(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第5389928号
(P5389928)
(45)発行日　平成26年1月15日(2014.1.15)　(24)登録日　平成25年10月18日(2013.10.18)

(51)Int.Cl.		F I		
H05H 6/00	(2006.01)	H05H	6/00	
G21G 1/10	(2006.01)	G21G	1/10	
C04B 37/02	(2006.01)	C04B	37/02	B

請求項の数 27　(全 11 頁)

(21)出願番号	特願2011-528195 (P2011-528195)
(86)(22)出願日	平成21年6月18日 (2009.6.18)
(65)公表番号	特表2012-503848 (P2012-503848A)
(43)公表日	平成24年2月9日 (2012.2.9)
(86)国際出願番号	PCT/EP2009/004406
(87)国際公開番号	WO2010/034364
(87)国際公開日	平成22年4月1日 (2010.4.1)
審査請求日	平成24年6月18日 (2012.6.18)
(31)優先権主張番号	08016927.9
(32)優先日	平成20年9月25日 (2008.9.25)
(33)優先権主張国	欧州特許庁 (EP)

早期審査対象出願

(73)特許権者　501008912
ヨーロピアン　オーガナイゼーション　フォー　ニュークリア　リサーチ
European Organization for Nuclear Research
スイス国　ジュネーブ　２３
Geneva 23, Switzerland
(74)代理人　100117787
弁理士　勝沼　宏仁
(74)代理人　100091487
弁理士　中村　行孝
(74)代理人　100107342
弁理士　横田　修孝

最終頁に続く

(54)【発明の名称】同位体生成用ナノ構造ターゲットおよびその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

多孔性の、少なくとも一次元における平均サイズが７００ｎｍより小さい構造要素を有するナノ構造材料を含んでなるターゲットであって、前記ナノ構造材料がAl_2O_3、Y_2O_3およびZrO_2のうちの１つを含んでなることを特徴とする、同位体生成用ターゲット。

【請求項２】

前記ナノ構造材料が多孔性のセラミックであり、かつ前記構造要素が前記セラミック中の粒子または結晶粒である、請求項１に記載のターゲット。

【請求項３】

前記多孔性のナノ構造材料がセル構造を有し、かつ前記構造要素が個々のセルから形成される、請求項１に記載のターゲット。

【請求項４】

前記ナノ構造材料がランタニドまたはアルカリ土類金属のドープ剤を含んでなる、請求項１～３のいずれか一項に記載のターゲット。

【請求項５】

前記ドープ剤が、バリウム、マグネシウム、イットリウム、ジルコニウム、ランタン、セリウム、ネオジム、および／またはイッテルビウム、の材料の１つ以上を含んでなる、請求項４に記載のターゲット。

【請求項６】

前記ドープ剤の濃度が１００～１０００ｐｐｍである、請求項４または５に記載のターゲット。

【請求項７】

前記ナノ構造材料が、ターゲットの動作温度において、０．５～２０ｍ^2／ｇの範囲の比表面積を有する、請求項１～６のいずれか一項に記載のターゲット。

【請求項８】

前記ナノ構造材料が金属箔に付着している、請求項１～７のいずれか一項に記載のターゲット。

【請求項９】

前記ナノ構造材料が、前記金属箔と、機械的結合、ろう付け、または固体拡散、のうちの１つによって結合される、請求項８に記載のターゲット。

【請求項１０】

前記ターゲットが前記ナノ構造材料のペレットの複数の対を含んでなり、前記ペレット対を形成しているそれぞれの２つのペレットが単一の金属箔の両端に結合されている、請求項８または９に記載のターゲット。

【請求項１１】

同位体生成用ターゲットを製造する方法であって、

７００ｎｍより小さい、平均グレインサイズを有するＡｌ$_2$Ｏ$_3$、Ｙ$_2$Ｏ$_3$およびＺｒＯ$_2$のうちの１つの粉末を準備する工程、および

固体材料中の平均グレインサイズを７００ｎｍより小さくグレイン構造を保持しながら、前記粉末からナノメーター単位に粒状化した固体材料を合成する工程、

を含んでなる、方法。

【請求項１２】

前記合成工程が、泥しょう鋳込成形、冷間一方向プレス、または、熱間等方加圧のうちの１つを含む、請求項１１に記載の方法。

【請求項１３】

前記合成工程が、冷間一方向プレス工程とそれに続く１１００℃から１８００℃での熱処理の工程とを含んでなる、請求項１２に記載の方法。

【請求項１４】

同位体生成用ターゲットを製造する方法であって、

酸化膜中の隣り合った孔の間隔が７００ｎｍより小さくなるように、酸電解質中に浸した陽極の金属板上に、多孔性の酸化膜を成長させる工程を含んでなることを特徴とする、方法。

【請求項１５】

前記酸化膜がＡｌ$_2$Ｏ$_3$膜である、請求項１４に記載の方法。

【請求項１６】

前記酸電解質が、硫酸、シュウ酸およびリン酸のうちの１つを含んでなる、請求項１４または１５に記載の方法。

【請求項１７】

前記酸化膜成長の後にアニーリングの工程が続く、請求項１４～１６に記載の方法。

【請求項１８】

前記アニーリングが１２７０℃より低い温度で行われる、請求項１７に記載の方法。

【請求項１９】

前記ナノ構造材料を金属箔と接合する工程をさらに含んでなる、請求項１１～１８に記載の方法。

【請求項２０】

前記ナノ構造材料と前記金属箔とが、ろう付けによって結合している、請求項１９に記載の方法。

【請求項２１】

前記ろう付けにおいて、前記ナノ構造材料と前記箔との間に、箔または充填材のクラッ

ド層が挿入されている、請求項２０に記載の方法。
【請求項２２】
前記金属箔がＮｂ箔である、請求項２１に記載の方法。
【請求項２３】
前記Ｎｂ箔の厚さが０．１～１ｍｍである、請求項２２に記載の方法。
【請求項２４】
前記充填材がＴｉおよび／またはＴＡ６Ｖである、請求項２１～２３に記載の方法。
【請求項２５】
前記ナノ構造材料と金属箔とが、機械的結合によって連結されている、請求項１９に記載の方法。
【請求項２６】
前記ナノ構造材料と金属箔とが、固体拡散によって連結されている、請求項１９に記載の方法。
【請求項２７】
ナノ構造材料の２片が箔の反対表面に付着している、請求項１９～２６のいずれか一項に記載の方法。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は、同位体生成のためのターゲットおよびそのターゲットの製造方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
本発明のターゲットは、いわゆるオンライン同位体分離装置（ＩＳＯＬ）技術において使用することができる。ＩＳＯＬは５０年以上前にコペンハーゲンにおいて開発された。この方法においては、核破砕、核分裂または崩壊核反応を介して放射性同位体を生成するために、典型的には１ないし数１０センチメーターの厚さのターゲットに、数ＭｅＶまたはＧｅＶものエネルギーを有するプロトンや重イオンなどの高エネルギー粒子ビームを衝突させる。ＩＳＯＬ－ターゲット材は、典型的には、高温で使用でき、その後拡散および吸収時間を減少することができる、金属、カーバイドまたは酸化物などの耐熱性化合物から作製される。ターゲット材は典型的には圧縮成形錠、金属箔、液体金属またはファイバーの形態でターゲット容器中に配置される。
【０００３】
通常、ターゲットに用いられる材料は、微細構造、または５ないし５０μｍオーダーのグレインサイズ、ファイバー径もしくは箔厚などの典型的な特徴を有する。荷電粒子ビームとの相互作用に際して、核反応産物は周囲の容器中に向かって材料を透過して拡散し、そして表面、レーザーまたはプラズマイオン源などの選択的イオン源によってそれらをイオン化するイオン源へと、移送ラインを通って放出され得る。ターゲットおよびイオン源の組み合わせは核反応産物を放射性イオンビームに変換する小さい化学工場として考えることもできる。イオンはその後数１０ｋｅＶまで静電的に加速され、双極子磁石中で質量分離され、そして放射性イオンビームとしてそれぞれの実験または適用に誘導される。
【０００４】
このように生成された放射性イオンビームは、核物理学、原子物理学、固体物理学、材料科学、天体物理学、生物物理学および医学など数多くの研究分野において非常に関心がもたれている。高フルエンスのビームに照射された耐熱性材料のさらなる適用は、核破砕中性子源またはニュートリノ工場、（いわゆる「第４世代」の）新しい核分裂原子炉および核融合炉技術と関係する。これら全ての適用においては、あらかじめ設定されたスペクトルまたはあらかじめ設定された温度での異なるスペクトルの照射粒子による、操作中の広範囲にわたる照射損傷が形成される。核破砕源においては、通常陽子および中性子の混合スペクトルがターゲットおよび構造材料と相互作用するが、これに反して新しい核分裂原子炉においては、主に高速中性子のスペクトルが生成される。融合技術においては、構

造材料は典型的には１４ＭｅＶの高いフルエンスの中性子を受ける。

【０００５】

同位体生成の理想的なターゲットは、入射ビームの特徴に対して目的の同位体を多く生成する断面積、優れた拡散および放出特性、長い寿命を有し、かつ、高温で操作可能なものとなるだろう。ターゲット材の選択は、一般に、指示された同位体の達成可能な収率を決定する。しかしながら、目的の元素を生成することが可能でないこと、または収率が非常に少ないこといずれかの理由により、まだ入手できない数多くの同位体が存在する。現在のところ、予想される３０００の同位体のうちの１５００のみが実験的に生成および同定されている。

【発明の概要】

【０００６】

本発明の根底にある問題は、同位体生成のための、まだ製造されていない新しいターゲットを提供すること、または現在可能なものよりも高い収率で同位体を生成することである。

【０００７】

この問題は、請求項１に定義される同位体生成のためのターゲット、ならびに請求項１１および１４において定義されるターゲットの製造方法によって解決される。好ましい実施形態は従属請求項において定義される。

【０００８】

本発明によれば、ターゲットは、多孔性の、少なくとも一次元における平均サイズが７００ｎｍより小さい、好ましくは５００ｎｍより小さい、もっとも好ましくは１５０ｎｍより小さい構造要素を有するナノ構造材料を含んでなり、前記ナノ構造材料はAl_2O_3、Y_2O_3およびZrO_2のうちの１つを含んでなる。

【０００９】

ナノ構造材料は例えば多孔性セラミックであり、ここで構造要素は前記セラミック中の粒子またはグレインであってよい。本明細書においては、その構造は適切な粒子またはグレインの粉末によって制御され、形成され得る。一方、多孔性のナノ構造材料はセル構造を有する場合があり、ここで構造要素は個々のセルによって形成される。例えば下記でより詳細に記載されるような陽極酸化成長によって得られる細長いセル構造の場合には、少なくともセルの一次元、すなわち幅は上述のサイズよりも小さいだろう。ナノ構造材料のさらなる例はナノワイヤー、ナノチューブ、ナノドットおよび／またはナノプレートの形態を有する。

【００１０】

例えば組織化されたセル構造を有するナノプレートは、標準的な２工程の陽極酸化または高磁場陽極酸化過程を用いることによって得ることができ、これらの後には少なくともセルの一次元、すなわち幅は上述のサイズよりも小さいだろう。これらの過程は、それ自体がいわゆる「多孔性陽極アルミナ」（ＰＡＡ）膜の形成として知られている。この陽極酸化法においては、多孔性の酸化膜が酸電解質中に浸された陽極の金属板上に成長する。この方法は多孔性の酸化膜中の隣り合った孔の間隔を７００ｎｍより小さく、好ましくは５００ｎｍより小さく、およびもっとも好ましくは１００ｎｍより小さくするために行われる。

【００１１】

これらの例によって説明されるように、本開示においては、「ナノ構造材料」という語は、ナノメーター単位、すなわち１μｍより小さい、および好ましくは１５０ｎｍより小さい微細構造を有する材料に関する。

【００１２】

別の言い方では、ナノ構造材料とはそれらの構造要素が、例えばクラスター、クリスタリットまたはナノメーター単位の密度を有する分子などである材料として定義され得る。構造要素のさまざまな大きさ、およびそれらの相互作用を制御することによって、これら基礎単位から合成されるナノ構造材料の基本的な性質を調和させることができる。ターゲ

ット材として多孔性のナノ構造材料を使用することの利点は、同位体が構造要素の表面へより早く拡散することによって、同位体の出力時間をより短くすることが可能になり、そのため、より短い寿命を有する同位体を相当な収率で出力できることである。しかしながら、従来の知識によると、現在では、マイクロメーター単位より小さい構造を有するターゲット材の使用は、操作中のターゲット温度で起こることが予測される粒子の焼結とそれによる結晶粒成長および孔の除去のために不可能だと考えられている。焼結率は部分的には開始時の粒子密度に依存し、典型的には、粒子密度の３乗に反比例する。例えば"Fast Release of Nuclear Reaction Products from Refractory Matrices", Nuclear Instruments and Methods 148 (1978), 217-230で説明されているように、安定なグレイン構造が望まれている場合には、１～５μｍより小さい粒子サイズは適していないと考えられている。

【００１３】

しかしながらこの技術的先入観に反して、発明者らはターゲット材の主要成分としてAl_2O_3、Y_2O_3またはZrO_2を使用して、実際にナノメーター単位においてさえも製造し得る安定なターゲット材を見いだした。これらナノ構造材料を用いることで、相当な収率で寿命の短い同位体の生成を可能にすると現在までの研究から考えられている、より早い拡散およびそれに伴うより短い出力時間が観察される。

【００１４】

好ましい実施形態においては、ナノ構造材料はランタニドまたはアルカリ土類金属ドープ剤を含んでなる。発明者らによって観察されたように、この型のドープ剤は結晶粒成長を阻害し、ターゲットの操作下においてナノ構造を保持することを助ける。例えば、少量のマグネシアと共にアルミナをドーピングすることは緻密化率を高めるが、結晶粒成長を減少させる。このようなドーピングがAl_2O_3のγ－相からα－相への転移温度を低下させることもまた観察される。

【００１５】

Al_2O_3のγ－からα－相への転移温度が約１０５０°Ｃへと低下することについてはL. Radonjicら, "Microstructural and sintering of magnesia doped, seeded, different boehmite derived alumina", Ceramics International 25 (1999) 567-575においても記載されている。いくつかの例においては、バリウムまたはプラセオジムなどのドープ剤の添加は、S. Rossignolら, "Effect of doping elements on the thermal stability of transition alumina", International Journal of Inorganic Materials 3 (2001) 51 - 58によって言及されているように、この温度を１３１５℃まで上昇させることができる。

【００１６】

ZrO_2は別の材料であり、ZrO_2においてはドープ剤の作用は、１１７０℃で正方晶を誘導し、そして最終的には２３００℃で立方晶になる、相転移温度における変化を誘導する場合がある。通常は、ジルコニアと共に固溶体を形成するマグネシア、イットリアまたはカルシウムドープ剤で安定化され、そして立方晶および単斜晶ジルコニアの混合物としての構造を生じる。この材料（「部分安定化ジルコニア」（ＰＳＺ）と定義される）は熱膨張および耐熱衝撃性の好適なバランスを示す。

【００１７】

適したドープ剤はバリウム、マグネシウム、イットリウム、ジルコニウム、ランタン、セリウム、ネオジムおよび／またはイッテルビウムを含んでなることが明らかになっている。適したドープ剤濃度は１００～１０００ｐｐｍ、好ましくは３００～７００ｐｐｍの範囲であることが分かった。

【００１８】

好ましくは、ナノ構造材料はターゲットの動作温度において、０．５～２０m^2／ｇの範囲の比表面積を有する。

【００１９】

好ましい実施形態においては、ナノ構造材料は金属箔に付着されている。本明細書にお

いては、金属は好ましくは高い融点を有する耐熱性金属である。金属箔の高い熱伝導性によって、金属箔はターゲットの操作下、すなわちそのイオン衝突中に、熱の分散を可能にし、それによってかなり高い強度の加速された粒子ビームが入射する場合においても結晶粒成長および焼結を阻害することができる。実際に、熱伝導箔と多孔性のナノ構造材料の組み合わせは、ターゲットを得るための非常に単純で、しかし非常に有効な手段だと証明された。この組み合わせにおいては、同時に、高強度の一次ビームと、それによる最終的に高い収率、より強度の高い新種の同位体ビームを生成するためのより短い同位体出力時間、およびターゲット材のナノ構造の安定性が可能になる。

【００２０】

ナノ構造材料および金属箔は、ねじ、嵌合いまたはクランプ連結などの機械的連結によって結合され得る。一方で、ナノ構造材料および金属箔は下記でより詳細に説明されるようなろう付けまたは固体拡散によっても結合され得る。

【００２１】

異なる材料の熱膨張係数（ＴＣＥ）を可能な限りマッチングさせることが好ましい。機械的応力は、拡散接合のろう付け過程における制御された加熱および冷却率によって、並びに選択された弾性または延性のある中間層の導入によって減少され得る。

【００２２】

好ましくは、ターゲットは、前記ナノ構造材料のペレットの複数の対を含んでなり、この対はそれぞれの２つのペレットが、単一の金属箔の反対側にそれぞれ向かい合って結合しているペレットの対を形成している。

【００２３】

好ましい実施形態においては、金属箔は０．３５～１ｍｍの厚さのニオブ箔から作製され、そしてナノ構造材料は、充填材としてＴｉおよび／またはＴＡ６Ｖの薄箔またはクラッド層を用いてこの箔上にろう付けされる。Al_2O_3のナノ構造材料とニオブ箔との組み合わせは、それらの熱膨張係数が非常によくマッチすることから、特に有用なことが明らかになっている。ZrO_2およびY_2O_3もまた、それらが最大２０００Ｋの類似した熱膨張係数を示すことから適していると思われる。

【００２４】

本発明の１つの態様によると同位体生成のためのターゲットの製造方法は、Al_2O_3、Y_2O_3およびZrO_2のうち１つの、平均グレインサイズが７００ｎｍより小さい、好ましくは５００ｎｍより小さい、より好ましくは１５０ｎｍより小さいおよびもっとも好ましくは１００ｎｍより小さい粉末を提供する工程、および固体材料中の平均グレインサイズを７００ｎｍより小さく、好ましくは５００ｎｍより小さく、より好ましくは１５０ｎｍより小さく、およびもっとも好ましくは１００ｎｍより小さくグレイン構造を保持しながら、前記粉末から固体材料を合成する工程を含んでなる。

【００２５】

合成工程は、泥しょう鋳込成形、トップ鋳造または冷間一方向プレスを含んでいてもよく、冷間一方向プレスに続いて、１１００℃から１４５０°Ｃでの、好ましくは１２００℃から１３００での熱処理を行ってもよい。これらの合成工程により、ナノメーター規模のグレイン構造が保持され、それによって同位体の出力時間を短縮させることが可能な多孔性のセラミック型材料を得ることができる。

【００２６】

組み立て過程もまた、基板上に様々な材料を導入し、反応させ、そして基板上にセラミックを形成する沈着技術を用いて作製することができる。

【００２７】

上述の通り他の実施形態においては、同位体生成のためのターゲットの製造方法は、それ自体がいわゆる「多孔性陽極アルミナ」（ＰＡＡ）膜の形成によって知られている、陽極酸化として知られた方法に基づく。この陽極酸化法においては、多孔性の酸化膜が酸電解質中に浸された陽極の金属板上に成長する。この方法は多孔性の酸化膜中の隣り合った孔の間隔を７００ｎｍより小さく、好ましくは５００ｎｍより小さく、およびもっとも好

ましくは１５０ｎｍより小さくするために行われる。好ましい酸化膜はAl_2O_3から形成され、また同様の方法をY_2O_3、ZrO_2またはHfO_2に対しても適用することができる。酸電解質は好ましくは、硫酸、シュウ酸およびリン酸のうちの１つを含んでなる。

【００２８】

好ましくは、陽極酸化による酸化膜成長の後にはアニーリングの工程が行われ、ここでのアニーリング温度は好ましくは１２７０°Ｃより低く、もっとも好ましくは１２２０°Ｃより低い。アニーリングにより、そのナノ構造を保持しながら安定化材料を得るために、酸化物はアモルファス相から結晶相に変化され得る。

【図面の簡単な説明】

【００２９】

【図１】３６のろう付け用金属－セラミック複合体のペレットを含んでなる、ターゲットアセンブリの概略断面図である。

【図２】ペレットを形成しているＮｂ－箔およびAl_2O_3セラミックディスクのろう付接合面を示す、ＳＥＭ断面像である。

【発明を実施するための形態】

【００３０】

本発明の原理の理解を促す目的で、好ましい実施形態に関して言及し、これを記載するために特定の語を使用するが、これらによって、本発明の範囲が限定されるものではなく、本発明が属する分野の当業者は、本明細書において説明した産物および方法における変更およびさらなる改変、並びに、本明細書において説明した原理を、現在または今後、通常生じると予測されるものへ適用できることが理解されよう。

【００３１】

１．冷間一方向プレスによる合成

ある実施形態においては、多孔性のAl_2O_3ターゲット材は、バイコウスキー（フランス）から市販されている「ＣＲ－Ｂｌ０５」型のナノ粒子遷移アルミナ粉末（$\gamma-Al_2O_3$）を１ｇ計量すること、および、それを直径２０ｍｍのステンレス製の円筒形ダイス中に供給することから得ることができる。粉末を８ＭＰａの圧力で冷間一方向プレスによって加圧し、その後、減圧下、１４００℃で一日熱処理する。最終的に得られたこの材料のかさ密度は１．８３ｇ／ｃｍ^3、および比表面積は２．２ｍ^2／ｇであった。

【００３２】

他の実施形態においては、ターゲット材は、同じ粉末の熱間等方加圧接合法によって製造することができる。熱間等方加圧接合法は好ましくは１２００℃から１３００℃の間で行われる。この温度を選択した理由は以下の通りである。第一に、$\gamma-Al_2O_3$のよく結晶化した$\alpha-Al_2O_3$への構造変化は約１２００℃で起こる。また、最大１２００℃の温度では、粒成長がまだ緩慢である間に材料の緻密化が急速に進む。１２００℃を超えると、結晶粒粗大化による緻密化がおこり、そして１３００℃を超える高温では、緻密化は結晶粒粗大化のみによって進む。従って、１２００℃から１３００℃の間での熱間等方加圧接合法により、グレインの構造をまだナノメーター単位に保持しながら、緻密化および焼結の両方を行うことができる。

【００３３】

いずれの例においても、緻密化挙動及び微細構造発達は、より低い温度での緻密化を可能にし、α－アルミナへ変化する温度を下げ、そして結晶粒成長を減少させる、ドープ剤の添加によって制御することができる。ドープ剤としては、酸化バリウム、並びにマグネシウム、イットリウム、ジルコニウム、ランタン、セリウム、ネオジムおよびイッテルビウムの窒化物溶液が適している。適したドープ剤のレベルは１００から１０００ｐｐｍの間である。

【００３４】

２．泥しょう鋳込成形による合成

他の実施形態においては、ナノ構造材料は泥しょう鋳込成形によって製造される。泥し

ょう鋳込成形においては、スラリーを特定の形を有する透過性の型中に注入またはポンプを用いて流入させる。毛管吸引力およびろ過によって、固体を型の壁に隣接した鋳型中に集める。室温での長期の乾燥過程の後、試料にプログラムされた焼成工程を実施する。

【００３５】

好ましい実施形態においては、分散剤中にアルミナ（Al_2O_3）粉末を分散させること、および微小球を添加することによって泥しょう鋳込成形懸濁液を準備する。特定の実施形態においては、アルミナ粉末の分散剤は、Ａｃｒｏｓ　Ｏｒｇａｎｉｃｓから入手できる分子量２００ｇ／ｍｏｌｅのポリアクリル酸（ＰＡＡ）の、濃度６重量％水溶液と共に調整した。得られた産物中にオープン構造を生じる大きな規則的間隔の孔を生成するために、微小球を添加した。

【００３６】

特定の実施形態においては、２種類の異なる微小球、即ち、第一の型は直径が０．９５μｍ～１．１０μｍ、密度が１．０５９ｇ／ｃｍ^{3}のカルボキシル化ポリスチレンラテックス（ＰＳ）微小球（Ｅｓｔａｐｏｒ－Ｋｌ　１００機能性微小球）であり、第二の型は直径５０μｍ～１００μｍ、密度が１．２２ｇ／ｃｍ^{3}のポリメチルメタクリレート（ＰＭＭＡ）機能性高分子粒子、が使用された。得られた孔はランダムであり、しかしトポロジーは高い透過性に寄与する、長く、ロッド型のトンネル状のものであった。

【００３７】

ＰＭＭＡ微小球は強力な高分子ネットワークを形成し、コロイド状特性およびそれによって固めた素地の強度を決定する。一方、室温においては水に不溶性なＰＳ機能性微小球は、スラリーの粘性および泡沫状スラリーの安定性を上昇させる。また、ＰＳ－微小球は孔の間に結合性を導入する孔の形成剤としても機能し、それによって開放気孔率が上昇する。スラリー中のＰＭＭＡおよびＰＳ－機能性微小球の割合を制御することによって、所望の微細構造を得るための鋳型本体の特性を制御することが可能である。詳細については、Paul Bowenら, Colloidal Processing and Sintering of Nano-Sized Transition Aluminas, Powder Technology, 157, (2005), 100-107を参照のこと。

【００３８】

泥しょう鋳込成形は、直径２０ｍｍ、および深さ約２０ｍｍの円筒形ゴム型中で行われた。

【００３９】

特定の実施形態においては、Al_2O_3が用いられたが、この他に、ZrO_2またはY_2O_3を使用することもできる。特にジルコニウムおよび酸化イットリウムターゲットは、それらがＨｅ、Ｎｅ、Ｓ、Ａｒ、Ｃｒ、Ｃｏ、Ｎｉ、Ｃｕ、Ｚｕ、Ｇａ、Ｇｅ、Ａｓ、Ｂｒ、ＫｒおよびＴｅなど様々な同位体の純粋なビームを提供することから、特に興味深い。

【００４０】

３．陽極酸化によるターゲットの形成

他の実施形態においては、微細構造を有するターゲット材が「陽極酸化」と呼ばれる電気化学的過程によって形成される。この方法においては、酸電解質に浸された金属板、好ましくはアルミニウム、上にAl_2O_3が成長する。

【００４１】

当該分野において周知の通り、この陽極酸化過程においては、それぞれのセル中に中心孔を有するセル構造をもつ酸化物が成長する。セルおよび孔の密度は浴組成、温度および電圧に依存し、しかし最終産物は常に細孔密度が非常に高いものである。セルの直径は通常３０～３００ｎｍの範囲であり、そして孔の直径は、典型的にはセルの直径の３分の１ないし半分である。このように、陽極酸化によってもナノ構造材料を得ることができる。

【００４２】

好ましい実施形態においては、ナノメーター単位の孔を有する陽極酸化アルミニウム膜が形成された後、ナノメーター単位の孔の構造を保持しながらアモルファス相を結晶相に転移するアニーリング処理が行われた。重ねて言うと、このようなナノメーター単位の孔

の構造は、より短い同位体の拡散時間とそれによる短縮された出力時間を提供する、ナノ構造材料の例である。

【００４３】

４．化合物ターゲットの形成

好ましい実施形態においては、上述の方法の１つから得られるナノ構造材料は金属箔に付着している。その熱伝導性により、金属箔はナノ構造材料から熱を拡散することを可能にし、そしてターゲット操作中の過剰な熱によるナノ構造の焼結および結晶粒粗大化を予防することを可能にする。従って、ターゲットのナノ構造は操作中も保持され得る。

【００４４】

好ましい実施形態においては、ナノ構造材料は、ナノ構造を有するAl_2O_3であり、そして金属箔はＮｂ－箔から作られるものである。Al_2O_3とニオブの熱膨張係数が近似しており接合界面の熱応力が実質的になくなるため、Al_2O_3およびニオブの組み合わせが好ましい。また、ニオブとアルミナは化学的に代替可能なため、真空中で接合した場合に化学反応層のない界面を生じる。

【００４５】

特定の実施形態においては、ナノ構造を有するAl_2O_3材料は、上記第１節に記載した方法によって得られたペレットの形状のものであり、金属箔は０．５ｍｍの厚さのニオブ箔であった。Al_2O_3－ペレットは、ろう付け充填活性材として０．１ｍｍチタン合金（ＴＡ６Ｖ）を用いてＮｂ－箔ろう付けされた。

【００４６】

ろう付けの代わりに、Al_2O_3－ペレットを固体拡散によって、または、ねじ、クランプもしくは嵌合い連結を用いた機械的結合によって金属箔に付着させることもできる。

【００４７】

図１は、金属－セラミック複合材にろう付けされた３６のペレット１２を含んでなるターゲットアセンブリ１０全体の断面図を示す。それぞれのペレット１２は、Ｎｂ金属箔１６の反対側に接合した２つのAl_2O_3ナノ構造を有するセラミックディスク１４を含んでなる。示した実施形態においては、それぞれのAl_2O_3ディスクの厚さは１ｍｍであり、Ｎｂ－箔の厚さは０．５ｍｍである。図１には示していないが、Al_2O_3－ペレット１４は、０．１ｍｍの厚さのチタン合金層をろう付け材料としてＮｂ－箔にろう付けされる。好ましい実施形態においては、チタン合金は９０％Ｔｉ、６％Ａｌおよび４％Ｖを含んでなるＴＡ６Ｖ合金である。

【００４８】

図２は、電子後方散乱回折（ＥＢＳＤ）解析装置を用いて得られた、ペレットろう付接合面の走査電子顕微鏡（ＳＥＭ）像を示す。図２においては、Ｎｂ－箔およびナノ構造を有するAl_2O_3セラミックとの間に位置するＴＡ６Ｖろう付接合面層１８をはっきりと見ることができる。

【００４９】

本明細書においては、好ましい実施形態の例が示され詳細に説明されているが、これらは本発明を限定するものでなく、純粋に例として位置づけられるべきである。この点に関しては実施形態の好ましい例のみが示され説明されているが、本発明の保護範囲内で現在または将来予期される、全ての変形および改変も保護される。

【図１】

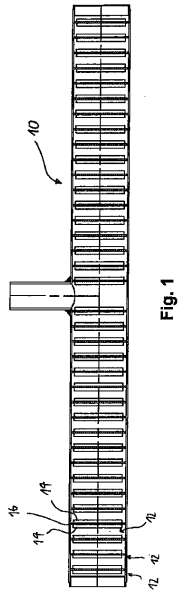

Fig. 1

【図２】



Fig. 2

フロントページの続き

(74)代理人 100111730
弁理士 伊藤 武泰
(74)代理人 100120617
弁理士 浅野 真理
(72)発明者 ティエリー、ストラ
フランス国トワリー、アンプ、レ、コトー、ド、ベズナ、１５９
(72)発明者 サンドリーナ、フェルナンデス、ダ、ビシタカオ
ポルトガル国ベルモンテ、カルバルハル、フォルモソ、キンタ、ド、カロコ
(72)発明者 セルジュ、マト
フランス国トワリー、リュ、デ、セプ、１５１
(72)発明者 ポール、ボーエン
スイス国ローザンヌ、アブニュ、ド、ラ、アルプ、１５

審査官 藤本 加代子

(56)参考文献 J.M. Macak et. al., On wafer TiO2 nanotube-layer formation by anodization of Ti-films on Si, Chemical Physics Letters, NL, Elsevier B.V., ２００６年 7月 4日, Volume 428, Issues 4-6, Pages 421-425
G.D. Alton et. al., A new method for infiltration coating complex geometry matrices with compound materials for ISOL production target applications , Nuclear Instruments and Methods in Physics Research A, NL, Elsevier B.V., ２００４年 3月２１日, Volume 521, Issue 1, Pages 108-125

(58)調査した分野(Int.Cl., ＤＢ名)
Ｈ０５Ｈ 6／００
Ｇ２１Ｇ 1／１０
Ｃ０４Ｂ ３７／０２
ＪＳＴＰｌｕｓ（ＪＤｒｅａｍＩＩＩ）