

# 論文の内容の要旨

## 論文題名

### テープ装置に於ける MR/GMR ヘッドの静電気破壊対策の研究

氏名 早田 裕

#### 1. 序論

デジタル化されたデータの最終的な保存先として、テープ磁気記録装置が使われている。磁気記録分野における記録密度の向上は、再生ヘッドとして MR ヘッドや GMR ヘッドが採用されることにより、記録密度の向上がなされて来た。一方、これらのヘッド素子は静電気に弱く、MR 素子は  $10^{-8}$ Joule、GMR 素子は  $10^{-10}$ Joule 程度の放電エネルギーで破壊に至る。このような磁気ヘッドの静電気破壊は接触放電を原因とすることが多く、その特徴は、放電インピーダンスが低く、微小電荷の放電であっても、短時間の大電流放電になり易いことである。テープ装置内には、樹脂や金属部品、抵抗性のテープに至る広範囲な材料が使われている。テープからヘッドへの静電気放電は、接触摺動するテープ装置特有の問題であり、製品の設計のときから対応しておく必要がある。ヘッド端子への静電気放電は、生産ラインの問題であり、部品や治工具の選定、静電気環境の管理などで対応する必要がある。

#### 2. テープからの放電

##### 2.1 テープ・ヘッド間の絶縁破壊電圧

テープ装置では、テープとヘッド素子が接触した状態で摺動するため、ヘッドの駆動回路は、絶縁破壊電圧を超えない範囲で動作させる設計が必要である。ヘッド素子とテープ間の印加電圧と電流の関係から、低抵抗の ME (Metal Evaporated) テープでは、2V を超えると絶縁破壊により電流が増加する。したがって MR ヘッド素子の駆動電圧は 2V 以下に設計する必要がある。

## 2.2 テープ表面の摩擦帯電

テープ表面が摩擦帯電すると、ヘッド素子への放電により静電気破壊を引き起こす原因となる。テープ走行による摩擦帯電の測定では、抵抗の低い ME テープ上では 1~2V に安定し、絶縁破壊の起こる電圧よりも低い値であった。抵抗の高い MP (Metal Powder) テープでは、走行による摩擦帯電の変動が起こり、ピーク電圧値は 10V~20V に到る。

## 2.3 テープからヘッドへの放電

抵抗が低く導体の特性を持つ ME テープは、電荷の蓄積と放電電流路としての働きを持つ。テープ上の分布電荷がヘッドへ放電するときの電流は、テープの表面抵抗率を高くすることにより制御することができる。30V 印加で 2.1nC~2.6nC の電荷がテープの切片上に蓄積され、ヘッドへの放電においては、表面抵抗率 100~200Ω/sq. のテープからの放電電流は 80mA~120mA に達する。一方、1.1kΩ/sq.のテープからは 17.8mA であった。電荷量と MR ヘッドの特性変化の測定では、202Ω/sq.のテープは、15nC の電荷量から抵抗変化を起こしたが、1.1kΩ/sq.のテープは、100nC の電荷量においても抵抗変化を起こさなかった。ESD ガンを用いた電流路試験により、テープの表面抵抗率と放電源の帯電電圧およびヘッドとの距離に関する環境指針が得られた。GMR ヘッドの使用条件として、30V 程度の ESD 電圧に対しては、 $1 \times 10^4 \Omega/\text{sq.}$  以上が、300V 程度の ESD 電圧に対しては、 $1 \times 10^5 \Omega/\text{sq.}$  以上が望ましい。

## 2.4 カセットの帯電

樹脂で作られているカセットは、人が持ち歩くことで摩擦により表面が帯電する。カセット中のテープに誘導電荷が生じ、ヘッドが接触したときには、放電による静電気破壊の危険性がある。カセットの摩擦帯電を抑えるため、従来の高抵抗樹脂  $1 \times 10^{12} \Omega/\text{sq.}$  から制電性樹脂  $1 \times 10^{10} \Omega/\text{sq.}$  へ変更し効果を確認した。低温低湿環境下において、摩擦帯電は-1kV~-3kV から-70V~-150V に低下し、繰り返し摩擦帯電においても、誘導電荷量は 2nC~6nC から 0nC~1nC に減少した。

## 3. ヘッド端子からの放電

### 3.1 被覆電線からの放電

デバイスや IC、実装基板の接続には、被覆電線やフラットケーブルなどが用いられている。これらの線材は被覆が絶縁性の高い材料で作られているため、表面上の摩擦帯電が芯線上に誘導電荷を発生させる。このような電線とデバイスが接触したときには、放電により静電気破壊を引き起こすことがある。代表的な電線による、被覆の摩擦帯電は 1kV 以上になり、放電電流は 800mA に達する。電線から GND やヘッドへの放電実験で、電流波形に違いが見出された。全電荷が放電する GND への放電は、半値幅の電線長依存性があるのに対し、ヘッドへの放電は、半値幅の電線長依存性は少なかった。電線からヘッドへの電荷移動では、ヘッドポテンシャルの上昇によって放電が停止するためと考えられる。このように浮いた物体間の放電においては、電位差により電荷が移動し分割される過程と考えることで理解される。

### 3.2 ヘッドキャパシタンスと放電

ヘッドの簡単な等価回路は、磁気素子である抵抗と 2 つの電極パターンである静電容量で表される。電線からの放電によりこの等価回路へ流れ込む放電電流と素子電流を同時観測した。帯電電線からシングル容量への放電では、3pF から 0.1μF の範囲では、ピーク

電流値は印加電圧にほぼ比例して増加する。抵抗と 2 個の容量からなる等価回路への放電では、容量値と電線長に依存する放電波形となる。電線からの全放電電流と抵抗素子へ流れる電流を見積もると、容量比と接触点によって抵抗素子を流れる電流は変化し、全電流値の 29%~60%の範囲となっている。PSPICE 回路シミュレータを用いて接触放電系の計算を試みたところ、放電電流波形、デバイス内部での分流波形、素子に流れる電流などが計算でき、実験結果との対応により接触放電系に対する理解が進んだ。

### 3.3 ヘッドの電位変化と放電

接触放電系においては、デバイスの容量変化が電位変化を引き起こし放電電流に影響を与える。5pF の容量を用いた実験では、GND 面からの距離が 10mm 上昇すると、電位は 20V から 200V にまで上昇する。それにもない放電のピーク電流値は、100mA から 600mA 程度に増加する。1pF 容量になると浮遊容量の存在により電位上昇が抑えられた結果、電流の増加率は 2 倍程度にまで減少する。実際の GMR ヘッドを用いた実験においても、持ち上げ効果による耐圧の低下現象が見られ、5mm の持ち上げで 50V~60V から 25V~35V に低下した。数 pF 容量の微小デバイス間の放電においては、放電源と放電先の回路構成、それぞれの電位と GND からの位置関係、浮遊容量などが接触時の放電電流波形を決める要素となる。

## 4. ヘッド材料による対策

ヘッドの基板材料とギャップ材料の導電化を行い、ヘッド素子の静電気破壊対策を進めた。放電電流のバイパス路をヘッド素子の近傍に設けるため、導電性フェライト基板材を開発した。放電の元となっているヘッドコア間の電位差を解消するため、ギャップに用いられているアルミナ膜の導電化を行った。

### 4.1 導電性フェライト基板

耐摩耗特性に優れたフェライトを基本に、抵抗性で静電気拡散的な導電性フェライト材料を開発した。テープ上電荷のヘッドへの放電実験を用い、素子電流と基板バイパス電流を同時計測した。絶縁的な従来の  $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$  基板のヘッドでは、素子電流が多く流れ 136mA に達し、基板電流は 25mA であった。導電性の ALTIC 基板のヘッドでは、素子電流は 28mA と少ないが、基板電流は 114mA に達する。導電性フェライト ( $5.0 \times 10^2 \Omega/\text{sq.}$ ) 基板のヘッドでは、素子電流は 6.4mA にまで減少し、基板電流も 1.4mA に減少した。基板のバイパス効果により素子電流を 1/4 以下に低下させる効果が得られた。

### 4.2 白金ドーパアルミナ膜

GMR 素子とシールド膜の電位が絶縁破壊電圧を超えると、素子や端子とシールド間に微小な ESD が発生する。この電位差発生を防止するため、白金ドーパアルミナ膜を開発した。膜厚方向抵抗は  $10^8 \Omega \sim 10^2 \Omega$  に調整でき、100V からの減衰時間は 1msec~1sec となった。I-V 特性では、アルミナ膜は、膜厚 33nm~180nm に伴い、絶縁破壊電圧は 18V~148V であった。白金ドーパアルミナ膜では、膜厚 60nm~180nm において、数 V からの電圧上昇と共に連続的な電流の増加を示し、絶縁破壊の特性を示さなかった。パルス応答特性では、アルミナ膜は、絶縁破壊電圧を超えたところから放電電流が流れ始めるが、白金ドーパアルミナ膜は、膜厚によらず 5mA 程度の電流値に留まり、放電電流を約 1/40 に抑制することが解かった。白金ドーパアルミナ膜をヘッドギャップに用いた GMR ヘッドで、透過電子顕微鏡 (TEM) と元素分析 (EDX) を行い、数 nm の Pt が分布して

いる微細構造が観察された。この Pt 分布にもとづき、電流経路モデルにより I-V 特性をシミュレートしたところ、電流密度  $J(r)$  関数による電流分布が、 $V^{1.5}$  の率で半径方向に広がって行く特性が、実験による I-V カーブと良い相関を示した。

## 5. 静電気放電と要因

静電気放電とその要因を、エネルギー移動の観点から見直し、磁気ヘッドの各部を放電の要素として表現した。また、物体の接地の有無と放電電流の放電経路によって分類した。

## 6. 静電気破壊対策の指針

磁気ヘッドの静電気破壊対策は、接触時の放電電流を制御することが基本である。各種の放電形態に対して、帯電源、放電源、放電先、放電経路、接地の有無により分類し、静電気破壊対策の方針を示した。

## 7. 結論

テープ装置における磁気ヘッドの静電気破壊の特徴は、その容量が小さく微小なエネルギーでも破壊することにある。テープ装置におけるヘッドの静電気破壊対策の指針と対策内容を表にまとめた。次世代ヘッドや一般的なデバイスの静電気破壊対策にも応用できるように、指針を示すと共に評価方法についても提案している。

表. テープ用磁気ヘッドの静電気破壊対策と注意事項

対策目標	対策の指針	静電気破壊対策の内容	一般的な注意事項
テープの摩擦帯電	テープの帯電電圧 2V以下	テープ表面抵抗値を $10^4\Omega/\text{sq}$ . 以下。	・摩擦帯電の分布がある。 ・材料の分布と検出機の分解能に依存する。
テープ上の分布電荷	放電電流 100mA以下	テープ表面抵抗を $1\text{k}\Omega/\text{sq}$ .以上。	・分布電荷の放電には、1次放電と2次放電がある。
テープが放電路	放電電流 100mA以下	1kVの帯電源は10mm以上離す。 3~5kVの帯電源は100mm以上離す。 テープの表面抵抗率は $10^4\Omega/\text{sq}$ .~ $10^5\Omega/\text{sq}$ . 以上。	・放電源の電圧、距離、放電路の抵抗に依存。 ・帯電源に対する環境仕様。
カセットの帯電	導電性樹脂	樹脂の表面抵抗を $10^{10}\Omega/\text{sq}$ .以下 テープ上の誘導電荷量を1nC以下。	・誘導帯電による電荷。 ・低湿環境。繰り返し摩擦。
帯電電線からの放電	被覆材の選定	エナメル線の使用。 被覆の帯電防止処理。	・放電電流は、帯電電圧に依存。 ・短い電線(5cm)でも、大電流放電あり。
ヘッド端子への放電	放電電流と破壊電流の分類	磁気ヘッドでは、放電電流の2/3~1/3が破壊電流となる。	・デバイスの内部回路に依存する。 ・破壊電流の評価、解析が重要。
ヘッドの持ち上げ効果	電位の上昇と放電電流の関係	GNDから数mmの持ち上げで、容量は約1/10、電圧は約10倍。放電電流は、約2倍~4倍に増加。	・数pFのデバイスでは、浮遊容量により、電圧上昇は緩和される。
導電性基板材	素子と基板電流への分流	導電性フェライトの表面抵抗 $10^2\Omega/\text{sq}$ .~ $10^4\Omega/\text{sq}$ . 素子への放電電流を約1/4に低減。	・材料面からの対策は、プロセス条件と使用条件も考慮を要する。
導電性アルミナ	デバイス内電位差の解消	白金ドーパアルミナ膜の膜厚抵抗を、 $1\times 10^6\Omega$ 以下。 放電時のピーク電流値を約1/40に低減。	・材料の微細構造の解析。 ・白金ドーパアルミナ膜では、数nmのPt微粒子により、電流路が形成される。