(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2014-0064389
(43) 공개일자 2014년05월28일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C23C 16/26 (2006.01) *C23C 16/44* (2006.01)
C04B 41/81 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2012-0131680
(22) 출원일자 2012년11월20일
심사청구일자 2012년11월20일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
임대순
서울 강남구 선릉로 8, 201동 104호 (개포동, 개포동주공아파트)
정민군
서울 성북구 안암로 145, 신소재공학과 (안암동5가, 고려대학교)
윤서현
서울 성북구 안암로 145, 신소재공과 (안암동5가, 고려대학교)
(74) 대리인
특허법인충현

전체 청구항 수 : 총 16 항

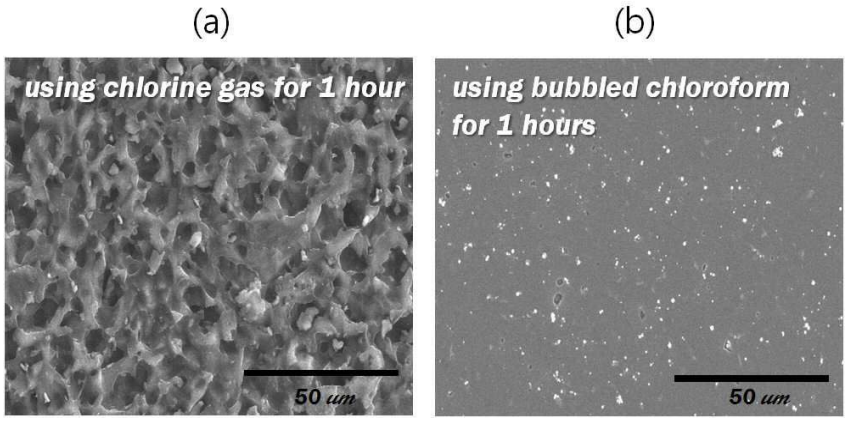
(54) 발명의 명칭 **탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층 및 이의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

본 발명에 따른 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층 및 그 제조방법은 탄소층의 경도 및 표면 조도를 향상시킬 수 있다. 또한 상기 탄소층은 표면에 마찰계수가 저하된 탄소층의 제공이 가능하다. 또한 마모율이 감소되어 내구성을 향상시키는 탄소층의 제공이 가능하다. 또한 표면의 거칠기가 개량되어 매끈한 표면을 갖는 탄소층의 제공이 가능하다. 그러므로 본 발명에 따른 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층 및 이의 제조방법을 사용하여 제조된 탄소층이 기계 등의 부품에 적용되는 경우 해당되는 접촉부 등의 경도 향상, 마찰계수 저하 및 마모율 저하 등이 가능하여 해당 기계의 전체적인 수명 향상이나 내구성 향상 등에 기여할 수 있다. 이러한 본 발명에 의해 우주항공산업이나 연료전지 산업 등과 같은 탄화물 세라믹스가 적용되는 산업 분야에 획기적 발전이 기대된다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	100400162_15097
부처명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	소재원천기술개발사업
연구과제명	차세대 고효율 장비를 위한 수명이 10%이상 향상된 저비용/고강도/내마모 질화규소/탄화수소 제조기술 개발
기 여 율	1/1
주관기관	고려대학교 산학협력단
연구기간	2012.06.01 ~ 2013.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

금속 원자가 이탈되어 형성된 공극을 포함하며, 상기 공극은 탄소로 충전된 것을 포함하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층.

청구항 2

제 1항에 있어서,

상기 탄화물 세라믹스는 Me_xC_y인 것을 특징으로 하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층.

(단, 상기 Me_xC_y은 SiC, TiC, WC, Fe_xC_y, BC 및 이들의 합금으로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상인 것으로서 상기 x와 y는 2~6의 정수이다.)

청구항 3

제 1항에 있어서,

상기 탄소는 메탄, 아세틸렌, 알코올류, 케톤류, 유기염소계 화합물 및 페놀류로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상의 탄소화합물로부터 분해되어 충전되는 것을 특징으로 하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층.

청구항 4

제 1항에 있어서,

상기 탄소층은 1~100nm크기의 다이아몬드, 그라파이트, CNT 및 OLC로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상의 구조를 가지는 탄소 결정을 더 포함하는 것을 특징으로 하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층.

청구항 5

할로겐 가스를 주입하여 이루어지는 탄화물 세라믹스 탄소층 제조방법에 있어서,

탄소화합물 가스를 주입하여 상기 탄화물 세라믹스에 증착하는 단계를 포함하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법.

청구항 6

제 5항에 있어서,

상기 탄소화합물은 메탄, 아세틸렌, 알코올류, 케톤류, 유기염소계 화합물 및 페놀류로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상인 것을 특징으로 하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법.

청구항 7

제 5항에 있어서,

상기 탄화물 세라믹스는 Me_xC_y인 것을 특징으로 하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법.

(단, 상기 Me_xC_y은 SiC, TiC, WC, Fe_xC_y, BC 및 이들의 합금으로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상인 것으로서 상기 x와 y는 2~6의 정수이다.)

청구항 8

제 5항에 있어서,

상기 할로겐 가스는 염소가스, 불소가스, 브롬가스 및 요오드가스로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상의 것을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법.

청구항 9

제 5항에 있어서,

상기 탄소화합물 가스를 주입하여 이루어지는 증착의 시간은 0.5~20 시간인 것을 특징으로 하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법.

청구항 10

제 5항에 있어서,

상기 탄소화합물 가스를 주입하여 이루어지는 증착의 온도는 300~2000℃인 것을 특징으로 하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법.

청구항 11

제 5항에 있어서,

상기 탄소화합물 가스의 농도는 0.01~20 부피%인 것을 특징으로 하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법.

청구항 12

제 5항에 있어서,

상기 할로겐 가스의 농도는 0.1~20 부피%인 것을 특징으로 하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법.

청구항 13

제 5항에 있어서,

상기 탄소화합물이 액체 상태로 주입되는 경우에는 비활성기체와의 버블링에 의해 주입되는 것을 특징으로 하는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법.

청구항 14

제 1항 내지 제 4항 중 어느 한 항에 따른 탄소층을 포함하는 탄화물 세라믹스.

청구항 15

제 14항에 따른 탄화물 세라믹스를 포함하여 제조되는 탄화물 세라믹스 합금.

청구항 16

제 15항에 따른 탄화물 세라믹스를 포함하는 기계.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 보다 구체적으로는 탄소층의 조도 및 경도를 향상시키는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 각종 기계부품에 있어 구동 효율을 향상시키기 위하여 접촉부의 마찰에너지를 저감시키는 방법에 대한 중요성이 점차 부각되고 있다. 이러한 기계부품에 저마찰, 내마모 특성을 부여하기 위하여 각종 탄소계열 코팅 기술이 사용되어 왔다. 이중 DLC(diamond like carbon)나 다이아몬드 코팅 방법은 3㎛ 이상의 두께로 두껍게 막을 형성하는 경우 박리되는 문제점이 있으며, 또한 막의 성장 속도 또한 매우 느리고 많은 비용이 드는 문제점이 있었다.

[0003] 이러한 문제를 해결하기 위해 개발된 방법이 CDC(carbide derived carbon) 층을 형성하는 방법인데, 이는 탄소막을 형성하는데 있어서 탄화물 세라믹스를 고온에서 할로겐 가스와 반응시켜 표면의 금속원자를 추출함으로써 잔류 탄소층을 형성하는 방법이며, 이렇게 형성된 탄소층을 통칭하여 CDC층이라 한다. 이러한 CDC 층을 형성하는 방법은 DLC 또는 다이아몬드 코팅에 비해 탄화물 세라믹스 내부의 금속원자 추출을 통해 탄소층을 형성하기 때문에 잔류 응력이 아주 작고 이로 인해 무한한 두께의 탄소 막을 형성할 수 있다. 또한 비정질 또는 다이아몬드 구조를 가지는 탄소층 내부에 OLC(onion like carbon), 그라파이트 또는 CNT의 구조를 가지는 나노사이즈의 결정이 존재하기 때문에 매우 낮은 마찰계수를 갖게 되는 장점이 있다.

[0004] 그러나 CDC 막은 성막 이후 표면과 내부에 금속원자의 추출로 인한 공극이 존재하게 되며, 이러한 공극의 영향으로 DLC등에 의해 형성된 탄소막에 비해 조도가 좋지 않고, 경도가 낮은 문제점이 있었다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 상술한 문제점을 해결하기 위해 안출된 것으로서, 본 발명의 목적은 탄화물 세라믹스를 소재로 하는 기계부품에 코팅되는 탄소층에 있어서, 경도가 향상된 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층을 제공하는 것이다. 또한 상기 탄소층의 조도 및 경도를 향상시키는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법을 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 위와 같은 과제를 해결하기 위한 본 발명의 한 특징에 따른 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층은 금속 원자가 이탈되어 형성된 공극을 포함하며, 상기 공극은 탄소로 충전된 것을 포함한다.

[0007] 또한 상기 탄화물 세라믹스는 Me_xC_y인 것을 특징으로 하며 다만, 상기 Me_xC_y은 SiC, TiC, WC, Fe_xC_y, BC 및 이들의 합금으로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상인 것으로서 상기 x와 y는 2~6의 정수이다.

[0008] 또한 상기 탄소는 메탄, 아세틸렌, 알코올류, 케톤류, 유기염소계 화합물 및 페놀류로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상의 탄소화합물로부터 분해되어 충전되는 것을 특징으로 한다.

[0009] 또한 상기 탄소층은 1~100nm크기의 다이아몬드, 그라파이트, CNT 및 OLC로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상의 구조를 가지는 탄소 결정을 더 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0010] 본 발명의 또 다른 특징에 따른 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법은 할로겐 가스를 주입하여 이루어지는 탄화물 세라믹스 탄소층 제조방법에 있어서, 탄소화합물 가스를 주입하여 상기 탄화물 세라믹스에 증착하는 단계를 포함한다.

[0011] 또한 상기 탄소화합물은 메탄, 아세틸렌, 알코올류, 케톤류, 유기염소계 화합물 및 페놀류로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상인 것을 특징으로 한다.

[0012] 또한 상기 탄화물 세라믹스는 Me_xC_y인 것을 특징으로 하며, 다만 상기 Me_xC_y은 SiC, TiC, WC, Fe_xC_y, BC 및 이들의 합금으로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상인 것으로서 상기 x와 y는 2~6의 정수이다.

[0013] 또한 상기 할로겐 가스는 염소가스, 불소가스, 브롬가스 및 요오드가스로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상의 것을 포함하여 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0014] 또한 상기 탄소화합물 가스를 주입하여 이루어지는 증착의 시간은 0.5~20 시간인 것을 특징으로 한다.

[0015] 또한 상기 탄소화합물 가스를 주입하여 이루어지는 증착의 온도는 300~2000℃인 것을 특징으로 한다.

[0016] 또한 상기 탄소화합물 가스의 농도는 0.01~20 부피%인 것을 특징으로 한다.

[0017] 또한 상기 할로겐 가스의 농도는 0.1~20 부피%인 것을 특징으로 한다.

[0018] 또한 상기 탄소화합물이 액체 상태로 주입되는 경우에는 비활성기체와의 버블링에 의해 주입되는 것을 특징으로 한다.

[0019] 본 발명의 또 다른 특징에 따른 탄화물 세라믹스는 상기 탄소층을 포함한다.

[0020] 본 발명의 또 다른 특징에 따른 탄화물 세라믹스 합금은 상기 탄화물 세라믹스를 포함하여 제조된다.

[0021] 본 발명의 또 다른 특징에 따른 기계는 상기 탄화물 세라믹스를 포함한다.

발명의 효과

[0022] 본 발명에 따른 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층 및 이의 제조방법은 공극의 발생을 억제함으로써 탄소층의 경도를 향상시킬 수 있다. 또한 상기 탄소층은 표면에 마찰계수가 저하된 탄소층의 제공이 가능하다. 또한 마모율이 감소되어 내구성을 향상시키는 탄소층의 제공이 가능하다. 또한 표면의 거칠기가 개량된 탄소층의 제공이 가능하다. 그러므로 본 발명에 따른 탄화물 세라믹스 탄소층 및 이의 제조방법을 사용하여 제조된 탄소층이 기계 등의 부품에 적용되는 경우 해당되는 접촉부 등의 경도 향상, 마찰계수 저하 및 마모율 저하 등이 가능하여 해당 기계의 전체적인 수명 향상이나 내구성 향상 등에 기여할 수 있다. 이러한 본 발명에 의해 우주항공산업이나 메카니컬 씰, 회전기계, 대형 플랜트 산업 등과 같은 탄화물 세라믹스가 적용되는 산업 분야에 획기적 발전이 기대된다.

도면의 간단한 설명

[0023] 도 1은 실시예 1과 비교예 1에 따른 탄소층의 표면을 비교한 SEM 사진이다.

도 2는 실시예와 비교예에 따른 탄소층의 두께를 비교하는 그래프이다.

도 3은 실시예의 경우 탄소층의 시간에 따른 두께 변화를 보여주는 SEM 사진이다.

도 4는 실시예와 비교예에 따른 탄소층의 거칠기를 비교하는 그래프이다.

도 5는 실시예와 비교예에 따른 탄소층의 거칠기를 비교하는 SEM 사진이다.

도 6은 실시예와 비교예에 따른 탄소층 표면의 마찰계수를 비교한 그래프이다.

도 7은 실시예와 비교예에 따른 탄소층 표면의 마모율을 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0024] 일반적으로 각종 기계부품의 접촉부는 다른 부품 등과 결합되는 경우 마찰 및 마모에 의한 손상이 수반되게 된다. 이때 이러한 손상 정도를 감소시키고자 접촉부의 마찰에너지를 저감시키려는 노력이 많이 시도되었다. 이중 탄화물 세라믹스를 사용하거나 탄화물 세라믹스로 코팅되는 기계부품에서는 상기 탄화물 세라믹스를 고온에서 할로겐 가스와 반응시켜 표면에 탄소층을 형성시키는 방법이 있는데, 이러한 방법으로 얻어진 탄소층을 통칭하여 CDC(Carbide derived carbon)라 하며, 이러한 CDC 탄소층은 그 두께를 두껍게 코팅하여도 표면이 박리되는 문제가 없다는 장점이 있다. 다만 이렇게 얻어진 탄소층은 그 내부에서 할로겐 가스와의 반응에 의해 금속원자의 이탈을 필연적으로 수반하며, 이탈된 자리에 공극이 형성되게 된다. 이러한 공극으로 인해 상기 탄소층의 거칠기가 증가하고 경도가 약해지는 문제가 있었다. 그리하여 상기 탄화물 세라믹스를 고온에서 할로겐 가스와 반응시켜 표면에 탄소층을 형성하는 방법은 표면 박리의 문제가 없다는 장점에도 불구하고, 상기 공극 및 경도상의 문제로 상용화되지 못하는 문제점이 있었다. 이에 본 발명자들은 경도가 향상된 탄화물 세라믹스 탄소층을 개발하기 위하여 예의 연구 노력한 결과, 본 발명에 따른 탄화물 세라믹스 탄소층 및 이의 제조방법을 발견하여 본 발명을 완성하였다.

[0025] 구체적으로 본 발명에 따른 탄화물 세라믹스 탄소층은 금속 원자가 이탈되어 형성된 공극을 포함하며, 상기 공극은 탄소로 충전된 것일 수 있다.

[0026] 상기 탄화물 세라믹스는 Me_xC_y인 것이 바람직하며, 상기 Me_xC_y는 SiC, TiC, WC, Fe_xC_y, BC 및 이들의 합금으로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다. 또한 상기 x와 y는 바람직하게는 2~6의 정수일 수 있다. 또한 상기 탄화물 세라믹스는 단결정, 다결정, 소결체 및 혼합 소결체를 모두 포함할 수 있다. 또한 상기 이탈되는 금속 원자는 Si, Ti, W, Fe 및 B로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다.

[0027] 상기 탄화물 세라믹스 탄소층(CDC, carbide derived carbon)은 할로겐 가스를 주입하여 탄화물 세라믹스와 반응시켜 형성된 것일 수 있다.

[0028] 상기 탄소층이 할로겐 가스와 반응하게 되면 금속 원자가 이탈되어 상기 공극이 형성될 수 있다.

[0029] 상기 금속 원자가 이탈되어 형성된 공극으로 인해 상기 탄소층의 경도가 약해질 수 있지만, 본 발명에 따른 탄소층은 탄소로 충전 되어 경도가 향상될 수 있다.

[0030] 상기 공극이 탄소로 충전되는 경우에는 탄소로 충전되기 이전보다 탄소층의 전체적인 경도가 향상될 수 있는데, 이는 상기 공극을 탄소로 충전하게 되어 상기 탄소가 탄소층 전체를 지탱하는 역할을 수행할 수 있고, 이를 통해 탄소층의 전체적인 경도가 향상될 수 있다.

[0031] 상기 충전되는 탄소는 탄소화합물의 분해로 인해 생성된 탄소일 수 있다.

[0032] 상기 탄소 화합물은 메탄, 아세틸렌, 알코올류, 케톤류, 유기염소계 화합물 및 페놀류로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상의 탄소화합물일 수 있다. 또한 상기 알코올류는 알코올류에 해당하는 것이라면 특별한 제한이 있는 것은 아니지만, 바람직하게는 메탄올, 에탄올, 이소프로필알코올, 부틸알코올, 에틸렌글리콜, 프로필렌글리콜 및 글리세롤로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다. 또한 상기 케톤류는 케톤류

에 해당하는 것이라면 특별한 제한이 있는 것은 아니지만, 바람직하게는 아세톤, 메틸에틸케톤, 에틸이소프로필케톤, 메틸이소부틸케톤 및 부타논으로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다. 또한 상기 유기염소계 화합물은 유기염소계 화합물에 해당하는 것이라면 특별한 제한이 있는 것은 아니지만, 바람직하게는 메틸클로라이드, 클로로포름, 사염화탄소(테트라클로라이드), 메틸클로로포름, 트리클로로프로펜 및 에틸렌디클로라이드로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다. 또한 상기 페놀류는 페놀류에 해당하는 것이라면 특별한 제한이 있는 것은 아니지만, 바람직하게는 페놀, 비스페놀, 알킬페놀 및 노닐페놀로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다.

[0033] 상기 탄소를 충전시키는데 쓰이는 탄소화합물은 액체 또는 기체 상태로 상기 탄화물 세라믹스와 반응할 수 있으며, 고온의 조건에서 기체 상태로 상기 탄화물 세라믹스와 반응시키는 것이 탄소를 용이하게 분해할 수 있어 바람직하다. 다만, 상기 탄소화합물을 액체 상태로 반응시키는 경우에도 비활성기체와 함께 버블링의 방법 등을 통해 기화시켜 탄화물 세라믹스와 반응시킬 수 있다. 상기 비활성기체는 주기율표상 18족에 해당하는 원소라면 특별한 제한이 없으나, 바람직하게는 헬륨, 네온, 아르곤, 크립톤, 제논 및 라돈으로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다.

[0034] 상기 탄소층은 1~100nm크기의 다이아몬드, 그라파이트, CNT 및 OLC로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상의 구조를 가지는 탄소 결정을 더 포함할 수 있다. 이러한 구조를 가진 탄소 결정으로 인해 탄소층의 경도 및 마찰계수 저감 효과를 보여 탄소층의 전체적인 기계적 물성 향상에 바람직하다.

[0035] 그러므로 본 발명에 따른 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층은 금속원자가 이탈된 공극이 탄소로 충전되며, 상기 구조를 가지는 탄소 결정을 포함하기 때문에 경도가 향상된 탄화물 세라믹스 탄소층일 수 있다.

[0036] 본 발명의 또 다른 특징에 따른 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법은 할로겐 가스를 주입하여 이루어지는 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층 제조방법에 있어서, 탄화물 가스를 주입하여 상기 탄화물 세라믹스에 증착하는 단계를 포함할 수 있다.

[0037] 상기 탄화물 세라믹스는 Me_xC_y인 것이 바람직하며, 상기 Me_xC_y는 SiC, TiC, WC, Fe_xC_y, BC 및 이들의 합금으로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다. 또한 상기 x와 y는 바람직하게는 2~6의 정수일 수 있다. 또한 상기 탄화물 세라믹스는 단결정, 다결정, 소결체 및 혼합 소결체를 모두 포함할 수 있다.

[0038] 상기 할로겐 가스는 주기율표상 할로겐 족에 속하는 원소들이 가스로 존재하는 경우라면 특별한 제한이 있는 것은 아니지만, 바람직하게는 염소가스, 불소가스, 브롬가스 및 요오드가스로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다.

[0039] 상기 탄화물 세라믹스를 증착시키는 과정에서 상기 할로겐 가스를 주입하여 증착하게 되면 두꺼운 두께를 달성하면서도 표면이 박리되는 현상을 방지하는 탄소층의 형성이 가능하다.

[0040] 다만, 이 경우 상기 탄소층 내에서 금속 원자가 분해되어 이탈되기 때문에 공극이 형성될 수 있다. 이러한 공극의 발생으로 인해 탄소층의 전체적인 경도를 떨어뜨리는 문제점이 있다.

[0041] 하지만 본 발명에 따른 상기 탄화물 세라믹스로부터 유도된 탄소층의 제조방법을 사용하여 탄소층을 제조하게 되면, 상기 금속원자의 이탈이 발생하는 순간 형성되는 활성화된 탄소원자에 고온에서 활성화된 탄소화합물이 결합하여 결정구조를 유지하며 성장하게 된다. 이렇게 성장된 결정으로 인해 제조과정에서 발생하는 공극이 감소되며, 공극이 발생하더라도 상기 탄소화합물로부터 분해된 탄소가 상기 공극에 충전될 수 있다. 이렇게 결정구조가 성장하여 공극의 발생을 감소시키면서, 또 한편으로 발생된 공극에는 탄소가 충전되면 공극으로 인해 떨어지는 탄소층의 전체적인 경도를 향상시킬 수 있어 기계적인 물성 향상에 바람직하다.

[0042] 상기 탄소화합물은 액체 상태로 주입될 수도 있지만, 본 발명에 따른 상기 탄화물 세라믹스 탄소층 제조방법에서는 증착 과정에서 효율적으로 주입하기 위해 기체 상태로 주입되는 것이 바람직하다. 그러므로 바람직하게는 상기 탄소화합물이 액체 상태인 경우에는 비활성기체를 액체에 통과시키는 버블링의 방법으로 기화시킨 후 주입할 수 있다. 상기 비활성기체는 주기율표상 18족에 해당하는 원소라면 특별한 제한이 없으나, 바람직하게는 헬륨, 네온 및 아르곤으로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다.

[0043] 상기 탄소화합물 가스의 주입으로 인해 상기 공극에는 탄소가 충전되면서, 한편으로는 결정 구조가 형성될 수 있다. 또한 상기 결정 구조는 그 형성 후 탄소화합물 가스의 계속된 주입으로 인해 성장할 수 있으며, 이러한

성장을 통해 탄소층의 전체적 경도 향상에 이바지할 수 있다.

[0044] 상기 결정 구조는 1~100nm 크기의 다이아몬드, 그라파이트, CNT 및 OLD로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상의 구조를 가지는 탄소 결정을 형성할 수 있으며, 이러한 구조를 가지는 탄소 결정으로 인해 탄소층의 경도 및 마찰계수 저감 효과를 보여 기계적 물성 향상에 바람직하다. 상기 탄소화합물은 메탄, 아세틸렌, 알코올류 및 케톤류, 유기염소계 화합물 및 페놀류로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다.

[0045] 또한 상기 알코올류는 알코올류에 해당하는 것이라면 특별한 제한이 있는 것은 아니지만, 바람직하게는 메탄올, 에탄올, 이소프로필알코올, 부틸알코올, 에틸렌글리콜, 프로필렌글리콜 및 글리세롤로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다. 또한 상기 케톤류는 케톤류에 해당하는 것이라면 특별한 제한이 있는 것은 아니지만, 바람직하게는 아세톤, 메틸에틸케톤, 에틸이소프로필케톤, 메틸이소부틸케톤 및 부타논으로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다. 또한 상기 유기염소계 화합물은 유기염소계 화합물에 해당하는 것이라면 특별한 제한이 있는 것은 아니지만, 바람직하게는 메틸클로라이드, 클로로포름, 사염화탄소(테트라클로라이드), 메틸클로로포름, 트리클로로프로펜 및 에틸렌디클로라이드로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다. 또한 상기 페놀류는 페놀류에 해당하는 것이라면 특별한 제한이 있는 것은 아니지만, 바람직하게는 페놀, 비스페놀, 알킬페놀 및 노닐페놀로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상일 수 있다.

[0046] 상기 탄소화합물 가스는 할로겐 가스의 주입으로 인해 금속 원자가 탄소층에서 이탈되어 공극이 형성 된 후, 상기 공극에 탄소를 충전하는 것이라면 그 주입의 시기 및 할로겐 가스와의 주입 간격은 특별한 제한이 없다. 다만, 경제성 및 효율성 등을 고려하여 상기 탄소화합물 가스와 할로겐 가스는 동시에 주입하는 것이 바람직할 수 있다. 또한 특별한 제한이 있는 것은 아니지만, 상기 탄소화합물 가스로서 할로겐 가스가 주입되는 효과를 동시에 달성할 수 있는 것이라면 상기 할로겐 가스의 주입 없이 탄소화합물 가스만을 주입하여 증착 시킬 수 있다.

[0047] 상기 탄소화합물 가스를 주입하여 이루어지는 증착의 시간은 0.5~20 시간인 것이 바람직하다. 상기 증착의 시간이 0.5 시간 미만인 경우 탄소를 충분한 양으로 공극에 충전할 수 없어 바람직하지 않다. 또한 상기 증착의 시간이 20 시간을 초과하게 되면 결정이 지나치게 성장되어 탄소층의 기본적인 물리적 화학적 성질에 변화를 줄 수 있음과 동시에 공극 감소로 인한 반응가스의 침투가 어려워지게 되고 코팅층 형성 속도가 느려지게 되어 바람직하지 않다. 또한 상기 증착 시간이 20 시간을 초과하게 되면 본 발명에서 달성하려는 경도 향상의 충분한 효과를 달성하였음에도 불구하고 지나치게 많은 시간 및 제조비용을 소비하는 것이 되어 비효율적이므로 바람직하지 않다. 또한 상기 증착의 시간을 0.5~20 시간의 범위에서 수행하여야만 종래의 CDC 층 형성 방법에 비해 짧은 시간으로도 충분한 경도 향상 및 탄소층으로서 기능할 수 있는 충분한 두께 증가의 효과를 달성할 수 있어 바람직하다.

[0048] 상기 탄소화합물 가스를 주입하여 이루어지는 증착의 온도는 300~2,000℃인 것이 바람직하다. 상기 증착의 온도가 300℃ 미만인 경우에는 충분한 증착이 수행될 수 없어 바람직하지 않고, 상기 증착의 온도가 2000℃를 초과하는 경우에는 지나치게 높은 온도로 말미암아 탄소층의 물리적 또는 화학적 변화를 야기할 수 있어 바람직하지 않다. 특히 본 발명에 사용되는 탄소화합물에 어떤 것인지에 따라 상기 온도에 차이가 있을 수 있으며, 상기 SiC의 경우에는 850~1600℃인 것이 바람직하고, 상기 TiC의 경우에는 350℃~1200℃인 것이 바람직하다. 이는 탄화물 세라믹스의 종류에 따라 반응 가능 온도가 다르기 때문이다.

[0049] 상기 탄소화합물 가스의 농도는 0.01 ~ 20 부피%인 것이 바람직하다. 상기 탄소화합물 가스의 농도가 0.01 부피% 미만인 경우 탄소화합물의 분해 및 증착으로 인한 공극 감소 효과가 미미하여 바람직하지 않으며, 20부피%를 초과하는 경우 탄소의 과다 증착으로 제품 표면에 증착막이 발생하여 탄소층 막의 성장을 방해하며 물성에 영향을 주게 되므로 바람직하지 않다.

[0050] 상기 할로겐 가스의 농도는 0.1~ 20 부피%인 것이 바람직하다. 상기 할로겐 가스의 주입 농도가 0.1 부피% 미만인 경우에는 증착으로 소요되는 시간이 지나치게 길어질 수 있어 바람직하지 않고, 상기 할로겐 가스의 주입 농도가 20 부피%를 초과하는 경우에는 금속원자 추출 후 잔류한 탄소 원자의 재결합이 힘들어 공극이 크게 증가하며, 탄화물 가스의 증착을 통한 효과를 기대하기 힘들어 바람직하지 않다.

[0051] 본 발명에 따른 상기 탄화물 세라믹스 탄소층 제조방법에서는 기체의 농도 조절을 위하여 아르곤, 질소 및 헬륨으로 이루어지는 군 중에서 선택된 어느 하나 이상의 가스를 첨가할 수 있다. 또한 상기 탄소층의 결정성 향상을 위하여 수소 가스를 첨가할 수 있다.

[0052] 그러므로 본 발명에 따른 탄화물 세라믹스 탄소층 제조방법에 의해 탄소층을 제조하는 경우에는 할로겐 가스와 탄화물 세라믹스가 반응하여 형성된 공극을 탄소로 충전할 수 있고, 이를 통해 탄소층의 전체적인 경도 향상을

달성할 수 있다.

[0053] 본 발명의 또 다른 특징에 따른 탄화물 세라믹스는 본 발명에 따른 상기 탄소층을 포함하는 것일 수 있다. 즉, 상기 탄화물 세라믹스는 할로겐 가스와 반응하여 형성된 공지의 탄소층을 모두 포함하며, 여기에 더하여 본 발명과 같이 할로겐 가스와 탄화물 세라믹스가 반응하여 금속 원자가 이탈되어 형성된 공극이 탄소로 충전된 탄소층을 포함하는 탄화물 세라믹스일 수 있다.

[0054] 본 발명의 또 다른 특징에 따른 탄화물 세라믹스 합금은 상기 탄화물 세라믹스 이외에도 상기 탄화물 세라믹스를 포함하여 제조되는 공지의 모든 탄화물 세라믹스 합금이 포함될 수 있다. 상기 합금의 제조는 당업계에 적용되는 공지의 제조방법에 의해 제조된 합금이 모두 포함되며, 상기 합금의 제조에 사용되는 금속은 탄화물 세라믹스의 합금에 의해 달성하려는 효과에 맞는 모든 금속이 적용될 수 있어 합금의 제조시 사용되는 상기 금속의 종류에는 특별한 제한이 없다.

[0055] 본 발명의 또 다른 특징에 따른 기계는 본 발명에 따른 상기 탄화물 세라믹스를 포함하는 것일 수 있다. 상기 기계는 상기 탄화물 세라믹스를 포함하는 것으로서, 당업계에 적용되는 공지의 제조방법에 의해 제조되는 모든 기계를 포함하는 것일 수 있다. 구체적으로는 접촉부를 포함하는 기계 및 이의 부품을 포함할 수 있다. 또한 우주항공 산업에 쓰이는 기계, 우주항공기 및 이들의 부품 등을 포함할 수 있다. 또한 바람직한 일실시예로서 메카니컬 씰, 컴프레셔, 베어링, 모터 등을 포함할 수 있다.

[0056] 이하 본 발명을 바람직한 실시예를 참고로 하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 상세히 설명한다. 그러나 본 발명은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[0057] **실시예**

[0058] **실시예 1**

[0059] 출발물질인 탄화물 세라믹스는 고온소결된 SiC 다결정 기판을 사용하였다. 이러한SiC 다결정 기판을 튜브형 전기로에 통과시켰으며, 전기로의 온도는 1,000℃로 가열하였다.

[0060] 그리고 1,000℃로 가열되는 순간에 탄소화합물로서 염소와 메탄으로 분해되어 할로겐 가스의 역할도 수행할 수 있는 액상클로로포름을 아르곤 가스와 버블링시키면서 주입하였다. 이러한 버블링에 의해 액상 클로로포름은 기화되어 전기로에 투입되었다. 이때 상기 액상클로로포름은 기화 후 5 부피%가 되도록 조절하여 아르곤 가스와 버블링 시켰다. 이렇게 버블링된 클로로포름을 전기로에 투입한 후 고온소결된 SiC 다결정 기판과 1시간 동안 반응시켰다. 이렇게 1시간 동안 반응시킨 후 염소가스와 버블링된 클로로포름의 주입을 중단하였다. 다만, 아르곤 가스와 수소가스만 투입되는 상황을 유지하여 800℃의 온도로 2시간 동안 반응시켜 잔류 염소화합물을 제거하여 최종 탄소층이 코팅된 시편을 제작하였다.

[0061] **실시예 2**

[0062] 상기 버블링된 클로로포름을 주입하여 고온소결된 SiC 다결정 기판과 반응 시키는 시간을 15분으로 한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법을 사용하여 시편을 제작하였다.

[0063] **실시예 3**

[0064] 상기 버블링된 클로로포름을 주입하여 고온소결된 SiC 다결정 기판과 반응 시키는 시간을 30분간으로 한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법을 사용하여 시편을 제작하였다.

[0065] **실시예 4**

[0066] 상기 버블링된 클로로포름을 주입하여 고온소결된 SiC 다결정 기판과 반응 시키는 시간을 2시간으로 한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법을 사용하여 시편을 제작하였다.

[0067] **실시예 5**

[0068] 상기 버블링된 클로로포름을 주입하여 고온소결된 SiC 다결정 기판과 반응 시키는 시간을 4시간으로 한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법을 사용하여 시편을 제작하였다.

[0069] **비교예**

[0070] **비교예 1**

[0071] 상기 버블링된 클로로포름을 주입하지 않고 할로겐 가스로서 염소 가스를 5 부피%의 농도로 주입한 것을 제외하고는 상기 실시예 1과 동일한 방법을 사용하여 시편을 제작하였다.

[0072] **비교예 2**

[0073] 상기 버블링된 클로로포름을 주입하지 않고 할로겐 가스로서 염소 가스를 5 부피%의 농도로 주입한 것을 제외하고는 상기 실시예 2와 동일한 방법을 사용하여 시편을 제작하였다.

[0074] **비교예 3**

[0075] 상기 버블링된 클로로포름을 주입하지 않고 할로겐 가스로서 염소 가스를 5 부피%의 농도로 주입한 것을 제외하고는 상기 실시예 3과 동일한 방법을 사용하여 시편을 제작하였다.

[0076] **비교예 4**

[0077] 상기 버블링된 클로로포름을 주입하지 않고 할로겐 가스로서 염소 가스를 5 부피%의 농도로 주입한 것을 제외하고는 상기 실시예 4와 동일한 방법을 사용하여 시편을 제작하였다.

[0078] **비교예 5**

[0079] 상기 버블링된 클로로포름을 주입하지 않고 할로겐 가스로서 염소 가스를 5 부피%의 농도로 주입한 것을 제외하고는 상기 실시예 5와 동일한 방법을 사용하여 시편을 제작하였다.

[0080] **실험예**

[0081] **<실험예 1: 탄소층 표면의 외관 측정 실험>**

[0082] 상기 실시예 1 및 비교예 1의 경우, 각 시편의 표면을 SEM 사진을 통하여 관찰하였다. 이의 결과는 하기 도 1에 나타냈다.

[0083] 하기 도 1에서 확인할 수 있는 바와 같이 실시예 1의 경우인 (a)는 비교예 1의 경우인 (b)에 비해 표면에 공극이 적게 형성되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 염소 가스에 의해 탄소층에 형성된 공극이 클로로포름으로부터 분해된 탄소에 의해 충전되었기 때문이다.

[0084] **<실험예 2: 탄소층 표면의 두께 측정 실험>**

[0085] 상기 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1 내지 비교예 5의 경우를 가지고 각 탄소층의 두께를 측정하는 실험을 진행하였다. 이때 그 두께는 투과전자현미경(SEM)을 사용하여 측정하였다. 이의 결과는 하기 표 1과 도 2 및 도 3에 나타냈다.

표 1

[0086]

반응 시간	탄소층 두께(㎛)	
	실시예	비교예
15분(실시예 2, 비교예 2)	0.9	3.5
30분(실시예 3, 비교예 3)	4.8	19
1시간(실시예 1, 비교예 1)	10.3	21.5
2시간(실시예 4, 비교예 4)	18.0	26.5
4시간(실시예 5, 비교예 5)	36.5	31.5

[0087] 상기 표 1에서 확인할 수 있는 바와 같이 상기 실시예는 반응 시간이 경과할수록 그 두께가 급격한 변화 없이 점진적으로 증가하는 것을 확인할 수 있었다. 반면에 비교예의 경우에는 15분에서 30분 사이인 반응 초반에 급격한 두께의 변화가 관찰되었고, 그 이후 시간이 지나도 두께가 증가하는 경향이 감소하여 4시간 이후로는 오히려 실시예의 경우보다 두께가 얇아지는 것을 확인할 수 있었다. 이는 탄소층의 형성시 시간의 흐름에 따라 그 두께를 일정하게 조절하기 어려움을 의미하는 것이며, 후반부의 증가율 감소는 탄소층 막 형성시 생기는 공극의 붕괴와 재결합에 기인한 것으로 볼 수 있다. 하지만, 실시예의 경우에는 염소 가스와의 반응으로부터 발생하는 공극이 버블링된 클로로포름으로부터 분해된 탄소로 충전되며, 이로 인해 공극율의 변화 없이 탄소층 막을 형성하게 되고 일정한 비율로 두께가 증가함을 보여준다. 또한 실시예의 경우에는 탄소가 공극에 충전되면서 계속된 반응으로 결정상의 성장을 동반하기 때문에 그 두께가 반응 시간에 따라 일정하게 증가하는 경향을 나타내게 된다. 하지만, 비교예의 경우에는 결정상의 성장이 없기 때문에 어느 정도 두께가 급격히 증가하다가 그 증가되는 경향이 현격하게 감소하게 된다. 이러한 결과는 하기 도 2 및 도 3에 의해서도 확인할 수 있는데, 도 2는 이러한 두께의 변화 패턴에 대한 기울기를 보여주는 그래프로서 실시예의 경우에는 일정한 기울기로 계속적으로 증가하는 경향을 확인할 수 있음에 반하여, 비교예의 경우에는 반응 초반에 급격한 증가 양상을 보이다가 30분 이후부터는 증가 경향이 현격하게 둔화 됨을 확인할 수 있었다. 또한 하기 도 3은 실시예의 경우 탄소층의 두께 변화를 관찰한 SEM 사진인데, 탄소층의 두께가 시간의 흐름에 따라 대략 2배 내외로 정비례하여 증가하는 경향을 보임을 확인할 수 있었다.

[0088] 이러한 실험 결과로 미루어 보아 본 발명에 따라 염소 가스 및 클로로포름을 주입하여 SiC과 반응시키는 경우로서 구체적으로는 할로겐 가스와 탄소화합물을 탄화물 세라믹스와 반응시키게 되면 반응시간에 따라 두께가 일정한 양상으로 증가하게 되는 탄소층의 제조가 가능함을 확인하였다.

[0089] **<실험예 3: 탄소층 표면의 거칠기 측정 실험>**

[0090] 상기 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1 내지 비교예 5에 따른 탄소층의 거칠기를 측정하는 실험을 진행하였다. 이의 실험은 2차원 형상기를 이용하여 RMS 거칠기를 측정하였다. 이의 결과는 하기 표 2와 도 4 및 도 5에 나타냈다.

표 2

[0091]

반응 시간	탄소층의 거칠기(nm)	
	실시예	비교예
15분(실시예 2, 비교예 2)	169	2712
30분(실시예 3, 비교예 3)	92	2816
1시간(실시예 1, 비교예 1)	103	3029
2시간(실시예 4, 비교예 4)	128	3087
4시간(실시예 5, 비교예 5)	193	3129

[0092] 상기 표 2에서 확인할 수 있는 바와 같이 30분인 실시예 3의 경우가 가장 낮은 거칠기를 나타내며, 전체적으로도 비교예의 경우에 비해서 15배 내지 30배 이상 낮은 수치를 보여 표면이 현저하게 매끈해 지는 것을 확인해 줄 수 있었다. 이는 공극이 탄소로 충전되면서 비교예의 경우보다 실시예의 경우가 표면 거칠기가 현저하게 개량되는 것을 확인한 것이다. 또한 도 4의 그래프에서도 비교예의 경우보다 실시예의 경우가 거칠기의 수치가 현저하게 낮아 표면이 거칠지 않고 매끈한 탄소층의 제조가 가능한 것임을 확인한 것이다. 또한 도 5의 SEM 사진에서도 비교예의 경우에는 충전되지 않은 공극이 그대로 나타나는 것을 확인할 수 있어 그 표면이 거칠다는 것을 확인할 수 있었다(도 6의 a, b 참조). 이에 반해 실시예의 경우에는 충전된 공극으로 인해 표면이 매끈한 것을 확인할 수 있었으며, 한편으로는 실시예5(도 6의 d)의 경우가 실시예 1의 경우(도 6의 c)보다 충전되지 않은 공극이 현저하게 줄어드는 결과를 확인할 수 있었다.

[0093] 그러므로 본 실험에 의해 실시예의 경우가 비교예의 경우보다 표면의 거칠기가 현저하게 개량되어 조도가 우수한 탄소층의 제조가 가능한 것임을 확인할 수 있었다.

[0094] **<실험예 4: 탄소층 표면의 마찰계수 측정 실험>**

[0095] 상기 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1 내지 비교예 5에 따른 탄소층의 마찰계수를 측정하는 실험을 진행하였다. 이의 실험은 ASTM G99-95a 규격에 의해 pin on disk 방식으로 측정하였다. 이의 결과는 하기 도 6에 나타냈다.

[0096] 하기 도 6에 나타난 바와 같이 비교예의 경우와 실시예의 경우 모두 반응 시간이 경과함에 따라 마찰 계수가 현저하게 줄어드는 것을 확인할 수 있었으나, 실시예의 경우가 비교예의 경우보다 초기 마찰 계수 값도 현저하게 낮으며, 반응 시간이 4시간 경과한 실시예 5의 시점에서도 비교예 4의 경우보다 낮음을 확인할 수 있었다.

[0097] 이는 실시예의 경우가 비교예보다 반응 초기에도 마찰 계수 값을 현저하게 낮출 수 있으며, 반응 시간이 경과하여도 마찰 계수가 비교예의 경우보다 낮음을 확인한 것이다.

[0098] 그러므로 본 실험에 의해 실시예의 경우가 비교예의 경우보다 반응 시간의 초반부에도 현저하게 마찰 계수를 낮추는 것으로서 제조 시간을 단축하면서도 탄화물 세라믹스의 마찰 계수를 낮출 수 있어 기계 등의 접촉부에 유용하게 쓰일 수 있음을 확인한 것이다. 이는 충전되는 탄소로 인해 응력이 작아지면서 탄소층의 전체적인 경도도 향상됨에 따른 결과이다.

[0099] **<실험예 5: 탄소층 표면의 마모율 측정 실험>**

[0100] 상기 실시예 1 내지 실시예 5 및 비교예 1 내지 비교예 5에 따른 탄소층의 마모율을 측정하는 실험을 진행하였다. 이의 실험은 2차원 형상기를 사용하여 ASTM G99-95a 방식으로 측정하였다. 이의 결과는 하기 도 7에 나타냈다.

[0101] 하기 도 7에서 확인할 수 있는 바와 같이 반응 초기 마모율에서도 비교예의 경우보다 1.5배 이상 낮은 것임을 확인할 수 있었다. 또한 마찰 계수의 경우와 마찬가지로 반응 시간이 지속되어도 비교예의 경우보다 실시예의 경우가 낮은 것을 확인하였다. 이는 공극에 탄소가 충전됨으로 인해 경도가 향상되어 비교예의 경우보다 마모율

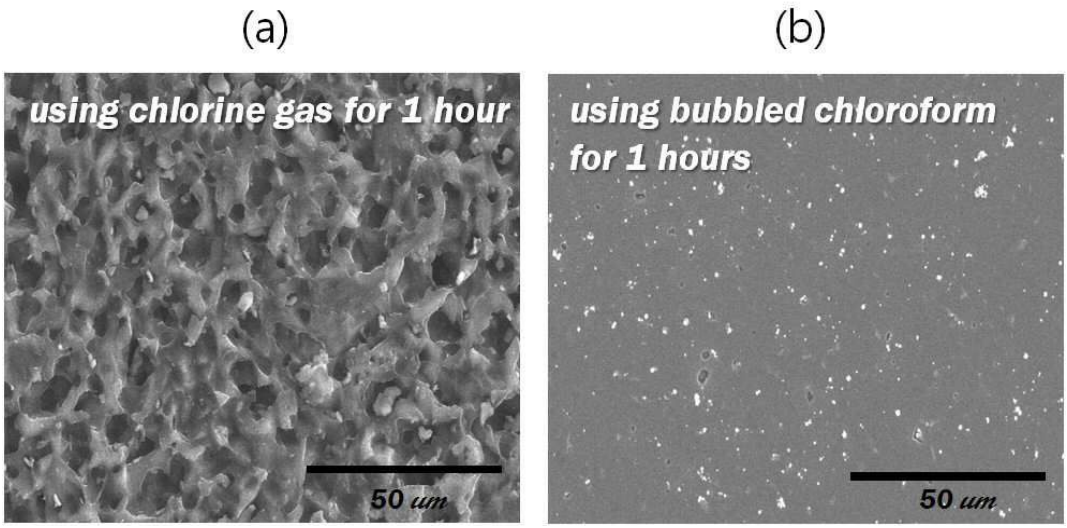
이 개선되는 것으로 볼 수 있다. 즉, 상기 마모율이 현저하게 저하되는 실험 결과는 본 발명에 따른 탄소층이 경도가 향상되었기 때문에 마모될 가능성도 현저하게 낮출 수 있는 것으로 볼 수 있다. 그러므로 이러한 실험 결과를 통해 본 발명에 따른 탄소층의 경도가 현저하게 향상되는 것을 확인할 수 있다.

[0102] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예에 대하여 설명하였지만, 본 발명은 이에 한정되는 것은 아니고, 본 발명의 기술 사상 범위 내에서 여러 가지로 변형하여 실시하는 것이 가능하고, 이 또한 첨부된 특허 청구 범위에 속하는 것은 당연하다.

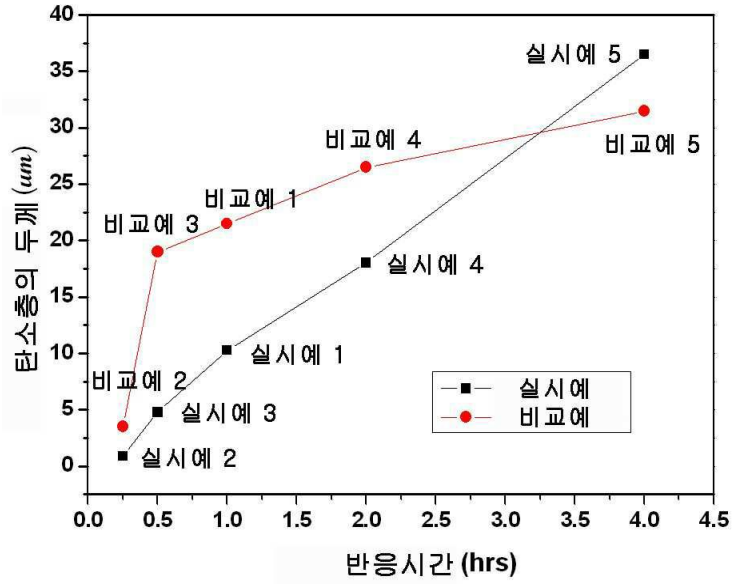
[0103]

도면

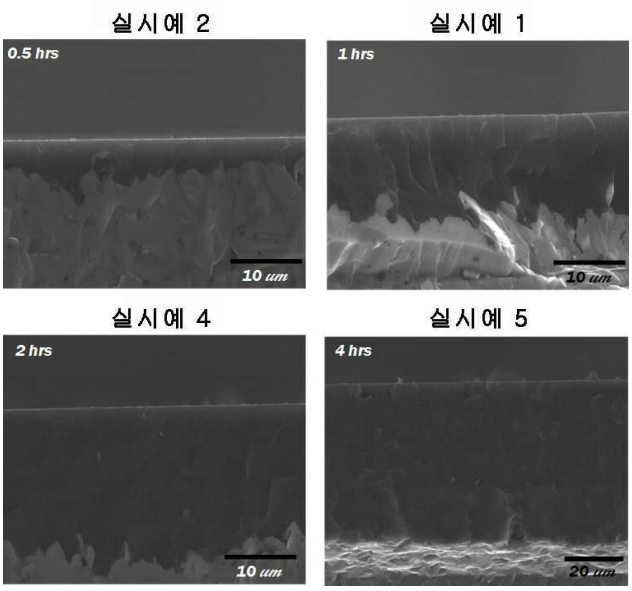
도면1



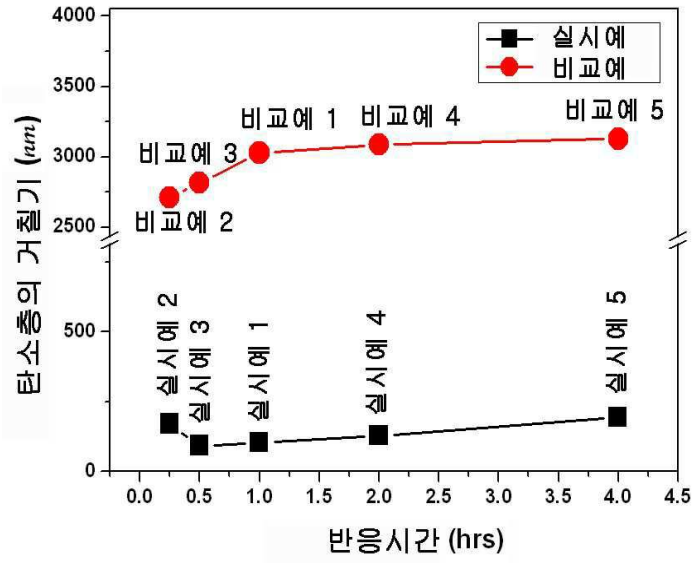
도면2



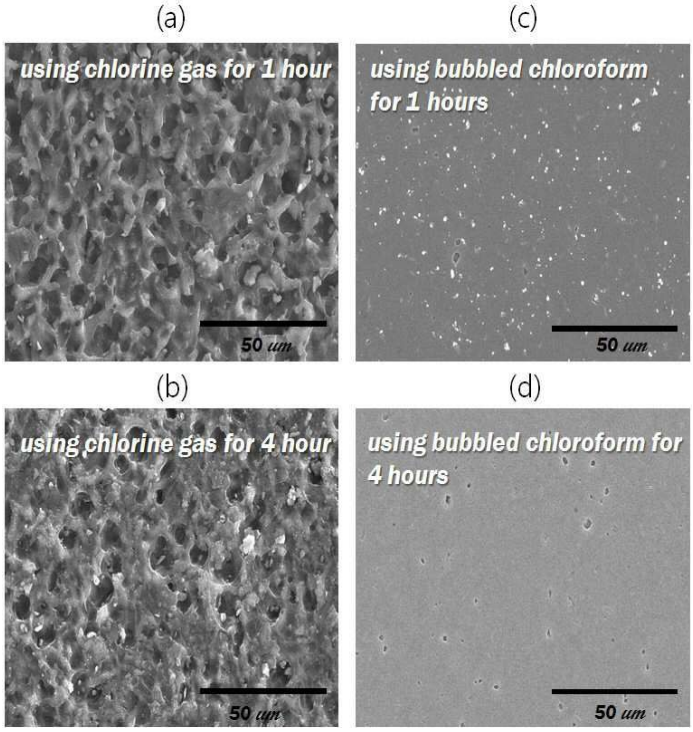
도면3


실시예 2
0.5 hrs
10 um
실시예 1
1 hrs
10 um
실시예 4
2 hrs
10 um
실시예 5
4 hrs
20 um

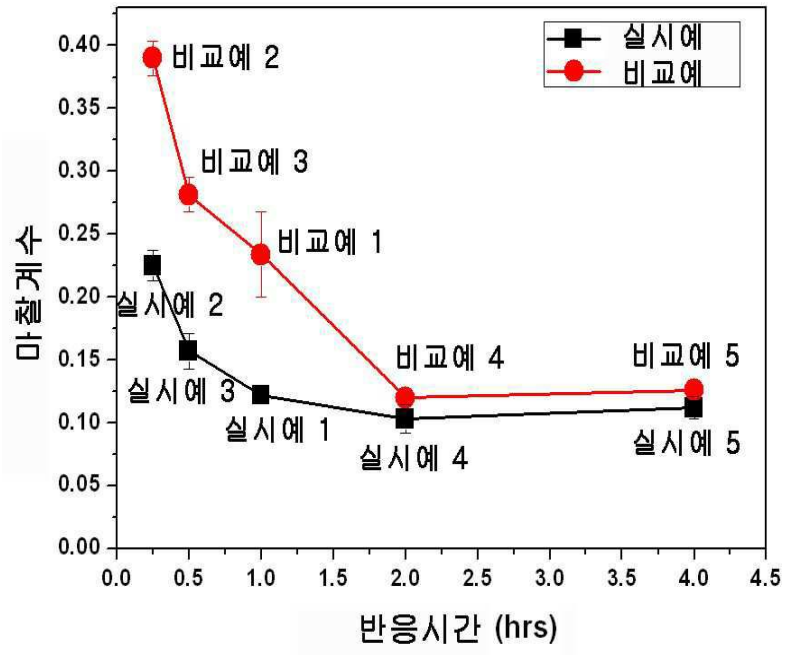
도면4


실시예
비교예
비교예 1
비교예 4
비교예 5
비교예 3
비교예 2
실시예 2
실시예 3
실시예 1
실시예 4
실시예 5
탄소층의 거칠기 (um)
반응시간 (hrs)
4000
3500
3000
2500
500
0
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5

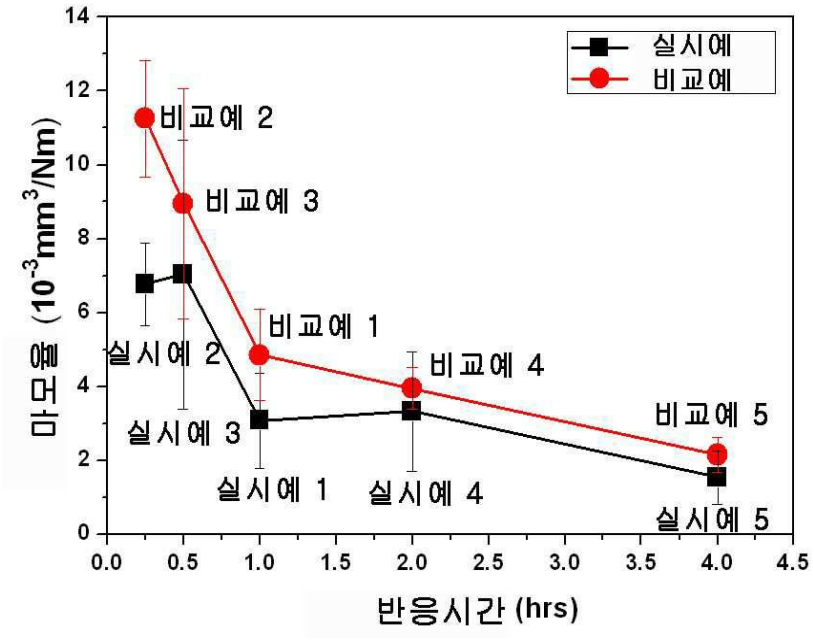
도면5


(a)
using chlorine gas for 1 hour
50 um
(c)
using bubbled chloroform for 1 hours
50 um
(b)
using chlorine gas for 4 hour
50 um
(d)
using bubbled chloroform for 4 hours
50 um

도면6


실시예
비교예
비교예 2
비교예 3
비교예 1
실시예 2
비교예 4
비교예 5
실시예 3
실시예 1
실시예 4
실시예 5
마찰계수
반응시간 (hrs)
0.00
0.05
0.10
0.15
0.20
0.25
0.30
0.35
0.40
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5

도면7


실시예
비교예
비교예 2
비교예 3
비교예 1
비교예 4
비교예 5
실시예 2
실시예 3
실시예 1
실시예 4
실시예 5
마모율 ($10^{-3}mm^3/Nm$)
반응시간 (hrs)
0
2
4
6
8
10
12
14
0.0
0.5
1.0
1.5
2.0
2.5
3.0
3.5
4.0
4.5