

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6322886号  
(P6322886)

(45) 発行日 平成30年5月16日(2018.5.16)

(24) 登録日 平成30年4月20日(2018.4.20)

(51) Int. Cl.	F I	
HO 1 F 1/147 (2006.01)	HO 1 F 1/147	1 6 6
HO 1 F 1/153 (2006.01)	HO 1 F 1/147	1 4 1
HO 1 F 1/22 (2006.01)	HO 1 F 1/153	1 3 3
HO 1 F 27/255 (2006.01)	HO 1 F 1/153	1 8 3
B 2 2 F 1/02 (2006.01)	HO 1 F 1/22	

請求項の数 14 (全 23 頁) 最終頁に続く

(21) 出願番号	特願2012-254453 (P2012-254453)	(73) 特許権者	000002369
(22) 出願日	平成24年11月20日(2012.11.20)		セイコーエプソン株式会社
(65) 公開番号	特開2014-103266 (P2014-103266A)		東京都新宿区新宿四丁目1番6号
(43) 公開日	平成26年6月5日(2014.6.5)	(74) 代理人	100091292
審査請求日	平成27年11月17日(2015.11.17)		弁理士 増田 達哉
		(74) 代理人	100091627
			弁理士 朝比 一夫
		(72) 発明者	大塚 勇
			青森県八戸市大字河原木字海岸4-44
			エプソンアトミックス株式会社内
		(72) 発明者	前田 優
			青森県八戸市大字河原木字海岸4-44
			エプソンアトミックス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 複合粒子、複合粒子の製造方法、圧粉磁心、磁性素子および携帯型電子機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

軟磁性金属材料で構成された粒子と、前記粒子を覆うように融着し前記粒子とは組成の異なる軟磁性金属材料で構成された被覆層と、を有し、

前記粒子のピッカース硬度をHV1とし、前記被覆層のピッカース硬度をHV2としたとき、 $100 < HV1 - HV2$  の関係にあり、

前記粒子の投影面積円相当径の半分を  $r$  [  $\mu m$  ] とし、前記被覆層の平均厚さを  $t$  [  $\mu m$  ] としたとき、 $0.2 < t/r < 0.8$  および  $15 < r < 42$  の関係にあることを特徴とする複合粒子。

【請求項2】

$250 < HV1 < 1200$  および  $100 < HV2 < 250$  の関係にある請求項1に記載の複合粒子。

【請求項3】

前記粒子および前記被覆層は、絶縁層を介して互いに接している請求項1または2に記載の複合粒子。

【請求項4】

当該複合粒子の全体を覆う絶縁層をさらに有する請求項1または2に記載の複合粒子。

【請求項5】

前記粒子を構成する軟磁性金属材料および前記被覆層を構成する軟磁性金属材料はそれぞれ結晶質金属材料であり、

X線回折法により測定された前記粒子における平均結晶粒径は、X線回折法により測定された前記被覆層における平均結晶粒径の0.2倍以上0.95倍以下である請求項1ないし4のいずれか1項に記載の複合粒子。

【請求項6】

前記粒子を構成する軟磁性金属材料は非晶質金属材料またはナノ結晶金属材料であり、前記被覆層を構成する軟磁性金属材料は結晶質金属材料である請求項1ないし4のいずれか1項に記載の複合粒子。

【請求項7】

前記粒子を構成する軟磁性金属材料は、Fe-Si系材料である請求項1ないし6のいずれか1項に記載の複合粒子。

10

【請求項8】

前記被覆層を構成する軟磁性金属材料は、純Fe、Fe-B系材料、Fe-Cr系材料、およびFe-Ni系材料のうちのいずれかである請求項7に記載の複合粒子。

【請求項9】

前記被覆層は、前記粒子の表面全体を覆っている請求項1ないし8のいずれか1項に記載の複合粒子。

【請求項10】

軟磁性金属材料で構成された粒子と、前記粒子を覆うように融着し前記粒子とは組成の異なる軟磁性金属材料で構成された被覆層と、を有し、

前記粒子のビッカース硬度をHV1とし、前記被覆層のビッカース硬度をHV2としたとき、 $100 < HV1 - HV2$ の関係にあり、

20

前記粒子の投影面積円相当径の半分の $r$  [ $\mu\text{m}$ ]とし、前記被覆層の平均厚さを $t$  [ $\mu\text{m}$ ]としたとき、 $0.2 < t/r < 0.8$ および $15 < r^2 < 4t$ の関係にある複合粒子を製造する方法であって、

前記粒子の表面に前記粒子より小径の被覆粒子を機械的に圧接し融着させることにより、前記被覆層を形成することを特徴とする複合粒子の製造方法。

【請求項11】

前記粒子の表面を覆うように、前記被覆粒子を融着させる請求項10に記載の複合粒子の製造方法。

【請求項12】

30

軟磁性金属材料で構成された粒子と前記粒子を覆うように融着し前記粒子とは組成の異なる軟磁性金属材料で構成された被覆層とを有する複合粒子と、前記複合粒子同士を結合する結合材と、を圧縮成形してなる圧粉体で構成され、

前記粒子のビッカース硬度をHV1とし、前記被覆層のビッカース硬度をHV2としたとき、 $100 < HV1 - HV2$ の関係にあり、

前記粒子の投影面積円相当径の半分の $r$  [ $\mu\text{m}$ ]とし、前記被覆層の平均厚さを $t$  [ $\mu\text{m}$ ]としたとき、 $0.2 < t/r < 0.8$ および $15 < r^2 < 4t$ の関係にあることを特徴とする圧粉磁心。

【請求項13】

請求項12に記載の圧粉磁心を備えることを特徴とする磁性素子。

40

【請求項14】

請求項13に記載の磁性素子を備えることを特徴とする携帯型電子機器。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、複合粒子、複合粒子の製造方法、圧粉磁心、磁性素子および携帯型電子機器に関するものである。

【背景技術】

【0002】

近年、ノート型パソコンのようなモバイル機器の小型化・軽量化が顕著である。また、

50

ノート型パソコンの性能は、デスクトップ型パソコンの性能と遜色ない程度まで向上が図られつつある。

このように、モバイル機器の小型化および高性能化を図るためには、スイッチング電源の高周波数化が必要となる。現在、スイッチング電源の駆動周波数は数100kHz程度まで高周波数化が進んでいるが、それに伴って、モバイル機器に内蔵されたチョークコイルやインダクター等の磁性素子の駆動周波数も高周波数化への対応が必要となる。

【0003】

例えば、特許文献1には、Fe、M(ただし、Mは、Ti、V、Zr、Nb、Mo、Hf、Ta、Wから選ばれた少なくとも1種の元素)、Si、B、Cを含む非晶質合金からなる薄帯が開示されている。また、この薄帯を積層し、打ち抜き加工等を施すことにより製造された磁心が開示されている。このような磁心により、交流磁気特性の向上が図られることが期待されている。

10

【0004】

しかしながら、薄帯から製造された磁心では、磁性素子の駆動周波数がさらに高周波数化した場合、渦電流によるジュール損失(渦電流損失)の著しく増大が避けられないおそれがある。

かかる問題を解決するため、軟磁性粉末と結合材(バインダー)との混合物を加圧・成形した圧粉磁心が使用されている。圧粉磁心では、渦電流が生じる経路が分断されているため、渦電流損失の低減が図られることとなる。

【0005】

20

また、圧粉磁心では、軟磁性粉末の粒子同士がバインダーによって結着されることにより、粒子間の絶縁と磁心形状の保持とが実現されている。その一方、バインダーが多くなると圧粉磁心の透磁率の低下が避けられない。

そこで、特許文献2では、非晶質軟磁性粉末と結晶質軟磁性粉末との混合粉末を用いることにより、これらの課題を解決することを提案している。すなわち、非晶質金属は結晶質金属に比べて硬度が高いため、圧縮成形時に結晶質軟磁性粉末を塑性変形させることにより、充填率を向上させ、透磁率を高めることができる。

ところが、非晶質軟磁性粉末や結晶質軟磁性粉末の組成や粒径等によっては、粒子の偏析や均一な分散の課題等により充填率を十分に高められない場合があった。

【先行技術文献】

30

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2007-182594号公報

【特許文献2】特開2010-118486号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明の目的は、充填率が高く透磁率の高い圧粉磁心を製造可能な複合粒子、かかる複合粒子を効率よく製造可能な複合粒子の製造方法、前記複合粒子を用いて製造された圧粉磁心、この圧粉磁心を備えた磁性素子、およびこの磁性素子を備えた携帯型電子機器を提供することにある。

40

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記目的は、下記の本発明により達成される。

本発明の複合粒子は、軟磁性金属材料で構成された粒子と、前記粒子を覆うように融着し前記粒子とは組成の異なる軟磁性金属材料で構成された被覆層と、を有し、

前記粒子のピッカース硬度をHV1とし、前記被覆層のピッカース硬度をHV2としたとき、 $100 < HV1 - HV2$  の関係にあり、

前記粒子の投影面積円相当径の半分を  $r$  [ $\mu\text{m}$ ] とし、前記被覆層の平均厚さを  $t$  [ $\mu\text{m}$ ] としたとき、 $0.2 < t/r < 0.8$  および  $15 < r < 42$  の関係にあることを特徴

50

とする。

これにより、複合粒子の集合物（複合粒子粉末）が圧縮され成形されたとき、粒子と被覆層とが均一に分布するとともに、粒子同士の隙間に被覆層が変形して入り込むように移動可能であるという観点から、充填率が高く透磁率の高い圧粉磁心を製造可能な複合粒子が得られる。

【0009】

本発明の複合粒子は、 $250 < HV1 < 1200$  および  $100 < HV2 < 250$  の関係にあることが好ましい。

これにより、圧縮されたときに粒子同士の隙間に適度な被覆層が入り込むことのできる複合粒子が得られる。

本発明の複合粒子では、前記粒子および前記被覆層は、絶縁層を介して互いに接していることが好ましい。

本発明の複合粒子では、当該複合粒子の全体を覆う絶縁層をさらに有することが好ましい。

本発明の複合粒子では、前記粒子を構成する軟磁性金属材料および前記被覆層を構成する軟磁性金属材料はそれぞれ結晶質金属材料であり、

X線回折法により測定された前記粒子における平均結晶粒径は、X線回折法により測定された前記被覆層における平均結晶粒径の0.2倍以上0.95倍以下であることが好ましい。

これにより、粒子と服装の硬度のバランスをより最適化することができる。すなわち、複合粒子を圧縮したときに被覆層が適度に変形し、圧粉磁心の充填率を特に高めることができる。

【0010】

本発明の複合粒子では、前記粒子を構成する軟磁性金属材料は非晶質金属材料またはナノ結晶金属材料であり、前記被覆層を構成する軟磁性金属材料は結晶質金属材料であることが好ましい。

これにより、粒子は、硬度や靱性、比抵抗が高いものとなり、被覆層は、相対的に硬度が小さいものとなるため、上記金属材料はこれらの粒子の構成材料として有用である。

【0011】

本発明の複合粒子では、前記粒子を構成する軟磁性金属材料は、Fe-Si系材料であることが好ましい。

これにより、透磁率が高く、比較的靱性が高い粒子が得られる。

本発明の複合粒子では、前記被覆層を構成する軟磁性金属材料は、純Fe、Fe-B系材料、Fe-Cr系材料、およびFe-Ni系材料のうちのいずれかであることが好ましい。

これにより、比較的硬度が低く、比較的靱性が高い被覆層が得られる。

【0012】

本発明の複合粒子では、前記被覆層は、前記粒子の表面全体を覆っていることが好ましい。

これにより、複合粒子から製造される圧粉磁心等の成形体における機械的特性の低下を抑えつつ、充填率の高い圧粉磁心を得ることができる。

本発明の複合粒子の製造方法は、軟磁性金属材料で構成された粒子と、前記粒子を覆うように融着し前記粒子とは組成の異なる軟磁性金属材料で構成された被覆層と、を有し、前記粒子のピッカース硬度をHV1とし、前記被覆層のピッカース硬度をHV2としたとき、 $100 < HV1 < HV2$  の関係にあり、

前記粒子の投影面積円相当径の半分を  $r$  [ $\mu\text{m}$ ] とし、前記被覆層の平均厚さを  $t$  [ $\mu\text{m}$ ] としたとき、 $0.2 < t/r < 0.8$  および  $15 < r < 42$  の関係にある複合粒子を製造する方法であって、

前記粒子の表面に前記粒子より小径の被覆粒子を機械的に圧接し融着させることにより、前記被覆層を形成することを特徴とする。

10

20

30

40

50

これにより、被覆層は、粒子に対してより強固に融着したものとなる。このため、複合粒子が圧縮、成形されたときでも被覆層が脱落してしまうことが防止され、粒子と被覆層とがより均一に分布した充填率の高い圧粉磁心の実現に寄与する。したがって、本発明によればこのような複合粒子を効率よく製造することができる。

【0013】

本発明の複合粒子の製造方法では、前記粒子の表面を覆うように、前記被覆粒子を融着させることが好ましい。

これにより、複合粒子を圧縮、成形して圧粉磁心を得たとき、その全体において粒子と被覆層とを均一に分布させることができ、かつ、粒子同士の隙間に被覆層を変形して入り込ませることができる。したがって、圧粉磁心全体における軟磁性金属材料の充填率をより高められる複合粒子を製造することができる。

10

【0014】

本発明の圧粉磁心は、軟磁性金属材料で構成された粒子と前記粒子を覆うように融着し前記粒子とは組成の異なる軟磁性金属材料で構成された被覆層とを有する複合粒子と、前記複合粒子同士を結合する結合材と、を圧縮成形してなる圧粉体で構成され、

前記粒子のビッカース硬度をHV1とし、前記被覆層のビッカース硬度をHV2としたとき、 $100 < HV1 - HV2$ の関係にあり、

前記粒子の投影面積円相当径の半分の半径を $r$  [ $\mu\text{m}$ ]とし、前記被覆層の平均厚さを $t$  [ $\mu\text{m}$ ]としたとき、 $0.2 < t/r < 0.8$ および $15 < r < 42$ の関係にあることを特徴とする。

20

これにより、充填率が高く透磁率が高い圧粉磁心が得られる。

本発明の磁性素子は、本発明の圧粉磁心を備えることを特徴とする。

これにより、信頼性の高い磁性素子が得られる。

本発明の携帯型電子機器は、本発明の磁性素子を備えることを特徴とする。

これにより、信頼性の高い携帯型電子機器が得られる。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】本発明の複合粒子の実施形態を示す断面図である。

【図2】本発明の複合粒子の実施形態を示す断面図である。

【図3】本発明の磁性素子の第1実施形態を適用したチョークコイルを示す模式図（平面図）である。

30

【図4】本発明の磁性素子の第2実施形態を適用したチョークコイルを示す模式図（透過斜視図）である。

【図5】本発明の磁性素子を備える携帯型電子機器を適用したモバイル型（またはノート型）のパーソナルコンピュータの構成を示す斜視図である。

【図6】本発明の磁性素子を備える携帯型電子機器を適用した携帯電話機（PHSも含む）の構成を示す斜視図である。

【図7】本発明の磁性素子を備える携帯型電子機器を適用したデジタルスチルカメラの構成を示す斜視図である。

【発明を実施するための形態】

40

【0016】

以下、本発明の複合粒子、複合粒子の製造方法、圧粉磁心、磁性素子および携帯型電子機器について、添付図面に示す好適実施形態に基づいて詳細に説明する。

〔複合粒子〕

本発明の複合粒子は、軟磁性金属材料で構成されたコア粒子と、コア粒子を覆うようにコア粒子に融着しコア粒子とは組成の異なる軟磁性金属材料で構成された被覆層と、を有するものであり、このような複合粒子の集合体である粉末が、軟磁性粉末として圧粉磁心等の原材料として用いられる。

【0017】

以下、複合粒子についてさらに詳述する。

50

図1、2は、それぞれ本発明の複合粒子の実施形態を示す断面図である。

図1に示すように、複合粒子5は、コア粒子3とその周囲を覆うようにコア粒子3に融着している被覆層4とを有するものである。ここで、融着とは、コア粒子3と被覆層4の原材料とを機械的に圧接する等して母材同士を一時的に熔融させ、共有結合、イオン結合、金属結合、水素結合等の化学結合に基づいて融合している状態を指す。

【0018】

被覆層4は、軟磁性金属材料で構成された単なる被膜であってもよいが、図1に示すように、複数の被覆粒子40が層状に集合してなるものであってもよい。これらの被覆粒子40は、コア粒子3を覆うように分布しているとともに、コア粒子3の表面に融着している。

10

また、本実施形態に係るコア粒子3は、図1に示すように絶縁層31で覆われている。一方、被覆粒子40も、図1に示すように絶縁層41で覆われている。

【0019】

このような複合粒子5は、コア粒子3と被覆層4（被覆粒子40）との間で、その硬度、粒径および層厚について所定の関係を満足している。

具体的には、コア粒子3は、軟磁性金属材料で構成されたものであるが、そのピッカース硬度をHV1とし、一方、被覆層4は、コア粒子3とは異なる軟磁性金属材料で構成されたものであるが、そのピッカース硬度をHV2としたとき、複合粒子5は、100 HV1 - HV2の関係を満足している。

【0020】

20

また、複合粒子5は、コア粒子3の投影面積円相当径の半分（半径）を $r$ とし、被覆層4の平均厚さを $t$ としたとき、 $0.05 \leq t/r \leq 1$ の関係を満足するよう構成されている。

このような関係を満足する複合粒子5は、圧縮されて圧粉磁心等に成形されたとき、充填率の高い圧粉磁心を製造し得るものとなる。これは、コア粒子3を覆うように被覆層4を設けたことにより、圧粉磁心全体においてこれらが均一に分布することができ、かつ、コア粒子3と被覆層4の硬度差が最適化されているためコア粒子3同士の隙間に被覆層4が変形して入り込むことで、圧粉磁心全体における軟磁性金属材料の充填率が高められることによるものである。その結果、全体の充填率がより均一で高いものとなり、透磁率や飽和磁束密度の高い圧粉磁心が得られる。

30

【0021】

すなわち、被覆層4が設けられておらず、従来のように2種類の粒子が単に混合された混合粉末が用いられた場合、圧縮されたときに2種類の粒子が偏在し、その結果、コア粒子同士の間大きな空隙を残すおそれがあるのに対し、本発明では、この隙間に変形した被覆層4が確実に入り込むことによって充填率の向上をもたらしていると考えられる。またこのとき、被覆層4が十分に変形しなければ、コア粒子3と被覆層4との間に大きな空隙が生じてしまうが、被覆層4が適度に変形する場合、隙間への充填性が向上し、全体の充填率をより高めることができるのである。

【0022】

また、コア粒子3の円相当径に対して被覆層4の平均厚さを所定の範囲内にしたことで、コア粒子3同士の隙間に入り込むのに必要十分な量の被覆層4が確保される。このため、例えばコア粒子3の構成材料として靱性が低くても透磁率や飽和磁束密度が高い材料を用いた場合、このような必要十分な量の被覆層4を設けたことにより、靱性が低いという欠点を補いつつ、高透磁率や高飽和磁束密度といった長所を最大限活かすことのできる複合粒子5が得られる。

40

【0023】

さらに、コア粒子3に対して被覆層4が融着されているため、複合粒子5が圧縮された場合でも、圧縮荷重によって被覆層4が剥がれ難い。このため、従来のように2種類の材料が偏在することがなく、とりわけ充填率の高い圧粉磁心を得ることができる。

なお、HV1 - HV2が前記下限値を下回った場合、HV1とHV2との差が十分に確

50

保されず、複合粒子5に圧縮荷重が加わった場合、被覆層4を適度に変形させることができないため、コア粒子3同士の間隙に被覆層4が入り込めなくなる。

【0024】

また、HV1 - HV2は、好ましくは125 HV1 - HV2 700の関係を満足し、150 HV1 - HV2 500の関係を満足するものとされる。なお、HV1 - HV2が前記上限値を上回った場合、コア粒子3の粒径や被覆層4の膜厚等によっては、被覆層4が過度に変形し、コア粒子3によって被覆層4が断ち切られるおそれがある。

また、HV1は、好ましくは250 HV1 1200の関係を満足し、より好ましくは300 HV1 1100の関係を満足し、さらに好ましくは350 HV1 1000の関係を満足するものとされる。さらに、HV2は、好ましくは100 HV2 < 250の関係を満足し、より好ましくは125 HV2 225の関係を満足し、さらに好ましくは150 HV2 200の関係を満足するものとされる。このような硬度を有する複合粒子5は、圧縮されたときにコア粒子3同士の間隙に適量の被覆層4が入り込むことができる。

10

【0025】

なお、コア粒子3のビッカース硬度HV1が前記下限値を下回った場合、被覆層4の構成材料によっては、圧縮されたときにコア粒子3が必要以上に大きく変形してしまい、コア粒子3と被覆層4の均一な分布状態が損なわれるおそれがある。そのため、圧粉磁心における軟磁性金属材料の充填率が低下することにつながるおそれがある。また、コア粒子3のビッカース硬度HV1が前記上限値を上回った場合、被覆層4の構成材料によっては、今度は圧縮されたときに被覆層4が必要以上に大きく変形してしまい、やはりコア粒子3と被覆層4の均一な分布状態が損なわれるおそれがある。

20

【0026】

一方、被覆層4のビッカース硬度HV2が前記下限値を下回った場合も、コア粒子3の構成材料によっては、圧縮されたときに被覆層4が必要以上に大きく変形してしまい、コア粒子3と被覆層4の均一な分布状態が損なわれるおそれがある。また、被覆層4のビッカース硬度HV2が前記上限値を上回った場合も、コア粒子3の構成材料によっては、圧縮されたときにコア粒子3が必要以上に大きく変形してしまうおそれがある。

【0027】

なお、ビッカース硬度HV1、HV2は、それぞれコア粒子3、被覆層4の表面または断面に圧子を押し、これにより形成された圧痕の断面積の大きさや押し時の荷重等に基づいて算出される。測定には、例えばマイクロビッカース硬さ計等が用いられる。

30

また、 $t/r$ は、好ましくは0.1  $t/r$  0.9の関係を満足し、より好ましくは0.2  $t/r$  0.8の関係を満足するものとされる。

また、 $t$ は、好ましくは40  $\mu\text{m}$ 以上90  $\mu\text{m}$ 以下とされ、より好ましくは45  $\mu\text{m}$ 以上80  $\mu\text{m}$ 以下とされる。

【0028】

なお、コア粒子3の投影面積円相当径の半分 $r$ が前記下限値を下回った場合、被覆層4の厚さによっては、複合粒子5が圧縮されたときに、コア粒子3に対して被覆層4を押し付けることが難しくなり、コア粒子3を覆うように被覆層4が分布しているという形態が維持され難くなる。また、コア粒子3の投影面積円相当径の半分 $r$ が前記上限値を上回った場合、被覆層4の厚さによっては、コア粒子3同士の間隙が必然的に大きくなり、その結果、複合粒子5が圧縮されて圧粉磁心等に成形されたとき、充填率が低くなり易い。

40

【0029】

また、コア粒子3の投影面積円相当径の半分 $r$ は、複合粒子5について光学顕微鏡や電子顕微鏡等で撮像し、得られたコア粒子3の粒子像の面積と同じ面積を持つ円の半径として算出する。

同様に、被覆層4の平均厚さ $t$ は、複合粒子5についての粒子像のうち、被覆層4に対応する像から厚さを算出し、10か所の厚さのデータの平均値として算出する。

【0030】

50

一方、コア粒子3の円形度は、0.5以上1以下であるのが好ましく、0.6以上1以下であるのがより好ましい。このような円形度を有するコア粒子3は、比較的眞球に近いものであるといえることから、複合粒子5についても比較的流動性の高いものとなる。このため、複合粒子5を圧縮して圧粉磁心等を形成したとき、速やかに充填されるため、充填率が高く透磁率等に優れた圧粉磁心が得られる。

【0031】

また、複合粒子5からなる粉末について、レーザー回折散乱法により測定された質量基準の累積粒度分布において、小径側から累積50%のときの粒径をD50としたとき、D50が50 $\mu$ m以上500 $\mu$ m以下であるのが好ましく、80 $\mu$ m以上400 $\mu$ m以下であるのがより好ましい。このような複合粒子5は、コア粒子3の粒径と被覆層4の膜厚とのバランスがより優れているといえることから、充填率の高い圧粉磁心を製造する観点から好ましい。

10

【0032】

さらには、複合粒子5からなる粉末について、レーザー回折散乱法により測定された質量基準の累積粒度分布において、小径側から累積10%、累積90%のときの粒径をそれぞれD10、D90としたとき、 $(D90 - D10) / D50$ は0.5以上3.5以下であるのが好ましく、0.8以上3以下であるのがより好ましい。このような複合粒子5は、コア粒子3の粒径と被覆層4の膜厚とのバランスが適度に保たれ、その中でも複合粒子5の粒径バラツキが小さいものであるため、特に充填率の高い圧粉磁心を製造するという観点から好ましい。

20

【0033】

ここで、コア粒子3を構成する軟磁性金属材料は、被覆層4を構成する軟磁性金属材料よりピッカース硬度が高いものであれば特に限定されないが、例えば、純Fe、ケイ素鋼(Fe-Si系材料)、パーマロイ(Fe-Ni系材料)、スーパーマロイ、パーメンジュール(Fe-Co系材料)、センダストのようなFe-Si-Al系材料、Fe-Cr-Si系材料、Fe-Cr系材料、Fe-B系材料、フェライト系ステンレス鋼等の各種Fe系材料の他、各種Ni系材料、各種Co系材料、各種アモルファス金属材料等が挙げられ、これらのうちの1種または2種以上を含む複合材料であってもよい。

【0034】

このうち、Fe-Si系材料が好ましく用いられる。Fe-Si系材料は、透磁率が高く、比較的靱性が高いことから、コア粒子3を構成する軟磁性金属材料として有用である。

30

一方、被覆層4を構成する軟磁性金属材料としても、例えば上述した軟磁性金属材料が用いられる。

【0035】

このうち、純Fe、Fe-B系材料、Fe-Cr系材料、およびFe-Ni系材料のいずれかが好ましく用いられる。これらは比較的硬度が低く、比較的靱性が高いことから、被覆層4を構成する軟磁性金属材料として有用である。なお、純鉄とは、炭素その他の不純物元素が非常に少ない鉄であり、不純物含有量が0.02質量%以下のものである。

また、コア粒子3および被覆層4の構成材料としては、コア粒子3と被覆層4の双方が結晶質の軟磁性金属材料で構成されているか、あるいは、コア粒子3が非晶質またはナノ結晶の軟磁性金属材料で構成され、かつ被覆層4が結晶質の軟磁性材料で構成されている場合が挙げられる。

40

【0036】

このうち、前者は、コア粒子3と被覆層4の双方が結晶質の軟磁性金属材料で構成された場合であるが、この場合、焼鈍処理等の条件を適宜変更する等して結晶の粒径を調整することにより、双方の硬度や靱性、比抵抗等を均一に制御することができ、充填率の高い圧粉磁心を得ることができる。したがって、結晶質の軟磁性金属材料は、コア粒子3や被覆層4の構成材料として有用である。

【0037】

50

なお、コア粒子3中に存在する結晶組織の平均粒径は、被覆層4中に存在する結晶組織の平均粒径の0.2倍以上0.95倍以下であるのが好ましく、0.3倍以上0.9倍以下であるのがより好ましい。これにより、コア粒子3と被覆層4の硬度のバランスをより最適化することができる。すなわち、複合粒子5を圧縮したときに被覆層4が適度に変形し、圧粉磁心の充填率を特に高めることができる。なお、結晶組織の平均粒径が前記下限値を下回る場合、そのような結晶組織を安定的かつ粒径バラツキを抑えながら形成することは、製造条件の調整に困難を伴うことがある。

【0038】

これらの結晶組織の平均粒径は、例えばX線回折法により得られた回折ピークの幅から算出することができる。

10

また、被覆層4中に存在する結晶組織の平均粒径は、 $30\text{ nm}$ 以上 $200\text{ nm}$ 以下であるのが好ましく、 $40\text{ nm}$ 以上 $180\text{ nm}$ 以下であるのがより好ましい。このような平均粒径を有する被覆層4は、硬度が特に最適化されるとともに、複合粒子5が圧粉磁心等の用途に適用される観点で靱性や比抵抗等がより最適化される。

【0039】

一方、後者は、コア粒子3が非晶質またはナノ結晶の軟磁性金属材料で構成され、かつ、被覆層4が結晶質の軟磁性金属材料で構成された場合であるが、この場合、非晶質またはナノ結晶の材料は、非常に硬度や靱性、比抵抗が高いものとなり、コア粒子3の構成材料として有用であり、結晶質の材料は、相対的に硬度が小さいものとなり、被覆層4の構成材料として有用である。

20

【0040】

なお、非晶質の軟磁性金属材料とは、コア粒子3についてX線回折スペクトルを得たとき、回折ピークが検出されないものをいう。また、ナノ結晶の軟磁性金属材料とは、X線回折法により測定された結晶組織の平均粒径が $1\text{ nm}$ 未満であるものをいい、結晶質の軟磁性金属材料とは、X線回折法により測定された結晶組織の平均粒径が $1\text{ nm}$ 以上であるものをいう。

【0041】

非晶質（アモルファス）の軟磁性金属材料としては、例えば、Fe-Si-B系、Fe-B系、Fe-Si-B-C系、Fe-Si-B-Cr系、Fe-Si-B-Cr-C系、Fe-Co-Si-B系、Fe-Zr-B系、Fe-Ni-Mo-B系、Ni-Fe-Si-B系等が挙げられる。

30

また、ナノ結晶の軟磁性金属材料としては、例えば、非晶質の軟磁性金属材料を結晶化させ、nmオーダーの微結晶を析出させたものが用いられる。

【0042】

なお、被覆層4は、表面の全体を覆っているのが好ましいが、一部を覆っていてもよい。この場合、被覆層4は、コア粒子3の表面の50%以上を覆っているのが好ましく、70%以上を覆っているのがより好ましい。特に70%以上を覆っている場合、理論的には、コア粒子3の表面に対してそれ以上被覆層4を直接固着させられない状態になっていると考えられる。すなわち、このような状態は、実質的にコア粒子3の表面全体を被覆層4が覆っているとみなすことができる。そして、このような状態においては、圧粉磁心等の成形体における機械的特性の低下を抑えつつ、充填率の高い圧粉磁心を得ることができる。

40

【0043】

図1に示すコア粒子3は、前述したように絶縁層31で覆われており、一方、被覆粒子40は、前述したように絶縁層41で覆われている。

絶縁層31、41の構成材料としては、例えば、リン酸マグネシウム、リン酸カルシウム、リン酸亜鉛、リン酸マンガン、リン酸カドミウムのようなリン酸塩、ケイ酸ナトリウムのようなケイ酸塩（水ガラス）、ソーダ石灰ガラス、ホウケイ酸ガラス、鉛ガラス、アルミノケイ酸ガラス、ホウ酸塩ガラス、硫酸塩ガラス等の無機バインダー等が挙げられる。無機バインダーは、特に絶縁性に優れていることから、誘導電流によるジュール損失を

50

特に小さく抑えることができる。また、無機バインダーは比較的硬度が高いことから、絶縁層31、41は、複合粒子5が圧縮されたときでも断ち切れ難いものとなる。また、無機バインダーで構成された絶縁層31、41を設けることにより、金属材料で構成された各粒子と絶縁層との密着性、親和性が向上し、粒子間の絶縁性を特に高めることができる。

#### 【0044】

絶縁層31、41の平均厚さは、0.3 $\mu$ m以上10 $\mu$ m以下であるのが好ましく、0.5 $\mu$ m以上8 $\mu$ m以下であるのがより好ましい。これにより、コア粒子3と被覆粒子40との間を十分に絶縁しつつ、全体の透磁率等の低下を抑制することができる。

また、絶縁層31、41は、コア粒子3および被覆粒子40の表面全体を覆っていてもよく、一部のみを覆っていてもよい。

10

#### 【0045】

また、絶縁層31、41は必要に応じて設けられればよい。例えば、図2に示すように、絶縁層31、41を省略した代わりに、複合粒子5全体を覆うように絶縁層31、41と同様の絶縁層51を設けるようにしてもよい。これにより、絶縁層は複合粒子5同士の絶縁性を確保するとともに複合粒子5を補強して、複合粒子5が圧縮されたときに複合粒子5が壊れてしまうのを抑制することができる。このような複合粒子5全体を覆う絶縁層51についても、絶縁層31、41と同様に構成することができる。

#### 【0046】

以上のようなコア粒子3および被覆粒子40は、例えば、アトマイズ法（例えば、水アトマイズ法、ガスアトマイズ法、高速回転水流アトマイズ法等）、還元法、カルボニル法、粉碎法等の各種粉末化法により製造される。

20

このうち、コア粒子3および被覆粒子40は、アトマイズ法により製造されたものであるのが好ましく、水アトマイズ法または高速回転水流アトマイズ法により製造されたものであるのがより好ましい。アトマイズ法は、熔融金属（溶湯）を、高速で噴射された流体（液体または気体）に衝突させることにより、溶湯を微粉化するとともに冷却して、金属粉末を製造する方法である。コア粒子3および被覆粒子40をこのようなアトマイズ法によって製造することにより、より真球に近く粒径の揃った粉末を効率よく製造することができる。このため、このようなコア粒子3および被覆粒子40を用いることにより、充填率が高く透磁率が高い圧粉磁心が得られる。

30

#### 【0047】

なお、アトマイズ法として水アトマイズ法を用いた場合、熔融金属に向けて噴射される水（以下、「アトマイズ水」という。）の圧力は、特に限定されないが、好ましくは75MPa以上120MPa以下（750kgf/cm<sup>2</sup>以上1200kgf/cm<sup>2</sup>以下）程度とされ、より好ましくは90MPa以上120MPa以下（900kgf/cm<sup>2</sup>以上1200kgf/cm<sup>2</sup>以下）程度とされる。

#### 【0048】

また、アトマイズ水の水温も、特に限定されないが、好ましくは1以上20以下程度とされる。

さらに、アトマイズ水は、溶湯の落下経路上に頂点を有し、外径が下方に向かって漸減するような円錐状に噴射される場合が多い。この場合、アトマイズ水が形成する円錐の頂角は、10°以上40°以下程度であるのが好ましく、15°以上35°以下程度であるのがより好ましい。これにより、前述したような組成の軟磁性粉末を、確実に製造することができる。

40

また、得られたコア粒子3および被覆粒子40には、必要に応じて焼鈍処理を施すようにしてもよい。

#### 【0049】

##### [複合粒子の製造方法]

次に、図1に示す複合粒子5を製造する方法（本発明の複合粒子の製造方法）について説明する。

50

[ 1 ] まず、コア粒子 3 に対して絶縁層 3 1 を形成する。絶縁層 3 1 の形成は、例えば原材料を溶解または分散させた液体をコア粒子 3 の表面に塗布する方法も用いられるが、好ましくは原材料を機械的に固着する方法が用いられる。これにより、コア粒子 3 に対して密着性の高い絶縁層 3 1 が得られる。

【 0 0 5 0 】

原材料を機械的に固着させて絶縁層 3 1 を形成するには、例えばコア粒子 3 と絶縁層 3 1 の原材料の混合物に対して機械的な圧縮と摩擦とを生じさせる装置が用いられる。具体的には、ハンマーミル、ディスクミル、ローラーミル、ボールミル、遊星ミル、ジェットミル等の各種粉碎機や、ハイブリダイゼーション（登録商標）、クリプトロン（登録商標）のような高速衝撃式の機械的粒子複合化装置、メカノフュージョン（登録商標）、シーターコンポーザー（登録商標）のような圧縮せん断式の機械的粒子複合化装置、メカノミル、CFミル、摩擦混合機のような混合せん断摩擦式の機械的粒子複合化装置等が用いられる。このような装置によって圧縮と摩擦とが生じることにより、絶縁層 3 1 の原材料（固形物）が軟化または熔融しつつコア粒子 3 の表面に均一にかつ強固に付着し、コア粒子 3 を覆う絶縁層 3 1 が形成される。また、コア粒子 3 の表面に凹凸があっても、原材料が押し付けられることにより、凹凸に関係なく均一な厚さの絶縁層 3 1 を形成することができる。さらに、液体を用いないので、乾燥下や不活性ガス下で絶縁層 3 1 を形成することができ、水分によるコア粒子 3 の変質、劣化を抑制することができる。

【 0 0 5 1 】

この際、絶縁層 3 1 を形成しつつも、コア粒子 3 には変形等ができるだけ及ばないように、圧縮条件、摩擦条件を調整するのが好ましい。これにより、後述する工程において、コア粒子 3 に対して被覆粒子 4 0 を効率よく融着させることができる。

絶縁層 3 1 の構成材料として前述した無機バインダーを用いた場合、その軟化点は 1 0 0 以上 5 0 0 以下程度であるのが好ましい。

【 0 0 5 2 】

また、絶縁層 3 1 の形成に際し、圧縮と摩擦の作用が働くため、仮にコア粒子 3 の表面に異物や不動態皮膜等が付着している場合でも、それを除去しつつ絶縁層 3 1 を形成することができ、密着性の向上が図られる。

なお、これと同様にして、被覆粒子 4 0 に対しても絶縁層 4 1 を形成することができる。この際も、絶縁層 4 1 を形成しつつも、被覆粒子 4 0 には変形等ができるだけ及ばないように、圧縮条件、摩擦条件を調整するのが好ましい。

【 0 0 5 3 】

[ 2 ] 次に、絶縁層 3 1 を形成したコア粒子 3 に対して、絶縁層 4 1 を形成した被覆粒子 4 0 を圧接し融着させる。これにより、絶縁層 3 1 を形成したコア粒子 3 を覆うように、絶縁層 4 1 および被覆粒子 4 0 で構成された被覆層 4 が形成され、複合粒子 5 が得られる。

被覆粒子 4 0 の融着にも、例えば上述したような機械的な圧縮と摩擦とを生じさせる装置が用いられる。すなわち、絶縁層 3 1 を形成したコア粒子 3 と、絶縁層 4 1 を形成した被覆粒子 4 0 と、を装置内に投入して圧縮摩擦作用による融着を行う。このとき、装置内において圧縮摩擦作用を及ぼす部材が被処理物を押圧する荷重は、装置の大きさ等に応じて異なるものの、一例として 3 0 N 以上 5 0 0 N 以下程度とされる。また、圧縮摩擦作用を及ぼす部材が装置内で回転しながら被処理物を押圧する場合、その回転速度は 1 分間に 3 0 0 回以上 1 2 0 0 回以下程度に調整されるのが好ましい。

【 0 0 5 4 】

このような圧縮と摩擦とが生じることにより、被覆粒子 4 0 はその粒子形状を残しつつも絶縁層 3 1 を形成したコア粒子 3 の表面に沿って変形し、融着する。このとき、被覆粒子 4 0 は、コア粒子 3 より小径であるため、コア粒子 3 をかわすように分布する。その結果、被覆粒子 4 0 は、コア粒子 3 を覆うように均一に分布する。このようにして複合粒子 5 が得られるが、この複合粒子 5 は、圧縮成形されたとき全体の充填率を高めることに寄与する。そして、最終的には、透磁率や飽和磁束密度等の磁気特性に優れた圧粉磁心の製

造に寄与する。

【 0 0 5 5 】

また、このような方法によれば、被覆粒子 4 0 をより強固に融着させることができ、被覆粒子 4 0 が脱落し難くなる。このため、複合粒子 5 を圧縮して成形する際等において被覆粒子 4 0 が脱落してしまうのを防止することができ、コア粒子 3 と被覆層 4 とがより均一に分布した充填率の高い圧粉磁心を得ることができる。

なお、絶縁層 3 1 を形成したコア粒子 3 と絶縁層 4 1 を形成した被覆粒子 4 0 との融着には、絶縁層 3 1 と絶縁層 4 1 との融着、および、コア粒子 3 と被覆粒子 4 0 との融着を含む。

【 0 0 5 6 】

また、図 1 に示す複合粒子 5 では、被覆粒子 4 0 がその粒子としての形状を維持した状態で被覆層 4 を構成しているが、被覆粒子 4 0 は必ずしもその形状を維持していなくてもよい。すなわち、被覆粒子 4 0 同士が連結して被覆層 4 を形成するとき、被覆粒子 4 0 同士が融着して粒子としての形状を失っていても構わない。

なお、被覆粒子 4 0 を融着させる際、必要に応じて潤滑剤を用いるようにしてもよい。この潤滑剤は、コア粒子 3 と被覆粒子 4 0 との間における摩擦抵抗を低減し、複合粒子 5 が形成されるとき発熱等を抑制することができる。これにより、発熱に伴うコア粒子 3 や被覆粒子 4 0 の酸化等を抑制することができる。さらに、複合粒子 5 が圧縮成形されたとき、潤滑剤が染み出すことにより、成形型のかじり等の不具合を抑制することができる。その結果、高品質な圧粉磁心を効率よく製造可能な複合粒子 5 が得られる。

【 0 0 5 7 】

潤滑剤の構成材料としては、例えば、ラウリン酸、ステアリン酸、コハク酸、ステアリル乳酸、乳酸、フタル酸、安息香酸、ヒドロキシステアリン酸、リシノール酸、ナフテン酸、オレイン酸、パルミチン酸、エルカ酸のような高級脂肪酸と、Li、Na、Mg、Ca、Sr、Ba、Zn、Cd、Al、Sn、Pb、Cd のような金属との化合物（脂肪酸金属塩）、ジメチルポリシロキサンおよびその変性物、カルボキシル変性シリコーン、メチルスチレン変性シリコーン、オレフィン変性シリコーン、ポリエーテル変性シリコーン、フッ素変性シリコーン、親水性特殊変性シリコーン、オレフィンポリエーテル変性シリコーン、エポキシ変性シリコーン、アミノ変性シリコーン、アミド変性シリコーン、アルコール変性シリコーンのようなシリコーン系化合物、パラフィンワックス、マイクロクリスタリンワックス、カルナバワックスのような天然または合成樹脂誘導体等が挙げられ、これらのうちの 1 種または 2 種以上を組み合わせ用いられる。

【 0 0 5 8 】

[ 圧粉磁心および磁性素子 ]

本発明の磁性素子は、チョークコイル、インダクター、ノイズフィルター、リアクトル、トランス、モーター、発電機のように、磁心を備えた各種磁性素子に適用可能である。また、本発明の圧粉磁心は、これらの磁性素子が備える磁心に適用可能である。

以下、磁性素子の一例として、2 種類のチョークコイルを代表に説明する。

【 0 0 5 9 】

< 第 1 実施形態 >

まず、本発明の磁性素子の第 1 実施形態を適用したチョークコイルについて説明する。

図 3 は、本発明の磁性素子の第 1 実施形態を適用したチョークコイルを示す模式図（平面図）である。

図 3 に示すチョークコイル 1 0 は、リング状（トロイダル形状）の圧粉磁心 1 1 と、この圧粉磁心 1 1 に巻き回された導線 1 2 とを有する。このようなチョークコイル 1 0 は、一般に、トロイダルコイルと称される。

【 0 0 6 0 】

圧粉磁心 1 1 は、本発明の複合粒子からなる粉末と必要に応じて設けられる結合材と有機溶媒とを混合し、得られた混合物を成形型に供給するとともに、加圧・成形して得られたものである。

10

20

30

40

50

圧粉磁心 1 1 の作製に用いられる結合材の構成材料としては、例えば、前述した有機バインダー、無機バインダー等が挙げられるが、好ましくは有機バインダーが用いられ、より好ましくは熱硬化性ポリイミドまたはエポキシ系樹脂が用いられる。これらの樹脂材料は、加熱されることによって容易に硬化するとともに、耐熱性に優れたものである。したがって、圧粉磁心 1 1 の製造容易性および耐熱性をより高めることができる。

#### 【 0 0 6 1 】

また、複合粒子 5 に対する結合材の割合は、作製する圧粉磁心 1 1 の目的とする磁束密度や、許容される渦電流損失等に応じて若干異なるが、0.5 質量%以上 5 質量%以下程度であるのが好ましく、1 質量%以上 3 質量%以下程度であるのがより好ましい。これにより、複合粒子 5 同士を確実に絶縁しつつ、圧粉磁心 1 1 の密度をある程度確保して、圧粉磁心 1 1 の透磁率が著しく低下するのを防止することができる。その結果、より透磁率が高く、かつ、より低損失の圧粉磁心 1 1 が得られる。

10

#### 【 0 0 6 2 】

また、有機溶媒としては、結合材を溶解し得るものであれば特に限定されないが、例えば、トルエン、イソプロピルアルコール、アセトン、メチルエチルケトン、クロロホルム、酢酸エチル等の各種溶媒が挙げられる。

なお、前記混合物中には、必要に応じて、任意の目的で各種添加剤を添加するようにしてもよい。

#### 【 0 0 6 3 】

また、このような結合材は、圧粉磁心 1 1 の保形性を確保するとともに、複合粒子 5 同士の絶縁性を確保する。したがって、絶縁層 3 1、4 1 が省略された場合であっても鉄損が小さく抑えられた圧粉磁心が得られる。

20

一方、導線 1 2 の構成材料としては、導電性の高い材料が挙げられ、例えば、Cu、Al、Ag、Au、Ni 等の金属材料、またはかかる金属材料を含む合金等が挙げられる。

なお、導線 1 2 の表面に、絶縁性を有する表面層を備えているのが好ましい。これにより、圧粉磁心 1 1 と導線 1 2 との短絡を確実に防止することができる。

かかる表面層の構成材料としては、例えば、各種樹脂材料等が挙げられる。

次に、チョークコイル 1 0 の製造方法について説明する。

#### 【 0 0 6 4 】

まず、複合粒子 5 (本発明の複合粒子) と、結合材と、各種添加剤と、有機溶媒とを混合し、混合物を得る。

30

次いで、混合物を乾燥させて塊状の乾燥体を得た後、この乾燥体を粉砕することにより、造粒粉を形成する。

次に、この混合物または造粒粉を、作製すべき圧粉磁心の形状に成形し、成形体を得る。

#### 【 0 0 6 5 】

この場合の成形方法としては、特に限定されないが、例えば、プレス成形、押出成形、射出成形等の方法が挙げられる。なお、この成形体の形状寸法は、以後の成形体を加熱した際の収縮分を見込んで決定される。

次に、得られた成形体を加熱することにより、結合材を硬化させ、圧粉磁心 1 1 を得る。このとき、加熱温度は、結合材の組成等に応じて若干異なるものの、結合材が有機バインダーで構成されている場合、好ましくは 100 以上 500 以下程度とされ、より好ましくは 120 以上 250 以下程度とされる。また、加熱時間は、加熱温度に応じて異なるものの、0.5 時間以上 5 時間以下程度とされる。

40

#### 【 0 0 6 6 】

以上により、本発明の複合粒子を加圧・成形してなる圧粉磁心 (本発明の圧粉磁心) 1 1、および、かかる圧粉磁心 1 1 の外周面に沿って導線 1 2 を巻き回してなるチョークコイル (本発明の磁性素子) 1 0 が得られる。このような圧粉磁心 1 1 の製造において複合粒子 5 を用いることにより、圧粉磁心 1 1 内においてコア粒子 3 および被覆粒子 4 0 が均一に分布するとともに、コア粒子 3 同士の隙間に被覆粒子 4 0 が入り込む。その結果、充

50

填率が高く、それゆえ透磁率や飽和磁束密度の高い圧粉磁心 11 が得られる。したがって、かかる圧粉磁心 11 を備えたチョークコイル 10 は、磁気応答性に優れ、かつ、高周波数域での損失（鉄損）が小さい低損失のものとなる。さらには、チョークコイル 10 の小型化や定格電流の増大、発熱量の低減を容易に実現することができる。すなわち、高性能のチョークコイル 10 が得られる。

【0067】

< 第 2 実施形態 >

次に、本発明の磁性素子の第 2 実施形態を適用したチョークコイルについて説明する。

図 4 は、本発明の磁性素子の第 2 実施形態を適用したチョークコイルを示す模式図（透過斜視図）である。

以下、第 2 実施形態にかかるチョークコイルについて説明するが、それぞれ、前記第 1 実施形態にかかるチョークコイルとの相違点を中心に説明し、同様の事項については、その説明を省略する。

【0068】

本実施形態にかかるチョークコイル 20 は、図 4 に示すように、コイル状に成形された導線 22 を、圧粉磁心 21 の内部に埋設してなるものである。すなわち、チョークコイル 20 は、導線 22 を圧粉磁心 21 でモールドしてなる。

このような形態のチョークコイル 20 は、比較的小型のものが容易に得られる。そして、このような小型のチョークコイル 20 を製造する場合、透磁率および磁束密度が大きく、かつ、損失の小さい圧粉磁心 21 が、その作用・効果をより有効に発揮する。すなわち、より小型であるにもかかわらず、大電流に対応可能な低損失・低発熱のチョークコイル 20 が得られる。

【0069】

また、導線 22 が圧粉磁心 21 の内部に埋設されているため、導線 22 と圧粉磁心 21 との間に隙間が生じ難い。このため、圧粉磁心 21 の磁歪による振動を抑制し、この振動に伴う騒音の発生を抑制することもできる。

以上のような本実施形態にかかるチョークコイル 20 を製造する場合、まず、成形型のキャビティ内に導線 22 を配置するとともに、キャビティ内を本発明の複合粒子で充填する。すなわち、導線 22 を包含するように複合粒子を充填する。

次に、導線 22 とともに、複合粒子を加圧して成形体を得る。

次いで、前記第 1 実施形態と同様に、この成形体に熱処理を施す。これにより、チョークコイル 20 が得られる。

【0070】

[ 携帯型電子機器 ]

次いで、本発明の磁性素子を備える携帯型電子機器（本発明の携帯型電子機器）について、図 5 ~ 7 に基づき説明する。

図 5 は、本発明の磁性素子を備える携帯型電子機器を適用したモバイル型（またはノート型）のパーソナルコンピュータの構成を示す斜視図である。この図において、パーソナルコンピュータ 1100 は、キーボード 1102 を備えた本体部 1104 と、表示部 100 を備えた表示ユニット 1106 とにより構成され、表示ユニット 1106 は、本体部 1104 に対しヒンジ構造部を介して回動可能に支持されている。このようなパーソナルコンピュータ 1100 には、チョークコイル 10、20 が内蔵されている。

【0071】

図 6 は、本発明の磁性素子を備える携帯型電子機器を適用した携帯電話機（PHS も含む）の構成を示す斜視図である。この図において、携帯電話機 1200 は、複数の操作ボタン 1202、受話口 1204 および送話口 1206 を備え、操作ボタン 1202 と受話口 1204 との間には、表示部 100 が配置されている。このような携帯電話機 1200 には、フィルター、共振器等として機能するチョークコイル 10、20 が内蔵されている。

【0072】

10

20

30

40

50

図7は、本発明の磁性素子を備える携帯型電子機器を適用したデジタルスチルカメラの構成を示す斜視図である。なお、この図には、外部機器との接続についても簡易的に示されている。ここで、通常のカメラは、被写体の光像により銀塩写真フィルムを感光するのに対し、デジタルスチルカメラ1300は、被写体の光像をCCD(Charge Coupled Device)などの撮像素子により光電変換して撮像信号(画像信号)を生成する。

【0073】

デジタルスチルカメラ1300におけるケース(ポディー)1302の背面には、表示部が設けられ、CCDによる撮像信号に基づいて表示を行う構成になっており、表示部は、被写体を電子画像として表示するファインダーとして機能する。また、ケース1302の正面側(図中裏面側)には、光学レンズ(撮像光学系)やCCDなどを含む受光ユニット1304が設けられている。

10

【0074】

撮影者が表示部に表示された被写体像を確認し、シャッターボタン1306を押下すると、その時点におけるCCDの撮像信号が、メモリー1308に転送・格納される。また、このデジタルスチルカメラ1300においては、ケース1302の側面に、ビデオ信号出力端子1312と、データ通信用の入出力端子1314とが設けられている。そして、図示されるように、ビデオ信号出力端子1312にはテレビモニター1430が、データ通信用の入出力端子1314にはパーソナルコンピューター1440が、それぞれ必要に応じて接続される。さらに、所定の操作により、メモリー1308に格納された撮像信号が、テレビモニター1430や、パーソナルコンピューター1440に出力される構成になっている。このようなデジタルスチルカメラ1300には、チョークコイル10、20が内蔵されている。

20

【0075】

なお、本発明の磁性素子を備える携帯型電子機器は、図5のパーソナルコンピューター(モバイル型パーソナルコンピューター)、図6の携帯電話機、図7のデジタルスチルカメラの他にも、例えば、インクジェット式吐出装置(例えばインクジェットプリンター)、ラップトップ型パーソナルコンピューター、テレビ、ビデオカメラ、ビデオテープレコーダー、カーナビゲーション装置、ページャー、電子手帳(通信機能付も含む)、電子辞書、電卓、電子ゲーム機器、ワードプロセッサ、ワークステーション、テレビ電話、防犯用テレビモニター、電子双眼鏡、POS端末、医療機器(例えば電子体温計、血圧計、血糖計、心電図計測装置、超音波診断装置、電子内視鏡)、魚群探知機、各種測定機器、計器類(例えば、車両、航空機、船舶の計器類)、フライトシミュレーター等に適用することができる。

30

【0076】

以上、本発明の複合粒子、複合粒子の製造方法、圧粉磁心、磁性素子および携帯型電子機器について、好適な実施形態に基づいて説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。

例えば、前記実施形態では、本発明の複合粒子の適用例として圧粉磁心について説明したが、適用例はこれに限定されず、例えば磁気遮蔽シート、磁気ヘッド等の圧粉体であってもよい。

40

【実施例】

【0077】

次に、本発明の具体的実施例について説明する。

1. 圧粉磁心およびチョークコイルの製造

(サンプルNo. 1)

<1>まず、Fe-6.5質量%Si合金で構成されたコア粒子と、Fe-50質量%Ni合金で構成された被覆粒子と、を用意した。これらのコア粒子および被覆粒子は、それぞれ原材料を高周波誘導炉で熔融するとともに、水アトマイズ法により粉末して得られたものである。

【0078】

50

< 2 >次に、コア粒子とリン酸塩系ガラスとを機械的粒子複合化装置に投入し、リン酸塩系ガラスをコア粒子の表面に固着させた。これにより、絶縁層付きのコア粒子を得た。同様にして、被覆粒子とリン酸塩系ガラスとを機械的粒子複合化装置に投入し、リン酸塩系ガラスを被覆粒子の表面に固着させた。これにより、絶縁層付きの被覆粒子を得た。なお、このリン酸塩系ガラスは、軟化点404 のSnO - P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> - MgO系ガラス(SnO : 62モル%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 33モル%、MgO : 5モル%)である。

【0079】

< 3 >次に、絶縁層付きのコア粒子と絶縁層付きの被覆粒子とを機械的粒子複合化装置に投入し、融着させた。これにより、コア粒子とそれを覆う被覆層とを有する複合粒子を得た。なお、機械的粒子複合化装置には、コア粒子と被覆粒子の比率が質量比で10 : 90となるように、絶縁層付きのコア粒子と絶縁層付きの被覆粒子を投入した。

得られた複合粒子を切断し、その切断面についてマイクロビッカース硬度計により硬度を測定した。測定されたコア粒子の断面および被覆層の断面のビッカース硬度HV1、HV2を表1に示す。

【0080】

また、得られた複合粒子で走査型電子顕微鏡により観察し、コア粒子と被覆層の観察像を得た。そして、コア粒子の観察像から円相当径を測定し、測定されたコア粒子の円相当径の半分rを表1に示す。また、被覆層の観察像から平均厚さを測定し、測定された被覆層の平均厚さtを表1に示す。なお、被覆層は、コア粒子表面の70%以上を覆うように分布していた(被覆率70%)。

【0081】

< 4 >次に、得られた複合粒子と、エポキシ樹脂(結合材)、トルエン(有機溶媒)とを混合して、混合物を得た。なお、エポキシ樹脂の添加量は、複合粒子100質量部に対して2質量部とした。

< 5 >次に、得られた混合物を攪拌したのち、温度60 で1時間加熱して乾燥させ、塊状の乾燥体を得た。次いで、この乾燥体を、目開き500μmのふるいにかけて、乾燥体を粉砕して、造粒粉末を得た。

< 6 >次に、得られた造粒粉末を成形型に充填し、下記の成形条件に基づいて成形体を得た。

【0082】

< 成形条件 >

- ・ 成形方法 : プレス成形
- ・ 成形体の形状 : リング状
- ・ 成形体の寸法 : 外径28mm、内径14mm、厚さ10.5mm
- ・ 成形圧力 : 20t/cm<sup>2</sup> (1.96GPa)

【0083】

< 7 >次に、成形体を、大気雰囲気中において温度450 で0.5時間加熱して、結合材を硬化させた。これにより、圧粉磁心を得た。

< 8 >次に、得られた圧粉磁心を用い、以下の作製条件に基づいて、図3に示すチョークコイル(磁性素子)を作製した。

< コイル作製条件 >

- ・ 導線の構成材料 : Cu
- ・ 導線の線径 : 0.5mm
- ・ 巻き数(透磁率測定時) : 7ターン
- ・ 巻き数(鉄損測定時) : 1次側30ターン、2次側30ターン

【0084】

(サンプルNo. 2 ~ 23)

複合粒子として表1、2に示すものをそれぞれ用いるようにした以外は、サンプルNo. 1と同様にして圧粉磁心を得るとともに、この圧粉磁心を用いてチョークコイルを得た。なお、コア粒子表面に対する被覆層の被覆率は、70 ~ 85%であった。

( サンプル N o . 2 4 )

コア粒子と被覆粒子とを単に攪拌するのみの攪拌混合機で攪拌、混合した後、得られた混合粉末と、エポキシ樹脂（結合材）、トルエン（有機溶媒）とを混合して、混合物を得た。以下、サンプル N o . 1 と同様にして圧粉磁心を得るとともに、この圧粉磁心を用いてチョークコイルを得た。

また、表 1、2 においては、各サンプル N o . の軟磁性粉末のうち、本発明に相当するものについては「実施例」、本発明に相当しないものについては「比較例」と示した。なお、表 1、2 において、( c ) は各粒子の構成材料が結晶質の軟磁性金属材料であることを、( a ) は各粒子の構成材料が非晶質の軟磁性金属材料であることを示している。

【 0 0 8 5 】

( サンプル N o . 2 5 )

被覆粒子の添加量を減らすことにより、複合粒子においてコア粒子表面を覆う被覆粒子の被覆率を 5 5 % に減らした以外は、サンプル N o . 5 と同様にして圧粉磁心を得るとともに、この圧粉磁心を用いてチョークコイルを得た。

( サンプル N o . 2 6 )

被覆粒子の添加量を減らすことにより、複合粒子においてコア粒子表面を覆う被覆粒子の被覆率を 4 0 % に減らした以外は、サンプル N o . 5 と同様にして圧粉磁心を得るとともに、この圧粉磁心を用いてチョークコイルを得た。

【 0 0 8 6 】

2 . 複合粒子、圧粉磁心およびチョークコイルの評価

2 . 1 X 線回折法による平均結晶粒径の測定

各サンプル N o . の複合粒子について、X 線回折法により X 線回折スペクトルを取得した。例えばサンプル N o . 1 の複合粒子から得られた X 線回折スペクトルには、F e - S i 系合金に由来する回折ピークと、F e - N i 系合金に由来する回折ピークと、が含まれていた。

そこで、各回折ピークの形状（半値幅）に基づき、コア粒子に含まれる結晶組織の平均結晶粒径と、被覆層に含まれる結晶組織の平均結晶粒径と、を算出した。算出結果を表 1、2 に示す。

【 0 0 8 7 】

2 . 2 圧粉磁心の密度の測定

各サンプル N o . の圧粉磁心について密度を測定した。そして、各サンプル N o . の複合粒子の組成から計算される真比重に基づき、各圧粉磁心の相対密度を算出した。算出結果を表 1、2 に示す。

2 . 3 チョークコイルの透磁率の測定

各サンプル N o . のチョークコイルについて、それぞれの透磁率  $\mu'$ 、鉄損（コアロス P c v）を以下の測定条件に基づいて測定した。測定結果を表 1、2 に示す。

【 0 0 8 8 】

< 測定条件 >

・測定周波数（透磁率）：1 0 k H z、1 0 0 k H z、1 0 0 0 k H z

・測定周波数（鉄損）：5 0 k H z、1 0 0 k H z

・最大磁束密度：5 0 m T、1 0 0 m T

・測定装置：交流磁気特性測定装置（岩通計株式会社製、B - H アナライ

ザ S Y 8 2 5 8 )

【 0 0 8 9 】

10

20

30

40

【表 1】

表 1

	No.1 実施例	No.2 実施例	No.3 実施例	No.4 実施例	No.5 実施例	No.6 実施例	No.7 実施例	No.8 実施例	No.9 実施例	No.10 実施例	No.11 比較例	No.12 比較例
質量部	10	20	30	40	50	60	70	80	90	95	0	100
Fe-6.5Si (c)												
質量部												
Fe-Si-B (a)												
質量部												
Fe-Si-Al (c)												
質量部												
コア粒子												
Fe-Si-B-C (a)												
質量部												
ピッカース硬度 HV1	376	381	362	411	378	425	358	349	371	450	-	384
円相当径の半分 r	17	18	30	16	27	22	23	18	16	15	-	16
平均結晶粒径	57	55	59	49	56	42	60	62	57	37	-	56
nm												
Fe-50Ni (c)	90	80	70	60	50	40	30	20	10	5	100	0
質量部												
Fe-0.5B (c)												
質量部												
Fe-10r (c)												
質量部												
被覆粒子												
純Fe (c)												
質量部												
ピッカース硬度 HV2	202	213	218	198	221	205	178	184	230	246	210	-
平均厚さ t	10	12	14	10	18	10	8	4	10	3	11	-
nm												
平均結晶粒径	90	88	85	95	78	91	112	106	63	71	87	-
nm												
HV1-HV2	174	168	144	213	157	220	180	165	141	204	-	-
t/r	0.59	0.67	0.47	0.63	0.67	0.45	0.35	0.22	0.63	0.20	-	-
コア粒子の平均結晶粒径 / 被覆粒子の平均結晶粒径	0.63	0.63	0.69	0.52	0.72	0.46	0.54	0.58	0.90	0.52	-	-
評価結果												
相対密度	89.7	89.1	88.5	87.9	87.2	86.6	85.9	84.8	83.1	82.6	80.2	78.4
%												
透磁率 μ'	64.3	63.8	63.3	62.7	62.2	61.2	59.5	56.9	54.0	52.7	45.3	41.2
10kHz												
100kHz												
1000kHz												
鉄損	244	248	250	256	255	270	259	265	272	275	258	425
kW/m <sup>3</sup>												
Bm=50mT				535	532	555	544	555	578			
kW/m <sup>3</sup>												
鉄損	1487	1497	1506	1516	1519	1551	1598	1568	1617	1629	1554	2351
kW/m <sup>3</sup>												
Bm=100mT				3162	3176	3257	3369	3325	3448			
kW/m <sup>3</sup>												

【表 2】

表2

	No.13	No.14	No.15	No.16	No.17	No.18	No.19	No.20	No.21	No.22	No.23	No.24
	実施例	実施例	比較例	比較例	実施例	実施例	比較例	比較例	比較例	比較例	比較例	比較例
コア粒子	質量部 Fe-6.5Si (c)	70	0	100						Fe-50Ni (c)	50	50
	質量部 Fe-Si-B (a)					60	0	100				
	質量部 Fe-Si-Al (c)				30							
	質量部 Fe-Si-B-C (a)						50					
被覆粒子	ピッカース硬度 HV1	805	812	-	480	425	-	449	1321	210	348	370
	円相当径の半分 r	20	42	-	41	22	-	18	14	12	52	25
	平均結晶粒径	0	0	-	0	56	42	-	-	-	-	55
	質量部 Fe-50Ni (c)										50	50
被覆粒子	質量部 Fe-0.5B (c)	50	30	100	0	40	100	0			50	
	質量部 Fe-1Cr (c)					70						
	質量部 純Fe (c)								50	50		
	ピッカース硬度 HV2	246	241	278	-	193	205	178	-	95	245	275
コア粒子の平均結晶粒径/ 被覆粒子の平均結晶粒径	平均厚さ t	10	15	15	-	5	10	12	-	15	1.5	16
	平均結晶粒径	90	74	85	-	78	72	81	-	185	36	42
	HV1-HV2	559	571	-	-	287	220	-	-	1226	116	103
	t/r	0.50	0.36	-	-	0.19	0.45	-	-	1.07	1.75	0.03
評価結果	コア粒子の平均結晶粒径/ 被覆粒子の平均結晶粒径	0.00	0.00	-	-	0.72	0.58	-	-	-	-	1.31
	相対密度	89.5	88.5	80.5	79.2	89.1	81.2	80.4	70.1	85.4	75.7	64.5
	透磁率 μ'	70.9	71.6	54.2	58.2	62.2	61.2	56.7	54.2	33.0	37.6	29.7
	鉄損 Bm=50mT	63	64	70	75	255	270	298	301	-	-	-
評価結果	鉄損 Bm=100mT	376	378	402	423	1519	1646	1615	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

表 1、2 から明らかなように、実施例に相当する圧粉磁心は、相対密度が高いものであった。また、透磁率  $\mu'$  についても相対密度に正の相関を有しており、実施例に相当する圧粉磁心は相対的に高い値を示した。一方、チョークコイルの鉄損については、高周波数帯でかつ広い周波数範囲において低鉄損であることが認められた。

なお、サンプル No. 24 の圧粉磁心について、その内部におけるコア粒子と被覆粒子の分布状況を観察したところ、局所的にコア粒子のみが凝集したり被覆粒子のみが凝集したりした部位が含まれていることが認められた。

【0092】

また、上記各サンプル No. の複合粒子はいずれも図 1 に示す形態のものであるが、図 2 に示す形態のものについても同様のサンプルを作製し、各種評価を行った。その結果、図 2 に示す形態のサンプルについての評価結果は、上記各サンプル No. の複合粒子が示す評価結果と同様の傾向を示した。

なお、サンプル 25、26 の圧粉磁心については、各表に掲載していないものの、表 1、2 に示した各実施例に相当する圧粉磁心に比べて、相対密度が低かった。これは、被覆率が低いことが影響しているものと考えられる。

【符号の説明】

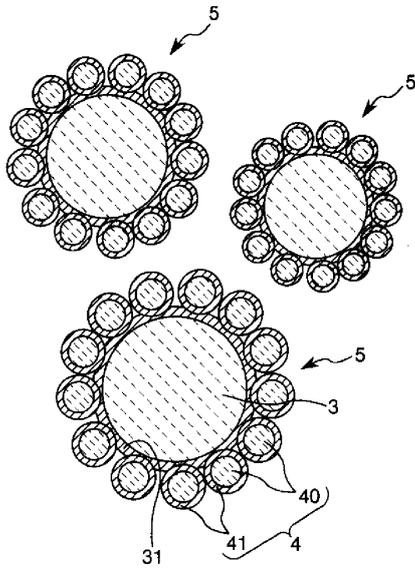
【0093】

10、20 ..... チョークコイル    11、21 ..... 圧粉磁心    12、22 ..... 導線    3 ...  
 ... コア粒子    4 ..... 被覆層    40 ..... 被覆粒子    31、41 ..... 絶縁層    5 ..... 複合粒子  
 51 ..... 絶縁層    100 ..... 表示部    1100 ..... パーソナルコンピューター    110  
 2 ..... キーボード    1104 ..... 本体部    1106 ..... 表示ユニット    1200 ..... 携帯  
 電話機    1202 ..... 操作ボタン    1204 ..... 受話口    1206 ..... 送話口    1300  
 ..... デジタルスチルカメラ    1302 ..... ケース    1304 ..... 受光ユニット    130  
 6 ..... シャッターボタン    1308 ..... メモリー    1312 ..... ビデオ信号出力端子    1  
 314 ..... 入出力端子    1430 ..... テレビモニター    1440 ..... パーソナルコンピ  
 ューター

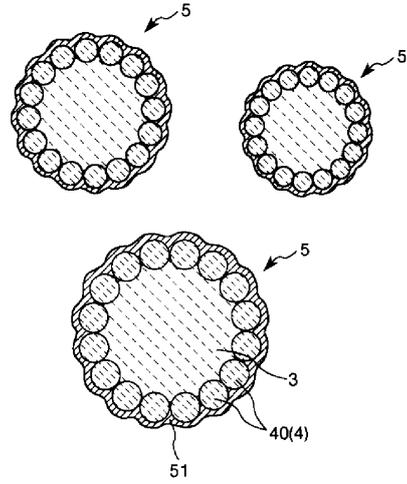
10

20

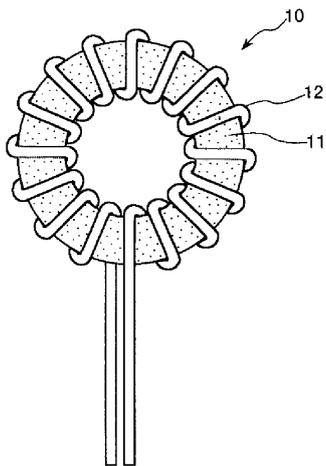
【図1】



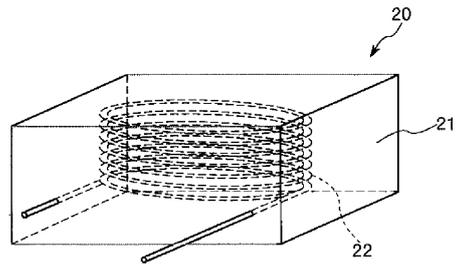
【図2】



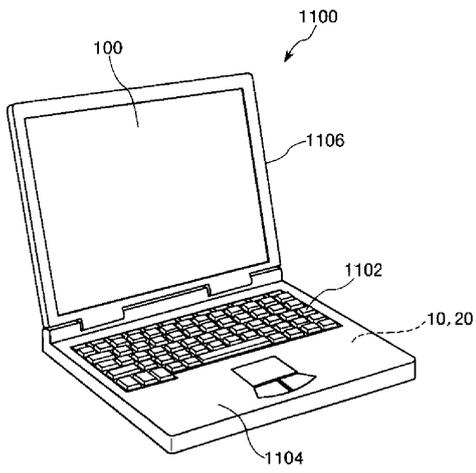
【図3】



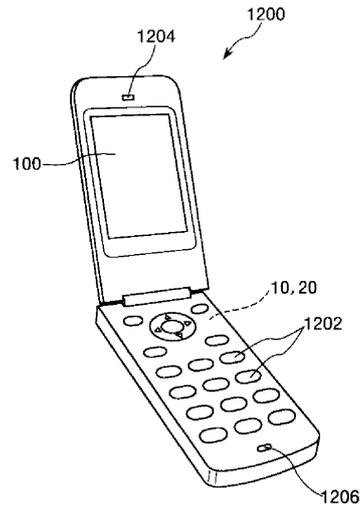
【図4】



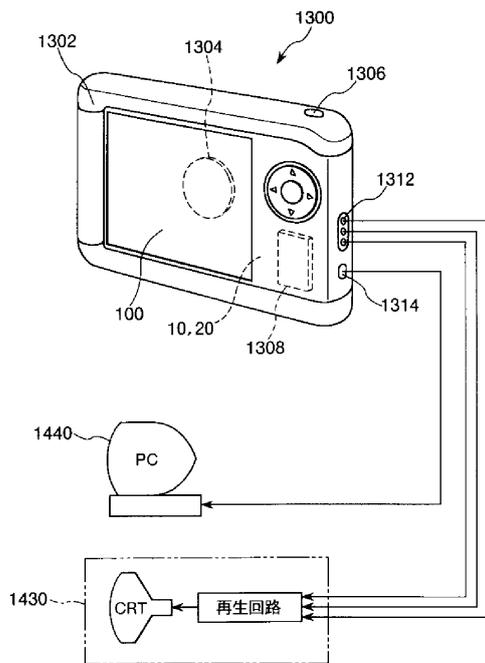
【 図 5 】



【 図 6 】



【 図 7 】



フロントページの続き

(51)Int.Cl.			F I		
<i>B 2 2 F</i>	<i>1/00</i>	<i>(2006.01)</i>	H 0 1 F	27/24	D
<i>B 2 2 F</i>	<i>3/00</i>	<i>(2006.01)</i>	B 2 2 F	1/02	E
<i>C 2 2 C</i>	<i>45/02</i>	<i>(2006.01)</i>	B 2 2 F	1/00	Y
<i>C 2 2 C</i>	<i>38/00</i>	<i>(2006.01)</i>	B 2 2 F	1/00	F
			B 2 2 F	3/00	B
			C 2 2 C	45/02	A
			C 2 2 C	38/00	3 0 3 S

(72)発明者 佐藤 冬乙  
青森県八戸市大字河原木字海岸4 - 4 4 エプソンアトミックス株式会社内

審査官 馬場 慎

(56)参考文献 特開2012 - 138494 (JP, A)  
特開2010 - 153638 (JP, A)  
特開2005 - 294458 (JP, A)  
特開2009 - 164401 (JP, A)  
特許第6131577 (JP, B2)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 0 1 F 1 / 1 4 7  
H 0 1 F 1 / 1 5 3  
H 0 1 F 1 / 2 2  
H 0 1 F 2 7 / 2 5 5  
B 2 2 F 1 / 0 0  
B 2 2 F 1 / 0 2  
B 2 2 F 3 / 0 0  
C 2 2 C 3 8 / 0 0  
C 2 2 C 4 5 / 0 2