記録針のない静電記録管

シャープ株式会社 中央研究所 田川孝生

記録ヘッドに針を使わない新しい動作原理の静電記録管を開発した。この静電記録管は記録ヘッドに厚さ約 $180\text{ }\mu\text{m}$ の半導体ガラスを使用したもので、従来の記録管にくらべて構造がきわめて簡単である。高速記録が可能なので、ファクシミリ、高速度波形記録装置への応用が可能である。本文ではこの記録管の構造、動作原理、記録ヘッドの材料、記録結果について述べる。

1. ま え が き

ファクシミリ用高速記録管として、いままでにいろいろな方式のものが提案されている。これらの記録管の代表的なもののひとつにピンチューブ¹⁾²⁾がある。ピンチューブはブラウン管のスクリーンに相当する部分に、互いに絶縁された細い金属ピンを多数貫通させ、ピンを通して、電子ビームの走査による電荷を直接管外に導き出し、管外の静電記録紙上に電荷像として与えるものである。

ピンチューブは光を用いずに、電荷による記録を行なうので、他の光を利用する方式より安価な静電記録紙が使えるばかりでなく、記録装置の記録部、記録紙を遮光する必要がないなど、他の記録管にない特長を持っている。しかしながら、記録ヘッドとして、細い金属ピンを密に植え込まねばならないので、生産性および記録時の放電による記録ヘッドの性能低下などの問題を残している。

そこで、ピンチューブの特長を生かし、かつ生産性の面で有利なピンのない静電記録管を開発し、試作管による記録実験を行なったので、その結果を述べる。

2. 構造と動作³⁾

本記録管は、記録ヘッドを除けば電子銃、偏向コイル、電圧印加方法など、すべてピンチューブと同じである。管の構造ならびに記録紙との配置関係を図1に示す。ピンチューブの場合は、記録ヘッドとして互いに絶縁された細い金属線を多数植えたピンヘッドを用いるが、本記録管の記録ヘッドは、わずかに導電性のあるマイクロ

図1 構造図

Cross-sectional view of the Electrostatic Printing Tube.

シート、あるいは適当な抵抗値の物質を薄く塗布した誘電体のマイクロシートより構成されているにすぎない。したがって、構造としてはピンチューブよりむしろ薄窓管に似ている。

この記録管に使われる記録紙は、数 μm の誘電体層、数十 μm の抵抗層から成る静電記録紙であって、ピンチューブなどに使われるものと同じである。記録紙とターゲット基板は密着せずに、両者の間に薄い空気層を設けている。また記録紙の抵抗層は、接地またはそれに近い電位になっている。

本静電記録管への印加電圧は、図1に示すように負の高圧を使用し、陽極を接地してカソードに負の高圧（たとえば -10 kV ）を印加している。したがって、電子ビームを照射しないときのターゲットの電位は、ほぼ接地電位である。一方、ターゲットを構成している誘電体の2次電子放出は、一般に図2のような特性を示す。2次電子放出比は数百 V の点でピーク値を示すが、以後、加速エネルギーの増加とともに減少してゆき、 V_h では1よりはるかに小さくなる。

それゆえ、このような特性を持ったターゲットに V_h

"Electrostatic Printing Tube Dispensed with Embedded Pins" by Takao Tagawa (Central Research Laboratory, Sharp Corporation, Nara)

図2 ターゲットの2次電子放射特性
Secondary electron emission ratio from the target.

図3 ターゲットおよび記録紙
Schematic sectional view of target and recording paper.

なるエネルギーの電子ビームを照射すれば、照射点は負に帯電し、電位は降下する。そのときの記録紙をも含めたターゲット近辺の様子を図3に示す。記録紙の抵抗層は接地されているので、ターゲット基板、空気層、誘電体層には、おのおの図のように E_t , E_a , E_d なる電界ができる。

空気層の厚みを d_a とすれば、空気層の記録紙側とターゲット基板間には $V_a = E_a \cdot d_a$ なる電位差を生ずる。もし、ここで電界 E_a (または V_a) が空気層での放電に必要な値であれば、空気層で放電が起こる。空気層での放電に必要な電界は図4に示すように層の厚みによって異なる⁴⁾。すなわち、薄い空気層の場合には、放電に必要な電界が大きくなり、厚くなるほど小さな電界で放電を起こさせることができる。しかし空気層が厚すぎると、画質などの点で弊害が現われるので、最適値は数 μm から 30 μm 程度である。

放電は、雪崩現象により空気層に多数のイオンと電子が発生した状態であり、ここで発生した正負の電荷は、早い速度で正電荷(陽イオン)は E_a の方向に、負電荷(電子)は E_a と反対方向にそれぞれ移動し、ターゲット基板の外壁ならびに記録紙の誘電体層上に帯電する。

放電直後のターゲットならびに記録紙における電荷分布は図5のようになっている。この放電によって生じた記録紙面上の負電荷とターゲット外面上の正電荷によ

図4 放電特性
Relation between the discharging electric field vs air gap.

図5 放電後の電荷分布
Schematic view that shows the distribution of charges on the target and the recording paper immediately after the occurrence of discharge.

て、空気層に E_a' なる電界ができる。この電界 E_a' はターゲットの負電荷による電界 E_a と逆向きであるから、空気層の電界は $(E_a - E_a')$ に減少し、まだターゲットに負電荷があるにもかかわらず、放電を持続させることができずに、きわめて短時間で停止する。

この放電は、ターゲットの電子ビーム照射点に対応する空気層で起こる。しかも、それによって生じた負電荷は、やはりこれに対応する記録紙の誘電体層上に帯電する。したがって、映像信号で変調された電子ビームがターゲット上を走査すれば、記録紙上に電荷像が記録される。

記録終了後のターゲットの負電荷ならびに対向の正電荷は、次の周期における記録の妨げになるから、空気層での放電終了後、すみやかに消滅(放電)させねばならない。これらの不要電荷の消滅方法については後で述べる。

記録紙面に記録された電荷像は、ピンチューブの場合と同じように、電荷像と逆の電荷を持ったトナーを用いて可視像に変換する。

3. 記録に必要なターゲットの電位

電荷が帯電しているターゲット上に微小面積を考え、この微小面積の帯電電荷を Q （負の電荷）とし、微小面積とアース間の静電容量を C とすれば、微小面積の電位 V （負）は、

$$V = \frac{Q}{C} \quad (1)$$

で与えられる。またこの V を図3について考えると、次式ようになる。

$$V = E_1 d_1 + E_a d_a + E_2 d_2 \quad (2)$$

(2) 式で d_1, d_a, d_2 はターゲット基板、空気層、記録紙の誘電体層の厚みであり、 $E_1 d_1, E_a d_a, E_2 d_2$ は各層に分割される電位である。 $E_a d_a$ は空気層で放電を起し、静電記録を行なうために、ある一定値以上必要であるが、 $E_1 d_1$ は静電記録にまったく不要な電位である。

しかしながら、実際の記録管においては d_1 が約180 μm 、 d_a, d_2 が数 μm から十数 μm であるから、ターゲットの電位 V は空気層電位 V_a よりはるかに大きい。ターゲット電位が大きくなると、いろいろ弊害を生ずるので、ターゲット基板の誘電率を大きくし、基板を薄くするなどの方法で小さくする必要がある。

実際の記録管について、記録時のターゲットおよび空気層の電位を測定することは不可能である。したがって、図6に示すような模型により静電記録に必要な電位を測定し、ほぼこの値がターゲット電位になっているものと考えている⁴⁾。

誘電体層(1)はターゲット基板に相当するもので、150 μm のマイクロシートガラスを使用し、その一部にアルミを蒸着して電極(1)を形成した。誘電体層(2)は静電記録紙の誘電体層に相当するものである。市販の静電記録紙には数 μm の凹凸があり、空気層の厚み d_0 が不正確なものになるので、平面度のすぐれたマイラーに金属を蒸着したものを使用した。また印加電圧 V は負の単発パルスを印加し、誘電体層(2)の電荷像形成の有

図6 模型による記録実験
Simulated recording device.

図7 記録電圧特性
Characteristics of recording voltage vs air gap.

無はトナーで現像して判別した。

空気層の厚み d_0 を変えた場合の記録に必要な電位 V は図7のとおりである。また、ターゲットの電位 V が $d_1/\epsilon_0\epsilon_1, d_0/\epsilon_0, d_2/\epsilon_0\epsilon_2$ の比で誘電体層(1)、空気層、誘電体層(2)に分割されるものとして空気層の電位 V_0 を算出し、点線で示した。

静電記録に必要なターゲット電位は20 μm にしたときに最低を示し、ほぼ2kVである。また空気層の電位 V_0 は $P=760\text{ mmHg}$ としたときのパーシェンの放電特性に近い値を示しており放電により記録が行なわれることを裏づけるものである。

4. ターゲット基板

4.1 ターゲット基板の抵抗

記録終了後のターゲット基板は図5のように正および負に帯電している。このような状態で次の周期の走査を行なっても記録は行なわれない。電子ビームがターゲットを走査する際、先の走査における電荷がターゲット上に残っていると、その部分の電位が低くなっている（-2kV以下）、電子ビームはターゲット上の走査点からはずれ、電位の高い部分を走査するのが原因のひとつである。これはターゲットおよびその近辺を走査する電子ビームにより発する蛍光により確認している。

また先に述べたように、ターゲット基板外表面の正電荷により、空気中の電界が弱められるから、空気層での放電すなわち記録が行なわれにくくなる。

したがって、これらの電荷は次の周期における走査までに何らかの手段で除去しなければならない。電荷を除去する手段として、次のような方法が考えられる。

- ① 1ラインの記録終了後、低速電子ビームをターゲットに照射して、そのときの2次電子放出を利用してターゲット面上の電荷を除去する。

② ターゲット面上に適当な抵抗値を持った抵抗層を形成し、抵抗層を通してターゲット面上の電荷を除去する。

③ ターゲット基板として、わずかに導電性のある材料を選び、ターゲットの厚み方向に電荷を移動させ、両電荷を同時に除去する。

①の2次電子を利用する方法は、電荷の帯電のみを考慮してターゲット基板を選べる反面、記録時と電荷の除去時ではエネルギーの異なる電子ビームを照射しなければならないので、電子銃、周辺回路が複雑になる。また、ターゲットの電荷は除去されるが、ターゲット基板外表面の正電荷は除去されない。

②の方法はターゲット基板として、①の場合と同様、マイカ、ホウ珪酸ガラスなど、抵抗値の高いマイクロシートを使える。マイカ板 (75 μm) に酸化クロムと黒鉛の混合物を塗布した試作管による実験の結果では、記録に必要なビーム電流が、後に述べる③の方法のほぼ10倍であった。①の場合と同様、ターゲット外表面上の正電荷は除去できない。また薄い抵抗層を均一に塗布するのも困難である。

③のターゲット基板の導電性を利用する方法は、記録時のビーム電流量、記録管の構造などの点で最も有利な方法であり、実験管はこの方法を採用している。この方法で重要なのは、ターゲット基板の誘電率および抵抗値の設定である。抵抗値が低すぎると電子ビームの電荷をターゲット上に帯電させることができない。抵抗値の低い例として、シリコンウエハーをターゲット基板に応用した実験を試みたが、まったく記録できなかった。

また電荷の帯電からすれば、ターゲット基板の抵抗値は高いほどで有利であるが、高すぎると記録終了後の不要電荷の除去が困難になり、先に述べたような理由で記録ができない。たとえば石英ガラスをターゲット基板に応用しても、記録管としてはまったく動作しない。したがって、電荷の帯電と放電のかね合いから適当な抵抗値のターゲット基板を採用しなければならない。

ターゲット基板の内外面に Q_0 の電荷が帯電しているものとすれば、電荷は時間 t とともに、

$$Q = Q_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) \quad (3)$$

に従って減少する。ただし τ は ϵ , ρ をそれぞれターゲット基板の比誘電率、固有抵抗とした場合、 $\tau = \epsilon_0 \epsilon \rho$ で与えられる。それゆえ、電子ビームの走査周期を T とした場合、 τ と T とをほぼ同じオーダーになるように ϵ , ρ を選べば良いものと推察できる。走査周波数を 60 Hz とすれば、 $\epsilon = 5$ として、 $\rho = 4 \times 10^8 \Omega \cdot \text{m}$ となる。試作管による実験の結果、 $\tau \approx T$ であればまったく問題

はなく、 τ を T の 10 倍に選んでも記録にはほとんど支障をきたさないことを確認している。それゆえ $\epsilon = 5$, $\rho = 4 \times 10^8 \Omega \cdot \text{m}$ のターゲット基板を使用した記録管は、ほぼ 600 Hz までの記録を行なうことができる。

4.2 ターゲット基板の材料

ターゲット基板はターゲットおよび記録ヘッドとしての電気的性能 (固有抵抗、2次電子放出等) を満足するものでなければならないことはもちろんであるが、同時に真空容器の一部でもある。しかも非常に薄いことが必要であるから、気密性、機械的強度の点で充分すぐれたものでなければならない。このような条件をすべて満す材料を入手することはきわめて困難であるが、これに近いものに電導性ガラスがある。

ガラスは通常絶縁物として扱われる。事実、石英ガラスのようにアルカリをほとんど含まないガラスでは $10^{15} \Omega \cdot \text{m}$ 以上の抵抗を示す。また、ガラスとしては抵抗値が低いといわれているソーダガラスでも $10^{11} \Omega \cdot \text{m}$ 以上である。したがって、このような抵抗値の高いガラスは記録管のターゲットに使えない。

抵抗値の低いガラス、すなわち電導性ガラスには、ガラス中に含まれるイオンにより伝導性を示すものと電子によるものとがある。イオンにより伝導性を示す代表的なガラスはソーダガラスである。これはガラスに含まれる Na イオンによって主に伝導が行なわれるから、このガラスに連続して電流を流しておくと、ガラス内部で電気分解を起し、抵抗は増大する。すなわち Na イオンは徐々に陰極に引き寄せられ、内部の Na イオンはそれに伴い減少するために起る現象である。したがって、この種のガラスをターゲット基板に使用すると動作中に同様な現象を起すものと考えられる。約 20% のソーダを含むイオン伝導性ガラスをターゲットに使用した記録管の寿命テストでは、著しい性能劣化が見られた。

一方、鉄、バナジウムなどの遷移金属の酸化物を多量に含むガラスも、やはり伝導性を示す。しかし、この場合の伝導機構はイオンによるものでなく、電子によるものと考えられており、電子伝導性ガラスまたは半導体ガラスと呼ばれている。電子伝導性ガラスに連続して電流を流しても、イオン伝導性ガラスのような抵抗値の変化はほとんど見られない。当研究においてはターゲットとして電子伝導性ガラスを使用した。遷移金属としては鉄を使用⁹⁾ しており、その固有抵抗は $10^8 \sim 10^9 \Omega \cdot \text{m}$ である。

4.3 記録ヘッドの構造⁹⁾

記録ヘッド近辺の概略図を図 8 に示す。記録ヘッドとなる部分は、ターゲット基板の外表面で図のように外部電極を設けている。外部電極は 2 枚の電極から構成され

図 8 記録ヘッドの構造図
Cross sectional view of the printing head.

ていて、その間はスリット状に空いている。そして電子ビームはそのスリットに対向するターゲット基板の内側、すなわち真空側を線走査する。この電極は、電極としての作用はもちろんであるが、他にも重要な働きをするものである。

第1の役割はスペーサーとしての働きである。先の動作原理において説明したように、本記録管においては、ターゲット基板と記録紙の間に数 μm の空気層を必要とする。したがって、図8のように記録紙を外部電極に密着して走行させると、ターゲット基板と記録紙の間にはほぼ外部電極の厚みに等しい空気層を形成できる。空気層の最適厚みは8 μm 程度であるが、試作管においては製造上の問題より5 μm 程度にしている。

このような形で空気層を得ることは、同時に記録紙との摩擦によるターゲット基板の摩耗を少なくする作用もかねるものである。

第2の役割は、この電極を接地電位にしてノイズ記録を除去することである。ターゲット基板は電気的に浮いており、外部電極を設けない場合の電位はきわめて不安定である。そして、その不安定な電位がある値に達すると、それに面した静電記録紙に電荷が移り、ノイズとして記録される。外部電極を設け、これを接地電位にすることにより、この問題は解決できる。

第3の役割は解像度の改良である。動作原理で説明したように、この記録管はターゲットに帯電した電荷によって作られる空気層の電界を利用したものであるから、外部電極の形状により画質を改良することができる。すなわち、電子ビームの直径が0.5 mm程度であっても、スリットの幅を0.3 mmにすれば、スリット幅をはずれる部分の電界はすべて外部電極によって遮蔽され、記録線の幅はスリット幅より小さくなり、0.2 mm以下に改良される。

このように、外部電極は幾つかの目的をかねた重要な部分である。この電極は常に記録紙と摩擦しているから、摩耗に対してすぐれているとともに、記録紙に摩擦帯電を与えないものでなければならない。

5. 実験管

ターゲット基板は解像度、記録速度の点で薄いほど有利である。しかし、製造上の問題、機械的強度、気密性の問題があるので、約180 μm の半導体ガラスを使用している。この厚みであれば大気圧、紙圧によるターゲット基板の破損は問題にならない。また、試作後2年以上経過する記録管についても、真空度、バリウムゲッター膜の外観など、ほとんど初期の状態を維持しており、気密性についても問題にならないものと考えている。

図9に試作管の構造図を示す。電子銃は白黒テレビ用

図 9 記録管の構造図
Dimension of the printing tube.

写真 1 静電記録管の外観
The exterior view of the electrostatic printing tube.

写真2 映像記録
Actual recorded results.

ブラウン管に使われている小型ユニポテンシャル型電子銃をそのまま使用している。したがって高解像度は期待できないが、調整が簡単であり、焦点深度も深いのでダイナミックフォーカシングは不要である。また、ネックの直径を $20\text{ mm}\phi$ にして小型テレビ用の安価な偏向コイルを使えるようにしている。

6. 記録実験

静電記録管を用いた記録装置は、ピンチューブの場合とほとんど同じである。図1のようにアノードを接地し、カソードに -10 kV の負高圧を印加しているので、ヒーター、グリッド、フォーカス電極は負の高圧になっている。

映像信号を負の高圧側にあるグリッドに印加する方法として、フォトカップラー⁷⁾を採用した。これは発光ダイオードとフォトトランジスタをガラス板をはさんで対向させ、映像信号を発光ダイオードに加えて光に変換し、負高圧側のフォトトランジスタで再び電気信号に変換して、グリッドに印加するものである。

偏向は水平偏向のみであるが、電子ビームの位置を調整するために垂直方向にも直流偏向を行なっている。走

査周波数は 60 Hz で、映像信号はフライングスポット管により得ている。写真2はこの方法で映像記録を行なったものである。垂直方向の解像度は $6\sim 7\text{ 本/mm}$ 程度であるが、水平方向は電子銃の性能も影響して、これより劣る。

しかし、水平方向の画素が連続しているので記録画は自然である。写真3は、ビーム電流を一定にしておき、偏向コイルにのこぎり波電流を流した場合の記録例である。この場合の記録管はスリット幅を 1.0 mm にしており、記録線

写真3 波形記録
A recorded waveform.

は 30 Hz であるが、 3 kHz 以上の波形記録も可能である。

7. む す び

ピン電極の代りにマイクロシートガラスを記録ヘッドに使用した静電記録管の構造、動作原理、ターゲット基板の材料などについて述べた。構造がピンチューブにくらべて簡単であるから、コストの点で有利になるものと考えられる。

偏向周波数 60 Hz における画像記録、波形記録の結果を示したが、記録速度および解像度よりファクシミリおよび波形記録への応用などが考えられる。

終りに、本研究の遂行にあたりご指導、ご協力いただいた大阪工業技術試験所 寺井技官、住田光学 大川氏、当社 三戸技術本部長、田中機構研究部長、遠藤義明氏、島田充浩氏および関係者に心から感謝する次第である。

(昭和48年5月14日受付)

【参 考 文 献】

- 1) R. W. Crews, et al: The Videograph Tube—A New Component for High-Speed Printing, IRE Trans., **ED-8**, 5(1961) 406
- 2) 山下ほか: 静電記録管とその諸特性, NHK 技術研究, **22**, 3 (1970) 207
- 3) 田川, 島田: 静電記録管, テレビ大全 (1970)
- 4) 田川, 島田: 静電記録に関する一考察, 昭45年電気関係学会関西支部連大
- 5) 静電記録管用半導体ガラスの開発, 大工試ニュース, No. 5 (1973)
- 6) 田川, 猪田, 島田, 堀木, 小野瀬: 静電記録管の記録ヘッド, テレビ学会電子装置研究, No. 121 (1972.10)
- 7) 中野, 鶴野, 鈴木: 高電界に於けるホトカプラーの特性, テレビ大全 (1972)