(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0123991
(43) 공개일자 2012년11월12일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C04B 35/565 (2006.01) *C04B 38/00* (2006.01)
C04B 35/622 (2006.01) *C04B 35/64* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0041691
(22) 출원일자 2011년05월02일
심사청구일자 2011년05월02일

(71) 출원인
한국기계연구원
대전광역시 유성구 가정북로 156 (장동)
(72) 발명자
송인혁
경상남도 창원시 성산구 외리로34번길 13, 한림푸르지오아파트 102동 1402호 (성주동)
김해두
경상남도 창원시 진해구 진해대로789번길 24, 한솔 솔파크아파트 105동 202호 (석동)
김영욱
서울특별시 도봉구 도봉로136가길 73, 102동 604호 (창동, 북한산한신휴플러스아파트)
(74) 대리인
김기문

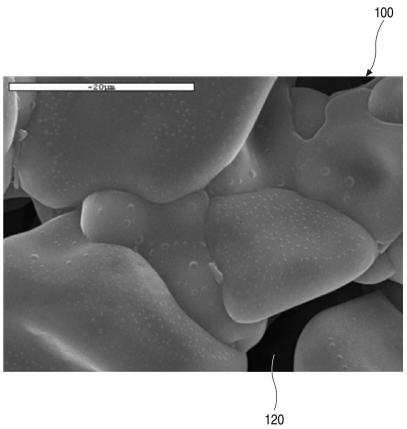
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 **진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재 및 이의 제조방법**

(57) 요 약

본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재는, 탄화규소입자(SiC)와 금속규소(Si)입자와, 2.0 중량% 이하의 카본(C)과, 1.0 내지 5.0 중량% 이하의 보론(B)을 포함하여 구성되고 미세기공이 형성됨을 특징으로 한다. 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 제조방법은, 14 내지 30 중량%의 금속규소(Si)입자와, 2.0 중량% 이하의 카본(C)과, 1.0 내지 5.0 중량% 이하의 보론(B)과 잔부(殘部)인 탄화규소입자(SiC) 및 가소제를 준비하는 재료준비단계와, 상기 재료를 혼합하는 재료혼합단계와, 상기 재료를 성형하여 성형체를 형성하는 재료성형단계와. 상기 성형체를 소결하여 미세기공을 구비하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재를 완성하는 소결단계로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

대 표 도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	F00030272010
부처명	지식경제부
연구사업명	차세대 소재성형 기술 개발 사업
연구과제명	기공제어 기술개발 및 응용
주관기관	한국기계연구원 부설 재료연구소
연구기간	2010.07.01 ~ 2011.06.30

특허청구의 범위

청구항 1

탄화규소입자(SiC)와 금속규소(Si)입자와, 2.0 중량% 이하의 카본(C)과, 1.0 내지 5.0 중량% 이하의 보론(B)을 포함하여 구성되고 미세기공이 형성됨을 특징으로 하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재.

청구항 2

14 내지 30 중량%의 금속규소(Si)입자와, 2.0 중량% 이하의 카본(C)과, 1.0 내지 5.0 중량% 이하의 보론(B)과 잔부(殘部)인 탄화규소입자(SiC)를 포함하여 구성되고 미세기공이 형성됨을 특징으로 하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서, 코발트(Co), 철(Fe), 니켈(Ni), 구리(Cu) 중 하나 이상이 더 포함되는 것을 특징으로 하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재.

청구항 4

제 3 항에 있어서, 상기 미세기공은 중공형 기공 형성제의 첨가량과 금속규소(Si)입자의 크기에 따라 기공률이 변화하는 것을 특징으로 하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재.

청구항 5

제 4 항에 있어서, 1.74g/㎤ 이상의 밀도를 갖는 것을 특징으로 하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재.

청구항 6

제 5 항에 있어서, 25㎫ 이상의 굴곡강도를 갖는 것을 특징으로 하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재.

청구항 7

제 6 항에 있어서, 상기 미세기공은 50㎛ 이하의 크기를 갖는 것을 특징으로 하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재.

청구항 8

14 내지 30 중량%의 금속규소(Si)입자와, 2.0 중량% 이하의 카본(C)과, 1.0 내지 5.0 중량% 이하의 보론(B)과 잔부(殘部)인 탄화규소입자(SiC) 및 가소제를 준비하는 재료준비단계와,

상기 재료를 혼합하는 재료혼합단계와,

상기 재료를 성형하여 성형체를 형성하는 재료성형단계와,

상기 성형체를 소결하여 미세기공을 구비하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재를 완성하는 소결단계로 이루어지는 것을 특징으로 하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 제조방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 상기 재료혼합단계는 습식 혼합 공정이 적용됨을 특징으로 하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 제조방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서, 상기 소결단계는,

1600 내지 1800℃의 온도에서 1 내지 3시간동안 실시됨을 특징으로 하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 제조방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서, 상기 소결단계는,

상기 성형체에는 중공형 기공 형성제가 더 포함되며, 상기 중공형 기공 형성제를 이용하여 미세 기공을 형성하는 것을 특징으로 하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 제조방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서, 상기 소결단계에서,

상기 탄화규소입자(SiC) 표면에 형성된 SiO_2는 환원하여 제거됨을 특징으로 하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 제조방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 분말 혼합공정을 이용하고 Si 및 Co, Fe, Ni, Cu 원소 및 합금을 이용하여 결합시켜 높은 강도를 가지며, 소정의 카본을 포함시켜 SiC 입자 주위의 산화물을 환원시킴으로써 결합력이 향상되도록 한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] PDP 또는 LCD 공정에 있어서 웨이퍼(wafer), 전자기판, 필름 등을 가공하거나 이송하기 위해서는 각 공정마다 이들 웨이퍼, 기판, 필름 등을 견고하게 고정해야 하는데, 이와 같은 피흡착물은 얇고 정밀하기 때문에 일반적인 기계적인 척(chuck)으로는 고정이 불가능하며, 다공성 세라믹스(porous ceramic)로 이루어진 진공척(Vacuum chuck)을 사용해야한다.

[0003] 즉 다공성 세라믹소재의 진공척은 진공 펌프의 힘을 이용하여 열린 기공(open pore)에 공기를 흡입하여 피흡착물을 고정하는 방식이다.

[0004] 최근에는 진공척과 관련된 분야 중 진공척에 사용되는 세라믹 재질 자체의 종류와 입도에 관련된 연구가 진행되었다. 산업체에서는 더욱 다양한 종류와 큰 직경의 웨이퍼에 적합한 진공척을 제작하는데 관심을 갖고 있으며, 더욱 정밀한 가공 방법에 대한 연구가 지속되고 있다.

[0005] 일반적으로 흡착판을 구성하는 다공성 세라믹스의 열전도도는 50W/mK 이상인 것이 바람직하다. 반도체 웨이퍼에 연마 가공을 행한다면 상기 흡착판이 쉽게 고온이 되기 때문에 냉매에 의해 냉각을 행하는 경우가 있지만 이 냉매에 의한 냉각 효과를 향상시키기 위해서는 열전도도가 높은 재료가 바람직하기 때문이다.

[0006] 또한 흡착판의 두께는 연마 연삭용 진공척을 구성하는 재료의 열전도율이나 신장 탄성률을 고려해야하며, 5-60㎜가 바람직하다. 흡착판의 두께가 5㎜ 미만일 경우, 흡착 공정시 흡착판이 휘어짐이 발생하기 쉽고, 강도가 저하되어 파손되기 쉬어진다. 한편, 흡착판의 두께가 60㎜를 넘으면 중량이 늘고 연삭 연마용 진공척의 대형화를 초래한다.

[0007] 그리고, 상기 다공성 세라믹스의 기공율은 특별히 한정하지는 않지만 20-50%정도인 것이 바람직하다. 그러나 다공성 소재의 기공 형성거동을 제어함으로서 고강도화 할 수 있다면 기공율을 증가시킴에 따라서 우수한 특성을 형성시킬 수 있다.

[0008] 지지면의 흡착력을 균일하게 유지하기 위하여 흡착판의 기공분포는 일반적으로 수은 함침법에 의해 측정시에 10-40㎛의 평균 기공지름이 적당하며, 흡착판의 원료 세라믹분말의 평균 직경은 30-70㎛인 것이 바람직한 것으로 알려져 있다.

[0009] 이처럼 평균 입경이 30-70㎛의 비교적 큼직한 입자가 바람직한 것은 평균 입경이 클수록 열전도율이 높아지고 비교적 조대한 기공을 형성하여 통기도를 증가시키기가 쉽기 때문이다

[0010] 한편, 진공척용 다공성 세라믹스는 질화알루미늄(AlN), 질화규소(Si_3N_4), 탄화규소(SiC), 탄화지르코늄, 탄화텅스텐, 알루미나, 코디어라이트(Cordierite), 뮬라이트(Mullite) 등으로 특별히 한정하지는 않지만, 이러한 가운데에서 높은 열전도도를 가지며 동시에 염산, 질산, 황산, 불화수소산, 수산화나트륨 등에 대한 내약품성이 우

수한 탄화규소가 바람직할 것으로 예상된다.

[0011] 지금까지의 진공척 소재는 주로 조립의 알루미나 또는 탄화규소 입자를 glass 입자로 저온 소성하여 제작하였으나, 기계적 특성이 열악하고 접착특성도 우수하지 못하며, 열전도도로 낮은 단점을 가지고 있다.

[0012] 또한 지금까지 개발된 다공성 탄화규소는 대부분 필터를 응용 분야로 하고 있으며, 제조공정상으로는, 1) 소결조제로 점토(clay) 등과 같은 무기 결합제(inorganic binder)를 사용하여 고온에서 탄화규소 입자 사이를 결합시켜 소결된 다공성 탄화규소 소재, 2) 규소의 액상 또는 증기상을 탄소 또는 흑연으로 이루어진 다공성 성형체에 침투시키거나 혹은 규소를 카본이 코팅된 탄화규소 다공성 성형체에 침투시켜 규화 반응으로 탄화규소 또는 질화규소를 형성시켜 고온에서 제조된 다공성 반응소결 탄화규소 소재, 3) 탄화규소를 생성할 수 있는 화학 증기를 고온에서 탄화규소 성형체에 침윤시켜 생성된 탄화규소를 결합제로 사용하여 제조된 다공성 탄화규소 소재 등이 있다.

[0013] 이 중 2)에 해당하는 다공성 탄소, 흑연 또는 탄화규소 성형체를 사용하여 다공성 탄화규소 소재를 제조하는 방법은 한국 특허 공개공보 제2004-0088808호, 동 제2005-0122212호, 동 제2004-0082529호, 동 제2006-0073020호, 동 제2004-0049279호, 동 제2004-0049278호, 동 제2002-0069051호, 동 제2002-0068935호 및 한국 등록특허공보 제0629195호, 동 제0485422호에 개시되어 있다.

[0014] 또한, 고온 강도 및 내부식 특성의 향상뿐만 아니라 반도체 공정에 사용될 수 있는 정도의 높은 순도를 갖는 다공성 탄화규소 제조를 위하여, 고순도 용융 규소 또는 규소 증기의 침윤을 이용한 다공성 탄화규소 소재가 개발되었는데, 카본 또는 카본/탄화규소로 이루어진 성형체에 용융 규소 또는 규소 증기의 침윤 방법으로서 미국 특허공보 제3,205,043호, 동 제3,325,346호, 동 제3,348,967호, 동 제4,240,835호, 동 제5,079,195호, 동제4,626,516호, 동 제4,737,328호 및 동 제5,770,262호 등이 알려져 있다.

[0015] 또한, 반응소결 공정은 일반적으로 Si을 침윤시키기 때문에 기공이 막혀 다공성 소재를 제조하기 위한 공정으로는 적합하지 않다. 그러므로 이러한 잔류 Si 제거 공정은 미국 특허공보 제4,525,429호, 동 제4,532,091호, 동 제4,564,496호에서 보여주는 바와 같이, 탄화규소 반응 소결체를 1800 이상의 온도로 가열하여 규소를 액체 또는 기체 상태로 만듦으로써 잔류 Si을 제거하거나, 혹은 탄화규소를 수산화나트륨 (sodium hydroxide) 용액 내에서 끓여 Si을 용해시킴으로써 잔류 Si을 제거할 수 있다.

[0016] 이외에도 성형체에 과잉 graphite를 사용하여 미반응 graphite를 산화시켜 제거하여 다공성 SiC를 제조하는 기술 등은 알려져 있다.

[0017] 그러나 상기와 같이 금속 Si을 이용하는 방법은 모두 반응소결(RBSC, reaction bonded SiC)라고 알려진 공정을 기반으로 한다.

[0018] 즉 반응 소결 공정은 고순도의 SiC와 carbon 또는 carbon으로 이루어진 성형체에 용융 Si을 침윤시키면 Si과 C이 반응하여 형성된 새로운 SiC가 기존의 SiC와 Si 계면에 형성되어 접합성을 증가시키는 공정으로 알려져 있다.

[0019] 그러나 Si과 C의 반응으로 SiC가 형성되는 반응은 발열반응으로 고순도 원료를 사용하지 않으면 계면에서 불순물에 의한 가스 등이 발생되므로 이에 대한 제어가 요구된다. 또한 효율적인 반응소결 공정을 위해서는 탄화규소 표면에 카본 코팅을 하는 방법 등을 활용하여야만 효율적인 반응소결 반응이 일어난다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0020] 본 발명의 목적은 상기와 같은 종래 기술의 문제점을 해결하기 위한 것으로, 분말 혼합공정을 이용하고 Si 및 Co, Fe, Ni, Cu 원소 및 합금을 이용하여 결합시켜 높은 강도를 가지며, 소정의 카본을 포함시켜 SiC 입자 주위의 산화물을 환원시킴으로써 결합력이 향상되도록 한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재 및 이의 제조방법을 제공하는 것에 있다.

[0021] 본 발명의 다른 목적은, 보론 등의 첨가원소, 중공형 기공 형성제 등을 혼합하여 통기도 특성이 극대화되도록 한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재 및 이의 제조방법을 제공하는 것에 있다.

과제의 해결 수단

[0022] 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재는, 탄화규소입자(SiC)와 금속규소(Si)입자와, 2.0 중량% 이하의 카본(C)과, 1.0 내지 5.0 중량% 이하의 보론(B)을 포함하여 구성되고 미세기공이 형성됨을 특징으로 한다.

[0023] 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재는, 14 내지 30 중량%의 금속규소(Si)입자와, 2.0 중량% 이하의 카본(C)과, 1.0 내지 5.0 중량% 이하의 보론(B)과 잔부(殘部)인 탄화규소입자(SiC)를 포함하여 구성되고 미세기공이 형성됨을 특징으로 한다.

[0024] 코발트(Co), 철(Fe), 니켈(Ni), 구리(Cu) 중 하나 이상이 더 포함되는 것을 특징으로 한다.

[0025] 상기 미세기공은 중공형 기공 형성제의 첨가량과 금속규소(Si)입자의 크기에 따라 기공률이 변화하는 것을 특징으로 한다.

[0026] 1.74g/㎤ 이상의 밀도를 갖는 것을 특징으로 한다.

[0027] 25㎫ 이상의 굴곡강도를 갖는 것을 특징으로 한다.

[0028] 상기 미세기공은 50㎛ 이하의 크기를 갖는 것을 특징으로 한다.

[0029] 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 제조방법은, 14 내지 30 중량%의 금속규소(Si)입자와, 2.0 중량% 이하의 카본(C)과, 1.0 내지 5.0 중량% 이하의 보론(B)과 잔부(殘部)인 탄화규소입자(SiC) 및 가소제를 준비하는 재료준비단계와, 상기 재료를 혼합하는 재료혼합단계와, 상기 재료를 성형하여 성형체를 형성하는 재료성형단계와. 상기 성형체를 소결하여 미세기공을 구비하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재를 완성하는 소결단계로 이루어지는 것을 특징으로 한다.

[0030] 상기 재료혼합단계는 습식 혼합 공정이 적용됨을 특징으로 한다.

[0031] 상기 소결단계는, 1600 내지 1800℃의 온도에서 1 내지 3시간 동안 실시됨을 특징으로 한다.

[0032] 상기 소결단계는, 상기 성형체에는 중공형 기공 형성제가 더 포함되며, 상기 중공형 기공 형성제를 이용하여 미세 기공을 형성하는 것을 특징으로 한다.

[0033] 상기 소결단계에서, 상기 탄화규소입자(SiC) 표면에 형성된 SiO_2는 환원하여 제거됨을 특징으로 한다.

발명의 효과

[0034] 본 발명에서는 Si 함침 공정이 아닌 단순 분말 혼합공정을 통해 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재가 제조되며, 보론 등의 첨가원소와 중공형 기공 형성제를 혼합된다.

[0035] 따라서, 열전도도를 유지하면서 통기도의 저하를 최소화할 수 있게 되어 흡착 성능이 향상되는 이점이 있다.

[0036] 또한 소정의 카본을 포함하여 SiC 입자 주위의 산화물을 환원시킴으로써 결합력을 향상시켜 높은 강도를 갖는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0037] 도 1 은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 미세 구조를 나타낸 SEM 사진.

도 2 는 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 제조방법을 나타낸 공정 순서도.

도 3 은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예1에서 시료 1 내지 시료 6의 조성을 나타낸 표.

도 4 는 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예1에서 시료 1 내지 시료 6으로 제조된 다공성 세라믹 소재의 밀도 변화를 나타낸 그래프.

도 5 는 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예1에서 시료 1 내지 시료 6으로 제조된 다공성 세라믹 소재의 기계적 특성 변화를 나타낸 그래프.

도 6 은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예1에서 시료 1 내지 시료 6으로 제조된 다공성 세라믹 소재의 통기도 변화를 나타낸 그래프.

도 7 은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예1에서 시료 1 내지 시료 6으

로 제조된 다공성 세라믹 소재의 미세구조를 나타낸 SEM 사진.

도 8 은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예2에서 시료 7 내지 시료 10의 조성을 나타낸 표.

도 9 는 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예2에서 시료 7 내지 시료 10로 제조된 다공성 세라믹 소재의 꺾임강도를 나타낸 표.

도 10 은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예3에서 시료 11 내지 시료 14의 조성을 나타낸 표.

도 11 은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예3에서 시료 11 내지 시료 14로 제조된 다공성 세라믹 소재의 꺾임강도를 나타낸 표.

도 12 는 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예4에서 시료 11 내지 시료 14로 제조된 다공성 세라믹 소재의 밀도 변화를 나타낸 표.

도 13 은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예4에서 시료 11 내지 시료 14로 제조된 다공성 세라믹 소재의 기계적 특성을 나타낸 표.

도 14 및 도 15 는 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예4에서 Si 입자 크기 변화에 따른 통기도 변화를 나타낸 그래프.

도 16 은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예5에서 미세 구조를 나타낸 SEM사진

도 17 은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예5에서 통기도 변화를 나타낸 그래프.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0038] 이하 첨부된 도 1을 참조하여 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재(이하 '다공성 세라믹 소재'라 칭함)의 구성을 설명한다.

[0039] 이에 앞서 본 명세서 및 청구범위에 사용된 용어나 단어는 통상적이고 사전적인 의미로 해석되어서는 아니되며, 발명자는 그 자신의 발명을 가장 최선의 방법으로 설명하기 위해 용어의 개념을 적절하게 정의할 수 있다는 원칙에 입각하여 본 발명의 기술적 사상에 부합하는 의미와 개념으로 해석되어야만 한다.

[0040] 따라서 본 명세서에 기재된 실시 예와 도면에 도시된 구성은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고, 본 발명의 기술적 사상을 모두 대변하는 것은 아니므로, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다.

[0041] 도 1에는 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 미세 구조를 나타낸 SEM 사진이 도시되어 있다.

[0042] 첨부된 도면과 같이, 다공성 세라믹 소재(100)는 다수 미세기공(120)이 구비되어 통기성을 가지며, 탄화규소입자(SiC)와, 금속규소(Si)입자와, 2.0 중량% 이하의 카본(C)과, 1.0 내지 5.0 중량% 이하의 보론(B)을 포함하는 혼합물을 성형한 후 소결하여 제조된다.

[0043] 보다 구체적으로는, 상기 혼합물은 14 내지 30 중량%의 금속규소(Si)입자와, 2.0 중량% 이하의 카본(C)과, 1.0 내지 5.0 중량% 이하의 보론(B)과 잔부(殘部)인 탄화규소입자(SiC)를 포함하여 구성된다.

[0044] 그리고, 상기 혼합물에는 코발트(Co), 철(Fe), 니켈(Ni), 구리(Cu) 중 하나 이상이 더 포함될 수도 있으며, 기공률의 제어를 위해 중공형 기공 형성제가 추가될 수 있다.

[0045] 상기 미세기공(120)은 50㎛ 이하의 크기를 갖도록 다수가 형성되며, 상기 다수 미세기공(120)은 중공형 기공 형성제의 첨가량 및 금속규소(Si)의 입자크기에 따라 다양한 크기를 가질 수 있다.

[0046] 그리고, 본 발명의 바람직한 실시예에 따라 제조된 다공성 세라믹 소재(100)는 1.74g/㎤ 이상의 밀도를 가지며, 25㎫ 이상의 굴곡강도를 갖는다.

[0047] 상기 구성의 역할 및 함량을 보다 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

[0048] 다공성 세라믹 소재의 구성으로서 탄화규소를 이용할 경우 연마시에 발생하는 마찰열을 경감시킬 수 있으며, 탄화규소 세라믹스에 금속 규소를 배합한 규소 함유 세라믹스는 유리질 접합 다공성 소재 보다 높은 열전달 특성 및 기계적 특성에서 우수한 특성을 보여줄 수 있다.

[0049] SiC-Si 다공성 소재 관련 연구는 주로 고온 가스 필터를 위한 연구로 진행되었으며, 이때 잔류하는 Si은 고온에서 유해한 요소로서 제거해야 한다. 그러나 반도체 공정 또는 LCD 공정에서는 진공척 등의 흡착을 위한 소재로서 사용될 때는 이와 같이 잔류하는 Si이 문제를 일으키지 않으며, 또한 실제로 사용될 진공척의 사용 영역인 저온 및 중온(400℃ 이하)에서는 실제적으로 열전도율을 증진시킴으로서 국부적인 온도의 불균일성을 억제할 수 있다.

[0050] 본 발명에서는 기존의 반응소결 탄화규소(RBSC) 공정과는 달리 단순하게 탄화규소 입자와 Si 입자를 습식 혼합하여 사용하였으며, 미량의 제어된 카본(C)을 사용하여 실제 SiC를 형성하기 보다는 아래의 반응식에서와 같이 SiC 표면에 형성된 SiO_2를 제거하기 위한 목적으로 사용하였다.

[0051] - $SiO_2 + C = SiO(g) + CO(g)$ (2050K)

[0052] - $SiO_2 + 3C = SiC + 2CO\ (g)$ (1800K)

[0053] 특히 액상 Si이 SiC와의 젖음성을 향상시키기 위한 방안으로 Co, Fe, Ni, Cu 등의 합금화를 통하여 젖음성을 향상시키고자 하였다. 또한 통기도의 향상을 극대화하기 위한 방안으로 고분자 중공형 미세구를 기공 형성제로 사용하여 원하는 기공도 및 통기도를 얻을 수 있도록 하였다.

[0054] 본 발명에서 고안된 변수의 영향을 정리하면 다음과 같다.

[0055] (1) 카본의 양

[0056] 일반적으로 Si 함량이 일정할 경우, carbon 함량이 증가함에 따라 carbon과 반응하는 용융 Si의 함량이 상대적으로 증가하여, 소결체 내부의 잔류 Si의 양이 상대적으로 감소한다.

[0057] 그러므로 잔류 실리콘의 양을 억제하기 위해서는 carbon의 함량비가 증가해야한다. 그러나 본 발명과 같은 단순 혼합 공정을 통하여 카본을 혼합할 경우 카본이 SiC 분말의 표면에 있지 않기 때문에 카본 함량의 증가는 결합강도를 증가시키기 보다는 치밀화를 억제하여 결합강도를 약화시키는 역할이 높다.

[0058] 다만 전술한 바와 같이 미량의 카본은 탄화규소 표면의 산화막 제거 등에 매우 효과적이다. 즉 0-2.0 중량% 카본, 특히 약 0.2 중량% 카본 등의 미량 카본 혼입이 계면특성 향상 및 기계적 특성 향상에 효과적이다.

[0059] (2) 금속 Si의 합금원소(코발트 등)의 영향

[0060] Si-Co 합금은 SiC와 반응을 하지는 않지만 강한 계면결합을 가질 수 있는 고융점 합금계이다. 실험적으로 탄화규소와 금속 Si-Co 합금과의 아르곤 분위기에서 젖음각은 초기에 약 86° 정도이나 시간이 지남에 따라 감소하여 약 40° 정도로 감소한다.

[0061] 이는 Si-Co 합금이 탄화규소 표면에 존재하는 산화규소(SiO_2)를 환원 제거시키기 때문에 시간이 지남에 따라 젖음각이 감소하는 효과를 보여 주기 때문이다. 이는 SiC/Si-Co 조성에서는 고체-액체-기체 삼중점에서 Si과 SiO_2 사이에서 휘발성의 SiO(g) 상을 만들기 때문이다.

[0062] $Si(liquid) + SiO_2(solid) \rightarrow 2SiO(g)$

[0063] 물론 이와 같은 효과는 실리콘(Si)과 탄화규소 (SiC) 사이에서도 동일한 경향을 보여 주고 있으며, 실리콘(Si)과 탄화규소 (SiC) 사이의 최종적으로 36-38 도의 낮은 젖음각을 가짐으로서 유사한 결과를 보인다. 그러나 Si-Co 합금의 경우에는 $CoSi_2$ 등의 금속간 화합물을 형성하며, 열처리후 수축결함을 억제하여 단순히 금속 실리콘을 이용하여 결합시키는 것에 비하여 탄화규소와 복합체로서 우수한 기계적 특성을 보여 준다.

[0064] 이와 같은 특성을 보이는 원소로는 Co 이외에 Fe, Ni, Cu 등이 높은 효과를 보여주고 있다. 그러므로 Si과 상기의 Co, Fe, Ni, Cu 중에서 선택되는 1가지 원소와 합금화된 분말을 사용하거나, 또는 Si 분말과 Co, Fe, Ni, Cu 중 1가지 이상의 분말을 선택하여 각각 혼합하여 소결 공정시 바로 합금화 시키더라도 유사한 증진된 특성을 얻을 수 있다.

[0065] (3) 붕소(B)의 역할

[0066] SiC 소결에 대한 붕소의 역할은 붕소가 SiC 입계에 편석되어 입계에너지를 감소시킴으로서 기지조직의 기계적 특성을 향상시킨다. 특히 붕소가 SiC에 영향을 미치기 시작하는 1500K 근방의 저온에서 SiC 표면의 확산에 의한 입자성장을 억제한다.

[0067] (4) 금속 Si의 양

[0068] 금속 Si의 양에 따른 미세구조를 고찰해 보면, 용융 Si의 침윤양이 20% 이상 증가 시에는 일부 작은 기공이 잔류 Si에 의해 폐쇄되는 현상이 관찰되며, 외부로 흘러내리는 경향을 관찰할 수 있다. 그러나 다공체의 충분한 기계적 특성을 유지하기 위해서는 충분한 액상 Si이 요구됨으로 20 중량 %에서 오차범위 5% 이내가 적합한 것으로 판단된다.

[0069] (5) Si 입자의 크기

[0070] 금속 Si은 소결 공정시 고상에서 액상으로 상변화를 한다. 그러므로 효율적으로 탄화규소와 결합하기 위해서는 미립의 금속 Si 분말이 균일한 혼합 측면에서는 유리하다.

[0071] 그러나 금속 Si이 액상으로 상변화를 유발하면 Si 분말이 있던 지점은 기공을 형성하여 다공성 세라믹스 측면에서 통기도를 향상시킨다는 측면에서 조대한 금속 Si 분말은 유리하다.

[0072] 그러나 일정 크기 이상으로 Si 분말의 크기가 증가하면 오히려 전체 기지 조직의 기공 구조가 변형되어 기계적 특성의 열화를 초래하고 통기도 측면에서의 장점도 사라지게 된다.

[0073] 이하 상기와 같이 구성되는 다공성 세라믹 소재를 제조하는 방법을 첨부된 도 2를 참조하여 설명한다.

[0074] 도 2에는 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 제조방법을 나타낸 공정 순서도가 도시되어 있다.

[0075] 도면과 같이, 상기 다공성 세라믹 소재를 제조하는 방법은, 14 내지 30 중량%의 금속규소(Si)입자와, 2.0 중량% 이하의 카본(C)과, 1.0 내지 5.0 중량% 이하의 보론(B)과 잔부(殘部)인 탄화규소입자(SiC) 및 가소제를 준비하는 재료준비단계(S100)와, 상기 재료를 혼합하는 재료혼합단계(S200)와, 상기 재료를 성형하여 성형체를 형성하는 재료성형단계(S300)와. 상기 성형체를 소결하여 미세기공을 구비하는 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재를 완성하는 소결단계(S400)로 이루어진다.

[0076] 상기 재료준비단계(S100)는 전술한 구성을 준비하는 과정이며, 재료준비단계(S100)에서 준비된 재료들은 재료혼합단계(S200)에서 습식 혼합된다.

[0077] 즉, 상기 재료혼합단계(S200)에서 가소제로 PEG가 첨가된다.

[0078] 상기 재료혼합단계(S200) 이후에는 재료성형단계(S300)를 실시하여 성형체를 만들게 된다. 이후 상기 성형체는 1600 내지 1800℃의 온도에서 1 내지 3시간 동안 실시되는 소결단계(S400)를 거쳐 다공성 세라믹 소재로 완성된다.

[0079] 그리고, 상기 소결단계(S400)에서 상기 성형체에는 미세기공(120)의 크기 및 기공률 제어를 위해 중공형 기공형성제가 더 포함된 상태일 수 있으며, 상기 탄화규소입자(SiC) 표면에 형성된 SiO_2는 카본에 의해 환원하여 제거됨을 특징으로 한다.

[0080] 이하 첨부된 도 3 내지 도 7을 참조하여 실시예1의 조성 및 실험 결과를 설명한다.

[0081] 도 3은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예1에서 시료 1 내지 시료 6의 조성을 나타낸 표이고, 도 4, 도 5, 도 6 및 도 7은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예1에서 시료 1 내지 시료 6으로 제조된 다공성 세라믹 소재의 밀도 변화, 기계적 특성 변화, 통기도 변화 및 미세구조 SEM사진을 나타낸 것이다.

[0082] [실시예1]

[0083] 원료분말로는 SiC (-320mesh), Si (45㎛), Carbon black, Boron을 사용하였으며, 가소제로 PEG를 사용하였다. 실험 조성은 도 3과 같다.

[0084] 이때 Carbon 함량을 변화시켜서 실험을 실시하였으며, 또한 특성 평가를 실시하였다. Carbon 함량에 따른 특성

을 확인하기 위하여 아르곤 분위기에서 승온/냉각 속도 ℃/min이며, 1300℃ 3시간 유지 후 소결온도를 1600-1800 ℃ 변화를 주면서 3 시간 동안 열처리를 실시하였다.

[0085] Carbon 함량에 따른 밀도 특성을 측정하였으며, 수은함침법을 이용한 porosimeter (AutoPore IV Series, USA)를 사용하여 기공 특성을 측정하였다. 파단면 및 기공 구조는 SEM (JSM-5800, JEOL)을 사용하여 측정하였다. 통기도 특성은 Capillary Flow Porometer (CFP-1200-AEL, PMI)를 사용하여 측정하였다.

[0086] 카본 함량이 증가함에 따라 밀도가 감소하는 경향을 보여 주고 있으며 (도 4), 이는 반응소결 SiC (RBSC) 공정에서와는 달리 카본이 액상의 Si과 반응하는 발열 반응으로 치밀화를 유도하지 않기 때문이다.

[0087] 소결온도의 증가는 소결성의 증진을 통하여 치밀화를 증진시키는 효과를 보였다. 기계적 특성(도 5)을 기준으로 보면 소결온도가 1700℃인 경우 가장 기계적 특성이 우수하였다.

[0088] 카본 함량이 증가함에 따라 기계적 특성은 감소하는 경향을 보였으며, 기존의 반응소결 SiC (RBSC) 공정에서와는 달리 carbon이 Si 과 반응하여 기계적 특성을 향상시키지 못하는 것으로 판단된다. 그러나 1700℃의 소결 조건에서와 같이 미량의 카본(0.2w%)은 SiC 표면에 형성되는 SiO2를 환원 제거하는 등 긍정적인 효과를 보여 주었다.

[0089] 통기도 특성은 소결온도가 증가함에 따라 증가하였으나, 카본 함량이 변함에 따라서는 큰 변화를 주지 못하였다 (도 6). 또한 미세 구조적인 측면(도 7)에서 카본의 함량은 큰 변화를 주지는 못하였으나, 카본 함량이 증가함에 따라 치밀화 되지 못하는 경향을 보여 주었다.

[0090] 본 실험 변수를 통하여 설정된 최적의 조건은 미세구조, 기계적 특성 및 통기도 측면의 진공척 소재로서 1700℃, 카본함량 0.2wt% 조건이 가장 우수한 특성을 보여 주었다.

[0091] 이하 첨부된 도 8 및 도 9를 참조하여 실시예2의 조성 및 실험 결과를 설명한다.

[0092] 도 8은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예2에서 시료 7 내지 시료 10의 조성을 나타낸 표이고, 도 9는 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예2에서 시료 7 내지 시료 10로 제조된 다공성 세라믹 소재의 꺾임강도를 나타낸 표이다.

[0093] [실시예2]

[0094] 원료분말로는 SiC (-220mesh), Si (45㎛), Co (15㎛), Carbon black, Boron을 사용하였으며, 가소제로 PEG를 사용하였다. 실험 조성은 도 8과와 같다. 이때 Co 함량변화 및 Si 함량 변화에 따른 실험을 실시하였으며, 또한 특성 평가를 실시하였다.

[0095] Carbon 함량에 따른 특성을 확인하기 위하여 아르곤 분위기에서 승온/냉각 속도 5 ℃/min이며, 1300o℃ 3시간 유지 후 소결온도를 1700 ℃로 변화를 주면서 3 시간 동안 열처리를 실시하였다.

[0096] Co 함량에 따른 시편의 꺽임강도(bending strength)는 3점굽힘 강도를 측정하였으며(도 9), 이때 span의 길이는 각각 20㎝이었고, cross-head speed는 0.5㎜/min이었다.

[0097] 기계적 특성 면에서 Co 첨가에 의해서 젖음 특성이 증진됨에 따라 기계적 특성이 증가하였다. 그러나 통기도 측면에서는 큰 변화를 보이지는 않았다.

[0098] 이런 결과로 볼 때 Fe, Ni, Cu 등을 순수 분말 형태 또는 Si과 합금형태를 첨가하게 되면 탄화규소(SiC)와의 접합특성이 증진될 것으로 예견된다.

[0099] 이하 첨부된 도 10 및 도 1을 참조하여 실시예의 조성 및 실험 결과를 설명한다.

[0100] [실시예3]

[0101] 원료분말로는 SiC(-800mesh), Si(45㎛), Boron(0.7㎛), Carbon black을 사용하였으며, 가소제로 PEG를 사용하였다. 붕소(boron)의 영향을 상변태적으로 용이하게 고찰하기 위하여 작은(-800 mesh) 입자 크기의 SiC 분말을 사용하였다.

[0102] 실험 조성은 표 4와 같으며, 붕소(Boron)의 함량 변화에 따라 특성 평가를 실시하였다. 이때 붕소는 비정질상으로 이루어져 있으며, 입자크기는 0.7㎛ 이다. 붕소의 첨가에 대한 특성을 확인하기 위하여 아르곤 분위기에서 승온/냉각 속도 5 ℃/min이며, 1300℃ 3시간 유지 후 소결온도를 1500-1800℃로 변화를 주면서 3 시간 동안 열처리를 실시하였다.

[0103] 실험 결과 동일한 붕소의 함량(2%)에서는 붕소를 첨가하지 않은 경우에 비하여 비교적 소결온도를 낮출 수 있는 효과를 가질 수 있었다.

[0104] 또한 1700 ℃ 소결 온도에서는 붕소의 함량이 증가할수록 SiC 입자간, 또는 SiC와 Si 간의 접합 특성이 우수한 것으로 알 수 있다(도 1). 붕소의 첨가함량 증가는 다공성 소재의 기지 소재의 소결특성을 증진시키는 효과를 보여 주고 있다. 붕소의 확산 계수가 높아 반도체 공정에서 사용 시 오염이 우려되므로 붕소의 함량은 2% 이하가 적당하다.

[0105] 이하 도 12 내지 도 15를 참조하여 Si 금속분말의 크기, 소결온도, 기계적 특성의 관계를 설명한다.

[0106] 도 12는 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예4에서 시료 11 내지 시료 14로 제조된 다공성 세라믹 소재의 밀도 변화를 나타낸 표이고, 도 13은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예4에서 시료 11 내지 시료 14로 제조된 다공성 세라믹 소재의 기계적 특성을 나타낸 표이며, 도 14 및 도 15는 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예4에서 입자 크기 변화에 따른 통기도 변화를 나타낸 그래프로서, 도 14는 7㎛ Si분말에 대한 결과이고, 도 15는 조대한 120㎛ Si 분말을 사용한 결과이다.

[0107] [실시예 4]

[0108] 원료분말로는 SiC (-220mesh), 3종류의 Si 분말 (7㎛, 45㎛, 120㎛), 붕소 분말(0.7㎛)을 사용하였으며, 가소제로 PEG를 사용하였다. 즉 본 연구에서는 3종류 크기의 Si 분말을 사용함으로서 열처리시 Si이 액상으로 상전이하여 기지조직에 infiltration 되어 기공 형성 자리를 제공할 수 있기 때문이다.

[0109] 실험 조성은 SiC 68.6 wt%, Si 29.4 wt%, B 2.0 wt%를 사용하였다. Si 입자 크기 변화에 따른 기공 특성을 확인하기 위하여 아르곤 분위기에서 승온/냉각 속도 5 ℃/min이며, 1300℃ 3시간 유지 후 소결온도를 1600-1800 ℃로 변화를 주면서 3시간 동안 열처리를 실시하였다.

[0110] 밀도 변화 측면에서 고찰해 보면(도 12), Si 분말의 크기가 증가함에 따라 낮은 밀도 값(높은 기공율)을 보여주고 있으며 전반적으로 소결 온도가 증가함에 따라 증가하는 경향을 보여주고 있으나, 오히려 1700℃에 열처리하는 경우가 1800℃에 열처리하는 것보다 높은 밀도 값을 보여주고 있다.

[0111] 또한 기계적 특성(도 13)을 비교해 보면 소결온도 측면에서 1700℃에서 45㎛의 Si 분말을 사용하는 경우 우수한 값을 보여주고 있다. 이는 일정 크기 이상으로 Si 분말의 크기가 증가하면 오히려 전체 기지 조직의 기공 구조가 변형되어 기계적 특성의 열화를 초래하기 때문이다.

[0112] 통기도 측면(도14 및 도 15)에서는 Si 입자가 기공 형성에 작용하여, Si 입자의 크기가 증가함에 따라 조대한 기공을 형성하여 통기도가 증가하는 경향을 보여주고 있다.

[0113] 이를 통하여 Si 입자의 크기는 통기도 측면에서는 큰 것이 효과적인 것으로 판단된다.

[0114] 결론적으로 효율적으로 탄화규소와 결합하기 위해서는 미립의 금속 Si 분말이 균일하게 혼합 되는 것이 유리하다.

[0115] 그러나 금속 Si이 액상으로 상변화를 유발하면 Si 분말이 있던 지점은 기공을 형성하여 통기도를 향상시킨다는 측면 및 기계적 강도 등을 고려하면 적정 크기까지는 Si 입자의 크기가 증가함에 따라 유리하다.

[0116] 이하 첨부된 도 16 및 도 17을 참조하여 중공형 기공 형성제 첨가에 따른 통기율 변화 및 기계적 특성 변화를 살펴본다.

[0117] 도 16은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예5에서 미세 구조를 나타낸 SEM사진이고, 도 17은 본 발명에 의한 진공척용 고통기성 다공성 세라믹 소재의 바람직한 실시예5에서 통기도 변화를 나타낸 그래프이다

[0118] [실시예 5]

[0119] 원료분말로는 SiC (-320mesh와 -1200mesh), Si 분말 (45㎛), 붕소 분말(0.7㎛)을 사용하였고, 가소제로 PEG를 사용하였으며, 특히 기공 크기 80㎛의 중공형 미세구를 기공형성제로서 첨가하였다.

[0120] 실험 조성은 SiC (-320mesh) 51.5wt%, SiC(-1200mesh) 17.1wt%, Si 29.4wt%, B 2.0wt%를 사용하였다. 중공형 미세구의 혼합을 위하여 습식 혼합공정을 사용한다. 열처리는 아르곤 분위기에서 승온/냉각 속도 5 ℃/min이며,

1300℃ 3시간 유지 후 소결온도를 1600-1800 ℃로 변화를 주면서 1-3 시간 동안 열처리를 실시하였다.

[0121] 중공형 미세구가 첨가됨에 미세 구조적인 측면(도 16)에서 탄화규소 입자간 기공 뿐만 아니라, 기공형성제인 중공형 미세구에 의한 구형의 셀룰라 기공이 형성된 것을 관찰 할 수 있었다. 또한 통기도를 측정 결과 기존 기공형성제를 첨가하지 않은 경우보다 매우 높은 통기율를 관찰할 수 있었다.(도 17)

[0122] 기계적 강도를 고려하면 원료분말 대비 중공형 미세구의 부피비는 20% 이상 혼입되면 기계적 특성 열화가 관찰되며, 이를 극본하기 위해서는 20 부피% 미만의 기공 형성제 혼입이 유리하다.

[0123] 이러한 본 발명의 범위는 상기에서 예시한 실시예에 한정되지 않고, 상기와 같은 기술범위 안에서 당업계의 통상의 기술자에게 있어서는 본 발명을 기초로 하는 다른 많은 변형이 가능할 것이다.

부호의 설명

[0124] 100. 다공성 세라믹 소재

120. 미세기공

S100. 재료준비단계

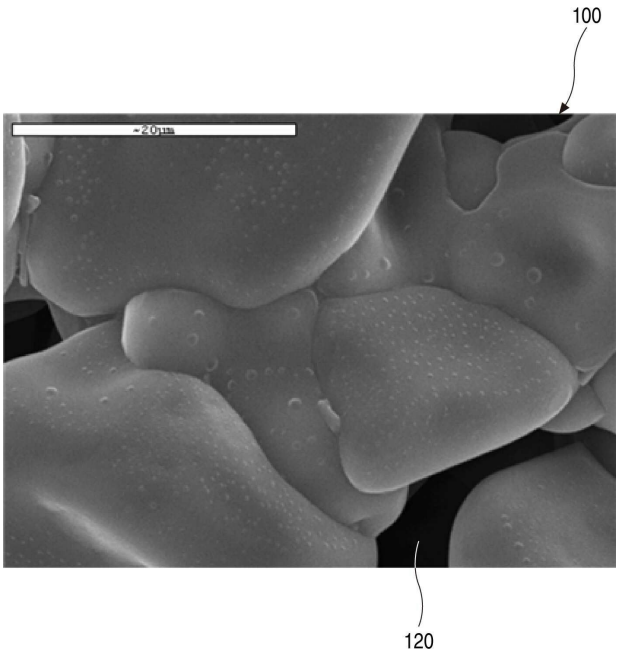
S200. 재료혼합단계

S300. 성형단계

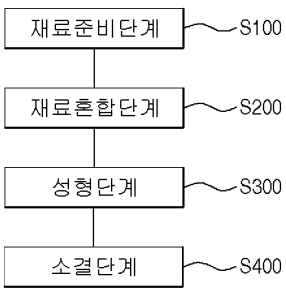
S400. 소결단계

도면

도면1



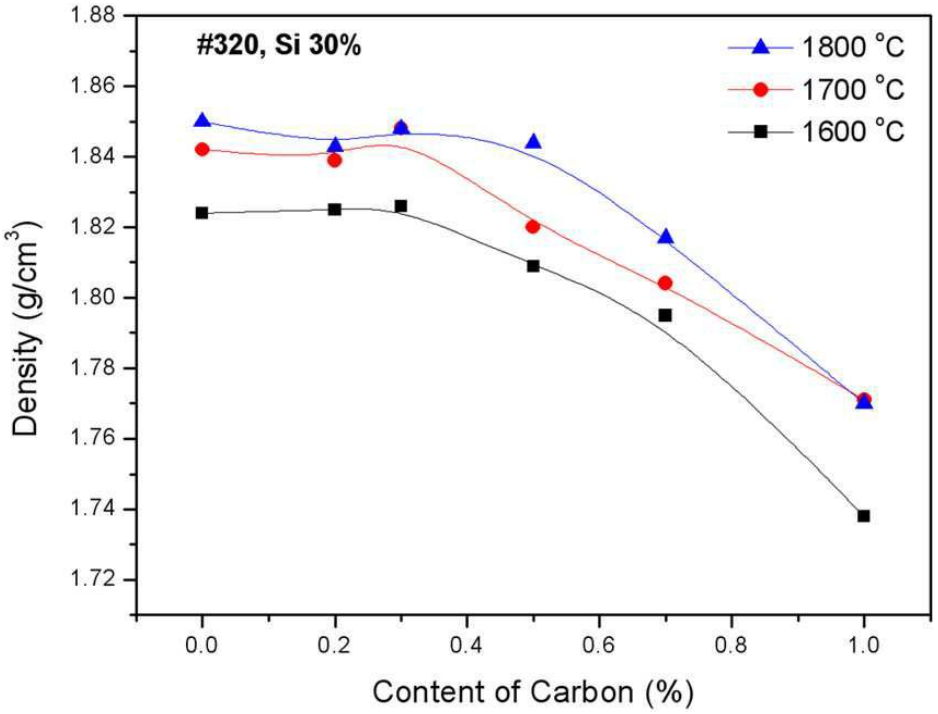
도면2



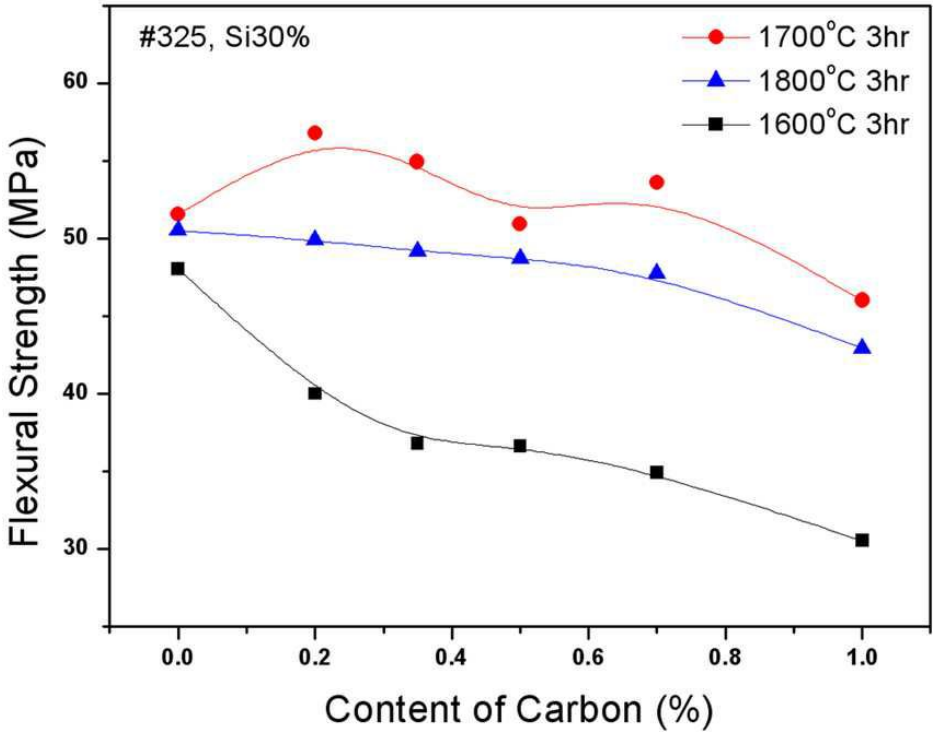
도면3

구 분	SiC	Si	Carbon black	Amorphous Boron	PEG (#400)	PEG (#1500)	PEG (#4000)
시료 1	68.6	29.4	0	2	2	2	2
시료 2	68.6	29.19	0.21	2	2	2	2
시료 3	68.6	29.05	0.35	2	2	2	2
시료 4	68.6	28.88	0.52	2	2	2	2
시료 5	68.6	28.71	0.69	2	2	2	2
시료 6	68.6	28.39	1.01	2	2	2	2

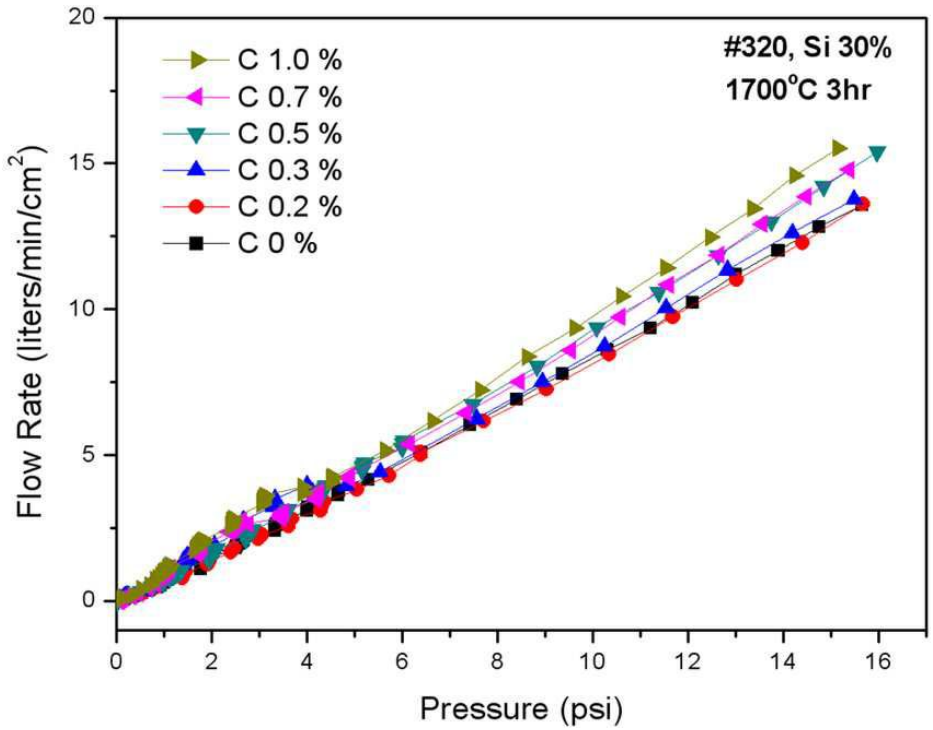
도면4



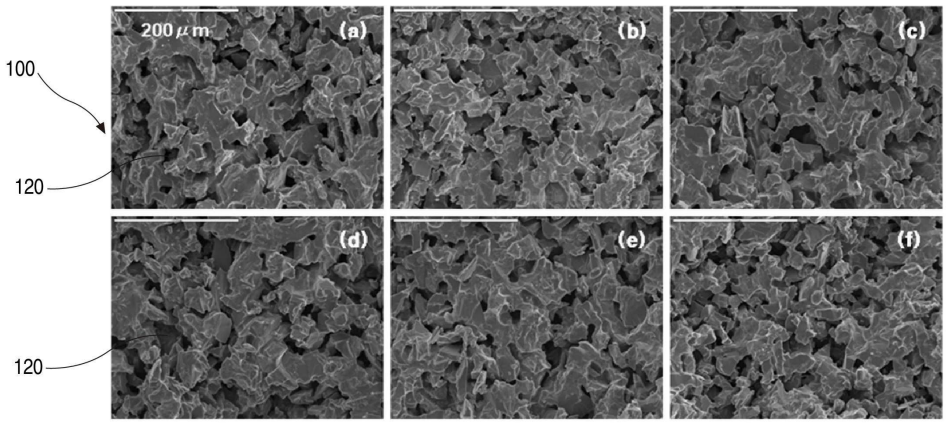
도면5


#325, Si30%
1700°C 3hr
1800°C 3hr
1600°C 3hr
Flexural Strength (MPa)
60
50
40
30
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
Content of Carbon (%)

도면6


C 1.0 %
C 0.7 %
C 0.5 %
C 0.3 %
C 0.2 %
C 0 %
#320, Si 30%
1700°C 3hr
Flow Rate (liters/min/cm²)
20
15
10
5
0
0
2
4
6
8
10
12
14
16
Pressure (psi)

도면7



도면8

구분	SiC	Si	Co	Carbon black	Amorphous Boron	PEG (#400)	PEG (#1500)	PEG (#4000)
시료7	78.4	19.4	0	0.2	2	2	2	2
시료8	68.6	29.2	0	0.2	2	2	2	2
시료9	79.7	14	4.1	0.2	2	2	2	2
시료10	68	23.1	6.7	0.2	2	2	2	2

도면9

	꺾임강도(MPa)
시료 7	54.2 ±0.3
시료 8	58.5 ±0.2
시료 9	64.6 ±0.3
시료 10	65.2 ±0.2

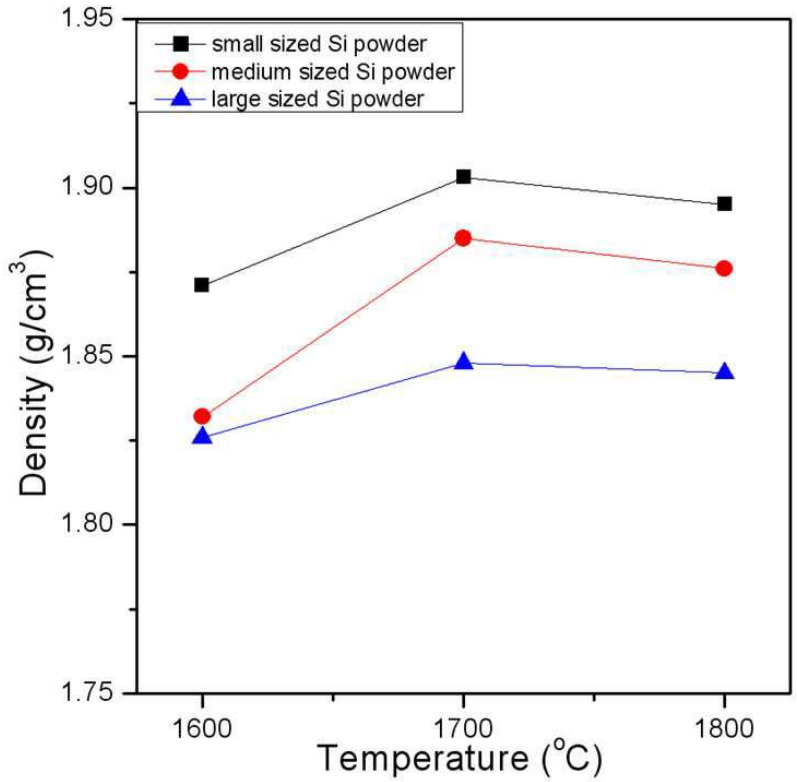
도면10

구분	SiC	Si	Amorphous Boron	PEG (#400)	PEG (#1500)	PEG (#4000)
시료11	69	30	1	2	2	2
시료12	68	30	2	2	2	2
시료13	67	30	3	2	2	2
시료14	66	30	4	2	2	2

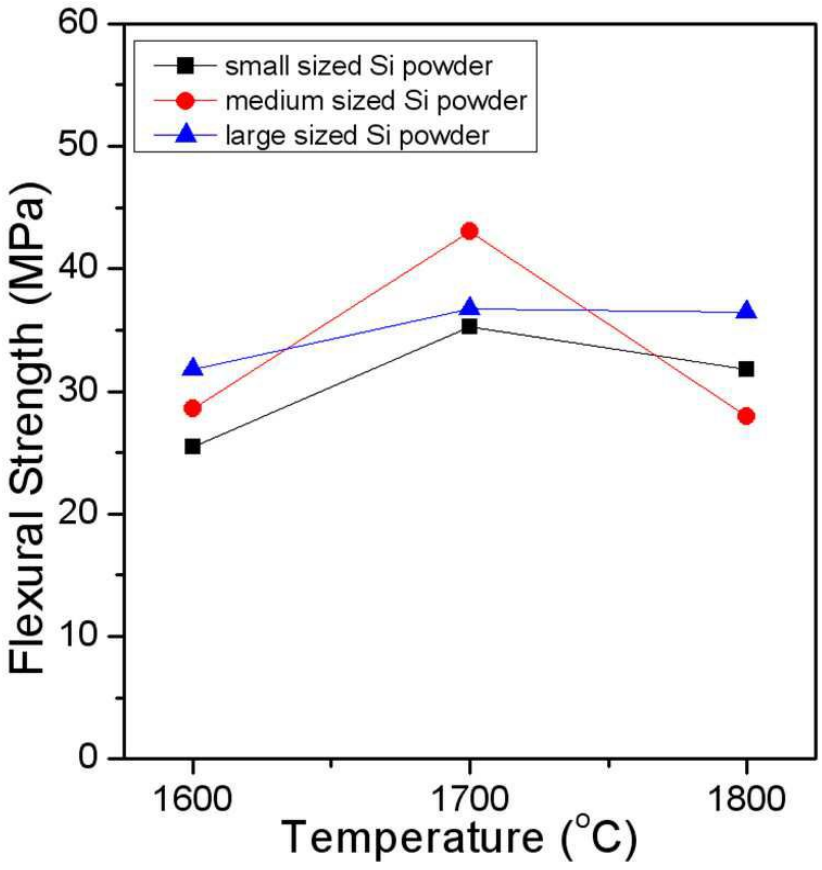
도면11

구분	꺾임강도(MPa)
시료 11	52.0 ±0.4
시료 12	58.3 ±0.3
시료 13	59.1 ±0.5
시료 14	58.9 ±0.4

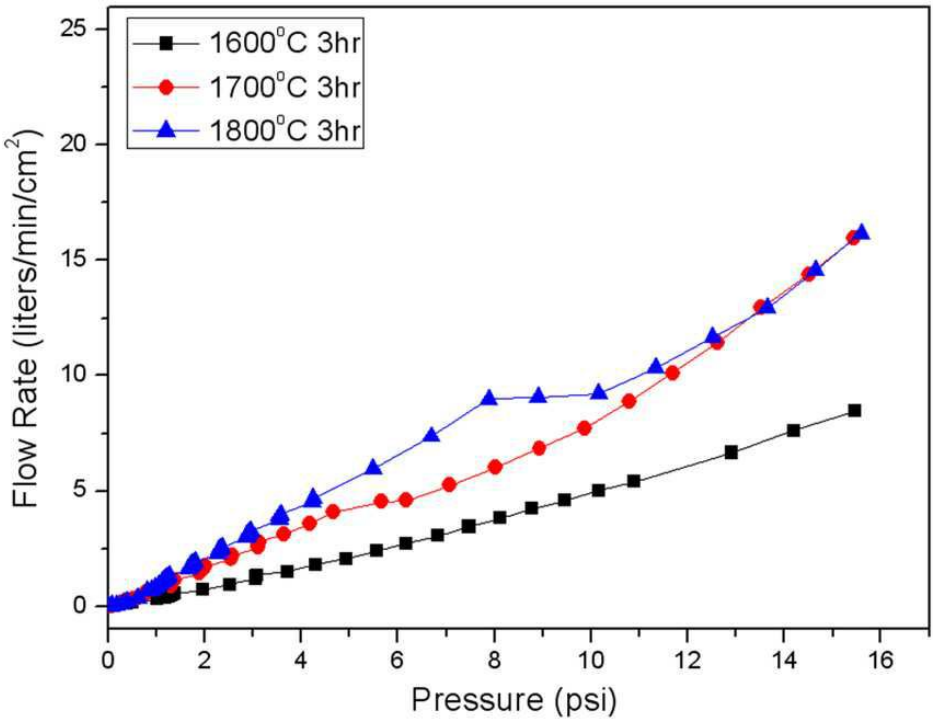
도면12


small sized Si powder
medium sized Si powder
large sized Si powder
Density (g/cm3)
1.95
1.90
1.85
1.80
1.75
1600
1700
1800
Temperature (°C)

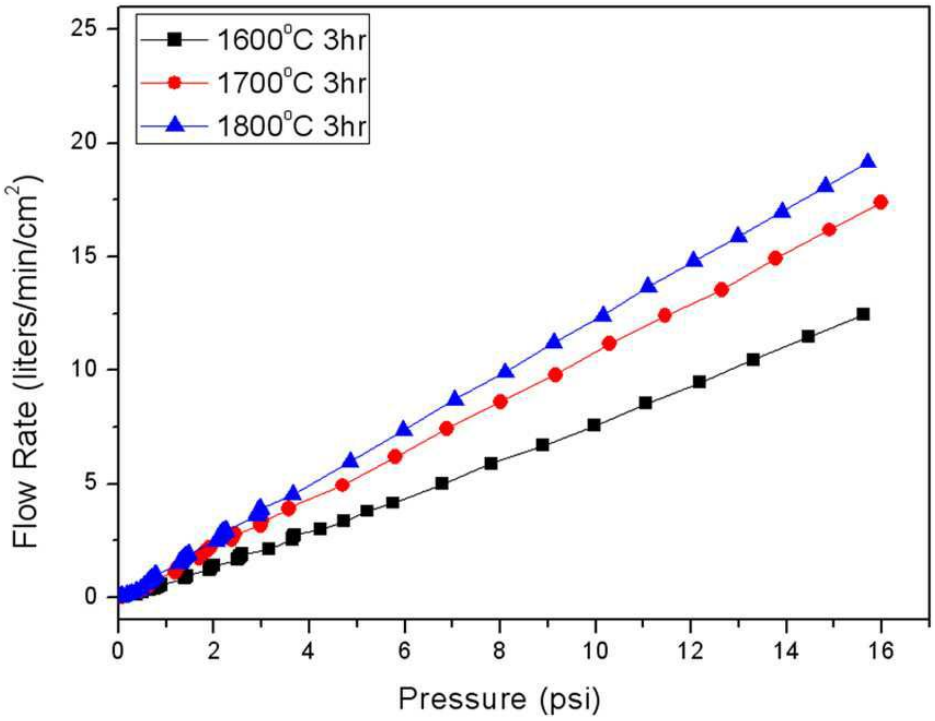
도면13


small sized Si powder
medium sized Si powder
large sized Si powder
Flexural Strength (MPa)
60
50
40
30
20
10
0
1600
1700
1800
Temperature (°C)

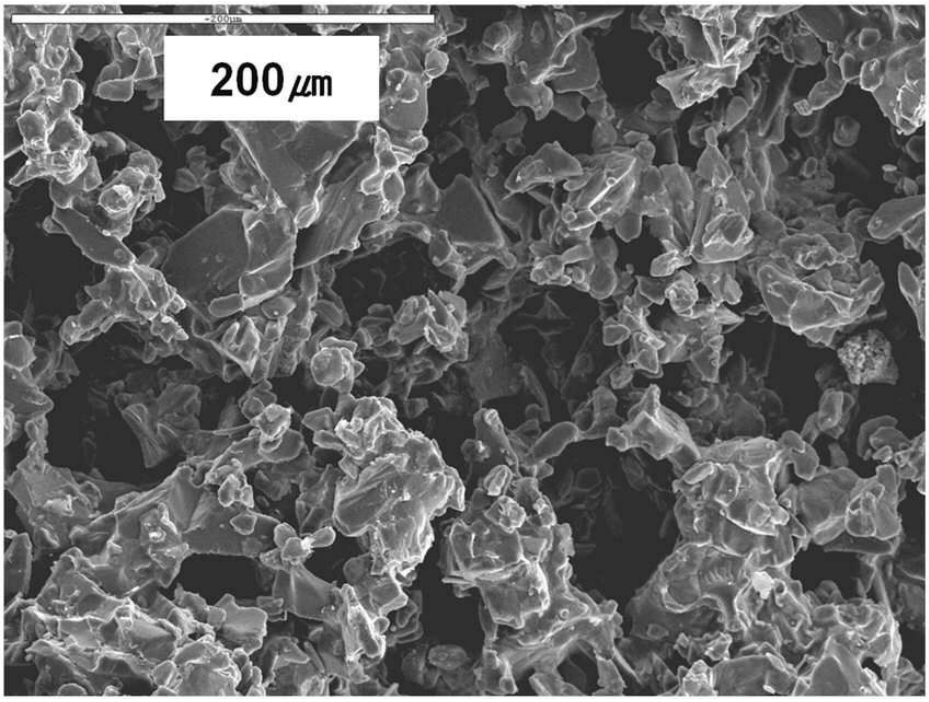
도면14


1600°C 3hr
1700°C 3hr
1800°C 3hr
Flow Rate (liters/min/cm²)
Pressure (psi)
0
5
10
15
20
25
0
2
4
6
8
10
12
14
16

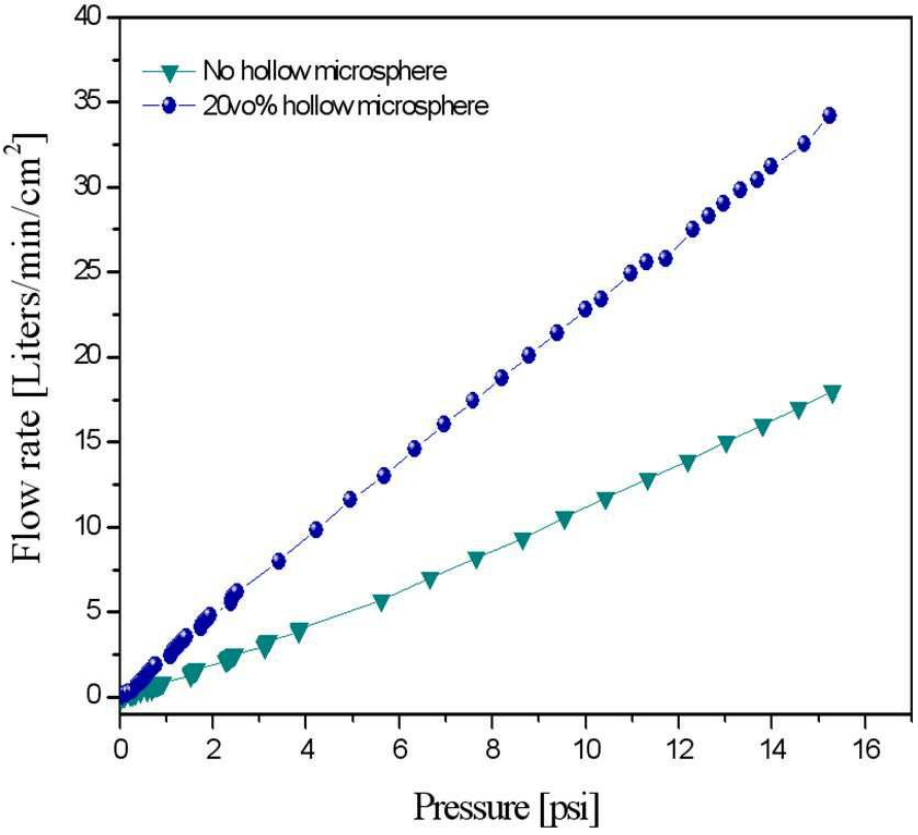
도면15


1600°C 3hr
1700°C 3hr
1800°C 3hr
Flow Rate (liters/min/cm²)
Pressure (psi)
0
5
10
15
20
25
0
2
4
6
8
10
12
14
16

도면16


200 μm

도면17


No hollow microsphere
20vo% hollow microsphere
Flow rate [Liters/min/cm²]
Pressure [psi]
0
5
10
15
20
25
30
35
40
0
2
4
6
8
10
12
14
16