

發明專利說明書 200535873

(本說明書格式、順序及粗體字，請勿任意更動，※記號部分請勿填寫)

※申請案號：**93141815**※申請日期：**93.12.31**※IPC 分類：**H01F 1/057, H01F 1/055,
H01F 4/02, H01F 1/08****一、發明名稱：**(中文/英文)

奈米複合物永久性磁鐵

NANOCOMPOSITE PERMANENT MAGNETS

二、申請人：(共 1 人)姓名或名稱：**(中文/英文)**

美國戴頓大學

UNIVERSITY OF DAYTON

代表人：**(中文/英文)**

勾登 A 莎俊特

SARGENT, GORDON A.

住居所或營業所地址：**(中文/英文)**

美國俄亥俄州戴頓市大學公園300號

300 COLLEGE PARK, DAYTON, OHIO 45469, U.S.A.

國籍：**(中文/英文)**

美國 U.S.A.

三、發明人：(共 2 人)姓名：**(中文/英文)**

1. 璽坤 劉

LIU, SHIQIANG

2. 唐 李

LEE, DON

國籍：**(中文/英文)**

1.2.均美國 U.S.A.

四、聲明事項：

☐ 主張專利法第二十二條第二項 ☐ 第一款或 ☐ 第二款規定之事實，其事實發生日期為： 年 月 日。

☒ 申請前已向下列國家（地區）申請專利：

【格式請依：受理國家（地區）、申請日、申請案號 順序註記】

☒ 有主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1. 美國；2003年12月31日；60/533,674

2. 美國；2004年12月29日；11/024,590

☐ 無主張專利法第二十七條第一項國際優先權：

1.

2.

☐ 主張專利法第二十九條第一項國內優先權：

【格式請依：申請日、申請案號 順序註記】

☐ 主張專利法第三十條生物材料：

☐ 須寄存生物材料者：

國內生物材料 【格式請依：寄存機構、日期、號碼 順序註記】

國外生物材料 【格式請依：寄存國家、機構、日期、號碼 順序註記】

☐ 不須寄存生物材料者：

所屬技術領域中具有通常知識者易於獲得時，不須寄存。

九、發明說明：

【發明所屬之技術領域】

本發明大體上係關於永久性磁鐵，且尤其係關於具有增強效能之奈米複合物永久性磁鐵。該等磁鐵可於約130至約300°C之作業溫度用於各種應用。

【先前技術】

永久性磁鐵材料已廣泛用於各種應用，尤其為例如馬達、產生器、感應器及汽車、航空器及航天系統之類似物。目前，使用兩種主要類型之高效能永久性磁鐵。一類磁鐵係基於 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 化合物，且另一類係基於 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 化合物。 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 磁鐵顯示極好之室溫磁性效能， $(\text{BH})_{\text{max}}$ 高達50 MGOe以上。然而， $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 化合物之Curie溫度(居裏溫度)僅為312°C，其使 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 磁鐵之最高作業溫度侷限於約80至約120°C。

相反，由於 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 化合物具有為920°C的極高Curie溫度(幾乎為 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 化合物之Curie溫度的三倍)，因此 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 磁鐵具有極好熱穩定性。市售之 $\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Fe},\text{Cu},\text{Zr})_{17}$ 磁鐵可於300°C下可靠作業。近年來研究者已展示，燒結之 $\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Fe},\text{Cu},\text{Zr})_{17}$ 磁鐵的最高作業溫度可升高至高達550°C。

基於 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 的磁鐵與基於 $\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Fe},\text{Cu},\text{Zr})_{17}$ 的磁鐵之間在最高作業溫度上存在較大差距(約120至約300°C)。該溫度範圍對於汽車應用、感應器及粒子聚焦裝置之使用很重要。然而，於該溫度範圍內使用基於 $\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Fe},\text{Cu},\text{Zr})_{17}$ 之

磁鐵在經濟上不可行。

提高基於 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 的磁鐵之作業溫度的努力已證明是困難的。以Co取代 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 中的Fe可提高Curie溫度且因而將其作業溫度擴展至約 120°C 。然而Co取代降低保磁力且顯著增加Nd-Fe-B磁鐵的不可逆損失。

另一方法為以諸如Dy及/或Tb之重稀土元素部分取代Nd。Dy與Tb兩者顯著增強Nd-Fe-B磁鐵的保磁力，但其亦降低磁化強度。此外Dy與Tb均極為昂貴。

另一提議方案為以微米尺寸之顆粒合成包括 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 與 $\text{Sm}_2(\text{Co,Fe,Cu,Zr})_{17}$ 化合物兩者之複合物磁鐵。然而製造 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 磁鐵之方法顯著不同於製造 $\text{Sm}_2(\text{Co,Fe,Cu,Zr})_{17}$ 磁鐵之方法。製造燒結 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 之方法相對簡單，且包含熔融、粉碎、研磨、粉末排列及壓實，於約 1080°C 燒結，隨後於約 560°C 退火。相反，製造 $\text{Sm}_2(\text{Co,Fe,Cu,Zr})_{17}$ 磁鐵之方法相當複雜。壓實後，將料坯(green body)於至少約 1200°C 之溫度下經燒結以達到完全稠密。此燒結溫度高於 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 之熔點。燒結後，需要於約 1180°C 下固溶體熱處理約3至5小時隨後進行快速淬火，以獲得均勻單相合金。下一步驟為於約 800°C 下長期等溫老化。為獲得高固有保磁力，老化時間可為50小時或更長。然而，即使在長期老化後，所獲得之保磁力可能仍非常低($<2\text{ kOe}$)。高固有保磁力形成於約 800°C 至約 400°C 之極緩慢冷卻期間(即約每分鐘1至 2°C)。於 400°C 老化可進一步增加保磁力。

該等兩種方法之間差異使得尋找可用於 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 與

$\text{Sm}_2(\text{Co,Fe,Cu,Zr})_{17}$ 兩者之方法很困難。

即使可研製出單一燒結或熱處理程序，仍難以生產高效能複合物磁鐵，因為高溫下發生Sm與Nd材料之間的相互擴散。大多數相互擴散產物(諸如 $\text{Nd}_2(\text{Co,Fe})_{17}$ 、 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 及 $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}$)具有基面各向異性，導致複合物磁鐵保磁力之顯著降低。

因此，需要一種易於生產、展示熱穩定性並可於約130至約300°C的作業溫度下使用之磁鐵。

【發明內容】

本發明藉由提供一類可於約130至約300°C之作業溫度下使用且具有良好磁性之新型奈米複合物永久性磁鐵來滿足前述需要。

本發明之奈米複合物磁鐵通常包含至少兩種不同組份，其各基於稀土或鈮過渡金屬化合物。以原子百分率指定各稀土或鈮過渡金屬化合物為 $\text{R}_x\text{T}_{100-x-y}\text{M}_y$ ，且其中R係選自一或多種稀土、鈮或其組合，其中T係選自一或多種過渡金屬，其中M係選自IIIA、IVA、VA族之一或多種元素，且其中x介於3與18之間，且其中y介於0與20之間。該等至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物為不同類型，或含有不同的R，或同時滿足兩者。該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有選自各向同性或各向異性之結構。該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有於約1 nm至約1000 nm之範圍內的平均粒度。該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有於約130°C至約300°C之範圍內的最高作業溫度。X為有效稀土(或鈮)含量。藉由

"有效稀土含量"，吾人意為總稀土含量之金屬部分。

本發明之另一態樣為一種製造該等奈米複合物、稀土永久性磁鐵之方法。一方法包含：摻合至少兩種粉末狀稀土或釔過渡金屬合金；及熱壓該等至少兩種粉末狀稀土或釔過渡金屬合金以形成奈米複合物、各向同性稀土永久性磁鐵。該奈米複合物、各向同性稀土永久性磁鐵可經熱變形以形成奈米複合物、各向異性稀土永久性磁鐵。

一替代方法變型包括：摻合至少兩種粉末狀稀土或釔過渡金屬合金；在低於相應非晶形合金之結晶溫度的溫度下預壓實該摻合之粉末狀稀土或釔過渡金屬合金以形成壓坯；及熱變形該壓坯以形成奈米複合物、各向異性稀土永久性磁鐵。

另一替代方法包括：摻合至少兩種粉末狀稀土或釔過渡金屬合金；及於容器中熱變形該等摻合之粉末狀合金以形成該奈米複合物、各向異性稀土永久性磁鐵。

【實施方式】

本發明之奈米複合物磁鐵通常包含至少兩種不同組份，其各基於稀土或釔過渡金屬化合物。該等複合物磁鐵併入不同化合物之優勢。其可具有增強之效能，諸如改良之磁性溫度係數及較高的作業溫度。以原子百分率指定各稀土或釔過渡金屬化合物為 $R_xT_{100-x-y}M_y$ ，且其中R選自一或多種稀土、釔或其組合，其中T選自一或多種過渡金屬，其中M選自IIIA、IVA、VA族之一或多種元素，且其中x介於3與18之間，且其中y介於0與20之間。該等至少兩種稀土或釔過

渡金屬化合物為不同類型，或含有不同的R，或同時滿足兩者。該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有選自各向同性或各向異性之結構。該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有於約1 nm至約1000 nm之範圍內的平均粒度。該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有於約130°C至約300°C之範圍內的最高作業溫度。

R:T或R:T:M之原子比率通常為1:5、1:7、2:17、2:14:1或1:12。該等化合物可具有選自 RT_5 、 RT_7 、 R_2T_{17} 、 $R_2T_{14}M$ 、或 RT_{12} 之類型。

該等至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物為不同類型，或具有不同的稀土或鈮元素，或同時滿足兩者。於第一種狀況下該等化合物為不同類型但具有相同的稀土(或鈮)，諸如 $SmCo_5/SmCo_{17}$ 或 $Pr_2Fe_{14}B/PrCo_5$ 。

於第二種狀況下，該等化合物為相同類型但具有不同的稀土(或鈮)，例如 $SmCo_5/PrCo_5$ 或 $Nd_2Fe_{14}B/Pr_2Fe_{14}B$ 。然而該狀況不同於其中製造均勻 $(Sm,Pr)Co_5$ 或 $(Nd,Pr)_2Fe_{14}B$ 合金之狀況。於均勻 $(Sm,Pr)Co_5$ 或 $(Nd,Pr)_2Fe_{14}B$ 合金之狀況下，該稀土子晶格基本上被Sm與Pr(或Nd與Pr)交替地佔據。在本發明中， $SmCo_5$ 與 $PrCo_5$ (或 $Nd_2Fe_{14}B$ 與 $Pr_2Fe_{14}B$)為複合物磁鐵中之兩種顯著之相。然而，其不排除其中 $(Sm,Pr)Co_5$ 或 $(Nd,Pr)_2Fe_{14}B$ 相因相互擴散的結果而存在於較小的局部區域之狀況。

於第三種狀況下，該等化合物為不同類型且具有不同的稀土(或鈮)，諸如 $Nd_2Fe_{14}B/Sm_2Co_{17}$ 。

根據本發明之奈米複合物、稀土永久性磁鐵包含至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物，且其可以原子百分率表達為 $(R_xT_{100-x-y}M_y)_1/(R_xT_{100-x-y}M_y)_2/\dots/(R_xT_{100-x-y}M_y)_n[a_1 \text{ 重量 } \%/a_2 \text{ 重量 } \%/ \dots /a_n \text{ 重量 } \%]$ ，其中 a_n 重量 % 為組份 n 之重量百分率，且 $a_1 \text{ 重量 } \% + a_2 \text{ 重量 } \% + \dots + a_n \text{ 重量 } \% = 100\%$ ，其中 n 為稀土或鈮過渡金屬化合物的數量且等於或大於 2。例如，若根據本發明之奈米複合物、稀土永久性磁鐵包含兩種稀土或鈮過渡金屬化合物，則其可表達為 $(R_xT_{100-x-y}M_y)_1/(R_xT_{100-x-y}M_y)_2[a_1 \text{ 重量 } \%/a_2 \text{ 重量 } \%]$ ，其中 a_1 重量 % 為第一組份之重量百分率且 a_2 重量 % 為第二組份之重量百分率，且 $a_1 \text{ 重量 } \% + a_2 \text{ 重量 } \% = 100\%$ 。

1:5 型化合物之組合物係表達為 $R_xT_{100-x-y}M_y$ ，其中 x 為有效稀土(或鈮)含量且 x 介於約 3 至約 18 之間，且 y 介於約 0 至約 20 之間。當 $x=16.67$ 且 $y=0$ 時，該化合物將為具 $CaCu_5$ 型六角形晶體結構之單相 RT_5 。當 $x > 16.67$ 時，合金中將存在富含稀土之相，且當 $x < 16.67$ 時，合金中將存在軟磁性相。

1:7 化合物之組合物係表達為 $R_xT_{100-x-y}M_y$ ，其中 x 為有效稀土(或鈮)含量且 x 介於約 3 至約 14 之間，且 y 介於約 0 至約 20 之間。當 $x=12.5$ 且 $y=0$ 時，該化合物將為 $TbCu_7$ 型六角形晶體結構之單相 RT_7 。當 $x > 12.5$ 時，合金中將存在富含稀土之相，且當 $x < 12.5$ 時，合金中將存在軟磁性相。

2:17 化合物之組合物係表達為 $R_xT_{100-x-y}M_y$ ，其中 x 為有效稀土(或鈮)含量且 x 介於約 3 至約 12 之間，且 y 介於約 0 至約 20 之間。當 $x=10.53$ 且 $y=0$ 時，該化合物將為具有 Th_2Zn_{17} 型菱

形晶體結構或 $\text{Th}_2\text{Ni}_{17}$ 型六角形晶體結構之單相 R_2T_{17} 。當 $x > 10.53$ 時，合金中將存在富含稀土之相，且當 $x < 10.53$ 時，合金中將存在軟磁性相。

2:14:1化合物之組合物表達為 $\text{R}_x\text{T}_{100-x-y}\text{M}_y$ ，其中 x 為有效稀土(或釔)含量且 x 介於約3至約15之間，且 y 介於約1至約20之間。當 $x=11.76$ 且 $y=5.88$ 時，該化合物將為具有四角形晶體結構之單相 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 。當 $x > 11.76$ 時，合金中將存在富含稀土之相，且當 $x < 11.76$ 時，合金中將存在軟磁性相。

1:12化合物之組合物表達為 $\text{R}_x\text{T}_{100-x-y}\text{M}_y$ ，其中 x 為有效稀土(或釔)含量且 x 介於約3至約9之間，且 y 介於約0至約20之間。當 $x=7.69$ 且 $y=0$ 時，該化合物將為具有 ThMn_{12} 型四角形晶體結構之單相 RT_{12} 。當 $x > 7.69$ 時，合金中將存在富含稀土之相，且當 $x < 7.69$ 時，合金中將存在軟磁性相。

適宜之稀土包括(但不限於) Nd 、 Sm 、 Pr 、 Dy 、 La 、 Ce 、 Gd 、 Tb 、 Ho 、 Er 、 Eu 、 Tm 、 Yb 、 Lu 、 MM (MM 為鈾鑛合金(misch metal)，即稀土之混合物)及其組合。適宜之過渡金屬包括(但不限於) Fe 、 Co 、 Ni 、 Ti 、 Zr 、 Hf 、 V 、 Nb 、 Ta 、 Cr 、 Mo 、 W 、 Mn 、 Cu 、 Zn 及 Cd 。適宜之 M 元素包括(但不限於) B 、 Al 、 Ga 、 In 、 Tl 、 C 、 Si 、 Ge 、 Sn 、 Sb 及 Bi 。

本發明之奈米複合物磁鐵具有奈米晶粒結構，意即，奈米複合物磁鐵中各化合物之平均粒度處於奈米範圍內。所得奈米複合物磁鐵之平均粒度的通常自約1 nm至約1000 nm變化。

儘管不希望受限於任何理，但據信本發明之奈米複合物

磁鐵的保磁力係由磁-晶各向同性直接控制。因此，在此等磁鐵可易於獲得高保磁力。因而，無需將諸如Cu或Zr之非鐵磁性元素添加入 $\text{Sm}_2(\text{Co,Fe})_{17}$ 。出於相同原因，形成 $\text{Sm}_2(\text{Co,Fe})_{17}$ 型磁鐵之高保磁力不再需要長期老化及極慢冷卻。因而，製造 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 磁鐵及 $\text{Sm}_2(\text{Co,Fe})_{17}$ 磁鐵之方法係相容的。此外，在高溫下極短的處理時間可最小化在高溫下的任何相互擴散。

為進一步避免含有不同稀土或鈮的化合物(諸如 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 及 $\text{Sm}_2(\text{Co,Fe})_{17}$)之間的相互擴散，可合成於不同化合物(諸如 $\text{Pr}_2(\text{Fe,Co})_{14}\text{B}/\text{Pr}(\text{Co,Fe})_5$ 、 $\text{Pr}_2(\text{Fe,Co})_{14}\text{B}/\text{Pr}_2(\text{Co,Fe})_{17}$ 、 $\text{Y}_2(\text{Fe,Co})_{14}\text{B}/\text{Y}(\text{Co,Fe})_5$ 、 $\text{MM}_2(\text{Fe,Co})_{14}\text{B}/\text{MM}(\text{Co,Fe})_5$)中含有相同稀土(或鈮)及類似過渡金屬的替代奈米複合物磁鐵。於此等系統中基本上可避免相互擴散。

因此，與製造習知複合物 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Sm}_2(\text{Co,Fe,Cu,Zr})_{17}$ 磁鐵相關之所有技術困難可藉由本發明之方法得以輕易解決。

可根據本發明之方法生產的奈米複合物包含(但不限於)下列實例：

案例1：該等奈米複合物磁鐵含具有相同稀土(或鈮)之不同化合物類型，諸如 $\text{SmCo}_5/\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 、 $\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{PrCo}_5$ 、 $\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Pr}(\text{Co,Fe})_5$ 、 $\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Pr}_2(\text{Co,Fe})_{17}$ 、 $\text{Ce}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{CeCo}_5$ 、 $\text{Ce}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Ce}_2(\text{Co,Fe})_{17}$ 、 $\text{Y}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{YCo}_5$ 、 $\text{Y}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Y}_2(\text{Co,Fe})_{17}$ 、 $\text{La}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{LaCo}_5$ 、 $\text{MM}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{MMCo}_5$ 、 $\text{MM}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{MM}_2(\text{Co,Fe})_{17}$ 。

案例2：該等奈米複合物磁鐵含相同化合物類型，但是具

有不同稀土(或釷)，諸如 $\text{SmCo}_5/\text{PrCo}_5$ 、 $\text{PrCo}_5/\text{CeCo}_5$ 、 $\text{CeCo}_5/\text{MMCo}_5$ 。

案例3：該等奈米複合物磁鐵含不同化合物類型及不同稀土(或釷)，諸如 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{SmCo}_5$ 、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Fe})_{17}$ 、 $(\text{Pr},\text{Nd})_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Fe})_{17}$ 。

此外，該等奈米複合物可含兩種以上的化合物，諸如 $\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{PrCo}_5/\text{Gd}_2(\text{Co},\text{Fe})_{17}$ 、 $(\text{Pr},\text{Nd})_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Fe})_{17}/\text{Er}_2(\text{Co},\text{Fe})_{17}/\text{Ho}_2(\text{Co},\text{Fe})_{17}$ 。

在此等實例中，各稀土元素可進一步由其他稀土部分取代。類似地，Co與Fe可由其他過渡金屬部分取代。

本發明之奈米複合物、稀土永久性磁鐵係由至少兩種稀土或釷過渡金屬化合物製造。單獨由各化合物製造之磁鐵將具有不同的最高作業溫度。例如，由一種稀土或釷過渡金屬化合物(例如 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$)製造之磁鐵將通常具有低於約 120°C 、通常低於約 100°C 之最高作業溫度。由另一種稀土或釷過渡金屬化合物(例如 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$)製造之磁鐵將通常具有高於約 250°C 的最高作業溫度，通常高於約 300°C ，或高於約 350°C ，或高於約 400°C ，或高於約 450°C ，或高於約 500°C 。

用於製造本發明之奈米複合物、稀土永久性磁鐵(諸如 Nd-Fe-B/Sm-Co)的適當方法之實例顯示於圖1中。例如，可於真空感應電爐或真空電弧爐中執行該熔融步驟。可於20-50米/秒或更高的輪表面線性速度下使用熔融紡絲器進行該熔融紡絲步驟。對於基於 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 之合金，可於熔融

紡絲帶中獲得非晶形或部分結晶之合金。對於基於 $\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Fe})_{17}$ 之合金，熔融紡絲後將直接獲得良好的奈米晶粒結構。亦可使用高能機械合金或高能研磨獲得非晶形粉末。高能合金或高能研磨尤其適用於製備具有相對高熔融溫度之 $\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Fe})_{17}$ 型材料。

根據特定比率摻合至少兩種不同粉末，諸如 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 粉末及 $\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Fe})_{17}$ 粉末。合金比率通常於約90:10至約10:90之範圍內。合金比率視所用合金之性能及奈米複合物、稀土永久性磁鐵所需之性能而定。例如，添加少量(諸如10-20重量%) $\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Fe})_{17}$ 將提供 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 之熱穩定性的輕微改良，而添加更大量(諸如30-50重量%)可獲得更大之改良。

若需要，可包括將一軟磁性金屬或合金粉末與該稀土或鈮過渡金屬粉末摻合的可選之步驟。該軟磁性金屬或合金可為Fe、Co、Fe-Co、 Fe_3B 或其它含Fe、Co或Ni之軟磁材料。可以約2%至高達約15%之量包含該軟磁性金屬或合金。粉末粒度可為幾奈米至幾微米。

替代與軟磁性金屬或合金粉末摻合，可在粉末摻合之前或之後包括一以軟磁性金屬或合金層塗佈該稀土或鈮過渡金屬粉末之可選之步驟。適當的粉末塗佈方法包括(但不限於)化學塗佈(無電極塗佈)、電塗佈、化學汽相沉積、物理汽相沉積、濺鍍、脈衝雷射沉積、蒸發及溶膠-凝膠法。

於約 500°C 至約 800°C 之範圍內的溫度下使用快速熱壓將該等粉末壓實至接近完全稠密或完全稠密。該處理極快；自室溫加熱至熱壓溫度、完成熱壓及冷卻至約 200°C 之總時

間一般少於10分鐘，通常為約0.5至約10分鐘、或約1-4或約1-3分鐘。熱壓之壓力通常為約10 kpsi(69 MPa)至約40 kpsi(279 MPa)。該快速熱壓處理有助於有效地最小化晶粒生長及相互擴散。在快速熱壓之後可得到諸如 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{Sm}_2(\text{Co},\text{Fe})_{17}$ 之各向同性奈米複合物磁鐵。

或者，該熱壓處理可被一預壓實步驟置換，該預壓實步驟於約室溫(約 20°C)至低於相應非晶形合金的結晶溫度(通常為約 500°C 至約 600°C)之溫度下執行。壓力通常於約10 kpsi(69 MPa)至約40 kpsi(279 MPa)之範圍內。預壓實可進一步防止晶粒生長及相互擴散。

為了獲得高效能各向異性奈米複合物磁鐵，使該等經熱壓之各向同性磁鐵或預壓實之料坯進一步熱變形。熱變形可於約 700°C 至約 1050°C 、約2 kpsi(14 MPa)至約30 kpsi(207 MPa)的壓力下執行2-10分鐘(通常為2-4分鐘)。在熱變形中發生塑性流動且將形成結晶紋理。試驗已表明，當熱變形量(意即，熱變形後之高度降低)為約60%至約80%(期望為約70%)時可產生良好的各向異性磁鐵。

適宜之變形處理包含(但不限於)如圖21a-d中所展示之模鍛、熱軋壓、熱擠壓及熱拉伸。

或者，可取消該熱壓或預壓實步驟，且該摻合之粉末狀合金可於容器中直接熱變形以形成各向異性奈米複合物磁鐵。

該熱壓、預壓實及熱變形可於真空、氫氣或空氣中執行。

使用本發明之方法，具有介於習知Nd-Fe-B及Sm-Co磁鐵

之間之範圍內的磁性及溫度系數值的磁鐵可根據特定應用之需要藉由調節兩種材料之摻合比率而容易地合成。此將有益於諸多商業及軍事用途，其中需要改良的磁性之溫度係數及/或更高的作業溫度。

儘管不希望受限於理論，但是據信奈米結構會引起稀土永久性磁鐵材料中保磁力機制之根本性變化。在習知微米晶粒稀土永久性磁鐵中，保磁力由凝核及/或釘鎖(pinning)控制。為了防止反向晶疇之凝核或為了形成適宜的釘鎖位點，通常需要組合物改質及/或特定熱處理或加工。

相反，在奈米晶粒稀土永久性磁鐵中，奈米晶粒中多晶疇之形成在能量方面不再是有利的。因此，奈米晶粒磁鐵之保磁力非由凝核或釘鎖控制，而是由磁-晶各向異性直接控制。高單軸磁-晶各向異性不僅是高保磁力之必要條件(如在微米晶粒磁鐵中)，而且是奈米晶粒磁鐵中高保磁力之充分條件。因此，據信在奈米晶粒結構磁鐵中保磁力與磁-晶各向異性之間有直接關係。其表示易於在擁有高單軸磁-晶各向異性之任何材料(若其具有奈米晶粒結構)中獲得高保磁力。

本發明之奈米複合物、稀土磁鐵展示了室溫下之高 $(BH)_{\max}$ 及良好保磁力。例如，奈米複合物、各向同性稀土磁鐵將通常具有至少約10 MGOe之室溫下 $(BH)_{\max}$ ，或至少約12 MGOe，或至少約14 MGOe。奈米複合物、各向同性稀土磁鐵將通常具有至少約8 KOe之保磁力，或至少約10 KOe，或至少約15 KOe。奈米複合物、各向異性稀土磁鐵

將通常具有至少約 15 MGOe 之室溫下 $(BH)_{\max}$ ，或至少約 20 MGOe，或至少約 25 MGOe，而保磁力將為至少約 8 KOe，或至少約 10 KOe，或至少約 12 KOe。

圖 2-4 為說明與現有磁鐵之效能相比較，根據本發明所製造之奈米複合物 Nd-Fe-B/Sm-Co 磁鐵的最高作業溫度、 $(BH)_{\max}$ 溫度係數及最大能積的圖表。

圖 5 說明具有不同熱變形量的各向同性 Nd₂Fe₁₄B/Sm₂(Co,Fe)₁₇ 磁鐵 (80 重量 % Nd₂Fe₁₄B+20 重量 % Sm₂(Co,Fe)₁₇ 且表示為 [80 重量 %/20 重量 %]) 及各向異性 Nd₂Fe₁₄B/Sm₂(Co,Fe)₁₇ 磁鐵 [80 重量 %/20 重量 %] 之去磁曲線。

在此圖中，該各向同性奈米複合物磁鐵具有 15 KOe 之較高固有保磁力及 14 MGOe 之 $(BH)_{\max}$ 。該具 40% 變形之各向異性奈米複合物磁鐵具有 20 MGOe 之 $(BH)_{\max}$ 。自圖 5 可見，藉由增加熱變形量可顯著增加磁化強度，其表明各向異性奈米複合物 Nd₂Fe₁₄B/Sm₂(Co,Fe)₁₇ 磁鐵可藉由熱變形容易地獲得。儘管固有保磁力在熱變形後趨向於降低時，但是吾人已發現可藉由優化熱變形參數來改良保磁力，例如藉由降低熱變形溫度及/或縮短熱變形時間。

圖 6 說明熱變形奈米複合物 Nd₁₄Fe_{74.5}Co₅Ga_{0.5}B₆/Sm_{7.7}Co_{63.7}Fe_{28.6} 磁鐵與具微米晶粒結構之習知熱變形複合物 Nd₁₅Fe₇₉B₆/Sm(Co,Fe,Cu,Zr)_{7.4} 磁鐵的去磁曲線。

圖 7 說明習知燒結各向異性 Nd₁₅Fe₇₉B₆/Sm(Co,Fe,Cu,Zr)_{7.4} 磁鐵與習知燒結各向異性 Nd₂Fe₁₄B/

$\text{Sm}_2(\text{Co,Fe})_{17}$ 磁鐵之去磁曲線。

圖 8 展示奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [80重量%/20重量%] 磁鐵在於 575°C 熱壓後及於 850°C 熱變形後 (50% 高度降低) 的去磁曲線。該熱壓各向同性磁鐵具有 13.57 MGOe 之 $(\text{BH})_{\text{max}}$ 。該熱變形各向同性磁鐵具有 17.49 MGOe 之 $(\text{BH})_{\text{max}}$ 。

圖 9 展示奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [80重量%/20重量%] 磁鐵在於 600°C 熱壓後及於 850°C 熱變形後 (40% 高度降低) 之去磁曲線。該熱壓各向同性磁鐵具有 13.14 MGOe 之 $(\text{BH})_{\text{max}}$ ，而該熱變形各向同性磁鐵具有 19.41 MGOe 之 $(\text{BH})_{\text{max}}$ 。

圖 10 為一說明各向異性奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [80重量%/20重量%] 磁鐵於 880°C 熱變形後 (60% 高度降低) 之去磁曲線的圖。該磁鐵具有 21.77 MGOe 之 $(\text{BH})_{\text{max}}$ 。

圖 11 為一說明各向異性奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [80重量%/20重量%] 磁鐵於 920°C 熱變形後 (60% 高度降低) 之去磁曲線的說明圖。該磁鐵具有 25.20 MGOe 之 $(\text{BH})_{\text{max}}$ 。

圖 12 說明各向異性奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [80重量%/20重量%] 磁鐵於 880°C 熱變形後 (60% 高度降低) 之去磁曲線。該磁鐵之 $(\text{BH})_{\text{max}}$ 為 27.36 MGOe。

圖 13 展示各向異性奈米複合物 $\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{73.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_7/$

$\text{Pr}_{16.7}\text{Co}_{83.3}$ [80重量%/20重量%]磁鐵於940℃熱變形後(71%高度降低)之去磁曲線。該磁鐵具有32.94 MGOe之 $(\text{BH})_{\text{max}}$ 。

圖 14 展示各向異性奈米複合物 $\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{73.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_7/\text{Pr}_{16.7}\text{Co}_{66.6}\text{Fe}_{16.7}$ [80重量%/20重量%]磁鐵於920℃熱變形後(71%高度降低)之去磁曲線。該磁鐵具有34.50 MGOe之 $(\text{BH})_{\text{max}}$ 。

圖 15 展示了奈米晶粒 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6$, $\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ 磁鐵與兩種奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ 磁鐵的磁通量溫度係數對溫度。

圖 16 展示了奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [60重量%/40重量%]磁鐵的固有保磁力之溫度依賴性。

圖 17 展示了奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [80重量%/20重量%]磁鐵之低場磁化強度對溫度。

圖 18 為熱變形 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [80重量%/20重量%]之破裂表面的SEM顯微照片。

圖 19 展示奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [80重量%/20重量%]磁鐵的長期老化試驗之結果。

表 1 說明了使用不同方法合成的複合物 Nd-Fe-B/Sm-Co [80重量%/20重量%]與Pr-Fe-B/Pr-Co磁鐵之對比。

表 1

複合物磁鐵	4 M於 10 kOe (kG)	B_r (kG)	MH_c (kOe)	$(BH)_{max}$ (MGoe)
具微米晶粒結構之熱變形 $Nd_{15}Fe_{79}B_6/Sm(Co,Fe,Cu,Zr)_{7.4}$ [80重量%/20重量%]	10.71	2.54	0.39	0.24
具微米晶粒結構之燒結各向異性 $Nd_{15}Fe_{79}B_6/Sm(Co,Fe,Cu,Zr)_{7.4}$ [80重量%/20重量%]	11.59	5.35	0.20	0.32
具微米晶粒結構之燒結各向異性 $Nd_2Fe_{14}B/Sm_2(Co,Fe)_{17}$ [80重量%/20重量%]	15.01	2.67	0.10	0.01
使用本發明之方法的熱變形奈米複合物 $Nd_{14}Fe_{74.5}Co_5Ga_{0.5}B_6/Sm_{7.7}Co_{63.7}Fe_{28.6}$ [80重量%/20重量%]	11.91	10.99	14.26	27.36
使用本發明之方法的熱變形奈米複合物 $Pr_{14}Fe_{73.5}Co_5Ga_{0.5}B_7/Pr_{16.7}Co_{83.3}$ [80重量%/20重量%]	11.98	11.68	16.41	32.94
使用本發明之方法的熱變形奈米複合物 $Pr_{14}Fe_{73.5}Co_5Ga_{0.5}B_7/Pr_{16.7}Co_{66.6}Fe_{16.7}$ [80重量%/20重量%]	12.25	12.04	16.89	34.50

儘管已用於說明本發明之目的而展示了特定代表性實施例及細節，但是熟知此項技術者易於理解，在不背離界定於附加之申請專利範圍中的本發明之範疇的情況下可於本文所揭示之該等組合物及方法中進行各種改變。

【圖式簡單說明】

圖1為根據本發明之形成奈米複合物、稀土永久性磁鐵之方法的圖解說明；

圖2為一說明與現有磁鐵相比較而言的本發明之奈米複合物Nd-Fe-B/R-Co磁鐵之最高作業溫度對室溫下磁性效能的圖；

圖3為一說明與現有磁鐵相比較而言的本發明之奈米複

合物 Nd-Fe-B/R-Co 磁鐵之 $(BH)_{\max}$ 溫度係數對溫度的圖；

圖 4 為一說明與現有磁鐵相比較而言的 Nd-Fe-B/R-Co 磁鐵之最大能積對溫度的圖；

圖 5 為一說明各向同性及各向異性奈米複合物 $Nd_2Fe_{14}B/Sm_2(Co,Fe)_{17}$ 磁鐵之去磁曲線的圖；

圖 6 為一說明熱變形奈米複合物 $Nd_{14}Fe_{74.5}Co_5Ga_{0.5}B_6/Sm_{7.7}Co_{63.7}Fe_{28.6}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵與具有微米晶粒結構的熱變形習知複合物 $Nd_{15}Fe_{79}B_6/Sm(Co,Fe,Cu,Zr)_{7.4}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵之去磁曲線的圖；

圖 7 為一說明習知燒結各向異性 $Nd_{15}Fe_{79}B_6/Sm(Co,Fe,Cu,Zr)_{7.4}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵與習知燒結各向異性 $Nd_2Fe_{14}B/Sm_2(Co,Fe)_{17}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵之去磁曲線的圖；

圖 8 為一說明奈米複合物 $Nd_{14}Fe_{74.5}Co_5Ga_{0.5}B_6/Sm_{7.7}Co_{63.7}Fe_{28.6}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵在於 $575^{\circ}C$ 熱壓後及於 $850^{\circ}C$ 熱變形後 (50% 高度降低) 之去磁曲線的圖；

圖 9 為一說明奈米複合物 $Nd_{14}Fe_{74.5}Co_5Ga_{0.5}B_6/Sm_{7.7}Co_{63.7}Fe_{28.6}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵在於 $600^{\circ}C$ 熱壓後及於 $850^{\circ}C$ 熱變形後 (40% 高度降低) 之去磁曲線的圖；

圖 10 為一說明各向異性奈米複合物 $Nd_{14}Fe_{74.5}Co_5Ga_{0.5}B_6/Sm_{7.7}Co_{63.7}Fe_{28.6}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵在於 $880^{\circ}C$ 熱變形後 (60% 高度降低) 之去磁曲線的圖；

圖 11 為一說明各向異性奈米複合物 $Nd_{14}Fe_{74.5}Co_5Ga_{0.5}B_6/Sm_{7.7}Co_{63.7}Fe_{28.6}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵在於 $920^{\circ}C$ 熱變形

後(60%高度降低)之去磁曲線的圖；及

圖 12 為一說明各向異性奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵在於 880°C 熱變形後(60%高度降低)之去磁曲線的圖。

圖 13 為一說明各向異性奈米複合物 $\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{73.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_7/\text{Pr}_{16.7}\text{Co}_{83.3}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵在於 940°C 熱變形後(71%高度降低)之去磁曲線的圖。

圖 14 為一說明各向異性奈米複合物 $\text{Pr}_{14}\text{Fe}_{73.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_7/\text{Pr}_{16.7}\text{Co}_{66.6}\text{Fe}_{16.7}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵在於 920°C 熱變形後(71%高度降低)之去磁曲線的圖。

圖 15 為一展示奈米晶粒 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6$, $\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ 磁鐵與兩種奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ 磁鐵的磁通量溫度係數對溫度的圖。

圖 16 為一展示奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [60 重量%/40 重量%] 磁鐵之固有保磁力之溫度依賴性的圖。

圖 17 為一展示奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵之低場磁化強度對溫度的圖。

圖 18 為熱變形 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [80 重量%/20 重量%] 之破裂表面的 SEM 顯微照片。

圖 19 為一展示奈米複合物 $\text{Nd}_{14}\text{Fe}_{74.5}\text{Co}_5\text{Ga}_{0.5}\text{B}_6/\text{Sm}_{7.7}\text{Co}_{63.7}\text{Fe}_{28.6}$ [80 重量%/20 重量%] 磁鐵之長期老化試驗

之結果的圖。

圖 20 為一展示熱壓實(熱壓)過程之圖。

圖 21a 為一展示藉由模鍛鍛之熱變形過程之圖。

圖 21b 為一展示藉由熱輥壓之熱變形過程之圖。

圖 21c 為一展示藉由熱擠壓之熱變形過程之圖。

五、中文發明摘要：

本發明揭示一種奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其包含至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物。該奈米複合物、稀土永久性磁鐵可於約 130 至約 300℃ 的作業溫度 (operating temperature) 下使用，且當與基於 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 的磁鐵比較時顯示出改良之熱穩定性。亦顯示了製造該等奈米複合物、稀土永久性磁鐵之方法。

六、英文發明摘要：

十、申請專利範圍：

1. 一種奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其包含至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物，以原子百分率指定各化合物為 $R_xT_{100-x-y}M_y$ ，且其中R係選自一或多種稀土、鈮或其組合，其中T係選自一或多種過渡金屬，其中M係選自IIIA、IVA、VA族之一或多種元素，且其中x介於3與18之間，且其中y介於0與20之間，且其中該等至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物為不同類型，或含不同的R，或同時滿足兩者，且其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有選自各向同性或各向異性之結構，且其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有於約1 nm至約1000 nm之範圍內的平均粒度，且其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有於約130°C至約300°C之範圍內的最高作業溫度。
2. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中該等至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物具有選自1:5、1:7、2:17、2:14:1或1:12之原子比率R:T或R:T:M。
3. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中至少一種稀土或鈮過渡金屬化合物具有1:5之該原子比率，其中x介於約3至約18之間，且其中y介於0至約20之間。
4. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中至少一種稀土或鈮過渡金屬化合物具有1:7之該原子比率，其中x介於約3至約14之間，且其中y介於0至約20之間。
5. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中至少一種稀土或鈮過渡金屬化合物具有2:17之該原子比率，其中

x介於約3至約12之間，且其中y介於0至約20之間。

6. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中至少一種稀土或鈮過渡金屬化合物具有2:14:1之該原子比率，其中x介於約3至約15之間，且其中y介於約1至約20之間。
7. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中至少一種稀土或鈮過渡金屬化合物具有1:12之該原子比率，其中x介於約3至約9之間，且其中y介於約0至約20之間。
8. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中該稀土係選自Nd、Sm、Pr、Dy、La、Ce、Gd、Tb、Ho、Er、Eu、Tm、Yb、Lu、鈾鑷合金(misch metal)或其組合。
9. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中T係選自Fe、Co、Ni、Ti、Zr、Hf、V、Nb、Ta、Cr、Mo、W、Mn、Cu、Zn、Cd或其組合。
10. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中M係選自B、Al、Ga、In、Tl、C、Si、Ge、Sn、Sb、Bi或其組合。
11. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中該固有保磁力大於約8 kOe(SI單位)。
12. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中該固有保磁力大於約10 kOe(SI單位)。
13. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中該室溫下 $(BH)_{\max}$ 大於約10 MGOe(SI單位)。
14. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中該室溫下 $(BH)_{\max}$ 大於約15 MGOe(SI單位)。

15. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵為塊狀完全稠密之稀土永久性磁鐵。
16. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵為黏結之稀土永久性磁鐵。
17. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵經粉碎以形成粉末。
18. 如請求項1之奈米複合物、稀土永久性磁鐵，其中該等至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物之比率範圍為約90:10至約10:90。
19. 一種製造包含至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物之奈米複合物、稀土永久性磁鐵之方法，其中該等至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物各以原子百分率指定為 $R_xT_{100-x-y}M_y$ ，且其中R係選自一或多種稀土、鈮或其組合，其中T係選自一或多種過渡金屬，其中M係選自IIIA、IVA、VA族之一或多種元素，且其中x介於3與18之間，且其中y介於0與20之間，且其中該等至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物為不同類型，或含有不同的R，或同時滿足兩者，且其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有選自各向同性或各向異性之結構，且其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有於約1 nm至約1000 nm之範圍內的平均粒度，且其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有於約130°C至約300°C之範圍內的最高作業溫度，該方法包含：

提供至少兩種粉末狀稀土或釔過渡金屬合金，其中該等稀土或釔過渡金屬合金包含該等稀土或釔過渡金屬化合物；

摻合該等至少兩種粉末狀稀土或釔過渡金屬合金；及
熱壓該等至少兩種粉末狀稀土或釔過渡金屬合金以形成該奈米複合物、各向同性稀土永久性磁鐵。

20. 如請求項19之方法，其中將該等摻合之粉末狀稀土或釔過渡金屬合金於500°C至800°C之範圍內的溫度下熱壓。

21. 如請求項19之方法，其中將該等摻合之粉末狀稀土或釔過渡金屬合金於10 kpsi(69 MPa)至40 kpsi(276 MPa)之範圍內的壓力下熱壓。

22. 如請求項19之方法，其中將該等摻合之粉末狀稀土或釔過渡金屬合金熱壓0.5至10分鐘之範圍內的時間。

23. 如請求項19之方法，其中使用感應加熱熱壓該等摻合之粉末狀稀土或釔過渡金屬合金。

24. 如請求項19之方法，其中使用一選自直流電流、脈衝直流電流、交流電流或渦流電流之加熱源熱壓該等摻合粉末狀稀土或釔過渡金屬合金，且其中該電流直接通過該摻合之粉末狀稀土或釔過渡金屬合金。

25. 如請求項19之方法，其中提供該等至少兩種粉末狀稀土或釔過渡金屬合金包含：

形成該等稀土或釔過渡金屬合金；及

形成該等粉末狀稀土或釔過渡金屬合金。

26. 如請求項25之方法，其中藉由選自熔融紡絲、機械合金、

高能機械研磨、火花腐蝕(spark erosion)、電漿噴塗(plasma spray)或霧化(atomization)之方法形成該等稀土或鈮過渡金屬合金。

27. 如請求項19之方法，其進一步包含將該奈米複合物、各向同性稀土永久性磁鐵熱變形以形成該奈米複合物、各向異性稀土永久性磁鐵。

28. 如請求項27之方法，其中將該奈米複合物、各向同性稀土永久性磁鐵於700°C至1000°C之範圍內的溫度下熱變形。

29. 如請求項27之方法，其中將該奈米複合物、各向同性稀土永久性磁鐵於2 kpsi(14 MPa)至30 kpsi(207 MPa)之範圍內的壓力下熱變形。

30. 如請求項27之方法，其中將該奈米複合物、各向同性稀土永久性磁鐵於 10^{-4} /秒至 10^{-2} /秒之範圍內的應變速率(strain rate)下熱變形。

31. 如請求項27之方法，其中將該奈米複合物、各向同性稀土永久性磁鐵熱變形小於10分鐘之時間。

32. 如請求項19之方法，其進一步包含：

粉碎該奈米複合物、各向異性永久性磁鐵以形成粉末狀各向異性材料；及

將粉末狀各向異性材料與一黏合劑混合以形成一黏結之各向異性永久性磁鐵。

33. 如請求項19之方法，其進一步包含將含Fe、Co或Ni之軟磁材料與該等至少兩種粉末狀稀土或鈮過渡金屬合金摻

合。

34. 一種製造包含至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物之奈米複合物、稀土永久性磁鐵之方法，其中該等至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物各以原子百分率指定為 $R_xT_{100-x-y}M_y$ ，且其中R係選自一或多種稀土、鈮或其組合，其中T係選自一或多種過渡金屬，其中M係選自IIIA、IVA、VA族之一或多種元素，且其中x介於3與18之間，且其中y介於0與20之間，且其中該等至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物為不同類型，或含有不同的R，或同時滿足兩者，且其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有選自各向同性或各向異性之結構，且其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有於約1 nm至約1000 nm之範圍內的平均粒度，且其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有於約130°C至約300°C之範圍內的最高作業溫度，該方法包含：

提供至少兩種粉末狀稀土或鈮過渡金屬合金，其中該等稀土或鈮過渡金屬合金包含該等稀土或鈮過渡金屬化合物；

摻合該等至少兩種粉末狀稀土或鈮過渡金屬合金；

於低於相應非晶形合金之結晶溫度的溫度下壓實該等摻合之稀土或鈮過渡金屬合金以形成壓坯；及

熱變形該壓坯以形成該奈米複合物、各向異性稀土永久性磁鐵。

35. 如請求項34之方法，其中將該壓坯於700°C至1000°C之範

圍內的溫度下熱變形。

36. 如請求項34之方法，其中將該壓坯於2 kpsi(14 MPa)至30 kpsi(207 MPa)之範圍內的壓力下熱變形。

37. 如請求項34之方法，其中將該壓坯於 10^{-4} /秒至 10^{-2} /秒之範圍內的應變速率下熱變形。

38. 如請求項34之方法，其中將該壓坯熱變形小於10分鐘之時間。

39. 如請求項34之方法，其中將該摻合之粉末狀稀土或釔過渡金屬合金於約20°C至低於約600°C之範圍內的溫度下壓實。

40. 如請求項34之方法，其中壓實壓力之範圍為10 kpsi(69 MPa)至40 kpsi(276 MPa)。

41. 如請求項34之方法，其中提供該等至少兩種粉末狀稀土或釔過渡金屬合金包含：

形成一稀土或釔過渡金屬合金；及

形成該粉末狀稀土或釔過渡金屬合金。

42. 如請求項41之方法，其中藉由選自熔融紡絲、機械合金、高能機械研磨、火花腐蝕、電漿噴塗或霧化之方法形成該粉末狀稀土或釔過渡金屬合金。

43. 如請求項34之方法，其進一步包含：

粉碎該奈米複合物、各向異性永久性磁鐵以形成粉末狀各向異性材料；及

將一黏合劑與該粉末狀各向異性材料混合以形成一黏結之各向異性永久性磁鐵。

44. 如請求項34之方法，其進一步包含將含Fe、Co或Ni之軟磁材料與該等至少兩種粉末狀稀土或鈮過渡金屬合金摻合。

45. 一種製造包含至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物之奈米複合物、稀土永久性磁鐵之方法，其中該等至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物各以原子百分率指定為 $R_xT_{100-x-y}M_y$ ，且其中R係選自一或多種稀土、鈮或其組合，其中T係選自一或多種過渡金屬，其中M係選自IIIA、IVA、VA族之一或多種元素，且其中x介於3與18之間，且其中y介於0與20之間，且其中該等至少兩種稀土或鈮過渡金屬化合物為不同類型，或含有不同的R，或同時滿足兩者，且其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有選自各向同性或各向異性之結構，且其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有於約1 nm至約1000 nm之範圍內的平均粒度，且其中該奈米複合物、稀土永久性磁鐵具有於約130°C至約300°C之範圍內的最高作業溫度，該方法包含：

提供至少兩種粉末狀稀土或鈮過渡金屬合金，其中該等稀土或鈮過渡金屬合金包含該等稀土或鈮過渡金屬化合物；

摻合該等至少兩種粉末狀稀土或鈮過渡金屬合金；及

於一容器中熱變形該等摻合之合金以形成該奈米複合物、各向異性稀土永久性磁鐵。

46. 如請求項45之方法，其中將該等摻合之合金於700°C至

1000°C 之範圍內的溫度下熱變形。

47. 如請求項 45 之方法，其中將該等摻合之合金於 2 kpsi(14 MPa)至 30 kpsi(207 MPa)之範圍內的壓力下熱變形。

48. 如請求項 45 之方法，其中將該等摻合之合金於 10^{-4} /秒至 10^{-2} /秒之範圍內的應變速率下熱變形。

49. 如請求項 45 之方法，其中將該等摻合之合金熱變形小於 10 分鐘之時間。

50. 如請求項 45 之方法，其中提供該等至少兩種粉末狀稀土或釔過渡金屬合金包含：

形成一稀土或釔過渡金屬合金；及

形成該粉末狀稀土或釔過渡金屬合金。

51. 如請求項 50 之方法，其中藉由選自熔融紡絲、機械合金、高能機械研磨、火花腐蝕、電漿噴塗或霧化之方法形成該粉末狀稀土或釔過渡金屬合金。

52. 如請求項 45 之方法，其進一步包含：

粉碎該奈米複合物、各向異性永久性磁鐵以形成粉末狀各向異性材料；及

將一黏合劑與該粉末狀各向異性材料混合以形成一黏結之各向異性永久性磁鐵。

53. 如請求項 45 之方法，其進一步包含將含 Fe、Co 或 Ni 之軟磁材料與該等至少兩種粉末狀稀土或釔過渡金屬合金摻合。

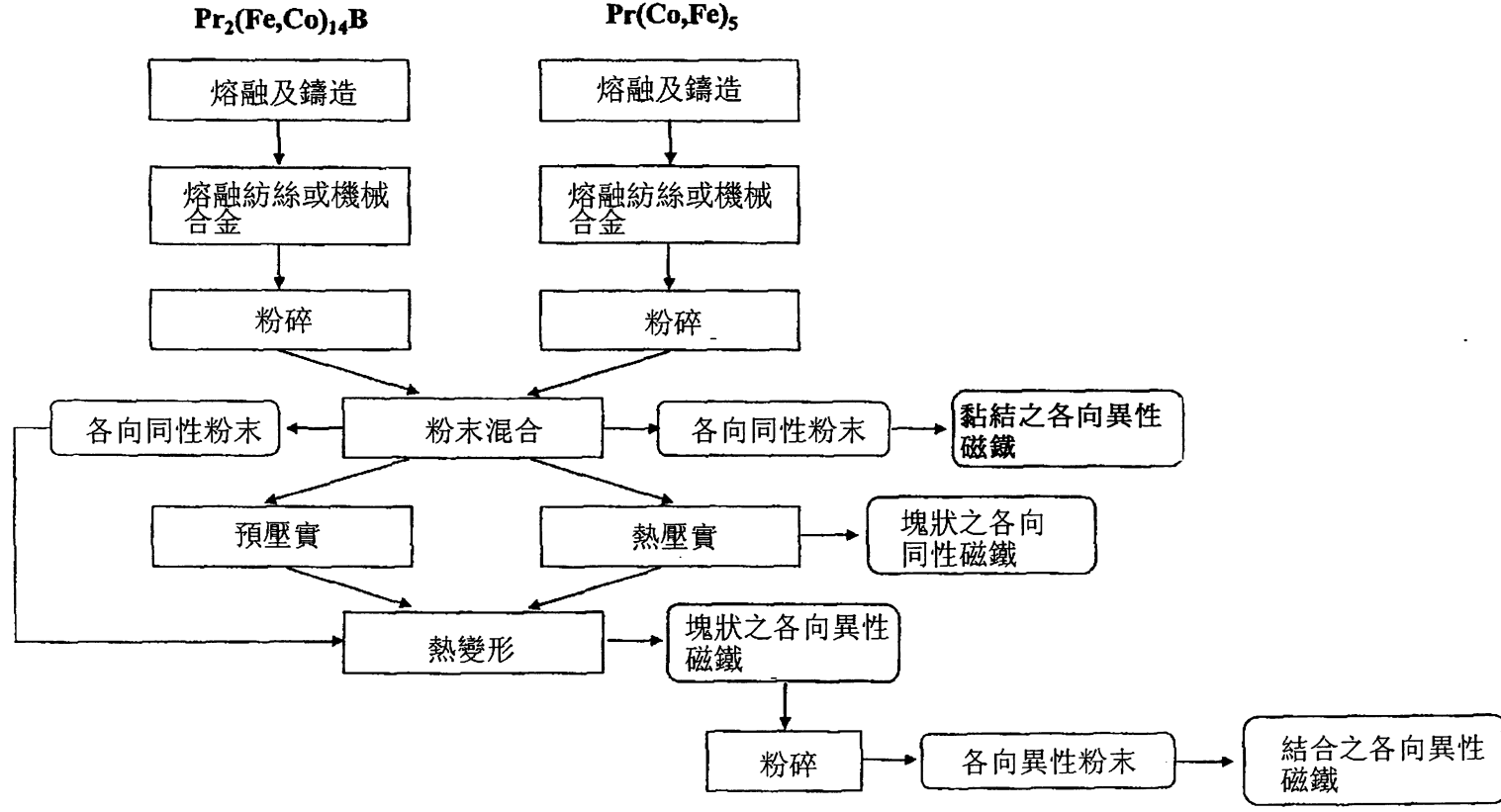


圖 1

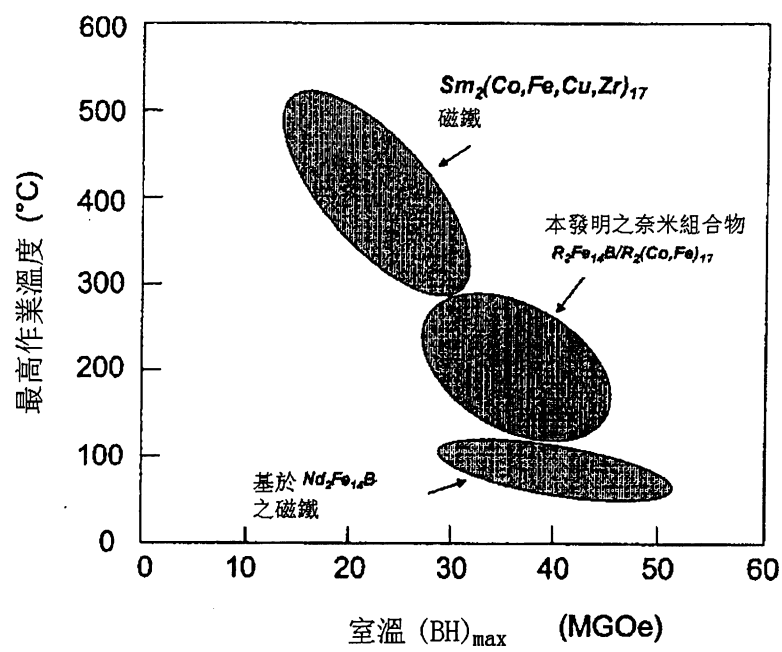


圖 2

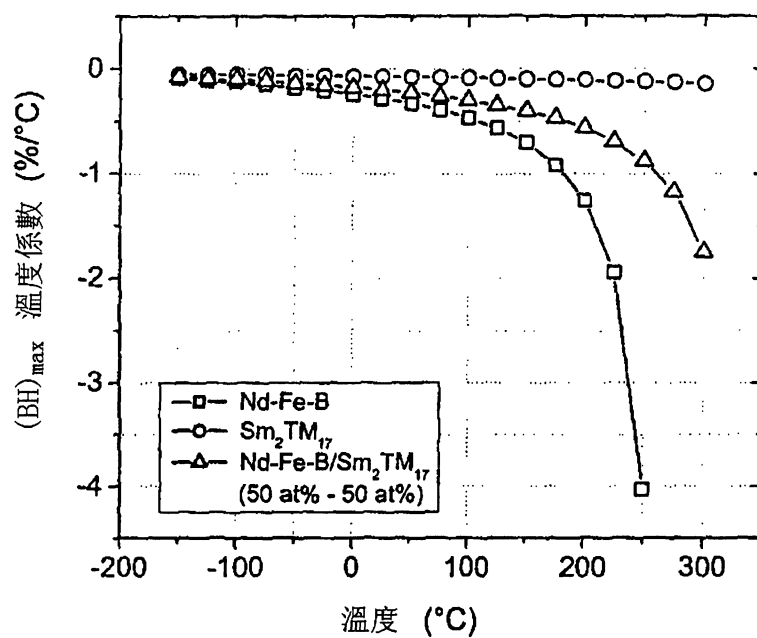


圖 3

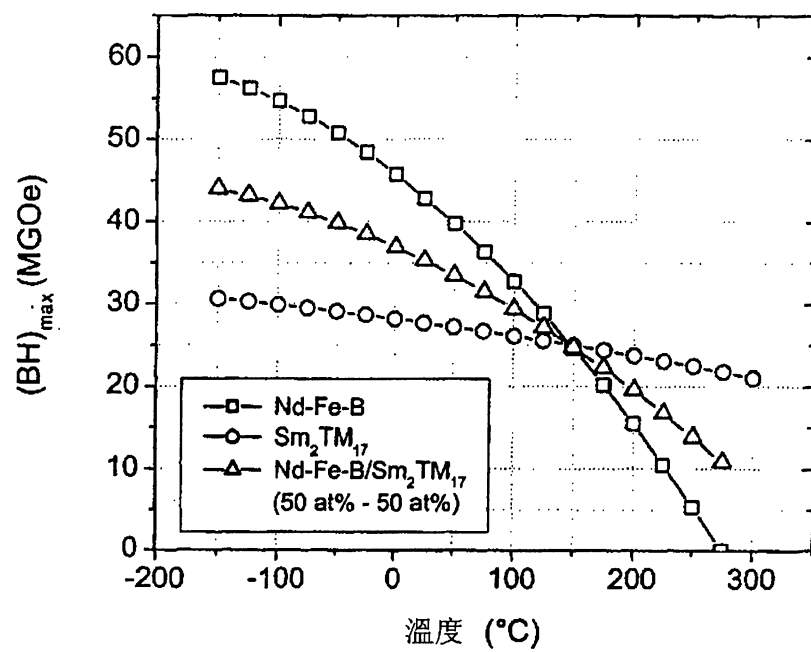


圖 4

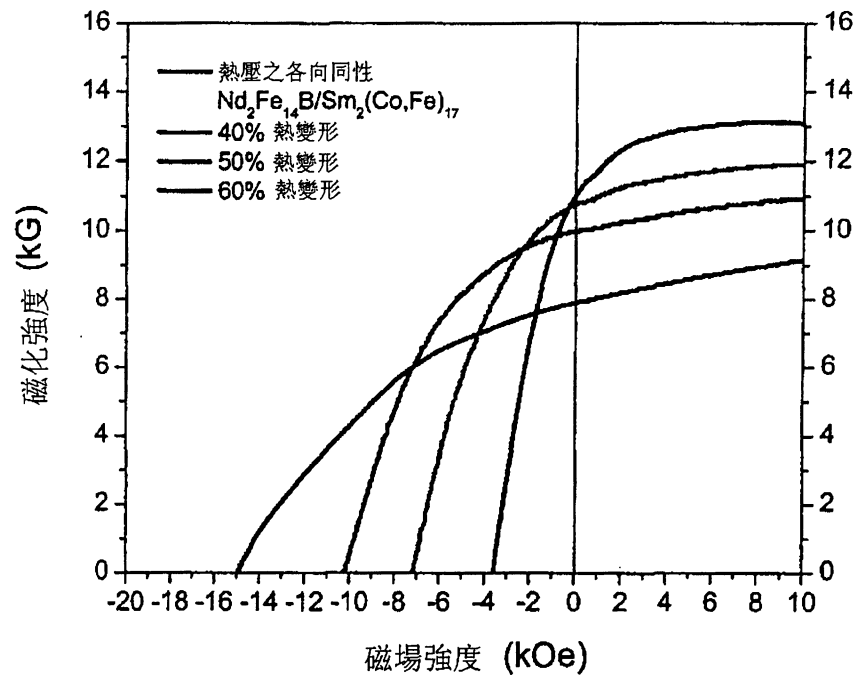


圖 5

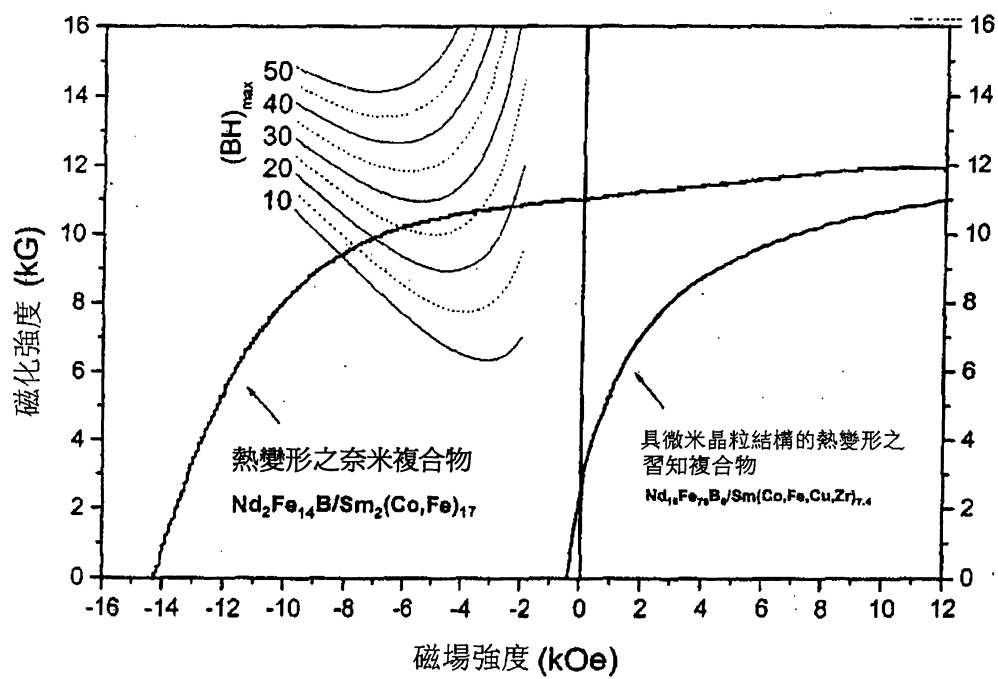


圖 6

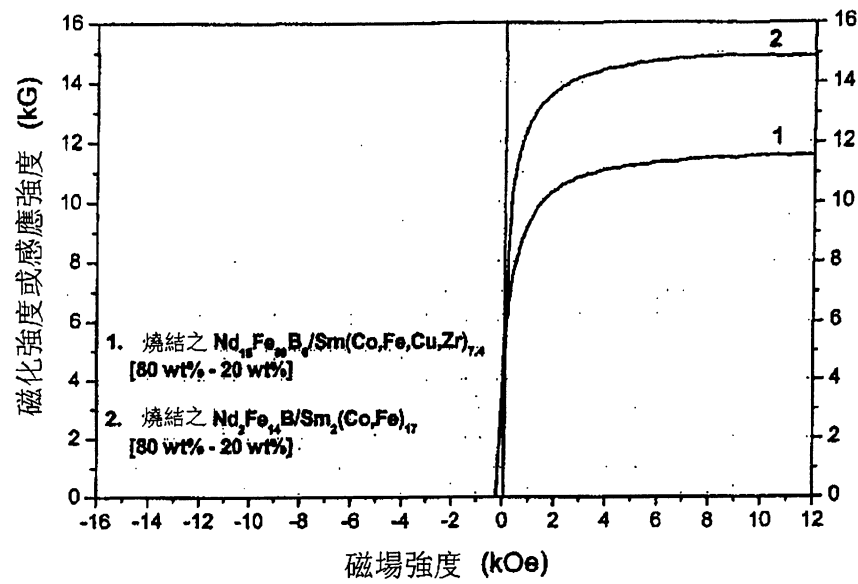


圖 7

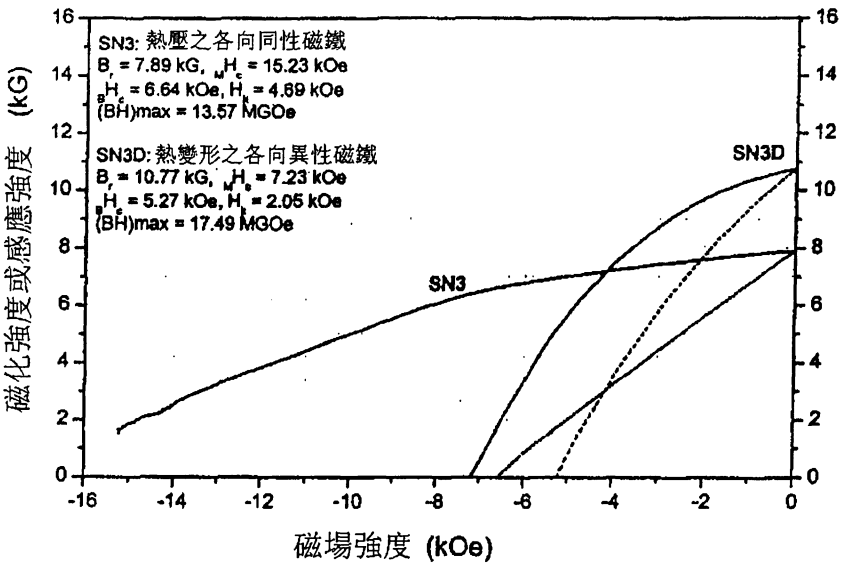


圖 8

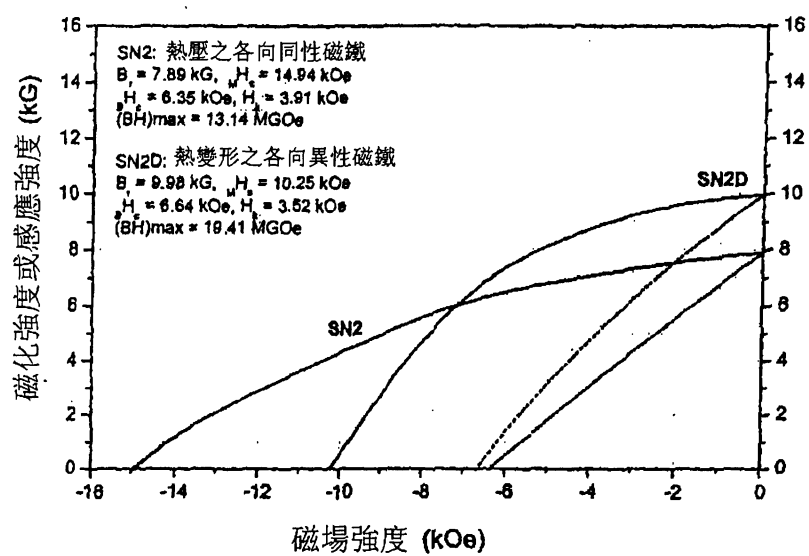


圖 9

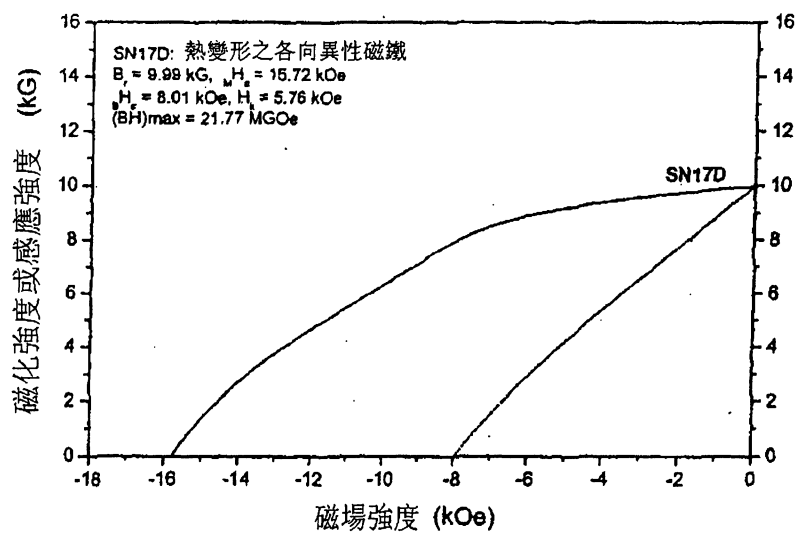


圖 10

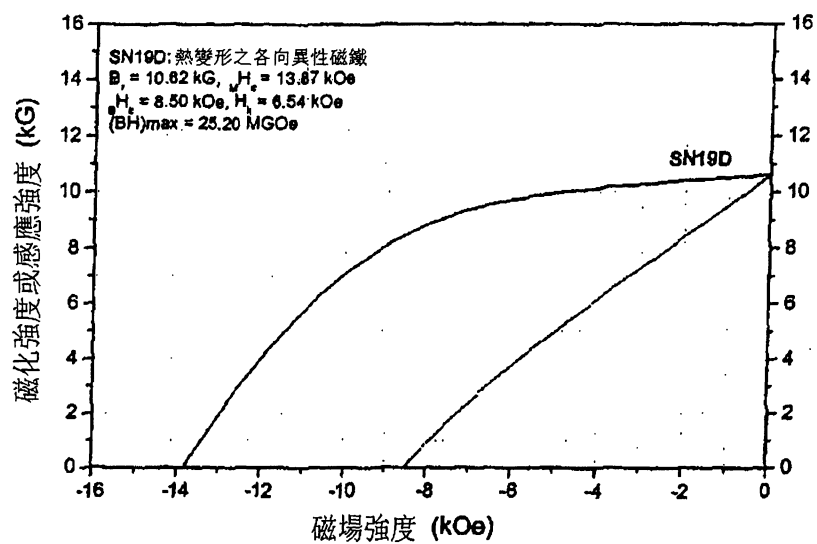


圖 11

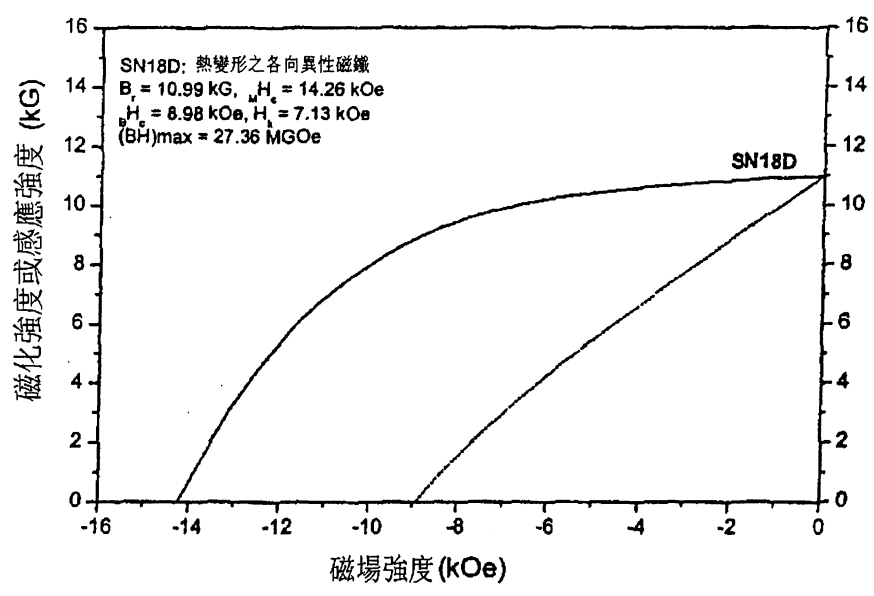


圖 12

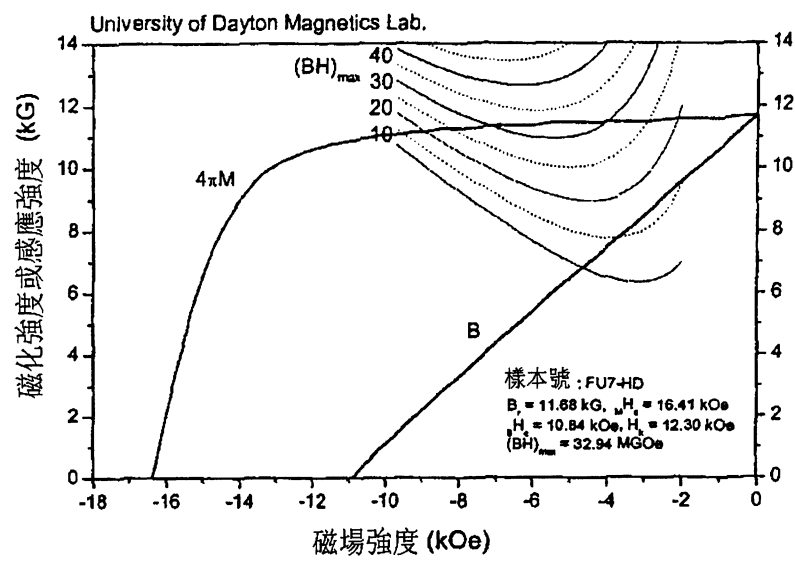


圖 13

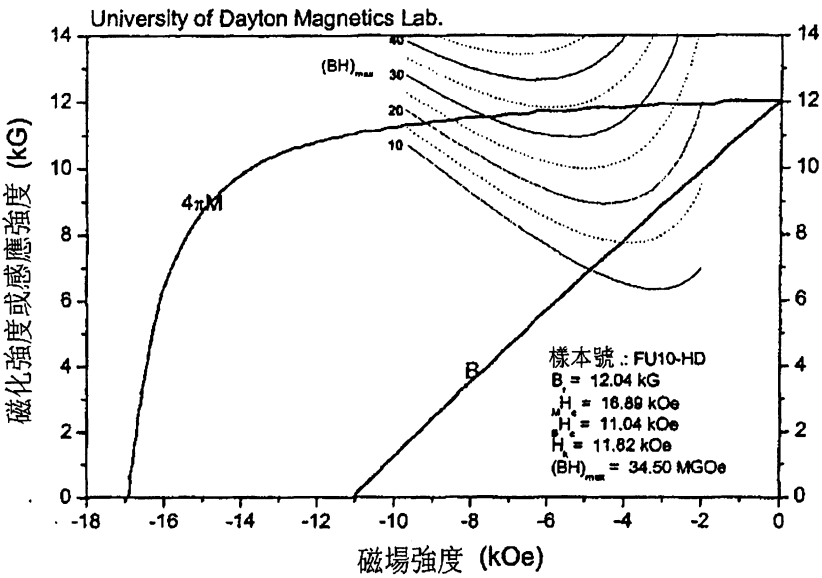


圖 14

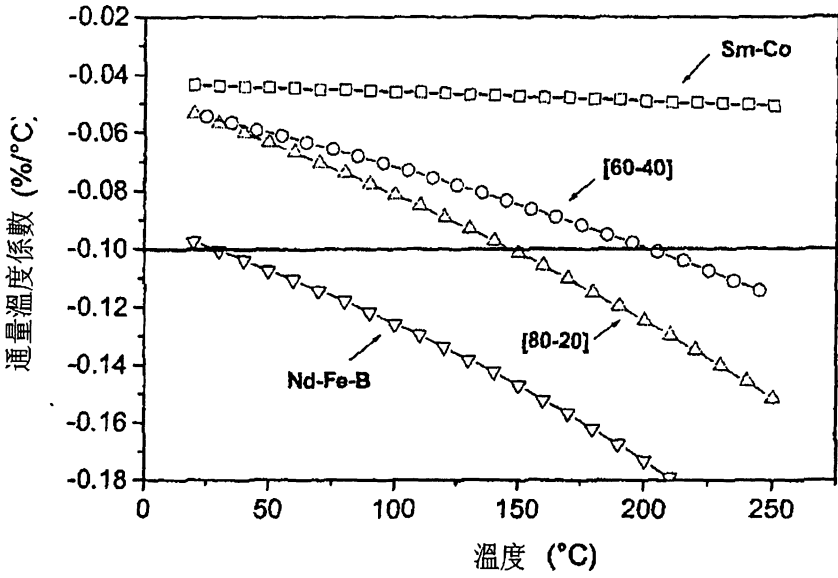


圖 15

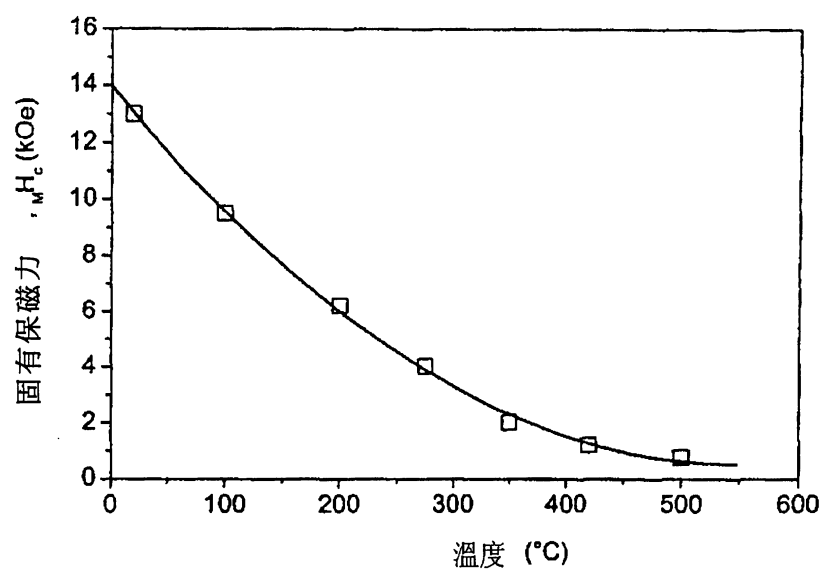


圖 16

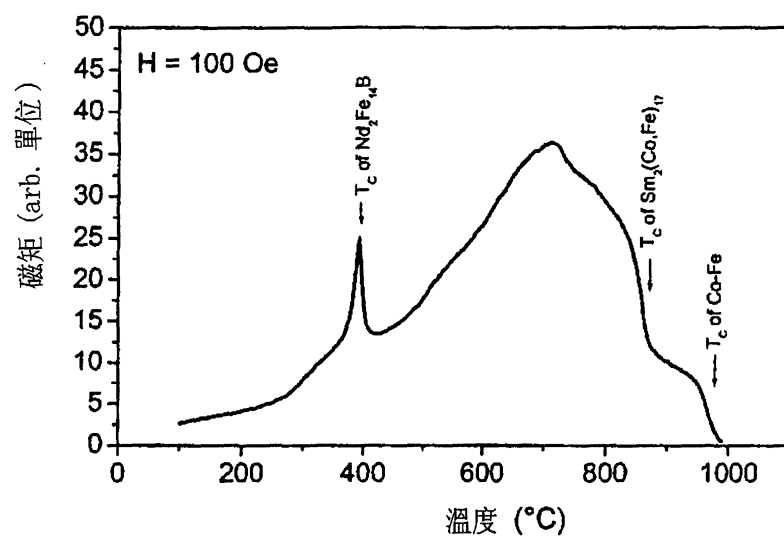


圖 17

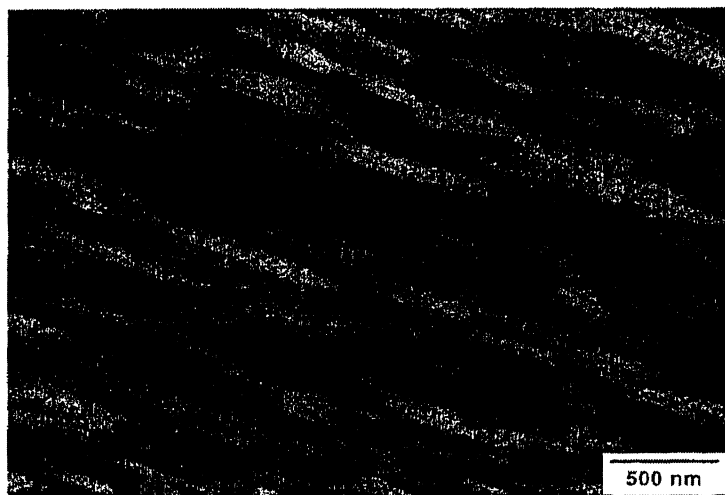


圖 18

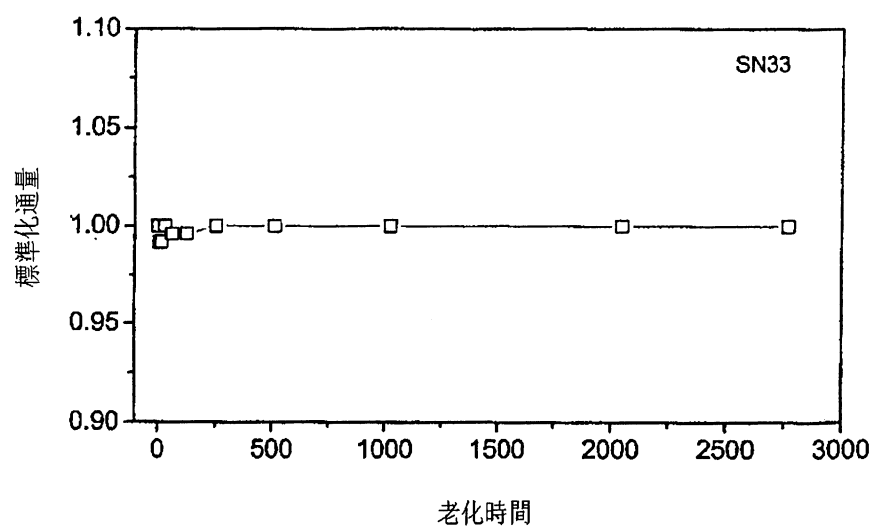


圖 19

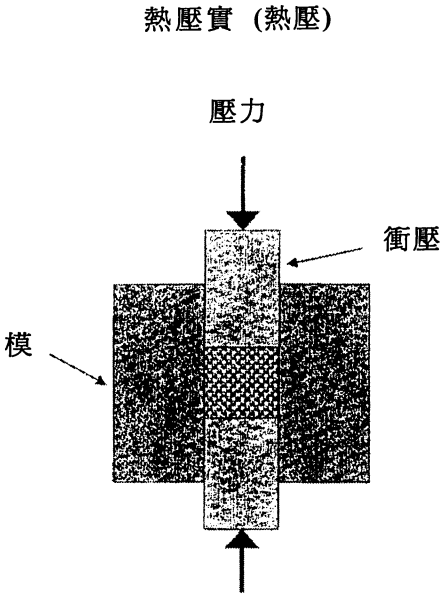


圖 20

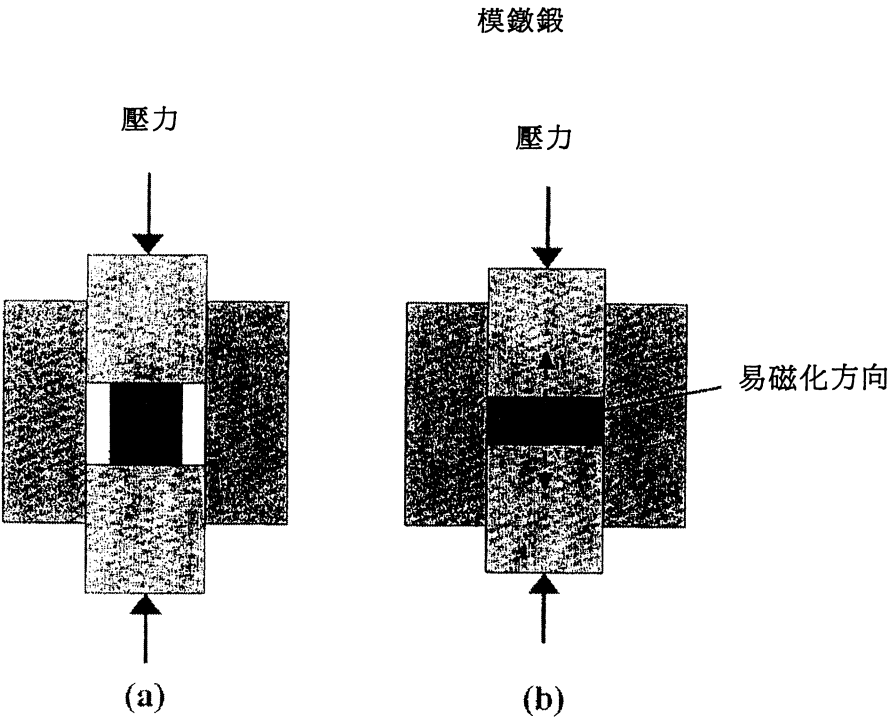


圖 21a

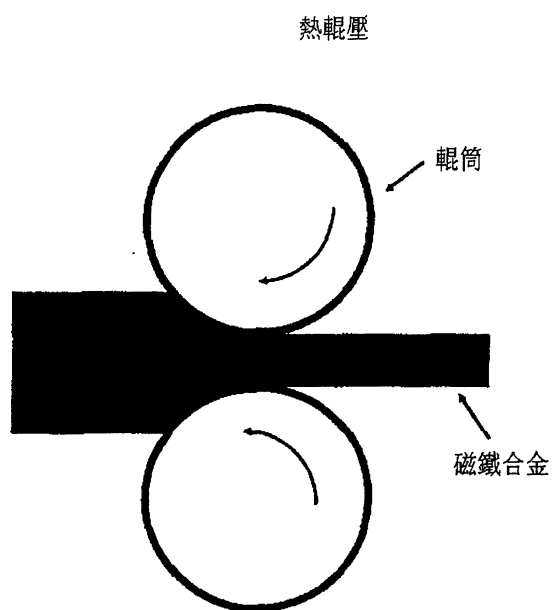


圖 21b

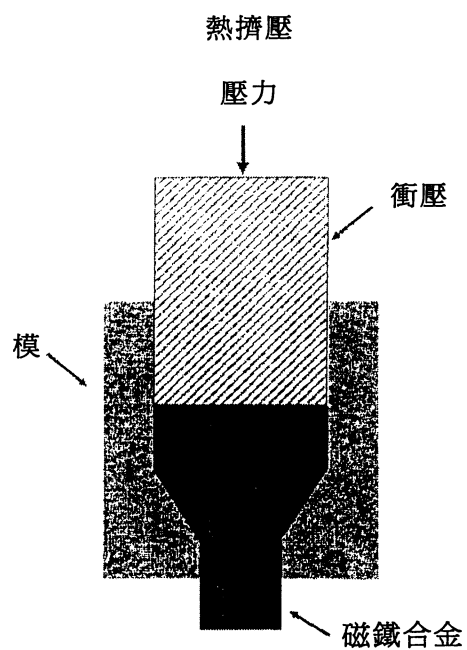


圖 21c

熱拉伸

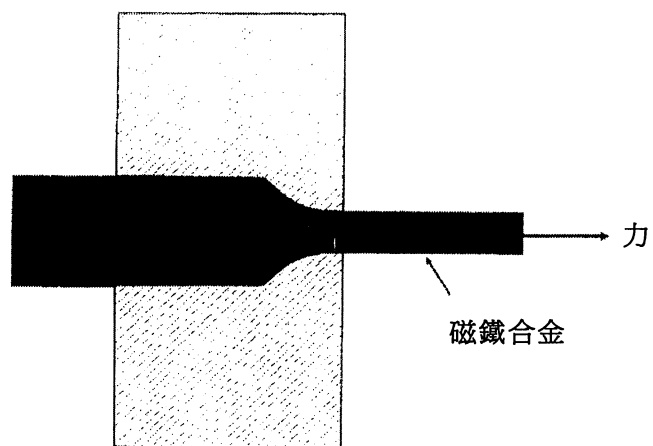


圖 21d

七、指定代表圖：

(一)本案指定代表圖為：第 (1) 圖。

(二)本代表圖之元件符號簡單說明：

(無元件符號說明)

八、本案若有化學式時，請揭示最能顯示發明特徵的化學式：

(無)