

(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2018-190820

(P2018-190820A)

(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 4 O L (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2017-91663 (P2017-91663)	(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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 インダクタ素子

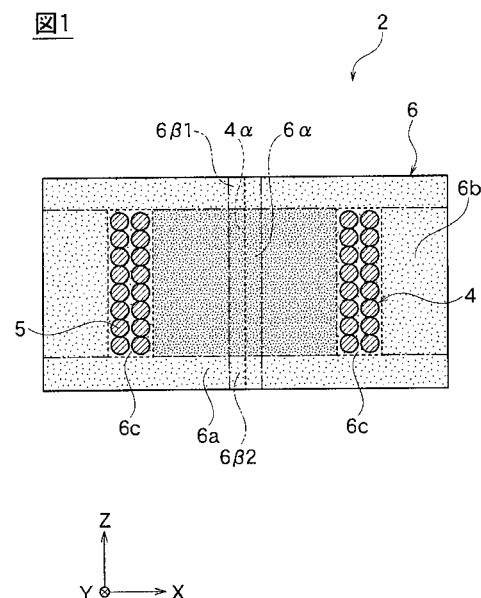
(57) 【要約】

【課題】 インダクタンスおよび直流重畳特性を向上させた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前記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。巻軸中心から垂直な外側方向に巻線部が存在せず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天板中央領域とする。巻軸中心を通過し巻軸中心と平行な任意の断面において、中芯中央領域全体に占める磁性粉体の面積割合を $S\alpha$ (%)、天板中央領域全体に占める磁性粉体の面積割合を $S\beta$ (%) とする場合に、 $S\alpha - S\beta \geq -2\%$ である。

【選択図】 図1

図1



【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、

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し、

巻軸中心から垂直な外側方向に前記巻線部が存在せず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天板中央領域とし、

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 $S\alpha$ （％）、前記天板中央領域全体に占める前記磁性粉体の面積割合を $S\beta$ （％）とする場合に、

$S\alpha - S\beta \geq -2\%$ であるインダクタ素子。

【請求項 2】

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

【請求項 3】

$S\alpha - S\beta \geq 0\%$ である請求項 1 または 2 に記載のインダクタ素子。

【請求項 4】

$S\alpha \geq 65\%$ である請求項 1 ～ 3 のいずれかに記載のインダクタ素子。

【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、コアの中芯部の密度が低くなりやすい。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】

10

20

30

40

50

本発明は、このような実状に鑑みてなされ、その目的は、インダクタンスおよび直流重畳特性を向上させた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、

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し、

巻軸中心から垂直な外側方向に前記巻線部が存在せず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天板中央領域とし、

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 $S\alpha$ （％）、前記天板中央領域全体に占める前記磁性粉体の面積割合を $S\beta$ （％）とする場合に、

$S\alpha - S\beta \geq -2\%$ 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、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。

【0010】

さらに、 $S\alpha - S\beta \geq -1\%$ であることが好ましい。

【0011】

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

【0012】

さらに、 $S\alpha \geq 65\%$ であることが好ましい。

【図面の簡単な説明】

【0013】

【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3】図3は図2に示すIII-III線に沿う断面図である。

【図4】図4は本発明の他の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5】図5は本発明の他の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6】図6は本発明の他の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は本願実施例1のインダクタ素子の断面写真である。

【図8】図8は本願比較例3のインダクタ素子の断面写真である。

【図9】図9は本願実施例4のインダクタ素子の断面写真である。

【図10】図10は本願比較例5のインダクタ素子の断面写真である。

【図11】図11は本願実施例1の中芯中央領域のSEM画像である。

【図12】図12は本願比較例3の中芯中央領域のSEM画像である。

【図13】図13は本願実施例4の中芯中央領域のSEM画像である。

【図14】図14は本願比較例5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】

【0014】

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。

【0015】

第 1 実施形態

図 1 は後述する巻線部 4 の巻軸中心 4 a を通過し、巻軸中心 4 a 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）6 a と、巻線部 4 の外周側に位置する外周部 6 b 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 6 c 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。

【0016】

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。

【0017】

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。

【0018】

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、楕円、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。

【0019】

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。

【0020】

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。

【0021】

図 1 に示すように、巻軸中心 4 a から垂直な外側方向に巻線部 4 が存在し、巻軸中心 4 a から当該垂直な外側方向に向けて $280 \mu\text{m}$ 以内である前記コア部の領域を中芯中央領域 6 a とし、巻軸中心 4 a から垂直な外側方向に巻線部 4 が存在せず、前記巻軸中心 4 a から前記垂直な外側方向に向けて $280 \mu\text{m}$ 以内である前記コア部の領域を天板中央領域 6 b 1, 6 b 2 とする。

【0022】

本実施形態に係るインダクタ素子は、中芯中央領域 6 a 全体に占める磁性粉体の面積割合を S_a （%）、天板中央領域 6 b 1, 6 b 2 全体に占める磁性粉体の面積割合を S_b （%）とする場合に、 $S_a - S_b \geq -2\%$ である。また、より好ましくは $S_a - S_b \geq -1\%$ であり、さらに好ましくは $S_a - S_b \geq 0\%$ であり、最も好ましくは $S_a - S_b \geq 0.8\%$ である。また、 $S_a - S_b$ には上限はないが、通常は 30% 以下である。

【0023】

なお、通常は中芯中央領域 6 α と天板中央領域 6 β との間における磁性粉体の面積割合の変化、すなわち磁性粉体の密度の変化は連続的である。すなわち、磁性粉体の密度の高い領域と磁性粉体の密度の低い領域との境界は明確ではない。

【0024】

本実施形態に係るインダクタ素子は、 $S_{\alpha} - S_{\beta}$ を所定の範囲内とすることにより、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。

【0025】

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。中芯中央領域 6 α における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。 10

【0026】

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。

【0027】

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 60 a, 60 b 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 5 a, 5 b 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 5 a, 5 b 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。 20

【0028】

各予備成形体 60 a, 60 b には、それぞれ接合予定面 70 a, 70 b 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 70 a, 70 b 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 90 a, 90 b が形成してある。収容凹部 90 a, 90 b 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。

【0029】

また、いずれか一方または双方の接合予定面 70 a, 70 b には、リード部 5 a, 5 b 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 には一対のリード部 5 a, 5 b を記載しているが、図 3 では一対のリード部 5 a, 5 b を省略している。 30

【0030】

図 3 に示す中芯部 60 a α の高さが外周部 60 b α の高さよりも z_1 だけ高い予備成形体 60 a を準備する。また、同様にして中芯部 60 a β の高さが外周部 60 b β の高さよりも z_2 だけ高い予備成形体 60 b を準備する。

【0031】

そして、予備成形体 60 a, 60 b を用いて本圧縮成形を行うことで、中芯部 60 a α, 60 a β における磁性粉体の量が外周部 60 b α, 60 b β における磁性粉体の量より多くなり、図 1 のインダクタ素子 2 の中芯部 6 a（図 1 の中芯中央領域 6 α）における磁性粉体の密度が高くなる。 40

【0032】

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。

【0033】

また、図 3 に示すように、内周部 60 a α, 60 a β では、Z 軸方向の長さが、外周部 60 b α, 60 b β よりも長いため、図 1 に示す中芯部 6 a（図 1 の中芯中央領域 6 α）では、外周部 6 b よりも圧縮力が強く作用して密度が高くなる。

【0034】

本実施形態に係るインダクタ素子 2 を製造する上では、まず、予備成形体 60 a, 60 b 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。

【0035】

磁性粉体の粒径に特に制限はないが、例えば平均粒径が $0.5 \sim 50 \mu\text{m}$ 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 SiO_2 膜である絶縁被膜を形成することができる。

10

【0036】

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。

【0037】

樹脂の含有量には特に制限はないが、磁性粉体 $100 \text{ wt} \%$ に対して $1.0 \sim 6.0 \text{ wt} \%$ 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 70 a, 70 b 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、 $S\alpha$ および $S\beta$ が小さくなる傾向にある。

【0038】

20

予備成形体 60 a, 60 b 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、 $2.5 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3 \text{ MPa}$ ($2.5 \sim 10 \text{ t/cm}^2$) とすることが好ましい。また、予備成形体 60 a, 60 b の密度には特に制限はない。たとえば、 $4.0 \sim 6.5 \text{ g/cm}^3$ であることが好ましい。

【0039】

予備圧縮成形時の圧力を $2.5 \times 10^2 \sim 1 \times 10^3 \text{ MPa}$ 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 60 a, 60 b の密度を上記の範囲内、特に 4.0 g/cm^3 以上とすることで、上記 $S\alpha$ および $S\beta$ を高くしやすくなる。また、 6.5 g/cm^3 以下とすることで予備圧縮成形時の圧力が高くなり過ぎず、錆や成形クラックの発生が抑えやすくなる。

30

【0040】

次に、得られた予備成形体 60 a, 60 b 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、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。

40

【0041】

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。

【0042】

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

50

巻線の形状の歪みが小さく、コア部 6、特に中芯中央領域 6 a 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。

【0043】

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、中芯部を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。

【0044】

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 4 に示すように、板形状の予備成形体 6 0 a 1 およびポット形状の予備成形体 6 0 b 1 を準備する方法がある。このときに、ポット形状の予備成形体 6 0 b 1 の中芯部の高さを外周部の高さよりも高くする方法がある。また、図 5 に示すように、板状の予備成形体 6 0 c および 6 0 g、リング状の予備成形体 6 0 d および 6 0 f、および、円柱状の予備成形体 6 0 e を準備する方法がある。このときに、円柱状の予備成形体 6 0 e の高さを、コイル 5 の高さよりも高くする方法がある。さらに、図 6 に示すように、3 個の予備成形体 6 0 e 2, 6 0 h, 6 0 i を準備する方法がある。このときに、円柱状の予備成形体 6 0 e 2 の高さを、コイル 5 の高さよりも高くする方法がある。また、予備成形体の形状は図 6 ~ 図 8 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 に示す形状となり、中芯中央領域 6 a の密度が高くなればよい。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。

【0045】

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】

【0046】

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。

【0047】

実施例 1 ~ 3

実施例 1 ~ 3 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。

【0048】

まず、金型のキャビティ内に充填する顆粒を準備した。磁性粉末として球状の Fe - Si 合金（平均粒径 25 μ m）を用意し、磁性粉末表面にゾルゲル法を用いた SiO₂ 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。

【0049】

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 2 個の予備成形体を作製した。本実施例では 2 個の予備成形体は同一形状とした。予備圧縮成形時の圧力は 6×10^2 MPa とした。このときに、実施例 1 ~ 3 では、それぞれ $z_1 (= z_2)$ の値を変化させた。

【0050】

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。

【0051】

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 1×10

2 MPaとした。

【0052】

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℃）よりも高い180℃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に示す実施例のインダクタ素子のサンプルを得た。得られたコア部の寸法は、縦7mm×横7mm×高さ5.4mmであった。

【0053】

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 および S_β を測定した。具体的には、各測定箇所について480 μ m×560 μ mのSEM画像を観察して S_α および S_β を算出した。巻軸中心4 α 上にあり巻軸中心4 α が通過するインダクタ素子の一方の面からの距離が0.24mm、0.74mm、1.64mm、2.14mm、2.64mm、3.14mm、3.64mm、4.54mmおよび4.84mmである点を測定領域の中心点として各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た。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。そして、インダクタ素子の一方の面からの距離が0.24mmの点、0.74mmの点、4.54mmの点または4.84mmの点を含む4個の各測定箇所における磁性粉体の面積割合の平均を S_β とした。インダクタ素子の一方の面からの距離が1.64mmの点、2.14mmの点、2.64mmの点、3.14mmの点または3.64mmの点を含む5個の各測定箇所における磁性粉体の面積割合の平均を S_α とした。

【0054】

さらに、各インダクタ素子のインダクタンス L_0 を測定した。

【0055】

インダクタンスの測定は、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47.0～56.4 μ Hである場合を良好とした。

【0056】

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（ μ H）に対して、80％に低下する時に流れる電流の値（アンペア）を I_{sat} とし、 I_{sat} の数値で評価した。 I_{sat} が6.0A以上の場合に直流重畳特性が良好であるとした。

【0057】

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7に示す。さらに、実施例1の中芯中央領域のSEM画像を図11に示す。

【0058】

比較例1～3

比較例1～3では、実施例1～3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1～3と同様にしてインダクタ素子を作製した。すなわち、比較例1～3は全て同条件で実施した結果であり、試験結果にばらつきがある。結果を表1に示す。さらに、比較例3の中芯中央領域のSEM画像を図12に示す。

【0059】

さらに、比較例3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8に示す。

【0060】

10

20

30

40

【表 1】

表 1

	工法	z1 [mm]	L ₀ [μH]	Isat [A]	金属粉面積率 [%]										Sα	Sβ	Sα-Sβ
					上面からの距離(測定領域の中心点) [mm]												
					0.24	0.74	1.64	2.14	2.64	3.14	3.64	4.54	4.84				
実施例1	予備圧縮成形／本圧縮成形	0.60	50.00	7.20	71.1	71.6	74.6	71.5	72.1	69.8	71.4	67.8	61.7	71.9	68.1	3.8	
実施例2	予備圧縮成形／本圧縮成形	0.40	49.15	6.82	70.8	69.8	69.7	68.7	69.7	70.5	66.8	66.6	61.9	69.1	67.3	1.8	
実施例3	予備圧縮成形／本圧縮成形	0.20	48.51	6.39	70.0	67.7	65.8	66.6	65.6	64.7	64.7	65.5	62.5	65.5	66.4	-0.9	
比較例1	予備圧縮成形なし	—	46.48	5.86	69.0	70.9	65.8	57.6	59.7	61.5	68.0	64.7	61.6	62.5	66.6	-4.0	
比較例2	予備圧縮成形なし	—	45.86	5.63	67.2	67.1	65.6	62.9	61.3	61.4	54.2	64.0	64.5	61.1	65.7	-4.6	
比較例3	予備圧縮成形なし	—	45.14	5.44	70.9	64.5	61.5	61.4	62.9	57.7	57.6	64.4	64.0	60.2	66.0	-5.7	

【0061】

表 1、図 1 1、図 1 2 より、本願実施例 1 は、中芯中央領域の密度が天板中央領域の密度より高い。これに対し、本願比較例 3 は、中芯中央領域の密度よりも天板中央領域の密度が高い。さらに、図 7 および図 8 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 3 のインダクタ素子と比較して歪みが小さい。

【0062】

さらに、表 1 より、S_α-S_β が -2.0 % 以上である本願実施例 1～3 は、S_α-S_β が -2.0 % 未満である本願比較例 1～3 と比較してインダクタンスおよび直流重畳特性が良好である。さらに S_α が 65 % 以上である本願実施例 1～3 は、S_α が 65 % 未満である本願比較例 1～3 と比較して直流重畳特性が優れている。

【0063】

実施例 4～6 および比較例 4～6

磁性粉末として不定形状の Fe-Si-Cr 合金（平均粒径 25 μm）を用意した点以外は実施例 1～3 と同条件で実施例 4～6 を、比較例 1～3 と同条件で比較例 4～6 を、それぞれ作成した。結果を表 2 に示す。

【0064】

【表 2】

表 2

	工法	z1 [mm]	L ₀ [μH]	Isat [A]	金属粉面積率 [%]										Sα	Sβ	Sα-Sβ
					上面からの距離(測定領域の中心点) [mm]												
					0.24	0.74	1.64	2.14	2.64	3.14	3.64	4.54	4.84				
実施例4	予備圧縮成形／本圧縮成形	0.60	54.82	4.00	70.0	70.0	72.0	70.6	67.3	70.0	70.7	69.3	66.7	70.1	69.0	1.1	
実施例5	予備圧縮成形／本圧縮成形	0.40	53.44	3.69	67.4	70.8	69.8	66.7	68.9	69.8	67.6	67.4	69.0	68.6	68.7	-0.1	
実施例6	予備圧縮成形／本圧縮成形	0.20	52.05	3.52	67.8	71.6	63.6	66.7	64.5	65.7	66.6	66.3	63.7	65.4	67.4	-1.9	
比較例4	予備圧縮成形なし	—	51.18	2.83	68.7	67.7	64.5	62.0	61.7	64.5	64.6	66.8	64.5	63.5	66.9	-3.5	
比較例5	予備圧縮成形なし	—	50.40	2.76	63.6	65.3	61.2	61.2	63.4	57.0	61.4	63.7	66.8	60.8	64.9	-4.0	
比較例6	予備圧縮成形なし	—	49.52	2.63	66.1	63.0	56.6	56.2	60.2	60.4	60.4	64.3	62.3	58.8	63.9	-5.2	

【0065】

磁性粉末の材質の変化により得られるインダクタ素子の特性が変化する。そして、要求されるインダクタンスおよび直流重畳特性が変化する。したがって、実施例 4～6 および比較例 4～6 では、実施例 1～3 および比較例 1～3 とは異なり、インダクタンス L₀ が 52.0～56.4 μH である場合を良好とした。また、Isat が 3.5 A 以上である場合を良好とした。

【0066】

また、実施例 4 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。比較例 5 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。さらに、実施例 4 の中芯中央領域の SEM 画像を図 1 2 に、比較例 5 の中芯中央領域の SEM 画像を図 1 3 に示す。

【0067】

実施例 4～6 および比較例 4～6 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。

【符号の説明】

【0068】

2, 2A… インダクタ素子

4… 巻線部

10

20

30

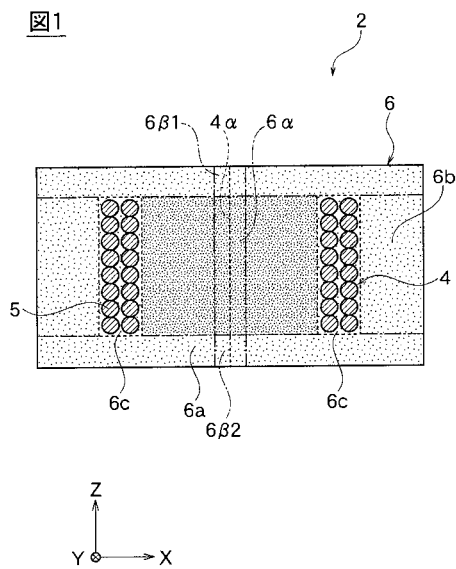
40

50

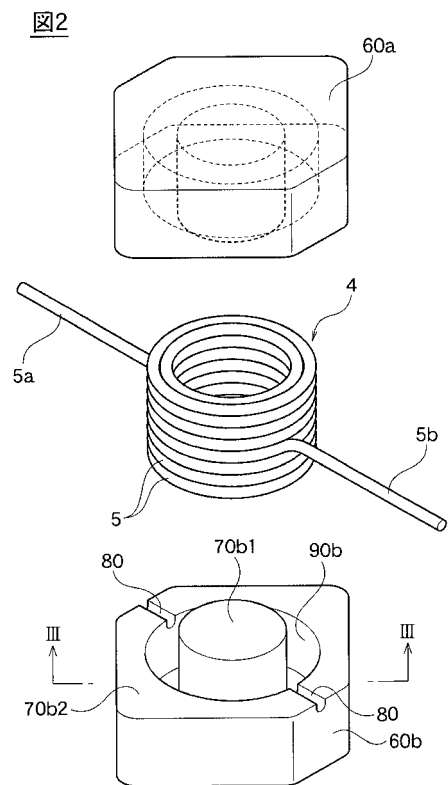
- 4 α … 巻軸中心
- 5 … 導体
- 6 … コア部
- 6 a … 内周部
- 6 b … 外周部
- 6 α … 中芯中央領域
- 6 β 1 … 天板中央領域
- 6 β 2 … 天板中央領域
- 6 0 a ~ 6 0 k … 予備成形体
- 7 0 a ~ 7 0 n … 接合予定面
- 8 0, 8 0 a, 8 0 b … 引出溝
- 9 0 a, 9 0 b … 収容凹部

10

【図 1】

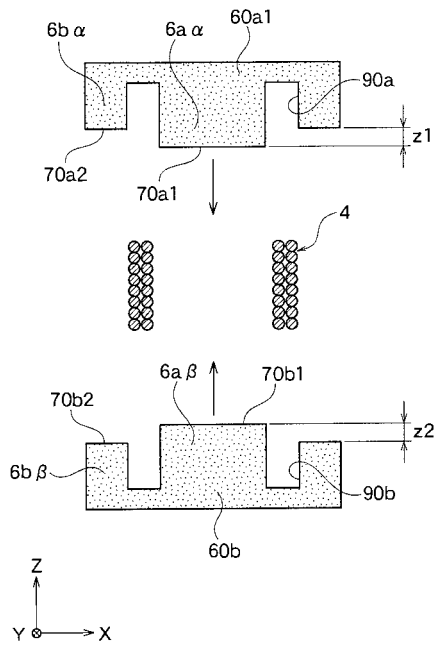


【図 2】



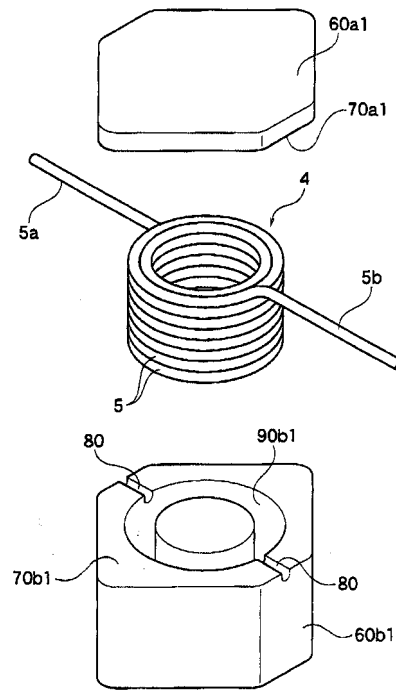
【図 3】

図3



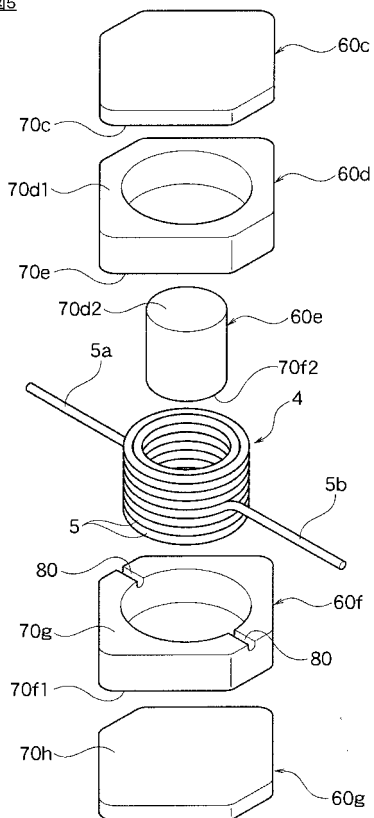
【図 4】

図4



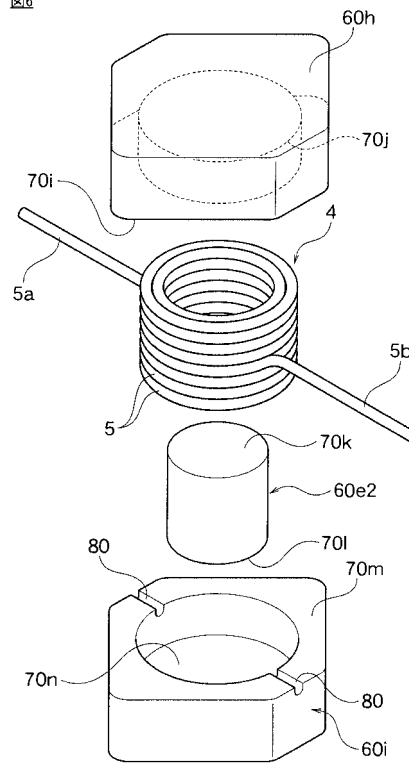
【図 5】

図5



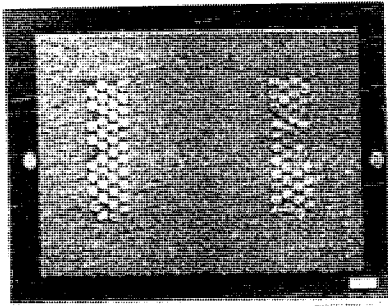
【図 6】

図6



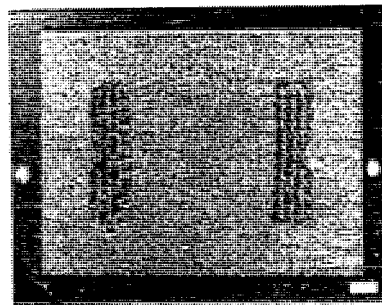
【図 7】

図7



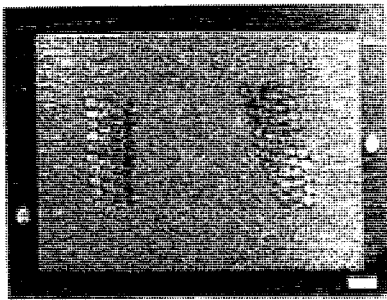
【図 9】

図9



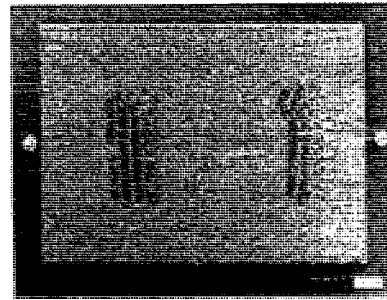
【図 8】

図8



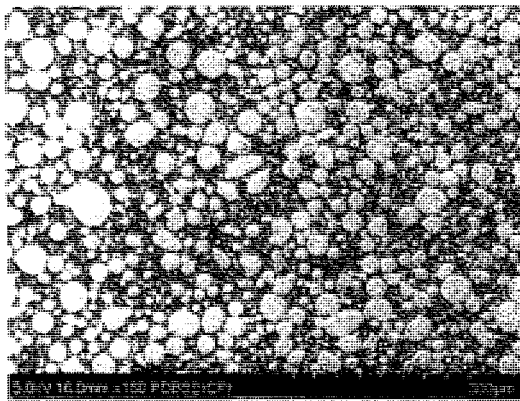
【図 10】

図10



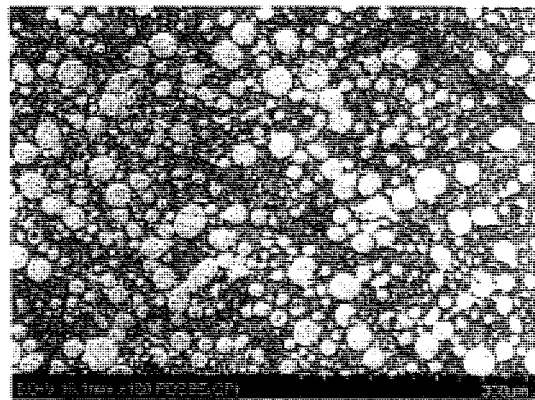
【図 11】

図11



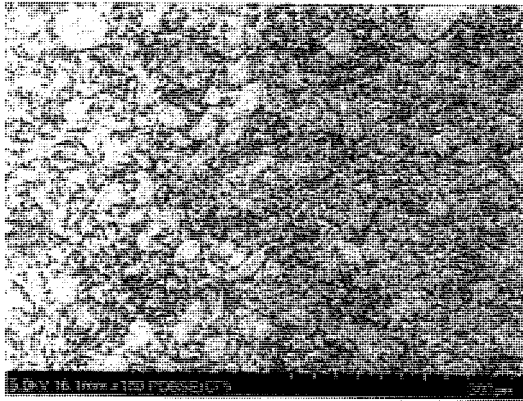
【図 12】

図12



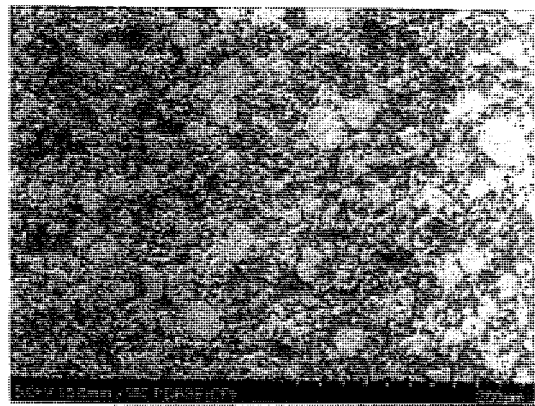
【図 1 3】

図13



【図 1 4】

図14



フロントページの続き

(72)発明者 後藤 将太

東京都港区芝浦三丁目9番1号 TDK株式会社内

Fターム(参考) 5E070 AA01 AB03 BA06 BB03