

# 高密度記録用磁気ディスクの開発

稲 生 俊 雄  
加 藤 英 司  
府 川 信 一  
近 藤 昭 夫

## Development of Thin Film Media for High Density Magnetic Recording Systems

Toshio INASE  
Eiji KATO  
Shinichi FUKAWA  
Akio KONDO

Thin films of CoNiCr alloy have been developed for high density magnetic recording media. The films were obtained by the DC magnetron sputtering system; the sputtering conditions were changed to optimize the high coercivity, high saturation magnetization and high squareness ratio.

In the present study, the application of DC bias voltages to substrates has been found to improve the coercivity and squareness ratio drastically. The improvement of these magnetic properties by the substrate bias voltages can be explained qualitatively by the shape magnetic anisotropy of magnetic layers in grain structures.

The following results were obtained from a series of our experiments: magnetic properties:  $H_c$ , 1400 [Oe];  $Mr \cdot \delta$ , 47 [nm·T]; S, 92 [%]. Signal to noise ratio, 31 [dB]; normalized playback voltage, 44 [nV]; resolution at 5.00/1.25 [MHz]; 60 [%] have been achieved at recording density of 32 KFCPI.

### 1. 緒 言

近年の情報化社会の発達, また OA 機器の普及にと  
もない, 中型, 小型のコンピューター機器 (オフコン,  
パソコン) の開発, 特にデータを蓄える外部記憶装置の  
研究開発が期待されている。中でも高容量, 高速アクセ  
スが可能なハードディスクドライブは, 外部記憶装置の  
主流を占めるものとして注目されている<sup>1)</sup>。

ハードディスクドライブは, 情報を記憶する磁気ディ  
スク, 情報の書き込み, 読み出しを行なう磁気ヘッド,  
ヘッドの位置決め機構, 電子回路部分等から成り立って  
おり, この中の磁気ディスクは, 今までアルミ基板など  
に磁性粉を塗布したものが主に使用されてきた。記録密  
度が高くなるにつれて, 磁気記録媒体はメッキ型, さ  
らに生産性の良いスパッタ型へと移行しつつある。

現在, 記録媒体としては  $H_c$ : 850~950 [Oe] で線記録

密度 10~15 KFCPI のものが現行製品として多く使われており、次期種としては、20 KFCPI 対応 ( $H_c$ : ~1200[Oe]) のものが開発されてきている。

当研究室では、高密度記録用スパッタ型磁気記録媒体の開発を行なっており、今回線記録密度 32 KFCPI 対応 ( $H_c$ : ~1400[Oe]) の磁気記録媒体の開発を行なった。

本稿ではこの開発経過などについて報告する。

## 2. 磁気ディスクに必要な特性

一般に磁気記録は磁気ヘッドによって作り出された境界により、磁気媒体(磁気ディスク)に情報を書きこみ、媒体からのもれ磁束により読み出しを行なう (Fig. 1)。

磁気ディスク中には、Fig. 1 のように小さな磁石を並べる形で情報を記録する。記録密度を大きくすると、この磁石が短くなり反磁場が大きくなる。このため高記録密度には、より高い保磁力の磁気媒体が必要となる。また、記録密度を上げようとする、記録周波数を高くする必要があるが、記録周波数を高くすればするほど、磁気記録層の表面の部分でしか記録されなくなり、磁気記録層が厚いと分解能が低下してしまう。このため高記録周波数に対しては、磁気記録層をできるだけ薄くする必要がある<sup>2)</sup>。しかし、必要以上に薄くすると磁荷の量が少なくなり、再生出力の低下につながる。このため磁気記録層を薄くしても、ある程度磁荷の量を保つよ

うに、大きい残留磁化(飽和磁化)が必要となってくる。

以上のことから、高記録密度に必要な媒体の特性としては、高保磁力、高残留磁化(高飽和磁化)があげられ、さらに磁性層を薄くする必要がある。そこで最近では、従来の塗布型のハードディスク媒体に代わって、飽和磁化の大きいメッキ型、さらには生産性の良いスパッタ型の薄膜連続型媒体が主流となりつつある。

スパッタ型薄膜媒体としては、現在 Co, CoNi, CoNi-Cr, CoPt, CoNiPt, CoCr 系等さまざまな物質が考えられ<sup>3)-6)</sup>、研究開発されているが当研究室では、CoNiCr 系磁性層の開発を行なってきた。本稿では次章以下にこの実験内容、結果、考察について述べてゆく。

## 3. 実験及び評価

サンプルは、ロードロック式スパッタ装置により作製した。ディスクの断面図を Fig. 2 に示す。Ni-P メッキを施した基板の上に、下地 Cr 層を 500~5000[Å]、CoNiCr 磁性層を 100~900[Å]、保護層を 350[Å] それぞれ DC スパッタ法によって成膜した。基板温度は 150[°C]、スパッタ時のアルゴン圧力は 10[mtorr]、基板バイアス電圧は -500[V] をそれぞれ標準条件とした。保護層のスパッタ成膜後、潤滑剤を塗布してハードディスクサンプルを完成させた。

ディスクの磁気特性は、振動試料型磁力計 (VSM)、電

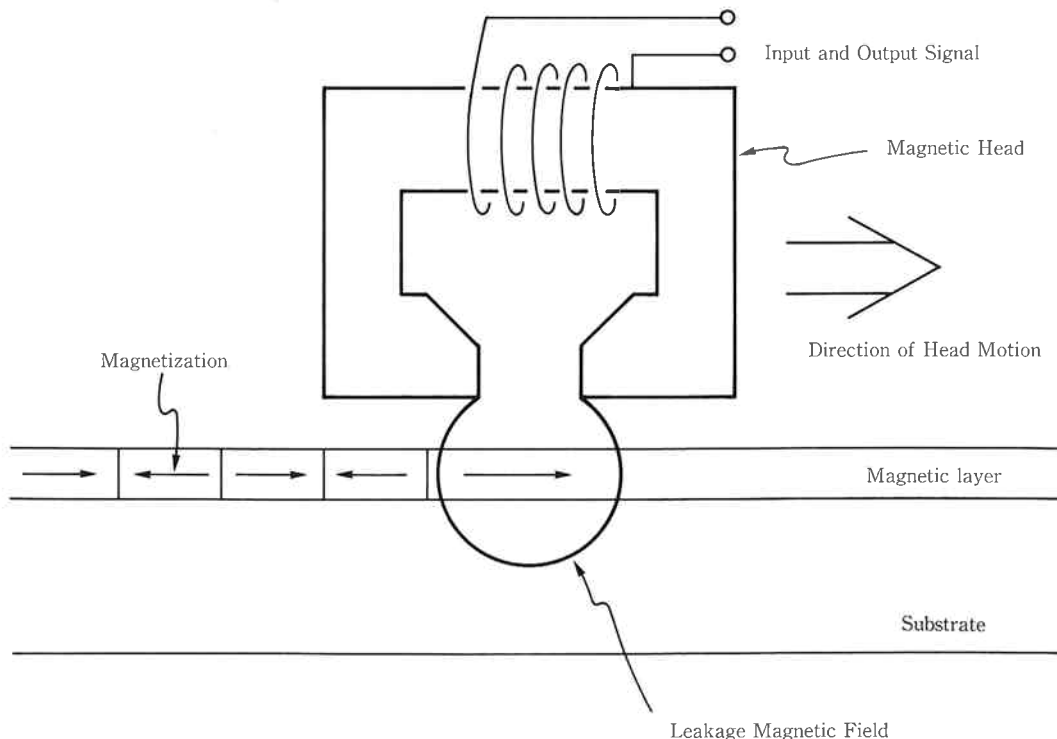


Fig. 1. Schematic configuration of magnetic head and magnetic recording media.

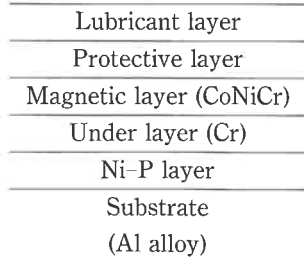


Fig. 2. Cross section of magnetic recording media used in this study.

磁変換特性はサーティファイヤを用いて測定した。また膜構造は、走査型電子顕微鏡 (SEM), X線回折を用いて解析を行なった。

上記のような構造で成膜する際、基板温度、膜厚、アルゴンガス圧、基板バイアス電圧、CoNiCr の組成を変化させ得られたディスクの評価、解析を行ない条件の最適化を図り、磁性層の開発を行なった。

4. 実験結果及び考察

(1) 下地 Cr, CoNiCr 膜厚依存性

Fig. 3~Fig. 4 は、下地 Cr 膜厚, CoNiCr 磁性層膜厚を変化させた時の磁気特性 (保磁力 ( $H_c$ ), 飽和磁化 ( $M_s * \delta$ ), 角形比 ( $S$ ), 保磁力角形比 ( $S^*$ )) の変化をそれぞれ示す。この実験は、Co-20Ni-7.5Cr の磁性層を用い、Table 1 のような条件で行なった。

下地 Cr 層を厚くすると、 $H_c$  は大きくなり、3000[A] 程度で飽和してくる。また、 $M_s * \delta$ ,  $S$ ,  $S^*$  は Cr 層を厚くすると下がる傾向にある。これは下地 Cr 層が厚くなるにつれ、結晶性が良くなると共にグレインの密度が小さくなり、磁性層の部分の粗になるためと思われる。つまり、 $H_c$  の増大は下地 Cr の結晶性が良くなることと、グレイン間の磁氣的相互作用が小さくなり、磁性層が単磁区的にふるまうことによるものと思われる、 $M_s * \delta$  が小さくなることは磁性層の密度が粗になることにより、みかけ上起こると考えられる。また、磁性層グレイン間の相互作用が小さくなることにより、グレイン間のスピンの交換相互作用も弱くなり、 $S$ ,  $S^*$  が小さくなると考えられる。(Fig. 5 参照)

CoNiCr 磁性層膜厚を薄くすると  $H_c$  は大きくなっていくが、400[A] 位で最大となり、さらに薄くすると逆に減少してゆく。 $M_s * \delta$  は、膜厚の減少とともに小さくなってゆく。また、 $S$ ,  $S^*$  は 400[A] 位までは大きな変化はないが、400[A] 以下で急激に減少する。下地 Cr の厚みが一定でグレインが同じ時、磁性層の厚さが薄い程、面内での異方性が大きくなり保磁力が大きくな

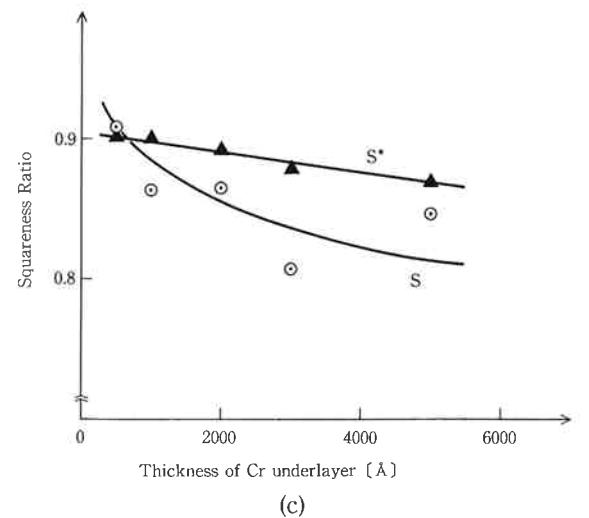
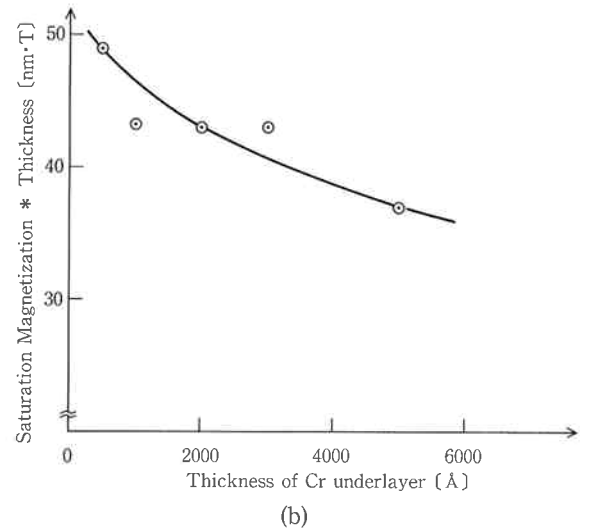
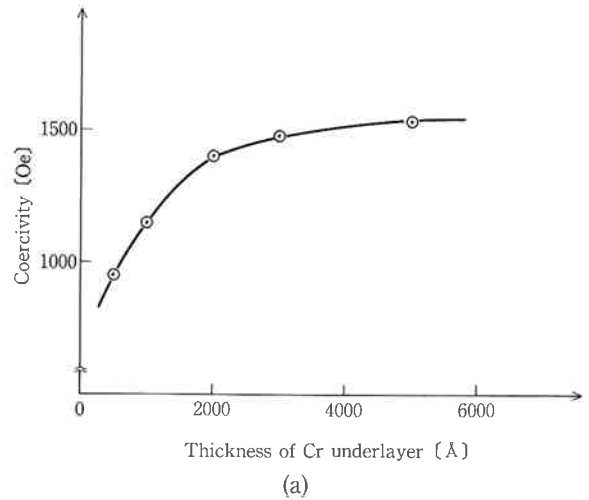
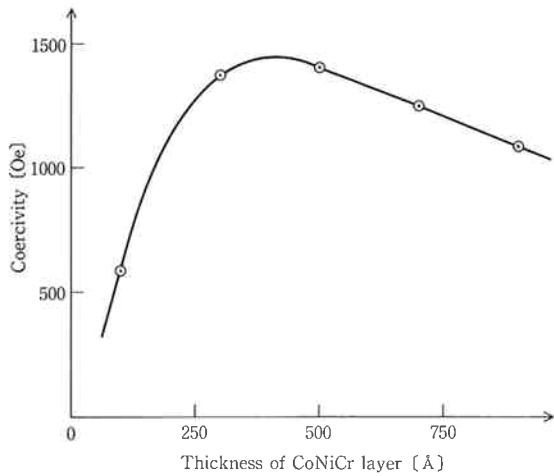
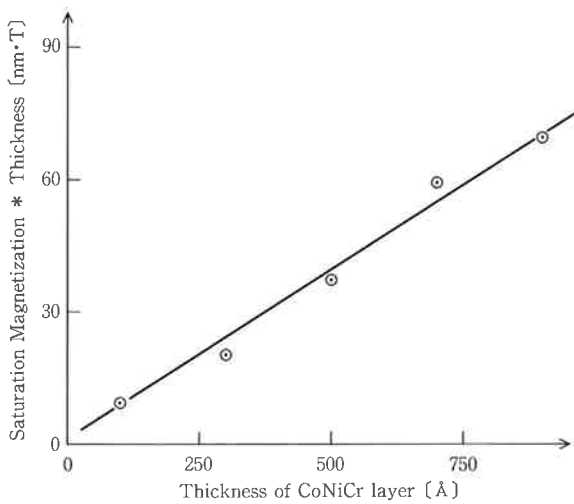


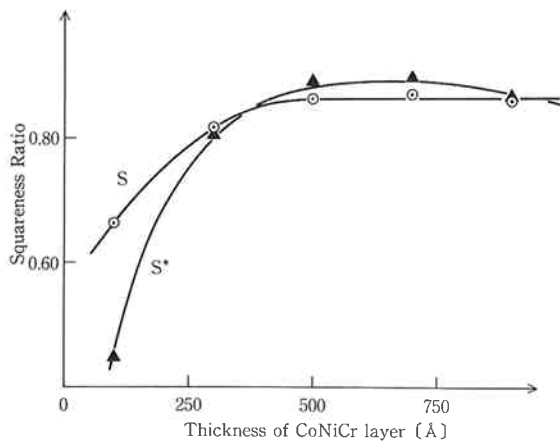
Fig. 3. Thickness of Cr underlayer dependences of magnetic properties: (a) Coercivity, (b) Saturation magnetization, and (c) Squareness ratio.



(a)



(b)

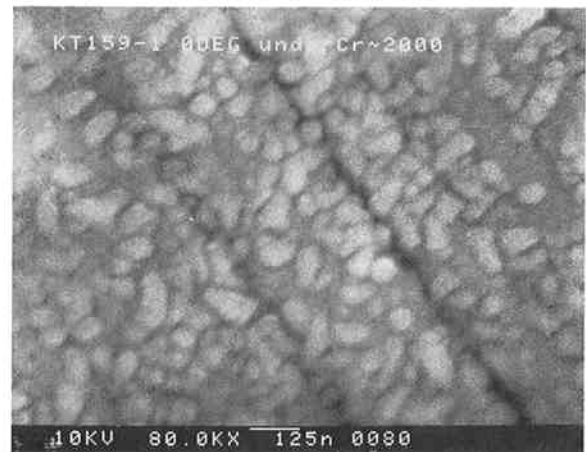


(c)

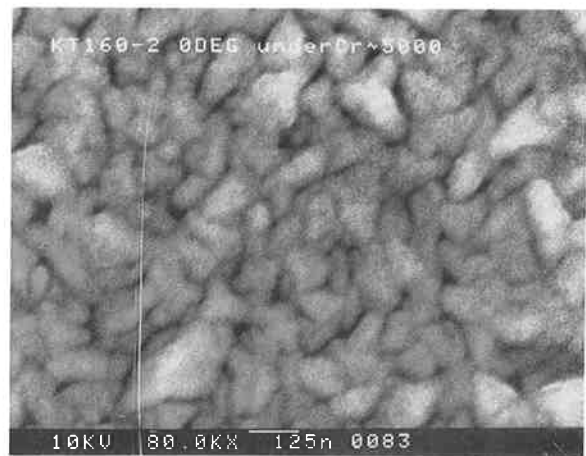
Fig. 4. Thickness of CoNiCr layer dependences of magnetic properties: (a) Coercivity, (b) Saturation magnetization, and (c) Squaresness ratio.

Table 1. Standard Conditions.

	Cr underlayer	CoNiCr layer
Thickness	2000 [Å]	500 [Å]
Sputter Rate	2 [Å/S]	3 [Å/S]
Substrate temperature		150 [°C]
Substrate bias voltage		-300 [V]
Argon gas pressure		10 [mtorr]



(a)



(b)

Fig. 5. SEM photographs of surface grain structure, (a) with Cr underlayer 2000[Å], (b) with Cr underlayer 5000[Å].

るものと思われる。

しかし、厚みが 400[Å] 程度以下になってくると膜とならずに島状構造となり、超常磁性が生じ、保磁力が減少してくると考えられる。S, S\* の減少も、この超常磁性の出現が原因と思われる。(Fig. 6)

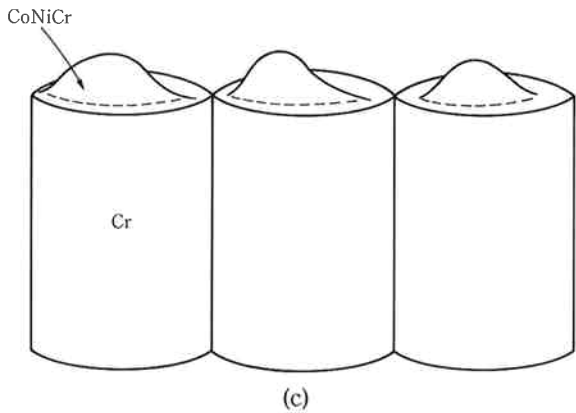
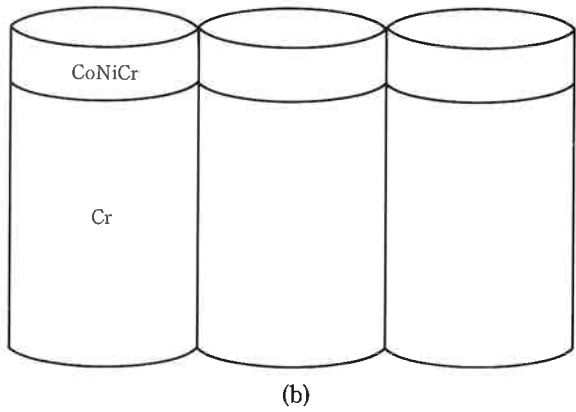
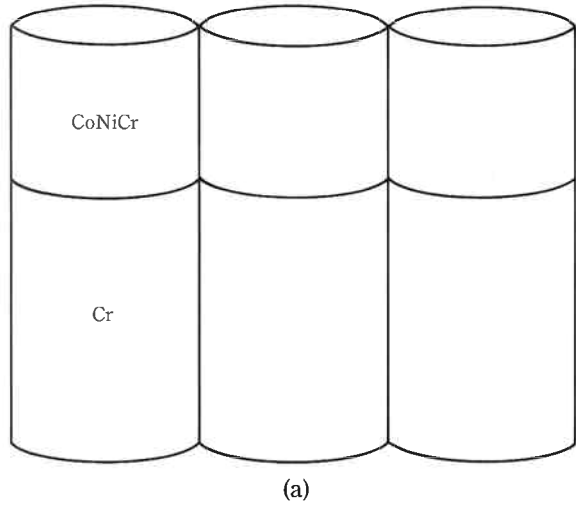


Fig. 6. Schematic illustrations of grain structure.  
 (a) Relative thick magnetic layer.  
 (b) Relative thin magnetic layer.  
 (c) Superparamagnetic region.

(2) 基板温度依存性

Fig. 7 に、 $H_c$ ,  $M_s \cdot \delta$ ,  $S$ ,  $S^*$  の各磁気特性の基板温度依存性を示す。この実験は、Co-20Ni-5Cr の磁性層を用い、Table 2 のような条件で行なった。基板温度は、No heating から 250°C まで変化させた。

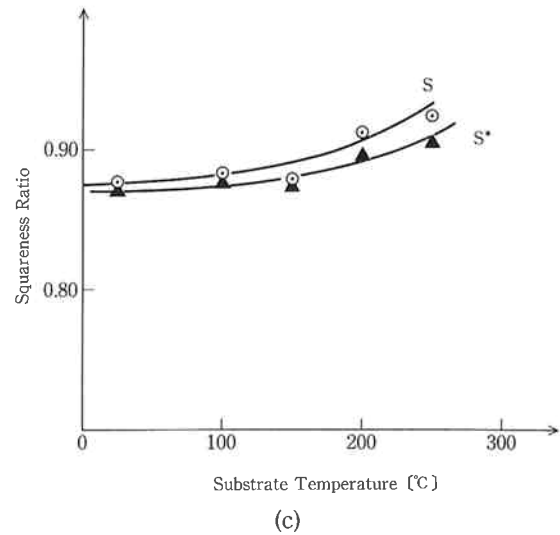
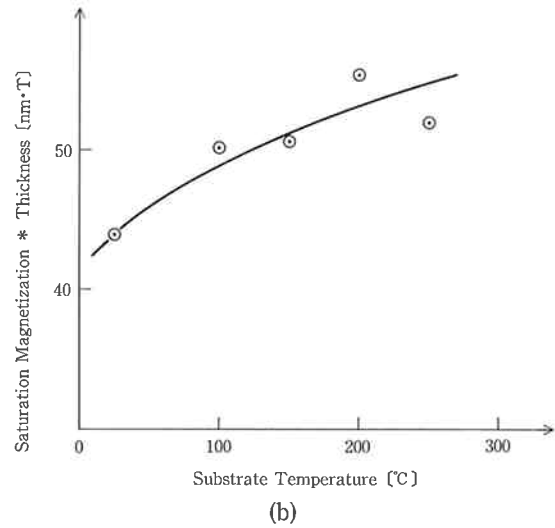
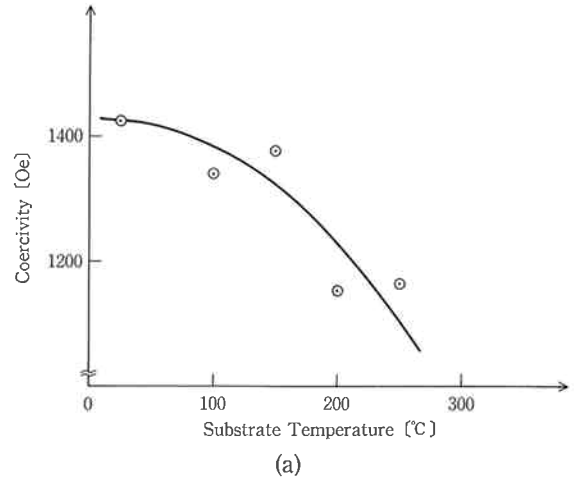


Fig. 7. Substrate temperature dependences of magnetic properties: (a) Coercivity, (b) Saturation magnetization, (c) Squaresness ratio.

Table 2. The Conditions of Temperature Experiment

	Cr underlayer	CoNiCr layer
Thickness	3000 [Å]	450 [Å]
Sputter Rate	2 [Å/S]	2.5 [Å/S]
Substrate bias voltage		-500 [V]
Argon gas pressure		10 [mtorr]

$H_c$  は基板温度の上昇とともに減少する傾向にある。また、 $M_s \cdot \delta$ ,  $S$ ,  $S^*$  は基板温度の上昇とともに大きくなる。Fig. 8 に、 $T_{sub}$  が室温と 250°C で作成したサンプルの表面の SEM 写真を示す。SEM 写真によると、 $T_{sub}$  が低い時にはグレインが比較的大きく粗であり、 $T_{sub}$  が高い時にはグレインが小さく密であることが分かる。

以上のことから、 $T_{sub}$  が低い時にはグレインが大きくなり、磁性層の面内の異方性が大きく、またグレイン間の相互作用も弱いことから、単磁区的なふるまいをして  $H_c$  が大きくなり、角形比も小さくなると考えられる。また  $T_{sub}$  が高い時にはグレインが小さく密になっていることから、グレイン間の相互作用が強いため協力現象が起こりやすく、 $H_c$  は小さくなるが  $S$ ,  $S^*$  が大きくなると考えられる。

### (3) 基板バイアス電圧依存性

Fig. 9 に、各磁気特性の基板バイアス電圧依存性を示す。Co-20Ni-5Cr の磁性層を用い Table 3 のような条件で行なった。基板バイアス電圧（基板とアースとの間の電圧）は、0[V]～-500[V] の間で変化させた。

グラフを見て分かるように基板バイアスを大きくすると、 $H_c$ ,  $M_s \cdot \delta$ ,  $S$ ,  $S^*$  のすべてが向上する。このように基板に負のバイアス電圧を印加することにより、ディスクの磁気特性を非常に効率的に向上させられることが今回の実験で明らかとなった。

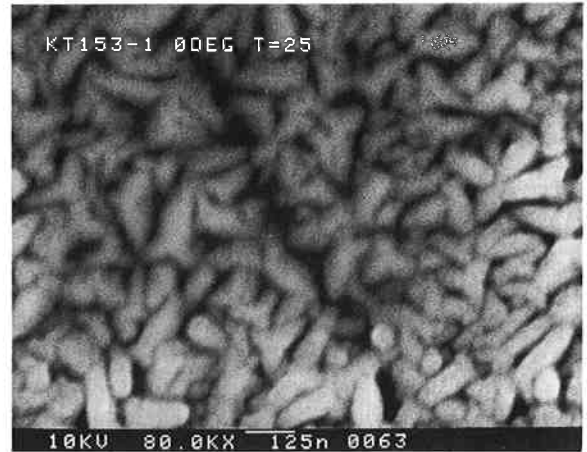
SEM 写真 (Fig. 10) によると、バイアス電圧が高いほどグレインが大きくなり密になっていることが分かる。このことについての考察は、後の章で詳しく述べる。

### (4) アルゴンガス圧依存性

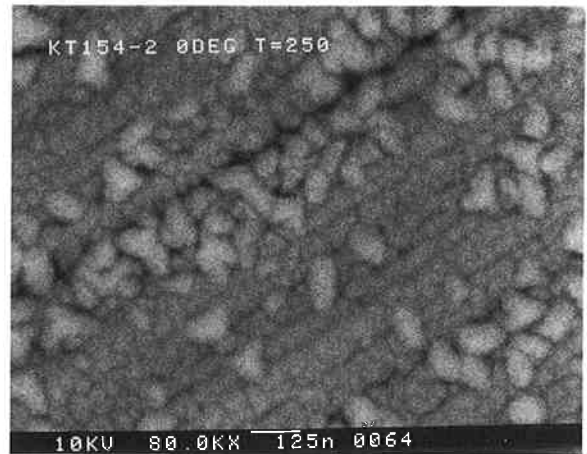
Fig. 11 に、スパッタ時のアルゴン圧のちがいによる各磁気特性の変化を示す。

この実験は Co-20Ni-5Cr を用い、Table 4 のような条件で行なった。アルゴンガス圧は、5～15[mtorr] の範囲で変化させた。

アルゴンガス圧を高くすると  $H_c$  が大きくなるが、 $M_s \cdot \delta$ ,  $S$ ,  $S^*$  が小さくなることが分かる。



(a)



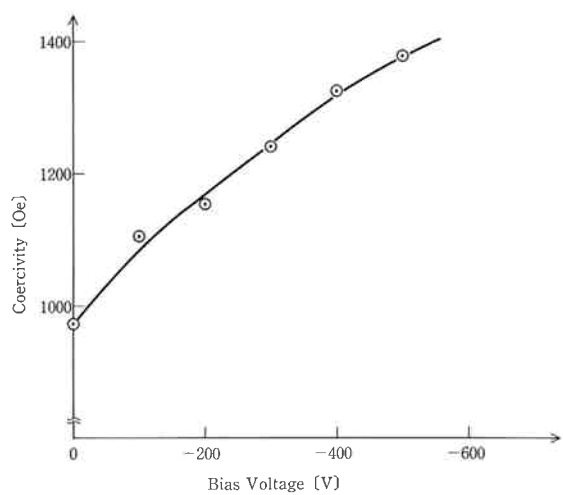
(b)

Fig. 8. SEM photographs of the film deposited (a) at room temperature, (b) at 250°C.

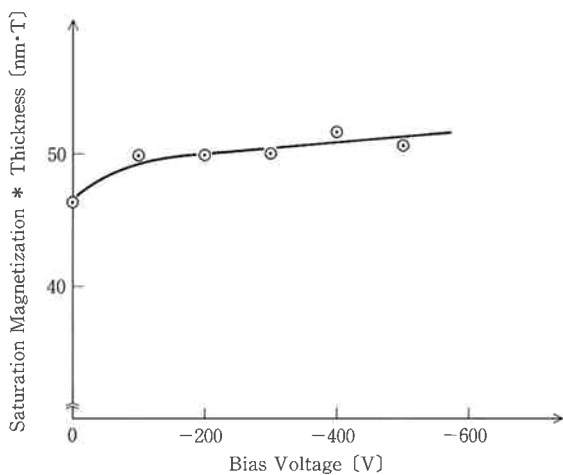
一般にスパッタガス圧が高い場合、スパッタ粒子は放電ガス原子（アルゴン）に散乱される確率が高くなり飛ぶ方向がランダムになる。この結果、斜影効果が生じ、ポイドが形成されやすくなる<sup>7)</sup> (Fig. 12(a))。この場合、磁性層は各グレインで孤立的になり、密度が小さくグレイン間の相互作用も弱くなる。このために  $H_c$  は増加するが  $M_s \cdot \delta$  は小さくなり、さらに協力現象も弱まることから、 $S$ ,  $S^*$  が小さくなると考えられる。逆にガス圧が低いとグレインが緻密になり (Fig. 12(b))、グレイン間の協力現象により、各グレインのスピンの揃いやすくなる。このために  $H_c$  は比較的小さくなるが、 $M_s \cdot \delta$ ,  $S$ ,  $S^*$  が大きくなると考えられる。

### (5) CoNiCr の組成による磁気特性のちがい

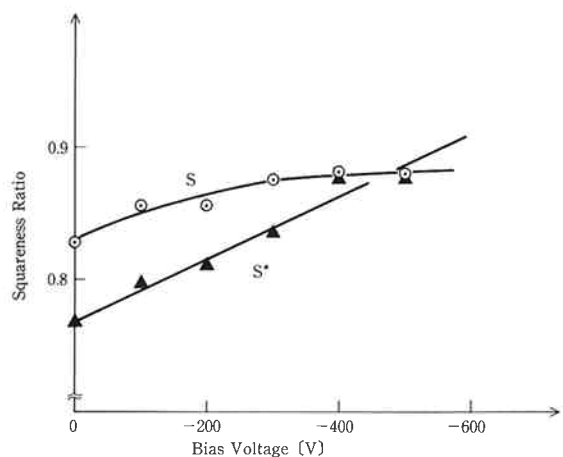
Fig. 13 に CoNiCr 層の Cr の含有量による磁気特性 ( $H_c$ ,  $M_s \cdot \delta$ ) の変化を示す。スパッタ条件は、ほぼ同じにして成膜したものである。



(a)



(b)

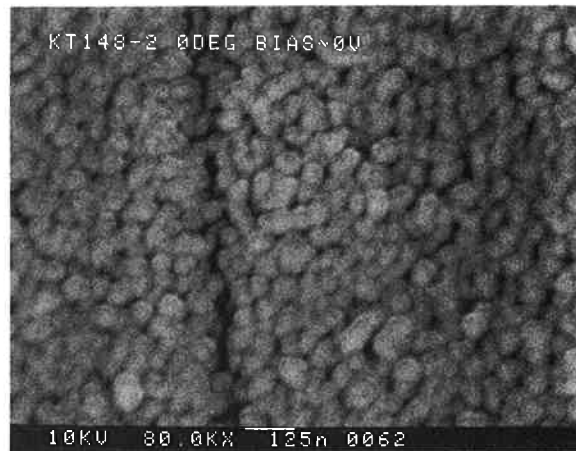


(c)

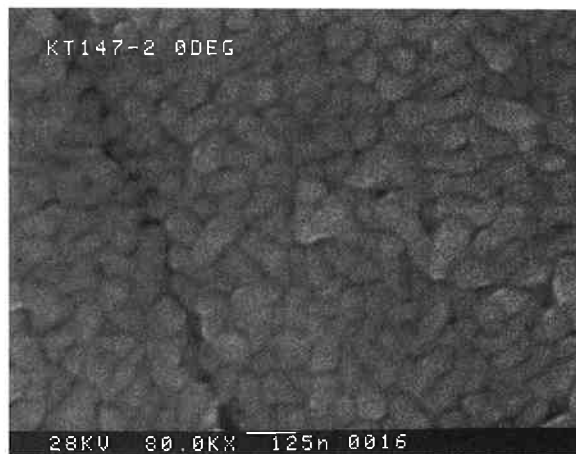
Fig. 9. Substrate bias voltage dependences of magnetic properties: (a) Coercivity, (b) Saturation magnetization, and (c) Squaresness ratio.

Table 3. The Conditions of Substrate bias Experiment

	Cr underlayer	CoNiCr layer
Thickness	3000 [Å]	450 [Å]
Sputter Rate	2 [Å/S]	2.5 [Å/S]
Substrate temperature	150 [°C]	
Argon gas pressure	10 [mtorr]	



(a)



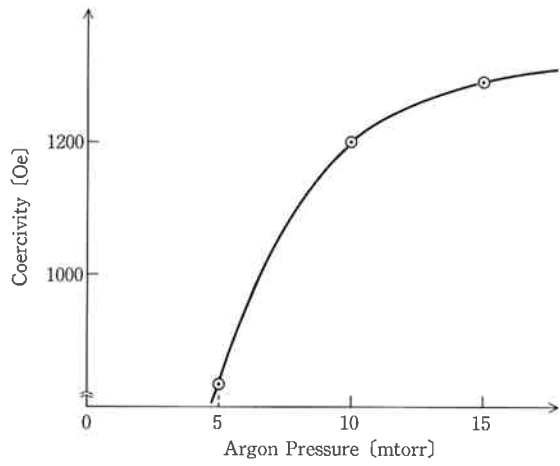
(b)

Fig. 10. SEM surface micrographs of the film obtained (a) at bias 0[V], and (b) at -500[V].

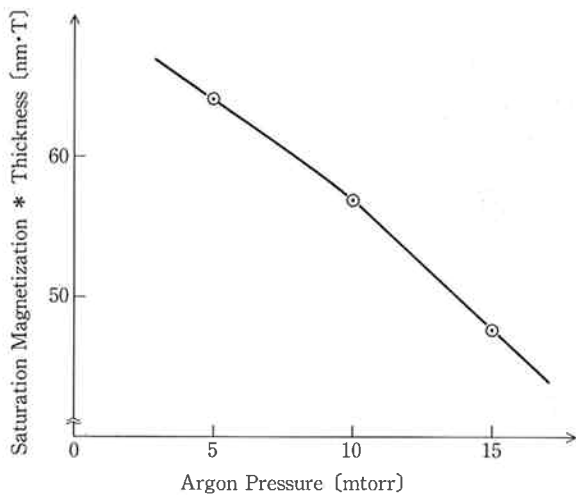
この図より Cr の含有量の少ないものは、残留磁化は大きいが保磁力は小さく、また Cr の含有量の多いものは保磁力は比較的大きいが、残留磁化が小さくなる傾向にあることがわかる。

〔6〕 基板バイアス電圧の効果についての考察

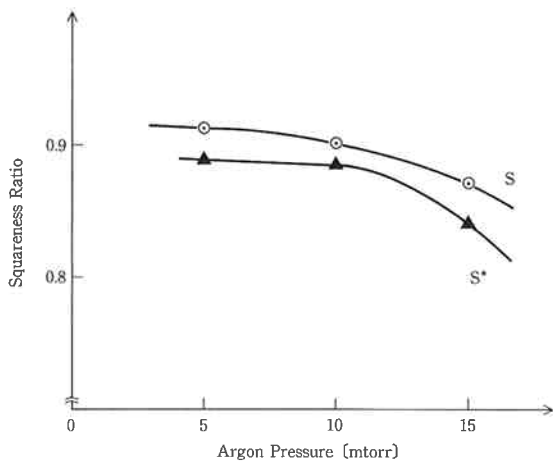
今回の実験でディスク基板に負のバイアス電圧を印加



(a)



(b)

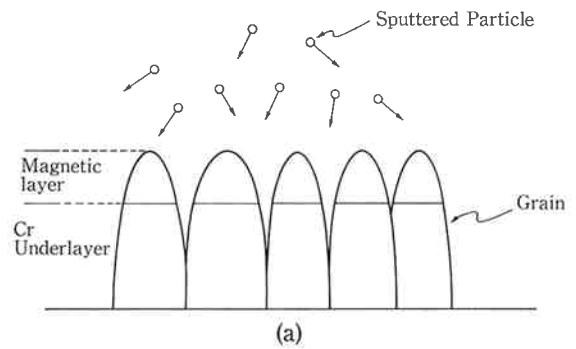


(c)

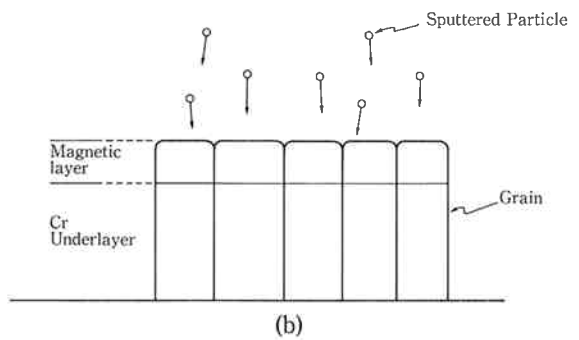
Fig. 11. Argon pressure dependences of magnetic properties: (a) Coercivity, (b) Saturation magnetization, and (c) Squareness ratio.

Table 4. The Conditions of Argon Pressure Experiment

	Cr underlayer	CoNiCr layer
Thickness	2000 [Å]	450 [Å]
Sputter Rate	1.8 [Å/S]	2.5 [Å/S]
Substrate temperature	200 [°C]	
Substrate bias voltage	-500 [V]	



(a)



(b)

Fig. 12. The formation of columnar structure (a) with relative high argon pressure, (b) with relative low argon pressure.

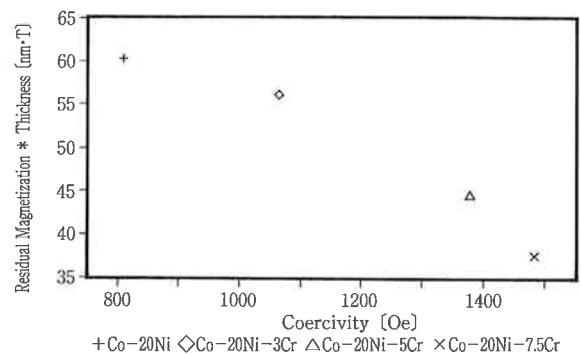


Fig. 13. The relation between coercivity and residual magnetization of the film with different Cr content in magnetic layer.



すると、 $H_c$ ,  $M_r * \delta$ ,  $S$  等の磁気特性が向上し、ディスクの性能を高めるのに非常に効率がよい方法であることが分かったが、この原因について以下のような考察を行った。

まず、SEM の表面写真により粒径  $d$  を求めた。この粒径は、ある面積 ( $S$ ) でのグレインの数 ( $n$ ) を数え、

$$d = 2\sqrt{\frac{S/n}{\pi}}$$

という式から平均粒径を求めた。

SEM 写真から分かるように、Bias 0[V] のグレイン分布は粗になっていて、これがみかけ上の飽和磁化 ( $M_s * \delta$ ) の低下の原因ではないかと考えられる。そこで、-100[V] ~ -500[V] での  $M_s * \delta$  と 0[V] での  $M_s * \delta$  の比を磁気記録層における Packing density と仮定し、真の磁性層の体積の比として計算すると、0[V] での粒径は約 600[Å] となる。Fig. 14 を見ると、基板バイアスを増加させてゆくと粒径が大きくなることが分かる。また磁気特性では、バイアス電圧を大きくするにしたがって  $H_c$  が増加し、 $S$ ,  $S^*$  も良くなる傾向にある。Fig. 10 のように 0[V] では  $d$  が小さく粗であるのに対して、-500[V] では  $d$  が大きく密となっている。これらのことから、形状異方性の効果から -500[V] の方が 0[V] のものより磁化が面内に向きやすく、またグレイン間の相互作用 (交換相互作用) も -500[V] のもののほうが強いと考えられる。このため

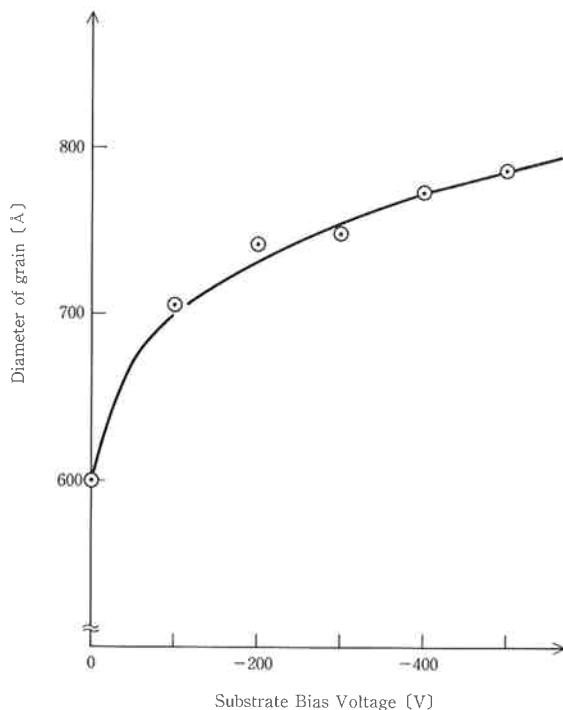


Fig. 14. The relation between substrate bias voltage and grain diameter.

に  $H_c$ ,  $M_r * \delta$ ,  $S$  が向上するものと思われる。以下に形状異方性の効果についての簡単な計算を行なってみた。

形状異方性による保磁力 (異方性磁界) を求めるために、グレイン中の磁性層を Fig. 15 のように円筒状にモデル化する。本実験では  $\delta = 450$ [Å] である。

この円筒の  $a$ ,  $b$ ,  $c$  軸方向の反磁場係数  $N_a$ ,  $N_b$ ,  $N_c$  ( $N_a = N_b$ ) を求めるために、軸比が  $d:d:\delta$  の回転楕円体で近似する (Fig. 16)。

この時の異方性磁界は形式的に

$$H_k = \frac{2K_u}{I_s} = \frac{I_s}{\mu_0} (N_c - N_b)$$

で表わされる。ここで  $I_s$  は飽和磁化、 $\mu_0$  は真空の透磁率を表わす。

以上から求めた異方性磁界と実際の保磁力を Fig. 17 に示す。実際の保磁力は計算値に比べてかなり小さくなっているが、これは計算ではグレイン間の種々の相互作用を考慮していないためで、グレイン間の相互作用によ

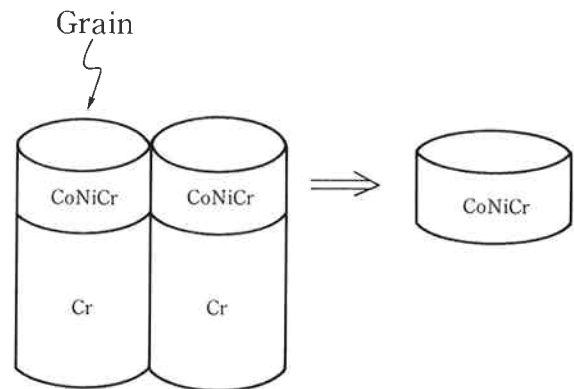


Fig. 15. Cylindrical modeling of magnetic layer in grain structure.

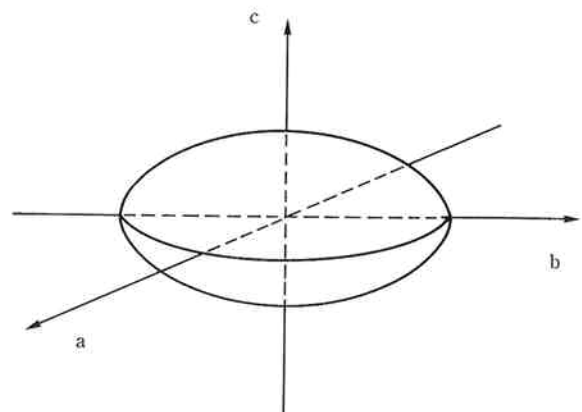


Fig. 16. Oblate spheroidal approximation of cylindrical magnetic layer.

り保磁力が低下すると考えられる<sup>8)</sup>。d=750[Å] (-300[V]) で規格化して計算値と実験値を合わせたものが Fig. 18 である。これを見ると保磁力の増加の傾向が良く合っており、このことから Bias 電圧による保磁力の増加は、形状異方性の効果が大きいと思われる。

外部磁場がゼロの時の磁化の状態を Fig. 19(a), (b)

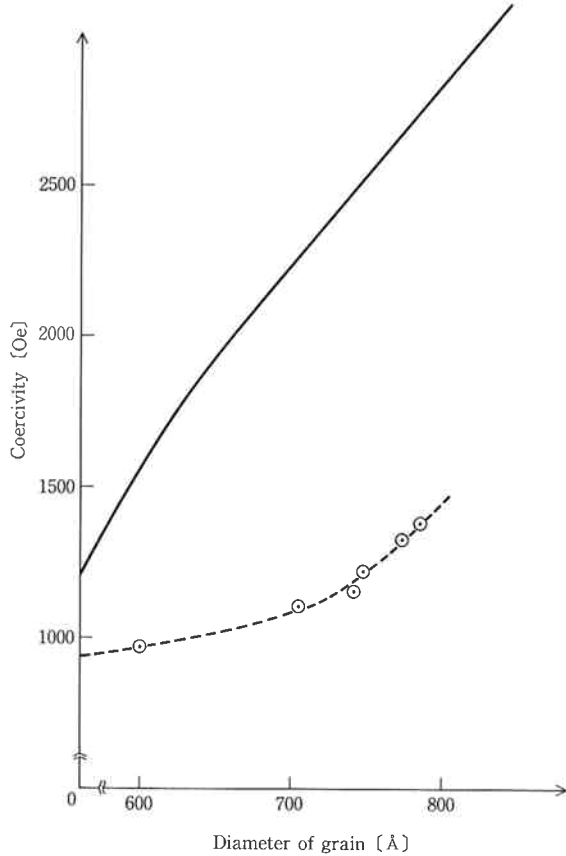


Fig. 17. Magnetic anisotropy field of magnetic layer calculated with 450 Å thickness (solid line), and observed coercivity (circle, dotted line).

のように 3 次的に分布していると仮定すると、面内方向の角形比 S は

$$S = \frac{M_r}{M_s} = \cos \theta = \cos \left\{ \tan^{-1} \left( \frac{\delta}{d} \right) \right\}$$

で与えられることになる。

Fig. 20 にこの計算値と実際の角形比を示す。角形比の増加の傾向は似ているが、測定値の方が計算値よりも大きい値を示す。これは、グレイン間の交換相互作用に

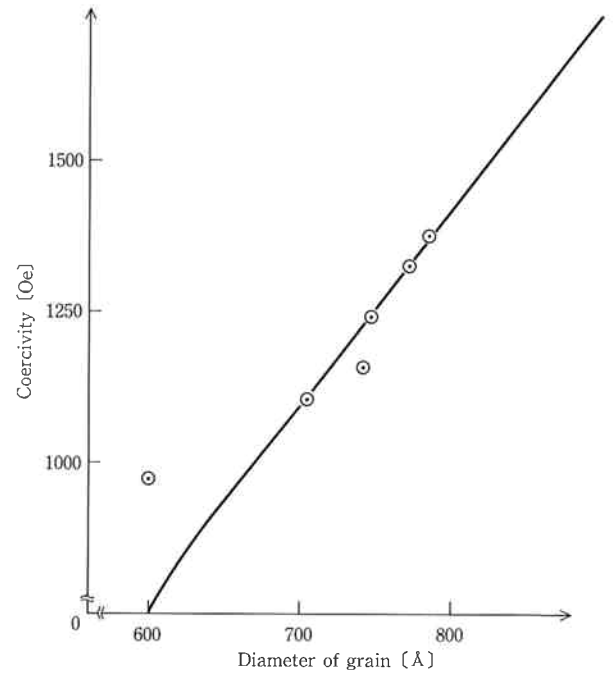
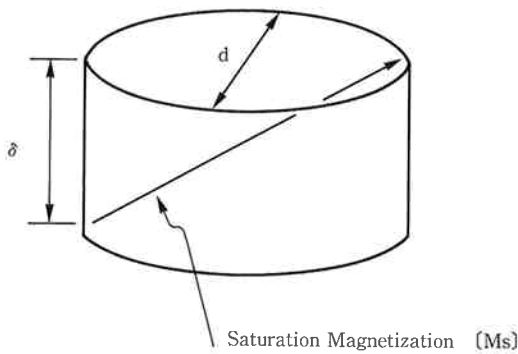
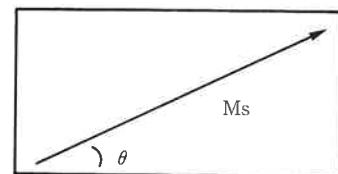


Fig. 18. Magnetic anisotropy field normalized by a value of coercivity obtained at -300[V] bias voltage.



(a) Magnetic Layer in Grain Structure



(b) Cross Section

Fig. 19. The situation of magnetization in magnetic layer with no applied magnetic field.

より磁化に同方向に向く力が働くため大きくなると考えられるが<sup>9)</sup>, 増加の傾向が似ていることから, 角形比も形状異方性の影響をかなり受けているものと思われる。

以上 SEM の観察結果から, 基板バイアスを変化させた時の磁気特性の変化を形状異方性の面から考察して

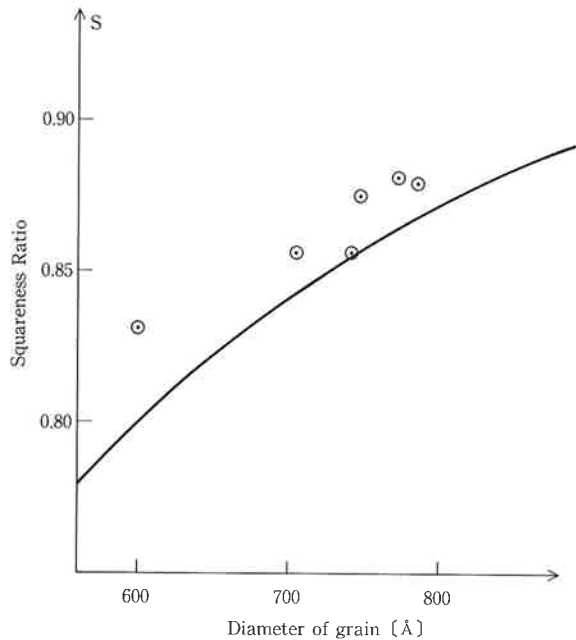


Fig. 20. Calculated squareness ratio of magnetic layer with 450[Å] thickness as a function of grain diameter (solid line), and measured squareness ratio (circle).

みた。この結果, 保磁力及び角形比の変化の傾向は, 計算値と実際のもので良く一致したが, 絶対値は多少変わっている。これはグレイン間の相互作用を考えなかったためと思われるが, 保磁力, 角形比はグレインの形状による異方性の影響を大きく受けているのではないかと分る。

Fig. 21 は, 基板バイアス電圧を変化させて作製したディスク薄膜法 X 線回折によるチャートである。これを見ると, 47度付近のピーク (Co(101)) や76度付近のピーク (Co(110)) がバイアス電圧の変化とともに変化しているのが分かる。基板バイアス電圧を変化させた時の保磁力等の変化は, 上述したように磁性層の形状異方性によって, 定性的には説明することができるが, X線回折の結果から示唆されるように, 磁性層の結晶性, あるいは結晶配向性にも大きく依存していることが考えられる。基板バイアス電圧に対する X 線回折結果のまとめ, 及びその磁気特性に対する影響は, 現在解析中である。

### 5. 記録再生特性

上述のようなパラメータを変化させる実験で得られたディスクについて記録再生特性の測定を行ない, 磁気ディスクとしての評価を行なった。測定項目は出力 (4F), 分解能 (Res), S/N である。測定条件については, Table 5 にまとめた通りである。

Table 6 に今回開発したサンプルと, 現行製品 ( $H_c$ : 1200 タイプ, 850タイプ) を同一測定条件で評価した

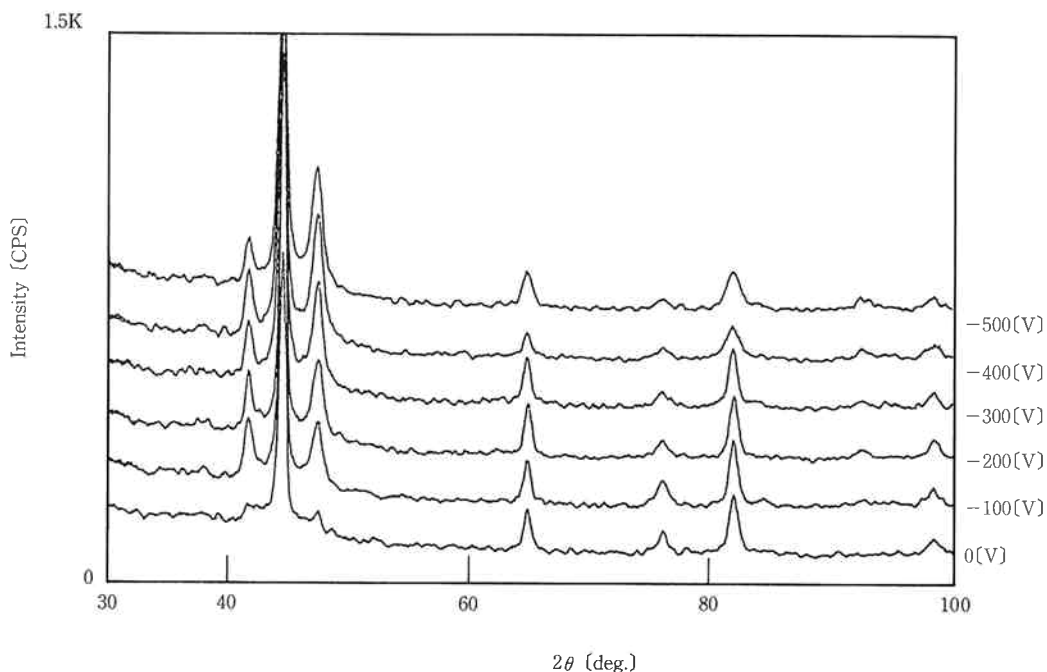


Fig. 21. X-ray diffraction pattern profiles of the film obtained at various substrate bias voltage.

Table 6. Magnetic and Recording Characteristics.

	$H_c$	$M_r \cdot \delta$	$M_s \cdot \delta$	S	S*	Amp.	Res.	S/N
開発 Sample	1400 [Oe]	47 [nm·T]	51 [nm·T]	92 [%]	93 [%]	44 [nV]	61 [%]	31 [dB]
現行品 $H_c$ :1200タイプ	1220	54	59	92	91	42	51	29
現行品 $H_c$ :850タイプ	850	65	71	91	89	31	35	22

Table 5. Read write test conditions.

• Test radius	30.5 [mm]
• Number of rotation	2400 [RPM]
• Recording frequency (Lo/Hi)	1.25/5.00 [MHz]
• Test head	
• Gap length	0.5 [ $\mu$ m]
• Track width	17.8 [ $\mu$ m]
• Flying height	0.15 [ $\mu$ m]

結果をまとめた。

$H_c$ :850 タイプは 13 KFCPI 対応の記録媒体であり、また  $H_c$ :1200 タイプは 20 KFCPI 対応の媒体であるが、今回の測定でみられるように高記録密度領域においては、これらの磁気媒体では急激に電磁変換特性が低下し、実用には供しない。今回種々のスパッタ条件を細かく最適化及び考察することにより、残留磁化をあるレベルに維持しつつ高い保磁力 (1400[Oe]) を得ることに成功した。これにより、線記録密度 32 KFCPI において、S/N 30[dB] をキープし、出力、分解能ともに良好な磁気ディスクの開発に成功した (開発 Sample)。

## 6. ま と め

CoNiCr 系合金磁性層を用いて各種スパッタ条件を変化させ、磁気特性を向上させることにより、32 KFCPI の線記録密度において S/N 30[dB] 以上、出力 44[nV] 以上、分解能 60[%] を達成し、実用可能な高記録密度ディスクの開発に成功した。

## 文 献

- 1) 例えば, “日経エレクトロニクス”, No. 481, 157-165 (1989)
- 2) 西川正明著; “磁気記録の理論”, (朝倉書店) (1985)
- 3) J. K. Howard; *J. Vac. Sci. Technol.* A4, (1) 1-13 (1986)
- 4) Thomas. C. Arnoldussen; *Proceeding of the IEEE*, 74, 1526-1539 (1986)
- 5) A. H. Eltoukhy; *J. Vac. Sci. Technol.* A4, (3) 539-542 (1986)
- 6) C. Denis Mee, Eric D. Daniel; “Magnetic Recording”, 1 (McGraw-Hill Book Co.) (1987)
- 7) 金原 繁著; “スパッタリング現象” (東京大学出版会) (1984)
- 8) Jian-Gang Zhu, H. Neal Bertram; *J. Appl. Phys.* 63, 3248-3253 (1988)



著 者

氏名 稲生 俊雄  
Toshio INASE

入社 昭和61年4月1日  
所属 新材料研究所  
第四研究室



著 者

氏名 加藤 英司  
Eiji KATO

入社 昭和63年4月1日  
所属 新材料研究所  
第四研究室



著 者

氏名 府川 信一  
Shinichi FUKAWA

入社 昭和61年3月17日  
所属 新材料研究所  
第四研究室



著 者

氏名 近藤 昭夫  
Akio KONDO

入社 昭和51年4月16日  
所属 新材料研究所  
第四研究室  
第四研究室長