(Teflon)	아니오	예	예
PES	아니오	예	예
LCP	아니오	예	예
테슬린(Teslin)	아니오	아니오	예
FR4	아니오	예	아니오
마일라(Mylar)	아니오	예	예

도면

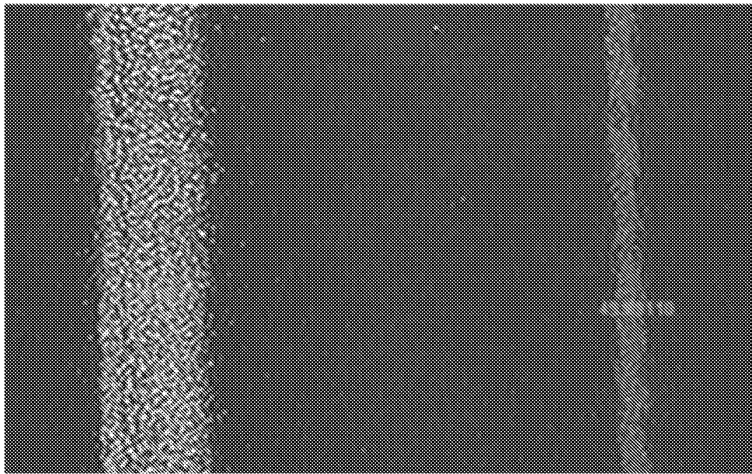
도면1



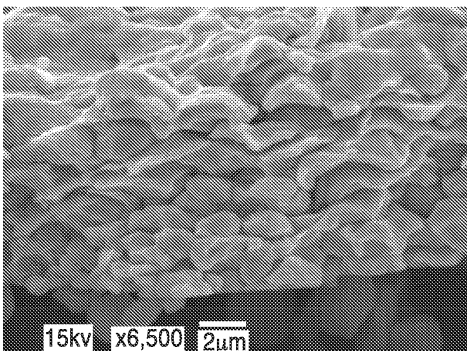
도면2



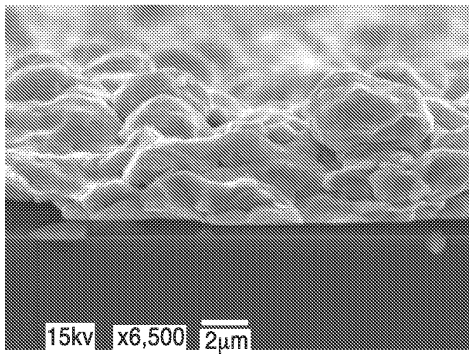
도면3



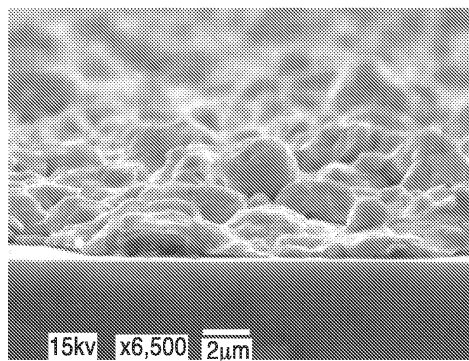
도면4a



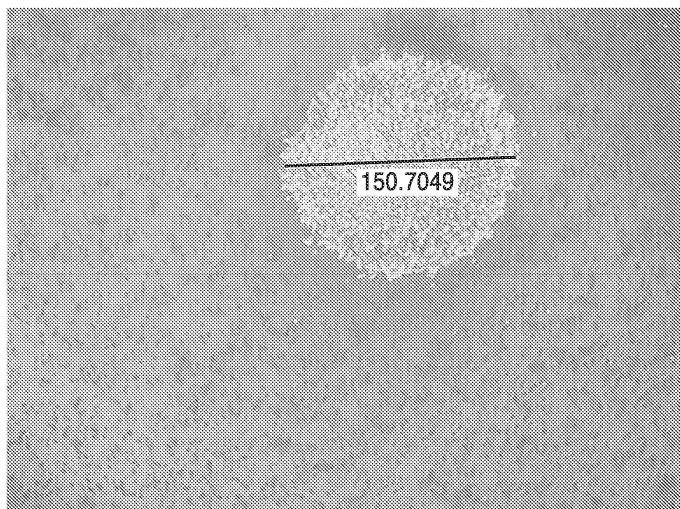
도면4b



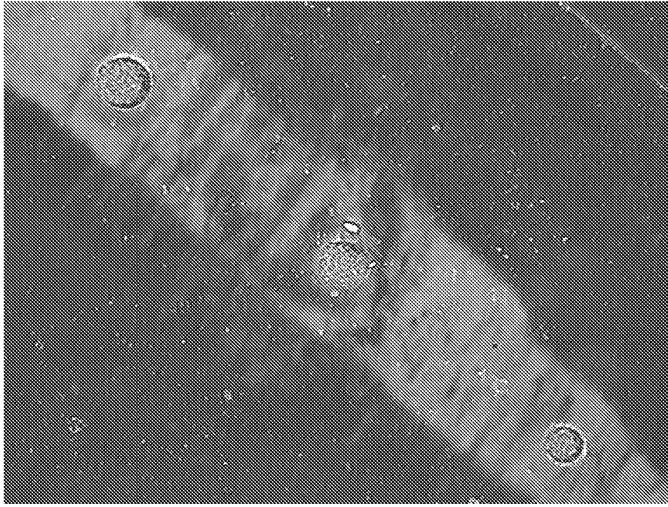
도면4c



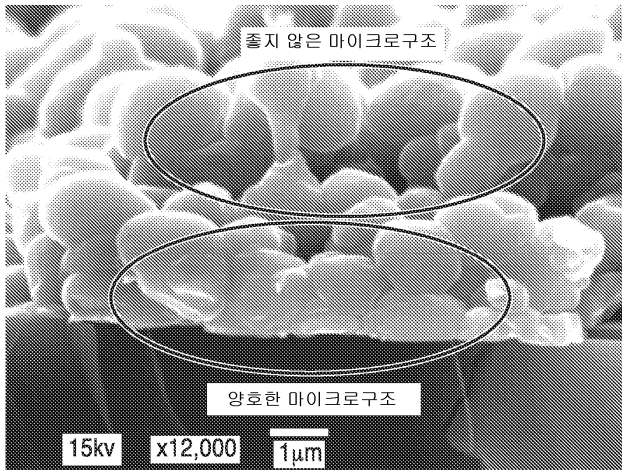
도면5



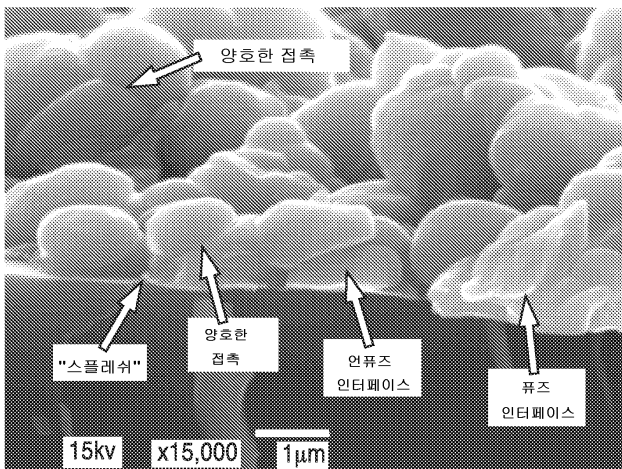
도면6



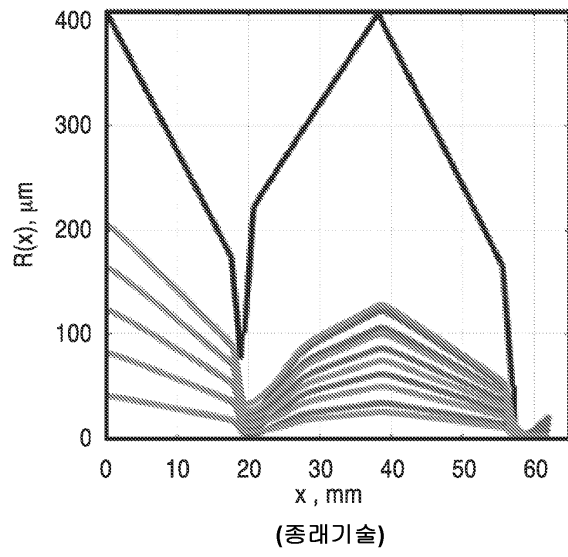
도면7a



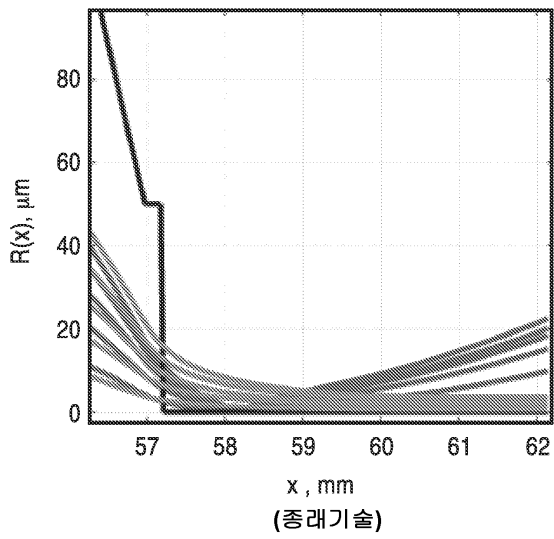
도면7b



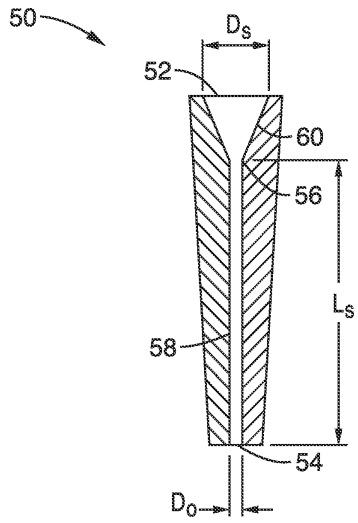
도면8a



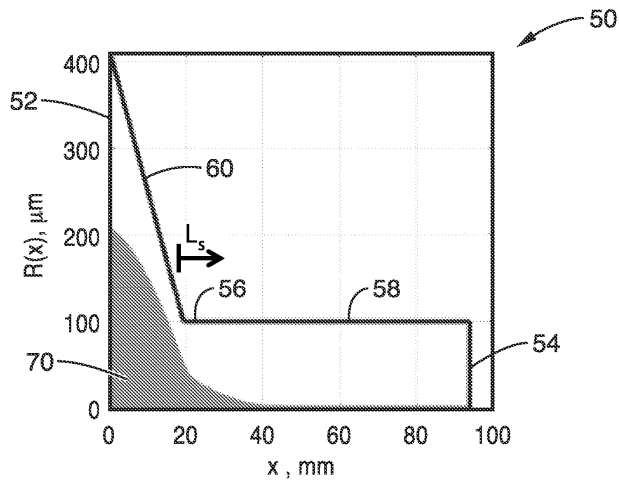
도면8b



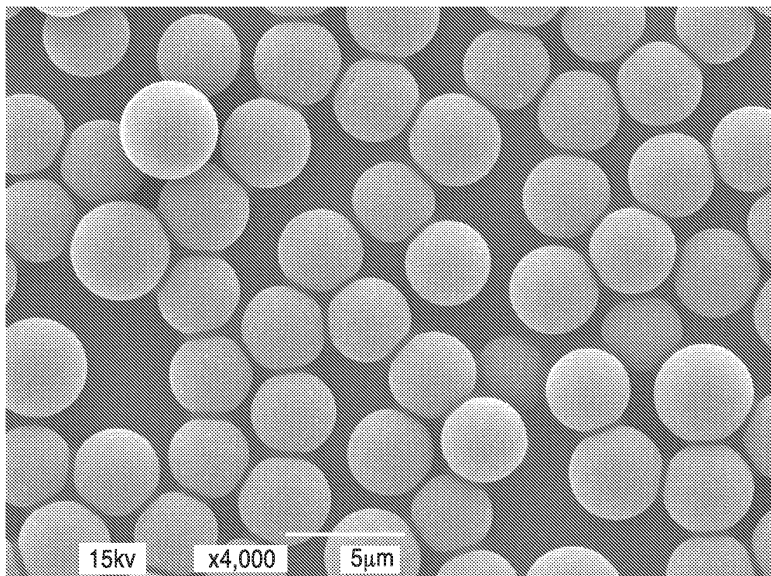
도면9



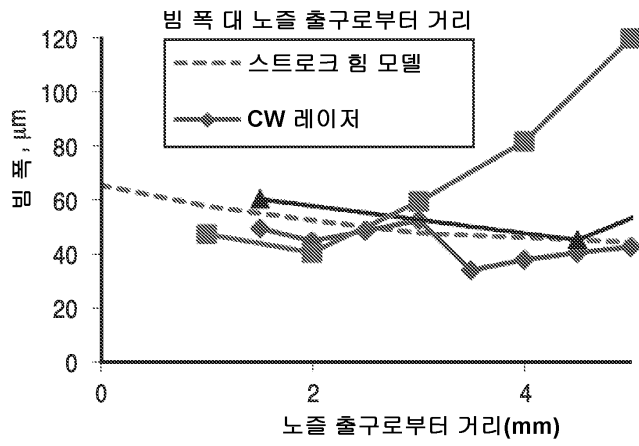
도면10



도면11



도면12



도면13

