

内外 BM 技術動向

専務理事 大森 賢次

2013年11月4日から8日に掛けてデンバーで第58回MMMが開催された。Journal of Applied Physics vol.115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

北京航空航天大学 (中国) の AN らは、異方性ナノ結晶磁石 ($\text{SmCo}_{6.1}\text{Si}_{0.9}$) の薄片を、界面活性剤を用いた高エネルギーボールミルで作製し、SPS法で固化した。オレイン酸(OA)を用いた場合にはオレイルアミン(OY)を用いた場合に比べて高い配向が得られたが、保磁力は4.2 kOe (OA) となり7.7 kOe (OY) に比べて低くなった。SPS時の温度を高めると配向は少し劣化した。密度が上がることで保磁力が改善した。なお、フルデンスにした場合には焼結温度が高いため結晶粒の成長が進み保磁力は低下してしまっただ。

北京工業大学 (中国) の LI らは、界面活性剤を用いた高エネルギーボールミルで $\text{SmCo}_{6.6}\text{Nb}_{0.4}$ のナノ粉を試作し保磁力機構を調べた。磁化曲線の測定で、磁壁ピンングが支配的であることが分かった。また、保磁力の印加磁界依存からもピンング効果であることを確認している。

サムソン日本研究所の福崎 らは、液体急冷法で $\text{Sm}(\text{Co}_{1-x}\text{Cu}_x)_5\text{Fe}_{0.54-y}\text{M}_y$ ($x=0.1-0.5$, $y=0-0.43$, $M=\text{Zr, V, Nb, Mo, Ta}$) を試作した。 $\text{Sm}(\text{Co}_{1-x}\text{Cu}_x)_5\text{Fe}_{0.54}$ ($x=0.1-0.5$) では $x=0.3$ で17.6 kOeの高保磁力が得られた。また、高融点金属程保磁力は高くなり $\text{Sm}(\text{Co}_{0.7}\text{Cu}_{0.3})_5\text{Fe}_{0.34}\text{Ta}_{0.2}$ で24.5 kOeとなった。

UT Arlington (USA) の POUDYALL らは、高エネルギーボールミルで $\text{SmCo}_3/\alpha\text{-Fe}$ ナノコンポジット粉を試作し、温間圧縮でバルク状にして、軟磁性相の割合と磁気特性の関係を調べた。結晶の大きさは20 nm以下であり SmCo_3 相に $\alpha\text{-Fe}$ が均一に分散していることを確認した。相間の交換結合が強くなるため単相のような減磁曲線にな

り、25 wt% 軟磁性相を含む等方性の磁石で $(\text{BH})_{\text{max}}=13.5$ MGOe となった。また、温度を高めた場合には単相の SmCo_3 に比べて高いエネルギー積となった。

長崎大学の藤 らは、780 層 (10 μm 厚さ) $\text{SmCo}/\alpha\text{-Fe}$ ナノコンポジット薄膜磁石をパルスレーザ法で作製した。 $\alpha\text{-Fe}$ の厚さは約10-20 nmであった。熱処理で粒間の拡散はあったものの $\text{Sm}/(\text{Sm}+\text{Co})=0.16$ 、 $\text{Fe}/(\text{Sm}+\text{Co}+\text{Fe})=0.47$ の組成で、 $(\text{BH})_{\text{max}}$ は 100 kJ/m^3 となった。

長崎大学の堀川 らは、 $\text{SmCo}_5/\alpha\text{-Fe}$ 積層磁石の磁気特性のコンピュータシミュレーションを行った。300 K と 473 K で異方性は 800 kJ/m^3 と 700 kJ/m^3 となった。コアシェル構造の結果とほぼ一致しており、473 K での値は $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\alpha\text{-Fe}$ 積層磁石に比べて高い結果となった。等方性磁石では、積層の周期が300Kと473Kでそれぞれ20 nmと25 nmとなり、エネルギー積はそれぞれ 300 kJ/m^3 と 250 kJ/m^3 となった。

中国科学院物理研究所 (中国) の ZOU らは、界面活性剤を使った低エネルギーボールミルで PrCo_5 の配向したナノ片を試作した。平均結晶粒の大きさは10 nm以下であり、厚さは50-100 nm、長さは0.5-5 μm であった。異方性磁石で保磁力は7.8 kOeであった。

Nebraska 大学 (USA) の ZHANG らは、ディスクの線速度を30 m/sから70 m/sに速めた液体急冷法で PrCo_5 を試作した。その結果、結晶磁気異方性が小さい $\text{Pr}_2\text{Co}_{17}$ と $\text{Pr}_5\text{Co}_{19}$ 相の生成を抑えることができ、保磁力が3.2 kOeから10.3 kOe、エネルギー積が4 MGOeから13.7 MGOeに増大できた。磁化反転機構は核生成とピンングの混合であり保磁力の温度係数は -0.16% /K (300 K-700 K) であった。焼結の SmCo_5 に比べて小さく高温でのボンド磁石に適している。

重慶科技学院 (中国) の MA らは、Nb と Zn を組み合わせて添加した $(\text{NdDy})_{11.5}\text{Fe}_{82.5-x}\text{Nb}_x\text{B}_6$ ($x=0-2$) 合金を熱間塑性変形させて磁気特性と微細構造の変化を調べた。 B_c と H_C は Nb のみより Nb と Zn を組み合わせて添加することで間違いなく増大できた。Nbは粒間相の体積割合を増大し、Znが粒界に拡散し易くする働きをする。この粒界の変化が熱間塑性変形時にc-軸配向を容易にする。また変形割合を高めることで、保磁力も22%増大した。これはZnが粒界に拡散することでNdFeB粒間の磁

気的な結合が弱まったためである。

Darmstadt 工科大 (Germany) の SAWATZKI らは、熱間塑性変形し易く組成調整したNd-Fe-B急冷粉を低融点のDyCu, DyNiAl, NdCuやNdAlと一緒に変形させることで保磁力を増大することを見出した。600°Cの熱処理でNd-Fe-B薄片とDyリッチ相間でNdとDyの相互拡散が起こったため、磁化を減少させずに保磁力を増大させることができた。DyNiAlと比較してDyCuでより高い保磁力が得られた理由は、より低融点であったためである。NdCuやNdAlでは熱処理効果が無いことが分かった。

CISRI (中国) の ZHENG らは、 $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ 濃度と被覆時間を変えることで、Nd-Fe-B粉末表面被膜の厚さと被覆の連続性を変化させた。2 mol/lの場合 CaF_2 被膜は不連続であった。30分間浸した際には410-450 nm厚さの連続で密な被膜になった。5.5 mol/lの場合は710-900 nm厚さになった。電気抵抗はそれぞれ680と890 $\mu\Omega\text{cm}$ になりコート無しの場合に比べて195%と287%に増加した。 CaF_2 の厚さが増加すると保磁力は減少したが、残留磁束密度の減少は僅かであった。2段階のプロセスで処理した磁石で電気抵抗が847 $\mu\Omega\text{cm}$ 、エネルギー積が47.2 MGOeと最も高い値が得られた。

北京工業大学 (中国) の LIU らは、 CuZn_5 粉を添加して $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 焼結磁石を作製すると保磁力は徐々に増大し、残留磁束密度は僅かに減少するものの耐腐食性が高まることを見出した。ZnとCuは主にNdリッチ相に入り、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 相とNdリッチ相間の濡れ性を改善して主相の欠陥を修復することが保磁力向上の理由である。このような修飾された微細構造は粒間で起こり易い腐食を抑え、NaCl電解液中での優れた耐腐食性を保持する。

KEKの大鳥 らは、走査型透過X線顕微鏡(STXM)で磁化の分布像を得てNd-Fe-Bナノ結晶磁石の磁化反転プロセスを調べた。その結果、交換相互作用のエネルギーに比べて、双極子相互作用によるエネルギーが主な原因であることを見出した。

Grenoble Alpes 大学 (France) の AKDOGAN らは、5 μm 程度のNdFeB厚膜の磁気特性に及ぼすNdとCuの影響を調べた。450°Cで蒸着し、500°C/10 minの急速熱処理をした。高保磁力はNd(17.5 at%)-Cu(1.5 at%)で2.75 Tとなった。より高濃度のNd,Cuでは保磁力と配向度の両方

が低下する結果となった。

Iowa 州立大学 (USA) の TANG らは、液体急冷法で作製した MRE-Fe-B 薄片に蒸着で Zn を 0.5-1 wt% コートすると保磁力が約 1 kOe 増大することを見出した。また、0.5 wt% 付けた後、最適な条件 (700°C - 750°C) で真空中変形した結果、保磁力は 11.2 kOe、エネルギー積は 23 MGOe となった。SEM や TEM での観察結果によれば Zn が粒界に拡散していることが分かった。

釜慶大学校 (韓国) の KWON らは、HDDR で試作した $\text{Nd}_{12.5}\text{Fe}_{80.6}\text{B}_{6.4}\text{Ga}_{0.3}\text{Nb}_{0.2}$ 粉をボールミル粉碎で細かくすると保磁力が急激に低下するがその主な原因は表面酸化であることを化学的なエッチングをすることで明確にした。

九工大の竹澤らは、150°C まで温度を上げてカー効果を使った顕微鏡で、Nd-Fe-B 焼結磁石の磁化反転の様子を観察した。温度の上昇とともに同時に起こる磁化反転量は増加した。異方性エネルギーの減少と粒界での磁壁ピニングが不十分になることが起因している。

NIMS の LIU らは、熱間加工した Nd-Fe-B 磁石の微細構造の成長過程を TEM および 3 DAP で調べ、異方性の成長は圧力が掛かっていない状態で進むことを明らかにした。板状粒子の側面に比べて、板表面に高濃度の希土類元素が存在していることを 3 DAP で明らかにした。

NIMTE CAS (中国) の ZHANG らは、 $\text{Dy}_{82.3}\text{Co}_{17.7}$ (wt%) を添加した Nd-Fe-B 焼結磁石について調べた。僅かな添加で保磁力は増大し、不可逆損失も減少した。キュリー温度の上昇は 2 : 14 : 1 主相へ Co が入ったことによる。微細組織を観察した結果、コアシェル構造ができていたことが分かった。

山形大学の小池らは、 Al_2O_3 (0001) 基板に bcc-Mo (111) をバッファ層として付け、その上に 30 nm の Nd-Fe-B と、Dy と Nd が合計で 20 nm となる薄膜を形成して、470°C で熱処理した。Dy と Nd がそれぞれ 10 nm の場合は保磁力にあまり変化は見られなかったが、Dy が 0.8 nm、Nd が 19.2 nm の場合には保磁力が増大して 22.1 kOe となった。

NIMS の秋屋らは、 $\text{Pr}_{70}\text{Cu}_{30}$ 共晶合金を拡散元として熱間加工した Nd-Fe-B 磁石に拡散させたところ、保磁力は 1.65 T から 2.56 T に増大した。RE リッチ粒間相は c 面に平行に入り、磁石は c 軸方向に伸びた。

高麗大学校 (韓国) の KIM らは、Nd-Fe-B 焼結磁石に含まれる Cu 濃度の影響を調べた。0.2 at% の Cu を含んだ場合には焼結後の理想的な熱処理後保磁力は 28.7 kOe から 27.1 kOe に減少した。この時、Cu が富んだ c-Nd₂O₃ 三重層や粒界層が見られた。いっぽう、0.5 at% の Cu を含んだ場合には、Cu が富んだ相は h-Nd₂O₃ 相となり、変形した焼結後の熱処理で c-Nd₂O₃ 相に転移した。保磁力は 27.1 kOe から 29.4 kOe に増大した。

高麗大学校 (韓国) の KIM らは、Nd-Fe-B 焼結磁石に DyF₃ や DyHx を添加する場合、混合して添加したほうが単独の場合に比べて良好であることを見出した。

中国科学院物理研究所 (中国) の ZUO らは、界面活性剤を使ったボールミルで配向した $\text{Pr}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ ナノ片を試作した。ナノ片の厚さは 50-150 nm、長さは 0.5-2 μm であった。磁界を印加して配向させた結果、面に垂直方向が容易軸であることが分かった (SmCo₅ の場合は面内が容易軸となった)。保磁力は 3.9 kOe であった。

NIMTE (中国) の ZHANG らは、オレイルアミンを界面活性剤、2-メチルペンタンを溶媒にして、液体窒素で冷却しながらボールミルで $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$ ナノ片を試作した。室温で実施した場合に比べて、均一で細かな結晶となり、残留磁化、飽和磁化、およびその比が著しく増大することを見出した。

Electron Energy Corp.(USA) の CUI らは、溶媒をヘプタン、界面活性剤 (オレイン酸) を 10 または 20 wt% 添加した高エネルギーボールミルで 1-2.5 μm の $\text{Sm}_{14}\text{Fe}_{86}\text{N}_x$ および 1-80 μm の $\text{NdFe}_{10.5}\text{Mo}_{1.5}\text{N}_x$ 粉を粉碎した。 $\text{Sm}_{14}\text{Fe}_{86}\text{N}_x$ では 3 時間の粉碎で厚さ 250 nm、長さ 1-4 μm の薄片が得られ保磁力は 12.3 kOe となった。 $\text{NdFe}_{10.5}\text{Mo}_{1.5}\text{N}_x$ では 12 時間の粉碎で厚さが 100 nm 以下、長さが 1-16 μm の薄片が得られ保磁力は 8.7 kOe となった。いずれの薄片も異方性が確認できた。

KEK の今見らは、20 μm の $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$ 単結晶の構造解析をシンクロトロン放射光による X 線回折装置で行った。空間群は R-3m であり、格子定数は a=b=8.7206 Å, c=12.6345 Å と決定できた。また、Sm および Fe 原子の位置についても正確に決定することができた。

北京大學 (中国) の YANG らは、MnBi と $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$ 粉と一緒に粉碎して異方性の

MnBi/ $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$ ハイブリッド磁石を試作した。履歴曲線は滑らかであり交換結合が上手く作用していることが分かった。MnBi/ $\text{Sm}_2\text{Fe}_{17}\text{N}_x$ を 3/7 とした磁石は 250 K から 380 K で残留磁束密度と保磁力の両方が高く、エネルギー積は 300 K で 18 MGOe、380 K で 10 MGOe となった。

北京工科大学 (中国) の ZHANG らは、MnBi/SmFeN の異方性ハイブリッドボンド磁石の検討を行った。MnBi を 0 から 100 wt% まで変化させた結果、密度は 4.27 g/cm³ から 6.3 g/cm³ まで直線的に増加したが、293 K での保磁力は変化しなかった。MnBi 単体の保磁力は 293 K で 10.76 kOe から 373 K で 16.5 kOe に増加した。373 K での保磁力は 40 wt% MnBi の場合、純粋な SmFeN に比べて 19% 大きくなった。80 wt% MnBi では保磁力の温度係数は -0.11 %/K (SmFeN 単体の場合は -0.42 %/K) であり、MnBi 単体では 0.67 %/K となった。

中国物理科学研究所 (中国) の LIU らは、オレイルアミンやオレイン酸を界面活性剤として用いた高エネルギーボールミルで低温相 Mn-Bi ナノシートを試作した。約 10 時間の粉碎時間で保磁力は 14.3 kOe のピークを示した。厚さは数 10 nm であり、直径は 1.5 μm となり、室温で 22.3 kOe の保磁力、強い (001) 結晶配向を示した。保磁力機構は磁壁のピニングが主体である。437 K での保磁力も 17.8 kOe と高い値を示した。正の温度係数がボンド磁石で存在した。

Texas at Arlington 大学 (USA) の MA らは、単相の MnBi 磁石 (BH)_{max}=6.3 MGOe を作製した後、ナノサイズの Co(Fe) を添加してコンポジット磁石を試作した。ナノフレークの場合、保磁力は劇的に減少したが、ナノワイヤーを添加した場合には保磁力の減少はなく、磁化が高められた。しかしながら減磁曲線にはキックが見られた。また、ソフト相が 10 wt% を超えると凝集効果のためか保磁力は減少した。

California 大学 (USA) の NGUYEN らは、スパークエロージョンによる急冷法で低温相 (LTP)-MnBi を試作した。主な粉末は 20-30 nm の大きさであった。短時間の熱処理で Hc は数 kOe ではあったが、磁化は理論値の 90% 以上になった。これらの様子は XRD でも確認しており、等方性で (BH)_{max}≈3.0 MGOe となった。

Florida 州立大学 (USA) の BROWN らは、メカニカルミルでバルク状の Mn_{1-x}Ga_x 合金

を作製し、熱処理後 18.8 kOe の保磁力を得た。薄膜ではこれまで報告があった。

北京大学 (中国) の WEI らは、立方晶 γ 相の塊を熱処理することで DO_{22} 相を有する Mn_{3-x}Ga ($x=0-0.15$) の作製に成功した。印加磁界 7 T での磁化は x が増えると劇的に増大した。これは 2b サイトの Mn が大きなイオン半径を有する Ga で置換されることで c 軸が伸びるためである。 $\text{Mn}_{3.0}\text{Ga}$ の保磁力は 5 K と 300 K でそれぞれ 21.4 kOe と 18.2 kOe となった。

北京工科大学 (中国) の LU らは、高純度の Mn と Ga を浮遊体溶解し、熱処理することで高飽和磁束密度と高キュリー温度を有する Mn_3Ga_2 合金を得た。正方晶の P4/mmm 構造を有し、保磁力 4.18 kOe、飽和磁化 50.81 emu/g、キュリー温度は 650 K であった。なお、823 K 以上で相変態を起こすことが分かった。

IMR CAS (中国) の FENG らは、液体急冷法で $\text{Mn}_{60+x}\text{Ga}_{40-x}$ ($x=0,5,10,15$) を試作し 673 K で 1 時間熱処理した。磁性相としては $\text{Mn}_8\text{Ga}_5\text{Mn}_{1.86}\text{Ga}$, $\text{DO}_{19}\text{-Mn}_3\text{Ga}$, $\text{DO}_{22}\text{-Mn}_3\text{Ga}$ が見られた。キュリー温度は $x=0-5$ で 125 K-185 K となった。 $x=10$ で六方晶 $\text{DO}_{19}\text{-Mn}_3\text{Ga}$ は 185K 以下の温度で斜方晶に歪んだ。室温での保磁力は $x=0, 5, 10, 15$ でそれぞれ 0.13, 4.4, 8.1, 7.7 kOe となった。

東海大学 (台湾) の CHANG らは、液体急冷法で $\text{Co}_{86.5}\text{Hf}_{11.5-x}\text{Zr}_x\text{B}_2$ ($x=0-5$) 薄帯を試作した。ロールの周速を 40 m/s とした際には、 $(\text{BH})_{\text{max}}=34.4-52.8 \text{ kJ/m}^3$, $H_{\text{CJ}}=176-216 \text{ kA/m}$ が $x=0-2$ で得られた。 $x=3-5$ では非晶質になり軟磁性を示した。Zr を Hf で置換すると結晶粒径が 10-35 nm ($x=0$) から 5-15 nm ($x=1$) と微細化に効果があることが分かった。最適な組成は $\text{Co}_{86.5}\text{Hf}_{10.5}\text{Zr}_1\text{B}_2$ であり、 $\text{Co}_{11}(\text{Hf,Zr})_2$ の硬磁性相と fcc Co 相の間の交換結合力による。

Nebraska 大 (USA) の JIN らは、周速度 55 m/s の液体急冷法でナノ結晶を有する $\text{Zr}_{16}\text{Co}_{84-x}\text{Mo}_x$ ($x=0-2.0$) を試作した。菱面体構造の $\text{Zr}_2\text{Co}_{11}$ ハード相と少しの軟磁性相で構成されている。Mo は主に菱面体の $\text{Zr}_2\text{Co}_{11}$ の Co サイトを置換した。ハード相の結晶粒径に変化はあまりなかったが、ソフト相の粒径は 200 nm から 50 nm に減少した。その結果、 $x=0$ で保磁力が 0.6 kOe、エネルギー積が 0.5 MGOe だったものが、 $x=1.5$ で保磁力が 2.9 kOe、エネルギー積が 4.2 MGOe に増大した。

千葉工業大学の齊藤 らは、Co-Zr-B 磁石を SPS 法で作製した。密度は 92-96 % であり、主な相は Co_xZr ($x \approx 5$) であった。保磁力は固化温度と B 量に強く依存した。873 K で固化した $\text{Co}_{80}\text{Zr}_{18}\text{B}_2$ 磁石で $(\text{BH})_{\text{max}}=6.0 \text{ MGOe}$, $B_r=6.4 \text{ kG}$, $H_{\text{CJ}}=4.0 \text{ kOe}$ が得られた。

Minnesota 大 (USA) の JIANG らは、FeN ロッド中の Fe_{16}N_2 相を α' から α'' 相に転移させるために 9 T という高磁場で熱処理することを試みた。XRD によれば Fe_{16}N_2 相の体積割合は 22 % まで増大できた。これは α' から α'' への転移が 78 % になっていることに相当する。飽和磁化は 227 emu/g まで増加し、保磁力は 376 Oe となった。

IIT Mandi (India) の MANCHANDA らは、 L1_0 オーダー FeNi の結晶磁気異方性を高めるための置換元素を Al, P, S, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co などとしてコンピュータシミュレーションで調べた。Cr と S の置換および B を格子間に侵入させた場合に改善できるということが分かった。

Delaware 大 (USA) の HU らは、 $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6\text{PtCl}_6$ を前駆体として NaCl と一緒に粉砕し、5% H_2 、95% Ar 雰囲気中で 350 °C から 500 °C の範囲で 2 時間還元した後、NaCl を水で除去して FePt ナノ粒子を得た。XRD によれば fct-FePt ($\text{L1}_0\text{FePt}$) になっていることが分かった。前駆体量を少なくして (10mg/20g NaCl) 長時間 (15h) 粉砕するとより小さくサイズのそろった粒子が得られた。保磁力は、粉砕時間にはあまり影響受けないが、前駆体の量が少なくなると 10.8 kOe から 4.8 kOe に減少した。

Northeastern 大 (USA) の VILLACORTA らは、液体急冷法で $\text{Fe}_{34}\text{Co}_{33}\text{Mn}_{33}$ 薄帯を試作した。コンセプトは反強磁性の Mn リッチな γ 相と強磁性の α -FeCo を固形後の工程で実現することである。最高の特性は 673 K で 30 min の熱処理で得られた。微細組織を最適化することで次世代磁石として貢献できると予測する。

Northeastern 大 (USA) の OBI らは、脱イオン水にグルコン酸 (GA) の添加量を 0 から 5 vol% に変化させてサブミクロンのバリウムフェライトに 30 分間の超音波による分散処理を施した。角形性 (SQ) で 18 %、エネルギー積で 69 % の増大が確認でき、GA の量をさらに増やすと SQ と $(\text{BH})_{\text{max}}$ は減少してしまった。

軟磁性材料

東北大学の ZHANG らは、ラメラ型 $\text{Fe}_{84.3}\text{Si}_4\text{B}_8\text{P}_3\text{Cu}_{0.7}$ ナノ結晶を SPS 法で 1.0-2.0 mm のフレークに固めた。密度は 96.4 % のコアが均一なナノグラニューな α -Fe (~31 nm) でできた。ラメラ型の微細構造は低コアロスを得るために重要であることが分かった。

東北大学の SHARMA らは、高磁束密度の $\text{Fe}_{85}\text{Si}_2\text{B}_8\text{P}_4\text{Cu}_1$ ナノ結晶を従来の 400 °C / min の加熱速度で熱処理した。1.85 T の磁束密度と 6 A/m の保磁力が得られた。結晶粒径 15-32 nm のナノ結晶薄帯で保磁力 6-140 A/m、1.5 T、50 Hz のコアロスは 0.39-5.0 W/kg が得られた。

Carnegie Mellon University (USA) の SHEN らは、1.9 T 以上の高い磁束密度、低損失、高温安定性を有する軟磁性ナノコンポジット ($\text{Fe}_{65}\text{Co}_{35}$) $_{81+x}\text{B}_{12}\text{Nb}_{4-x}\text{Si}_2\text{Cu}_1$ 合金を高周波インダクタや電流センサーとして検討した。異方性磁界は熱処理温度 (340-450 °C) が高くなるとともに減じ、その後飽和するが、これは結晶質相に比べて高い異方性磁界を示すことに関係している。低温での熱処理で $14 \times 10^3 \text{ erg/cm}^3$ を超える一軸異方性得られた。

Electron Energy Corp. (USA) の CUI らは、Fe, Co, Ni の硝酸塩を熱分解しその後水素還元することで $\text{Fe}_x\text{Co}_{100-x}$ ($x=65, 50, 34$), $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}$ のサブミクロンおよびナノサイズの粒子を試作した。Fe-Co と $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}$ の粒子の大きさはそれぞれ 28-200 nm および 70-480 nm であり、結晶粒子径の大きさはそれぞれ 16-29 nm および 20-24 nm であった。Fe-Co の磁化は 207-224 emu/g であり保磁力は 59-228 Oe であった。特に $\text{Fe}_{65}\text{Co}_{35}$ では磁化が 224 emu/g (~2.3 T) であった。 $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}$ の磁化は 135-137 emu/g であり、保磁力は 59-111 Oe であった。

CNRS (France) の BARRIERE らは、結晶粒径、熱処理条件、圧縮率、バインダーなどを変えた SMC コアにおいて高周波での損失を調べた。磁化が 1.25 T 以下であれば回転磁界によるロスと交番磁界によるロスの比率は成形条件に依存しなかったが、より高い磁化になると回転磁界を増大させると磁壁の消失に関係して帯磁率が低下することが分かった。