受賞記念講演

高密度記録磁気ヘッド材料の開発

釘宮 公一

松下電器産業(株)研究本部, 〒570-8510 守口市八雲中町 3-1-1.

R&D of the High Density Recording Magnetic Heads and Materials

Koichi Kugimiya

Corporate Research Division, Matsushita Electric Industrial Corporation, Ltd., 3-1-1 Yagumonakamachi, Moriguchi 570-8510.

Received September 16, 1998

SYNOPSIS

The development of magnetic heads used in the VTR's has been studied for over 30 years. The development coincided with the sharp rise and the present stagnant growth of our industry, electric and electronic market in Japan. The prominent growth has been observed at the time of a newly launched compact home use VTR just after the first oil shock. This rapid growth had been realized by the intense R&D of heads and tapes with never ending endeavor and eagerness for the very high density recording. One of the key technologies was the intrigued application and combination of anisotropic properties of crystalline materials, besides the drastic improvement of magnetic tapes and the steady advancement of a tape/head interface. Although the markets is slow these days, the technologies are still advancing to realize even higher densities. The DVC with ME tape is here and renewed efforts have been intensively paid for a drastic improvement of HDD technologies. A new materials, GMR, has been recently introduced. The renewed effort will be expected to open new gigantic AV & C markets over the next century.

KEY WORDS

Magnetic heads, Crystal oriented materials, Ferrites, VTR, GMR

1 緒 言

ここ 30 年間にわたる磁気ヘッドとその材料の開発・改良には目を見はるものがある。永らく放送局などの業務用に使用されてきた VTR が、技術の急速な進展(と業界の熾烈な技術開発競争)によって、ついに家庭用にまで展開が可能となった。磁気ヘッドや磁気テープの驚異的な進歩や、アジス記録や半導体などの新技術の導入によって、小型化と低廉化が可能となった。Fig.1 に示すように、家庭用ビデオ元年とされる石油ショック後の 76 年を起点にビデオの生産は急成長している。この成長は、当に日本の高度成長時期と軌を一にしている。磁気記録技術は、70 年代までビデオ用及びコンピューター用は共に共通要素技術として共に発展してきた。しかし、ビデオ技術の急速な進展と同分野での日本の商品技術の独走によって以降は、コンピューター技術は米国が中心と色分けされるように陥った。それでも、当電気機器業界の 97 年の日本国内出荷高は優に 43 兆円を超えるまでの巨額に成長している。30 年前に比べて 20 倍程度の成長である。一方で、海外市場の成長や円

高に伴っての海外生産の急増を招き、国内生産高の低減・製造技術の空洞化が生じ、現在の技術や景気の停滞に至っていることまで全業界が同期している。このような状況下で、難局を開する技術も出てきている。DVC や HDD に関わる革新技術であり、大いに今後が期待できる。特に HDD に拘わる高密度化技術は 90 年代に入って著しく急成長しており、業界のみならず官学挙げての開発成果が期待される。

振り返ってみると、金属ヘッドや金属テープなどの金属磁性材料に始まり、耐久性や簡便性等の詳細な検討の結果、使い易い酸化物磁性体に主力が移ってきた。しかし、結局の所 30 年後技術が一巡して、再び金属材料に注目が集まっている。しかし、以前とは異なった技術レベルや新しい視点が見られ、金属磁性材料元来の高い特性を活かす・素材を活かす斬新な技術の発展: nm レベルの構成・評価技術、ナノ構造制御技術、傾斜積層構造制御技術、界面制御技術などにより当初不可能に思われた技術課題が克服されている。界面現象は学問に成り難くこれからはまだまだ解決すべき課題が多い現状ではあるが、トライ

Fig.1 Annual industry size and annual output of video equipment. Domestic annual production of electric and electronic industries, and world production of VTR equipment: domestic and overseas productions.

ボロジーとして重要な一専門分野として位置付けられており今後の発展が期待される。特にこの分野では、産々官学の協調や協力無くしては解決し難い基本的な課題が山積している。産々官学の協調・協力体制の再構築が望まれる。これら昨今の技術発展や開発の歴史について、VHS-VTRの磁気ヘッドを例にとって技術の変遷を振り返って以下に記述する。併せて、今後の発展に期待する材料についても簡略に触れる。

2 家庭用ビデオ元年

家庭用のビデオ機器としては、70年代以前のかなり早い時期から各種の取り組みが為されており、色々な方式が提案された。いずれも少数の生産や提案のみで消え去り、本格的な普及に弾みを付けたのはVHSタイプやベータタイプが導入された76年からと云える。

それ以前では、ビデオ機器は放送局用を中心に業務用として古くからテレビ局や報道機関で重用されていた。当社も古くからビデオ事業を開始して市場開拓に苦労していた。市場の拡大に向けて、家庭用への応用展開を早くから企画し挑戦してきた20年以上の歴史が積み重なっていた。ようやく可能性が見えてきたのは、実に70年代に入ってからである。事業の継続と経験によって、技術集積が進むと共に多方面での技術の改良が進んだ。テープ幅が2インチから3/4, 1/2インチへと狭くなるに従い、また、半導体集積回路の導入もあって回路の小型化も、機器の小型化も急速に進展した。基本的な磁性材料の変革も重要な技術項目として注目される。ヘッド材料としてパーマロイ、アルパム、センダストなどの金属系からフェライト材料の適用が始まった。特にホットプレスフェライト²⁾は高密度材料として、フロッピー用やハードディスク用のヘッド材料として既に脚光を浴びており、生産が立ち上がっていた。磁気ギャップの精度が高く、耐久性が高いことが市場で実証され、高く評価された。この堅牢さと

Fig.2 Trends of magnetic recording densities: track width and minimum recording wavelength.

金属にない耐摩耗性や耐食性が、家庭用としてのメンテナンスフリー化を実現する決定的な要因となった。1000時間の録再時間保証：ヘッド寿命(一般的に4~5年の寿命)が実現された。同時に、アジマス記録方式、コバルトドープの酸化鉄針状粒子などの注目される大発明が導入された。これらの技術が整備されたのを契機にして、Fig.2に示すような高密度記録化技術³⁾やさらなる機器の小型化が急進展した。研究開発は全世界で活発であったが、特に日本は秀でていたと云える。実用的な材料開発は泥臭い面が目立ち、西洋流の単純化や単純明快な理論体系には馴染まない。要因の不明なプロセス依存の特性が多く開発は容易でない。いわば意味不明な因子も含めた多次元解析と云えるが、このようなファジーなマクロな解析や開発は日本人向きなのであろう。この当時は色々な技術面で大学との実のある共同研究は盛んであった。また、部品業界や同業各社との協調と、一方ではソニー対松下に代表されるような熾烈な企業間の競争などの、協調と競争が適度に混在していた。

さて当時、さらなる高密度記録化の壁を打破する技術として注目され、丹念な研究や評価が実施されたのが異方性の活用であった。結晶磁気異方性、機械的結晶異方性、摩耗異方性、加工異方性が詳細に調べられ、単結晶フェライト、配向性フェライトなどについて大量のデータが集積された⁴⁾。

配向性フェライト⁵⁾は当社が最初に投入した2時間ビデオを

可能にした画期的な、単結晶のような異方性を有した多結晶フェライト材料である。当時既に大量生産体制の確立していたホットプレス焼結法を用い、トンネル炉で生産できた。機械加工性に秀でるなどの単結晶には無い特性を有しており、既成の量産施設がある点でも非常に有利であった。Fig.3のX-線パターンにあるように、単結晶のような結晶異方性を有している。その製造は通常のセラミックプロセスに依り、非常に簡単である。Fig.4に示すような結晶形状異方性を持つ粒子^{6,7)}技術が基本になっている。特殊な形状を再現性良く量産する技術開発には何百の実験が実施され数十通の報告書となっている。オキシ水酸化マンガンは、硫酸マンガン水溶液に過酸化水素とアンモニアを滴下熟成して得られる。滴下の濃度、速度や順序、温度等で形状は大幅に異なり、熟成によってある程度は安定化する。板状の酸化鉄は水熱法で製造される。原料ゲータイトの性状、ロット依存性、アルカリ濃度・種類、不純物などによって形状は、立方状から板状まで任意に変えられる。核形成と結晶成長による差異が結晶の形状に敏感に反映したものである。非常に多くの因子が関わっており、

Fig.3 X-ray diffraction patterns of a crystal oriented ferrite. Reference, parallel to (111) and perpendicular to (111) patters.

ついに単純な技術体系に纏めることができなかったが、量産に最低必要な合成条件は決定できた。特に、配向度や粒径制御は原料の粒径で決定されるので、原料製造プロセスの制御は非常に重要であった。

これらの扁平な粒子を配合・混合して後に、加圧・脱水と同時に成型することにより粒子を配向させる。焼結するとヘマタイトとオキシ水酸化マンガンがフェライト化して、それら粒子の対応した方位がスピネル結晶の<111>方向に一致するトボクティック反応を生ずる。従って、この方向からX-線回折を撮るとFig.3のように<111>の倍数のみが、その直角方向からは直交方位のみの回折線が観察される。<111>配向率は、配向性フェライトのピーク値から $I_x(nnn)/I_x(hkl)$ を求めて、これを標準の無配向のフェライトのピーク値 $I_s(nnn)/I_s(hkl)$ との比率として簡単に示される。この製造方法は、かなり荒っぽい製造方法に思われるようだが、非常に簡便でありながら確実に高い配向度90%~95%を得られるユニークな手法である。

さらに、短冊状のオキシ水酸化鉄やオキシ水酸化マンガンを加圧成形・押し出し成形を併用することによって、3次元的な異方性を有する、即ち、粒界の存在する単結晶が実現できた。一見、X-線的に単結晶にみえる多結晶体である。

高特性の磁気ヘッドを得るために、単結晶の磁気異方性、機械的な加工異方性や摩耗異方性の多数の組み合わせが検討された。その結果、ビデオテープと接触する面や走行する方向に応じて各種の特性が異なる特性が確認された。それらの特性と対応させた結晶面方位(100)面(110)面(111)面(211)面とそれらの軸方位の組み合わせで、最良の出力や対摩耗性を示す面方位が発見され、幾通りかの良好な組み合わせが報告されている。ビデオ機器の回路特性やテープの走行特性などの特性に合わせた特定方位のヘッド数種が、現在各社で量産されている。

さて、ビデオ機器は世界中で概略5000万台強が生産されている。一方、1台当たり平均4ヶのヘッドが使用されていると報告されているので、世界中のビデオヘッド生産数は、概略2億個を優に越えている。今後も、途上国の情報開国に伴って生産数は着実に増大していくと予想されている。大市場であ

Fig.4 A process flow of a crystal oriented ferrite.

る中国では、輸出用のみならず内需に必要なビデオ機器の生産を、既にフェライト育成の源流工程から一貫して開始している。

3 発展から成熟へ

磁性材料はフェライトのままでも、組成制御技術の進歩や特性の劣化を防ぐ加工技術・ガラス溶着技術の高度化、さらに磁気ギャップの高度な精密な制御・形成技術の進展などと磁気テープ特性の大幅な向上に支えられて、記録密度は年々着実に向上してきた。磁気テープに於いては、初期のコバルト被覆の酸化鉄針状粒子に代わって金属鉄超微粒子が登場し、さらには現在ではコバルトを蒸着した、いわゆる、MEテープが上市された。これに相応して、磁気ヘッドはフェライト単体のヘッドから Fig.5 に示すように金属を少なくとも磁気ギャップに設けた MIG (Metal In Gap) ヘッドが登場し、さらには 3-5 ミクロンの金属薄層をテープ走行特性の優れたセラミック基板上にスパッター積層した LAM (Laminated Amorphous Metal) ヘッド等が開発された。特に、LAM ヘッドは磁気特性が優れており高級機種やプロ用の機種に多用されている。金属材料としては、センダスト、アモルファス、窒化合金、複合積層や構造制御材料などの各種の新材料が豊富に登場してきた。これらの技術改良が相まってその磁気記録密度向上の速度は Fig.2 に示されているように、平均的には 10 年で約 20 倍が達成された。現在もその速度を上回って、開発が継続されている。開発初期から本命と騒がれた金属コバルトを蒸着した、いわゆる、ME テープ⁹⁾ が実用化されるまでに約 30 年が経過している。本質的な特性が非凡であることは衆人が認めるところであったが、腐食、耐摩耗、剥離などを含めてその実用性や耐久性を高めるのに多大の開発時間が割か

れた。表面の部分酸化、DLC 膜、斜め 2 重蒸着などのナノ構造制御技術が投入されたハイテクテープである。対応する磁気ヘッドも導入され、テープの走行機構も改良されて、さらなる高密度化が実現された。現在、DVC に広く活用されている。今後はメインフレームのコンピューターのバックアップメモリーとしての展開も期待されている。DVC の高密度記録化の余地はまだまだ大きく、長時間録画化やさらなる小型化が期待される。磁気ヘッドについては、金属磁性材料の飽和密度の向上時期特性の改良、磁気ギャップの極小化、ヘッド幅の薄型化などが挙げられる。磁気テープについては、薄膜磁性構造制御、表面・傾斜構造制御、表面保護材料の極薄化などの改良が期待される。この他に走行系の機構改良やヘッドとテープ間の接触面・トライボロジーの解析も今後進むと思われ、一桁の記録密度向上は時間の問題と云えよう。テープの厚みも Fig.6 にあるように今後益々薄膜化が進行してゆく。この面では体積高密度化が進むといえ、結果的には小型化に繋がる。このような薄膜化においてもインターフェースは重要な問題として注目されている。また、ヘッドの極薄化に伴い、バウクハウゼンノイズ、磁歪による劣化や HDD におけるヒートスパイクなどの現象が、古くて新しい問題として再び浮上してこよう。

即ち、前述のように磁気テープ、磁気ヘッド材料共々金属回帰の時期に当たっており、磁気記録技術記録全体が 30 年以上前の金属時代に戻っている感がある。しかし、ナノ構造や超薄層技術がふんだんに入っている。過去のバルク金属のイメージからは全く異なっている。長い技術の発展というトラックを一周してきたところ、さらに高い視点や技術を持って原点に戻ってきた感がある。

Fig.5 Configuration of magnetic heads.

Fig.6 A trend of ME tape thickness.

一方、この間の市場の拡大はFig.1にあるように凄まじく、ビデオ機器の世界生産台数は現在5000万台を上回っている。しかし、ここ数年は停滞気味である。前述のDVCは一部新規需要を開拓しているものの、大部分は買い換えである。従って、この分野では先進国での大きな市場拡大は望めない。今後、需要は途上国を中心に徐々に増加していくものと期待されている。生産面では、同図にも明らかなように海外生産が主体となっている。この傾向は、DVCのような高技術商品の開発が連続しなければ止められない。国内の生産空洞化防止に対して技術開発部署の責務は非常に重大である。このままでは技術自体が空洞化するの時間の問題であろう。現在の所、本分野の開発は産業界が主体となって進めているが、幾多の基本的な技術障害が立ちだかっている。原点・初心に帰って、広く産官学の再発展を期する時期に再び至っているのでは無いだろうか。

4 今後の発展

電子電気機器市場やビデオ市場の成長のみを注視するとFig.1にあるように成熟産業の感は否めない。しかしながら、電子電気機器分野を広く見渡すと、成長の著しい分野が幾つもある。HDD機器がその一つである。HDDはパソコンの周辺メモリー機器として大量に供給されており、一般にパソコンの1.5倍の台数が必要と云われている。2000年には2億台が予測されており、FDDと合わせれば3億台近くが生産される見込みである。ODD(光ディスク)を含めると周辺メモリー機器として3.5億台の需要予測である。今後はパソコンだけの周辺機器としては無く、AV&Cの映像情報機器端末やセットトップボックスとしての機能展開が急速に進展すると期待されている。したがって、来世紀には上記の予測を上回る大きな成長が期待される分野であり、各種のメモリー技術が競合する技術革新の著しい、技術競争の激しい分野と云える。このため、80年台にVTR技術開発に投入された技術資源以上の努力が現在産官学を跨って投入されている。

HDD用の磁気ヘッドは、30年ほど前からビデオヘッドと同様の技術や材料で出発し発展してきた。その内、コンピュー

ター周辺機器の技術進展に引っ張られて、半導体メモリーとの競合を受けて、技術開発の速度は非常に顕著となった。MIGヘッドへの転換も早期に終了して早くから薄膜化に移行している。現在ではMR, GMRと既に第2世代へ移行しつつある。ヘッド構造はFig.7の断面に示すように各種の層が記録再生層にかかわらず順次積層構成されている。その製造では半導体技術・プロセスの恩恵を最大限に享受している。このうち、GMRからなる磁性層⁹⁾は、10~20nmの非常に薄い層で形成されている。その薄層の一例をFig.8に示す。数nmの十数原子レベルの厚さの銅やコバルトの薄層が積層されている様子が、断面透過電子顕微鏡像に示されている。これと同様に各種の金属や酸化物の組み合わせが報告されている。このようなGMR膜は、以前では、MBE法などの高度な量産の困難な技術で作成されていたが、現在では簡単に一般的なスパッター装置で製造できるように技術開発された。特に重要な管理因子としては、金属材料の非常に薄いスパッターであるために、到達真空度、ガス中の湿度の管理、ベークアウトなどの装置の壁に吸着したガスの排除が肝要である。

現在のGMRの記録密度の限界は、1平方インチ当たり10Gbとされており、来世紀初頭には限界に至ると予想されている。現在それを越える理論限界とされる40Gbへの挑戦が既に開始されている。トレンドカーブに従って、技術開発は2005年には40Gbを、2010年には100Gbを実現する速度であると期待されている。当面の検討材料としてはCMR材料などが候補となっている。また、その一歩先の100Gbの必要性は認められてはいるものの、技術の可能性については全く未知・未検討である。

このような高密度になると、HDDもネアーコンタクトとなり、DVCの接触型のヘッドとの差が小さくなる。トライボロジーが益々重要な位置付けを帯び、鍵となる技術と云える。純粋な界面のみでなく、ゴミや汚れが共存し、また、自身の摩耗粉自体が汚染源となる。この効率的な開発には、複合した多面的な視点が必要とされる。SRCによる産官学の共同開発が進んでいる。その成果が期待される。

Fig.7 A configuration of a GMR Head.

Fig.8 GMR film structure.

5 ま と め

概略30年の磁気ヘッドの発展を振り返ると、丁度電子産業の高度化と汎用化がかさなり、大きなうねりとなって技術革新を連続して生み出してきたこと、それが更なる低廉化と高普及化に繋がって非常に良好な素晴らしい技術開発・商品化の循環を巡ってきたことが明確に示されている。世紀末に至って、この正の循環が肥満し不調をきたしている。この現状を打破するのは、やはり技術であろう。磁気記録技術に限っても、革新すべき課題は多い。ビデオ技術に傾注して一時的に弱体化したHDD用のヘッド・材料技術開発も本格化して、平方インチ当たり40Gbの壁、100Gbの壁への挑戦が始まっている。他の記録技術の進展もFig.9に見られるように、急速に進展しているので、もし、進歩が停止すれば直ちに技術の衰退に直結する。DVD技術は青色レーザーの導入も間近であり、多重記録技術も発表されている。半導体技術の高集積化は、市場の変調にも拘わらず予測に従って進歩を続けている。

現在、高速のメモリーにはCPUと直結した半導体メモリー、大量のメモリーとして高速転送が可能なHDD、廉価な大容量メモリーとしてODD/DVC、更に大容量やシステムの最終的なバックアップとして磁気テープを使用する適材適所の使い分けが定着している。この傾向は当面変化しそうでは無い。しかし、今後AV&Cの融合技術が進歩し融合商品が上市されれば、大量の映像情報を高速に移転する必要が拡大し、その機能に優れたHDDの応用範囲は広がる。このためには、上記の技術の壁を打破する必要がある、特にメディア・ヘッド用の新材料開発、システム構成、メディア・ヘッド間のトライボロジー等の要素技術の解決が急務であろう。

文 献

- 1) Private communication: 松下電器産業株式会社ビデオ事業部調査資料。
- 2) E.Hirota, T.Mihara, A.Ikeda and H.Chiba: "Hot-Pressed MnZn Ferrite for Magnetic Recording Heads", IEEE Trans. Mag., MAG-7/3(1971)337-339.
- 3) H.Sugaya: "Rotating Head Type Video Tape Recording Technologies", Nat. Tech. Rept., 21(1975)1-32.
- 4) E.Hirota and K.Kugimiya: "Ferrites for Magnetic Recording Heads", Nat. Tech. Rept., 22(1976)753-773.

Fig.9 Trends of mass memory technologies.

- 5) K.Kugimiya, E.Hirota and Y.Bando: "Magnetic Heads Made of a Crystal-Oriented Spinel Ferrite", IEEE Trans. Mag., MAG-10/3(1974)907-909.
- 6) 信岡総一郎: "磁性酸化鉄関連化合物の湿式合成に関する報告", 大阪工業技術試験所報告, (1969) 第331号.
- 7) K.Tahara, T.Yamamoto, Y.Bando, Y.Kiyama and T.Takada: Paper2-12 presented at the 1968 Conf. on Powd. and Powd. Metallurgy, (Tokyo, May 13-16, 1968).
- 8) A.Tomago: "Metal Evaporated Magnetic Tape for a New Tape Recorder System", J. Inst. TV. Ind. Jpn., 35(1981)733-738.
- 9) Y.Sugita, Y.Kawawake, M.Satomi and H.Sakakima: Jpn. J. Appl. Phys., 37(1998) (to be published).