

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2011-236484

(P2011-236484A)

(43) 公開日 平成23年11月24日(2011.11.24)

(51) Int. Cl.	F I	テーマコード (参考)
C 2 2 C 9/00 (2006.01)	C 2 2 C 9/00	2 G 0 8 5
H 0 5 H 7/14 (2006.01)	H 0 5 H 7/14	
C 2 2 F 1/08 (2006.01)	C 2 2 F 1/08 A	
C 2 2 F 1/00 (2006.01)	C 2 2 F 1/00 6 2 6	
	C 2 2 F 1/00 6 6 0 Z	

審査請求 未請求 請求項の数 9 O L (全 15 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号 特願2010-110454 (P2010-110454)
 (22) 出願日 平成22年5月12日 (2010.5.12)

(71) 出願人 000006264
 三菱マテリアル株式会社
 東京都千代田区大手町一丁目3番2号
 (71) 出願人 899000057
 学校法人日本大学
 東京都千代田区九段南四丁目8番24号
 (71) 出願人 504151365
 大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構
 茨城県つくば市大穂1番地1
 (74) 代理人 100064908
 弁理士 志賀 正武
 (74) 代理人 100108578
 弁理士 高橋 詔男

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 粒子加速器用銅材料、粒子加速器用銅管及び粒子加速器用銅管の製造方法、並びに、粒子加速器

(57) 【要約】

【課題】製造コストが比較的廉価であって入手が容易な高純度銅(6NCu)をベースとして、残留抵抗比(RRR)が大きく、極低温環境下で安定して使用することが可能な粒子加速器用銅材料、この粒子加速器用銅材料からなる粒子加速器用銅管及びこの粒子加速器用銅管の製造方法、並びに、粒子加速器を提供する。

【解決手段】粒子加速器において使用される粒子加速器用銅材料であって、ガス成分を除いたCuの純度が99.9999質量%以上99.99999質量%未満とされ、Feの含有量が0.1ppm未満、Pの含有量が0.1ppm未満、Alの含有量が0.1ppm未満、Asの含有量が0.1ppm未満、Snの含有量が0.1ppm未満及びSの含有量が0.1ppm未満とされており、残留抵抗比が3000以上とされていることを特徴とする。

【選択図】なし

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

粒子加速器において使用される粒子加速器用銅材料であって、
ガス成分を除いたCuの純度が99.9999質量%以上99.99999質量%未満とされ、

Feの含有量が0.1ppm未満、Pの含有量が0.1ppm未満、Alの含有量が0.1ppm未満、Asの含有量が0.1ppm未満、Snの含有量が0.1ppm未満及びSの含有量が0.1ppm未満とされており、

残留抵抗比が3000以上とされていることを特徴とする粒子加速器用銅材料。

【請求項 2】

Feの含有量が0.01ppm未満、Pの含有量が0.01ppm未満、Alの含有量が0.01ppm未満、Asの含有量が0.01ppm未満、Snの含有量が0.01ppm未満及びSの含有量が0.05ppm未満とされており、

残留抵抗比が5000以上とされていることを特徴とする請求項1に記載の粒子加速器用銅材料。

【請求項 3】

粒子加速器の粒子加速管あるいは粒子減速管として使用される粒子加速器用銅管であって、

請求項1または請求項2に記載の粒子加速器用銅材料によって構成されたことを特徴とする粒子加速器用銅管。

【請求項 4】

請求項3に記載された粒子加速器用銅管を製造する粒子加速器用銅管の製造方法であって、

製品形状に加工する加工工程と、この加工工程の後に400以上融点未満で1時間以上の熱処理を行う熱処理工程と、を備えていることを特徴とする粒子加速器用銅管の製造方法。

【請求項 5】

粒子ビームを加速する粒子加速管と、加速された粒子ビームを用いて電磁波を発生させる電磁波発生器と、この電磁波発生器を通過した粒子ビームを減速する粒子減速管と、この粒子減速管を通過した粒子ビームを吸収するビームダンプと、前記粒子加速管及び前記

粒子減速管を冷却する冷却器と、を備えた粒子加速器であって、
請求項3に記載された粒子加速器用銅管を、前記粒子加速管及び前記粒子減速管として使用することを特徴とする粒子加速器。

【請求項 6】

前記粒子加速管と前記粒子減速管とを接続する導波管を備え、前記粒子減速管で回収された高周波電力を前記粒子加速管に供給する構成とされており、

この導波管が、請求項1または請求項2に記載された粒子加速器用銅材料で構成されていることを特徴とする請求項5に記載の粒子加速器。

【請求項 7】

前記粒子加速管、前記粒子減速管および前記導波管を収納する断熱真空容器を備えることを特徴とする請求項6に記載の粒子加速器。

【請求項 8】

前記粒子加速管の長さと前記粒子減速管の長さが同一とされていることを特徴とする請求項6または請求項7に記載の粒子加速器。

【請求項 9】

前記粒子加速管及び前記粒子減速管は、接続部材を介して前記冷却器に接続されており、この接続部材が、請求項1または請求項2に記載された粒子加速器用銅材料で構成されていることを特徴とする請求項5から請求項8のいずれか一項に記載の粒子加速器。

【発明の詳細な説明】**【技術分野】**

10

20

30

40

50

【 0 0 0 1 】

この発明は、例えば、実験設備や医療設備として利用されている粒子加速器において使用される粒子加速器用銅材料、この粒子加速器用銅材料からなる粒子加速器用銅管及び粒子加速器用銅管の製造方法、並びに、粒子加速器に関するものである。

【 背景技術 】

【 0 0 0 2 】

前述の粒子加速器においては、筒状に形成された粒子加速管に高周波高電界を付加し、粒子加速管内を通過する粒子（例えば電子）を加速し、加速した粒子を、例えばSi単結晶等に照射することによって電磁波（例えばX線）を発生させ、この電磁波を利用して、診断・治療を行う構成とされている。

10

特に、電子ビームを100MeV程度まで加速し、シリコン単結晶またはダイヤモンド単結晶に衝突させることによって得られる空間干渉X線は、単色光でX線の位相が揃っていることから、内臓などの軟組織の内部構造の鮮明な画像を撮像することが可能となり、医療用の診断に有益である。また、空間干渉X線は、集束が可能であることから、照射する物体の内部にエネルギーピークを位置させることが可能となるため、がん治療等に利用することができる。

【 0 0 0 3 】

ここで、上述の粒子加速器においては、粒子加速管には高周波高電界を付加することから、高周波電流が流れることになり、電気抵抗の高い素材で構成されていた場合には、ジュール熱による温度上昇が発生してしまうことになる。

20

【 0 0 0 4 】

従来では、例えば特許文献1、2に示すように、超伝導材料で構成された粒子加速管が提供されていた。しかしながら、超伝導材料で構成された粒子加速管を用いる場合には、例えば2Kといった絶対零度近くに冷却する必要があることから、粒子加速器の設備構成が大きくなってしまったといった問題があった。

また、超伝導材料で構成された粒子加速管を用いた場合には、例えば5GHzといった高周波電力を付加した際には電力損失が発生することになるため、付加する高周波電力を3GHz以下とする必要がある。また、上述のように、例えば空間干渉X線を発生させるために、電子ビームを100MeV程度まで加速させるためには、粒子加速管を長くする必要があり、やはり、粒子加速器の設備構成が大きくなってしまったといった問題があった。

30

【 0 0 0 5 】

そこで、例えば特許文献3、4に示すように、常伝導材料である銅によって構成された粒子加速管が提供されている。

ここで、低温状態での電気抵抗を評価する指標として、残留抵抗比(RRR)が用いられる。この残留抵抗比(RRR)は、室温(300K)での電気比抵抗を $_{300}$ とし、液体ヘリウム温度(4.2K)での電気比抵抗を $_{4.2}$ とした場合に、下記式で定義されるものである。

$$R R R = \frac{{}_{300}}{4.2}$$

この残留抵抗比(RRR)が大きいほど、極低温環境下での電気抵抗が低くなることから、粒子加速管として特に適していることになる。

40

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 0 6 】

【 特許文献 1 】 特開昭 6 4 - 0 0 7 5 0 0 号 公 報

【 特許文献 2 】 特開平 0 3 - 2 0 8 3 0 0 号 公 報

【 特許文献 3 】 特開 2 0 0 4 - 1 5 6 0 9 0 号 公 報

【 特許文献 4 】 特開平 0 9 3 1 6 5 6 8 号 公 報

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

50

【 0 0 0 7 】

ところで、純度が 99.99 質量%以上 99.999 質量%未満の一般的な純銅 (4 N C u) においては、残留抵抗比 (R R R) は 1000 以下であった。

純銅系材料において残留抵抗比 (R R R) が 1000 以下の場合、例えば 20 K 以下の極低温環境下での電気抵抗が十分に低くないため、粒子加速管に高周波高電界を付加した際に、ジュール熱が発生して粒子加速管の温度が上昇し、極低温状態が維持されなくなってしまう。すると、さらに粒子加速管の電気抵抗が大きくなってジュール熱が発生して、さらに粒子加速管の温度が上昇することになり、安定して粒子を加速することができなくなってしまう。

特に、がん治療用の粒子加速器においては、さらに高い電圧が粒子加速管に付加されるため、残留抵抗比 (R R R) が 1000 以下である 4 N C u からなる粒子加速管を用いることができなかった。

10

【 0 0 0 8 】

また、4 N C u からなる粒子加速管においては、無負荷利得係数 Q が低いために高周波電力損失が大きく、粒子を効率良く加速させることができなかった。

さらに、4 N C u によって粒子ビームを減速させる粒子減速管を構成しても、やはり高周波電力の損失が大きいことから、粒子ビームを十分に減速することができず、ビームダンプに粒子ビームを吸収させる際に、中性子等の 2 次粒子が発生することになる。よって、この 2 次粒子を遮蔽するための設備が必要となり、粒子加速器の設備構成が大きくなってしまふといった問題があった。

20

【 0 0 0 9 】

また、純度が 99.9999 質量%以上 99.99999 質量%未満の高純度銅 (6 N C u) を用いることが考えられるが、単に不純物を 1 p p m 以下とした 6 N C u では、残留抵抗比 (R R R) が 2500 程度であり、十分とはいえなかった。

ここで、純度が 99.99999 質量%以上 99.999999 質量%未満の超高純度銅 (7 N C u) であれば、残留抵抗比 (R R R) が 5000 を超えることから、粒子加速管及び粒子減速管を構成する材料として非常に適している。しかしながら、7 N C u は、製造プロセスが複雑であるため、コストが非常に高く一般的に使用することは困難であった。

30

【 0 0 1 0 】

この発明は、前述した事情に鑑みてなされたものであって、製造コストが比較的廉価であって入手が容易な高純度銅 (6 N C u) であっても、残留抵抗比 (R R R) が比較的大きく、極低温環境下で高周波高電界を付加しても安定して使用することが可能な粒子加速器用銅材料、この粒子加速器用銅材料からなる粒子加速器用銅管及びこの粒子加速器用銅管の製造方法、並びに、粒子加速器を提供することを目的とする。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 1 】

この課題を解決するために、本発明者らは鋭意研究を行った結果、高純度銅 (6 N C u) であっても、特定の元素の含有量を制御することによって、残留抵抗比 (R R R) を大きくすること、すなわち、低温環境下での電気抵抗を小さくすることが可能であるとの知見を得た。

40

【 0 0 1 2 】

本発明は、かかる知見に基いてなされたものであって、本発明に係る粒子加速器用銅材料は、粒子加速器において使用される粒子加速器用銅材料であって、ガス成分を除いた C u の純度が 99.9999 質量%以上 99.99999 質量%未満とされ、F e の含有量が 0.1 p p m 未満、P の含有量が 0.1 p p m 未満、A l の含有量が 0.1 p p m 未満、A s の含有量が 0.1 p p m 未満、S n の含有量が 0.1 p p m 未満及び S の含有量が 0.1 p p m 未満とされており、残留抵抗比が 3000 以上とされていることを特徴としている。

【 0 0 1 3 】

50

このような構成とされた本発明の粒子加速器用銅材料においては、Cuの純度が99.9999質量%以上99.99999質量%未満とされた6NCuにおいて、Feの含有量を0.1ppm未満、Pの含有量を0.1ppm未満、Alの含有量を0.1ppm未満、Asの含有量を0.1ppm未満、Snの含有量を0.1ppm未満及びSの含有量を0.1ppm未満と、Fe, P, Al, As, Sn, Sの含有量をそれぞれ規定することにより、残留抵抗比(RRR)を3000以上とすることが可能となる。

よって、例えば20K以下の極低温環境下において電気抵抗が十分に低くなるため、この粒子加速器用銅材料に対して高周波高電界を付加した場合でも、ジュール熱の発生を抑制することが可能となる。また、無負荷利得係数Qが高く高周波電力損失が抑えられるため、粒子を効率良く加速、減速させることができ、粒子加速器自体を小型化することが可能となる。

10

【0014】

ここで、Feの含有量が0.01ppm未満、Pの含有量が0.01ppm未満、Alの含有量が0.01ppm未満、Asの含有量が0.01ppm未満、Snの含有量が0.01ppm未満及びSの含有量が0.05ppm未満とされており、残留抵抗比が5000以上とされていることが好ましい。

この場合、Feの含有量を0.01ppm未満、Pの含有量を0.01ppm未満、Alの含有量を0.01ppm未満、Asの含有量を0.01ppm未満、Snの含有量を0.01ppm未満及びSの含有量を0.05ppm未満とそれぞれ規定することによって、残留抵抗比を5000以上とすることが可能となる。すなわち、6NCuであっても、7NCuと同等の残留抵抗比を得ることができるのである。

20

よって、例えば20K以下の極低温環境下において電気抵抗がさらに低くなるため、この粒子加速器用銅材料に対して高周波高電界を付加した場合でも、ジュール熱の発生を確実に抑制することが可能となる。また、無負荷利得係数Qが高く高周波電力損失が抑えられるため、粒子をさらに効率良く加速、減速させることができ、粒子加速器自体を小型化することが可能となる。さらに、製造が困難な7NCuに比べて、製造コストを大幅に削減することができる。

【0015】

本発明に係る粒子加速器用銅管は、粒子加速器の粒子加速管あるいは粒子減速管として使用される粒子加速器用銅管であって、前述の粒子加速器用銅材料によって構成されたことを特徴としている。

30

この構成の粒子加速器用銅管においては、粒子加速器の粒子加速管あるいは粒子減速管として使用されるものであり、例えば20K以下の極低温環境下で高周波高電界を付加しても、ジュール熱がほとんど発生せず温度上昇が抑制されるため、安定して粒子を加速させることが可能となる。また、無負荷利得係数Qが高く高周波電力損失が抑えられるため、粒子を効率的に加速、減速させることができる。

【0016】

本発明に係る粒子加速器用銅管の製造方法は、前述の粒子加速器用銅管を製造する粒子加速器用銅管の製造方法であって、製品形状に加工する加工工程と、この加工工程の後に400以上融点未満で1時間以上の熱処理を行う熱処理工程と、を備えていることを特徴としている。

40

この構成の粒子加速器用銅管の製造方法においては、製品形状に加工した後に、400以上融点未満、望ましくは材料の変形の少ない1000以下、で1時間以上の熱処理を行うことから、加工により粒子加速器用銅材料に蓄積された歪みを、熱処理工程によって解放することができ、残留抵抗比(RRR)を大きくすることが可能となる。

【0017】

本発明に係る粒子加速器は、粒子ビームを加速する粒子加速管と、加速された粒子ビームを用いて電磁波を発生させる電磁波発生器と、この電磁波発生器を通過した粒子ビームを減速する粒子減速管と、この粒子減速管を通過した粒子ビームを吸収するビームダンプと、前記粒子加速管及び前記粒子減速管を冷却する冷却器と、を備えた粒子加速器であっ

50

て、前述の粒子加速器用銅管を、前記粒子加速管及び前記粒子減速管として使用することを特徴としている。

【0018】

この構成の粒子加速器によれば、粒子ビームを加速する粒子加速管と粒子ビームを減速する粒子減速管とが、前述の粒子加速器用銅管で構成されていることから、粒子ビームの加速及び減速を効率的に行うことができ、粒子加速器自体を小型化することが可能となる。また、粒子減速管において、粒子ビームが十分に減速されていることから、粒子減速管を通過した粒子ビームをビームダンプに吸収させた際に、中性子等の2次粒子の発生が抑制されることになり、遮蔽設備を簡素化することができる。さらに、粒子加速管及び粒子減速管を構成する6Nc uからなる粒子加速器用銅材料は、内部からのガス放出が抑制されるため、粒子加速管及び粒子減速管の周囲を、比較的容易に真空雰囲気とすることが可能となる。

10

【0019】

ここで、前記粒子加速管と前記粒子減速管とを接続する導波管を備え、前記粒子減速管で回収された高周波電力を前記粒子加速管に供給する構成とされており、この導波管が、前述の粒子加速器用銅材料で構成されていることが好ましい。

この場合、前記粒子加速管と前記粒子減速管とを接続する導波管が、残留抵抗比が3000以上とされた6Nc uからなる粒子加速器用銅材料で構成されているので、前記粒子減速管で回収された高周波電力を前記粒子加速管に供給する際の損失を抑制することができ、回収された高周波電力を確実に再利用することができ、エネルギー使用量を大幅に低減することができる。

20

【0020】

また、前記粒子加速管、前記粒子減速管および前記導波管を収納する断熱真空容器を備えることが好ましい。

粒子加速管、粒子減速管および導波管を同一の断熱真空容器に収納し、極低温に冷却することで高周波電力損失を減らし、高周波電力を確実に再利用できる。同時に、断熱真空容器を一体化することで小型化でき、効率的に冷却できる。

【0021】

また、前記粒子加速管の長さと同記粒子減速管の長さが同一とされていることが好ましい。

30

この場合、粒子減速管で回収した高周波電力を、効率的に粒子加速管に供給することができ、エネルギーロスを抑制することができる。

【0022】

さらに、前記粒子加速管及び前記粒子減速管は、接続部材を介して前記冷却器に接続されており、この接続部材が、前述の粒子加速器用銅材料で構成されていることが好ましい。

この場合、冷却器と前記粒子加速管及び前記粒子減速管を接続する接続部材は、残留抵抗比が3000以上とされた6Nc uからなる粒子加速器用銅材料で構成されていることから、熱伝導性に優れている。よって、前記粒子加速管及び前記粒子減速管を効率的に冷却することが可能となり、冷却器の構成を簡略化することができる。

40

【発明の効果】

【0023】

本発明によれば、製造コストが比較的廉価であって入手が容易な高純度銅(6Nc u)であっても、残留抵抗比(RRR)が比較的大きく、極低温環境下で高周波高電界を付加しても安定して使用することが可能な粒子加速器用銅材料、この粒子加速器用銅材料からなる粒子加速器用銅管及びこの粒子加速器用銅管の製造方法、並びに、粒子加速器を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0024】

【図1】本発明の実施形態である粒子加速器の概略説明図である。

50

【図 2】本発明の実施形態である粒子加速器用銅管からなる粒子加速管（粒子減速管）の使用状態を示す説明図である。

【図 3】本発明の実施形態である粒子加速器用銅材料からなる粒子加速器用銅管の製造方法を示すフロー図である。

【図 4】図 3 に示す拡散接合工程において接合される構成部材の説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0025】

以下に、本発明の実施形態である粒子加速器用銅材料、粒子加速器用銅管及び粒子加速器用銅管の製造方法、並びに、粒子加速器について説明する。

まず、図 1 を用いて、本実施形態である粒子加速器 10 について説明する。

この粒子加速器 10 は、電子ビーム 18 を発射する電子銃 11 と、電子ビーム 18 を加速する粒子加速管 20 と、加速された電子ビーム 18 を用いて空間干渉 X 線 19 を発生させる X 線発生器 12 と、この X 線発生器 12 を通過した電子ビーム 18 を減速する粒子減速管 30 と、粒子減速管 30 を通過した電子ビーム 18 を吸収するビームダンプ 13 と、粒子加速管 20 と粒子減速管 30 とを接続する導波管 14 と、粒子加速管 20 及び粒子減速管 30 に向けて高周波電力を供給する高周波電源 15 と、導波管 14 と高周波電源 15 とを接続する方向性結合器 16 と、を備えている。

【0026】

この粒子加速器 10 においては、粒子加速管 20 に対して約 5 . 7 GHz の高周波電力が付加されており、電子銃 11 から発射された電子ビーム 18 を、粒子加速管 20 によって、例えば 100 MeV にまで加速されることになる。加速された電子ビーム 18 は、X 線発生器 12 へと導入され、シリコンやカーボンの単結晶に衝突させられる。すると、X 線発生器 12 からは、空間干渉 X 線 19 が発生することになる。そして、X 線発生器 12 を通過した電子ビーム 18 は、粒子減速管 30 によって減速された後、ビームダンプ 13 に衝突されて吸収される。

ここで、粒子加速管 20 と粒子減速管 30 には、高周波電源 15 から方向性結合器 16 を通じて高周波が供給される。粒子加速管 20 によって、電子ビーム 18 に高周波電力が供給され、粒子減速管 30 によって、電子ビーム 18 から高周波電力が回収される。粒子減速管 30 で回収された高周波電力は、導波管 14 を通じて粒子加速管 20 に供給されることになる。

【0027】

なお、X 線発生器 12 から発生した空間干渉 X 線 19 は、単色光で X 線の位相が揃っていることから、内臓などの軟組織の内部構造の鮮明な画像を撮像することが可能であるため、医療診断等に利用できる。また、空間干渉 X 線 19 は、集束が可能であることから、物体内部にエネルギーピークを位置させることが可能となるため、がん治療等に利用できる。

【0028】

ここで、粒子加速管 20 及び粒子減速管 30 は、同一のサイズ（長さ、径）の粒子加速器用銅管で構成されており、この粒子加速器用銅管に付加される高周波電力と入射される電子ビーム 18 との位相により、電子ビーム 18 を加速、あるいは、減速させるものである。

粒子加速管 20 及び粒子減速管 30 は、図 2 に示すように、接続部材 21、31 を介して冷却器 25、35 に接続されており、例えば 20 K 以下といった極低温環境下で使用される構成とされている。

【0029】

そして、粒子加速管 20 及び粒子減速管 30 は、本実施形態である粒子加速器用銅材料によって構成されている。

この粒子加速管用銅材料は、ガス成分を除いた Cu の純度が 99 . 9999 質量% 以上 99 . 99999 質量% 未満とされた高純度銅（6N Cu）であり、不純物のうち、Fe の含有量が 0 . 1 ppm 未満、P の含有量が 0 . 1 ppm 未満、Al の含有量が 0 . 1 p

10

20

30

40

50

ppm未満、Asの含有量が0.1ppm未満、Snの含有量が0.1ppm未満及びSの含有量が0.1ppm未満に、規定されたものである。

【0030】

このようにして、ガス成分を除いたCuの純度が99.9999質量%以上99.9999999質量%未満とされた高純度銅(6NCu)であっても、特定の元素(Fe, P, Al, As, Sn, S)の含有量を規定することによって、その残留抵抗比(RRR)が3000以上に設定することが可能となる。

【0031】

ここで、本実施形態では、前述の不純物のうち、Feの含有量を0.01ppm未満、Pの含有量を0.01ppm未満、Alの含有量を0.01ppm未満、Asの含有量を0.01ppm未満、Snの含有量を0.01ppm未満及びSの含有量を0.05ppm未満に、規定している。これにより、その残留抵抗比(RRR)は5000以上に設定することが可能となる。

10

【0032】

なお、図1に示す粒子加速器10において、粒子加速管20と粒子減速管30とを接続する導波管14についても、本実施形態である粒子加速器用銅材料で構成されている。

さらに、冷却器25と粒子加速管20を接続する接続部材21、及び、冷却器35と粒子減速管30を接続する接続部材31についても、本実施形態である粒子加速器用銅材料で構成されている。

また、粒子加速管20、粒子減速管30および導波管14は、同一の断熱真空容器17に収納されている。

20

【0033】

以下に、粒子加速管20及び粒子減速管30を構成する粒子加速器用銅管の製造方法について、図3のフロー図を参照して説明する。

この粒子加速器用銅管の製造方法は、銅原料からガス成分を除いたCuの純度が99.9999質量%以上99.9999999質量%未満とされた高純度銅(6NCu)のインゴットを製造するインゴット製造工程S10と、このインゴットを機械加工によって最終形状品に成形する加工工程S20と、最終形状品に熱処理を行う熱処理工程S30と、を備えている。

【0034】

30

(インゴット製造工程S10)

まず、銅原料として、純度が99.99質量%以上99.9999質量%未満の純銅(4NCu)のカソードを準備する。この4NCuカソードを、電解液に溶解して電解処理を行う(電解工程S11)。この電解工程S11によって、純度が99.9999質量%以上99.9999999質量%未満の高純度銅(6NCu)のカソードを製出する。

次に、この6NCuカソードを溶解して銅溶湯を生成し、脱ガス処理等を行い、脱ガス処理が施された銅溶湯を鋳型に注湯して、所定形状のインゴットを製出する(溶解・鋳造工程S12)。

これら電解工程S11及び溶解・鋳造工程S12によって、不純物のうち、Feの含有量を0.01ppm未満、Pの含有量を0.01ppm未満、Alの含有量を0.01ppm未満、Asの含有量を0.01ppm未満、Snの含有量を0.01ppm未満及びSの含有量を0.05ppm未満に調整する。

40

【0035】

(加工工程S20)

得られたインゴットに対して、鍛造、圧延及び押出等の塑性加工を行う(1次加工工程S21)。

その後、機械加工によって構成部材を製作する(2次加工工程S22)。このとき、本実施形態では、図4に示すように、第一円筒状部材41と、第二円筒状部材42と、円板状部材43と、ブロック部材44と、が構成部材として製作されることになる。

そして、これらの構成部材(第一円筒状部材41、第二円筒状部材42、円板状部材4

50

3、ブロック部材44)を拡散接合することで、粒子加速管20及び粒子減速管30を構成する粒子加速器用銅管の形状をなす最終形状品を製出する(拡散接合工程S23)。

【0036】

(熱処理工程S30)

そして、製出された最終形状品に対して熱処理を行う。ここで、熱処理条件としては、温度を400以上融点未満、望ましくは材料の変形の少ない1000以下、時間を1時間以上に設定している。この熱処理工程S30によって、前述の加工工程S20の際に最終形状品に蓄積された歪みを解放する構成とされているのである。

【0037】

(仕上工程S40)

最後に、必要に応じて、熱処理工程S30によって最終形状品の表面に形成された酸化膜等を除去するために酸洗等を行う。

以上により、本実施形態である粒子加速器用銅材料で構成された粒子加速器用銅管(粒子加速管20及び粒子減速管30)が製出されることになる。

【0038】

このような構成とされた本実施形態である粒子加速器用銅材料、粒子加速器用銅管(粒子加速管20及び粒子減速管30)によれば、ガス成分を除いたCuの純度が99.999質量%以上99.99999質量%未満とされ、Feの含有量が0.1ppm未満、Pの含有量が0.1ppm未満、Alの含有量が0.1ppm未満、Asの含有量が0.1ppm未満、Snの含有量が0.1ppm未満及びSの含有量が0.1ppm未満、さらに本実施形態では、Feの含有量が0.01ppm未満、Pの含有量が0.01ppm未満、Alの含有量が0.01ppm未満、Asの含有量が0.01ppm未満、Snの含有量が0.01ppm未満及びSの含有量が0.05ppm未満とされており、その残留抵抗比が5000以上とされている。

【0039】

したがって、20K以下の極低温環境下において電気抵抗が十分に低くなるため、この粒子加速器用銅材料からなる粒子加速器用銅管(粒子加速管20及び粒子減速管30)に対して高周波高電界を付加した場合でも、ジュール熱の発生を抑制することが可能となる。よって、粒子加速管20及び粒子減速管30の温度上昇が抑制されるため、粒子加速器10を良好に稼働させることが可能となる。

また、従来以上に、粒子加速管20及び粒子減速管30に対して、高い電圧を付加することが可能となり、粒子加速器10の性能をさらに向上させることができる。

さらに、6NCuであるにもかかわらず、通常の7NCuと同等の残留抵抗比(5000以上)を得ることができるので、製造が困難な7NCuを使用する場合に比べて、粒子加速器用銅管(粒子加速管20及び粒子減速管30)の製造コストを大幅に削減することができる。

なお、Fe、P、Al、As、Sn及びSの含有量を抑えた本発明の粒子加速器用銅材料は、例えば、6Nカソードを、Fe、P、Al、As、Sn及びSの含有量が1ppm未満の坩堝を用い、脱酸素および脱硫処理を施した非酸化雰囲気中において溶解、凝固させることで得ることができる。

【0040】

また、無負荷利得係数Qが高く高周波電力損失が抑えられるため、粒子を効率良く加速及び減速させることができ、粒子加速器10自体を小型化することが可能となる。

詳述すると、Cuの純度が99.99質量%以上99.999質量%未満とされた4NCuからなる従来の粒子加速管及び粒子減速管においては、室温で使用した場合に無負荷利得係数Qが約1/10000であった。これに対して、本実施形態である粒子加速管20及び粒子減速管30においては、無負荷利得係数Qが約1/400000であって、高周波損失が1/40に低減されているのである。

【0041】

本実施形態に係る粒子加速器10によれば、粒子加速管20と粒子減速管30とが、残

10

20

30

40

50

留抵抗比が5000以上とされた6NCuで構成されているので、電子ビーム18の加速及び減速を効率的に行うことができ、粒子加速器10自体を小型化することが可能となる。

また、粒子減速管30において、電子ビーム18が十分に減速されていることから、粒子減速管30を通過した電子ビーム18をビームダンプ13に吸収させた際に、中性子等の2次粒子の発生が抑制されることになり、この粒子加速器10を遮蔽する設備を簡略化することが可能となる。具体的には、医療用レントゲン装置と同程度のX線が発生するのみであるため、通常の医療用レントゲン装置と同様に使用することが可能となる。詳述すると、粒子加速管20において100MeV程度まで加速された電子ビーム18を、粒子減速管30において1MeV程度まで減速することが可能となり、中性子等の2次粒子の発生を抑制することが可能となるのである。

10

さらに、粒子加速管20と粒子減速管30が、6NCuからなる粒子加速器用銅材料で構成されており、内部からのガス放出が抑制されるため、比較的容易に、粒子加速管20及び粒子減速管30の周囲を、比較的容易に真空雰囲気とすることが可能となる。

【0042】

さらに、本実施形態では、粒子加速管20と粒子減速管30とを接続する導波管14が、本実施形態である粒子加速器用銅材料で構成されているので、粒子減速管30で回収された高周波電力を粒子加速管20に供給する際の損失を抑制することができる。

また、加速管20および減速管30は、同一のサイズ(長さ、径)の粒子加速器用銅管で構成されているので、減速管30で回収した高周波電力を、効率的に加速管20に供給することができ、エネルギーロスを抑制することができる。

20

また、本実施形態では、粒子加速管20、粒子減速管30および導波管14は、同一の断熱真空容器17に収納されているので、極低温に冷却することで高周波電力損失を減らし、高周波電力を確実に再利用できる。同時に、断熱真空容器17を一体化することで小型化でき、効率的に冷却することができる。

【0043】

さらに、粒子加速管20及び粒子減速管30は、接続部材21、31を介して冷却器25、35に接続され、例えば20K以下といった極低温環境下で使用される構成とされており、この接続部材21、31が、熱伝導性に優れた本実施形態である粒子加速器用銅材料で構成されているので、粒子加速管20及び粒子減速管30を効率的に冷却することが可能となり、冷却器25、35の構成を簡略化することができる。

30

【0044】

本実施形態に係る粒子加速器用銅管(粒子加速管20及び粒子減速管30)の製造方法によれば、加工工程S20によって最終形状品を製出した後に、この最終形状品に対して400以上で1時間以上の熱処理を行うことから、加工工程S20によって最終形状品に蓄積された歪みを、確実に解放することができ、粒子加速器用銅管(粒子加速管20及び粒子減速管30)における残留抵抗比(RRR)を大きくすることができる。

【0045】

また、加工工程S20においては、構成部材(第一円筒状部材41、第二円筒状部材42、円板状部材43、ブロック部材44)を拡散接合することで、粒子加速管20及び粒子減速管30を構成する粒子加速器用銅管の形状をなす最終形状品を製出する拡散接合工程S23を備えているので、粒子加速器用銅管のサイズ、構造を比較的自由に設計することが可能となる。また、本実施形態である粒子加速器用銅材料を用いているので、構成部材(第一円筒状部材41、第二円筒状部材42、円板状部材43、ブロック部材44)同士を拡散接合によって強固に接合できるとともに、不純物の混入を確実に防止することができ、残留抵抗比(RRR)を大きくすることが可能となる。

40

【0046】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明はこれに限定されることはなく、その発明の技術的思想を逸脱しない範囲で適宜変更可能である。

例えば、本実施形態では、加工工程S20の後に、400以上で1時間以上保持する

50

熱処理工程 S 3 0 を備えたものとして説明したが、これに限定されることはなく、熱処理条件が異なってもよいし、熱処理を加工工程 S 2 0 後に行わなくてもよい。

【 0 0 4 7 】

また、粒子加速器用銅管（粒子加速管 2 0 及び粒子減速管 3 0 ）の形状や使用形態は、図 2 に示すものに限定されることはなく、粒子加速器に使用される粒子加速器用銅管（粒子加速管 2 0 及び粒子減速管 3 0 ）であればよい。

さらに、4 N C u のカソードを電解処理することによって 6 N C u のカソードを製出する構成として説明したが、これに限定されることはなく、他の方法によって、F e の含有量が 0 . 1 p p m 未満、P の含有量が 0 . 1 p p m 未満、A l の含有量が 0 . 1 p p m 未満、A s の含有量が 0 . 1 p p m 未満、S n の含有量が 0 . 1 p p m 未満及び S の含有量が 0 . 1 p p m 未満とされ、ガス成分を除いた C u の純度が 9 9 . 9 9 9 9 質量%以上 9 9 . 9 9 9 9 9 質量%未満とされた 6 N C u からなるインゴットを製出してもよい。

10

【実施例】

【 0 0 4 8 】

本発明の作用効果を確認すべく行った確認実験の結果について説明する。

< 本発明例 >

4 N C u カソードを原料として、電解処理を行うことによって、純度 9 9 . 9 9 9 9 質量%以上 9 9 . 9 9 9 9 9 質量%未満の超高純度（6 N C u ）のカソードを製出した。F e 、P 、A l 、A s 、S n 及び S の含有量が 1 p p m 未満のカーボン坩堝を用い、脱酸素および脱硫処理を施した A r 雰囲気中において、6 N C u カソードを溶解し、インゴット（直径 1 0 0 m m のピレット）を製出した。

20

得られたインゴットを、直径 1 . 0 m m 、長さ 1 0 0 m m の線に成形した後に、熱処理を施すことによって、表 1 に示す本発明例 1 ~ 1 0 の試料を作製した。

【 0 0 4 9 】

< 比較例 >

4 N C u カソードを原料として、電解処理を行うことによって、純度 9 9 . 9 9 9 9 9 質量%以上 9 9 . 9 9 9 9 9 9 質量%未満の超高純度（7 N C u ）のカソードを製出した。

そして、本発明例と同様の条件で 7 N C u のカソードを溶解して得られた銅溶湯に、元素を添加することによって、不純物の含有量を調整した各種のインゴット（直径 1 0 0 m m のピレット）を製出した。

30

得られたインゴットを、直径 1 . 0 m m 、長さ 1 0 0 m m の線に成形した後に、熱処理を施すことによって、表 1 に示す比較例 1 ~ 1 2 の試料を作製した。

【 0 0 5 0 】

前述のようにして得られた試料について、それぞれ各元素の含有量および残留抵抗比（R R R ）を測定した。測定結果を表 1 に示す。なお、各元素の含有量は、グロー放電質量分析により測定した。

【 0 0 5 1 】

【表 1】

	不純物量										熱処理条件			残留抵抗比 RRR
	Fe	P	Al	As	Sn	S	合計	純度	温度	時間	熱処理条件			
											温度	時間		
1	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.13	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	6400	
2	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.12	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	6500	
3	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.13	6N	500°C	0.5時間	500°C	0.5時間	3800	
4	0.03	0.04	0.05	0.02	0.03	<0.05	0.35	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	3300	
5	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.37	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	3600	
6	<0.01	0.04	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.28	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	3800	
7	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	<0.01	<0.05	0.31	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	3500	
8	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	<0.01	<0.05	0.28	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	3700	
9	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.04	<0.05	0.27	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	3700	
10	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.15	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	3100	
1	0.20	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.30	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	2100	
2	<0.01	0.30	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.50	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	2600	
3	<0.01	<0.01	0.20	<0.01	<0.01	<0.05	0.30	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	2800	
4	<0.01	<0.01	<0.01	0.20	<0.01	<0.05	0.30	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	2800	
5	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.30	<0.05	0.50	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	2800	
6	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.30	0.50	6N	500°C	3時間	500°C	3時間	1900	
7	3.00	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	3.20	5N	500°C	3時間	500°C	3時間	360	
8	1.00	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	0.10	1.30	5N	500°C	3時間	500°C	3時間	780	
9	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.13	6N	300°C	3時間	300°C	3時間	1500	
10	0.03	0.04	0.05	0.02	0.03	<0.05	0.35	6N	500°C	0.5時間	500°C	0.5時間	2100	
11	0.03	0.04	0.05	0.02	0.03	<0.05	0.35	6N	300°C	3時間	300°C	3時間	1200	
12	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.05	0.08	7N	500°C	3時間	500°C	3時間	6700	

10

20

30

40

【0052】

Feの含有量が0.1ppm未満、Pの含有量が0.1ppm未満、Alの含有量が0.1ppm未満、Asの含有量が0.1ppm未満、Snの含有量が0.1ppm未満及びSの含有量が0.1ppm未満とされた6NCuである本発明例1-10においては、残留抵抗比(RRR)がすべて3000を超えていた。

【0053】

特に、Feの含有量が0.01ppm未満、Pの含有量が0.01ppm未満、Alの含有量が0.01ppm未満、Asの含有量が0.01ppm未満、Snの含有量が0.

50

0.1 ppm未満及びSの含有量が0.05 ppm未満とされた6NCuである本発明例1、2においては、残留抵抗比(RRR)が6000を超えており、7NCuである比較例12と同等であった。

【0054】

一方、Fe, P, Al, As, Sn及びSのいずれかが、本発明の範囲から逸脱している比較例1-8においては、残留抵抗比RRRがすべて3000未満であって、低温環境下における電気抵抗が十分に低下していないことが確認された。

【0055】

また、本発明例2、本発明例3及び比較例9は、同一の組成のインゴットを加工し、加工後の熱処理条件(温度、時間)を変更したものである。これらを比較すると、加工後の熱処理時間を長くすることによって、残留抵抗比(RRR)が大きく向上することが確認される。また、熱処理温度を300とした比較例9では、残留抵抗比(RRR)が1500と低いままであった。

10

【0056】

さらに、本発明例4、比較例10及び比較例11は、同一の組成のインゴットを加工し、加工後の熱処理条件(温度、時間)を変更したものである。熱処理時間を0.5時間として比較例10では残留抵抗比(RRR)が2100、熱処理温度を300とした比較例11では、残留抵抗比(RRR)が1200であった。

【0057】

これらの結果から、熱処理時間を長くする、あるいは、熱処理温度を高くすることによって、加工の際に蓄積された歪みを確実に解放することができ、残留抵抗比(RRR)を大きくすることが可能であることが確認された。

20

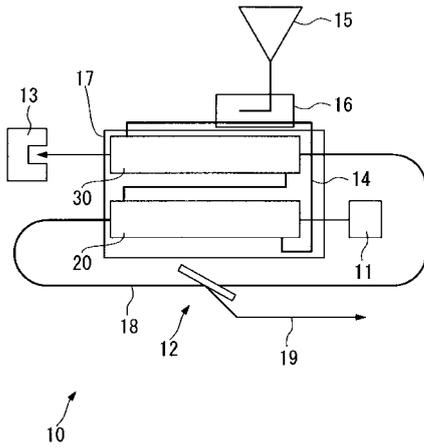
【符号の説明】

【0058】

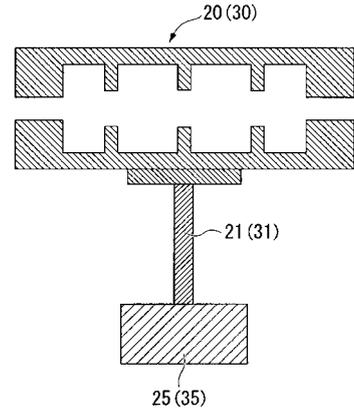
- 10 粒子加速器
- 12 X線発生器(電磁波発生器)
- 13 ビームダンプ
- 14 導波管
- 17 断熱真空容器
- 18 電子ビーム(粒子ビーム)
- 20 加速管(粒子加速器用銅管)
- 30 減速管(粒子加速器用銅管)
- 21、31 接続部材
- 25、35 冷却器
- S20 加工工程
- S23 拡散接合工程
- S30 熱処理工程

30

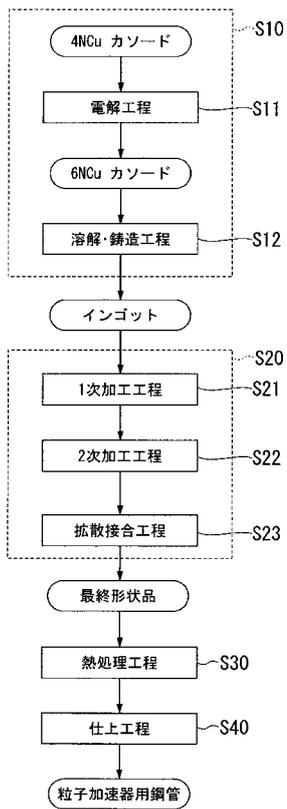
【図1】



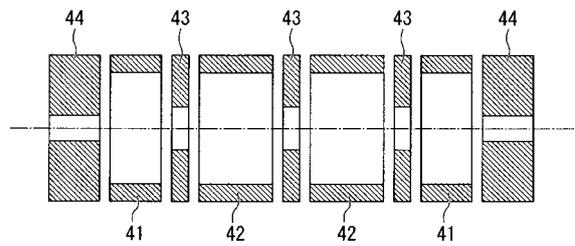
【図2】



【図3】



【図4】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.	F I	テーマコード(参考)
	C 2 2 F 1/00	6 7 5
	C 2 2 F 1/00	6 9 1 B
	C 2 2 F 1/00	6 9 1 C
	C 2 2 F 1/00	6 5 0 Z
	C 2 2 F 1/00	6 6 1 A
	C 2 2 F 1/00	6 1 2
	C 2 2 F 1/00	6 2 5
	C 2 2 F 1/00	6 5 0 F
	C 2 2 F 1/00	6 8 3
(74)代理人	100108453	
	弁理士 村山 靖彦	
(74)代理人	100106057	
	弁理士 柳井 則子	
(72)発明者	坂本 敏夫	
	東京都千代田区大手町一丁目3番2号 経団連会館 三菱マテリアル株式会社銅事業カンパニー内	
(72)発明者	新富 孝和	
	東京都千代田区九段南四丁目8番24号 学校法人日本大学内	
(72)発明者	佐藤 勇	
	東京都千代田区九段南四丁目8番24号 学校法人日本大学内	
(72)発明者	都丸 隆行	
	茨城県つくば市大穂1 1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内	
(72)発明者	高富 俊和	
	茨城県つくば市大穂1 1 大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構内	
Fターム(参考)	2G085 BA05 BA08 BA17 BB17 BD01 BE01 EA01 EA04	