材料技術が支える新商品開発

金 田 嘉 行*

1. は じ め に

エレクトロニクス産業の構造が大きく変わりつつあると言われている。デジタル化が急速に進み、ソフトウェアやコンテナツの重要性が強調され、コンピューターや通信技術の発達によるネットワークの広がりだけでなく、より分散化された双方向、多次元の情報社会がバーチャルに形成される... などなどである。

もともとエレクトロニクス製品の需要は世界市場を対象としてきたし、製造拠点の海外展開の進み具合はマーケットインの考えもあって、他産業に比べてもトップランナーの一人であった。最近では研究開発や、設計の領域もグローバル化されている。

このような状況の中で、日本のエレクトロニクスその他の製造業の空洞化の加速が問題視され、また競争力そのものに明日はあるのかというような懸念を持つ向きも出てきた。いささか自身喪失の感さえある。

「メイドインアメリカ」が出版された十年ほど前とは大変な様変わりである。

産業界、学会が将来に向けてなすべき課題は多い。日本の活力を再び顕在化させるために、より適切な政府施策も不可欠である。中でも行財政改革はどうしても実現してほしいが、今なすべきこととしてエレクトロニクス業界では、何と言ってもカスタマーに喜んで使ってもらえるような魅力的な商品やシステムを次々と提供することである。新しい価値を創り出すことで企業が繁栄し、ポジティブなスパイラルとなって経済の活性化に貢献できるよう望みたい。そのような新商品には先見性のあるビジネスプランニングとともに、やはりハードウェア、中でも IC をはじめとしたキーデバイス、

更にはそれを構成する材料技術や生産技術が重要な鍵を握っている。

そこで本紙面を借り、最近注目されている新商品に用いられる記録メディアやバッテリーなどの重要なキーデバイスおよびその材料技術について、触れてみたい。

2. 光 デ ィ ス ク

コンパクトディスクが音楽用のメディアとして広く認識されるようになってから、すでに10年余が経つ。発売当初、非常に高価であったコンパクトディスクプレーヤーも、その後の技術開発により、低価格で市場に供給することが可能となった。その陰では、半導体レーザーやプラスチックレンズ、光ディスクの製造プロセスや生産技術、材料技術の進歩が、それらを支える技術的なバックボーンとなってきた。その後、コンパクトディスクは急速な進歩を遂げ、コンピューター用のデータメディアとしての地位を確保し、さらにビデオ CD、ミニディスク、CD-R などの光ディスクファミリーを生み出すことになった。

ミニディスクは、これまでのコンパクトカセットテープのような録音・再生をデジタルで可能とし、しかもコンパクトディスクのようなクイックランダムアクセスができる。さらにアウトドアでの使用も考慮して、高い耐久性と信頼性を兼ね備えている。ディスク基板には、磁性膜、誘電体膜、反射膜などがスパッタリングにより均一に形成されていなければならない。図1にミニディスクの断面構造を示す。誘電体膜は、基板側からの酸素・水素分子あるいは腐食性イオンなどの反応性物質の侵入を防ぎ、かつ光学的なエンハンス効果も持っている。磁性膜は実際の信号を記録する役目を持つ非晶質な垂直磁化膜で、希土類金属と遷移金属とのアモルファ

* ソニー株式会社 代表取締役副社長(〒550 大阪市西区新町 1-34-15)

Technological Development Supported with Material Engineering for Epoch-making Products; Yoshiyuki Kaneda (Sony Corporation, Osaka)

Keywords: materials engineering, optical disk, metal evaporated tape, lithium ion battery, key device

1997年3月12日受理

図1 ミニディスクの記録膜構造.

図2 ミニディスクの記録原理.

ス合金が使用される。希土類金属としてはテルビウム、遷移金属として鉄とコバルトが使用されている。磁性膜は記録・再生特性を左右する重要な部分で、材料の選定と最適膜厚設計が記録特性を決定する。また、ランダムアクセスのためのブリックグループが基板上に形成されており、スタンパー作製時の高い加工精度も必要となる。

ミニディスクを特徴付けるものとして、自由に録音するための磁界変調ダイレクトオーバーライト技術を挙げることができる。従来の光磁気ディスクでは記録するためには、まず消去を行い、その後改めて信号を記録するという方法を取っていた。しかし、ミニディスクではまず回転しているディスクに、下から強いレーザー光を当て、録音する部分の光磁気膜をキュリー温度まで上昇させ、ディスク上方からオーバーライトヘッドにより、記録する信号に対応した磁界を加える。レーザー光が遠ざかると、キュリー温度以下になるため磁界の向きはそのまま保たれる(図2)。ダイレクトオーバーライトでは、ディスクに向かって磁界をかけることによって記録するため、低磁界化の開発が必要となったが、これは主に記録膜とその上下にある誘電体膜の積層プロセスを開発することにより実現した。

次世代のハードディスクドライブ用記録媒体としては、光ディスクの特徴と、磁気ディスクの特徴を合わせ持った、PERM(Pre-Embossed Rigid Magnetic)ディスクが提案されている。これは光ディスクと同様のグルーブを持った磁気ディスクを射出成型によって作製することにより、従来のハードディスクに必要であったガードバンドをなくし、さらに高い精度でのトラッキングを可能とする。MRヘッドを用いることにより、2.5 in(63.5 mm)の小型ディスク1枚で、約1.5 Gバイトの記録容量を目指している。

そして、光ディスクは次の段階へ向けてすでに動きだしている。それはDVDである。その構造から、書き換え型のDVDは相変化型ディスクとなる公算が大きい。相変化型ディスクでは、記録膜材料が結晶化することでオーバーライトをするため、いかに膜材料の結晶化速度を高めるかが、性能を決めるポイントとなる。ここでも材料技術をベースとした、基礎研究が不可欠となる。

3. DVカセット用蒸着テープ

ディスクと並ぶ代表的な記録メディアとして磁気テープがある。コンシューマー向けデジタルビデオフォーマットが実現したのも、毎秒150回転という高速回転を高精度に実現した回転ドラムと、その高速回転するビデオヘッドに対する高い耐久性と高い記録密度という、相反する条件をクリアした磁気メディアの開発に負うところが大きい。

酸化鉄粉を非磁性体上に塗布した媒体を用いた磁気記録が、1930年頃ドイツで開発され、現在の磁気記録の原形が完成している。その後磁気記録は長足の進歩を遂げたが、その進歩のかなりの部分は、磁気記録媒体に使用される磁性体に依存していると言ってよい。磁気記録媒体としては、酸化鉄、 CrO_2 、バリウムフェライト、あるいは金属鉄などの磁性粉を、有機バインダー中に分散充填し、非磁性体上に塗布したものが広く用いられてきた。しかし、磁性粒子を有機バインダー中に包み込むため、媒体としての飽和磁束密度はどうしても小さくなってしまった。これに対し、強磁性金属それ自体を直接非磁性媒体上に形成しようとする試みが、1960年代から盛んに行われるようになった。そして、斜め入射蒸着により、媒体の磁気異方性が向上することが確認され、しかも、蒸着による強磁性金属膜の充填密度は理論上100%に近付けることが可能なため、磁気記録における究極の媒体と考えられるようになった。その後の研究開発の末、1989年に蒸着テープが8 mmVTRとして実用化されるに至った。

開発途上の蒸着テープは、非常に重大な欠点を持っていた。磁気ヘッドの摺動や、テープ走行の際の耐久性である。通常、蒸着テープでは表面に微小な突起を設けることにより、磨耗による接触面積の増加を抑制して、耐久性の向上を計っている。しかし、この表面突起もやがて磨耗して平滑になり、効果が消失してしまう。したがって、突起の高さが高いほど平滑になるまでの時間が長く、耐久性は向上するが、一方、突起の高さが高いほどスペーシングロスにより磁気記録再生出力は低下してしまう。そのために、これらのバランス

が取れたところに、表面突起の高さは設定されている。蒸着テープをデジタル VTR として用いるためには、より過酷な使用条件に耐え、かつ記録再生特性の一層の向上が必要とされた。そこで、耐磨耗性の保護膜の開発が緊急課題となった。

まず、無機保護膜の材料として、磁気特性や耐食性に悪影響を与えないダイヤモンドライクカーボンが選ばれ、スパッタリングにより磁性層上に形成された。また、その上に塗布される潤滑材としての有機保護膜は、塗布量がほぼ単分子レベルに制限され、かつ磁性層上で熱的あるいは化学的に安定なことが要求されるため、潤滑膜の膜強度を高め、かつ磁性層との吸着力を増すための極性基の設計を行い、パーフルオロカルボン酸長鎖アミン塩系化合物が開発された。このような保護膜を塗布された蒸着テープは、1000万回以上のビデオヘッドの摺動に対しても出力減少はほとんど見られず、また表面の平滑化も起きていなかった。

図3は、塗布型テープ、従来の蒸着テープ、最新の蒸着テープの周波数特性を示す。

最新の蒸着テープは全周波数領域で、優れた特性を示しており、記録波長 $0.54\ \mu\text{m}$ で比べると、塗布型テープに比べ、実に 11.5 dB もの出力向上を実現した。

蒸着テープの開発に関しては、耐久性に関する原因究明をトライボロジ的な視点から考察を行い、満足できる結果を得ることができた。

4. DV 用ドラムの超精密加工・組立技術

従来の 8 mm ビデオで使用されていたドラムは、NTSC の場合、直径 40 mm、回転数 $30\ \text{s}^{-1}$ で、部品個々の加工組立精度をしっかりと管理しておけば、実用上の問題は発生しなかった。ところが、デジタルビデオでは直径 21.7 mm、回転数 $150\ \text{s}^{-1}$ となり、ドラムのバランス取りが不完全な場合振動が発生し、カメラを手にとった場合震えを感じるという問題が生じる。そこで、構成部品を回転対称形とする、ハンダ付けを極力減らす、組立後にバランスを取れる機構を設けるなどの各種工夫を凝らした。

たとえば、従来非対称形であったモーターロータを完全な

図3 再生出力。

ドーナツ形状としたり、制御が困難なハンダの使用量を極力減らすため、モーターステーターへの電力供給部にエラストックコネクタを使用したりした。また、スピンドルにロータリートランスを組み付けた状態でバランスを測定し、必要な場所に紫外線硬化樹脂を充填したり、完全に組立が完了した状態でも調整が可能のように、樹脂製のバランスリングを設けて、そこにマイクロボールを挿入できるようにした。この工程は、実際にはコンピューターでバランスを測定後、作業者が指定の位置にエアピンセットでマイクロボールを挿入する。

バランスと同様重要となるのがリードの加工精度で、幅 $10\ \mu\text{m}$ のトラックピッチを正確に読み取るためには、テープパターンの直進性は少なくとも $3\ \mu\text{m}$ 以下であることが必要であった。リードはテープ走行のガイドをする役目を持つため、実際にはテープの直進性以上の精度が求められる。つまり、ドラム上のテープ走行距離 30 mm で、リードの加工精度は約 $1\ \mu\text{m}$ と大変厳しいものとなった。ここでは、8 mm ビデオ用小径ドラムなどで養われてきた、精密加工技術がおおいに活かされることとなった。図4にドラムの断面図を示す。

5. リチウムイオン電池

携帯電話やノート型パソコンを、軽く、しかも大幅に性能を向上させた原動力は、間違いなく高性能な2次電池の登場である。なかでもリチウムイオン電池は1991年に量産に初めて成功し、その後、急速に市場が拡大している。開発自体はすでに、1987年からスタートしていたが、実用化に向けて大きく前進したのは、やはり小型ビデオカメラへの搭載という、明確なターゲットが設定されてからである。

金属リチウムは軽く、高電圧、高エネルギー密度を実現できることは知られていたが、金属リチウムを使った2次電池では、充放電でリチウムの表面が電解液に溶けだし、再び元の場所に戻る、という動作を繰り返す。その際、金属の表面がつらら状の結晶になる場合があり、放置すると正極と負極を分けているセパレーターを突き破り、ショートする恐れがあった。電解液は有機溶媒を使っているため、ショートすると発火の危険性が高かった。

この課題をクリアするために、リチウムをあらかじめイ

図4 民生用デジタルビデオ用ドラム断面図。

オン化して、そのイオンだけを行き来させることを思い付いた。原理的には、リチウムイオンが、放電時には負極から正極へ移動し、正極に挿入される。充電時にはその逆となる。この過程はインターカレーションと呼ばれており、層状物質の層間に電子供与体あるいは電子受容体が電荷移動力によって挿入される現象である。カーボンのような層状物質の層間力は非常に弱いので、電子供与体や受容体は層を形成する原子団と電子のやり取りをすることにより層間に侵入し、層を押し広げて一種の電荷移動錯体が形成される。図5に、リチウムイオン電池の充放電におけるイオンの移動を示す。リチウムイオンを使用することにより、金属リチウムのように電極材料と電解液が化学反応を起こさず、イオンだけが両極の間を行き来するシンプルな仕組みとなった。

開発の次のポイントは負極のカーボンで、エネルギー密度向上には、炭素の結晶構造や微細構造が密接に関係してくる。できるだけリチウムイオンを貯えようとすると、カーボンの層を増やさなければならないが、そこで注目したのが、アモルファスカーボンである。きちんとした結晶構造を持つカーボンでは、炭素原子6個に1個の割合でしかリチウムイオンを収納できない。そこで、フリフリアルコールやエチレン系樹脂を焼いて作ったアモルファスカーボンをを用いることにより、結晶層の間だけでなく、結晶と結晶との隙間にもリチウムイオンを収納することができた。また、このアモルファスカーボンは結晶構造の長さが短いため、リチウムイオンの出入りがスムーズになり、急速充電や大電流放電も可能となった。正極には、酸化コバルトと炭酸リチウムを混ぜ合わせたコバルト酸リチウムを使用するが、コバルトが反応しにくい金属のため、焼成条件の決定や結晶成長技術の開発などが必要であった。コバルトの代わりに、ニッケルやマンガンをすることも可能であり、特性や安全性の向上が期待される。図6に、実際の筒型リチウムイオン電池の構造を示す。正極と負極が、セパレーターを介して交互に積層され、その中に電解液が充填されている。

リチウムイオン電池は、ニッカド電池やニッケル水素電池に比べ、多くの優位性を持っている。まず、電池容量が、ニッカド電池に比べ、同体積ならば約1.3から1.5倍、同質量ならば約2倍あり、小型軽量化に適している。また、動作電圧も約3倍の3.6Vである。サイクル寿命は500回以上で、自己放電が少なく、メモリー効果がないため、完全に放電させなくても充電が可能である。さらに、リチウムイオン電池はリサイクルが可能であり、カドミウムや水銀などの環境汚染物質も含んでいない。

このように多くの特徴を持つリチウムイオン電池は、90年代後半を通じて、もっとも成長が期待できるデバイスの一つであり、将来数千億円規模の新市場が出現すると予想されている。さらには電気自動車への搭載といった、携帯用エレクトロニクス機器以外での展開も楽しみである。

6. お わ り に

リチウムイオン二次電池にも更に改良すべきことがある。

図5 リチウムイオン電池充放電の仕組み。

図6 リチウムイオン電池の構造。

それは安全性とコストである。しかし、これも材料技術の進歩により、正負電極材料および電解質の一層の改善で解決できよう。本稿では触れなかったが、半導体レーザーや光学デバイス、平面ディスプレイ、そしてより高密度化・高機能化されるLSIなどには、原子レベルでの材料制御技術が不可欠になる。次の世代のエレクトロニクス産業は、マルチメディアとして、あるいはネットワークを取り込んで進歩し、どのような商品やシステムになるか、応用面での期待は大きい。その中でハードウェアの重要性は繰り返して言うまでもない。要求される機能や信頼性が高まれば高まるほど、また環境対策や省資源、省エネルギーが必要になればなるほど、サイエンスに基礎をおいた材料技術者の活躍の場が広がってくることは間違いない。