

(19)



**Евразийское  
патентное  
ведомство**

(11) **036799**

(13) **B1**

**(12) ОПИСАНИЕ ИЗОБРЕТЕНИЯ К ЕВРАЗИЙСКОМУ ПАТЕНТУ**

**(45)** Дата публикации и выдачи патента  
**2020.12.22**

**(21)** Номер заявки  
**201900012**

**(22)** Дата подачи заявки  
**2018.11.19**

**(51)** Int. Cl. **B22F 3/23** (2006.01)  
**C22C 1/10** (2006.01)  
**C22C 29/18** (2006.01)  
**C01B 33/06** (2006.01)

---

**(54) СПОСОБ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОМПОЗИЦИОННЫХ КАТОДОВ НА ОСНОВЕ СИЛИЦИДОВ ТИТАНА ДЛЯ ИОННО-ПЛАЗМЕННОГО СИНТЕЗА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ НАНОСТРУКТУРНЫХ ПОКРЫТИЙ**

---

**(43)** **2020.05.31**

**(96)** **2018/EA/0090 (BY) 2018.11.19**

**(71)(73)** Заявитель и патентовладелец:  
**БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
(BY)**

**(56)** RU-C1-2421844  
RU-C1-2569446  
WO-A1-1999019102

**(72)** Изобретатель:  
**Иванов Игорь Аркадьевич, Слуцкий  
Анатолий Григорьевич, Шейнерт  
Виктор Александрович, Хлебцевич  
Всеволод Алексеевич, Ковалевич  
Эмма Владимировна (BY)**

---

**(57)** Изобретение относится к способам получения композиционных катодов для ионно-плазменного синтеза многокомпонентных наноструктурных покрытий, получаемых вакуумно-дуговым и магнетронным методами. Технический результат изобретения позволяет производить электрическое соединение изоморфно сращенного катода с его электродержателем - катодной ножкой. Согласно изобретению, синтез силицидов титана осуществляют постадийно в составном графитсодержащем тигле: на первой стадии в нижнем графитсодержащем тигле размещают компактированную шихту медь-кремний, а в верхнем тигле размещают шихту фракционной смеси медь-титан; на второй стадии в верхнем тигле осуществляют электропереплав до получения расплава компонентов медь-титан с последующим растворением при 1100-1400°C запорной диафрагменной пробки из компактного металлического титана в расплаве компонентов медь-титан до получения легкоплавкого заэвтектического сплава, одновременно в нижнем тигле осуществляют электропереплав шихты медь-кремний с получением заэвтектического сплава; на третьей стадии осуществляют синтез силицидов титана с инициированием экзотермической реакции в компоненте титана до достижения 1600-2150°C образования силицидов: до 50% силицидов титана с образованием фаз силицидов титана и кремнистой бронзы; на четвертой стадии при выключенном индукторе производят получение полупродукта для вакуумной мишени путем кантования составного тигля на 180°.

---

**B1**

**036799**

**036799**

**B1**

Изобретение относится к порошковой металлургии, в частности к способам получения композиционных катодов для ионно-плазменного синтеза многокомпонентных наноструктурных покрытий, получаемых вакуумно-дуговым и магнетронным методами.

Изобретение может быть использовано в химической, станко-инструментальной промышленности, машиностроении, металлургии, авиапроме и судостроении.

Силициды титана для композиционных мишеней-катодов выполнены в виде матрицы на основе силицида титана и основания - токоподводящего электрода на основе медного сплава, установленного в пазах мишени, характеризующихся высокой жаропрочностью и в отличие от других силицидов высокой пластичностью при нормальных температурах. Известны пять силицидов:  $Ti_3Si$ ,  $Ti_5Si_3$ ,  $Ti_5Si_4$ ,  $TiSi$ ,  $TiSi_2$ . Из них наибольший практический интерес представляет  $Ti_5Si_3$ , который характеризуется конгруэнтным плавлением  $T_{пл} = 2130^\circ C$ , в то время как у других силицидов титана точка плавления заметно ниже, а состав твердой и жидкой фазы различается, и  $TiSi_2$ , который отличается лучшей стойкостью к окислению при высоких температурах в кислородной среде.

Многокомпонентные композиционные покрытия осаждают из плазмы, которую получают вакуумно-дуговым испарением или ионным распылением многокомпонентных катодов (мишеней). Особый интерес представляют покрытия, содержащие кремний, которые имеют нанокристаллическую структуру, сверхвысокую твердость, стойкость к окислению при нагреве на воздухе и низкий коэффициент сухого трения по сталям и сплавам.

Известна конструкция многокомпонентного катода со взрывной эмиссией. Введение в катод углеродной матрицы приводит к механической прочности (связке) инициаторов катодной плазмы, что позволяет торцевать и обрабатывать эмиттирующую электроны и плазму поверхность катода с требуемой степенью чистоты обработки [1].

Катод со взрывной эмиссией содержит инициатор катодной плазмы и переходник, позволяющий производить электрическое соединение катода с катодной ножкой при помощи резьбового соединения. Выполнение инициатора катодной плазмы и переходника единой деталью позволяет упрощение конструкции катода. Для практических целей в цилиндрическом катоде электронной пушки планарного типа внутри катода нарезается глухая внутренняя резьба или резьба на внешней поверхности катода. В случае изготовления катода для электронной пушки коаксиального типа производится обработка внешней поверхности, а резьба нарезается внутри катода.

Известен способ получения сложной композиционной системы, содержащей силициды титана, где получаемый композит на титановой связке содержит титанокерамическое армирование и состоит из от 9 до 20% по массе кремния, от 2 до 13% по массе алюминия, от 0,01 до 15% по крайней мере одного элемента из группы, состоящей из циркония, хрома, молибдена, углерода, бора, и остальное - титан. При этом композит на титановой связке, в котором армирование состоит из силицида титана, изготовлен путем быстрого затвердевания с последующим компактированием или последующей горячей формовкой. Данный композит, в котором армирование выбирается из группы, состоящей из  $Ti_5Si_3$ ,  $(Ti,Zr)_5(Si,Al)_3$ ,  $Ti_3Si$  и  $Ti_3Al$ , может быть изготовлен методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза - СВС [2].

При этом выполняется поэтапная многоступенчатая термическая обработка для достижения оптимизации свойств композита на титановой связке, содержащего эвтектически сформированное титанокерамическое армирование, содержащего титан, кремний, алюминий и др., которая состоит из следующих этапов: а) помещение композита в первую печь, предварительно нагретую до температуры в пределах от  $750$  до  $850^\circ C$  на заданное время, б) извлечение композита после истечения заданного времени из первой печи, в) помещение композита немедленно после этого во вторую печь, предварительно нагретую до температуры в пределах от  $980$  до  $1070^\circ C$  на заданное время, г) извлечение композита по истечении заданного времени из второй печи и д) повторение указанного термического цикла такое число раз, которое достаточно для того, чтобы все метастабильные фазы композита распались. Способ предусматривает не менее 30 повторений термического цикла.

Известный способ является весьма затратным и трудоемким. Кроме того, получаемый материал не может быть использован в качестве катодов для ионно-плазменного нанесения покрытий.

Известен способ получения композиционного катода, который включает приготовление порошковой смеси, прессование заготовок, последующее их спекание в вакууме, при этом порошковую смесь готовят из порошков титана и легирующего компонента, выбранного из группы: медь, кремний, при следующем соотношении компонентов: легирующий компонент, выбранный из группы медь, кремний, где содержание кремния ограничено 15 мас.%, титан - остальное. Прессование заготовок осуществляют до пористости от 15 до 20%. Нагрев заготовок в вакуумной печи до температуры спекания осуществляют со скоростью 2-3 град/мин. Вакуумное спекание заготовок путем синтеза силицида титана осуществляют в диапазоне температур  $1000-1250^\circ C$ . При температуре спекания заготовок осуществляют изотермическую выдержку 1-3 ч, при этом готовят шихту из порошков титана, силицида титана  $Ti_5Si_3$  при их дисперсности 50-160 мкм и соотношении, мас. %: силицида титана  $Ti_5Si_3$  [3].

Недостатком известного изобретения является то, что данный способ не позволяет получить катоды с допустимой пористостью (5-10%) при более высоком содержании кремния (10-30 мас. %).

В качестве прототипа принят способ получения силицидов титана восстановлением диоксида титана расплавленным кремнием. По данному способу порошки диоксида титана, диоксида кремния и оксида кальция смешиваются в соотношении 10:7:8 по массе и сплавляются с образованием шлака при 1500°C в графитовом тигле в индукционной печи. Затем в атмосфере аргона в расплав вносят требуемое количество чистого кремния. Восстановление силицида титана проводят в течение 5-17 ч. По данному способу порошки металлического титана и кремния чистоты 99,95%, крупностью от -0,072 мм до -0,019 мм помещают в цилиндрический сосуд синтез силицидов титана производят восстановлением смеси галогенидов титана и кремния в атмосфере инертного газа при нормальном давлении расплавленным цинком при температуре от 450 до 900°C [4].

Недостатком способа-прототипа является необходимость использования дорогостоящих мелкодисперсных порошков титана и кремния высокой чистоты и тщательной гомогенизации смеси порошков. Недостатками способа являются загрязнение полученных порошков силицидов титана непрореагировавшими частицами титана и кремния, большая продолжительность процесса.

Известное изобретение, как и известный уровень технологий не обеспечивает возможность получения литых беспористых катодов на основе силицида титана в единой безвакуумной безшлаковой технологии совместно с токоподводящим электродом на основе медного сплава.

Кроме того, в процессе внесения в расплав требуемое количество чистого кремния после завершения реакции синтеза материал мишени отличается высоким уровнем внутренних напряжений, под действием которых часто происходит самопроизвольное разрушение мишеней.

Технический результат изобретения характеризует новый способ изготовления композиционного литого катода единой безвакуумной технологией из шихты заданного элементного состава и с последующим его использованием для получения кремнийсодержащих наноструктурных покрытий посредством вакуумно-дугового испарения или магнетронного распыления. Предлагаемая шихта для композиционного катода и способ его изготовления позволяет минимизировать конечную пористость и получить достаточно плотный катод при более высоком содержании кремния.

Указанный технический результат достигается также тем, что в способе изготовления композиционных катодов на основе силицидов титана для ионно-плазменного синтеза многокомпонентных наноструктурных покрытий, включающем шихтование фракционированных компонентов титана и кремния, электропереплавление шихтованных компонентов в графитсодержащем тигле в реакторе цилиндрического индуктора индукционной печи и синтез силицидов титана в инертной атмосфере, согласно изобретению изготовление композиционных катодов осуществляют поэтапно по технологии электропереплавления в составном графитсодержащем тигле, образованном двумя вертикально опертыми соосно друг на друга графитсодержащими тиглями, верхний из которых имеет самотечный сквозной донный канал с диафрагменной пробкой из компактного металлического титана:

на первой стадии - предварительно шихту обогащают фракционированной медью, при этом в нижнем графитсодержащем тигле размещают компактированную шихту фракционной смеси (0,05-0,5) мм медь-кремний, а в верхнем графитсодержащем тигле со сквозным донным каналом с размещенным в нем запорной диафрагменной пробкой из компактного металлического титана размещают шихту фракционной смеси (0,05-0,5) мм медь-титан;

на второй стадии - в верхнем графитсодержащем тигле осуществляют электропереплавление до получения расплава компонентов титан-медь и при 1100-1400°C с последующим растворением запорной диафрагменной пробки из компактного металлического титана в расплаве компонентов медь-титан с одновременным электромагнитным перемешиванием до получения легкоплавкого заэвтектического сплава, при этом одновременно в нижнем графитсодержащем тигле осуществляют индукционный нагрев и электропереплавление шихты медь-кремний с получением заэвтектического сплава;

на третьей стадии - после получения легкоплавких заэвтектических сплавов, соответственно медь-титан и медь-кремний осуществляют непосредственно синтез силицидов титана путем самотека легкоплавкого сплава медь-титан через сквозной донный канал верхнего графитсодержащего тигля и смешения упомянутых жидких сплавов в нижнем графитсодержащем тигле с иницированием быстропротекающей экзотермической реакции в компоненте титана до достижения температуры 1600-2150°C образования силицидов со скоростью и временем образования до 50% силицидов титана  $Ti_5Si_3$  в расплаве путем введения через сквозной донный канал верхнего графитсодержащего тигля легкоплавкого заэвтектического сплава медь-титан в расплавленную заэвтектическую смесь медь-кремний с образованием фаз силицидов титана и кремнистой бронзы;

на четвертой стадии - при выключенном индукторе производят получение полупродукта для вакуумной мишени путем разделения по удельному весу сформированных продуктов реакции и последовательной кристаллизации, соответственно, композита титан-кремний на основе силицида титана и полученного расплава компонентов медь-кремний на основе кремнистой бронзы во времени за счет кантования составного графитсодержащего тигля на 180°.

Технический результат изобретения позволяет производить электрическое соединение изоморфно сращенного катода с его электродержателем-катодной ножкой путем электропереплавления шихты с получением композиционного катода.

Сущность технологии изобретения заключается в следующем.

Получение композиционных катодов на основе силицидов титана для ионно-плазменного синтеза многокомпонентных наноструктурных покрытий, включает смешение и компактирование фракционированных компонентов титана, кремния и меди, поэтапный синтез силицидов титана, содержащего заэвтектически сформированное титанокерамическое армирование в составном графитосодержащем тигле, помещенным в индуктор реактора индукционной печи, в атмосфере инертного газа.

Способ получения композиционных катодов на основе силицидов титана для ионно-плазменного синтеза многокомпонентных наноструктурных силицидных покрытий включает шихтование фракционированных компонентов титана и кремния, электропереплавление шихтованных компонентов в графитосодержащем тигле в реакторе цилиндрического индуктора индукционной печи и синтез силицидов титана в инертной атмосфере, преимущественно аргона.

Согласно изобретению синтез силицидов титана осуществляют поэтапно по технологии электропереплавления в составном графитосодержащем тигле, образованном двумя вертикально опертыми соосно друг на друга графитосодержащими тиглями, верхний из которых имеет самотечный сквозной донный канал с диафрагменной пробкой из компактного металлического титана:

на первой стадии - предварительно шихту обогащают фракционированной медью, при этом в нижнем графитосодержащем тигле размещают компактированную шихту фракционной смеси (0,05-0,5) мм медь-кремний, а в верхнем графитосодержащем тигле со сквозным донным каналом с размещенным в нем запорной диафрагменной пробкой из компактного металлического титана размещают шихту фракционной смеси (0,05-0,5) мм медь-титан;

на второй стадии - в верхнем графитосодержащем тигле осуществляют электропереплавление до получения расплава компонентов медь-титан и при 1100-1400°C с последующим растворением запорной диафрагменной пробки из компактного металлического титана в расплаве компонентов медь-титан с одновременным электромагнитным перемешиванием до получения легкоплавкого заэвтектического сплава, при этом одновременно в нижнем графитосодержащем тигле осуществляют индукционный нагрев и электропереплавление шихты медь-кремний с получением заэвтектического сплава;

на третьей стадии - после получения легкоплавких заэвтектических сплавов, соответственно, медь-титан и медь-кремний осуществляют непосредственно синтез силицидов титана путем самотека легкоплавкого сплава медь-титан через сквозной донный канал верхнего графитосодержащего тигля и смешения упомянутых жидких сплавов в нижнем графитосодержащем тигле с иницированием быстропотекающей экзотермической реакции в компоненте титана до достижения температуры 1600-2150°C образования силицидов со скоростью и временем образования до 50% силицидов титана в расплаве путем введения через сквозной донный канал верхнего графитосодержащего тигля легкоплавкого заэвтектического сплава медь-титан в расплавленную заэвтектическую смесь медь-кремний с образованием фаз силицидов титана и кремнистой бронзы;

на четвертой стадии - при выключенном индукторе производят получение полупродукта для вакуумной мишени путем разделения по удельному весу сформированных продуктов реакции и последовательной кристаллизации, соответственно, композита титан-кремний на основе силицида титана и полученного расплава компонентов медь-кремний на основе кремнистой бронзы во времени, за счет кантования составного графитосодержащего тигля на 180°.

По изобретению предложены шихта для композиционного катода и способ изготовления композиционного катода системы титан-кремний, включающий получение инициатора катодной плазмы - катода на основе силицида титана  $Ti_5Si_3$  путем переходного сплавообразования, соединенного с катодной ножкой на основе кремнистой бронзы единой технологией в единую деталь.

Изобретение позволяет производить электрическое соединение изоморфно сращенного катода с его электродержателем-катодной ножкой путем электропереплавления шихты с получением композиционного катода.

По сравнению с известным уровнем техники изобретение решает задачу получения упомянутого электрического соединения не механическим путем, например, при помощи резьбового, прессового, фансонного и т.п. соединений.

В новой конструкции композиционного катода кремний находится в связанном состоянии, соответственно, в виде силицида титана  $Ti_5Si_3$ , и в связанном состоянии в виде соединения кремний-медь или кремнистой бронзы БрКд, величина электропроводности которой имеет существенное значение для композиционного катода, используемого для мишеней вакуумных установок напыления. Кремнистая бронза соответствует общеизвестному условию применения бронзовых сплавов в качестве электродных и проводящих, т.е. для электродов и проводников тока.

Кремнистая бронза характеризуется повышенной электро- и теплопроводностью и хорошей свариваемостью БрКд. Среди многочисленных марок бронз, кремнистая бронза относится к группе сплавов с малым (0,3-1%) содержанием легирующих элементов. Они отличаются тем, что обладают практически такой же электро- и теплопроводностью, как и чистая медь, но при этом они имеют большую твердость, предел текучести, износостойкость, предел усталости, и сохраняют работоспособность до более высоких температур за счет повышенной (по сравнению с чистой медью) температуры начала рекристаллизации.

Пример конкретного применения изобретения.

Новый способ включает следующую постадийную технологию.

а) Приготовление дисперсной шихты из указанных фракционированных компонентов, соответственно медь-титан, где титан (Ti) представлен в виде порошка титанового дисперсности 0,05-0,5 мм при содержании железа (Fe) не более 0,3%;

медь (Cu) в виде порошка медного ПМС по ГОСТ 4960-75, дисперсностью частиц менее 0,1 мм с содержанием 72% частиц дисперсностью менее 0,045 мм;

связующее - смола КФЖ или КФМТ-15, при шихтовке вводят для технологичности компактирования связующее до 1,0%;

кремний КР 0 молотый, дисперсности не более 0,2 мм с содержанием железа не более 0,6%.

Приготовление дисперсной шихты из указанных выше компонентов, соответственно, медь-титан и медь-кремний осуществляют путем сухого перемешивания в течение 10 мин с последующим добавлением связующего и перемешиванием со связующим в течение 5 мин.

Из полученной сыпучей массы компактированием прессуют таблетки диаметром 40 мм, высотой 5-10 мм с усилием 5,0 т и удельным давлением 400 кг/см<sup>2</sup> до пористости порядка 15-20%.

Таблетки медь-кремний для нижнего стакана составного графитосодержащего тигля имели состав, вес.%: кремний молотый - 28%, порошок меди - 72%.

Таблетки медь-титан для верхнего стакана составного графитосодержащего тигля имели состав вес.%: порошок титана - 67%, включая расчетный вес запорной диафрагменной пробки из компактного металлического титана, размещаемой в донном сквозном канале верхнего стакана графитосодержащего тигля, и порошок меди - 33%.

б) Компактирование полученных таблеток из указанных выше компонентов шихты осуществляют в реакторе индукционной печи, содержащем составной графитосодержащий тигель, образованный двумя графитосодержащими тиглями по сборочной вертикальной схеме: верхний графитосодержащий тигель расположен на нижнем графитосодержащем тигле по следующей технологии: в графитосодержащий тигель загружают по 25 см<sup>3</sup> таблеток в весовом отношении-в нижний графитосодержащий тигель загружают таблетки состава медь-кремний весом 142 г, в верхний графитосодержащий тигель загружают таблетки состава медь-титан весом 120 г.

На второй стадии - после загрузки таблеток из указанных выше компонентов шихты в составной графитосодержащий тигель осуществляют нахолодно его продувку аргоном (Ar) в реакторе коаксиального индуктора индукционной печи в течение 10 мин с расходом до 5 л/мин. После этого в верхнем графитосодержащем тигле осуществляют получение расплава компонентов медь-титан при 1200°C с продувкой аргоном в течение 15 мин с расходом до 2 л/мин, выдерживают при 1200°C и производят растворение запорной диафрагменной пробки из компактного металлического титана в расплаве компонентов медь-титан с одновременным электромагнитным перемешиванием до получения заэвтектического сплава и последующего его перетекания после растворения диафрагменной пробки из верхнего графитосодержащего тигля через его донный канал в нижний графитосодержащий тигель, где одновременно в нижнем графитосодержащем тигле путем индукционного нагрева и расплавления таблетированной шихты медь-кремний был получен заэвтектический сплав медь-кремний при 1200°C.

На третьей стадии - после получения легкоплавких расплавов заэвтектических сплавов, соответственно, медь-титан и медь-кремний и перетекания эвтектики из верхнего графитосодержащего тигля в нижний графитосодержащий тигель в нем осуществляют непосредственно синтез силицидов титана путем смешения упомянутых заэвтектических сплавов с иницированием быстропротекающей (высокоскоростной) экзотермической реакции в компоненте титана до достижения 1600-2150°C - температуры образования силицидов титана со скоростью и временем растворения до 50% титана в расплаве путем введения заэвтектического сплава, соответственно, медь-титан в расплавленный заэвтектический сплав медь-кремний с образованием силицидов титана.

На четвертой стадии - при выключенном индукторе производят получение полупродукта для вакуумной мишени путем последовательной кристаллизации и разделения по удельному весу, соответственно, композита титан-кремний на основе полученного расплава компонентов медь-кремний, за счет кантования тигля на 180° через 5 мин после выключения индуктора, с одновременным охлаждением реактора до комнатной температуры при расходе аргона до 1 л/мин.

После охлаждения реактора составной графитосодержащий тигель извлекают из реактора и из нижнего графитосодержащего тигля извлекают композиционный катод мишени на основе силицида титана Ti<sub>5</sub>Si<sub>3</sub>, сращенного с катодной ножкой на основе кремнистой бронзы БрКд.

Получаемый композиционный катод мишени на медной связке содержит титанокерамическое армирование собственно катода на основе силицида титана и содержит: от 30 до 37% по массе кремния, от 3 до 5% по массе меди и по крайней мере до 60% титана.

Изоморфно сращенный электродержатель для композиционного катода или ножка на основе кремнистой бронзы БрКд содержит от 0,8 до 1,2% по массе кремния, по крайней мере до 98,8% меди.

Известно, что содержание кремния в осаждаемых покрытиях значительно меньше, чем в расплавленных катодах. Этот эффект обеднения покрытий кремнием возникает как результат селективного распы-

ления кремния с поверхности растущего покрытия в условиях ионной бомбардировки, а степень его проявления зависит от энергии ионов, то есть от величины отрицательного смещения на подложке. При отрицательном смещении 230 В содержание кремния в покрытии уменьшается на порядок по сравнению его содержанием в катоде. Поэтому для получения покрытий с оптимальным содержанием кремния 5-10 ат.% требуются катоды с содержанием кремния значительно большим, чем 10 ат.%. Катоды по известному уровню техники с таким содержанием кремния невозможно получить спеканием порошковых смесей титана и кремния из-за сильного объемного роста и большой остаточной пористости [5].

Использование процесса электропеплава таблетированных порошковых смесей титана-кремния-меди для получения композиционных катодов системы титан-кремний-изоморфно срощенная кремнистая бронза ранее не применялось. Об этом свидетельствует анализ технических решений в этой области техники.

Полученные катоды имеют однородную структуру, позволяют получать достаточно плотный катодный материал полученного композита с содержанием кремния от 35 до 37% с изоморфно срощенной кремнистой бронзой, сохраняют свою исходную форму, не требуют дальнейшей термической обработки и пригодны для использования в оборудовании для нанесения ионно-плазменных покрытий на территории Беларуси и СНГ.

#### Источники информации

1. SU 1552910, H01J 1/30, опубл. 1995.07.25.
2. Заявка RU 95117989, A C22C 14/00, C22C 1/10, публ.20.11.1997.
3. RU 2421844 C1, H01J 1/46, C23C 14/00, публ. 20.06.2011.
4. Z.Chen, Y. Li, Y. Tan and K. Morita. Reduction of Titanium Oxide by Molten Silicon to Synthesize Titanium Silicide. Materials Transactions, Vol. 56, No. 11 (2015) pp. 1919-1922.
5. Кирюханцев-Корнеев Ф.В. и др. Структура и свойства Ti-Si-N покрытий, полученных магнетронным распылением СВС-мишеней. Физика металлов и металловедение, т. 97, №3, с. 96-103.

#### ФОРМУЛА ИЗОБРЕТЕНИЯ

Способ получения композиционных катодов на основе силицидов титана для ионно-плазменного синтеза многокомпонентных наноструктурных покрытий, включающий шихтование фракционированных компонентов титана и кремния, электропеплав шихтованных компонентов в графитсодержащем тигле в реакторе цилиндрического индуктора индукционной печи и синтез силицидов титана в инертной атмосфере, отличающийся тем, что изготовление композиционных катодов осуществляют постадийно по технологии электропеплава в составном графитсодержащем тигле, образованном двумя вертикально опертыми соосно друг на друга графитсодержащими тиглями, верхний из которых имеет самотечный сквозной донный канал с диафрагменной пробкой из компактного металлического титана:

на первой стадии предварительно шихту обогащают фракционированной медью, при этом в нижнем графитсодержащем тигле размещают компактированную шихту фракционной смеси (0,05-0,5) мм медь-кремний, а в верхнем графитсодержащем тигле со сквозным донным каналом с размещенным в нем запорной диафрагменной пробкой из компактного металлического титана размещают шихту фракционной смеси (0,05-0,5) мм медь-титан;

на второй стадии - в верхнем графитсодержащем тигле осуществляют электропеплав до получения расплава компонентов титан-медь и при 1100-1400°C с последующим растворением запорной диафрагменной пробки из компактного металлического титана в расплаве компонентов медь-титан с одновременным электромагнитным перемешиванием до получения легкоплавкого заэвтектического сплава, при этом одновременно в нижнем графитсодержащем тигле осуществляют индукционный нагрев и электропеплав шихты медь-кремний с получением заэвтектического сплава;

на третьей стадии - после получения легкоплавких заэвтектических сплавов, соответственно, медь-титан и медь-кремний осуществляют непосредственно синтез силицидов титана путем самотека легкоплавкого сплава медь-титан через сквозной донный канал верхнего графитсодержащего тигля и смешения упомянутых жидких сплавов в нижнем графитсодержащем тигле с иницированием быстротекающей экзотермической реакции в компоненте титана до достижения температуры 1600-2150°C образования силицидов со скоростью и временем образования до 50% силицидов титана в расплаве путем введения через сквозной донный канал верхнего графитсодержащего тигля легкоплавкого заэвтектического сплава медь-титан в расплавленную заэвтектическую смесь медь-кремний с образованием фаз силицидов титана и кремнистой бронзы;

на четвертой стадии - при выключенном индукторе производят получение полупродукта для вакуумной мишени путем разделения по удельному весу сформированных продуктов реакции и последовательной кристаллизации, соответственно, композита титан-кремний на основе силицида титана и полученного расплава компонентов медь-кремний на основе кремнистой бронзы во времени за счет кантования составного графитсодержащего тигля на 180°.

