



(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.

C04B 35/565 (2006.01)
C04B 35/569 (2006.01)
C04B 35/10 (2006.01)
C04B 35/14 (2006.01)

(45) 공고일자 2006년11월28일
(11) 등록번호 10-0649477
(24) 등록일자 2006년11월17일

(21) 출원번호	10-2005-7010525	(65) 공개번호	10-2005-0087828
(22) 출원일자	2005년06월10일	(43) 공개일자	2005년08월31일
심사청구일자	2005년06월14일		
번역문 제출일자	2005년06월10일		
(86) 국제출원번호	PCT/JP2003/015796	(87) 국제공개번호	WO 2004/052805
국제출원일자	2003년12월10일	국제공개일자	2004년06월24일

(30) 우선권주장 JP-P-2002-00359128 2002년12월11일 일본(JP)

(73) 특허권자 니뿐 가이시 가부시킴가이샤
일본 아이치켄 나고야시 미즈호쿠 스다쵸 2-56

(72) 발명자 후루카와 마사히로
일본 아이치켄 나고야시 미즈호쿠 스다쵸 2-56 니뿐 가이시 가부시킴가이샤 나이

모리모토 겐지
일본 아이치켄 나고야시 미즈호쿠 스다쵸 2-56 니뿐 가이시 가부시킴가이샤 나이

가와사키 신지
일본 아이치켄 나고야시 미즈호쿠 스다쵸 2-56 니뿐 가이시 가부시킴가이샤 나이

(74) 대리인 김태홍
신정건

심사관 : 김장강

전체 청구항 수 : 총 8 항

(54) 탄화규소질 다공체 및 그 제조 방법, 그리고 허니컴 구조체

(57) 요약

골재로서 탄화규소 입자(2)와 결합체로서 금속규소(3)를 함유하며 이들에 의해 형성된 다수의 공극(5)을 갖는 탄화규소질 다공체(1)로서, 그 공극(5)의 적어도 일부에 산화물상(4)을 갖고 있고, 이 산화물상(4)은 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속의 각각의 산화물을 포함하며, 또 상기 산화물상은 알칼리토류 금속 규산염 결정상을 실질적으로 함유하지 않는 것을 특

정으로 하는 탄화규소질 다공체(1)와, 이러한 다공성 재료를 제조하는 방법과, 상기 탄화규소질 다공체로 이루어지는 허니컴 구조체가 개시되어 있다. 전술한 다공성 재료는 촉매를 담지시키는 데에 사용하는 산(특히, 초산)에 의한 침식을 유효하게 방지할 수 있어, 내산성이 향상된다.

대표도

도 1

특허청구의 범위

청구항 1.

골재로서의 탄화규소 입자와 결합재로서의 금속규소가 상기 탄화규소 입자 사이에 공극을 형성하도록 결합되어 있고, 각 공극의 적어도 일부에 산화물상을 갖고 있는 탄화규소질 다공체로서,

상기 산화물상은 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물을 포함하며, 또 상기 산화물상은 알칼리토류 금속 규산염 결정상을 실질적으로 함유하지 않고,

상기 알루미늄의 산화물은 삼산화 디알루미늄(Al_2O_3)이며, 상기 산화물상은 삼산화 디알루미늄을 산화물상 전체에 대하여 물질량비로 5.0 내지 50.0 mol% 함유하는 것인 탄화규소질 다공체.

청구항 2.

제1항에 있어서, 상기 산화물상은, 상기 탄화규소 입자 및 상기 금속규소의 표면, 또는 상기 탄화규소 입자 또는 상기 금속규소의 표면에 마련되는 것인 탄화규소질 다공체.

청구항 3.

제1항에 있어서, 상기 규소의 산화물은 이산화규소(SiO_2)이며, 상기 알칼리토류 금속의 산화물은 산화칼슘(CaO) 또는 산화스트론튬(SrO)인 것인 탄화규소질 다공체.

청구항 4.

제2항에 있어서, 상기 규소의 산화물은 이산화규소(SiO_2)이며, 상기 알칼리토류 금속의 산화물은 산화칼슘(CaO) 또는 산화스트론튬(SrO)인 것인 탄화규소질 다공체.

청구항 5.

제1항에 있어서, 상기 산화물상은 이산화규소, 삼산화 디알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물을 포함하며, 상기 산화물상은 비정질상 또는 삼산화 디알루미늄이 결정 구조 내에 포함된 결정질상인 것인 탄화규소질 다공체.

청구항 6.

제5항에 있어서, 상기 결정질상은 코디어라이트, 애노타이트(anorthite) 또는 스트론튬 장석($SrAl_2Si_2O_8$)을 포함하는 것인 탄화규소질 다공체.

청구항 7.

탄화규소질 다공체로 이루어지는 허니컴 구조체로서, 상기 탄화규소질 다공체는 골재로서의 탄화규소 입자와 결합체로서의 금속규소가 상기 탄화규소 입자 사이에 공극을 형성하도록 결합되어 있고, 각 공극의 적어도 일부에 산화물상을 갖고 있으며,

상기 산화물상은 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물을 포함하며, 또 상기 산화물상은 알칼리토류 금속 규산염 결정상을 실질적으로 함유하지 않고,

상기 알루미늄의 산화물은 삼산화 디알루미늄(Al_2O_3)이며, 상기 산화물상은 삼산화 디알루미늄을 산화물상 전체에 대하여 물질량비로 5.0 내지 50.0 mol% 함유하는 것인 허니컴 구조체.

청구항 8.

탄화규소질 다공체를 제조하는 제조 방법으로서,

탄화규소 입자 및 금속규소에 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속을 함유하는 화합물을 첨가하여 원료를 얻는 단계와, 얻어진 원료를 소정 형상으로 성형하는 단계와, 그리고 얻어진 성형 제품을 하소하고 소성하여, 상기 탄화규소 입자 및 상기 금속규소의 표면, 또는 상기 탄화규소 입자 또는 상기 금속규소의 표면의 적어도 일부에 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물을 포함하는 산화물상을 갖고 있고 또 산화물상 전체에 대하여 삼산화 디알루미늄(Al_2O_3)의 함유량이 물질량비로 5.0 내지 50.0 mol%인 다공체를 얻는 단계를 포함하는 탄화규소질 다공체의 제조방법.

명세서

기술분야

본 발명은 탄화규소질 다공체 및 그 제조방법, 그리고 허니컴 구조체에 관한 것이다. 보다 구체적으로는, 다공체에 촉매를 담지시키는 데에 사용되는 산(특히, 초산)에 의해 침식되는 것이 유효하게 방지되어, 향상된 내산성을 나타내는 탄화규소질 다공체 및 그 제조방법, 그리고 그러한 탄화규소질 다공체를 갖는 허니컴 구조체에 관한 것이다.

배경기술

디젤엔진으로부터 배출되는 배기가스와 같은 먼지 함유 유체 중에 함유된 입자상 물질을 포집 제거하기 위한 필터(디젤 파티클레이트 필터(DPF))로서, 또는 배기가스 내에 함유된 유해 물질을 정화하는 촉매 성분을 담지하기 위한 촉매 담체로서, 인접한 셀의 균을 형성하는 셀 격벽과, 셀 복합체의 외주에 위치하는 최외주 셀을 둘러싸 유지하는 허니컴 외벽으로 구성된 다공질의 허니컴 구조체가 널리 사용되고 있다. 그러한 허니컴 구조체의 재료로서는 내화성의 탄화규소(SiC)가 이용되고 있다.

또한, DPF에 산화 촉매를 담지하여 퇴적된 입자를 산화 및 연소시켜 연속적으로 재생하는 재생 방식을 사용하는 DPF(촉매재생용 DPF)가 개발되었다.

이러한 허니컴 구조체로는, 예컨대, 시작 원료로서 소정의 비표면적을 갖고 있고 불순물을 함유하는 탄화규소를 원하는 형상으로 성형하고, 그 성형 제품을 건조시키고, 건조된 제품을 1600 내지 2200 °C의 온도 범위에서 소성함으로써 얻어지는 허니컴 구조체를 갖는 다공성의 탄화규소질 촉매 담체가 개시되어 있다(예컨대, 일본 특허 공개 평성6-182228호 공보 참조).

탄화규소 입자의 재결정 반응을 활용하는 일본 특허 공개 평성6-182228호 공보에 개시된 촉매 담체의 소결 형태[네킹(necking)]에서는, 탄화규소 성분이 탄화규소 입자의 표면에서 증발하여, 입자 사이의 접촉부(네크부)에서 응축하며, 이에

의해 네크부가 성장하여 결합 상태가 얻어진다. 그러나, 탄화규소를 증발시키기 위해서는 매우 높은 소성 온도가 필요하기 때문에 비용을 증가시킨다. 게다가, 높은 열팽창률을 갖는 재료를 고온에서 소성하는 것을 필요로 하기 때문에, 소성 수율이 저하한다.

또한, 탄화규소 입자의 재결정 반응을 활용하는 소결에 의해 높은 기공율을 갖는 필터(특히, 50% 이상의 기공율을 갖는 필터)를 제조하는 경우, 그 소결 메커니즘이 충분히 기능을 하지 않기 때문에 네크부의 성장이 방해되고, 이에 의해 필터의 강도가 저하하게 된다.

이러한 문제를 해소하기 위한 관련 기술로서, 골재로서의 내화성 입자(특히, 탄화규소)와 금속규소를 포함하는 다공질 허니컴 구조체 및 그 제조방법이 개시되어 있다(예컨대, 일본 특허 공개 제2002-201082호 공보 참조). 이러한 제조방법에 따르면, 다공질 허니컴 구조체를 비교적 낮은 소성 온도에서 저렴하게 제조할 수 있고, 얻어진 다공질 허니컴 구조체는 고기공율, 고열전도율, 그리고 고강도와 같은 특성을 갖다.

또한, 허니컴 구조체의 강도 및 내산화성(이상연소 기간 등)을 향상시키기 위해서, 탄화규소 및 금속규소의 표면에 (1) 탄화규소 원료 및 금속규소를 미리 공기 중에서 산화시키거나, 하소(calcinating) 단계에서 산화시키고, (2) 소성 후에 얻어지는 제품을 산소를 포함하는 분위기에 열처리하며, (3) 규소 및 산소를 포함하는 용액을 이용하여 허니컴 구조체의 표면을 코팅하는 등의 방법에 의해, 산소 함유상을 형성하는 기법이 제안되었다(예컨대, 일본 특허 공개2002-154882호 공보 참조).

전술한 관련 기술에 비해 허니컴 구조체의 강도를 더욱 향상시키기 위해서, 골재로서의 탄화규소와 금속규소의 표면상의 산화물막(이산화규소)에, 1200 내지 1600℃의 공융점을 갖는 알칼리토류 금속(칼슘 또는 스트론튬)을 첨가하고, 그 산화물막을 용융 제거하여 탄화규소와 금속규소 사이의 습윤성(wettability)을 향상시켜, 탄화규소와 금속규소의 접합부를 두껍게 하는 방법이 제안되었다(일본 특허 출원 번호 제2002-61989호 참조). 이러한 방법에 따르면, 우수한 강도의 허니컴 구조체를 얻을 수 있다. 그러나, 칼슘의 첨가는 소성후의 산화물상 내에 규산칼슘(알칼리토류 금속 규산염) 결정상의 형성을 야기하는 데, 이러한 결정상은 허니컴 구조체에 촉매를 담지시키는 경우에 사용하는 초산에 용해되어, 용액(촉매가 산에 용해되어 있는 용액)을 오염시키게 된다. 이러한 문제점은, 칼슘을 스트론튬에 대체 하는 것으로 해결되었다. 그러나, 첨가되는 스트론튬의 양이나 소성 조건에 따라 칼슘의 경우와 동일한 식으로 규산스트론튬(알칼리토류 금속 규산염) 결정상이 형성되는 데, 이 결정상이 초산에 용해되고, 그 결과 내산(초산)성이 나빠진다.

발명의 상세한 설명

본 발명은 다공체에 촉매를 담지시키는 데에 사용하는 산(특히, 초산)에 의한 침식을 유효하게 방지하여, 향상된 내산성을 나타내는 탄화규소질 다공체 및 그 제조방법, 그리고 그 탄화규소질 다공체를 포함하는 허니컴 구조체를 제공한다.

본 발명에 의해서 이하의 탄화규소질 다공체 및 그 제조방법, 그리고 허니컴 구조체가 제공된다.

[1] 골재로서의 탄화규소 입자와 결합재로서의 금속규소가, 상기 탄화규소 입자들 간에 공극을 형성하도록 결합되어 있는 탄화규소질 다공체로서, 각 공극의 적어도 일부에 산화물상을 포함하며, 이 산화물상은 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물을 포함하며, 상기 산화물상은 알칼리토류 금속 규산염 결정상은 실질적으로 함유하지 않는 것인 탄화규소질 다공체.

[2] 상기 산화물상은 상기 탄화규소 입자의 표면 및/또는 상기 금속규소의 표면에 제공되는 것인 [1]에 기재된 탄화규소질 다공체.

[3] 상기 규소의 산화물은 이산화규소(SiO_2), 상기 알루미늄의 산화물은 삼산화 디알루미늄(Al_2O_3), 상기 알칼리토류 금속의 산화물은 산화칼슘(CaO) 또는 산화스트론튬(SrO)인 것인 [1] 또는 [2]에 기재된 탄화규소질 다공체.

[4] 상기 산화물상은 상기 삼산화 디알루미늄을 산화물상 전체에 대하여 물질량비로 5.0 내지 50.0 mol% 함유하는 것인 [3]에 기재된 탄화규소질 다공체.

[5] 상기 산화물상은, 이산화규소, 삼산화 디알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물을 포함하며, 상기 산화물상은 비정질상 또는 삼산화 디알루미늄이 결정 구조 내에 포함된 결정질상인 것인 [1] 내지 [4] 중 어느 하나에 기재된 탄화규소질 다공체.

[6] 상기 결정질상은 코디어라이트, 애노타이트(anorthite) 또는 스트론튬 장석($\text{SrAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)을 포함하는 것인 [5]에 기재된 탄화규소질 다공체.

[7] [1] 내지 [6] 중 어느 하나에 기재된 탄화규소질 다공체로 이루어지는 허니컴 구조체.

[8] 탄화규소질 다공체를 제조하는 방법으로서, 탄화규소 입자 및 금속규소에 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속을 함유하는 화합물을 첨가하여 원료를 얻는 단계와, 얻어진 원료를 소정 형상에 성형하는 단계와, 그리고 얻어진 성형 제품을 하소하고 소성하여, 상기 탄화규소 입자 및/또는 상기 금속규소의 표면의 적어도 일부에 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물을 포함하는 산화물상을 갖고 있고 또 산화물상 전체에 대하여 삼산화 디알루미늄(Al_2O_3)의 함유량이 물질량비로 5.0 내지 50.0 mol%인 다공체를 얻는 단계를 포함하는 탄화규소질 다공체의 제조방법.

실시예

본 발명의 탄화규소질 다공체는, 각 공극의 적어도 일부에 산화물상을 갖고 있고, 그 산화물상은 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물을 포함하고, 또 상기 산화물상은 알칼리토류 금속 규산염 결정상을 실질적으로 함유하지 않기 때문에, 상기 산화물상이 다공체에 촉매를 담지시키는 데에 사용하는 산(특히 초산)에 용해되지 않아 향상된 내산성을 나타내며, 다공체에 촉매를 담지시키는 데에 사용하는 용액(촉매가 산에 용해된 용액)의 오염을 억제하게 된다. 산화물상을 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물로 이루어진 삼원계 산화물상(ternary oxide phase)으로 만들어 공용점을 저하시킴으로써 탄화규소 입자 및 금속규소의 표면상의 산화물막(SiO_2 등)을 용이하게 용융 제거할 수 있기 때문에, 금속규소의 습윤성을 향상시킬 수 있고, 이에 의해, 탄화규소질 다공체의 강도를 증가시키게 된다. 또한, 본 발명의 탄화규소질 다공체의 제조방법은, 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속을 함유하는 화합물을, 상기 화합물에 함유되는 알루미늄 전량을 동량의 알루미늄을 포함하는 삼산화 디알루미늄(Al_2O_3)의 양으로 환산하여 얻어지는 값이 소성 후에 형성되는 산화물상 전체의 5.0 mol% 이상으로 되도록 첨가하기 때문에, 알칼리토류 금속 규산염 결정상의 생성을 억제할 수 있다. 여기서, 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속을 함유하는 화합물은, 탄화규소 입자나 금속규소에 불순물로서 함유되는 이산화규소, Al, Ca 등도 포함한다. 또한, 알루미늄 전량을 삼산화 디알루미늄의 양으로 환산하여 얻어지는 값이, 상기 산화물상 전체의 50 mol% 이하로 되도록 첨가하기 때문에, 상기 삼원계 산화물상의 공용점을 충분히 저하시킬 수 있고, 이에 의해 강도를 향상시킬 수 있다. 게다가, 허니컴 구조체가 본 발명의 탄화규소질 다공체를 갖고 있기 때문에, 그 허니컴 구조체의 내산성이 향상되고, 이에 의해 허니컴 구조체에 촉매를 담지시키는 데에 사용하는 용액의 오염을 억제할 수 있다.

이하, 본 발명의 실시 형태에 관해서 설명한다. 하지만, 본 발명은 이하의 실시 형태에 한정되는 것이 아니다. 본 발명의 범위 및 사상을 벗어나지 않으면서 당업자의 통상의 지식에 기초하여, 설계의 다양한 변경 및 개량 등이 이루어질 수도 있다.

도 1은 본 발명의 탄화규소질 다공체의 하나의 실시 형태를 도시하는, 임의의 면에서 절단한 단면의 일부를 확대한 단면도이다.

도 1에 도시한 바와 같이, 본 실시 형태의 탄화규소질 다공체(1)는, 골재로서의 탄화규소 입자(2)와 결합재로서의 금속규소(3)가 탄화규소 입자(2)들 사이에 공극(5)이 형성되도록 결합되어 있고, 또 공극(5)의 적어도 일부에 산화물상(4)을 포함하고 있다. 산화물상(4)은 공극(5)의 적어도 일부에 포함되어 있으면 충분하다. 도 1에 도시한 바와 같이, 산화물상(4)은 탄화규소 입자(2)와 금속규소(3)에 의해 형성되는 공극 내부에서 막 형태로 탄화규소 입자(2)의 표면 및/또는 금속규소(3)의 표면에 배치되어 있는 것이 바람직하다. 또한, 산화물상(4)은 막 형태로 배치되지 않을 수도 있으며, 예컨대, 미세한 공극(5)이 산화물상(4)으로 채워져 있을 수도 있다. 그러나, 평균 공극 크기 및 기공율이 너무 작지 않은 것이 바람직하다. 본 실시 형태에 있어서, 산화물상(4)은, 이산화규소(SiO_2), 삼산화 디알루미늄(Al_2O_3) 및 산화스트론튬(SrO)을 포함하며, 알칼리토류 금속 규산염 결정상(SrSiO_3 등)은 실질적으로 함유하지 않는다. 산화물상(4)이 알칼리토류 금속 규산염 결정상을 실질적으로 함유하는가의 여부는, X선 회절을 사용하여 산화물상(4)의 결정상(산화물 결정상)을 확인함으로써 검증할 수 있다(SrSiO_3 등의 X선 회절의 유무). 그리고, "알칼리토류 금속 규산염 결정상은 실질적으로 함유하지 않는다"라는 문장은, 예컨대, 고분해능 X선 회절 측정에서, 알칼리토류 금속 규산염(SrSiO_3 등) 결정상의 X선 회절 패턴이 확인되지 않은 것을 말한다. "알칼리토류 금속 규산염 결정상은 실질적으로 함유하지 않는다"라는 문장은 또한, 상기 산화물상(4)이 조성상에서 이산화규소(SiO_2) 및 산화스트론튬(SrO)을 포함하고 있더라도, 삼산화 디알루미늄(Al_2O_3)을 포함함으로써 인해, 비정질 산화물상 및/또는 알칼리토류 금속 규산염 이외의 스트론튬 장석($\text{SrAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$)과 같은 알루미늄을 포함하는 산화물 결정상으로 되어 있는 경우도 포함된다. 이산화규소가 규소의 산화물이고, 삼산화 디알루미늄이 알루미늄의 산화물이면

충분하다. 또한, 산화스트론튬이 알칼리토류 금속의 산화물이면 충분하다. 보다 구체적으로는, 산화스트론튬이 마그네슘, 칼슘, 스트론튬 및 바륨으로 이루어지는 군으로부터 선택되는 적어도 1종의 알칼리토류 금속의 산화물(예컨대, MgO, CaO 등)이어도 충분하다. 이 경우, 알칼리토류 금속은 1종류만일 수도 있고, 다른 종류의 알칼리토류 금속이 혼합될 수도 있다. 그리고, 알칼리토류 금속 규산염 결정상은, CaSiO₃, Ca₂SiO₄ 또는 SrSiO₃와 같이 알루미늄을 포함하지 않는 모든 알칼리토류 금속 규산염을 지칭한다.

본 발명에 있어서, 산화물상(4)이 알칼리토류 금속 규산염 결정상을 실질적으로 함유하는가의 여부는, 예컨대, Rigaku Corporation에서 제조한 고분해능의 분말 X선 회절 장치(HR-XRD) "RINT-2500"을 사용하여 소정의 조건(X선: Cu Kα1, 관 전압: 50kV, 관 전류: 300mA, 계수관: 신틸레이션 카운터, 측각기: RINT 2000 광각 고니오미터, 어태치먼트: ASC-6S, 카운터 모노크로메이터(counter monochromator): 전자동 모노크로메이터, 발산 슬릿: 1 deg., 확산 슬릿: 1 deg., 수광 슬릿: 0.3mm, 스캔 모드: 연속, 스캔 스피드: 2°/min, 스캔 스텝: 0.02°, 스캔 축: 2θ/θ)하에서 시료의 X선 회절 패턴을 측정하여, 얻어진 회절 패턴에 알칼리토류 금속 규산염 결정상의 회절선이 관측되는가를 확인함으로써, 확인할 수 있다. 전술한 장치의 검출 한계 이하의 미량의 알칼리토류 금속 규산염 결정상이 함유되어 있더라도, 상기 알칼리토류 금속 규산염 결정상의 X선 회절 패턴이 관측되지 않으면 "알칼리토류 금속 규산염 결정상은 실질적으로 함유하지 않는 것"으로 정한다.

전술한 바와 같이 구성된 본 실시 형태의 탄화규소질 다공체(1)는, 촉매 성분을 담지하여 유해 물질을 제거하는 필터 등으로서 사용된다.

본 실시 형태의 탄화규소질 다공체(1)는, 공극(5)의 적어도 일부에 산화물상(4)을 갖고 있고, 그 산화물상(4)은 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물을 포함하여, 또, 산화물상(4)은 알칼리토류 금속 규산염 결정상을 실질적으로 함유하지 않기 때문에, 다공체(1)에 촉매를 담지시키는 데에 사용하는 산(특히, 초산)에 산화물상이 용해되지 않아 향상된 내산성을 나타내며, 이에 의해 다공체(1)에 촉매를 담지시키는 데에 사용되는 용액의 오염을 억제하게 된다. 구체적으로, 촉매를 탄화규소질 다공체(1)에 담지시키는 경우, 촉매를 산(초산 등)에 용해시켜, 예컨대 그 용액을 탄화규소질 다공체(1)에 도포한다. 이 경우, 알칼리토류 금속 규산염 결정상이 탄화규소질 다공체(1) 내에 실질적으로 존재하지 않기 때문에, 산화물상이 산(초산 등)에 용해되지 않고, 이에 의해 탄화규소질 다공체(1)가 침식되는 것이 방지된다.

본 실시 형태의 탄화규소질 다공체(1)가 골재로서의 탄화규소 입자(2)와 금속규소(3)를 포함하고 있기 때문에, 그 탄화규소질 다공체(1)를 제조 중에 비교적 낮은 소성 온도에서 소결할 수 있어, 제조비용을 감소시키는 동시에 제조 수율을 향상시킬 수 있다. 또한, 내화성 입자인 탄화규소 입자(2)를 결합하는 데에 금속규소(3)를 이용하고 있기 때문에, 탄화규소질 다공체(1)는 높은 열전도율을 나타낸다. 따라서, 탄화규소질 다공체(1)를 DPF에 사용한 경우, 퇴적된 입자를 연소시켜 필터를 재생시키더라도 필터의 손상을 야기할 수 있는 국소적 온도 상승이 거의 발생하지 않는다.

또한, 탄화규소질 다공체(1)가 공극(5)의 적어도 일부에 규소, 알루미늄, 및 알칼리토류 금속의 산화물을 포함하는 산화물상(4)을 갖고 있기 때문에, 그 탄화규소질 다공체(1)가 DPF로서 사용되는 경우에 겪게 되는 저산소 분위기에서의 고온에 노출되는 경우라도, 탄화규소 입자(2)와 금속규소(3)의 산화 및 분해가 억제된다. 구체적으로, 본 실시 형태의 탄화규소질 다공체는 강도, 내산화성 및 내열충격성이 우수하기 때문에, 필터 재생시에 탄화규소와 금속규소의 산화 반응에 의한 발열이 거의 발생하지 않고, 이에 의해 필터가 거의 손상되지 않는다. 게다가, 산화물상(4)은 탄화규소 입자(2)의 표면 및/또는 금속규소(3)의 표면에 마련되는 것이 바람직하다. 이는 강도, 내산화성 및 내열충격성을 더욱 향상시킨다.

본 실시 형태의 탄화규소질 다공체(1)에 있어서, 산화물상(4)은 삼산화 디알루미늄을 전체 산화물상(4)에 대하여 물질량 비로 바람직하게는 5.0 내지 50.0 mol%, 보다 바람직하게는 7.0 내지 40.0 mol%, 가장 바람직하게는 8.0 내지 35.0 mol% 함유한다. 삼산화 디알루미늄의 함유량이 5.0 mol% 이상이면, 산화물상(4)에 포함되는 알칼리토류 금속 산화물 및 이산화규소로부터 형성되는 알칼리토류 금속 규산염의 형성을 억제(비정질화)할 수 있다. 또한, 삼산화 디알루미늄의 함유량이 특정값 이상으로 되면, 산화물상(4)의 일부 또는 전체가 코디어라이트의 결정, 애노타이트의 결정, 스트론튬 장석(SrAl₂Si₂O₈)의 결정과 같이 삼산화 디알루미늄이 결정 구조내에 포함된 결정질상을 형성하는 경우가 있다. 그리고, 이들 알칼리토류 금속 규산염 결정상을 대신하여 형성되는, 알루미늄을 포함하는 비정질상 및 삼산화 디알루미늄이 결정 구조내에 포함된 결정질상은, 다공체(1)에 촉매를 담지시키는 데에 사용되는 산(특히, 초산)에는 용해되지 않기 때문에, 탄화규소질 다공체(1)의 내산(초산)성이 향상된다. 한편, 삼원계 산화물상으로서의 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물로 이루어진 산화물상(4)의 공용점을 저하시킴으로써 탄화규소 입자 및 금속규소 표면상의 산화물막(SiO₂ 등)을 용융 제거하여, 금속규소의 습윤성을 향상시키기 위해서는, 삼산화 디알루미늄은 산화물상(4) 내에 바람직하게는 5.0 내지 50.0 mol%, 보다 바람직하게는 7.0 내지 40.0 mol%, 특히 바람직하게는 8.0 내지 35.0 mol% 함유된다.

삼산화 디알루미늄의 함유량이 5.0 mol%보다 작은 경우에는 삼산화 디알루미늄이 산화물상(4) 내에서 충분히 확산되지 않고, 이에 의해 알칼리토류 금속 규산염 결정상의 형성을 억제할 수 없을 수도 있다. 삼산화 디알루미늄의 함유량이 50.0 mol%보다 클 때는, 산화물상(4)의 공융점을 충분히 저하시킬 수 없고, 이에 의해 탄화규소 입자와 금속규소 간의 습윤성이 저하할 수 있다.

산화물상(4) 내의 이산화규소의 함유량은, 산화물상(4)의 공융점을 저하시킨다는 관점에서, 10.0 내지 70.0 mol%인 것이 바람직하다. 그 함유량이 10.0 mol%보다 작거나, 70.0 mol%보다 크게 되면, 산화물상(4)의 공융점을 충분히 감소시킬 수 없을 수 있다. 산화물상(4) 내의 알칼리토류 금속 산화물의 함유량은 산화물상(4)의 공융점을 저하시킨다는 관점에서, 10.0 내지 70.0 mol%인 것이 바람직하다. 그 함유량이 10.0 mol%보다 작거나 70.0 mol%보다 크게 되면, 산화물상(4)의 공융점을 충분히 저하시킬 수 없을 수 있다.

산화물상(4) 내에서의 이산화규소, 삼산화 디알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물의 양의 비는, 첨가되는 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속을 함유하는 화합물에 포함된 각 원소와, 금속규소에 불순물로서 포함된 알루미늄, 칼슘 등을 각각의 산화물로서 환산하여 얻어진 값과, 탄화규소 입자 및/또는 금속규소 표면의 산화물막에 포함된 이산화규소의 양을 원료 분말을 화학적으로 분석함으로써 결정된 산소량으로부터 환산한 값으로부터 산출할 수 있다. 또한, 이들 값은, 얻어진 탄화규소질 다공체(1)의 연마면에 존재하는 산화물상(4)의 EDS 점분석 등에 의해 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속 각각의 고유의 특성 X선을 측정하여 각 원소의 양을 결정하거나, 또는, 소정의 화학 분석 등에 의해 각 원소의 양을 결정함으로써 산출할 수 있다. 측정 방법은 전술한 것에 한정되는 것은 아니다.

다음에, 본 발명의 탄화규소질 다공체의 제조방법의 하나의 실시 형태에 관해서 설명한다.

본 실시 형태의 탄화규소질 다공체의 제조방법에 있어서, 탄화규소 입자와 금속규소에 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속을 함유하는 화합물을 소정량 첨가한다. 이러한 혼합물에 기공 형성제 등을 임의로 첨가하여 원료 혼합물을 얻을 수 있다.

이 원료 혼합물에 필요에 따라 유기 바인더 등의 성형조제를 첨가한 후, 이들 성분을 혼합하여 성형용 배토를 얻는다.

상기 배토 내의 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속을 함유한 화합물은, 소성 후에 얻어지는 탄화규소질 다공체의 탄화규소 입자 및/또는 금속규소의 표면의 적어도 일부에 마련되는 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물을 함유한 산화물상 전체에 대하여 삼산화 디알루미늄의 함유량이 5.0 내지 50.0 mol%가 되도록 첨가된다. 이러한 첨가량은, 첨가되는 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속을 함유한 화합물에 포함된 각 원소와, 금속규소에 불순물로서 포함된 알루미늄, 칼슘 등을 각각의 산화물로서 환산한 값과, 탄화규소 입자 및/또는 금속규소 표면의 산화물막에 함유된 이산화규소의 양을 원료 분말을 화학적으로 분석함으로써 결정된 산소량으로부터 환산한 값으로부터 산출할 수 있다. 첨가되는 화합물에 함유된 알칼리토류 금속은, 산화물상을 효율적으로 형성할 수 있고, 또 그러한 화합물의 입수 및 취급이 용이하기 때문에, 예컨대, 산화스트론튬(SrO) 또는 탄산스트론튬(SrCO_3)과 같은 일산화물 또는 탄산염 형태로 함유되는 것이 바람직하다. 알루미늄은, 삼산화 디알루미늄(Al_2O_3) 또는 금속 알루미늄(Al)의 형태로 함유되는 것이 바람직하다. 이 경우, 금속 알루미늄은, 금속규소의 불순물로서 함유되더라도 좋다. 규소는 이산화규소(SiO_2) 또는 콜로이드 실리카의 형태로 함유되는 것이 바람직하다. 이 경우, 이산화규소는 탄화규소 입자 및 금속규소의 표면을 덮는 산화물막으로서 함유되더라도 좋다. 기공 형성제로서는 전분이나 발포수지 등의 유기질 기공 형성제를 사용할 수 있다.

얻어진 배토를 허니컴 형상과 같은 소정 형상으로 성형한다. 얻어진 성형 제품을 하소하여 성형 제품 내의 유기 바인더를 제거(탈지)하고, 이어서 소성하여 탄화규소질 다공체를 얻을 수 있다.

본 실시 형태의 탄화규소질 다공체의 제조방법에 있어서, 첨가되는 화합물에 함유된 알루미늄과 금속규소에 포함된 알루미늄이 삼산화 디알루미늄으로 변환된 후의 삼산화 디알루미늄의 함유량이 전체 산화물상에 대하여 5.0 내지 50.0 mol%로 조절되기 때문에, 알루미늄을 포함하는 비정질상 및/또는 삼산화 디알루미늄이 결정 구조내에 포함된 결정질상이 산화물상 내에 형성되고, 이에 의해 알칼리토류 금속 규산염 결정상의 형성을 억제할 수 있다. 그리고, 이러한 알루미늄을 포함하는 비정질상 및 삼산화 디알루미늄이 결정 구조내에 포함된 결정질상은, 촉매를 담지시키는 데에 사용되는 산(특히, 초산)에 용해되지 않기 때문에, 향상된 내산(초산)성을 갖는 탄화규소질 다공체가 제조될 수 있다.

본 실시 형태의 탄화규소질 다공체의 제조방법에 있어서는, 금속규소의 용융 온도보다 낮은 온도에서 하소를 실시하는 것이 바람직하다. 구체적으로는, 성형 제품을 약 150 내지 700 °C의 소정 온도로 유지하거나, 성형 제품을 소정 온도 범위에서 50 °C/hr 이하의 승온 속도로 하소할 수 있다. 또한, 성형 제품을 소정 온도로 유지하는 경우에, 그 성형 제품은 유기 바

인더의 종류와 양에 따라 하나의 온도 수준에서만 유지하거나 복수의 온도 수준에서 유지할 수 있다. 복수의 온도 수준에서 성형 제품을 유지하는 경우에는, 각 온도 수준에서의 유지 시간을 동일하게 하거나 다르게 할 수 있다. 또한, 승온 속도를 느리게 하는 경우에는, 승온 속도를 어떤 하나의 온도 범위에서만 느리게 하거나 복수의 온도 범위에 걸쳐 느리게 할 수 있다. 복수의 온도 범위에 걸쳐 느리게 하는 경우에는, 각 온도 범위에서의 승온 속도를 동일하게 하거나 다르게 하더라도 좋다.

얻어지는 탄화규소질 재료가, 이에 포함된 내화성 입자가 금속규소를 통해 결합되어 있는 다공성 구조를 갖도록 하기 위해, 소성 동안에 금속규소를 연화시킬 필요가 있다. 금속규소의 용점은 1410°C이기 때문에, 소성 온도를 1410°C 이상으로 설정하는 것이 바람직하다. 최적의 소성 온도는 미세 구조나 특성값에 따라 결정된다. 다만, 소성 온도가 1600°C을 넘는 경우에는, 금속규소를 통한 결합은 그 금속규소의 증발이 진행하기 때문에 곤란해진다. 따라서, 소성 온도로서는 1410 내지 1600°C가 바람직하며, 1420 내지 1580°C가 더욱 바람직하다.

이하, 본 발명의 허니컴 구조체의 하나의 실시 형태에 관해서 설명한다.

본 실시 형태의 허니컴 구조체는 본 발명의 탄화규소질 다공체에 의해 형성되어, 유체 유로로서 기능을 하는 복수의 셀을 포함하는 구조체이다. 허니컴 구조체의 형상은 특히 한정되는 것은 아니다. 예컨대, 허니컴 구조체는 주상 구조를 갖는다. 이 주상 구조의 축방향에 대해 직각인 평면에서 절단한 단면 형상은 다각형(사각형 등), 원형, 타원형, 달걀 형태, 비대칭형 등으로 이루어진다. 셀의 단면 형상도 특히 한정되는 것은 아니다. 그 셀의 단면 형상은 삼각형, 사각형, 육각형, 원형 등으로 이루어진다. 유체 유로로서 기능을 하는 셀의 밀도도 특히 한정되는 것은 아니다. 최적의 셀 밀도는 그 용도에 따라 선택할 수 있다. 본 실시 형태의 허니컴 구조체는 그 구성 재료로서의 본 발명의 탄화규소질 다공체의 특성을 갖기 때문에 내산(초산)성, 내산화성, 내입자반응성(particulate reaction resistance) 및 내열충격성이 우수하다. 본 발명의 허니컴 구조체는, DPF, 촉매 재생용 DPF, 또는 촉매 담체 등으로서 높은 공간 속도(SV) 조건하에서 사용할 수 있다.

본 실시 형태의 허니컴 구조체의 제조방법에서는, 전술한 본 발명의 탄화규소질 다공체의 제조방법의 실시 형태에 있어서 배토를 소정 형상에 성형할 때, 압출 등에 의해 그 배토를 허니컴 형상으로 형성한다. 이어서, 얻어진 성형 제품을 하소하고, 그 후 소성을 행하여 탄화규소질 다공체로 형성된 허니컴 구조체를 얻는다.

(실시예)

이하, 본 발명의 실시예에 관해서 설명한다. 그러나, 본 발명은 이하의 실시예에 한정되는 것은 아니다.

(실시예 1 내지 4 및 비교예 1 내지 4)

33 μ m의 평균 입자 지름을 갖는 탄화규소 분말(탄화규소 입자)과 5 μ m의 평균 입자 지름을 갖는 금속규소 분말을, 탄화규소 분말의 질량과 금속규소 분말의 질량의 총합에 대한 탄화규소 분말의 질량의 비율이 80질량%가 되도록 혼합하였다. 또, 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속을 함유한 화합물을 첨가한 후에, 구성 성분들을 혼합하여 원료 혼합물을 얻었다.

그리고, 이 원료 혼합물 100질량부에 대해 유기 바인더로서 메틸 셀룰로오스를 6질량부, 계면활성제를 2.5질량부, 물을 24질량부 첨가한 후에, 그 구성 성분들을 혼합하였다. 이러한 혼합물을 진공 토런기를 사용하여 30분 동안 반죽하여 성형용의 배토를 얻었다. 표 1에는 각 구성 성분의 비율(SiO₂ 함유량, Al₂O₃ 함유량, 알칼리토류 금속 산화물(XO) 함유량)이 제시되어 있으며, 이러한 구성 성분의 비율은, 소성 후에 얻어지는 산화물상 내의 각 산화물상의 구성 성분(산화물상 구성 성분)과, 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속을 함유한 화합물에 포함된 각 원소 및 금속규소에 불순물로 포함된 알루미늄, 칼슘 등을 각각의 산화물로서 환산한 값과, 탄화규소 입자 및/또는 금속규소 표면의 산화물막에 포함되는 이산화규소의 양을 원료 분말을 화학적으로 분석함으로써 결정된 산소량으로부터 환산한 값으로부터 산출된다.

[표 1]

	산화물상 구성성분	Al ₂ O ₃ 함유량 (mol%)	SiO ₂ 함유량 (mol%)	XO 함유량 (mol%)	산화물상의 결정 종류
실시예 1	SrO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	8.2	28.4	63.4	비정질상
실시예 2	SrO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	35.1	26.1	38.8	SrAl ₂ Si ₂ O ₈

실시예 3	MgO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	41.5	23.2	35.3	코디어라이트
실시예 4	CaO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	32.4	18	49.6	애노타이트
비교예 1	MgO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	4.8	37.8	57.4	포스터라이트(Mg ₂ SiO ₄)
비교예 2	CaO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	3.5	25.7	70.8	규산 칼슘(CaSiO ₃)
비교예 3	SrO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	4	29.7	66.3	규산 스트론튬(SrSiO ₃)
비교예 4	SrO, Al ₂ O ₃ , SiO ₂	55.3	14.5	30.2	SrAl ₂ Si ₂ O ₈

X : 알칼리토류 금속(Sr, Mg 또는 Ca)

얻어진 배토를 45mm의 외부 지름, 120mm의 길이, 0.43mm의 격벽 두께, 그리고 100셀/평방인치(16셀/cm²)의 셀 밀도를 갖는 허니컴 형상으로 성형하였다. 얻어진 성형 제품을 500℃에서 5 시간동안 하소하여 성형 제품내의 유기 바인더를 제거(탈지)하였고, 이어서 비산화분위기 내에서, 2시간 동안 1450℃에서 소성하여, 탄화규소질 다공체(실시예 1 내지 4 및 비교예 1 내지 4)를 얻었다. 얻어진 탄화규소질 다공체에 대해서 다음과 같은 평가를 수행하였다.

(산화물상의 결정 종류)

얻어진 탄화규소질 다공체(실시예 1 내지 4 및 비교예 1 내지 4)의 산화물상의 결정화 상태 및 결정(결정화된 물질)의 종류(산화물상의 결정 종류)를 X선 회절을 사용하여 확인하였다. 그 결과가 표 1에 제시되어 있다.

산화물상의 결정 종류의 확인 방법:

소정의 측정 방법을 사용하여 얻어진 각 탄화규소질 다공체의 X선 회절 패턴을 기지의 산화물 결정의 X선 회절 패턴과 비교하여, 산화물상의 결정 종류를 결정하였다. 이 때, 산화물 결정의 X선 회절 패턴으로서 작은 피크만을 확인할 수 있으면 충분하다. 또한, 산화물 결정상에 기인한 X선 회절 패턴을 확인할 수 없는 상이거나, 약 $\theta=20$ 내지 30° 에서 비정질인 유리 성분에 기인한 넓은 회절이 확인된 상은 비정질상으로 정하였다. 이 경우, 비정질상이 알루미늄을 포함하는가의 여부는, 얻어진 탄화규소질 다공체의 연마면에 존재하는 산화물상의 EDS 점분석 등에 의해서 알루미늄에 대한 고유의 특성 X선을 측정함으로써 확인할 수 있다. 또한, 산화물 결정상과 비정질상이 혼합 상태로 형성되어 있는 경우에는, 편의를 위해 확인될 수 있는 산화물 결정상을 산화물상의 결정 종류로 정하였다(비정질상은 초산에 용해되지 않는다).

(X선 회절 측정 방법)

전술한 소정의 측정 방법은, Rigaku Corporation에서 제조한 고분해능의 분말 X선 회절 장치(HR-XRD) "RINT-2500"을 이용하여 소정의 조건(X선: CuK α 1, 관 전압: 50kV, 관 전류: 300mA, 계수관: 신틸레이션 카운터, 측각기: RINT 2000 광각 고니오미터, 어태치먼트: ASC-6S, 카운터 모노크로메이터: 전자동 모노크로메이터, 발산 슬릿: 1 deg., 확산 슬릿: 1 deg., 수광 슬릿: 0.3mm, 스캔 모드: 연속, 스캔 스피드: 2°/min, 스캔 스텝: 0.02°, 스캔 축: 2 θ / θ)하에서 시료의 X선 회절 패턴을 측정 분석하는 방법일 수 있다. 그러나, 측정 방법은 전술한 측정 방법이나 측정 조건에 한정되는 것은 아니다. 측정 장치는 분해능이 높은 쪽이 바람직하다.

(기공율)

얻어진 탄화규소질 다공체(실시예 1 내지 4 및 비교예 1 내지 4)의 기공율(%)을 아르키메데스(Archimedes)법을 사용하여 측정하였다. 그 결과가 표 2에 제시되어 있다.

(강도 평가)

얻어진 탄화규소질 다공체(실시예 1 내지 4 및 비교예 1 내지 4)의 강도를 다음과 같은 방법으로 측정하였다. 그 결과를 표 2에 나타내었다.

강도 측정 방법:

실온에서의 4점 굽힘 강도를 JIS R1601에 기술된 방법에 따라 측정하였다.

(내초산성 평가)

얻어진 탄화규소질 다공체(실시에 1 내지 4 및 비교예 1 내지 4)의 내초산성을 평가하였다. 그 결과가 표 2에 제시되어 있다.

내초산성 평가 방법:

탄화규소질 다공체를 초산의 10질량% 수용액에 30분간 침지하였으며, 침지전후의 질량 변화를 측정하였다. 그리고, 아래의 식(1)을 사용하여 질량 감소율(질량%)을 계산하여, 내초산성의 지표로 삼았다. 질량 감소율이 작을수록 내초산성이 우수함을 나타낸다. 그 결과를 표 2에 나타내었다. 또한, 질량 변화는, 시험 후 초산 수용액에 용해된 SiO_3^{2-} , SiO_4^{4-} 와 같은 규산염 이온 및 Sr^{2+} 와 같은 알칼리토류 금속 이온을 화학 분석에 의해서 정량하여 산출할 수도 있다. 내초산성의 평가 방법이 전술한 방법에 한정되는 것은 아니다.

$$\text{(질량 감소율)} = \frac{\text{(침지 전 질량)} - \text{(침지 후 질량)}}{\text{(침지 전 질량)}} \times 100 \dots (1)$$

침지 전 질량 : 탄화규소질 다공체를 초산의 수용액에 침지하기 전의 건조 질량

침지 후 질량 : 탄화규소질 다공체를 초산의 수용액에 침지한 후의 건조 질량

[표 2]

	기공율(%)	강도(MPa)	내초산성(질량%)
실시예 1	44	30	0
실시예 2	42	24	0
실시예 3	46	23	0
실시예 4	43	28	0
비교예 1	47	-	1.1
비교예 2	46	-	1.2
비교예 3	45	-	1.5
비교예 4	45	15	0

표 2에 나타낸 바와 같이, 산화물상 내의 삼산화 디알루미늄의 함유량이 5 mol% 이상의 경우에 알칼리토류 금속 규산염 결정상의 형성이 억제되기 때문에, 산화물상이 초산에 용해되지 않는다. 또한, 산화물상 내의 삼산화 디알루미늄의 함유량이 50 mol% 이하의 경우, 강도가 높고 내초산성이 우수한 탄화규소질 다공체가 얻어진다.

산업상 이용 가능성

전술한 바와 같이, 본 발명의 탄화규소질 다공체는 각 공극의 적어도 일부에 산화물상을 갖고 있고, 그 산화물상이 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속의 산화물을 함유하며, 또한 상기 산화물상이 알칼리토류 금속 규산염을 실질적으로 함유하지 않기 때문에, 다공체에 촉매를 담지시키는 데에 사용하는 산(특히, 초산)에 산화물상이 용해되지 않아 향상된 내산성을 나타내며, 이에 의해 다공체에 촉매를 담지시키는 데에 사용하는 용액(촉매가 산에 용해되어 있는 용액)의 오염이 억제된다. 또한, 본 발명의 탄화규소질 다공체의 제조방법에 따르면, 규소, 알루미늄 및 알칼리토류 금속을 함유하는 화합물을, 이 화합물에 함유된 알루미늄 전량을 동량의 알루미늄을 포함하는 삼산화 디알루미늄(Al_2O_3)의 양으로 환산하여 얻어지는 값이 소성 후에 형성되는 산화물상 전체에 대하여 5.0 mol% 이상으로 되도록 첨가하기 때문에, 알칼리토류 금속 규산염 결정상의 형성을 억제할 수 있다. 또한, 알루미늄의 전량을 상기 삼산화 디알루미늄의 양으로 환산하여 얻어진 값이, 상기 산화물상 전체에 대하여 50 mol% 이하로 되도록 상기 화합물을 첨가하기 때문에, 상기 삼원계 산화물상의 공용점을 충

분히 저하시킬 수 있고, 이에 의해 강도를 향상시킬 수 있다. 또, 본 발명의 허니컴 구조체에 따르면, 상기 탄화규소질 다공체로 구성되기 때문에, 허니컴 구조체의 내산성이 향상되며, 이에 의해 허니컴 구조체에 촉매를 담지시키는 데에 사용된 용액의 오염을 억제할 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 탄화규소질 다공체의 하나의 실시 형태를 도시하는, 임의의 면에서 절단한 단면의 일부를 확대한 단면도이다.

도면

도면1

