(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第4591112号
(P4591112)

(45)発行日　平成22年12月1日(2010.12.1)　(24)登録日　平成22年9月24日(2010.9.24)

(51)Int.Cl.			F I		
H02K	1/27	(2006.01)	H02K	1/27	501M
H01F	1/053	(2006.01)	H02K	1/27	501C
H01F	7/02	(2006.01)	H01F	1/04	H
H02P	27/06	(2006.01)	H01F	7/02	Z
			H02P	7/63	303V

請求項の数 9　(全 15 頁)

(21)出願番号　特願2005-49918(P2005-49918)
(22)出願日　平成17年2月25日(2005.2.25)
(65)公開番号　特開2006-238604(P2006-238604A)
(43)公開日　平成18年9月7日(2006.9.7)
審査請求日　平成19年2月21日(2007.2.21)

(73)特許権者　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号
(74)代理人　100100310
弁理士　井上　学
(72)発明者　小室　又洋
埼玉県比企郡鳩山町赤沼２５２０番地
株式会社　日立製作所　基礎研究所内
(72)発明者　佐通　祐一
茨城県日立市大みか町七丁目１番１号
株式会社　日立製作所　日立研究所内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】永久磁石式回転機

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

巻線が巻かれた固定子鉄心と、永久磁石を有し前記固定子鉄心に対して回転可能に支持された回転子とを備え、前記永久磁石は磁性粉及びフッ素化合物を含有するものとし、前記巻線に流される電流の基本波成分の含有率を１００％としたときの第５次高調波成分の含有率をＡ，第７次高調波成分の含有率をＢ，第１１次高調波成分の含有率をＣとした場合、Ａ＜Ｃ＜ＢかつＢを２０％以下とし、

前記磁性粉の表面には、前記フッ素化合物が層状に形成され、

前記フッ素化合物の層は膜厚が平均で１－１００００ｎｍである

ことを特徴とする永久磁石式回転機。

【請求項２】

請求項１において、前記磁性粉はＮｄＦｅＢ，ＳｍＣｏ又はＳｍＦｅＮであることを特徴とする永久磁石式回転機。

【請求項３】

請求項１において、前記永久磁石の比抵抗が０．３ｍΩｃｍ以上であることを特徴とする永久磁石式回転機。

【請求項４】

請求項１において、前記磁性粉は焼結体であることを特徴とする永久磁石式回転機。

【請求項５】

請求項１において、前記磁性粉は希土類磁石を少なくとも１種類以上含むことを特徴と

する永久磁石式回転機。
【請求項６】
請求項１において、前記フッ素化合物の層には金属系膜が積層されることを特徴とする永久磁石式回転機。
【請求項７】
請求項１において、前記フッ素化合物の層には酸化物からなる膜が積層されることを特徴とする永久磁石式回転機。
【請求項８】
請求項１において、前記フッ素化合物の層には有機物からなる膜が積層されることを特徴とする永久磁石式回転機。
【請求項９】
請求項１において、前記フッ素化合物の層は、フッ素を含むゲルを塗布し熱処理して形成したことを特徴とする永久磁石式回転機。
【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
本発明は永久磁石式回転機に関するものである。
【背景技術】
【０００２】
従来の回転機の例として、特開２００４－１５３９２４号公報（以下、特許文献１）がある。特許文献１には、回転子に永久磁石を備える回転機が記載されている。
【０００３】
【特許文献１】特開２００４－１５３９２４号公報
【発明の開示】
【発明が解決しようとする課題】
【０００４】
特許文献１に記載の回転機においては、さらなる効率の向上が求められる。本発明の目的は、効率が高い永久磁石式回転機を提供することにある。
【課題を解決するための手段】
【０００５】
本発明の一つの特徴は、永久磁石式回転電機を、巻線が巻き回された固定子鉄心と、永久磁石を有し前記固定子鉄心に対して回転可能に支持された回転子とを備え、永久磁石は磁性粉及びフッ素化合物を含有するものとした点にある。
【発明の効果】
【０００６】
本発明によれば、永久磁石式回転機の永久磁石におけるうず電流損を低減することができ、効率が高い永久磁石式回転機を提供できる。
【発明を実施するための最良の形態】
【０００７】
本発明の実施例によれば、固定子鉄心の複数のスロット中に電機子巻線を巻装した固定子と高抵抗のフッ素化合物を含む永久磁石、その外周に補強材を設けた回転子を有する永久磁石式同期電動機と、永久磁石式同期電動機を駆動するインバータとからなる高速永久磁石式回転機において、インバータから永久磁石式回転機に供給される高調波電流成分の含有率を基本波を１００％とした場合、５次の含有率をＡ，７次の含有率をＢ，１１次の含有率をＣとして、７次の含有率Ｂを２０％以下にするとともにＡ＜Ｃ＜Ｂの関係を満足するようにしている。
【０００８】
また、固定子鉄心の複数のスロット中に電機子巻線を巻装した固定子と、導電性で磁性体のシャフトの外周に高抵抗の永久磁石、その外側に補強材を設けた回転子を有する永久磁石式同期電動機において、該永久磁石式同期電動機を駆動するインバータから供給され

る高調波電流成分の含有率を基本波を１００％とした場合、５次の含有率をＡ，７次の含有率をＢ，１１次の含有率をＣ，１３次の含有率をＤ，１７次の含有率をＥ，１９次の含有率をＦとして$(A^2+B^2+C^2+D^2+E^2+F^2)^{0.5}$で算出した総合含有率を２０％以下となるようにしている。

【０００９】

さらに、前記高抵抗の永久磁石にフッ素を含む無機物からなる高抵抗層を採用し、高調波電流による磁石部の損失を低減している。

【００１０】

さらに、高抵抗の永久磁石にフッ素化合物が層状に形成されており、該フッ素化合物が永久磁石の母相よりも高抵抗であり、母相のキュリー温度以下で安定なため回転機が局所的に高温になっても問題ない。

【００１１】

永久磁石の磁束は、回転子のシャフト，ＣＦＲＰあるいは高強度材を介して固定子に導かれる。永久磁石式回転機を基本周波数の数百Ｈｚ以上のインバータで駆動したとき、インバータからの高調波磁束が発生する。この高調波の有力次数は基本周波数の５倍，７倍，１１倍，１３倍，１７倍，１９倍になり、各構成材で高調波損失を発生させる。この高調波損失はシャフトで数ｋＷになり、高速の永久磁石式回転機が成立しなくなる。この課題の解決のために、永久磁石に高抵抗磁石を採用する。該高抵抗磁石は、フッ素を含む化合物の層を含んでおり、BaF_2，CaF_2，MgF_2，SrF_2,LiF,LaF_3,NdF_3，PrF_3，SmF_3，EuF_3，GdF_3，TbF_3，DyF_3，CeF_3，HoF_3,ErF_3，TmF_3，YbF_3，LuF_3，LaF_2，NdF_2，PrF_2，SmF_2，EuF_2,GdF_2，TbF_2，DyF_2，CeF_2，HoF_2，ErF_2，TmF_2，YbF_2，LuF_2，YF_3，ScF_3，CrF_3，MnF_2，MnF_3，FeF_2，FeF_3，CoF_2，CoF_3,NiF_2，ZnF_2，AgF，PbF_4，AlF_3，GaF_3，SnF_2，SnF_4，InF_3，PbF_2,BiF_3、あるいはＭｘＦｙと記述されるフッ素を含んだ層でＭが原子番号１２から９０までの元素、ｘは１－５、ｙは０．１－１０ で表せる層、あるいは前記ＭｘＦｙに酸素，炭素，ホウ素，窒素などの軽元素が１０原子％以下の濃度で混入した層を磁石内部あるいは表面に形成された磁石である。上記フッ素化合物にはフッ素化合物の結晶構造を変えない範囲で酸素や炭素，窒素などの不純物あるいは欠陥が含まれても良い。前記不純物の化合物とフッ素化合物の混合体である酸化物とフッ素化合物の混合，炭化物とフッ素化合物の混合あるいは窒化物とフッ素化合物の混合物であっても良い。また、複数のフッ素化合物の層であっても良い。これらの層状フッ素化合物層は、１０ｍΩ㎝以上の比抵抗を有しているが、母相の２倍以上の抵抗であれば損失低減効果が認められる。また層状フッ素化合物の厚さは１～１０００００ｎｍである。層状フッ素化合物を塗布工程を経て形成した場合、層状フッ素化合物内のフッ素化合物粒の大きさは１００ｎｍ以下になっている。層状フッ素化合物内に上記フッ素化合物以外に、母相の２倍以上の抵抗を示す異相があっても損失低減効果が認められる。母相となる磁石にはＮｄＦｅＢ系,ＳｍＣｏ系,ＳｍＦｅＮ系などの希土類元素や強磁性遷移金属を含む合金系から構成されている。このような高抵抗磁石を採用すると共に、インバータと永久磁石式回転機間にリアクトルを挿入し、インバータから永久磁石式回転機に供給される高調波成分の含有率を基本波を１００とした時に５次の含有率をＡ，７次の含有率をＢ，１１次の含有率をＣとして、７次の含有率を２０％以下にすると共に、Ａ＜Ｃ＜Ｂの関係を満足するように調整し、損失を低減した永久磁石回転機を提供できる。また、永久磁石回転機の回転子のシャフト外周に電磁鋼板あるいは圧粉鉄のリングを設けると共に、インバータと永久磁石式回転機間にリアクトルを挿入し、インバータから永久磁石式回転機に供給される高調波電流成分の含有率をＡ，７次の含有率をＢ，１１次の含有率をＣ，１３次の含有率をＣ，１３次の含有率をＤ，１７次の含有率をＥ，１９次の含有率をＦとして、$(A^2+B^2+C^2+D^2+E^2+F^2)^{0.5}$で算出した総合含有率が２１％以下を満足するように調整することにより、シャフトの高抵抗磁石部の高調波損失が減少できる。

【００１２】

本発明の実施例では、永久磁石において、前記高抵抗の希土類永久磁石の内部あるいは表面に層状のフッ素化合物が形成されており、特に希土類元素を含む材料の表面にフッ素化合物を形成させることにより、高抵抗及び耐食性を確保させたものである。希土類元素を含むフッ素化合物あるいは原子番号１２から９０の中の１種以上の元素とフッ素を含む材料を形成すれば、フッ素化合物の外側は、特に限定せず、ＮｉやＣｒ，Ｃｕなどの金属あるいは合金膜，SiO_2 やAl_2O_3等の酸化膜，ＴｉＮなどの窒化膜，エポキシなどの有機材料であっても良い。本実施例は希土類元素を含むＲ－Ｆｅ－Ｂ（Ｒは希土類元素）系あるいはＲ－Ｃｏ系磁石のエネルギー積低減を抑えて高抵抗化し、その磁石を回転子に使用することで、損失を低減できる磁石モータである。このような磁石モータには、ハイブリッド自動車の駆動用，スタータ用，電動パワステ用が含まれ、遠心分離機，掃除機，電動機，発電機，スピンドルなどの高速モータも含まれる。

【００１３】

以下、本発明の実施例を説明する。図１に本発明の一実施例に係る永久磁石式回転機の径方向断面図、図２に本発明の一実施例に係る永久磁石式回転機の軸方向断面図を示す。図において、固定子は固定子鉄心２に設けられた複数のスロット３中に巻装された三相Ｕ，Ｖ，Ｗの電機子巻線４から構成される。回転子５は磁性体あるいは非磁性体シャフト６の外周に中間スリーブ１０を、中間スリーブ１０の外周に電磁鋼板あるいはアモルファスリング７を、電磁鋼板あるいはアモルファスリング７の外周に抵抗０．３ｍΩｃｍ 以上の永久磁石８を永久磁石８の外側にカーボン繊維あるいはアモルファスからなる補強材９から構成される。回転子５は中間スリーブ１０の外周側に電磁鋼板あるいはアモルファスリング７，高抵抗永久磁石８，補強材９の順に図２のように配置され、中間スリーブ１０の端部に封止材１１で固定した後、高抵抗永久磁石８の着磁を行い、シャフト６に実装する。高抵抗を示す永久磁石の着磁に必要な磁界は、母相がＮｄＦｅＢ系の場合２０ｋＯｅである。固定子と回転子５からなる永久磁石式回転機は、永久磁石８の磁極位置に従って電機子巻線４にインバータ１２からリアクトル１３を介し電流を供給することによって回転駆動する。永久磁石式回転機は、空調圧縮機などの羽根車を駆動するものを含み、回転数が１００００rpm 以上の高速機を含んでいる。インバータの駆動周波数の関係から、電動機は高速機で２極となる。そのため駆動周波数は１６７Ｈｚ以上となる。この１６７Ｈｚ以上のインバータからの電流はＰＷＭ(パルス幅変調)で印加電圧調整されるため、高調波が重畳し、周波数分析すると基本周波数の５倍，７倍，１１倍，１３倍，１７倍，１９倍が重畳される。図３に本発明の一実施例に係るインバータ運転時の電流波形を示す。ＰＷＭで印加電圧を調整するため、電流波形には、図３に示すように基本波以外の高調波が重畳されて歪んだ電流波形になる。同様な波形には、５次，７次，１１次，１３次，１７次，１９次が重畳される。奇数次の電流成分は回転周波数と非同期であるため、高調波の磁束が回転子側に入射する。永久磁石８が高抵抗でない場合、高調波磁束を打ち消すようにうず電流が流れ、うず電流損が発生する。うず電流は磁石の温度を上昇させ、温度上昇により減磁曲線が変化する磁石では、減磁し有効磁束が減少する。そのため回転機の出力が低下する。永久磁石８の抵抗を高くすることにより、上記うず電流を低減させ減磁を抑制することが可能である。ボンド磁石はバインダーに樹脂を使用するため、高抵抗となるが、バインダーがあるためエネルギー積が低下すること、１５０℃以上の高温域や湿気やオイルミストなどを含む雰囲気では信頼性の確保が困難である。

【００１４】

希土類磁石は希土類元素が酸化しやすいため、有機材料のバインダーあるいは磁粉への有機材料の表面処理では、酸化防止が完全でないため、塩水噴霧試験などで磁石の劣化が起こり易い。有機表面処理に変わって、前記フッ素を含む層を磁粉表面に形成することにより酸化が防止される。フッ素を含む層の厚さは１－１００００ｎｍである。このフッ素を含む層を形成した磁粉を有機バインダーを用いて成形することにより酸化しにくい高抵抗磁石が得られる。その抵抗値は磁粉体積率が５０～９７％で１５ｍΩｃｍ以上である。さらに有機バインダーを用いない磁石は、フッ素を含む層を形成した磁粉を４００℃以上の温度で成形するか、成形した磁石の表面にフッ素を含む層で被覆しその磁石を積層するこ

とで高抵抗化が可能である。フッ素を含む層の形成には、フッ素を含むゲル状液の塗布，フッ素を含む化合物の１－１００ｎｍの微粒子の塗布，溶射やエアロゾル法で磁粉や成形磁石への形成，蒸着やスパッタリング，ＣＶＤ，ＰＶＤなどによる磁粉や成形磁石への形成手法が使用できる。このようなフッ素を含む層は、磁粉や成形体の表面に形成しても、使用温度域が磁石のキュリー温度以下であれば磁気特性を大きく劣化させないので高温で使用する磁石ほど有効である。エアロゾル法を用いて磁石となる粉末とフッ素を含む粉末を回転子のアモルファスあるいは電磁鋼板の表面に付着させ、直接厚膜磁石をアモルファスや電磁鋼板上に形成し、バルクの磁石を作製可能である。

【００１５】

表１に本発明に係る電流の高調波含有率とシャフトの伸び率の関係を示す。

【００１６】

【表１】

表　1

ケース		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
重畳高次数	A:5次	1.6	1.4	2.5	8.6	7.5	9.5	5.5	3.9	8.7	4.1
	B:7次	7.9	6.5	8	16.5	15.8	8.2	13.5	20.5	17.3	16.5
	C:11次	4.5	3.7	5.5	6.7	8.6	4.3	4.8	5.9	5.9	6.9
	D:13次	0.4	0.5	1.2	3.4	5.7	1.5	3.1	1.8	2.2	3.4
	E:17次	2.9	3.5	2.8	5.5	8.5	5.4	1.6	2.8	4.1	5.5
	F:19次	2.3	2.5	3.5	6.8	7.5	2.1	1.1	1.8	1.6	6.8
シャフト伸び率(%)		34	71	94	115	135	102	103	121	109	98
総合含有率(%)		9.95	8.75	11.05	21.89	23.26	14.55	15.78	22.01	20.83	20.61
A<B		○	○	○	○	×	×	○	○	○	○
A<C<B		○	○	×	○	×	×	○	×	×	○
B<20%		○	○	○	×	○	○	×	○	○	○

【００１７】

表１は出力９０ｋＷの永久磁石式回転機を用いたケース１～１０に対する高調波電流の含有率を、基本波を１００％として、Ａ：５次，Ｂ：７次，Ｃ：１１次,Ｄ：１３次,Ｅ：１７次，Ｆ：１９次の高調波含有率を示し、併せて許容できるシャフトの伸び率を100％

としてそれぞれのケースでのシャフトの伸び率を、$(A^2+B^2+C^2+D^2+E^2+F^2)^{0.5}$で算出した総合含有率、Ａ＜ＢとＡ＜Ｃ＜ＢとＢ＜２０％に対する満足判定を○Ｘで示している。高調波含有率の調整は、ＰＷＭの搬送周波数、リアクトルで調整する。表１から、シャフトの伸び率が許容値１００％以下となるのは、ケース１，２，３，４，１０となる。これらのケースは、総合含有率で２０．６１％ 以下、Ａ＜Ｃ＜ＢとＢ＜２０％がケース１，２，３，１０で当てはまる。高速の永久磁石回転機が実現できる条件は、Ａ＜Ｃ＜Ｂで、かつＢ＜２０％と総合含有率が２０％以下の場合である。総合含有率２０％以下を実現するためにはリアクトルの抵抗を調整すればよい。

【００１８】

図４において、固定子は固定子鉄心２に設けられた複数のスロット３中に巻装された三相Ｕ，Ｖ，Ｗの電機子巻線４から構成される。回転子５は磁性体あるいは非磁性体シャフト６の外周に中間スリーブ１０を、中間スリーブ１０の外周に電磁鋼板あるいはアモルファスリング７を、電磁鋼板リング７の外周に抵抗０．１－０．２ｍΩcmの低抵抗磁石１４、低抵抗磁石１４の外側に抵抗０．３ｍΩcm 以上の永久磁石８を永久磁石８の外側にカーボン繊維あるいはアモルファスからなる補強材９から構成される。高抵抗を示す永久磁石の着磁に必要な磁界は、母相がＮｄＦｅＢ系の場合２０ｋＯｅである。高抵抗を示す永久磁石を低抵抗磁石の外周側に配置するのは、外周側の方が高調波磁界の影響を受け易いため渦電流損対策のために外周側のみ高抵抗磁石としている。アウターロータの構造の場合は高調波磁界の影響を受けるのは内周側であるので、内周側の磁石のみ高抵抗にすることが可能である。また他の構造も磁気回路においてもより高調波の影響を受け易い場所のみ高抵抗磁石にすることで、渦電流損を低減できる。固定子１と回転子５からなる永久磁石式回転機は、永久磁石８の磁極位置に従って電機子巻線４にインバータ１２からリアクトル１３を介し電流を供給することによって回転駆動する。永久磁石式回転機は、空調圧縮機などの羽根車を駆動するものを含み、回転数が１００００ｒｐｍ以上の高速機を含んでいる。インバータの駆動周波数の関係から、電動機は高速機で２極となる。そのため駆動周波数は１６７Ｈｚ以上となる。この１６７Ｈｚ以上のインバータからの電流はＰＷＭ（パルス幅変調）で印加電圧調整されるため、高調波が重畳し、周波数分析すると基本周波数の５倍，７倍，１１倍，１３倍，１７倍，１９倍が重畳される。図４の場合でも、高速の永久磁石回転機が実現できる条件は、Ａ＜Ｃ＜Ｂで、かつＢ＜２０％と総合含有率が２０％以下の場合である。

【００１９】

図５において、固定子は固定子鉄心２に設けられた複数のスロット３中に巻装された三相Ｕ，Ｖ，Ｗの電機子巻線４から構成される。回転子５は磁性体あるいは非磁性体シャフト６の外周に中間スリーブ１０を、中間スリーブ１０の外周に電磁鋼板あるいはＦｅ系アモルファスリング７を、リング７の外周に抵抗０．３ｍΩcm 以上の永久磁石８を配置する。高抵抗を示す永久磁石の着磁に必要な磁界は、母相がＳｍＣｏ系の場合２０ｋＯｅである。高抵抗を示す永久磁石を低抵抗磁石の外周側に配置することにより、高調波磁界の影響を受け易い磁石部において渦電流損対策のために高抵抗磁石としている。低速回転の場合は図５に示すように、高抵抗磁石の外側は特に補強する必要がない。固定子と回転子５からなる永久磁石式回転機は、永久磁石８の磁極位置に従って電機子巻線４にインバータ１２からリアクトル１３を介し電流を供給することによって回転駆動する。永久磁石式回転機は、回転数が１００００rpm 未満の回転機を含んでいる。このような電動機では３極以上の多極となる。そのため駆動周波数は極数に依存するが高調波も重畳する。重畳した高調波は、周波数分析すると基本周波数の５倍，７倍，１１倍，１３倍，１７倍，１９倍が重畳される。図５の場合でも、永久磁石回転機が実現できる最適条件は、Ａ＜Ｃ＜Ｂで、かつＢ＜２０％と総合含有率が２０％以下の場合である。

【００２０】

図６において、固定子は固定子鉄心２に設けられた複数のスロット３中に巻装された三相Ｕ，Ｖ，Ｗの電機子巻線４から構成される。回転子５は磁性体あるいは非磁性体シャフト６の外周に中間スリーブ１０を、中間スリーブ１０の外周に電磁鋼板あるいはＦｅ系ア

モルファスリング７を、アモルファスリング７の外周に抵抗０．３ｍΩcm 以上の永久磁石８を図６に示すように積層鋼板、圧粉鉄あるいは積層アモルファスなどの軟磁性材からなる補強材９の間に配置する。永久磁石８の外側に軟磁性材がない方が表面磁束密度が高くなり高トルクが得られる。永久磁石８は、フッ素を含む高抵抗層を含む磁性粉と樹脂から構成されたボンド磁石を適用できる。ボンド磁石の場合、磁性粉は等方性，異方性，等方性と異方性の混合いずれの場合でも良い。また成形手法も圧縮，押し出し，射出のいずれの方法でも良い。異方性の場合、ラジアル異方性や極異方性などの異方化が、ＨＤＤＲ粉末や高温変形磁粉などのＮｄＦｅＢ系磁粉，ＳｍＣｏ異方性磁粉，ＳｍＦｅＮ異方性磁粉を使用することで成形中の磁場印加により可能である。フッ素を含む高抵抗層は１～１００００ｎｍであり，高抵抗層の抵抗は１０ｍΩcm以上である。この高抵抗層は２００℃で安定であり、Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉ，Ｍｎなどを含む粉末の磁気特性を劣化させない。ＮｄＦｅＢ系磁石やＳｍＣｏ系磁石の場合もフッ素を含む高抵抗層は、高温まで安定であるため、２００℃から４００℃での使用にも耐える。成形磁石を使用する場合、ＮｄＦｅＢ系焼結磁石あるいはＳｍＣｏ系焼結磁石ブロックを機械加工，研磨後、フッ素を含む高抵抗層をゾル液を用いて塗布する。塗布前あるいは塗布後にＮｉなどのめっきをしてもよい。塗布形成した高抵抗層は、欠陥，ピンホールを少なくするために熱処理，多層化することや、ゾル液の作製条件，ゾル液中の微細粒子の構造や径を最適化する。ブロック間の高抵抗層の厚さは１～１０００ｎｍである。補強材９の高抵抗化にもフッ素を含む高抵抗層が使用できる。Ｆｅ，Ｃｏ，Ｎｉあるいはこれらの合金、種々の第３，４元素を添加した磁性体の板あるいは粉末，アモルファス薄帯，準安定相の粉末や薄帯の表面をフッ素を含む高抵抗層で被覆する。上記と同様、ゾル状液体を塗布し、加熱乾燥して粉末や薄帯の表面にフッ素を含む層を形成する。エアロゾル法を用いてフッ素を含む粉末を磁性粉あるいは磁性薄帯の表面に噴射堆積させ、フッ素を含む高抵抗層を形成する。高抵抗層は耐熱性があるため、高抵抗層を形成後、１０００℃以下の温度で加熱成形し、高密度かつ高抵抗の軟磁性材が得られる。したがって補強材９と永久磁石８の組み合わせとして、軟磁性材・永久磁石のように記述すると、フッ素を含む高抵抗層を有する軟磁性材・フッ素を含む高抵抗層を有する永久磁石、フッ素を含まない高抵抗層を有する軟磁性材・フッ素を含む高抵抗層を有する永久磁石、フッ素を含む高抵抗層を有する軟磁性材・フッ素を含まない高抵抗層を有する永久磁石がある。固定子と回転子５からなる永久磁石式回転機は、永久磁石８の磁極位置に従って電機子巻線４にインバータ１２からリアクトル１３を介し電流を供給することによって回転駆動する。リアクトルにもフッ素を含む高抵抗層を有する磁性材を適用し、損失を低減することが可能である。永久磁石式回転機は、回転数が１００００rpm 未満の回転機を含んでいる。このような電動機では３極以上の多極となる。そのため駆動周波数は極数に依存するが高調波も重畳する。重畳した高調波は、周波数分析すると基本周波数の５倍，７倍，１１倍，１３倍，１７倍，１９倍が重畳される。図６の場合でも、永久磁石回転機が実現できる最適条件は、Ａ＜Ｃ＜Ｂで、かつＢ＜２０％と総合含有率が２０％以下の場合である。この最適条件は、リアクトルによる制御が従来よりもし易い特徴があり、安価なリアクトルを使用することが可能となる。

【００２１】

以上のように高抵抗磁石をモータに適用した永久磁石回転機において、インバータから供給される高調波電流成分をリアクトルを使用して制御することで、永久磁石式同期電動機を駆動するインバータから供給される高調波電流成分の含有率を基本波を１００％とした場合、５次の含有率をＡ，７次の含有率をＢ，１１次の含有率をＣとして、７次の含有率Ｂを２０％以下にするとともにＡ＜Ｃ＜Ｂの関係を満足するようにする。このことにより、高調波損失が大幅に減少する。

【００２２】

上記実施例によれば、永久磁石にフッ化物を含有させることにより、永久磁石内部で発生するうず電流損を低減させ、回転機の効率を向上させることができる。

【００２３】

次に上記永久磁石式回転機に用いた永久磁石の作製方法について具体的に説明する。最

初の例は、磁性粉末とて$Nd_2Fe_{14}B$ を主相とする粉末径１－１００μｍの粉末を用い、溶媒を用いてゲル化したNdF_3 を使用して磁性粉末表面の一部または全面に結晶質または非晶質のNdF_3 主成分とする膜を形成する。磁性粉末に塗布する際には、磁性粉末に磁気的あるいは構造的ダメージを与えにくい溶媒を選択して使用する。塗布して形成したNdF_3の膜厚は、平均で１－１００００ｎｍである。NdF_3にNdF_2 が混合していても、磁性粉末の磁気特性には影響しない。これらのフッ化物層と磁性粉末の界面付近には、希土類元素を含む酸化物及び微量の不純物である炭素あるいは酸素含有化合物があってもよい。$Nd_2Fe_{14}B$を主相とする粉末にNdF_2を形成した場合の断面ＴＥＭ観察結果を図７及び図８に示す。図３は、$Nd_2Fe_{14}B$とNdF_2の界面付近のＴＥＭ像である。NdF_2形成により$Nd_2Fe_{14}B$側に大きなダメージは認められない。図７，図８より$Nd_2Fe_{14}B$に形成したNdF_2の粒径は１０－２０ｎｍであることがわかる。この粒径及びフッ化物膜の密度は、ゲルの作製条件や塗布及び熱処理条件などにより制御することができ、４００℃以上の熱処理により粒成長し欠陥密度が減少する。NdF_2 フッ化物として同様なゲル状物が使用できるのは、BaF_2，CaF_2，MgF_2，SrF_2，ＬｉＦ，LaF_3，NdF_3，PrF_3，SmF_3，EuF_3，GdF_3，TbF_3，DyF_3,CeF_3，HoF_3，ErF_3，TmF_3，YbF_3，LuF_3，LaF_2，NdF_2，PrF_2,SmF_2，EuF_2，GdF_2，TbF_2，DyF_2，CeF_2，HoF_2，ErF_2，TmF_2,YbF_2，LuF_2，YF_3，ScF_3，CrF_3，MnF_2，MnF_3，FeF_2，FeF_3，CoF_2，CoF_3，NiF_2，ZnF_2，ＡｇＦ，PbF_4，AlF_3，GaF_3，SnF_2，SnF_4，InF_3，PbF_2，BiF_3 、あるいはこれらのフッ素化合物を２種類以上混合した複合フッ素化合物、フッ素化合物を２種類以上積層した積層フッ素化合物あるいはＭｘＦｙで表示されるフッ素化合物でＭが１種あるいは複数の金属元素、Ｘが１から５、Ｙが１から１０の組成であるフッ化物である。Ｆの一部に酸素，炭素，窒素，ホウ素などの軽元素が混合しても良いし、ＭｘＦｙＯｚでＭが１種あるいは複数の金属元素、Ｘが１から５、Ｙが１から１０、Ｏは酸素、Ｚが１から１０の組成であるフッ化物である。または上記フッ素を含む化合物または合金と同等の組成をもった非晶質のフッ素化合物含有成分を少なくとも１種類以上$Nd_2Fe_{14}B$を主相とする粉末表面に形成することにより、保磁力の温度係数低減，保磁力増大，残留磁束密度の温度係数低減あるいはＨｋの増加，減磁曲線の角型性向上，耐食性向上，酸化抑制，引張強度の増加，脆性破壊の抑制，高温強度向上のいずれかの効果が得られる。これらのフッ化物は２０℃で強磁性あるいは非磁性のどちらでも良い。ゲルを使用して磁性粉末に塗布することにより、ゲルを使用せずフッ化物粉末と混合させる場合よりも磁性粉末表面のフッ化物の被覆率を高くすることができる。したがって上記効果は、フッ化物粉末と混合させた場合よりもゲルを用いた被覆の方が顕著に表れる。フッ化物には酸素，母相の構成元素が含まれても上記効果が維持される。上記フッ化物層を形成させた磁性粉末をエポキシ樹脂，ポリイミド樹脂，ポリアミド樹脂，ポリアミドイミド樹脂，ケルイミド樹脂，マレイミド樹脂，ポリフェニルエーテル，ポリフェニレンスルヒド単体またはエポキシ樹脂，ポリアミド樹脂，ポリアミドイミド樹脂，ケルイミド樹脂，マレイミド樹脂などの有機樹脂と混合させたコンパウンドを作製し、磁場中あるいは無磁場中成形することにより、ボンド磁石に成形することが可能である。上記ゲルを塗布した$Nd_2Fe_{14}B$ 粉を用いたボンド磁石は、磁粉での効果と同様に、保磁力の温度係数低減，保磁力増大，残留磁束密度の温度係数低減あるいはＨｋの増加，減磁曲線の角型性向上，耐食性向上，酸化抑制のいずれかの効果が確認できる。これらの効果は、フッ化物層の形成により、磁区構造が安定すること、フッ化物付近の異方性が増加すること、フッ化物が磁粉の酸化を防止することに起因していると考えられる。

【００２４】

他の例として、磁性粉末に$Nd_2Fe_{14}B$，$Sm_2Fe_{17}N_3$，Sm_2Co_{17}を主相とする磁粉、あるいは希土類とＦｅ，Ｃｏ，Ｎｉとの合金粉において、粉末径１－１００μｍの粉末を用い、REF_3(ＲＥは希土類元素) を含むゲル状物を使用して磁性粉末表面の一部または全面に結晶質または非晶質のREF_3主成分とする膜を塗布して形成する。REF_3の膜厚は、平均で１－１００００ｎｍである。REF_3にREF_2が混合していても、磁性

粉末の磁気特性には影響しない。塗布後ゲル作製に用いた溶媒を除去する。これらのフッ化物層と磁性粉末の界面付近には、希土類元素を含む酸化物及び微量の不純物である炭素あるいは酸素含有化合物，希土類リッチ相があってもよい。フッ化物層の組成はREF_X（Ｘ＝１－３）の範囲でゲルの組成や塗布条件を制御することにより変えることが可能である。これらの結晶質または同等の組成をもった非晶質のフッ素化合物含有成分を少なくとも１種類以上上記磁性粉末の表面に形成することにより、保磁力の温度係数低減，保磁力増大，残留磁束密度の温度係数低減あるいはＨｋの増加，減磁曲線の角型性向上，耐食性向上，酸化抑制のいずれかの効果が得られる。上記フッ化物層を形成させた磁性粉末をエポキシ樹脂，ポリイミド樹脂，ポリアミド樹脂，ポリアミドイミド樹脂，ケルイミド樹脂，マレイミド樹脂，ポリフェニルエーテル，ポリフェニレンスルヒド単体またはエポキシ樹脂，ポリアミド樹脂，ポリアミドイミド樹脂，ケルイミド樹脂，マレイミド樹脂などの有機樹脂と混合させたコンパウンドを作製し、圧縮あるいは射出成形することにより、ボンド磁石に成形することが可能である。あるいは上記フッ化物層を形成させた磁性粉末を型を用いた圧縮成形，加熱成形，押出成形することにより、磁性粉体積率８０％－９９％の成形磁石を作製できる。この成形磁石には、粒界部に層状にフッ化物が形成される。上記ゲルを塗布した$Nd_2Fe_{14}B$，$Sm_2Fe_{17}N_3$あるいはSm_2Co_{17}粉を用いたボンド磁石は、磁粉での効果と同様に、保磁力の温度係数低減，保磁力増大，残留磁束密度の温度係数低減あるいはＨｋの増加，減磁曲線の角型性向上，耐食性向上，酸化抑制のいずれかの効果が確認できる。$Nd_2Fe_{14}B$，$Sm_2Fe_{17}N_3$あるいはSm_2Co_{17}粉は、応用上それぞれ種々の元素を添加しているが、いずれの添加元素を使用している場合でも、フッ化物は形成可能であり、上記効果が確認できる。また$Nd_2Fe_{14}B$，$Sm_2Fe_{17}N_3$あるいはSm_2Co_{17} 磁粉は、希土類元素を含む金属系元素を添加するなどして組織や結晶構造，粒界，粒径などを制御している。このため主相以外にも添加元素や磁石作製プロセスにより主相以外の相が形成される。ＮｄＦｅＢ系の場合、ホウ化物や希土類リッチ相あるいは鉄リッチ相などがあるが、このような相とこれらの酸化物が形成された粉末の表面にも上記ゲル状物の塗布は可能であり、層状のフッ化物が形成できる。

【００２５】

他の例として、希土類元素を少なくとも１種類以上含む磁性体の表面をBaF_2，CaF_2，MgF_2，SrF_2，LiF，LaF_3，NdF_3，PrF_3，SmF_3，EuF_3，GdF_3，TbF_3，DyF_3，CeF_3，HoF_3，ErF_3，TmF_3，YbF_3，LuF_3，LaF_2，NdF_2，PrF_2，SmF_2，EuF_2，GdF_2，TbF_2，DyF_2，CeF_2，HoF_2，ErF_2，TmF_2，YbF_2，LuF_2，YF_3，ScF_3，CrF_3，MnF_2，MnF_3，FeF_2，FeF_3，CoF_2，CoF_3，NiF_2，ZnF_2，AgF，PbF_4，AlF_3，GaF_3，SnF_2，SnF_4，InF_3，PbF_2，BiF_3の少なくとも１種を形成することで、耐食性向上あるいは高抵抗化が実現できる。$Nd_2Fe_{14}B$を主相とする焼結体の表面をフッ素を含むゲルの塗布後１００℃以上の温度で熱処理することにより、上記フッ素を含む化合物が形成される。フッ素を含む層の膜厚は１－１００００ｎｍである。１ｎｍ以上の膜厚で比抵抗$1\times10^4\Omega$cm以上の値をもったフッ素を含む層が得られる。この膜は１０００℃以下で安定であるため高温で使用する磁石材の酸化を防止することが可能となる。ピンホールを少なくするために、フッ化物層を多層にするか、金属系膜（Ｎｉ，Ｃｒ，Ｃｕなど）と上記フッ素を含む膜と積層したり、フッ化物を含む膜と酸化物の積層，フッ化物を含む膜と有機物と積層することも耐食性確保あるいは高抵抗化に有効である。なお、上記フッ素を含む層に成長しているフッ素化合物には、酸素，窒素，硼素などの軽元素を含んでいても良い。$Nd_2Fe_{14}B$成形体にNdF_3をゲルを使用して塗布し、１００℃以上の温度で熱処理するとNdF_3 を主とする膜を形成できる。この膜は１－１００００ｎｍであり、$1\times10^4\Omega$cm 以上の抵抗値を示す。さらに４００℃以上で熱処理するとNdF_2が$Nd_2Fe_{14}B$との界面付近に成長する。NdF_2 により剥離しにくくなるとともに抵抗値はさらに高くなる。成形体表面にＮｉ膜がある場合でもNdF_3を同様に形成でき、$1\times10^4\Omega$cm以上の抵抗値を示す膜が得られ成形磁石の抵抗を０．３mΩcm以上にすることが可能である。

【００２６】
他の例として、硬磁性材料として$Nd_2Fe_{14}B$、軟磁性材料としてＦｅを用いて磁気回路を作製する。金型内に仮成形した$Nd_2Fe_{14}B$の周囲にＦｅ粉を挿入し、プレス圧力１ｔ／cm^2以上で成形する。これらの粉末はフッ素を含む材料で表面をコートしてある。プレス後、熱処理炉内で加熱しコート層同士を結合させる。その温度は５００℃～1200℃である。フッ化物で拡散が生じ、$Nd_2Fe_{14}B$及びＦｅ粉表面のフッ化物が結合して一体化する。一体化後の加工は使用したい磁気回路の設計によって異なり、コート材があるため$Nd_2Fe_{14}B$が表面であっても耐食性が高くかつ渦電流損が小さいという特徴がある。このようなフッ化物を使用して硬磁性材料と軟磁性材料を加熱成形可能な材料は、硬磁性材料として$Nd_2Fe_{14}B$，Sm_2Co_{17}，$SmCo_5$，ＮｄＦｅＳｉ系，NdFeAl系，ＳｍＦｅＮ系などの希土類－３ｄ遷移金属系あるいは希土類－３ｄ遷移金属－半金属系、軟磁性材料としてＦｅ系，ＦｅＣｏ系，Ｆｅ－Ｓｉ系，Ｆｅ－Ｃ系，Ｎｉ系，Ｆｅ－Ｎｉ系等である。実施例７以外の希土類元素をすくなくとも１種以上含む金属系磁粉は、希土類元素が酸化し易いため磁気特性が変化する。フッ化物は希土類元素の酸化防止のための層として有効であり、上記実施例で使用しているフッ化物層は希土類元素を含む全ての金属系磁粉に対して酸化防止効果が期待でき、腐食抑制，崩壊抑制，腐食電位安定性で効果を発揮する。

【００２７】
他の例として希土類元素と鉄及び硼素からなる母合金を真空溶解し、粗粉砕，微粉砕を不活性ガス中で進め、平均粒径０．１－１０μｍの粉末を得る。粉末形状は、球状，不定形，板状のいずれでも良い。この粉末にゲル状のフッ素化合物を含む溶液を塗布する。溶媒は粉末の酸化を抑制できるように不純物の種類や不純物の含有量を制限したものである。粉末の重量から算出した量の溶液を使用して粉末に塗布する。塗布後熱処理により溶媒を除去する。DyF_3を平均１００ｎｍ塗布し、５００℃の温度で真空中熱処理すると、DyF_3の一部がDyF_2になる。DyF_2の成長により、粉末表面の磁気特性が変化し、結果的に減磁曲線の角形性が向上し、残留磁束密度が増加する。Sm_2Co_{17}磁粉の場合もDyF_3からDyF_2の構造変化がみられる熱処理を施すことで、減磁曲線の角形性が向上する。

【００２８】
他の例として、希土類元素と鉄あるいはコバルトを真空溶解し、租粉砕、微粉砕を不活性ガス中で行い、ボールミルなどを用いて０．１μｍ以下の粒径の粉末を得る。ボールミル条件はアルコール中、室温，５００－１０００rpm，フッ化物コートボール使用である。ボールミルの前に希土類鉄粉末をDyF_3でコートする。コート膜の厚さは磁粉の平均径の１／１０以下である。コート磁粉をボールミルすることで、希土類鉄フッ素化合物が形成される。このような希土類鉄フッ素化合物はフッ素を１－１０原子％含み保磁力が１０ｋＯｅ以上、残留磁束密度０．５Ｔ－１．２Ｔの磁気特性を有している。このような希土類鉄フッ素化合物を含む磁性粉はボンド磁石の原料として使用でき、０．３ｍΩcm以上の比抵抗を示す永久磁石を得ることができる。

【００２９】
他の例として、BaF_2，CaF_2，MgF_2，SrF_2，LiF，LaF_3，NdF_3，PrF_3，SmF_3，EuF_3，GdF_3，TbF_3，DyF_3，CeF_3，HoF_3，ErF_3，TmF_3，YbF_3，LuF_3，LaF_2，NdF_2，PrF_2，SmF_2，EuF_2,GdF_2，TbF_2，DyF_2，CeF_2，HoF_2，ErF_2，TmF_2，YbF_2，LuF_2,YF_3，ScF_3，CrF_3，MnF_2，MnF_3，FeF_2，FeF_3，CoF_2，CoF_3，NiF_2，ZnF_2，AgF，PbF_4，AlF_3，GaF_3，SnF_2，SnF_4，InF_3，PbF_2，BiF_3などのフッ素化合物を含む１－１０００ｎｍの被膜をＮｄＦｅＢ系,ＳｍＦｅＮ系，ＳｍＣｏ系等の磁性粉末に形成した後、該磁性粉末をエアロゾル化して剥離可能な材料に堆積することにより磁性粉末を形成できる。ガス流量，堆積速度，噴射速度を最適化して得られる厚膜は１００μｍ～１００００μｍの範囲であり上記フッ素化合物が１０体積％以下の$Nd_2Fe_{14}B$では、保磁力１０ｋＯｅから３５ｋＯｅで残留磁束密度０．６－

１．２Ｔ、比抵抗１ｍΩｃｍから１００ｍΩｃｍの厚膜が形成でき、これを粉砕した粉末径１－５００μｍの磁性粉もほぼ同様の特性を示す。エアロゾルプロセスを使用すれば、成形磁石の表面に上記フッ素を含む膜を形成でき、剥離しにくく高抵抗の膜で成形磁石表面を被覆することができる。エアロゾル化プロセスを経て作製された磁性粉末を上記フッ素化合物を主とするコートプロセスで被覆した$Nd_2Fe_{14}B$ 粉末は５００℃以下の温度で高抵抗を示し、耐食性もコート無の粉と比較して向上する。

【図面の簡単な説明】

【００３０】

【図１】本発明の一実施例に係る永久磁石式回転機の径方向断面。

【図２】本発明の一実施例に係る永久磁石式回転機の軸方向断面。

【図３】本発明の一実施例に係るインバータ運転時の電流波形図。

【図４】本発明の一実施例に係る永久磁石式回転機の径方向断面。

【図５】本発明の一実施例に係る永久磁石式回転機の径方向断面。

【図６】本発明の一実施例に係る永久磁石式回転機の径方向断面。

【図７】本発明の一実施例に係わる永久磁石式回転機に用いた磁石用磁性粉の断面ＴＥＭ観察写真。

【図８】本発明の一実施例に係わる永久磁石式回転機に用いた磁石用磁性粉の断面ＴＥＭ観察写真。

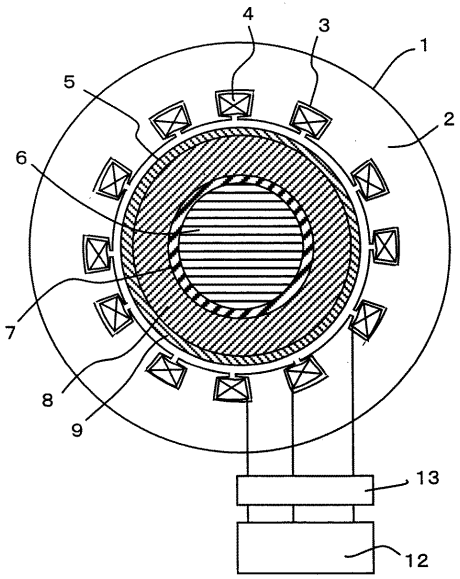
【符号の説明】

【００３１】

１…永久磁石式回転機、２…固定子鉄心、３…スロット、４…電機子巻線、５…回転子、６…シャフト、７…電磁鋼板リング又はアモルファスリング、８…永久磁石、９…補強材、１０…中間スリーブ、１１…封止材、１２…インバータ、１３…リアクトル、１４…低抵抗磁石。

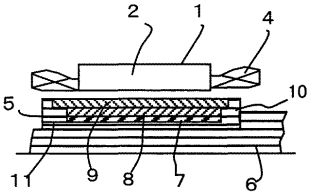
【図１】

図 1



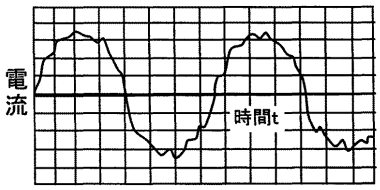
【図２】

図 2



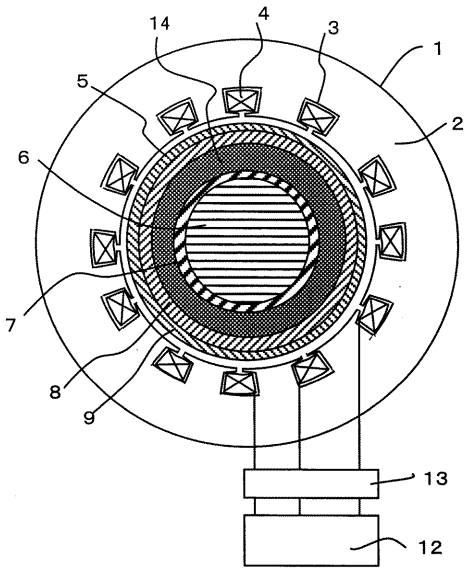
【図３】

図 3



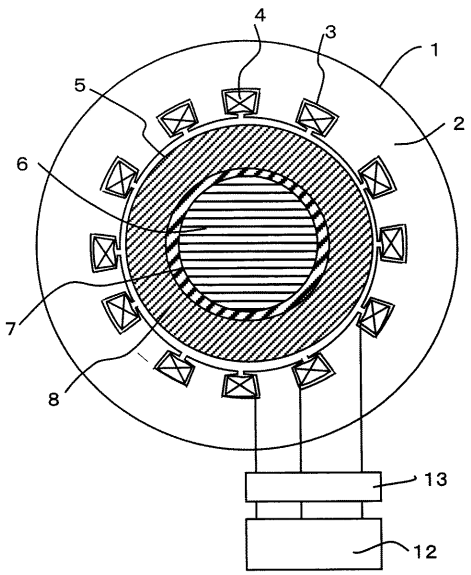
【図４】

図 4



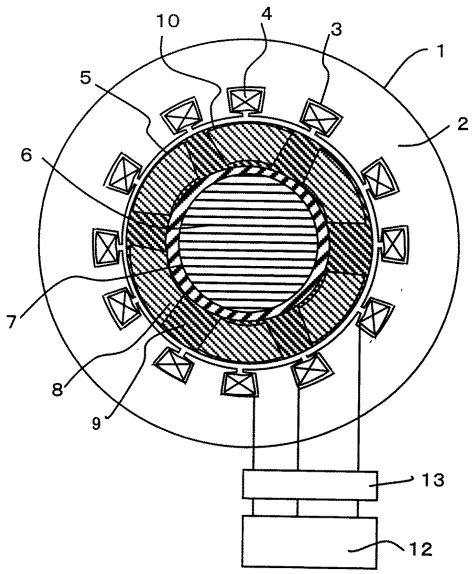
【図５】

図 5



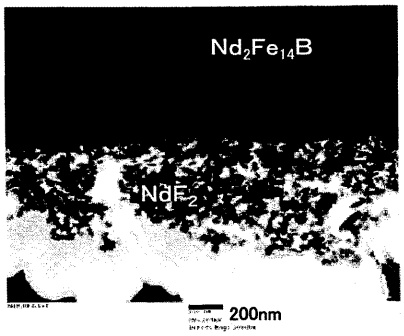
【図６】

図 6



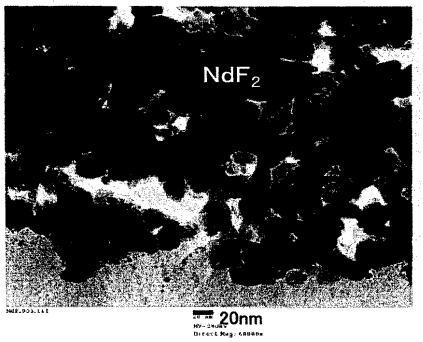
【図７】

図 7



【図８】

図 8



フロントページの続き

(72)発明者　小原木　春雄
茨城県日立市大みか町七丁目１番１号　株式会社　日立製作所　日立研究所内
(72)発明者　榎本　裕治
茨城県日立市大みか町七丁目１番１号　株式会社　日立製作所　日立研究所内

審査官　今井　貞雄

(56)参考文献　特開２０００－３５７６０６（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－１５７４９１（ＪＰ，Ａ）
特開平１１－０１６７２７（ＪＰ，Ａ）
特開平０９－３０８１５０（ＪＰ，Ａ）
特開２００１－３２５８３８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｈ０２Ｋ　　１／２７
Ｈ０１Ｆ　　１／０５３
Ｈ０１Ｆ　　７／０２
Ｈ０２Ｐ　２７／０６