1972 年国際応用磁気会議 (INTERMAG)

東京電気化学株式会社 開発研究所 富 永 滋
 N H K 総 合 技 術 研 究 所 小 西 良 弘
 日本電気株式会社 中央研究所 植之原 道 行
 N H K 総 合 技 術 研 究 所 横 山 克 哉
 株式会社日立製作所 中央研究所 藤 原 英 夫

本年度の国際応用磁気会議 (Intermag Conference) は4月10日から13日にかけて、京都国際会議場で開催され、内外の磁気応用に関係した学者多数を集めて熱心な討論が行なわれた。

国際応用磁気会議は IEEE の magnetic Society が主催し、毎年米国と米国外で1年おきに開催されることになっており、本年は日本学術振興会が支援して日本で行なわれたものである。本会議は応用磁気とこれの基礎となる磁気現象に関する学術発表会で、代表的分野は、① Magnetic Recording, ② Microwave Magnetics, ③ Computer Magnetics に分けられる。今年の各発表討論は4つの会場で約1時間半ずつのセッションに分けて行なわれ、その数は61セッションに上り、活発な討論が行なわれた。

本解説ではこの中から上記3つの分野と、最近活発に研究が進められている Optical Storage Techniques と Bubble Technique をとり上げ、計5項目について、それぞれの専門の方々に会議の全体の傾向と注目すべき話題についてご報告いただいた。

(編集委員会)

1. Magnetic Recording

磁気記録技術に関する発表は、本会議において37件あり、7セッションにわかれて行なわれた。これらを発

“On The INTERMAG Conference” by Shigeru M. Tominaga (Research and Development Center, TDK Ltd., Tokyo), Yoshihiro Konishi (NHK Technical Research Laboratories, Tokyo), Michiyuki Uenohara (Central Research Laboratories, Nippon Electric Co., Ltd., Kawasaki), Katsuya Yokoyama (NHK Technical Research Laboratories, Tokyo) and Hideo Fujiwara (Central Research Laboratories, Hitachi Ltd., Tokyo)

表1 磁気記録に関する Session (19, 23, 27, 31, 35, 39, 43) の発表内容の分類

1. 磁気記録理論関係 (9件)	
(1) デジタル記録に関する理論または実験	3件
(2) 転写理論または実験	3件
(3) その他	3件
2. 磁気テープ関係 (10件)	
(1) 磁性粉関係	8件
	(うち合金磁性粉 4件)
(2) メッキ媒体	2件
3. 磁気ヘッド関係 (11件)	
(1) フェライトヘッド関係	3件
(2) 合金ヘッド関係	1件
(3) 新しいヘッド構成法	2件
(4) ヘッド記録磁界の解析	5件
4. その他 (7件)	
(1) 熱-磁気記録関係	3件
(2) シートレコーダー関係	2件
(3) その他	2件
	(計 37 件)

表内容により筆者なりの判断で分類したものを表1に示した。

まず、理論関係では“デジタル記録の理論および材料に関する最近の発展”と題する Micro Bit 社 D.E. Speliotis 博士の招待講演 (S 19-1)*, “テープとヘッドの相互関連問題”をテーマとしたワークショップにおいて磁気記録機構の一般解説 (S 47-1), およびテープ・ヘッド間隔, 記録磁界分布, テープ寿命, ヘッド摩耗, 接触時の温度, ランニング効果などの測定法, 測定結果の検討に関し, これまでに報告された内外の研究内容の紹介 (S 47-2, 3) が行なわれた。

この他, 磁場接触転写 (S 19-3) と熱接触転写 (S 19-4) との理論解析, VTR の狭トラック化に関する評価 (S 19-5) およびデジタル記録関係の理論に関連した実験 (S 43-1, 5) などの報告がなされた。

上記招待講演において, デジタル用高密度記録媒体

* (S -) は論文番号を示す。

の評価関数として、従来の $B_r \cdot \delta / H_c$ (B_r : 残留磁束密度, H_c : 抗磁力, δ : 媒体の厚み) に媒体のスイッチングフィールド分布を加えて考えることが必要である(注: ともに小さくなるほうが高密度となる)ことが述べられ、一例として Pfizer 社が本会議で発表した新しい γ -Fe₂O₃ を用いたテープ (S 23-1, S 55-1) をあげ、これが磁気記録媒体高密度化の一方向であることが示された。この磁性粉は製法の改善により、樹枝状突起のない規則的な形状 (平均長 0.9 μ m, 平均幅 0.15 μ m, 針状比 6:1~13:1) をしている。

これによりテープにした場合の配向性が改善され、商用オーディオテープにくらべ、スイッチングフィールド分布幅は約 1/2, 体積充填率は 11% 増となっている。この結果、角形比は 0.785 から 0.860 になり、残留磁束密度は約 25% 増加し、テープ速度 19 cm/sec で比較した場合の SN 比は 3.1 dB, 500 Hz の飽和出力は 3.3 dB, 15 kHz の飽和出力は 4.3 dB 改善されたことが報

告された。

この報告に対して、“酸化鉄テープの将来展望”をテーマとしたワークショップにおいて、米国 3M 社より Co を添加した γ -Fe₂O₃ を用いたテープを例に VTR 用としての特性 (図 1) を示すなどして、高密度化には高抗磁力化がより重要であるとの意見が述べられた (S 55-2)。(注: γ -Fe₂O₃ のみでは抗磁力の期待値は 350 Oe 程度である)

磁気記録媒体に関する発表は以上の他に 9 件あり、その内容は、酸化物磁性粉関係の 3 件の報告 [Co 添加 γ -Fe₂O₃ の磁気異方性 (S 23-2), 熱接触転写媒体としての S 添加 CrO₂ の特性 (S 23-3), 立方状 Co 添加 Fe₃O₄ の塗膜性 (S 23-4)], Graham Magnetics 社 (立方状 Co) (S 27-1), 日本コロムビア (立方状 Co) (S 27-2), IBM (立方状 Fe-Co-Ni) (S 27-3), ソニー (針状 Fe-Co) (S 23-5) の内外 4 社よりの各種 Co 系合金磁性粉の製法およびその性能についての報告, およびメッキ形媒体に関する 2 件の報告 [Co-P 化学メッキによるビデオテープ (NHK) (S 27-4), Co-P 化学メッキ膜と Ni-P 化学メッキ膜 (非磁性) との積層膜の磁気特性 (Ferroxcube 社) (S 27-5)] である。

これらの報告から、従来からの高抗磁力化による高密度テープの開発路線がそのままおし進められており、次代のビデオテープとして、高抗磁力、高残留磁束密度の合金系の磁気テープが考えられていること (図 2 参照) がうかがわれた。

この磁気テープの高抗磁力化の傾向に伴い、記録ヘッドのコアのギャップ構成部分の磁氣的飽和が問題となることを反映してか、ヘッドコア材の透磁率が低く、磁化

図 1 Co 添加 γ -Fe₂O₃ を用いたビデオテープの特性 (米国 3M 社)

		H_c (Oe)	B_r (gauss)	角形比
I	Fe-Co 合金	1,000	3,800	0.73
II	CrO ₂	450	1,500	0.88
III	γ -Fe ₂ O ₃	290	1,200	0.78

測定条件

テープ・ヘッド相対速度 11 m/sec

ビデオヘッドギャップ幅 1 μ m

図 2 針状 Fe-Co 合金磁性粉を用いたビデオテープの特性 (ソニー)

図3 摺動ノイズに対するフェライト材粒子寸法の影響 (赤井電機)

特性が非直線である場合の記録磁界分布の解析を電算機あるいは大形モデルヘッドによるシミュレーションによって行なった結果の報告 (S 31-5, S 35-1, 2, 3, 4) が、磁気ヘッドに関する 11 件の発表中 5 件を占めていたのが注目された。

磁気ヘッド材料関係では、ホットプレス Ni-Zn フェライトの製法に関する検討 (S 31-1)、オーディオヘッド用フェライト材の摺動ノイズに関する検討 (S 31-2)、ビデオヘッド用フェライト材の機械的強度の測定 (S 39-5)、高硬度パーマロイの製法に関する検討 (S 31-5) の 4 件の報告があった。

これら磁気ヘッド用材料に関する報告からは、テープ材料のような大きな改善は期待できないが、それぞれの問題点に対する地道な改善研究が進められていることが感ぜられた。この中でも (S 31-2) の発表は、テープとヘッドとが接触する際に生ずるノイズ (摺動ノイズ) が、オーディオヘッドの場合、結晶粒の大きさに関係しており、粒子径 $30\mu\text{m}$ 以下で非常に少なくなること (図3)、さらに単結晶 Mn-Zn フェライトの場合には Sn を添加することで減らせるというもので、オーディオヘッドでの実験結果の報告ではあったが、目下フェライトビデオヘッドで特に問題となっている点であるので、今後の進展を期待したい研究である。

この他、ヘッド関係では、NHK よりスパッター法による狭トラックビデオヘッドの製法 (S 31-3)、IBM より電算機用マルチトラックヘッドの一体製法 (S 35-5) に関する報告があり、将来の磁気ヘッド製作に関する一方向を示すものとして注目された。

熱磁気効果を利用した磁気記録方式に関する報告として、東北大より熱磁気記録用メッキ媒体の性能 (S 27-6) に関する報告、電々公社通研で検討中の Mn-Bi によるキューリー点記録用ディスク装置 (S 43-2) および NHK で検討中の CrO_2 の磁化特性の温度依存性を利用してレーザービームでアナログ記録を行なう新記録方式 (S 39-2) の紹介が行なわれた。これらはいずれも、現行磁気記録方式における高密度化を阻む諸問題をさけて、さらに高密度な記録を実現しようとするものである。今

後の研究の進展に注目したい。

以上、磁気記録技術関係の発表の概要を記したが、

- (1) 記録媒体関係の研究が非常にアクティブに進められており、さらに高密度なテープの実用化もそう先ではなさそうである。
- (2) 記録媒体の高抗磁性化に対応した磁気ヘッド材の開発を期待したい。
- (3) 理論関係では、ノイズの問題にもっと積極的にとりくまないと、実用機器へ直接寄与していく点で行詰りを生ずるのではないかな？

といったことなどが、全体を通してみての筆者の印象である。 (横山克哉)

2. Microwave Magnetics

材料に関するものがセッション 16 と 24 で、またデバイスに関するものが 32 と 36 で行なわれた。材料に関しては非直線性や損失などを中心とした一般的性質に関するもの、 ΔH の小さな CaV 多結晶のほか、エピタキシャルやアークプラズマによるフェライトフィルムの作成法などが興味をひいた。また、デバイスでは、サーキュレーター、アイソレーター、移相器などの広帯域化を中心とした特性改善の問題のほか、単結晶中の磁気弾性波に関する報告が主なものであった。材料とデバイスとは互いに関連が深いので、相互に関連づけながら以下まとめて報告する。

2.1 材料関係

(1) 材料の一般的性質に関するもの：高電力デバイスでは、スピン波発生に伴う非直線性が出ないことと、発熱が少ないことが必要である。そして前者を満たすには、まず挿入損失を少なくするため、実効磁気共鳴幅 ΔH_{eff} が小さいことが必要である。また、発熱に伴う機械的ひずみにより飽和磁化 M_s の変化が少ないことも必要である。C. E. Patton は ΔH_{eff} および ΔH_k が磁気共鳴付近では異方性と空孔率とに原因する 2 つのピークが共鳴幅を広げ、また共鳴から離れた点では ΔH_{eff} および ΔH_k は粒子の半径 a に逆比例し、さらに ΔH_{eff} は異方性、空孔率および不純物濃度が小さいほど小さいことを述べた。J. J. Green は YGdIG, Ca 系ガーネット、MnMg 系フェライトについて $\Delta H_k/\Delta H_{\text{eff}}$ の値および ΔH_k , ΔH_{eff} の周波数特性の測定結果を、とくにラッチングデバイスの動作点について示した。これらの資料はデバイス設計に有用である。また G. F. Dionne は M_s の温度依存性と機械的ひずみによる変化度の小さい材料として、ガーネットやリチウムフェライトが今後有望なものであることを述べた。

(2) 具体的な材料に関する報告として、まず Gd 置

換ガーネットに Co^{2+} を含ませることにより ΔH_k を増し、さらに異方性磁界を減少させることによりラッチングデバイスの損失を少なくしうることが、T. Hashimoto, J. Aiba により報告された。また最近では ΔH の小さな多結晶として Ca 系ガーネットが注目されているが、従来 In を置換していた所に、 Zr^{4+} と Ti^{4+} を置換することにより $\Delta H \approx 4 \text{ Oe}$ のものが得られることが Y. Machida, Y. Nakayama, H. Saji, Y. Yamada, M. Asanuma により報告され、また In の代りに Sn, Y を置換して ΔH を小さくするとともに Ge を入れて $4\pi M_s$ を小さくしうることが H. Takamizawa, K. Yotsuyanagi, T. Inui により報告された。特に後者では ΔH が 2 Oe 以下にもでき、また $T^\circ\text{C}$ を比較的高く保ち M_s を小さくできるので、低い周波数帯での利用面が期待できよう。

(3) その他の材料として、数年前 MIC 用としてフィリップス社で実用化されているフェライトと強誘電体との接合セラミックがあるが、今回は NiZn フェライトとチタン酸セラミックとの組合せが Y. Suemune, Y. Imamura により報告された。その他、アークプラズマトーチによりフェライトを溶射し均一なフェライトフィルムを作成することが M. Sugimoto 他により報告された。一例として Al_2O_3 基板上に YIG や Ni または Ba フェライトを作成したものが示され、 ΔH はかなり大であるが、将来種々の用途が考えられよう。

2.2 デバイス関係

(1) 非可逆素子: Y. Konishi はサーキュレーター、アイソレーターなどの帯域幅に関する一般理論を電磁界的観点から述べ、広帯域特性をもたせるには進行波エネルギーが重要であるほか、分岐形サーキュレーターの同相励振エネルギーが必要であることを示した。また前者の具体例として、表面波デバイス、後者の例として 3 オクターブの超広帯域アイソレーターを示した。また J. Edrich は YALIG 多結晶を用いた L バンドの低温サーキュレーターを報告し、 $4\pi M_s$ が 300 gauss のものが 18°K で最小挿入損 0.5 dB を示すことを述べた。また T. Miura はフェライト基板上に広帯域整合部分と回転励振モード部分とを形成した広帯域サーキュレーターを報告し、比帯域 27% にわたり逆方向損失 30 dB のものを示した。今後の問題として、整合用モードと回転モードとの重量効果および従来の帯域幅との比較が必要であろうとの意見があった。

(2) 磁気弾性波応用: この分野は最近、基本的研究が活発に行なわれている。とくに YIG 単結晶棒中では静磁界が不均一になることと、スピン波のダイポール・ダイポール干涉のために、スピン波が軸からずれた場合に、軸方向に集束する場合と軸方向から発散する場合と

がある。このような条件が F. R. Mogenthauer により理論的に求められ報告された。また、スピン波や磁気弾性波の単結晶棒中における分布と進路が、レーザー光との相互作用により、回折効果によって観測されることが B. Desormiere, H. L. Gall により報告され、上記の進路の集束効果も見られた。また、静磁波、磁気弾性波、弾性波領域における非直線効果が詳細に観測され、特にパラメトリック効果と思われる現象および数 MHz の低い発振が見られることを K. Kozuka, Y. Kamo, M. Umeno, M. Miki は報告した。また J. H. Colline はガーネットのエピタキシャル成長を用いれば、内部磁界が均一化できる点を強調し、今後の MIC への分野が期待できることを述べた。

(3) その他のデバイスとして、CaV 多結晶を用いたフィルターが Y. Konishi, Y. Utsumi により報告され、薄い円板の無負荷 Q の測定、UHF 帯でのフィルター特性の他、不均一磁場中における Kittel モードの結合係数の理論と実験との比較が示された。また、円形導波管内の円周にフェライトを装荷した回転磁界形移相器において、中心軸に金属棒を入れ、遮断周波数を下げて広帯域化を行なうとともに直線性を増す方法が、S. Nakahara, H. Kuribayashi, A. Mizobuchi により提案された。

(小西良弘)

3. Computer Magnetics

磁気コアや磁性薄膜は、コンピュータのメモリー素子や磁気ヘッドの材料として長く研究開発されてきた。コアメモリーは主メモリーとして、磁性薄膜はファイルメモリーとして現在主力的な地位を確立している。しかし、薄膜技術や IC 技術、その他の技術の進歩により、常に新しい製品が現製品に圧力をかけている。メモリーの需要は大きな伸びが予想されるがゆえに、研究開発の競争も激烈なものがある。本章では、磁気バブルや光メモリーを除いた分野について、コンピュータ応用に関連する INTERMAG での発表論文の概要を述べる。

半導体 IC メモリーや本稿で除いた新メモリーの出現によって、磁性薄膜メモリーの研究開発は大幅に縮小されつつあると聞いていたが、本会議では多くの論文が発表されて、いささか奇異の感に打たれた。しかし、メモリー競争に結論がはっきり出たわけでもないのだから驚くこともないし、また最後の機会としての大量発表と考えることもできる。

3.1 磁性薄膜の研究

蒸着やメッキによる厚さ $1 \mu\text{m}$ 以下の磁性薄膜は、高密度メモリーや集積ヘッドへの応用を指向して多くの研究がなされてきた。しかし、記憶密度やアクセスタイムを

向上すると、いままであまり問題となっていなかった微細な結晶構造や成長構造に依存する特性的問題が非常に重要となってくる。磁化特性、磁区の挙動、磁化反転のメカニズム、特に磁化が反転しきれないで途中でひっかかるクリープ現象などの、より正確な理解を必要とする。

本会議での発表は、最も広く用いられているパーマロイ (Ni-Fe) 薄膜と、最近重要になってきた蒸着によるフェライト薄膜のヘマタイト (Fe_2O_3) からマグネタイト (Fe_3O_4) への変換、CoNiFe などについてのものである。薄膜では磁氣的に等方性のものや一軸性のものを成長することは困難であるが、回転磁場の中で成長させることによって、等方性のパーマロイ薄膜を得ている (S 3-3)。SiO 膜を介した2層のパーマロイ膜間の磁気結合 (S 3-4) や、パーマロイ薄膜中で磁壁速度が大幅に減少する原因 (S 7-2) など明らかにされた。

3.2 コアデバイス

コアデバイスとして興味をひいたのは、いままで主としてデジタルな情報の記憶に用いられていたものをアナログメモリーとして利用しようとするところみである。この関係の論文がソ連とドイツから各2件発表された (S 13-1, 2, 3, S 17-1)。その構成の一例 (S 13-1) は、トロイダルコアとスイッチと励振駆動器と整流器からなっている。角形ヒステリシスループを持つコアは、帰還をほどくことなしに非直線性が2%に減少する事実から、アナログメモリーの特長が出ている。駆動波形を三角波にすると、出力波形が矩形波で得られる特長も持っている。駆動は現在 8 MHz まで可能である。アナログメモリーは NDRO であり、また300ステップのアナログ量まで記憶できるので、デジタルメモリーの1/6のコア数で充分である。したがってコスト低減につながる可能性がある (S 13-2)。積分器、微分器、AGC、電話の呼番号発生用メモリー (S 13-3) やカウンタ (S 13-4) としても応用できる。

アンテナを集積化技術を用いて超小形にし、IC 時代に適合させたいという要求は非常に高い。フェライトアンテナは高周波領域で実用化されているが、感度の向上には大きな障壁があった。そのひとつの解決法として、能動素子と集積化するアイディアが発表された (S 17-2)。このアンテナはパラメトリック増幅器を内蔵して、アンテナの感度を向上している。アンテナのフェライトコアが、パラメトリック増幅器の非直線インダクタンスとしても共用されている。実験は入力信号 1 MHz、ポンプ 4 MHz で行ない、従来のアンテナより SN 比を 5~10 dB 改善している。

3.3 メモリー

磁性薄膜メモリーに関する発表は、ワイヤーメモリー

関係が8件 (日本5件、米2件、ハンガリー1件)、磁気集積メモリー関係が10件 (日本4件、英2件、米2件、独、仏各1件) あった。前年までの発表件数と同等か、それ以上である。ワイヤーメモリーとしては、素子やスタックとしてよりは、むしろ装置やシステムとしての発表であり、磁気集積メモリーは素子としてよりは、高集積メモリーやスタックとしての発表がなされた点に変化がある。ワイヤーメモリーは 10^7 bits 以上のシステムでは、IC メモリーとコスト競争が可能であり、磁気集積メモリーでは $500,000$ bits/in² の密度で、ワード電流とディジット電流が 40 mA、 10^6 bits のメモリーでサイクルタイムが 50 ns 程度のものが可能になり、コストも半導体メモリーより安くなるとの発表があった。発表件数の量や発表者の強気な予測とは対照的に、多くの参加者は磁性薄膜メモリーの将来に悲観的であった。ことに日本にワイヤーメモリーメーカーが多いことに驚いており、本当に商売になるのかと心配していた。

メモリーハイアラキーのコストパフォーマンスに関する発表と、バブルメモリーシステムの発表が IBM からなされた。内容については省略するが、今後メモリーを開発してゆくうえで重要な問題であり、日本でもより活発な研究が望まれる分野である。 (植之原進行)

4. Optical Storage Technology

磁気光学材料は現在、書きかえ可能な光記憶装置の記憶材料としてのポテンシャルがあるということで注目されている。しかし、磁気光学材料を用いた光記憶装置が近い将来実現するかどうかは議論的となっており、今回の INTERMAG で、これに対する何らかの解答が得られるのではないかという期待があったが、この期待は満たされなかったようである。

本章の関連セッションは次の4つである。

1. Optical Storage Techniques
2. MnBi Films and Optical Recording
3. Magneto-Optical Recording and Related Devices
4. Magneto-Optical Materials and Properties

Optical Storage Techniques のセッションは、すべて招待講演であったが、その中で J. C. Suits (IBM) の磁気光学材料を用いたディスク形メモリーの feasibility に関する講演は、この種のメモリーの将来を予測する助けになったかと思われる。彼らは光源として GaAs レーザーアレイを選び、EuO (Fe-doped) 膜のディスクを作り、液体窒素温度 (半導体レーザーで書込み可能な磁気光学材料として知られているものは、EuO を代表とする低キュリー点材料に限られている) での動作実験を行なった結果、光源の問題を除くと、他はほとんど問題はない

という結論に達した。現在、GaAs レーザー（発光面積 $3\mu\text{m} \times 14\mu\text{m}$ ）で 300 mW で 1,000 hr 性能低下なしに働くことが確認されているが、これでアレイを作ったときに偏光の方向がそろわないという問題があり、これをそろえようすると、出力が低下してしまうとのことである。彼らは、低温ディスクの検討をしたのではあるが、やはり、常温で動作しうる材料があるにこしたことはなく、MnBi と同程度の Faraday 回転を有し、キュリー点が室温に近く、相の不安定性のない材料が出てくれば申し分ないとしている。彼は、この種のメモリーが世に出るかどうかは、今後 5 年間の成果いかににかかっているとして講演を結んだ。

また、同セッションで E. Spitz (Thomson-CSF) は、レーザーホログラフィーメモリーに焦点を合わせ、記録密度を高くするには volume 記録が最もよいとし、MnBi などの磁気光学材料よりも、むしろ、volume 記録可能な optical damage 形記録材料に興味を持っている。optical damage 形記録では、読出しとともに記憶が薄れて行く欠点があったが、彼は最近、光記録した後これに電界を加えることにより、この記録状態を安定化しうることを確認した、という興味ある報告をした。

MnBi Films and Optical Recording のセッションで特に注目すべき発表は E. Feldtkeller (Siemens) のそれで、磁気光学メモリーにおける記録材料の figure of merit の要素 F (Faraday 回転) と α (光吸収係数) で張る 2 次元空間の中に、常温動作可能な材料のマッピングを行ない、書き込みに必要な光のパワーをも考慮に入れると、結局 MnBi 膜が最適であるという結論を得るということである。これ自体、とくに取り立てて評価するものではないが、その中で、MnBi の相の不安定性の問題を解決するために、MnBi 中の Mn を種々の元素で置換する実験を行なった結果、置換元素として Ti を選ぶと、MnBi の高温相が安定化されるという新事実を述べた点、注目すべきである。しかし、いままでのところ置換 Ti の量とともに F が低下し、 F/α では、MnSb と同程度という結果になっている。

Magneto-Optical Recording and Related Devices のセッションでは、A. Kokubu ら（電総研）の多段カー効果の話が面白かった。実験は、Fe または Fe をコートした Fe-Ni-Co 膜を上下に相対して置き、この上下の面で偏光を反射させると、各膜の磁化の方向の組合せにより種々の偏光面の回転が得られるというもので、連想メモリーに応用してはということで、アイディアが面白いと思った。

Magneto-Optical Materials and Properties のセッションでは、MnF₂、FeCO₃、 GdIG (Co^{2+} , Co^{3+} , Fe^{2+}),

$(1-x)\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot x\text{Fe}_{8/3}\text{O}_4$, EuS などの磁気光学的、磁気的性質に関する講演があったが、K. Egashira ら（通研）の GdIG の Co^{2+} , Co^{3+} , Fe^{3+} による、可視または赤外における Faraday 回転の増大に関する報告は注目すべきである。

また、K. N. Tu (IBM) らの EuS の単結晶膜で、 $1.7 \times 10^6 \text{ deg/cm}$ の F を得たという報告も、これまでに報告されたもののうちでは最大であるという点、注目してよい。ただし、この値は、5°K で測定したものである。

なお、Magnetic Recording Applications II のセッションでの B. Tsujiyama ら（通研）の MnBi 膜を用いたディスク形メモリーの書き込み、読出しの実験結果に関する報告も注目すべきものである。彼らは、4,000 rpm で、 $0.4\mu\text{m}$ 以下の精度で回転する装置を作製し、実際に高速書き込みを行なって、 $1\mu\text{s}$ 以下の書き込みでは、必要な光のパワーは照射時間に反比例することを確かめ、200 ns では、膜面で 125 mW 必要であるとした。

（藤原英夫）

5. Bubble Technology

泡磁区用の媒体材料としては、当初オルソフェライトが検討されたが、その後、本来立方対称であるガーネットフェライトに誘導的に一軸磁気異方性を付与することができ、泡磁区密度が約 1 桁上がることが明らかになってから、研究の対象はガーネット系に移った。

磁性ガーネット単結晶の薄膜を作るには、非磁性ガーネット単結晶基板の上にエピタキシャル成長させるが、一軸磁気異方性の発生は、基板と磁性膜との結晶格子定数の差に起因するひずみ磁気異方性 (strain induced anisotropy) と、結晶成長の際に伴って発生する結晶成長磁気異方性 (growth induced anisotropy) によるものとされている。いずれにしても、欠陥のない単結晶薄膜を得るためには、基板と磁性ガーネットとの間の結晶格子定数のマッチングがとれていることが必要である。

また一方では、泡磁区材料として、磁化の強さが 100 gauss 前後であって、泡磁区の移動度が大きいことが要求される。これら両者の条件を両立させるため、Fe の一部を Ga や Al で置換したり、希土類元素の種類と組成を選ぶなどして、たとえば表 2 に示するような複雑な組成のものとなっている。

エピタキシャル成長の方法としては、液相法 (Liquid Phase Epitaxial, LPE) と気相法 (Chemical Vapor Deposition, CVD) がある。エピタキシャル単結晶膜は厚さ $6 \sim 10\mu\text{m}$ で $\pm 1\%$ の均一性と無欠陥が要求されるが、ベル研究所では液相法による 2 cm 径の円板試料から 1cm^2 角板を切り出したとき、試料数 61 枚中、28 枚

表 2 泡磁区用ガーネット薄膜の代表例

組 成	基 板	泡磁区径 (μm)	移動度 (cm/s Oe)	製 法
Er ₂ Eu ₁ Ga _{0.7} Fe _{4.3} O ₁₂	Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂	6~17	5~100	LPE
Y _{0.5} Gd _{1.5} Yb _{0.6} Al _{0.7} Fe _{4.3} O ₁₂	Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂		~2,000	
Y ₁ Gd ₁ Tm ₁ Ga _{0.8} Fe _{4.2} O ₁₂	Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂	~ 6	1,000	LPE
Y _{1.2} Eu _{1.6} Yb _{0.2} Al ₁ Fe ₄ O ₁₂	Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂	~ 6.6	~500	LPE
Y ₃ Ga _{1.2} Fe _{3.8} O ₁₂	Dy ₁ Gd ₂ Ga ₅ O ₁₂	~ 5.6	1,500~3,000	CVD
Er ₃ Ga ₁ Fe ₄ O ₁₂	Dy _{0.79} Gd _{2.21} Ga ₅ O ₁₂	~ 7.2	200	CVD
Y _{2.4} Gd _{0.6} Ga ₁ Fe ₄ O ₁₂	Gd ₃ Ga ₅ O ₁₂	~10.4	1,300	CVD

が無欠陥であったこと (S 10-1) や、2 cm 径の円板から一辺 3.8 mm の正方形ペレットを切り出して、無欠陥で厚さのばらつきが 0.1 μm 以内のものが 9 枚とれた (S 5-1) ことなどを報告しており、最近の液相法エピタキシャル技術の進歩を強調している。

しかし、厚さが均一で無欠陥のエピタキシャル膜を作る技術については検討すべき問題も多く残されており、気相法(S 10-2)を含めて、はたして量産性のある製造技術が確立できるかどうか、泡磁区応用が実用になるかどうかの最初の鍵となるように思われる。

そのため、Ga-Feガーネットの液相法で、成長時の温度などの条件と成分比、磁化の強さ、キュリー温度などとの関係 (S 1-4)、エピタキシャル膜の異方性 (S 1-2)、気相法技術の現況や問題点 (S 10-2, S 5-3)、組成のずれと特性変化の吟味 (S 5-4)、結晶欠陥を調べる方法 (S 1-1, S 10-3) など、はなばなしい応用面の話題の展開の陰において、むしろ材料に関する基礎的な問題が改めて重視されている。

泡磁区の応用としては、まず大容量メモリーが考えられる。ベル研究所では 10 Mbits で平均アクセスタイム 4 ms 程度のものを年内に完成するのが目標とのことである。その構成内容としては、64,000 bits のチップ 2 枚をセラミック板に取り付け、エポキシガラスボードにこれを 8 枚搭載した 1 Mbits プレーンとする予定で、その寸法、形状などについて発表している (S 5-1, S 10-1, S 58-2, S 58-3)。

泡磁区駆動法については、T・Iパターン、Y・Iパターン、シェブロンパターン；エンジェルフィッシュ、パラマロイレール、などの変遷があったが、今回 J. A. Copeland らにより新しい電流駆動法が提案された (S 15-6)。これはエピタキシャル成長したガーネット薄膜上に、図 4 のように溝を刻むもので、泡磁区が溝の左右どちらの壁に沿った位置にあるかで“1”、“0”に対応させる。この方法は、高速、低駆動電流であることも特長のひとつであるが、必ず泡磁区が左右どちらかに存在することを利用して、誤り検出が可能なことは利点である。シェブロンパターンでは、薄膜に欠陥があって、その位置に泡磁区が固着しても、4列パターンなどでその障害

図 4 新しく提案された泡磁区駆動法

導体幅 W
泡磁区の径 $2W$
溝のステップ $1.5W$
ビット当りの面積 $40W^2$

をさせることができることが特長であることと同じように、薄膜の欠陥や特長の不均一などによる誤動作に対抗する方策が案出されていることは注目すべきであろう。また、この駆動法はパーマロイパターンほどの微細なパターンを必要としないことも利点といえる。

泡磁区検出に関しては、InSb のホール効果を利用したもの (S 26-1, S 26-3) 2 件、パーマロイの磁気抵抗効果を利用したもの (S 26-5, S 59-5) 2 件の発表があったが、予定されていた外国からの発表 (S 26-2, S 26-4) 2 件がいずれも取り消しとなり、4 件とも国内からの発表となってしまった。

泡磁区構造の理論は、かなり明らかになっているが、新しい磁区構造として、パイポーラー泡磁区やリング状泡磁区などを観測した状況が日本電気から発表され、注目を浴びていた。(富永 滋)

以上、報告いただいた筆者の方々には、会議ご出席間際のご多忙の折にご執筆をお願いしたところ快くお引受けいただき、それぞれの深い洞察をまじえた報告を早速ご提出いただきました。多少専門的にわたった点もあるかと思いますが、今後の国内の磁気応用技術の発展に貢献できれば幸いと思います。終りにご多忙中ご協力いただいた執筆者の方々に深謝致したいと思います。(編集委員会)