(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2022年9月15日(15.09.2022)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2022/190942 A1

(51) 国際特許分類:
C23C 10/28 (2006.01) *H01B 13/00* (2006.01)
H01B 1/02 (2006.01) *B21C 1/00* (2006.01)
H01B 5/02 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2022/008429

(22) 国際出願日： 2022年2月28日(28.02.2022)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

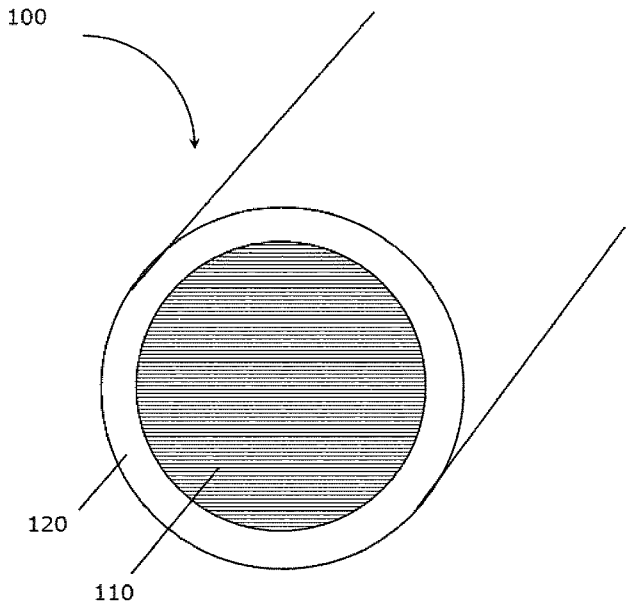
(30) 優先権データ：
特願 2021-040009 2021年3月12日(12.03.2021) JP

(71) 出願人: 国立研究開発法人物質・材料研究機構 (**NATIONAL INSTITUTE FOR MATERIALS SCIENCE**) [JP/JP]; 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目２番地１ Ibaraki (JP).

(72) 発明者: 菊池 章弘 (**KIKUCHI Akihiro**); 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目２番地１ 国立研究開発法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 北口 仁 (**KITAGUCHI Hitoshi**); 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目２番地１ 国立研究開発法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 飯嶋 安男 (**IIJIMA Yasuo**); 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目２番地１ 国立研究開発法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP). 平田 和人 (**HIRATA Kazuto**); 〒3050047 茨城県つくば市千現一丁目２番地１ 国立研究開発法人物質・材料研究機構内 Ibaraki (JP).

(54) **Title:** COPPER-COATED ALUMINUM WIRE MATERIAL AND PRODUCTION METHOD THEREFOR

(54) 発明の名称： 銅被覆アルミニウム線材およびその製造方法



(57) **Abstract:** The problem addressed by the present invention is to provide a copper-coated aluminum wire material with a reduced weight and excellent adhesiveness, and a production method therefor. This copper-coated aluminum wire material is provided with an aluminum wire material comprising aluminum or an aluminum alloy and a thin copper film covering the aluminum wire material. The space factor of the thin copper film is in the range of 0.2% to 4% and the adhesiveness between the aluminum wire material and the thin copper film based on a scratch test compliant with JIS

WO 2022/190942 A1

［続葉有］

(74) 代理人：特許業務法人浅村特許事務所 (ASAMURA PATENT OFFICE, P.C.); 〒1408776 東京都品川区東品川２丁目２番２４号 天王洲セントラルタワー Tokyo (JP).

(81) 指定国（表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能）：AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, IT, JM, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国（表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能）：ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類：

一　国際調査報告（条約第21条(3)）

R 3255 is at least 10 mN.

(57) 要約：本発明の課題は、密着性に優れ、軽量化した銅被覆アルミニウム線材、および、その製造方法を提供することである。 本発明の銅被覆アルミ線材は、アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミ線材と、前記アルミ線材を被覆する銅薄膜とを備え、銅薄膜の占積率は、０．２％以上４％以下の範囲であり、ＪＩＳ Ｒ ３２５５に準拠したスクラッチ試験に基づく前記アルミ線材と前記銅薄膜との間の密着性は、１０ｍＮ以上を満たす、銅被覆アルミニウム線材である。

明　細　書

発明の名称 ： 銅被覆アルミニウム線材およびその製造方法

技術分野

[0001] 本発明は、銅被覆アルミニウム線材およびその製造方法に関する。

背景技術

[0002] アルミニウムは比重が銅の約３０％と軽くかつ電気伝導度もある程度高い。現在、自動車に搭載されるワイヤーハーネス（電源供給や信号通信に用いられる複数の電線）などには細い純銅線が使われているが、燃費の効率化のために軽量なアルミ線に置き換えることが望まれている。

[0003] しかしながら、アルミ線の実用化においては大きく３つの課題がある。第１は電気伝導度を高めるための高純度化とともに強度が著しく低下してしまうということ、第２はアルミの表面はナノスケールの強固な不働態酸化膜で覆われているためはんだ付けが容易でないということ、第３にアルミは電位差の大きい金属とともに雨水等の水分に接触すると腐食（電食）するために裸線のままでは使いにくいということである。これらの課題を克服するため、太径の純銅管の中にアルミ棒を挿入して伸線加工した銅／アルミクラッド線が開発され、既に市販されている（例えば、特許文献１を参照）。

[0004] しかしながら、特許文献１によれば、銅／アルミクラッド線においては大きな加工度を確保した塑性加工法により純銅を被覆するため、線材の断面あたりの純銅の占積率を小さくすることが難しく、そのため、軽量というアルミの利点を最大限に生かすことができず、広い普及には至っていない。

[0005] 細径のアルミ線に純銅を薄く電気メッキする手法もあるが、アルミは非常に酸化し易い材料であるため、活性化処理によりアルミ表面の不働態酸化皮膜の除去を行っても、その後の水洗時に水中のわずかな溶存酸素で皮膜が生じ、そのままめっきを行うと密着不良になる。これを改善するために、アルミ表面を活性化しながら同時に亜鉛皮膜を置換析出させるジンケート処理がアルミ線の処理として一般的に採用されている（例えば、特許文献２を参照

）。しかしながら、特許文献２に記載の技術を採用すると、数キロメートル以上の長尺線への処理に膨大な時間がかかり現実的ではない。

先行技術文献

特許文献

[0006] 特許文献1：特開２０１１－１９４４３９号公報

特許文献2：特開２０００－１１３７３０号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0007] 本発明の課題は、密着性に優れ、軽量化した銅被覆アルミニウム線材、および、その製造方法を提供することである。

課題を解決するための手段

[0008] 本発明による銅被覆アルミニウム線材は、アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミ線材と、前記アルミ線材を被覆する銅薄膜とを備え、銅薄膜の占積率は、０．２％以上４％以下の範囲であり、ＪＩＳ　Ｒ　３２５５に準拠したスクラッチ試験に基づく前記アルミ線材と前記銅薄膜との間の密着性は、１０ｍＮ以上を満たし、これにより上記課題を解決する。

前記銅薄膜の占積率は、０．２％以上１％未満の範囲であってもよい。

前記銅薄膜の占積率は、０．３％以上０．５５％以下の範囲であってもよい。

前記密着性は、２０ｍＮ以上１００ｍＮ以下の範囲を満たしてもよい。

前記密着性は、５０ｍＮ以上１００ｍＮ以下の範囲を満たしてもよい。

前記アルミニウムは、９９．９％以上９９．９９９９％以下の範囲の純度を有してもよい。

前記アルミニウム合金は、アルミニウム（Ａｌ）と、マグネシウム（Ｍｇ）、鉄（Ｆｅ）、ジルコニウム（Ｚｒ）、亜鉛（Ｚｎ）、クロム（Ｃｒ）、スカンジウム（Ｓｃ）、マンガン（Ｍｎ）、ホウ素（Ｂ）、チタン（Ｔｉ）、銅（Ｃｕ）、リチウム（Ｌｉ）およびケイ素（Ｓｉ）からなる群から選択

される少なくとも１種の元素との合金であってもよい。

前記アルミ線材と前記銅薄膜との界面に不働態酸化被膜を有しなくてもよい。

本発明によるアルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミ線材にイオンプレーティング法により銅薄膜を被覆し、銅被覆アルミニウム線材を製造する方法は、銅蒸発源を備えた真空チャンバ内に、外径０．１ｍｍ以上１．５ｍｍ以下の範囲を有するアルミ線材が巻回された第１のドラムから、前記アルミ線材が少なくとも一対のリターンロールを介して交差回転するようにして第２のドラムに巻き取らせることが可能となり、かつ、前記少なくとも一対のリターンロール間を渡る前記アルミ線材と前記銅蒸発源の中心との間の距離が５００ｍｍ以上１０００ｍｍ以下となるように、前記アルミ線材を設置することと、電子ビーム加熱により前記銅蒸発源から銅を蒸発させ、イオン化することと、前記第１のドラムおよび前記第２のドラムに１０Ｖより大きく８００Ｖ以下の範囲の大きさの負の電圧を印加することと、前記アルミ線材を１ｍ／分以上１５ｍ／分未満の速度で前記第１のドラムから前記少なくとも一対のリターンロールを介して交差回転させながら前記第２のドラムに巻き取らせ、イオン化した銅イオンを前記アルミ線材に衝突させ、銅薄膜を形成することとを包含し、これにより上記課題を解決する。

前記負の電圧を印加することは、５０Ｖ以上７００Ｖ以下の範囲の大きさの負の電圧を印加してもよい。

前記負の電圧を印加することは、２００Ｖ以上７００Ｖ以下の範囲の大きさの負の電圧を印加してもよい。

前記銅薄膜を形成することは、前記アルミ線を１ｍ／分以上５ｍ／分以下の速度で巻き取らせてもよい。

前記アルミニウムは、９９．９％以上９９．９９９９％以下の範囲の純度を有してもよい。

前記アルミニウム合金は、アルミニウム（Ａｌ）と、マグネシウム（Ｍｇ）、鉄（Ｆｅ）、ジルコニウム（Ｚｒ）、亜鉛（Ｚｎ）、クロム（Ｃｒ）、

スカンジウム（Ｓｃ）、マンガン（Ｍｎ）、ホウ素（Ｂ）、チタン（Ｔｉ）、銅（Ｃｕ）、リチウム（Ｌｉ）およびケイ素（Ｓｉ）からなる群から選択される少なくとも１種の元素との合金であってもよい。

前記銅を蒸発させ、イオン化することに先立って、アルゴンイオンを用いたイオンボンバードメント処理によって前記アルミ線の表面を洗浄することをさらに包含してもよい。

前記イオンボンバードメント処理は、１Ｐａ以上１０Ｐａ以下の範囲の真空チャンバ内の圧力で行ってもよい。

前記銅薄膜を形成することを繰り返すことをさらに包含してもよい。

前記銅薄膜を形成することによって得られた銅被覆アルミニウム線材を伸線処理することをさらに包含してもよい。

前記伸線処理は、超硬ダイスまたはダイヤモンドダイスを用いた引き抜き加工であってもよい。

前記引き抜き加工の前、後または時に、前記銅被覆アルミニウム線材を３００℃以上５００℃以下の温度範囲で１秒以上５分以下の時間、焼鈍してもよい。

発明の効果

[0009] 本発明の銅被覆アルミニウム線材を製造する方法は、アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミ線材にイオンプレーティング法により銅薄膜を被覆することができる。上述したように、銅イオンがアルミ線材に蒸着する領域を所定の範囲とすることにより、十分な衝突エネルギーとなるため、アルミ線材の表面の不働態酸化被膜を除去しつつ、銅薄膜を形成することができる。その結果、銅薄膜とアルミ線材との密着性に優れた銅被覆アルミニウム線材を提供することができる。

[0010] また、少なくとも一対のリターンロールを用いて交差回転しながら蒸着するため、アルミ線材の表面に均一かつ薄く銅薄膜を被覆することができる。そのため、銅の占積率の小さな軽量化した銅被覆アルミニウム線材を提供することができる。また、アルミ線材の巻き取り速度を上述の所定の速度にす

ることにより、アルミ線材が断線することなく、長尺線に対しても歩留まりよく銅被覆アルミニウム線材を提供することができる。また、本発明の製造方法は、高純度の柔らかいアルミニウムに対しても適用することができるので、銅薄膜で被覆することによりアルミニウム線材全体の耐力を向上できる。そのため、極細伸線処理も可能となる。

図面の簡単な説明

[0011] [図1]本発明の銅被覆アルミニウム線材を示す模式図である。

[図2]本発明の銅被覆アルミニウム線材を製造する製造装置の模式図である。

[図3]本発明の銅被覆アルミニウム線材を製造する工程を示すフローチャートである。

[図4]イオンプレーティング装置における蒸着領域を模式的に示す図である。

[図5]イオンプレーティング法による銅薄膜が被覆される様子を示す模式図である。

[図6]伸線処理を模式的に示す図である。

[図7]例２の銅被覆アルミニウム線材の外観を示す図である。ここで、図７（Ａ）は、銅被覆アルミニウム線材が第２のドラムに巻き取られている様子を示し、図７（Ｂ）は、伸線処理後の銅被覆アルミニウム線材の様子を示す。

[図8]例２および例５の銅被覆アルミニウム線材の断面のＳＥＭ像を示す図である。ここで、図８（Ａ）は、例２の銅被覆アルミニウム線材の断面ＳＥＭ像を示し、図８（Ｂ）は、例５の銅被覆アルミニウム線材の断面ＳＥＭ像を示す。

[図9]例２、例５、例１０、例１１、例１２および例１４の銅被覆アルミニウム線材のスクラッチ試験の結果を示す図である。

[図10]例２の銅被覆アルミニウム線材の伸線処理時の断面の光学顕微鏡写真を示す図である。

発明を実施するための形態

[0012] 以下、図面を参照しながら本発明の実施の形態を説明する。なお、同様の要素には同様の番号を付し、その説明を省略する。

[0013] 図１は、本発明の銅被覆アルミニウム線材を示す模式図である。

[0014] 本発明の銅被覆アルミニウム線材１００は、アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミ線材１１０と、アルミ線材１１０を被覆する銅薄膜１２０とを備える。アルミ線材１１０が銅薄膜１２０で被覆されているため、耐環境性を有する。

[0015] 本発明の銅被覆アルミニウム線材１００では、銅薄膜１２０の占積率（％）が、０．２％以上４％以下である。これにより、軽量化を可能とする。銅薄膜１２０の占積率（％）は、銅被覆アルミニウム線材１００の全断面積に対する銅薄膜１２０の断面積の百分率である。銅薄膜１２０の占積率（％）は、好ましくは、０．２％以上１％未満の範囲である。これにより、さらに軽量化を可能にする。銅薄膜１２０の占積率（％）は、さらに好ましくは、０．３％以上０．５５％以下の範囲である。この範囲であれば、密着性を維持しつつ、軽量化を可能にする。断面積とは、銅被覆アルミニウム線材１００の長手方向に対して垂直な方向の断面の面積である。

[0016] 本発明の銅被覆アルミニウム線材１００は、アルミ線材１１０と銅薄膜１２０との間に不働態酸化被膜を有しないため、ＪＩＳ　Ｒ　３２５５に準拠したスクラッチ試験に基づくアルミ線材１１０と銅薄膜１２０との間の密着性が、１０ｍＮ以上を満たし、密着不良にならない。１０ｍＮ以上であれば密着不良の懸念はないため上限は特に設定しないが、３００ｍＮ以下であってもよい。

[0017] 密着性は、好ましくは、２０ｍＮ以上１００ｍＮ以下の範囲を満たす。この範囲であれば、密着性がより高く、銅薄膜１２０が剥離することなく、銅被覆アルミニウム線材１００の耐力がより向上する。密着性は、より好ましくは、３０ｍＮ以上１００ｍＮ以下の範囲、さらにより好ましくは、５０ｍＮ以上１００ｍＮ以下の範囲を満たす。この範囲であれば、銅被覆アルミニウム線材１００の耐力がさらに向上する。

[0018] アルミ線材１１０は、アルミニウムまたはアルミニウム合金であればよいが、アルミニウムは好ましくは９９．９％以上９９．９９９９％以下の範

囲の純度を有する。本発明の銅被覆アルミニウム線材であれば、高純度のアルミニウム線材も断線することなく使用することができる。

[0019] 純アルミニウム以外にもアルミニウム合金も使用できるが、アルミニウム合金は、主成分としてアルミニウム（Ａｌ）と、マグネシウム（Ｍｇ）、鉄（Ｆｅ）、ジルコニウム（Ｚｒ）、亜鉛（Ｚｎ）、クロム（Ｃｒ）、スカンジウム（Ｓｃ）、マンガン（Ｍｎ）、ホウ素（Ｂ）、チタン（Ｔｉ）、銅（Ｃｕ）、リチウム（Ｌｉ）およびケイ素（Ｓｉ）からなる群から選択される少なくとも１種の元素との合金であってもよい。

[0020] アルミニウム合金を構成するアルミニウム以外の元素の含有量は、好ましくは０．１ａｔ％以上１０ａｔ％以下であればよい。なお、この場合、Ａｌ以外に２種以上の元素が選択された場合であっても、それらの元素の合計含有量が上記範囲内であればよい。このような観点からアルミニウム合金において主成分とするＡｌの量は、９０ａｔ％以上９９．９ａｔ％未満であってよい。

[0021] 次に、本発明の銅被覆アルミニウム線材１００を製造するに好適な製造方法を説明する。

[0022] 図２は、本発明の銅被覆アルミニウム線材を製造する製造装置の模式図である。

図３は、本発明の銅被覆アルミニウム線材を製造する工程を示すフローチャートである。

[0023] 本発明者らは、イオンプレーティング法を採用し、種々の条件を設定することにより、アルミ線材の不働態酸化被膜の除去と同時に銅薄膜を極薄にて形成できることを見出した。

[0024] 本発明の方法では、図２に示すイオンプレーティング装置を採用するが、図２で示す構成は例示であって、この構成に限定されないことに留意されたい。イオンプレーティング装置２００には、真空チャンバ２０１と、真空チャンバ２０１内に設けられた電子銃２０２と、熱電子フィラメント２０３と、イオン化電極２０４とを備えたものを採用することができる。

[0025] 真空チャンバ２０１は、排気口を介して拡散ポンプ、ターボ分子ポンプ、クライオポンプ等の真空ポンプによって真空引きが可能な状態になっている。真空チャンバ２０１には、ガス供給管２０５を介して、反応性ガス、放電洗浄用ガス（イオンボンバードメント処理用ガス）などを供給するようになっている。

[0026] 電子銃２０２は、ハースライナ２０６内に収容された蒸発源（ここでは銅金属）２０７を加熱して、蒸発させる。電子銃２０２は真空チャンバ２０１の外部に設けられた電子銃電源装置（図示せず）からの電力供給よって電子ビーム２０８を発生する。電子ビーム２０８は、偏向されて、ハースライナ２０６内の蒸発源に照射される。蒸発源２０７は加熱され、蒸発する。

[0027] 熱電子フィラメント２０３は、フィラメント加熱電源装置（図示せず）に接続され、交流電力が供給される。熱電子フィラメント２０３は、電力供給によって加熱され、熱電子を放出する。このような熱電子フィラメント２０３は、例えば、タングステン、モリブデン、タンタル等の金属からなる。

[0028] イオン化電極２０４は、正の電圧が印加されるようになっている。熱電子フィラメント２０３からの熱電子はイオン化電極２０４に向かって進みながら、蒸発源２０７から蒸発した蒸発粒子（ここでは銅粒子）と衝突し、蒸発粒子をイオン化させる。イオン化された蒸発粒子（ここでは銅イオン）が対象物に付着し、薄膜が形成される。図２に示すように、イオン化した蒸発粒子の対象物への付着のタイミングを制御できるようシャッタ２０９が備えられていてもよい。また、形成された薄膜の厚さが測定できるよう膜厚計２１０が備えられていてもよい。このようなイオンプレーティング装置２００は、既存のイオンプレーティング装置と同様であってよい。

[0029] イオンプレーティング装置２００は、さらに、第１のドラム２１１および第２のドラム２１２を収容する。第１のドラム２１１には、アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミ線材１１０が巻回されており、第１のドラム２１１から第２のドラム２１２に巻き取らせることが可能な構成になっている。また、第１のドラム２１１および第２のドラム２１２には、電圧

が印加できるようになっており、これにより、アルミ線材１１０が対象物となる。

[0030] イオンプレーティング装置２００は、さらに、第１のドラム２１１からのアルミ線材１１０が、交差回転しながら第２のドラム２１２に巻き取られるよう、少なくとも一対（一組）のリターンロール２１３を収容する。リターンロールが一対であれば、例えば、ＡからＢへ進む間にアルミ線材の一方の面に銅薄膜が形成され、ＣからＤへ進む間にもう一方の面に銅薄膜が形成される。２対以上のリターンロールを設けることにより、アルミ線材を被覆する銅薄膜の厚さをより効率的に制御できる。図２を用いて具体的に説明すると、ＡからＢへ進む１個のリターンロール２１３とＣからＤへ進む１個のリターンロール２１３との組み合わせを、一対（一組）のリターンロール２１３と称する。そのため、図４に示すように、該組み合わせが５つ存在する場合、５対（５組）のリターンロール２１３が設けられていると称することになる。

[0031] 図２では、第１のドラム２１１から少なくとも一対のリターンロール２１３を介して第２のドラム２１２へアルミ線材が巻き取られる構成のイオンプレーティング装置２００を説明したが、第２のドラム２１２から少なくとも一対のリターンロール２１３を介して第１のドラム２１１へ巻き取られるようにしてもよい。このようなイオンプレーティング装置２００を用いて本発明の方法の各ステップを説明する。

[0032] ステップＳ３１０：銅蒸発源２０７を備えた真空チャンバ２０１内に、外径０．１ｍｍ以上１．５ｍｍ以下の範囲を有するアルミ線材１１０が巻回された第１のドラム２１１から、アルミ線材１１０が少なくとも一対のリターンロール２１３を介して交差回転する（例えば、Ａ→Ｂ→Ｃ→Ｄの順）ようにして第２のドラム２１２に巻き取らせることが可能となり、かつ、少なくとも一対のリターンロール２１３間を渡るアルミ線材１１０と銅蒸発源２０７の中心との間の距離が５００ｍｍ以上１０００ｍｍ以下となるように、アルミ線材１１０を設置する。アルミ線材１１０は、図１を参照して説明した

アルミ線材と同様であるため説明を省略する。リターンロールは２対（２組）以上備える構成にすると、交差回転の回数が増大するため、アルミ線材に被覆される銅薄膜の厚さの制御に有利である。

[0033] ステップＳ３１０において、アルミ線材１１０が設定されると、真空チャンバ２０１内を真空引きする。このときの真空度は、好ましくは、１×１０$^{-9}$Ｐａ以上１×１０$^{-5}$Ｐａ以下の範囲であり、より好ましくは、１×１０$^{-7}$Ｐａ以上１×１０$^{-5}$Ｐａ以下の範囲である。

[0034] 図４は、イオンプレーティング装置における蒸着領域を模式的に示す図である。

図５は、イオンプレーティング法による銅薄膜が被覆される様子を示す模式図である。

[0035] 図４では、５組のリターンロール２１３を備えたイオンプレーティング装置における蒸着領域を拡大して示す。蒸発源２０７の蒸発によって得られる蒸着領域４１０をハッチングで示す。後述するステップＳ３２０により形成され得る蒸発領域４１０に着目すると、蒸発源２０７の中心Ｐと、リターンロール２１３間に渡るアルミ線材１１０との間には、距離Ｄ１、距離Ｄ２および距離Ｄ３の３種類の長さがある。ここで、距離Ｄ１は最短距離であり、距離Ｄ２が最長距離となる。このような距離Ｄ１、距離Ｄ２、距離Ｄ３は、それぞれ、５００ｍｍ以上１０００ｍｍの範囲を満たし、且つ、距離は、Ｄ１＜Ｄ３＜Ｄ２となっている。本願発明者らは、蒸着領域４１０をこのように限定することにより、銅イオン５２０がアルミ線材１１０に衝突すると、アルミ線材１１０の表面にある不働態酸化被膜５１０を衝突エネルギーにより除去しつつ、同時に銅粒子５３０からなる銅薄膜を形成することが分かった。この結果から、銅薄膜とアルミ線材との間の高い密着性を可能にすることが確認された。

[0036] ステップＳ３２０：電子ビーム２０８加熱により銅蒸発源２０７から銅を蒸発させ、イオン化する。銅蒸発源２０７からの銅の蒸発ならびにイオン化は、イオンプレーティング装置２００の電子銃２０２、熱電子フィラメント

２０３、およびイオン化電極２０４によって行われる。

[0037] ステップＳ３２０において、好ましくは、真空度は、１×１０$^{-4}$Ｐａ以上１×１０$^{-2}$Ｐａ以下の範囲にするとよい。これにより、銅蒸発量が制御されて、多くの銅粒子がイオン化されるので、銅薄膜の形成がさらに効率的に促進される。

[0038] ステップＳ３３０：第１のドラム２１１および第２のドラム２１２に１０Ｖより大きく８００Ｖ以下の範囲の大きさの負の電圧を印加する。これにより、ステップＳ３２０でイオン化した正の電荷を帯びた銅イオンが、負の電圧が印加されたアルミ線材１１０に付着できる。好ましくは、５０Ｖ以上７００Ｖ以下の範囲の大きさの負の電圧を印加する。これにより、より効率的に銅イオンがアルミ線材１１０に付着する。より好ましくは、２００Ｖ以上７００Ｖ以下の範囲の大きさの負の電圧を印加する。これにより、さらに効率的に銅イオンがアルミ線材１１０に付着する。

[0039] ステップＳ３４０：アルミ線材１１０を１ｍ／分以上１５ｍ／分未満の速度で第１のドラム２１１から少なくとも一対のリターンロール２１３を介して交差回転させながら第２のドラム２１２に巻き取らせ、イオン化した銅イオンを前記アルミ線材に衝突させ、銅薄膜を形成する。これにより、アルミ線材１１０の表面にある不働態酸化被膜を破壊及び除去しながら、表面に銅薄膜が形成されるので、銅被覆アルミニウム線材１００（図１）が得られる。巻き取り速度が１ｍ／分より遅いと、銅イオンの衝突によりアルミ線材の温度が上昇し、イオンプレーティング処理中にアルミ線材が断線する虞がある。巻き取り速度が１５ｍ／分以上の速さになると、アルミ線材に銅被覆がされない領域が生じ得る。

[0040] 好ましくは、アルミ線１００を１ｍ／分以上５ｍ／分以下の速度で巻き取る。これにより、不働態酸化被膜が除去された銅被覆アルミニウム線材が効率的に得られる。なお好ましくは、アルミ線１００を２ｍ／分以上５ｍ／分以下の速度で巻き取る。これにより、不働態酸化被膜を有しない銅被覆アルミニウム線材がさらに効率的に得られる。

[0041] ステップＳ３３０の銅薄膜の形成を繰り返してもよい。例えば、アルミ線１００を第１のドラム２１１から第２のドラム２１２に巻き取った後、第２のドラム２１２を第１のドラム２１１へ、第１のドラムを第２のドラム２１２へと付け替えて、再度、ステップＳ３３０を行ってもよい。これにより、アルミ線材に被覆される銅薄膜の厚さを制御することができる。あるいは、アルミ線１００を第１のドラム２１１から第２のドラム２１２に巻き取った後、第２のドラム２１２からアルミ線材１１０を少なくとも一対のリターンロール２１３を介して交差回転させながら第１のドラム２１１へと巻き取りながら逆方向（例えば、図４のＤ→Ｃ→Ｂ→Ａ）にステップＳ３３０を行ってもよいし、巻取り後に再度順方向（例えば、図４のＡ→Ｂ→Ｃ→Ｄ）にステップＳ３３０を行ってもよい。このような改変は本願明細書の範囲内である。このように、ステップＳ３３０の巻き取りの繰り返し、および／または、ステップＳ３１０における一対のリターンロール２１３の組数を適宜組み合わせることにより、用途に応じた厚さの銅薄膜をアルミ線材１１０にさらに効率的に被覆することができる。

[0042] ステップＳ３２０、Ｓ３３０およびＳ３４０は、同時に行ってもよいし、ステップＳ３４０、次いでステップＳ３２０、Ｓ３３０の順に行ってもよい。

[0043] ステップＳ３１０の後、ステップＳ３２０に先立って、アルゴンイオンを用いたイオンボンバードメント処理を行い、アルミ線材１１０の表面を洗浄してもよい。この場合、イオンボンバードメント処理をしながら、第１のドラム２１１および第２のドラム２１２に負の電圧を印加した状態で、第１のドラム２１１から少なくとも一対のリターンロール２１３を介して交差回転させながら第２のドラム２１２にアルミ線材１１０を巻き取らせればよい。これにより、アルミ線材１１０の表面を洗浄することができる。

[0044] イオンボンバードメント処理において、好ましくは、真空度は、１Ｐａ以上１０Ｐａ以下の範囲にするとよい。これによりアルゴンプラズマの生成がさらに効率的に促進する。イオンボンバードメント処理後、真空度を再度１

×１０$^{-9}$Ｐａ以上１×１０$^{-5}$Ｐａ以下の範囲、より好ましくは、１×１０$^{-7}$Ｐａ以上１×１０$^{-5}$Ｐａ以下の範囲にした後、ステップＳ３２０を実施してよい。また、巻き取り速度に特に制限はないが、例えば、５ｍ／分以上１５ｍ／分であってもよい。

[0045] イオンボーバードメント処理において、好ましくは、第１のドラム２１１および第２のドラム２１２には、１００Ｖ以上４００Ｖ以下の範囲の大きさの負の電圧が印加されてもよい。これにより、アルゴンプラズマによる洗浄がさらに効率的に促進する。

[0046] 図６は、伸線処理を模式的に示す図である。

[0047] ステップＳ３４０によって、銅被覆アルミニウム線材１００が得られるが、得られた銅被覆アルミニウム線材１００をさらに伸線処理してもよい。本発明の方法によれば、高純度の柔らかいアルミ線材１１０に対しても銅薄膜で被覆できるので、得られた銅被覆アルミニウム線材１００の全体の耐力は増加している。このため、高純度のアルミ線材１１０に対しても伸線処理によって極細線化することが可能である。このような伸線処理は特に制限はないが、好ましくは、図６に示すように超硬ダイスまたはダイヤモンドダイスを用いた引き抜き加工である。これにより外径０．１ｍｍ以上１．５ｍｍ以下の範囲を有するアルミ線材１１０を、外径０．０５ｍｍ以上０．１ｍｍ未満の範囲まで極細線化することができる。

[0048] 引き抜き加工前、引き抜き加工後、または、引き抜き加工時に銅被覆アルミニウム線材１００を３００℃以上５００℃以下の温度範囲で１秒以上５分以下の時間焼鈍してもよい。これにより、引き抜き加工時に生じたひずみが除去されるので、アルミ線材１１０の割れやミクロな亀裂をさらに効率的に抑制できる。引き抜き加工および焼鈍は、図６に示すように、所望の外径となるまで複数回行ってよい。

[0049] 次に具体的な実施例を用いて本発明を詳述するが、本発明がこれら実施例に限定されないことに留意されたい。

実施例

[0050] ［例１～例２４］

５組のリターンロール２１３（図４）を備え、銅蒸発源２０７（図２）（銅の純度９９．９９９％）を収容したイオンプレーティング装置２００（図２）を用いて、表１に示すアルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミ線材１１０（図１）に銅薄膜を被覆し、銅被覆アルミニウム線材を製造した。

[0051] 真空チャンバ２０１（図２）に、図４に示すように距離Ｄ１、Ｄ２、Ｄ３が、それぞれ、５００ｍｍ、１０００ｍｍおよび７００ｍｍとなるように、アルミ線材を設置した（図３のステップＳ３１０）。ここで、アルミ線材（図１）は第１のドラム２１１（図２）に巻回されており、アルミ線材が５組のリターンロール４１０を介して１０回交差回転するようにして第２のドラム２１２（図２）に巻き取らせることが可能となり、かつ、５組のリターンロール２１３間を渡るアルミ線材１１０と銅蒸発源２０７の中心Ｐとの間の距離が５００ｍｍ以上１０００ｍｍ以下の範囲を満たす構造となるように設置した。次に、真空チャンバ２０１内の真空度が１×１０$^{-6}$Ｐａとなるよう真空ポンプにより真空引きした。

[0052] 次いで、表１に示すように一部の例については、アルゴンイオンボンバードメント処理を行い、アルミ線材を洗浄した。詳細には、アルゴンガスを真空チャンバ２０１に導入し、圧力が１Ｐａ以上１０Ｐａ以下の範囲となるようにした。第１のドラム２１１および第２のドラム２１２に２４０Ｖの大きさの負の電圧を印加し、アルゴンプラズマを発生させた。次いで、第１のドラム２１１から５組のリターンロールを介して第２のドラム２１２へアルミ線材を巻き取らせた（巻き替えさせた）。このときのアルミ線材の巻き替え速度は、１０ｍ／分とした。

[0053] アルゴンイオンボンバードメント処理が終了後、電圧印加をやめ、真空チャンバ２０１の真空度が１×１０$^{-6}$Ｐａとなるまで真空引きをした。次いで、第２のドラム２１２から第１のドラム２１１へと再度巻き取りをした。

[0054] 次に、電子ビーム２０８の加熱により銅蒸発源２０７を蒸発させ、イオン

化した（図３のステップＳ３２０）。詳細には、熱電子電圧１４Ｖ、熱電子電流８０Ａ、エミッション電流４５０ｍＡ、イオン化電圧５０Ｖ、イオン化電流９０Ａであり、真空チャンバ２０１の真空度を１×１０$^{-3}$Ｐａとし、銅の蒸発量を制御した。

[0055] 次に、第１のドラム２１１および第２のドラム２１２に表１に示す大きさの負の電圧を印加した（図３のステップＳ３３０）。アルミ線材１１０を表１に示す速度で第１のドラム２１１から５組のリターンロール２１３を介し１０回交差回転させながら第２のドラム２１２に巻き取らせ、イオン化された銅イオンをアルミ線材１１０に衝突させ、銅薄膜を形成した（図３のステップＳ３４０）。

[0056] 次いで、表１に示すように一部の例については、銅薄膜の形成を繰り返した。表１において繰り返し回数が０とは、銅薄膜の形成（図３のステップＳ３４０）を１回、繰り返し回数が１とは、銅薄膜の形成を２回行ったことを意味する。

[0057] 銅薄膜の形成の繰り返しは、詳細には次のように行った。１回目の銅薄膜の形成が終了すると、電子ビーム加熱および第１のドラム２１１と第２のドラム２１２の電圧印加をやめ、真空チャンバ２０１内の真空度を１×１０$^{-6}$Ｐａまで真空引きした。次いで、第２のドラム２１２から第１のドラム２１１に再度巻き取らせ、再度、上述の条件で電子ビーム加熱をし、負の電圧を印加し、表１に示す速度で巻取らせ、銅薄膜を形成した。

[0058] 次いで、表１に示すように一部の例については、伸線処理をした。伸線処理は、図６に示すように、ダイヤモンドダイスを複数回用いた引き抜き加工であった。引き抜き加工後に３００℃で３０秒焼鈍処理をした。

[0059] このようにして得られた例１～例２４の銅被覆アルミニウム線材の外観および断面を観察した。断面の観察には走査型電子顕微鏡（株式会社日立ハイテク製、ＴＭ３０３０ＰＩｕｓ）または光学顕微鏡（株式会社ニコン製、ＥＣＬＩＰＳＥ　ＬＶ１５０）を用いた。ＳＥＭ像から銅薄膜の厚さおよび銅の占積率を求めた。銅薄膜とアルミ線材との間の密着性をＪＩＳ　Ｒ　３２

５５に準拠したスクラッチ試験によって評価した。これらの結果を図７～図１０および表２に示す。

[0060] [表1]

例	アルミ線材の性状				銅箔発振からの距離(mm)			リターンロールの対数	イオンプレーティング条件				伸線加工
	種類	外径(mm)	長さ(m)	伸び(%)	D1	D2	D3		基板電圧(V)	基板振動(A)	巻き取り速度(m/分)	Arイオンボンバードメント	繰り返し回数	
1	純Al(5N)	1.5	100	1.4	500	1000	700	5	700	1.2	1.0	－	0	－
2	純Al(4N)	1.0	100	1.4	500	1000	700	5	220	1.2	2.0	有	1	有
3	純Al(4N)	0.8	100	1.4	500	1000	700	5	240	1.2	2.0	－	0	－
4	純Al(3N)	0.7	100	1.4	500	1000	700	5	500	1.2	0.2	－	0	－
5	純Al(4N)	0.7	100	1.4	500	1000	700	5	5	1.2	4.0	有	1	－
6	純Al(3N)	0.6	100	1.4	500	1000	700	5	100	1.2	2.0	－	1	－
7	Al-1.2at%Mg-0.1at%Fe	0.6	100	1.4	500	1000	700	5	200	1.2	1.0	有	1	－
8	純Al(4N)	0.5	100	1.4	500	1000	700	5	800	1.2	0.5	有	0	－
9	Al-0.2at%Fe	0.5	100	1.4	500	1000	700	5	30	1.2	2.0	有	1	－
10	Al-1.0at%Mg-0.5at%Si	0.5	100	1.4	500	1000	700	5	200	1.2	5.0	－	1	－
11	Al-1.0at%Mg	0.5	100	1.4	500	1000	700	5	10	1.2	10.0	－	1	－
12	純Al(3N)	0.4	100	1.4	500	1000	700	5	200	1.2	2.0	有	1	－
13	Al-0.2at%Mg	0.2	100	1.4	500	1000	700	5	150	1.2	15.0	－	0	－
14	Al-1.0at%Mg	0.1	100	1.4	500	1000	700	5	50	1.2	2.0	－	1	－
15	Al-1.2at%Mg-0.1at%Fe	0.1	100	1.4	500	1000	700	5	0	1.2	1.0	－	0	有
16	Al-1.0at%Mg	0.2	100	1.4	500	1000	700	5	50	1.2	2.0	－	0	有
17	Al-1.0at%Mg	0.3	100	1.4	500	1000	700	5	50	1.2	2.0	－	0	有
18	Al-1.0at%Mg	0.4	100	1.4	500	1000	700	5	50	1.2	2.0	－	0	有
19	Al-1.0at%Mg	0.5	100	1.4	500	1000	700	5	50	1.2	2.0	－	0	有
20	Al-1.0at%Mg	0.6	100	1.4	500	1000	700	5	50	1.2	2.0	－	0	有
21	Al-1.0at%Mg	0.7	100	1.4	500	1000	700	5	50	1.2	2.0	－	0	有
22	Al-1.0at%Mg	0.8	100	1.4	500	1000	700	5	50	1.2	2.0	－	0	有
23	Al-1.0at%Mg	0.9	100	1.4	500	1000	700	5	50	1.2	2.0	－	0	有
24	Al-1.0at%Mg	1.0	100	1.4	500	1000	700	5	50	1.2	2.0	－	0	有

表１：例１～例２４の銅被覆アルミニウム線材の実験条件の一覧

[0061] [表2]

例	1回目のイオンプレーティング処理		2回目のイオンプレーティング処理		断線の有無	密着性
	銅薄膜の厚さ（mm）	銅の占積率(%)	銅薄膜の厚さ（mm）	銅の占積率(%)	回数	
1	0.0020	0.53	–	–	0	◎
2	0.0010	0.40	0.0020	0.7952	0	◎
3	0.0010	0.50	–	–	0	◎
4	0.0100	5.48	–	–	6	○
5	0.0005	0.29	0.0010	0.5690	0	×
6	0.0010	0.66	0.0020	1.3201	0	○
7	0.0020	1.32	0.0040	2.6143	0	○
8	0.0040	3.12	–	–	2	○
9	0.0010	0.80	0.0020	1.5810	0	△
10	0.0004	0.32	0.0008	0.6369	0	◎
11	0.0002	0.16	0.0004	0.3192	0	×
12	0.0010	0.99	0.0020	1.9704	0	◎
13	0.0001	0.27	–	–	1	○
14	0.0010	3.88	0.0020	7.5444	0	△
15	0.0002	14.27	–	–	8	×
16	0.0040	3.88	–	–	0	△
17	0.0060	3.88	–	–	0	△
18	0.0080	3.88	–	–	0	△
19	0.0100	3.88	–	–	0	△
20	0.0120	3.88	–	–	0	△
21	0.0140	3.88	–	–	0	△
22	0.0160	3.88	–	–	0	△
23	0.0800	3.88	–	–	0	△
24	0.0200	3.88	–	–	0	△

表２：例１～例２４の銅被覆アルミニウム線材の性状の一覧

×：接着力10mN未満
△：接着力20mN以上～30mN未満
○：接着力30mN以上50mN未満
◎：接着力50mN以上100mN以下

[0062] 図７は、例２の銅被覆アルミニウム線材の外観を示す図である。

[0063] 図７（Ａ）は、銅被覆アルミニウム線材が第２のドラム２１２に巻き取られている様子を示し、図７（Ｂ）は、伸線処理後の銅被覆アルミニウム線材の様子を示す。図７ではグレースケールで示すが、いずれも、線材表面は銅の光沢を示した。

[0064] 図８は、例２および例５の銅被覆アルミニウム線材の断面のＳＥＭ像を示す図である。

[0065] 図８（Ａ）は、例２の銅被覆アルミニウム線材の断面ＳＥＭ像であり、図８（Ｂ）は、例５の銅被覆アルミニウム線材の断面ＳＥＭ像である。図８（Ａ）によれば、アルミ線材と銅薄膜との界面には不働態酸化被膜がないことが分かった。一方、図８（Ｂ）によれば、アルミ線材と銅薄膜との界面に約

１０ｎｍの厚さの不働態酸化被膜が観察された。図示しないが、例１～例４、例６～例１０、例１２～例１４、例１６～例２４の銅被覆アルミニウム線材においても、アルミ線材と銅薄膜との界面には不働態酸化被膜は見られなかった。

[0066] さらに表２の例２および例５の銅被覆アルミニウム線材のスクラッチ試験の結果を参照すると、例２の銅被覆アルミニウム線材の密着性は、例５のそれにくらべて顕著に高かった。これらから、本発明の方法は、アルミ線材の表面にある不働態酸化被膜を除去しつつ、銅薄膜を被覆するに好適な方法であり、アルミ線材と銅薄膜との間の高い密着性が得られることが示された。

[0067] 表２の例１～例３、例６～例１０、例１２～例１４、例１６～例２４によれば、本発明の方法を実施することにより、銅薄膜の占積率が０．２％以上４％以下の範囲、好ましくは、０．３％以上０．５５％以下の範囲であり、ＪＩＳ　Ｒ　３２５５に準拠したスクラッチ試験に基づくアルミ線材と銅薄膜との間の密着性が１０ｍＮ以上、好ましくは、２０ｍＮ以上１００ｍＮ以下の範囲、より好ましくは３０ｍＮ以上１００ｍＮ以下の範囲、さらにより好ましくは、５０ｍＮ以上１００ｍＮ以下の範囲を満たす、銅被覆アルミニウム線材が得られることが示された。

[0068] 表２の例４、例８および例１３の銅被覆アルミニウム線材の結果に着目すると、密着性は有するものの、製造時にアルミ線材が断線した。このことから、アルミ線材を１ｍ／分以上１５ｍ／分未満の速度で巻き取ることが必要であることが示された。

[0069] 表２の例５、例１１および例１５の銅被覆アルミニウム線材の結果に着目すると、不働態酸化被膜を除去し、密着性を維持するためには、第１のドラムおよび第２のドラムに少なくとも１０Ｖより大きい負の電圧を印加することが必要であることが示された。

[0070] 図９は、例２、例５、例１０、例１１、例１２および例１４の銅被覆アルミニウム線材のスクラッチ試験の結果を示す図である。

[0071] 表２および図９の密着性の結果によれば、２００Ｖ以上７００Ｖ以下の範

囲の大きさの負の電圧を印加し、アルミ線を１ｍ／分以上５ｍ／分以下の速度で巻き取ることが好ましいことが分かった。

[0072] 図１０は、例２の銅被覆アルミニウム線材の伸線処理時の断面の光学顕微鏡写真を示す図である。

[0073] 図１０によれば、例２の銅被覆アルミニウム線材の引き抜き加工における断面の変化を示し、左から外形が１．００４ｍｍ、０．９２０ｍｍ、０．８３７ｍｍであった。ダイスを用いて複数回引き抜き加工を行っても、銅薄膜は剥離することなく強固に密着していることを確認した。

産業上の利用可能性

[0074] 本発明によれば、密着性に優れ、軽量化した銅被覆アルミニウム線材が提供されるので、電子機器、ケーブルの導体、編組線、各種モータ用コイル等の線材適用可能である。

符号の説明

[0075] １００ 銅被覆アルミニウム線材
１１０ アルミ線材
１２０ 銅薄膜
２００ イオンプレーティング装置
２０１ 真空チャンバ
２０２ 電子銃
２０３ 熱電子フィラメント
２０４ イオン化電極
２０５ ガス供給管
２０６ ハースライナ
２０７ 蒸発源
２０８ 電子ビーム
２０９ シャッタ
２１０ 膜厚計
２１１ 第１のドラム

２１２　第２のドラム

２１３　リターンロール

４１０　蒸着領域

５１０　不働態酸化被膜

５２０　銅イオン

５３０　銅粒子

請求の範囲

[請求項1] アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミ線材と、
前記アルミ線材を被覆する銅薄膜と
を備え、
銅薄膜の占積率は、０．２％以上４％以下の範囲であり、
ＪＩＳ　Ｒ　３２５５に準拠したスクラッチ試験に基づく前記アルミ線材と前記銅薄膜との間の密着性は、１０ｍＮ以上を満たす、銅被覆アルミニウム線材。

[請求項2] 前記銅薄膜の占積率は、０．２％以上１％未満の範囲である、請求項１に記載の銅被覆アルミニウム線材。

[請求項3] 前記銅薄膜の占積率は、０．３％以上０．５５％以下の範囲である、請求項２に記載の銅被覆アルミニウム線材。

[請求項4] 前記密着性は、２０ｍＮ以上１００ｍＮ以下の範囲を満たす、請求項１～３のいずれかに記載の銅被覆アルミニウム線材。

[請求項5] 前記密着性は、５０ｍＮ以上１００ｍＮ以下の範囲を満たす、請求項４に記載の銅被覆アルミニウム線材。

[請求項6] 前記アルミニウムは、９９．９％以上９９．９９９９％以下の範囲の純度を有する、請求項１～５のいずれかに記載の銅被覆アルミニウム線材。

[請求項7] 前記アルミニウム合金は、アルミニウム（Ａｌ）と、マグネシウム（Ｍｇ）、鉄（Ｆｅ）、ジルコニウム（Ｚｒ）、亜鉛（Ｚｎ）、クロム（Ｃｒ）、スカンジウム（Ｓｃ）、マンガン（Ｍｎ）、ホウ素（Ｂ）、チタン（Ｔｉ）、銅（Ｃｕ）、リチウム（Ｌｉ）およびケイ素（Ｓｉ）からなる群から選択される少なくとも１種の元素との合金である、請求項１～５のいずれかに記載の銅被覆アルミニウム線材。

[請求項8] 前記アルミ線材と前記銅薄膜との界面に不働態酸化被膜を有しない、請求項１～７のいずれかに記載の銅被覆アルミニウム線材。

[請求項9] アルミニウムまたはアルミニウム合金からなるアルミ線材にイオン

プレーティング法により銅薄膜を被覆し、銅被覆アルミニウム線材を製造する方法であって、

銅蒸発源を備えた真空チャンバ内に、外径０．１ｍｍ以上１．５ｍｍ以下の範囲を有するアルミ線材が巻回された第１のドラムから、前記アルミ線材が少なくとも一対のリターンロールを介して交差回転するようにして第２のドラムに巻き取らせることが可能となり、かつ、前記少なくとも一対のリターンロール間を渡る前記アルミ線材と前記銅蒸発源の中心との間の距離が５００ｍｍ以上１０００ｍｍ以下となるように、前記アルミ線材を設置することと、

電子ビーム加熱により前記銅蒸発源から銅を蒸発させ、イオン化することと、

前記第１のドラムおよび前記第２のドラムに１０Ｖより大きく８００Ｖ以下の範囲の大きさの負の電圧を印加することと、

前記アルミ線材を１ｍ／分以上１５ｍ／分未満の速度で前記第１のドラムから前記少なくとも一対のリターンロールを介して交差回転させながら前記第２のドラムに巻き取らせ、イオン化した銅イオンを前記アルミ線材に衝突させ、銅薄膜を形成することと

を包含する、方法。

[請求項10] 前記負の電圧を印加することは、５０Ｖ以上７００Ｖ以下の範囲の大きさの負の電圧を印加することである、請求項９に記載の方法。

[請求項11] 前記負の電圧を印加することは、２００Ｖ以上７００Ｖ以下の範囲の大きさの負の電圧を印加することである、請求項１０に記載の方法。

[請求項12] 前記銅薄膜を形成することは、前記アルミ線を１ｍ／分以上５ｍ／分以下の速度で巻き取らせることである、請求項９～１１のいずれかに記載の方法。

[請求項13] 前記アルミニウムは、９９．９％以上９９．９９９９％以下の範囲の純度を有する、請求項８～１２のいずれかに記載の方法。

[請求項14] 前記アルミニウム合金は、アルミニウム（Ａｌ）と、マグネシウム（Ｍｇ）、鉄（Ｆｅ）、ジルコニウム（Ｚｒ）、亜鉛（Ｚｎ）、クロム（Ｃｒ）、スカンジウム（Ｓｃ）、マンガン（Ｍｎ）、ホウ素（Ｂ）、チタン（Ｔｉ）、銅（Ｃｕ）、リチウム（Ｌｉ）およびケイ素（Ｓｉ）からなる群から選択される少なくとも１種の元素との合金である、請求項９～１２のいずれかに記載の方法。

[請求項15] 前記銅を蒸発させ、イオン化することに先立って、アルゴンイオンを用いたイオンボンバードメント処理によって前記アルミ線の表面を洗浄することをさらに包含する、請求項９～１４のいずれかに記載の方法。

[請求項16] 前記イオンボンバードメント処理は、１Ｐａ以上１０Ｐａ以下の範囲の真空チャンバ内の圧力で行う、請求項１５に記載の方法。

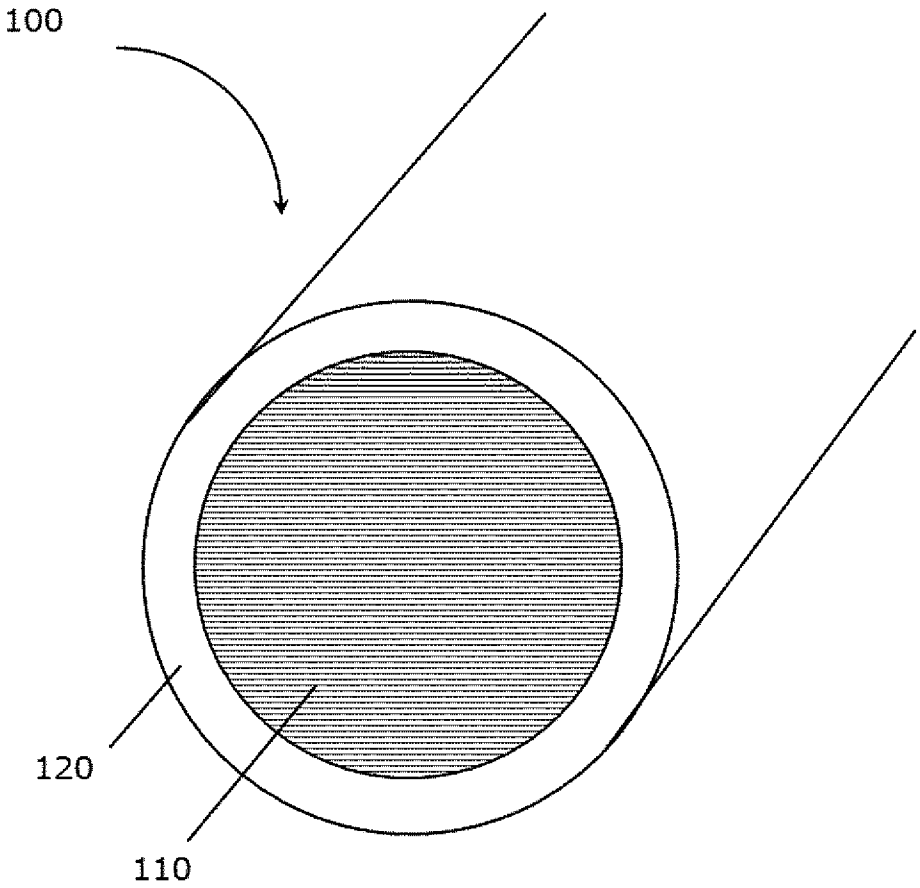
[請求項17] 前記銅薄膜を形成することを繰り返すことをさらに包含する、請求項９～１６のいずれかに記載の方法。

[請求項18] 前記銅薄膜を形成することによって得られた銅被覆アルミニウム線材を伸線処理することをさらに包含する、請求項９～１７のいずれかに記載の方法。

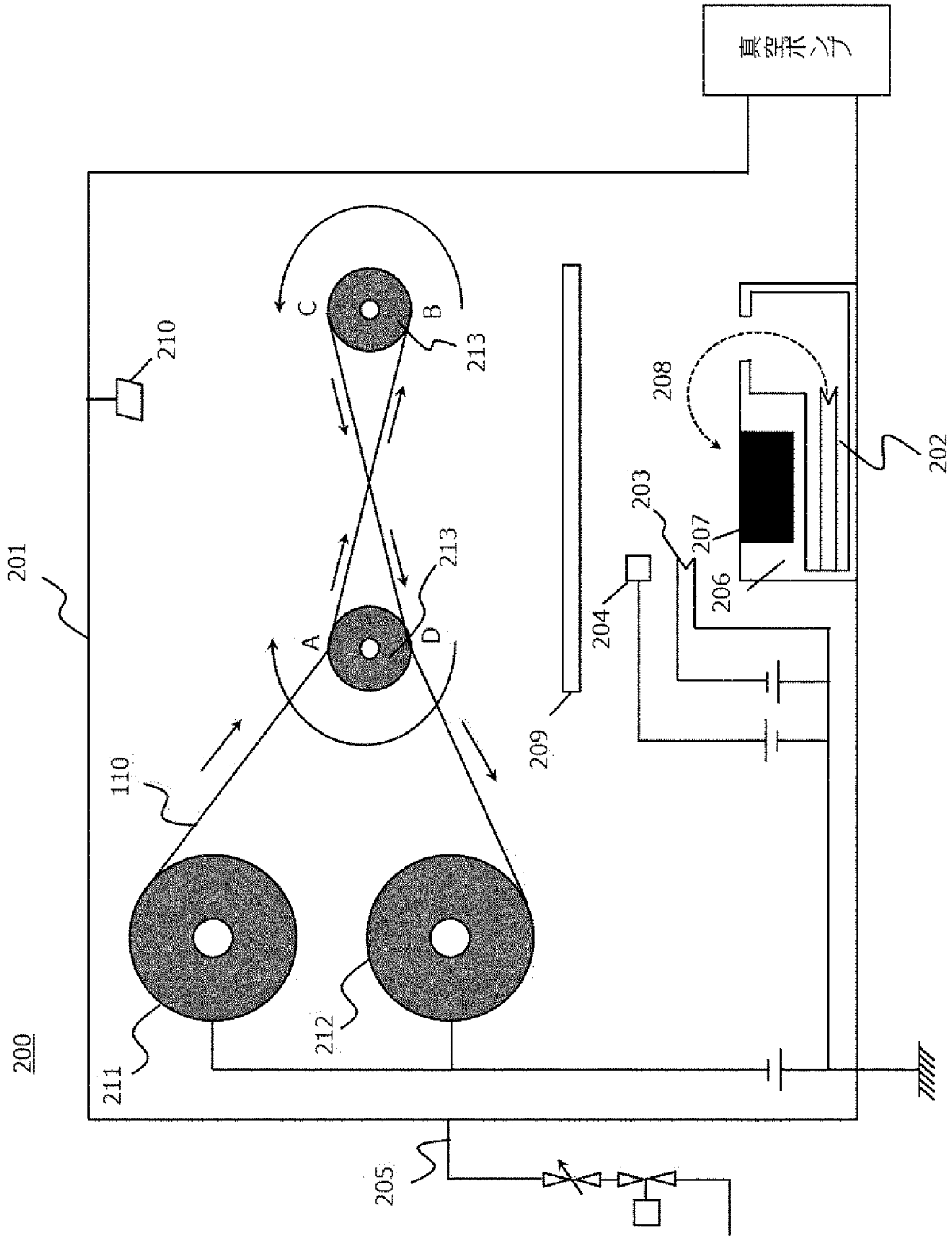
[請求項19] 前記伸線処理は、超硬ダイスまたはダイヤモンドダイスを用いた引き抜き加工である、請求項１８に記載の方法。

[請求項20] 前記引き抜き加工の前、後または時に、前記銅被覆アルミニウム線材を３００℃以上５００℃以下の温度範囲で１秒以上５分以下の時間、焼鈍する、請求項１９に記載の方法。

[図1]



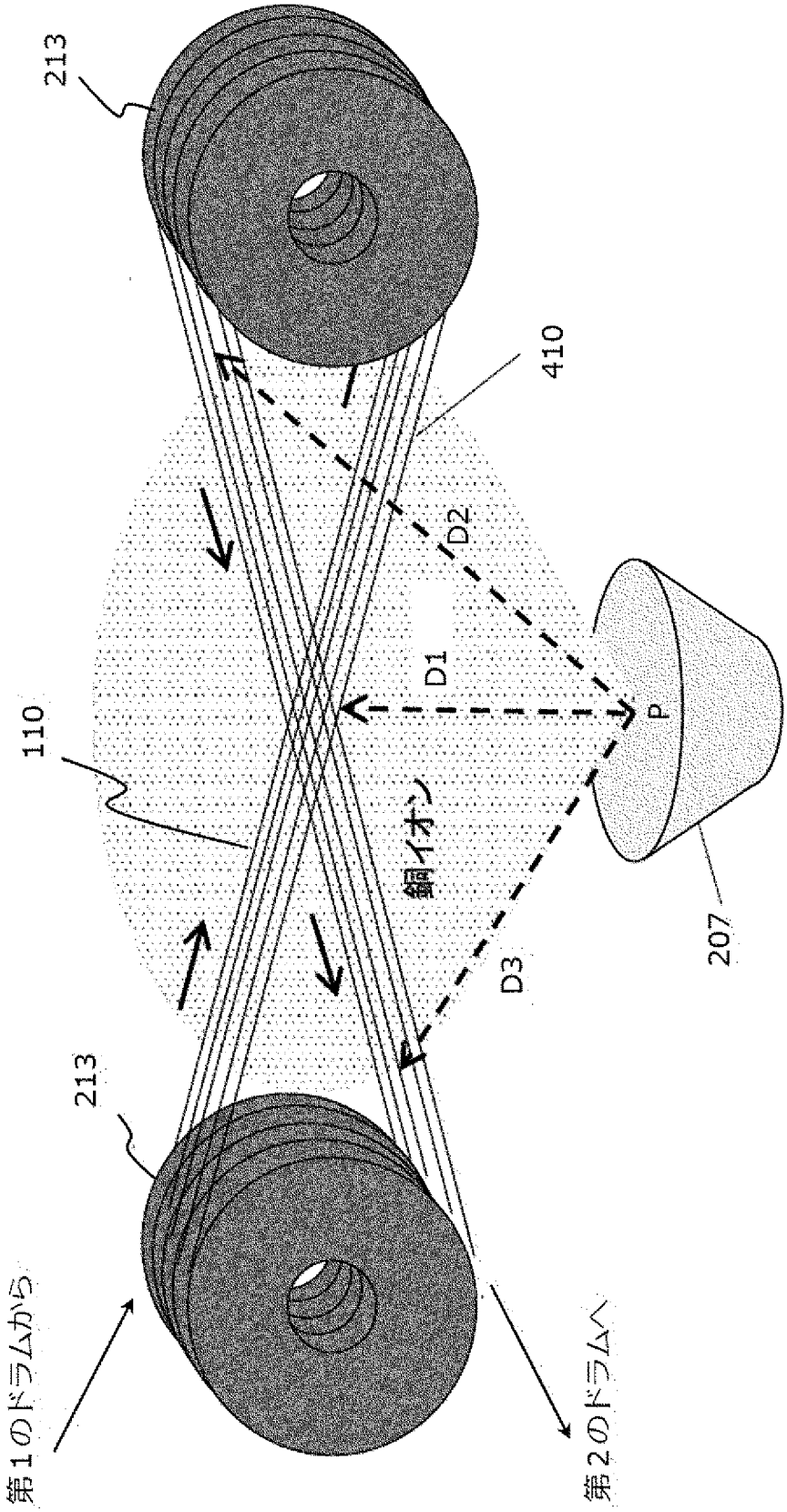
[図2]


高圧ケーブル
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
110
A
B
C
D

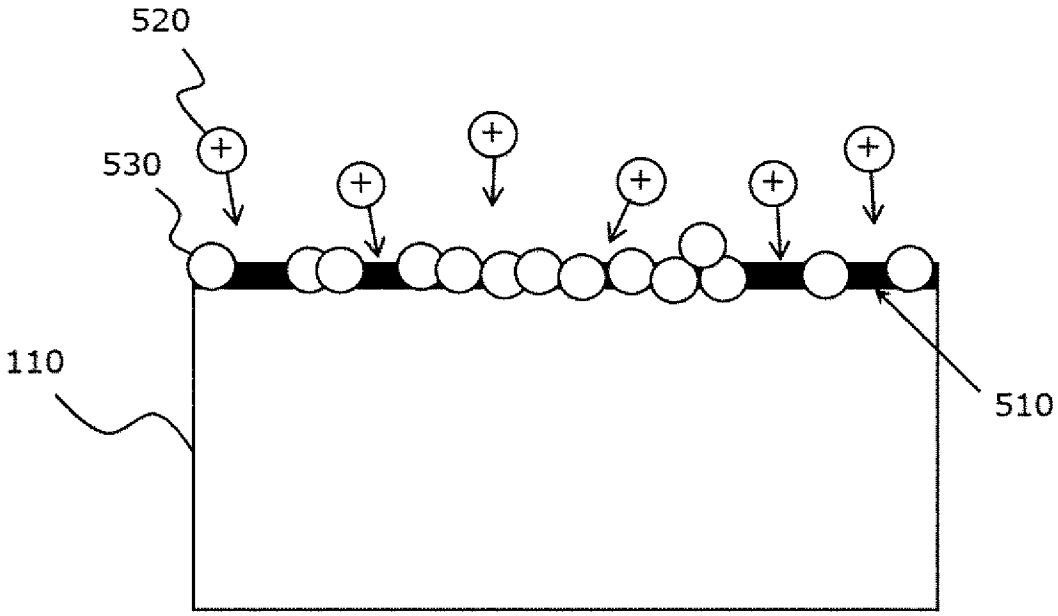
[図3]


START
S310
銅蒸発源を備えた真空チャンバ内に、外径０．１mm以上１．５mm以下の範囲を有するアルミ線材が巻回された第１のドラムから、アルミ線材が少なくとも一対のリターンロールを介して交差回転するようにして第２のドラムに巻き取らせることが可能となり、かつ、少なくとも一対のリターンロール間を渡るアルミ線材と銅蒸発源の中心との間の距離が５００mm以上１０００mm以下となるように、アルミ線材を設置する
S320
電子ビーム加熱により銅蒸発源から銅を蒸発させ、イオン化する
S330
第１および第２のドラムに１０Ｖより大きく８００Ｖ以下の範囲の大きさの負の電圧を印加する
S340
アルミ線材を１m／分以上１５m／分未満の速度で第１のドラムから少なくとも一対のリターンロールを介して交差回転させながら第２のドラムへと巻き取らせ、イオン化した銅イオンをアルミ線材に衝突させ、銅薄膜を形成する
END

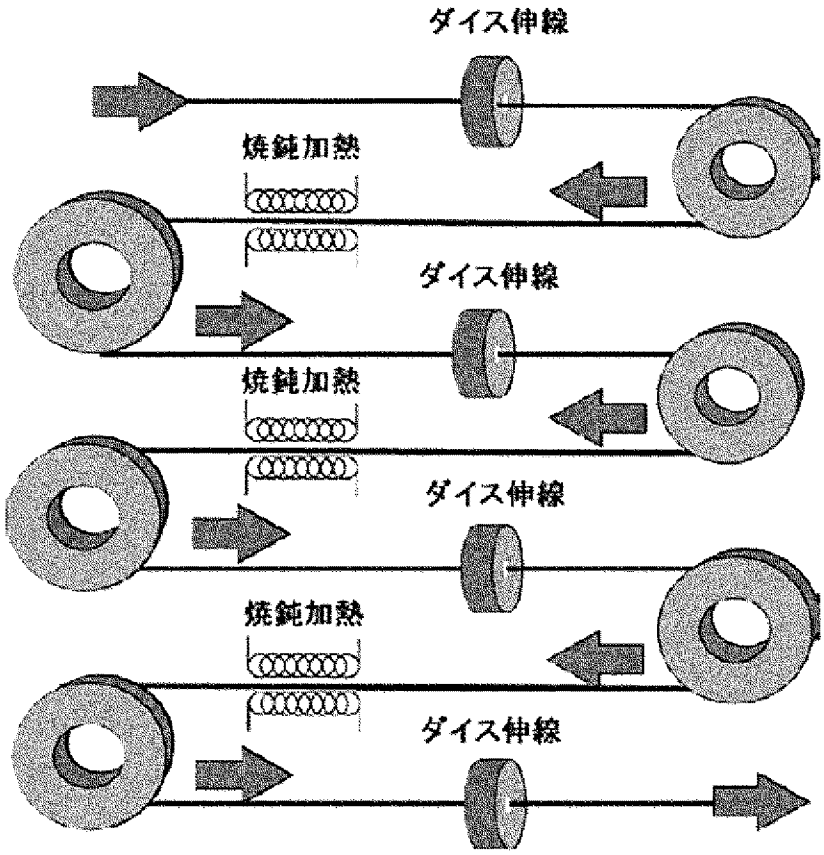
[図4]



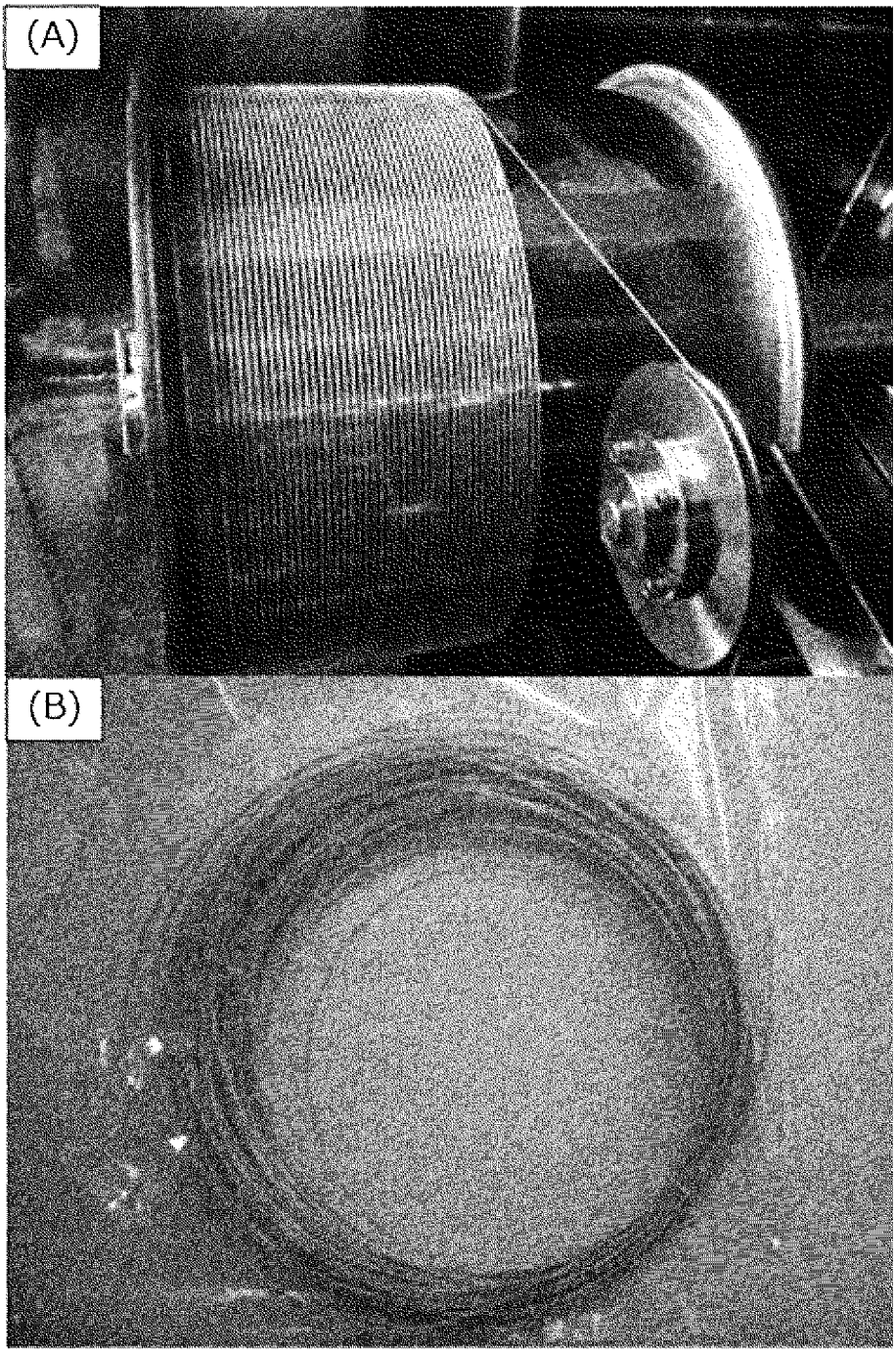
[図5]



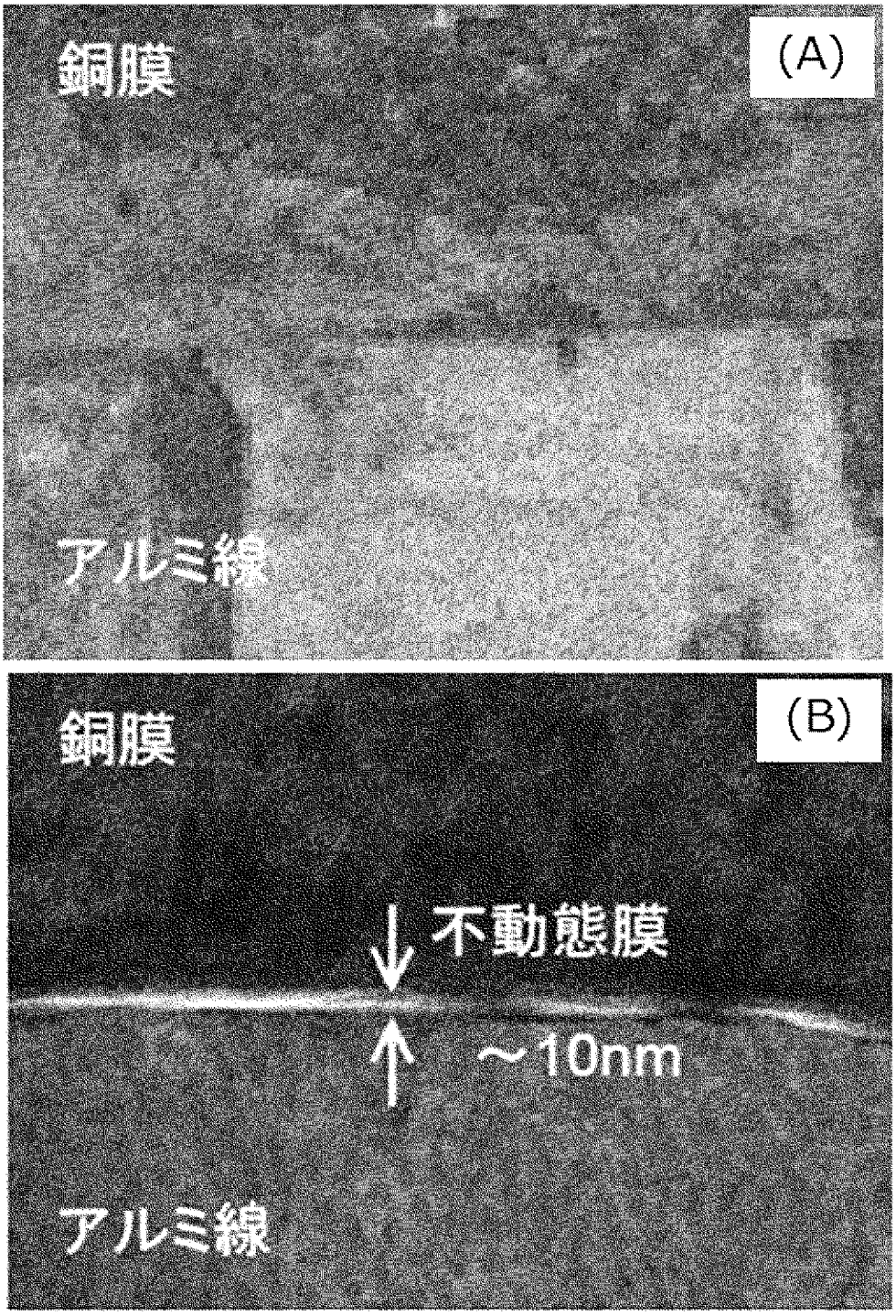
[図6]



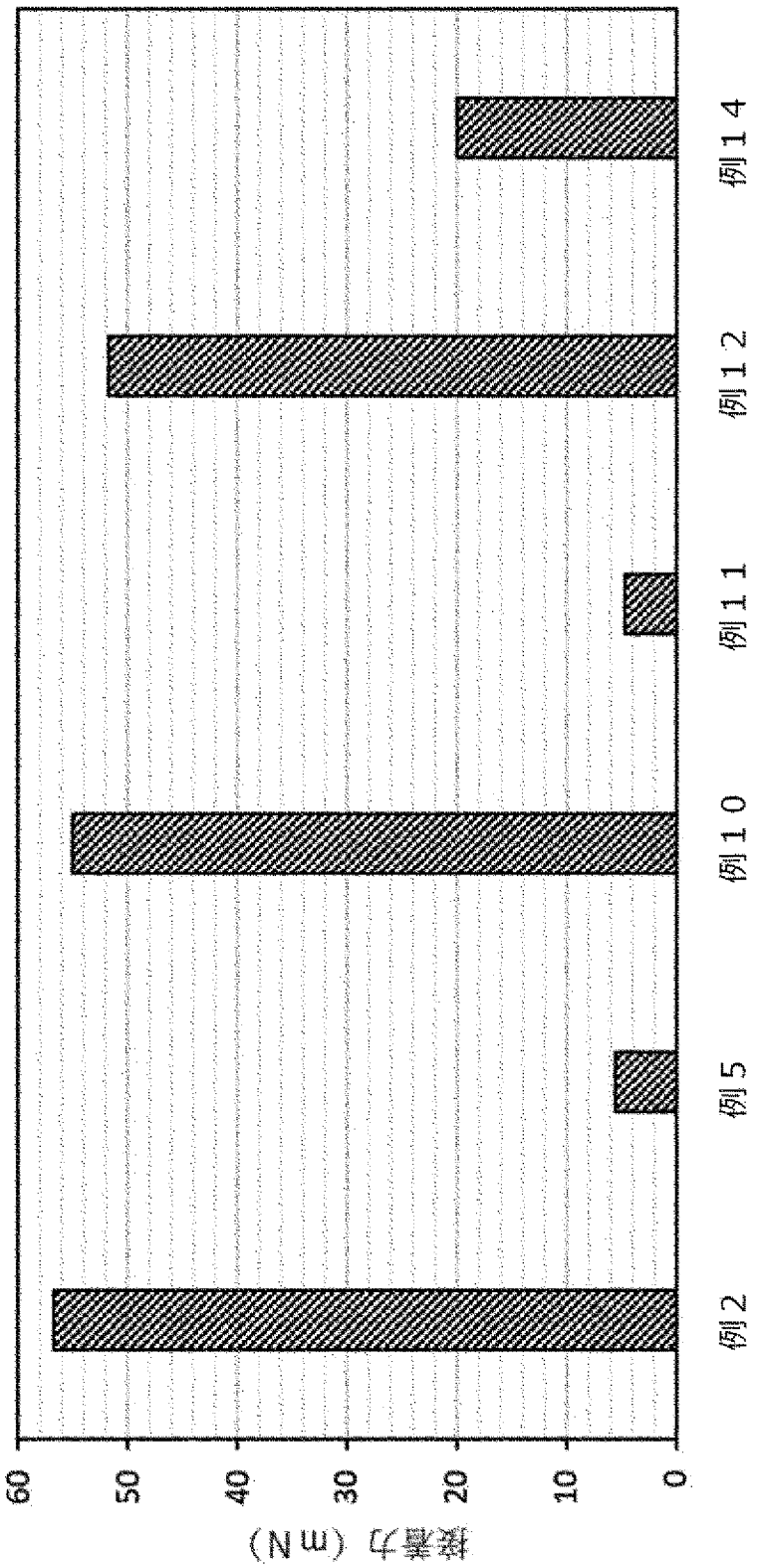
[図7]



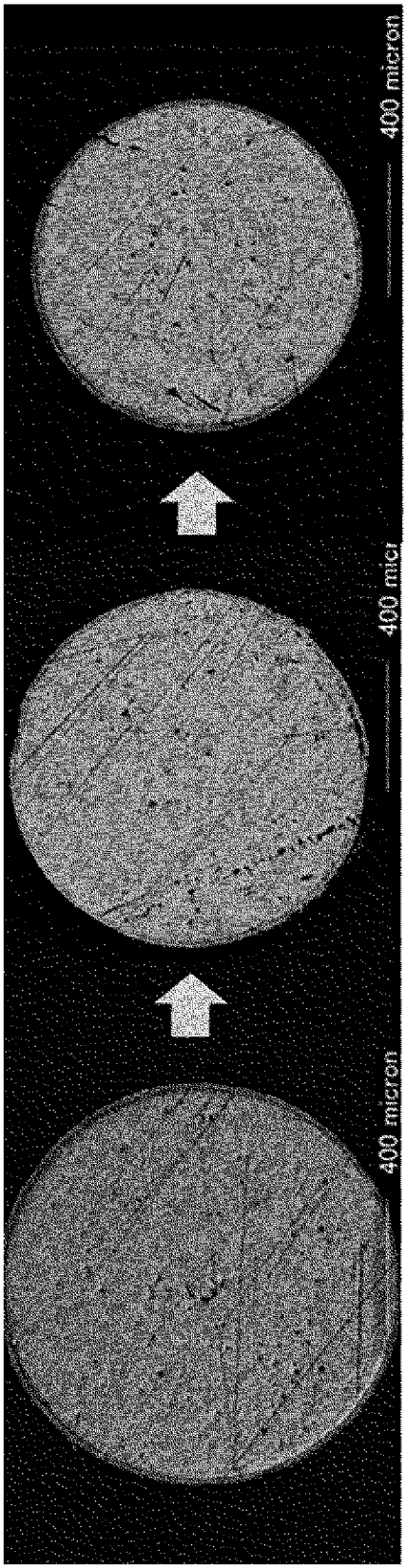
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2022/008429

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

C23C 10/28(2006.01)i; ***H01B 1/02***(2006.01)i; ***H01B 5/02***(2006.01)i; ***H01B 13/00***(2006.01)i; ***B21C 1/00***(2006.01)i
FI: H01B5/02 A; H01B1/02 B; H01B13/00 501F; B21C1/00 C; C23C10/28

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

C23C10/28; H01B1/02; H01B5/02; H01B13/00; B21C1/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2022
Registered utility model specifications of Japan 1996-2022
Published registered utility model applications of Japan 1994-2022

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 2019/193960 A1 (FURUKAWA ELECTRIC CO., LTD.) 10 October 2019 (2019-10-10) paragraphs [0028]-[0098], fig. 1-4	1-5, 7
Y		6, 8
A		9-20
Y	JP 5-285690 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES, LTD.) 02 November 1993 (1993-11-02) paragraph [0013]	6
Y	JP 2005-248318 A (KANSAI ENGINEERING K.K.) 15 September 2005 (2005-09-15) paragraphs [0039]-[0041], fig. 1	8
A	JP 62-1850 A (SUMITOMO ELECTRIC INDUSTRIES., LTD.) 07 January 1987 (1987-01-07) entire text, all drawings	9-20

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☑ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
19 April 2022	**10 May 2022**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2022/008429

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
WO 2019/193960 A1	10 October 2019	US 2021/0164120 A1 paragraphs [0020]-[0074], fig. 1-4	
JP 5-285690 A	02 November 1993	(Family: none)	
JP 2005-248318 A	15 September 2005	(Family: none)	
JP 62-1850 A	07 January 1987	(Family: none)	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2022/008429

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

C23C 10/28(2006.01)i; H01B 1/02(2006.01)i; H01B 5/02(2006.01)i; H01B 13/00(2006.01)i; B21C 1/00(2006.01)i
FI: H01B5/02 A; H01B1/02 B; H01B13/00 501F; B21C1/00 C; C23C10/28

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

C23C10/28; H01B1/02; H01B5/02; H01B13/00; B21C1/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０２２年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２２年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２２年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

C. 関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー*	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
X	WO 2019/193960 A1 (古河電気工業株式会社) 10.10.2019 (2019-10-10) 段落[0028]-[0098],図1-4	1-5,7
Y		6,8
A		9-20
Y	JP 5-285690 A (住友電気工業株式会社) 02.11.1993 (1993-11-02) 段落[0013]	6
Y	JP 2005-248318 A (有限会社 関西エンジニアリング) 15.09.2005 (2005-09-15) 段落[0039]-[0041],図1	8
A	JP 62-1850 A (住友電気工業株式会社) 07.01.1987 (1987-01-07) 全文、全図	9-20

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。

☑ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊ 引用文献のカテゴリー
“A” 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
“E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
“L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
“O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
“P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
“T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
“X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
“Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
“&” 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
19.04.2022	10.05.2022

名称及びあて先
日本国特許庁(ISA/JP)
〒100-8915
日本国
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

権限のある職員（特許庁審査官）
北嶋　賢二 5G 3792

電話番号 03-3581-1101 内線 3526

国際調査報告
パテントファミリーに関する情報

国際出願番号
PCT/JP2022/008429

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
WO 2019/193960 A1	10.10.2019	US 2021/0164120 A1 段落[0020]-[0074],図1-4	
JP 5-285690 A	02.11.1993	（ファミリーなし）	
JP 2005-248318 A	15.09.2005	（ファミリーなし）	
JP 62-1850 A	07.01.1987	（ファミリーなし）	