## 内外 BM 技術動向

専務理事
大森 賢次

The 62st MMM Conference が 2017 年 11 月 6 日から 9 日にかけて Pittsburgh(USA) で開催された。その一部が AIP Advances vol.8 (5) May 2018 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。

### 希土類系硬磁性材料

**釜慶大学校 ( 韓国 ) の Kang らは、**液体急冷法で作製した $Nd_{13.6}Fe_{73.6}Co_{6.6}Ga_{0.6}B_{5.6}$ 合金粉と低融点 $Bi_2O_3$-$SiO_2$-$B_2O_3$ セラミック粉を混合してホットプレスでボンド磁石を試作した。保磁力はバインダ添加量が増加すると減少したが、磁石粉と酸化物バインダとの間の反応によって形成された磁石粉表面上の薄い酸化層が保磁力の低下を引き起こしたが、これは反磁界係数の増大に起因したためと考えている。バインダを 30 vol% 含んだ高抵抗磁石 (1,303 μΩ㎝ ) の室温の磁気特性は $H_{cJ}$ =11.6 kOe、$M_r$ =5.2 kG、$(BH)_{max}$=5.5 MGOe、また、175 ℃での磁気特性は $H_{cJ}$=5 kOe、$M_r$=4.8 kG、$(BH)_{max}$=4.3MGOe であり、破壊強度は 900 MPa となった。

**工学院大学の赤城らは、**HDDR 法で作製した NdFeB 磁石の異方性磁界分布係数（異方性磁界の平均値で標準偏差値を除した値）が保磁力、角形比に及ぼす効果を、マイクロマグネティックシミュレーションを使って調べた。その際、粒界や劣化層の磁気特性を考慮した。分布係数が大きくなると、保磁力は、粒界が軟磁性の場合は減少するが、非磁性の場合には影響が見られない。一方、角形比は、粒界が軟磁性の場合は係数が 25% までは 1.0 であるが、非磁性の場合は分布係数が大きくなるに従い低下する。分布係数が 25-30 % の時、粒界が非磁性の場合の保磁力と角形比の計算結果と実験結果は近い値になった。

**Ames Lab(USA) の Khazdozian らは、**研磨スワフや磁石化工程で発生した廃棄物から回収した Sm-Co 粉を用いて、3D 印刷でボンド磁石を作成するためのフィラメントに使用することを検討した。スワフから回収して再生した Sm-Co 粉をポリ乳酸（PLA）と混錬した。PLA 中に再生 Sm-Co 粉を最大 20 vol%含んだ試料を 160℃で押出してフィラメントにした。ボンド磁石の製造または押出で磁気特性の劣化は生じなかった。最初に押出された材料以外はフィラメント全体にわたって磁気特性の良好な均一性が示された。この材料は、少し磁気的に異方性を示しており、異方性フィラメントになる可能性がある。3D 印刷で作製する永久磁石用の磁気フィラメントに使用できる。

**千葉大学の斉藤らは、**高保磁力の $Sm_5Fe_{17}$ 相を実現するため、わずかな Ti を Fe に置換することを検討した。液体急冷法で $Sm_5Fe_{17-x}Ti_x$ (x=0–0.5) 薄帯を試作した。熱処理前は非晶質で低保磁力であるが、$Sm_5Fe_{16.7}Ti_{0.3}$ を熱処理すると $Sm_5(Fe,Ti)_{17}$ 相となり、$Sm_5Fe_{17}$ に比べて高い保磁力 36.8 kOe（残留磁化は 40 emu/g）を示した。粒径が 20-50 nm で、小さく均一な結晶粒の $Sm_5(Fe,Ti)_{17}$ 相であることが XRD、熱磁気測定、TEM 観察で確認できた。

**CAS( 中国 ) の Zhao らは、**界面活性剤を使ったボールミルで高保磁力を有し、厚さ分布が狭い $(La,Ce)Co_5$ ナノ片を試作した。保磁力は 5.48 kOe であり、飽和磁化と残留磁化の比は 0.71 であった。結晶構造は XRD により $CaCu_5$ 型六方晶であることが分かった。平均厚さは 47 nm であり、アスペクト比は 40 であった。粒子間の相互作用はδ m(H)- 曲線法を用いることで、静磁気が支配的であることが分かった。ソフト／ハードの交換スプリング磁石開発に使える可能性がある。

### 熱間加工

**北京工業大学 ( 中国 ) の Zhang らは、**$PrCo_5$ 粉を SPS で熱間塑性加工して、$Pr_{68}Cu_{32}$ 粉添加の有無による変化を調べた。$Pr_{68}Cu_{32}$ 粉添加の際は 6 wt% とした。750℃で 70 % 高さを減じた場合、I(002)/I(111) の比は 0.88、0.90 で大きな変化はなかった。ただ、保磁力は $Pr_{68}Cu_{32}$ 添加した場合 6.7 kOe から 10.1 kOe に高くなることが分かった。粒径は 0.287 μ m であった。この磁石を 550℃で熱処理した結果、保磁力は 14.6 kOe に増大し、$(BH)_{max}$ も 12.4 MGOe から 13.7 MGOe に増大した。

**NIMS の Liu らは、**4 ㎜厚さの Nd-Fe-B 熱間塑性加工磁石の粒界拡散源として $Nd_{80}Ga_{15}Cu_5$ と $Nd_{62}Fe_{14}Ga_{20}Cu_4$ 合金を用いた。どちらを使っても保磁力は 2.2 T と変わらなかったが、後者の方が残留磁化の減少が少なく、1.5 T となった。また、角形比 ($M_r/M_s$) についても、後者では 0.946 となり配向度が高められることが分かった。

**北京工業大学 ( 中国 ) の Ma らは、**ホットプレスとその後の熱変形法によりナノ結晶 $SmCo_5$ 磁石を試作し、c 軸配向が相組成と密接に関連していることを明らかにした。Sm 蒸発による重量損失を補うために、10 wt%過剰の Sm を含ませてホットプレスした $SmCo_5$ 磁石は純粋な 1：5 相から構成されるのに対して、2.5 wt%過剰の Sm 添加を有するものでは 1：5 相と $Th_2Ni_{17}$ 型六方晶の 2 相結晶構造となった。熱変形後には、10 wt%の過剰 Sm を有する磁石が 38.75 kOe の大きな保磁力と強い磁気異方性を示しているのに対して、2.5 wt%過剰 Sm を含む磁石は、2：17 相が $Th_2Ni_{17}$ 型六方構造から $Th_2Zn_{17}$ 型菱面体構造に変化した。従って、2：17 相の存在とその相転移によって結晶質組織の形成並びにナノ結晶 $SmCo_5$ 磁石の磁気特性が損なわれることが示唆された。

### 薄膜

**CNRS(France) の藤原らは、**高速 3 極スパッタ法で得た NdFeB 厚膜磁石 (10 μ m) の磁気特性に及ぼす温度の影響を調べた。薄膜面に垂直方向の履歴曲線を 300 K から 650 K の温度範囲で測定して、保磁力、7 T での磁化、残留磁化の温度依存性を調べた。熱減磁は 350 K では零または－ 0.1 T の印加磁界下での磁化の減少、325 K では－ 0.5 T の印加磁界下での磁化の減少を調べた。残留磁化は室温と 323 K の温度範囲での加熱冷却では特別な変化は見られなかったが、343 K まで高めると 4 % の減磁が生じた。室温での履歴曲線測定結果に

よれば、残留磁化などはすべて元に戻ったが、保磁力は 650 K まで高めると 6.7 %、343 K では 1.3 %減じる結果となった。

**東北大学 ( 中国 ) の Xie らは、**Nd-Fe-B 薄膜で Nd-Al または Pr-Al 合金の拡散を試みた。$Pr_{85}Al_{15}$ と $Nd_{85}Al_{15}$ を用いた場合、保磁力は強化されて 2.06 T となったが、$Pr_{70}Al_{30}$ と $Pr_{55}Al_{45}$ を用いた場合は、それぞれ 2.04 T と 1.82 T に減少した。一方、$Nd_{70}Al_{30}$ を用いた場合は、2.26 T の高い保磁力が得られた。微細構造依存パラメータ α及び N が改善された。しかし、$Nd_{55}Al_{45}$ による拡散処理薄膜の場合、Al 含有率が高いためか組織や保磁力が低下した。

**The University of Alabama(USA) の佐藤らは、**3 種の異なる組成 (#1: $Nd_{12.6}Fe_{81.5}B_{5.9}$, #2: $Nd_{14.6}Fe_{78.1}B_{7.4}$ , #3: $Nd_{22.6}Fe_{66.2}B_{11.2}$) を有する Nd-Fe-B 薄膜の磁気特性について調べた。Nd 含有量が増加すると、面に垂直に c 軸配向が進む。サンプル # 2 は 100 ～ 300 K の温度範囲に渡って $Nd_2Fe_{14}B$ に非常に近い飽和磁化 $M_s$ を有する。サンプル # 2 の磁気異方性定数 $K_{u2}$ は、これらのサンプルの中では最も高いが、$Nd_2Fe_{14}B$ に比べて約 20 %小さい。$K_{u1}$ の符号が変わる温度である $T_R$ は約 30 K であり、$Nd_2Fe_{14}B$ に比べて低い。この不一致の理由は明らかではないが、少数相である Nd に富む化合物の存在、正味の磁気異方性に対する磁気弾性効果の可能性がある。

**江西理工大学 ( 中国 ) の Jiang らは、**SPS 法で試作した $(Pr_{0.2}Nd_{0.8})_{13}Fe_{81-x}B_6Hf_x$ (x=0,0.5) ナノ結晶磁石の磁気特性、熱安定性、保磁力発生機構について調べた。Hf 添加が磁気特性と熱安定性に重要であることが分かった。300-400 K の温度範囲で残留磁束密度の温度変化αと保磁力の温度変化βは x=0 と 0.5 でそれぞれ、-0.23 % /K、-0.57 % /K が -0.17 % /K、-0.49 % /K と小さくなった。また、保磁力発生機構として磁壁のピニングが効果的であることが分かった。室温での磁気特性は、$J_r$=0.72 T, $H_{cJ}$=1,055 kA/m, $(BH)_{max}$=83 kJ/m$^3$、400 K での磁気特性は、$J_r$=0.6 T, $H_{cJ}$=542 kA/m, $(BH)_{max}$=49 kJ/m$^3$ であった。

**浙江大学 ( 中国 ) の Jin らは、**Nd-Fe-B の粉砕で使用されている HD( 水素崩壊 ) を（La,Ce)-Fe-B 薄片に試みた。2.5-5.5 MPa に水素圧力を高めたが 2：14：1 の正方晶は崩れなかった。これは、La と Ce が Nd よりも高い酸素親和性を持っていることによるものであり、活性 RE リッチ相の量が減少し、水素拡散チャネルが制限される結果となったためであると考えている。

**CISRI( 中国 ) の Shi らは、**$(Ce_{0.2}Nd_{0.8})_{30}Fe_{bal}B$ (wt%) の焼結磁石を単一主相法 (SMP) と二相主相法 (DMP) で試作して磁気特性と腐食特性を詳しく調べた。DMP 磁石は SMP 磁石に比べて高い正の腐食電位を示し、腐食電流密度が低く、より大きな電気伝導抵抗、0.5 mol/l $Na_2SO_4$ 溶液中での腐食テストで質量減がなく優れた耐食性を示した。後方散乱電子像で DMP 磁石の結晶グレインが滑らかな表面を有する真球性であり、SMP 磁石は多くのエッジおよびコーナーを有することが分かった。また、Ce/Nd の分布は、DMP 磁石では SMP 磁石の場合よりもはるかに不均一である。腐食後、DMP 磁石は侵食された磁気相および完全なリッチ相を示し、カソードとしてのリッチ相のガルバニック腐食が現れることを示している。

**内モンゴル科学技術大学 ( 中国 ) の LIU らは、**Nd-Fe-B 系焼結磁石の保磁力を向上させるために、低融点 $Cu_{29.8}Al_{70.2}$ (at%) 粉末を Nd-Fe-B 系磁石に導入した。異なる量の $Cu_{29.8}Al_{70.2}$ (at%)（0,0.25,0.50,0.75,1.0 重量%）を有する焼結磁石の磁気特性、微細構造、熱安定性および腐食挙動を調べた。添加した $Cu_{29.8}Al_{70.2}$ (at%) の量が 0.75 wt％未満では、特に 0.25 wt％の $Cu_{29.8}Al_{70.2}$ (at%) を有する磁石の保磁力が改善され、12.67 kOe（CuAl を含まない）から 13.97 kOe に著しく増加した。磁気特性の向上は、$Nd_2Fe_{14}B$ 相と Nd リッチ相との間の濡れ性が向上し、粒界微細構造の最適化と Cu と Al の共添加による分布に依存する結晶粒間の交換結合が減少したためと考えている。0 ～ 1.0 wt%の $Cu_{29.8}Al_{70.2}$ (at%) 粉末を添加することにより、磁石の残留磁化と保磁力の可逆温度係数も向上させることができた。3.5 wt% NaCl 溶液中電気化学的および浸漬試験での耐食性は、CuAl 粉末の少量添加によって向上することが見出された。これは、添加 CuAl による Nd に富む粒界相の強化に起因する可能性がある。

**NIT Andhra Pradesh(India) の Ramudu らは、**新規な冷間静水圧プレス法で加工した $Sm_2Co_{17}$ 磁石の磁気特性に及ぼす時効時間の影響を調べた。 焼結した $Sm_2Co_{17}$ 試料は、10-30 時間の範囲で異なるエージング時間に供され、それぞれの微細構造は得られた磁気特性と相関があった。残留磁化 ($B_r$) は、10-20 時間では一定であったが、それ以上の時間では徐々に減少した。保磁力 ($H_{cJ}$) は、10-20 時間で急激に増大したがそれ以上の温度では改善しなかった。したがって、磁気特性の良好な組み合わせは、20 時間時効した試料で達成することができた。新規方法で処理された 20 時間の時効試料で 27 MGOe の最大エネルギー積が達成された。

## 希土類磁石以外の硬磁性材料

**CNRS(France) の Tyrman らは、**高圧力下（100,200,300,400 MPa の一軸圧力下）550℃での SPS 処理で引き起こされる Mn-Al-Cu 合金中の $L1_0$ 強磁性相の異方性について調べた。100 ～ 400 MPa の一軸圧力下 550℃で焼結した Mn-Al-C は顕著な磁気特性の異方性と、保磁力の応力に対する強い依存性を示すことが分かった。この効果は、XRD パターンが全てのサンプルに対して等方性材料の特徴を示すので、焼結時に加えられる応力によって生成されるフレークの全体的な面内配向に関連する形状異方性によって説明されると思われるが、Stoner と Wohlfarth によると、現在の結果とは逆に容易軸内で M(H) を測定すると H と M の両方が増加する。このように、主観的に垂直な形状異方性が存在する場合には、結晶子が粒子よりもはるかに小さいため、原則的に保磁力に影響しない。 その結果、小さなテクスチャまたは残留歪のために、応力によって誘発される別の種類の顕微鏡的な平行異方性が存在する可能性がある。

**南昌航空大学 ( 中国 ) の Cao らは、**ボールミル粉砕した磁気精製なしの前駆体を SPS で加工することで、低温相（LTP）の含有量が高く、優れた磁気特性を有する MnBi 磁石を試作した。Mn,Bi,MnO 各相

と非晶質相を含む複雑な粒界相を含んでいた。粒界相の形成により適切な含有量は結晶粒の孤立化に効果があり、保磁力の改善に有益であった。室温で M=26.0 emu/g、$H_{cJ}$=7.11 kOe、$(BH)_{max}$=1.53 MGOe となり、550 K では $H_{cJ}$ = 25.37 kOe の大きな値が得られた。高温用途に使用される小さな永久磁石として魅力的な候補材料である。

**KIMS( 韓国 ) の Si らは、**高温で Mn ナノ粒子と Ga との直接反応することで、高い保磁力を有する正方晶 $L1_0$-$Mn_{1+x}Ga_x$（x <0.8）ナノ粒子と bcc-$Mn_{23}Ga_{77}$ ナノ粒子を作製した。$Mn_{23}Ga_{77}$ 相は約 573 K で形成され、一方、$L1_0$ 構造の $Mn_{1+x}Ga_x$ は約 850 K で形成された。ボールミル処理後、$L1_0$-$Mn_{1+x}Ga_x$ ナノ粒子は保磁力が向上したナノフレークになった。 調製した $Mn_{23}Ga_{77}$ ナノ粒子のサイズは、前駆体の Mn ナノ粒子のサイズに匹敵する。一方、850 K で得られた $L1_0$-$Mn_{1+x}Ga_x$ ナノ粒子では、ナノ粒子の凝集があり、より大きな粒子サイズが観察された。$L1_0$-$Mn_{1+x}Ga_x$ ナノフレークを 200-400 nm で厚さ約 20 nm にした。300 K での保磁力は $Mn_{23}Ga_{77}$ と $L1_0$-$Mn_{1+x}Ga_x$ ナノ粒子でそれぞれ 0.2 T と 0.43 T であり、ボールミルした $L1_0$-$Mn_{1+x}Ga_x$ では 0.59 T となった。

**Altinbas University(Turkey) の Akdogan は**電子ビーム蒸着法で $Mn_3Ga$ 微細な孤立粒子で構成された薄膜を試作した。$Mn_3Ga$ は正方晶 $DO_{22}$ 相で 2 $MJ/m^3$ の磁気異方性を有する。Cr/MnGa/Cr 層を Si/SiO ウェハ上に堆積させた。Ar/$H_2$ ガス雰囲気中で、350℃、10 分間熱処理行った。フォトリソグラフィ技術で、100 μ m に切り出して磁気測定をした結果、7.5 kOe の保磁力が得られた。

**合肥師范学院 ( 中国 ) の Zi らは、**化学共沈法で M 型の $Sr_{1-x}La_xFe_{12-x}Mn_xO_{19}$ (0.0 ≤ x ≤ 0.4) を試作した。P6/mmc の単相で粒子は 0.7-1.4 μ m サイズの六方晶であった。x=0.1 で保磁力は最大値を取り、飽和磁化は x の増大に伴い単調に減少した。

**Ames Lab(USA) の Kassen らは、**高い飽和磁化と優れた熱安定性を備えた Alnico 7.3Al-13.0Ni-38Co-32.3Fe-3.0Cu-6.4Ti (wt%) を RE-PM 材料の代替品として使用するため、一軸荷重および磁界を適用して、高度に組織配向と微細構造を有する最終形状の磁石を 2 種の異なる形状に形成することができる「脱バインダーおよび焼結」法にを試みた。PPC をアセトンに溶かして 2.6 vol% 粉末に加えて混合した後、室温で 24 時間アセトンを抜いて前駆体とした。ガスアトマイズ粉に一方向の磁界を印加することで [111] 配向が得られた。磁界の印加方向を 54 度として一方向から圧縮することで、$(BH)_{max}$=6.0 MGOe が得られた。MMPA 標準は 4.8 MGOe であり、33 % 増大しており、また、残留磁束密度も 33 % 増大した。

**University of Nebraska(USA) の Zhang らは、**Alnico 35Fe-35Co-14.9Ni-7.1Al-3Cu-5Ti と 34.25Fe-34.25Co-14.9Ni-7.1Al-3Cu-5Ti-1.5Y 合金それぞれ 10 g をアーク溶解して組織と磁気特性に及ぼす Y 添加と磁場の影響について調べた。3 ㎜直径、7 ㎜長さのシリンダーを放電加工で作製し、1,220℃で均一化処理をした後、800-840℃で 45 kOe の磁界下で 10 分熱処理し、660℃で 3 時間、580℃で 6 時間の熱処理を施した。Y(1.5 wt%）の少量添加は <200> 組織をもたらし、残留磁束密度を増加させ、減磁曲線の角形性を改善するのに役立つ結果が得られた。高い異方性を有する約 80 nm の $Y_2Co_{17}$ 相の結晶粒が約 40 nm の FeCo ナノロッドの近くに析出しており、保磁力の増加をもたらすことが分かり、$(BH)_{max}$=7.3 MGOe の特性が得られた。

## 軟磁性材料

**Case Western Reserve University(USA) の Dong らは、**ランダム異方性とコヒーレント回転モデルで $(Co_{1-x}Ni_x)_{88}Zr_7B_4Cu_1$ ナノコンポジット合金の保磁力変化を検討した。X>0.5 では磁気弾性効果による異方性が保磁力に支配的に効いている。0.65<x<0.75 の狭い範囲で保磁力は <10 A/m と低い値を取る。確認のため液体急冷法で作製した後、一次再結晶温度 ( ～ 673 K) で 3,600 秒等温熱処理をした。0.685<x<0.725 の組成で保磁力は 30-40 A/m、磁歪は 3-4 ppm となった。x=0.725 の時に期待していなかった最低の保磁力 32 A/m が得られた。この理由は非晶質からの寄与の無視や、結晶化時に組成の分離が起ったことなど色々考えられる。

**Toyota Technological Institute の矢野らは、**高 $B_s$ を有するナノ結晶 $Fe_{bal.}Cu_1Mo_{0.2}Si_4B_{14}$ (at%) をラミネーションでコアを作製し、高飽和磁束密度領域でのコアロスを評価した。比較のために非晶質材 Fe-Si-B のラミネーションによるコア材も用意した。直流履歴曲線の結果では低コアロスおよび高飽和磁束密度を満足する結果になった。また、低周波領域では非晶質材と同じ程度の結果となった。ただ、磁束密度の関数である鉄損の増加率が小さい領域は、非晶質材では約 1.5 T までであったが、高 $B_s$ ナノ結晶材約 1.6 T まで使えた。高周波領域でのコアロスも非晶質材と同程度であり、約 10 kHz 以上の高周波領域でも低コアロス、高飽和磁束密度が期待できる結果となった。

**Dalian University of Technology( 中国 ) の Jia らは、**$Fe_{85}Si_2B_8P_4Cu_1$ 合金に少量の Mn を添加して非晶質形成能と熱安定性を調べた。Mn 量を 0 と 3 at% とした場合、非晶質化の厚み限界と一次結晶化開始温度はそれぞれ、14 μ m、659 K が 27 μ m、668 K と上昇した。微細なα -Fe が熱処理後大きさ D<20 nm となり優れた軟磁性特性を示すが、Mn 添加材の場合α -Fe の大きさは減少し、保磁力も小さくなる。最適な熱処理温度範囲も広くなり、磁束密度はやや低下するが低保磁力が実現できる。$Fe_{83}Mn_2Si_2B_8P_4Cu_1$ ナノ結晶では D が約 17.5 nm、$B_s$ が約 1.75 T、保磁力が約 5.9 A/m となった。

**Southeast University( 中 国 ) の Fan らは、**実効透磁率低減を目的として $Co_{71}Fe_2Si_{14-x}B_{9+x}Mn_4$ 非晶質合金に横磁場熱処理を試みた。B 量を増加すると熱安定性が向上し、保磁力は少し大きくなってしまうが、飽和磁化は大きくなることが分かった。透磁率は熱処理後劇的に低下した。熱処理温度と印加磁界の大きさに依存した。熱処理により平坦な履歴曲線となり、磁区観察の結果、磁壁密度が高いことが分かり、飽和しにくいことが確認できた。$Co_{71}Fe_2Si_9B_{14}Mn_4$ 合金の実効透磁率は 3,020、保磁力は 1.7 A/m、DC バイアス

に対しては 300 A/m まで一定の透磁率を示した。

**Wrocław University of Science and Technology(Polamd) の Hasiak らは、**$Fe_{51}Co_{12}Si_{16}B_8Mo_5P_8$ 非晶質合金の直流熱磁気特性を調べた。熱処理前後で微細組織が大きく異なることがメスバウアー分光法で分かった。交流磁気特性の研究、すなわち、ヒステリシスループ、比透磁率およびコア損失に対する最大誘導は、レール電源コンバータの共振トランスのシミュレーションプロセスに最適な初期パラメータを得ることを目的とする。コアロス、巻線損失、コア質量、および寸法を含む数値解析から得られた結果を、Fe-Si 合金およびフェライトについて計算された同じパラメータと比較した。さらに、急冷したままの $Fe_{51}Co_{12}Si_{16}B_8Mo_5P_8$ 非晶質合金についても、スタインメッツ係数を計算した。

**Iowa State University(USA) の Ouyang らは、**液体急冷速度を変化させて Fe-6.5 wt%Si 薄帯の磁気的、機械的特性を調べた。冷却速度は規則度と微細組織を明らかに変化させ、機械的、磁気的特性を変化させる。XRD によれば高速回転では $DO_3$ 規則相は完全に無くなるが、10 m/s 以下の速度では $DO_3$ 核が出始めることが分かった。これはヤング率の増加と関連がある。ホイール側の結晶粒径はホイール速度が 1 m/s 時は～ 132 μ m であるが、30 m/s 時には～ 8 μ m になり、面に垂直に <100> 繊維状組織となった。保磁力も 1 m/s 時は 30 A/m であったが、30 m/s 時には 110.8 A/m と変化した。

**JFE スチールの平谷氏らは、**CVD 法を用いたシリコナイジングによる傾斜 Si 鋼板の磁気特性を調査した。6.5 % Si 鋼板に比べて大きな履歴損と小さな渦電流損が見られる。ただこの構成であれば、高周波では 6.5 %Si 鋼板に比べて鉄損は小さくなる。表面層では引っ張り応力、内部層では圧縮応力が働いていることが分かった。内部応力によって磁気異方性は誘導され、磁化挙動に影響する。小さな渦電流損は表面層に磁束が集中する効果で説明が付く。

**Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics(Belarusian) の Timoshkov らは、**鉄粉の表面に逐次酸化と有機 Si コートを 0.5-5 nm の厚さ施した。この粉を圧縮成形した結果、コーティング有無で、電気抵抗は $10^{-4}$ Ω・m と $10^4$ Ω・m、最大透磁率は 2,500 と 300 に変化した。最大磁束密度は 2.1 T となった。10 kHz から 1 MHz で高効率なトランス、スロットル、ステータ - ロータなどへの適用が可能であり、マイクロシステムおよびマイクロコンポーネントの用途では、その信頼性を改善する良い機会は、ナノコンポジット材料の使用である。ナノコンポジット磁性材料の超薄型マイクロモールドへの電気めっき技術を紹介する。軟磁性合金を不活性硬質ナノ粒子と共蒸着することにより、透磁率μ =$10^4$ までの材料、$B_s$=(0.62-1.3) T の磁気誘導が得られる。このような LIGA のような技術は、高度な物理的特性を有する高信頼性デバイスに適している。

**長崎大学の柳井らは、**クエン酸浴や塩化アンモニウム浴中での電気メッキ法で Fe-Ni 膜を試作した。その結果、塩化アンモニウム浴で作製した膜の保磁力が低いことが分かった。その理由を調査した。磁区観察を行った結果 $Fe_{22}Ni_{78}$ 膜の幅方向に磁気異方性が付いていることが分かり保磁力も幅方向が低い結果になった。応力緩和のため熱処理を施した結果保磁力の違いは緩和された。この異方性は磁気弾性結合に起因するものと考えている。