

内外 BM 技術動向

専務理事 大森 賢次

Intermag 2015 が 2015 年 5 月 11 日から 15 日にかけて北京 (中国) で開催された。その一部が IEEE Transaction on Magnetics Vol.51 Nov. 2015 (11) に掲載されたのでアブストラクトなどを参考にして興味ある論文を紹介する。

硬磁性材料

CAS (中国) の ZHAO らは、Co 基の $\text{La}_{0.7}\text{Sr}_{0.3}\text{CoO}_3$ (LSCO) 薄膜において歪誘導による高保磁力化の検討を行った。 $\text{Zr}_2\text{Co}_{11}$: Fe-Co ナノコンポジットで $(\text{BH})_{\text{max}}$ は 19.5 MGOe が得られた。

東北大学の杉本らは、ストリップキャストで Nd-Fe-B 合金を作製し、HD 処理で粗粉とし、HDDR 処理した後、He ジェットミルで極細粉を試作した。粉末の平均粒径は $0.54 \mu\text{m}$ であり、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ の単磁区粒径程度であったが保磁力は期待した値に比べて低い結果となった。He ジェットミル前に粉末表面に Nd リッチ相を付けて 600°C で 30 min 熱処理した結果、保磁力は 2 T となった。GBD プロセスがニュークリエーションサイトを減じ、保磁力を高めるために効果的であることを示した。

NIM (中国) の GONG らは、液体急冷法で Mn_xGa 薄帯を作製し、 450°C で 1 時間熱処理した。 $\text{L1}_0\text{-Mn}_{1.86}\text{Ga}$ と $\text{D0}_{22}\text{-Mn}_3\text{Ga}$ の保磁力機構はそれぞれニュークリエーションとピニングタイプであった。 $\text{L1}_0\text{-Mn}_{1.86}\text{Ga}$ の磁化は 61.3 emu/g 、保磁力は 2.7 kOe 、エネルギー積は 2.1 MGOe となった。 $\text{D0}_{22}\text{-Mn}_3\text{Ga}$ の磁化は 18.2 emu/g 、保磁力は 6.9 kOe となった。

華南理工大学 (中国) の LIU らは、液体急冷法で作製した $\text{Nd}_{10.15}\text{Pr}_{1.86}\text{Fe}_{80.41}\text{Al}_{1.67}\text{B}_{5.91}$ 薄帯に 2 wt% の Dy_2O_3 と 0.6 wt% の Zn 粉末を加えてナノ結晶 NdFeB 磁石を SPS 法で試作した。磁化は 0.73 T、保磁力は 1,142

kA/m、エネルギー積は 91 kJ/m^3 となった。この磁石は等方性であるが、熱間塑性加工用としても使える。

NIMTE (中国) の CHEN らは、Dy フリーの NdFeB 焼結磁石を試作した。ストリップキャストで $(\text{Pr}, \text{Nd})_{31.5}\text{Fe}_{\text{bal}}(\text{Cu}, \text{Al}, \text{Co}, \text{Ga})_{1.25}\text{B}_{0.96}$ (wt.%) 合金を作製し、HD 処理および N_2 を使ったジェットミル粉砕して圧粉体とし、 998°C で焼結磁石を作製した。平均結晶粒径は $2.6 \mu\text{m}$ であった。熱処理を 500°C で 1 時間した結果、保磁力は 19.01 kOe となった。また、焼結後に誘導加熱炉で 600°C に加熱した後再度 500°C で 1 時間熱処理したところ、保磁力は 20.56 kOe となった。

CISRI (中国) の LIU らは、液体急冷法で $\text{Sm}(\text{Co}_{0.93-x}\text{Fe}_x\text{Cu}_{0.07}\text{Zr}_y)_{7.8}$ 薄帯を作製した。回転速度が 25 m/s を越えると、 TbCu_7 型となった。 $\text{Sm}(\text{Co}_{0.66}\text{Fe}_{0.245}\text{Cu}_{0.07}\text{Zr}_{0.025})_{7.8}$ 薄帯の磁気特性は回転速度が $40\text{-}50 \text{ m/s}$ の時に、 M_s が約 100 emu/g 、 M_r が約 70 emu/g 、 H_C が約 5 kOe となった。

KIMS (韓国) の CHA らは、熱間塑性加工時の歪の大きさと歪速度が Nd-Fe-B ナノ結晶磁石に及ぼす効果を調べた。等方性磁石 $\text{Nd}_{13.6}\text{Fe}_{73.6}\text{Co}_{6.6}\text{Ga}_{0.6}\text{B}_{5.6}$ を 700°C で 100 MPa 加圧のホットプレス後に歪速度を $0.1\text{-}0.001 / \text{s}$ 、高さの減少を $40\text{-}75\%$ として熱間塑性加工した。歪の大きさが 0.5 の時、歪速度が遅くなると B_r が増大し、 H_c が減少する傾向となった。歪が大きくなると逆の傾向となった。塑性加工時間が長くなると粒界から絞り出された Nd リッチ相が大きく成長し、粒界の厚さが薄くなりすぎ、不連続な粒界になるため保磁力が減少することになる。

武漢大学 (中国) の CAO らは、Nd-Fe-B 焼結磁石に電気泳動析出法で DyF_3 をコートすることで Dy 量を正確に計量し、保磁力向上の機構を調べた。3 mm 厚さの磁石の場合、保磁力は有効な DyF_3 量を増大させることで 16.10 から 24.04 kOe まで増大した。すなわち、Dy 量が 1.74 wt% で約 8 kOe 徐々に増大した。ただし 8.5 mm 厚さの磁石の場合は約 3.26 kOe の増大に留まった。

MAGNEQUENCH (Singapore) の CHEN らは、液体急冷法で $[(\text{Nd}_{0.75}\text{Pr}_{0.25})_1 -$

$x\text{Ce}]_{11.65}\text{Fe}_{82.75}\text{B}_{5.6}$ (x = 0-0.5) 系の磁粉を作製し、Ce 置換の効果を調べた。結晶構造は $\text{R}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 単相であり、結晶粒径は $20\text{-}22 \text{ nm}$ であった。Ce 置換で磁気特性、キュリー温度は低下し、磁束のエイジングロスが増大したが、50% 置換した場合でも室温では十分使える磁気特性を有しており、低中温度領域、低コスト品に変えることができるポテンシャルを有することが分かった。

CISRI (中国) の ZHENG らは、 $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 磁石の電気抵抗を高めるため、液体急冷法で作製した粉末に CaF_2 を液相コート法でコートし、ホットプレスおよび熱間塑性加工することで $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}/\text{CaF}_2$ コンポジット磁石を試作した。 CaF_2 が 0.5 から 1 mol/l の場合にはナノ粒子またはナノ片であったが、 2 mol/l になると約 $150\text{-}200 \text{ nm}$ の膜が薄片表面にでき、それを熱間塑性加工すると電気抵抗は $580 \mu\Omega \text{ cm}$ となった。従来材に比べて 348% 増加したことになる。保磁力は 0.5 から 1.5 mol/l に増加した際、 12.42 から 13.5 kOe に増大したが、 2 mol/l になると 10.2 kOe に低下してしまった。

NIMTE (中国) の DING らは、HDDR 処理したストリップキャスト合金をジェットミル粉砕して極細粉とし、圧粉体を 950°C 以下で焼結した際、平均結晶粒径は $1 \mu\text{m}$ 以下であり、保磁力は約 15 kOe となった。磁化する場合には磁壁が粒界でピニングされたものを含めた 2 段階の初磁化曲線を示し、大きな磁界を必要とする。微細組織を調べてみると $2:14:1$ 相が Nd リッチ相で十分くるまれているわけではなく、隣同士 $2:14:1$ 相同士が相互作用しているため保磁力が低い原因になっている。

NIMTE (中国) の TIAN らは、高分解能のローレンツ型 TEM を用いて Cu と Fe 量を変化させた $\text{Sm}(\text{Co}, \text{Fe}, \text{Cu}, \text{Zr})_2$ 型磁石の磁壁ピニング機構について調べた。ほとんどの磁壁は SmCo_5 粒界相に強く引き付けられているが、一部は $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 相に弾かれているものもある。 SmCo_5 のセル境界相や $\text{SmCo}_5/\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$ 境界面の Cu と Fe の分布の違いが磁壁挙動の結果と考えられているが、Cu が多く Fe が少ない組成の場合、引き付ける力が強くなり保磁力が高くなる。

北京大学 (中国) の LI らは、NdFeB 焼結

磁石の廃品をHD処理した後、NdH_x ナノ粉と一緒に加熱することでボンド磁石用粉末を試作した。HD粉を10 wt%のNdH_xと一緒にして973 Kで5時間脱ガスした結果、B_rは9.36 kG、保磁力は12.36 kOeとなった。また、これを用いてボンド磁石を作ったところ、B_r=7.61 kG、H_{CJ}=12.93 kOe、(BH)_{max}=11.56 MGOeとなった。

長崎大学の中野らは、約160 μm以上の厚さを有するNdFeB膜をPLD法でSi基板上にパファ相なしで形成した。熱処理により粒界及び三重重点にNdリッチ相の析出が現れた。このためかスパッタ法で付けたものに比べて基板に強く付着しており、機械的な特性劣化がなく、ダイス加工後も特性劣化がなかった。

工学院大学の赤城らは、高温及び高周波下での磁石の挙動をマイクロマグネティックシミュレーションで調べた。c軸配向度の標準偏差が大きくなると核生成磁界および保磁力は減少し、減磁曲線の傾きは増大する。磁化は高周波磁界の波形に伴って変動するが、温度が上がらない限り減磁はしない。反転磁界が核生成磁界以上の大きになると、磁化は主曲線上では変動しないで温度の上昇を伴いマイナーループ上変動する。

北京大学(中国)のZHANGらは、ストリップキャストでNd-Fe-B合金を作製しHDDR処理でNdリッチ相が均一に分布した高配向のストリップ粉とした。この粉の粒径は50 μmであり、B_rは1.13 T、保磁力は10.5 kOeであった。この粉をジェットミル粉碎して1020 °Cで焼結磁石を試作した結果、B_rが13 kG、(BH)_{max}が39 MGOeとなったが、H_{CJ}は10 kOe程度に留まった。Pr₆₈Cu₃₂微粉を混合して950 °Cで焼結した結果、結晶粒径は微細化し、保磁力は14 kOeと高くなったが、密度は6.8 g/cm³であり、B_rと(BH)_{max}はいずれも低下した。

KIMS(韓国)のLIUらは、SPS法でMQU-F(ナノコンポジット粉)をホットプレスした結果、H_{CJ}が20 kOe、(BH)_{max}が17.5 MGOeの等方性磁石となった。この磁石を熱間塑性変形法で80%の変形率とし、異方性磁石としたが、B_rは13.9 kG、(BH)_{max}は45 MGOeとなった。微細なプレート状の領域と粗大な粒の領域が見られた。

CAS(中国)のZHANGらは、液体急冷法で(La_{0.35}Ce_{0.65})₂Fe_{14-x}Si_xB(x=0.0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0)薄帯を作製した。回転速度が15 m/sでx=0.5の時、B_r=6.88 kG、H_{CJ}=2.13 kOe、(BH)_{max}=4.08 MGOeとなった。Si置換を検討しているが高特性は得られていない。

中南大学(中国)のLIらは、液体急冷法でCr₃C₂を添加したSm-Co基のナノ結晶合金を作製した。SmCo_{6.2}(Cr₃C₂)_{0.2}組成で20 m/sの回転速度ではCrとCはSmCo₇主相に含まれ、平均検証粒径は38-60 nmで薄帯面に垂直にc-軸配向しており角形性の良いM-Hループが得られた。SmCo_{4.8}(Cr₃C₂)_{0.2}組成の場合は、回転速度を20から50 m/sに変化させると保磁力は28.1から36.6 kOeにまたM_rは23.2から28.0 emu/gに増大した。50 m/sの場合、20-50 nmと100 nmから1 μm長さのデンドライのSmCo₅が薄帯面に垂直にc-軸成長する様子が得られた。Cr₃C₂の添加は配向性に有効である。

CISRI(中国)のLIらは、(Nd_{1-x}Ce_x)₃₀(Fe, TM)_{ba1}B₁(x=0-0.75) wt.%の焼結磁石を作製した。30 wt% CeでB_r=13.5 kG、H_{CJ}=9.5 kOe、(BH)_{max}=42.8 MGOeとなった。一方、Ce-Fe-Bをベースにした磁石でNdやPrを35 wt%置換した系でB_r=10.24 kG、H_{CJ}=10.8 kOe、(BH)_{max}=24.4 MGOeとなった。

北京工業大学(中国)のLUらは、SPS法でNd₂Fe₁₄B粉と非晶質SmCo₅粉の割合を変えて成形してナノコンポジット磁石を作製し、磁気特性と温度特性を調べた。磁気特性は混合割合に敏感で、SmCo₅/Nd₂Fe₁₄Bの比が4:1のとき(BH)_{max}は14.4 MGOeとなった。SmCo₅単独で作製した場合に比べて50%高い値となった。強い交換結合力が働いているためNd₂Fe₁₄B単独の場合に比べて熱安定性は高い。

北京大学(中国)のYANGらは、希土類一鉄の侵入型化合物の研究開発を進めた。Nd(Fe,M)₁₂NおよびSm₂Fe₁₇N₃の異方性粉の作製に成功した。それぞれの粉末エネルギー積は約22 MGOeと41 MGOeであった。Nd(Fe,M)₁₂N粉をカレンダー成形したところ圧延異方性が見られ、耐候性に優れた5.9 MGOeのエネルギー積が得られた。Sm₂Fe₁₇N₃は射出成形や押出成形に向いている。一方、R₂Fe₁₇N_x(R=Ce, Pr, Nd)も

試作したが異方性がコーンもしくは面内であり、永久磁石としては使えない。パラフィンを用いたコンポジット材でマイクロ波反射口を測定したところ14 GHzで-35 dBという値が得られたので、マイクロ波吸収体として使えると考えている。

東北大学の堀川らは、d-HDDR法の処理条件と磁気特性の関係において異方性の機構を明らかにすることを目的として相の出現および結晶構造の観点で調査した。最大の磁気異方性は試料を水素圧30 kPa中、800から820 °Cで処理した場合に得られた。XRDによれば、HDの過程でFe₂B相は正方形になる。Fe₂B相の格子定数とピーク強度は不均化条件によって変化する。磁気異方性とFe-B相のピーク強度が高くなるのは、不均化と再結晶反応の協会領域で適度な速度で進むHD反応が重要である。不均化時のFe₂B相と磁気的な異方性には何かの関係がみられることになる。

NIMTE(中国)のMENGらは、MQP-15-7 Nd_{7.91}Pr_{2.68}Fe₈₄B_{5.41}ナノコンポジットNdPrFeB磁石を熱間塑性加工法を用いて結晶配向を試みた。配向度はXRD回折線の(004)と(220)のピーク強度比で評価した。ひずみが0の場合0.6であったが、ひずみが2.30(高さで90%減)になると2.06となった。配向機構は(Nd,Pr)₂Fe₁₄Bの結晶粒のc軸が塑性加工時の応力方向に沿って選択的に成長すると説明できる。従来のNdFeB磁石の場合はNdリッチ相の存在が配向に有効に働くが、ナノコンポジット材の場合はNdリッチ相が不足しているため難しい。

湖北汽車工業学院(中国)のHUらは、2合金法を用いてNd-Fe-B焼結磁石の磁気特性および機械特性に及ぼすDy添加効果を調べた。Dy量が増えるにつれて保磁力は徐々に大きくなり、角形性は減じた。H_vはDy量が増えるにつれて増大した。Dy量が2 wt%の時最大の破壊靱性を示した。曲げ強さははじめ減り、その後増大した。最小の曲げ強度はDy量が2 wt%の時であった。ただし、微細組織観察の結果、主相のDy量は均一ではないことが分かった。

NIMTE(中国)のZHOUらは、ロールスピード20 m/sの液体急冷法でCe_xFe_{ba1}B₆(x=12, 14, 17, 19, 23 wt.%)組成の

BM インフォメーション

合金を作製した。XRDによれば Ce_2Fe_{17} 、 $CeFe_2$ 、Ceリッチ相、Feリッチ相、酸化Ce、酸化Feなどが含まれていることが分かった。400-600℃で30分間熱処理した。 $Ce_{17}Fe_{90}B_6$ で $B_f=6.9$ kG、 $H_C=6.2$ kOe、 $(BH)_{max}=8.6$ MGOeとなった。

釜慶大学校 (韓国) の KIM らは、 $RF_3(R=La, Ce, Pr, Nd, Dy)$ を添加した液体急冷法で作製した $Nd_{13.6}Fe_{73.6}Co_{6.6}Ga_{0.6}B_{5.6}$ 合金を735℃でホットプレスして磁石を試作した。添加剤は薄片の表面付近のNdを置換した。Dy, Nd, Pr添加剤の場合はいずれもホットプレス磁石の保磁力を高める効果が見られた。DyとPrの場合は主層の異方性磁界を高めた効果であり、Ndの場合は粒界がきれいに整えられたためである。一番高い特性変化はDy添加時で5 kOe高くなった。La,Ceを添加剤とした場合は810℃でのホットプレスで保磁力は低減してしまった。

CISRI (中国) の ZHU らは、 $(CePrNd)$ -Fe-B焼結磁石を試作する方法として、単純にCePrNdと一緒に溶かし込んで作る合金とPrNd系とCe系を別々に溶かして作った合金を組み合わせる方法の違いを調べた。1合金に比べて2合金系は保磁力が7.7 kOeから12.1 kOeに高められた。 $(PrNd)_x(Ce)_y(Fe, TM)_{68}B_1$ ($x=0, 0.2, 0.5$) 2合金は $x=0$ と $x=0.5$ を3:2で混合して1合金($x=0.2$)と組成を合わせた。

Texas 大学 (USA) の POUDYAL らは、 $SmCo_5$ ナノチップにFeCoを被覆した。オレイン酸を界面活性剤、溶媒をヘプタンとして高エネルギーボールミルで $SmCo_5$ 異方性ナノチップを作製した。その表面にヒドラジンで $FeCl_3$ と $CoCl_3$ を還元してNaOH溶液中超音波を使ってコートした。適度な割合の場合には交換結合力のためか飽和磁化は53から78 emu/gに増大したが保磁力は18.6から5.8 kOeに減少した。FeCoが12wt%の際には M_r が47 emu/gとFeCo被膜がない場合の37 emu/gに比べて高められた。

華南理工大学 (中国) の DENG らは、ヘガネスで開発された高速圧縮成形法(HVC)を用いて室温でナノ結晶NdFeB磁石を試作した。成形物重量を減らしインパクトエネルギーを増加させると密度は増加した。保磁力と微細組織は原料の特性を保持してい

た。成形しやすい大型の金型で細かなフレックが密度を高めるために有利であった。Nd量が少ない場合と多い場合でそれぞれ92と87.5%になった。この成形体を熱間塑性加工することで異方性磁石を試作した。

東北学院大学の中川らは、色々な厚さのNd-Fe-B薄膜へのNd-Cu合金とAlのキャップ効果を調べた。薄膜は超高真空中、マグネトロンスパッタ法で基板温度500℃で製膜し、550℃で熱処理した結果、Moバッファ層状にエピタキシャル成長させたNd-Fe-B (16 nm)/Nd-Cu (0.75 nm)/Al (0.6 nm)の多層膜で31.5 kOeの保磁力を得た。これは、キャップ相の拡散により粒界がきれいにされた効果である。

CISRI (中国) の DU らは、Nd-Cu低融点合金を添加してダイアップセットしたNd-Fe-B磁石で15.1 kOeの保磁力を達成した。Nd-Cu合金量を増大させると保磁力は単調に増大した。その原因の一つは粒界層の厚さが厚くなることで主相同士の間力が弱まったこと、2つ目は結晶粒をきれいにしたことである。初磁化曲線を調べると、ニュークリエーションからピンギングの共存する様子が見られた。三重点にNdとCuは増加しており、ピンギング点になっていることが分かった。

長崎大学の藤山らは、PLD法で等方性の α -Fe+Nd-Fe-B厚膜磁石を形成する際のレーザのエネルギー密度を10 J/cm²以上で作製した。小さなスポットサイズで照射することで α -Feの結晶粒径は約20 nmとなった。組成を制御することで $(BH)_{max}$ は約130 kJ/m³まで高めることができた。

NIMTE (中国) の WEI らは、臭化ヘキサデシルトリメチルアンモニウムとオレイルアミン、オレイン酸を用いたソルボサーマル分解法により約100 nmの均一なNdFeBOナノ粒子を作製した。その後、CaO層をNd/Feの比が1/8に保たれるようにナノ粒子表面に付け、800℃で還元拡散を行い、約80 nmのNd₂Fe₁₄B単分散粒子を作製した。保磁力は400 Oeであった。

軟磁性材料

新日鐵住金の岩田らは、方向性電磁鋼板(Fe-3%Si)にみられるランセットをXMCD-

PEEMで室温からTc付近まで温度を変化させて観察した。キュリー温度以下で180°の基本的な磁区は残っているもののランセットは消滅することが分かった。ランセット磁区モデルを考えた結果、 K_1 の温度変化と関係づけられることが分かった。結晶の配向ミスが減る、板厚を薄くする、張力を大きくするとランセットが消滅する温度を低下できることが分かった。動作温度を200℃まで高めた場合、配向ミスや板厚の影響はランセット消滅にあまり違いを及ぼさないが、張力は室温に比べて半分で済む。

電子科技大学 (中国) の LIU らは、CuO含有量の異なるNiZnフェライトを従来の方法で作製し複素透磁率のスペクトルを調べた。CuO含有量が増えると内部応力由来のポロシティが減少し、結晶内部のポロシティが増加する。結晶磁気異方性も連続的に小さくなる。焼結密度が高まり、CuO 4 mol%とした時、イオンの置換で M_s が高くなる。結晶粒も大きくなり、透磁率も大きくなる。単磁区から多磁区構造となり、動的磁化過程はスピン回転から磁壁移動に変わることが分かった。

海軍工程大学 (中国) の CHEN らは、直流の磁気測定結果と損失分離理論を基にして鉄損の温度依存性と動的履歴曲線のモデルを提案した。渦電流損失に及ぼす熱の影響として温度係数kを導入した。高速回転するモータの鉄損の内、渦電流損失は周波数が高くなると支配的になるため、温度によってより大きな影響を受けることが分かった。

浙江大学 (中国) の ZHAO らは、鉄基のSMCの表面にFe₃O₄被膜を付けて用いた。Fe₃O₄膜は反応時間が長くなるとFe₂O₃に変化した。規格化した飽和磁化は0.954-0.928であり、高い電気抵抗を示した。550℃で30分反応させて得たSMCの50 mT、100 kHzでの鉄損は785.1 mW/cm³と低くなった。

東北大学 (中国) の SONG らは、0.23mm厚さの方向性電磁鋼板をストリップキャストと2段階冷間圧延法で作製した。2次再結晶後の B_8 は1.84 Tであった。微細組織および配向の様子は従来のGoss組織とは違っており、2段の圧延時にGoss組織は観測されなかった。

中国科学技術大学 (中国) の CUI らは、

Fe₇₅Si₁₅Al₁₀ 合金の最大透磁率の機構について調べた。規則化した DO₃ 構造は安定、不規則な A2 構造は不安定である。焼なまし温度を高めると合金の内部応力は減少し、合金の格子の歪が取り除かれ、不規則 - 規則の変態が起こる。非磁性原子である Si や Al の影響が減じられるため、Fe の最近接 Fe との交換相互作用が強められる。600 °C での焼なましで、格子歪と内部応力の大部分が消えて規則化した DO₃ 構造に完全になったため、 μ_m は最大値となった。

Wrocław 工科大学 (Poland) の HASIAK らは、ナノパーム型の Fe₇₆Mo₈Cu₁B₁₅ 金属ガラスの低温磁気特性を高めることを試みた。異なる量のナノ結晶粒を有する試料で、磁界印加の有無における条件における磁化の温度変化を 50-200 K の温度範囲で調べた結果、2 相挙動が判明した。構造上の配置とそれによる磁気特性の関係を調べるため 300 K と 4.2 K でメスバウアスペクトルを用いて検討した。4.2 K では 6 T の磁界を印加して行った。熱処理前後の非晶質に磁氣的に異なる領域があることが分かった。

天津大学 (中国) の HAN らは、Fe_{73.5-x}Al_xSi_{17.5}B₅Cu₁Nb₃ 合金 (X = 0.6, 0.8, 1) の初透磁率 μ_i の温度依存性を室温から 700 °C まで連続加熱冷却サイクルで調べた。高温での優れた軟磁気特性は、x = 0.8 で得られた。急冷 Fe_{72.7}Al_{0.8}Si_{17.5}B₅Cu₁Nb₃ 合金は、Al フリー Fe_{73.5}Si_{17.5}B₅Cu₁Nb₃ 合金と比較して 491 °C の低い結晶化温度 (Tx₁) および 720 °C の高い第 2 の結晶化温度 (Tx₂) を有する。Fe_{72.7}Al_{0.8}Si_{17.5}B₅Cu₁Nb₃ 合金を 460 °C -650 °C で熱処理して初透磁率の温度依存性を調べた。最適な室温の軟磁気特性は 550 °C で熱処理した際に 0.013 Oe の低保磁力と 50000 の高初透磁率が得られるが、高温で初透磁率は急激に減少した。一方、650 °C で熱処理した際には保磁力が 0.024 Oe であったが 10kHz での初透磁率 10000 が 400 °C まで保持できた。これらの値はこれまで報告されている Fe 基のファインメットに比べて優れている。

天津大学 (中国) の XU らは、500 °C から 600 °C で熱処理した Co を含むファインメット型合金 Fe₃₉Co₃₉Si₈B₁₀Nb₄ の初透磁率の温度依存性を測定した。600 °C で熱処理した試料の初透磁率は非晶質相のキュリー点で

劇的な低下は見られなかった。これは 2 相のナノ結晶合金でのみ観察される現象である。高温での軟磁気特性が改善されるのは非晶質のキュリー点が高くなるからではなく、間にある常磁性非晶質マトリックスを突き抜けてナノ結晶間に強い交換相互作用が働き、結晶質のキュリー点まで高めるためである。FeCo 基のナノ結晶の特性が Fe 基のナノ結晶に比べて高温軟磁気特性が改善される理由である。

天津大学 (中国) の LIU らは、軟磁気特性に及ぼす磁界中熱処理の影響をナノ結晶である (Fe_{1-x}Co_x)_{73.5}Si_{13.5}B₉Nb₃Cu₁ (x = 0.25, 0.5, 0.75) 合金の初透磁率、飽和磁歪、実効的な磁気異方性を測定することで調べた。磁界中熱処理で磁歪が減少し異方性が増大した。この結果透磁率が増大した。磁界を印加しながらナノ結晶化させることが最も効果的であることが分かった。

岩手大学の菊池らは、鋼の磁氣的、機械的、ミクロ構造的な特性の関係を調査した結果、回復過程では、転位の分布が重要な役割を果たすのに対して、再結晶過程では結晶の大きさが重要であることが分かった。硬さは転位が消失する再結晶化の間に小さくなるのに対して、保磁力は転位の形態が変化することで誘導される内部応力が縮小される回復の過程で小さくなる。

東北大学 (中国) の LI らは、磁束密度を高めた厚さ 0.15-0.5 mm の無方向性 6.5 重量% Si の珪素鋼板を双ロールによるストリップキャスト、熱間圧延、温間圧延の後、熱処理して作製した。0.15-0.3 mm 厚さのシートを作製する際には温間圧延した微細組織が部分的に再結晶を引き起こす 700 °C の温度を中間処理として取り入れた。圧延方向と平行に 110、板面に垂直な方向に 111 配向が見られた。ただ、 γ ファイバー組織が支配的になり 0.15-0.3 mm 厚さのシートの配向は悪化した。

JFE スチールの大村らは、0.2-0.5 mm 厚さで、HV が 150-200 の無方向性電磁鋼板の鉄損に及ぼすせん断プロセスの影響を調べた。薄いほどまた硬いほど明らかに鉄損の劣化は少なかった。鉄損の劣化度と塑性変形の大きさを反映する垂下高さは、厚さや硬さによらず良い関係が見られた。応力が

鉄損に影響を与えることはよく知られている。FEM による弾性 - 塑性解析で計算したシートの厚さ方向の実効的な塑性変形の分布は硬さの増大の測定値と一致した。これは塑性変形の分布を反映している。弾性 - 塑性変形の見積りにより、材料の厚さと硬さは、塑性変形のように弾性ひずみの分布に影響を与え、垂下高さは塑性変形と弾性ひずみの両方を反映すること、弾性ひずみは塑性変形と殆ど同じ大きさの関係を有することが分かった。

東北大学 (中国) の WANG らは、冷却速度を変えて 6.5 重量% の珪素鋼板を作製し、規則度に対する冷却速度の効果を TEM で調べた。結果は、以下の通りである。1) 冷却速度が 1 °C /s、30 °C /s、70 °C /s、108 °C /s、1276 °C /s、3878 °C /s それぞれで、B2 の平均サイズは 1400、500、180、80、2.7、1.2 nm となった。サドル状から点状になる臨界冷却速度は、約 108 °C /s であった。2) 規則相の DO₃ は 1 °C /s、30 °C /s と 70 °C /s の冷却速度で得られた。平均粒径は、それぞれ、20、13 と 4 nm であった。冷却速度が 108 °C /s 以上であれば DO₃ 領域は抑制できる。3) 液体窒素での冷却はガス化により伝熱効率が減じられ有効ではなかった。

電子科技大学 (中国) の ZHOU らは、粉碎時間を 0 ~ 120 h と変えて Fe_{81.4+x}Si_{17-x}Cr_{1.6} (x = 0, 2, 4, 6) 合金塊をボールミル粉碎して薄片状の粉末とした。x を増やすと 0.5-2 GHz の透磁率は最初増大し、その後減少した。M_s は 110-148 emu/g、H_c は 30.7-25.5 Oe となった。アスペクト比が大きくなると面内異方性が大きくなり、透磁率を高めることになる。複素透磁率はミル時間 48 h、x = 4、1.1 GHz で 3.91 であった。

NIMTE (中国) の DONG らは、100 μ m 以下の粒径の金属ガラス Fe₇₇P₇B₁₃Nb₂Cr₁ 合金粉を水アトマイズ法で作製し温度を変えてホットプレスでバルクにした。Tx は 33 K であり、より大きなバルクの金属ガラスを生産するのに適している。45 μ m 以下の粉末を、過冷却の領域にある 771 K で焼結したコアは相対密度で 91 % であった。B_s = 1.13 T の高い飽和磁束密度、H_c = 50 A/m の低い保磁力、1 A/m の磁界下 1 kHz での透磁率は 1200、コアロスは磁束密度 0.1 T、50 kHz で 1393 mW/cm³ であった。