

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5320068号
(P5320068)

(45) 発行日 平成25年10月23日(2013.10.23)

(24) 登録日 平成25年7月19日(2013.7.19)

(51) Int.Cl.

F 1

H05H 7/20 (2006.01)
H01P 11/00 (2006.01)H05H 7/20
H01P 11/00 ZAAH

請求項の数 22 (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2008-542660 (P2008-542660)
 (86) (22) 出願日 平成18年11月29日 (2006.11.29)
 (65) 公表番号 特表2009-517817 (P2009-517817A)
 (43) 公表日 平成21年4月30日 (2009.4.30)
 (86) 國際出願番号 PCT/EP2006/011464
 (87) 國際公開番号 WO2007/062829
 (87) 國際公開日 平成19年6月7日 (2007.6.7)
 審査請求日 平成21年11月27日 (2009.11.27)
 (31) 優先権主張番号 102005058398.9
 (32) 優先日 平成17年12月2日 (2005.12.2)
 (33) 優先権主張国 ドイツ(DE)
 (31) 優先権主張番号 102006021111.1
 (32) 優先日 平成18年5月5日 (2006.5.5)
 (33) 優先権主張国 ドイツ(DE)

(73) 特許権者 508164068
 ドイチエス エレクトローネン ジンクロ
 トロン デズイ
 ドイツ連邦共和国 ハンブルク 2260
 7 ノートケシュトラーセ 85
 (74) 代理人 100078499
 弁理士 光石 俊郎
 (74) 代理人 100074480
 弁理士 光石 忠敬
 (74) 代理人 100102945
 弁理士 田中 康幸
 (74) 代理人 100120673
 弁理士 松元 洋

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】共振器用中空体の製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

共振器用中空体を製造する方法であって、
 単結晶領域を有する基体(1)を備える工程と、
 前記基体(1)を貫くように延びる切断部(2)を画定する工程と、
 前記基体(1)の表面の、画定された前記切断部(2)を挟んだ隣り合う両側に、前記
 切断部(2)で切断された後で互いに対する当初の向きを再構築できるように認識可能な
 マーキング(3, 3')を施す工程と、

前記基体(1)を前記切断部(2)に沿って切断して2つのウェハ(4, 4')を形成
 し、前記ウェハ(4, 4')の全体が単結晶領域から切り出される工程と、

前記ウェハ(4, 4')を、前記マーキング(3, 3')を施された接合部(6, 6')
 を有する半セル(5, 5')に成形する工程と、

前記半セル(5, 5')の前記接合部(6, 6')を互いに支えあわせ、かつ前記基板
 (1)の前記切断部(2)で切断されたときの前記ウェハ(4, 4')の互いに対する当
 初の向きを再構築するように、前記半セル(5, 5')の前記マーキング(3, 3')同
 士を互いに向き合わせてから、前記半セル(5, 5')の前記接合部(6, 6')を接合
 して中空体(8)を成形する工程と

を含むことを特徴とする共振器用中空体を製造する方法。

【請求項 2】

前記半セル(5, 5')が前記接合部(6, 6')と並行して延びる端部(7, 7')

10

20

を有する

ことを特徴とする請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記基体 (1) が超伝導性材料から成る

ことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の方法。

【請求項 4】

前記基体 (1) がニオブから成る

ことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の方法。

【請求項 5】

前記基体 (1) が円筒状である

10

ことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の方法。

【請求項 6】

前記マーキング (3, 3') が型押し加工またはエンボス加工で施される

ことを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の方法。

【請求項 7】

前記ウェハ (4, 4') が 約 5 mm の厚さを有すると共に、200 mm の直径を有する ものである

ことを特徴とする請求項 5 に記載の方法。

【請求項 8】

切断工程後に、圧延加工またはプレス加工によって、前記ウェハ (4, 4') の面積が 拡大される

20

ことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれかに記載の方法。

【請求項 9】

前記成形工程が、プレス加工、深絞り加工、および、適切である場合には圧延加工により行われる

ことを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれかに記載の方法。

【請求項 10】

前記成形工程が、2つの平行する開口端部を有する中空円錐の形成工程からなる

ことを特徴とする請求項 9 に記載の方法。

【請求項 11】

30

前記成形工程が中空円錐の形成工程からなる

ことを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれかに記載の方法。

【請求項 12】

前記中空円錐の最大直径が、前記半セル (5, 5') の外径以上である

ことを特徴とする請求項 11 に記載の方法。

【請求項 13】

前記半セル (5, 5') が軸対称である

ことを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれかに記載の方法。

【請求項 14】

前記接合工程が電子ビーム溶接によってなされる

40

ことを特徴とする請求項 1 乃至 13 のいずれかに記載の方法。

【請求項 15】

前記接合部 (6, 6') および / または前記端部 (7, 7') が接合される前に洗浄される

ことを特徴とする請求項 2 乃至 14 のいずれかに記載の方法。

【請求項 16】

前記接合部 (6, 6') および / または前記端部 (7, 7') が化学的に酸洗いされる

ことを特徴とする請求項 15 に記載の方法。

【請求項 17】

前記中空体 (8) の熱処理が施される

50

ことを特徴とする請求項 1 乃至 16 のいずれかに記載の方法。

【請求項 18】

前記熱処理が、400 ~ 500 で2 ~ 6 時間の加熱工程、及び、750 ~ 850

で1 ~ 3 時間の加熱工程からなる

ことを特徴とする請求項 17 に記載の方法。

【請求項 19】

前記熱処理が、400 ~ 500 で2 ~ 6 時間の加熱工程、及び、750 ~ 800

で1 ~ 3 時間の加熱工程からなる

ことを特徴とする請求項 17 に記載の方法。

【請求項 20】

10

請求項 2 乃至 19 のいずれかに記載された、多数の中空体 (8, 8', 8'', ...)

を成形する工程と、

前記基体 (1) において当初隣接していたウェハの半セル (5', 5'', 5''', 5''', ...) 同士を接続し、前記ウェハ (4, 4') 間の前記切断部 (2, 2') の両側における割り当てと同様になるように、前記端部 (7, 7', 7'', 7''', 7''', ...) に隣接するマーキングをそれぞれ割り当てて、前記端部 (7, 7', 7'', 7''', 7''', 7''', 7''', 7''', ...) に沿って前記中空体 (8, 8', 8'') を接合する工程と

を含むことを特徴とする共振器 (9) を製造する方法。

【請求項 21】

20

前記共振器 (9) が洗浄される

ことを特徴とする請求項 20 に記載の方法。

【請求項 22】

前記共振器 (9) が化学的に酸洗いされる

ことを特徴とする請求項 21 に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、中空体、特に、高周波共振器用中空体の製造方法に関する。

【背景技術】

30

【0002】

多数の中空体を備える高周波共振器は、粒子加速器、特に荷電粒子を高エネルギー状態に加速させるために電界を用いる粒子加速器に用いられる。

【0003】

空洞共振器とも呼ばれる、このような高周波共振器においては、電磁波が励起し、共振器の軸に沿って荷電粒子を加速する。このように加速された粒子は、位相や高周波電磁場界に対して、電界強度が最大に達するまさにその時に空洞セルの中心に位置するように共振器内を進む場合に、最大限のエネルギー利得を受ける。この場合、粒子のエネルギー利得が各セルで同一になるように、空洞セルの長さと周波数が調整される。また、この場合、高電界強度を提供する超伝導共振器は、高周波の抵抗が非常に低いため、消費エネルギーがかなり少なくて済むという利点がある。

40

【0004】

長い間、共振器の製造方法のひとつにおいては、深絞り法により多結晶ニオブ金属板から形成されるいわゆる半中空体を、電子ビーム溶接で相互に接続してきた。また、D E 37 22 745 A1 (下記特許文献 1) では、被覆金属板から成る半セルを接続する方法が開示されている。さらに、当該特許文献では、前記方法により製造された共振器、特に、銅で被覆されたニオブから成る超伝導高周波共振器が開示されている。

【0005】

また、U S 5,500,995 (下記特許文献 2) では、溶接継目なしの多重セル空洞共振器を製造する方法が開示されており、この方法では、支持体として機能する取り外

50

し可能な成形型にスピン技術によって所望の材料を被せて、成形型にあわせて変形し、その後、成形型を再び取り外している。

【0006】

【特許文献1】独国特許出願公開第3722745号明細書

【特許文献2】米国特許第5500995号明細書

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

従来技術として知られる2つの方法で用いられる金属板は、適切な超伝導材料によって被覆されたり、あるいは、全体が超伝導材料からなる。この場合の好ましい材料として、超伝導ニオブが挙げられるが、その理由は、超伝導ニオブは、一つは機械加工がしやすいことと、他には高臨界温度がT_c = 9.2 K、高臨界磁場がH_{c2} = 200 mT（それを超えると超伝導性が崩壊する温度および磁場）であることである。

10

【0008】

一般的に、単結晶材料は、成形されている間にその表面が粗くなるため、当該材料は、従来の方法では、成形後、表面の粗さを最小化するための処理がさらに施される。その上、内部表面には、汚染物質または不純物粒子が不着していないことが望まれる。これは、超伝導体においては、その表面層を循環する電流により外部磁界が内部に侵入するのを防いでいる（マイスナー・オクセンフェルト効果）が、表面の欠陥はこの電流の流れを遮ってしまうため、特に、超伝導性崩壊の原因となるからである。そして、さらには、表面が粗い場合には、非常に高い電界強度が局地的に生じるため、同様に望ましくない状態となる。

20

【0009】

通常の表面処理法は、酸混合物を用いた化学的な（酸洗い）方法であり、HF（48%）、HNO₃（65%）およびH₃PO₄（85%）を1:1:2の割合で使用した緩衝化学研磨法（BCP）として知られている。しかしながら、多結晶材料の粒界は、その材料の粒子自体よりも、大きく浸食されるため、この処理後も、表面は比較的粗いままである。さらに、この方法は比較的時間を要する。より良好な結果をもたらす方法としては、HFおよびH₂SO₄を1:9の割合で使用し電界を印加する電解研磨（EP）法がある。電解研磨法では多結晶材料の場合であっても非常に滑らかな表面に仕上げることができ、多結晶ニオブから成る中空体の場合、電解研磨法により250 nmにまで粗度が抑えられる。

30

【0010】

超伝導性は、多結晶材料の結晶粒界で不安定になるため、最近、良好な結果をもたらす半セルの製造に対するニオブ・インゴットの有用性（残留抵抗率RRR > 250）に関する実験が行われた（P. Kneisel, G. R. Myeni, G. Ciovati, J. Sekutowicz and T. Carneiro; Preliminary Results From Single Crystals and Very Large Crystal Niobium Cavities; Proceedings of 2005 Particle Accelerator Conference, Knoxville, Tennessee, USA）。この場合には、小型空洞共振器を製造するために、結晶特性に変化を生じさせることなく、2つのウェハをワイヤ加工機で粗結晶ニオブ・インゴットから切り出し、深絞りで所望の形状に加工した。しかし、この場合もまた、成形結晶ウェハが中空体を成形するために接続された箇所で欠陥が生じた。

40

【0011】

超伝導空洞共振器の品質にとって、空洞共振器の結晶構造の欠陥を極力無くすことに加え、接続箇所においても超伝導性が失われないということもまた極めて重要である。

超伝導性に悪影響を与えるさらなる要因は、超伝導性材料に含まれる水素である。この問題は従来、熱処理を施すことで解決してきた。

【0012】

50

したがって、これらの従来技術を基に、本発明の目的は、中空体を製造する方法、あるいは、共振器全体の電気的性質を向上する方法を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

この目的は、以下の工程を含む方法によって達成される。

- 前記単結晶領域を有する基体を備える工程と、
- 前記基体を貫く切断部を画定する工程と、
- 前記切断部の両側にマーキングを施す工程と、
- 前記切断部に沿って切断することで2つのウェハを形成し、前記ウェハの全体を単結晶領域から切り出す工程と、
- 前記ウェハを、接合部を有する前記半セルに形成する工程と、
- 前記接合部を互いに支えあわせ、かつ前記半セル上の前記マーキングを、前記切断部の両側における向きと同様となるよう、接合部の両側に互いに向き合わせて、前記半セルを接合して中空体を成形する工程。

【0014】

本発明の方法によれば、第一の工程において、好適な実施形態における超伝導材料から成る単結晶領域を有する基体が備えられる。この場合、好ましい材料は超伝導ニオブであるが、これは、超伝導ニオブが成形しやすく、かつ、高臨界温度 $T_c = 9.2\text{ K}$ および高臨界磁場 $H_c = 200\text{ mT}$ を有するからである。本明細書における「超伝導」材料は、適切な周囲条件下かつ臨界温度より低い状態で、超伝導特性を有する材料、すなわち、急激に電気抵抗を失い、内側から臨界未満の磁場を変位させる材料を意味するものとする。さらに、単結晶領域は、容易に接触可能なように、円筒状に形成されるのが好ましい。

【0015】

第二の工程においては、当該基体を貫く少なくとも1つの切断部が画定され、続く第三の工程においては、当該切断部の両側にマーキングを施される。超伝導材料は硬い表面を有する金属なので、当該マーキングは、型押し加工またはエンボス加工により施されるのが好ましい。当該マーキングは、当該基体内における隣接領域同士が、分離後も再び認識可能で、互いに対する当初の向きが再構築可能なように設定されている。この場合、当該マーキングは、当該ウェハの外側部または周縁部に施されるのが好ましい。

当該マーキングが施された後、当該切断面に沿って切り取られて2つのウェハが形成され、当該ウェハは、更に、単結晶材料のみから成るように基体から切り出される。好適な実施形態では、当該ウェハは約5mmの厚さで、直径または切断部の平面の範囲が200mmとなっている。

【0016】

続く工程では、当該ウェハを、接合部を有する半セルに形成する。これらの接合部により、2つの半セルを接合することができる。好適な実施形態では、当該半セルは、更に、当該接合部に並行して延びる端部を有し、この端部を用いて、当該半セルは、当該接合部とは反対側で、更に別の半セルと接続することができる。

成形工程は、既知の金属加工技術であるプレス加工、深絞り加工、および適切であれば圧延加工によって、実施されることが好ましい。この点に関し、前記技術を用いることで同様に、ウェハ面積を予め拡大しておくことが可能である。

【0017】

成形工程の場合における、好適な実施形態のひとつは、2つの平行する開口端部を有する中空円錐台を形成する工程を含む。さらに、当該半セルができる限り簡単に相互接続し得るよう、当該半セルは軸対称型であることが好ましい。

【0018】

あるいは、成形工程は、更に、成形型に対して深絞りまたはプレス加工を行うことで、中空円錐を形成する工程を含めて実施されてもよい。さらに好適な実施形態においては、中空円錐の最大直径は、前記半セルの外径以上である。この形状により、その後、最小数の機械加工工程で、単結晶構造を失うことなく、当該円錐を所望の形状およびサイズの半

10

20

30

40

50

セルに形成することができるようになる。

【0019】

成形工程内で、当初のウェハを、中空円錐または円錐台に形成する前に、例えば、圧延加工またはプレス加工によって、当初ウェハより大きな直径を有するウェハに成形することが可能である。これにより、所望のサイズの単結晶半セルを、小径のインゴットから生成されるウェハから形成できるようになる。

【0020】

本方法の更なる工程においては、当該半セルを接合して中空体が形成される。ここで、当該接合部を互いに支えあわせ、当該切断部の両側における向きと同様になるように、当該マーキングを当該接合部の両側に互いに向き合わせている。これは、それぞれウェハから成る半セル同士が、当該切断部を切断する前の当該基体内における状態と同様になるように、当該接合部に沿って互いに支え合っていることを意味する。このようにして、単結晶の配向は中空体に成形される両方のウェハ内に維持される。

10

【0021】

高純度ニオブにはいずれの種類の汚染物質に対して敏感であることから、接合される部分を、接合直前に洗浄してもよく、好ましくは、この洗浄は、化学的酸洗い処理によって（B C Pによって）行われる。

【0022】

好適には、接合工程は、適宜、所定の残留ガス組成を用いて、電子ビーム溶接により高真空（ $< 10^{-4}$ mbar）で実行される。この技術は高出力密度を有し、局地的にエネルギーを注入するため、5～7 mm幅の滑らかな継ぎ目で部品を溶接することが可能である。

20

【0023】

好適な実施形態では、接合および／または端部は、化学的処理を施される。これは、酸洗い処理、特にB C P（1：1：2）によって、実行されるのが好ましい。この処理を施すことにより、不純物質が溶接継目の領域の材料に入り込むことを防ぐ。

【0024】

当該中空体は、次に熱処理を施される。この方法によって、なお存在する欠点や接合箇所がアニールされ、材料中に含まれる水素は取り除かれ、中空体のR R R値は上昇する。なお、R R R値は、ニオブの純度を示すためよく使用される数値である。

30

【0025】

熱処理の好適な実施形態は、中空体がニオブから成る場合、400～500で2～6時間の第一の加熱工程と、750～850、好ましくは、750～800の第二の加熱工程を含む。第一の加熱工程の目的は、形成プロセスにおいて生じたストレスを軽減することと、新たに生じた結晶化のタネを排除することにある。前記第二の加熱工程は、材料から現存する水素を取り除き、中空体全体を弛緩させるものである。この場合、結晶化のタネは予め取り除かれているので、単結晶は維持されるため、熱処理の結果として粒子成長は起こらない。

【0026】

熱処理は、材料のひずみの度合いに依存し、ニオブを用いた好適な当該実施形態では約40%となっている。この点に関し、材料のひずみの度合いは成形工程のパーセンテージ率を意味するものとする。ひずみの度合いは次のように計算される。

40

【数1】

$$\varepsilon = \frac{t_0 - t}{t_0} \cdot 100\%$$

ここで、 t_0 は変形前のウェハの厚さ、 t は変形後のウェハの厚さである。

【0027】

本発明の方法によれば、単結晶中空体から成る単結晶共振器または半セルを製造することが可能となる。このような単結晶共振器は、優れた電気特性を持つ。特に、循環電流が

50

、超伝導体（ニオブ）の単結晶表面層にも流れているため、外部磁界が内部に侵入するのを防ぐが、超伝導性は不安定にはならない。また、単結晶材料の場合、特に内部表面の粗さが顕著に削減され、B C P処理を施した場合には、25nmとなっている。これは、より複雑な後処理を施した後の同等の多結晶材料と比べて、10倍の向上を意味する。

【0028】

上記の目的はさらに、以下の工程から成る方法により達成される。

- 請求項2乃至18に記載する多数の中空体を形成する工程と、
- 当該基体において当初隣接していたウェハの半セル同士を接続し、当該ウェハ間の当該切断部の両側における割り当てと同様になるように、当該端部に隣接するマーキングをそれぞれ割り当てて、当該端部に沿って当該中空体を接合する工程。

10

【0029】

本発明の方法によれば、まず、多数の中空体が形成され、次にこれらが端部に沿って接合される。この場合、常に、中空体のそれぞれは、原材料の時に隣接していたウェハから形成された中空体にそれぞれ接続され、端部に隣接するマーキングは、切断部の両側における割り当て同様になるように、それぞれ割り当てられる。これにより、隣接する中空体間においても単結晶構造が確実に維持されることになる。好適な実施形態では、共振器の表面が処理される。この処理は、B C P (1:1:2)による化学的方法でなされるのが好ましい。原則として、化学的方法は、接合の前後に実行することができる。損失なく高電界を発生させるためには、共振器中空体の内部表面に汚染物質や不純粒子が不着していないように、その内部表面を準備することが非常に重要である。熱処理を予め施した後に、または施さなかったとしても、化学的方法または電気的標準方法により表面の処理が行われる。

20

【発明の効果】

【0030】

本発明によれば、単結晶中空体から成る単結晶共振器または半セルを製造することが可能となる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0031】

以下、最良の一実施形態について示す図面を参照し、本発明を説明する。図面は次のとおりである。

30

図1は、単結晶領域及び画定された切断部を有する基体の断面図である。

図2は、前記切断部に沿って切断する工程で形成されたウェハの断面図である。

図3は、成形によりウェハから形成された半セルの断面図である。

図4Aは、前記切断部に沿って切断されて形成されたウェハの断面図である。

図4Bは、成形により最適なサイズに形成されたウェハの断面図である。

図4Cは、成形によりウェハから形成された円錐の断面図である。

図5は、接合された2つの半セルから成る中空体の断面図である。

図6は、多数の中空体が接合されて成る共振器の断面図である。

これらの図は、本発明による好適な実施形態の各工程を図示するものである。

【0032】

40

図1は、共振器の中空体形成用に用意された、単結晶領域（斜線部）を有する基体1を示す。この単結晶領域は好ましくは円筒形を有し、基体材料は好ましくは、機械加工がしやすく、高い臨界温度（T_c 9.2K）および高い臨界磁場（H_c 200mT）を持つニオブからなることが望ましい。次に、それぞれ平行に並び、基体1を貫くように延びる3つの切断部2, 2', 2''が画定される。切断部2'の両側の基体1の表面には、マーキング3及び3'が施されるが、型押し加工やエンボス加工で施されるのが好ましい。マーキング3, 3'は、成形後もなお目に見えるような方法で施される。切断部2, 2', 2''のひとつは基体1の端部ともなり、切断部のうちの2つのみが画定されることになる。

【0033】

50

ウェハ4及び4'は、画定された切断部2, 2'及び2''に沿って切断することにより形成され(図2参照)、ウェハ4, 4'はその全体が単結晶領域より切り出される。これは、ウェハ4, 4'が単結晶材料からのみ成り、多結晶または非結晶領域が仮にあったとしても分離されていることを意味する。マーキング3, 3'は、その材料が好ましくは硬い表面を有する金属であることから、型押し加工やエンボス加工にて施されるのが好ましい。マーキング3, 3'は、基体1内において隣接している領域が、分離後にも再び認識可能で、互いに対する向きも再構築できるように設定されている。

【0034】

本実施形態において、ウェハ4及び4'は共に約5mmの厚さである。好ましくは円筒状の単結晶から形成されているため、直径は200mmである。非円筒状の単結晶領域の場合には、ウェハ4, 4'は、200mmの切断部2, 2' 2''による平面上の広さを持つ。

10

【0035】

図3は、ウェハ4を半セル5に成形する次の工程として実施可能な例の一つを図示する。ウェハ4の成形は、好ましくはプレス加工、深絞り可能、もし適当であるならば圧延加工により実施され、このようにして図3の断面図で表示される半セル5、及び図5の断面図で表示される半セル5'が形成される。成形途中の工程において、ウェハ面積をまず拡大し、および/または、2つの平行する開口端部を有する中空円錐台を形成することもまた可能である。半セル5, 5'は軸対称であるのが好ましい。半セル5はさらに、接合部6及び端部7を有する。この場合、接合部6及び端部7は、互いに並行して延びるのが望ましい。マーキング3は、ウェハ4から半セル5が形成された後もなお目に見えるよう、前記ウェハ4上に施されている。

20

【0036】

図4は、前記ウェハ4, 4'を成形する工程として実施可能な第二の例を図示する。ここで、成形工程は、深絞り加工またはプレス加工により、中空円錐台を形成することを含み、プレス加工は、凹型の金型に対して行われる。この場合、当初直径aを有するウェハ4, 4'は、例えば、円錐または円錐台に成形する前に、圧延またはプレス加工により、まず直径aよりも大きい直径bを有するウェハ4に成形される。これにより、所望のサイズの半セル5, 5'もまた、小径を有するインゴットから作られるウェハ4, 4'から形成することが可能となる。成形後、中空円錐の最大直径cは、半セル5の外径と等しいかそれより大きくなる。これにより、中空円錐を最小数の機械加工工程により加工して、材料の単結晶特性を失わせることなく、後に望ましい形状およびサイズの半セル5を形成することができる。

30

【0037】

図5は、2つの接合部6及び6'に沿ってマーキング3及び3'を有する2つの半セル5及び5'が接合された中空体8の断面図である。この接合は、好ましくは、高真空状態($< 10^{-4}$ mbar)において電子ビーム溶接で行われ、さらに好ましくは、この電子ビーム溶接において、所定の残留ガス組成が用いられる。この技術を用いると、局所的にのみエネルギーが注入され、前記半セル5及び5'は、5~7mm幅の滑らかな継ぎ目で溶接される。さらに、この技術により、溶接継目は極めて密着したものになる。

40

【0038】

この場合、2つの半セル5及び5'の接合部6及び6'の配置は、基体1において当初隣接していたウェハ4及び4'から成る半セル5及び5'が並んで配置され、更に、接合部6, 6'に隣接するマーキング3及び3'が、ウェハ4及び4'間の切断部2の両側の場合と同じになるような位置関係で配置される。結合された半セル5及び5'から成る中空体8は、2つの端部7及び7'を有し、端部7及び7'は実質的に互いに並行となっている。前記5, 5'から成る中空体8は、その全体が単結晶材料から成り、かつその接合部6, 6'の領域においても、優れた電気特性を有し、循環電流が超伝導体(ニオブ)の表面層を流れて、外部磁場が内部に侵入するのを防ぐが、超伝導性は妨げられる。

【0039】

50

好ましくは、接合部 6, 6' および / または端部 7, 7' は接合前に洗浄される。この場合、当該部分はまず、すすぎ洗いされ超音波槽で処理される。その後、この領域の汚染物質を取り除くために、BCP (1:1:2) という化学的方法により酸洗いされるのが望ましい。そして再度高純度水ですすぎ洗いされ、最後にクリーン・ルームで乾燥される。

【0040】

その後、前記方法の好適な一実施形態においては、中空体 8 に特別な熱処理を施しても良い。この熱処理は、400 ~ 500 で 2 ~ 6 時間以上加熱する工程と、その後、750 ~ 850 で、更に好ましくは 750 ~ 800 で 1 ~ 3 時間にわたって加熱する工程を含む。なお、それでも現存する欠陥は、アニールされる。第一の加熱する工程の目的は、成形プロセスで生じたストレスを解消し、新たに生じた結晶化のタネを除去することにある。第二の加熱工程は、材料から現存する水素を取り除き、中空体全体を緩和させる。

【0041】

このように形成された単結晶中空体 8 は、超伝導体（ニオブ）単結晶表面層に循環電流が流れ、外部磁場が内部に侵入するのを防いで超伝導性が不安定にならない、といったすばらしい電気特性を有する。さらに、単結晶材料を用いることで、特に内部表面の粗さをかなり削減することが可能になり、BCP 処理を施した場合には、粗度は 25 nm となる。

【0042】

図 6 は、多数の中空体 8, 8', 8'' を図示するものである。中空体 8, 8', 8'' は、上述の方法により形成されており、中空体 8 を二つの半セル 5, 5' を接合して形成したのと同様になるように、端部 7, 7', 7'', 7''', 7'''' のそれぞれにおいて、好ましくは同様に電子ビーム溶接により、接合されている。これは、端部 7, 7', 7'', 7''', 7''''', 7''''' に隣接するマーキング 3, 3', 3'', 3''', 3'''' が、それぞれ対応する半セルが形成されたウェハ 4, 4' 間の切断部 2 及び 2' の両側における位置関係と同じ位置関係となるように、配置されることを意味する。多数の中空体 8, 8', 8'' を接合して形成される共振器 9 は研磨され、好ましくは化学的方法、BCP 法 (1:1:2) で研磨される。

【0043】

完全を期すために、この接合に関して述べるならば、もちろん、当該半セル 5 及び 5' の隣接するマーキング 3 及び 3' がそれぞれ対応するウェハ間の切断部の両側における向きと同様の向きになるよう、端部 7 及び 7' において 2 つの半セル 5 及び 5' を接合することも可能である（図 6 参照）。したがって、他の方法として、初めにダンベル状の中空体を形成し、接合することで、共振器 9 を形成することが考えられる。

【0044】

電気特性を向上させた単結晶共振器 9 はこのように形成される。当該特性により、たとえば適切な温度下など、適切な環境状態における超伝導性の質が顕著に改善する。さらに、単結晶共振器 9 を用いる利点は、電気研磨に比べても、より良い表面品質（滑らかさ）が、簡単な化学的酸洗い方法によって既に達成されているということである。

【0045】

これは、一方では、単結晶共振器 9 によって高い加速電界強度を実現することが可能であり、他方、準備を簡単に行うこともできることを意味する。

【産業上の利用可能性】

【0046】

本発明は、中空体、特に、高周波共振器用中空体の製造方法に利用することが可能である。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図 1】単結晶領域及び画定された切断部を有する基体の断面図である。

10

20

30

40

50

【図2】前記切断部に沿って切断する工程で形成されたウェハの断面図である。

【図3】成形によりウェハから形成された半セルの断面図である。

【図4】Aは前記切断部に沿って切断されて形成されたウェハの断面図、Bは成形により最適なサイズに形成されたウェハの断面図、Cは成形によりウェハから形成された円錐の断面図である。

【図5】接合された2つの半セルから成る中空体の断面図である。

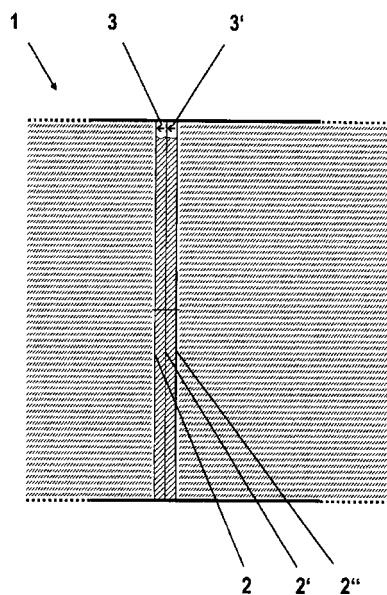
【図6】多数の中空体が接合されて成る共振器の断面図である。

【符号の説明】

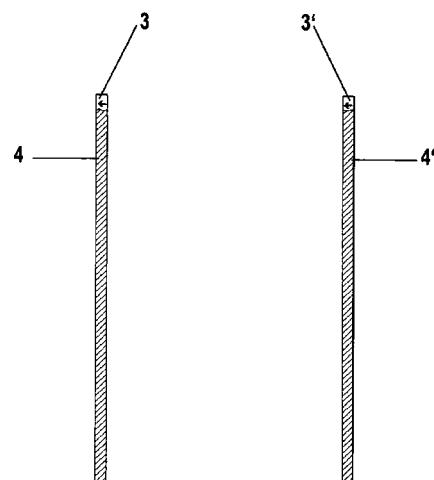
【0048】

1	基体	10
2 , 2' , 2''	切断部	
3 , 3' , 3'' , 3''' , 3'''' , 3''''' , 3''''''	マーキング	
4 , 4'	ウェハ	
5 , 5'	半セル	
6 , 6'	接合部	
7 , 7' , 7'' , 7''' , 7'''' , 7''''' , 7''''''	端部	
8 , 8' , 8''	中空体	
9	共振器	

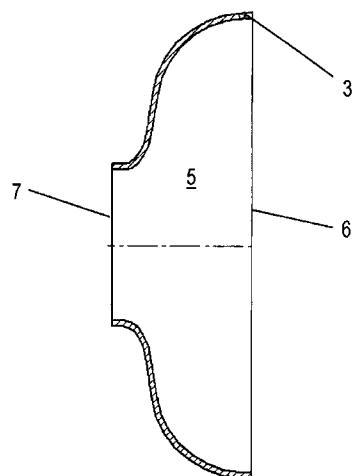
【図1】



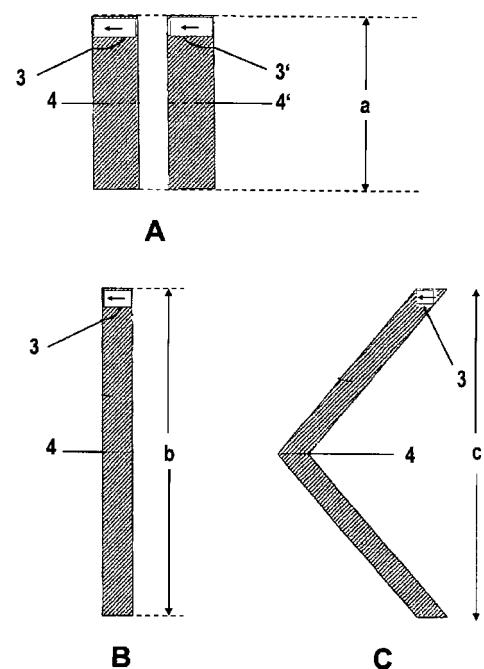
【図2】



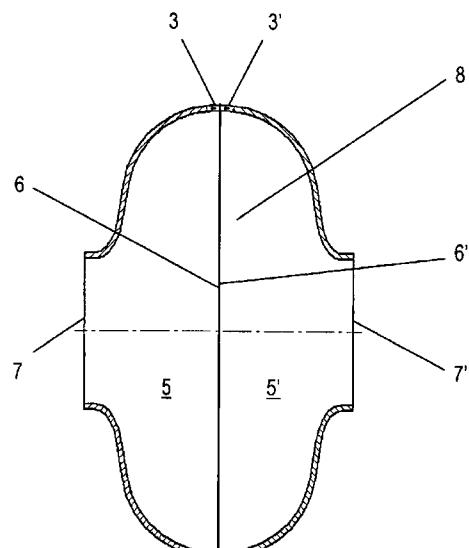
【図3】



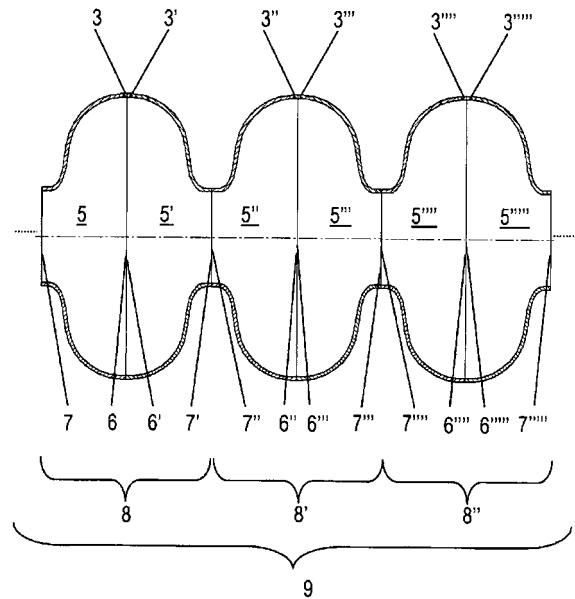
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 ジンガー キセニア
 ドイツ連邦共和国 ハンブルク 22549 ポーチャーカンプ 11a
(72)発明者 ジンガー ワルデマール
 ドイツ連邦共和国 ハンブルク 22549 ポーチャーカンプ 11a
(72)発明者 シュヴァレンバッハ ヨハネス
 ドイツ連邦共和国 ベルキシュ グラドバッハ 51429 ピューナーシュトラーセ 8
(72)発明者 ペケレル ミヒヤエル
 ドイツ連邦共和国 ベルキシュ グラドバッハ 51429 プロイヒヤー シュトラーセ 44

審査官 山口 敦司

(56)参考文献 Ganapati Rao Myneni , Physical and Mechanical Properties of Single and Large Crystal High-RRR niobium , The 12th International Workshop on RF Superconductivity(SRF 2005) , 2005年 7月
P.Kneisel, G.R.Myneni, G.Ciovati , PRELIMINARY RESULTS FROM SINGLE CRYSTAL AND VERY LARGE CRYSTAL NIOBIUM CAVITIES , Proceedings of 2005 Particle Accelerator Conference, Knoxville, Tennessee , 2005年 5月

(58)調査した分野(Int.Cl. , DB名)

H 05 H 7 / 20
H 01 P 11 / 00