



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2019년12월24일
(11) 등록번호 10-2058847
(24) 등록일자 2019년12월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G01N 21/88 (2006.01) G06T 7/00 (2017.01)
(52) CPC특허분류
G01N 21/8851 (2013.01)
C25D 11/26 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2018-0111928
(22) 출원일자 2018년09월19일
심사청구일자 2018년09월19일
(56) 선행기술조사문헌
JP4674352 B2
KR1020150111459 A
KR1020150052834 A

(73) 특허권자
인하대학교 산학협력단
인천광역시 미추홀구 인하로 100(용현동, 인하대학교)
(72) 발명자
이상철
인천광역시 연수구 아트센터대로97번길 76, 1402동 805호(송도동, 송도더샵하버뷰14단지)
이현규
인천광역시 남구 재님이길51번길 9, 401호(학익동, 영신빌라)
(74) 대리인
양성보

전체 청구항 수 : 총 4 항

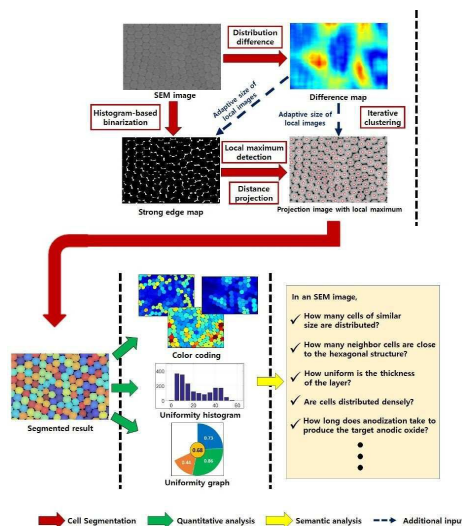
심사관 : 이창호

(54) 발명의 명칭 이산화 타이타늄 표면구조의 셀 분할 방법

(57) 요약

양극 산화막(anodic oxide)의 코팅 품질을 평가하기 위한 셀 분할 방법이 개시된다. 티타니아(titania) 표면의 각 셀을 식별하기 위해서, 부분적인 세기 분포에 따라 경계 영역(boundary region)이 적응적으로(adaptively) 감지되며, 경계 거리 맵(boundary distance map)은 티타니아 표면에 대한 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM) 영상으로 투영된다. 투영 영상(projected image) 내의 각 셀은 국지적인 최대 지점(local maximum point)에 중심을 둔 클러스터링(clustering)을 통하여 분할된다. 셀 분포, 크기 및 두께의 균일도는 인접한 셀들의 각도 차이, 크기 차이 및 밝기 차이를 사용하여 측정되어 티타니아 표면의 정량적인 정렬(alignment)을 종합적으로 평가한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06T 7/0004 (2013.01)

G01N 2021/8887 (2013.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711061161(세부과제번호: 2017M3C8A8091768)

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 사회문제해결형기술개발

연구과제명 디지털 컴패니언 기반의 고령자 모니터링 및 대응 소프트웨어 기술 개발

기 여 율 1/2

주관기관 인하대학교

연구기간 2017.12.20 ~ 2018.09.19

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 1711074990(세부과제번호: 2018R1A2B6001643)

부처명 과학기술정보통신부

연구관리전문기관 한국연구재단

연구사업명 개인기초연구(과기정통부)

연구과제명 영상 정합, 추적 및 검출을 위한 기계학습 기반 목적 지향형 특징벡터 합성 기술

기 여 율 1/2

주관기관 인하대학교

연구기간 2018.03.01 ~ 2019.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

이산화 타이타늄 표면구조의 셀 분할 방법에 있어서,

티타니아(titania) 표면에 대한 SEM(scanning electron microscope) 영상에서 픽셀 세기(pixel intensity)의 국지적 분포에 따른 경계(boundary)를 감지하는 단계; 및

상기 감지된 경계의 거리 맵(distance map)을 상기 SEM 영상과 결합한 투영 영상 내에서 국지적 최대 지점(local maximum point)을 클러스터링함으로써 상기 투영 영상 내의 각 셀을 분할하는 단계;

를 포함하는 이산화 타이타늄 표면구조의 셀 분할 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 감지하는 단계는,

전체 영상의 밝기 분포와 국지적 분포 간의 차이에 따라 결정되는 적응적-크기 국지적 영상(adaptively-sized local image)을 사용하여 상기 경계를 감지하는 단계

를 포함하는 이산화 타이타늄 표면구조의 셀 분할 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 감지하는 단계는,

이진화 노이즈를 제거하는 누적 에지 이진화(cumulative edge binarization) 방법을 통해 상기 경계를 감지하는 단계

를 포함하는 이산화 타이타늄 표면구조의 셀 분할 방법.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 분할하는 단계는,

관심 영역의 각 픽셀을 클러스터링의 특징으로 하는 K-평균 클러스터링(K-means clustering)을 통해 GA(gradient ascent) 방법으로 추정되는 픽셀의 국지적 최대 지점 좌표를 사용하여 관심 영역 내 각 픽셀을 분류하는 단계

를 포함하는 이산화 타이타늄 표면구조의 셀 분할 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001]

아래의 설명은 양극 산화막(anodic oxide)의 코팅 품질을 평가를 위해 이산화 타이타늄 표면 구조의 셀 분할 기술에 관한 것이다.

배경 기술

[0002]

양극 산화(Anodization)는 금속을 보호하거나 금속 표면 상에 다양한 색깔을 내보이기 위해 금속 표면에 산화막의 두께를 인위적으로 증가시키는 금속 표면 처리 기술이다. 예컨대, 한국 등록특허공보 제10-1746620호(등록

일 2017년 06월 07일)에는 양극 산화를 이용한 타이타늄 표면처리 방법이 개시되어 있다.

- [0003] 도 1을 참조하면, 필요한 공극 정렬(pore alignment), 크기 및 모양을 얻기 위해 양극 산화의 시간, 전압 및 온도 조건이 조정된다. 나노튜브 내 공극의 모양, 크기 및 정렬에 따라서, 양극 산화는 빛을 산란시키고 굴절시킬 수 있으며, 색깔을 인식하고, 표면적을 최대화하거나 표면을 방수 처리하므로 형성된다. 이러한 나노 구조는 수소 생성, 태양 전지, 광촉매, 반사 방지 코팅, 리튬 2차 전지 및 가스 센서와 같은 다양한 분야에서 사용된다.
- [0004] 양극 산화를 통해 보호막을 생성하는 금속들은 알루미늄(aluminum), 탄탈륨(tantalum), 마그네슘(magnesium), 구리(copper) 및 티타늄(titanium)을 포함한다. 가장 대표적인 양극 산화 금속인 알루미나(Alumina)는 광학 기기, 기계 부품, 가전 제품, 통신 장비 등의 장식 코팅으로 널리 사용된다. 양극 산화 탄탈륨은 콘덴서(condenser) 및 화학 산업에서 중요한 내산성(acid-resistant) 물질이며, 섬유 생산을 위한 노즐로 사용된다. 좋은 연성을 갖는 구리는 오랫동안 장식 도금에 사용되었다. 실온 정도의 공기 또는 물에서 부동 피막(passive film)을 형성하는 티타늄은 금 또는 백금(platinum)과 유사한 높은 내식성(corrosion resistance)을 가지며, 항공기 부품으로 사용된다. 그리고, 생체 적합 특성으로 인해 인공 관절, 치아 임플란트, 장신구 등에 사용된다. 게다가, 양극 산화 티타니아(titania)는 나노튜브를 사용하여 반도체 전극을 갖는 염료 감응형 태양 전지(dye-sensitized solar cells)에 사용되므로, 넓은 응용 범위를 가지고 있다.
- [0005] 최근 몇 년간, 금속 표면 상에 다양한 규칙적인 나노 구조를 생성하기 위하여 새로운 양극 산화 기술들이 개발되었다. 양극 산화 기술의 응용 범위는 과거 연구의 중점이 되었던 알루미늄과 티타늄이 아닌 다른 금속들로도 확장되어 왔다. 양극 산화 기술은 면밀히 연구되었고 금속 표면에 대한 결함 감지 기술이 종종 연구되었지만, 자가 정렬 산화막(self-ordered oxides)의 정렬 정도를 평가하는 방법에 대한 연구들은 상대적으로 부족하다.
- [0006] 나노 섬유 또는 나노 입자와 같은 나노 물질을 감지하고, 수량화하고, 분할하는 자동 시스템은 산업 정보학(industrial informatics)에서 자동화된 모니터/제어 시스템 및 예측 관리를 위해 단연 중요하다. 일반적으로, 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM) 영상에 대한 2D 푸리에 변환을 사용하는 분석적 방법이 자가 정렬 다공성 물질(self-ordered porous material)의 정렬을 평가하는 데 사용된다. 그러나, 푸리에 변환을 사용하는 정렬 평가 방법은 전체적인 영상의 대략적인 특성을 측정하기 때문에, 국지적인 특성을 평가할 수 없으며, 영상 조건이 열악한 환경에서는 그 결과 또한 신뢰성이 없을 수 있다.
- [0007] 정량적으로 다공성 구조 영상을 분석하기 위해 임계값 분할(threshold division), 엔트로피 기반 퍼지 분할(entropy-based fuzzy partitioning) 및 히스토그램 기반의 적응적 분할(histogram-based adaptive partitioning)이 제안되었다. 셀 크기, 가장 가까운 셀까지의 거리 및 가장 가까운 셀들 간의 각도를 사용하는 정량적 분석도 제안되었지만 오직 정의된 셀 및 경계를 갖는 알루미나만이 고려되었다. 따라서, 경계가 상대적으로 모호한 양극 산화 티타니아 박막을 분석할 때 예상되는 결과는 이 방법을 통해 산출될 수 없다.
- [0008] 그러한 티타니아 박막과 현미경 영상의 셀 분할을 위해 2D 광선 투사(2D ray casting)를 사용하는 셀 추정 기술이 제안되었다. 경계가 모호하고 추정하기 어려운 영역에서, 반복적으로 경계를 복구하는 동안 셀들이 발견될 수 있다. 그러나, 이러한 기술은 추정된 다수의 셀 후보들 중에서 가장 적합한 셀을 찾는 방법이기 때문에 적합한 셀이 후보군 내에서 추정되어야만 한다는 점에서 한계가 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0009] 티타니아 SEM 영상에서 경계가 모호한 셀의 형태를 더 정확하게 확인할 수 있는 셀 분할 방법을 제공한다.

과제의 해결 수단

- [0010] 이산화 타이타늄 표면구조의 셀 분할 방법에 있어서, 티타니아(titania) 표면에 대한 SEM(scanning electron microscope) 영상에서 픽셀 세기(pixel intensity)의 국지적 분포에 따른 경계(boundary)를 감지하는 단계; 및 상기 감지된 경계의 거리 맵(distance map)을 상기 SEM 영상과 결합한 투영 영상 내에서 국지적 최대 지점(local maximum point)을 클러스터링함으로써 상기 투영 영상 내의 각 셀을 분할하는 단계를 포함하는 이산화 타이타늄 표면구조의 셀 분할 방법을 제공한다.
- [0011] 일 측면에 따르면, 상기 감지하는 단계는, 전체 영상의 밝기 분포와 국지적 분포 간의 차이에 따라 결정되는 적응적-크기 국지적 영상(adaptively-sized local image)을 사용하여 상기 경계를 감지하는 단계를 포함할 수 있

다.

[0012] 다른 측면에 따르면, 상기 감지하는 단계는, 이진화 노이즈를 제거하는 누적 에지 이진화(cumulative edge binarization) 방법을 통해 상기 경계를 감지하는 단계를 포함할 수 있다.

[0013] 또 다른 측면에 따르면, 상기 분할하는 단계는, 관심 영역의 각 픽셀을 클러스터링의 특징으로 하는 K-평균 클러스터링(K-means clustering)을 통해 GA(gradient ascent) 방법으로 추정되는 픽셀의 국지적 최대 지점 좌표를 사용하여 관심 영역 내 각 픽셀을 분류하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0014] 본 발명의 실시예들에 따르면, 티타니아 SEM 영상에서 경계가 모호한 셀의 형태를 더 정확하게 확인할 수 있는 셀 분할 방법을 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0015] 도 1은 티타니아 예시로 양극 산화 처리에 의해 생성된 티타니아의 SEM 이미지를 도시한 것이다.
- 도 2는 본 발명의 일 실시예에 있어서 셀 분할에 기반한 정량 분석 방법의 전체 개요를 도시한 것이다.
- 도 3은 SEM 이미지(a) 및 전체 이미지와 로컬 이미지 간 밝기 차 분포(b)를 도시한 것이다.
- 도 4는 기존 방법에 따른 이진화 결과(a), 수학적 4에 따른 이진화 결과, 수학적 5에 따른 이진화 결과를 도시한 것이다.
- 도 5는 SEM 이미지(a) 및 수학적 5에 의해 생성된 거리 투영 이미지(b)와 국지적 최대 지점(빨간 원)(c)을 도시한 것이다.
- 도 6은 반복적인 셀 분할 알고리즘의 예시를 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0016] 이하, 본 발명의 실시예를 첨부된 도면을 참조하여 상세하게 설명한다.
- [0017] 본 발명에서는 양극 산화막(anodic oxide)의 코팅 품질을 평가하기 위해 셀 분할을 사용하는 정량적 분석 방법을 제안한다. 티타니아(titania) 표면의 각 셀을 식별하기 위해서, 부분적인 세기 분포에 따라 경계 영역(boundary region)이 적응적으로(adaptively) 감지되며, 경계 거리 맵(boundary distance map)은 티타니아 표면에 대한 주사전자현미경(scanning electron microscope, SEM) 영상으로 투영된다. 투영 영상(projected image) 내의 각 셀은 국지적인 최대 지점(local maximum point)에 중심을 둔 클러스터링(clustering)을 통하여 분할된다. 셀 분포, 크기 및 두께의 균일도는 인접한 셀들의 각도 차이, 크기 차이 및 밝기 차이를 사용하여 측정되어 티타니아 표면의 정량적인 정렬(alignment)을 종합적으로 평가한다.
- [0018] 도 2는 본 발명의 일 실시예에 있어서 셀 분할에 기반한 정량 분석 방법의 전체 개요를 도시한 것이다.
- [0019] 도 2를 참조하면, 본 발명에서는 거리 맵이 투영된 영상에 대한 셀 분할을 사용하여 양극 산화 티타니아 박막의 정렬을 분석하는 정량적 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 픽셀 세기에 대한 국지적인 분포에 따라 나노튜브 내의 명확한 경계를 적응적으로 감지하며, 감지된 경계 및 경계 거리 맵과 SEM 영상을 결합한 투영 영상 내에서 국지적인 최대 지점을 클러스터링함으로써 각 셀을 분할한다. 마지막으로, 종합 균일도를 계산함으로써 티타니아의 코팅 품질을 평가하는데, 이는 인접한 셀들 간의 밝기 차이, 크기 차이 및 각도 차이의 조합을 통해 정렬의 일관성을 측정하는 것이다.
- [0020] 관련 연구를 설명하면 다음과 같다.
- [0021] 티타니아(titania) 및 알루미나(alumina)의 공극 구조를 분석하기 위해 흔히 사용되는 방법은 푸리에 변환을 사용하는 주파수 영역 기반의 방법이다. 현미경 영상에 대한 2D 푸리에 영역의 날카로운 피크는 장범위 결정 규칙 성질(long-range crystalline order property)이 영상에 나타나는지 여부를 보여주고, 진폭(amplitude)은 층의 두께를 보여준다. 그러나, 날카로운 피크의 정의가 모호하기 때문에, 2D 푸리에 영역의 진폭 및 장범위 결정 규칙 및 위치 간의 관계를 정량적으로 분석하는 것을 불가능하고, 전체적인 영상에 대한 대략적인 특성은 인간의 주관적인 판단에 의존한다. 정렬에 대한 평균적인 특성을 보여주는 이런 방법은 SEM의 영상 노이즈 및 양극 산화의 국지적인 모호성에 크게 영향을 받는다.

- [0022] 이러한 문제를 극복하기 위하여, SEM 영상 내 각 셀을 인지하고 이를 국지적으로 분석하는 방법이 제안되었다. 임계값(threshold)을 통한 간단한 이진화 기반 셀 식별(simple binarization-based cell identification by a threshold)은 SEM 영상 내 알루미늄에 대한 국지적인 분석을 가능하게 하며, 엔트로피 기반의 자동적 퍼지 이진화 기술(entropy-based automatic fuzzy binarization technique)을 적용함으로써 공극의 주변과 중심 지점을 식별한다. 이러한 방법들은 경계와 공극 간의 대비가 국지적으로 다를 때 영상에 대해 의미있는 성능을 보장할 수 없다. 상기 언급된 열악한 조건 하의 알루미늄 영상에 대한 부분적인 분석에서, 임계값으로서 로우-패스 필터링된 영상의 각 픽셀에 대한 밝기 값을 사용하는 적응적 이진화 방법(adaptive binarization method)이 제안되었다. 그러나, 이 방법 또한 공극들 간의 충분한 거리를 갖는 알루미늄 영상에 이상적이며, 상대적으로 작은 공극 거리를 갖는 티타니아 영상에는 적합하지 않다.
- [0023] 일반적으로, 객체 주변 인지를 위해 활성 주변 모델(Active Contour Model, ACM) 방법이 사용되고 있다. 그러나, 티타니아 영상에 대한 셀 분할에 ACM 기술을 적용하기 위해서, 영역 유형에 대한 초기 값이 각 셀마다 필요하며, 이 기술은 많은 수의 셀을 포함하는 SEM 영상 내의 각 셀마다 시간 소비적인 반복 계산을 필요로 한다.
- [0024] 최근, 일반적으로 알루미늄 영상에 사용되는 기존의 형태 추정 기반의 분할 기술(morphological estimation-based segmentation techniques)이 셀 윤곽을 감지하기가 더 어려운 티타니아에 사용하기 위해 제안되고 있다. 이 방법들은 우선적으로 인접한 셀들 간의 명확한 경계를 감지하고 이차원 광선 투사(ray casting)에 의해 생성된 몇몇 후보 셀들 중에서 최종적인 셀을 선택한다. 이 방법들은 방사 기반 최대 원마도(radial-based maximum roundness) 선택 방법 또는 곡률 에너지 기반 최소 원마도(curvature-energy-based minimum roundness) 선택 방법 중 하나를 사용한다. 성공하려면, 이 두 가지 유형의 원마도 선택 기반의 분할 방법은 추정된 셀 후보들 중에서 적당한 셀을 생성해야만 한다. 가장 좋은 원마도를 갖는 셀이 항상 가장 최적의 모양을 갖는 셀은 아니기 때문에, 후보 그룹 중 본래 형태와 가장 가까운 셀이 선택되는 것은 보장될 수 없다. 따라서, 티타니아 SEM 영상에서 경계가 모호한 셀의 형태를 더 정확하게 확인하기 위해서는 셀 분할에 대한 새로운 방법이 필요하다.
- [0025] 각 셀이 분할된 이후, 자가 정렬된 나노 배열(self-ordered nanoarray)에 대한 정량적 분석이 수행되어야 한다. 알루미늄 영상에 대한 정렬 분석에서, 색 부호화 및 히스토그램이 정렬을 시각화하는 데 사용되는 반면, 주변 셀들의 각 편차(angular deviation) 및 거리 측정은 정렬도의 인덱스로 사용된다. 그러나, 유사한 크기의 공극이 감지되어야 하는 알루미늄 영상과는 달리, 티타니아 박막에서는 다양한 크기의 셀 표면들이 예상된다. 즉, 티타니아 영상을 위해서는 주변 셀들의 각 편차 및 종합적인 정량화 기술을 위한 추가적인 분석적 방법들이 필요하다.
- [0026] 정량적 분석을 위한 셀 분할 방법을 설명하면 다음과 같다.
- [0027] 국지적 밝기 분포를 사용하는 경계 감지
- [0028] 티타니아는 SEM 영상 전반에 걸쳐 아주 밀도 있는 셀을 보이며, 약 1개에서 2개 픽셀 두께로 측정되는 매우 얇은 셀 경계를 갖는다. 고전적인 에지 감지기(edge detectors)는 파라미터에 민감하고 SEM 영상 내에 이중 에지를 생성하려는 경향이 있기 때문에, 이러한 문제들을 피하기 위해서 적응적 경계화(adaptive thresholding)를 갖는 세기-기반의(intensity-based) 에지 감지기가 제안되었다. 이 에지 감지기가 블러된(blurred) 에지나 얇은 에지를 식별할 수 없다고 하더라도, 정확히 감지된 유력한 픽셀의 수를 최대화하는 반면, 결정 영역(grain region) 내 에지 픽셀의 부정확한 감지를 성공적으로 최소화한다.

[0029] 세기-기반의 에지 감지기 $C(\cdot)$ 는 수학식 (1)과 같이 정의된다.

$$C(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } \alpha(x, y) < I(x, y) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases},$$

$$\alpha(x, y) = \arg \min_{l \in [0, 255]} \left| \frac{1}{m^2} \left(\sum_{t=0}^{255} \sum_{u=-m/2}^{m/2} \sum_{v=-m/2}^{m/2} \Phi(x+u, y+v, t) \right) - \beta \right|,$$

$$\Phi(x+u, y+v, t) = \begin{cases} 1, & \text{if } I(x+u, y+v) = t \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases},$$

(1)

[0030]

[0031] 여기서, $C(x, y)$ 는 세기(intensity)가 α 보다 작은 에지 픽셀들을 식별하여 (x, y) 에서 픽셀이 에지를 나타내면 1을 취하고 그렇지 않으면 0을 취하는 지표 함수이다. t 는 임계값과 관련된 픽셀 세기이며, β 는 $m \times m$ 윈도우 내의 에지에 속하는 픽셀들의 비율이고, $I(x+u, y+v)$ 는 $(x+u, y+v)$ 에서 픽셀의 세기이다. 에지 세기는 에지와 결정 영역 간의 임계값 세기(즉, 초록색 막대)를 나타내는 α 에 의해 결정된다. $\Phi(x+u, y+v, t)$ 는 t 가 $(x+u, y+v)$ 에서의 픽셀의 세기와 동일하면 1을 나타내고, 그렇지 않으면 0을 나타낸다.

[0032] 이전의 에지 감지기가 같은 크기의 국지적 영상을 사용하더라도, 셀 크기 및 경계의 두께는 양극 산화 조건에 따라 달라지므로, 셀과 경계의 비율은 달라질 수 있다.

[0033] 따라서, 본 발명에서는 국지적 밝기 분포의 특성에 따라 국지적 영상의 크기를 적응적으로 바꿈으로써 방법을 개선할 수 있다.

[0034] 전체적인 영상의 밝기 분포와 지역적 분포 간의 차이인 $\Delta f(\cdot)$ 는 국지적 영상의 크기를 결정하며 수학식 (2)와 같이 정의된다.

$$\Delta f(x, y) = \sum_{i=1}^{n/2} (h_i(I) - h_i(I_{uv})) - \sum_{i=\frac{n}{2}+1}^n (h_i(I) - h_i(I_{uv})),$$

$$\text{s.t. } x - \frac{b}{2} \leq u \leq x + \frac{b}{2}, y - \frac{b}{2} \leq v \leq y + \frac{b}{2},$$

(2)

[0035]

[0036] 여기서, $h_i(I)$ 는 전체적인 영상 I 에 대한 히스토그램의 i 번째 빈(bin)의 주파수이고, $h_i(I_{uv})$ 는 $\pm \frac{b}{2}$ 에 대응하는 좌표 (u, v) 의 국지적 영상에 대한 정규화된 히스토그램의 i 번째 빈이고, b 는 국지적 영상의 고정된 크기이다. $h_i(I)$ 및 $h_i(I_{uv})$ 는 1의 합을 갖는 정규화된 히스토그램이다. 분포 차이 $\Delta f(\cdot)$

는 하부 경계가 정해지지 않은 음의 값을 포함한다. 따라서, $\Delta f(\cdot)$ 는 가중치로 사용하기 위해 정규화되며, 적응적인 국지적 크기 $w(\cdot)$ 는 수학적 식 (3)과 같다.

$$\begin{aligned} w(x, y) &= \Delta f_{\text{norm}}(x, y)(b - b_{\text{low}}) + b_{\text{low}}, \\ \Delta f_{\text{norm}}(x, y) &= \begin{cases} 1, & \text{if } \Delta f_{\text{shift}}(x, y) > 1 \\ \Delta f_{\text{shift}}(x, y), & \text{otherwise} \end{cases}, \quad (3) \\ \Delta f_{\text{shift}}(x, y) &= \Delta f(x, y) - \min(\Delta f) \end{aligned}$$

도 3을 참조하면, 정규화된 분포 차이 $\Delta f_{\text{norm}}(\cdot)$ 는 셀 크기가 작거나 셀 및 경계의 면적비가 변화하는 영역에서 작으며, $\Delta f_{\text{norm}}(\cdot)$ 는 셀 크기가 크고 경계가 명확한 영역에서는 크다. b 는 수학적 식 (2)에서 사용되는 고정된 크기이며 국지적 영상의 상부 경계 크기이고, b_{low} 는 국지적 영상의 하부 경계 크기이고, $w(\cdot)$ 는 국지적 영상의 크기를 적응적으로 조정하기 위한 파라미터이다.

명확한 경계를 찾기 위해, 수학적 식 (4)와 같이 적응적-크기의 국지적 영상을 사용하여 개선된 픽셀 밝기 기반의 에지 감지기 $C^*(\cdot)$ 를 정의한다.

$$\begin{aligned} C^*(x, y) &= \begin{cases} 1, & \alpha(x, y) < I(x, y) \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}, \\ \alpha(x, y) &= \arg \min_{l \in [0, 255]} \left| \frac{1}{w(x, y)^2} \right. \\ &\quad \left. \left(\sum_{t=0}^{255} \sum_{u=-w(x, y)}^{w(x, y)} \sum_{v=-w(x, y)}^{w(x, y)} \Phi(x + u, y + v, t) \right) - \beta \right|, \end{aligned} \quad (4)$$

여기서, $\Phi(\cdot)$ 는 픽셀 세기가 1과 같을 때 1인 지표 함수이며, β 는 국지적 영상에서 경계 비율을 조정하기 위한 파라미터이다.

개선된 세기 기반 에지 감지기 $C^*(\cdot)$ 는 이전 에지 감지기보다 더 적절한 셀 경계를 감지한다. 수학적 식 (5)와 같이 $C^*(\cdot)$ 와 결합해서 이진화 노이즈를 제거하기 위한 누적 에지 이진화(cumulative edge binarization) $B(\cdot)$ 를 정의한다.

$$B(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } B_{\text{norm}}(x, y) \geq \gamma \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases},$$

$$B_{\text{norm}}(x, y) = \frac{B_{\text{acc}}(x, y)}{w(x, y) \max(B_{\text{acc}}/w)}, \quad (5)$$

$$B_{\text{acc}}(x, y) = \sum_{u=-w(x, y)}^{w(x, y)} \sum_{v=-w(x, y)}^{w(x, y)} C^*(x+u, y+v),$$

여기서, $B(\cdot)$ 는 개선된 이진화 기술에 의해 생성되는 경계를 위해 이진화된 영상이며, γ 는 정규화된 누적 이진화 영상 $B_{\text{norm}}(\cdot)$ 를 생성하기 위한 임계값이다.

도 4를 참조하면, 수학적 식 (5)에 따른 제안하는 이진화(c)는 기존 이진화 방법(a)과 비교할 때 경계의 두께, 셀 크기 및 셀의 양극 산화 품질에 영향을 덜 받으며, 수학적 식 (4)에 따른 이진화 결과(b)와 비교할 때 더 나은 방법으로 노이즈가 있는 상태에서 강한 경계 라인을 더 잘 추출할 수 있다.

거리가 투영된 영상의 셀 분할(cell segmentation of distance projected images)

상기에서 제안된 방법으로 경계 영역을 영상에서 제거한다면, 영상에는 오직 셀 영역만 남는다. 이러한 셀 영역을 개별적인 셀과 구분하기 위하여, 셀은 하나의 클러스터로 간주되며, 셀의 수는 K-평균 클러스터링(K-means clustering)에서 K개의 클러스터로 설정된다.

K-평균 클러스터링은 사람의 U20S 세포에 대한 분할 연구에서 제안된 특징을 이용하며, 본 발명의 경우 셀 영역 내 각 픽셀에 대한 좌표 및 국지적인 최대 지점 좌표로 정의된다. 관심 영역(region of interest, ROI)의 각 픽셀을 클러스터링의 특징으로 간주한다. 그러나, 한 픽셀의 좌표가 사용되면, 핵의 타원형 모양으로 인하여 일부 픽셀들은 다른 핵들에 속하는 픽셀로 잘못 분류될 것이다. 이 문제는 경사 상승(gradient ascent, GA) 방법에 의해 추정되는 원본 픽셀의 국지적인 최대 지점 좌표를 사용하여 해결될 수 있다. ROI 내 각 위치 $\mathbf{x}$ 에서 시작

하여, GA는 $\mathbf{x}^{k+1} = \mathbf{x}^k + \frac{r}{2} \nabla G(\mathbf{x}^k)$ 로 표현된 경로를 따라가는 국지적인 최대 지점으로 상승하며, 여기서 $\nabla G(\mathbf{x}^k)$ 는 가우시안 영상 G 내 $\mathbf{x}^k$ 에서의 경사이며, k 는 반복 횟수이고, r 은 스텝 사이즈(step size)이다. GA 방법은 $\|\mathbf{x}^k - \mathbf{x}^{k+1}\|$ 가 오차 내에서 수렴할 때 종료된다.

GA 방법의 효율성을 향상시키기 위하여, 셀의 표면을 불룩한 모양으로 변환하는 투영 영상 P 는 수학적 식 (6)과 같이 원본 영상과 거리 맵의 조합을 통해 생성된다.

$$P(\mathbf{x}) = G(\mathbf{x}) + \frac{D(\mathbf{x})}{\max(D)}, \quad (6)$$

$$D(\mathbf{x}) = \left\| \mathbf{x} - \arg \min_{\mathbf{x}_B} (\mathbf{x} - \mathbf{x}_B) \right\|, \mathbf{x}_B \in \mathbf{B},$$

여기서, $G(\cdot)$ 는 가우시안 블러 영상(Gaussian blurred image)이며, $\mathbf{x}$ 는 거리 맵 $D(\cdot)$ 의 (x, y) 좌표이고, $\mathbf{B}$ 는 수학적 식 (5)에 의해 감지된 경계에 대한 좌표 $\mathbf{x}_B$ 의 집합이다. 투영 영상 P 는 도 5 (b)에 도시된 바와 같이, $B = 1$ 이 0으로 설정된 경계 영역을 갖는 $\tilde{P}$ 로 정의된다.

[0052] 도 5 (b)에 도시된 바와 같이, 경계 영역이 제거된 최종적인 투영 영상 $\tilde{P}$ 는 셀의 표면이 볼록하기 때문에 셀의 중심 근처의 위치에 있는 최대 지점을 감지할 수 있다. $\tilde{P}$ 에서, 국지적인 최대 지점(local maximum point)이 적응적 크기 범위 w 내에서의 최대 밝기 지점(point of maximum brightness)이기도 하다면, 국지적인 최대 지점은 수학적 식 (7) 과 같이 클러스터의 초기 값으로 사용된다.

$$\begin{aligned} \dot{\mathbf{X}} = \{ (x, y) | \tilde{P}(x, y) > \tilde{P}(u, v) \}, \\ \text{s.t. } u \in [x - w(x, y), x + w(x, y)], u \neq x, \\ v \in [y - w(x, y), y + w(x, y)], v \neq y \end{aligned} \quad (7)$$

[0053]

[0054] 도 5 (c)에 도시된 바와 같이, 대부분의 셀의 중심은 가변 국지적 크기에 의해 정확히 감지될 수 있다. 그러나, 투영 영상에서는 둘 이상의 중심 포인트가 볼록한 표면으로 변환되지 않는 일부 셀들로부터 추출될 수 있다. 이러한 문제를 막기 위하여, 도 6의 알고리즘 1에서, 가변 크기 $w(\cdot)$ 를 결정하는 수학적 식 (4)의 상부 경계는 한 셀이 둘 이상의 중심 포인트를 반환할 때 연속적으로 감소되며 클러스터링된다. 알고리즘 1의 **LMestimation** 은 수학적 식 (7)을 사용하여 K-평균 클러스터링의 초기 지점 집합 $\dot{\mathbf{X}}$ 의 위치를 찾는 국지적 최대 추정 함수(local maximum estimation function)이다. $\dot{\mathbf{X}}$ 의 초기 지점의 수는 직접적으로 K-평균에서의 클러스터 숫자 K로 사용된다. 가장 큰 범위부터 가장 작은 범위까지의 국지적 최대값은 점진적으로 K-평균의 초기 값으로 사용되며, 셀의 원마도를 만족하는 모양을 갖는 클러스터들은 셀로 식별된다. 식별된 국지적 최대 지점 및 셀은 다음 범위를 추정할 때 ROI에서 제외된다. 결국, K-평균 클러스터링을 통해 한 클러스터를 한 셀이라고 식별한다.

[0055] 경계 감지, 이미지 투영 및 셀 분할에 대한 계산 복잡도는 각각 $O(N_{\text{image}})$, $O(N_{\text{cell}}N_{\text{area}}^2 + N_{\text{image}})$ 및 $O(N_{\text{image}} + N_{\text{cell}}N_{\text{area}})$ 이며, 여기서, N_{image} 는 픽셀 단위의 영상 크기이며, N_{cell} 은 영상 내 셀의 수이고, N_{area} 는 각 셀의 면적이다. 전체적인 프로세스의 개략적인 계산 복잡도는 $O(N_{\text{image}} + N_{\text{cell}}N_{\text{area}}^2)$ 이다.

[0056] 균일도를 위한 정량적 분석

[0057] 영상 또는 객체 특성을 정의하기 위해 다양한 특징들이 제안되어 왔으며, 그 특징들은 지도 학습 시의 선택된 학습 모델을 더 잘 설명하기 위해 선택되고 수정되었다. PCA와 같은 특징 선택 방법에서, $l_2\text{-norm}$ 은 간단함을 위한 손실 함수로서 흔히 사용되고 있다. 특이치(outliers)에 민감한 $l_2\text{-norm}$ 기반 손실 함수와 비교할 때, $l_{2,1}\text{-norm}$ 기반 손실 함수는 잡음 데이터를 처리할 때 개선된 성능을 제공한다. 이러한 이유로, $l_{2,1}\text{-norm}$ 은 잡음 데이터를 처리할 때 정확성을 향상시키고 계산 비용을 줄이기 위하여, 비지도 특징 선택(unsupervised feature selection) 및 차원 감소(dimensionality reduction)에서 일반적으로 사용된다. 본 발명에서, 이러한 분석들(metrics)은 티타니아 박막의 배치 수치(ordering score) 또는 균일도를 직접적으로 평가하기에 적합하지 않다. 표면을 분석하기 위해, 우리는 인접 셀들 간 각도의 표준 편차를 사용하여 정량적인 분석뿐만 아니라 셀 크기 및 두께 균일도를 위한 분석을 제안한다.

[0058] SEM 영상에서 표면의 밝기는 휘도(luminance), 박막의 방향 및 박막 표면의 법벡터(normal vector)를 포함하는 몇몇 조건과 관련이 있다. 모든 표면들은 같은 금속이므로 같은 성질을 지닌다. 따라서, 금속의 성질과 관련된 조건들을 제거하면, 각 픽셀의 밝기는 거리 d 에 따른 광 감쇄에 대해 공식

$L = L_{\text{amb}} + \frac{1}{(a_c + a_l d + a_q d^2)} (L_{\text{diff}} + L_{\text{spec}})$ 로 표현되며, 여기서, L_{amb} , L_{diff} 및 L_{spec} 는 각각 주변광(ambient light), 난반사 및 정반사이고, a_c , a_l 및 a_q 는 거리에 따른 광원 감쇄 계수이다.

[0059] 각 셀은 영상 내 전체적인 셀 표면에서 나타나는 반사 광 특성이라는 관점에서 같은 광원에 의해 영향을 받다고 가정한다. 셀 두께에 대한 우리의 균일도 분석은 영상 작업(imaging) 동안의 렌즈 및 박막 간의 절대적인 거리보다는 상대적인 거리를 감안하기 때문에 감쇄 계수는 우리의 방법에서 무시될 수 있다. 따라서, 거리 및 밝기에 대해 L 은 선형 형태로 근사화될 수 있다. 본 발명에서는 L 에 대한 성형 근사, 인접 셀들 간 각도에 대한 표준 편차 σ 및 이웃 셀들 간의 크기 차이 $\Delta\sigma$ 를 사용하여 수학적 (8)을 통해 이웃 셀들 간의 깊이 차이(depth difference) Δd 를 측정함으로써 크기, 셀 분포 및 층 두께의 균일도에 대한 평가 분석을 제안한다.

$$\begin{aligned} \Delta d_i &= \sqrt{\sum_{j=1}^N (d_i - d_{i,j})^2}, \\ d &= \frac{\Omega}{\sum_s \sum_t (I(s, t) * K)}, \text{ s.t. } s, t \in c, \\ \sigma_i &= \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\theta_i - \bar{\theta})^2}{N-1}}, \theta_i = \sin^{-1} \left(\frac{v_i \cdot v_{i+1}}{\|v_i\| \|v_{i+1}\|} \right), \\ \Delta \Omega_i &= \sqrt{\sum_{j=1}^N (\Omega_i - \Omega_{i,j})^2}, \end{aligned} \quad (8)$$

[0060]

[0061] 여기서, N 은 가장 가까운 인접 셀들의 참조 수(the number of references of the nearest neighbor cells), v 는 목표 셀의 중심에서 인접 셀의 중심까지의 벡터, θ_i 는 시계 방향 또는 반시계 방향으로 정렬된 이웃 벡터 간의 각도, $\bar{\theta}$ 는 이러한 각도들의 평균, (s, t) 는 분할된 셀 c 에 속하는 좌표, $d_{i,j}$ 는 i 번째 목표 셀의 이웃 셀들 중에서 j 번째 셀에 대한 평균 밝기의 역수이며, Ω 는 셀 내의 픽셀 수이다. 3가지 제한하는 셀 균일도 측정을 기반으로, 전체적인 SEM 영상에 대한 분포 균일도 U_{angle} , 크기 균일도 U_{size} , 두께 균일도 $U_{\text{thickness}}$ 및 종합적인 균일도 U_{total} 를 수학적 (9)와 같이 정의한다.

$$\begin{aligned} U_{\text{total}} &= \frac{1}{3} (U_{\text{angle}} + U_{\text{size}} + U_{\text{thickness}}), \\ U_{\text{angle}} &= 1 - n^{-1} \sum_{i=1}^n w_{\sigma} \sigma_i, \\ U_{\text{size}} &= 1 - n^{-1} \sum_{i=1}^n w_{\Omega} \Delta \Omega_i, \\ U_{\text{thickness}} &= 1 - n^{-1} \sum_{i=1}^n w_d \Delta d_i, \end{aligned} \quad (9)$$

[0062]

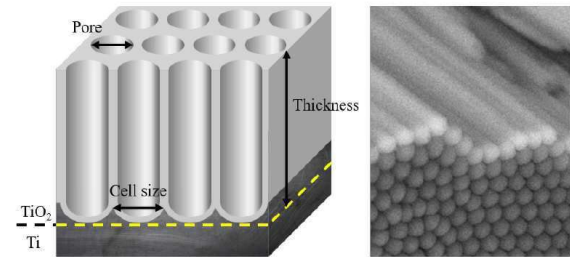
- [0063] 여기서, n 은 분할된 셀의 수이며, w_{σ} , w_{Ω} 및 w_d 는 각 균일도의 범위를 정규화시킨 가중치 파라미터들이다.
- [0064] 본 발명에서는 티타니아 박막의 셀 세분화를 통한 정량 분석 기법을 제안하는 것으로, 적응적 로컬 이진화는 나노 튜브 사이의 경계를 검출하기 위해 사용되고 각 셀은 로컬 최대 지점에 기초한 클러스터링에 의해 인식된다.
- [0065] 본 발명에 따른 정량 분석 기법은 기존 티타니아 셀 분할(cell segmentation) 및 셀 감지(cell detection) 기술보다 높은 정확도를 달성할 수 있으며, 셀 세분화 후 양극 산화된 티타니아 표면은 정렬 및 두께 균일성 평가 방법을 사용하여 정량적으로 분석할 수 있으며 그 결과는 실측 자료와 흡사하다. 정량 분석을 통해 목표 산화물을 만들기 위해 필요한 배치 수치, 두께 균일성, 산화 시간 등의 시뮬레이션 정보를 추출할 수 있다. 본 발명에 따른 양극 산화물의 표면 품질에 대한 정량적인 평가 방법은 알루미늄 및 티타니아와 같은 다른 양극 산화물에도 적용할 수 있고, 본 발명의 셀 분할 및 셀 감지 방법은 매우 정확하며 다른 종류의 정량 평가 방법과 쉽게 결합 가능하다.
- [0066] 본 발명에 따른 정량 분석 기법은 목표 형상과 크기에 가까운 자기 정렬 다공성 산화물 구조의 형성을 필요로 하는 양극 산화 기술의 결과를 정량적으로 평가할 수 있기 때문에 산업 응용 분야에서의 평가와 자동화에 사용될 수 있으며, 수소 생산 및 태양 전지, 광촉매, 반사 방지 코팅, 리튬 이차 전지 및 가스 센서의 제조에 사용될 수 있다.
- [0067] 이상에서 설명된 장치는 하드웨어 구성요소, 소프트웨어 구성요소, 및/또는 하드웨어 구성요소 및 소프트웨어 구성요소의 조합으로 구현될 수 있다. 예를 들어, 실시예들에서 설명된 장치 및 구성요소는, 프로세서, 콘트롤러, ALU(arithmetic logic unit), 디지털 신호 프로세서(digital signal processor), 마이크로컴퓨터, FPGA(field programmable gate array), PLU(programmable logic unit), 마이크로프로세서, 또는 명령(instruction)을 실행하고 응답할 수 있는 다른 어떠한 장치와 같이, 하나 이상의 범용 컴퓨터 또는 특수 목적 컴퓨터를 이용하여 구현될 수 있다. 처리 장치는 운영 체제(OS) 및 상기 운영 체제 상에서 수행되는 하나 이상의 소프트웨어 어플리케이션을 수행할 수 있다. 또한, 처리 장치는 소프트웨어의 실행에 응답하여, 데이터를 접근, 저장, 조작, 처리 및 생성할 수도 있다. 이해의 편의를 위하여, 처리 장치는 하나가 사용되는 것으로 설명된 경우도 있지만, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자는, 처리 장치가 복수 개의 처리 요소(processing element) 및/또는 복수 유형의 처리 요소를 포함할 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어, 처리 장치는 복수 개의 프로세서 또는 하나의 프로세서 및 하나의 콘트롤러를 포함할 수 있다. 또한, 병렬 프로세서(parallel processor)와 같은, 다른 처리 구성(processing configuration)도 가능하다.
- [0068] 소프트웨어는 컴퓨터 프로그램(computer program), 코드(code), 명령(instruction), 또는 이들 중 하나 이상의 조합을 포함할 수 있으며, 원하는 대로 동작하도록 처리 장치를 구성하거나 독립적으로 또는 결합적으로(collectively) 처리 장치를 명령할 수 있다. 소프트웨어 및/또는 데이터는, 처리 장치에 의하여 해석되거나 처리 장치에 명령 또는 데이터를 제공하기 위하여, 어떤 유형의 기계, 구성요소(component), 물리적 장치, 컴퓨터 저장 매체 또는 장치에 구체화(embody)될 수 있다. 소프트웨어는 네트워크로 연결된 컴퓨터 시스템 상에 분산되어서, 분산된 방법으로 저장되거나 실행될 수도 있다. 소프트웨어 및 데이터는 하나 이상의 컴퓨터 판독 가능 기록 매체에 저장될 수 있다.
- [0069] 실시예에 따른 방법은 다양한 컴퓨터 수단을 통하여 수행될 수 있는 프로그램 명령 형태로 구현되어 컴퓨터 판독 가능 매체에 기록될 수 있다. 이때, 매체는 컴퓨터로 실행 가능한 프로그램을 계속 저장하거나, 실행 또는 다운로드를 위해 임시 저장하는 것일 수도 있다. 또한, 매체는 단일 또는 수 개의 하드웨어가 결합된 형태의 다양한 기록수단 또는 저장수단일 수 있는데, 어떤 컴퓨터 시스템에 직접 접속되는 매체에 한정되지 않고, 네트워크 상에 분산 존재하는 것일 수도 있다. 매체의 예시로는, 하드 디스크, 플로피 디스크 및 자기 테이프와 같은 자기 매체, CD-ROM 및 DVD와 같은 광기록 매체, 플롭티컬 디스크(floptical disk)와 같은 자기-광 매체(magneto-optical medium), 및 ROM, RAM, 플래시 메모리 등을 포함하여 프로그램 명령어가 저장되도록 구성된 것이 있을 수 있다. 또한, 다른 매체의 예시로, 어플리케이션을 유통하는 앱 스토어나 기타 다양한 소프트웨어를 공급 내지 유통하는 사이트, 서버 등에서 관리하는 기록매체 내지 저장매체도 들 수 있다.
- [0070] 이상과 같이 실시예들이 비록 한정된 실시예와 도면에 의해 설명되었으나, 해당 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 상기의 기재로부터 다양한 수정 및 변형이 가능하다. 예를 들어, 설명된 기술들이 설명된 방법과 다른 순서로 수행되거나, 및/또는 설명된 시스템, 구조, 장치, 회로 등의 구성요소들이 설명된 방법과 다른 형태로 결합 또는 조합되거나, 다른 구성요소 또는 균등물에 의하여 대치되거나 치환되더라도 적절한 결과가 달성될

수 있다.

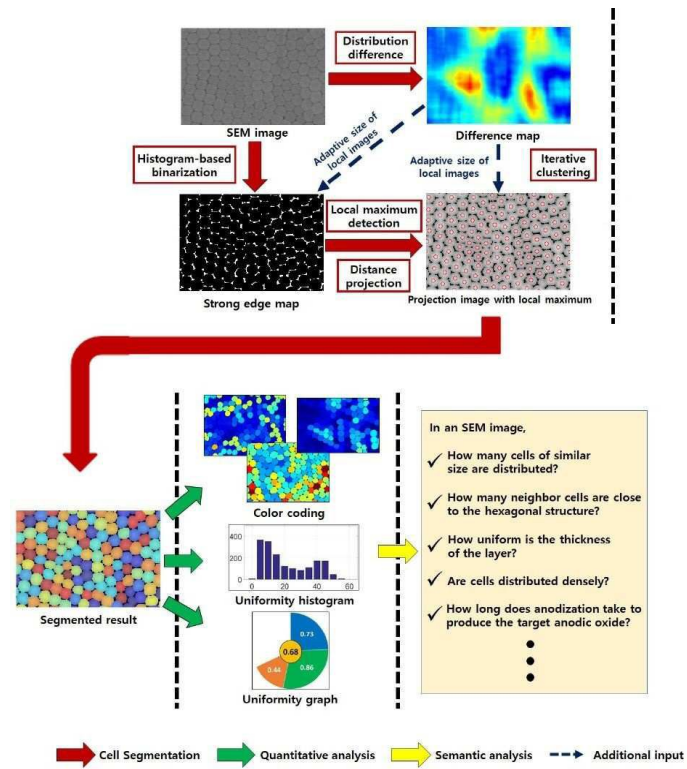
[0071] 그러므로, 다른 구현들, 다른 실시예들 및 특허청구범위와 균등한 것들도 후술하는 특허청구범위의 범위에 속한다.

도면

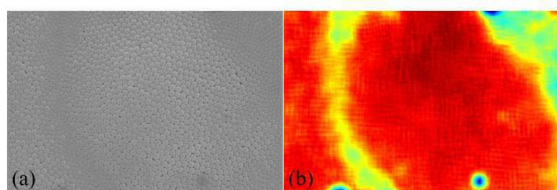
도면1



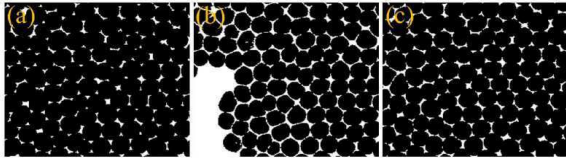
도면2



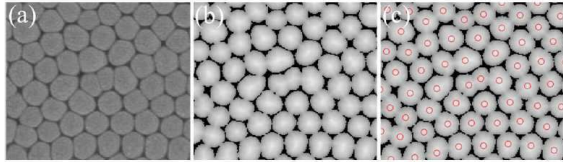
도면3



도면4



도면5



도면6

Algorithm 1. Iterative cell division

```

procedure ITERATIVE_DIVISION( $\bar{P}$ ,  $\Delta f_{\text{norm}}$ ,  $b$ ,  $b_{\text{low}}$ )
  Variable description and initialization:
   $X$ : coordinate set of cell region
   $X_{\nabla}$ : local maximum coordinate of  $X$ 
   $\hat{X}$ : cell seed to be used as initial cluster mean
   $n$ : the number of local seeds
   $c_i$ :  $i$ -th cluster consisted of coordinate elements
   $C_{\hat{X}}$ : cluster set produced from  $\hat{X}$ 
  Cell division:
  for  $i \leftarrow b, b_{\text{low}}$  do
     $\hat{X} = \text{LMestimation}(\bar{P}, \Delta f_{\text{norm}}, i)$ 
     $C_{\hat{X}} = \text{kmeans}(X, X_{\nabla}, \hat{X})$ ,  $c_i \in C_{\hat{X}}$ 
    for  $j \leftarrow 1, n$  do
      If  $\text{roundness}(c_i) > \delta$ 
         $C \leftarrow c_i$ 
        remove elements of  $X$ ,  $X_{\nabla}$ , and  $\hat{X}$ , related to  $c_i$ 
      end for
    end for
  end for
  return  $C$ 
end procedure
  
```
