

内外 BM 技術動向

専務理事 大森 賢次

2012年5月7日から11日に掛けてカナダのバンクーバーで2012 InterMagが開催された。IEEE Trans. on Magnetics vol.48に論文が掲載されたのでボンド磁性材料に関係していると思われる内容を中心に紹介する。

硬磁性体

華南理工大学(中国)のLiuらは、液体急冷法で作製した $[\text{Nd}_{0.8}(\text{Dy}_{1-x}\text{Y}_x)_{0.2}]_{10}\text{Fe}_{84}\text{B}_6$ ナノコンポジット磁石に於いて、 $x=0.5$ とすることで $(\text{BH})_{\text{max}}=139 \text{ kJ/m}^3$ 、温度係数 $\alpha = -0.090 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ 、 $\beta = -0.394 \text{ \%}/^\circ\text{C}$ を得た。

Electron Energy Corp(USA)のCuiらは、潤滑剤を使わない高エネルギーボールミルで $\text{Nd}_{15.5}\text{Fe}_{78.5}\text{B}_6$ 合金を粉碎し、厚さ100-450 nm、幅0.7-18 μm で[001]軸配向したナノ多結晶片を得た。保磁力は2.3 kOeで $I_{006}/I_{115}=5.3$ であった。450 $^\circ\text{C}$ での熱処理後、保磁力は2.8 kOeまで向上したがその後減少した。

トヨタ自動車の矢野らは、熱間加工で作製したNd-Fe-Bナノ結晶磁石の磁化反転を、バルクで測定可能な中性子偏極スピノ小角散乱法で観察した。反転磁区の大きさは粒子径と同等であるが、連続した構造をしており、単磁区反転は起こらないことが分かった。

McGill大(カナダ)のLiuらは、NdFeB磁石の保磁力改善のためCuを添加してその機構を調査した。第一原理計算の結果によれば2:14:1でFeをCuで置換した際のエネルギーは正であり2:14:1には入らない。ただ、 $16k_1$ サイトのFeをCuで置換するエネルギーは55 meV/Cu(単位胞)であり、650 K程度の高温で置換が起こる可能はある。溶解中または焼結中に2:14:1に溶け込んでいたCuが焼結後の熱処理過程で粒界に出て行く。Ndリッチ相にCuが再分配されると溶融温度が下がるため均一な粒界相になり保磁力が向上する。

Iowa州立大(USA)のTangらは、Zn

粉末と一緒に等方性 $MRE_2(Fe,Co)_{14}B$ 薄帯を真空中温間加工した。配向した板状粒子が TEM で観測できた。Zn の添加は高磁気異方化に効果がある。その結果、等方性薄帯で $(BH)_{max}=9.6$ MGOe であったものが 23.3 MGOe に向上した。また、温度係数は 27-127 °C の範囲で α が -0.09 %/°C、 β が -0.48 %/°C となった。

Warsaw 工科大 (Poland) の Leonowicz らは、液体急冷法や吸上げ法で作製した $Nd_{7-x}Fe_{79-x+y-z}B_{14-y}Ti_z$ ($x=0, 1, 2; y=0, 1, 2; z=0, 4$) 合金の磁気特性を調べた。最高の特性は $Nd_8Fe_{74}B_{14}Ti_4$ で $(BH)_{max}=143$ kJ/m³、 $J_r=972$ mT、 $H_c=648$ kA/m となった。これは Ti 添加による相の組織変化と 15-30 nm の微細結晶粒によるものである。

長崎大の福永らは、PLD 法で $Nd_{2.4}Fe_{14}B/\alpha$ -Fe ナノコンポジット厚膜を作製した。レーザのエネルギーを低下させることで磁気特性の再現性が高まった。エネルギーを 200 から 25 mJ/mm² に下げることで、Nd 量の変動は 3% 以下になった。 $(BH)_{max}=112$ kJ/m³ となった。

長崎大の福永らは、シミュレーションにより、硬質相の容易軸に平行な表面層を薄い強磁性の表面層で反強磁性的に結合させることで保磁力増大が可能であることを示した。

IFW Dresden(Germany) の Neu らは、 $SmCo_5/Fe/SmCo_5$ の三層構造で 300 kJ/m³ 程度の最大エネルギー積を得ていたが、 $SmCo_5$ と Fe の個々の厚さを薄くエピタキシャル成長させて多層膜生成を行った結果、Fe 層の割合を高めることができ、400 kJ/m³ 以上の最大エネルギー積を得た。

IFW Dresden(Germany) の Neu らは、三層構造の $SmCo_5/Fe/SmCo_5$ 交換結合膜の磁化過程を MFM で調べた。 $SmCo_5$ 単独の場合は磁壁の強いピンギが磁化反転および保磁力の大きさを決定している。Fe と結合した場合は、熱消磁状態での磁区の大きさは増大し、ニュークリエーションが支配的になる。2 枚の $SmCo_5$ 膜の反転磁界が少し異なっても適宜保障される。Fe 層では 180° らせん状スピンを形作る。

Electron Energy Corp(USA) の Chinnasamy らは、積層した $Sm(Co,Fe,Cu,Zr)_2/Sm_2S_3$ 磁石を 1 工程で作製した。 Sm_2S_3 相は均一でかつ 50-200 nm で制御できた。誘電相であるため電気抵抗を高める効果がある。ラミネート無しものものと比べて減磁曲線や磁気

特性は殆ど変わらなかった。電気抵抗は 30 倍高い値が得られた。 $B_r=10.51$ kG、 $H_c > 24.5$ kOe、 $(BH)_{max} = 25$ MGOe となった。

Electron Energy Corp(USA) の Chinnasamy らは、低エネルギーボールミルで $Mn_{55}Bi_{45+x}$ ($x=0, 7, 11$) 粉を作製した。 x が 0 と 7 では極僅かな Bi 相と 90% 以上の Mn-Bi 低温相で構成されていた。8 時間粉碎すると 7 at%Mn の試料で $(BH)_{max}=11$ MGOe、 $J_r=7.1$ kG、 $H_c=12.2$ kOe となった。

LG Electron(韓国) の Kim らは、自己伝搬燃焼法で $BaAl_2Fe_{10}O_{19}$ ナノ粉を作製した。非晶質体を 850 °C で 2 時間 NaCl と混合して焼成した。NaCl と混合して焼成した場合は板状及び棒状のナノ粉となり、NaCl 無しの場合は棒状ナノ粉となった。NaCl 無しの場合、保磁力が増大した。

Nebraska 大 (USA) の Zhang らは、 $Zr_{16}Co_{78-x}Mo_xSi_3B_3$ ($x=0, 2, 3, 4, 5$) ナノ結晶材の研究を行った。 Zr_2Co_{11} の硬磁性相と Co の軟磁性相で構成される。Co を Mo で置換することで Zr_2Co_{11} 相の量を増大し、平均粒径が増大する。したがって、保磁力は Mo 添加量とともに増大し、 $x=5$ で 7.9 kOe となった。異方性磁界は Mo 量に依存しないことが分かった。

Georgia Tech(USA) の Peterson らは、希土類磁石をレーザで加工した際の磁気特性へのダメージをサブ mm スケールで調べた。側面から 10-20 μ m でダメージを受けることが分かった。

軟磁性体

Hanyang 大 (韓国) の Heejeong らは、方向性 6.5%Si 鋼板を SiO_2 拡散と 600 °C 熱処理で作製した。DO₃ 型の 1/2(100) の逆位相境界が異方的に成長し、針状磁区が増加すると鉄損が増大することが分かった。

JFE スチールの戸田らは、従来の高磁束密度無方向性電磁鋼板と同等の鉄損でかつ 0.02 T 高い磁束密度を有する新しい材料を開発した。Si 含有量は 2 種類で、厚さは 0.35 mm、0.50 mm がある。再結晶組織の改良で得られた。PM モータまたは誘導モータ用に適している。誘導モータでは 1.6 T 以上で動作する場合、1% 以上の効率改善ができた。

Sydney 工科大 (Australia) の Guo らは、SMC を固定子としたクローポールモータのコアロス計算した。22x22x22 mm³ 大きさの SMC 試料で x, y, z 方向の交流磁気測定、

xOy, yOz, zOx 面での回転磁場での磁気測定を行った。それらの結果を基にして 3 次元のコアロスを計算した結果、測定値と良い一致が見られた。

INRIM(Italy) の Appino らは、SMC における古典的な渦電流損を計算した。無秩序な粒子間接触による電気伝導の数値的損失モデルを作成して粒子内部と粒子間の渦電流を分離して評価することができた。

UESTC(中国) の Zhong らは、 $Fe/Ni_xZn_{1-x}Fe_2O_4$ ($x=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$) 軟磁性体を化学的共沈殿法で作製した。Fe の表面を NiZn フェライトで覆っている。最大飽和磁化は $x=0.7$ で得られたが、10-100 kHz でのロスは $x=0.7$ で最大、 $x=0.3$ で最小となった。透磁率スペクトルの解析結果、被覆したフェライトにおける磁壁移動とスピンの回転によるものが同等になっていることが分かった。

香港理工大 (中国) の Wang らは、高周波用コンバータ用ボンド磁性コアの研究をした。NiZn フェライト ($Fe_2O_3/NiO/ZnO(50:20:30)$) を磁粉として、PMMA と混合して E 型のフライバックコンバータの特性を調べた。磁束を 2 次元有限要素法で求めた結果と良く一致した。

東北大の島田らは、化学還元法で非晶質 $Co_xFe_{1-x}B$ 粒子を作製した。 $x=0.90-0.95$ で磁歪がなくなるため優れた軟磁性を示した。高い透磁率がチェーン状形状により実現した。400 °C までの熱処理では高い透磁率にあまり変化は見られなかった。初透磁率の周波数分散に 2 つの共鳴が見られたが、一つはチェーン状の形状異方性に起因する。電磁ノイズの吸収体としての利用が可能である。

INRIM(Italy) の Caprile らは、5-25 nm 大きさの酸化鉄磁性ナノ粉を 0-30% 樹脂に混ぜて試料を作製した。誘電率と透磁率を直流から 30 GHz の範囲で測定した。ナノ粉の量で誘電率、透磁率が制御できることが分かった。

愛媛大の鎌田らは、トリベンジルアミンとトリオクチルアミンを界面活性剤として $Fe(CO)_5$ と混合し、熱分解して Fe のナノ粉を作製した。界面活性剤を 2 種類混合して Fe 粒を作製した結果、直径 6.7 nm の多面体構造を得た。また、単結晶であることは HRETEM や XRD で確かめた。5K および 300 K での J_s はそれぞれ 194 と 183 emu/g net であった。