

(45) 공고일자	2024년05월31일
(11) 등록번호	10-2670962
(24) 등록일자	2024년05월27일

- (73) 특허권자
어플라이드 머티어리얼스, 인코포레이티드
미국 95054 캘리포니아 산타 클라라 바우어스 애
브뉴 3050
- (72) 발명자
드한다파니, 시바쿠마르
미국 95136 캘리포니아주 산호세 화이트 채플 애
비뉴 494
- (74) 대리인
양영준, 백만기

심사관 : 강명희

(52) CPC특허분류

B24B 49/10 (2013.01)

H01L 21/31051 (2013.01)

H01L 21/67092 (2013.01)

H01L 21/67253 (2013.01)

H01L 21/67276 (2013.01)

H01L 21/76819 (2013.01)

(56) 선행기술조사문헌

JP2015519740 A

JP2016538728 A

KR1020150005674 A

KR1020150051150 A

명세서

청구범위

청구항 1

연마를 제어하는 방법으로서,

기관을 연마하는 단계;

인-시튜 모니터링 시스템을 이용하여 연마 동안 상기 기관을 모니터링하는 단계 — 상기 모니터링하는 단계는 센서로부터 신호를 생성하는 단계를 포함하고, 상기 신호는 일련의 측정된 값들을 포함함 —;

필터링된 신호를 생성하기 위해 상기 신호를 필터링하는 단계 — 상기 필터링된 신호는 일련의 조정된 값들을 포함하고, 상기 필터링하는 단계는

복수의 교란 상태들을 사용하여, 복수의 상이한 주파수들의 복수의 주기적 교란들을 모델링하는 단계,

플랜트 상태를 사용하여 기저 신호를 모델링하는 단계, 및

상기 기저 신호를 나타내는 필터링된 신호를 생성하기 위해 선형 예측 필터를 상기 플랜트 상태 및 상기 복수의 교란 상태들에 적용하는 단계를 포함함 —; 및

상기 필터링된 신호로부터, 연마 속도에 대한 조정 또는 연마 종료점 중 적어도 하나를 결정하는 단계를 포함하는, 연마를 제어하는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 복수의 주기적 교란들은 헤드 스위프 교란 및/또는 플레이트 회전 교란을 포함하는, 연마를 제어하는 방법.

청구항 3

비일시적 컴퓨터 판독가능 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램으로서,

상기 컴퓨터 프로그램은 명령어들을 갖고, 상기 명령어들은 프로세서에 의해 실행될 때, 상기 프로세서로 하여금:

기관의 연마 동안, 인-시튜 모니터링 시스템으로부터 신호를 수신하고 — 상기 신호는 일련의 측정된 값들을 포함함 —;

필터링된 신호를 생성하기 위해 상기 신호를 필터링하고 — 상기 필터링된 신호는 일련의 조정된 값들을 포함하고, 상기 신호를 필터링하기 위한 명령어들은:

복수의 교란 상태들을 사용하여, 복수의 상이한 주파수들의 복수의 주기적 교란들을 모델링하고,

플랜트 상태를 사용하여 기저 신호를 모델링하고,

상기 기저 신호를 나타내는 필터링된 신호를 생성하기 위해 선형 예측 필터를 상기 플랜트 상태 및 상기 복수의 교란 상태들에 적용하기 위한 명령어들을 포함함 —; 그리고

상기 필터링된 신호로부터, 연마 속도에 대한 조정 또는 연마 종료점 중 적어도 하나를 결정하게 하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 복수의 주기적 교란들은 2개의 주기적 교란들로 구성되는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 5

제3항에 있어서,

상기 복수의 주기적 교란들은 3개의 주기적 교란들로 구성되는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 6

제3항에 있어서,

상기 복수의 주기적인 교란들은 헤드 스위프 교란을 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 7

제3항에 있어서,

상기 신호를 필터링하기 위한 명령어들은 복수의 플랜트 상태들을 사용하여 상기 기저 신호를 모델링하기 위한 명령어들을 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 복수의 플랜트 상태들은 필터링된 모터 전류 및 모터 전류 레이트를 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 9

제7항에 있어서,

상기 복수의 플랜트 상태들은 필터링된 토크 및 토크 레이트를 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 10

제3항에 있어서,

상기 선형 예측 필터는 칼만 필터를 포함하는, 비일시적 컴퓨터 판독가능 기록 매체에 저장된 컴퓨터 프로그램.

청구항 11

연마 시스템으로서,

연마 패드를 지지하기 위한 플레튼;

연마 동안 기판을 상기 연마 패드와 접촉된 상태로 유지하기 위한 캐리어 헤드;

연마 동안 상기 기판을 모니터링하는 센서로부터 신호를 생성하도록 구성된 인-시튜 모니터링 시스템 — 상기 신호는 일련의 측정된 값들을 포함함 —; 및

제어기를 포함하고,

상기 제어기는,

상기 기판의 연마 동안, 상기 인-시튜 모니터링 시스템으로부터 상기 신호를 수신하고,

필터링된 신호를 생성하기 위해 상기 신호를 필터링하고 — 상기 필터링된 신호는 일련의 조정된 값들을 포함하고, 상기 제어기는,

복수의 교란 상태들을 사용하여, 복수의 상이한 주파수들의 복수의 주기적 교란들을 모델링하고,

플랜트 상태를 사용하여 기저 신호를 모델링하고,

상기 기저 신호를 나타내는 필터링된 신호를 생성하기 위해 선형 예측 필터를 상기 플랜트 상태 및 상기 복수의 교란 상태들에 적용함으로써, 상기 신호를 필터링하도록 구성됨 -

상기 필터링된 신호로부터, 연마 속도에 대한 조정 또는 연마 종료점 중 적어도 하나를 결정하도록 구성되는, 연마 시스템.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 인-시튜 모니터링 시스템은 모터 전류 모니터링 시스템 또는 모터 토크 모니터링 시스템을 포함하는, 연마 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서,

상기 인-시튜 모니터링 시스템은 모터 전류 모니터링 시스템을 포함하고, 상기 플랜트 상태는 필터링된 모터 전류 및 모터 전류 레이트를 포함하는, 연마 시스템.

청구항 14

제12항에 있어서,

상기 인-시튜 모니터링 시스템은 모터 토크 모니터링 시스템을 포함하고, 상기 플랜트 상태는 필터링된 토크 및 토크 레이트를 포함하는, 연마 시스템.

청구항 15

제11항에 있어서,

상기 선형 예측 필터는 갈만 필터를 포함하는, 연마 시스템.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 개시내용은 연마를 제어하기 위해 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 취득된 데이터에 필터를 적용하는 것을 사용하는 것에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 집적 회로는 전형적으로, 규소 웨이퍼 상에 전도성, 반전도성, 또는 절연성 층들의 순차적 증착에 의해 기관 상에 형성된다. 하나의 제조 단계는, 비평면 표면 위에 필러 층을 증착시키고 필러 층을 평탄화하는 것을 수반한다. 특정 응용들의 경우, 필러 층은 패터닝된 층의 최상부 표면이 노출될 때까지 평탄화된다. 절연성 층의 트렌치들 또는 홀들을 채우기 위해, 패터닝된 절연성 층 상에, 예를 들어, 전도성 필러 층이 증착될 수 있다. 평탄화 후에, 절연성 층의 융기된 패턴 사이에 남아 있는 금속성 층의 부분들은, 기관 상의 박막 회로들 사이에 전도성 경로들을 제공하는, 비아들, 플러그들 및 라인들을 형성한다. 다른 응용들, 예컨대, 산화물 연마의 경우, 필러 층은 미리 결정된 두께가 비평면 표면 위에 남겨질 때까지 평탄화된다. 추가적으로, 기관 표면의 평탄화가 포토리소그래피를 위해 일반적으로 요구된다.

[0003] 화학적 기계적 연마(CMP)는 평탄화의 하나의 수용된 방법이다. 이 평탄화 방법은 전형적으로, 기관이 캐리어 또는 연마 헤드 상에 장착되는 것을 요구한다. 기관의 노출된 표면은 전형적으로, 회전 연마 패드에 대해 배치된다. 캐리어 헤드는, 기관을 연마 패드에 대해 누르기 위해, 제어가능한 부하를 기관 상에 제공한다. 연마재 연마 슬러리는 전형적으로, 연마 패드의 표면에 공급된다.

[0004] CMP에서의 한가지 과제는, 연마 프로세스가 완료되었는지 여부, 즉, 기관 층이, 원하는 평탄도 또는 두께로 평탄화되었는지 여부, 또는 원하는 양의 물질이 제거된 때를 결정하는 것이다. 슬러리 분포, 연마 패드 조건, 연마 패드와 기관 사이의 상대 속도, 및 기관에 대한 부하의 변동들은 물질 제거 속도의 변동들을 야기할 수 있다. 이러한 변동들뿐만 아니라, 기관 층의 초기 두께의 변동들도, 연마 종료점에 도달하는데 필요한 시간의

변동들을 야기한다. 그러므로, 연마 종료점은 일반적으로, 단지 연마 시간의 함수로서 결정될 수 없다.

[0005] 일부 시스템들에서, 기관은, 예를 들어, 모터가 플레튼 또는 캐리어 헤드를 회전시키는 데에 요구되는 토크를 모니터링함으로써, 연마 동안 인-시튜로 모니터링된다. 그러나, 기존의 모니터링 기법들은 반도체 디바이스 제조업자들의 증가하는 요구들을 만족시키지 못할 수 있다.

발명의 내용

[0006] 일 양상에서, 연마를 제어하는 방법은 기관을 연마하는 단계, 센서로부터 신호를 생성하는 것을 포함하는, 인-시튜 모니터링 시스템을 이용하여 연마 동안 기관을 모니터링하는 단계, 필터링된 신호를 생성하기 위해 신호를 필터링하는 단계, 및 필터링된 신호로부터, 연마 속도에 대한 조정 또는 연마 종료점 중 적어도 하나를 결정하는 단계를 포함한다. 신호는 일련의 측정된 값들을 포함하고, 필터링된 신호는 일련의 조정된 값들을 포함한다. 필터링하는 단계는, 복수의 교란 상태들을 사용하여 복수의 상이한 주파수들의 복수의 주기적 교란들을 모델링하는 단계, 플랜트 상태를 사용하여 기저 신호를 모델링하는 단계, 및 기저 신호를 나타내는 필터링된 신호를 생성하기 위해 선형 예측 필터를 플랜트 상태 및 복수의 교란 상태들에 적용하는 단계를 포함한다.

[0007] 다른 양상에서, 컴퓨터 프로그램 제품은, 프로세서에 의해 실행될 때, 프로세서로 하여금, 기관의 연마 동안, 인-시튜 모니터링 시스템으로부터 신호를 수신하고, 필터링된 신호를 생성하기 위해 신호를 필터링하고, 필터링된 신호로부터, 연마 속도에 대한 조정 또는 연마 종료점 중 적어도 하나를 결정하게 하는 명령어들을 갖는 컴퓨터 판독가능 매체를 포함한다. 신호는 일련의 측정된 값들을 포함하고, 필터링된 신호는 일련의 조정된 값들을 포함한다. 신호를 필터링하기 위한 명령어들은, 복수의 교란 상태들을 사용하여 복수의 상이한 주파수들의 복수의 주기적 교란들을 모델링하고, 플랜트 상태를 사용하여 기저 신호를 모델링하고, 기저 신호를 나타내는 필터링된 신호를 생성하기 위해 선형 예측 필터를 플랜트 상태 및 복수의 교란 상태들에 적용하기 위한 명령어들을 포함한다.

[0008] 다른 양상에서, 연마 시스템은 연마 패드를 지지하기 위한 플레튼, 연마 동안 기관을 연마 패드와 접촉된 상태로 유지하기 위한 캐리어 헤드, 연마 동안 기관을 모니터링하는 센서로부터 신호를 생성하도록 구성된 인-시튜 모니터링 시스템, 및 제어기를 포함한다. 제어기는 기관의 연마 동안 인-시튜 모니터링 시스템으로부터 신호를 수신하고, 필터링된 신호를 생성하기 위해 신호를 필터링하고, 필터링된 신호로부터, 연마 속도에 대한 조정 또는 연마 종료점 중 적어도 하나를 결정하도록 구성된다. 신호는 일련의 측정된 값들을 포함하고, 필터링된 신호는 일련의 조정된 값들을 포함한다. 제어기는, 복수의 교란 상태들을 사용하여 복수의 상이한 주파수들의 복수의 주기적 교란들을 모델링하고, 플랜트 상태를 사용하여 기저 신호를 모델링하고, 기저 신호를 나타내는 필터링된 신호를 생성하기 위해 선형 예측 필터를 플랜트 상태 및 복수의 교란 상태들에 적용하는 것에 의해 신호를 필터링하도록 구성된다.

[0009] 구현들은 다음의 특징들 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0010] 복수의 주기적 교란들은 정확히 2개 또는 정확히 3개의 주기적 교란들일 수 있다. 복수의 주기적 교란들은 헤드 스위프 교란 및/또는 플레튼 회전 교란을 포함할 수 있다.

[0011] 필터링은 복수의 플랜트 상태들을 사용하여 기저 신호를 모델링하는 것을 포함할 수 있다. 인-시튜 모니터링 시스템은 모터 전류 모니터링 시스템을 포함할 수 있고, 복수의 플랜트 상태들은 필터링된 모터 전류 및 모터 전류 레이트를 포함할 수 있다. 인-시튜 모니터링 시스템은 토크 모니터링 시스템을 포함할 수 있고, 복수의 플랜트 상태들은 필터링된 토크 및 토크 레이트를 포함할 수 있다.

[0012] 선형 예측 필터는 칼만(Kalman) 필터를 포함할 수 있다.

[0013] 인-시튜 모니터링 시스템은 모터 전류 모니터링 시스템 또는 모터 토크 모니터링 시스템을 포함할 수 있다. 인-시튜 모니터링 시스템은 모터 토크 모니터링 시스템을 포함할 수 있다.

[0014] 구현들은 이하의 잠재적 장점들 중 하나 이상을 포함할 수 있다. 신호의 주기적인 교란들은 상당한 필터 지연을 도입하지 않고 감소될 수 있다. 연마는 목표 두께에서 더 신뢰성있게 중지될 수 있다.

[0015] 하나 이상의 실시예의 세부사항들이 이하의 설명 및 첨부 도면들에 열거된다. 다른 양상들, 특징들 및 장점들은 설명 및 도면들로부터 그리고 청구항들로부터 명백할 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0016] 도 1은 연마 장치의 예의 개략적 단면도를 예시한다.
- 도 2는 신호의, 성분들로의 분해를 예시하는 개략도이다.
- 도 3은 원시 모터 토크 트레이스와, 맞춤화된 필터에 의해 생성된 필터링된 플레튼 토크 트레이스를 비교하는 그래프이다.
- 다양한 도면들에서 유사한 참조 부호들은 유사한 요소들을 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0017] 일부 반도체 제조 프로세스들에서, 연마는 인-시튜 모니터링 시스템에 의해 모니터링된다. 그러나, 일부 상황들에서, 인-시튜 모니터링 시스템으로부터의 신호는 주기적 또는 사인곡선 교란들에 의해 손상될 수 있다. 이러한 교란들은 기관의 움직임과 종종 연관된 다양한 원인들로부터 비롯될 수 있다. 예를 들어, 연마 작동에서, 그러한 교란들은 플레튼 회전 또는 캐리어 헤드의 진동 스위프로부터 비롯될 수 있다. 때때로 더 높은 고조파들이 또한 존재하고; 이는 마찰과 같은 비선형성들로 인한 것일 수 있다.
- [0018] 일반적으로, 반도체 처리의 경우, 종료점 제어를 위해 사용될 수 있는 인-시튜 모니터링 시스템으로부터 신호를 추출하는 것이 바람직하다. 신호의 저역 통과 필터링을 수반하는, 주기적 또는 사인곡선 교란들을 제거하기 위한 현재의 기법들은 추가적인 지연을 초래할 수 있고, 이는 종료점의 정확도에 영향을 줄 수 있다. 그러나, 모델 기반 접근법을 사용하여 사인곡선들을 필터링하는 것(사인곡선 거부)을 수반하는 기법은 최소의 지연 또는 신호 왜곡을 초래할 수 있다.
- [0019] 예로서, 플레튼 또는 캐리어 헤드로 하여금 지정된 회전 속도로 회전하게 하기 위해 모터에 의해 요구되는 토크 또는 전류가 모니터링될 수 있다. 이 모터 토크는 주기적인 교란들을 받을 수 있는 잡음있는 신호이다. 예를 들어, 모터 토크 및 모터 전류 신호 대 시간 곡선들은, 무작위 잡음에 의해서뿐만 아니라, 연마 패드에 걸친 캐리어 헤드(140)의 스위핑으로 인한 큰 체계적인 사인곡선 교란에 의해서도 손상될 수 있다. 필터링 접근법은 그러한 신호에 적용될 수 있다.
- [0020] 기저 층이 노출될 때, 기저 층이 연마 층에 대해 상부 층과 상이한 마찰 계수를 갖는 것으로 가정하면, 연마 종료점은 모터 토크의 결과적인 변화를 검출하는 것에 의해 결정될 수 있다. 예를 들어, 일부 반도체 칩 제조 프로세스들에서, 기저 층, 예를 들어, 유전체, 예컨대, 산화규소, 질화규소 또는 고-k 유전체가 노출될 때까지, 상부 층, 예를 들어, 산화규소 또는 폴리실리콘이 연마된다.
- [0021] 도 1은 연마 장치(100)의 예를 예시한다. 연마 장치(100)는 회전가능한 디스크-형상 플레튼(120)을 포함하고, 이 플레튼 상에 연마 패드(110)가 위치된다. 연마 패드(110)는 외측 연마 층(112) 및 더 연질인 후면 층(114)을 갖는 2-층 연마 패드일 수 있다. 플레튼은 축(125)을 중심으로 회전하도록 작동가능하다. 예를 들어, 모터(121), 예를 들어, DC 유도 모터는 플레튼(120)을 회전시키기 위해 구동 샤프트(124)를 회전시킬 수 있다.
- [0022] 연마 장치(100)는, 연마액(132), 예컨대, 연마 슬러리를 연마 패드(110) 상에 분배하기 위해, 패드를 향한 포트(130)를 포함할 수 있다. 연마 장치는 또한, 연마 패드(110)를 일관된 연마 상태로 유지하기 위해 연마 패드(110)를 연마하기 위해서 연마 패드 컨디셔너를 포함할 수 있다.
- [0023] 연마 장치(100)는 적어도 하나의 캐리어 헤드(140)를 포함한다. 캐리어 헤드(140)는 기관(10)을 연마 패드(110)에 대해 유지하도록 작동가능하다. 각각의 캐리어 헤드(140)는 각각의 기관 각각과 연관된 연마 파라미터들, 예를 들어, 압력의 독립적 제어를 가질 수 있다.
- [0024] 캐리어 헤드(140)는 가요성 멤브레인(144) 아래에 기관(10)을 유지하기 위해 유지 링(142)을 포함할 수 있다. 캐리어 헤드(140)는 또한, 멤브레인에 의해 한정된 하나 이상의 독립적으로 제어가능한 가압가능 챔버, 예를 들어, 3개의 챔버들(146a-146c)을 포함하며, 이 챔버들은 독립적으로 제어가능한 압력들을 가요성 멤브레인(144) 상의 관련 구역들에, 그리고 따라서 기관(10) 상에 인가할 수 있다(도 3 참고). 예시의 편의를 위해, 도 2 및 3에 단지 3개의 챔버들만이 예시되어 있지만, 1개 또는 2개의 챔버들, 또는 4개 이상의 챔버들, 예를 들어, 5개의 챔버들이 있을 수 있다.
- [0025] 캐리어 헤드(140)는 지지 구조(150), 예를 들어, 캐러셀로부터 매달리며, 캐리어 헤드가 축(155)을 중심으로 회전할 수 있도록, 구동 샤프트(152)에 의해 캐리어 헤드 회전 모터(154), 예를 들어, DC 유도 모터에 연결된다. 선택적으로, 각각의 캐리어 헤드(140)는, 예를 들어, 캐러셀(150) 상의 슬라이더들 상에서, 또는 캐러셀 자체의 회전 진동에 의해 측방향으로 진동할 수 있다. 전형적인 작동에서, 플레튼은 플레튼의 중심 축(125)을 중심으로

로 회전되며, 각각의 캐리어 헤드는 캐리어 헤드의 중심 축(155)을 중심으로 회전되고, 연마 패드의 최상부 표면에 걸쳐 측방향으로 병진된다.

[0026] 단지 하나의 캐리어 헤드(140)만이 도시되어 있지만, 연마 패드(110)의 표면적이 효율적으로 사용될 수 있도록 추가적인 기관들을 유지하기 위해, 더 많은 캐리어 헤드들이 제공될 수 있다. 따라서, 동시적인 연마 프로세스를 위해 기관들을 유지하도록 적응된 캐리어 헤드 조립체들의 개수는, 적어도 부분적으로, 연마 패드(110)의 표면에 기초할 수 있다.

[0027] 제어기(190), 예컨대, 프로그램가능 컴퓨터는 플레튼(120) 및 캐리어 헤드(140)의 회전 속도를 제어하기 위해 모터들(121, 154)에 연결된다. 예를 들어, 각각의 모터는 연관된 구동 샤프트의 회전 속도를 측정하는 인코더를 포함할 수 있다. 모터 자체에 있거나, 제어기의 일부이거나, 별도의 회로일 수 있는 피드백 제어 회로는, 인코더로부터 측정된 회전 속도를 수신하며, 구동 샤프트의 회전 속도가, 제어기로부터 수신된 회전 속도와 일치하는 것을 보장하도록, 모터에 공급되는 전류를 조정한다.

[0028] 연마 장치는 또한, 연마 종료점을 결정하는 데 사용될 수 있는 인-시튜 모니터링 시스템(160), 예를 들어, 모터 전류 또는 모터 토크 모니터링 시스템을 포함한다. 인-시튜 모니터링 시스템(160)은 모터에 공급되는 모터 토크 및/또는 전류를 측정하기 위한 센서를 포함한다.

[0029] 예를 들어, 토크 미터(160)는 구동 샤프트(124) 상에 배치될 수 있고/있거나 토크 미터(162)는 구동 샤프트(152) 상에 배치될 수 있다. 토크 미터(160 및/또는 162)의 출력 신호는 제어기(190)로 전달된다.

[0030] 대안적으로 또는 추가적으로, 전류 센서(170)는 모터(121)에 공급되는 전류를 모니터링할 수 있고/거나 전류 센서(172)는 모터(154)에 공급되는 전류를 모니터링할 수 있다. 전류 센서(170 및/또는 172)의 출력 신호는 제어기(190)로 전달된다. 전류 센서가 모터의 일부로서 예시되지만, 전류 센서는 (제어기 자체가 모터들에 대한 구동 전류를 출력하는 경우) 제어기의 일부일 수 있거나 별도의 회로일 수 있다.

[0031] 센서의 출력은 디지털 전자 신호일 수 있다(센서의 출력이 아날로그 신호인 경우, 신호는 센서 또는 제어기에 있는 ADC에 의해 디지털 신호로 변환될 수 있다). 디지털 신호는 일련의 신호 값들로 구성되며, 신호 값들 사이의 기간은 센서의 샘플링 주파수에 따른다. 이러한 일련의 신호 값들은 신호 대 시간 곡선으로 지칭될 수 있다. 일련의 신호 값들은 값들(x_n)의 세트로 표현될 수 있다.

[0032] 위에서 언급된 바와 같이, 센서로부터의 "원시" 디지털 신호는 필터를 사용하여 평활화될 수 있다.

[0033] 도 2에 도시된 바와 같이, 측정된 "원시" 신호는 시간 도메인에서 다수의 신호들로 분해될 수 있다. 특히, 측정된 신호는 다수의 사인곡선 성분들, 백색 잡음 성분 및 기본 신호로 분해될 수 있다.

[0034] 결정성 교란을 점진적으로 거부하기 위해, 교란의 모델이 신호에 대한 "플랜트" 모델(예를 들어, 내부 모델 원리)에 삽입될 수 있다. 교란의 모델이 사인곡선 교란 거부에 사용될 수 있지만, 다른 교란들이 모델링될 수 있다.

[0035] CMP 작동을 모니터링하는 목적을 위해, CMP 시스템의 "플랜트" 모델은 마찰(MT 또는 계면)이 있는 회전 역학을 캡처한다. 대조적으로, 증강된 모델은 플랜트 모델에 대한 "플랜트" 상태들에 더하여 교란 모델의 교란 상태들을 포함한다. 필터링을 수행하기 위해, 적절한 칼만 필터가, 원시 측정된 신호를 사용하여, 증강된 모델에 대해 실행될 수 있다.

[0036] n 개의 사인곡선들의 세트는 다음과 같이 모델링될 수 있다.

$$\sum_{m=1}^n A_m \sin(\omega_m t + \varphi_m)$$

[0037]

[0038] 감쇠를 위한 지배 주파수들은 고속 푸리에 변환(FFT)을 사용하는 실험 및 오프라인 분석을 통해 획득될 수 있다. 결과적으로, ω_m 은 $m = 1$ 내지 n 의 다수의 값들로 알려져 있으며, 여기서 n 개의 사인곡선 교란들이 모델링된다.

[0039] 알려진 주파수(ω_1)를 갖는 단일 사인곡선에 대한 상태들은 다음과 같이 정의될 수 있다:

$$X_{d_k} = \begin{bmatrix} A_m \sin(\omega_1 t + \varphi) \\ A_m \cos(\omega_1 t + \varphi) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{1d} \\ X_{2d} \end{bmatrix}_k$$

[0040]

[0041] 샘플링 기간이 T_s 인 것으로 가정하면, $(k+1)$ 번째 샘플은 (예를 들어, $\sin(\alpha + \beta)$ 전개식을 사용하여) 다음과 같다:

$$X_{d_k+1} = \begin{bmatrix} A_m \sin(\omega_1 \{t + T_s\} + \varphi) \\ A_m \cos(\omega_1 \{t + T_s\} + \varphi) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{1d} \\ X_{2d} \end{bmatrix}_{k+1}$$

[0042]

$$= \begin{bmatrix} \cos(\omega_1 T_s) & \sin(\omega_1 T_s) \\ -\sin(\omega_1 T_s) & \cos(\omega_1 T_s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_m \sin(\omega_1 t + \varphi) \\ A_m \cos(\omega_1 t + \varphi) \end{bmatrix}$$

[0043]

[0044] 따라서,

$$X_{d_k+1} = \begin{bmatrix} \cos(\omega_1 T_s) & \sin(\omega_1 T_s) \\ -\sin(\omega_1 T_s) & \cos(\omega_1 T_s) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{1d} \\ X_{2d} \end{bmatrix}_k = A_d * X_{d_k}$$

[0045]

[0046] 다수의 사인곡선들이 존재하는 경우, 다수의 사인곡선들(예를 들어, n 개의 사인곡선들)에 대한 A -행렬이 다음과 같이 블록 대각 형식으로 생성될 수 있고:

$$X_{d_k+1} = \begin{bmatrix} A_1 & \cdots & 0 \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \cdots & A_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_{1d_k} \\ \vdots \\ \vdots \\ X_{nd_k} \end{bmatrix}_k = A_d * X_{d_k}$$

[0047]

[0048] 각각의 사인곡선은 위에서 도식된 바와 같이 두(2)개의 상태들을 갖는다. 추가적으로, 모델은 여전히 선형이다. 이러한 접근법에서, 위상 및 진폭을 개별적으로 추정할 필요는 없다.

[0049] 그러나, 주파수가 알려지지 않은 경우, 주파수는 모델의 다른 상태일 수 있다. 이 경우에, 모델은 비선형이 된다(그리고 확장 칼만 필터가 필요할 수 있다).

[0050] 이제 플랜트 모델로 돌아가면, 2개의 플랜트 상태들이 다음과 같이 표시될 수 있다:

$$X_{p_k} = \begin{bmatrix} \text{필터링된 토크} \\ \text{토크 레이트} \end{bmatrix}_k = \begin{bmatrix} T \\ T_R \end{bmatrix}_k$$

[0051]

[0052] 필터링된 토크는 우리가 찾고 있는 (교란들이 감소되거나 제거된) 기본 신호일 것이다.

[0053] 모델은 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$\begin{aligned} X_{p_{k+1}} &= \begin{bmatrix} 1 & T_s \\ 0 & 1 \end{bmatrix} X_{p_k} + \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \end{bmatrix}_k \\ &= A_p * X_{p_k} + W_k \end{aligned}$$

백색 잡음

[0054]

[0055] 이 때

$$\begin{aligned} T_{k+1} &= T_k + T_{-}R_k + \omega_{1_k} \\ T_{-}R_{k+1} &= T_{-}R_k + \omega_{2_k} \end{aligned}$$

[0056]

[0057] 대안적으로, 언급된 단일 플랜트는 다음과 같이 표시될 수 있다:

$$X_{p_k} = [\text{필터링된 토크}]_k = T_k$$

[0058]

[0059] 이 경우에,

$$X_{p_{k+1}} = T_{k+1} = T_k + \omega_{1k}$$

[0060]

[0061] 증강된 상태는 다음과 같이 정의될 수 있다:

$$X_{a_k} = [X_{d_k} \quad X_{p_k}]^T$$

[0062]

[0063] 증강된 역학 및 측정된 토크 출력 방정식들을 이용한 증강된 모델은 다음과 같이 표현될 수 있다:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} X_d \\ X_p \end{bmatrix}_{k+1} &= \begin{bmatrix} A_{d1} & \dots & 0 \\ \vdots & A_{dn} & \vdots \\ 0 & \dots & A_p \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_d \\ X_p \end{bmatrix}_k + \begin{bmatrix} \omega_d \\ \vdots \\ \omega_p \end{bmatrix} \\ y &= [1 \ 0 \ \dots \ 1 \ 0 \ 1 \ 0] \begin{bmatrix} X_d \\ X_p \end{bmatrix}_k \end{aligned}$$

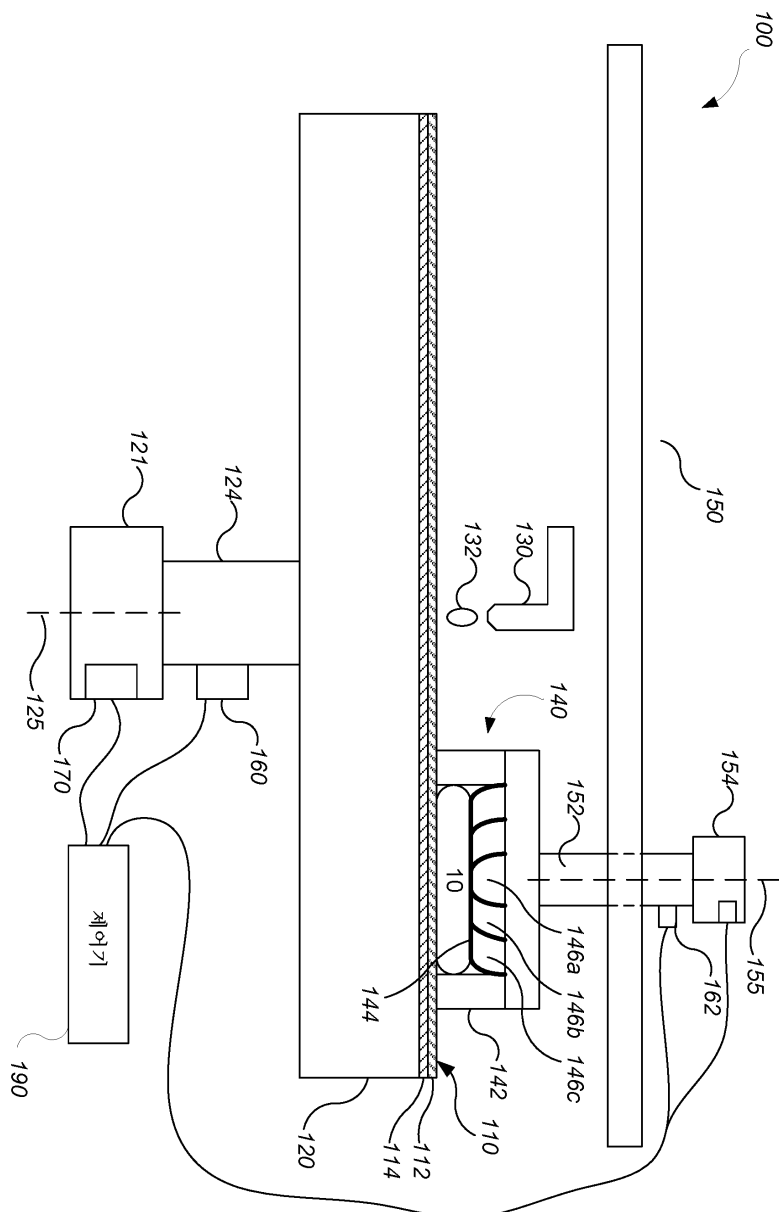
[0064]

[0065] 종래의 칼만 필터들은 웰치(Welch) 및 비숍(Bishop)에 의한 "An Introduction to the Kalman Filter"에서 설명된다. 표준 칼만 필터(구체적으로, "이산 칼만 필터(DKF)")는, 필터링되는 시스템의 잡음 특성들이 공식들에 포함되기 때문에 평활화 능력들을 갖는다. 표준 칼만 필터는 또한, 현재 및 과거 데이터에 기초하여 미래 데이터 값을 추정하는 예측 단계를 채용한다. 예측 단계는 보통, 하나의 데이터 단계(즉, 단기 예측)에 의해 미래로 단지 확장만 된다.

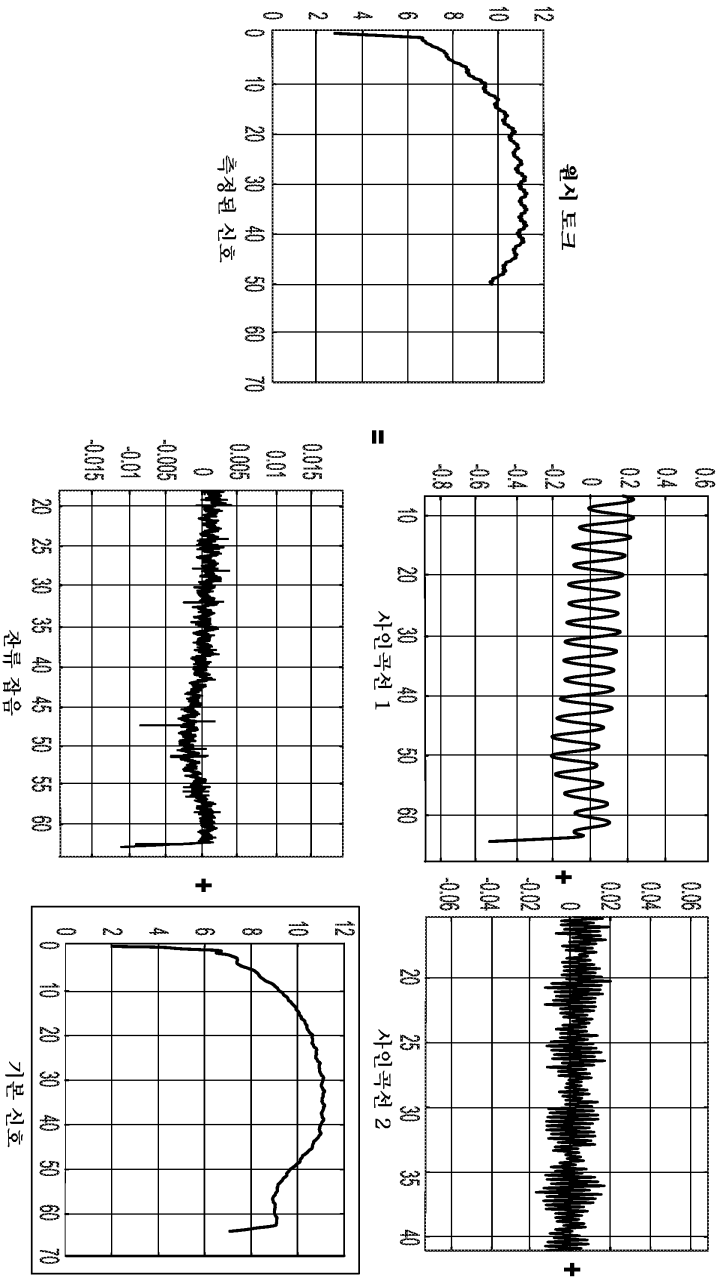
- [0066] 도 3은 "원시" 플레튼 토크 신호(200), 및 3개의 사인곡선 교란들 및 하나의 토크 상태를 갖는 모델을 사용하는 필터를 적용함으로써 생성된 필터링된 신호(210) 양쪽 모두의 그래프를 예시한다. 필터링된 신호는 비교적 깨끗하고, 상당한 지연을 겪지 않는다.
- [0067] 본 명세서에 설명된 구현들 및 기능적 작동들 전부는, 디지털 전자 회로로, 본 명세서에 개시된 구조적 수단들 및 그의 구조적 등가물들을 포함하는, 컴퓨터 소프트웨어, 펌웨어, 또는 하드웨어로, 또는 그들의 조합들로 구현될 수 있다. 본원에 설명된 구현들은, 하나 이상의 비일시적 컴퓨터 프로그램 제품으로, 즉, 하나 이상의 컴퓨터 프로그램(데이터 처리 장치, 예를 들어, 프로그램가능 프로세서, 컴퓨터, 또는 다수의 프로세서들 또는 컴퓨터들에 의한 실행을 위해, 또는 그의 작동을 제어하기 위해, 기계 판독가능 저장 디바이스에 유형적으로 구체화됨)으로 구현될 수 있다.
- [0068] 컴퓨터 프로그램(또한, 프로그램, 소프트웨어, 응용 소프트웨어, 또는 코드로 알려져 있음)은, 컴파일된 또는 해석된 언어들을 포함하는 임의의 형태의 프로그래밍 언어로 작성될 수 있고, 컴퓨터 프로그램은, 독립형 프로그램으로서, 또는 모듈, 컴포넌트, 서브루틴, 또는 컴퓨팅 환경에서 사용하기에 적합한 다른 유닛으로서를 포함하여, 임의의 형태로 배포될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 반드시 파일에 대응하지는 않는다. 프로그램은 다른 프로그램들 또는 데이터를 보유하는 파일의 일부에, 해당 프로그램에 전용인 단일 파일에, 또는 다수의 협력 파일들(예를 들어, 하나 이상의 모듈, 서브 프로그램들 또는 코드의 부분들을 저장하는 파일들)에 저장될 수 있다. 컴퓨터 프로그램은 하나의 컴퓨터 상에서, 또는 한 장소에 있거나 다수의 장소들에 걸쳐 분산되고 통신 네트워크에 의해 상호연결된 다수의 컴퓨터들 상에서 실행되도록 배포될 수 있다.
- [0069] 본 명세서에서 설명된 프로세스들 및 논리 흐름들은, 입력 데이터를 조작하고 출력을 생성함으로써 기능들을 수행하기 위해 하나 이상의 컴퓨터 프로그램을 실행하는 하나 이상의 프로그램가능 프로세서에 의해 수행될 수 있다. 프로세스들 및 논리 흐름들은 또한, 특수 목적 논리 회로, 예를 들어, FPGA(필드 프로그램가능 게이트 어레이) 또는 ASIC(주문형 집적 회로)에 의해 수행될 수 있고, 장치는 또한, 그러한 특수 목적 논리 회로로서 구현될 수 있다.
- [0070] "데이터 처리 장치"라는 용어는, 예로서, 프로그램가능 프로세서, 컴퓨터, 또는 다중 프로세서들 또는 컴퓨터들을 포함하는, 데이터를 처리하기 위한 모든 장치, 디바이스들 및 머신들을 포함한다. 장치는, 하드웨어 이외에도, 해당 컴퓨터 프로그램을 위한 실행 환경을 생성하는 코드, 예를 들어, 프로세서 펌웨어, 프로토콜 스택, 데이터베이스 관리 시스템, 운영 체제, 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 구성하는 코드를 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로그램의 실행에 적합한 프로세서들은, 예로서, 범용 및 특수 목적 마이크로프로세서들 양쪽 모두, 및 임의의 종류의 디지털 컴퓨터의 임의의 하나 이상의 프로세서를 포함한다.
- [0071] 컴퓨터 프로그램 명령어들 및 데이터를 저장하기에 적합한 컴퓨터 판독가능 매체는, 예로서, 반도체 메모리 디바이스들, 예를 들어, EPROM, EEPROM, 및 플래시 메모리 디바이스들; 자기 디스크들, 예를 들면, 내부 하드 디스크들 또는 이동식 디스크들; 광 자기 디스크들; 및 CD ROM 및 DVD-ROM 디스크들을 포함하는, 모든 형태들의 비휘발성 메모리, 매체 및 메모리 디바이스들을 포함한다. 프로세서 및 메모리는 특수 목적 논리 회로에 의해 보완되거나 그에 포함될 수 있다.
- [0072] 위에서 설명된 연마 장치 및 방법들은 다양한 연마 시스템들에 적용될 수 있다. 연마 패드, 또는 캐리어 헤드, 또는 둘 모두는, 연마 표면과 웨이퍼 사이의 상대 운동을 제공하도록 이동할 수 있다. 예를 들어, 플레튼은 회전하는 대신에 궤도를 그리며 돌 수 있다. 연마 패드는 플레튼에 고정된 원형(또는 어떤 다른 형상) 패드일 수 있다. 종료점 검출 시스템의 일부 양상들은 (예를 들어, 연마 패드가 선형으로 이동하는 연속적인 또는 릴-투-릴 벨트인) 선형 연마 시스템들에 적용가능할 수 있다. 연마 층은 표준(예를 들어, 필터들을 갖거나 갖지 않는 폴리우레탄) 연마 물질, 연질 물질, 또는 고정된-연마재 물질일 수 있다. 상대적 위치결정의 용어들이 사용되는데; 연마 표면 및 웨이퍼는 수직 배향 또는 어떤 다른 배향들로 유지될 수 있음을 이해해야 한다.
- [0073] 본 명세서가 많은 특정 사항들을 포함하지만, 이들은 청구될 수 있는 대상의 범위에 대한 제한들로서 해석되어서는 안 되며, 오히려 특정 발명들의 특정 실시예들에 대해 특정할 수 있는 특징들의 설명들로서 해석되어야 한다. 일부 구현들에서, 방법은 상부 및 기저 물질들의 다른 조합들에, 그리고 다른 종류들의 인-시튜 모니터링 시스템들, 예를 들어, 광학 모니터링 또는 와전류 모니터링 시스템들로부터의 신호들에 적용될 수 있다.

도면

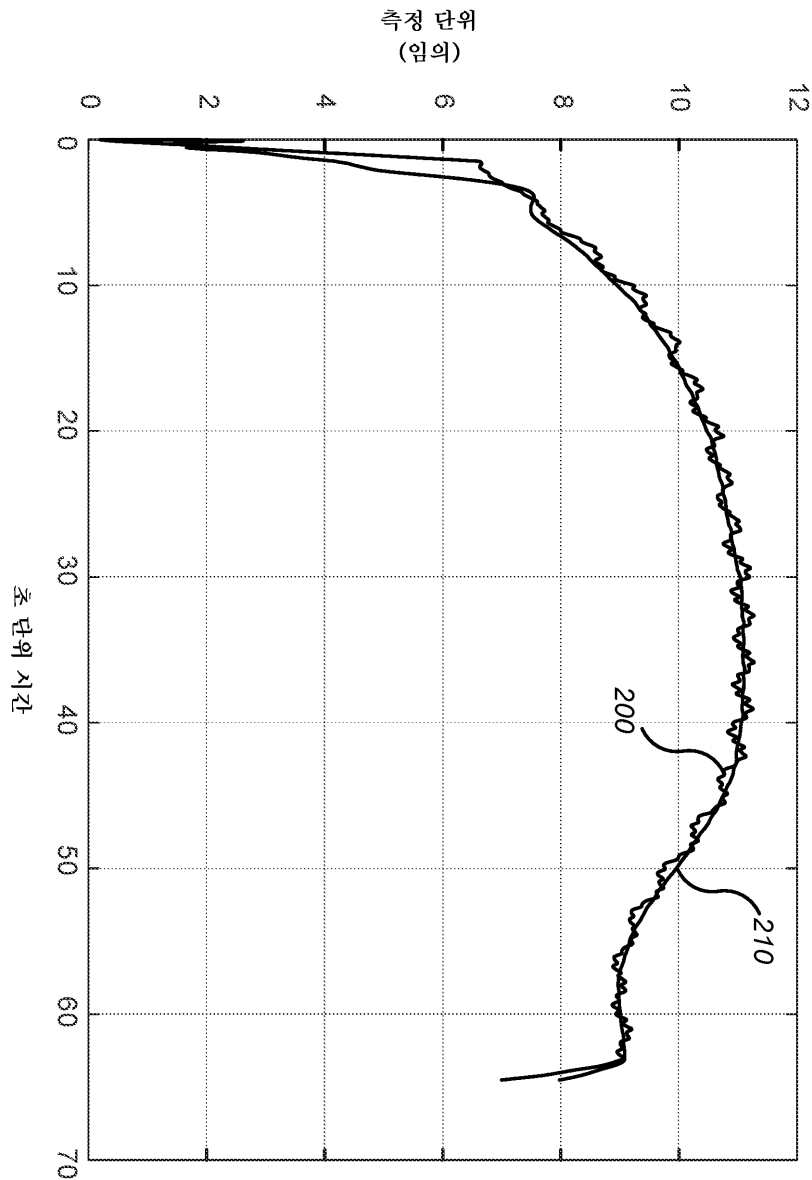
도면1



도면2



도면3



【심사관 직권보정사항】

【직권보정 1】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 13

【변경전】

제12항에 있어서,

상기 인-시츄 모니터링 시스템은 모터 전류 모니터링 시스템을 포함하고, 상기 복수의 플랜트 상태들은 필터링된 모터 전류 및 모터 전류 레이트를 포함하는, 연마 시스템.

【변경후】

제12항에 있어서,

상기 인-시츄 모니터링 시스템은 모터 전류 모니터링 시스템을 포함하고, 상기 플랜트 상태는 필터링된 모터 전류 및 모터 전류 레이트를 포함하는, 연마 시스템.

【직권보정 2】

【보정항목】 청구범위

【보정세부항목】 청구항 14

【변경전】

제12항에 있어서,

상기 인-시튜 모니터링 시스템은 모터 토크 모니터링 시스템을 포함하고, 상기 복수의 플랜트 상태들은 필터링된 토크 및 토크 레이트를 포함하는, 연마 시스템.

【변경후】

제12항에 있어서,

상기 인-시튜 모니터링 시스템은 모터 토크 모니터링 시스템을 포함하고, 상기 플랜트 상태는 필터링된 토크 및 토크 레이트를 포함하는, 연마 시스템.