

磁気抵抗効果の記録技術への応用

松本光功*・小山安正**

(昭和45年5月30日受理)

1 ま え が き

磁気記録あるいは磁気記憶の分野において、磁化の形態で蓄積された情報の読み出しには、いずれも Faraday の電磁誘導の法則が利用されている。最近、これを原理的に他の方式に置きかえようとする動きが活発になっており、特に磁気光学効果のうちの Faraday 効果、Kerr 効果を情報の高速度読み出しに応用する研究が積極的に行われている¹⁾。

電子計算機に占める各種の構成要素のうち、記憶装置が、その小型化、高速化に限界を与えているのが現状である。一方、磁気コア、磁気ドラム、磁気ディスク、磁気テープ、薄膜メモリーは、高密度記録、高速度読み出しに対してそれぞれ得失があり、この両者の要求をいかにして同時に満たすかが基本的な研究目標となっている。

本論文では、磁化に付随して生ずる種々の現象を分析し、このうち磁気光学効果について応用される可能性があると考えられる磁気抵抗効果について、その基礎的な実験結果と適用する場合の問題点を述べている。

磁気抵抗効果の研究は非常に古くからあるが、薄膜材料を用いた実験結果はごく最近まで見当たらない。しかも対象となっている材料はパーマロイおよびニッケルに限られており、硬磁性薄膜の磁気抵抗効果についての報告はないようである。

2 磁化現象と磁気記録技術

表1は、代表的な磁化現象をまとめたものである。磁気光学効果の応用には、水銀燈、

表1 磁化現象	
電磁誘導の法則 (Faraday effect)	クセノン燈、レーザー光を光源とした可視領域の光を用いた研究が行われている。さらに、マイクロ波領域の電磁波との相互作用を用いた強磁性共鳴を応用することも興味のあるところである。また、中性子、なかでも γ 線を現用の磁気テープの Fe 原子に作用させることにより、磁化方向を検出すること
磁気光学効果	
電流磁気効果 (Galvanomagnetic effect)	
<ul style="list-style-type: none">Hall 効果磁気抵抗効果Ettinghausen 効果磁気熱電効果	
磁気熱効果	
磁気力学効果 (Joule effect)	

* 精密工学教室 助教授

** 精密工学教室 技官

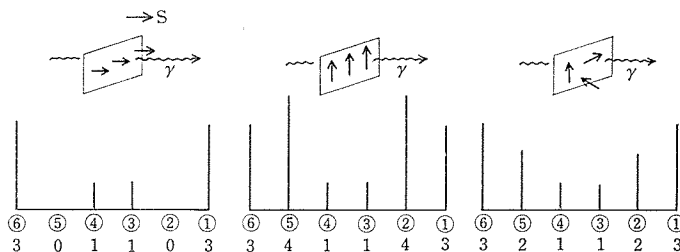


図1 Mössbauer 効果における Fe⁵⁷ の磁化の向きと吸収線の強度比の関係²⁾

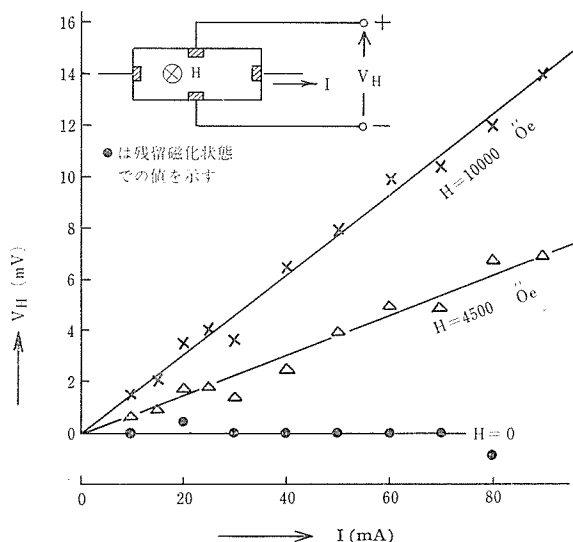


図2 コバルト薄膜の Hall 効果

とは簡単であると想像される。これは Mössbauer 効果として知られている。放射線源を動かして γ 線の波長を変えると図 1 のように 6 本の吸収線が得られるので、②または⑤の吸収線のみを検出すれば磁化の向きが判定されることになる。

電流と磁界を作用させたときの効果としては、磁界を加えることにより、または磁化することにより電気抵抗が変化する現象(磁気抵抗効果)、磁界と電流方向に垂直に電圧が発生する現象(Hall 効果)、磁界と電流方向に垂直に(Ettinghausen 効果)または電流方向に温度差を生ずる現象、磁化により熱起電力が変化する現象(磁化熱効果)がある。また磁化することにより、温度または力学的変化を伴う現象を磁気熱効果、磁気力学効果として表 1 に示されている。

これらは、いずれも磁化に依存する現象であるから、いずれの現象を用いても磁化の検出したがって情報の読み出しは可能である。このうち、磁気光学効果について実用化の可能性のあるものは、磁気抵抗効果、Hall 効果である。

図2は、コバルト蒸着薄膜のHall出力の電流および磁界依存性を示す。試料の大きさは $26 \times 50 \text{ mm}$ 、電極巾 5 mm 、厚みは 1000 \AA である。残留磁化状態においても、消磁状態と同様に出力は現れない。これは、Hall出力の磁化依存性は磁界依存性に比べ無視しうる大きさであることを示している。いわゆる異常Hall効果は極めて少なく、したがって磁化の検出はできない。これに対して磁気抵抗効果は、磁界依存性より磁化依存性が大きい。

3 磁気抵抗効果の実験結果

消磁状態での抵抗値を基準にとり、磁化状態における抵抗の変化分 $\Delta\rho/\rho$ は、印加磁界に対して図3に示すようなヒステリシスを描く。第1, 2象限内の軌跡は磁界方向の抵抗変化(磁気抵抗縦効果という)で、磁化することにより抵抗は増加するのがふつうである。また膜面内で磁界方向と直角方向の抵抗変化(磁気抵抗横効果という)は磁化に伴って減少し、第3, 4象限に示されている。このヒステリシス曲線の形は、磁化曲線とは一義的な関係はない。図3に示すように磁化曲線という I_r/I_s は1より大きくなる場合があり、 H_c に相当する磁界は縦効果と横効果で異なっている。この現象そのものが磁界と磁化に複雑に関連しているためと考えられる。

3.1 各種磁性薄膜の磁気抵抗効果の比較

代表的な磁性薄膜の磁界と抵抗値の関係を示したのが図4である。膜形状および電極形状は一定に選んであり、膜厚は $700 \sim 1000 \text{ \AA}$ である。基板にはガラスを用い、蒸着の際にはすべて 200° C に基板の加熱を行なっている。特徴となっている点は、磁気抵抗縦効果と横効果のヒステリシス曲線には一定の関係はない。コバルト薄膜の磁気抵抗縦効果のヒステリシスエネルギーが特に大きい。パーマロイ薄膜では磁気抵抗縦効果、横効果とも負で

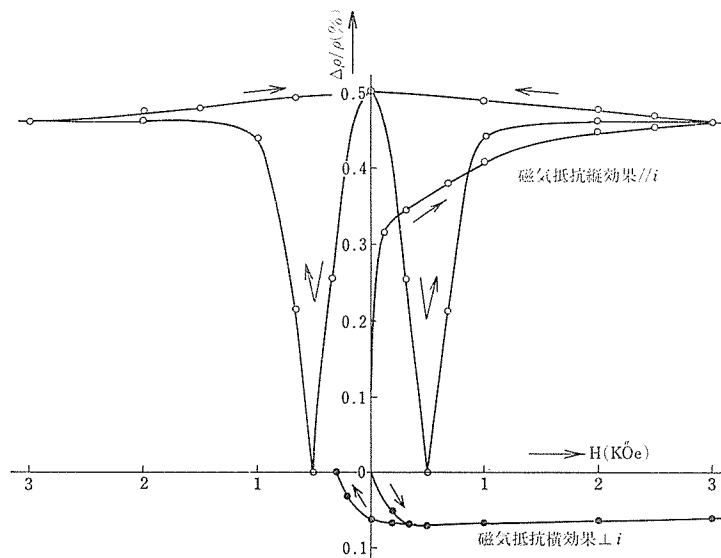


図3 電気抵抗の磁界依存性 (コバルト薄膜)

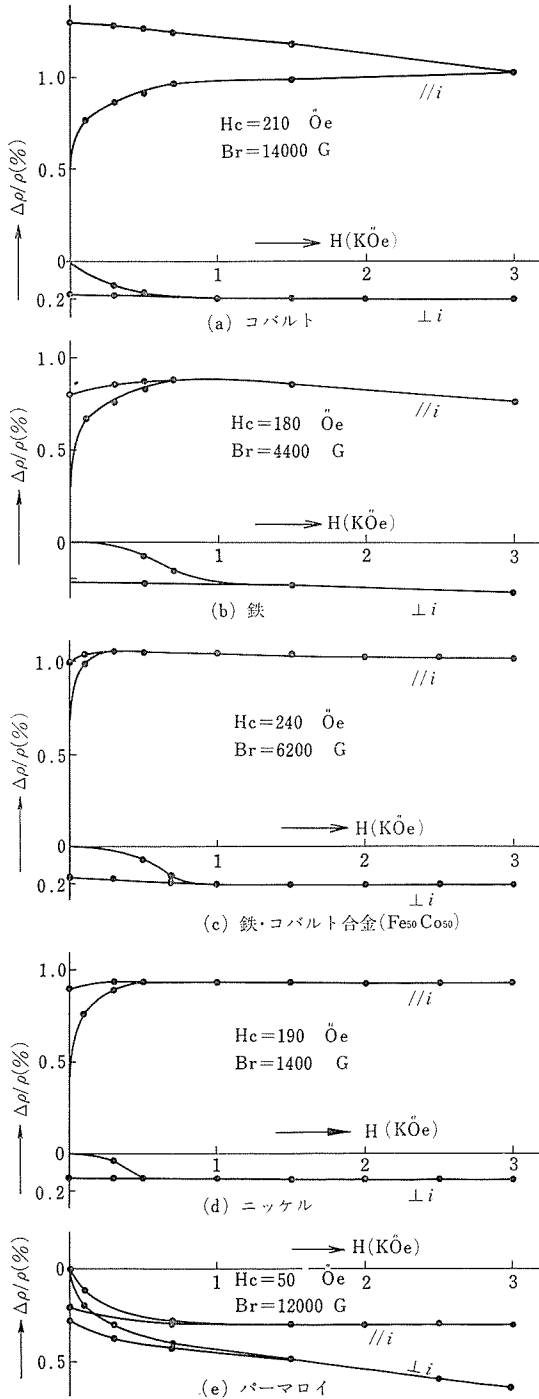


図4 各種磁性薄膜の電気抵抗の磁界依存性 (斜め蒸着)

表2 各種薄膜材料の残留磁化状態での $\Delta\rho/\rho$ および消磁状態における比抵抗 ρ

材 料	$\Delta\rho/\rho$		ρ (Ωcm)
	垂直蒸着	斜め蒸着 (60°)	
Co	1.1	1.3	30×10^{-5}
Fe	0.7	0.8	3500
Fe ₅₀ Co ₅₀	0.8	1.0	1000
Ni	0.7	0.9	9
Permalloy	0.2	0.3	28

電極巾10mm, 電極間長45mm

ある等である。

残留磁化状態での抵抗値の増加分および消磁状態での比抵抗値を示したのが表2である。これを比較すると、比抵抗値の大きさは鉄、コバルト、ニッケルの順になっているが、磁化による抵抗の変化率はコバルトが大きい。また、斜め蒸着法で作製した試料は、垂直蒸着法による試料に比べ、抵抗の変化率は2割程度増加する。

図5は、鉄-コバルトの成分比と磁気抵抗効果の関係を示している。蒸着材料には、合金化された粉末を用いている。鉄成分を増加していくと、磁気抵抗効果は単調に減少することがわかる。

3.2 磁気特性および膜厚の依存性

コバルトは、表2にみるように磁気抵抗効果が大きいですが、また H_c も大きく記録媒体として優れているので、以後の実験ではすべてこの材料を用いている。

図6は、コバルト薄膜の磁気特性および膜厚の磁気抵抗効果に対する依存性を示す。 H_c 、膜厚が大きい程

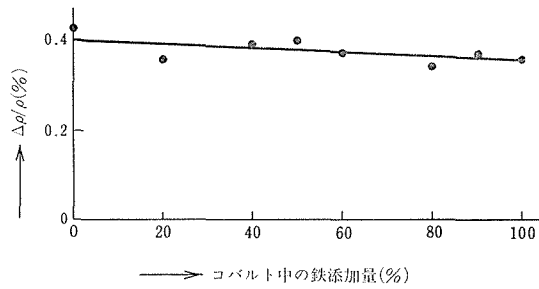


図5 鉄コバルト合金薄膜の磁気抵抗効果
(電極巾5 mm, 電極間長45mm)

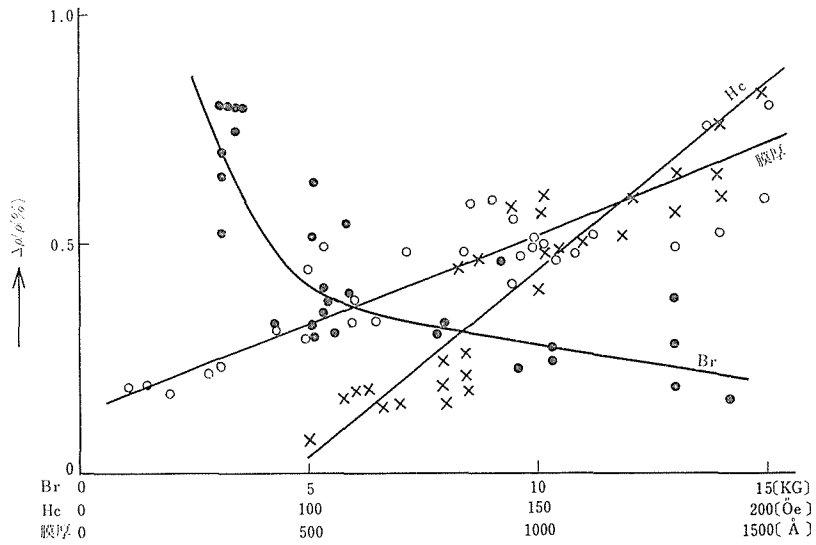


図6 コバルト薄膜の磁気特性および膜厚の磁気抵抗効果に対する依存性

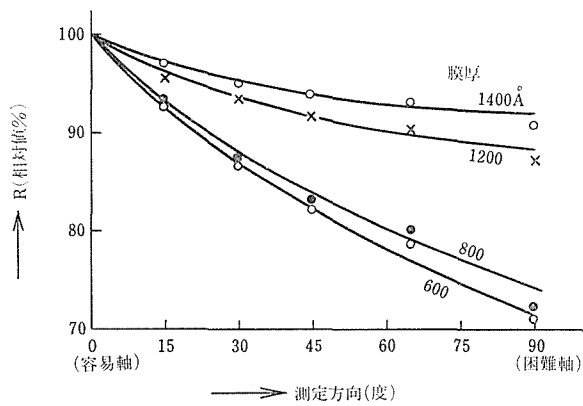


図7 コバルト斜め蒸着試料の測定方向と抵抗の関係

Brが小さい程、磁気抵抗効果は大きい。特に H_c , Br の影響が強い。このような条件は、磁気特性に対する高密度の記録条件とも一致する。

3.3 膜構造との関連

蒸着法により薄膜を作製する場合、斜め蒸着を行なって形状異方性を与え、磁氣的性質を改善することができる¹⁾。この場合、抵抗にも膜面内に異方性が現れる。図7は、この関係を示すもので、磁化容易軸方向の抵抗が大きく、困難軸方向の値は小さくなっている。また、膜厚が小さい程、抵抗の異方性が大きいことを示している。これらの2つの特徴は、蒸着膜の構造を考察する手掛りとなるものであるが、前者の原因については全く説明できない状態である。後者については、斜め蒸着法は磁化容易軸方向に粒子を並置する傾向にあり、この傾向は膜厚が薄い程顕著に現れることは、電子顕微鏡により確かめられている。これらの形状効果は、同時に結晶異方性とも結びついて、抵抗の異方性を大きくしているものと予想される。

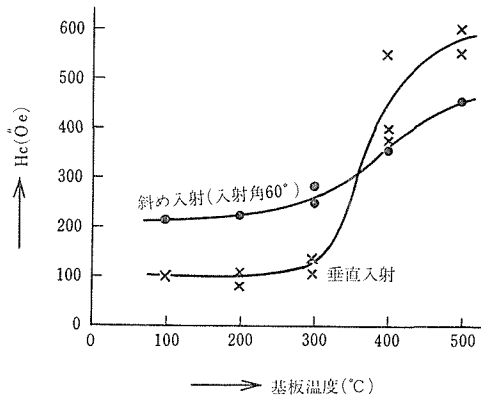


図8 基板温度と H_c の関係

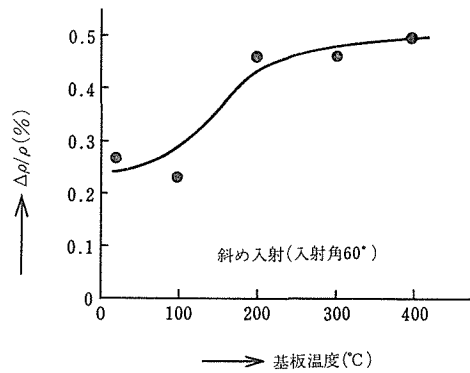


図9 基板温度と磁気抵抗効果

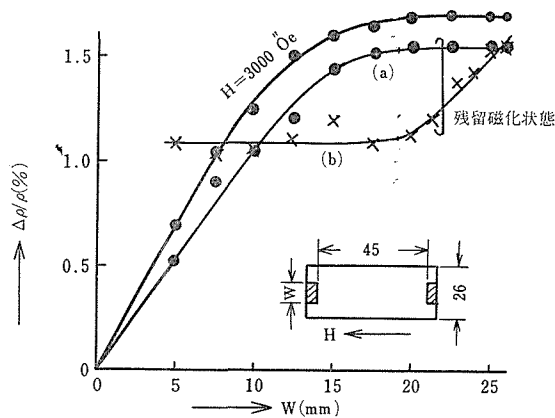


図10 電極巾と磁気抵抗効果

蒸着時に基板を加熱することにより、磁性膜と基板の付着力を格段に強くできる。同時に、図8に示すように、磁気特性も改善される。この原因は、形状異方性の大きいラメラ状構造が膜面に生ずるためである¹⁾。この場合、磁気抵抗効果も図9に示すように増加し、200°C以上の温度に加熱することにより、残留磁化状態での抵抗の変化を約2倍に増加できる。

3.4 電流分布について

図10(a)は、電極巾と磁気抵抗効果の関係を示す。任意の巾に銅を蒸着し、導電性塗料でコイルを接着したものを電極としている。磁性薄膜試料の巾を一定として、電極巾より小さい範囲内で変化させたものである。電極巾が小さい範囲では、両者は原点を通る直線に近い関係にあり、大きくなると飽和現象を示す。電極巾と $\Delta\rho/\rho$ の間に比例的関係があることは重要であるが、これを定量的に検討することはかなり困難であるように思われる。膜厚は比較的小さく($<1000 \text{ \AA}$)比抵抗も金属としては小さいとはいえ、電流は電極巾より広がって流れることが予想される。図10(b)は、試料の巾と $\Delta\rho/\rho$ の関係を示す。図10(b)においては、電流分布の広がりには除かれていることになる。

硬磁性薄膜の磁気抵抗縦効果は、磁化されることにより電流が流れにくくなる現象であり、横効果は流れやすくなる現象であるということが出来る。図10から、電流分布について次のように推論することができる。

電極巾 W の小さい範囲において、曲線(b)の $\Delta\rho/\rho$ は一定となっているが、この一定値は材料の本質的な値である。曲線(a)がこの範囲で増加しているのは、電流分布の広がりによる。電流分布が広がることは、電流密度が横成分を有することによって電流の流れやす

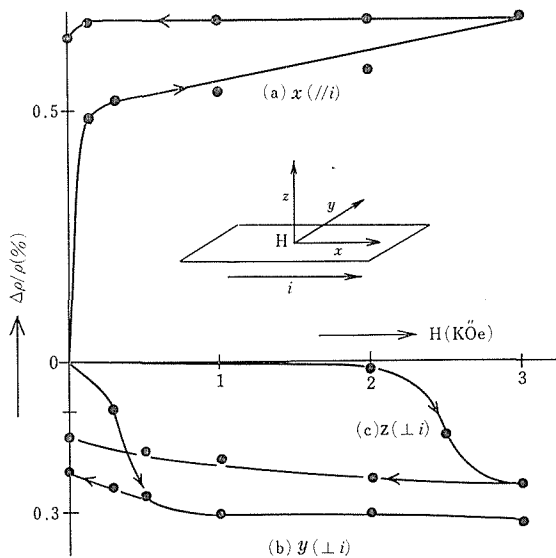


図11 磁界の方向による $\Delta\rho/\rho$ の比較(膜厚800 \AA ，電極巾26mm，電極間長50mm)

くするが、同時に電極間を通過する距離を増すことになり、抵抗は大きくなる。後者の影響が大きい。一方、 W の大きな範囲において(a)が一定となるのは、当然電流通路が一定となるからである。この範囲で(b)が増加するのは、 W の小さい範囲での(a)の場合と同様に考えることができる。

3.5 磁気抵抗横効果

磁気テープ、ドラム、ディスクに記録を行なう場合、いずれも記録媒体は、膜面に平行に磁化される。そのためにも、磁性層の膜厚を小さくする必要が生じてくるわけであるが、膜厚が小さくなる程膜面に直角方向の減磁率が大きくなるために、膜厚方向に磁化する

表3 膜厚とZ方向の残留磁化状態での $\Delta\rho/\rho$ の関係

膜厚 (Å)	$\Delta\rho/\rho$ (%)
800	0.24
700	0.20
400	0.06

図11は、磁界方向を図に示すように3方向に変えて $\Delta\rho/\rho$ の大きさを比較したものである。同図は、電極巾を大きくして測定を容易にしている。磁気抵抗横効果は、(b), (c)とも負になっている。表3は、膜厚方向に磁化したときの $\Delta\rho/\rho$ と膜厚の関係を示す。図6に示す磁気抵抗縦効果に比べ、より大きく膜厚に依存していることから、膜厚方向に磁化する場合、減磁の効果が大きく作用していることが予想される。

4 あとがき

磁気抵抗効果を用いて記録された情報を読み出すときに、考慮すべき基本的な点は次の2点である。

(1) 磁気抵抗という量はスカラ量であるから、記録方式はRZ方式を作用する必要がある。

(2) 磁気抵抗横効果は、縦効果に比べて非常に小さい。したがって縦効果を用いるには、縦型記録を行なう必要がある。たとえば、図12に示すように、記録部分の両端に銅を蒸着により厚く強く基板に付着させ、針先で機械的に走査する方式が考えられる。縦型記録の利点は、従来から行われている長さ方向の記録の記録限界を与えている磁化遷移領域の傾き(位相ずれ)を除くことができることである。

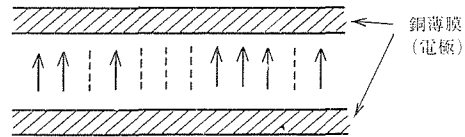


図12 磁化パターン

本論文は、硬磁性薄膜の磁気抵抗効果の基礎的な実験結果の集積が主目的となっているために、理論的な裏付けを追求するところまで至っていない。半導体の磁気抵抗効果は、現在横効果について応用および理論が展開されている。磁界により、電子が Lorentz の力を受けて電流方向が傾くために抵抗が増加し、従って $\Delta\rho/\rho$ が正になると説明できる。しかし、硬磁性薄膜においては、横効果の $\Delta\rho/\rho$ は負である。半導体と磁性薄膜においては電子伝導は基本的に異なっていることを示すものである。

終始御指導と御協力を賜っている本学、松山教授ならびに熱心な御討論を戴き、種々の問題点を指摘された本学部、電子材料応用研究会の各位に深謝する。

文 献

- 1) 松本・望月, 信州大学工学部紀要, 第26号 293 (1969)
- 2) 近角編, 磁性物理の進歩(アグネ) 184 (1964)

Summary

Application of Magnetoresistance Effect to Magnetic Recording Techniques

Mitsunori MATSUMOTO and Yasumasa KOYAMA

(Department of Precision Engineering, Faculty of Engineering)

Although the field of application of magnetic recording techniques is expanding from audio sound recording toward video, instrumentation, computer and so on, the principle of readout of stored information is unchangeable.

Magnetoresistance effect of evaporated magnetic thin films, considered to have some possibility of application to information readout techniques, as well as magneto-optical effect, is experimentally studied in this paper.

Main points in these experimental data are as follows:

- (1) Cobalt film has the highest magnetoresistance effect of typical magnetic materials and can be enlarged by oblique evaporation method and heating of substrata.
- (2) The transverse magnetoresistance effect of magnetic films is negative, drastically different from that of semiconductor. The longitudinal magnetoresistance effect is positive and five times as great as the transverse effect except for that of permalloy film.
- (3) The longitudinal magnetoresistance effect (the ratio of resistivity in remanent magnetization state and that in demagnetizing state) increases linearly with coercivity and decreases with remanent magnetization. This is desirable for high density magnetic recording.

In the recording application, RZ recording system must be utilized, because 'resistivity' is scalar value. Otherwise, the transverse recording method must be utilized because the longitudinal magnetoresistance effect is much greater than the transverse effect.