

第 6 章 塗布型磁気光学膜による磁化パターン の可視化表示とその応用

6.1 はじめに

磁気光学効果では，光が磁性体を透過，または反射するときに，磁性体の磁化の方向によりその光の偏光面が回転するので，液晶による偏光面の回転と対比できる．図 6.1 に液晶ディスプレイの構造とその動作原理を示す¹⁾．液晶ディスプレイでは液晶セルが直交した 2 枚の偏光板に挟まれており，電界の有無により，液晶セルによる偏光面の回転を制御し，光の ON / OFF を行う．この液晶セルの代わりに磁気光学物質を置き，電界の代わりに磁界を印加すれば，磁気光学ディスプレイを構成することができる²⁾．

本章では，前章までにおいて作製及び解析を行ってきた Bi-YIG 微粒子を塗布した磁気光学膜を使い，偏光板と組合せて光の透過量，もしくは，反射量を制御し，磁界，または，磁化パターンを濃淡パターン（MO コントラスト）として目視観察することを試みる．

この試みは，フロッピーディスクに代る高密度記録が可能なフレキシブルな情報の可視的（目視が可能な）記録メディア，塗布またはモールディング可能な磁界センサ材料，磁気光学材料の特殊性を利用したセキュリティデバイスへの応用，などへの展開をふまえている．

また，剥離層を複合させることにより極めて広範な材料に対して " 転写 " することにより磁気光学機能を附与することができる．基板の材料に制限されない磁気記録媒体や，磁気記録パターンの可視化，磁区，磁束分布の観察など様々な新規応用分野を開拓することが可能となる．

塗布膜を応用した幾つかのアイデアについて，実際に作製を試みた結果についても述べる．

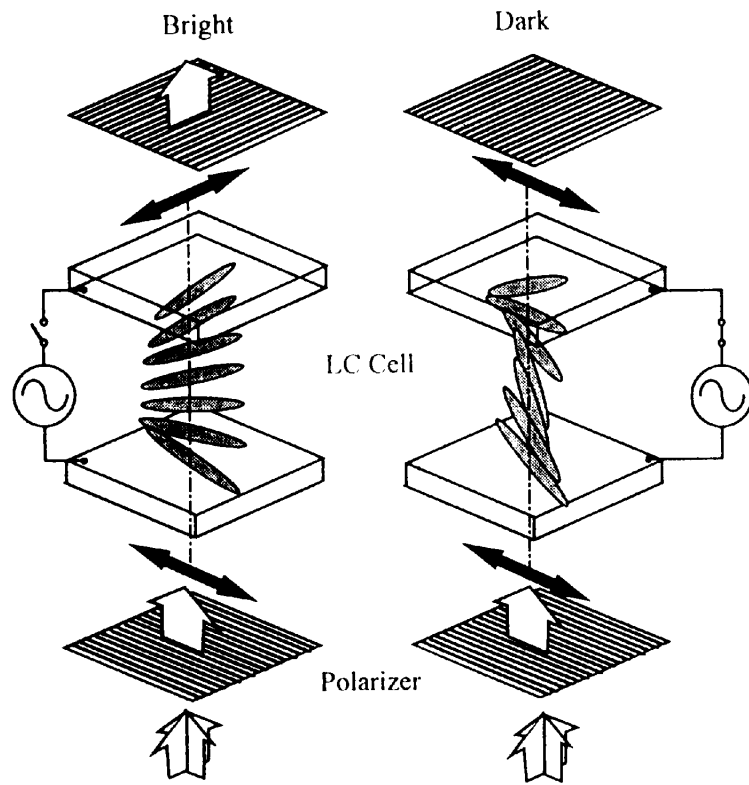


Fig. 6.1 TN type 液晶ディスプレイパネルの構造および動作原理.

6.2 磁化パターンの可視化表示

6.2.1 Bi-YIG 微粒子塗布膜の作製

第 3.2 節に示した共沈・焼成法により $\text{Bi}_{1.8}\text{Y}_{1.2}\text{Fe}_5$ の組成を有する Bi-YIG 微粒子を作製した。次に、第 3.3 節に示した遊星型ボールミルを用いて 30 時間の粉碎・分散を行い、Bi-YIG インキを作製した。表 6.1 にインキの組成を示す。

作製した Bi-YIG インキを使い、ガラスおよびプラスチックフィルムを基材として、塗布膜を作製した。

ガラス基材塗布膜は、コーニング #7059 ガラス基板上にスピコート法により作製した。膜厚は、Bi-YIG インキの粘度および回転数により制御し、約 $1.5 \sim 2.0 \mu\text{m}$ に設定した。図 6.2 に作製した媒体の一例とその層構成を示す。図に示した膜は、ガラス基材に直接 Bi-YIG インキを塗布して作製したものである。写真に示すように、良好な光透過性を示した。

プラスチックフィルム基材塗布膜は、アルミニウムを蒸着した PET フィルムを使い、バーコート法により塗布し作製した。Bi-YIG インキの濃度と、バーコーターの巻き線太さにより膜厚を制御した。図 6.3 に作製した媒体の一例とその層構成を示す。PET 基材には、予めアルミニウムを蒸着して用いた。写真には切断した試料を示したが、大きなフィルムに塗布を行うことも可能である。

Table 6.1 磁化パターン可視化用 Bi-YIG インキの構成

Bi-YIG 微粒子	1 g
エポキシバインダー epo-teck 396 (Epoxy Technology Co.)	0.33 g
シクロヘキサノン	20 g
分散剤 ハイパーマ MT-1 (ICI Japan)	0.05 g



Fig. 6.2 ガラス基板の上にスピコート法で作製した透明光磁気塗布膜 (MO メディア) .



Fig. 6.3 プラスチック基板 (PET) を使いバーコート法により作製した反射型光磁気塗布膜.

6.2.2 磁化パターン観察用光学系の構成

図 6.4 に磁化パターンの光学的読みだし実験に用いた光学系の構成を示す。図は PET フィルム媒体を使った場合である。ガラス基材の媒体では、光反射層がないため、薄い鏡を磁化パターンと媒体の間に挿入した。

塗布膜を、観察する磁界パターン（磁石モジュール）の上に置き、偏光板を通して光を照射する。光は Bi-YIG 塗布層を通り、反射層もしくは鏡で反射し、ふたたび Bi-YIG 塗布層を通過し、検光板を通る。観察位置には、通常のカメラやビデオカメラをセットし、観察及び記録を行った。

実際に観察に用いた装置の構成を図 6.5 に示す。光学顕微鏡用のタングステンランプを光源として用いた。偏光板を使って直線偏光とし、永久磁石をエポキシ樹脂で固めて作った磁化パターンを照射した。この、磁化パターンの上に塗布メディアをセットし、反射する光を検光子を通して観察した。図にはビデオカメラを使ってあるが、通常のカメラまたはデジタルカメラでも同様に観察できる。また、目視でも明瞭に観察できた。

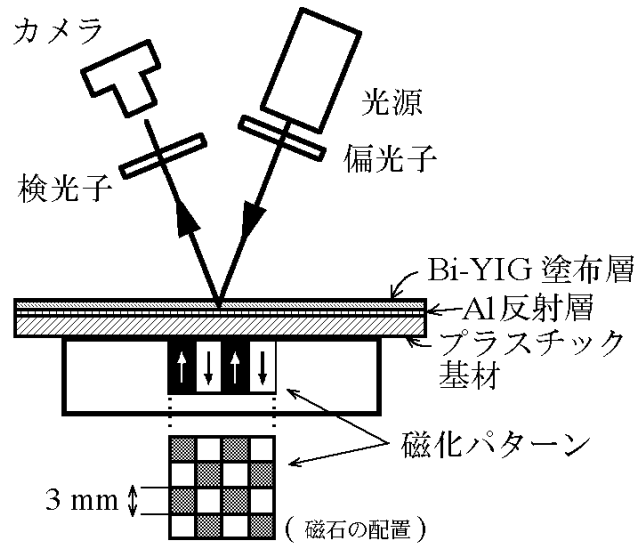


Fig. 6.4 反射光を使って磁化パターンを読み出すシステムの構成. 図に示したのはプラスチック塗布メディアを使う場合である. 反射層が無いガラス基材メディアでは, 鏡を挿入して反射層とした.

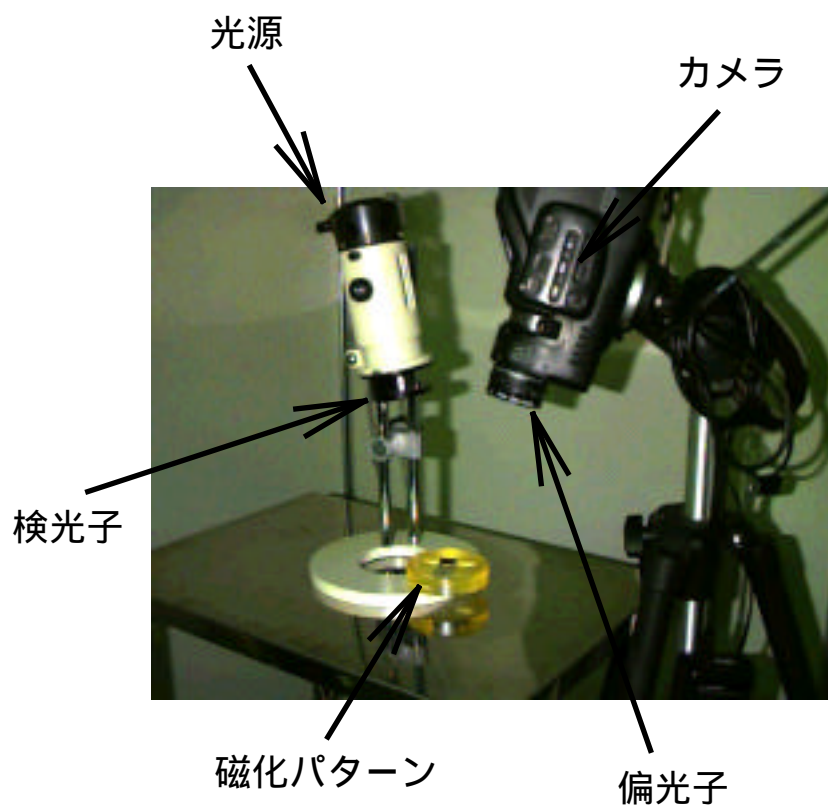
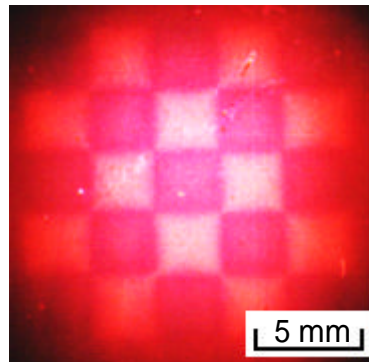


Fig. 6.5 磁化パターン読み出し装置の構成例.

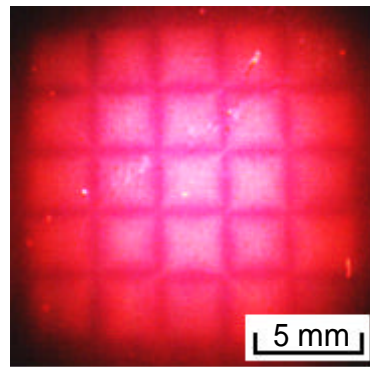
6.2.3 磁気光学コントラストによる画像表示

図 6.6 に磁化パターンを観察した写真の一例を示す。磁界パターンとして、永久磁石を市松模様を集積し、N 極と S 極が交互に並んだ磁極パターンを構成した。観察時における偏光子と検光子のオフセット角度は $\pm 2.0^\circ$ である。また、クロスニコル状態の像も示した。用いた磁石パターンを写し出す、極めて明瞭な磁気光学像を観察することができた。偏光子と検光子の相対角度が反転すると、MO 像のコントラストが反転している。クロスニコル状態では、N 及び S 極の磁石表面の明るさはほぼ同じとなり、磁石境界部分だけが暗くなっている。これは、この部分では、磁界方向が膜面と平行になるため、ファラデー回転が起らないためである。

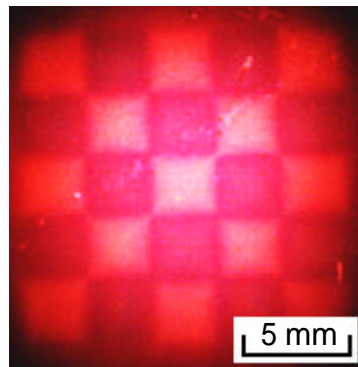
また、図 6.7 に楔型に作製した磁界パターンの観察写真を示す。観察に用いた薄膜は、図 6.2 に示したガラス基材メディアである。楔の細くなった部分は 1 mm 以下まで細くなっているが、十分に MO コントラストを観察することができる。少なくとも、目視可能な解像度として、パーソナルコンピュータ用として用いられている液晶ディスプレイに匹敵するものが得られたと考えられる。



= + 2.0°



= - 0.0°



= - 2.0°

Fig. 6.6 PET 基材塗布メディアを使って観察した磁気光学像 (MO 像). 偏光子及び検光子のオフセット角は $\pm 2.0^\circ$ である.

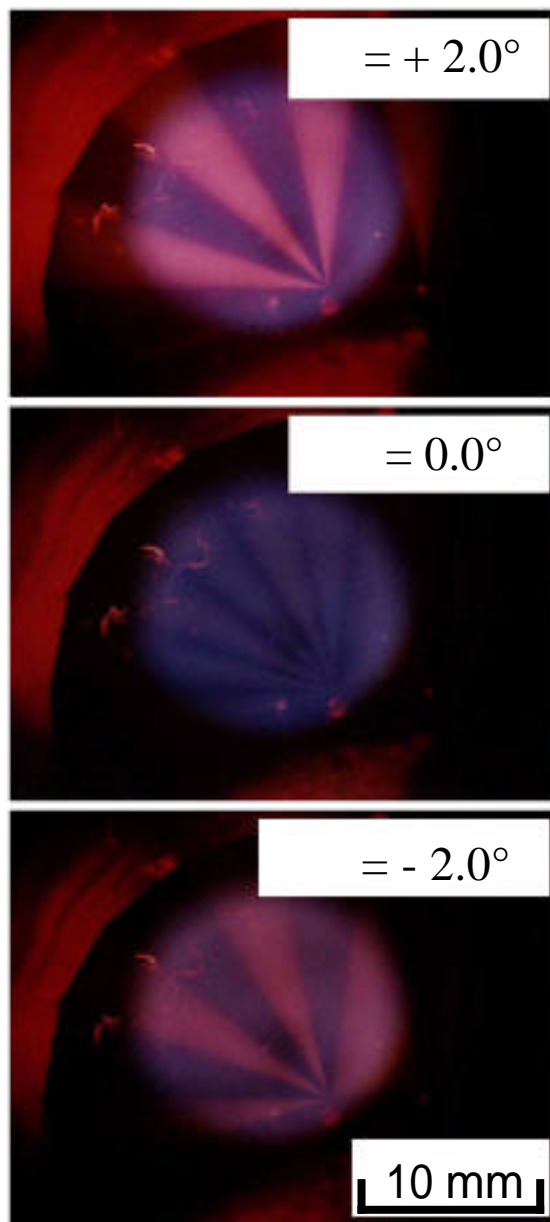


Fig. 6.7 ガラス基材塗布メディアを使って観察した MO 像.

6.3 磁気光学媒体による画像表示の将来

前節で述べたように，市松模様，および楔型に形成した磁化パターンを可視化表示できることが確認できたが，この原理により，さらに複雑な磁化パターンを表示することが可能である．特に磁化パターンは磁気ヘッドを用いて書込むことが可能である点に着目した．

図 6.8 に磁石をハート型に成型し，Bi-YIG 塗布膜をその磁石の上に載せて観察した写真を示す．観察に使った光学系，および Bi-YIG 塗布メディアは第 6.2 節にて用いたものと同様の構成である．

磁化パターンに従って，明瞭に可視化観察を行うことができた．磁化パターンとして作製すれば，如何なる図形も可視化表示できることが確認できた．さらにこの図には中間色（ハーフトーン）が良好に表れており，微粒子分散系媒体のメリットが十分生かされている．薄膜単結晶を用いた場合には，磁区が広がり，このようなアナログ量の表示には不利である．

図 6.9 にアルファベットの“T”に成型した磁化パターンを使って表示した写真を示す．このように，文字を表示することも可能である．

また，磁化パターンとして磁気記録媒体を用いれば，磁気ヘッドを使って記録した記録ビットパターンを可視化表示することができる．図 6.10 に磁気記録層の上に重ねて Bi-YIG 塗布膜を構成したメディアを使って磁気記録パターンを読み出した結果を示す．通常の磁気カード用のヘッドを使って 200 FRPI の記録密度で記録した磁気記録パターンを明瞭に読み出すことができた．

さらに，磁気ヘッドを並列に並べたマルチヘッドモジュールやメカニカル・スキャニングヘッドを用いれば，ドットによる画像書込・保存・読出し表示も可能である．図 6.11 にマルチトラックヘッドによる画像書込みの原理を示す．磁気記録であるから，不用となった画像は容易に消去して再び書込むことができる．また，一部だけ修正することも可能である．さらにこの媒体を使って不

揮発性画像記録・表示システムを構成できる。また、ドラム型磁気ヘッドやワイヤマトリックスを用いて動的に高速に書換えれば、動画となる。さらに、カラーフィルターを加えればカラー表示も可能であろう。

これらの応用は、フレキシブルなプラスチック基板を使って、塗布法により磁気光学薄膜を製造したことによって始めて可能となるものである。従来の、透明セラミックス基板上へスパッタや液相エピタキシャルを用いて作製していた極めて高価な磁気光学薄膜媒体からは、まったく想像できない新たな応用分野を開拓することができる。

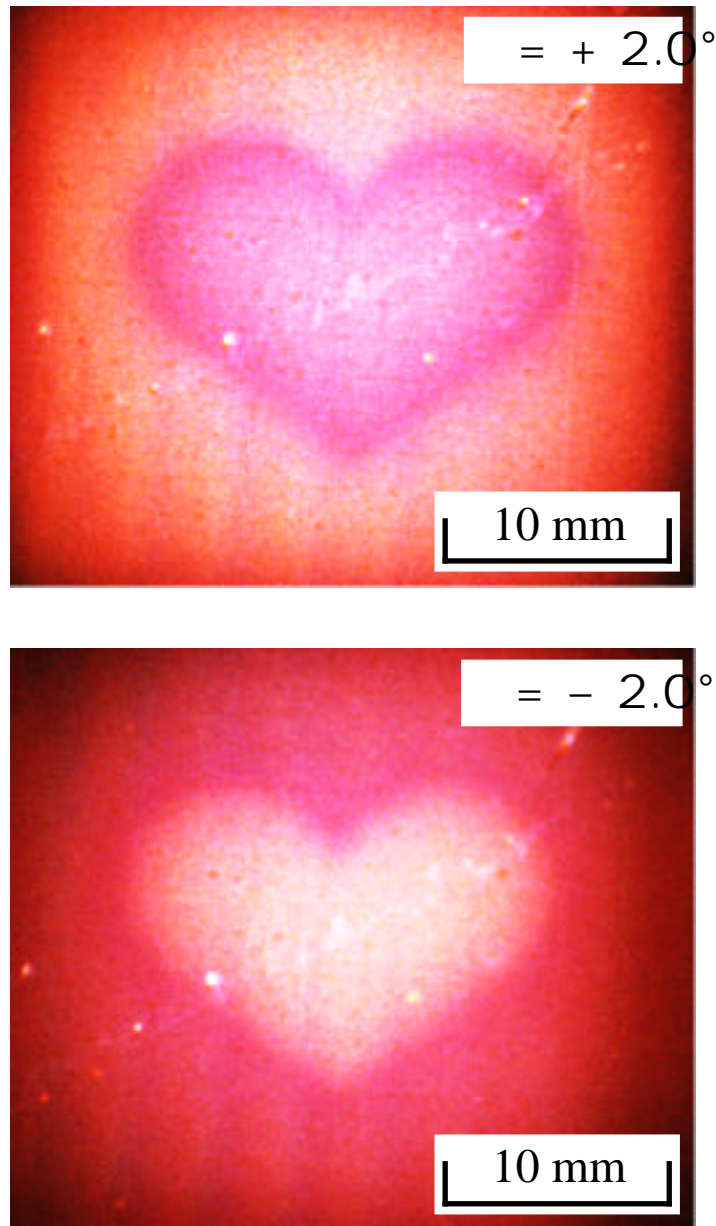


Fig. 6.8 磁化パターンの読み出し例. ハート型に成型した磁気マークを観察することができる. ハーフトーンが良好に表示されている.

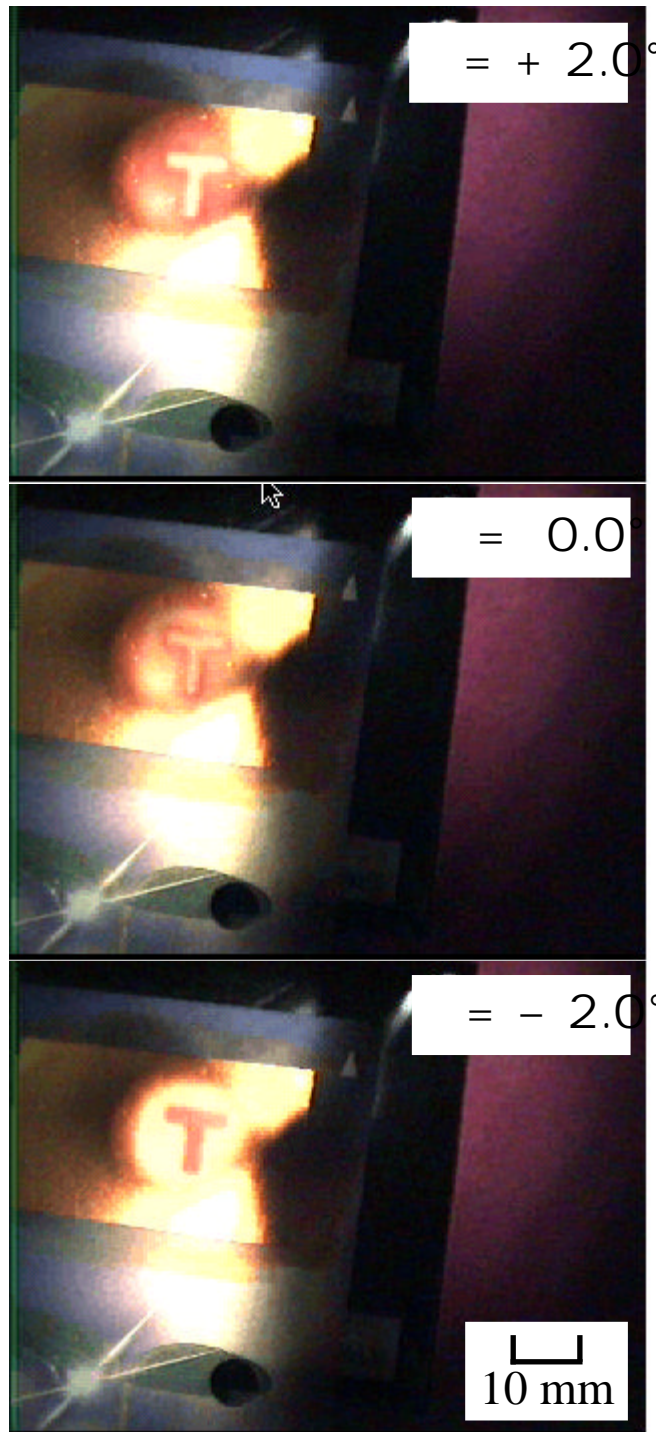


Fig. 6.9 アルファベットの "T" 型に成型した磁石
 パターンの読み出し例. は偏光子と検光子のオ
 フセット角である.

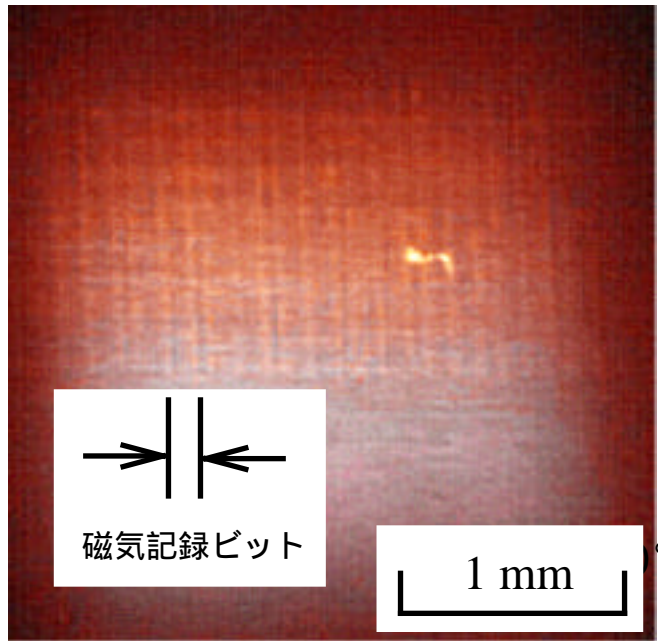


Fig. 6.10 磁気ヘッドを使って記録した磁気記録ビットパターンの読み出し例.

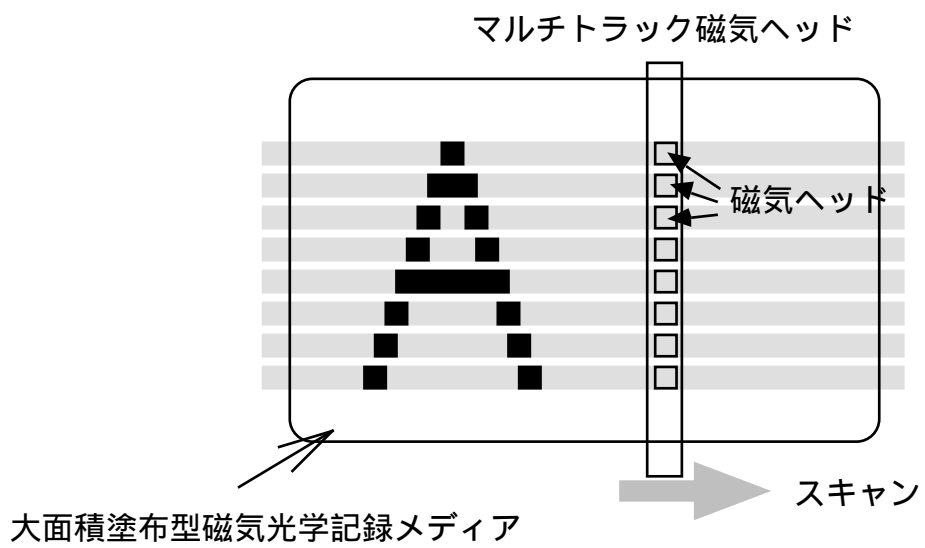


Fig. 6.11 Bi-YIG 塗布メディアへの画像パターン記録法.

6.4 セキュリティ材料

かつての磁気記録技術は、有価証券、カード類のセキュリティデバイスの中に多用されていた。当時は磁気記録技術や磁気記録されたデータの読出しが一般には市販されていない高度な電子回路技術やソフトウェアのサポートを必要とし、その詳細は極めて限られた人にしか知られていなかった。しかし、近年においては、通常の磁気記録はごく一般的な技術となりセキュリティシステムから見た価値を失ってしまった。そのため、ホログラムシートや、様々な特殊印刷技術、データ保護技術により有価証券、カード類の偽造に対処している。

本研究にて作製した Bi-YIG 微粒子分散メディアは、塗布法で製造されている磁気媒体としては極めて透明なものである。また、ファラデー効果により、光に対して機能する現在ではあまり知られていない特殊な媒体である。従来のホログラムフィルムとこの磁気光学媒体を組合せて、MO ホログラムシートを試作した。

この MO ホログラムシートは、通常のホログラムシートと同様にホログラムが印刷されてあるが、さらに、MO 効果を有するオレンジ色の層が積層されている。図 6.12 に試作した MO ホログラムシートの例と、その層構成を示す。全面に MO ホログラムを形成した媒体と、部分的に形成した媒体を示した。通常の見視ではホログラムシートであり、さらに、第 6.2 節で示した、MO コントラストを観察することが可能である。このような機能を持った膜が印刷技術を利用して、多量に、安価に製造できる。

光反射層を有し、Bi-YIG の色が淡褐色であることから、『ゴールドホログラム』と命名し実用化を検討している。



Fig. 6.12 " MO ホログラム " の試作品および
その層構造.

6.5 MO 転写箔

機能性薄膜を、剥離機能をもった基材に塗布しておき、それを転写することにより薄膜媒体を製造することが可能であり、この技術は転写箔と呼ばれている。大型のコーターを用いた塗布により大量に、安価に機能性薄膜を作製し、これを部分的に転写することが可能であり、磁気カードなどのホログラムマークや部分的に印刷を行う工程、またはプラスチック製品の表面加工など、広く応用されている製造技術である。

塗布法で作製した分散媒体の大きな特徴は、フレキシブルなことである。フレキシブルなプラスチック基板を使うことが可能であり、さらに、プラスチックバインダーを用いた媒体であるから、Bi-YIG 塗布層自体も極めて柔軟である。機能性薄膜として Bi-YIG 塗布層を形成すれば、MO 転写箔を設計・製造することができ、これを用いることにより、溶剤に弱い基板など直接 Bi-YIG インキが塗布できない基板上へも、反射層を持った MO 膜を形成することができる。図 6.13 に MO 転写箔の例を示す。図中に媒体の層構成を示した。写真の MO 転写箔は、市販のセロハンテープを使って、容易に剥離することができる。Bi-YIG 塗布層自体が柔軟であるから、剥離しても薄膜の形状を維持し、ファラデー効果を示す。



転写用接着剤層

Bi-YIG 塗布層

剥離層

PET 基材

Fig. 6.13 Bi-YIG 塗布層を有する MO 転写箔の試作例.

6.7 まとめ

本研究で開発した， Bi-YIG 微粒子塗布膜を用いて，磁界パターンを可視化し，表示することを試みた．その結果，各種磁界パターンを明瞭なコントラストを有する MO 像として読み出し，表示することができた．

磁界パターンの読み出しに使った薄膜は，塗布法により作製したものであるため，プラスチックフィルムを基板材料として用いる事が可能である．ファラデー効果を示す薄膜を塗布法により作製することで，基板についての様々な制約から解放され，広範な基板材料に利用することが可能となった．また，転写箔技術を応用して，曲面や立体物にも薄膜形成が可能となることを示した．製造に伴う設備を含めて，極めて安価，大量，そして安定に大面積薄膜を製造することが可能となった．

本章では，開発した Bi-YIG 塗布膜を使った，様々な応用に関して述べ，その幾つかについて実際に試作とテストを行い，様々な可能性を示すことができた．

これらをさらに製品として開発していくには，さらに技術的ブレイクスルーを必要とする．しかし， Bi-YIG インキと Bi-YIG 塗布膜は，従来存在しなかった機能性塗布用資材であり，さらに様々な応用への可能性を秘めていると考えられる．

参考文献

- 1) 横山浩, *画像電子学会誌*, Vol.24(6), pp.706-712 (1995).
- 2) B. Hill and K. P. Schmidt, *Philips J. Res.*, Vol.33(5/6), pp.211-225 (1978).