最近の蒸着テープ

高井 充[†], 小林 康二[†]

ハイレイト方式 VTR (ハイバンド 8 mm ビデオ) 用の蒸着テープについて, 広い帯域で高出力を実現するために開発した独自の 3 層構造の磁性膜, 平滑なフィルムを安定に走行させるベース表面処理技術, また高い信頼性を維持するため保護層について解説する。

1. ま え が き

近年, テレビセットの大画面化に伴い, VTR に對してもいっそうの高画質化を要求する声が増加してきている。その中で, 1989 年 4 月に市場に登場したハイレイトは, 水平解像度 400 本以上と S-VHS と同等の高画質を実現し, また, その小型軽量というメリットを生かしてカメラ一体型 VTR として一般ユーザに広く使用されている。

図 1 に最短記録波長の推移を示す¹⁾。ハイレイトにおいても, ほぼこのライン上の $\lambda=0.49\mu\text{m}$ が達成されている。今後さらに記録波長が短くなっていくと予

想されるが, その領域での記録媒体としては蒸着テープが有望であると思われる。

また, ハイレイト以外のシステム, 例えばハイビジョンなどに使用できるようにするには, 短波長領域の特性はもちろん, 長波長までの広い帯域で高出力が得られるように改善することが必要になる。

単層蒸着テープについては, すでに多くの報告²⁾がなされているため, 本稿では広帯域で高出力という目標を達成するために開発した 3 層蒸着テープに説明を絞った。

2. 蒸着テープの構成

2.1 蒸着テープの概要

蒸着テープは, 製法や構造といった面で従来の塗布型テープと大きく異なる。図 2 に塗布型テープと蒸着テープ製造工程の概略を示す³⁾。

塗布型テープは磁性粉や非磁性のバインダ, その他添加剤などの混合物をフィルムに塗布するために, 磁性層中の磁性体の体積率は約 30~40% である。ここで, 体積率とは

$$\frac{\text{磁性体}}{(\text{磁性体} + \text{非磁性バインダー} + \text{添加剤})}$$

である。

これに対して, 蒸着テープは非常に表面性の良いフィルム上に金属薄膜がバインダなしに形成され, 磁性体の体積率は 100% 近くになっているのが特徴である。金属材料としてはコバルト・ニッケル合金が検討されており, 磁性層の残留磁束密度は塗布型テープに比較して大きい。このため高密度記録媒体として優れた特性を持っている。

また, スパッタリングなどの薄膜形成方法に比較し

図 1 最短記録波長の推移

[†] TDK 株式会社 記録メディア事業本部開発技術部
 “The Latest Metal Evaporated Tape” By Mitsuru Takai and Koji Kobayashi (Recording Media Division, Chikumagawa Technical Center, TDK Corporation, Nagano)

図 2 磁気テープの製造工程フローチャート

図 3 蒸着装置概略図

てその蒸着レートは2～3桁程度大きく、大面積のテープが必要とされるVTR用のテープの製造法として現在実用化されている。

図3に蒸着装置の概略図を示す。蒸着装置は大きく3つに分類することができる。第1には真空中でフィルムを走行させながら蒸着するための走行系を持つ真空槽、第2に磁性膜を形成する材料のコバルト・ニッケル磁性合金を融解し蒸発させるための電子銃、第3に真空槽内の大気を排気するための真空ポンプである。

次に、蒸着テープの製造技術について述べる。ベースフィルムは磁性膜との接着を向上させるための前処理が施されたのち蒸着室に至る。蒸着室内のルツボにはコバルト・ニッケル合金がセットされ、この中で電子銃からの電子ビームによって約3000°に加熱・溶融される。

ベースフィルムは高温雰囲気下における熱負けを防ぐために冷却されたドラムに巻き付けられた状態で走行し、蒸気状の合金がフィルム上に約2000Åの磁性層を形成する。この時、磁性層には耐久性と磁気特性の向上を目的として酸素を主成分としたガスを導入する⁴⁾。

磁性層が形成された後、帯電したベースフィルムを除電するために後処理を施し、ガイドロール等を介して巻き取る。

以上が一般的な蒸着テープの製造方法である⁵⁾。

2.2 多層蒸着テープの構造

図4に蒸着テープの構造図を示す。蒸着テープは保護膜・磁性層・ベース・バックコート層より成り、さらに接着力を向上させるために、必要に応じて下地層が磁性層とベース、およびベースとバックコート層の間に設けられる。

特徴となる磁性層は3層から成り、その結晶成長方向は交互方向となっている。膜厚は全体として約2000Å、各層が約600～700Åである。写真1に3層蒸着テープの電子顕微鏡断面写真を示す。

図5に3層蒸着テープのオージェ分光分析による深さプロファイルを示す。3層の磁性層は各層が特殊酸

図 4 蒸着テープの構造図

写真 1 蒸着テープ電子顕微鏡断面写真

図 5 AES 深さプロファイル

素ガスによって酸化処理が行われており、耐久性や磁気特性の向上をもたらしている。

磁性層以外では、保護膜として磁性層の表面に約 30~40 Å の極めて薄い潤滑効果を持つ膜を形成している。また、バックコート層は高い走行安定性を実現し、同時に磁性層表面の鏡面状態に悪影響を及ぼさないように設計されている。

2.3 各磁性層の役割

3 層蒸着テープにおいて磁性層の各層の役割は異なっている。以下それぞれの役割について述べる。

最下層は、主にさびの発生を防止することを目的として形成されており、このため結晶構造が密になるような製法がとられ、水分などの侵入を抑制している。

次に、中間層はその結晶の傾斜方向が最上層とは逆向きになるように形成され、ヘッドの記録磁界方向に対して保磁力が小さくなるようにすることで、長波長信号を有効に記録できるようにしている。

記録ヘッドに最も近接する最上層の磁性層は、短波長出力に最も大きく寄与している層である。単層蒸着の場合、長波長出力などとのバランスを考えて設計するため、短波長出力をある程度犠牲にせざるを得ない。

しかし、3 層蒸着の場合、このような問題を中間層と最下層で解決することができるため、最上層は必要とされる短波長出力にのみ適した設計が可能である。また各層の厚みを薄くすることでノイズの低減も図ることができる。

ただし、このような磁性層の構成があらゆるシステムにおいて最適であるとは限らない。今後、使用される VTR とのマッチングや他のフォーマットへの応用

図 6 ヒステリシスループ

を考える時、その膜厚比や層構成の調整が必要になると予想される。

3. 電磁変換特性

3.1 磁気特性

図 6 に単層蒸着テープと 3 層蒸着テープのヒステリシスループを示す。保磁力を同等にした場合に磁束密度を単層より大きく設計することができる。

これは、単層の場合よりも 3 層の方が製造方法での自由度が大きく最適化に有利なため、各層に保磁力や磁束密度の向上などの役割を分担させることが可能なためである。

3.2 周波数特性

一般に、蒸着テープは薄膜媒体であるという特徴を生かして、塗布型テープに対し短波長信号には非常に有利である。しかし、長波長出力は塗布型テープに比較して劣るという現象が避けられず、また、斜め蒸着という製法からテープの走行方向で出力差を生じる短所があった⁶⁾。このような蒸着テープの短所を改善するための検討から生まれたのが 3 層蒸着テープである。

図 7 にハイエイトにおける出力の周波数特性を示す。1 MHz 以下の周波数では単層蒸着は塗布型に劣るが、3 層蒸着は塗布型に比較して 3~4 dB 優位にあることがわかる。このため 3 層蒸着テープはカラー特性においても塗布型テープより優れている。

さらに、10 MHz の短波長領域における出力も単層テープと同等であり、全周波数帯域において塗布型および単層蒸着テープより優れていることがわかる。

3.3 最適記録電流

テープ設計において重要なポイントのひとつに最適記録電流 (ORC) の設定がある。図 8 に周波数 7 MHz の記録電流特性を示す。ここでは (a)、(b) と製法の

図 7 周波数特性

図 8 記録電流特性

異なる 3 層蒸着テープを例に上げたが、その ORC が数 mA 変化していることがわかる。

このように、3 層蒸着テープでは記録電流特性を調整することが可能であり、テープ設計上における自由度が比較的大きい。

3.4 FM 音声出力

ハイエイトは従来の 8 mm ビデオと同様に、FM 音声の記録周波数が 1.5 MHz に設定されている。

1.5 MHz という周波数はビデオ信号帯域全体から見ると長波長領域にあり、単層蒸着テープでは高出力を得ることが難しい周波数帯域である。

図 9 に 1.5 MHz の変調ノイズスペクトラムを示す。この図から 3 層蒸着テープは FM 音声領域において、ノイズレベルが 3～4 dB 低下していることが

図 9 変調ノイズスペクトラム

わかる。これは 3 層蒸着の磁性層の結晶径が単層の結晶径に比較して小さいためであると思われる。

4. ベースフィルム

4.1 ベースフィルムの表面性

蒸着テープでは磁性層厚さが 2000 Å 程度と非常に薄いため、磁性層の表面状態はベースフィルムの表面性に大きく依存する。このためベース表面は鏡面に仕上げられている。

その表面粗さは中心線平均粗さ Ra で約 0.003 μm であり、塗布型テープに使用されるベースフィルムの約 3 分の 1 である。写真 2 および写真 3 に塗布型テープと蒸着テープの磁性層表面の比較写真を示す。

ただし、ベースフィルムの表面性が良すぎると、VTR のシリンダやガイドポールとの摩擦が異常に高くなり張り付いてしまう現象が発生する。これを防ぐためには適度な粗さが逆に必要になる。このため蒸着テープのベース表面には微粒子の表面突起が形成されている。

4.2 表面突起

ベース表面の表面突起は、走行性だけではなく電磁変換特性にも大きく影響する。表面突起が大きいほど摩擦が下がり走行性も安定するが、半面スペーシングロスも増加し電磁変換特性を低下させる。このことから形状、大きさ、分布密度、分布状態などについて表面突起を厳密に管理することが必要である。写真 4 に 3 層蒸着テープの磁性層表面の拡大電子顕微鏡写真 (SEM) を示す。

4.3 表面突起の連鎖比率

表面突起を管理する場合、分布状態の定量化が大きな問題となる。可能な限り均一に微粒子を分布させる必要があり、粒子どうしが凝集したり極端に接近する

写真 2 塗布型テープ表面写真

写真 3 蒸着テープ表面写真

写真 4 蒸着テープ電子顕微鏡表面写真

と、これらの粒子は見掛け上大きな 2 次粒子を形成することになる。この粒子間の接近度を分布状態と見なし連鎖比率と定義する⁷⁾。

すなわち、ベースの表面に形成された微粒子の直径

図 10 連鎖比率説明図 ($d > R$ の場合)

図 11 連鎖比率説明図 ($d \leq R$ の場合)

を R ，隣接粒子間距離を d とするとき，

$$d \leq R \text{ ならば 2 次粒子を形成する} \quad (1)$$

$$d > R \text{ ならば 単独粒子として存在する} \quad (2)$$

と考えることができる。そこで，この見掛け上大きな 2 次粒子を形成する割合を連鎖比率とする。このとき，単位面積あたり $d \leq R$ を満足する粒子数を A ，単位面積あたりの総粒子数を B とすると，連鎖比率は以下のように表すことができる。

$$\text{連鎖比率}(\%) = \frac{A}{B} \times 100 \quad (3)$$

ここで粒子の直径 R は平均粒子径を使用し，粒子間距離 d ，および単位面積あたりの粒子数は電子顕微鏡写真上で測定する。

図 10 および図 11 は連鎖比率と表面状態を図式的に示す説明図である。図 10 では粒子径 R に比較して粒子間距離 d_1, d_2 が大きいいため連鎖比率は小さくなる。これに対して図 11 の場合は，粒子間距離 d_3, d_4 が小さいため 3 個の粒子が 1 個の大きな 2 次粒子として見なされ，結果として連鎖比率は大きな値をとる。

4.4 連鎖比率と諸特性の関係

微粒子径の大きさは，電磁変換特性や物性に大いに関係する。特に，スペーシングロスの影響を受けやすい短波長信号や，表面性の変化による摩擦の増減に著しい影響がある。

図 12 微粒子径と再生出力の関係

図 13 微粒子径と走行摩擦の関係

図 12 に微粒子径と出力の関係を示す。ここで出力はハイエイトでの周波数 7 MHz の信号出力に対応する。図より粒子径の増大とともに出力が低下すること、低下率は粒子径 100 Å 当たり約 0.5 dB であることがわかる。

一方、図 13 に示すように、粒子径によって摩擦も変化する。図から粒子径が大きくなるにしたがって走行摩擦は低下し、走行性は安定することがわかる。ただし、図 12 に示すように、出力は粒子径の増大によって低下する。

次に連鎖比率と出力の関係を図 14 に示す。これより、同じ粒子径のベースフィルムを使用しても連鎖比率が異なると大きく出力に影響することがわかる。この場合、連鎖比率が 10% 高くなると出力は 0.5 dB 低下するという関係が成り立っている。

したがって、図 12、図 14 から、粒子径を 100 Å 大きくすることと連鎖比率を 10% 高くすることは、出力への影響という点において同程度の効果があるといえる。

4.5 表面設計

一般に再生時の理論的な分離損失は、損失を L 、

図 14 連鎖比率と再生出力の関係

分離長を d 、記録波長を λ とすると、

$$L = 54.6(d/\lambda) \quad (4)$$

で表せる⁸⁾。しかし、蒸着テープの場合、分離長 d をフィルムの表面粗さに対応させると上式に従わない。これは、分離長 d に表面粗さ以外に微粒子の径や連鎖比率、磁性層の酸化被膜の厚さなどの影響が含まれているためであると思われる。

したがって、ベースフィルムの設計に際しては、必要とされる電磁変換特性や摩擦を考慮し、それに適した表面設計を行うことが重要である。

5. 信 頼 性

5.1 酸化保護膜

蒸着テープの磁性層厚さが 2000 Å と非常に薄いことは前に述べたが、このように薄い金属薄膜が高速回転する VTR の金属シリンダと直接接触すると、磁性層は瞬間的に破壊される。これを防ぐために磁性層の表層部を何らかの方法で強化する必要がある。

第一の方法として、磁性層そのものを強化し耐久性を向上させる方法があげられる。これは磁性層の蒸着時に、酸素を主成分とする特殊ガスを表層付近に導入することによって達成される。酸素導入は保磁力を高めて電磁変換特性を向上させることにもつながっている。

図 15 に導入ガス量とスチル耐久性の関係を示す。ガス量が増すにしたがってスチル時間は長くなるが、

図 15 導入ガス量とスチル時間

図 17 トップコートと耐久摩擦

図 16 トップコートの膜厚と走行摩擦

相対ガス流量が1.2を越すと逆にスチル時間は短くなり耐久性が弱まる傾向にある。これはあまりガス量が多くなると酸化が進行して、磁性層の脆弱化が生じ始めるためであると思われる。

5.2 トップコート

第二の方法としては、磁性層の表面に潤滑効果を持った保護膜層を設ける方法がある。保護膜層は金属シリンドとの摩擦を大幅に減少させ、耐久性を向上させる。また、保護膜層は水分に対しての撥水性が高いため、防錆としての効果もあわせ持つ。

図16にトップコート保護膜層の厚さと走行摩擦の関係を示す。この場合、トップコート層の厚さが30～40Å程度で摩擦係数の値は最小となる。

図17に、トップコート保護膜層の有無による、繰

返し走行時の耐久摩擦の相違を示した。トップコート層がない場合はスタート直後から急激に摩擦係数が上昇するが、トップコート(b)を施したものは200パス走行後も摩擦係数の値はほとんど変化していない。

このように、トップコート剤は摩擦の低減や耐久性の向上などに対して効果があるため、材質に関する研究が盛んに行われている。一般に、高級脂肪酸、脂肪酸エステル、フッ素系潤滑剤(例えば、パーフルオロポリエーテル⁹⁾)などが提案されている。

5.3 バックコート

磁性層側からのアプローチ以外に、より良い信頼性を確保するためにはベースフィルム側の走行面に施すバックコート層も必要となる。バックコートに要求される特性としては、摩擦が低いこと、磁性層に凹凸が転写しないこと、導電性があり帯電しないことなどがあげられる。これらの要求を満足するため、カーボンを主体とする厚さ約0.5μmの特殊バックコート層が設けられる。これによって走行安定性が確保され、またジッタの大幅な低減も可能になっている。

5.4 耐食性

蒸着テープの初期特性を長い年月にわたって維持し、その性能の劣化を抑えることは重要な課題である。

ここで紹介した3層蒸着テープでは、それぞれの層を特殊酸素ガス雰囲気中で形成しているため、耐食性は単層蒸着に比較して極めて優れている。

また、撥水性を持つトップコート層を設けることも磁性層への水分の影響を抑制できるので重要である。

さらに、現在使用されているPETフィルムに代わって、水分を透過しにくいPENやアラミドフィルム

の使用も今後予想される。

6. む す び

ハイレイト用テープとして開発した3層蒸着テープを中心として、蒸着テープの特徴とベースフィルムの表面処理技術について述べた。これらの新しい技術によって、長波長出力や耐久性が大幅に改善された。

蒸着テープの歴史はまだ浅いが、利用できる分野は非常に広い。今後、高記録密度という特徴を生かした新しいシステムやフォーマットが開発され、将来の磁気記録メディアのひとつとして、蒸着テープがいつその発展を遂げることを確信する。

(1990年5月25日受付)

【参 考 文 献】

- 1) 杉田, 紙中: “磁気テープ技術の高密度化”, 応用磁気第63回研資(Jan. 1990)
- 2) 佐藤, 近藤, 千葉, 関野, 海老根, 佐々木: テレビ学技報, 13, 31, p. 19(1989)

- 3) 川上, 徳岡: “磁気テープ材料開発の現状と展望”, 工業材料, 36, 8(June 1988)
- 4) 篠原ほか: 信学技報, MR81-2(1981)
- 5) 飯島ほか: National Technical Rept. 25, 1064(1979)
- 6) K. Shinohara, et al.: “Columnar Structure and some Properties of Metal-Evaporated Tape”, IEEE Trans., MAG-20, p. 824(1984)
- 7) 黒瀬, 小林, 高井: 特開平 02-27516
- 8) 日本放送協会編: “VTR 技術”(1982)
- 9) 山口, 大岩, 赤羽: 特開昭 56-87236

たかい みつる
高井 充 昭和59年, 横浜国立大学電気工学科卒業。同年, TDK(株)に入社。磁気テープ研究部を経て, 現在, 同社記録メディア事業本部開発技術部に勤務。8mm VTR用の蒸着テープの研究開発に従事。

こばやし こうじ
小林 康二 昭和56年, 東京理科大学理工学部物理学科卒業。同年, TDK(株)に入社。磁気テープ研究部を経て, 現在, 同社記録メディア事業本部開発技術部に勤務。8mm VTR用の蒸着テープの研究開発に従事。

1990年10月号「光ディスク記録」論文特集予定目次

【ふ お ー か す】	関西テレビ 桑原克巳
【特 別 寄 稿】	光ディスク記録の動向.....東ソー 今村修武
【論 文】	Pt/MnSb 2層膜を熱処理して作製した Pt/MnSb 膜の磁気光学特性三重大 塩見 繁・岩切英之・増田守男 光磁気ディスク用高屈折率保護膜 BatiON.....沖電気 前野仁典・小林政信・大石佳代子・川村和民 一様強度分布のレーザビームによる非晶質磁性へのホログラム記録再生特性日 大 松原三人・桂川 卓・山田博章 3値レベル記録符号の理論的考察.....愛媛大 田崎三郎・加地 聡・山田芳郎 新たな可変長ブロック符号とd制約を利用したビタビ復合法の光磁気記録への応用愛媛大 大沢 寿・山内健次・田崎三郎 高精度ビデオディスクの信号伝達特性東 芝 佐藤裕治・池田賢市・木下良夫・尾高敏則・佐々木 修 2チャンネル記録方式 HDTV ビデオディスクにおける信号処理.....ソニー 橋 薫・高橋宏雄 光ディスク装置におけるトラッキング引き込み条件および方式日 立 鈴木基之・田中久光・三浦芳夫 光ディスク駆動装置のサーボオフセット補正方式.....三菱電機 吉本恭輔・伊藤 修・田中邦麿 光学系一体駆動ヘッドを用いたライトワンス型 CD ライタ富士通ゼネラル 内藤雅文・青木尚志, コパル 高木正明 1 ビームオーバーライト相変化書換型光ディスク装置松下電器 福島能久・大原俊次・宮崎弁一・守屋充郎・佐藤 勲・吉田富夫 DFB 方式を用いた 3.5 インチ書換型光ディスク装置とその媒体互換性日 立 池田哲也・星野隆司・大塚康男・竹内 崇 書換型光ディスクを用いたイメージ符号文書の LAN 経由目視検索.....NTT 武田 立・磯村嘉伯
【技術解説(規格特集⑩)】	パラレルインタフェースの規格.....日 電 高橋 博
【講 座】	符号理論の手ほどき (第4回): シフトレジスタによる符号化——巡回符号の基礎 (I)——.....理科大 金子敏信
【会議レポート】	マイクロエレクトロニクス国際会議.....電総研 金丸正剛 SIGGRAPH.....高度映像技研 興村吉美 1990年テレビジョン学会年次大会.....東 芝 佐野俊一