



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년11월15일
(11) 등록번호 10-1919032
(24) 등록일자 2018년11월09일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 21/304 (2006.01) *H01L 21/66* (2006.01)

(21) 출원번호 10-2014-7033311

(22) 출원일자(국제) 2013년04월05일
심사청구일자 2018년04월04일

(85) 번역문제출일자 2014년11월26일

(65) 공개번호 10-2015-0005674

(43) 공개일자 2015년01월14일

(86) 국제출원번호 PCT/US2013/035514

(87) 국제공개번호 WO 2013/162857
국제공개일자 2013년10월31일

(30) 우선권주장
13/456,801 2012년04월26일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌
KR1020060055469 A
KR1020060108701 A
KR1020080042895 A
WO2001089765 A1

(73) 특허권자
애플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애
브뉴 3050

(72) 발명자
벤벵누, 도미니크, 제이.
미국 94020 캘리포니아 라 혼다 베벌리 드라이브
241

(74) 대리인
특허법인 난애나

(74) 대리인
특허법인 남앤남

전체 청구항 수 : 총 20 항

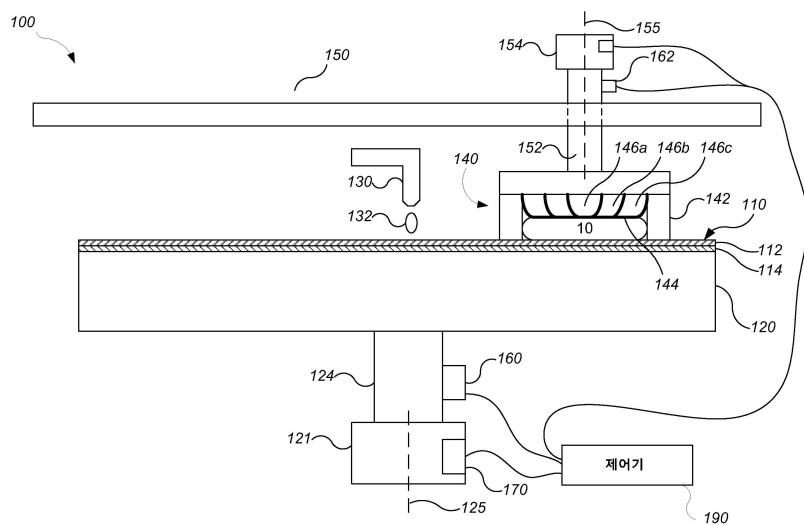
심사관 : 오순영

(54) 발명의 명칭 인-시츄 폴리싱 모니터링 중에 데이터의 필터링을 위한 선형 예측

(57) 요약

폴리싱 제어 방법은 기판을 폴리싱하는 단계, 폴리싱 중에 인-시츄 모니터링 시스템으로 기판을 모니터링하는 단계 - 상기 모니터링하는 단계는 센서로부터 신호를 생성하는 단계를 포함함 -, 및 필터링된 신호를 생성하도록 신호를 필터링하는 단계를 포함한다. 신호는 측정된 값들의 시퀀스 및 조정된 값들의 시퀀스를 포함하는 필터링된 신호를 포함한다. 필터링하는 단계는 조정된 값들의 시퀀스에서 각각의 조정된 값에 대해, 선형 예측을 이용하여 측정된 값들의 시퀀스로부터 적어도 하나의 예측된 값을 생성하는 것, 및 상기 예측된 값 및 측정된 값들의 시퀀스로부터 조정된 값을 계산하는 것을 포함한다. 폴리싱 종점 또는 폴리싱 레이트에 대한 조정 중 적어도 하나가 필터링된 신호로부터 결정된다.

대 표 도



명세서

청구범위

청구항 1

명령들이 기록된 비-일시적 컴퓨터-판독가능 기록매체로서,

상기 명령들은 폴리싱 시스템의 프로세서에 의해 실행될 때 상기 폴리싱 시스템으로 하여금:

기판을 폴리싱하고;

폴리싱 중에 인-시츄 모니터링 시스템으로 상기 기판을 모니터링하고 – 상기 모니터링하는 것은 센서로부터 신호를 생성하는 것을 포함하고, 상기 신호는 측정된 값들의 시간에 따른 시퀀스를 포함함 –;

필터링된 신호를 생성하도록 상기 신호를 필터링하고 – 상기 필터링된 신호는 조정된 값들의 시간에 따른 시퀀스를 포함하고, 필터링에 대한 상기 명령들은 상기 조정된 값들의 시간에 따른 시퀀스에서 각각의 조정된 값에 대해,

선형 예측을 이용하여 상기 센서로부터 상기 측정된 값들의 시간에 따른 시퀀스로부터의 적어도 하나의 예측된 값을 생성하는 명령들, 및

상기 예측된 값 및 상기 센서로부터 상기 측정된 값들의 시간에 따른 시퀀스로부터의 조정된 값을 계산하는 명령들을 포함함 –; 그리고

상기 필터링된 신호로부터 폴리싱 레이트에 대한 조정 또는 폴리싱 종점 중 적어도 하나를 결정하도록 야기하는,

비-일시적 컴퓨터-판독가능 기록매체.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 예측된 값을 생성하는 명령들은 복수의 예측된 값을 생성하는 명령들을 포함하는,

비-일시적 컴퓨터-판독가능 기록매체.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 선형 예측을 이용하는 것은 제 1 예측된 신호 값

$$\hat{x}_n = \sum_{i=1}^p a_i x_{n-i}$$

을 계산하는 것을 포함하고,

\hat{x}_n 은 상기 제 1 예측된 신호 값이고, p는 계산에서 이용된 신호 값들의 개수(n-1과 동일할 수 있음)이며, x_{n-i} 는 이전에 관찰된 신호 값들이고, a_i 는 예측기 계수인,

비-일시적 컴퓨터-판독가능 기록매체.

청구항 4

폴리싱 시스템으로서,

폴리싱 패드를 유지하는 플래튼;

폴리싱 동안 상기 폴리싱 패드에 대해 기판을 유지하는 캐리어 헤드;

인-시츄 모니터링 시스템 – 상기 모니터링은 폴리싱 동안 상기 기판을 모니터링 하고 신호를 생성하기 위한 센서를 포함하고, 상기 신호는 측정된 값들의 시간에 따른 시퀀스를 포함함 –; 및

제어기를 포함하고, 상기 제어기는

필터링된 신호를 생성하도록 상기 신호를 필터링하고 – 상기 필터링된 신호는 조정된 값들의 시간에 따른 시퀀스를 포함하고, 상기 필터는, 상기 조정된 값들의 시간에 따른 시퀀스에서 각각의 조정된 값에 대해,

선형 예측을 이용하여 상기 센서로부터 상기 측정된 값들의 시간에 따른 시퀀스로부터의 적어도 하나의 예측된 값을 생성하고; 그리고

상기 예측된 값 및 상기 센서로부터 상기 측정된 값들의 시간에 따른 시퀀스로부터의 조정된 값을 계산하도록 구성됨 –; 그리고

상기 필터링된 신호로부터 폴리싱 레이트에 대한 조정 또는 폴리싱 종점 중 적어도 하나를 결정하도록 구성되는,

폴리싱 시스템.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 인-시츄 모니터링 시스템은 모터 전류 모니터링 시스템 또는 모터 토크 모니터링 시스템을 포함하는, 폴리싱 시스템.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 인-시츄 모니터링 시스템은 캐리어 헤드 모터 전류 모니터링 시스템 또는 캐리어 헤드 모터 토크 모니터링 시스템을 포함하는

폴리싱 시스템.

청구항 7

제 5 항에 있어서,

상기 모터 전류 모니터링 시스템 또는 모터 토크 모니터링 시스템은 플래튼 모터 전류 모니터링 시스템 또는 플래튼 모터 토크 모니터링 시스템을 포함하는,

폴리싱 시스템.

청구항 8

제 5 항에 있어서,

상기 인-시츄 모니터링 시스템은 모터 전류 모니터링 시스템을 포함하는,

폴리싱 시스템.

청구항 9

제 4 항에 있어서,

적어도 하나의 예측된 값을 생성하는 것은 복수의 예측된 값들을 생성하는 것을 포함하는,

폴리싱 시스템.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 조정된 값을 계산하는 것은 주파수 도메인 필터를 적용하는 것을 포함하는,
폴리싱 시스템.

청구항 11

제 9 항에 있어서,

상기 복수의 예측된 값을 적어도 20개의 값을 포함하는,
폴리싱 시스템.

청구항 12

제 9 항에 있어서,

상기 선형 예측은 제 1 예측된 신호 값

$$\hat{x}_n = \sum_{i=1}^p a_i x_{n-i}$$

의 계산을 포함하고,

\hat{x}_n 은 상기 제 1 예측된 신호 값이고, p는 계산에서 이용된 신호 값들의 개수(n-1과 동일할 수 있음)이며, x_{n-i} 는 이전에 관찰된 신호 값들이고, a_i 는 예측기 계수인,

폴리싱 시스템.

청구항 13

제 12 항에 있어서,

상기 선형 예측은 제 2 예측된 신호 값

$$\hat{x}_{n+L} = \sum_{i=1}^p a_i x_{n+L-i}$$

의 계산을 포함하고,

\hat{x}_{n+L} 은 상기 제 2 예측된 신호 값이고, L은 0보다 크며, p는 계산에서 이용되는 신호 값들의 개수($n+L-1$ 과 동일할 수 있음)이고, x_{n+L-i} 는 $L-i \geq 0$ 에 대해 이전에 관찰된 신호 값들이며, x_{n+L-i} 는 $L-i < 0$ 에 대해 예측된 신호 값들이고, a_i 는 예측기 계수인,

폴리싱 시스템.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

$$\sum_i^P a_i R_{i-j} = -R_j$$

이고

$$R_i = E\{x_n x_{n-i}\} \quad \text{이며,}$$

R 은 신호(x_n)의 자기상관이고, 여기에서 E 는 예상 값 함수인,

폴리싱 시스템.

청구항 15

제 4 항에 있어서,

상기 제어기는 상기 조정된 값을 계산하도록 상기 적어도 하나의 예측된 신호 값을 계산하기 위해 선형 예측이 이용되는 변형된 칼만 필터를 적용하도록 구성되는,

폴리싱 시스템.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 변형된 칼만 필터는 하기의 시간 업데이트 방정식:

$$\hat{x}_k^- = \frac{1}{1 + 2L} \sum_{i=k-L}^{k+L} z_i \quad \text{을 이용하고,}$$

$2L+1$ 은 계산에서 이용된 데이터 점들의 개수이고, z_i 는 $L \geq 0$ 에 대해 이전에 측정된 신호 값들이며, z_{k-L} 은 $L < 0$ 에 대해 z 에 대한 예측된 신호 값들인,

폴리싱 시스템.

청구항 17

제 16 항에 있어서,

상기 변형된 칼만 필터는

$$P^-_k = A^2 P_{k-1} + Q \quad \text{로서 선형적 추정 오류 공분산}(P^-_k)을 계산하는 것을 포함하며,}$$

$$A = \hat{x}_k^- / \hat{x}_{k-1} \quad \text{이고, } \hat{x}_{k-1} \text{은 이전 단계 예측 신호로부터의 경험적 상태 추정인,}$$

폴리싱 시스템.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 제어기는 $Rs = \text{측정된 } \hat{x}_k - fut[1]$ 로서 나머지(Rs)를 계산하도록 구성되고,

$fut[1]$ 은 측정에 대해 예측된 값이며, 여기에서 예측된 값은 모든 이전의 신호 데이터에 대한 선형 예측 공식을 이용하여 계산되는,

폴리싱 시스템.

청구항 19

제 18 항에 있어서,

$$H = \frac{fut[1]}{\hat{x}_k^-} \quad \text{로서 값 } H \text{를 계산하도록 구성되는,}$$

폴리싱 시스템.

청구항 20

제 19 항에 있어서,

상기 변형된 칼만 필터는

$$K_k = \frac{HP_k^-}{(H^2 P_k^- + R)}$$

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(z_k - H\hat{x}_k^-)$$

$$P_k = (1 - K_k H)P_k^-.$$

의 계산을 포함하는,

폴리싱 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

본 명세서는 폴리싱을 제어하기 위한 인-시츄 모니터링 시스템에 의해 획득된 데이터에 대한 필터 적용을 이용하는 것에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

집적 회로는 실리콘 웨이퍼 상에 전도성 층, 반도체성 층, 또는 절연성 층들을 연속적 증착함으로써 기판상에 전형적으로 형성된다. 하나의 제조 단계는 비-평면 표면 위에 필러 층을 증착하는 것 및 필러 층을 평탄화하는 것을 포함한다. 특정 적용예들에 대해, 패터닝된 층의 상단면이 노출될 때까지 필러 층이 평탄화된다. 전도성 필러 층은, 예를 들면 절연 층 내의 트렌치들 또는 홀들을 채우도록, 패터닝된 절연 층 상에 증착될 수 있다. 평탄화 후에, 절연 층의 상승된 패턴 사이에 남아 있는 금속성 층의 부분들은 기판 상의 박막 회로들 사이에 전도성 경로들을 제공하는 비아들, 플러그들, 및 라인들을 형성한다. 산화물 폴리싱과 같은 다른 적용예들에 대해, 비 평면 표면 위에 미리 결정된 두께가 남겨질 때까지 필러 층이 평탄화된다. 또한, 기판 표면의 평탄화는 일반적으로 포토리소그래피를 위해 요구된다.

[0003]

화학적 기계적 폴리싱(CMP)은 한가지 용인된 평탄화 방법이다. 이러한 평탄화 방법은 전형적으로, 기판이 캐리어 또는 폴리싱 헤드 상에 장착되는 것을 필요로 한다. 기판의 노출된 표면은 전형적으로, 회전하는 폴리싱 패드를 향하여 배치된다. 캐리어 헤드는 기판 상에 제어 가능한 부하를 제공하여, 폴리싱 패드를 향하여 기판을 압박한다. 전형적으로 폴리싱 패드의 표면으로 연마 폴리싱 슬러리가 공급된다.

[0004]

CMP에 있어서 한가지 문제점은 폴리싱 프로세스가 완료된지 여부, 즉 기판 층이 희망 평탄도 또는 두께로 평탄화된지 여부, 또는 희망 재료 양이 제거된 시기를 결정하는 것이다. 슬러리 분포, 폴리싱 패드 조건, 폴리싱 패드와 기판 사이의 상대 속도, 및 기판 상의 부하의 편차들(variations)이 재료 제거 레이트(removal rate)의 편차들을 야기할 수 있다. 이를 편차들, 뿐만 아니라 기판 층의 초기 두께의 편차들은 폴리싱 종점에 도달하는데 요구되는 시간의 편차들을 야기한다. 그러므로, 폴리싱 종점은 일반적으로 단지 폴리싱 시간에 따라 결정될 수 없다.

[0005]

일부 시스템들에서, 기판은 폴리싱 중에 인-시츄로, 예를 들면 캐리어 헤드 또는 플래튼을 회전시키기 위해 모터에 의해 요구되는 토크를 모니터링함으로써 모니터링된다. 그러나, 기존의 모니터링 기법들은 반도체 디바이스 제조자들의 점점 증가하는 요구들을 충족시킬 수 없다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0006] 인-시츄 모니터링 시스템의 센서는 전형적으로 시변(time-varying) 신호를 생성한다. 신호는 폴리싱 종점을 검출하기 위해 분석될 수 있다. "미가공(raw)" 신호로부터 노이즈를 제거하기 위해 평활 필터(smoothing filter)가 종종 이용되고, 필터링된 신호가 분석된다. 신호가 실시간으로 분석되고 있기 때문에, 인과 필터들(causal filters)이 이용되어 왔다. 그러나, 일부 인과 필터들은 지연을 부여하는데, 즉 필터링된 신호는 센서로부터의 "미가공" 신호에 뒤쳐진다. 일부 폴리싱 프로세스들 및 일부 종점 검출 기법들, 예를 들면 모터 토크의 모니터링에 대해, 필터는 허용할 수 없는 지연을 도입할 수 있다. 예를 들면, 종점 기준이 필터링된 신호에서 검출될 때까지 웨이퍼는 이미 상당히 오버-폴리싱된다. 그러나 이러한 문제에 대응하는 기법은 신호로부터의 데이터에 기초한 선형 예측을 포함하는 필터를 이용하는 것이다.
- [0007] 일 양태에서, 폴리싱 제어 방법은 기관을 폴리싱하는 단계, 폴리싱 중에 인-시츄 모니터링 시스템으로 기관을 모니터링하는 단계 - 상기 모니터링하는 단계는 센서로부터 신호를 생성하는 것을 포함함 -, 및 필터링된 신호를 생성하도록 신호를 필터링하는 단계를 포함한다. 이 신호는 측정된 값들의 시퀀스, 및 조정된 값들의 시퀀스를 포함하는 필터링된 신호를 포함한다. 상기 필터링하는 단계는 조정된 값들의 시퀀스에서 각각의 조정된 값에 대해, 선형 예측을 이용하여 측정된 값들의 시퀀스로부터 적어도 하나의 예측된 값을 생성하는 것, 및 예측된 값 및 측정된 값들의 시퀀스로부터 조정된 값을 계산하는 것을 포함한다. 폴리싱 종점 또는 폴리싱 레이트에 대한 조정 중 적어도 하나가 필터링된 신호로부터 결정된다.
- [0008] 구현예들은 하기의 특징들 중 하나 또는 둘 이상을 포함할 수 있다. 인-시츄 모니터링 시스템은 모터 전류 모니터링 시스템 또는 모터 토크 모니터링 시스템, 예를 들면 캐리어 헤드 모터 전류 모니터링 시스템, 캐리어 헤드 모터 토크 모니터링 시스템, 플래튼 모터 전류 모니터링 시스템, 또는 플래튼 모터 토크 모니터링 시스템일 수 있다. 적어도 하나의 예측된 값을 생성하는 것은 복수의 예측된 값을 생성하는 것을 포함할 수 있다. 조정된 값을 계산하는 것은 주파수 도메인 필터(frequency domain filter)를 적용하는 것을 포함할 수 있다. 복수의 예측된 값들은 적어도 20개의 값을 포함할 수 있다. 조정된 값을 계산하는 것은 적어도 하나의 예측된 신호 값을 계산하기 위해 선형 예측이 이용되는 변형된 칼만 필터(Kalman filter)를 적용하는 것을 포함할 수 있다.
- [0009] 다른 양태에서, 비-일시적 컴퓨터-판독가능 매체는 그 안에 저장된 명령들을 가지며, 이 명령들은, 프로세서에 의해 실행될 때, 프로세서가 상기 방법의 작업들을 실행하게 한다.
- [0010] 구현예들은 하기의 잠재적 이점들 중 하나 또는 둘 이상을 포함할 수 있다. 필터 지연이 감소될 수 있다. 폴리싱은 타겟 두께에서 더 신뢰할 수 있게 중지될 수 있다.
- [0011] 하나 또는 둘 이상의 실시예들의 세부사항들이 첨부 도면들 및 하기의 설명에서 제시된다. 상세한 설명 및 도면들로부터, 그리고 청구항들로부터 다른 양태들, 특징들 및 이점들이 명확해질 것이다.
- 도면의 간단한 설명**
- [0012] 도 1은 폴리싱 장치의 예시의 개략적 단면도를 도시한다.
- 도 2는 맞춤형(customized) 필터 및 표준 저역(low pass) 필터에 의해 생성된 필터링된 플래튼 토크 신호들을 비교하는 그래프이다.
- 도 3은 맞춤형 필터 및 표준 저역 필터에 의해 생성된 필터링된 플래튼 토크 신호들을 비교하는 그래프이다.
- 여러가지 도면들에서 동일한 참조 부호들은 동일한 요소들을 나타낸다.
- 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용**
- [0013] 일부 반도체 칩 제조 프로세스들에서, 하부층, 예를 들면 실리콘 산화물, 실리콘 질화물, 또는 고-K 유전체와 같은 유전체가 노출될 때까지, 상부 층, 예를 들면 실리콘 산화물 또는 폴리실리콘이 폴리싱된다. 일부 적용예들에 대해, 하부 층의 노출을 광학적으로 검출하는 것이 가능할 수 있다. 일부 적용예들에 대해, 하부 층은 상부 층과 상이한 폴리싱 층에 대한 마찰 계수를 갖는다. 결과적으로, 하부 층이 노출될 때, 플래튼 또는 캐리어 헤드가 특정 회전 레이트로 회전하게 하도록 모터에 의해 요구되는 토크가 변화한다. 폴리싱 종점은 모터 토크 내에서 이러한 변화를 검출함으로써 결정될 수 있다.
- [0014] 도 1은 폴리싱 장치(100)의 예시를 도시한다. 폴리싱 장치(100)는 폴리싱 패드(110)가 상부에 위치되는 회전 가능한 디스크형 플래튼(120)을 포함한다. 폴리싱 패드(110)는 외부 폴리싱 층(112) 및 더 연성의(softer) 백킹

층(114)을 갖는 2-층 폴리싱 패드일 수 있다. 플래튼은 축(125)을 중심으로 회전하도록 작동가능하다. 예를 들면, 모터(121), 예를 들면 DC 유도 모터가 플래튼(120)을 회전시키도록 드라이브 샤프트(124)를 돌릴 수 있다.

[0015] 폴리싱 장치(100)는 연마 슬러리와 같은 폴리싱 액(132)을 폴리싱 패드(110) 상에서 패드로 분배하기 위한 포트(130)를 포함할 수 있다. 폴리싱 장치는 또한 폴리싱 패드(110)를 일관된 연마 상태로 유지하도록 폴리싱 패드(110)를 연마하기 위한 폴리싱 패드 컨디셔너를 포함할 수 있다.

[0016] 폴리싱 장치(100)는 적어도 하나의 캐리어 헤드(140)를 포함한다. 캐리어 헤드(140)는 폴리싱 패드(110)를 향해 기판(10)을 유지시키도록 작동가능하다. 각각의 캐리어 헤드(140)는 각각의 개별 기판과 연관된 폴리싱 파라미터들, 예를 들면 압력을 독립적으로 제어할 수 있다.

[0017] 캐리어 헤드(140)는 가요성 맴브레인(144) 아래에 기판(10)을 유지시키기 위한 유지 링(142)을 포함할 수 있다. 캐리어 헤드(140)는 또한 맴브레인에 의해 형성된 하나 또는 더 이상의 독립적으로 제어가능한 가압가능(pressurizable) 챔버들, 예를 들면 3개의 챔버들(146a 내지 146c)을 포함하며, 이들 챔버들은 가요성 맴브레인(144) 상의 및 그에 따라 기판(10) 상의 연관 구역들에 독립적으로 제어가능한 압력을 인가할 수 있다(도 1 참조). 예시의 용이함을 위해 단지 3개의 챔버들만이 도 1에 도시되지만, 하나 또는 두개의 챔버들, 또는 넷 또는 그 초과의 챔버들, 예를 들면 5개의 챔버들이 존재할 수 있다.

[0018] 캐리어 헤드가 축(155)을 중심으로 회전할 수 있도록, 캐리어 헤드(140)는 지지 구조물(150), 예를 들면 캐러셀로부터 현수되며, 드라이브 샤프트(152)에 의해 캐리어 헤드 회전 모터(154), 예를 들면 DC 유도 모터에 연결된다. 선택적으로, 각각의 캐리어 헤드(140)는, 예를 들면 캐러셀(150) 상의 슬라이더들 상에서, 또는 캐러셀 자체의 회전 진동에 의해 축방향으로 진동할 수 있다. 통상의 작동시, 플래튼은 그 중심 축(125)을 중심으로 회전되고, 각각의 캐리어 헤드는 그 중심 축(155)을 중심으로 회전되며, 폴리싱 패드의 상단면을 축방향으로 가로질러 병진된다(translated).

[0019] 하나의 캐리어 헤드(140)만이 도시되지만, 폴리싱 패드(110)의 표면적이 효율적으로 이용될 수 있도록 추가의 기판들을 유지시키기 위해 더 많은 캐리어 헤드들이 제공될 수 있다. 따라서, 동시적인 폴리싱 프로세스를 위해 기판들을 유지시키도록 구성된 캐리어 헤드 조립체들의 수는, 적어도 부분적으로, 폴리싱 패드(110)의 표면적에 기초할 수 있다.

[0020] 프로그램가능한 컴퓨터와 같은 제어기(190)가 모터들(121, 154)에 연결되어, 캐리어 헤드(140) 및 플래튼(120)의 회전 레이트를 제어한다. 예를 들면, 각각의 모터는 연관된 드라이브 샤프트의 회전 레이트를 측정하는 인코더를 포함할 수 있다. 제어기 또는 분리된 회로의 일부이고, 모터 자체 내에 있을 수 있는 퍼드백 제어 회로는 인코더로부터 측정된 회전 레이트를 수신하고, 모터로 공급된 전류를 조정하여, 드라이브 샤프트의 회전 레이트가 제어기로부터 수신된 회전 레이트에 매칭되는 것을 보장한다.

[0021] 폴리싱 장치는 또한 폴리싱 종점을 결정하기 위해 이용될 수 있는 인-시츄 모니터링 시스템(160), 예를 들면 모터 전류 또는 모터 토크 모니터링 시스템을 포함한다. 인-시츄 모니터링 시스템(160)은 모터로 공급되는 전류 및/또는 모터 토크를 측정하기 위한 센서를 포함한다.

[0022] 예를 들면, 토크 미터(160)가 드라이브 샤프트(124) 상에 배치될 수 있고 그리고/또는 토크 미터(162)가 드라이브 샤프트(152) 상에 배치될 수 있다. 토크 미터(160 및/또는 162)의 출력 신호는 제어기(190)로 지향된다.

[0023] 대안적으로, 또는 추가로, 전류 센서(170)는 모터(121)에 공급되는 전류를 모니터링할 수 있고 그리고/또는 전류 센서(172)는 모터(154)에 공급되는 전류를 모니터링할 수 있다. 전류 센서(170 및/또는 172)의 출력 신호는 제어기(190)로 지향된다. 전류 센서가 모터의 일부로서 도시되지만, 전류 센서는 제어기(제어기 자체가 모터들에 대한 구동 전류를 출력하는 경우), 또는 분리된 회로의 일부일 수 있다.

[0024] 센서의 출력은 디지털 전자 신호일 수 있다(센서의 출력이 아날로그 신호이면 센서 또는 제어기에서 ADC에 의해 디지털 신호로 변환될 수 있다). 디지털 신호는 센서의 샘플링 주파수에 따른 신호 값들 사이의 시간 기간에 대하여, 신호 값들의 시퀀스로 구성된다. 이 신호 값들의 시퀀스는 신호-대-시간 곡선으로 지칭될 수 있다. 신호 값들의 시퀀스는 값들(x_n)의 세트로서 표현될 수 있다.

[0025] 전술한 바와 같이, 센서로부터의 "미가공" 디지털 신호는 선형 예측을 통합하는(incorporate) 필터를 이용하여 평활화될 수 있다. 선형 예측은 미래 데이터를 예측하기 위해 현재 데이터 및 과거 데이터를 이용하는 통계적 기법이다. 선형 예측은 현재 및 과거 데이터의 자기상관(autocorrelation)의 추적(track)을 계속하는 공식들의

세트로 구현될 수 있으며, 선형 예측은 단순한 다항식 외삽(extrapolation)을 이용하여 가능한 것보다 미래에 더 많이 데이터를 예측할 수 있다.

[0026] 다른 인-시츄 모니터링 시스템들에서 신호들을 필터링하는 단계에 선형 예측이 적용될 수 있지만, 선형 예측은 모터 토크 또는 모터 전류 모니터링 시스템에서 신호들을 필터링하는 것에 특히 적용가능하다. 모터 토크 및 모터 전류 신호-대-시간 곡선들은 임의의 잡음에 의해서 뿐만 아니라, 폴리싱 패드를 가로지르는 캐리어 헤드(140)의 스위핑(sweeping)으로 인한 크고 조직적인 사인파적 교란(sinusoidal disturbance)에 의해서도 오류를 일으킬 수 있다. 모터 전류 신호들에 대해, 선형 예측이 우수한 정확도로 3 또는 4개의 스위프 기간들을 미래로 예측할 수 있다.

[0027] 제 1 구현예에서, 확장된 데이터 세트(즉, 현재 데이터 세트 뿐만 아니라(plus) 예측된 값들)를 생성하기 위해 현재 데이터 세트(현재 및 과거 신호 값들의 인과 데이터)에 선형 예측이 적용되며, 그 후 결과적인 확장된 데이터 세트에 주파수-도메인 필터를 적용한다. 선형 예측은 (4 또는 5개의 캐리어 헤드 스위프들에 대응할 수 있는) 40 내지 60개의 값들을 예측하는데 이용될 수 있다. 주파수 도메인 필터들이 거의 없거나 전혀 없는 필터 지연을 나타내기 때문에, 필터 지연이 상당히 감소될 수 있다. 주파수 도메인 필터는 데이터 세트의 시작과 끝 모두에서 에지 왜곡(edge distortion)을 나타낼 수 있다. 먼저 선형 예측을 이용함으로써, 에지 왜곡이 효과적으로 (데이터 세트의 마지막에 더 이상 위치되지 않는) 실제 현재 데이터로부터 멀어진다(move away).

[0028] 선형 예측은 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$\hat{x}_n = \sum_{i=1}^p a_i x_{n-i}$$

[0029] [0030] 여기에서, \hat{x}_n 은 예측된 신호 값이고, p 는 계산에서 이용된 데이터 점들의 개수($n-1$ 과 동일할 수 있음)이며, x_{n-i} 은 이전에 관찰된 신호 값들이고, a_i 는 예측기 계수(predictor coefficient)이다. 추가의 예측된 값들, 예를 들면 \hat{x}_{n+1} 을 생성하기 위해, n 을 증가시키고 x_{n-i} 에서 이전에 예측된 값들을 이용함으로써 계산이 반복될 수 있다.

[0031] 예측기 계수들(a_i)을 생성하기 위해, 자기상관 기준(autocorrelation criterion)으로 또한 지정되는 제곱 평균 기준(root mean square criterion)이 이용된다. 신호(x_n)에 대한 신호의 자기상관이 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$R_i = E\{x_n x_{n-i}\}$$

[0032] [0033] 여기에서, R 은 신호(x_n)의 자기상관이며, 여기에서 E 는 예상 값 함수, 예를 들면 평균 값이다. 자기상관 기준은 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$\sum_i^P a_i R_{i-j} = -R_j$$

[0034] [0035] 이에 대해 $1 \ll j \ll p$ 이다.

[0036] 제 2 구현예에서, 선형 예측이 칼만 필터와 함께 이용된다. 종래의 칼만 필터들은 Welch 및 Bishop에 의한 "An Introduction to the Kalman Filter"에서 설명된다. 표준 칼만 필터(구체적으로, "이산 칼만 필터(discrete Kalman filter(DKF))가 평활화 성능들을 갖는데, 이는 필터링 중인 시스템의 노이즈 특성들이 공식들에 포함되며 때문이다. 표준 칼만 필터는 또한 현재 및 과거 데이터를 기초로 미래 데이터 값을 추정하는 예측 단계를 이용한다. 예측 단계는 일반적으로 하나의 데이터 단계에 의해 미래로 단지 확장된다(즉, 가까운 장래의(near-term) 예측). 그러나, 이러한 일종의(sort of) 가까운 장래 예측은 CMP 모터 토크 데이터가 상업적으로 실행가능하도록 필터 지연을 충분히 감소시킬 수 없다. 표준 칼만 예측 단계 대신 선형 예측을 이용함으로써, "변형된 칼만" 필터가 필터 지연을 상당히 최소화한다.

[0037] 여기에서 설명되는 칼만 기법의 구현에는 상태 변수의 선형적 추정(priori estimate), 및 선형적 추정의 하류의 계산들(computations)의 상이한 순서를 결정하기 위한 변형된 기법을 포함한다. 선형 예측을 이용하는 다른 구현예들이 가능함이 이해되어야 한다.

[0038] 모터 전류 또는 모터 토크 모니터링 기법에 대해, 기판 마찰이 관심 변수이다. 그러나 측정된 양은 전체 마찰이며, 이는 전술한 바와 같이, 폴리싱 패드에 걸쳐서 캐리어 헤드(140)의 스위핑으로 인한 체계적인 사인파적 교란을 포함한다. 하기의 방정식들에 대해, 상태 변수(x)가 기판 마찰인 반면, 측정된 양(z)은 전체 마찰, 예를 들면 모터 전류 측정치들(measurements)이다.

[0039] 특정 시간 단계(k)에 대해, 상태 변수의 선형적 추정(\hat{x}_k^-)이 계산된다. 선형적 추정(\hat{x}_k^-)은 단계(k) 이전에 측정된, 복수의 측정된 양의 값들(z) 및 z의 복수의 선형적으로 보간된 값들의 평균으로서 계산될 수 있다. 주기적 교란이 존재하는 경우, 선형적 추정(\hat{x}_k^-)은 한 사이클에 걸친 값들로부터 계산될 수 있고, 이때 사이클의 절반("좌측" 또는 과거의 절반)은 측정된 데이터로 구성되고, 사이클의 절반("우측" 또는 미래의 절반)은 선형 예측을 이용하여 생성된다. 선형적 추정(\hat{x}_k^-)은, 시간 단계(k)에서 중심에 있는, 한 사이클에 걸쳐서 수행된

평균으로, 측정된 양의 평균, 즉, $\hat{x}_k^- = \bar{z}$ 으로서 계산될 수 있다. 따라서, 선형적 추정치(\hat{x}_k^-)는 측정된 데이터 및 선형적으로 예측된 데이터 모두를 포함하는 값들의 평균으로서 계산될 수 있다. 모터 토크 측정들의 경우, 이는 헤드 스위프 사이클(head sweep cycle)인 사이클이다.

[0040] 예를 들면, \hat{x}_k^- 는 다음과 같이 계산될 수 있다:

$$\hat{x}_k^- = \frac{1}{1 + 2L} \sum_{i=k-L}^{k+L} z_i \quad (\text{방정식 TT. 1})$$

[0041]

[0042] 여기에서, $2L+1$ 은 계산에서 사용된 데이터 점들의 개수이고, z_i 는 $L \geq 0$ 에 대해 z 의 이전에 관찰된 측정치이며, z_{k-L} 은 $L < 0$ 에 대해 z 에 대한 예측된 값들이다. z 에 대해 예측된 값들은 선형 예측을 이용하여 생성될 수 있다.

[0043]

CMP 모터 전류 또는 모터 토크 측정치들을 포함하는 경우에 대해, 마찰에 대한 지배적 기여(dominant contribution)는 스위프 마찰인데, 이는 시간에 따라 거의 사인파적 신호를 나타낸다. 스위프 마찰을 제거하기 위해, 이러한 접근법은 하나의 스위프 사이클에 걸쳐서 측정된 신호를 합계하고, 스위프 사이클에서의 데이터 점들의 개수로 나누며, 그에 따라 하나의 스위프 사이클에 걸친 평균 신호를 제공한다. 이러한 평균 신호는 기판 마찰에 상당히(well) 접근한다. 이러한 공식은 스위프 마찰의 사인파적 거동을 걸러낸다(filter out).

[0044]

표준 칼만 필터에서, 양(A)은 선형적 추정이 이루어지기 전에 산출되는데, 이는 양(A)이 선형적 추정치를 산출(compute)하기 위해 이용되기 때문이다. 이러한 변형된 칼만 법에서는, A는 선형적 추정에서 이용되지 않지만 (상기 방정식 TT.1), P_k^- 를 포함하는 다음번 업데이트 방정식, 선형적 추정 오류 공분산(error covariance)을 위해서 요구된다. 일 구현예에서, A에 대한 공식은 다음과 같다:

$$A = \hat{x}_k^- / \hat{x}_{k-1} \quad (\text{TT. 2})$$

[0045] 여기에서, \hat{x}_{k-1} 은 이전 단계로부터의 경험적 상태 추정이다.

[0047] 다음으로, 선형적 추정 에러 공분산(P_k^-)이 계산된다. P_k^- 는 표준 칼만 공식을 이용하여 산출될 수 있다:

$$P_k^- = A^2 P_{k-1} + Q \quad (\text{TT. 3})$$

- [0049] 이 구현예에서, A 는 스칼라(scalar)이다. 그러나, 더 일반적인 경우에, A 는 행렬일 수 있고, 방정식은 그에 따라 변형될 것이다.
- [0050] 다음으로, 나머지(Rs) 및 양(H)이 계산될 수 있다. 나머지(Rs)는 H에 대해 독립적으로 산출되고, 그 후 H가 추정된다. 나머지는 다음과 같이 산출된다:
- [0051] $Rs = \text{측정된 } \hat{x} - fut[1] \quad (\text{MM.1})$
- [0052] 여기에서, $fut[1]$ 는 측정에 대해 예측된 값이며, 여기에서 예측된 값은 모든 이전에 측정된 데이터에 대한 선형 예측 공식을 이용하여 계산된다. 접미사(suffix)([1])는 미래로의 한 단계에 대해 예측이 일어난다는 사실을 나타낸다.
- [0053] 일부 구현예들에서, Rs 는 다음과 같이 계산될 수 있고,
- $$Rs = z_k - \sum_{i=1}^p a_i z_{k-i} \quad (\text{MM.2})$$
- [0054]
- [0055] 여기에서, a_i 에 대한 값들이 선형 예측에 대해 전술한 바와 같이 계산된다.
- [0056] H 는 하기의 공식을 이용하여 계산될 수 있다:
- $$H = \frac{fut[1]}{\hat{x}^-_k} \quad (\text{MM.3})$$
- [0057]
- [0058] 일단 H , R 및 P^-_k 가 계산되었다면, 측정 업데이트 방정식들이 실행될 수 있다.
- $$K_k = \frac{HP^-_k}{(H^2P^-_k+R)} \quad (\text{MM.4})$$
- $$\hat{x}_k = \hat{x}^-_k + K_k(z_k - H\hat{x}^-_k) \quad (\text{MM.5})$$
- [0059]
- [0060] 전술한 구현예들 모두는 필터 지연을 감소시키고, 이 경우 데이터가 전통적인 평활화 필터들과 같이 평활하지 않을 수 있다는 트레이드오프가 존재한다.
- [0061] 도 2는 "미가공" 플래튼 토크 신호(200), 미가공 플래튼 토크 신호에 변형된 필터의 제 1 구현예를 적용함으로써 생성된 필터링된 신호(210), 및 미가공 플래튼 토크 신호에 표준 저역 필터를 적용함으로써 생성된 필터링된 신호(220)의 그래프를 도시한다. 변형된 필터는 지연의 상당한 감소를 제공한다.
- [0062] 도 3은 "미가공" 헤드 토크 신호(300), 미가공 헤드 토크 신호에 변형된 필터의 제 1 구현예를 적용함으로써 생성된 필터링된 신호(310), 및 미가공 헤드 토크에 표준 저역 필터를 적용함으로써 생성된 필터링된 신호(320)의 그래프를 도시한다. 변형된 필터는 여전히 지연의 감소를 제공하지만, 웨이퍼 마찰의 변화가 적기 때문에 작은 지연 감소만이 존재한다.
- [0063] 본 명세서에서 설명된 구현예들 및 모든 기능 작동들은, 본 명세서에서 개시된 구조적 수단 및 그 구조적 등가물들, 또는 이들의 결합들을 포함하여, 디지털 전자 회로망, 또는 컴퓨터 소프트웨어, 펌웨어, 또는 하드웨어로 구현될 수 있다. 본원에 기재된 구현예들은 데이터 프로세싱 장치, 예를 들면 프로그램 가능한 프로세서, 컴퓨터, 또는 다수의 프로세서들 또는 컴퓨터들에 의한 실행을 위해, 또는 이들의 작동을 제어하기 위해, 하나 또는 둘 이상의 비-일시적 컴퓨터 프로그램 제품들, 즉 기계 판독가능한 저장 디바이스에서 유형적으로 구체화된 (tangibly embodied) 하나 또는 둘 이상의 컴퓨터 프로그램들로서 구현될 수 있다.
- [0064] 컴퓨터 프로그램(프로그램, 소프트웨어, 소프트웨어 애플리케이션, 또는 코드로서 또한 공지됨)은 컴파일러형 (compiled) 또는 인터프리터형(interpreted) 언어들을 포함하는 임의의 형태의 프로그래밍 언어로 쓰여질 수 있으며, 독립형 프로그램으로서의 형태, 또는 모듈, 컴포넌트, 서브루틴, 또는 컴퓨팅 환경에서 이용하기에 적합한 다른 유닛으로서의 형태를 포함하는 임의의 형태로 효과적으로 사용될(deployed) 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 파일에 반드시 대응하지는 않는다. 프로그램은 다른 프로그램들 또는 데이터를 갖고 있는 파일의 일부에, 당해 프로그램 전용의 단일 파일에, 또는 다수의 조직화된 파일들(예를 들면, 하나 또는 둘 이상의 모듈들, 하위 프로그램들, 또는 코드의 부분들을 저장하는 파일들)에 저장될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 하나의 컴퓨터

에서 또는 하나의 위치에 있거나 또는 다수의 위치들에 걸쳐서 분포되고 통신 네트워크에 의해 상호 연결되는 다수의 컴퓨터들에서 실행되도록 효과적으로 사용될 수 있다.

[0065] 본 명세서에서 설명된 프로세스들 및 로직 회로들은 입력 데이터를 작동시키고 출력을 생성함으로써 기능들을 실행하도록 하나 또는 둘 이상의 컴퓨터 프로그램들을 실행하는 하나 또는 둘 이상의 프로그램가능한 프로세서들에 의해 실행될 수 있다. 프로세스들 및 로직 회로들은 또한, 특수 목적용 로직 회로망, 예를 들면 FPGA(필드 프로그램가능 게이트 어레이; field programmable gate array) 또는 ASIC(주문형 집적 회로; application specific integrated circuit)에 의해 실행될 수 있고, 그리고 장치는 또한, 특수 목적용 로직 회로망, 예를 들면 FPGA 또는 ASIC으로서 구현될 수 있다.

[0066] "데이터 프로세싱 장치"라는 용어는 프로그램가능한 프로세서, 컴퓨터, 또는 다수의 프로세서들 또는 컴퓨터들을 예로서 포함하여, 데이터를 프로세싱하기 위한 모든 장치, 디바이스들, 및 기계들을 포함한다. 장치는 하드웨어 외에도, 당해 컴퓨터 프로그램에 대한 실행 환경을 생성하는 코드, 예를 들면 프로세서 펌웨어, 프로토콜 스택, 데이터베이스 유지관리 시스템, 작동 시스템, 또는 이들 중 하나 또는 둘 이상의 조합을 구성하는 코드를 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로그램의 실행에 적합한 프로세서들은, 예로서 범용 및 특수 목적용 마이크로프로세서들 모두, 및 임의의 종류의 디지털 컴퓨터의 하나 또는 둘 이상의 프로세서들을 포함한다.

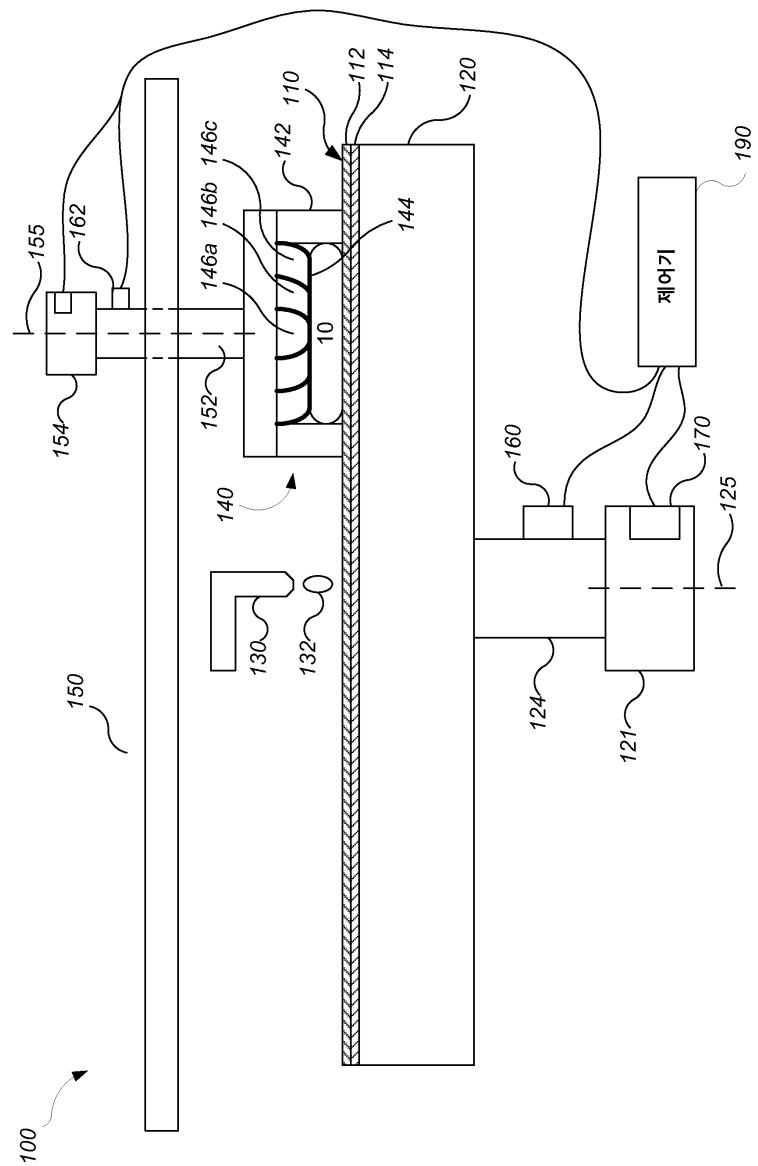
[0067] 컴퓨터 프로그램 명령들 및 데이터를 저장하기 적합한 컴퓨터 판독가능 매체는 예로서 반도체 메모리 디바이스들, 예를 들면 EEPROM, EEPROM 및 플래시 메모리 디바이스들; 자기 디스크들, 예를 들면 내부 하드 디스크들 또는 제거가능한 디스크들; 광자기 디스크들; 및 CD 룸 및 DVD-룸 디스크들을 포함하여, 모든 형태의 비 휘발성 메모리, 매체 및 메모리 디바이스들을 포함한다. 프로세서 및 메모리는 특수 목적용 로직 회로망에 의해 보충되거나, 또는 특수 목적용 로직 회로망 내에 통합될 수 있다.

[0068] 전술한 폴리싱 장치 및 방법들은 다양한 폴리싱 시스템들에서 적용될 수 있다. 폴리싱 패드 또는 캐리어 헤드, 또는 이들 모두는 폴리싱 표면과 웨이퍼 사이에 상대 운동을 제공하도록 이동할 수 있다. 예를 들면, 플래튼은 회전하기보다 궤도를 선회할 수 있다(orbit). 폴리싱 패드는 플래튼에 고정된 원형(또는 일부 다른 형상) 패드일 수 있다. 종점 검출 시스템의 일부 양태들은 (예를 들면, 폴리싱 패드가 선형적으로 이동하는 연속적 벨트 또는 텔-투-텔 벨트인 경우) 선형 폴리싱 시스템들에 적용가능할 수 있다. 폴리싱 충은 표준(예를 들면, 필러들을 갖거나 갖지 않는 폴리우레탄) 폴리싱 재료, 연성 재료, 또는 고정-연마 재료일 수 있다. 상대 배치(relative positioning)에 대한 용어들이 이용된다; 폴리싱 표면 및 웨이퍼는 수직 배향 또는 일부 다른 배향들로 유지될 수 있음이 이해되어야 한다.

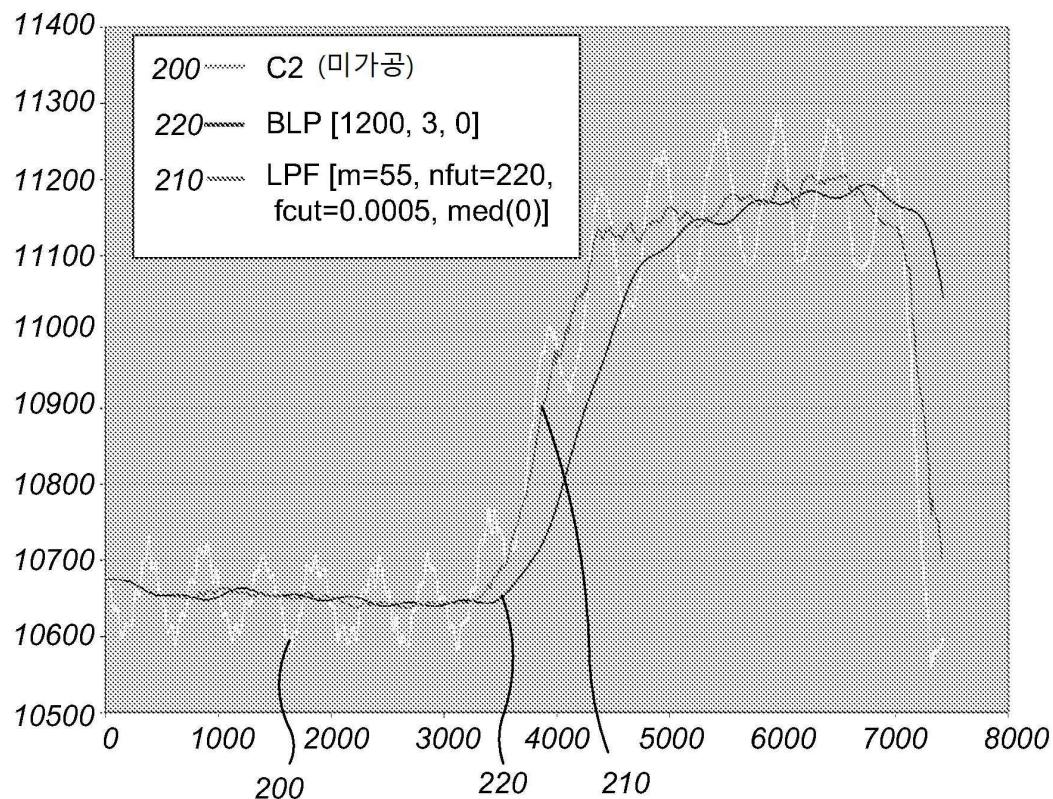
[0069] 본 명세서는 많은 세부사항들을 포함하지만, 이들은 청구될 수 있는 것의 범위에 대한 제한들로서 해석되지 않아야 하며, 오히려 특정 발명들의 특정 실시예들에 특정될 수 있는 특징들에 대한 설명들로서 해석되어야 한다. 일부 구현예들에서, 이 방법은 상부 재료 및 하부 재료의 다른 조합들에, 그리고 다른 종류들의 인-시츄 모니터링 시스템들, 예를 들면 광학적 모니터링 또는 와전류 모니터링 시스템들로부터의 신호들에 적용될 수 있다.

도면

도면1



도면2



도면3

