(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0056930
(43) 공개일자 2021년05월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
G21C 7/24 (2006.01) *B32B 15/01* (2006.01)
G21C 9/033 (2006.01)
(52) CPC특허분류
G21C 7/24 (2013.01)
B32B 15/012 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2020-0149670
(22) 출원일자 2020년11월10일
심사청구일자 2020년11월10일
(30) 우선권주장
1020190143584 2019년11월11일 대한민국(KR)

(71) 출원인
한국재료연구원
경상남도 창원시 성산구 창원대로 797 (상남동)
(72) 발명자
조승찬
경상남도 김해시 율하1로 130
김정환
경상남도 창원시 성산구 원이대로878번길 9
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
이인행

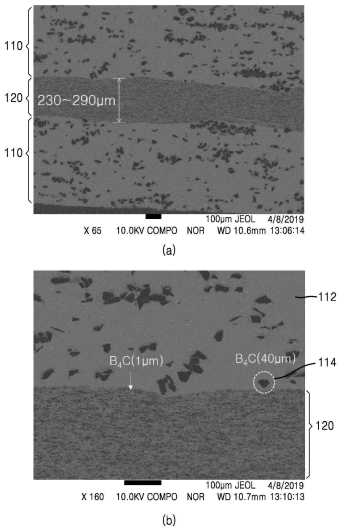
전체 청구항 수 : 총 10 항

(54) 발명의 명칭 **다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재 및 그 제조방법**

(57) 요 약

본 발명의 일 실시예에 의한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재는 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층; 및 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지와 상기 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지 내 분산된 제 2 중성자 흡수 입자를 구비하되, 제 1 복합소재층 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층;을 포함한다.

대 표 도 - 도18



(52) CPC특허분류
G21C 9/033 (2013.01)
B32B 2264/107 (2020.08)
(72) 발명자
이동현
경상남도 김해시 구산로5번길 57
이상관
경상남도 창원시 의창구 용지로 233, 13동 506호
이상복
경상남도 창원시 성산구 원이대로 495, 217동 402호

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711120157
과제번호	PNK6730
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	국가과학기술연구회
연구사업명	재료연구소 운영비지원사업
연구과제명	중성자 차폐용 Al 복합소재 설계 및 공정기술 개발(4/5)
기 여 율	1/1
과제수행기관명	한국기계연구원 부설 재료연구소
연구기간	2020.01.01 ~ 2020.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층;

제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지와 상기 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지 내 분산된 제 2 중성자 흡수 입자를 구비하되, 제 1 복합소재층 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층;을 포함하는,

다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 중성자 흡수 입자는 붕소계 중성자 흡수 입자이고,

상기 제 2 중성자 흡수 입자는 탄화붕소 입자인 것을 특징으로 하는,

다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 중성자 흡수 입자는 붕소계 중성자 흡수 입자이고,

상기 제 2 중성자 흡수 입자는 가돌리늄 산화물 입자인 것을 특징으로 하는,

다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 중성자 흡수 입자는 붕소계 중성자 흡수 입자이고,

상기 제 2 중성자 흡수 입자는 BNNT 입자인 것을 특징으로 하는,

다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 중성자 흡수 입자는 붕소계 중성자 흡수 입자이고,

상기 제 2 중성자 흡수 입자는 BN, TiB_2, Sm_2O_3, Al_3Sm, Al_2Sm 및 AlSm 중에서 선택된 적어도 어느 하나 이상의 입자인 것을 특징으로 하는,

다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 복합소재층의 상면 및 하면에 접하여 배치되는 알루미늄층을 더 포함하는,

다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 알루미늄층을 덮는 붕소 또는 가돌리늄을 첨가한 스틸층을 더 포함하는,

다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 복합소재층의 상면 및 하면에 접하여 배치되는 스틸층을 더 포함하는,

다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재.

청구항 9

제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재 구조체를 준비하는 단계;

상기 제 1 복합소재 구조체의 중앙부를 적어도 일부 관통하는 오목홈을 형성하는 단계;

상기 오목홈에 알루미늄 분말과 제 2 중성자 흡수 입자 분말의 혼합분말을 장입하는 단계;

상기 혼합분말이 장입된 상기 제 1 복합소재 구조체를 열간 압연하는 단계;를 포함하는,

다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재의 제조방법.

청구항 10

제 9 항에 있어서,

상기 열간 압연하는 단계는 알루미늄의 융점 이하의 온도에서 수행하는 것을 특징으로 하는,

다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재의 제조방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 알루미늄 복합소재 및 그 제조방법에 대한 것으로서, 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재 및 그 제조방법에 대한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 재난의 글로벌화, 복합화, 대형화에 따른 피해를 예방하고 방지하도록 사회기반시설의 수명 및 안전성을 담보할 수 있는 안전소재 개발이 사회적 이슈로 부각되고 있다. 특히, 일본의 동북 지방 대지진으로 인한 후쿠시마 원전사태를 겪으면서, 원전 운용에서 사용 후 핵연료 보관 및 수송에 사용되는 중성자 차폐/흡수용 핵심 소재의 개발에 대한 요구가 증대되고 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) 한국공개특허 제20140092480호 (2014-07-24)

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 중성자 흡수능을 증대시킬 수 있는 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재 및 그 제조방법을 제

공하는 것을 목적으로 한다. 그러나 이러한 과제는 예시적인 것으로, 이에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

과제의 해결 수단

[0005] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 일 관점에 따르면, 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 제공한다.

[0006] 상기 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재는 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층; 및 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지와 상기 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지 내 분산된 제 2 중성자 흡수 입자를 구비하되, 제 1 복합소재층 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층;을 포함한다.

[0007] 상기 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에서, 상기 제 1 중성자 흡수 입자는 붕소계 중성자 흡수 입자이고, 상기 제 2 중성자 흡수 입자는 탄화붕소 입자일 수 있다.

[0008] 상기 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에서, 상기 제 1 중성자 흡수 입자는 붕소계 중성자 흡수 입자이고, 상기 제 2 중성자 흡수 입자는 가돌리늄 산화물 입자일 수 있다.

[0009] 상기 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에서, 상기 제 1 중성자 흡수 입자는 붕소계 중성자 흡수 입자이고, 상기 제 2 중성자 흡수 입자는 BNNT 입자일 수 있다.

[0010] 상기 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에서, 상기 제 1 중성자 흡수 입자는 붕소계 중성자 흡수 입자이고, 상기 제 2 중성자 흡수 입자는 BN, TiB_2, Sm_2O_3, Al_3Sm, Al_2Sm 및 AlSm 중에서 선택된 적어도 어느 하나 이상의 입자일 수 있다.

[0011] 상기 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재는 상기 제 1 복합소재층의 상면 및 하면에 접하여 배치되는 알루미늄층을 더 포함할 수 있다. 나아가, 상기 알루미늄층을 덮는 붕소 또는 가돌리늄을 첨가한 스틸층을 더 포함할 수 있다.

[0012] 상기 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재는 상기 제 1 복합소재층의 상면 및 하면에 접하여 배치되는 스틸층을 더 포함할 수 있다.

[0013] 상기 과제를 해결하기 위한 본 발명의 다른 관점에 따르면, 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재의 제조방법을 제공한다.

[0014] 상기 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재의 제조방법은 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재 구조체를 준비하는 단계; 상기 제 1 복합소재 구조체의 중앙부를 적어도 일부 관통하는 오목홈을 형성하는 단계; 상기 오목홈에 알루미늄 분말과 제 2 중성자 흡수 입자 분말의 혼합분말을 장입하는 단계; 상기 혼합분말이 장입된 상기 제 1 복합소재 구조체를 열간 압연하는 단계;를 포함한다.

[0015] 상기 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재의 제조방법에서, 상기 열간 압연하는 단계는 알루미늄의 융점 이하의 온도에서 수행할 수 있다.

발명의 효과

[0016] 상기한 바와 같이 이루어진 본 발명의 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재 및 그 제조방법에 의하면, 중성자 흡수능을 의미있는 수준으로 증대시킬 수 있다. 물론 이러한 효과에 의해 본 발명의 범위가 한정되는 것은 아니다.

도면의 간단한 설명

[0017] 도 1 내지 도 5는 본 발명의 다양한 일 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 도해하는 도면들이다.

도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 개략적으로 도해하는 도면이다.

도 7은 도 6에 도시된 다양한 실시예들에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 촬영한

사진들이다.

도 8은 본 발명의 실험예에 따른 시편에서 시간에 따른 단위 면적당 무게 감소 양상을 도해하는 그래프이다.

도 9는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 개략적으로 도해하는 도면이다.

도 10은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 복합소재의 모식도이고, 도 11은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 복합소재를 촬영한 사진이다.

도 12는 본 발명의 제 1 비교예에 따른 복합소재의 모식도이고, 도 13은 본 발명의 제 1 비교예에 따른 복합소재를 촬영한 사진이다.

도 14는 본 발명의 제 1 비교예와 제 1 실시예에 따른 복합소재의 열중성자 흡수 단면적계수를 비교한 그래프이다.

도 15는 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 구성하는 중성자 흡수 입자의 크기에 따른 중성자 흡수능을 비교한 도면이다.

도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재의 제조방법을 순차적으로 도해하는 도면이다.

도 17은 본 발명의 실험예4 및 실험예5에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 평면 촬영한 사진들이다.

도 18은 본 발명의 실험예4에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 단면 촬영한 사진들이다.

도 19는 본 발명의 실험예4에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에서 중성자 흡수 강화층 및 인접 영역에서의 EPMA 분석 결과를 나타낸 도면이다.

도 20은 본 발명의 실험예5에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 단면 촬영한 사진들 및 중성자 흡수 강화층 및 인접 영역에서의 EPMA 분석 결과를 나타낸 도면이다.

도 21은 본 발명의 실험예4-1에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 단면 촬영한 사진들이다.

도 22는 본 발명의 실험예4-1에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에서 중성자 흡수 강화층과 제 1 복합소재층의 경계 영역(도 22의 (a)에서 점선 원으로 표시한 영역)에서의 EPMA 분석 결과를 나타낸 도면이다.

도 23은 본 발명의 실험예4-1에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에서 중성자 흡수 강화층의 전체 두께에 해당하는 전 영역에서의 EPMA 분석 결과를 나타낸 도면이다.

도 24는 본 발명의 실험예5-1에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 단면 촬영한 사진들이다.

도 25는 본 발명의 실험예5-1에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에서 중성자 흡수 강화층과 제 1 복합소재층의 경계 영역(도 25의 (a)에서 점선 원으로 표시한 영역)에서의 EPMA 분석 결과를 나타낸 도면이다.

도 26은 본 발명의 실험예에서 중성자 차폐능을 테스트하는 장비를 도해하는 도면이다.

도 27은 본 발명의 실험예에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재의 중성자 흡수 단면적 계수를 비교한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0018] 이하, 첨부된 도면을 참조하여 본 발명의 여러 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 본 발명의 실시예들은 당해 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위하여 제공되는 것이며, 하기 실시예는 여러 가지 다른 형태로 변형될 수 있으며, 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 오히려 이들 실시예들은 본 개시를 더욱 충실하고 완전하게 하고, 당업자에게 본 발명의 사상을 완전하게 전달하기

위하여 제공되는 것이다.

[0019] 도 1 내지 도 5는 본 발명의 다양한 일 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 도해하는 도면들이다.

[0020] 도 1 내지 도 5를 참조하면, 본 발명의 다양한 일 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)는 제 1 알루미늄 기지(112)와 상기 제 1 알루미늄 기지(112) 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자(114)를 구비하는 제 1 복합소재층(110); 및 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122)와 상기 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122) 내 분산된 제 2 중성자 흡수 입자(124a, 124b, 124c, 124d, 124e)를 구비하되, 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층(120);을 포함한다.

[0021] 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)의 전체 두께는, 예를 들어, 1.5 내지 2㎜이며, 이 중에서 중성자 흡수 강화층(120)은, 예를 들어, 100 내지 300㎛의 두께를 가질 수 있다. 중성자 흡수 강화층(120)는 상대적으로 고밀도의 중간층이며, 이러한 고밀도 영역이 중성자 흡수능을 향상시킬 수 있다.

[0022] 본원에 있어서, 제 1 알루미늄 기지(112) 및/또는 제 2 알루미늄 기지(122)는 순 알루미늄 또는 알루미늄 합금으로 이루어질 수 있는 바, 예를 들어, A16061 합금으로 이루어질 수 있다. 알루미늄은 높은 연성을 가지는 물질이다.

[0023] 제 1 알루미늄 기지(112)와 상기 제 1 알루미늄 기지(112) 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자(114)를 구비하는 제 1 복합소재층(110)은 중성자 흡수재의 기능을 수행할 수 있다. 제 1 중성자 흡수 입자(114)는 붕소계의 중성자 흡수 입자일 수 있으며, 예를 들어, 탄화붕소(B_4C)일 수 있다. 제 1 복합소재층(110) 중에서 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 체적분율은 60% 미만일 수 있다.

[0024] 탄화붕소(B_4C)를 구성하는 붕소(B)는 중성자 흡수 기능을 가지는 물질이다. 탄화붕소(B_4C)는 공유결합성 물질이며, 높은 융점(2450℃), 높은 경도(누프경도 2800㎏/㎟)를 특징으로 한다. 천연 붕소는 원자량 10인 동위체 ^{10}B를 약 20% 함유하고 $^{10}\beta$는 중성자의 흡수능력이 크기 때문에 이 둘을 합친 붕소화합물은 원자로의 제어재 혹은 중성자의 차폐재로 이용될 수 있다. 탄화붕소는 붕소 함유량이 많고, 화학적·열적으로도 안정되며 기계적 특성이 우수하다.

[0025] 제 1 복합소재층(110)을 구현하는 제조 방법은 다양하다. 예를 들어, 알루미늄 분말과 탄화붕소 분말을 혼합한 혼합분말을 압연하면, 고연성인 알루미늄 분말 입자가 압연에 의해 소성변형하면서 서로 일체화하여 알루미늄 기지가 되고 탄화붕소 분말은 상기 알루미늄 기지 내에 입자로 분산되어 최종적으로 제 1 알루미늄 기지(112)와 상기 제 1 알루미늄 기지(112) 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자(114)를 구비하는 제 1 복합소재층(110)을 구현할 수 있다.

[0026] 상기 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)에서, 중성자 흡수 강화층(120; 120a, 120b, 120c, 120d, 120e)을 구성하는 제 2 중성자 흡수 입자(124a, 124b, 124c, 124d, 124e)는 제 1 복합소재층(110)을 구성하는 제 1 중성자 흡수 입자(114)보다 입자크기가 작을 수 있다. 예를 들어, 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 입자크기는 대략 40㎛임에 반하여, 제 2 중성자 흡수 입자(124a, 124b, 124c, 124d, 124e)는 대략 1㎛ 정도의 입자크기를 가질 수 있다.

[0027] 다만, 본 발명의 변형된 다른 실시예들에서는, 중성자 흡수 강화층(120)을 구성하는 제 2 중성자 흡수 입자(124a, 124b, 124c, 124d, 124e)의 입자크기는 제 1 복합소재층(110)을 구성하는 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 입자크기 이상일 수도 있다.

[0028] 본 발명자는 중성자 흡수 강화층(120)이 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재되는 구성을 가지는 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)는 중성자 흡수능이 현저하게 개선됨을 발견하였다.

[0029] 이하에서는 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)를 구성하는 중성자 흡수 강화층(120)의 구체적인 다양한 실시예들을 살펴본다.

[0030] 도 1을 참조하면, 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)에서, 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122)와 상기 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122) 내 분산된 제 2 탄화붕소 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124a)를 구비하는 중성자 흡수 강화층(120a)이 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재된다. 예를 들어, 중성자 흡수 강화층(120a)은 제 1 복합소재층(110)의 중앙부에 층상 구조로 개재될 수 있다.

[0031] 제 1 중성자 흡수 입자(114)는 붕소계의 중성자 흡수 입자일 수 있으며, 예를 들어, 탄화붕소(B_4C)일 수 있다. 제 2 중성자 흡수 입자(124a)는, 예를 들어, 탄화붕소(B_4C) 입자일 수 있다. 중성자 흡수 강화층(120a) 중에서 제 2 중성자 흡수 입자(124a)인 탄화붕소(B_4C) 입자의 체적분율은 60% 미만일 수 있다.

[0032] 한편, 제 2 탄화붕소 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124a)의 입자크기는 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 입자크기보다 작을 수 있다. 예를 들어, 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 입자크기는 대략 40㎛임에 반하여, 제 2 탄화붕소 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124a)는 대략 1㎛ 내외 정도의 입자크기를 가질 수 있다.

[0033] 도 2를 참조하면, 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)에서, 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122)와 상기 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122) 내 분산된 가돌리늄 산화물 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124b)를 구비하는 중성자 흡수 강화층(120b)이 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재된다. 예를 들어, 중성자 흡수 강화층(120b)은 제 1 복합소재층(110)의 중앙부에 층상 구조로 개재될 수 있다.

[0034] 제 1 중성자 흡수 입자(114)는 붕소계의 중성자 흡수 입자일 수 있으며, 예를 들어, 탄화붕소(B_4C)일 수 있다. 제 2 중성자 흡수 입자(124b)는, 예를 들어, 가돌리늄 산화물 입자일 수 있다.

[0035] 중성자 흡수 강화층(120a) 중에서 제 2 중성자 흡수 입자(124b)인 가돌리늄 산화물 입자의 체적분율은 50% 미만일 수 있다.

[0036] 가돌리늄은 중성자 흡수단면적이 44,000 barn 수준으로서 중성자 흡수능이 우수한 물질이다. 한편, 가돌리늄 산화물 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124b)의 입자크기는 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 입자크기보다 작을 수 있다. 예를 들어, 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 입자크기는 대략 40㎛임에 반하여, 가돌리늄 산화물 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124b)는 대략 1㎛ 내외 정도의 입자크기를 가질 수 있다.

[0037] 도 3을 참조하면, 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)에서, 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122)와 상기 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122) 내 분산된 BNNT 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124c)를 구비하는 중성자 흡수 강화층(120c)이 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재된다. 예를 들어, 중성자 흡수 강화층(120c)은 제 1 복합소재층(110)의 중앙부에 층상 구조로 개재될 수 있다.

[0038] 질화붕소나노튜브(BNNT)는 평면 소재인 그래핀의 탄소를 붕소와 질소로 치환한 소재로서, 탄소나노튜브와 유사한 열전도 및 기계적 특성을 가지고 있으며, 800℃ 이상의 고온에서 열적, 화학적 안정성을 가지며, 열중성자 흡수력이 뛰어난 물질이다.

[0039] 제 1 중성자 흡수 입자(114)는 붕소계의 중성자 흡수 입자일 수 있으며, 예를 들어, 탄화붕소(B_4C)일 수 있다. 제 2 중성자 흡수 입자(124c)는, 예를 들어, BNNT 입자일 수 있다.

[0040] 중성자 흡수 강화층(120a) 중에서 제 2 중성자 흡수 입자(124c)인 BNNT 입자의 체적분율은 30% 미만일 수 있다.

[0041] 한편, BNNT 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124c)의 입자크기는 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 입자크기보다 작을 수 있다. 예를 들어, 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 입자크기는 대략 40㎛임에 반하여, BNNT 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124c)는 대략 1㎛ 내외 정도의 입자크기를 가질 수 있다.

[0042] 도 4를 참조하면, 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)에서, 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122)와 상기 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122) 내 분산된 BN, TiB_2, Sm_2O_3, Al_3Sm, Al_2Sm 및 AlSm 중에서 선택된 적어도 어느 하나 이상의 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124d)를 구비하는 중성자 흡수 강화층(120d)이 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재된다. 예를 들어, 중성자 흡수 강화층(120d)은 제 1 복합소재층(110)의 중앙부에 층상 구조로 개재될 수 있다.

[0043] 제 1 중성자 흡수 입자(114)는 붕소계의 중성자 흡수 입자일 수 있으며, 예를 들어, 탄화붕소(B_4C)일 수 있다. 제 2 중성자 흡수 입자(124d)는, 예를 들어, BN, TiB_2, Sm_2O_3, Al_3Sm, Al_2Sm 및 AlSm 중에서 선택된 적어도 어느 하나 이상의 입자일 수 있다. 사마륨(Sm)은 중성자 흡수단면적이 6,500 barn 수준으로서 중성자 흡수능이 우수한 물질이다.

[0044] 한편, BN, TiB_2, Sm_2O_3, Al_3Sm, Al_2Sm 및 AlSm 중에서 선택된 적어도 어느 하나 이상의 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124d)의 평균 입자크기는 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 입자크기보다 작을 수 있다. 예를 들어, 제 1 중

성자 흡수 입자(114)의 입자크기는 대략 40㎛임에 반하여, BN, TiB_2, Sm_2O_3, Al_3Sm, Al_2Sm 및 AlSm 중에서 선택된 적어도 어느 하나 이상의 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124d)는 대략 1㎛ 내외 정도의 입자크기를 가질 수 있다.

[0045] 도 5를 참조하면, 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)에서, 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122)와 상기 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122) 내 분산된 탄화붕소 입자, 가돌리늄 산화물 입자, BNNT 입자, BN 입자, TiB_2 입자, Sm_2O_3 입자, Al_3Sm 입자, Al_2Sm 입자 및 AlSm 입자로 이루어진 군에서 임의로 택일된 복수의 혼합 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124e)를 구비하는 중성자 흡수 강화층(120e)이 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재된다. 예를 들어, 중성자 흡수 강화층(120e)은 제 1 복합소재층(110)의 중앙부에 층상 구조로 개재될 수 있다.

[0046] 한편, 탄화붕소 입자, 가돌리늄 산화물 입자, BNNT 입자, BN 입자, TiB_2 입자, Sm_2O_3 입자, Al_3Sm 입자, Al_2Sm 입자 및 AlSm 입자로 이루어진 군에서 임의로 택일된 복수의 혼합 입자인 제 2 중성자 흡수 입자(124e)의 평균 입자크기는 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 입자크기보다 작을 수 있다. 예를 들어, 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 입자크기는 대략 40㎛임에 반하여, 제 2 중성자 흡수 입자(124e)는 대략 1㎛ 내외 정도의 입자크기를 가질 수 있다.

[0047] 도 6은 본 발명의 다른 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)를 개략적으로 도해하는 도면이다.

[0048] 도 1 내지 도 6을 참조하면, 본 발명의 다른 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)는 제 1 알루미늄 기지(112)와 상기 제 1 알루미늄 기지(112) 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자(114)를 구비하는 제 1 복합소재층(110); 및 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122)와 상기 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122) 내 분산된 제 2 중성자 흡수 입자(124; 124a, 124b, 124c, 124d, 124e)를 구비하되, 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층(120);을 포함하되, 상기 제 1 복합소재층(110)의 상면 및 하면에 접하여 배치되는 알루미늄층(130)을 더 포함할 수 있다. 도 6에 도시된 제 1 복합소재층(110); 및 중성자 흡수 강화층(120)은 도 1 내지 도 5 중의 어느 하나를 참조하여 설명한 구조에 해당한다. 알루미늄층(130)과 같은 표면 금속층은 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)에서 중성자 흡수 강화층(120)의 입자가 탈락되는 것을 방지하며 표면조도, 내부식성, 내산화성, 용접특성을 향상시킨다.

[0049] 도 7은 도 6에 도시된 다양한 실시예들에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 촬영한 사진들이다.

[0050] 도 7의 (a)는 도 6에 도시된 제 1 복합소재층(110); 및 중성자 흡수 강화층(120)이 도 1에 도시된 구조를 구비하는 경우에 해당하며, 도 7의 (b)는 도 6에 도시된 제 1 복합소재층(110); 및 중성자 흡수 강화층(120)이 도 2에 도시된 구조를 구비하는 경우에 해당하며, 도 7의 (c)는 도 6에 도시된 제 1 복합소재층(110); 및 중성자 흡수 강화층(120)이 도 3에 도시된 구조를 구비하는 경우에 해당한다. 도 7의 (c)에서, 제 2 중성자 흡수 입자인 BNNT 입자의 체적분율은 중성자 흡수 강화층 중에서 2%이다.

[0051] 도 8은 본 발명의 실험예에 따른 시편에서 시간에 따른 단위 면적당 무게 감소 양상을 도해하는 그래프이다. 시편 'MMC'는 도 1에 도시된 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에 해당하고, 시편 'Al+MMC'는 도 6에 도시된 다층구조의 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에 해당하고, 시편 'Al'은 기준 시편으로서 단순한 알루미늄 시편에 해당한다.

[0052] 도 8을 참조하면, 시편 'MMC'의 경우 탄화붕소(B_4C)의 산화 및 탈락으로 단위 면적당 무게가 현저하게 감소되지만, 시편 'Al+MMC'의 경우 표면의 알루미늄층의 존재로 단위 면적당 무게 변화가 없음을 확인할 수 있다. 즉, 도 1에 도시된 구조보다 도 6에 도시된 구조가 내산화성 특성이 더 우수함을 확인할 수 있다.

[0053] 한편, 도 6에 개시된 본 발명의 변형된 다른 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)는 상기 제 1 복합소재층(110)의 상면 및 하면에 접하여 배치되는 알루미늄층(130) 대신에 스틸층(130)을 포함할 수도 있다.

[0054] 도 9는 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)를 개략적으로 도해하는 도면이다.

[0055] 도 9를 참조하면, 본 발명의 또 다른 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)는 제 1 알

루미늄 기지(112)와 상기 제 1 알루미늄 기지(112) 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자(114)를 구비하는 제 1 복합소재층(110); 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122)와 상기 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122) 내 분산된 제 2 중성자 흡수 입자(124; 124a, 124b, 124c, 124d, 124e)를 구비하되, 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층(120); 및 상기 제 1 복합소재층(110)의 상면 및 하면에 접하여 배치되는 알루미늄층(130)을 포함하되, 상기 알루미늄층(130)을 덮는 스틸층(140)을 더 포함할 수 있다.

[0056] 도 9에 도시된 제 1 복합소재층(110); 및 중성자 흡수 강화층(120)은 도 1 내지 도 5 중의 어느 하나를 참조하여 설명한 구조에 해당한다. 스틸층(140)은 붕소 또는 가돌리늄이 첨가될 수도 있다. 스틸층(140)과 같은 표면 금속층은 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)에서 중성자 흡수 강화층(120)의 입자가 탈락되는 것을 방지하며 표면조도, 내부식성, 내산화성, 용접특성을 향상시킨다.

[0057] 지금까지 본 발명의 다양한 실시예들에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 설명하였다. 이들 실시예들의 특징 중의 하나는 중성자 흡수 강화층(120)이 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122) 내 분산된 제 2 중성자 흡수 입자(124; 124a, 124b, 124c, 124d, 124e)를 구비하되, 제 2 중성자 흡수 입자를 구비하는 중성자 흡수 강화층(120)이 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재되어 위치한다는 것이다. 즉, 제 2 중성자 흡수 입자가 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재 내에 랜덤하게 분산 배치되는 것이 아니라 레이어 형태인 층상 구조를 가진다는 점이 주요한 특징 중의 하나이다.

[0058] 도 10은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 복합소재의 모식도이고, 도 11은 본 발명의 제 1 실시예에 따른 복합소재를 촬영한 사진이다. 도 12는 본 발명의 제 1 비교예에 따른 복합소재의 모식도이고, 도 13은 본 발명의 제 1 비교예에 따른 복합소재를 촬영한 사진이다. 도 14는 본 발명의 제 1 비교예와 제 1 실시예에 따른 복합소재의 열중성자 흡수 단면적계수를 비교한 그래프이다.

[0059] 도 10 및 도 11은 도 6에 도시된 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재로서, 제 1 중성자 흡수 입자(114)는 붕소계의 중성자 흡수 입자인 탄화붕소(B_4C)이고, 제 2 중성자 흡수 입자(124b)는 가돌리늄 산화물 입자이며, 제 1 알루미늄 기지(112)는 제 1 복합소재층을 구성하는 기지이며, 제 2 알루미늄 기지(122)는 중성자 흡수 강화층을 구성하는 기지이다. 알루미늄층(130)은 표면 금속층으로서 중성자 흡수 강화층의 입자가 탈락되는 것을 방지하며 표면조도, 내부식성, 내산화성, 용접특성을 향상시킬 수 있다.

[0060] 도 10을 참조하면, 제 2 중성자 흡수 입자(124b)가 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재 내에 랜덤하게 분산 배치되는 것이 아니라 레이어(layer) 형태인 층상 구조를 가지며, 도 11에서 흰색 점선 영역 내의 Gd_2O_3로 표시된다.

[0061] 도 12를 참조하면, 제 1 중성자 흡수 입자(114)는 붕소계의 중성자 흡수 입자인 탄화붕소(B_4C)이고, 제 2 중성자 흡수 입자(124b)는 가돌리늄 산화물 입자이며, 제 1 알루미늄 기지(112)는 기지이다. 도 12 및 도 13을 참조하면, 제 2 중성자 흡수 입자(124b)가 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재 내에 레이어(layer) 형태인 층상 구조를 가지는 것이 아니라, 랜덤하게 분산 배치된다.

[0062] 도 14를 참조하면, 본 발명의 제 1 비교예에 따른 복합소재의 열중성자 흡수 단면적계수는 14.5 (cm^{-1})임에 반하여, 본 발명의 제 1 실시예에 따른 복합소재의 열중성자 흡수 단면적계수는 15.4 (cm^{-1})임을 확인할 수 있다.

[0063] 상술한 본 발명의 제 1 비교예에 따른 복합소재와 본 발명의 제 1 실시예에 따른 복합소재는, 20vol% B_4C/A16061분말과 10vol% Gd_2O_3/A16061 분말을 동일하게 이용하였다는 점에서 물질 구성은 같지만, 제 2 중성자 흡수 입자가 랜덤하게 분산 배치되는 구조(제 1 비교예) 보다는 레이어 형태인 층상 구조로 배치되는 구조(제 1 실시예)에서 중성자 흡수능이 개선될 수 있음을 확인할 수 있다.

[0064] 도 15는 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 구성하는 중성자 흡수 입자의 크기에 따른 중성자 흡수능을 비교한 도면이다.

[0065] 도 15를 참조하면, 알루미늄 기지 내에 매립 분산된 중성자 흡수 입자인 탄화붕소(B_4C)의 입자 평균 크기가 1㎛인 경우 열중성자 흡수 단면적계수는 24.4 (cm^{-1})임에 반하여, 탄화붕소(B_4C)의 입자 평균 크기가 40㎛인 경우 열중성자 흡수 단면적계수는 20.8 (cm^{-1})임을 확인할 수 있다.

[0066] 즉, 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 구성하는 중성자 흡수 입자의 크기에 따라 중성자 흡수능이

달라질 수 있음을 알 수 있다.

[0067] 도 16은 본 발명의 일 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)의 제조방법을 순차적으로 도해하는 도면이다.

[0068] 도 1 내지 도 5와 도 16을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)의 제조방법은 (a) 제 1 알루미늄 기지(112)와 상기 제 1 알루미늄 기지(112) 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자(114)를 구비하는 제 1 복합소재 구조체(110)를 준비하는 단계; (b) 상기 제 1 복합소재 구조체(110)의 중앙부를 적어도 일부 관통하는 오목홈(116)을 형성하는 단계; (c) 상기 오목홈(116)에 알루미늄 분말과 제 2 중성자 흡수 입자 분말의 혼합분말(126)을 장입하는 단계; (d) 상기 혼합분말(126)이 장입된 상기 제 1 복합소재 구조체(110)를 압연롤(200)을 이용하여 열간 압연하는 단계;를 포함한다.

[0069] 상기 (a) 내지 (d) 단계를 수행함으로써, 도 1 내지 도 5에 개시된 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재(100)를 구현할 수 있다.

[0070] 특히, 상기 오목홈(116)에 알루미늄 분말과 제 2 중성자 흡수 입자 분말의 혼합분말(126)을 장입한 후 열간 압연하기 전에 혼합분말(126)이 열간 압연 과정 중에 탈락되는 것을 방지하기 위하여 오목홈(116)을 덮는 실링 작업을 추가로 진행할 수 있다.

[0071] 상기 열간 압연하는 단계는 알루미늄의 융점 이하의 온도(예를 들어, 500 내지 600℃)에서 수행할 수 있다.

[0072] 알루미늄 또는 마그네슘 분말과 제 2 중성자 흡수 입자 분말의 혼합분말(126)을 압연하면, 혼합분말(126) 중에서 고연성인 알루미늄 또는 마그네슘 분말 입자가 압연에 의해 소성변형하면서 서로 일체화하여 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122)가 되고 혼합분말(126) 중에서 제 2 중성자 흡수 입자 분말은 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122) 내에 입자로 분산되어 제 2 중성자 흡수 입자(124)가 되어, 최종적으로 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122)와 상기 제 2 알루미늄 또는 마그네슘 기지(122) 내 분산된 제 2 중성자 흡수 입자(124)를 구비하되, 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층(120)을 구현할 수 있다.

[0073] **실험예**

[0074] 이하 본 발명의 이해를 돕기 위해 바람직한 실험예를 제시한다. 다만, 하기의 실험예는 본 발명의 이해를 돕기 위한 것일 뿐, 본 발명이 하기의 실험예에 의해 한정되는 것은 아니다.

표 1

[0075]

실험예	제 1 복합소재층	중성자 흡수 강화층
실험예1(시편1)	Al-5%B_4C	-
실험예2(시편2)	Al-10%B_4C	-
실험예3(시편3)	Al-20%B_4C	-
실험예4(시편4)	Al-20%B_4C	Al-20%B_4C
실험예5(시편5)	Al-20%B_4C	Al-20%GdO_2
실험예6(시편6)	Al-20%B_4C	Al-30%GdO_2
실험예7(시편7)	Al-20%B_4C	Al-BNNT

[0076] 표 1은 본 발명의 실험예의 시편을 구성하는 물질층을 나타내며, 이를 구현하기 위한 압연온도는 모두 550℃를 적용하였다.

[0077] 표 1을 참조하면, 시편1은 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 5%의 부피비를 가지면서 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층으로만 이루어지며, 시편2는 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 10%의 부피비를 가지면서 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층으로만 이루어지며, 시편3은 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 20%의 부피비를 가지면서 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층으로만 이루어진다. 시편1 내지 시편3은, 본 발명의 비교예로서, 제 1 복합소재층 내에 층상 구조로 개재되는 중성자 흡수 강화층의 구성을 도입하지 않는다.

[0078] 시편4는 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 20%의 부피비를 가지면서 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층; 및 제 2 알루미늄 기지와 상기 제 2 알루미늄 기지 내 20%의 부피비를 가지

면서 분산된 제 2 탄화붕소 입자인 제 2 중성자 흡수 입자를 구비하되, 제 1 복합소재층 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층;으로 이루어진다.

[0079] 시편5는 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 20%의 부피비를 가지면서 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층; 및 제 2 알루미늄 기지와 상기 제 2 알루미늄 기지 내 20%의 부피비를 가지면서 분산된 가돌리늄 산화물 입자인 제 2 중성자 흡수 입자를 구비하되, 제 1 복합소재층 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층;으로 이루어진다.

[0080] 시편6은 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 20%의 부피비를 가지면서 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층; 및 제 2 알루미늄 기지와 상기 제 2 알루미늄 기지 내 30%의 부피비를 가지면서 분산된 가돌리늄 산화물 입자인 제 2 중성자 흡수 입자를 구비하되, 제 1 복합소재층 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층;으로 이루어진다.

[0081] 시편7은 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 20%의 부피비를 가지면서 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층; 및 제 2 알루미늄 기지와 상기 제 2 알루미늄 기지 내 분산된 BNNT 입자인 제 2 중성자 흡수 입자를 구비하되, 제 1 복합소재층 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층;으로 이루어진다. 시편4 내지 시편7은, 본 발명의 실시예로서, 상기 제 2 중성자 흡수 입자는 상기 제 1 중성자 흡수 입자보다 입자크기가 작다.

[0082] 도 17은 본 발명의 실험예에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 평면 촬영한 사진들이다.

[0083] 도 17의 (a)는 본 발명의 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재로서 시편4에 해당하며, 도 17의 (b)는 본 발명의 실시예에 따른 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재로서 시편5에 해당한다.

[0084] 도 18은 본 발명의 실험예(시편4)에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 단면 촬영한 사진들이다.

[0085] 도 18을 참조하면, 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지(112) 내 20%의 부피비를 가지면서 분산된 제 1 중성자 흡수 입자(114)를 구비하는 제 1 복합소재층(110); 및 제 2 알루미늄 기지와 상기 제 2 알루미늄 기지 내 20%의 부피비를 가지면서 분산된 제 2 탄화붕소 입자인 제 2 중성자 흡수 입자를 구비하되, 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층(120);으로 이루어진, 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재의 단면을 확인할 수 있다. 상대적으로 밝은 부분은 알루미늄을 나타내며, 상대적으로 어두운 부분은 탄화붕소 입자를 나타낸다. 중성자 흡수 강화층의 두께는 230 내지 290㎛이며, 제 2 탄화붕소 입자의 크기는 약 1㎛이며, 제 1 중성자 흡수 입자(114)의 크기는 약 40㎛으로 관찰된다. 특히, 중성자 흡수 강화층(120)에서 제 2 탄화붕소 입자인 제 2 중성자 흡수 입자가 균일하게 분산되어 있으며, 중성자 흡수 강화층(120)과 제 1 복합소재층(110) 사이의 계면이 건전함을 확인할 수 있다.

[0086] 도 19는 본 발명의 실험예(시편4)에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에서 중성자 흡수 강화층 및 인접 영역에서의 EPMA 분석 결과를 나타낸 도면이다.

[0087] 도 19를 참조하면, 중성자 흡수 강화층의 두께는 230 내지 290㎛이며, 중성자 흡수 강화층에서 제 2 탄화붕소 입자인 제 2 중성자 흡수 입자가 균일하게 분산되어 있으며, 중성자 흡수 강화층과 제 1 복합소재층 사이의 계면이 건전함을 확인할 수 있다.

[0088] 도 20은 본 발명의 실험예(시편5)에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 단면 촬영한 사진들 및 중성자 흡수 강화층 및 인접 영역에서의 EPMA 분석 결과를 나타낸 도면이다.

[0089] 도 20을 참조하면, 제 1 알루미늄(A16061) 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 20%의 부피비를 가지면서 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층; 및 제 2 알루미늄(A16061) 기지와 상기 제 2 알루미늄 기지 내 20%의 부피비를 가지면서 분산된 가돌리늄 산화물 입자인 제 2 중성자 흡수 입자를 구비하되, 제 1 복합소재층 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층;으로 이루어진, 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재 중에서, 가돌리늄 산화물 입자인 제 2 중성자 흡수 입자가 중성자 흡수 강화층 내 균일하게 분산되어 있으며, 중성자 흡수 강화층과 제 1 복합소재층 사이의 계면이 건전함을 확인할 수 있다.

[0090] 한편, 도 6에서 상술한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 실제로 구현한 실험예들을 설명한다.

[0091] 도 21은 본 발명의 실험예4-1에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 단면 촬영한 사진들

이다.

[0092] 도 21을 참조하면, 본 발명의 실험예4-1에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재는 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층(110); 및 제 2 알루미늄 기지와 상기 제 2 알루미늄 기지 내 20%의 부피비를 가지면서 분산된 제 2 탄화붕소 입자인 제 2 중성자 흡수 입자를 구비하되, 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층(120a);을 포함하며, 상기 제 1 복합소재층(110)의 상면 및 하면에 접하여 배치되는 알루미늄층(130)을 더 포함한다. 알루미늄층(130)은 알루미늄 표면층으로 이해될 수 있다.

[0093] 도 22는 본 발명의 실험예4-1에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에서 중성자 흡수 강화층과 제 1 복합소재층의 경계 영역(도 22의 (a)에서 점선 원으로 표시한 영역)에서의 EPMA 분석 결과를 나타낸 도면이다.

[0094] 도 22를 참조하면, 제 1 복합소재층을 구성하는 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자의 균일한 분포를 확인할 수 있다. 또한, 중성자 흡수 강화층을 구성하는 제 2 알루미늄 기지와 상기 제 2 알루미늄 기지 내 분산된 제 2 탄화붕소 입자의 균일한 분포를 확인할 수 있다. 상기 제 1 중성자 흡수 입자의 크기는 약 40㎛임에 반하여, 상기 제 2 탄화붕소 입자의 크기는 약 1㎛임을 확인할 수 있다.

[0095] 도 23은 본 발명의 실험예4-1에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에서 중성자 흡수 강화층의 전체 두께에 해당하는 전 영역에서의 EPMA 분석 결과를 나타낸 도면이다.

[0096] 도 23을 참조하면, 중성자 흡수 강화층의 전체 두께에 해당하는 전 영역(도 23의 (a)에서 점선 원으로 표시한 영역)에서 제 2 알루미늄 기지와 상기 제 2 알루미늄 기지 내 분산된 제 2 탄화붕소 입자의 분포가 균일함을 확인할 수 있다.

[0097] 도 24는 본 발명의 실험예5-1에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재를 단면 촬영한 사진들이다.

[0098] 도 24를 참조하면, 본 발명의 실험예5-1에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재는 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자를 구비하는 제 1 복합소재층(110); 및 제 2 알루미늄 기지와 상기 제 2 알루미늄 기지 내 20%의 부피비를 가지면서 분산된 가돌리늄 산화물 입자인 제 2 중성자 흡수 입자를 구비하되, 제 1 복합소재층(110) 내에 층상 구조로 개재되는, 중성자 흡수 강화층(120b);을 포함하며, 상기 제 1 복합소재층(110)의 상면 및 하면에 접하여 배치되는 알루미늄층(130)을 더 포함한다. 알루미늄층(130)은 알루미늄 표면층으로 이해될 수 있다. 한편, 알루미늄층(130)과 제 1 복합소재층(110) 사이에 가돌리늄 산화물층(135)을 선택적으로 더 형성할 수도 있다.

[0099] 도 25는 본 발명의 실험예5-1에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재에서 중성자 흡수 강화층과 제 1 복합소재층의 경계 영역(도 25의 (a)에서 점선 원으로 표시한 영역)에서의 EPMA 분석 결과를 나타낸 도면이다.

[0100] 도 25를 참조하면, 제 1 복합소재층을 구성하는 제 1 알루미늄 기지와 상기 제 1 알루미늄 기지 내 분산된 제 1 중성자 흡수 입자의 균일한 분포를 확인할 수 있다. 또한, 중성자 흡수 강화층을 구성하는 제 2 알루미늄 기지와 상기 제 2 알루미늄 기지 내 분산된 가돌리늄 산화물 입자의 균일한 분포를 확인할 수 있다. 상기 제 1 중성자 흡수 입자의 크기는 약 40㎛임에 반하여, 상기 가돌리늄 산화물 입자의 크기는 약 10㎛임을 확인할 수 있다.

[0101] 이하에서는, 본 발명의 실험예에 따른 시편에 대한 중성자 흡수능을 실험한 결과를 설명한다.

[0102] 도 26은 본 발명의 실험예에서 중성자 차폐능을 테스트하는 장비를 도해하는 도면이고, 도 27은 본 발명의 실험예에 따라 구현한 다층구조의 중성자 흡수 알루미늄 복합소재의 중성자 흡수 단면적 계수를 비교한 그래프이다.

[0103] 도 26을 참조하면, Am-Be 중성자 선원의 방출률은 $1.227x10^{7}s^{-1}$이며, 검출기(Detector)와 중성자 소스 사이에 시편을 장착하였다.

[0104] 도 27을 참조하면, 본 발명의 비교예인 시편1의 중성자 흡수 단면적 계수는 $4.5cm^{-1}$이며, 시편2의 중성자 흡수 단면적 계수는 $8.25cm^{-1}$이며, 시편3의 중성자 흡수 단면적 계수는 $13.91cm^{-1}$임에 반하여, 본 발명의 실시예인 시편4의 중성자 흡수 단면적 계수는 $18.1cm^{-1}$이며, 본 발명의 실시예인 시편5의 중성자 흡수 단면적 계수는

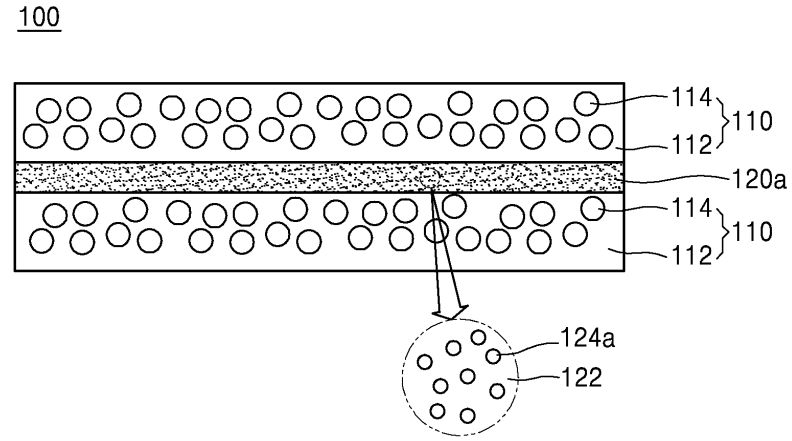
19.7cm^{-1}이며, 시편6의 중성자 흡수 단면적 계수는 28.8cm^{-1}임을 확인할 수 있다.

[0105] 즉, 제 1 복합소재층 내에 층상 구조로 개재되는 중성자 흡수 강화층의 구성을 도입하지 않는 본 발명의 비교예 대비 제 1 복합소재층 내에 층상 구조로 개재되는 중성자 흡수 강화층의 구성을 도입하는 본 발명의 실시예에서 중성자 흡수능이 우수함을 확인할 수 있다.

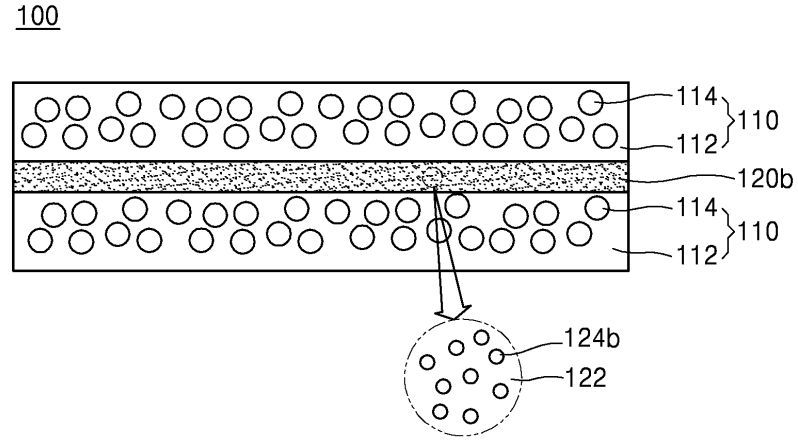
[0106] 본 발명은 도면에 도시된 실시예를 참고로 설명되었으나 이는 예시적인 것에 불과하며, 당해 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 이로부터 다양한 변형 및 균등한 다른 실시예가 가능하다는 점을 이해할 것이다. 따라서 본 발명의 진정한 기술적 보호 범위는 첨부된 특허청구범위의 기술적 사상에 의하여 정해져야 할 것이다.

도면

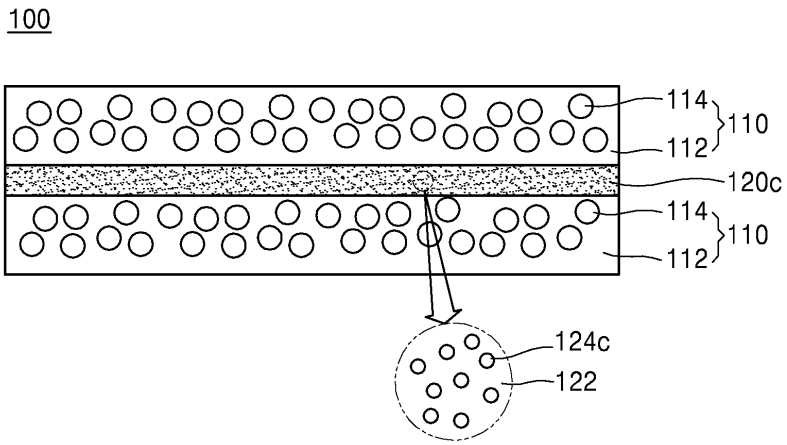
도면1



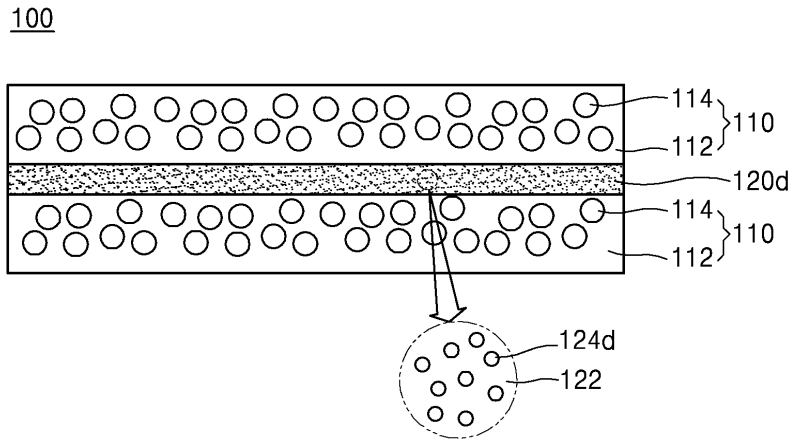
도면2



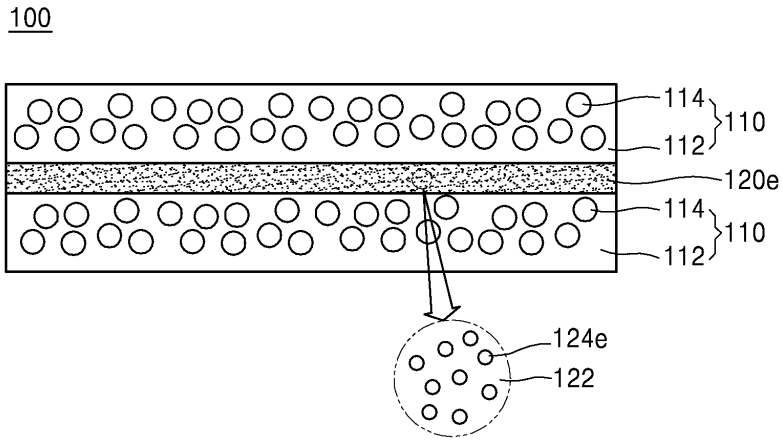
도면3


100
114
110
112
120c
114
110
112
124c
122

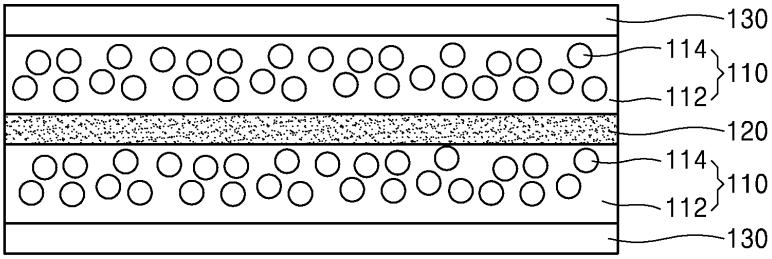
도면4


100
114
110
112
120d
114
110
112
124d
122

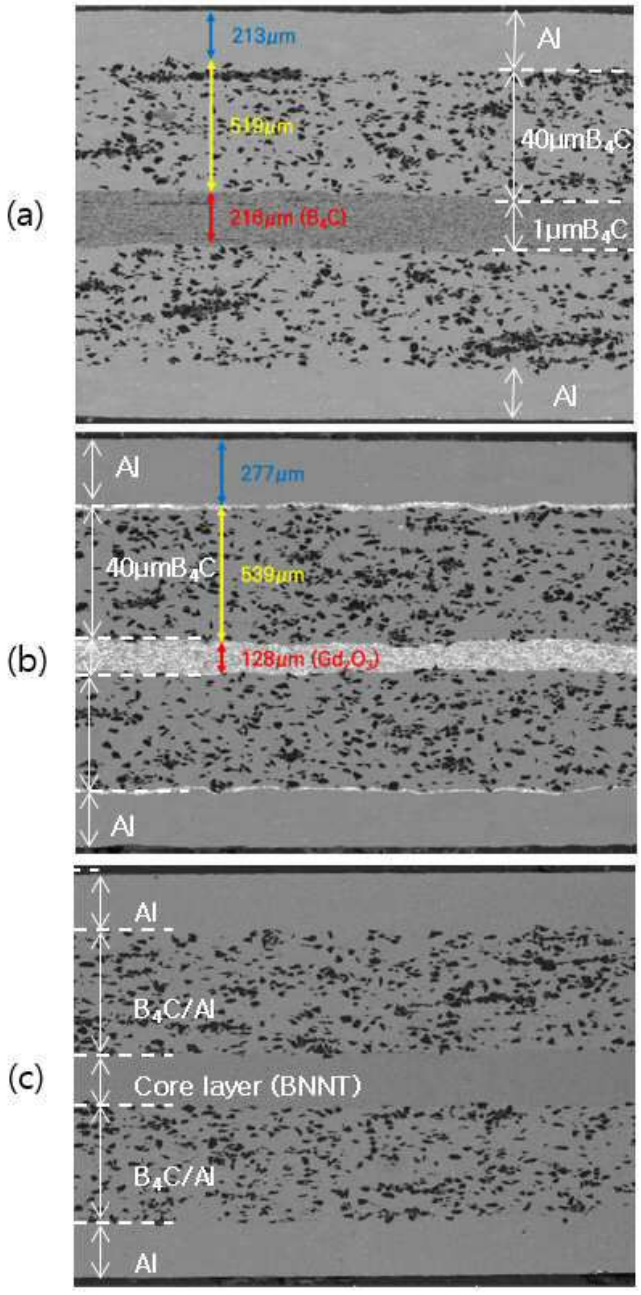
도면5


100
114
110
112
120e
114
110
112
124e
122

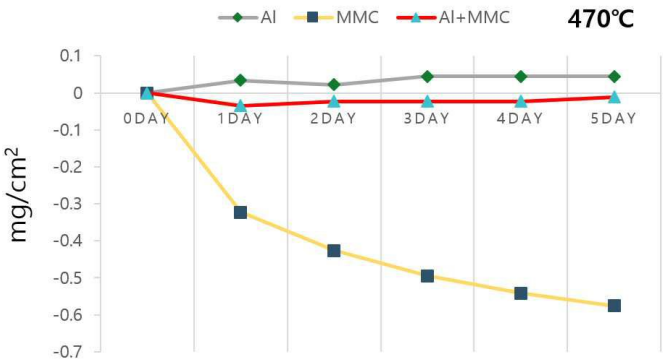
도면6


130
114
110
112
120
114
110
112
130

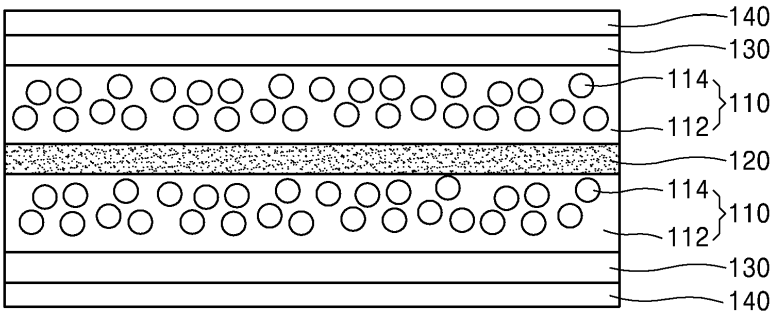
도면7


(a)
213μm
519μm
216μm (B4C)
Al
40μmB4C
1μmB4C
Al
(b)
Al
277μm
40μmB4C
539μm
128μm (Gd2O3)
Al
(c)
Al
B4C/Al
Core layer (BNNT)
B4C/Al
Al

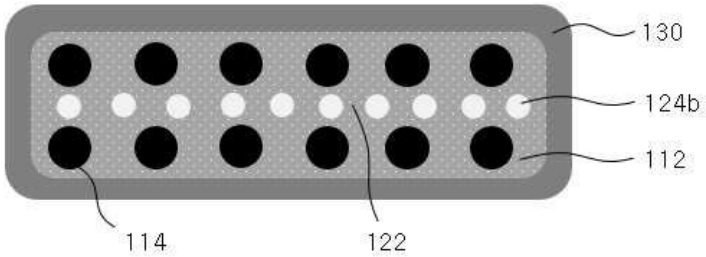
도면8



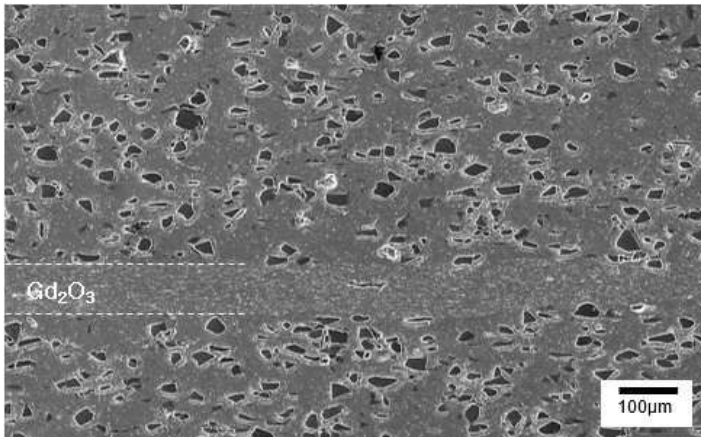
도면9



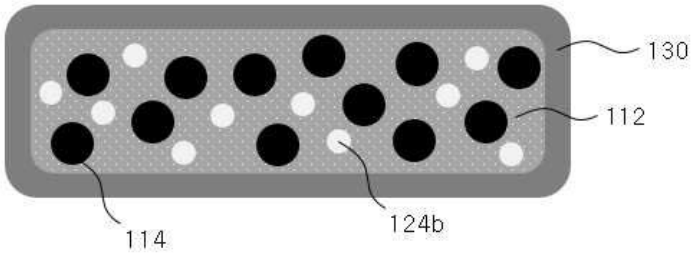
도면10



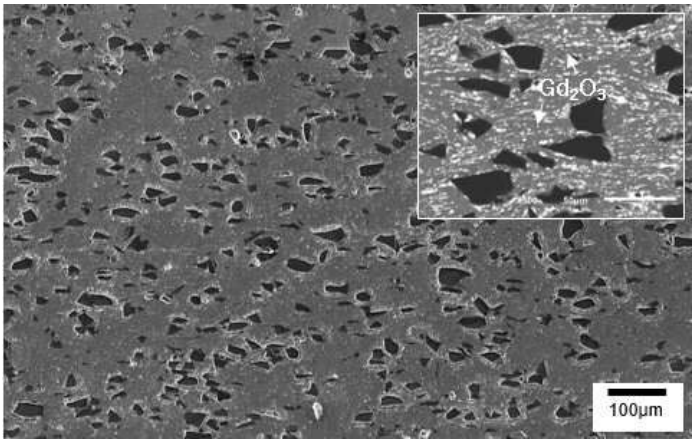
도면11



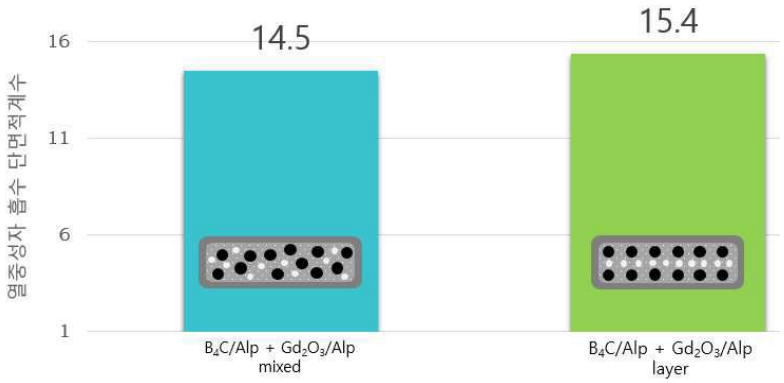
도면12



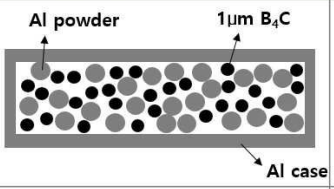
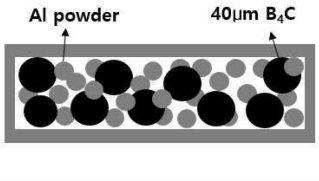
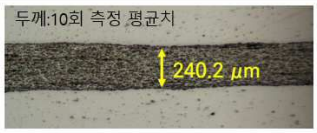
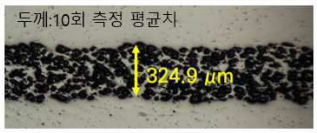
도면13



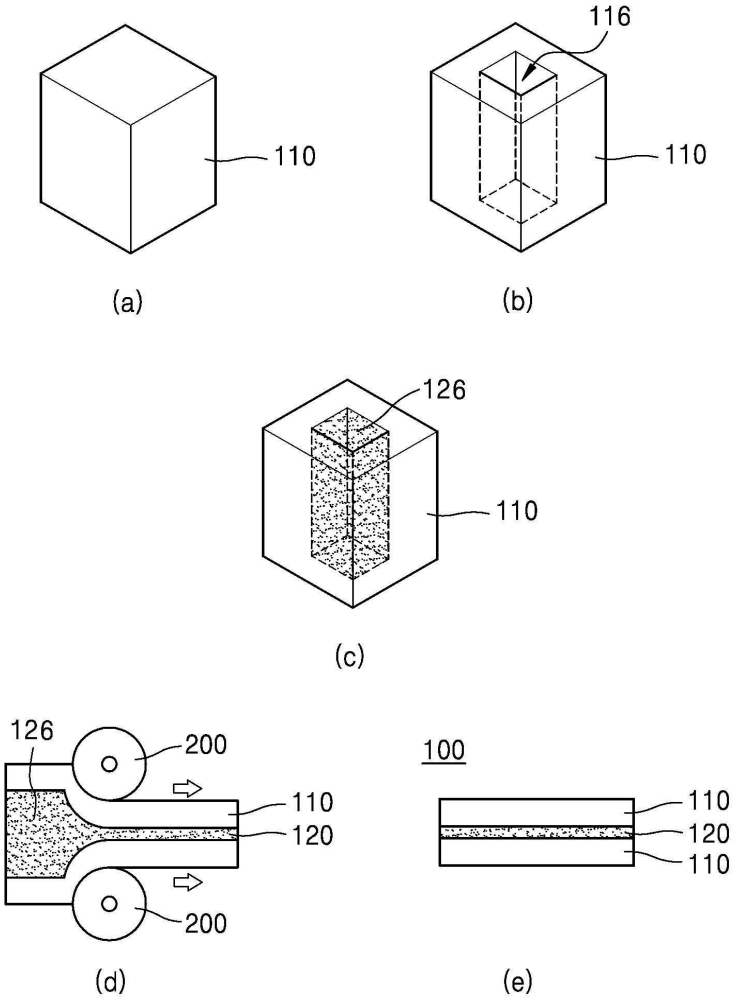
도면14



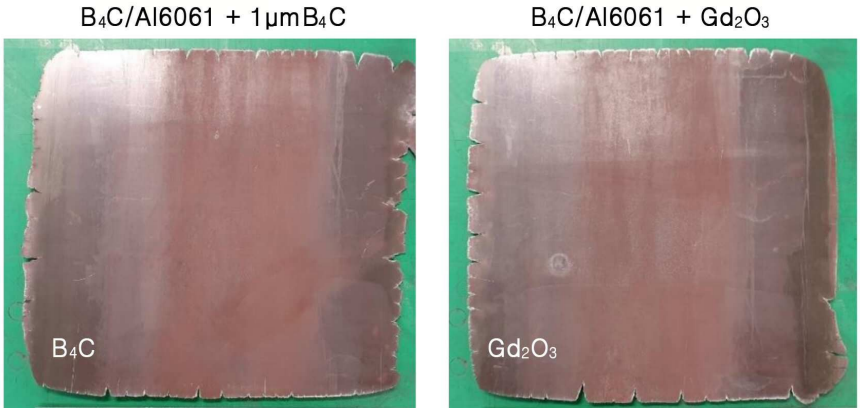
도면15

	1μmB_4C/Al 복합재료	40μmB_4C/Al 복합재료
모식도		
단면 OM 이미지		
열중성자 흡수 단면적 계수 (cm^{-1})	24.4	20.8

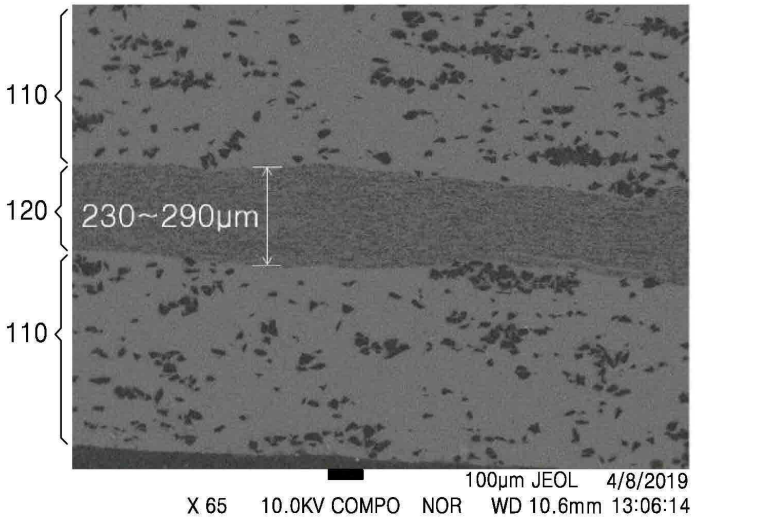
도면16



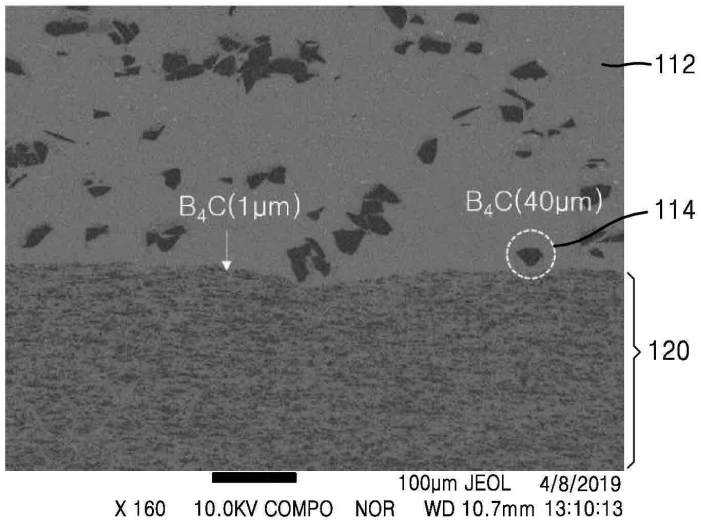
도면17


B4C/Al6061 + 1μmB4C
B4C/Al6061 + Gd2O3
B4C
Gd2O3

도면18

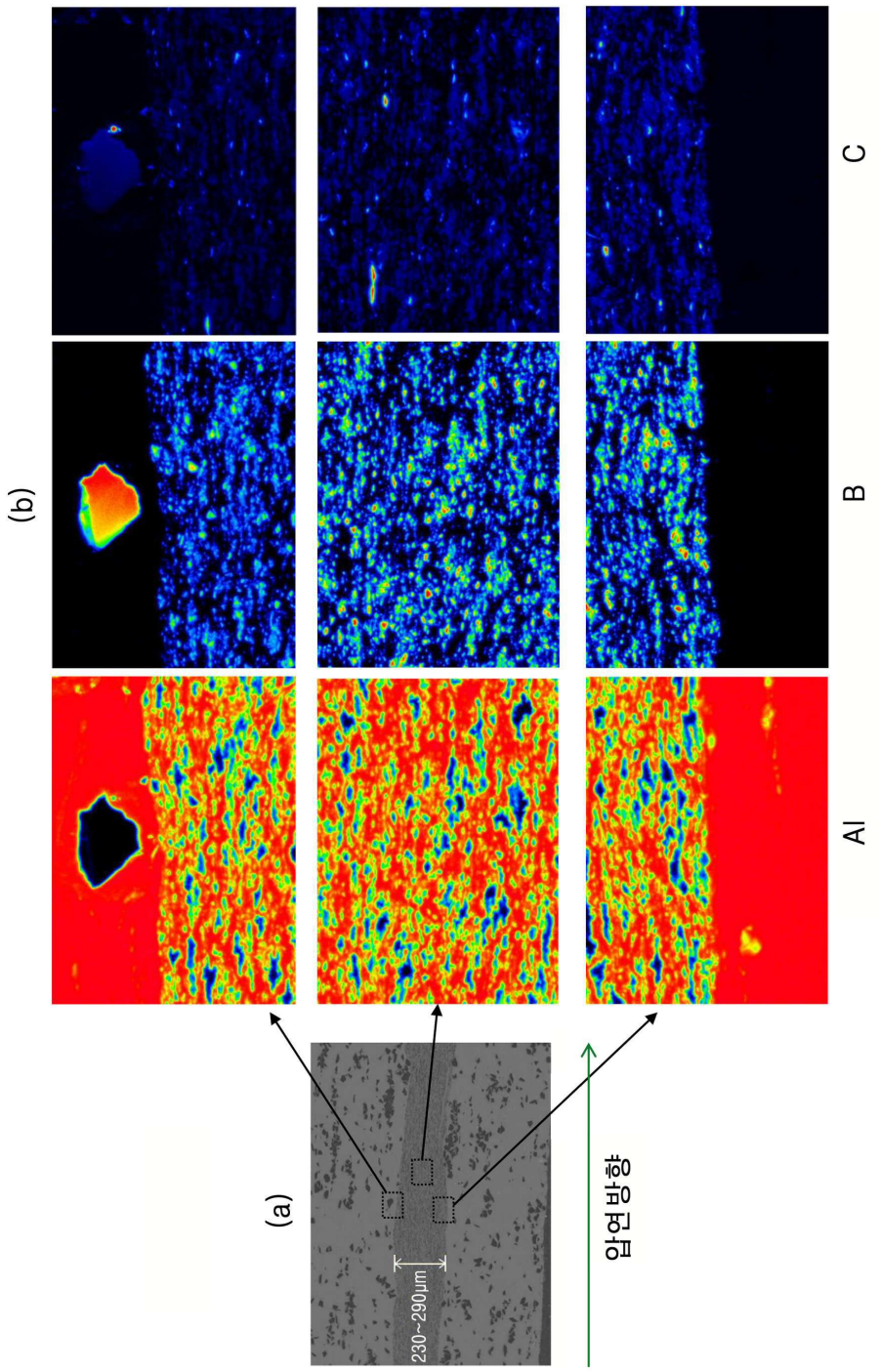

110
120
230~290μm
110
100μm JEOL 4/8/2019
X 65 10.0KV COMPO NOR WD 10.6mm 13:06:14

(a)

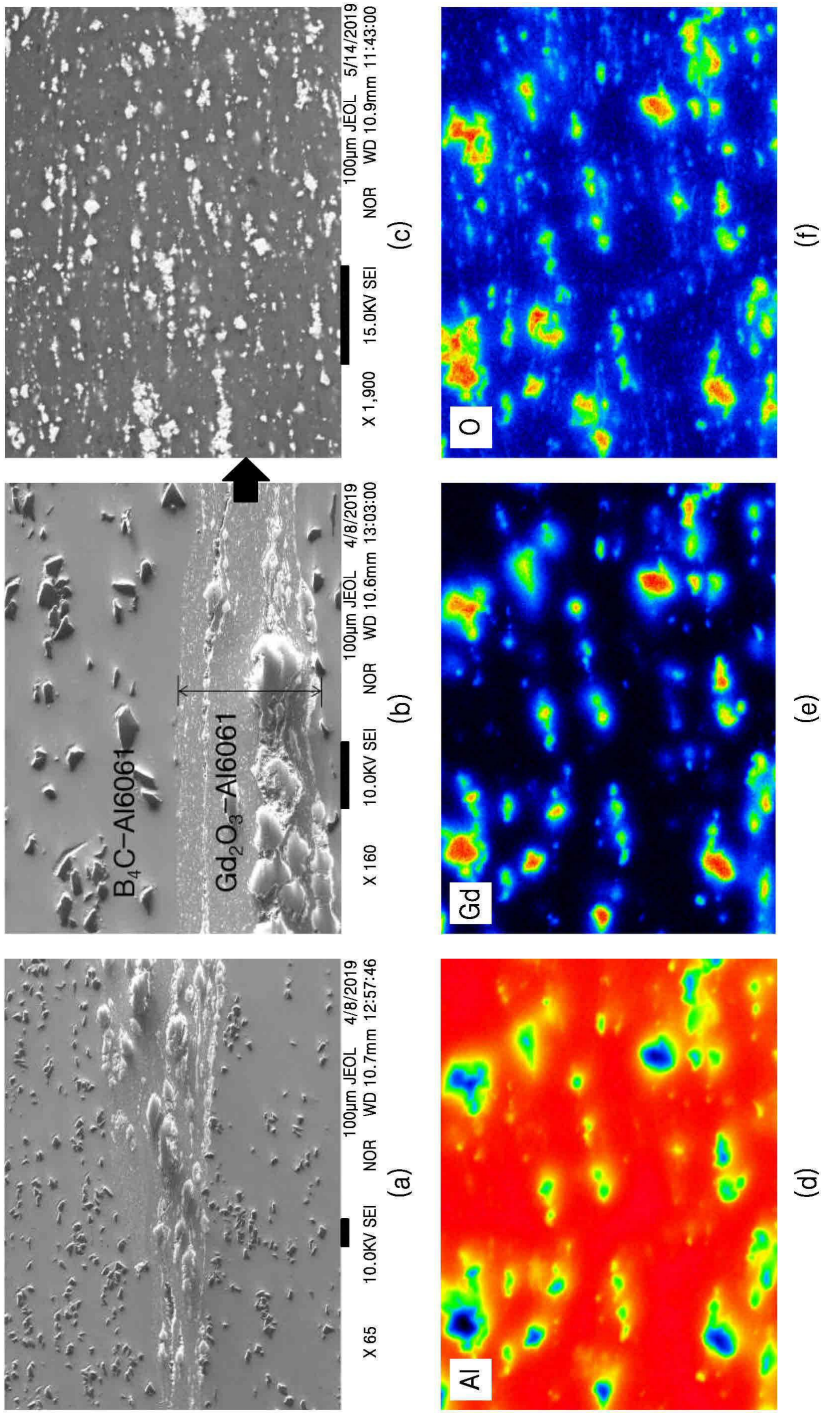

112
B4C(1μm)
B4C(40μm)
114
120
100μm JEOL 4/8/2019
X 160 10.0KV COMPO NOR WD 10.7mm 13:10:13

(b)

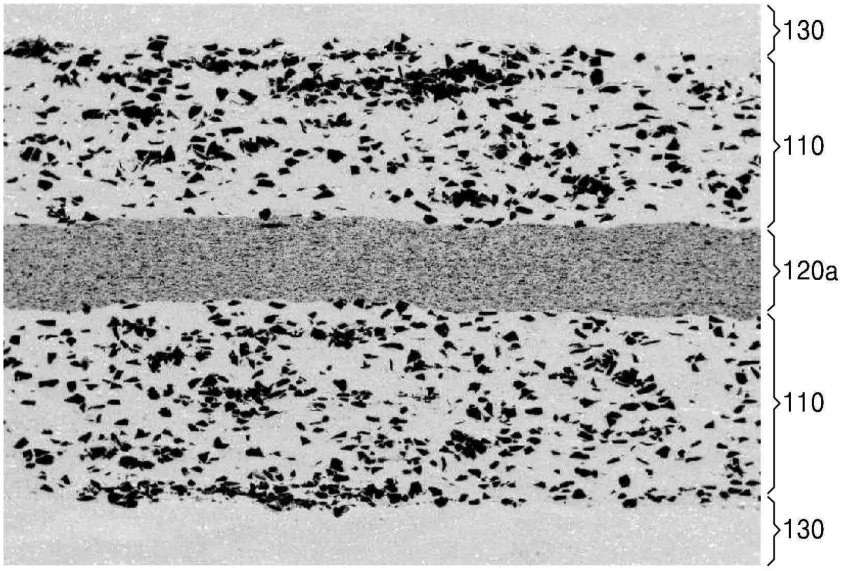
도면19



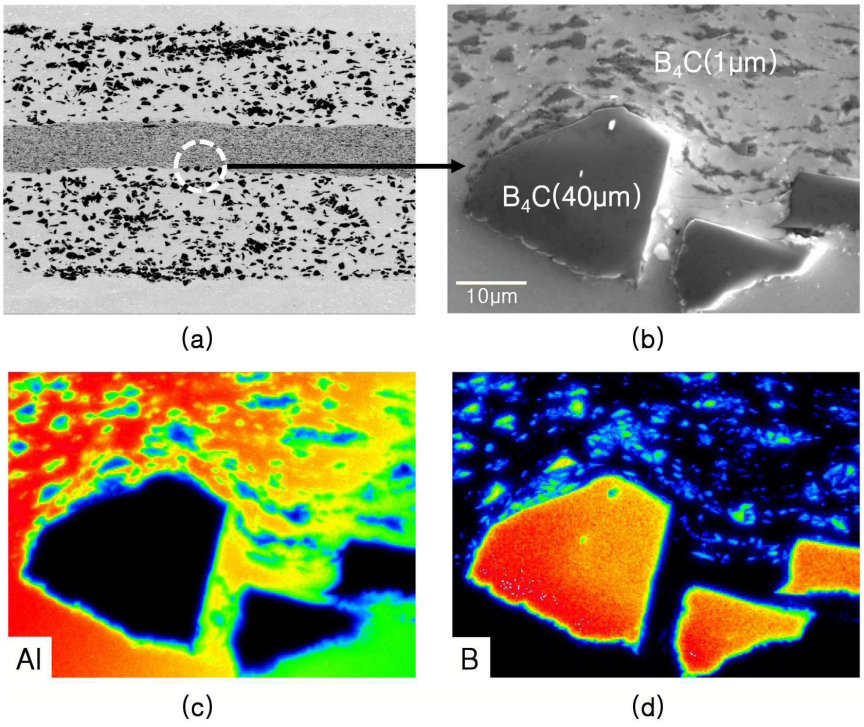
도면20


X 65 10.0KV SEI NOR 100μm JEOL 4/8/2019 WD 10.7mm 12:57:46
(a)
X 160 10.0KV SEI NOR 100μm JEOL 4/8/2019 WD 10.6mm 13:03:00
(b)
X 1,900 15.0KV SEI NOR 100μm JEOL 5/14/2019 WD 10.9mm 11:43:00
(c)
Al
(d)
Gd
(e)
O
(f)
B4C-Al6061
Gd2O3-Al6061

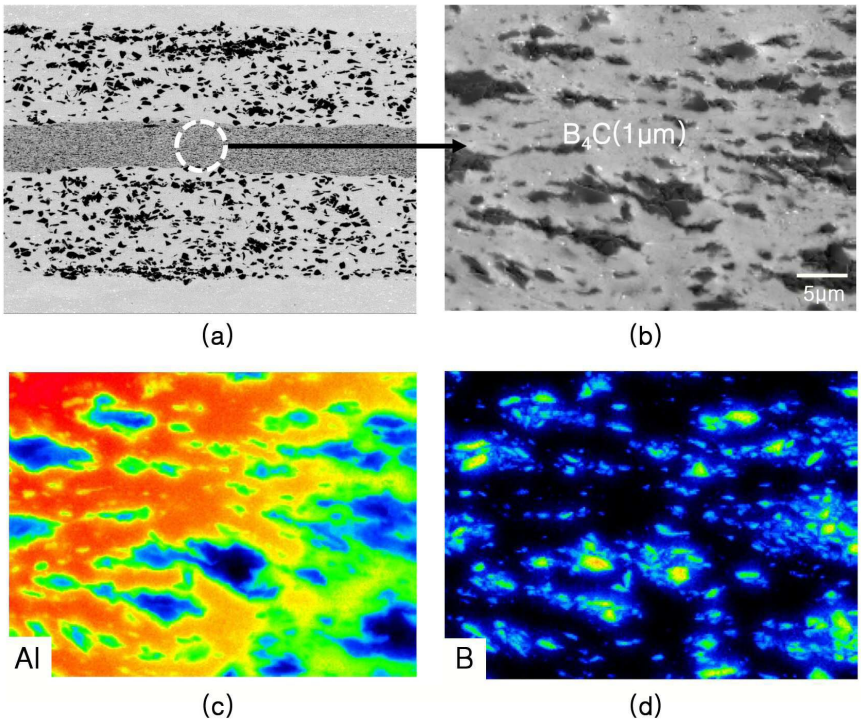
도면21



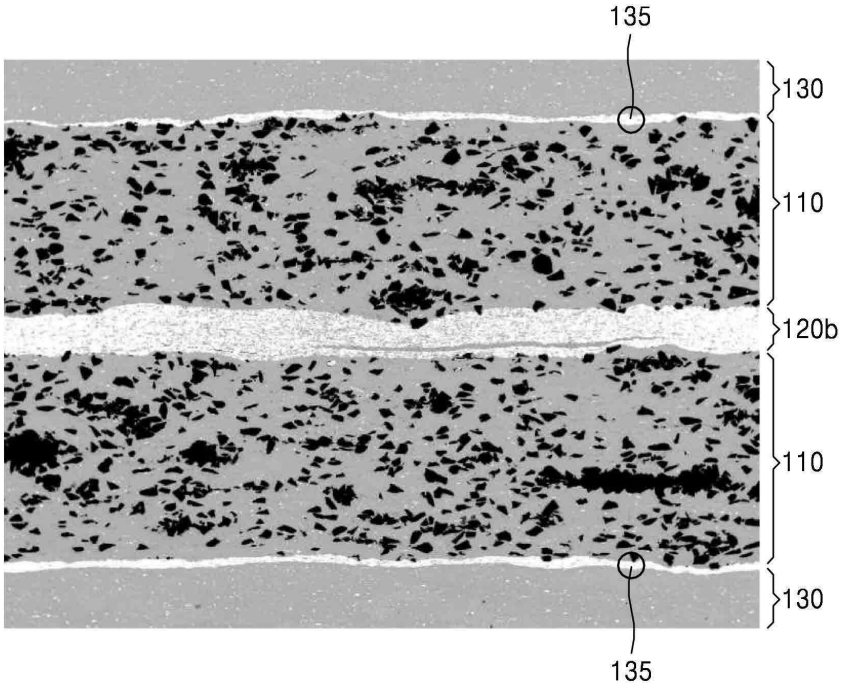
도면22



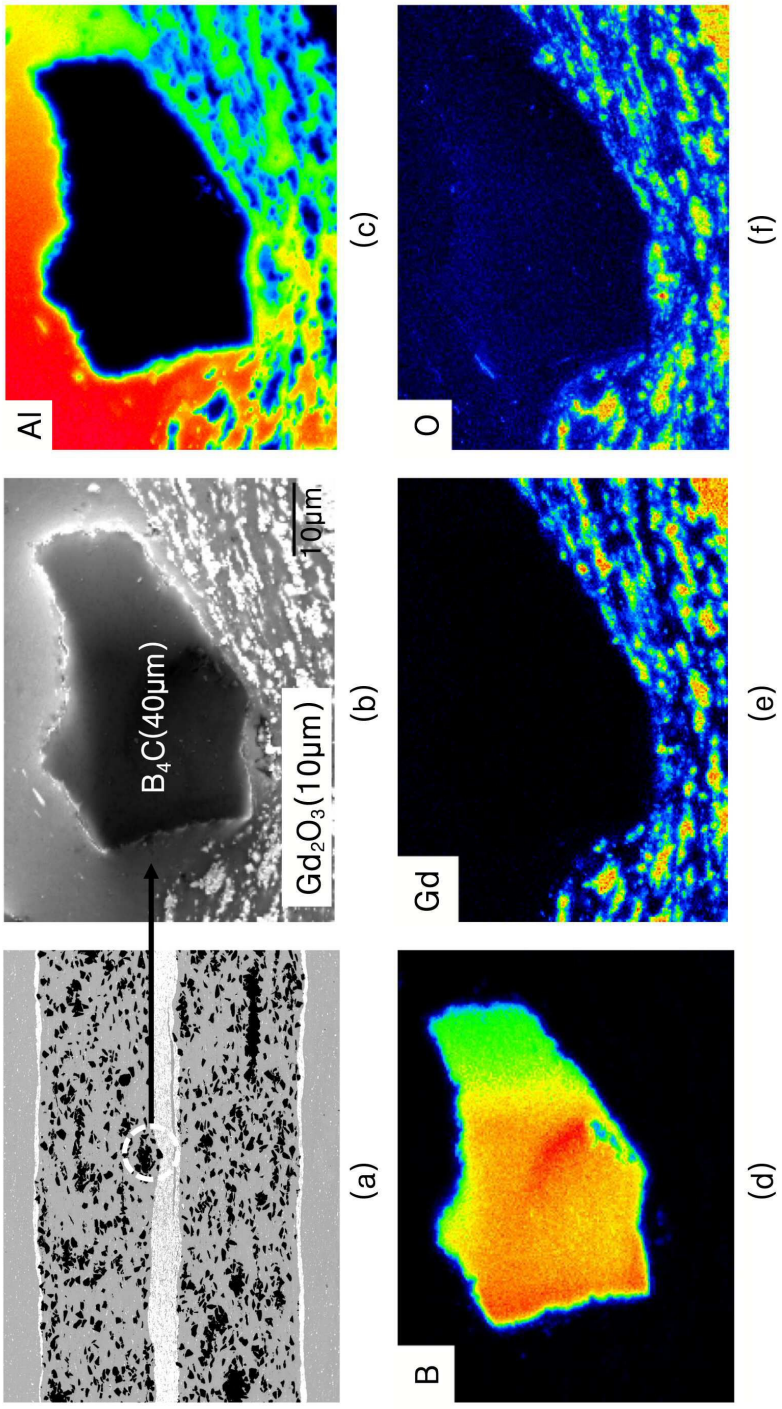
도면23



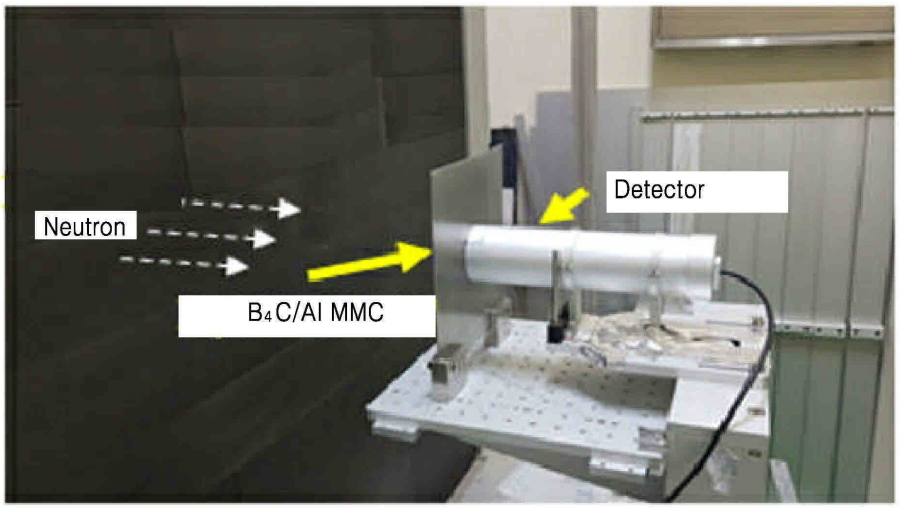
도면24



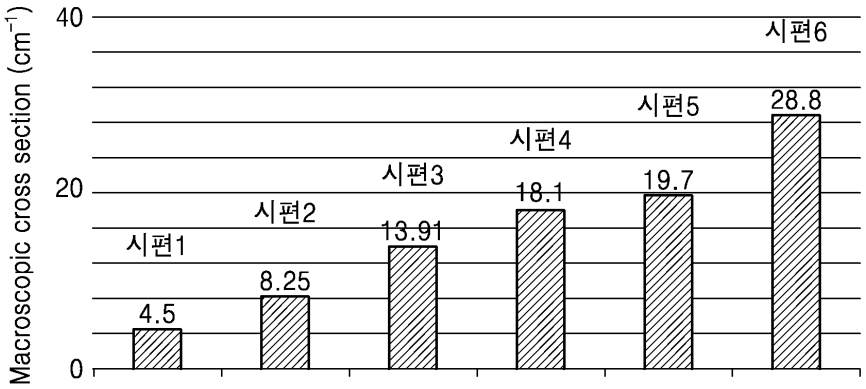
도면25



도면26


Neutron
Detector
B4C/Al MMC

도면27


Macroscopic cross section (cm-1)
40
20
0
시편1
4.5
시편2
8.25
시편3
13.91
시편4
18.1
시편5
19.7
시편6
28.8