



등록특허 10-2721129



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년10월25일  
(11) 등록번호 10-2721129  
(24) 등록일자 2024년10월18일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
*C22C 27/04* (2006.01) *B22F 3/105* (2006.01)  
*B22F 3/14* (2006.01) *B22F 3/15* (2006.01)  
*B24D 18/00* (2006.01) *B24D 3/06* (2006.01)  
*C22C 29/14* (2006.01) *C22C 29/18* (2006.01)  
*C22C 30/02* (2006.01) *C22C 32/00* (2006.01)  
*C22C 9/06* (2006.01)

- (52) CPC특허분류  
*C22C 27/04* (2013.01)  
*B22F 3/105* (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2018-7024367
- (22) 출원일자(국제) 2017년01월25일  
심사청구일자 2022년01월20일
- (85) 번역문제출일자 2018년08월23일
- (65) 공개번호 10-2018-0132614
- (43) 공개일자 2018년12월12일
- (86) 국제출원번호 PCT/US2017/014987
- (87) 국제공개번호 WO 2017/132286  
국제공개일자 2017년08월03일

- (30) 우선권주장  
62/286,865 2016년01월25일 미국(US)

## (56) 선행기술조사문헌

US20090186211 A1\*

US20140041313 A1\*

\*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자  
슈퍼메탈릭스, 임크.  
미국, 캘리포니아 90025, 로스앤젤레스, 스위트  
800, 월셔 불러바드 12100  
더 리젠크 오브 더 유니버시티 오브 캘리포니아  
미합중국, 94607-5200 캘리포니아, 오클랜드, 프  
랭클린 스트리트 1111, 5th 플로어

(72) 발명자  
캐비노, 잭  
미국, 캘리포니아 90049, 로스앤젤레스, 벤모어  
테라스 12221  
카너, 리차드 비.  
미국, 캘리포니아 90272, 퍼시픽 팰리세이드, 알  
마르 애비뉴 481  
(뒷면에 계속)

(74) 대리인  
(유)한양특허법인

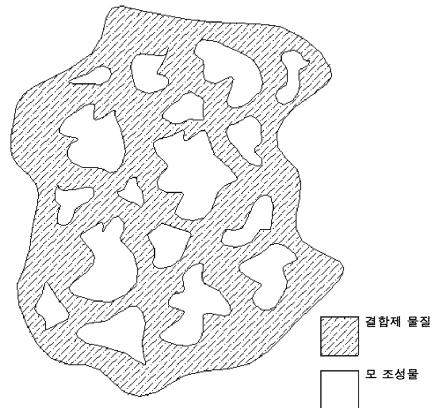
전체 청구항 수 : 총 39 항

심사관 : 이상훈

## (54) 발명의 명칭 텅스텐 테트라보라이드의 결합체 조성물 및 이의 연삭 방법

**(57) 요약**

특정 구현예에서, 복합 재료, 방법, 공구 및 텅스텐계 금속 조성물과 합금을 포함하는 연마 재료가 본 명세서에 개시된다. 일부 경우에, 상기 복합 재료들 또는 재료는 산화에 저항성이 있다.

**대 표 도** - 도1

(52) CPC특허분류

*B24D 18/0009* (2013.01)

*B24D 3/06* (2013.01)

*C22C 29/14* (2013.01)

*C22C 29/18* (2013.01)

*C22C 30/02* (2013.01)

*C22C 32/0073* (2023.01)

*C22C 32/0078* (2023.01)

*C22C 32/0089* (2023.01)

*C22C 9/06* (2013.01)

(72) 발명자

터너, 크리스

미국, 캘리포니아 93536, 제이6 랭커스터, 웨스트

애비뉴 3043

아코포프, 게오르게

미국, 아이오와 50014, 에임스, 유닛 304, 링컨 웨

이 4415

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

2종의 조성물(compositions)을 포함하는 복합 재료:

(a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ ,

식 중:

W는 텅스텐 (W)이고;

X는 붕소 (B)이고;

M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;

x는 0.001 내지 0.3이고;

y는 적어도 4.0이고;

n은 0.1 wt. % 내지 99.9 wt. %이고;

(b) 제2 식  $T_q$ ,

식 중:

T는 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소의 4개 이상의 조합인 합금이고;

q는 0.1 wt. % 내지 99.9 wt. %이고;

상기 q와 n의 합은 100%이고,

상기 복합 재료의 평균 비커스 경도는 9.8N(1kgf)의 힘을 가하여 측정했을 때 10 내지 30 GPa이다.

#### 청구항 2

청구항 1에 있어서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 재료.

#### 청구항 3

청구항 1에 있어서, M은 Re, Ta, Mn, 및 Cr 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 재료.

#### 청구항 4

청구항 1에 있어서, M은 Ta, Mn, 및 Cr 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 재료.

#### 청구항 5

청구항 1에 있어서, M은 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나를 포함하는, 복합 재료.

#### 청구항 6

청구항 1에 있어서, M은 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Li, Sc, Y, 및 Al로부터 선택된 2종 이상의 원소를 포함하는, 복합 재료.

#### 청구항 7

청구항 1에 있어서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr, Y, Ta, 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr으로부터 선택되는, 복합

재료.

### 청구항 8

청구항 1에 있어서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택되는, 복합 재료.

### 청구항 9

청구항 1에 있어서, M은 Ta 및 Mn 또는 Cr로부터 선택된 원소를 포함하는, 복합 재료.

### 청구항 10

청구항 1 내지 청구항 9 중 어느 한 항에 있어서, x는 0.001 내지 0.7인, 복합 재료.

### 청구항 11

청구항 1 내지 청구항 9 중 어느 한 항에 있어서, x는 0.001 내지 0.4인, 복합 재료.

### 청구항 12

청구항 1 내지 청구항 9 중 어느 한 항에 있어서, x는 0.001 내지 0.2인, 복합 재료.

### 청구항 13

삭제

### 청구항 14

청구항 1에 있어서, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만인, 복합 재료.

### 청구항 15

청구항 1에 있어서, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만인, 복합 재료.

### 청구항 16

청구항 15에 있어서, x는 0.02인, 복합 재료.

### 청구항 17

청구항 1에 있어서, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만인, 복합 재료.

### 청구항 18

청구항 17에 있어서, x는 0.04인, 복합 재료.

### 청구항 19

청구항 1에 있어서, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만인, 복합 재료.

### 청구항 20

청구항 1에 있어서, M은 Ta 및 Mn을 포함하고, y는 적어도 4이고, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만인, 복합 재료.

### 청구항 21

청구항 20에 있어서, 복합 재료는  $W_{0.94}Ta_{0.02}Mn_{0.04}B_4$ 를 포함하는, 복합 재료.

### 청구항 22

청구항 1에 있어서, M은 Ta 및 Cr을 포함하고, y는 적어도 4이고, x는 적어도 0.001 및 0.2 미만인, 복합 재료.

### 청구항 23

청구항 22에 있어서, 복합 재료는  $W_{0.94}Ta_{0.02}Cr_{0.05}B_4$ 를 포함하는, 복합 재료.

#### 청구항 24

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, T는 Cu, Ni, Co, Fe, Si, Al 및 Ti, 또는 이들의 임의의 조합으로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금인, 복합 재료.

#### 청구항 25

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, T는 Co, Ni, Fe, Si, Ti, W, Sn, Ta, 또는 이들의 임의의 조합으로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금인, 복합 재료.

#### 청구항 26

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, T는 Co를 포함하는 합금인, 복합 재료.

#### 청구항 27

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, T는 Fe를 포함하는 합금인, 복합 재료.

#### 청구항 28

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, T는 Ni를 포함하는 합금인, 복합 재료.

#### 청구항 29

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, T는 Sn를 포함하는 합금인, 복합 재료.

#### 청구항 30

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, T는 40 wt. % 내지 60 wt. %의 Cu, 10 wt. % 내지 20 wt. %의 Co, 0 wt. % 내지 7 wt. %의 Sn, 5 wt. % 내지 15 wt. %의 Ni, 및 10 wt. % 내지 20 wt. %의 W를 포함하는 합금인, 복합 재료.

#### 청구항 31

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, T는 50 wt. %의 Cu, 20 wt. %의 Co, 5 wt. %의 Sn, 10 wt. %의 Ni, 및 15 wt. %의 W를 포함하는 합금인, 복합 재료.

#### 청구항 32

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, q는 1 wt. %내지 70 wt. %인, 복합 재료.

#### 청구항 33

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, q는 10 wt. % 내지 30 wt. %인, 복합 재료.

#### 청구항 34

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, q는 5 wt. %, 10 wt. %, 15 wt. %, 20 wt. %, 25 wt. %, 30 wt. %, 35 wt. %, 40 wt. %, 45 wt. %, 또는 50 wt. %인, 복합 재료.

#### 청구항 35

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, q는 70 wt. % 내지 80 wt. %인,

복합 재료.

### 청구항 36

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, n은 1 wt. % 내지 50 wt. %인, 복합 재료.

### 청구항 37

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 있어서, n은 5 wt. %, 10 wt. %, 15 wt. %, 20 wt. %, 25 wt. %, 30 wt. %, 35 wt. %, 40 wt. %, 45 wt. % 또는 50 wt. %인, 복합 재료.

### 청구항 38

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 따른 복합 재료를 제조하는 방법으로서, 제1 조성물 및 제2 조성물을 혼합하고 힘을 가해 프레싱하여 그린 펠렛(green pellet)을 형성하고, 그 다음 이를 고온 진공 노(high temperature vacuum furnace)에서 소결하여 결합제(binder)를 갖는 완전 고밀화(fully densified) 복합체를 생성하는, 방법.

### 청구항 39

청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 따른 복합 재료를 제조하는 방법으로서, 제1 조성물 및 제2 조성물을 i) 혼합하고 흑연 다이(graphite die)에 장입하여(loaded) 유압 압축(hydraulic compaction)을 수행하고, ii) 그 다음 스파크 플라즈마 소결 노 (SPS), 고온 고압 노 (HTHP) 또는 열간 정수압 프레스 (HIP)에 장입하여 결합제를 갖는 완전 고밀화 복합체를 생성하는, 방법.

### 청구항 40

절단(cutting) 또는 마멸(abrading)을 위한 표면 또는 몸체(body)를 포함하는 공구(tool)로서, 상기 표면 또는 몸체는 적어도 경질 재료(hard material)의 표면이되, 상기 경질 재료는 청구항 1 내지 청구항 9 및 청구항 14 내지 청구항 23 중 어느 한 항에 따른 복합 재료를 포함하는, 공구.

### 청구항 41

삭제

### 청구항 42

삭제

### 청구항 43

삭제

### 청구항 44

삭제

### 청구항 45

삭제

### 청구항 46

삭제

### 청구항 47

삭제

### 청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

청구항 66

삭제

청구항 67

삭제

청구항 68

삭제

청구항 69

삭제

청구항 70

삭제

청구항 71

삭제

청구항 72

삭제

청구항 73

삭제

청구항 74

삭제

청구항 75

삭제

청구항 76

삭제

청구항 77

삭제

청구항 78

삭제

청구항 79

삭제

청구항 80

삭제

### 발명의 설명

#### 기술 분야

[0001] 교차-참조

[0002] 본원은 하기의 이점을 주장한다: 미국 출원 번호 62/286,865 (2016년 1월 25일 출원, 이 출원은 본 명세서에 참고로 편입되어 있음).

[0003] 연방 지원된 연구에 관한 서술

[0004] 본 발명은 National Science Foundation, Division of Materials Research (DMR)에 의해 계약 번호 DMR-1506860 하에 미국 정부의 지원으로 작성되었다. 정부는 본 발명에서 특정 권리를 갖는다.

### 배경 기술

[0005] 다이아몬드는, 그것의 우월한 기계적 특성, 및 특히 >70 GPa의 그것의 경도로 인해, 연삭재 적용을 위하여 선택의 물질이 종래 되어 왔다. 그러나, 다이아몬드는 자연에서 희귀하고 고온 및 고압 조건의 조합에 대한 필요성으로 인해 인공적으로 합성하기 어렵다. 다이아몬드의 산업적 적용은 따라서 일반적으로 비용에 의해 제한된다. 또한, 다이아몬드는, 좋지 못한 절단 성능을 유발시키는, 물질의 표면에서 그것의 흑연화 및 취성 카바이드의 형성으로 인해 제일 철 합금의 고속 절단용 바람직한 옵션은 아니다.

### 발명의 내용

#### 과제의 해결 수단

[0006] 일부 구현예에서, 2종의 조성물(compositions)을 포함하는 복합 재료가 본 명세서에 기재되어 있다:

[0007] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ 의 조성물,

[0008] 식 중,

[0009] W는 텅스텐 (W)이고;

[0010] X는 봉소 (B), 베릴륨 (Be), 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;

[0011] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;

[0012] x는 0.001 내지 0.999이고;

[0013] y는 적어도 2.0이고;

[0014] n은 0.001 내지 0.999이고;

[0015] (b) 제2 식  $T_q$ 의 조성물,

[0016] 식 중,

[0017] T는 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소를 포함하는 적어도 하나의 원소이고;

[0018] T는 선택적으로 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소의 조합인 합금을 포함할 수 있고;

[0019] q는 0.001 내지 0.999이고;

[0020] 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0021] 일부 구현예에서, 복합 재료를 제조하는 방법이 제공되고, 이 방법에서, 제1 조성물 및 제2 조성물을 혼합하고,

힘을 가하여 프레싱하여 그린 펠렛(green pellet)을 생성하고, 그 다음 이를 고온 진공 노(high temperature vacuum furnace)에서 몇 시간(some time) 동안 소결하여 결합제(binder)를 갖는 완전 고밀화(fully densified) 텅스텐 테트라보라이드 ( $WB_4$ ) 복합체를 생성한다. 일부 구현예에서, 복합 재료를 제조하는 방법이 제공되고, 이 방법에서, 제1 조성물 및 제2 조성물을 i) 혼합하고 흑연 다이(graphite die)에 장입하여(loaded) 유압 압축(hydraulic compaction)을 수행하고, ii) 그 다음 스파크 플라즈마 소결 노 (SPS:Spark Plasma Sintering furnace) 또는 고온 고압 노 (HTHP:high-temperature high-pressure furnace) 또는 열간 정수압 프레스 (HIP:hot-isostatic press)에 장입하여 결합제를 갖는 완전 고밀화 텅스텐 테트라보라이드 ( $WB_4$ ) 복합체를 생성한다.

[0022] 또 다른 측면에서, 절단(cutting) 또는 마멸(abrading)을 위한 표면 또는 몸체(body)를 포함하는 공구(tool)가 본 명세서에 기재되고, 상기 표면 또는 몸체는 적어도 경질 재료(hard material)의 표면이되, 상기 경질 재료는 2종의 조성물을 포함한다:

[0023] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ 의 조성물,

[0024] 식 중,

[0025] W는 텅스텐 (W)이고;

[0026] X는 붕소 (B), 베릴륨 (Be), 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;

[0027] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;

[0028] x는 0.001 내지 0.999이고;

[0029] y는 적어도 2.0이고;

[0030] n은 0.001 내지 0.999이고;

[0031] (b) 제2 식  $T_q$ 의 조성물,

[0032] 식 중,

[0033] T는 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소를 포함하는 적어도 하나의 원소이고;

[0034] T는 선택적으로 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소의 조합인 합금을 포함할 수 있고;

[0035] q는 0.001 내지 0.999이고;

[0036] 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0037] 또한, 특정 구현예에서, 2종의 조성물을 포함하는 복합 재료가 본 명세서에 기재된다:

[0038] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ 을 포함하는 조성물,

[0039] 식 중,

[0040] W는 텅스텐 (W)이고;

[0041] X는 붕소 (B), 베릴륨 (Be), 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;

[0042] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;

[0043] x는 0.001 내지 0.999이고;

[0044] y는 적어도 2.0이고;

- [0045]  $n$ 은 0.001 내지 0.999이고;
- [0046] (b) 제2 식  $(M' X' )_q$ ,  $(M' X' _2)_q$ ,  $(M' X' _4)_q$ ,  $(M' X' _6)_q$ , 또는  $(M' X' _{12})_q$ , 또는 이들의 조합을 포함하는 조성물,
- [0047] 식 중,
- [0048]  $X'$ 는 B, Be, 및 Si 중 하나이고,
- [0049]  $M'$ 는 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나이고;
- [0050]  $q$ 는 0.001 내지 0.999이고;
- [0051] 상기  $q$ 와  $n$ 의 합은 1이고;
- [0052] 상기 제2 조성물 (b)는 보호 코팅(protective coating)으로서 작용하는 제1 조성물의 엣지(edges, 모서리)를 부분 또는 전체적으로(in part or in whole) 포함한다.
- [0053] 또 다른 측면에서, 절단 또는 마멸을 위한 표면 또는 몸체를 포함하는 공구가 본 명세서에 기재되고, 상기 표면 또는 몸체는 적어도 경질 재료의 표면이되, 상기 경질 재료는 2종의 조성물을 포함하고, 식 중,
- [0054] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ 을 포함하는 조성물,
- [0055] 식 중,
- [0056]  $W$ 는 텅스텐 ( $W$ )이고;
- [0057]  $X$ 는 붕소 (B), 베릴륨 (Be), 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;
- [0058]  $M$ 은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;
- [0059]  $x$ 는 0.001 내지 0.999이고;
- [0060]  $y$ 는 적어도 2.0이고;
- [0061]  $n$ 은 0.001 내지 0.999이고;
- [0062] (b) 제2 식  $(M' X' )_q$ ,  $(M' X' _2)_q$ ,  $(M' X' _4)_q$ ,  $(M' X' _6)_q$ , 또는  $(M' X' _{12})_q$ , 또는 이들의 조합을 포함하는 조성물,
- [0063] 식 중,
- [0064]  $X'$ 는 B, Be, 및 Si 중 하나이고,
- [0065]  $M'$ 는 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나이고;
- [0066]  $q$ 는 0.001 내지 0.999이고;
- [0067] 상기  $q$ 와  $n$ 의 합은 1이고;
- [0068] 상기 제2 조성물 (b)는 보호 코팅으로서 작용하는 제1 조성물의 엣지를 부분 또는 전체적으로 포함한다.

### 도면의 간단한 설명

[0069] 본 요지의 신규한 피쳐는 특히 첨부된 청구항들에서 제시된다. 본 요지의 피쳐 및 이점의 더 나은 이해는 설명적인 구현예를 제시하는 하기 상세한 설명을 참고로 수득될 것이고, 여기에서 요지의 원리는 이용되고, 이의 수반되는 도면들:

추가 목적 및 이점은 설명, 도면, 및 실시예의 고려로부터 분명해질 것이다.

도 1. 결합제 물질이 모 물질과 상호작용하고 포함하는 방법의 비제한적인 실례. 이러한 이미지에서 표시된 모조성물에 대한 결합제 함량 비는 단지 예를 위한 것이고 본 명세서에서 기재된 요지의 전체 내용에서 사용될 수

있는 결합체 물질의 범위를 완전히 나타내지 않는다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0070] 본 요지의 일부 구현예는 아래 상세히 논의된다. 구현예 기재에서, 구체적 용어는 명료함을 위해 이용된다. 그러나, 본 요지는 그렇게 선택된 구체적 용어에 제한되도록 의도되지 않는다. 관련된 기술에 숙련된 사람은 다른 동등 성분이 이용될 수 있고 다른 방법이 본 요지의 넓은 개념에서 이탈 없이 개발될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 배경 및 상세한 설명 부문을 포함하는, 본 명세서에서 어디든지 인용된 모든 참조문헌은 각각이 개별적으로 편입된 것처럼 참고로 편입된다.
- [0071] 텅스텐계 복합 재료
- [0072] 전이금속 및 경 원소(light elements, 가벼운 원소)를 갖는 텅스텐 테트라보라이드 ( $WB_4$ )의 조성 변화는 우월한 경도 뿐만 아니라 고속 절단에 대한 내마모성을 달성하는 것으로 발견되었다.  $W_{1-x}M_xX_y$  조성물의 강인성
- [0073] 식 중,
- [0074] W는 텅스텐 (W)이고;
- [0075] X는 붕소 (B), 베릴륨 (Be) 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;
- [0076] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;
- [0077] x는 0.001 내지 0.999이고;
- [0078] y는 적어도 4.0이다;
- [0079] 은 때때로 마모에 관하여 만족하지 못한다. 대단한 강인성 및 경도의 조합을 가진 복합 재료에 대하여 오랫동안 느낀 미충족 욕구가 있다.
- [0080] 결합체를 첨가하는  $W_{1-x}M_xX_y$ 의 복합 재료가 본 명세서에서 기재된다. 본 명세서에서 기재된, 일부 측면에서, 결합체 물질은, 파괴 인성, 내마모성, 열전도도, 및/또는 연성을 증가 및/또는 향상시킴에 따라 유익한 존재를 갖는, 원소 주기율표의 4-, 5-, 6-, 7-, 8-, 9-, 10-, 11-, 12-, 13-, 또는 14-족 금속이다. 특정 측면에서, 소결된 복합체에서 (총 질량의 질량 퍼센트로서) 존재하는 결합체의 양은 특정한 적용에 의존하여 다양하다. 예를 들어, 일부 적용은 더 높은 파괴 인성을 필요로 할 수 있고; 따라서 필요한 결합체의 양은 더 높은 내마모성을 필요로 하는 적용보다 더 높을 수 있는데, 이는 결합체를 덜 사용한다. 특정 용도의 예는, 비제한적으로, 하드-페이싱 공구세공, 선반 삽입물, 다운홀 비트 몸체, 게이지 패드, 압출 다이 표면, 공압 및 수압 마모 미디어 헤드를 포함한다.
- [0081] 결합체는, 비-제한적인 예로써, Fe, Co, Ni, 또는 Cu를 포함할 수 있거나, 2차 상, 예컨대 니켈의 저급 보라이드 (즉  $NiB$ )를 도입할 수 있거나, 복합 2차 상 예컨대  $W_2NiB_2$ 를 도입할 수 있다. 일부 구현예에서, 이들 상은 모 조성물 결정자의 그레인 경계에서 현존한다.
- [0082] 또한, 전이 금속 및 경 원소로 텅스텐 테트라보라이드 ( $WB_4$ )의 조성 변화는 절단 및/또는 마멸 공구로서 양호하게 수행한다. 본 명세서에서 기재된 것은, X' 가 붕소 (B), 베릴륨 (Be), 및 실리콘 (Si) 중 하나이고, M이 Hf, Zr, 및 Y를 함유하는 그룹으로부터 선택된 하나 이상의 원소를 함유하는,  $M' X'_1$ ,  $M' X'_2$ ,  $M' X'_4$ ,  $M' X'_6$ , 및  $M' X'_{12}$ 의 임의의 조합을 함유하는 보호 코팅물이고; 상기 코팅물은, 훨씬 더 나은 고온 산화 저항을 가진 복합 재료를 생산하는, 전이금속 및 경 원소를 갖는 텅스텐 테트라보라이드 ( $WB_4$ )의 엣지를 포함한다.
- [0083] 다른 측면에서,  $W_{1-x}M_xX_y$  조성물의 고온 산화 저항을 개선하는 것이 또한 아주 바람직하다. 예를 들어, 산화 저항 개선은 과도한 부식성 증강을 예방한다. 이것은, 차례로, 복합체의 수명 주기를 확대시켜, 복합체를 공격, 스트레스, 및 크래킹으로부터 보호하면서 압축, 용접, 및/또는 제작의 용이성을 개선시킨다.
- [0084] 일부 구현예에서, 2종의 조성물을 포함하는 복합 재료가 본 명세서에 기재되어 있다:

- [0085] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ 의 조성물,
- [0086] 식 중,
- [0087] W는 텅스텐 (W)이고;
- [0088] X는 봉소 (B), 베릴륨 (Be), 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;
- [0089] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;
- [0090] x는 0.001 내지 0.999이고;
- [0091] y는 적어도 2.0이고;
- [0092] n은 0.001 내지 0.999이고;
- [0093] (b) 제2 식  $T_q$ 의 조성물,
- [0094] 식 중,
- [0095] T는 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소를 포함하는 적어도 하나의 원소이고;
- [0096] T는 선택적으로 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소의 조합인 합금을 포함할 수 있고;
- [0097] q는 0.001 내지 0.999이고;
- [0098] 상기 q와 n의 합은 1이다.
- [0099] 일부 구현예에서, X는 B 또는 Si이다. 일부 구현예에서, X는 Be 또는 Si이다. 일부 구현예에서, X는 B이다. 일부 구현예에서, X는 Be이다. 일부 구현예에서, X는 Si이다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr, 및 Y 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, 및 Cr 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 구현예에서, M은 Ta, Mn, 및 Cr 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 구현예에서, M은 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 구현예에서, M은 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Li, Sc, Y, 및 Al로부터 선택된 2종 이상의 원소를 포함한다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr, Y, Ta, 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr으로부터 선택된다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택된다. 일부 구현예에서, M은 Ta 및 Mn 또는 Cr로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 구현예에서, x는 0.001 내지 0.7이다. 일부 구현예에서, x는 0.001 내지 0.4이다. 일부 구현예에서, x는 0.001 내지 0.2이다. 일부 구현예에서, y는 적어도 4이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, x는 약 0.02이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, x는 약 0.04이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Mn을 포함하고, y는 적어도 4이고, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 구현예에서, 복합 재료는  $W_{0.94}Ta_{0.02}Mn_{0.04}B_4$ 를 포함한다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Cr을 포함하고, y는 적어도 4이고, x는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 구현예에서, 복합 재료는  $W_{0.94}Ta_{0.02}Cr_{0.05}B_4$ 를 포함한다. 일부 구현예에서, T는 원소 주기율표의 8, 9, 10, 11, 12, 13 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소의 2개 이상, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 또는 6개 이상을 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Cu, Ni, Co, Fe, Si, Al 및 Ti, 또는 이들의 임의의 조합으로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Co, Ni, Fe, Si, Ti, W, Sn, Ta, 또는 이들의 임의의 조합으로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Co를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Fe를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Ni를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Sn를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 약 40 wt. % 내지 약 60 wt. %의 Cu, 약 10 wt. % 내지 약 20 wt. %의 Co, 0 wt. % 내지 약 7 wt. %의 Sn, 약 5 wt. % 내지 약 15 wt. %의 Ni, 및 약 10 wt. % 내지 약 20 wt. %의 W를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 약 50 wt. %의 Cu, 약 20 wt. %의 Co, 약 5 wt. %의 Sn, 약 10

wt. %의 Ni, 및 약 15 wt. %의 W를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, q 및 n은 중량 백분율 범위이다. 일부 구현예에서, q는 0.01 내지 0.7이다. 일부 구현예에서, q는 0.1 내지 0.3이다. 일부 구현예에서, q는 약 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 또는 0.5이다. 일부 구현예에서, q는 0.7 내지 0.8이다. 일부 구현예에서, n은 0.01 내지 0.5이다. 일부 구현예에서, n은 약 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45 또는 0.5이다. 일부 구현예에서, n은 약 0.25이다. 일부 구현예에서, 복합 재료는 고형 용액(solid solution)을 형성한다. 일부 구현예에서, 복합 재료는 산화에 저항성이 있다. 일부 구현예에서, 복합 재료는 고밀화 복합 재료이다.

[0100] 일부 구현예에서, 복합 재료를 제조하는 방법이 제공되고, 이 방법에서, 제1 조성물 및 제2 조성물을 혼합하고, 힘을 가하여 프레싱하여 그런 펠렛을 생성하고, 그 다음 이를 고온 진공 노에서 몇 시간 동안 소결하여 결합제를 갖는 완전 고밀화 텅스텐 테트라보라이드 ( $WB_4$ ) 복합체를 생성한다. 일부 구현예에서, 복합 재료를 제조하는 방법이 제공되고, 이 방법에서, 제1 조성물 및 제2 조성물을 i) 혼합하고 흑연 다이에 장입하여 유압 압축을 수행하고, ii) 그 다음 스파크 플라즈마 소결 노 (SPS) 또는 고온 고압 노 (HTHP) 또는 열간 정수압 프레스 (HIP)에 장입하여 결합제를 갖는 완전 고밀화 텅스텐 테트라보라이드 ( $WB_4$ ) 복합체를 생성한다.

[0101] 또 다른 측면에서, 절단 또는 마멸을 위한 표면 또는 몸체를 포함하는 공구가 본 명세서에 기재되고, 상기 표면 또는 몸체는 적어도 경질 재료의 표면이되, 상기 경질 재료는 2종의 조성물을 포함한다:

[0102] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ 의 조성물,

[0103] 식 중,

[0104] W는 텅스텐 (W)이고;

[0105] X는 붕소 (B), 베릴륨 (Be), 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;

[0106] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;

[0107] x는 0.001 내지 0.999이고;

[0108] y는 적어도 2.0이고;

[0109] n은 0.001 내지 0.999이고;

[0110] (b) 제2 식  $T_q$ 의 조성물,

[0111] 식 중,

[0112] T는 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소를 포함하는 적어도 하나의 원소이고;

[0113] T는 선택적으로 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소의 조합인 합금을 포함할 수 있고;

[0114] q는 0.001 내지 0.999이고;

[0115] 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0116] 일부 구현예에서, X는 B이다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr 중 하나이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr 중 하나이다. 일부 구현예에서, T는 철 (Fe), 코발트 (Co) 또는 니켈 (Ni)을 포함하는 적어도 하나의 원소를 포함한다. 일부 구현예에서, T는 철 (Fe), 코발트 (Co) 또는 니켈 (Ni)을 포함하는 하나의 원소를 포함한다. 일부 구현예에서, T는 Co를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Fe를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Ni를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Sn를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 약 40 wt. % 내지 약 60 wt. %의 Cu, 약 10 wt. % 내지 약 20 wt. %의 Co, 0 wt. % 내지 약 7 wt. %의 Sn, 약 5 wt. % 내지 약 15 wt. %의 Ni, 및 약 10 wt. % 내지 약 20 wt. %의 W를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 약 50 wt. %의 Cu, 약 20 wt. %의 Co, 약 5 wt. %의 Sn, 약 10 wt. %의 Ni, 및 약 15 wt. %의 W를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, 상기 제2 조성물의 중량 % 범위는 0.01 내지 0.5이다. 일부 구현예에서, 상기 제2 조성물의 중량 % 범위는 0.1 내지

0.5이다. 일부 구현예에서, 제2 조성물은 Co 이고 상기 제2 조성물의 중량 % 범위는 0.1 내지 0.5이다.

[0117] 일부 구현예에서, 복합 재료를 제조하는 방법이 제공되고, 이 방법에서, 제1 조성물 및 제2 조성물을 혼합하고 힘을 가해 프레싱하여 그런 펠렛을 형성하고, 그 다음 이를 고온 진공 노에서 몇 시간 동안 소결하여 결합제를 갖는 완전 고밀화 텅스텐 테트라보라이드 ( $WB_4$ ) 복합체를 생성한다. 일부 구현예에서, 복합 재료를 제조하는 방법이 제공되고, 이 방법에서, 제1 조성물 및 제2 조성물을 i) 혼합하고 흑연 다이에 장입하여 유압 압축을 수행하고, ii) 그 다음 스파크 플라즈마 소결 노 (SPS) 또는 고온 고압 노 (HTHP) 또는 열간 정수압 프레스 (HIP)에 장입하여 결합제를 갖는 완전 고밀화 텅스텐 테트라보라이드 ( $WB_4$ ) 복합체를 생성한다.

[0118] 또한, 특정 구현예에서, 2종의 조성물을 포함하는 복합 재료가 본 명세서에 기재된다:

[0119] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ 을 포함하는 조성물,

[0120] 식 중,

[0121] W는 텅스텐 (W)이고;

[0122] X는 붕소 (B), 베릴륨 (Be), 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;

[0123] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;

[0124] x는 0.001 내지 0.999이고;

[0125] y는 적어도 2.0이고;

[0126] n은 0.001 내지 0.999이고;

[0127] (b) 제2 식  $(M' X')_q$ ,  $(M' X'_{-2})_q$ ,  $(M' X'_{-4})_q$ ,  $(M' X'_{-6})_q$ , 또는  $(M' X'_{-12})_q$ , 또는 이들의 조합을 포함하는 조성물,

[0128] 식 중,

[0129] X 는 B, Be, 및 Si 중 하나이고,

[0130] M 는 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나이고;

[0131] q는 0.001 내지 0.999이고;

[0132] 상기 q와 n의 합은 1이고;

[0133] 상기 제2 조성물 (b)는 보호 코팅으로서 작용하는 제1 조성물의 엣지를 부분 또는 전체적으로 포함한다.

[0134] 일부 구현예에서, X는 B이다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr 중 하나이다.

일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr 중 하나이다. 일부 구현예에서, X는 B이다. 일부 구현예에서, M는 Hf, Zr 및 Y 중 하나이다.

[0135] 또 다른 측면에서, 절단 또는 마멸을 위한 표면 또는 몸체를 포함하는 공구가 본 명세서에 기재되고, 상기 표면 또는 몸체는 적어도 경질 재료의 표면이되, 상기 경질 재료는 2종의 조성물을 포함하고, 식 중,

[0136] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ 을 포함하는 조성물,

[0137] 식 중,

[0138] W는 텅스텐 (W)이고;

[0139] X는 붕소 (B), 베릴륨 (Be), 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;

[0140] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;

- [0141] x는 0.001 내지 0.999이고;
- [0142] y는 적어도 2.0이고;
- [0143] n은 0.001 내지 0.999이고;
- [0144] (b) 제2 식  $(M' X')_q$ ,  $(M' X'_{-2})_q$ ,  $(M' X'_{-4})_q$ ,  $(M' X'_{-6})_q$ , 또는  $(M' X'_{-12})_q$ , 또는 이들의 조합을 포함하는 조성물,
- [0145] 식 중,
- [0146] X 는 B, Be, 및 Si 중 하나이고,
- [0147] M 는 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나이고;
- [0148] q는 0.001 내지 0.999이고;
- [0149] 상기 q와 n의 합은 1이고;
- [0150] 상기 제2 조성물 (b)는 보호 코팅으로서 작용하는 제1 조성물의 엣지를 부분 또는 전체적으로 포함한다.
- [0151] 일부 구현예에서, X는 B이다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr 중 하나이다. 일부 구현예에서, X는 Be이고, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr 중 하나이다. 일부 구현예에서, X는 B이다. 일부 구현예에서, M 는 Hf, Zr 및 Y 중 하나이다.
- [0152] 일부 구현예에서, 2종의 조성물을 포함하는 복합 재료가 본 명세서에 기재되어 있다:
- [0153] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ 을 포함하는 조성물,
- [0154] 식 중,
- [0155] W는 텅스텐 (W)이고;
- [0156] X는 봉소 (B), 베릴륨 (Be), 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;
- [0157] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;
- [0158] x는 0.001 내지 0.999이고;
- [0159] y는 적어도 2.0이고;
- [0160] n은 0.001 내지 0.999이고;
- [0161] (b) 제2 식  $T_q$ 를 포함하는 조성물,
- [0162] 식 중,
- [0163] T는 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소를 포함하는 적어도 하나의 원소이고;
- [0164] T는 선택적으로 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소의 조합인 합금을 포함할 수 있고;
- [0165] q는 0.001 내지 0.999이고;
- [0166] 상기 q와 n의 합은 1이다.
- [0167] 일부 구현예에서, 제1 식  $W_{1-x}M_xX_y$ 로부터의 X는 B 및 Si 중 하나이다. 일부 구현예에서, 제1 식  $W_{1-x}M_xX_y$ 로부터의 X는 Be 및 Si 중 하나이다. 일부 사례에서, X는 B이다. 다른 사례에서, X는 Si이다. 추가의 사례에서, X는 Be이다.
- [0168] 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr, 및 Y 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 구현예에서, M은

Re, Ta, Mn, 및 Cr 중 적어도 하나를 포함한다. 때때로, M은 Ta, Mn 및 Cr 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 다른 사례에서, M은 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일부 사례에서, M은 적어도 Re을 포함한다. 일부 사례에서, M은 적어도 Ta을 포함한다. 일부 사례에서, M은 적어도 Mn을 포함한다. 일부 사례에서, M은 적어도 Cr을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Hf을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Zr을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Y을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ti을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 V을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Co을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ni을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Cu을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Zn을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Nb을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Mo을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ru을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Os을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ir을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Li을 포함한다.

일부 사례에서, M은 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Li, Sc, Y, 및 Al로부터 선택된 2종 이상의 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Ta 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Ta 및 Mn 또는 Cr로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Hf 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Re, Os, Ir, Li, Ta, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Zr 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ta, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Y 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ta, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Zr 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다.

일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr, Y, 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택된다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택된다. 때때로, M은 Ta, Mn, Cr, 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택될 수 있다. M은 Re일 수 있다. 다른 사례에서, M은 Hf, Zr, 및 Y로부터 선택될 수 있다. M은 Ta일 수 있다. M은 Mn일 수 있다. M은 Cr일 수 있다. M은 Ta 및 Mn일 수 있다. M은 Ta 및 Cr일 수 있다. M은 Hf일 수 있다. M은 Zr일 수 있다. M은 Y일 수 있다. M은 Ti일 수 있다. M은 V일 수 있다. M은 Co일 수 있다. M은 Ni일 수 있다. M은 Cu일 수 있다. M은 Zn일 수 있다. M은 Nb일 수 있다. M은 Mo일 수 있다. M은 Ru일 수 있다. M은 Os일 수 있다. M은 Ir일 수 있다. M은 Li일 수 있다. M은 Sc일 수 있다. M은 Al일 수 있다.

때때로,  $x$ 는 0.001 내지 0.999 (포함) 범위 내의 값을 가질 수 있다. 때때로,  $x$ 는 0.001 내지 0.999, 0.005 내지 0.99, 0.01 내지 0.95, 0.05 내지 0.9, 0.1 내지 0.9, 0.001 내지 0.6, 0.005 내지 0.6, 0.01 내지 0.6, 0.05 내지 0.6, 0.1 내지 0.6, 0.2 내지 0.6, 0.3 내지 0.6, 0.4 내지 0.6, 0.001 내지 0.55, 0.005 내지 0.55, 0.01 내지 0.55, 0.05 내지 0.55, 0.1 내지 0.55, 0.2 내지 0.55, 0.3 내지 0.55, 0.4 내지 0.55, 0.45 내지 0.55, 0.001 내지 0.5, 0.005 내지 0.5, 0.01 내지 0.5, 0.05 내지 0.5, 0.1 내지 0.5, 0.2 내지 0.5, 0.3 내지 0.5, 0.4 내지 0.5, 0.5 내지 0.5, 0.45 내지 0.5, 0.001 내지 0.4, 0.005 내지 0.4, 0.01 내지 0.4, 0.05 내지 0.4, 0.1 내지 0.4, 0.2 내지 0.4, 0.001 내지 0.3, 0.005 내지 0.3, 0.01 내지 0.3, 0.05 내지 0.3, 0.1 내지 0.3, 0.001 내지 0.2, 0.005 내지 0.2, 0.01 내지 0.2, 0.05 내지 0.2, 또는 0.1 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 0.1 내지 0.9 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.6, 0.005 내지 0.6, 0.001 내지 0.4, 또는 0.001 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.8 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.8 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.3 내지 0.8 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.3

내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서, x는 0.3 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서, x는 0.3 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서, x는 0.3 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서, x는 0.4 내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서, x는 0.4 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서, x는 0.4 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다.

[0172] 일부 구현예에서, x는 적어도 0.001 및 0.999 미만이다. 일부 구현예에서, x는 적어도 0.001 및 0.9 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.001 및 0.05 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.01 및 0.5 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.01 및 0.4 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.01 및 0.3 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.1 및 0.2 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.1 및 0.15 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.1 및 0.4 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.1 및 0.3 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.1 및 0.2 미만이다.

[0173] 일부 경우에, x는 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.41, 0.42, 0.43, 0.44, 0.45, 0.46, 0.47, 0.48, 0.49, 0.5, 0.51, 0.52, 0.53, 0.54, 0.55, 0.56, 0.57, 0.58, 0.59, 0.6, 0.65, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 0.99 또는 약 0.999의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.001의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.005의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.01의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.05의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.1의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.15의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.2의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.3의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.4의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.41의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.42의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.43의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.44의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.45의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.46의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.47의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.48의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.49의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.5의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.51의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.52의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.53의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.54의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.55의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.56의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.57의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.58의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.59의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.6의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.7의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.8의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.9의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.99의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.999의 값을 갖는다.

[0174] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다. 추가 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 약 0.01이다. 추가 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr 중 하나이다. 추가 구현예에서, X는 B이고, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr 중 하나이다. 추가 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.05 미만, 또는 x는 약 0.02이다. 추가 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 추가 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다.

[0175] 일부 구현예에서, 본 조성물은 W, Re 및 B로 본질적으로 구성되고, x는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다. 추가 구현예에서, 본 조성물은 W, Re 및 B로 본질적으로 구성되고, x는 약 0.01이다.

[0176] 일부 구현예에서, y는 적어도 2, 4, 6, 8, 또는 12이다. 일부 사례에서, y는 적어도 2이다. 다른 사례에서, y는 적어도 4이다. 일부 경우에, y는 적어도 6이다. 일부 다른 사례에서, y는 적어도 8이다. 다른 사례에서 y는 적어도 12이다.

[0177] 일부 구현예에서, n은 0.001 내지 0.999이다. 일부 구현예에서, n은 0.001 내지 0.999, 0.005 내지 0.999, 0.01 내지 0.999, 0.05 내지 0.999, 0.1 내지 0.999, 0.15 내지 0.999, 0.2 내지 0.999, 0.25 내지 0.999, 0.35 내지 0.999, 0.4 내지 0.999, 0.5 내지 0.999, 0.6 내지 0.999, 0.7 내지 0.999, 0.8 내지 0.999, 0.001 내지 0.99, 0.005 내지 0.99, 0.01 내지 0.99, 0.05 내지 0.99, 0.1 내지 0.99, 0.15 내지 0.99, 0.2 내지 0.99, 0.25 내지 0.99, 0.35 내지 0.99, 0.4 내지 0.99, 0.5 내지 0.99, 0.6 내지 0.99, 0.7 내지 0.99, 0.8 내지 0.99, 0.01 내지 0.9, 0.05 내지 0.9, 0.1 내지 0.9, 0.15 내지 0.9, 0.2 내지 0.9, 0.25 내지 0.9, 0.3 내지 0.9, 0.35 내지 0.9, 0.4 내지 0.9, 0.5 내지 0.9, 0.6 내지 0.9, 0.7 내지 0.9, 0.8 내지 0.9, 0.01 내

지 0.8, 0.05 내지 0.8, 0.1 내지 0.8, 0.15 내지 0.8, 0.2 내지 0.8, 0.25 내지 0.8, 0.3 내지 0.8, 0.4 내지 0.8, 0.5 내지 0.8, 0.6 내지 0.8, 0.7 내지 0.8, 0.01 내지 0.7, 0.05 내지 0.7, 0.1 내지 0.7, 0.2 내지 0.7, 0.3 내지 0.7, 0.4 내지 0.7, 0.5 내지 0.7, 0.01 내지 0.6, 0.05 내지 0.6, 0.1 내지 0.6, 0.2 내지 0.6, 0.3 내지 0.6, 0.01 내지 0.5, 0.05 내지 0.5, 0.1 내지 0.5, 0.2 내지 0.5, 0.01 내지 0.4, 0.05 내지 0.4, 0.1 내지 0.4, 0.2 내지 0.4, 0.01 내지 0.3, 0.05 내지 0.3, 0.1 내지 0.3, 0.2 내지 0.3, 0.75 내지 0.99, 0.75 내지 0.9, 0.75 내지 0.8, 0.8 내지 0.99, 또는 0.8 내지 0.9이다.

[0178] 일부 경우에, n은 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 0.99, 또는 약 0.999이다. 일부 경우에, n은 약 0.001이다. 일부 경우에, n은 약 0.005이다. 일부 경우에, n은 약 0.01이다. 일부 경우에, n은 약 0.05이다. 일부 경우에, n은 약 0.1이다. 일부 경우에, n은 약 0.15이다. 일부 경우에, n은 약 0.2이다. 일부 경우에, n은 약 0.25이다. 일부 경우에, n은 약 0.3이다. 일부 경우에, n은 약 0.35이다. 일부 경우에, n은 약 0.4이다. 일부 경우에, n은 약 0.5이다. 일부 경우에, n은 약 0.6이다. 일부 경우에, n은 약 0.7이다. 일부 경우에, n은 약 0.75이다. 일부 경우에, n은 약 0.8이다. 일부 경우에, n은 약 0.85이다. 일부 경우에, n은 약 0.9이다. 일부 경우에, n은 약 0.95이다. 일부 경우에, n은 약 0.99이다. 일부 경우에, n은 약 0.999이다.

[0179] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr 및 Y 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re, Ta, Mn 및 Cr 중 적어도 하나를 포함한다. 때때로, X는 B이고, M은 Ta, Mn 및 Cr 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 다른 사례에서, X는 B이고, M은 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일부 사례에서, X는 B이고, M은 적어도 Re를 포함한다. 일부 사례에서, X는 B이고, M은 적어도 Ta를 포함한다. 일부 사례에서, X는 B이고, M은 적어도 Mn를 포함한다. 일부 사례에서, X는 B이고, M은 적어도 Cr를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Hf를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Zr를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Y를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Ti를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 V를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Co를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Ni를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Cu를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Zn를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Nb를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Mo를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Ru를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Os를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Ir를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Li를 포함한다.

[0180] 일부 사례에서, X는 B이고, M은 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 2종 이상의 원소를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ta 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ta 및 Mn 또는 Cr로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Hf 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Re, Os, Ir, Li, Ta, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Zr 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ta, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Y 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ta, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Zr 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다.

[0181] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr, Y, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택된다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr으로부터 선택된다. 때때로, X는 B이고, M은 Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택될 수 있다. M은 Re일 수 있다. 다른 사례에서, X는 B이고, M은 Hf, Zr, 및 Y로부터 선택될 수 있다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ta이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Mn이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Cr이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ta 및 Mn이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ta 및 Cr이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Hf이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Zr이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Y이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ti이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 V이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Co이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ni이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Cu이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Zn이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Nb이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Mo이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ru이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Os이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ir이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Li이다.

[0182] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 구현예에서,

X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다.

[0183] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 약 0.02이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 약 0.04이다.

[0184] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.05 미만이다.

[0185] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.05 미만이다.

[0186] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Mn을 포함한다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Mn이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Mn을 포함하고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 사례에서, 복합 재료는  $W_{0.94}Ta_{0.02}Mn_{0.04}B_y$ 를 포함하고, 여기서 y는 적어도 4이다. 일부 사례에서, 복합 재료는  $W_{0.94}Ta_{0.02}Mn_{0.04}B_4$ 를 포함한다.

[0187] 일부 사례에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Cr을 포함한다. 일부 사례에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Cr이다. 일부 사례에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Cr을 포함하고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 사례에서, 복합 재료는  $W_{0.93}Ta_{0.02}Cr_{0.05}B_y$ 를 포함하고, 여기서 y는 적어도 4이다. 일부 사례에서, 복합 재료는  $W_{0.93}Ta_{0.02}Cr_{0.05}B_4$ 를 포함한다.

[0188] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는  $WB_4$ 를 포함한다.

[0189] 제2 식  $T_q$ 로부터의 T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함한다. 때때로, T는 원소 주기율표의 8, 9, 10, 11, 12, 13 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 4족 원소 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 사례에서 T는 원소 주기율표의 5족 원소 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 6족 원소 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 7족 원소 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 8족 원소 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 9족 원소 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 10족 원소 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 11족 원소 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 12족 원소 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 13족 원소 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 14족 원소 중 적어도 하나를 포함한다.

[0190] 제2 식  $T_q$ 로부터의 T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금을 포함할 수 있다. 때때로, T는 원소 주기율표의 8, 9, 10, 11, 12, 13 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금일 수 있다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 4족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 5족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 6족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 7족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 8족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 9족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 10족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 11족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 12족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 13족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다.

표의 11족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 12족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 13족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다.

[0191] 일부 사례에서, T는 Cu, Ni, Co, Fe, Si, Al 및 Ti로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Cu, Co, Fe, Ni, Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Cu, Co, Fe 및 Ni로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Al, Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Cu를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Ni를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Co를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Fe를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Si를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Al을 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Ti를 포함하는 합금이다.

[0192] 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 2개 이상, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 또는 6개 이상을 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 원소 주기율표의 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 2개 이상, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 또는 6개 이상을 포함하는 합금이다. 때때로, 합금 T는 Cu, 및 선택적으로 Co, Ni, Fe, Si, Ti, W, Sn, 또는 Ta 중 하나 이상과 함께 포함할 수 있다. 일부 경우에, 합금 T는 Co, Ni, Fe, Si, Ti, W, Sn, Ta, 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 그와 같은 합금에서, Cu의 중량 백분율은 약 40 wt. % 내지 약 60 wt. %, 또는 약 50 wt. %일 수 있다. Co의 중량 백분율은 약 10 wt. % 내지 약 20 wt. %, 또는 약 20 wt. %일 수 있다. Sn의 중량 백분율은 7 wt. % 미만, 최대 7 wt. %, 또는 약 5 wt. %일 수 있다. Ni의 중량 백분율은 약 5 wt. % 내지 약 15 wt. %, 또는 약 10 wt. %일 수 있다. W의 중량 백분율은 약 15 wt. %일 수 있다.

[0193] 일부 구현예에서, q는 0.001 내지 0.999이다. 일부 구현예에서, q는 0.001 내지 0.999, 0.005 내지 0.999, 0.01 내지 0.999, 0.05 내지 0.999, 0.1 내지 0.999, 0.15 내지 0.999, 0.2 내지 0.999, 0.25 내지 0.999, 0.35 내지 0.999, 0.4 내지 0.999, 0.5 내지 0.999, 0.6 내지 0.999, 0.7 내지 0.999, 0.8 내지 0.999, 0.001 내지 0.99, 0.005 내지 0.99, 0.01 내지 0.99, 0.05 내지 0.99, 0.1 내지 0.99, 0.15 내지 0.99, 0.2 내지 0.99, 0.25 내지 0.99, 0.35 내지 0.99, 0.4 내지 0.99, 0.5 내지 0.99, 0.6 내지 0.99, 0.7 내지 0.99, 0.8 내지 0.99, 0.01 내지 0.9, 0.05 내지 0.9, 0.1 내지 0.9, 0.15 내지 0.9, 0.2 내지 0.9, 0.25 내지 0.9, 0.3 내지 0.9, 0.35 내지 0.9, 0.4 내지 0.9, 0.5 내지 0.9, 0.6 내지 0.9, 0.7 내지 0.9, 0.8 내지 0.9, 0.01 내지 0.8, 0.05 내지 0.8, 0.1 내지 0.8, 0.15 내지 0.8, 0.2 내지 0.8, 0.25 내지 0.8, 0.3 내지 0.8, 0.4 내지 0.8, 0.5 내지 0.8, 0.6 내지 0.8, 0.7 내지 0.8, 0.01 내지 0.7, 0.05 내지 0.7, 0.1 내지 0.7, 0.2 내지 0.7, 0.3 내지 0.7, 0.4 내지 0.7, 0.5 내지 0.7, 0.01 내지 0.6, 0.05 내지 0.6, 0.1 내지 0.6, 0.2 내지 0.6, 0.3 내지 0.6, 0.01 내지 0.5, 0.05 내지 0.5, 0.1 내지 0.5, 0.2 내지 0.5, 0.01 내지 0.4, 0.05 내지 0.4, 0.1 내지 0.4, 0.2 내지 0.4, 0.01 내지 0.3, 0.05 내지 0.3, 0.1 내지 0.3, 0.2 내지 0.3, 0.75 내지 0.99, 0.75 내지 0.9, 0.75 내지 0.8, 0.8 내지 0.99, 또는 0.8 내지 0.9이다.

[0194] 일부 구현예에서, q는 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 0.99, 또는 약 0.999이다. 일부 경우에, q는 약 0.001이다. 일부 경우에, q는 약 0.005이다. 일부 경우에, q는 약 0.01이다. 일부 경우에, q는 약 0.05이다. 일부 경우에, q는 약 0.1이다. 일부 경우에, q는 약 0.15이다. 일부 경우에, q는 약 0.2이다. 일부 경우에, q는 약 0.25이다. 일부 경우에, q는 약 0.3이다. 일부 경우에, q는 약 0.35이다. 일부 경우에, q는 약 0.4이다. 일부 경우에, q는 약 0.5이다. 일부 경우에, q는 약 0.6이다. 일부 경우에, q는 약 0.7이다. 일부 경우에, q는 약 0.75이다. 일부 경우에, q는 약 0.8이다. 일부 경우에, q는 약 0.85이다. 일부 경우에, q는 약 0.9이다. 일부 경우에, q는 약 0.95이다. 일부 경우에, q는 약 0.99이다. 일부 경우에, q는 약 0.999이다.

[0195] 일부 경우에, 본 명세서에서 사용된 바와 같이, q 및 n은 중량 백분율 범위이다.

[0196] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 산화에 저항성이 있다. 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 항-산화 특성을 갖는다. 예를 들어, 복합 재료가 공구의 표면 상에 코팅될 때, 복합 재료는 복합 재료로 코팅되지 않은 공구와 비교하여 공구의 산화의 속도를 감소시킨다. 대안적인 예에서, 복합 재료가 공구의 표면 상에 코팅될 때, 복합 재료는 복합 재료로 코팅되지 않은 공구와 비교하여 공구의 산화를 예방한다. 일부 사례에서, 복합 재료 중  $T_q$ 는 산화의 형성을 억제하거나 산화의 속도를 감소시킨다.

일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 고형 용액상을 포함한다. 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 고형 용액을 형성한다. 일부 사례에서, 고형 용액상 중 복합 재료는 제1 식 ( $W_{1-x}M_xX_y$ )<sub>n</sub> 및 제2 식  $T_q$ 의 텅스텐계 화합물을 포함한다. 일부 사례에서, 고형 용액상 중 복합 재료는 제1 식 ( $W_{1-x}M_xB_4$ )<sub>n</sub> 및 제2 식  $T_q$ 의 텅스텐계 화합물을 포함한다. 일부 사례에서, 고형 용액상 중 복합 재료는 제1 식 ( $WB_4$ )<sub>n</sub> 및 제2 식  $T_q$ 의 텅스텐계 화합물을 포함한다.

일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약 10 내지 약 70 GPa의 경도를 갖는다. 일부 사례에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약 10 내지 약 60 GPa, 약 10 내지 약 50 GPa, 약 10 내지 약 40 GPa, 약 10 내지 약 30GPa, 약 20 내지 약 70 GPa, 약 20 내지 약 60 GPa, 약 20 내지 약 50 GPa, 약 20 내지 약 40 GPa, 약 20 내지 약 30 GPa, 약 30 내지 약 70 GPa, 약 30 내지 약 60 GPa, 약 30 내지 약 50 GPa, 약 30 내지 약 45 GPa, 약 30 내지 약 40 GPa, 약 30 내지 약 35 GPa, 약 35 내지 약 70 GPa, 약 35 내지 약 60 GPa, 약 35 내지 약 50 GPa, 약 35 내지 약 40 GPa, 약 40 내지 약 70 GPa, 약 40 내지 약 60 GPa, 약 40 내지 약 50 GPa, 약 45 내지 약 60 GPa 또는 약 45 내지 약 50 GPa의 경도를 갖는다. 일부 사례에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약 30 내지 약 50 GPa, 약 30 내지 약 45 GPa, 약 30 내지 약 40 GPa, 약 30 내지 약 35 GPa, 약 35 내지 약 50 GPa, 약 35 내지 약 40 GPa, 약 40 내지 약 50 GPa 또는 약 45 내지 약 50 GPa의 경도를 갖는다.

[0200] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약 330 GPa 내지 약 350 GPa의 체적 탄성률을 갖는다.

[0201] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약  $20\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 사례에서, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하 또는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $9\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $7\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $6\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $4\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $3\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다.

[0202] 일부 사례에서, 입도는 평균 입도이다. 일부 경우에, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약  $20\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 사례에서, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하 또는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $9\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $7\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $6\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $4\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $3\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다.

[0203] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 고밀화 복합 재료이다. 일부 사례에서, 고밀화 복합 재료는 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ 의 텅스텐계 화합물 및 제2 식  $T_q$ 의 화합물을 포함한다. 일부 사례에서, 고밀화 복합 재료는 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 의 텅스텐계 화합물 및 제2 식  $T_q$ 의 화합물을 포함한다. 일부 사례에서, 고밀화 복합 재료는 제1 식  $WB_4$ 의 텅스텐계 화합물, 및 제2 식  $T_q$ 의 화합물을 포함한다.

[0204] 복합 재료-텅스텐 테트라보라이드  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$

[0205] 일부 구현예에서, 하기를 포함하는, 본 명세서에서 기재된 복합 재료:

[0206] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 의 조성물,

[0207] 식 중,

[0208] W는 텅스텐 (W)이고;

[0209] B는 붕소 (B)이고;

[0210] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;

[0211] x는 0.001 내지 0.999이고;

[0212] n은 0.001 내지 0.999이고;

[0213] (b) 제2 식  $T_q$ 의 조성물,

[0214] 식 중,

[0215] T는 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소를 포함하는 적어도 하나의 원소이고;

[0216] T는 선택적으로 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소의 조합인 합금을 포함할 수 있고;

[0217] q는 0.001 내지 0.999이고;

상기  $q$ 와  $n$ 의 합은 1이다.

일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr 및 Y 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn 및 Cr 중 적어도 하나를 포함한다. 때때로, M은 Ta, Mn 및 Cr 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 다른 사례에서, M은 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일부 사례에서, M은 적어도 Re을 포함한다. 일부 사례에서, M은 적어도 Ta을 포함한다. 일부 사례에서, M은 적어도 Mn을 포함한다. 일부 사례에서, M은 적어도 Cr을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Hf을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Zr을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Y을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ti을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 V을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Co을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ni을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Cu을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Zn을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Nb을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Mo을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ru을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Os을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ir을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Li을 포함한다.

일부 사례에서, M은 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Li, Sc, Y, 및 Al로부터 선택된 2종 이상의 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Ta 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Ta 및 Mn 또는 Cr로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Hf 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Re, Os, Ir, Li, Ta, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Zr 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ta, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Y 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ta, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Zr 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다.

일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr, Y, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택된다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr으로부터 선택된다. 때때로, M은 Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택될 수 있다. M은 Re일 수 있다. 다른 사례에서, M은 Hf, Zr, 및 Y로부터 선택될 수 있다. M은 Ta일 수 있다. M은 Mn일 수 있다. M은 Cr일 수 있다. M은 Ta 및 Mn일 수 있다. M은 Ta 및 Cr일 수 있다. M은 Hf일 수 있다. M은 Zr일 수 있다. M은 Y일 수 있다. M은 Ti일 수 있다. M은 V일 수 있다. M은 Co일 수 있다. M은 Ni일 수 있다. M은 Cu일 수 있다. M은 Zn일 수 있다. M은 Nb일 수 있다. M은 Mo일 수 있다. M은 Ru일 수 있다. M은 Os일 수 있다. M은 Ir일 수 있다. M은 Li일 수 있다. M은 Sc일 수 있다. M은 Al일 수 있다.

때때로,  $x$ 는 0.001 내지 0.999 (포함) 범위 내의 값을 가질 수 있다. 때때로,  $x$ 는 0.005 내지 0.99, 0.01 내지 0.95, 0.05 내지 0.9, 0.1 내지 0.9, 0.001 내지 0.6, 0.005 내지 0.6, 0.01 내지 0.6, 0.05 내지 0.6, 0.1 내지 0.6, 0.2 내지 0.6, 0.3 내지 0.6, 0.4 내지 0.6, 0.001 내지 0.55, 0.005 내지 0.55, 0.01 내지 0.55, 0.05 내지 0.55, 0.1 내지 0.55, 0.2 내지 0.55, 0.3 내지 0.55, 0.4 내지 0.55, 0.45 내지 0.55, 0.001 내지 0.5, 0.005 내지 0.5, 0.01 내지 0.5, 0.05 내지 0.5, 0.1 내지 0.5, 0.2 내지 0.5, 0.3 내지 0.5, 0.4 내지 0.5, 0.5 내지 0.55, 0.45 내지 0.5, 0.001 내지 0.4, 0.005 내지 0.4, 0.01 내지 0.4, 0.05 내지 0.4, 0.1 내지 0.4, 0.2 내지 0.4, 0.001 내지 0.3, 0.005 내지 0.3, 0.01 내지 0.3, 0.05 내지 0.3, 0.1 내지 0.3, 0.001 내지 0.2, 0.005 내지 0.2, 0.01 내지 0.2, 0.05 내지 0.2, 또는 0.1 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 가질 수 있다. 일부 경우에,  $x$ 는 0.1 내지 0.9 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.6, 0.005 내지 0.6, 0.001 내지 0.4, 또는 0.001 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.8 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.8 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다.



- [0228] 일부 구현예에서, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 구현예에서, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 구현예에서, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 구현예에서, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 구현예에서, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다. 일부 구현예에서, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.05 미만이다.
- [0229] 일부 구현예에서, M은 Ta 및 Mn을 포함한다. 일부 구현예에서, M은 Ta 및 Mn이다. 일부 구현예에서, M은 Ta 및 Mn을 포함하고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 사례에서, 복합 재료는  $W_{0.94}Ta_{0.02}Mn_{0.04}B_4$ 를 포함한다.
- [0230] 일부 사례에서, M은 Ta 및 Cr을 포함한다. 일부 사례에서, M은 Ta 및 Cr이다. 일부 사례에서, M은 Ta 및 Cr을 포함하고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 사례에서, 복합 재료는  $W_{0.93}Ta_{0.02}Cr_{0.05}B_4$ 를 포함한다.
- [0231] 일부 사례에서, n은 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45 또는 0.5이다. 일부 경우에, n은 약 0.001이다. 일부 경우에, n은 약 0.005이다. 일부 경우에, n은 약 0.01이다. 일부 경우에, n은 약 0.05이다. 일부 경우에, n은 약 0.1이다. 일부 경우에, n은 약 0.15이다. 일부 경우에, n은 약 0.2이다. 일부 경우에, n은 약 0.25이다. 일부 경우에, n은 약 0.3이다. 일부 경우에, n은 약 0.35이다. 일부 경우에, n은 약 0.4이다. 일부 경우에, n은 약 0.45이다. 일부 경우에, n은 약 0.5이다.
- [0232] 일부 경우에, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 때때로, T는 원소 주기율표의 8, 9, 10, 11, 12, 13 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금일 수 있다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 4족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 6족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 7족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 8족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 9족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 11족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 12족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 13족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다.
- [0233] 일부 사례에서, T는 Cu, Ni, Co, Fe, Si, Al 및 Ti로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Cu, Co, Fe, Ni, Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Cu, Co, Fe 및 Ni로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Co, Fe 및 Ni로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Al, Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Cu를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Ni를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Co를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Fe를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Si를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Al를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Ti를 포함하는 합금이다.
- [0234] 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 2개 이상, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 또는 6개 이상을 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 원소 주기율표의 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 2개 이상, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 또는 6개 이상을 포함하는 합금이다. 때때로, 합금 T는 Cu, 및 선택적으로 Co, Ni, Fe, Si, Ti, W, Sn, 또는 Ta 중 하나 이상과 함께 포함할 수 있다. 일부 경우에, 합금 T는 Co, Ni, Fe, Si, Ti, W, Sn, Ta, 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 그와 같은 합금에서, Cu의 중량 백분율은 약 40 wt. % 내지 약 60 wt. %, 또는 약 50 wt. %일 수 있다. Co의 중량 백분율은 약 10 wt. % 내지 약 20 wt. %, 또는 약 20 wt. %일 수 있다. Sn의 중량 백분율은 7 wt. % 미만, 최대 7 wt. %, 또는 약 5 wt. %일 수 있다. Ni의 중량 백분율은 약 5 wt. % 내지 약 15 wt. %, 또는 약 10 wt. %일 수 있다. W의 중량 백분율은 약 15 wt. %일 수 있다.
- [0235] 일부 구현예에서, q는 0.001 내지 0.999이다. 일부 구현예에서, q는 0.001 내지 0.999, 0.005 내지 0.999, 0.01 내지 0.999, 0.05 내지 0.999, 0.1 내지 0.999, 0.15 내지 0.999, 0.2 내지 0.999, 0.25 내지 0.999, 0.35 내지 0.999, 0.4 내지 0.999, 0.5 내지 0.999, 0.6 내지 0.999, 0.7 내지 0.999, 0.8 내지 0.999, 0.001 내지 0.99, 0.005 내지 0.99, 0.01 내지 0.99, 0.05 내지 0.99, 0.1 내지 0.99, 0.15 내지 0.99, 0.2 내지

0.99, 0.25 내지 0.99, 0.35 내지 0.99, 0.4 내지 0.99, 0.5 내지 0.99, 0.6 내지 0.99, 0.7 내지 0.99, 0.8 내지 0.99, 0.01 내지 0.9, 0.05 내지 0.9, 0.1 내지 0.9, 0.15 내지 0.9, 0.2 내지 0.9, 0.25 내지 0.9, 0.3 내지 0.9, 0.35 내지 0.9, 0.4 내지 0.9, 0.5 내지 0.9, 0.6 내지 0.9, 0.7 내지 0.9, 0.8 내지 0.9, 0.01 내지 0.8, 0.05 내지 0.8, 0.1 내지 0.8, 0.15 내지 0.8, 0.2 내지 0.8, 0.25 내지 0.8, 0.3 내지 0.8, 0.4 내지 0.8, 0.5 내지 0.8, 0.6 내지 0.8, 0.7 내지 0.8, 0.01 내지 0.7, 0.05 내지 0.7, 0.1 내지 0.7, 0.2 내지 0.7, 0.3 내지 0.7, 0.4 내지 0.7, 0.5 내지 0.7, 0.01 내지 0.6, 0.05 내지 0.6, 0.1 내지 0.6, 0.2 내지 0.6, 0.3 내지 0.6, 0.01 내지 0.5, 0.05 내지 0.5, 0.1 내지 0.5, 0.2 내지 0.5, 0.01 내지 0.4, 0.05 내지 0.4, 0.1 내지 0.4, 0.2 내지 0.4, 0.01 내지 0.3, 0.05 내지 0.3, 0.1 내지 0.3, 0.2 내지 0.3, 0.75 내지 0.99, 0.75 내지 0.9, 0.75 내지 0.8, 0.8 내지 0.99, 또는 0.8 내지 0.9이다.

[0236] 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 0.99, 또는 약 0.999이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.001이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.005이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.01이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.05이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.1이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.15이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.2이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.25이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.3이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.35이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.4이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.5이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.6이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.7이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.75이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.8이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.85이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.9이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.95이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.99이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.999이다.

[0237] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 을 포함하고, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y), 스칸듐 (Sc), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Cu_q$ ; 여기서  $q$ 는 0.001 내지 0.999이고; 상기  $q$ 와 n의 합은 1이다.

[0238] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 을 포함하고, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y), 스칸듐 (Sc), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Ni_q$ ; 여기서  $q$ 는 0.001 내지 0.999이고; 상기  $q$ 와 n의 합은 1이다.

[0239] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 을 포함하고, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y), 스칸듐 (Sc), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Co_q$ ; 여기서  $q$ 는 0.001 내지 0.999이고; 상기  $q$ 와 n의 합은 1이다.

[0240] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 을 포함하고, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y), 스칸듐 (Sc), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Fe_q$ ; 여기서  $q$ 는 0.001 내지 0.999이고; 상기  $q$ 와 n의 합은 1이다.

[0241] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 을 포함하고, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y), 스칸듐 (Sc), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Si_q$ ; 여기서  $q$ 는 0.001 내지 0.999이고; 상기  $q$ 와 n의 합은 1이다.

[0242] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 을 포함하고, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os),

이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y), 스칸듐 (Sc), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Al_q$ ; 여기서 q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0243] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 을 포함하고, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y), 스칸듐 (Sc), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Ti_q$ ; 여기서 q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0244] 복합 재료—텅스텐 테트라보라이드 ( $WB_4$ )

[0245] 일부 구현예에서, 하기를 포함하는, 본 명세서에서 기재된 복합 재료:

[0246] (a) 식  $(WB_4)_n$ 의 텅스텐 테트라보라이드,

[0247] 여기서 n은 0.001 내지 0.999이고;

[0248] (b) 제2 식  $T_q$ ,

[0249] 식 중,

[0250] T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고;

[0251] T는 선택적으로 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소의 조합인 합금을 포함할 수 있고;

[0252] q는 0.001 내지 0.999이고;

[0253] 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0254] 일부 경우에, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 때때로, T는 원소 주기율표의 8, 9, 10, 11, 12, 13 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금일 수 있다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 4족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 5족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 6족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 7족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 8족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 9족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 10족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 11족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 12족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 13족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다.

[0255] 일부 사례에서, T는 Cu, Ni, Co, Fe, Si, Al 및 Ti로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Cu, Co, Fe, Ni, Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Cu, Co, Fe 및 Ni로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Co, Fe 및 Ni로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Cu를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Ni를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Co를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Fe를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Si를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Al를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Ti를 포함하는 합금이다.

[0256] 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 2개 이상, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 또는 6개 이상을 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 원소 주기율표의 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 2개 이상, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 또는 6개 이상을 포함하는 합금이다. 때때로, 합금 T는 Cu, 및 선택적으로 Co, Ni, Fe, Si, Ti, W, Sn, 또는 Ta 중 하나 이상과 함께 포함할 수 있

다. 일부 경우에, 합금 T는 Co, Ni, Fe, Si, Ti, W, Sn, Ta, 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 그와 같은 합금에서, Cu의 중량 백분율은 약 40 wt. % 내지 약 60 wt. %, 또는 약 50 wt. %일 수 있다. Co의 중량 백분율은 약 10 wt. % 내지 약 20 wt. %, 또는 약 20 wt. %일 수 있다. Sn의 중량 백분율은 7 wt. % 미만, 최대 7 wt. %, 또는 약 5 wt. %일 수 있다. Ni의 중량 백분율은 약 5 wt. % 내지 약 15 wt. %, 또는 약 10 wt. %일 수 있다. W의 중량 백분율은 약 15 wt. %일 수 있다.

[0257] 일부 구현예에서, q는 0.001 내지 0.999이다. 일부 구현예에서, q는 0.001 내지 0.999, 0.005 내지 0.999, 0.01 내지 0.999, 0.05 내지 0.999, 0.1 내지 0.999, 0.15 내지 0.999, 0.2 내지 0.999, 0.25 내지 0.999, 0.35 내지 0.999, 0.4 내지 0.999, 0.5 내지 0.999, 0.6 내지 0.999, 0.7 내지 0.999, 0.8 내지 0.999, 0.001 내지 0.99, 0.005 내지 0.99, 0.01 내지 0.99, 0.05 내지 0.99, 0.1 내지 0.99, 0.15 내지 0.99, 0.2 내지 0.99, 0.25 내지 0.99, 0.35 내지 0.99, 0.4 내지 0.99, 0.5 내지 0.99, 0.6 내지 0.99, 0.7 내지 0.99, 0.8 내지 0.99, 0.01 내지 0.9, 0.05 내지 0.9, 0.1 내지 0.9, 0.15 내지 0.9, 0.2 내지 0.9, 0.25 내지 0.9, 0.3 내지 0.9, 0.35 내지 0.9, 0.4 내지 0.9, 0.5 내지 0.9, 0.6 내지 0.9, 0.7 내지 0.9, 0.8 내지 0.9, 0.01 내지 0.8, 0.05 내지 0.8, 0.1 내지 0.8, 0.15 내지 0.8, 0.2 내지 0.8, 0.25 내지 0.8, 0.3 내지 0.8, 0.4 내지 0.8, 0.5 내지 0.8, 0.6 내지 0.8, 0.7 내지 0.8, 0.01 내지 0.7, 0.05 내지 0.7, 0.1 내지 0.7, 0.2 내지 0.7, 0.3 내지 0.7, 0.4 내지 0.7, 0.5 내지 0.7, 0.01 내지 0.6, 0.05 내지 0.6, 0.1 내지 0.6, 0.2 내지 0.6, 0.3 내지 0.6, 0.01 내지 0.5, 0.05 내지 0.5, 0.1 내지 0.5, 0.2 내지 0.5, 0.01 내지 0.4, 0.05 내지 0.4, 0.1 내지 0.4, 0.2 내지 0.4, 0.01 내지 0.3, 0.05 내지 0.3, 0.1 내지 0.3, 0.2 내지 0.3, 0.75 내지 0.99, 0.75 내지 0.9, 0.75 내지 0.8, 0.8 내지 0.99, 또는 0.8 내지 0.9이다.

[0258] 일부 경우에, q는 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 0.99, 또는 약 0.999이다. 일부 경우에, q는 약 0.001이다. 일부 경우에, q는 약 0.005이다. 일부 경우에, q는 약 0.01이다. 일부 경우에, q는 약 0.05이다. 일부 경우에, q는 약 0.1이다. 일부 경우에, q는 약 0.15이다. 일부 경우에, q는 약 0.2이다. 일부 경우에, q는 약 0.25이다. 일부 경우에, q는 약 0.3이다. 일부 경우에, q는 약 0.35이다. 일부 경우에, q는 약 0.4이다. 일부 경우에, q는 약 0.5이다. 일부 경우에, q는 약 0.6이다. 일부 경우에, q는 약 0.7이다. 일부 경우에, q는 약 0.75이다. 일부 경우에, q는 약 0.8이다. 일부 경우에, q는 약 0.85이다. 일부 경우에, q는 약 0.9이다. 일부 경우에, q는 약 0.95이다. 일부 경우에, q는 약 0.99이다. 일부 경우에, q는 약 0.999이다.

[0259] 일부 사례에서, n은 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45 또는 0.5이다. 일부 경우에, n은 약 0.001이다. 일부 경우에, n은 약 0.005이다. 일부 경우에, n은 약 0.01이다. 일부 경우에, n은 약 0.05이다. 일부 경우에, n은 약 0.1이다. 일부 경우에, n은 약 0.15이다. 일부 경우에, n은 약 0.2이다. 일부 경우에, n은 약 0.25이다. 일부 경우에, n은 약 0.3이다. 일부 경우에, n은 약 0.35이다. 일부 경우에, n은 약 0.4이다. 일부 경우에, n은 약 0.45이다. 일부 경우에, n은 약 0.5이다.

[0260] 일부 경우에, 본 명세서에서 사용된 바와 같이, q 및 n은 중량 백분율 범위이다.

[0261] 일부 구현예에서, 하기를 포함하는, 본 명세서에서 기재된 복합 재료:(a) 식  $(WB_4)_n$ 의 텉스텐 테트라보라이드, 여기서 n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Cu_q$ ; 여기서 q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0262] 일부 구현예에서, 하기를 포함하는, 본 명세서에서 기재된 복합 재료:(a) 식  $(WB_4)_n$ 의 텉스텐 테트라보라이드, 여기서 n은 0.001 내지 0.099; 및 (b) 제2 식  $Ni_q$ ; 여기서 q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0263] 일부 구현예에서, 하기를 포함하는, 본 명세서에서 기재된 복합 재료:(a) 식  $(WB_4)_n$ 의 텉스텐 테트라보라이드, 여기서 n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Co_q$ ; 여기서 q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0264] 일부 구현예에서, 하기를 포함하는, 본 명세서에서 기재된 복합 재료:(a) 식  $(WB_4)_n$ 의 텉스텐 테트라보라이드, 여기서 n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Fe_q$ ; 여기서 q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0265] 일부 구현예에서, 하기를 포함하는, 본 명세서에서 기재된 복합 재료:(a) 식  $(WB_4)_n$ 의 텉스텐 테트라보라이드,

여기서 n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Si_q$ ; 여기서 q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0266] 일부 구현예에서, 하기를 포함하는, 본 명세서에서 기재된 복합 재료:(a) 식  $(WB_4)_n$ 의 텅스텐 테트라보라이드, 여기서 n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Al_q$ ; 여기서 q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0267] 일부 구현예에서, 하기를 포함하는, 본 명세서에서 기재된 복합 재료:(a) 식  $(WB_4)_n$ 의 텅스텐 테트라보라이드, 여기서 n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $Ti_q$ ; 여기서 q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0268] 베릴륨을 포함하는 텅스텐계 복합 재료

[0269] 일부 구현예에서, 하기를 포함하는 복합 재료가 본 명세서에 기재되어 있다:

[0270] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xBe_y)_n$

[0271] 식 중,

[0272] W는 텅스텐 (W)이고;

[0273] Be는 베릴륨 (Be)이고;

[0274] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y), 스칸듐 (Sc), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;

[0275] x는 0.001 내지 0.999이고;

[0276] y는 적어도 2.0이고;

[0277] n은 0.001 내지 0.999이고;

[0278] (b) 제2 식  $T_q$ ,

[0279] 식 중,

[0280] T는 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소를 포함하는 적어도 하나의 원소이고;

[0281] T는 선택적으로 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소의 조합인 합금을 포함할 수 있고;

[0282] q는 0.001 내지 0.999이고;

[0283] 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0284] 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr 및 Y 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn 및 Cr 중 적어도 하나를 포함한다. 때때로, M은 Ta, Mn 및 Cr 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 다른 사례에서, M은 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일부 사례에서, M은 적어도 Re을 포함한다. 일부 사례에서, M은 적어도 Ta을 포함한다. 일부 사례에서, M은 적어도 Mn을 포함한다. 일부 사례에서, M은 적어도 Cr을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Hf을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Zr을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Y을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ti을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 V을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Co을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ni을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Cu을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Zn을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Nb을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Mo을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ru을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Os을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ir을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Li을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Sc을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Al를 포함한다.

[0285] 일부 사례에서, M은 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Li, Y, Sc,

및 Al로부터 선택된 2종 이상의 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Ta 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Ta 및 Mn 또는 Cr로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Hf 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Re, Os, Ir, Li, Ta, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Zr 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ta, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Y 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ta, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Zr 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다.

일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr, Y, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택된다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr으로부터 선택된다. 때때로, M은 Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택될 수 있다. M은 Re일 수 있다. 다른 사례에서, M은 Hf, Zr, 및 Y로부터 선택될 수 있다. M은 Ta일 수 있다. M은 Mn일 수 있다. M은 Cr일 수 있다. M은 Ta 및 Mn일 수 있다. M은 Ta 및 Cr일 수 있다. M은 Hf일 수 있다. M은 Zr일 수 있다. M은 Y일 수 있다. M은 Ti일 수 있다. M은 V일 수 있다. M은 Co일 수 있다. M은 Ni일 수 있다. M은 Cu일 수 있다. M은 Zn일 수 있다. M은 Nb일 수 있다. M은 Mo일 수 있다. M은 Ru일 수 있다. M은 Os일 수 있다. M은 Ir일 수 있다. M은 Li일 수 있다. M은 Sc일 수 있다. M은 Al일 수 있다.

때때로,  $x$ 는 0.001 내지 0.999 (포함) 범위 내의 값을 가질 수 있다. 때때로,  $x$ 는 0.001 내지 0.999, 0.005 내지 0.99, 0.01 내지 0.95, 0.05 내지 0.9, 0.1 내지 0.9, 0.001 내지 0.6, 0.005 내지 0.6, 0.01 내지 0.6, 0.05 내지 0.6, 0.1 내지 0.6, 0.2 내지 0.6, 0.3 내지 0.6, 0.4 내지 0.6, 0.001 내지 0.55, 0.005 내지 0.55, 0.01 내지 0.55, 0.05 내지 0.55, 0.1 내지 0.55, 0.2 내지 0.55, 0.3 내지 0.55, 0.4 내지 0.55, 0.45 내지 0.55, 0.001 내지 0.5, 0.005 내지 0.5, 0.01 내지 0.5, 0.05 내지 0.5, 0.1 내지 0.5, 0.2 내지 0.5, 0.3 내지 0.5, 0.4 내지 0.5, 0.5 내지 0.55, 0.45 내지 0.5, 0.001 내지 0.4, 0.005 내지 0.4, 0.01 내지 0.4, 0.05 내지 0.4, 0.1 내지 0.4, 0.2 내지 0.4, 0.001 내지 0.3, 0.005 내지 0.3, 0.01 내지 0.3, 0.05 내지 0.3, 0.1 내지 0.3, 0.001 내지 0.2, 0.005 내지 0.2, 0.01 내지 0.2, 0.05 내지 0.2, 또는 0.1 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 가질 수 있다. 일부 경우에,  $x$ 는 0.1 내지 0.9 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.6, 0.005 내지 0.6, 0.001 내지 0.4, 또는 0.001 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.8 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.3 내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.3 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.3 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.3 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.4 내지 0.8 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.4 내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.4 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다.

일부 구현예에서,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.999 미만이다. 일부 구현예에서,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.9 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.05 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.01

및 0.5 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.01 및 0.4 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.01 및 0.3 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.01 및 0.2 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.1 및 0.5 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.1 및 0.4 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.1 및 0.3 미만이다. 일부 경우에, x는 적어도 0.1 및 0.2 미만이다.

[0289] 일부 경우에, x는 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.41, 0.42, 0.43, 0.44, 0.45, 0.46, 0.47, 0.48, 0.49, 0.5, 0.51, 0.52, 0.53, 0.54, 0.55, 0.56, 0.57, 0.58, 0.59, 0.6, 0.65, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 0.99 또는 약 0.999의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.001의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.005의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.01의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.05의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.1의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.15의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.2의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.3의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.4의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.41의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.42의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.43의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.44의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.45의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.46의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.47의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.48의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.49의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.5의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.51의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.52의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.53의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.54의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.55의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.56의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.57의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.58의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.59의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.6의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.7의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.8의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.9의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.95의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.99의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.999의 값을 갖는다.

[0290] 일부 구현예에서, y는 적어도 2, 4, 6, 또는 12이다. 일부 사례에서, y는 적어도 2이다. 일부 경우에, y는 적어도 4이다. 일부 경우에, y는 적어도 6이다. 일부 경우에 y는 적어도 12이다.

[0291] 일부 사례에서, n은 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45 또는 0.5이다. 일부 경우에, n은 약 0.001이다. 일부 경우에, n은 약 0.005이다. 일부 경우에, n은 약 0.01이다. 일부 경우에, n은 약 0.05이다. 일부 경우에, n은 약 0.1이다. 일부 경우에, n은 약 0.15이다. 일부 경우에, n은 약 0.2이다. 일부 경우에, n은 약 0.25이다. 일부 경우에, n은 약 0.3이다. 일부 경우에, n은 약 0.35이다. 일부 경우에, n은 약 0.4이다. 일부 경우에, n은 약 0.45이다. 일부 경우에, n은 약 0.5이다.

[0292] 제2 삭  $T_q$ 로부터의 T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금일 수 있다. 때때로, T는 원소 주기율표의 8, 9, 10, 11, 12, 13 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금일 수 있다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 4족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 5족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 6족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 7족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 8족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 9족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 10족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 11족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 12족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 13족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다.

[0293] 일부 사례에서, T는 Cu, Ni, Co, Fe, Si, Al 및 Ti로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Cu, Co, Fe, Ni, Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Cu, Co, Fe 및 Ni로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Co, Fe 및 Ni로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Cu를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Ni를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Co를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 T를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Si를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Al을 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Ti를 포함하는 합금이다.

- [0294] 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 2개 이상, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 또는 6개 이상을 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 원소 주기율표의 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 2개 이상, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 또는 6개 이상을 포함하는 합금이다. 때때로, 합금 T는 Cu, 및 선택적으로 Co, Ni, Fe, Si, Ti, W, Sn, 또는 Ta 중 하나 이상과 함께 포함할 수 있다. 일부 경우에, 합금 T는 Co, Ni, Fe, Si, Ti, W, Sn, Ta, 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 그와 같은 합금에서, Cu의 중량 백분율은 약 40 wt. % 내지 약 60 wt. %, 또는 약 50 wt. %일 수 있다. Co의 중량 백분율은 약 10 wt. % 내지 약 20 wt. %, 또는 약 20 wt. %일 수 있다. Sn의 중량 백분율은 7 wt. % 미만, 최대 7 wt. %, 또는 약 5 wt. %일 수 있다. Ni의 중량 백분율은 약 5 wt. % 내지 약 15 wt. %, 또는 약 10 wt. %일 수 있다. W의 중량 백분율은 약 15 wt. %일 수 있다.
- [0295] 일부 구현예에서, q는 0.001 내지 0.999이다. 일부 구현예에서, q는 0.001 내지 0.999, 0.005 내지 0.999, 0.01 내지 0.999, 0.05 내지 0.999, 0.1 내지 0.999, 0.15 내지 0.999, 0.2 내지 0.999, 0.25 내지 0.999, 0.35 내지 0.999, 0.4 내지 0.999, 0.5 내지 0.999, 0.6 내지 0.999, 0.7 내지 0.999, 0.8 내지 0.999, 0.001 내지 0.99, 0.005 내지 0.99, 0.01 내지 0.99, 0.05 내지 0.99, 0.1 내지 0.99, 0.15 내지 0.99, 0.2 내지 0.99, 0.25 내지 0.99, 0.35 내지 0.99, 0.4 내지 0.99, 0.5 내지 0.99, 0.6 내지 0.99, 0.7 내지 0.99, 0.8 내지 0.99, 0.01 내지 0.9, 0.05 내지 0.9, 0.1 내지 0.9, 0.15 내지 0.9, 0.2 내지 0.9, 0.25 내지 0.9, 0.3 내지 0.9, 0.35 내지 0.9, 0.4 내지 0.9, 0.5 내지 0.9, 0.6 내지 0.9, 0.7 내지 0.9, 0.8 내지 0.9, 0.01 내지 0.8, 0.05 내지 0.8, 0.1 내지 0.8, 0.15 내지 0.8, 0.2 내지 0.8, 0.25 내지 0.8, 0.3 내지 0.8, 0.4 내지 0.8, 0.5 내지 0.8, 0.6 내지 0.8, 0.7 내지 0.8, 0.01 내지 0.7, 0.05 내지 0.7, 0.1 내지 0.7, 0.2 내지 0.7, 0.3 내지 0.7, 0.4 내지 0.7, 0.5 내지 0.7, 0.01 내지 0.6, 0.05 내지 0.6, 0.1 내지 0.6, 0.2 내지 0.6, 0.3 내지 0.6, 0.01 내지 0.5, 0.05 내지 0.5, 0.1 내지 0.5, 0.2 내지 0.5, 0.01 내지 0.4, 0.05 내지 0.4, 0.1 내지 0.4, 0.2 내지 0.4, 0.01 내지 0.3, 0.05 내지 0.3, 0.1 내지 0.3, 0.2 내지 0.3, 0.75 내지 0.99, 0.75 내지 0.9, 0.75 내지 0.8, 0.8 내지 0.99, 또는 0.8 내지 0.9이다.
- [0296] 일부 경우에, q는 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 0.99, 또는 약 0.999이다. 일부 경우에, q는 약 0.001이다. 일부 경우에, q는 약 0.005이다. 일부 경우에, q는 약 0.01이다. 일부 경우에, q는 약 0.05이다. 일부 경우에, q는 약 0.1이다. 일부 경우에, q는 약 0.15이다. 일부 경우에, q는 약 0.2이다. 일부 경우에, q는 약 0.25이다. 일부 경우에, q는 약 0.3이다. 일부 경우에, q는 약 0.35이다. 일부 경우에, q는 약 0.4이다. 일부 경우에, q는 약 0.5이다. 일부 경우에, q는 약 0.6이다. 일부 경우에, q는 약 0.7이다. 일부 경우에, q는 약 0.75이다. 일부 경우에, q는 약 0.8이다. 일부 경우에, q는 약 0.85이다. 일부 경우에, q는 약 0.9이다. 일부 경우에, q는 약 0.95이다. 일부 경우에, q는 약 0.99이다. 일부 경우에, q는 약 0.999이다.
- [0297] 일부 경우에, 본 명세서에서 사용된 바와 같이, q 및 n은 중량 백분율 범위이다.
- [0298] 일부 구현예에서, 베릴륨을 포함하는 복합 재료는 산화에 저항성이 있다. 일부 구현예에서, 베릴륨을 포함하는 복합 재료는 항-산화 특성을 갖는다. 예를 들어, 복합 재료가 공구의 표면 상에 코팅될 때, 복합 재료는 복합 재료로 코팅되지 않은 공구와 비교하여 공구의 산화의 속도를 감소시킨다. 대안적인 예에서, 복합 재료가 공구의 표면 상에 코팅될 때, 복합 재료는 복합 재료로 코팅되지 않은 공구와 비교하여 공구의 산화를 예방한다. 일부 사례에서, 복합 재료 중  $T_q$ 는 산화의 형성을 억제하거나 산화의 속도를 감소시킨다.
- [0299] 일부 구현예에서, 베릴륨을 포함하는 복합 재료는 고형 용액상을 포함한다. 일부 구현예에서, 베릴륨을 포함하는 복합 재료는 고형 용액을 형성한다. 일부 사례에서, 고형 용액상 중 복합 재료는 제1 식 ( $W_{1-x}M_xBe_y)_n$ , 및 제2 식  $T_q$ 의 텅스텐계 화합물을 포함한다.
- [0300] 일부 구현예에서, 베릴륨을 포함하는 복합 재료는 약 10 내지 약 70 GPa의 경도를 갖는다. 일부 사례에서, 베릴륨을 포함하는 복합 재료는 약 10 내지 약 60 GPa, 약 10 내지 약 50 GPa, 약 10 내지 약 40 GPa, 약 10 내지 약 30GPa, 약 20 내지 약 70 GPa, 약 20 내지 약 60 GPa, 약 20 내지 약 50 GPa, 약 20 내지 약 40 GPa, 약 20 내지 약 30 GPa, 약 30 내지 약 70 GPa, 약 30 내지 약 60 GPa, 약 30 내지 약 50 GPa, 약 30 내지 약 45 GPa, 약 30 내지 약 40 GPa, 약 30 내지 약 35 GPa, 약 35 내지 약 70 GPa, 약 35 내지 약 60 GPa, 약 35 내지 약 50 GPa, 약 35 내지 약 40 GPa, 약 40 내지 약 70 GPa, 약 40 내지 약 60 GPa, 약 40 내지 약 50 GPa, 약 45 내지 약 60 GPa 또는 약 45 내지 약 50 GPa의 경도를 갖는다. 일부 사례에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약 30 내지 약 50 GPa, 약 30 내지 약 45 GPa, 약 30 내지 약 40 GPa, 약 30 내지 약 35 GPa, 약 35 내지

약 50 GPa, 약 35 내지 약 40 GPa, 약 40 내지 약 50 GPa 또는 약 45 내지 약 50 GPa의 경도를 갖는다.

일부 구현예에서, 베릴륨을 포함하는 복합 재료는 약 330 GPa 내지 약 350 GPa의 체적 탄성률을 갖는다.

일부 구현예에서, 베릴륨을 포함하는 복합 재료는 약  $20\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 사례에서, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하 또는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $9\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $7\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $6\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $4\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $3\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다.

일부 사례에서, 입도는 평균 입도이다. 일부 경우에, 베릴륨을 포함하는 복합 재료는 약  $20\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 사례에서, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하 또는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $9\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $7\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도

를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $6\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $4\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $3\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다.

[0305] 일부 구현예에서, 베릴륨을 포함하는 복합 재료는 고밀화 복합 재료이다. 일부 사례에서, 고밀화 복합 재료는 제1 식  $(W_{1-x}M_xBe_y)_n$  및 제2 식  $T_q$ 의 텅스텐계 화합물을 포함한다.

[0306] 규소를 포함하는 텅스텐계 복합 재료

[0307] 일부 구현예에서, 하기를 포함하는 복합 재료가 본 명세서에 기재되어 있다:

[0308] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xSi_y)_n$

[0309] 식 중,

[0310] W는 텅스텐 (W)이고;

[0311] Si는 실리콘 (Si)이고;

[0312] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y), 스칸듐 (Sc), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;

[0313] x는 0.001 내지 0.999이고;

[0314] y는 적어도 2.0이고;

[0315] n은 0.001 내지 0.999이고;

[0316] (b) 제2 식  $T_q$ :

[0317] 식 중,

[0318] T는 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소를 포함하는 적어도 하나의 원소이고;

[0319] T는 선택적으로 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소의 조합인 합금을 포함할 수 있고;

[0320] q는 0.001 내지 0.999이고;

[0321] 상기 q와 n의 합은 1이다.

[0322] 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr 및 Y 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn 및 Cr 중 적어도 하나를 포함한다. 때때로, M은 Ta, Mn 및 Cr 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 다른 사례에서, M은 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일부 사례에서, M은 적어도 Re을 포함한다. 일부 사례에서, M은 적어도 Ta을 포함한다. 일부 사례에서, M은 적어도 Mn을 포함한다. 일부 사례에서, M은 적어도 Cr을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Hf을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Zr을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Y을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ti을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 V을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Co을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ni을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Cu을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Zn을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Nb을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Mo을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ru을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Os을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Ir을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Li을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Sc을 포함한다. 일부 경우에, M은 적어도 Al을 포함한다.

[0323] 일부 사례에서, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al)로부터 선택된 2종 이상의 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Ta 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Ta 및 Mn 또는 Cr로부터 선택된 원소를 포함

한다. 일부 경우에, M은 Hf 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Re, Os, Ir, Li, Ta, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Zr 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ta, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, M은 Y 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ta, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Zr 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다.

일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr, Y, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택된다. 일부 구현예에서, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr으로부터 선택된다. 때때로, M은 Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택될 수 있다. M은 Re일 수 있다. 다른 사례에서, M은 Hf, Zr, 및 Y로부터 선택될 수 있다. M은 Ta일 수 있다. M은 Mn일 수 있다. M은 Cr일 수 있다. M은 Ta 및 Mn일 수 있다. M은 Ta 및 Cr일 수 있다. M은 Hf일 수 있다. M은 Zr일 수 있다. M은 Y일 수 있다. M은 Ti일 수 있다. M은 V일 수 있다. M은 Co일 수 있다. M은 Ni일 수 있다. M은 Cu일 수 있다. M은 Zn일 수 있다. M은 Nb일 수 있다. M은 Mo일 수 있다. M은 Ru일 수 있다. M은 Os일 수 있다. M은 Ir일 수 있다. M은 Li일 수 있다. M은 Sc일 수 있다. M은 Al일 수 있다.

일부 구현예에서,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.999 미만이다. 일부 구현예에서,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.9 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.05 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.01 및 0.5 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.01 및 0.4 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.01 및 0.3 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.01 및 0.2 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.1 및 0.5 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.1 및 0.4 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.1 및 0.3 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.1 및 0.2 미만이다.

도 0.1 및 0.2 미만이다.

[0327] 일부 경우에, x는 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.41, 0.42, 0.43, 0.44, 0.45, 0.46, 0.47, 0.48, 0.49, 0.5, 0.51, 0.52, 0.53, 0.54, 0.55, 0.56, 0.57, 0.58, 0.59, 0.6, 0.65, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 0.99 또는 약 0.999의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.001의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.005의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.01의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.05의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.1의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.15의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.2의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.3의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.4의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.41의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.42의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.43의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.44의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.45의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.46의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.47의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.48의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.49의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.5의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.51의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.52의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.53의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.54의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.55의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.56의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.57의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.58의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.59의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.6의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.7의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.8의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.9의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.95의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.99의 값을 갖는다. 일부 경우에, x는 약 0.999의 값을 갖는다.

[0328] 일부 구현예에서, y는 적어도 2, 4, 6, 또는 12이다. 일부 사례에서, y는 적어도 2이다. 일부 경우에, y는 적어도 4이다. 일부 경우에, y는 적어도 6이다. 일부 경우에 y는 적어도 12이다.

[0329] 일부 사례에서, n은 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45 또는 0.5이다. 일부 경우에, n은 약 0.001이다. 일부 경우에, n은 약 0.005이다. 일부 경우에, n은 약 0.01이다. 일부 경우에, n은 약 0.05이다. 일부 경우에, n은 약 0.1이다. 일부 경우에, n은 약 0.15이다. 일부 경우에, n은 약 0.2이다. 일부 경우에, n은 약 0.25이다. 일부 경우에, n은 약 0.3이다. 일부 경우에, n은 약 0.35이다. 일부 경우에, n은 약 0.4이다. 일부 경우에, n은 약 0.45이다. 일부 경우에, n은 약 0.5이다.

[0330] 제2 삭 T<sub>q</sub>로부터의 T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금일 수 있다. 때때로, T는 원소 주기율표의 8, 9, 10, 11, 12, 13 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금일 수 있다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 4족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 5족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 6족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 7족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 8족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 9족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 10족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 11족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 12족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 13족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다. 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이다.

[0331] 일부 사례에서, T는 Cu, Ni, Co, Fe, Si, Al 및 Ti로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Cu, Co, Fe, Ni, Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Cu, Co, Fe 및 Ni로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Al, Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 Ti 및 Si로부터 선택된 적어도 하나의 원소를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Cu를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Ni를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Co를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Fe를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Si를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Al를 포함하는 합금이다. 일부 구현예에서, T는 Ti를 포함하는 합금이다.

[0332] 일부 사례에서, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 2개 이상, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 또는 6개 이상을 포함하는 합금이다. 일부 경우에, T는 원소 주기율표의 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 2개 이상, 3개 이상, 4개 이상, 5개 이상, 또는 6개 이상을 포함하는 합금이다.

때때로, 합금 T는 Cu, 및 선택적으로 Co, Ni, Fe, Si, Ti, W, Sn, 또는 Ta 중 하나 이상과 함께 포함할 수 있다. 일부 경우에, 합금 T는 Co, Ni, Fe, Si, Ti, W, Sn, Ta, 또는 이들의 임의의 조합을 포함한다. 그와 같은 합금에서, Cu의 중량 백분율은 약 40 wt. % 내지 약 60 wt. %, 또는 약 50 wt. %일 수 있다. Co의 중량 백분율은 약 10 wt. % 내지 약 20 wt. %, 또는 약 20 wt. %일 수 있다. Sn의 중량 백분율은 7 wt. % 미만, 최대 7 wt. %, 또는 약 5 wt. %일 수 있다. Ni의 중량 백분율은 약 5 wt. % 내지 약 15 wt. %, 또는 약 10 wt. %일 수 있다. W의 중량 백분율은 약 15 wt. %일 수 있다.

[0333] 일부 구현예에서, q는 0.001 내지 0.999이다. 일부 구현예에서, q는 0.001 내지 0.999, 0.005 내지 0.999, 0.01 내지 0.999, 0.05 내지 0.999, 0.1 내지 0.999, 0.15 내지 0.999, 0.2 내지 0.999, 0.25 내지 0.999, 0.35 내지 0.999, 0.4 내지 0.999, 0.5 내지 0.999, 0.6 내지 0.999, 0.7 내지 0.999, 0.8 내지 0.999, 0.001 내지 0.99, 0.005 내지 0.99, 0.01 내지 0.99, 0.05 내지 0.99, 0.1 내지 0.99, 0.15 내지 0.99, 0.2 내지 0.99, 0.25 내지 0.99, 0.35 내지 0.99, 0.4 내지 0.99, 0.5 내지 0.99, 0.6 내지 0.99, 0.7 내지 0.99, 0.8 내지 0.99, 0.01 내지 0.9, 0.05 내지 0.9, 0.1 내지 0.9, 0.15 내지 0.9, 0.2 내지 0.9, 0.25 내지 0.9, 0.3 내지 0.9, 0.35 내지 0.9, 0.4 내지 0.9, 0.5 내지 0.9, 0.6 내지 0.9, 0.7 내지 0.9, 0.8 내지 0.9, 0.01 내지 0.8, 0.05 내지 0.8, 0.1 내지 0.8, 0.15 내지 0.8, 0.2 내지 0.8, 0.25 내지 0.8, 0.3 내지 0.8, 0.4 내지 0.8, 0.5 내지 0.8, 0.6 내지 0.8, 0.7 내지 0.8, 0.01 내지 0.7, 0.05 내지 0.7, 0.1 내지 0.7, 0.2 내지 0.7, 0.3 내지 0.7, 0.4 내지 0.7, 0.5 내지 0.7, 0.01 내지 0.6, 0.05 내지 0.6, 0.1 내지 0.6, 0.2 내지 0.6, 0.3 내지 0.6, 0.01 내지 0.5, 0.05 내지 0.5, 0.1 내지 0.5, 0.2 내지 0.5, 0.01 내지 0.4, 0.05 내지 0.4, 0.1 내지 0.4, 0.2 내지 0.4, 0.01 내지 0.3, 0.05 내지 0.3, 0.1 내지 0.3, 0.2 내지 0.3, 0.75 내지 0.99, 0.75 내지 0.9, 0.75 내지 0.8, 0.8 내지 0.99, 또는 0.8 내지 0.9이다.

[0334] 일부 경우에, q는 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 0.99, 또는 약 0.999이다. 일부 경우에, q는 약 0.001이다. 일부 경우에, q는 약 0.005이다. 일부 경우에, q는 약 0.01이다. 일부 경우에, q는 약 0.05이다. 일부 경우에, q는 약 0.1이다. 일부 경우에, q는 약 0.15이다. 일부 경우에, q는 약 0.2이다. 일부 경우에, q는 약 0.25이다. 일부 경우에, q는 약 0.3이다. 일부 경우에, q는 약 0.35이다. 일부 경우에, q는 약 0.4이다. 일부 경우에, q는 약 0.5이다. 일부 경우에, q는 약 0.6이다. 일부 경우에, q는 약 0.7이다. 일부 경우에, q는 약 0.75이다. 일부 경우에, q는 약 0.8이다. 일부 경우에, q는 약 0.85이다. 일부 경우에, q는 약 0.9이다. 일부 경우에, q는 약 0.95이다. 일부 경우에, q는 약 0.99이다. 일부 경우에, q는 약 0.999이다.

[0335] 일부 경우에, 본 명세서에서 사용된 바와 같이, q 및 n은 중량 백분율 범위이다.

[0336] 일부 구현예에서, 규소를 포함하는 복합 재료는 산화에 저항성이 있다. 일부 구현예에서, 규소를 포함하는 복합 재료는 항-산화 특성을 갖는다. 예를 들어, 복합 재료가 공구의 표면 상에 코팅될 때, 복합 재료는 복합 재료로 코팅되지 않은 공구와 비교하여 공구의 산화의 속도를 감소시킨다. 대안적인 예에서, 복합 재료가 공구의 표면 상에 코팅될 때, 복합 재료는 복합 재료로 코팅되지 않은 공구와 비교하여 공구의 산화를 예방한다. 일부 사례에서, 복합 재료 중  $T_q$ 는 산화의 형성을 억제하거나 산화의 속도를 감소시킨다.

[0337] 일부 구현예에서, 규소를 포함하는 복합 재료는 고형 용액상을 포함한다. 일부 구현예에서, 규소를 포함하는 복합 재료는 고형 용액을 형성한다. 일부 사례에서, 고형 용액상 중 복합 재료는 제1 식  $(W_{1-x}M_xSi_y)_n$  및 제2 식  $T_q$ 의 텅스텐계 화합물을 포함한다.

[0338] 일부 구현예에서, 규소를 포함하는 복합 재료는 약 10 내지 약 70 GPa의 경도를 갖는다. 일부 사례에서, 규소를 포함하는 복합 재료는 약 10 내지 약 60 GPa, 약 10 내지 약 50 GPa, 약 10 내지 약 40 GPa, 약 10 내지 약 30 GPa, 약 20 내지 약 70 GPa, 약 20 내지 약 60 GPa, 약 20 내지 약 50 GPa, 약 20 내지 약 40 GPa, 약 20 내지 약 30 GPa, 약 30 내지 약 70 GPa, 약 30 내지 약 60 GPa, 약 30 내지 약 50 GPa, 약 30 내지 약 45 GPa, 약 30 내지 약 40 GPa, 약 30 내지 약 35 GPa, 약 35 내지 약 70 GPa, 약 35 내지 약 60 GPa, 약 35 내지 약 50 GPa, 약 35 내지 약 40 GPa, 약 40 내지 약 70 GPa, 약 40 내지 약 60 GPa, 약 40 내지 약 50 GPa, 약 45 내지 약 60 GPa 또는 약 45 내지 약 50 GPa의 경도를 갖는다. 일부 사례에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약 30 내지 약 50 GPa, 약 30 내지 약 45 GPa, 약 30 내지 약 40 GPa, 약 30 내지 약 35 GPa, 약 35 내지 약 50 GPa, 약 35 내지 약 40 GPa, 약 40 내지 약 50 GPa 또는 약 45 내지 약 50 GPa의 경도를 갖는다.

[0339] 일부 구현예에서, 규소를 포함하는 복합 재료는 약 10 GPa, 약 15 GPa, 약 20 GPa, 약 25 GPa, 약 30 GPa, 약 31 GPa, 약 32 GPa, 약 33 GPa, 약 34 GPa, 약 35 GPa, 약 36 GPa, 약 37 GPa, 약 38 GPa, 약 39 GPa, 약 40

일부 구현예에서, 규소를 포함하는 복합 재료는 약 330 GPa 내지 약 350 GPa의 체적 탄성률을 갖는다.

일부 구현예에서, 규소를 포함하는 복합 재료는 약  $20\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 사례에서, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하 또는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $9\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $7\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $6\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $4\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $3\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다.

일부 사례에서, 입도는 평균 입도이다. 일부 경우에, 규소를 포함하는 복합 재료는 약  $20\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 사례에서, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하 또는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $9\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $7\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $6\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $4\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다.

- [0343] 일부 구현예에서, 규소를 포함하는 복합 재료는 고밀화 복합 재료이다. 일부 사례에서, 고밀화 복합 재료는 제1식 ( $W_{1-x}M_xSi_y)_n$  및  $T_q$ 의 텅스텐계 화합물을 포함한다.
- [0344] 또한, 특정 구현예에서, 절단 또는 마멸을 위한 표면 또는 몸체를 포함하는 공구가 본 명세서에 기재되어 있고, 상기 표면 또는 몸체는 적어도 경질 재료의 표면이되, 상기 경질 재료는 2종의 조성물을 포함한다:
- [0345] (a) 제1 식 ( $W_{1-x}M_xX_y)_n$ 을 포함하는 제1 조성물,
- [0346] 식 중,
- [0347] W는 텅스텐 (W)이고;
- [0348] X는 붕소 (B), 베릴륨 (Be) 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;
- [0349] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y), 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;
- [0350] x는 0.001 내지 0.999이고;
- [0351] y는 적어도 2.0이고;
- [0352] n은 0.001 내지 0.999이고;
- [0353] (b) 제2 식  $T_q$ 를 포함하는 조성물,
- [0354] 식 중,
- [0355] T는 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소를 포함하는 적어도 하나의 원소이고;
- [0356] T는 선택적으로 원소 주기율표에서 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소의 조합인 합금을 포함할 수 있고;
- [0357] q는 0.001 내지 0.999이고;
- [0358] 상기 q와 n의 합은 1이다.
- [0359] 도편트의 첨가와 함께  $W_{1-x}M_xX_y$ 의 복합 재료가 또한 본 명세서에 기재되어 있다. 일부 측면에서, 파괴 인성, 내마모성, 열전도도, 및/또는 연성을 증가 및/또는 향상시키는 바와 같이 유익한 존재를 갖는, 예를 들어 원소 주기율표의 4-, 5-, 6-, 7-, 8-, 9-, 10-, 11-, 12-, 13-, 또는 14-족 금속의 도편트 물질이 본 명세서에 기재되어 있다. 특정 측면에서, 소결된 복합체 중 (총 질량의 질량 퍼센트로서) 존재하는 결합제 물질의 양은 특정한 적용에 따라 변한다. 예를 들어, 일부 적용은 더 높은 파괴 인성을 필요로 할 수 있고; 따라서 필요한 결합제의 양은 더 높은 내마모성을 필요로 하는 적용보다 더 높을 수 있는데, 이는 결합제를 덜 사용한다. 특정 용도의 예는, 비제한적으로, 하드-페이싱 공구세공, 선반 삽입물, 다운홀 비트 몸체, 게이지 패드, 압출 다이 표면, 공압 및 수압 마모 미디어 헤드를 포함한다.
- [0360] 본 명세서에 기재된 특정 구현예에서는, 2종의 조성물을 포함하는 복합 재료:
- [0361] (a) 제1 식 ( $W_{1-x}M_xX_y)_n$ 을 포함하는 조성물,
- [0362] 식 중,
- [0363] W는 텅스텐 (W)이고;
- [0364] X는 붕소 (B), 베릴륨 (Be) 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;
- [0365] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;
- [0366] x는 0.001 내지 0.999이고;

- [0367]  $y$ 는 적어도 2.0이고;
- [0368]  $n$ 은 0.001 내지 0.999이고;
- [0369] (b) 제2 식  $(M' X')_q$ ,  $(M' X'_{-2})_q$ ,  $(M' X'_{-4})_q$ ,  $(M' X'_{-6})_q$ , 또는  $(M' X'_{-12})_q$ , 또는 이들의 조합을 포함하는 조성물,
- [0370] 식 중,
- [0371]  $X$ 는 B, Be, 및 Si 중 하나이고,
- [0372]  $M$ 는 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나이고;
- [0373]  $q$ 는 0.001 내지 0.999이고;
- [0374] 상기  $q$ 와  $n$ 의 합은 1이고;
- [0375] 상기 제2 조성물 (b)는 보호 코팅으로서 작용하는 제1 조성물의 엣지를 부분 또는 전체적으로 포함한다.
- [0376] 일부 구현예에서, 제1 식  $W_{1-x}M_xX_y$ 로부터의  $X$ 는 B 및 Si 중 하나이다. 일부 구현예에서, 제1 식  $W_{1-x}M_xX_y$ 로부터의  $X$ 는 Be 및 Si 중 하나이다. 일부 사례에서,  $X$ 는 B이다. 다른 사례에서,  $X$ 는 Si이다. 추가의 사례에서,  $X$ 는 Be이다.
- [0377] 일부 구현예에서,  $X$ 는 B이다. 일부 구현예에서,  $M$ 은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr 중 하나이다. 일부 구현예에서,  $X$ 는 B이고,  $M$ 은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr 중 하나이다.
- [0378] 일부 구현예에서,  $M$ 은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr, Y, 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택된다. 일부 구현예에서,  $M$ 은 Re, Ta, Mn, Cr, 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택된다. 때때로,  $M$ 은 Ta, Mn, Cr, 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택될 수 있다.  $M$ 은 Re일 수 있다. 다른 사례에서,  $M$ 은 Hf, Zr, 및 Y로부터 선택될 수 있다.  $M$ 은 Ta일 수 있다.  $M$ 은 Mn일 수 있다.  $M$ 은 Cr일 수 있다.  $M$ 은 Ta 및 Mn일 수 있다.  $M$ 은 Ta 및 Cr일 수 있다.  $M$ 은 Hf일 수 있다.  $M$ 은 Zr일 수 있다.  $M$ 은 Y일 수 있다.  $M$ 은 Ti일 수 있다.  $M$ 은 V일 수 있다.  $M$ 은 Co일 수 있다.  $M$ 은 Ni일 수 있다.  $M$ 은 Cu일 수 있다.  $M$ 은 Zn일 수 있다.  $M$ 은 Nb일 수 있다.  $M$ 은 Mo일 수 있다.  $M$ 은 Ru일 수 있다.  $M$ 은 Os일 수 있다.  $M$ 은 Ir일 수 있다.  $M$ 은 Li일 수 있다.  $M$ 은 Sc일 수 있다.  $M$ 은 Al일 수 있다.
- [0379] 때때로,  $x$ 는 0.001 내지 0.999 (포함) 범위 내의 값을 가질 수 있다. 때때로,  $x$ 는 0.001 내지 0.999, 0.005 내지 0.99, 0.01 내지 0.95, 0.05 내지 0.9, 0.1 내지 0.9, 0.001 내지 0.6, 0.005 내지 0.6, 0.01 내지 0.6, 0.05 내지 0.6, 0.1 내지 0.6, 0.2 내지 0.6, 0.3 내지 0.6, 0.4 내지 0.6, 0.001 내지 0.55, 0.005 내지 0.55, 0.01 내지 0.55, 0.05 내지 0.55, 0.1 내지 0.55, 0.2 내지 0.55, 0.3 내지 0.55, 0.4 내지 0.55, 0.45 내지 0.55, 0.001 내지 0.5, 0.005 내지 0.5, 0.01 내지 0.5, 0.05 내지 0.5, 0.1 내지 0.5, 0.2 내지 0.5, 0.3 내지 0.5, 0.4 내지 0.5, 0.5 내지 0.5, 0.55 내지 0.55, 0.45 내지 0.55, 0.001 내지 0.4, 0.005 내지 0.4, 0.01 내지 0.4, 0.001 내지 0.3, 0.005 내지 0.3, 0.01 내지 0.3, 0.05 내지 0.3, 0.1 내지 0.3, 0.001 내지 0.2, 0.005 내지 0.2, 0.01 내지 0.2, 0.05 내지 0.2, 또는 0.1 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 가질 수 있다. 일부 경우에,  $x$ 는 0.1 내지 0.9 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.6, 0.005 내지 0.6, 0.001 내지 0.4, 또는 0.001 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.001 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.1 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.01 내지 0.05 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.8 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.3 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.1 내지 0.2 (포함) 범위 내의 값을 갖는다.

에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.2 내지 0.4 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.3 내지 0.8 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.3 내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.3 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.4 내지 0.8 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.4 내지 0.7 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.4 내지 0.6 (포함) 범위 내의 값을 갖는다. 일부 추가 사례에서,  $x$ 는 0.4 내지 0.5 (포함) 범위 내의 값을 갖는다.

[0380] 일부 구현예에서,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.999 미만이다. 일부 구현예에서,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.9 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.05 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.01 및 0.5 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.01 및 0.4 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.01 및 0.3 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.01 및 0.2 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.1 및 0.5 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.1 및 0.4 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.1 및 0.3 미만이다. 일부 경우에,  $x$ 는 적어도 0.1 및 0.2 미만이다.

[0381] 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.41, 0.42, 0.43, 0.44, 0.45, 0.46, 0.47, 0.48, 0.49, 0.5, 0.51, 0.52, 0.53, 0.54, 0.55, 0.56, 0.57, 0.58, 0.59, 0.6, 0.65, 0.7, 0.8, 0.9, 0.95, 0.99 또는 약 0.999의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.001의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.005의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.01의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.05의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.1의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.15의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.2의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.3의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.4의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.41의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.42의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.43의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.44의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.45의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.46의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.47의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.48의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.49의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.5의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.51의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.52의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.53의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.54의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.55의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.56의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.57의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.58의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.59의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.6의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.7의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.8의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.9의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.99의 값을 갖는다. 일부 경우에,  $x$ 는 약 0.999의 값을 갖는다.

[0382] 일부 구현예에서,  $X$ 는  $B$ 이고,  $M$ 은  $Re$ 이고,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다. 추가 구현예에서,  $X$ 는  $B$ 이고,  $M$ 은  $Re$ 이고,  $x$ 는 약 0.01이다. 추가 구현예에서,  $M$ 은  $Re$ ,  $Ta$ ,  $Mn$ ,  $Cr$ ,  $Ta$  및  $Mn$ , 또는  $Ta$  및  $Cr$  중 하나이다. 추가 구현예에서,  $X$ 는  $B$ 이고,  $M$ 은  $Re$ ,  $Ta$ ,  $Mn$ ,  $Cr$ ,  $Ta$  및  $Mn$ , 또는  $Ta$  및  $Cr$  중 하나이다. 추가 구현예에서,  $X$ 는  $B$ 이고,  $M$ 은  $Ta$ 이고,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.05 미만, 또는  $x$ 는 약 0.02이다. 추가 구현예에서,  $X$ 는  $B$ 이고,  $M$ 은  $Mn$ 이고,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 추가 구현예에서,  $X$ 는  $B$ 이고,  $M$ 은  $Cr$ 이고,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다.

[0383] 일부 구현예에서, 본 조성물은  $W$ ,  $Re$  및  $B$ 로 본질적으로 구성되고,  $x$ 는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다. 추가 구현예에서, 본 조성물은  $W$ ,  $Re$  및  $B$ 로 본질적으로 구성되고,  $x$ 는 약 0.01이다.

[0384] 일부 구현예에서,  $y$ 는 적어도 2, 4, 6, 8, 또는 12이다. 일부 사례에서,  $y$ 는 적어도 2이다. 다른 사례에서,  $y$ 는 적어도 4이다. 일부 경우에,  $y$ 는 적어도 6이다. 일부 다른 사례에서,  $y$ 는 적어도 8이다. 다른 사례에서  $y$ 는 적어도 12이다.

[0385] 일부 구현예에서,  $n$ 은 0.001 내지 0.999이다. 일부 구현예에서,  $n$ 은 0.001 내지 0.999, 0.005 내지 0.999, 0.01 내지 0.999, 0.05 내지 0.999, 0.1 내지 0.999, 0.15 내지 0.999, 0.2 내지 0.999, 0.25 내지 0.999, 0.35 내지 0.999, 0.4 내지 0.999, 0.5 내지 0.999, 0.6 내지 0.999, 0.7 내지 0.999, 0.8 내지 0.999, 0.001

내지 0.99, 0.005 내지 0.99, 0.01 내지 0.99, 0.05 내지 0.99, 0.1 내지 0.99, 0.15 내지 0.99, 0.2 내지 0.99, 0.25 내지 0.99, 0.35 내지 0.99, 0.4 내지 0.99, 0.5 내지 0.99, 0.6 내지 0.99, 0.7 내지 0.99, 0.8 내지 0.99, 0.01 내지 0.9, 0.05 내지 0.9, 0.1 내지 0.9, 0.15 내지 0.9, 0.2 내지 0.9, 0.25 내지 0.9, 0.3 내지 0.9, 0.35 내지 0.9, 0.4 내지 0.9, 0.5 내지 0.9, 0.6 내지 0.9, 0.7 내지 0.9, 0.8 내지 0.9, 0.01 내지 0.8, 0.05 내지 0.8, 0.1 내지 0.8, 0.15 내지 0.8, 0.2 내지 0.8, 0.25 내지 0.8, 0.3 내지 0.8, 0.4 내지 0.8, 0.5 내지 0.8, 0.6 내지 0.8, 0.7 내지 0.8, 0.01 내지 0.7, 0.05 내지 0.7, 0.1 내지 0.7, 0.2 내지 0.7, 0.3 내지 0.7, 0.4 내지 0.7, 0.5 내지 0.7, 0.01 내지 0.6, 0.05 내지 0.6, 0.1 내지 0.6, 0.2 내지 0.6, 0.3 내지 0.6, 0.01 내지 0.5, 0.05 내지 0.5, 0.1 내지 0.5, 0.2 내지 0.5, 0.01 내지 0.4, 0.05 내지 0.4, 0.1 내지 0.4, 0.2 내지 0.4, 0.01 내지 0.3, 0.05 내지 0.3, 0.1 내지 0.3, 0.2 내지 0.3, 0.75 내지 0.99, 0.75 내지 0.9, 0.75 내지 0.8, 0.8 내지 0.99, 또는 0.8 내지 0.9이다.

[0386]

일부 경우에, n은 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 0.99, 또는 약 0.999이다. 일부 경우에, n은 약 0.001이다. 일부 경우에, n은 약 0.005이다. 일부 경우에, n은 약 0.01이다. 일부 경우에, n은 약 0.05이다. 일부 경우에, n은 약 0.1이다. 일부 경우에, n은 약 0.15이다. 일부 경우에, n은 약 0.2이다. 일부 경우에, n은 약 0.25이다. 일부 경우에, n은 약 0.3이다. 일부 경우에, n은 약 0.35이다. 일부 경우에, n은 약 0.4이다. 일부 경우에, n은 약 0.5이다. 일부 경우에, n은 약 0.6이다. 일부 경우에, n은 약 0.7이다. 일부 경우에, n은 약 0.75이다. 일부 경우에, n은 약 0.8이다. 일부 경우에, n은 약 0.85이다. 일부 경우에, n은 약 0.9이다. 일부 경우에, n은 약 0.95이다. 일부 경우에, n은 약 0.99이다. 일부 경우에, n은 약 0.999이다.

[0387]

일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr 및 Y 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re, Ta, Mn 및 Cr 중 적어도 하나를 포함한다. 때때로, X는 B이고, M은 Ta, Mn 및 Cr 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 다른 사례에서, X는 B이고, M은 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 일부 사례에서, X는 B이고, M은 적어도 Re를 포함한다. 일부 사례에서, X는 B이고, M은 적어도 Ta를 포함한다. 일부 사례에서, X는 B이고, M은 적어도 Mn를 포함한다. 일부 사례에서, X는 B이고, M은 적어도 Cr를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Hf를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Zr를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Y를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Ti를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 V를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Co를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Ni를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Cu를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Zn를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Nb를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Mo를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Ru를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Os를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Ir를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 적어도 Li를 포함한다.

[0388]

일부 사례에서, X는 B이고, M은 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 2종 이상의 원소를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ta 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ta 및 Mn 또는 Cr로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Hf 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Re, Os, Ir, Li, Ta, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Zr 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ta, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Y 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Y 및 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ta, Nb, Mo, Ru, Hf, Re, Os, Ir, Li, Zr 및 Al로부터 선택된 원소를 포함한다.

[0389]

일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Hf, Ta, Zr, Y, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택된다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re, Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr으로부터 선택된다. 때때로, X는 B이고, M은 Ta, Mn, Cr, Ta 및 Mn, 또는 Ta 및 Cr로부터 선택될 수 있다. M은 Re일 수 있다. 다른 사례에서, X는 B이고, M은 Hf, Zr, 및 Y로부터 선택될 수 있다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ta이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Mn이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Cr이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ta 및 Mn이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ta 및 Cr이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Hf이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Zr이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Y이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ti이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 V이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Co이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ni이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Cu이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Zn이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Nb이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Mo이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Ru이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Os이다. 일부 경우에, X는

B이고, M은 Ir이다. 일부 경우에, X는 B이고, M은 Li이다.

[0390] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Re이고, x는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다.

[0391] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 적어도 0.001 및 0.05 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 약 0.02이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta이고, x는 약 0.04이다.

[0392] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Mn이고, x는 적어도 0.001 및 0.05 미만이다.

[0393] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.5 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.4 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.3 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.2 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.1 미만이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Cr이고, x는 적어도 0.001 및 0.05 미만이다.

[0394] 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Mn을 포함한다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Mn이다. 일부 구현예에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Mn을 포함하고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 사례에서, 복합 재료는  $W_{0.94}Ta_{0.02}Mn_{0.04}B_y$ 를 포함하고, 여기서 y는 적어도 4이다. 일부 사례에서, 복합 재료는  $W_{0.94}Ta_{0.02}Mn_{0.04}B_4$ 를 포함한다.

[0395] 일부 사례에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Cr을 포함한다. 일부 사례에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Cr이다. 일부 사례에서, X는 B이고, M은 Ta 및 Cr을 포함하고, x는 적어도 0.001 및 0.6 미만이다. 일부 사례에서, 복합 재료는  $W_{0.93}Ta_{0.02}Cr_{0.05}B_y$ 를 포함하고, 여기서 y는 적어도 4이다. 일부 사례에서, 복합 재료는  $W_{0.93}Ta_{0.02}Cr_{0.05}B_4$ 를 포함한다.

[0396] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는  $WB_4$ 를 포함한다.

[0397] 일부 구현예에서, X'는 B이다. 일부 구현예에서, M'는 Hf, Zr 및 Y 중 하나이다. 일부 구현예에서, X'는 B이고, M'는 Hf이다. 일부 구현예에서, X'는 B이고, M'는 Zr이다. 일부 구현예에서, X'는 B이고, M'는 Y이다. 다른 구현예에서, X'는 B, 및 M'는 Hf 및 Y를 포함한다. 다른 구현예에서, X'는 B이고, M'는 Hf 및 Y를 포함한다. 다른 구현예에서, X'는 B이고, M'는 Zr 및 Y를 포함한다. 또 다른 구현예에서, X'는 B이고, M'는 Hf, Zr, 및 Y를 포함한다.

[0398] 일부 구현예에서, X'는 B이고, M는 Hf이고, 제2 식은  $HfB$ 이다. 일부 구현예에서, X'는 B이고, M는 Hf이고, 제2 식은  $HfB_2$ 이다. 일부 구현예에서, X'는 B이고, M는 Hf이고, 제2 식은  $HfB$  및  $HfB_2$ 의 조합이다.

[0399] 일부 구현예에서, X'는 B이고, M는 Zr이고, 제2 식은  $ZrB$ 이다. 일부 구현예에서, X'는 B이고, M는 Zr이고, 제2 식은  $ZrB_2$ 이다. 일부 구현예에서, X'는 B이고, M는 Zr이고, 제2 식은  $ZrB$  및  $ZrB_2$ 의 조합이다.

[0400] 일부 구현예에서,  $X'$  는 B이고,  $M$  는 Y이고, 제2 식은  $YB_2$ 이다. 일부 구현예에서,  $X'$  는 B이고,  $M$  는 Y이고, 제2 식은  $YB_4$ 이다. 일부 구현예에서,  $X'$  는 B이고,  $M$  는 Y이고, 제2 식은  $YB_6$ 이다. 일부 구현예에서,  $X'$  는 B이고,  $M$  는 Y이고, 제2 식은  $YB_{12}$ 이다. 일부 구현예에서,  $X'$  는 B이고,  $M$  는 Y이고, 제2 식은  $YB_2$  및  $YB_4$ 의 조합이다. 일부 구현예에서,  $X'$  는 B이고,  $M$  는 Y이고, 제2 식은  $YB_2$  및  $YB_6$ 의 조합이다. 일부 구현예에서,  $X'$  는 B이고,  $M$  는 Y이고, 제2 식은  $YB_4$  및  $YB_6$ 의 조합이다. 일부 구현예에서,  $X'$  는 B이고,  $M$  는 Y이고, 제2 식은  $YB_4$  및  $YB_{12}$ 의 조합이다. 일부 구현예에서,  $X'$  는 B이고,  $M$  는 Y이고, 제2 식은  $YB_6$  및  $YB_{12}$ 의 조합이다. 일부 구현예에서,  $X'$  는 B이고,  $M$  는 Y이고, 제2 식은  $YB_2$ ,  $YB_4$ , 및  $YB_6$ 의 조합이다. 일부 구현예에서,  $X'$  는 B이고,  $M$  는 Y이고, 제2 식은  $YB_2$ ,  $YB_6$ , 및  $YB_{12}$ 의 조합이다. 일부 구현예에서,  $X'$  는 B이고,  $M$  는 Y이고, 제2 식은  $YB_2$ ,  $YB_4$ ,  $YB_6$ , 및  $YB_{12}$ 의 조합이다.

[0401] 일부 구현예에서,  $q$ 는 0.001 내지 0.999이다. 일부 구현예에서,  $q$ 는 0.001 내지 0.999, 0.005 내지 0.999, 0.01 내지 0.999, 0.05 내지 0.999, 0.1 내지 0.999, 0.15 내지 0.999, 0.2 내지 0.999, 0.25 내지 0.999, 0.35 내지 0.999, 0.4 내지 0.999, 0.5 내지 0.999, 0.6 내지 0.999, 0.7 내지 0.999, 0.8 내지 0.999, 0.001 내지 0.99, 0.005 내지 0.99, 0.01 내지 0.99, 0.05 내지 0.99, 0.1 내지 0.99, 0.15 내지 0.99, 0.2 내지 0.99, 0.25 내지 0.99, 0.35 내지 0.99, 0.4 내지 0.99, 0.5 내지 0.99, 0.6 내지 0.99, 0.7 내지 0.99, 0.8 내지 0.99, 0.01 내지 0.9, 0.05 내지 0.9, 0.1 내지 0.9, 0.15 내지 0.9, 0.2 내지 0.9, 0.25 내지 0.9, 0.3 내지 0.9, 0.35 내지 0.9, 0.4 내지 0.9, 0.5 내지 0.9, 0.6 내지 0.9, 0.7 내지 0.9, 0.8 내지 0.9, 0.01 내지 0.8, 0.05 내지 0.8, 0.1 내지 0.8, 0.15 내지 0.8, 0.2 내지 0.8, 0.25 내지 0.8, 0.3 내지 0.8, 0.4 내지 0.8, 0.5 내지 0.8, 0.6 내지 0.8, 0.7 내지 0.8, 0.01 내지 0.7, 0.05 내지 0.7, 0.1 내지 0.7, 0.2 내지 0.7, 0.3 내지 0.7, 0.4 내지 0.7, 0.5 내지 0.7, 0.01 내지 0.6, 0.05 내지 0.6, 0.1 내지 0.6, 0.2 내지 0.6, 0.3 내지 0.6, 0.01 내지 0.5, 0.05 내지 0.5, 0.1 내지 0.5, 0.2 내지 0.5, 0.01 내지 0.4, 0.05 내지 0.4, 0.1 내지 0.4, 0.2 내지 0.4, 0.01 내지 0.3, 0.05 내지 0.3, 0.1 내지 0.3, 0.2 내지 0.3, 0.75 내지 0.99, 0.75 내지 0.9, 0.75 내지 0.8, 0.8 내지 0.99, 또는 0.8 내지 0.9이다.

[0402] 일부 구현예에서,  $q$ 는 약 0.001, 0.005, 0.01, 0.05, 0.1, 0.15, 0.2, 0.25, 0.3, 0.35, 0.4, 0.45, 0.5, 0.55, 0.6, 0.65, 0.7, 0.75, 0.8, 0.85, 0.9, 0.95, 0.99, 또는 약 0.999이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.001이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.005이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.01이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.05이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.1이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.15이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.2이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.25이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.3이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.35이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.4이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.5이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.6이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.7이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.75이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.8이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.85이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.9이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.95이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.99이다. 일부 경우에,  $q$ 는 약 0.999이다.

[0403] 일부 경우에, 본 명세서에서 사용된 바와 같이,  $q$  및  $n$ 은 중량 백분율 범위이다.

[0404] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 산화에 저항성이 있다. 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 항-산화 특성을 갖는다. 예를 들어, 복합 재료가 공구의 표면 상에 코팅될 때, 복합 재료는 복합 재료로 코팅되지 않은 공구와 비교하여 공구의 산화의 속도를 감소시킨다. 대안적인 예에서, 복합 재료가 공구의 표면 상에 코팅될 때, 복합 재료는 복합 재료로 코팅되지 않은 공구와 비교하여 공구의 산화를 예방한다. 일부 사례에서, 복합 재료 중  $(M' X')_q$ ,  $(M' X'_2)_q$ ,  $(M' X'_4)_q$ ,  $(M' X'_6)_q$ , 또는  $(M' X'_12)_q$ , 또는 이들의 조합은, 산화의 형성을 억제하거나 산화의 속도를 감소시킨다.

[0405] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 고형 용액상을 포함한다. 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 고형 용액을 형성한다. 일부 사례에서, 고형 용액상 중 복합 재료는 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$  및

제2 식  $(M' X')_q$ ,  $(M' X'_{-2})_q$ ,  $(M' X'_{-4})_q$ ,  $(M' X'_{-6})_q$ , 또는  $(M' X'_{-12})_q$ , 또는 이들의 조합의 텅스텐계 화합물을 포함한다. 일부 사례에서, 고형 용액상 중 복합 재료는 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$  및 제2 식  $(M' X')_q$ ,  $(M' X'_{-2})_q$ ,  $(M' X'_{-4})_q$ ,  $(M' X'_{-6})_q$ , 또는  $(M' X'_{-12})_q$ , 또는 이들의 조합의 텅스텐계 화합물을 포함한다. 일부 사례에서, 고형 용액상 중 복합 재료는 제1 식  $(WB_4)_n$  및 제2 식  $(M' X')_q$ ,  $(M' X'_{-2})_q$ ,  $(M' X'_{-4})_q$ ,  $(M' X'_{-6})_q$ , 또는  $(M' X'_{-12})_q$ , 또는 이들의 조합의 텅스텐계 화합물을 포함한다.

일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약 10 내지 약 70 GPa의 경도를 갖는다. 일부 사례에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약 10 내지 약 60 GPa, 약 10 내지 약 50 GPa, 약 10 내지 약 40 GPa, 약 10 내지 약 30GPa, 약 20 내지 약 70 GPa, 약 20 내지 약 60 GPa, 약 20 내지 약 50 GPa, 약 20 내지 약 40 GPa, 약 20 내지 약 30 GPa, 약 30 내지 약 70 GPa, 약 30 내지 약 60 GPa, 약 30 내지 약 50 GPa, 약 30 내지 약 45 GPa, 약 30 내지 약 40 GPa, 약 30 내지 약 35 GPa, 약 35 내지 약 70 GPa, 약 35 내지 약 60 GPa, 약 35 내지 약 50 GPa, 약 35 내지 약 40 GPa, 약 40 내지 약 70 GPa, 약 40 내지 약 60 GPa, 약 40 내지 약 50 GPa, 약 45 내지 약 60 GPa 또는 약 45 내지 약 50 GPa의 경도를 갖는다. 일부 사례에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약 30 내지 약 50 GPa, 약 30 내지 약 45 GPa, 약 30 내지 약 40 GPa, 약 30 내지 약 35 GPa, 약 35 내지 약 50 GPa, 약 35 내지 약 40 GPa, 약 40 내지 약 50 GPa 또는 약 45 내지 약 50 GPa의 경도를 갖는다.

- [0408] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약 330 GPa 내지 약 350 GPa의 체적 탄성률을 갖는다.
- [0409] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약  $20\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 사례에서, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하 또는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $9\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $7\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $6\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $4\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $3\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 입도를 갖는다.
- [0410] 일부 사례에서, 입도는 평균 입도이다. 일부 경우에, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 약  $20\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 사례에서, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하, 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하 또는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $15\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $12\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $10\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $9\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $8\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $7\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $6\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $5\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $4\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $3\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $2\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다. 일부 경우에, 복합 재료는 약  $1\text{ }\mu\text{m}$  이하의 평균 입도를 갖는다.
- [0411] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 고밀화 복합 재료이다. 일부 사례에서, 고밀화 복합 재료는 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ 의 텅스텐계 화합물 및 제2 식  $(M' X')_q$ ,  $(M' X' _2)_q$ ,  $(M' X' _4)_q$ ,  $(M' X' _6)_q$ , 또는  $(M' X' _{12})_q$ 의 화합물, 또는 이들의 조합을 포함한다. 일부 사례에서, 고밀화 복합 재료는 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 의 텅스텐계 화합물 및 제2 식  $(M' X')_q$ ,  $(M' X' _2)_q$ ,  $(M' X' _4)_q$ ,  $(M' X' _6)_q$ , 또는  $(M' X' _{12})_q$ 의 화합물, 또는 이들의 조합을 포함한다. 일부 사례에서, 고밀화 복합 재료는 제1 식  $WB_4$ 의 텅스텐계 화합물, 및 제2 식  $(M' X')_q$ ,  $(M' X' _2)_q$ ,  $(M' X' _4)_q$ ,  $(M' X' _6)_q$ , 또는  $(M' X' _{12})_q$ 의 화합물, 또는 이들의 조합을 포함한다.
- [0412] 또한, 특정 구현예에서는, 절단 또는 마멸을 위한 표면 또는 몸체를 포함하는 공구가 본 명세서에 기재되어 있고, 상기 표면 또는 몸체는 적어도 경질 재료의 표면이되, 상기 경질 재료는 2종의 조성물을 포함한다:
- [0413] (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ 을 포함하는 조성물,
- [0414] 식 중,
- [0415] W는 텅스텐 ( $W$ )이고;
- [0416] X는 봉소 (B), 베릴륨 (Be) 및 실리콘 (Si) 중 하나이고;
- [0417] M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 스칸듐 (Sc), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고;
- [0418] x는 0.001 내지 0.999이고;
- [0419] y는 적어도 2.0이고;
- [0420] n은 0.001 내지 0.999이고;
- [0421] (b) 제2 식  $(M' X')_q$ ,  $(M' X' _2)_q$ ,  $(M' X' _4)_q$ ,  $(M' X' _6)_q$ , 또는  $(M' X' _{12})_q$ , 또는 이들의 조합을 포함하는 조성물,
- [0422] 식 중,
- [0423] X 는 B, Be, 및 Si 중 하나이고,

- [0424] M 는 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나이고;
- [0425] q는 0.001 내지 0.999이고;
- [0426] 상기 q와 n의 합은 1이고;
- [0427] 상기 제2 조성물 (b)는 보호 코팅으로서 작용하는 제1 조성물의 엣지를 부분 또는 전체적으로 포함한다.
- [0428] 텅스텐 테트라보라이드
- [0429] 본 요지의 일부 구현예는 다양한 농도 (부분 또는 완전한)의 텅스텐 및/또는 붕소를 전이금속 및 경 원소, 각각으로 대체하여 텅스텐 테트라보라이드 ( $WB_4$ )의 경도 개선과 관련된다. 고체 용액, 그레이인 경계 분산물 및 침전 경화 기전으로 인한, 경도의 증가는 현행 요지의 일부 구현예에 따르면 향상된 수명을 가진 기계 공구의 생산으로 이어진다. 일부 구현예에서, 양쪽 벌크 및 박막 조건에서, 개발된 물질은 본 요지의 일부 구현예에 따르면 드릴 비트, 톱날, 선반 삽입물 및 압출 다이 뿐만 아니라 컵, 튜브 및 와이어 인발 공정용 천공기를 포함하는 다양한 적용에서 사용된다.
- [0430] 전이금속-보라이드의 분야에서 현존하는 최신 기술은 오스뮴 및 루테늄 디보라이드 화합물, 레늄 디보라이드 및 텅스텐 디보라이드의 고체상 합성 및 특성규명을 포함한다. 상기 언급된 초경질 디보라이드에 비교하여 더 많은 붕소-붕소 결합을 함유하는, 텅스텐 테트라보라이드 ( $WB_4$ )의 고 경도의 개념은 최초로 도입되었고, 초경질 재료로서 그것의 적용은 논의되었다.
- [0431] 전이금속 및 경 원소를 가진 텅스텐 테트라보라이드
- [0432] 본 요지의 일부 구현예에 따르면 다른 전이금속 예컨대 레늄으로 텅스텐을 대체함으로써 텅스텐 테트라보라이드에 기반된 신규한 초경질 재료가 기재된다. 저렴함 및 금속 전도도 가공에 더하여, 개발된 물질은,  $WB_4$  (약43 GPa)의 경도보다 훨씬 더 높은, 50 GPa 상당히 초과로 개선된 비커스 경도를 나타낸다.
- [0433]  $WB_4$ 의 조성 변화는 본 요지의 일부 구현예에 따르면 다른 금속 (예컨대 Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Zr, Nb, Mo, Ru, Hf, Ta, Re, Os, Ir, Li, Sc, Y, 및 Al)로 W를 및/또는 경 원소 (예컨대 Be 및 Si)로 B로 대체함으로써 합성된다. 원하는 화학양론으로, 이들 요소의 순수한 분말은 균일한 혼합물이 달성되는 때까지 마노 절구(agate mortar) 및 막자를 이용하여 함께 분쇄된다.  $WB_4$  화합물의 경우에서, 1:12의 텅스텐 대 붕소 비가 사용될 수 있다. 과잉의 붕소는 합성 동안 그것의 증발에 대하여 보상하기 위해 그리고 텅스텐-붕소 시스템의 2 원 상 평형도에 기반된  $WB_4$  구조의 열역학적 안정성을 확보하기 위해 필요하다. 각각의 혼합물은 유압 (보틀잭) 프레스에 의해 펠렛으로 프레싱된다. 펠렛은 그 다음 아크 용융 노에서 배치되고 >60 Amps의 AC/DC 전류는 고-순도 아르곤 하에 주위 압력에서 적용된다. 일부 다른 구현예에서, 열간 프레스 및 스파크 플라즈마 소결을 포함하는 다른 합성 기술은 사용된다. 이들 물질의 박막을 만들기 위해, 다양한 증착 기술 예컨대 스퍼터링, 팩시멘테이션, 등이 사용된다.
- [0434] 이들 화합물의 실행은 실재는 일부 소수의 기술 조정 및 산업적 규모로 그것의 적용을 요구한다. 예를 들어, 대형 펠렛에 큰 펠렛 및 큰 아크 용융 노를 가압하기 위한 강력한 프레스 이용은 일부 적용에 필요하다. 시료를 합성하기 위한 소결 방법 이용의 경우에서, 생성물 (삽입물, 드릴 비트, 다이, 등)의 특정 기하학적 구조를 위한 적절한 대규모 열간 프레스 또는 SPS 기계 및 잘 설계된 다이가 요구될 수 있다. 대부분의 이들 화합물은 전기 전도성이기 때문에, 생산 시간을 최소화하기 위해 방전가공기 (EDMs)는 또한 본 요지의 일부 구현예에 따르면 이들 초경질 재료로 만들어진 생성물의 제작에 필요한 절단, 드릴링, 마감 및 다른 후-합성 공정에 매우 유익하다. 생성물에 연성을 부가하기 위해, Co, Ni, 또는 Cu 또는 이들 3 요소의 조합의 첨가는 유용하다. 일부 구현예에서, 이들 물질의 박막 적용을 위하여, 하이 테크 박막 증착 시스템은 필요하다.
- [0435] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 것은  $WB_4$ , 즉  $W_{1-x}Re_xB_4$  ( $x = 0.005\text{--}0.5$ )에서 성공적으로 합성되고 특성 규명된 다양한 농도의 Re이다. 실험은 Re로 1 wt. % W의 치환이 0.49 N의 가해진 하중 하에 약 43 GPa 내지 약 50 GPa  $WB_4$ 의 비커스 경도를 증가시킨다는 것을 보여준다. 이러한 화합물은 최대 400°C 공기 중에서 열안정적이다. 또한 본 명세서에서 기재된 것은 Ta, Mo, Mn 및 Cr과  $WB_4$ 의 합성된 다양한 화학양론이고, 이의 화합물의 일부의 관측된 경도 결과는 50 GPa 상당히 초과이다. 예를 들어,  $WB_4$ 에서 약 2.0, 4.0 및 10.0 wt. %의 W가 Ta, Mn 및 Cr, 각각으로 대체되는 경우 52.8, 53.7 및 53.5 GPa의 (0.49 N의 가해진 하중 하에) 그 비커스 경도 값

이 측정되었다. 또한, 이들 결과를 이용함으로써, 본 명세서에서 기재된 것은 2.0 내지 10.0 wt. %의 Mn 및 Cr의 농도를 다양화하면서 wt 2.0 wt. % 고정된  $WB_4$ 에서 Ta의 농도를 유지함으로써 이들 3 요소의 조합과  $WB_4$ 의 합성된 3원/4원 고형 용액이다. 이것은 조합  $W_{0.94}Ta_{0.02}Mn_{0.04}B_4$  및  $W_{0.93}Ta_{0.02}Cr_{0.05}B_4$ , 각각에 대하여 55.8 및 57.3 GPa만큼 높은 경도 (0.49 N에서) 값으로 이어졌다.  $WB_4$ 는 그것의 우월한 전기전도도로 인해 EDM 기계를 사용하여 쉽게 절단됨이 실증된다. EDM에 의한 절단 샘플은 조성 물질의 기계적 성능을 시험하기 위해 사용된다. 이들 화합물의 연성은 Co, Ni 또는 Cu을 화합물에 첨가함으로써 개선된다.

**[0436]** 본 요지의 일부 구현예에 따른 공구는 본 요지의 구현예에 따른 조성물 중 임의의 것으로 만들어진 적어도 절단 또는 마멸 표면을 갖는다. 일부 구현예에서, 공구는 본 요지의 구현예에 따른 상기 언급된 조성물의 필름 또는 코팅을 갖는다. 다른 구현예에서, 공구는 본 요지의 구현예에 따른 상기 언급된 조성물로부터 만들어지고/거나 상기 조성물로부터 만들어진 구성요소를 포함한다. 일부 구현예에서, 드릴 비트, 블레이드, 다이, 등은 코팅되거나 본 요지의 구현예에 따른 상기 언급된 재료로부터 만들어진다. 그러나, 공구 및 공구 구성요소는 이들 예로 제한되지 않는다. 다른 구현예에서, 분말 또는 과립 형태의 상기 언급된 재료는 단독으로 제공되거나 마멸 기능을 제공하기 위해 지원 구조에 부착된다. 일부 구현예에서, 본 요지에 따른 조성물은 현재 사용된 경질 재료, 예컨대 텅스텐 카바이드를 대체하는 적용에서 사용된다. 일부 구현예에서, 상기 언급된 재료는 내마모성 및 마모에 대한 저항 또는 다른 손상을 제공하기 위해 보호 표면 코팅으로서 사용된다.

#### 전이금속 및 경 원소를 갖는 텅스텐 테트라보라이드의 결합제 조성물

**[0438]** 일부 구현예에서, 전이금속 및 경 원소 ( $W_{1-x}M_xX_y$  조성물)를 갖는  $WB_4$ 의 변동 및 결합제, 예컨대 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 전이 금속 원소의 조합으로서 제공된 복합 재료가 본 명세서에서 제공된다. 일부 구현예에서, 전이금속 및 경 원소 ( $W_{1-x}M_xX_y$  조성물)를 갖는  $WB_4$ 의 변동 및 결합제, 예컨대 원소 주기율표의 8, 9 또는 10족 전이 금속 원소의 조합으로서 제공된 복합 재료가 본 명세서에서 제공된다. 추가 구현예에서, 결합제는 Fe, Co, 및 Ni로부터의 원소 중 적어도 하나를 포함하고, 상기 결합제의 wt. % 범위는 0.001 내지 0.5이다. 일부 추가 구현예에서, 결합제의 wt. % 범위는 0.01 내지 0.5이다. 일부 추가 구현예에서, 결합제의 wt. % 범위는 0.1 내지 0.5이다.

**[0439]** 일부 구현예에서, 복합 재료는 전이금속을 갖는 90 wt. %의  $W_{1-x}M_xX_y$  및 결합제로서 경 원소 10 wt. %의 Co 금속을 포함한다. 일부 추가 구현예에서, 복합 재료는 약 73 wt. % 내지 약 95 wt. %의  $W_{1-x}M_xX_y$  및 약 5 wt. % 내지 약 27 wt. %의 고형 용액 Co-Ni-Fe 결합제를 포함하되, 이 결합제는 약 40 wt. % 내지 약 90 wt. % Co, 약 4 wt. % 내지 약 36 wt. % Ni, 및 약 4 wt. % 내지 약 36 wt. % Fe를 포함하고, 여기서 Ni:Fe 비는 약 1.5:1 내지 약 1:1.5이고, 상기 결합제의 고형 용액은 실질적으로 스트레스 및 변형 유도된 상 전환을 나타내지 않는다.

**[0440]** 일부 구현예에서, 비-제한적인 예로서,  $W_{1-x}M_xX_y$  조성물은 미세 분말 (예를 들어 1-30  $\mu\text{m}$ )로 분쇄되고 및 결합제의 미세 분말과 철저하게 혼합되고, 그 다음 치밀화가 일어나서 완전 고밀화 복합 재료를 제조했다. 일부 구현예에서, 비-제한적인 예로서,  $W_{1-x}M_xX_y$  조성물은 미세 분말 (예를 들어 1-10  $\mu\text{m}$ )로 분쇄되고 결합제의 미세 분말과 철저하게 혼합되고, 그 다음 치밀화가 일어나서 완전 고밀화 복합 재료를 제조했다.

**[0441]** 일부 구현예에서, 비-제한적인 예로서, 혼합된, 결합제에  $W_{1-x}M_xX_y$ 의 예정된 조성물은, 원하는 기하학의 다이에 장입되고, 강제로 (예를 들어 20 톤) 가압되어, “그린 펠렛”을 생산하고, 그 다음 이를 고온 진공 노 (예를 들어 1400°C)에서, 일부 시간 (예를 들어 1-6 시간) 동안 소결된다. 최종 생성물은 결합제를 가진 완전 고밀화  $WB_4$  복합체이다. 다른 구현예에서, 비-제한적인 예로서, 혼합된, 결합제에  $W_{1-x}M_xX_y$ 의 예정된 조성물은, 흑연 다이 속으로 장입되어 유압 압축되고, 그 다음 스파크 플라즈마 소결 노 (SPS) 또는 고온 고압 노 (HTHP) 또는 열간 정수압 프레스 (HIP) 속에 장입되어, 어느 한쪽이 동시에 또는 순차적으로 압력 공정 및 온도 스윕 (temperature sweep)을 거치게 되어, 이로써 결합제를 가진 완전 고밀화  $WB_4$  복합체를 생산한다.

**[0442]** 일부 사례에서, 이들 완성된 물질의 장인성은, 경도의 희생으로,  $W_{1-x}M_xX_y$ 의 식을 가진 화합물에 비해 더 높지만, 적용 환경에서 쉽게 요구된 특성을 나타낸다 (이로써 “순수한”  $W_{1-x}M_xX_y$  단독은 조종, 즉 기계화하지 않을 것이다).

**[0443]** 본 요지의 일부 구현예에 따른 공구는 본 요지의 구현예에 따른 결합제에  $W_{1-x}M_xX_y$ 의 예정된 조성물을 가진 임의

의 복합 재료로부터 만들어된 적어도 절단 또는 마멸 표면을 갖는다. 일부 구현예에서, 공구는 본 요지의 구현 예에 따른 상기 언급된 복합 재료의 필름 또는 코팅을 갖는다. 다른 구현예에서, 공구는 본 요지의 구현예에 따른 상기 언급된 복합 재료로부터 만들어지고/되거나 상기로부터 만들어진 성분을 포함한다. 일부 구현예에서, 드릴 비트, 블레이드, 다이, 등은 코팅되거나 본 요지의 구현예에 따른 상기 언급된 재료로부터 만들어진다. 그러나, 공구 및 공구 구성요소는 이를 예로 제한되지 않는다. 다른 구현예에서, 분말 또는 과립 형태의 상기 언급된 물질은 단독으로 제공되거나 마멸 기능을 제공하기 위해 지원 구조에 부착된다. 일부 구현예에서, 본 요지에 따른 조성물은 일부 구현예에서 현재 사용된 경질 재료, 예컨대 텡스텐 카바이드를, 예를 들어 대체하기 위한 적용에서 사용되었다. 일부 구현예에서, 상기 언급된 물질은 예를 들어 내마모성 및 마모에 대한 저상 또는 다른 손상을 제공하기 위해 보호 표면 코팅으로서 사용된다.

#### [0444] 보호 코팅물과 전이금속 및 경 원소를 가진 텡스텐 테트라보라이드

일부 구현예에서, W가 텡스텐 (W)이고; X가 붕소 (B), 베릴륨 (Be) 및 실리콘 (Si) 중 하나이고; M이 Hf, Zr, 또는 Y, 또는 이들의 조합인  $W_{1-x}M_xX_y$ 의 제형이다. 이러한 제형에서 M은 식  $M'X'$ ,  $M'X'_2$ ,  $M'X'_4$ ,  $M'X'_6$ , 또는  $M'X'_{12}$ , 또는 이들의 조합의 조성물을 형성하고, 부분적으로 또는 전체적으로, 보호 코팅물로서 작용하는,  $W_{1-x}M_xX_y$  조성물의 엣지를 포함한다. 제형  $W_{1-x}M_xX_y$ 에서, 최종 생성물내 x는 적어도 0.001 및 0.50 미만 조성물이다. 일부 구현예에서, 비-제한적인 예로서, 과잉의 Hf, Zr, 또는 Y, 또는 이들의 조합의 첨가로 (x가 0.50 내지 1.5인 명목, 사전-합성 제형, 이로써 제형은, 아크-용융 이전,  $W_{0.9}M_{1.5}B_4$ 이다), 그레인 경계에서  $W_{1-x}M_xX_y + MX_2$ 의 사후-합성 조성물을 초래한다. 매우 본질적으로, 부분적으로 또는 전체적으로, 엣지를 포함하는 2차 상을 가진, (고체-용액 첨가제를 가진)  $WB_4$ 이다. 일부 경우에,  $WB_4$ 를 둘러싸는 의도적인 2차 상은 2차 상을 갖지 않는 화합물에 비해 증가된 산화 저항에 대한 것이다. 일부 경우에, 2원 상은 산화로부터 기저의  $WB_4$ 를 보호한다. 일부 구현예에서, 비-제한적인 예로서, 관심은, 복합체 / 2원 조성물 (그레인 경계에서  $MB_2$ 를 가진  $WB_4$ )로서, 임의의 고 산화점 디보라이드 ( $MB_2$ ) (식중 M은 Hf, Zr, 및 Y 중 적어도 하나이다) 피복이다. 이를 2종은 친밀하게 산재되고 분리불가능이다.

본 요지의 일부 구현예에 따른 공구는  $W_{1-x}M_xX_y$ 의 예정된 조성물을 갖는 복합 재료 중 임의의 것으로부터 본 요지의 구현예에 따른 보호성  $MB_2$  함유 코팅으로 만들어진 적어도 절단 또는 마멸 표면을 갖는다. 일부 구현예에서, 공구는 본 요지의 구현예에 따른 상기 언급된 복합 재료의 필름 또는 코팅을 갖는다. 다른 구현예에서, 공구는 본 요지의 구현예에 따른 상기 언급된 복합 재료로부터 만들어진 성분으로부터 만들어지고/되거나 그 성분을 포함하도록 설계된다. 일부 구현예에서, 드릴 비트, 블레이드, 다이, 등은 코팅되거나 본 요지의 구현예에 따른 상기 언급된 재료로부터 만들어진다. 그러나, 공구 및 공구 구성요소는 이를 예로 제한되지 않는다. 다른 구현예에서, 분말 또는 과립 형태의 상기 언급된 물질은 단독으로 제공되거나 마멸 기능을 제공하기 위해 지원 구조에 부착된다. 일부 구현예에서, 본 요지에 따른 조성물은 예를 들어 현재 사용된 경질 재료, 예컨대 텡스텐 카바이드를 대체하기 위한 적용에서 사용된다. 일부 구현예에서, 상기 언급된 물질은 예를 들어 내마모성 및 마모에 대한 저상 또는 다른 손상을 제공하기 위해 보호 표면 코팅으로서 사용된다.

#### [0447] 제조 방법

특정 구현예에서, 복합 재료를 제조하는 방법이 본 명세서에 기재된다. 일부 구현예에서, 산화적 저항성 복합 재료를 제조하는 방법이 본 명세서에 기재되고, 상기 방법은 하기의 단계들을 포함한다: (a) 제1 식 ( $W_{1-x}M_xX_y)_n$ 을 갖는 조성물, 및 제2 식  $T_q$ 을 갖는 조성물을 충분한 시간 동안 함께 블렌딩하여 분말 혼합물을 생성하는 단계; 식 중, (X는 B, Be 및 Si 중 하나이고; M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; x는 0.001 내지 0.999이고; y는 적어도 4.0이고; q 및 n 각각은 독립적으로 0.001 내지 0.999이고; q와 n의 합은 1임); (b) 펠렛을 생성하는데 충분한 압력 하에서 상기 분말 혼합물을 프레싱하는 단계; 및 (c) 고밀화 복합 재료를 생성하는데 충분한 온도에서 상기 펠렛을 소결하는 단계.

일부 구현예에서, 고밀화 복합 재료를 제조하는 방법이 본 명세서에 기재되고, 상기 방법은 하기의 단계들을 포

함한다: (a) 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 을 갖는 제1 조성물 및 식  $T_q$ 의 제2 조성물을 충분한 시간 동안 함께 블렌딩하여 분말 혼합물을 생성하는 단계; 식 중, (M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; x는 0.001 내지 0.999이고; q 및 n 각각은 독립적으로 0.001 내지 0.999이고; q와 n의 합은 1임); (b) 펠렛을 생성하는데 충분한 압력 하에서 상기 분말 혼합물을 프레싱하는 단계; 및 (c) 고밀화 복합 재료를 생성하는데 충분한 온도에서 상기 펠렛을 소결하는 단계.

[0450] 일부 구현예에서, 고밀화 복합 재료를 제조하는 방법이 본 명세서에 기재되고, 상기 방법은 하기의 단계들을 포함한다: (a) 식  $(WB_4)_n$ 을 갖는 제1 조성물 및 식  $T_q$ 의 제2 조성물을 충분한 시간 동안 함께 블렌딩하여 분말 혼합물을 생성하는 단계; 식 중, (T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q 및 n 각각은 독립적으로 0.001 내지 0.999이고; q와 n의 합은 1임); (b) 펠렛을 생성하는데 충분한 압력 하에서 상기 분말 혼합물을 프레싱하는 단계; 및 (c) 고밀화 복합 재료를 생성하는데 충분한 온도에서 상기 펠렛을 소결하는 단계.

[0451] 일부 구현예에서, 고밀화 복합 재료를 제조하는 방법이 본 명세서에 기재되고, 상기 방법은 하기의 단계들을 포함한다: (a) 식  $(W_{1-x}M_xBe_y)_n$ 을 갖는 제1 조성물, 및 식  $T_q$ 의 제2 조성물을 충분한 시간 동안 함께 블렌딩하여 분말 혼합물을 생성하는 단계; 식 중, (M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; x는 0.001 내지 0.999이고; y는 적어도 4.0이고; q 및 n 각각은 독립적으로 0.001 내지 0.999이고; q와 n의 합은 1임); (b) 펠렛을 생성하는데 충분한 압력 하에서 상기 분말 혼합물을 프레싱하는 단계; 및 (c) 고밀화 복합 재료를 생성하는데 충분한 온도에서 상기 펠렛을 소결하는 단계.

[0452] 일부 구현예에서, 고밀화 복합 재료를 제조하는 방법이 본 명세서에 기재되고, 상기 방법은 하기의 단계들을 포함한다: (a) 식  $(W_{1-x}M_xSi_y)_n$ 을 갖는 제1 조성물 및 식  $T_q$ 의 제2 조성물을 충분한 시간 동안 함께 블렌딩하여 분말 혼합물을 생성하는 단계; 식 중, (M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; x는 0.001 내지 0.999이고; y는 적어도 4.0이고; q 및 n 각각은 독립적으로 0.001 내지 0.999이고; q와 n의 합은 1임); (b) 펠렛을 생성하는데 충분한 압력 하에서 상기 분말 혼합물을 프레싱하는 단계; 및 (c) 고밀화 복합 재료를 생성하는데 충분한 온도에서 상기 펠렛을 소결하는 단계.

[0453] 일부 구현예에서, 블렌딩 시간은 약 5 분 내지 약 6 시간이다. 일부 사례에서, 블렌딩 시간은 약 5 분, 약 10 분, 약 15 분, 약 20 분, 약 30 분, 약 45 분, 약 1 시간, 약 1.5 시간, 약 2 시간, 약 3 시간, 약 4 시간, 약 5 시간 또는 약 6 시간이다.

[0454] 일부 구현예에서, 블렌딩 시간은 적어도 5분 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 10분 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 20분 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 30분 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 45분 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 1시간 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 2 시간 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 3 시간 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 4 시간 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 5 시간 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 6 시간 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 8 시간 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 10 시간 이상이다. 일부 경우에, 블렌딩 시간은 약 12 시간 이상이다.

[0455] 일부 사례에서, 최대 36,000 psi의 압력이 펠렛을 생성하기 위해 이용된다. 일부 사례에서, 압력은 최대 34,000 psi이다. 일부 사례에서, 압력은 최대 32,000 psi이다. 일부 사례에서, 압력은 최대 30,000 psi이다. 일부 사례에서, 압력은 최대 28,000 psi이다. 일부 사례에서, 압력은 최대 26,000 psi이다. 일부 사례에서, 압력은 최대 24,000 psi이다. 일부 사례에서, 압력은 최대 22,000 psi이다. 일부 사례에서, 압력은 최대 20,000 psi이다. 일부 사례에서, 압력은 최대 18,000 psi이다. 일부 사례에서, 압력은 최대 16,000 psi이다. 일부 사례에서, 압

력은 최대 15,000 psi이다. 일부 사례에서, 압력은 최대 14,000 psi이다. 일부 사례에서, 압력은 최대 10,000 psi이다.

[0456] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 방법은 추가로 소결 단계를 포함한다. 일부 사례에서, 소결 단계는 고밀화 복합 재료를 생성한다. 일부 사례에서, 소결 단계는 고온에서 수행된다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1000 °C 내지 2000 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1000 °C 내지 1900 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1200 °C 내지 1900 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1300 °C 내지 1900 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1400 °C 내지 1900 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1000 °C 내지 1800 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1000 °C 내지 1700 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1200 °C 내지 1800 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1300 °C 내지 1700 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1000 °C 내지 1600 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1500 °C 내지 1800 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1500 °C 내지 1700 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1500 °C 내지 1600 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1600 °C 내지 2000 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1600 °C 내지 1900 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1600 °C 내지 1700 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1700 °C 내지 1900 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1700 °C 내지 1800 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1800 °C 내지 2000 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1800 °C 내지 1900 °C이다. 일부 경우에, 소결 동안의 온도는 1900 °C 내지 2000 °C이다.

[0457] 일부 경우에, 온도는 약 1000 °C, 약 1100 °C, 약 1200 °C, 약 1300 °C, 약 1400 °C, 약 1500 °C, 약 1600 °C, 약 1700 °C, 약 1800 °C, 약 1900 °C 또는 약 2000 °C이다. 일부 경우에, 온도는 약 1000 °C이다. 일부 경우에, 온도는 약 1100 °C이다. 일부 경우에, 온도는 약 1200 °C이다. 일부 경우에, 온도는 약 1300 °C이다. 일부 경우에, 온도는 약 1400 °C이다. 일부 경우에, 온도는 약 1500 °C이다. 일부 경우에, 온도는 약 1600 °C이다. 일부 경우에, 온도는 약 1700 °C이다. 일부 경우에, 온도는 약 1800 °C이다. 일부 경우에, 온도는 약 1900 °C이다. 일부 경우에, 온도는 약 2000 °C이다.

[0458] 일부 경우에, 소결은 실온에서 수행된다.

[0459] 일부 구현예에서, 본 명세서에 기재된 소결 단계는 고온 및 고압, 예를 들어, 열간 프레싱을 수반한다. 열간 프레싱은 압력 및 고온의 동시 적용을 수반하는 공정이고, 이 공정은 물질 (예를 들어, 본 명세서에서 기재된 복합 재료)의 치밀화 속도를 가속할 수 있다. 일부 사례에서, 1000 °C 내지 2000 °C의 온도 및 최대 36,000 psi의 압력이 열간 프레싱 동안 사용된다.

[0460] 다른 구현예에서, 본 명세서에 기재된 소결 단계는 고압 및 실온, 예를 들어, 냉간 프레싱을 수반한다. 그와 같은 사례에서, 최대 36,000 psi의 압력이 사용된다.

#### 공구 및 연마 재료

[0462] 일부 구현예에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 공구 또는 연마 재료를 제조, 변형 또는 코팅하기 위해 사용된다. 일부 사례에서, 본 명세서에서 기재된 복합 재료는 공구 또는 연마 재료의 표면 상에 코팅된다. 다른 사례에서, 공구 또는 연마 재료의 표면은 본 명세서에서 기재된 복합 재료로 변형된다. 추가의 사례에서, 공구 또는 연마 재료의 표면은 본 명세서에서 기재된 복합 재료를 포함한다.

[0463] 일부 구현예에서, 공구 또는 연마 재료는 절단 공구를 포함한다. 일부 사례에서, 공구 또는 연마 재료는 절단, 드릴링, 에칭, 조각, 연삭, 카빙 또는 연마용 공구 또는 공구의 부품을 포함한다. 일부 사례에서, 공구 또는 연마 재료는 금속 결합 연마 공구, 예를 들어, 예컨대 금속 결합 연마 훈 또는 연삭 훈을 포함한다. 일부 사례에서, 공구 또는 연마 재료는 드릴링 공구를 포함한다. 일부 사례에서, 공구 또는 연마 재료는 드릴 비트, 삽입물 또는 다이를 포함한다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료는 다운홀 공구세공에서 사용되는 공구 또는 부품을 포함한다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료는 에칭 공구를 포함한다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료는 조각 공구를 포함한다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료는 연삭 공구를 포함한다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료는 카빙 공구를 포함한다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료는 연마 공구를 포함한다.

[0464] 일부 구현예에서, 공구 또는 연마 재료의 표면은 본 명세서에서 기재된 복합 재료를 포함한다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료를 포함한다: (a) 제1 식 ( $W_{1-x}M_xX_y$ )<sub>n</sub>, 식 중, X는 B, Be 및 Si 중 하나이고; M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈

럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; y는 적어도 4.0이고; n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료를 포함한다: (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 을 포함하고, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료를 포함한다: (a) 식  $(WB_4)_n$ 의 텅스텐 테트라보라이드, 여기서 n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료를 포함한다: (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xBe_y)_n$ , 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; y는 적어도 4.0이고; n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료를 포함한다: (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xSi_y)_n$ , 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; y는 적어도 4.0이고; n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료는 절단, 드릴링, 에칭, 조각, 연삭, 카빙 또는 연마용 공구 또는 공구의 부품을 포함한다. 일부 경우에, 복합 재료는 공구 또는 연마 재료 상에 산화가 생기지 않도록 한다. 다른 사례에서, 복합 재료는 복합 재료를 함유하지 않는 공구 또는 연마 재료에 비해 공구 또는 연마 재료 상에 형성된 산화의 속도를 감소시킨다.

[0465] 일부 구현예에서, 공구 또는 연마 재료의 표면은 본 명세서에서 기재된 복합 재료로 변형된다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료로 변형된다: (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xX_y)_n$ , 식 중, X는 B, Be 및 Si 중 하나이고; M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; y는 적어도 4.0이고; n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료로 변형된다: (a) 제1 식  $(W_{1-x}M_xB_4)_n$ 을 포함하고, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료로 변형된다: (a) 식  $(WB_4)_n$ 의 텅스텐 테트라보라이드, 여기서 n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은

1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료로 변형된다: (a) 제1 식 ( $W_{1-x}M_xBe_y$ )<sub>n</sub>, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; y는 적어도 4.0이고; n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료로 변형된다: (a) 제1 식 ( $W_{1-x}M_xSi_y$ )<sub>n</sub>, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; y는 적어도 4.0이고; n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료는 절단, 드릴링, 애칭, 조각, 연삭, 카빙 또는 연마용 공구 또는 공구의 부품을 포함한다. 일부 경우에, 복합 재료는 공구 또는 연마 재료 상에 산화가 생기지 않도록 한다. 다른 사례에서, 복합 재료는 복합 재료를 함유하지 않는 공구 또는 연마 재료에 비해 공구 또는 연마 재료 상에 형성된 산화의 속도를 감소시킨다.

[0466]

일부 구현예에서, 공구 또는 연마 재료의 표면은 본 명세서에서 기재된 복합 재료로 코팅된다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료로 코팅된다: (a) 제1 식 ( $W_{1-x}M_xX_y$ )<sub>n</sub>, 식 중, X는 B, Be 및 Si 중 하나이고; M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; y는 적어도 4.0이고; n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료로 코팅된다: (a) 제1 식 ( $W_{1-x}M_xB_4$ )<sub>n</sub>을 포함하고, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료로 코팅된다: (a) 식 ( $WB_4$ )<sub>n</sub>의 텅스텐 테트라보라이드, 여기서 n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료의 표면은 하기를 포함하는 복합 재료로 코팅된다: (a) 제1 식 ( $W_{1-x}M_x$ )<sub>n</sub>, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; y는 적어도 4.0이고; n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료는 하기를 포함하는 복합 재료로 코팅된다: (a) 제1 식 ( $W_{1-x}M_xSi_y$ )<sub>n</sub>, 식 중, M은 티타늄 (Ti), 바나듐 (V), 크로뮴 (Cr), 망간 (Mn), 철 (Fe), 코발트 (Co), 니켈 (Ni), 구리 (Cu), 아연 (Zn), 지르코늄 (Zr), 니오븀 (Nb), 몰리브데늄 (Mo), 루테늄 (Ru), 하프늄 (Hf), 탄탈럼 (Ta), 레늄 (Re), 오스뮴 (Os), 이리듐 (Ir), 리튬 (Li), 이트륨 (Y) 및 알루미늄 (Al) 중 적어도 하나이고; x는 0.001 내지 0.999이고; y는 적어도 4.0이고; n은 0.001 내지 0.999이고; (b) 제2 식  $T_q$ ; 식 중, T는 원소 주기율표의 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 또는 14족 원소 중 적어도 하나를 포함하는 합금이고; q는 0.001 내지 0.999이고; 상기 q와 n의 합은 1이다. 일부 경우에, 공구 또는 연마 재료는

절단, 드릴링, 에칭, 조각, 연삭, 카빙 또는 연마용 공구 또는 공구의 부품을 포함한다. 일부 경우에, 복합 재료는 공구 또는 연마 재료 상에 산화가 생기지 않도록 한다. 다른 사례에서, 복합 재료는 복합 재료를 함유하지 않는 공구 또는 연마 재료에 비해 공구 또는 연마 재료 상에 형성된 산화의 속도를 감소시킨다.

#### [0467] 특정 용어

달리 정의되지 않는 한, 본 명세서에서 사용된 모든 기술 및 과학 용어들은, 청구된 요지가 속하는 당해 분야의 숙련가에 의해 통상적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 갖는다. 상세한 설명은 예시적이고 단지 설명적이며 청구된 임의의 요지를 제한하지 않는 것으로 이해해야 한다. 본원에서, 단수의 사용은 달리 구체적으로 언급되지 않는 한 복수를 포함한다. 명세서에서 사용된 바와 같이, 단수 형태 “a,” “an” 및 “the” 는, 문맥이 명확히 달리 언급하지 않으면 복수의 지시대상을 포함하는 것으로 주목해야 한다. 본원에서, “또는”의 사용은 달리 언급되지 않는 한 “및/또는”을 의미한다. 더욱이, 용어 “포함하는” 뿐만 아니라 다른 형태, 예컨대 “포함한다”, “포함한다,” 및 “포함된,”의 사용은 비제한적이다.

[0469] 원소 주기율표의 4족 금속 (또한, IVB 또는 4B족으로서 언급될 수 있음)은 티타늄 (Ti), 지르코늄 (Zr), 및 하프늄 (Hf)을 포함한다.

[0470] 원소 주기율표의 5족 금속 (또한, VB 또는 5B족으로서 언급될 수 있음)은 바나듐 (V), 니오븀 (Nb), 및 탄탈럼 (Ta)을 포함한다.

[0471] 원소 주기율표의 6족 금속 (또한, VIB족 또는 6B으로서 언급될 수 있음)은 크로뮴 (Cr), 몰리브데늄 (Mo), 및 텉스텐 (W)을 포함한다.

[0472] 원소 주기율표의 7족 금속 (또한, VIIIB 또는 7B족으로서 언급될 수 있음)은 망간 (Mn) 및 레늄 (Re)을 포함한다.

[0473] 원소 주기율표의 8족 금속 (또한, VIII 또는 8족으로서 언급될 수 있음)은 철 (Fe), 루테늄 (Ru), 및 오스뮴 (Os)을 포함한다.

[0474] 원소 주기율표의 9족 금속 (또한, VIII 또는 8족으로서 언급될 수 있음)은 코발트 (Co), 로듐 (Rh), 및 이리듐 (Ir)을 포함한다.

[0475] 원소 주기율표의 10족 금속 (또한, VIII 또는 8족으로서 언급될 수 있음)은 니켈 (Ni), 팔라듐 (Pd), 및 백금 (Pt)을 포함한다.

[0476] 원소 주기율표의 11족 금속 (또한, IB 또는 1B족으로서 언급될 수 있음)은 구리 (Cu), 은 (Ag), 및 금 (Au)을 포함한다.

[0477] 원소 주기율표의 12족 금속 (또한, IIB 또는 2B족으로서 언급될 수 있음)은 아연 (Zn) 및 카드뮴 (Cd)을 포함한다.

[0478] 원소 주기율표의 13족 금속 (또한, IIIA 또는 3A족으로서 언급될 수 있음)은 알루미늄 (Al), 갈륨 (Ga), 및 인듐 (In)을 포함한다.

[0479] 원소 주기율표의 14족 금속 (또한, IVA 또는 4A족으로서 언급될 수 있음)은 실리콘 (Si), 게르마늄 (Sn), 및 주석 (Sn)을 포함한다.

[0480] 본 발명의 다양한 특징이 단일 구현예의 문맥에서 기재될 수 있지만, 특징은 또한, 별도로 또는 임의의 적합한 조합으로 제공될 수 있다. 반대로, 명백하게 하기 위해 별개의 구현예의 문맥에서 기재될 수 있지만, 본 발명은 또한, 단일 구현예에서 시행될 수 있다.

[0481] “일부 구현예”, “구현예”, “하나의 구현예” 또는 “다른 구현예”에 대한 명세서의 언급은, 구현예와 관련하여 기재된 특별한 특징, 구조, 또는 특성이 본 발명의 적어도 일부 구현예에서 포함되지만, 모든 구현예에서는 반드시 그렇지는 않음을 의미한다.

[0482] 본 명세서에서 사용된 바와 같이, 범위 및 양은 “약” 특정한 값 또는 범위로서 표현될 수 있다. 약은 또한 정확한 양을 포함한다. 따라서 “약 5 GPa” 는 “약 5 GPa” 및 또한 “5 GPa”를 의미한다. 일반적으로, 용어 “약”은, 실험 오차, 예를 들어,  $\pm 5\%$ ,  $\pm 10\%$  또는  $\pm 15\%$  내인 것으로 기대된 양을 포함한다. 일부 경우에, “약”은  $\pm 5\%$ 를 포함한다. 다른 사례에서, “약”은  $\pm 10\%$ 를 포함한다. 추가의 사례에서, “약”은  $\pm 15\%$ 를 포함한다.

[0483] 본 명세서에서 사용된 부문 제목은 단지 조직상의 목적을 위한 것이고 기재된 요지를 제한하는 것으로 해석되어서는 안 된다.

#### 실시예

[0485] 이들 예는 제공된 단지 설명하기 위한 것이고 본 명세서에서 제공된 청구항의 범위를 제한하지 않는다.

#### 실시예 1. 설명적인 복합 재료의 합성

표 1 설명적인 복합 재료의 조성.

조성물	$(W_{1-x}M_xX_y)_n$	wt %	T <sub>q</sub>	wt %
A	WB <sub>4</sub>	85	Ni	15
B	WB <sub>4</sub>	30	Ni	70
C	WB <sub>4</sub>	30	Cu	70
D	WB <sub>4</sub>	22	Co, Cu, Sn, W, Ni	78

[0487]

조성 A-C는 단일 금속 (4-14족) 결합제를 갖는 WB<sub>4</sub>이다.

[0489] 조성 D는 하기를 함유하는 결합제 합금을 갖는 WB<sub>4</sub>이다: 대략 50 wt.%Cu, 15 wt.%W, 20 wt.%Co, 5wt.%Sn, 10wt.%Ni; 결합제 합금은 70 wt. %의 샘플을 포함하고, 나머지는 WB<sub>4</sub>이다.

[0490] 하기 프로토콜은 상기에 열거된 각각의 복합 재료에 적용될 수 있다. 텅스텐계 금속 조성물 W<sub>1-x</sub>M<sub>x</sub>X<sub>y</sub> 및 T는, 균일한 혼합물이 달성될 때까지 마노 절구 및 막자를 사용하여 혼합된다. 분말 혼합물은 그 다음 최대 32,000 psi의 압력이 적용되어 펠렛을 생성한다. 펠렛은 소결 단계를 거쳐 복합 재료를 생성한다. 간단히 말해서, 온도는 약 45 °C/min의 속도로 2000 °C로 상승되고 약 3 분 동안 일정하게 유지된다. 그 다음, 온도는 5 분 내에 1000 °C 미만으로 낮아진다.

[0491]

#### 실시예 2. 경금속(Hardmetal) / 결합제 복합체의 예

[0492] 복합 재료는 약 73 wt. % 내지 약 95 wt. %의 WB<sub>4</sub> 및 약 5 wt. % 내지 약 27 wt. %의 고형 용액 Co-Ni-Fe 결합제를 포함하되, 이 결합제는 약 40 wt. % 내지 약 90 wt. % Co, 약 4 wt. % 내지 약 36 wt. % Ni, 및 약 4 wt. % 내지 약 36 wt. % Fe를 포함하고, 여기서 Ni:Fe 비는 약 1.5:1 내지 약 1:1.5이고, 상기 결합제의 고형 용액은 실질적으로 스트레스 및 변형 유도된 상 전환을 나타내지 않는다.

[0493]

WB<sub>4</sub>는 미세 분말 (예를 들어 1-30 μm)로 분쇄되고, 고형 용액 Co-Ni-Fe 결합제의 미세 분말과 철저하게 혼합되고, 그 다음 치밀화가 일어나서 완전 고밀화 복합 재료를 만들었다.

[0494]

#### 실시예 3. 마이크로압입

[0495] 다음은 복합 샘플로부터의 마이크로압입 데이터이다. 이들 샘플은 2원 시스템을 포함하고, 이로써, WB<sub>4</sub> + 하나의 4-14족 금속, 또는 WB<sub>4</sub> + 4-14족 금속을 포함하는 합금이다. 사용된 장입은 비커스 경도인 Hv와 상관된 kgf, 킬로그램-포스였다. 비커스 경도 마이크로압입에 사용된 표준 장입(들)은 1kgf 또는 30kgf였다. 장입이 1kgf일 때, Hv<sub>1</sub>로 나타내거나, 30kgf의 경우이면, Hv<sub>30</sub>로 나타내었다. 열거된 입도는 WB<sub>4</sub>에 상응하고, 샘플에 대해 사용된 중앙 입자크기이다. 결합제 상은 3 마이크론 이하였다.

표 2 복합 샘플로부터의 마이크로압입 데이터.

조성물	부하 (kgf)	Avg.WB <sub>4</sub> 입도 (μm)	Min.(GPa)	Avg.(GPa)	Max.(GPa)
A	1	10	22.65	28.48±3.74	38.12
A	30	10	17.93	26.33±4.58	36.32
B	1	10	17.45	25.66±3.31	32.48
C	1	400	14.53	22.77±4.73	27.33
D	1	400	--	18	--

[0496]

[0497] 조성 A-C는 단일 금속 (4-14족) 결합체를 갖는 WB<sub>4</sub>이다.

[0498]

[0498] 조성 D는 하기를 함유하는 결합체 합금을 갖는 WB<sub>4</sub>이다: 대략 50 wt.%Cu, 15 wt.%W, 20 wt.%Co, 5wt.%Sn, 10wt.%Ni; 결합체 합금은 70 wt. %의 샘플을 포함하고, 나머지는 WB<sub>4</sub>이다.

[0499]

[0499] 소결 전에, 시스템의 성분은 분말로 미세하게 분쇄되었다. 이 실험에서 사용된 WB<sub>4</sub>는 약 1 μm 내지 약 750 μm 범위의 크기를 포함했다. 소결 전에, 사용된 결합제는 325 메쉬 (45 μm) 이하의 크기를 포함했다. 경질 재료의 입자 크기는 후-소결을 변화시키지 않았지만, 결합제 또는 결합제 합금은 균일하게 치밀한 금속상을 가졌다.

[0500]

[0500] 본 발명의 바람직한 구현예는 본 명세서에서 나타나고 기재되지만, 그와 같은 구현예는 단지 예로써 제공될 정도로 당해 분야의 숙련가에게 명백할 것이다. 수많은 변동, 변화, 및 치환은 본 발명을 벗어나지 않으면서 당해 분야의 숙련가에게 이제 일어날 것이다. 본 명세서에서 기재된 본 발명의 구현예에 대한 다양한 대안이 본 발명을 실시할 때 이용될 수 있음이 이해되어야 한다. 하기 청구범위는 본 발명의 범위를 한정하고, 이들 청구범위 그것의 등가물 내의 방법 및 구조는 그것에 의해 커버되는 것으로 의도된다.

## 도면

### 도면1

