

(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2018-190821

(P2018-190821A)

(43) 公開日 平成30年11月29日(2018.11.29)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
H 0 1 F 17/04 (2006.01)	H 0 1 F 17/04 F	5 E 0 7 0
H 0 1 F 37/00 (2006.01)	H 0 1 F 17/04 A	
	H 0 1 F 37/00 A	
	H 0 1 F 37/00 C	

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2017-91666 (P2017-91666)	(71) 出願人	000003067
(22) 出願日	平成29年5月2日 (2017.5.2)		T D K株式会社
			東京都港区芝浦三丁目9番1号
		(74) 代理人	110001494
			前田・鈴木国際特許業務法人
		(72) 発明者	山下 保英
			東京都港区芝浦三丁目9番1号 T D K株
			式会社内
		(72) 発明者	安原 克志
			東京都港区芝浦三丁目9番1号 T D K株
			式会社内
		(72) 発明者	佐藤 千緒美
			東京都港区芝浦三丁目9番1号 T D K株
			式会社内
		Fターム(参考)	5E070 AA01 AB10 BA06 BB03

(54) 【発明の名称】 インダクタ素子

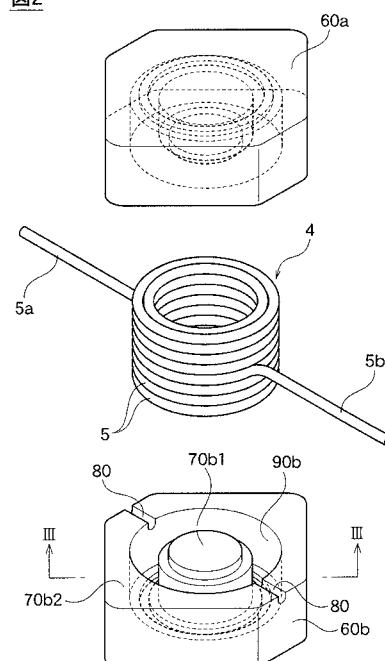
(57) 【要約】

【課題】 使用時にクラックが発生しにくいインダクタ素子を提供する。

【解決手段】 コイル状に導体が巻回してある巻線部と、巻線部の周囲を囲み、磁性粉体と樹脂とを含むコア部と、を有するインダクタ素子である。巻線部は、内周面を有する。内周面から巻軸中心に向けて所定範囲内の距離であるコア部の領域を巻線内周近傍領域とする。巻軸中心から垂直な外側方向に巻線部が存在し巻軸中心から垂直な外側方向に向けて所定範囲内の距離であるコア部の領域を中芯中央領域とする。中芯中央領域の磁性粉体の面積割合を $S\alpha$ (%)、巻線内周近傍領域の磁性粉体の面積割合を $S\beta 1$ (%)とする場合に、 $S\alpha - S\beta 1 \geq 5.0$ %である。

【選択図】 図2

図2



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

コイル状に導体が巻回してある巻線部と、
前記巻線部の周囲を囲み、磁性粉体と樹脂とを含むコア部と、を有するインダクタ素子であって、

前記巻線部は、内周面、外周面、および、巻軸中心に沿って相互に反対側に位置する第 1 端面および第 2 端面を有し、

前記内周面から前記巻軸中心に向けて所定範囲内の距離である前記コア部の領域を巻線内周近傍領域とし、

前記第 1 端面から前記巻軸中心と平行な外側方向に向けて所定範囲内の距離である前記コア部の領域を巻線第 1 端面近傍領域とし、

前記第 2 端面から前記巻軸中心と平行な外側方向に向けて所定範囲内の距離である前記コア部の領域を巻線第 2 端面近傍領域とし、

前記巻軸中心から垂直な外側方向に前記巻線部が存在し前記巻軸中心から前記垂直な外側方向に向けて所定範囲内の距離である前記コア部の領域を中芯中央領域とする場合であって、

前記中芯中央領域の磁性粉体の面積割合を $S\alpha$ (%)、

前記巻線内周近傍領域の磁性粉体の面積割合を $S\beta 1$ (%) とする場合に、

$S\alpha - S\beta 1 \geq 5.0\%$ であるインダクタ素子。

10

【請求項 2】

20

前記巻軸中心を通過し前記巻軸中心と平行な任意の断面において、

前記中芯中央領域全体に占める前記磁性粉体の面積割合を $S\alpha$ (%)、

前記第 1 端面近傍領域全体に占める前記磁性粉体の面積割合を $S\beta 2$ (%)、

前記第 2 端面近傍領域全体に占める前記磁性粉体の面積割合を $S\beta 3$ (%)、

$S\beta 2$ と $S\beta 3$ との平均を $S\beta 4$ (%) とする場合に、

$S\alpha - S\beta 4 \geq -2.0\%$ である請求項 1 に記載のインダクタ素子。

【請求項 3】

$S\alpha - S\beta 4 \geq 0\%$ である請求項 2 に記載のインダクタ素子。

【請求項 4】

$S\alpha - S\beta 4 \geq 5.0\%$ である請求項 3 に記載のインダクタ素子。

30

【請求項 5】

$S\alpha \geq 65\%$ である請求項 1 ～ 4 のいずれかに記載のインダクタ素子。

【請求項 6】

前記巻線内周近傍領域の磁性粉体の面積割合を $S\beta 1$ (%) とする場合に、

$S\beta 1 \geq 60\%$ である請求項 1 ～ 5 のいずれかに記載のインダクタ素子。

【請求項 7】

前記第 1 端面近傍領域全体に占める前記磁性粉体の面積割合を $S\beta 2$ (%)、

前記第 2 端面近傍領域全体に占める前記磁性粉体の面積割合を $S\beta 3$ (%)、

$S\beta 2$ と $S\beta 3$ との平均を $S\beta 4$ (%) とする場合に、

$S\beta 4 \geq 60\%$ である請求項 1 ～ 6 のいずれかに記載のインダクタ素子。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、インダクタ素子に関する。

【背景技術】

【0002】

インダクタ素子の一例として、金属磁性粉に樹脂を加えて加圧成形して得られるコアの内部にコイルを埋設しているインダクタ素子が知られている。

【0003】

下記の特許文献 1 には、磁性粉末と熱硬化性樹脂とを混合し、加圧成形して 2 個の圧粉

50

体を成形し、それらの圧粉体でコイル部を挟み込むように再加圧するとともに熱硬化を行うコイル部品の製造方法が記載されている。そして、それらの圧粉体は再加圧成形する際に圧粉体の形状が崩れない硬度の強硬度部と圧粉体の形状が崩れる硬度の弱硬度部を設け、再圧縮により弱硬度部を崩しながら成形を行っている。

【0004】

しかしながら、特許文献1の技術では、圧粉体の一部を崩して再圧縮して成形する必要がある。近年、コイル部品の大電流化が進み、コイルの直流重畳特性の向上が求められている。直流重畳特性の向上のためには、密度を高密度にすることが求められている。

【0005】

また、再加圧成形時に弱硬度部の形状が崩れやすいために十分な圧力伝達が行えず、特に圧粉体同士を接合させる部分の密度が低くなりやすい。すなわち、最終的に得られるインダクタ素子において、コアの密度ムラが生じやすい。さらに、密度を高くするために再加圧成形時の圧力を高くしようとする、コイル被膜が破れたり、金型内壁と磁性粉末表面との擦れが発生したりして、耐電圧を低下させやすい。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2002-252120号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

本発明は、このような実状に鑑みてなされ、その目的は、使用時にクラックが発生しにくいインダクタ素子を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記の目的を達成するために、本発明に係るインダクタ素子は、

コイル状に導体が巻回してある巻線部と、

前記巻線部の周囲を囲み、磁性粉体と樹脂とを含むコア部と、を有するインダクタ素子であって、

前記巻線部は、内周面、外周面、および、巻軸中心に沿って相互に反対側に位置する第1端面および第2端面を有し、

前記内周面から前記巻軸中心に向けて所定範囲内の距離である前記コア部の領域を巻線内周近傍領域とし、

前記第1端面から前記巻軸中心と平行な外側方向に向けて所定範囲内の距離である前記コア部の領域を巻線第1端面近傍領域とし、

前記第2端面から前記巻軸中心と平行な外側方向に向けて所定範囲内の距離である前記コア部の領域を巻線第2端面近傍領域とし、

前記巻軸中心から垂直な外側方向に前記巻線部が存在し前記巻軸中心から前記垂直な外側方向に向けて所定範囲内の距離である前記コア部の領域を中芯中央領域とする場合であって、

前記中芯中央領域の磁性粉体の面積割合を S_{α} (%)、

前記巻線内周近傍領域の磁性粉体の面積割合を $S_{\beta 1}$ (%) とする場合に、

$S_{\alpha} - S_{\beta 1} \geq 5.0\%$ である。

【0009】

本発明に係るインダクタ素子は、上記の構成を有することにより、使用時のクラック発生を抑制することができる。

【0010】

さらに、

前記巻軸中心を通過し前記巻軸中心と平行な任意の断面において、

前記中芯中央領域全体に占める前記磁性粉体の面積割合を S_{α} (%)、

10

20

30

40

50

前記第1端面近傍領域全体に占める前記磁性粉体の面積割合を $S\beta 2$ （％）、
前記第2端面近傍領域全体に占める前記磁性粉体の面積割合を $S\beta 3$ （％）、
 $S\beta 2$ と $S\beta 3$ との平均を $S\beta 4$ とする場合に、
 $S\alpha - S\beta 4 \geq -2.0\%$ であることが好ましい。

【0011】

さらに、 $S\alpha - S\beta 4 \geq 0\%$ であることが好ましい。

【0012】

さらに、 $S\alpha - S\beta 4 \geq 5.0\%$ であることが好ましい。

【0013】

さらに、 $S\alpha \geq 65\%$ であることが好ましい。

10

【0014】

さらに、 $S\beta 1 \geq 60\%$ であることが好ましい。

【0015】

さらに、 $S\beta 4 \geq 60\%$ であることが好ましい。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】図1は本発明の第1実施形態に係るインダクタ素子の断面図である。

【図2】図2は図1に示すインダクタ素子の製造過程に用いる予備成形体およびインサート部材を表す斜視図である。

【図3】図3は図2に示すIII-III線に沿う断面図である。

20

【図4】図4は本発明の第2実施形態に係るインダクタ素子の断面図である。

【図5】図5は図4に示すインダクタ素子の製造方法を示す断面図である。

【図6】図6は本発明の第1実施形態に係るインダクタ素子の製造過程で用いる予備成形体およびインサート部材の斜視図である。

【図7】図7は本発明の第1実施形態に係るインダクタ素子の製造過程で用いる予備成形体およびインサート部材の斜視図である。

【図8】図8は本願実施例1のインダクタ素子の断面写真である。

【図9】図9は本願比較例1のインダクタ素子の断面写真である。

【図10】図10は本願実施例11のインダクタ素子の断面写真である。

【図11】図11は本願比較例11のインダクタ素子の断面写真である。

30

【図12】図12は本願実施例1の中芯中央領域のSEM画像である。

【図13】図13は本願比較例1の中芯中央領域のSEM画像である。

【図14】図14は本願実施例11の中芯中央領域のSEM画像である。

【図15】図15は本願比較例11の中芯中央領域のSEM画像である。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明を、図面に示す実施形態に基づき説明するが、本発明は下記の実施形態に限定されない。

【0018】

第1実施形態

40

図1は後述する巻線部4の巻軸中心4 α を通過し、巻軸中心4 α と平行な断面である。図1に示すように、本発明の一実施形態におけるインダクタ素子2は、巻線部4と、コア部6と、を有する。巻線部4では、導体5がコイル状に巻回してある。コア部6は、巻線部4の内周側に位置する内周部（中芯部とも言う）6aと、巻線部4の外周側に位置する外周部6bと、を有する。巻線部4を構成する導体5とコア部6の隙間部6cには、コア部6を構成する磁性体粉および樹脂が入り込んでいる。

【0019】

巻線部4は、内周面4 $\beta 1$ 、外周面4 $\beta 4$ 、および、巻軸中心4 α に沿って相互に反対側に位置する第1端面4 $\beta 2$ および第2端面4 $\beta 3$ を有する。

【0020】

50

本実施形態のインダクタ素子 2 は、コア部 6 の上面および下面が Z 軸に対して略垂直であり、コア部 6 の側面は、X 軸および Y 軸を含む平面に対して略垂直となっている。また、巻線部 4 の巻軸は Z 軸に対して略平行となっている。ただし、コア部 6 の形状は、図 1 の形状に限定されず、円柱形、楕円柱などであっても良い。

【0021】

本実施形態のインダクタ素子 2 のサイズは、特に限定されないが、例えば、リード部 5 a, 5 b を除く部分が、 $(2 \sim 17) \text{ mm} \times (2 \sim 17) \text{ mm} \times (1 \sim 7) \text{ mm}$ の直方体または立方体に含まれるサイズである。なお、図 1 では、図 2 に示す巻線部 4 のリード部 5 a, 5 b の図示が省略してある。巻線部 4 を構成する導体 5 の両端に形成してあるリード部 5 a, 5 b は、図 1 に示すコア部 6 の外部に取り出されるようになっている。

10

【0022】

巻線部 4 を構成する導体（導線）5 には、必要に応じて外周を絶縁被覆層で被覆してある。導体 5 としては、たとえば Cu、Al、Fe、Ag、Au、あるいはこれらの金属を含む合金などで構成してある。絶縁被覆層は、たとえばポリウレタン、ポリアミドイミド、ポリイミド、ポリエステル、ポリエステルイミド、ポリエステルナイロンなどで構成してある。導体 5 の横断面形状は、特に限定されず、円形、平角形状などが例示される。本実施形態では、導体 5 の横断面形状は円形としている。

【0023】

コア部 6 は、磁性粉体および樹脂（バインダ）を有する。磁性粉体の材質としては、特に限定されないが、 Mn-Zn 、 Ni-Cu-Zn などのフェライト、 Fe-Si （鉄—シリコン）、センダスト（ Fe-Si-Al ；鉄—シリコン—アルミニウム）、 Fe-Si-Cr （鉄—シリコン—クロム）、パーマロイ（ Fe-Ni ）、などの金属が例示される。好ましくは、 Fe-Si または Fe-Si-Cr である。磁性粉体の結晶構造には特に限定はなく、アモルファス、結晶質などが例示される。樹脂の種類としては、特に限定されないが、たとえばエポキシ樹脂、フェノール樹脂、ポリイミド、ポリアミドイミド、シリコン樹脂、これらを組み合わせたものなどが例示される。

20

【0024】

本実施形態では、コア部 6 が、その内部において所定の密度差を有することに特徴がある。

【0025】

図 1 に示すように、内周面 $4\beta 1$ から巻軸中心 4α に向けて $100 \mu\text{m}$ 以内である領域を巻線内周近傍領域 $6\beta 1$ 、第 1 端面 $4\beta 2$ から巻軸中心 4α と平行な外側方向に向けて $100 \mu\text{m}$ 以内である領域を第 1 端面近傍領域 $6\beta 2$ 、第 2 端面 $4\beta 3$ から巻軸中心 4α と平行な外側方向に向けて $100 \mu\text{m}$ 以内である領域を第 2 端面近傍領域 $6\beta 3$ とする。巻軸中心 4α から垂直な外側方向に巻線部 4 が存在し、巻軸中心 4α から当該垂直な外側方向に向けて $280 \mu\text{m}$ 以内である領域を中芯中央領域 6α とする。

30

【0026】

本実施形態に係るインダクタ素子は、中芯中央領域 6α 全体に占める磁性粉体の面積割合を $S\alpha$ （%）、巻線内周近傍領域 $6\beta 1$ 全体に占める磁性粉体の面積割合を $S\beta 1$ （%）とする場合に、 $S\alpha - S\beta 1 \geq 5.0$ % である。すなわち、コア部 6 の中で、巻線 5 に近い部分よりも巻軸中心 4α に近い部分の方が磁性粉体の密度が高い。また、 $S\alpha - S\beta 1$ は、5.4 % 以上としてもよい。また、 $S\alpha - S\beta 1$ には上限はないが、通常は 2.0 % 以下である。また、 $S\alpha - S\beta 1$ は 7.5 % 以下であってもよい。

40

【0027】

本実施形態に係るインダクタ素子は、コア部 6 の中で、巻軸中心 4α に近い部分における磁性粉体の密度を、巻線 5 の内側であって、巻線 5 に近い部分における磁性粉体の密度よりも高くすることにより、クラックの発生を抑制することができる。さらに、インダクタンスおよび直流重畳特性を向上させることができる。

【0028】

本実施形態に係るインダクタ素子は、第 1 端面近傍領域 $6\beta 2$ 全体に占める磁性粉体の

50

面積割合を $S\beta 2$ (%)、第2端面近傍領域 $6\beta 3$ 全体に占める磁性粉体の面積割合を $S\beta 3$ (%)、 $S\beta 2$ と $S\beta 3$ との平均を $S\beta 4$ (%)とする場合に、 $S\alpha - S\beta 4 \geq -2.0\%$ であることが好ましい。より好ましくは $S\alpha - S\beta 4 \geq 0\%$ であり、さらに好ましくは $S\alpha - S\beta 4 \geq 5.0\%$ である。すなわち、本実施形態に係るインダクタ素子は、巻軸中心 4α に近い部分における磁性粉体の密度が、巻線5のZ軸方向上側および下側であって、巻線5に近い部分における磁性粉体の密度と同等以上であることが好ましい。上記の構成とすることにより、クラックの発生を抑制しやすくなり、さらに、インダクタンスおよび直流重畳特性を向上させやすくなることができる。

【0029】

また、本実施形態に係るインダクタ素子は、 $S\alpha \geq 65\%$ であることが好ましい。さらに、 $S\beta 1 \geq 60\%$ であることが好ましく、 $S\beta 4 \geq 60\%$ であることが好ましい。すなわち、磁性粉体の密度が所定量以上であることが好ましい。磁性粉体の密度を高密度とすることで、クラックの発生を抑制しやすくなり、さらに、インダクタンスおよび直流重畳特性を向上させやすくなることができる。

【0030】

磁性粉体の面積割合の測定方法には特に制限はない。例えば、インダクタ素子断面のSEM画像から目視にて面積割合を算出することができる。SEM画像の観察にはSU820 (株式会社日立ハイテクノロジーズ製)を用いた。また、画像解析ソフトとしてはNanoHunter NS2K-Pro (ナノシステム株式会社製)を用いた。SEM画像から面積割合を算出する場合には、SEM画像の倍率および大きさには特に制限はない。例えば100～180倍で $480\mu m \times 560\mu m$ とすることができる。

【0031】

また、通常は、磁性粉体の面積割合は各領域内で均一であるとみなすことができる。誤差を小さくする観点から、通常は各領域内で概ね均等な配置になるように複数の測定箇所を適宜設定し、各測定箇所での磁性粉体の面積割合の測定結果を平均した結果を用いる。測定箇所の設定数は各領域の大きさや形状等によって適宜設定する。例えば、中芯中央領域および巻線内周近傍領域では、好ましくは3か所以上、さらに好ましくは5か所以上の測定箇所を各測定領域内で概ね均等な配置になるように適宜設定する。そして、各測定箇所での測定結果を平均して領域全体の測定結果とみなす。第1端面近傍領域および第2端面近傍領域では、通常は1つの測定箇所における測定結果を領域全体の測定結果とみなしてよい。

【0032】

次に、図1に示すインダクタ素子2の製造方法について図2および図3を用いて説明する。

【0033】

本発明の一実施形態におけるインダクタ素子の製造方法により製造されるインダクタ素子2は、2つの予備成形体60a、60bと、空芯コイルなどで構成される巻線部4を有するインサート部材と、を一体化することにより製造される。巻線部4を構成する導体5の両端は、リード部5a、5bとして、巻線部4の外側に引き出されている。端子(図示せず)はリード部5a、5bと本圧縮後に接続してもよいし、本圧縮前に予め接続しておいてもよい。

【0034】

各予備成形体60a、60bには、それぞれ接合予定面70a、70bが形成してあり、それらが相互に突き合わされて接合される。それぞれの接合予定面70a、70bには、それぞれ巻線部4の上半部および下半分を収容するための収容凹部90a、90bが形成してある。収容凹部90a、90bの大きさは、インサート部材としての巻線部4が、その内外周および巻軸方向端部が接触して入り込める程度の大きさである。また、収容凹部90a、90bが大きくなるほど、 $S\beta 1$ 、 $S\beta 2$ および/または $S\beta 3$ が小さくなる傾向にある。これにより、 $S\alpha - S\beta 1$ 、 $S\alpha - S\beta 2$ および/または $S\alpha - S\beta 3$ を大きくしやすくなる。

10

20

30

40

50

【0035】

さらに、収容凹部90a, 90bには、深さaの溝部および深さbの溝部が図3に示す位置に形成されていてもよい。溝部自体は圧着により消滅するが、収容凹部90a, 90bに溝部を形成することで、巻回部4の近傍が低密度化する効果がある。さらに具体的には、aが大きいほどSβ1が小さくなる傾向にあり、bが大きいほどSβ2およびSβ3が小さくなる傾向にある。

【0036】

また、いずれか一方または双方の接合予定面70a, 70bには、リード部5a, 5bをコア部6の外側に引き出すための引出溝80が形成してある。なお、図2には一对のリード部5a, 5bを記載しているが、図3では一对のリード部5a, 5bを省略している。

10

【0037】

まず、予備成形体60a, 60bの原料となる顆粒を製造する。顆粒の製造方法には特に制限はない。たとえば磁性粉体に樹脂を添加し攪拌した後に乾燥させることで製造することができる。

【0038】

磁性粉体の粒径に特に制限はないが、例えば平均粒径が0.5～50μmの磁性粉体を用いることができる。樹脂としては、特に限定されないが、例えばエポキシ樹脂、フェノール樹脂、ポリイミド、ポリアミドイミド、シリコン樹脂、これらを組み合わせたものなどが例示される。また、磁性粉体と樹脂とを混合する前に、磁性粉体表面に絶縁被膜を形成してもよい。例えば、ゾルゲル法によりSiO₂膜である絶縁被膜を形成することができる。

20

【0039】

また、磁性粉体に樹脂を添加し攪拌した後にメッシュを通過させることで粗大な顆粒を取り除いてもよい。また、樹脂は磁性粉体に添加する際に溶媒で希釈してもよい。溶媒としては、例えばケトン類等が用いられる。

【0040】

樹脂の含有量には特に制限はないが、磁性粉体100wt%に対して1.0～6.0wt%含有することが好ましい。樹脂の含有量を適量とすることにより、後述する本圧縮時に接合予定面70a, 70bを接合しやすくなる。また、樹脂の含有量が多いほど磁性粉体の密度が小さくなり、Sα, Sβ1, Sβ2およびSβ3が小さくなる傾向にある。

30

【0041】

予備成形体60a, 60bは、前記磁性粉体および前記樹脂を含む顆粒を金型のキャビティ内に充填し、予備圧縮成形して製造される。予備圧縮成形時の圧力には特に制限はないが、 $2.5 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$ MPa ($2.5 \sim 10$ t/cm²) とすることが好ましい。また、予備成形体60a, 60bの密度には特に制限はない。たとえば、 $4.0 \sim 6.5$ g/cm³ であることが好ましい。

【0042】

予備圧縮成形時の圧力を $2.5 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3$ MPaとすることで、後述する本圧縮後に生じる巻線部4の位置の歪みおよび／または巻線の形状の歪みを防止し、耐電圧、インダクタンスおよび直流重畳特性が全て優れたインダクタ素子を製造しやすくなる。また、予備成形体60a, 60bの密度を上記の範囲内、特に 4.0 g/cm³以上とすることで、上記Sα, Sβ1, Sβ2, Sβ3を高くしやすくなる。また、 6.5 g/cm³以下とすることで製品の防錆効果を維持しやすくなる。これは、高密度な予備成形体を得られるように高圧で成形してしまうと前記絶縁皮膜が剥離しやすくなるためである。

40

【0043】

次に、得られた予備成形体60a, 60bおよびインサート部材を図2および図3に示す態様で、予備成形体製造時とは別の金型のキャビティ内に配置し、本圧縮（圧着）を行うことでインダクタ素子2を得ることができる。本圧縮時の圧力には特に制限はないが、

50

たとえば $1 \times 10^2 \sim 8 \times 10^2 \text{ MPa}$ ($1 \sim 8 \text{ t/cm}^2$) とすることが好ましい。また、本圧縮時の圧力は予備圧縮成形時の圧力 (100%) に比較して、好ましくは、 $40 \sim 80\%$ 程度に低く、さらに好ましくは $50 \sim 60\%$ 程度に低い。本圧縮時の圧力を予備圧縮成形時の圧力よりも低くすることで、本圧縮後に生じる巻線部 4 の位置の歪みおよび／または巻線の形状の歪みを防止しやすくなり、予備圧縮成形時の圧力が本圧縮時の圧力と比べて大きいほど耐電圧特性が向上しやすい傾向にある。

【0044】

また、本圧縮後に金型から取り出したインダクタ素子 2 に対して加熱を行うことで樹脂を完全硬化させることが好ましい。具体的には、金型から取り出したインダクタ素子 2 に対して、樹脂が硬化開始する温度よりも高い温度で加熱することにより、樹脂を完全硬化させることが好ましい。

10

【0045】

上記の製造方法で得られるインダクタ素子 2 は、巻線部 4 の位置の歪みおよび／または巻線の形状の歪みが小さく、コア部 6、特に中芯中央領域 6a を高密度に形成することができる。したがって、インダクタンスおよび直流重畳特性を向上させながら耐電圧も向上させることができる。

【0046】

本実施形態では、最終的に得られるインダクタ素子 2 のコア部 6 について、均一かつ高密度で作製できる。その結果、従来のインダクタ素子よりもインダクタンスおよび直流重畳特性を向上させることができる。

20

【0047】

本実施形態に係るインダクタ素子 2 を製造する方法としては、図 2 および図 3 に示す方法の他、例えば、図 6 に示すように、板形状の予備成形体 60a1 およびポット形状の予備成形体 60b1 を準備する方法がある。なお、予備成形体には図 2 および図 3 に示す方法と同様に深さ a の溝部および深さ b の溝部を形成してもよい。また、図 7 に示すように、3 個の予備成形体 60e2, 60h, 60i を準備する方法がある。また、予備成形体の形状は図 6 および図 7 に示す形状でなくてもよく、最終的に得られるインダクタ素子 2 が図 1 に示す形状となればよい。なお、予備成形体には図 2 および図 3 に示す方法と同様に深さ a の溝部および深さ b の溝部を形成してもよい。また、予備成形体の個数が多いほど直流重畳特性が向上する傾向にある。

30

【0048】

第 2 実施形態

以下、第 2 実施形態について図 4 および図 5 を用いて説明するが、第 1 実施形態と共通する点については説明を省略する。

【0049】

図 4 に示す第 2 実施形態のインダクタ素子 2A は、前記中芯中央領域 6a および巻線内周近傍領域 6β1 を含む中芯部 6a1 における磁性粉体の密度が第 1 実施形態よりもさらに高い。この場合には、中芯中央領域 6a における磁性粉体の面積割合 S_a および巻線内周近傍領域 6β1 における磁性粉体の面積割合 $S_{\beta 1}$ が高くなる傾向にあり、第 1 実施形態と比較して直流重畳特性がさらに向上する傾向にある。

40

【0050】

第 2 実施形態のインダクタ素子 2A を製造する方法としては特に制限はないが、たとえば、図 5 に示すように、中芯部 6a1α の高さが外周部 6b1α の高さよりも z_1 だけ高い予備成形体 60a1 を準備する方法がある。また、同様にして中芯部 6a1β の高さが外周部 6b1β の高さよりも z_2 だけ高い予備成形体 60b1 を準備する。

【0051】

そして、図 5 に示すような予備成形体 60a1, 60b1 を用いて、第 1 実施形態と同様な本圧縮成形を行うことで、中芯部 6a1 における磁性粉体の量が外周部 6b1 における磁性粉体の量より多くなり、中芯部 6a1 (中芯中央領域 6a および巻線内周近傍領域 6β1 における磁性粉体の密度が第 1 端面近傍領域 6β2 および第 2 端面近傍領域 6β3

50

を含む外周部 6 b 1 における磁性粉体の密度より高くなる。

【0052】

なお、 z_1 と z_2 との大小関係には特に制限はない。すなわち、 $z_1 > z_2$ であってもよく、 $z_1 < z_2$ であってもよい。さらに、 z_1 または z_2 が 0 でもよい。

【0053】

また、図 5 に示すように、内周部 6 a 1 α 、6 a 1 β では、Z 軸方向の長さが、外周部 6 b 1 α 、6 b 1 β よりも長いため、図 4 に示す中芯部 6 a 1 では、外周部 6 b 1 よりも圧縮力が強く作用して密度が高くなる。

【0054】

また、図 7 に示す形状の予備成形体を用いる場合においても、本圧縮成形後に中芯部となる予備成形体における磁性粉体の密度を高くする場合には、最終的に得られるインダクタ素子は中芯部の密度が高くなり上記と同様の効果が得られる。

【0055】

なお、本発明は、上述した実施形態に限定されるものではなく、本発明の範囲内で種々に改変することができる。

【実施例】

【0056】

以下、本発明を、さらに詳細な実施例に基づき説明するが、本発明は、これら実施例に限定されない。

【0057】

実施例 1

実施例 1 では、図 2 および図 3 に示す形状の予備成形体を予備圧縮成形にて作製し、その後、本圧縮を行い図 1 に示す形状のインダクタ素子を得た。なお、 $a = 0.20 \text{ mm}$ 、 $b = 0.40 \text{ mm}$ とした。

【0058】

まず、金型のキャビティ内に充填する顆粒を準備した。磁性粉末として Fe-Si 合金（平均粒径 $25 \mu\text{m}$ ）を用意し、磁性粉末表面にゾルゲル法を用いた SiO_2 膜である絶縁被膜を形成した。上記磁性粉末にアセトンに希釈したエポキシ樹脂を、磁性粉末全体を 100 重量%として 3 重量%加え攪拌した。攪拌した後に、250 ミクロンの目開きのメッシュをパスさせ、室温で 24 時間乾燥させ、金型のキャビティ内に充填する顆粒を得た。

【0059】

金型のキャビティ内に前記顆粒を充填し、予備圧縮成形を行い、図 2 および図 3 に示す形状の予備成形体を作製した。予備圧縮成形時の圧力は 400 MPa とした。

【0060】

次に、作製した予備成形体およびインサート部材を、予備圧縮成形に用いた金型とは別の金型のキャビティ内に配置した。キャビティ内部に、図 2 および図 3 に示す 2 個の予備成形体と、内径 4 mm 、高さ 3 mm の巻線部を有するインサート部材と、を図 2 および図 3 に示す態様で配置した。

【0061】

次に、図 3 の Z 軸方向の上下から加圧して本圧縮した。本圧縮時の成形圧力は 100 MPa とした。

【0062】

その後に、金型から成形体を取り出し、前記エポキシ樹脂が硬化開始する温度（ 110°C ）よりも高い 180°C で 1 時間の加熱処理を行い、前記エポキシ樹脂を硬化させ、表 1 に示す各実施例のインダクタ素子のサンプル（試料番号 1～3）を得た。得られたコア部の寸法は、縦 7 mm × 横 7 mm × 高さ 5.4 mm であった。

【0063】

このようにして得られたインダクタ素子のサンプルについて、 S_α 、 $S_{\beta 1}$ 、 $S_{\beta 2}$ および $S_{\beta 3}$ を測定した。具体的には、インダクタ素子断面の各測定箇所について 480μ

10

20

30

40

50

$m \times 560 \mu m$ のSEM画像を観察して $S\alpha$ 、 $S\beta 1$ 、 $S\beta 2$ および $S\beta 3$ を算出した。 $S\alpha$ については、中芯中央領域を巻軸中心と平行な方向に沿って6等分し、各部分について、1か所ずつ、合計6か所の測定箇所を設定した。 $S\beta 1$ については、巻線内周近傍領域を巻軸中心と平行な方向に沿って6等分し、各部分について1か所ずつ、合計6か所の測定箇所を設定した。 $S\beta 2$ および $S\beta 3$ については各近傍領域について1か所ずつ、測定箇所を設定した。そして、各測定箇所における磁性粉体の面積割合を算出して、平均することにより、 $S\alpha$ 、 $S\beta 1$ 、 $S\beta 2$ および $S\beta 3$ を算出し、さらに $S\beta 2$ と $S\beta 3$ とを平均して $S\beta 4$ を算出した。 $S\alpha$ 、 $S\beta 1$ 、 $S\beta 2$ 、 $S\beta 3$ 、 $S\alpha - S\beta 1$ および $S\alpha - S\beta 4$ を、各測定箇所における磁性粉体の面積割合と合せて表1に示す。

【0064】

10

さらに、各インダクタ素子のサンプルのクラック発生について評価を行った。さらに、インダクタンス L_0 および直流重畳特性を測定した。結果を表2に示す。

【0065】

インダクタンス L_0 の測定は、測定周波数100KHz、測定電圧0.5mVで、LCRメータ（ヒューレットパッカード（株）製）を用いて行った。インダクタンス L_0 は37.6～56.4 μH を良好とした。

【0066】

直流重畳特性の測定は、各インダクタ素子のサンプルに直流電流を0から印加していき、電流0の時のインダクタンス（ μH ）に対して、70％に低下する時に流れる電流の値（アンペア）を I_{sat} （A）とし、 I_{sat} の数値で評価した。 I_{sat} が3.6A以上の場合に直流重畳特性が良好であり、5.0A以上の場合にさらに良好であるとした。

20

【0067】

クラック発生の評価については、各インダクタ素子のサンプルを85℃、85％RHの高温高湿下に500時間放置した後に、直流電流を0から印加していき、クラックが発生した時に流れる電流の値を I_{cr} （A）とした。

【0068】

そして、 $I_{cr} - I_{sat} > 0 A$ の場合にクラック抑制効果が良好であるとし、 $I_{cr} - I_{sat} > 1.0 A$ の場合にクラック抑制効果がさらに良好であるとした。表2のクラック評価欄では、 $I_{cr} - I_{sat} > 1.0 A$ の場合を○、 $0 A < I_{cr} - I_{sat} \leq 1.0 A$ の場合を△、 $I_{cr} - I_{sat} \leq 0 A$ の場合を×とした。

30

【0069】

さらに、実施例1のインダクタ素子のサンプルについて、断面写真を撮影した。結果を図9に示す。さらに、実施例1の中芯中央領域のSEM画像を図12に示す。

【0070】

比較例1

比較例1では、実施例1と同様に顆粒を作製したのちに、本圧縮用の金型のキャビティにインサート部材を配置し、顆粒を充填させ、予備圧縮成形なしで本圧縮を行った。予備圧縮成形なしで本圧縮を行った点以外は実施例1と同様にしてインダクタ素子を作製した。結果を表1および表2に示す。ただし、比較例1では、予備圧縮成形を行わなかったために空芯コイルが変形した結果、実施例1とは異なり巻線内部近傍領域における密度を6ヶ所測定できなかった。そのため、巻線内部近傍領域における密度の測定箇所を5か所とした。さらに、比較例1の中芯中央領域のSEM画像を図13に示す。

40

【0071】

さらに、比較例1のインダクタ素子のサンプルについて、断面写真を撮影した。結果を図9に示す。

【0072】

【表 1】

表 1

	金属粉末積率 [%]													
	巻線内周近傍領域							中芯中央領域						
	1	2	3	4	5	6	平均 (Sβ1)	1	2	3	4	5	6	平均 (Sα)
実施例 1	65.4	65.7	63.9	64.8	65.4	63.1	64.7	71.5	74.6	71.5	72.1	69.8	71.4	71.8
比較例 1	59.7	57.6	53.5	52.0	59.5		56.5	61.1	59.5	59.4	60.9	55.7	55.6	58.7

【0073】

【表 2】

表 2

	予備成形体 形状	金属粉 組成	予備圧縮成形	a [mm]	b [mm]	z1 [mm]	金属粉末積率 [%]						L ₀ [μH]	Isat [A]	Icr [A]	クラック 評価
							Sα	Sβ1	Sβ2	Sβ3	Sα-Sβ1	Sα-Sβ4				
実施例 1	図 2、図 3	Fe-Si	あり	0.20	0.40	0.00	71.8	64.7	64.5	66.2	7.1	6.5	48.00	6.45	>8.0	○
実施例 2	図 2、図 3	Fe-Si	あり	0.15	0.20	0.00	72.1	65.7	68.8	69.3	6.4	3.1	48.52	6.29	>8.0	○
実施例 3	図 2、図 3	Fe-Si	あり	0.10	0.05	0.00	71.9	66.1	73.0	73.0	5.8	-1.1	49.04	6.10	7.4	○
実施例 4	図 2、図 3	Fe-Si	あり	0.05	0.00	0.00	64.2	58.8	67.3	66.8	5.4	-2.8	47.59	6.21	6.9	△
実施例 5	図 2、図 3	Fe-Si	あり	0.15	0.30	0.00	64.8	58.3	58.7	59.1	6.5	5.9	47.43	6.12	>8.0	○
比較例 1	予備成形体なし	Fe-Si	なし	—	—	—	58.7	56.5	64.5	62.9	2.2	-5.0	46.39	4.94	<4.0	×
実施例 1 1	図 2、図 3	Fe-Si-Cr	あり	0.15	0.40	0.00	71.3	64.9	65.2	64.6	6.4	6.4	49.02	5.26	>8.0	○
比較例 1 1	予備成形体なし	Fe-Si-Cr	なし	—	—	—	57.6	55.0	63.0	63.0	2.6	-5.4	47.48	4.06	<4.0	×
実施例 2 1	図 5	Fe-Si	あり	0.15	0.40	0.80	73.4	67.1	65.6	66.2	6.3	7.5	48.70	6.70	>8.0	○

【0074】

表 1、図 1 2、図 1 3 より、本願実施例 1 は、中芯中央領域の密度が巻線内部中央領域の密度より高い。さらに、第 1 端面近傍領域の密度および第 2 端面近傍領域の密度の平均密度と比較しても、中芯中心部の密度が高い。これに対し、本願比較例 1 は、巻線内部中央領域の密度および中芯中央領域の密度が同等程度である。さらに、第 1 端面近傍領域の密度および第 2 端面近傍領域の密度の平均密度と比較する場合に、中芯中央領域の密度が低い。さらに、図 8 および図 9 を比較すれば、本願実施例 1 のインダクタ素子は本願比較例 1 のインダクタ素子と比較して歪みが小さい。

【0075】

また、表 1 および表 2 より、本願実施例 1 のインダクタ素子は、特に巻線内周近傍領域における磁性粉末の面積割合のバラツキが小さいことが分かる。すなわち、本願実施例 1 のインダクタ素子は、巻線内周近傍領域における磁性粉末の密度のバラツキが小さくなり、特性のバラツキが小さくなる。

【0076】

さらに、表 1 および表 2 より、 $S\alpha - S\beta 1$ が 5.0 % 以上である本願実施例 1 は、 $S\alpha - S\beta 1$ が 5.0 % 未満である本願比較例 1 と比較してクラック抑制効果大きい。また、 $S\alpha - S\beta 4$ が 5.0 % 以上である本願実施例 1 は、 $S\alpha - S\beta 4$ が -2.0 % 未満である本願比較例と比較して、例えば、150℃の高温放置試験前後のインダクタンス変化率が小さく優れている。本願実施例 1 はコイル周辺の密度が低く、コイルの歪曲が小さいためにインダクタンス変化率が小さくなると考えられる。さらに $S\alpha$ が 65 % 以上である本願実施例 1 は、 $S\alpha$ が 65 % 未満である本願比較例 1 と比較して I_{sat} が高く、直流重畳特性が優れている。

【0077】

実施例 2～5

実施例 2～5 では、実施例 1 から a および b を変化させ、材料充填率を制御することにより、 $S\alpha - S\beta 1$ が 5.0 % 以上となる範囲で $S\alpha$ 、 $S\beta 1$ 、 $S\beta 2$ 、 $S\beta 3$ および $S\beta 4$ を変化させた実施例である。

【0078】

具体的には、実施例 2 および実施例 3 では、a および b を実施例 1 より小さくした。実施例 4 および実施例 5 では、a および b を実施例 1 より小さくし、さらに、顆粒の充填率を低下させた。結果を表 2 に示す。実施例 2～5 はいずれも $S\alpha - S\beta 1$ が 5.0 % 以上であり、クラック抑制効果が大きかった。

【0079】

10

20

30

40

50

また、 $S\alpha - S\beta 4 \geq -2.0\%$ である実施例1～3および5は $S\alpha - S\beta 4 < -2.0\%$ である実施例4と比較してクラック抑制効果が大きかった。さらに、 $S\alpha - S\beta 4 \geq 0\%$ である実施例1, 2および5は $S\alpha - S\beta 4 < 0\%$ である実施例3と比較してさらにクラック抑制効果が大きかった。

【0080】

実施例11および比較例11

磁性粉末としてFe-Si-Cr合金（平均粒径 $25\mu\text{m}$ ）を用意した点以外は実施例1と同条件で実施例11を、比較例1と同条件で比較例11を、それぞれ作成した。結果を表2に示す。また、実施例11のインダクタ素子のサンプルについて、断面写真を撮影した。結果を図10に示す。比較例11のインダクタ素子のサンプルについて、断面写真を撮影した。結果を図11に示す。さらに、実施例11の中芯中央領域のSEM画像を図14に、比較例11の中芯中央領域のSEM画像を図15に示す。

10

【0081】

実施例11および比較例11より、磁性粉末の種類がFe-Si-Cr合金である場合においても、磁性粉末の種類がFe-Si合金の場合と同様の傾向を示した。

【0082】

実施例21

実施例21では、予備成形体の形状を図5に示す形状に変更した点以外は実施例1と同条件でインダクタ素子を作成した。なお、 $z1 = z2 = 800\mu\text{m}$ とした。結果を表2に示す。

20

【0083】

表2より、予備成形体の形状を図5に示す形状とした実施例21は、実施例1と比較して $S\alpha$ および $S\beta 1$ がさらに大きくなり、 $S\alpha - S\beta 4$ もさらに大きくなった。その結果、直流重畳特性がさらに向上した。

【符号の説明】

【0084】

2, 2A… インダクタ素子

4… 巻線部

4 α … 巻軸中心

4 $\beta 1$ … 内周面

4 $\beta 2$ … 第1端面

4 $\beta 3$ … 第2端面

4 $\beta 4$ … 外周面

5… 導体

6… コア部

6a… 内周部

6b… 外周部

6 α … 中芯中央領域

6 $\beta 1$ … 巻線内周近傍領域

6 $\beta 2$ … 第1端面近傍領域

6 $\beta 3$ … 第2端面近傍領域

60a～60k… 予備成形体

70a～70n… 接合予定面

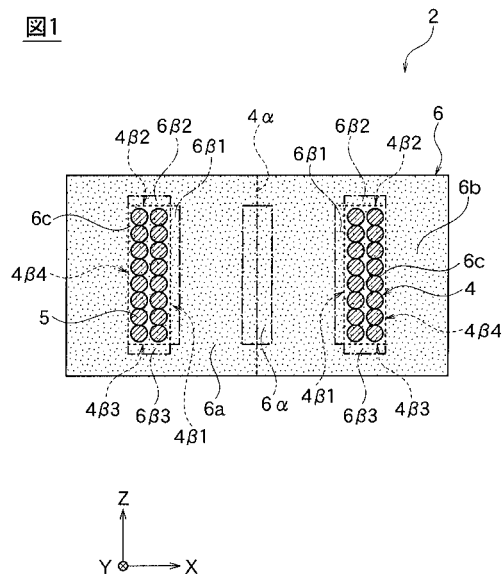
80, 80a, 80b… 引出溝

90a, 90b… 収容凹部

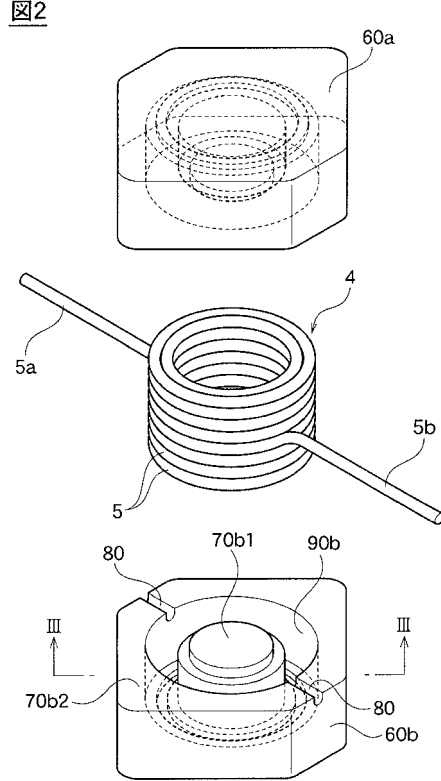
30

40

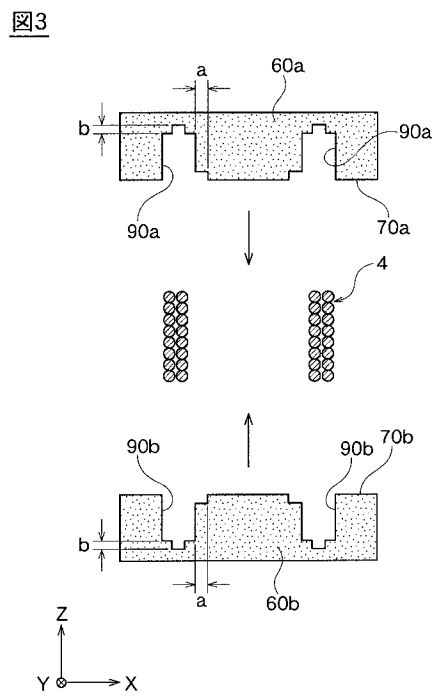
【図 1】



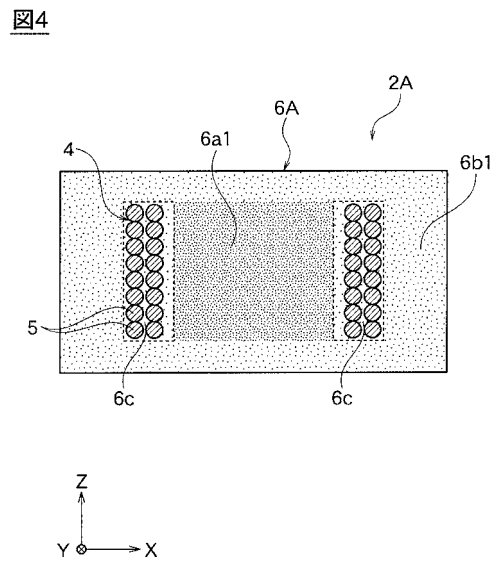
【図 2】



【図 3】

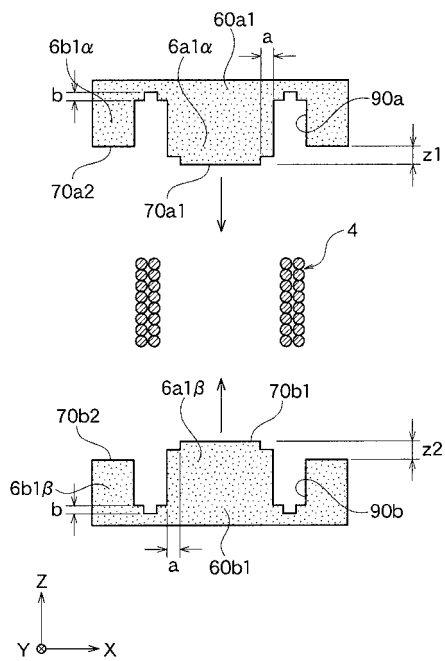


【図 4】



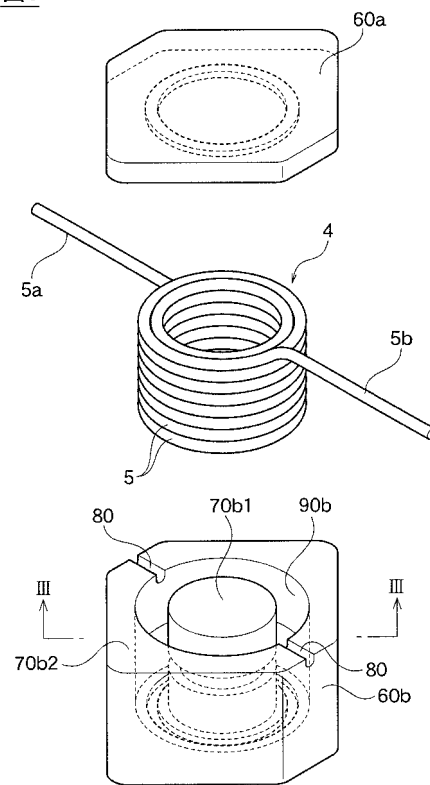
【図 5】

図5



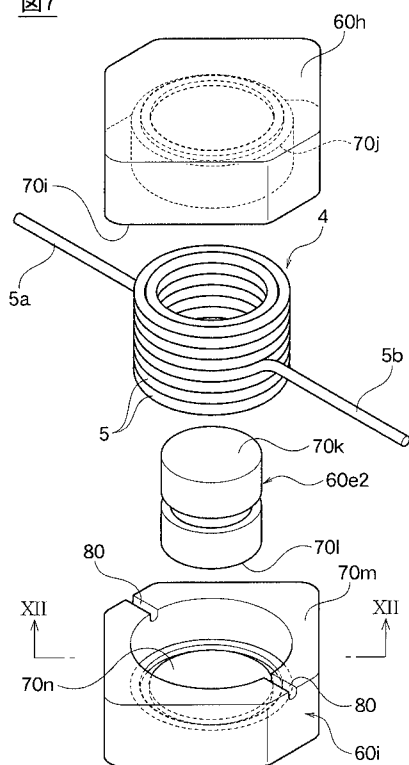
【図 6】

図6



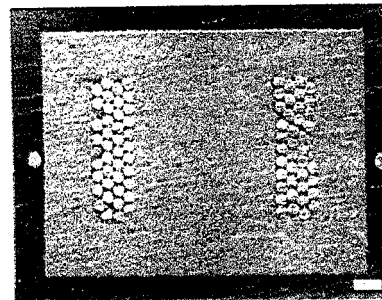
【図 7】

図7



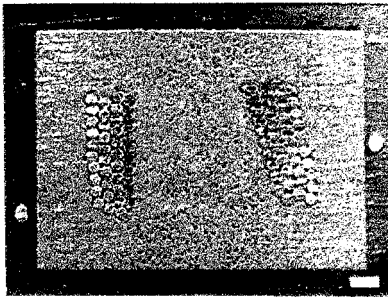
【図 8】

図8



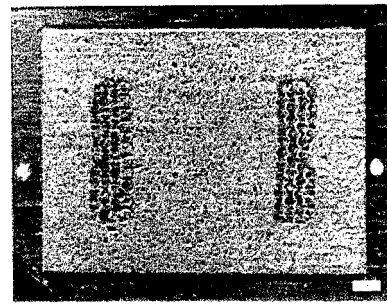
【図 9】

図9



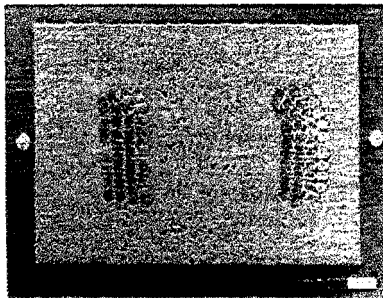
【図 10】

図10



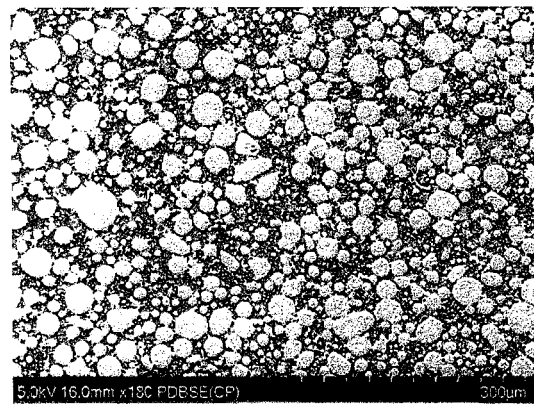
【図 11】

図11



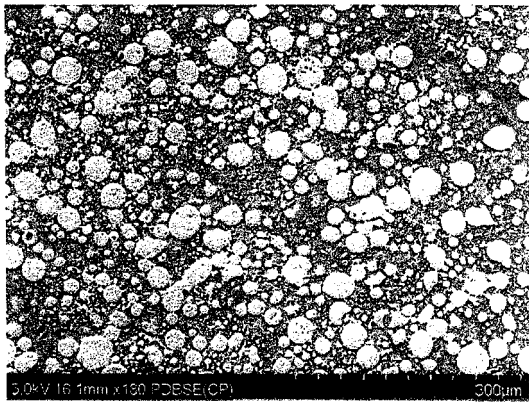
【図 12】

図12



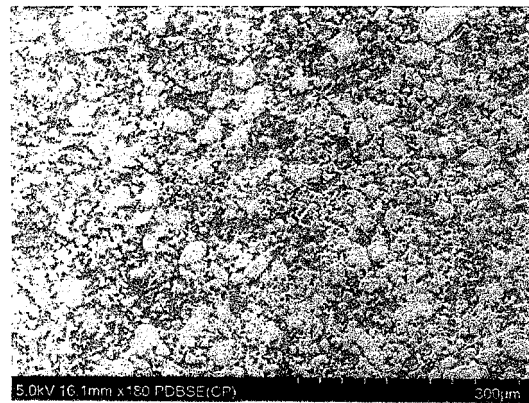
【図 1 3】

図13



【図 1 4】

図14



【図 1 5】

図15

