



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0056421
(43) 공개일자 2018년05월28일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 15/02 (2006.01) *G01N 15/00* (2017.01)
G01N 15/14 (2006.01) *G01N 21/45* (2006.01)
G03H 1/00 (2006.01) *G03H 1/04* (2006.01)
- (52) CPC특허분류
G01N 15/0227 (2013.01)
G01N 15/1434 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-7010750
- (22) 출원일자(국제) 2016년09월15일
 심사청구일자 없음
- (85) 번역문제출일자 2018년04월16일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2016/051946
- (87) 국제공개번호 WO 2017/048960
 국제공개일자 2017년03월23일
- (30) 우선권주장
 62/220,786 2015년09월18일 미국(US)

- (71) 출원인
 뉴욕 유니버시티
 미국 뉴욕주 10012 뉴욕 워싱턴 스퀘어 사우스70
- (72) 발명자
 러프너 데이빗 비.
 미국, 10012 뉴욕, 뉴욕, 워싱턴 스퀘어 사우스 70
 그리어 데이빗 지.
 미국, 10011 뉴욕, 뉴욕, 웨스트 제15 스트리트 120
 필립스 로리
 미국, 10016 뉴욕, 뉴욕, #48제이, 이스트 제38 스트리트 330
- (74) 대리인
 강명구

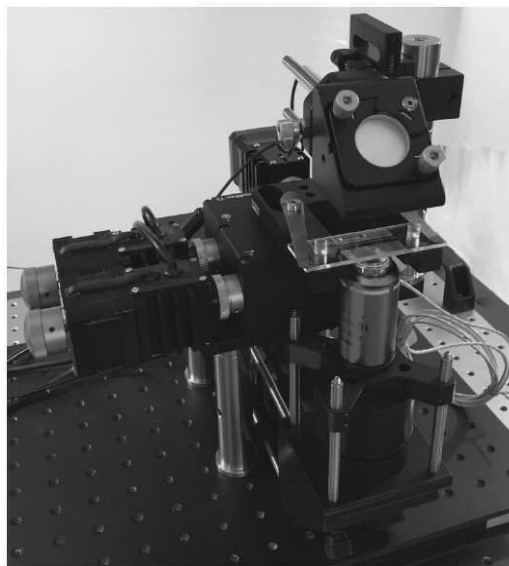
전체 청구항 수 : 총 9 항

(54) 발명의 명칭 **정밀 슬러리 내 대형 불순물 입자의 홀로그래픽 검출 및 특성화**

(57) 요약

홀로그래픽 비디오 현미경을 사용하여 샘플 내의 불순물을 검출한다. 샘플이 현미경을 통해 유동하고 홀로그래픽 이미지가 생성된다. 샘플 내 큰 불순물과 관련된 영역을 식별하기 위해 홀로그래픽 이미지를 분석한다. 홀로그래픽 이미지에 대한 샘플 입자의 기여도가 결정되고 불순물이 특성화된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

G01N 15/1459 (2013.01)

G01N 15/1463 (2013.01)

G01N 21/453 (2013.01)

G03H 1/0443 (2013.01)

G01N 2015/0053 (2013.01)

G01N 2015/0233 (2013.01)

G01N 2015/1454 (2013.01)

G03H 2001/0033 (2013.01)

G03H 2001/005 (2013.01)

명세서

청구범위

청구항 1

샘플 내의 불순물을 특성화하는 방법으로서,

홀로그래픽 현미경의 관찰 볼륨을 통해 상기 샘플을 유동시키는 단계;

제 1 시기에 상기 관찰 볼륨 내의 상기 샘플의 홀로그래픽 비디오 현미경에 기초하여 제 1 홀로그래픽 이미지를 생성하는 단계;

관심 입자에 대응하는 하나 이상의 관심 영역에 대한 상기 제 1 홀로그래픽 이미지를 분석하는 단계;

상기 샘플과 광의 상호 작용에 의해 생성된 확산파의 기여에 대해 상기 관심 영역을 노멀라이징(normalizing)하는 단계;

상기 노멀라이징된 관심 영역을 광 산란 이론에 피팅(fitting)하는 단계; 과

관심 입자의 하나 이상의 특성을 특성화하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 샘플은 슬러리인 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서, 상기 슬러리는 200nm 이하의 입자를 포함하는 방법.

청구항 4

제 3 항에 있어서, 상기 관심 입자는 약 200 나노 미터 내지 약 20 마이크로미터의 크기를 갖는 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 피크 흐름은 초당 약 100 마이크로미터인 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서, 깊이 D의 샘플 셀을 선택하는 단계를 더 포함하는 방법.

청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 관심 입자를 특성화하는 단계는 반지름 및 굴절률을 결정하는 단계를 포함하는 방법.

청구항 8

슬러리 내 관심 입자를 특성화하는 방법으로서,

상기 슬러리를 홀로그래픽 현미경의 관찰 볼륨을 통해 유동시키는 단계;

제 1 시기에 상기 관찰 볼륨 내의 상기 샘플의 홀로그래픽 비디오 현미경에 기초하여 제 1 홀로그래픽 이미지를 생성하는 단계;

상기 제 1 홀로그래픽 이미지를 분석하는 단계;

상기 제 1 홀로그래픽 이미지에 로렌츠 미에(Lorenz Mie) 분석을 적용하는 단계;

관심 입자를 특성화하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 상기 샘플과 광의 상호 작용에 의해 생성된 확산파의 기여도를 정량화하는 단계를 더 포함하는 것을 특징으로하는 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 2015년 9월 18일 자로 출원된 미국특허가출원 제62/220,786호에 기초한 우선권을 주장하는 2016 년 9 월 15 일자로 출원된 국제 출원 제 PCT/US2016/051946 호의 35 U.S.C. § 371 하의 미국국내단계 출원이고, 이들 모두는 그 내용 전체가 본원에 참고로 인용된다.

배경 기술

[0003] 산화물 나노 입자의 슬러리는 마이크로전자 장치의 화학-기계적 평탄화(CMP) 및 포토닉스를 위한 연마제 및 래핑제로서 널리 응용된다. CMP 슬러리에서의 응집체 또는 다른 특대 오염물의 존재는 10 억분의 1 농도에서도 표면 품질에 악영향을 미치기 때문에 바람직하지 못하다. 응집을 방지하고 오염 물질을 제거하려는 노력은 나노 입자의 바다에서 비교적 작은 수의 큰 입자를 검출하고 특성화하는 기술의 부족으로 방해받고 있다. 예를 들어, 다이렉트 이미징, 레이저 오퍼(laser occultation) 및 광산란 기술은 슬러리의 탁도에 의해, 그리고, 나노입자와 보다 큰 오염 물질 사이의 대비 부족으로 배제된다. 기존의 입자 계수기는 전체 농도의 슬러리 입자에 의해 막히고 오염된다. 이러한 문제를 회색으로 해결하는 것은 매우 많은 양의 유체가 분석되어야 할 뿐만 아니라 회색 과정이 관심의 대상이 될 수 있는 응집 과정에 영향을 줄 수 있기 때문에 비실용적이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0004] 일 실시예는 샘플 내의 불순물을 특성화하는 방법에 관한 것이다. 상기 방법은 샘플을 홀로그래픽 현미경의 관찰 볼륨을 통해 흐르게하고, 제 1 시기에 관찰 볼륨 내의 샘플의 홀로그래픽 비디오 현미경에 기초한 제 1 홀로그래픽 이미지를 생성하고, 관심 입자에 대응하는 하나 이상의 관심 영역에 대한 제 1 홀로그래픽 이미지를 분석하고, 샘플과 빛의 상호 작용에 의해 생성된 확산파의 기여에 대해 관심 영역을 노멀라이징(normalizing)하고, 노멀라이징된 관심 영역을 광산란 이론에 피팅(fitting) 하고, 관심 입자의 하나 이상의 특성을 특성화하는 단계를 포함한다.

[0005] 다른 실시예는 슬러리에서 관심 입자를 특성화하는 방법에 관한 것이다. 상기 방법은 슬러리를 홀로그래픽 현미경의 관찰 볼륨을 통해 흐르게하고, 제 1 시기에 관찰 볼륨 내의 샘플의 홀로그래픽 비디오 현미경에 기초한 제 1 홀로그래픽 이미지를 생성하고, 상기 제 1 홀로그래픽 이미지를 분석하고, 홀로그래픽 이미지에 로렌츠 미에(Lorenz Mie) 분석을 적용하여 관심 입자를 특성화하는 단계를 포함한다.

[0006] 전술한 간단한 설명은 단지 예시적인 것이며 임의의 방식으로 제한하려는 것은 아니다. 전술한 예시적인 양상들, 실시예들 및 특징들에 부가하여, 다음의 도면들 및 상세한 설명을 참조함으로써 추가적인 양상들, 실시예들 및 특징들이 명백해질 것이다.

도면의 간단한 설명

[0007] 본 개시의 전술한 특징 및 다른 특징은 첨부된 도면과 관련하여 다음의 설명 및 첨부된 청구 범위로부터 더욱 명백해질 것이다. 이들 도면은 본 발명에 따른 몇몇 실시예만을 도시하고 그 범위를 제한하는 것으로 간주되어서는 안되며, 첨부된 도면을 사용하여 추가의 특이성 및 세부 사항으로 설명될 것이다.

도 1은 CMP 슬러리에서 대형 입자를 특성화하는 데 사용되는 인라인 홀로그래픽 비디오 현미경 사진이다.

도 2(a)는 10 억분의 1 농도의 불순물 입자를 함유한 CMP 슬러리의 실험적으로 기록된 홀로그램이다. 이 이미지

는 마이크로미터 스케일 구에 의한 광산란으로 인한 세 가지 명확한 특징을 보여준다. 도 2(b)는 단일 구로 인한 특징부 주변의 관심 영역이다. 도 2(c)는 홀로그래픽 입자 특성화 이론의 예측에 대한 피팅을 보여준다. 도 2(d)는 나노미터 수준의 슬러리 입자로 인한 배경만을 보여주는 잔상이다.

도 3은 도 2(b)의 데이터에 대한 피팅의 방사형 프로파일을 도시한다. 음영 영역은 추정된 방사형 강도 프로파일의 통계적 불확실성을 나타내며, 이는 보다 어두운 곡선으로 표시된다. 밝은 곡선은 피팅된 결과다.

도 4a는 물에 분산된 콜로이드 실리카 구의 크기 및 굴절률의 공동 분포를 도시한다. 도 4b는 실리카 나노 입자의 슬러리에 분산된 구형의 동일한 샘플에 대한 비교 결과를 도시한다.

도 5는 냉동된 슬러리의 해동된 샘플에서 오염 물질 입자의 홀로그래픽 측정 크기 분포를 도시한다. 파선은 30 분의 초음파 처리 후 동일한 샘플에 대한 결과를 나타낸다.

도 6은 특정 구현 예와 함께 사용하기 위한 컴퓨터 시스템을 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0008] 이하의 상세한 설명에서, 본 명세서의 일부를 형성하는 첨부 도면을 참조한다. 도면에서, 유사한 기호는 일반적으로 문맥이 달리 지시하지 않는 한 유사한 구성 요소를 식별한다. 상세한 설명, 도면 및 청구 범위에 설명된 예시적인 실시예는 제한하려는 것이 아니다. 여기에 제시된 요지의 정신 또는 범위를 벗어나지 않고 다른 실시예가 이용될 수 있고 다른 변경이 이루어질 수 있다. 본 명세서에 일반적으로 기술되고 도면들에 예시된 바와 같은 본 개시의 양상들은 다양한 다른 구성들로 배열, 대체, 결합 및 설계될 수 있음을 쉽게 이해할 수 있으며, 이들 모두는 명백하게 고려되고 본 개시의 일부분으로 이루어진다.
- [0009] 인라인 홀로그래픽 비디오 현미경의 시스템 및 방법이 본원에 기술된다. 인-라인(in-line) 홀로그래픽 비디오 현미경 시스템 및 방법의 실시예는 완전한 농도의 상업용 슬러리에서의 큰 개재물을 식별하고 그 수, 크기 및 조성에 대한 정확한 정보를 산출함으로써 필요성을 해결한다. 일 실시예에서, 슬러리는 30.9 %의 부피 분율로 물에 분산된 70nm의 특성 치수를 갖는 이산화규소 나노 입자로 이루어진다. 이러한 슬러리는 흐려서 홀로그래픽 입자 특성화의 종래 기술 구현에서 고려된 광학적으로 투명한 매질과 질적으로 상이하다. 관심 개재물은 실질적으로 슬러리 입자보다 크며 유체 매질의 굴절률과 다른 굴절률을 갖는다. 일 실시예에서, 개재 입자는 1 마이크로미터의 특성 치수를 갖는 대형 불순물 입자로 이루어진다. 또 다른 실시예에서, 개재 입자는 서로 견고하게 부착된 다중 슬러리 입자로부터 형성된 응집체로 이루어진다. 슬러리는 홀로그래픽(holographic) 비디오 현미경 검사의 적용과 관련된 "산란 유체(scattering fluid)"로서, 이미징된 샘플 볼륨에서 임의의 관심 입자의 산란 신호 이외에 산란 신호로 나타난다.
- [0010] 또한, 특정 실시예에서, 슬러리(특히, 슬러리의 현탁 입자)와 비교되는, 불순물과 같은 관심 입자의 상대적 크기 및 굴절률 모두가 관심 입자를 검출하는 능력에 기여한다고 믿어진다. 슬러리 입자보다 관심 입자에 의한 더 큰 산란은 슬러리 입자에 비해 보다 작은 크기의 관심 입자의 검출을 허용할 것이다. 유사하게, 배경 슬러리 입자가 관심있는 입자보다 더 많이 산란하면 관심 입자는 검출을 위해 슬러리 입자에 비해 더 커야한다.
- [0011] 도 1은 시준된 빔으로 샘플을 조명하는 홀로그래픽 측정 시스템의 일 실시예를 도시한다. 예시된 실시예는 532 nm의 진공 파장에서 작동하는 섬유 결합 다이오드 레이저를 사용한다. 콜로이드 입자에 의해 산란된 광은 현미경 대물 렌즈의 초점 평면에서 빔의 나머지 부분과 간섭하고, 47nm/픽셀의 유효 배율을 갖는 도시된 실시예에서, 확대된 간섭 패턴을 종래의 비디오 카메라에 증계한다. 슬러리는 현미경 스테이지에 장착된 표준 미세 유체 채널에서 레이저 빔을 통해 흐른다.
- [0012] 유속은 비디오 카메라의 노출 시간 동안 움직임이 홀로그래프를 눈에 띄게 흐리게 할 정도로 빠르지 않도록, 그리고 특정 측정 지속 시간에서 특정 부피의 샘플이 분석될 수 있을 정도로 충분히 빠르게, 선택된다. 사용 가능한 최대 유속은 노출 시간에 반비례한다. 사용 가능한 최소 노출 시간은 조명 레이저의 강도와 카메라의 감도 및 노이즈 특성에 의해 결정된다. 레이저 강도와 노출 시간의 조합은 기록된 홀로그래프의 신호 대 잡음비가 홀로그래픽 특성 분석에서 신뢰할 수 있는 결과를 얻기에 충분히 높음을 보장할 수 있도록 선택된다. 이것은 차례로 샘플의 최대 사용 가능한 유속과 특정 샘플 볼륨을 특성화하는 데 필요한 시간을 결정한다. 일 실시예에서, 초당 100 마이크로미터의 피크 유속은 10 분 측정 기간 동안 10 억분의 일 농도로 CMP 슬러리에 분산된 1000 초과의 불순물 입자의 특성을 검출하고 특성화하는데 충분하다. 샘플의 일련의 홀로그래픽 이미지가 디지털 비디오의 프레임으로 캡처된다. 예시된 실시예에서, 각각의 1280 픽셀 × 1024 픽셀 비디오 프레임은 60 μ m × 48 μ m × 20 μ m 관찰 볼륨 내의 입자들의 홀로그래프이다. 비교 가능한 시스템에서 얻어진 홀로그래프는 개별 콜로이드 구의

크기와 굴절률의 정확한 측정을 얻기 위해 Lorenz-Mie 광산란 이론의 예측을 이용하여 해석되었다. 전형적인 CMP 슬러리에서의 큰 농도의 나노 입자가 기록된 홀로그래프에 대한 무작위적인 배경에 기여하지만, 놀랍게도 Lorenz-Mie 분석은 여전히 개별 마이크로미터 스케일 오염 입자의 특성에 대한 정확하고 정밀한 측정을 산출한다는 것을 발견했다.

[0013] 관심 입자(중중 오염물)는 전형적으로 슬러리를 구성하는 입자보다 크다. 이 기술로 특징지을 수 있는 가장 큰 오염 입자는 홀로그래픽 기록 장치의 구성에 달려 있다. 일 실시예에서, 접근 가능한 범위의 크기는 200 나노미터 내지 20 마이크로미터 범위이다. 또한, 이것은 입자-해상 측정 기술이기 때문에, 홀로그래픽 특성화가 희귀 입자를 검출하고 카운트할 수 있다.

[0014] 이 기술을 보여주고 그 효능을 입증하기 위해, 공칭 직경이 70nm 인 실리카 나노 입자로 구성된 잘 특성화된 상용 CMP 슬러리(Dow Ultrasol 2EX)를 콜로이드 성 실리카 구(Bangs Laboratories, Catalog Number SS04N, Lot 번호 5303)를 이용하여 시딩하였다. 직경 1.5 마이크로미터의 실리카 구가 도 2(a)의 홀로그래프에 명확하게 보이는 황소 눈(bull's-eye) 특징을 제공한다. 이러한 특징은 회전 대칭 중심을 강조하고 분석을 위해 주변 영역을 선택하는 이미지 분석 필터를 사용하여 감지되었다. 일 실시예는 PCT/US2015/015666에 기술된 분석 기술을 이용하는데, 이는 본 명세서에 참고로 포함된다. 특히, 배향 정렬 변환이 관심 특징부를 감지하는 데 사용된다. 기본적으로 슬러리의 존재를 무시하면서 표준 기술을 사용하여 실제 피팅을 수행할 수 있습니다. 놀랍게도, 이 방법으로 얻은 값은 입자들의 독립적으로 검증된 특성에 상당히 가깝다.

[0015] 그러나, 다른 실시예에서, 분석은 슬러리를 고려하여 이를 설명한다. 아래의 식(2b) 및 (4b)는 이를 달성하기 위한 새로운 접근법이며, 실험적으로 정확한 것으로 확인된 입자 특성의 값들을 산출한다. 도 2(b)는 이러한 방식으로 감지된 전형적인 특징을 보여준다.

[0016] 홀로그래픽 입자 특성화를 위한 이상적인 홀로그래프는 간섭성 시준 빔과, 조명된 입자에 의해 빔으로부터 산란된 광파의 중첩의 결과다. 입자가 나노 입자 슬러리에 포함되어 있을 때, 조명과 산란파 모두 멀티-입자 광 산란에 의해 감쇠되고, 결과적인 확산파는 기록된 홀로그래프에 대한 시간-의존적인 스펙클에 기여한다. 이러한 무작위-산란 기여는 무작위적 산란이 상당한 역할을 한 경우를 포함하여 홀로그래픽 특성화의 이전 적용에서 고려되지 않았다. 이러한 추가적 효과는 코히어런트 간섭 패턴이 전체 강도 분포에 측정가능하게 기여하는 경우에 설명될 수 있다.

[0017] 입사 장은 z 를 따라 전파하고 x 를 따라 선형 편광된 단색 평면파로서 모델링된다.

수학식 1

[0018]
$$E_0(\mathbf{r}) = u_0(\mathbf{r}) e^{-\kappa(D-z)} e^{ikz} \hat{x},$$

[0019] 여기서 $u_0(\mathbf{r})$ 은 횡방향 진폭 프로파일이고, $k = 2\pi n_m/\lambda$ 는 굴절률 n_m 의 매질을 통해 전파하는 진공 파장 λ 의 광의 파수이다. 슬러리에 의한 산란은 슬러리 입자의 농도와 광산란 특성에 따른 유효 침투 깊이 κ^{-1} 로 이 광선을 감쇠시킨다. 채널 두께 D 가 감쇠 깊이보다 훨씬 큰 경우, 기록된 홀로그래프는 확산 산란에 의해 지배되며, 입자의 특성에 대한 정보는 유지되지 않는다. 이 공식에서, 이미징 평면은 $z = 0$ 에 위치하며 빛은 $z = D$ 에 위치한 채널 상단의 슬러리로 들어간다.

[0020] 입사광을 감쇠시키는 동일한 산란 프로세스는 또한 확산 광 필드 $E_d(\mathbf{r}, t)$ 를 생성하며, 그 일부는 이미징 평면을 향해 전파한다. 확산 장은 동적 광 산란 및 확산파 분광학에서 스펙클 패턴을 발생시킨다. 입사파로부터 더 많은 빛이 랜덤 필드로 산란되고 랜덤 장 자체 역시 산란되기 때문에 슬러리 내로 깊이 전개된다. 입자가 슬러리에서 스스로 재배치됨에 따라 시간이 지나면서 진화한다. 일 실시예에서, 신호의 시간-의존 부분이 슬러리 자체에 관한 정보를 얻기 위해 분석된다. 여기에는 슬러리 입자의 농도 및 입자 크기 분포에 대한 정보가 포함될 수 있다. 진술한 바와 같이, 시간 의존 정보는 큰 입자 홀로그래프를 분석하는데 사용되는 확산 배경 강도를 보정하는데 사용될 수 있다. 확산 빔에서의 편광 및 위상 랜덤화는 비산란 빔과의 간섭을 억제하는 경향이 있다. 따라서 입자가없는 경우 초점 평면에서의 강도는 대략 다음과 같다:

[0021] [수학식 2a]

$$I_0(\mathbf{r}, t) = |\mathbf{E}_0(\mathbf{r}) + \mathbf{E}_d(\mathbf{r}, t)|^2$$

[0022]

[0023] [수학식 2b]

$$\approx u_0^2(\mathbf{r}) e^{-2\kappa D} + |\mathbf{E}_d(\mathbf{r}, t)|^2,$$

[0024]

[0025] 스펙클 패턴이 가우시안(Gaussian) 통계치를 갖는다고 또한 가정하면, 식 2는 흐름 슬러리의 비디오 시퀀스 $I_0(\mathbf{r}, t)$ 로부터 비산란 진폭 $u_0(\mathbf{r}) \exp(-\kappa D)$ 와 확산 장의 시간 평균 진폭 $u_d = (|\mathbf{E}_d(\mathbf{r}, t)|)_t$ 에 대한 독립적인 추정치를 얻는 데 사용될 수 있다.

[0026] 감쇠 조명 및 확산 산란 장 모두는 이미징 평면 위의 높이 z_p 에서 구에 입사한다. 이전과 같이, 조명으로부터 간섭성 산란된 광은 확산 장으로부터 산란된 광보다 기록된 홀로그램에 더 기여한다고 가정된다. 이 조건은 원하는 유량 특성 및 측정 지속 기간을 유지하는 것과 가장 큰 정도로 일관되게 채널 깊이 D 를 적절하게 줄임으로써 보장될 수 있다. 따라서 이미징 평면에서 점 \mathbf{r} 에서의 산란 장은 다음과 같이 대략 주어진다:

[0027] [수학식 3]

$$\mathbf{E}_s(\mathbf{r}) \approx u_0(\mathbf{r}_p) e^{-\kappa D} \mathbf{f}_s(k(\mathbf{r} - \mathbf{r}_p))$$

[0028]

[0029] 여기서, $\mathbf{f}_s(k\mathbf{r})$ 는 x -편광된 평면 파가 반경 a_p 및 굴절률 n_p 의 구에 의해 어떻게 산란되는지를 기술하는 로렌츠-미에(Rorenz-Mie) 산란 함수이다. 식 3은 입자에 도달하기 전 조명의 감쇄를 설명하고, 초점 평면으로 전파될 때 산란된 파의 추가 감쇄를 설명한다. 단순화를 위해, 우리는 이 후자의 효과를 단일 자수 인자로 모델링하며, 이는 산란 각에 대한 광 경로 길이의 의존성을 무시한다.

[0030] 도 2(c)의 홀로그램은 이미징 평면 내의 장의 강도로부터 얻어진다:

[0031] [수학식 4a]

$$I(\mathbf{r}) = |\mathbf{E}_0(\mathbf{r}) + \mathbf{E}_s(\mathbf{r}) + \mathbf{E}_d(\mathbf{r}, t)|^2$$

[0032]

[0033] [수학식 4b]

$$\approx u_0^2(\mathbf{r}) e^{-2\kappa D} \left| \hat{x} + e^{ikz_p} \mathbf{f}_s(k(\mathbf{r} - \mathbf{r}_p)) \right|^2 + |\mathbf{E}_d(\mathbf{r}, t)|^2.$$

[0034]

[0035] 이 결과는 사라져야 하는 시간 평균을 가진, 간섭성 파와 확산성 파 간의 간섭을 기술하는 항목을 생략한다. 이 모델에서 슬러리의 전반적인 효과는 타겟 입자의 홀로그램의 콘트라스트를 감소시키고, 가우시안 부가 잡음에 기여하는 것이며, 이 두가지 모두 홀로그램의 유효 신호 대 잡음 비율을 감소시키지만 그 대칭성에 영향을 미치지 않는다.

[0036] 측정된 홀로그램에 대한 확산된 파의 기여는 입자의 홀로그램을 포함하지 않는 비디오 시퀀스의 분석을 통해 정량화될 수 있다. 식 4b는 홀로그램으로부터 불러올 수 있는 정보의 품질이 채널 두께 D 에 의해 제어됨을 제시한다. 실제로 D 가 슬러리의 감쇠 길이보다 훨씬 큰 경우, 산란 입자의 홀로그램은 확산 산란으로 완전히 가려질 것이며, 심지어 구의 존재를 검출하기 위해서라도 다른 방법이 필요할 것이다. 샘플 셀은 원하는 채널 두께에 기초하여 선택될 수 있음을 알아야한다.

[0037] 도 2d의 이미지는 도 2c의 데이터에 대한 식 4의 비선형 최소 제곱 피팅으로부터 도출된다. 측정된 홀로그램과 피팅된 홀로그램 간의 차이는 도 2d에 도시된다. 이러한 피팅으로부터 얻은 입자 반경 $a_p = 0.749 \pm 0.006 \mu\text{m}$ 는 제조업체의 사양과 일치하며, 굴절률 $n_p = 1.439 \pm 0.002$ 는 이상적인 이미지 조건에서 실리카 구의 동일한 샘플에 대해 얻은 값과 일치한다. 피팅의 품질은 도 3에 도시되는 방사형 프로파일로부터 판단될 수 있고, 이는

음영 영역으로 표시된 슬러리 입자로 인한 무작위적 기여 내에서 실험 데이터를 추적한다.

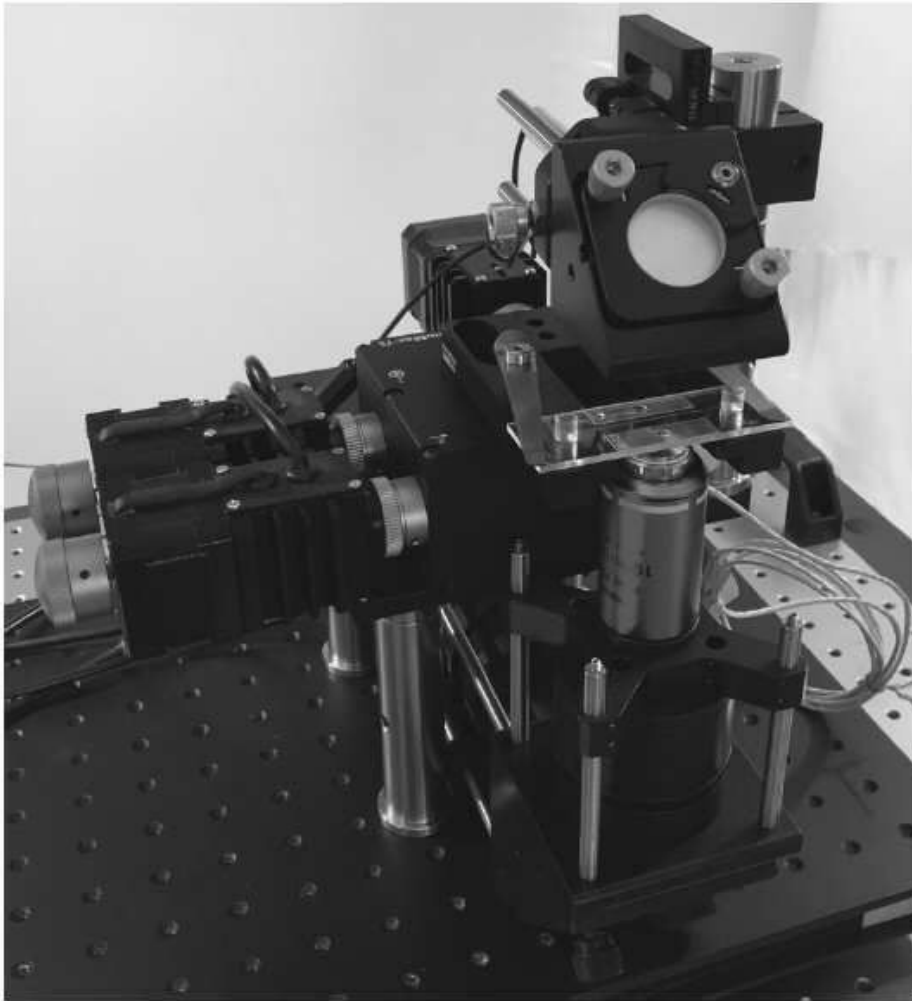
- [0038] 도 4a는 동일한 단-분산(monodisperse) 샘플로부터의 실리카 구의 반경 및 굴절률의 875 단일 입자 측정치의 모음을 도시한다. 플롯의 각 데이터 점은 단일 구의 측정된 특성을 반영하며 (a_p , n_p) 평면에서의 측정의 상대 확률 $\rho(a_p, n_p)$ 로 칼라팅된다. 평균 반경, $a_p = 0.79 \pm 0.01 \mu\text{m}$ 는 제조업체 사양과 일치한다. 평균 굴절률, $n_p = 1.45 \pm 0.01$ 는 이미징 과정에서 벌크 실리카의 값인 1.485보다 약간 작으며 다른 곳에서 논의된 것처럼 2%의 다공도를 갖는 구와 일치한다. 이 플롯에 대한 데이터는 10 분 내에 수집되었다.
- [0039] 도 4b는 실리카 슬러리에 분산된 실리카 구의 동일한 모음에 대한 비교 가능한 결과를 도시한다. 반경, 굴절률 및 다공도 값은 이상적인 이미징 조건에서 얻은 값과 일치한다. 이 결과는 홀로그래픽 입자 특성화가 전체 농도의 나노 입자 슬러리에 분산된 마이크로미터 규모의 콜로이드 입자의 특성에 대해 정확하고 정밀한 결과를 산출할 수 있음을 보여준다.
- [0040] 실리카 슬러리의 스톱 용액에 이 기술을 적용하면 30 분 후에 검출 가능한 특징이 산출되지 않았다. 2×10^9 개 이상의 실리카 나노 입자가 그 시간에 관측을 통과했을 것이고, 슬러리에는 1 억분의 1 수준에서 검출 가능한 오염 물질이 없다는 것을 보여준다. 초과크기 불순물 입자의 검출 가능한 농도에 대한 하한은 유량 및 측정 지속 시간에 의해 설정된다. 더 높은 유속에서의 더 오랜 측정은 더 작은 농도의 불순물 입자의 검출을 허용한다. 추가 분석을 위해 응집은 그것을 동결시킨 다음 분석을 위해 슬러리 샘플을 해동하여 의도적으로 유도되었다. 불안정화된 슬러리는 이제 수많은 마이크로미터 스케일의 대상을 특징으로하며, 이를 여기에 기술된 시스템 및 방법은 나노 입자 응집체로서 검출하였다. 이 응집체는 매우 폭넓은 크기 분포로부터 추출되며, $5 \mu\text{m}$ 를 초과하는 치수로 입자의 크기조정가능한 퍼센티지를 가진다.
- [0041] 그러나 응집체 또는 오염물의 유형이 더 중요할 수 있음을 고려해야한다. 예를 들어, 과도 응집체는 유사한 크기의 고체 오염물이 가질 수 있는 폴리싱 과정에서 마주치는 강한 전단력 하에서 해로운 효과를 미치지 않을 수 있다. 관찰된 응집체의 성질을 조사하기 위해, 해동된 슬러리를 30 분간 초음파 처리 하였다. 도 5의 파선은 결과적인 홀로그래픽 측정된 크기 분포를 나타낸다. 초음파 처리가 가장 큰 응집체를 파괴하는 것처럼 보인 반면, $1 \mu\text{m}$ 까지의 반경을 갖는 작은 응집체들이 여전히 남아 있다. 이러한 응집체는 육안 검사에서 분명하지 않을 만큼 충분히 작고, 명시야 이미지에서 나타나지 않는다. 초음파 처리를 견디기에 충분히 견고하기 때문에 슬러리가 연마에 사용하기에 용납되지 않을 수 있다. 개별 입자의 기계적 특성에 대한 추가 통찰력은 홀로그래피-측정 굴절률로부터 추론될 수 있다. 다공성 입자는 입자의 다공성에 의존하는 양만큼 벌크 값보다 낮은 굴절률을 갖는 경향이 있다. 저 굴절률 유체 매질의 고 굴절률 입자는 다공도가 증가함에 따라 낮은 굴절률을 나타내는 경향이 있다. 다공성에 대한 평가는 검출된 입자가 의도된 용도에 해로울 수 있는지 여부를 평가하는데 사용될 수 있다. 분산 가스 기포와 같은 비-유해 입자는 굴절률에 기초하여 고체 입자를 손상시키는 것과 구별될 수 있다.
- [0042] 이러한 결과는 홀로그래피 특성화가 회석을 필요로하지 않고 CMP 슬러리에서 개별적인 오염 입자의 특성을 검출하고 측정하는데 사용될 수 있음을 입증한다. 입자 해상 측정은 분포에 대한 선형적 모델을 호출하지 않고 오염물 크기 분포에 대한 추정치를 산출한다.
- [0043] 도 6에 도시되는 바와 같이, 컴퓨터-액세스가능 매체(120)(예를 들어, 여기서 개시되는 것으로서, 하드 디스크, 플로피 디스크, 메모리 스틱, CD-ROM, RAM, ROM 등과 같은 저장 장치, 또는 그들의 집합)가 (처리 장치(110)와 통신하며) 제공될 수 있다. 컴퓨터-액세스 가능 매체(120)는 일시적이지 않은 컴퓨터-액세스 가능 매체 일 수 있다. 컴퓨터-액세스 가능 매체(120)는 그 위에 실행 가능 명령어들(130)을 포함할 수 있다. 추가로 또는 대안으로, 저장 장치(140)는 설명된 바와 같이 소정의 예시적인 절차, 프로세스 및 방법을 실행하도록 처리 장치를 구성하도록 처리 장치(110)에 명령어를 제공할 수 있는 컴퓨터 액세스 가능한 매체(120)와 별도로 제공될 수 있다. 명령어는 복수의 명령어 세트를 포함할 수 있다. 예를 들어, 일부 구현예에서, 명령어는 복수의 시퀀스 블록에서 무선 주파수 에너지를 볼륨에 적용하기 위한 명령어를 포함할 수 있으며, 여기서 시퀀스 블록의 각각은 적어도 제 1 스테이지를 포함한다. 상기 명령어들은, 상기 시퀀스 블록들의 각각의 시작에서의 자화가 안정할 때까지 상기 제 1 스테이지를 계속적으로 반복하기 위한 명령어들, 상기 복수의 시퀀스 블록들에 대응하는 복수의 이미징 세그먼트들을 하나의 연속적인 이미징 세그먼트로 연쇄시키기 위한 명령어들, 및 적어도 하나의 이완 파라미터를 단일 연속 이미징 세그먼트로 인코딩하기 위한 명령어들을 포함한다.
- [0044] 시스템(100)은 또한 디스플레이 또는 출력 장치, 입력 장치, 가령, 키보드, 마우스, 터치 스크린 또는 다른 입력 장치를 포함할 수 있으며, 논리 네트워크를 통해 추가 시스템에 연결될 수 있다. 본 명세서에 기술된 많은 실시예는 프로세서를 갖는 하나 이상의 원격 컴퓨터로의 논리적 접속을 사용하여 네트워크 환경에서 실시될 수

있다. 논리적 연결은 LAN(Local Area Network) 및 WAN(Wide Area Network)을 포함할 수 있으며, 이들은 단지 예시로 제시될 뿐이다. 이러한 네트워킹 환경은 사무실 전체 또는 기업 전체의 컴퓨터 네트워크, 인트라넷 및 인터넷에서 보편적이며 다양하고 폭넓은 상이한 통신 프로토콜을 사용할 수 있다. 당업자는 그러한 네트워크 컴퓨팅 환경이 통상적으로 퍼스널 컴퓨터, 핸드 헬드 장치, 멀티 프로세서 시스템, 마이크로프로세서 기반 또는 프로그램 가능 가전 제품, 네트워크 PC, 미니 컴퓨터, 메인 프레임 컴퓨터, 등을 포함하는 많은 유형의 컴퓨터 시스템 구성을 포함할 수 있다는 것을 이해할 수 있다. 본 발명의 실시예는 또한 통신 네트워크를 통해(유선 링크, 무선 링크 또는 유선 또는 무선 링크의 조합에 의해) 링크되는 로컬 및 원격 처리 장치에 의해 작업을 수행하는 분산 컴퓨팅 환경에서 실시될 수 있다. 분산 컴퓨팅 환경에서, 프로그램 모듈은 로컬 및 원격 저장 장치 모두에 위치할 수 있다.

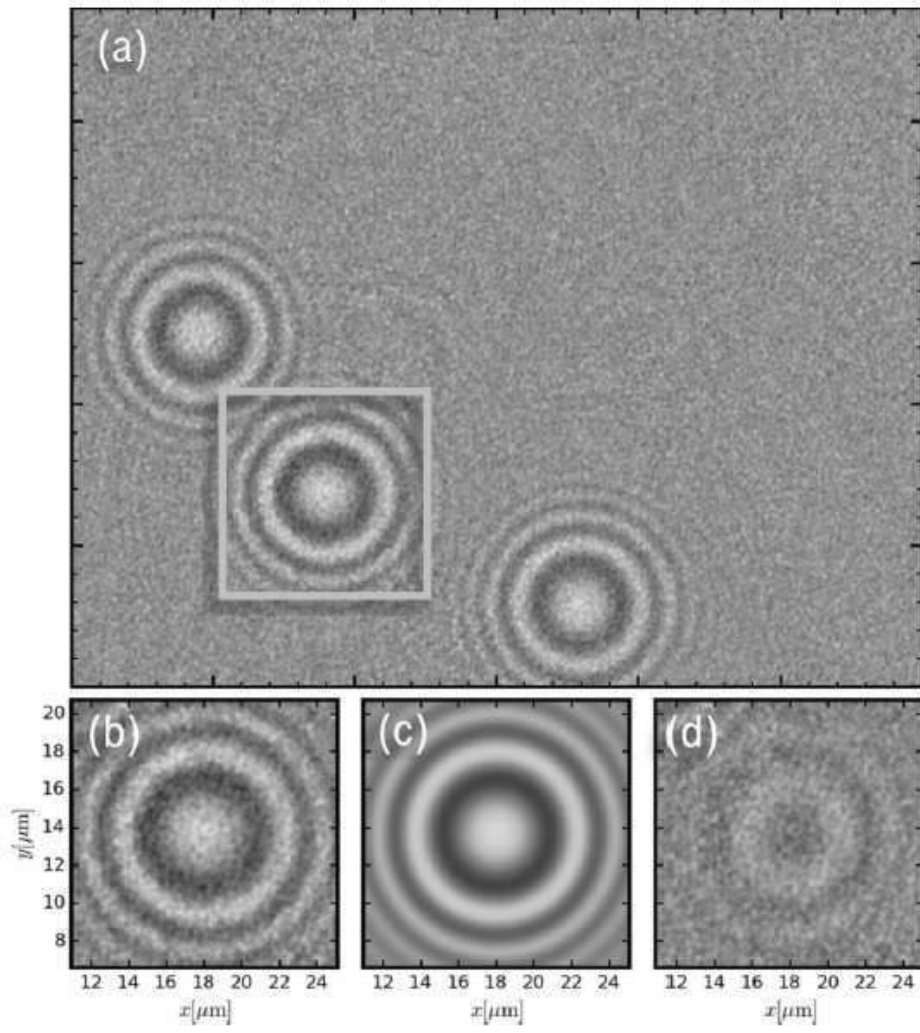
- [0045] 네트워크 환경에서 컴퓨터에 의해 실행되는 프로그램 코드와 같은 컴퓨터 실행 가능 명령어를 포함하는 프로그램 제품에 의해 일 실시예에서 구현될 수 있는 방법 단계들의 일반적인 맥락에서 다양한 실시예가 설명된다. 일반적으로, 프로그램 모듈은 특정 작업을 수행하거나 특정 추상 데이터 유형을 구현하는 루틴, 프로그램, 객체, 구성 요소, 데이터 구조 등을 포함한다. 컴퓨터 실행 가능 명령어, 관련 데이터 구조 및 프로그램 모듈은 여기에 개시된 방법의 단계를 실행하기 위한 프로그램 코드의 예를 나타낸다. 이러한 실행 가능한 명령어 또는 관련 데이터 구조의 특정 시퀀스는 이러한 단계에서 설명된 기능을 구현하기 위한 대응하는 동작의 예를 나타낸다.
- [0046] 본 발명의 소프트웨어 및 웹 구현은 규칙 기반 로직과, 다양한 데이터베이스 검색 단계, 상관 단계, 비교 단계 및 결정 단계를 달성하기 위한 다른 로직을 갖는 표준 프로그래밍 기술로 달성될 수 있다. 본 명세서 및 청구 범위에서 사용되는 "구성요소" 및 "모듈"이라는 단어는 소프트웨어 코드들의 하나 이상의 라인을 이용하는 구현 예 및/또는 하드웨어 구현 예 및/또는 수동 입력을 위한 장비를 포괄하도록 구성된다.
- [0047] 본 명세서에서 실질적으로 임의의 복수 및/또는 단수 용어의 사용과 관련하여, 당업자는 맥락 및/또는 응용에 맞게 복수를 단수로, 및/또는 단수를 복수로 변환할 수 있다. 다양한 단수/복수 순열이 명료성을 위해 본원에서 명백하게 설명될 수 있다.
- [0048] 예시적인 실시예들의 기술된 설명은 설명 및 설명의 목적으로 제공되었다. 개시된 정확한 형태와 관련하여 철저히 하거나 제한하고자 하는 것이 아니며, 이러한 교시에 비추어 변형 및 변경이 가능하고, 또는, 개시된 실시예의 실행으로부터 얻어질 수 있다. 따라서, 상기 실시예들은 본 발명의 범위를 제한하는 것으로 간주되어서는 안된다.

도면

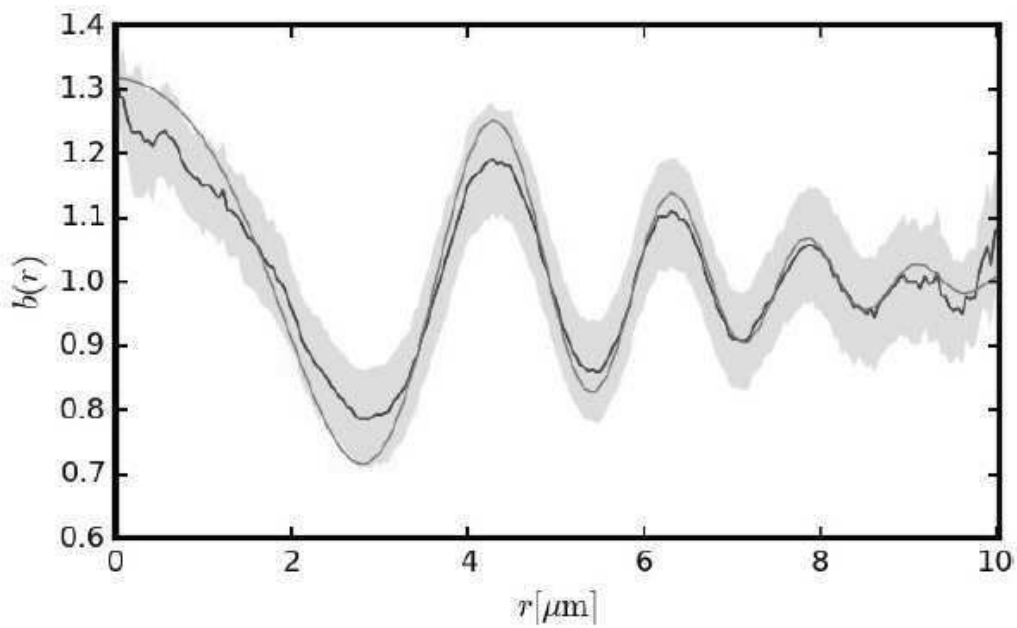
도면1



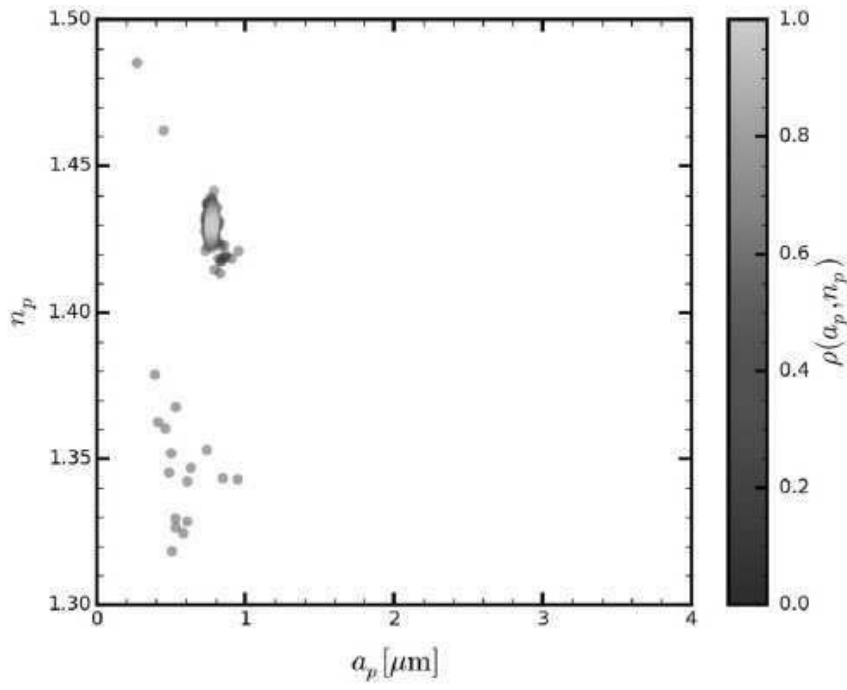
도면2



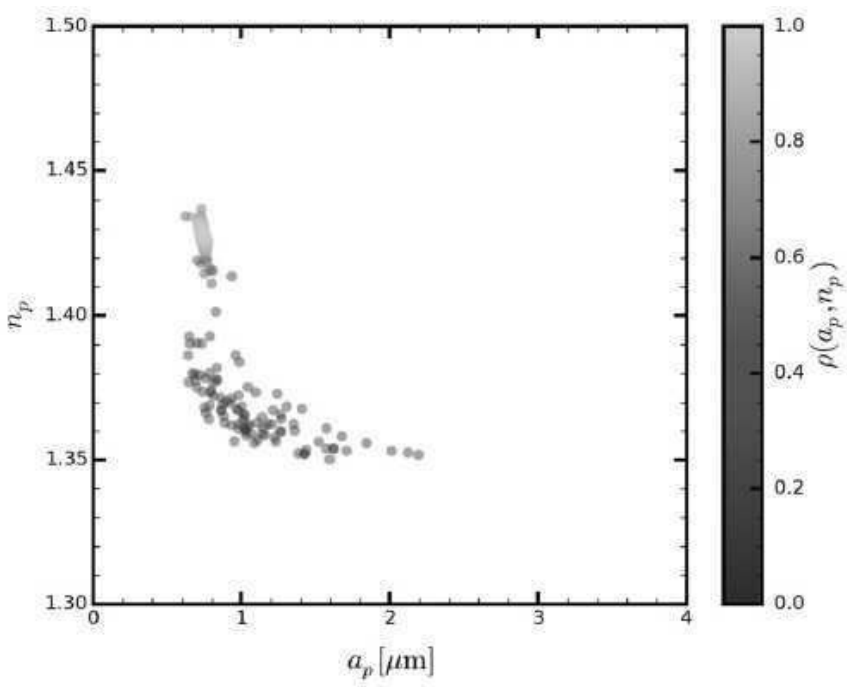
도면3



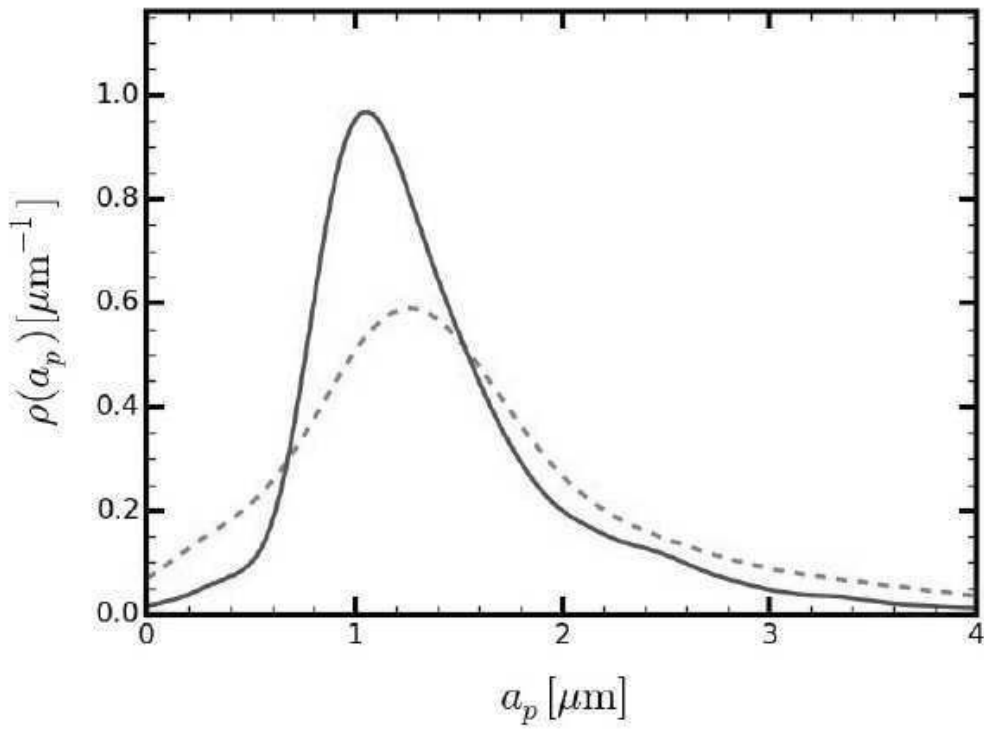
도면4a



도면4b



도면5



도면6

